

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Význam biodiverzity v agroekosystémech**

**Bakalářská práce**

**Šárka Demlová**

**Ekologické zemědělství**

**Ing. Michaela Kolářová, Ph.D.**

**© 2023 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Význam biodiverzity v agroekosystémech" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 21.04.2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Michaele Kolářové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a profesionální přístup při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu a trpělivost po celou dobu studia.

# Význam biodiverzity v agroekosystémech

## Souhrn

Tato bakalářská práce je zaměřena na přiblížení problematiky biodiverzity jako klíčového faktoru udržitelného zemědělství a ochrany životního prostředí. Zachování biologické rozmanitosti je zásadní pro správné fungování ekosystémů a poskytování ekosystémových služeb. Cílem této práce je zpracovat literární rešerši a popsat význam biodiverzity v agroekosystémech z hlediska produktivity a stability. V úvodní části práce je obecně definována biodiverzita, základní rozdělení a současný stav biodiverzity na Zemi a v České republice. Kromě toho je biodiverzita rozdělena dle prostorového měřítka, jako je alfa, beta a gama diverzita.

V práci je popsáno, jakým způsobem se biodiverzita zvyšuje v agroekosystémech. Jsou zmíněny hlavní rozdíly mezi konvenčními a ekologickými způsoby hospodaření a také dopady těchto rozličných způsobů hospodaření a pěstovaných plodin na biodiverzitu agroceenóz. V této práci jsou představeny procesy ohrožující druhovou diverzitu agroceenóz, tj. ztráta stanovišť a s ní spojená fragmentace stanovišť, nadměrné využívání zdrojů a další. Jsou navrženy možnosti konzervace a způsoby zvyšování biologické rozmanitosti. V práci jsou také uvedeny metody hodnocení biodiverzity na různých úrovních, které pomáhají monitorovat a udržovat biodiverzitu v agroekosystémech. Biodiverzita je nejčastěji hodnocena pomocí indexů z hlediska alfa a beta diverzity.

V závěru práce je zdůrazněna důležitost biodiverzity v agroekosystémech z hlediska produktivity a stability. Na základě zjištěných informací jsou předkládány možnosti řešení k udržení biodiverzity na co nejvyšší úrovni.

**Klíčová slova:** biologická rozmanitost, ekologické zemědělství, konvenční zemědělství, hodnocení biodiverzity

# Importance of agrobiodiversity

## Summary

This bachelor thesis is focused on approaching the issue of biodiversity as a key factor for sustainable agriculture and environmental protection. The conservation of biological diversity is essential for the proper functioning of the ecosystem and the provision of ecosystem services. The aim in of this thesis is to conduct a literature review and describe the importance of agrobiodiversity in terms of productivity and stability. The introductory part of the thesis generally defines biodiversity, the basic distribution and the current state of biodiversity on Earth and in the Czech Republic. Further, biodiversity is divided according to spatial scale, such as alpha, beta and gamma diversity.

The thesis describes how biodiversity increases in agroecosystems. The main differences between conventional, as well as organic farming methods and the impacts of these different farming methods and crops on the biodiversity of agrocenoses are mentioned. This thesis presents processes threatening species diversity in agrocenoses, i.e. habitat loss and associated habitat fragmentation, overexploitation of resources and others. Conservation options and ways of increasing biological diversity are proposed. This thesis also includes methods for assessing biodiversity at different levels to help monitor and maintain biodiversity in agroecosystems. Biodiversity is most commonly evaluated using indices in terms of alpha and beta diversity.

In conclusion of the thesis, the importance of agrobiodiversity in terms of productivity and stability is highlighted. Based on the information found, possible solutions are presented to maintain biodiversity at the highest possible level.

**Keywords:** biological diversity, ecological agriculture, conventional agriculture, diversity assessment

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Biodiverzita jako pojem.....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Základní rozdělení biodiverzity .....	10
3.1.2 Typy biodiverzity dle prostorového měřítka - $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ .....	12
3.1.3 Faktory ovlivňující biodiverzitu .....	13
3.1.3.1 Geografické faktory .....	13
3.1.3.2 Primární faktory.....	13
3.1.3.3 Sekundární faktory .....	15
<b>3.2 Biodiverzita na Zemi.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Biodiverzita v České republice.....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Agroekosystémy.....</b>	<b>18</b>
3.4.1 Stabilita agroekosystému .....	19
3.4.2 Biodiverzita v agroekosystémech .....	19
3.4.2.1 Zvýšení biodiverzity celých trofických sítí .....	20
3.4.2.2 Zvýšení výskytu mutualistických a bioregulačních interakcí .....	21
3.4.2.3 Pozitivní vliv biogeochemických procesů.....	22
3.4.2.4 Obsazení nik autochtonními a žádoucími druhy .....	24
3.4.2.5 Koexistence herbivorů s jejich bioregulátory .....	25
<b>3.5 Formy hospodaření v zemědělství .....</b>	<b>26</b>
3.5.1 Charakteristika ekologického zemědělství .....	26
3.5.2 Charakteristika konvenčního zemědělství .....	27
3.5.3 Vliv rozdílných forem zemědělství na biodiverzitu .....	27
3.5.4 Dopady pěstovaných plodin na biodiverzitu .....	28
<b>3.6 Procesy ohrožující druhovou diverzitu agrocenóz.....</b>	<b>30</b>
3.6.1 Ztráta stanovišť .....	31
3.6.2 Fragmentace stanovišť .....	31
3.6.3 Znečištění životního prostředí .....	32
3.6.4 Nadměrné využívání zdrojů.....	34
3.6.5 Biologická invaze .....	34
3.6.6 Změna klimatu .....	36
<b>3.7 Způsoby zvyšování biodiverzity.....</b>	<b>38</b>
<b>3.8 Možnosti konzervace biodiverzity .....</b>	<b>40</b>
3.8.1 Ochrana biodiverzity <i>in-situ</i> .....	41

3.8.1.1	Národní parky .....	41
3.8.1.2	Přírodní rezervace.....	42
3.8.1.3	Biosférické rezervace .....	42
3.8.1.4	On-farm konzervace .....	42
3.8.2	Ochrana biodiverzity <i>ex-situ</i> .....	42
3.8.2.1	Genové banky .....	43
3.8.2.2	Botanické zahrady .....	44
3.8.2.3	Zoologické zahrady a akvária.....	45
<b>3.9</b>	<b>Metody hodnocení biodiverzity .....</b>	<b>46</b>
3.9.1	Vzorkování biodiverzity .....	46
3.9.1.1	Způsoby vyjádření abundance .....	50
3.9.1.2	Metody stanovení abundance .....	51
3.9.2	Hodnocení biodiverzity pomocí indexů.....	53
3.9.2.1	Hodnocení alfa diverzity .....	53
3.9.2.1.1	Indexy počtu druhů.....	53
3.9.2.1.2	Indexy dominance .....	54
3.9.2.1.3	Indexy počtu druhů a jejich ekvitability.....	56
3.9.2.1.4	Q statistika.....	57
3.9.2.2	Hodnocení beta diverzity.....	57
<b>4</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>62</b>

# 1 Úvod

Biodiverzita a zemědělství jsou velmi úzce propojeny. Biologická rozmanitost je základním kamenem zemědělství, které umožňuje rozvoj různých zemědělských systémů již po dobu desetiletí. Biodiverzita je klíčovým prvkem zdravých a funkčních ekosystémů, zejména v agroekosystémech, kde je nezbytná pro udržitelné zemědělství a zajištění potravinové bezpečnosti pro současné i budoucí generace. Na druhé straně, zemědělství výrazně ovlivňuje biodiverzitu a zároveň je závislé na ekosystémových službách poskytovaných biodiverzitou (např. opylování, regulace škůdců, udržení půdních vlastností atd.). Kromě toho může biodiverzita přispět k diverzifikaci plodin a zvýšení odolnosti agroekosystémů vůči změnám klimatu, což má přímý dopad na stabilitu produkce potravin.

V posledních desetiletích se však setkáváme s negativními změnami v naší krajině, kdy dochází k významnému snížení biodiverzity v agroekosystémech. Tyto změny mohou mít zásadně negativní dopady na produktivitu a stabilitu těchto ekosystémů. Jedním z hlavních faktorů způsobujících tento trend je intenzifikace zemědělství. Například v České republice byly v první vlně kolektivizace v 50. letech 20. století odstraněny stromy a keře v rozsahu několika tisíc metrů čtverečních v rámci jednoho katastrálního území ve středních a západních Čechách (Urban, Šarapatka et al., 2003). Tyto dramatické změny ve využívání půdy zahrnují přeměnu složitých přírodních ekosystémů na zjednodušené ekosystémy a zvýšené využívání zdrojů, včetně používání velkého množství pesticidů. Ztráta biodiverzity v agroekosystémech má dalekosáhlé důsledky nejen pro samotné zemědělství, ale také pro celé společenstvo a životní prostředí. Snížení biodiverzity vede k narušení stability v agroekosystémech a zvýšenému riziku šíření chorob a škůdců. V důsledku toho se ochrana biologické rozmanitosti stala ústředním tématem zemědělské a environmentální politiky Evropské Unie (Feledyn-Szewczyk et al., 2016). Proto je v současné době velmi důležité najít rovnováhu mezi zemědělstvím a ochranou biodiverzity k zajištění udržitelného rozvoje zemědělství.



## **2 Cíl práce**

Cílem práce bylo zpracovat literární přehled a popsat význam biodiverzity v agroekosystémech z hlediska produktivity a stability.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Biodiverzita jako pojem

Biodiverzita neboli biologická rozmanitost označuje rozmanitost a různorodost organismů a jejich prostředí na Zemi (Šarapatka et al., 2010). Zahrnuje mikroorganismy, rostlinná a živočišná společenstva, ekosystémy a ekologické procesy (Kanieski et al., 2017). Biodiverzita je důležitý ukazatel živé přírody a dobrého stavu ekosystému mající velmi pestré definice. Podle Světového fondu na ochranu přírody se uvádí, že biologická rozmanitost je „*bohatství života na Zemi, miliony rostlin, živočichů a mikroorganismů, včetně jejich genů, které obsahují, a složité ekosystémy, které vytvářejí životní prostředí.*“ (Šarapatka et al., 2010).

Moldan (2021) definuje biodiverzitu podle Úmluvy o biologické rozmanitosti (CBD 2019) jako rozmanitost všech živých organismů a systémů, do kterých tyto organismy patří, s cílem udržitelného využívání jejich složek, spravedlivého a rovnocenného rozdělování přínosů plynoucích z genetických zdrojů. Biologická rozmanitost zahrnuje informaci o početnosti druhů ve společenstvu jako druhová bohatost. Je také vyjádřena jako počet jedinců typických druhů a jejich ekvitability charakterizující souhrnnou strukturu společenstva, tedy diverzitu (Šarapatka et al., 2010). Biologická rozmanitost označuje různorodé hierarchické úrovně živých systémů, jako jsou geny, druhy či ekosystémy.

Biologická rozmanitost patří mezi základní vlastnosti přírody a je zdrojem významného potenciálu pro hospodářské využití. Představuje základní kámen pro zemědělské činnosti, chov hospodářských zvířat, rybářství, lesnictví nebo biotechnologický průmysl (Kanieski et al., 2017).

#### 3.1.1 Základní rozdělení biodiverzity

Biologickou rozmanitost lze hodnotit na všech úrovních organizace živé hmoty, a to na základě diverzity populací a diverzity společenstev. Diverzita společenstev je utvářena přítomností a zastoupením jednotlivých druhů v rámci společenstva (Martinková et al., 2008). Lze to vyjádřit abundancí. Abundance je vyjádření množství druhu jakýmkoli způsobem (početnost, pokryvnost, frekvence, biomasa; Kent et al., 2012).

Biologická rozmanitost je rozdělena různými způsoby podle měřítka, složitosti, funkčnosti krajiny a typu stanovišť. Je hierarchicky klasifikována podle rozložení návazných úrovní. Rozdělení biologické rozmanitosti se dělí na genetickou diverzitu, druhovou diverzitu,

biotopickou a ekosystémovou diverzitu. Tyto úrovně jsou nezbytnou součástí k zachování života na Zemi (Primack et al., 2011).

### ***Genetická diverzita***

Genetická diverzita patří mezi základní úroveň biodiverzity, která zahrnuje genetickou variabilitu živočichů, rostlin a mikroorganismů v rámci populace nebo celého druhu (Šarapatka & Urban, 2006). Genetická rozmanitost v rámci druhu je často ovlivněna reprodukční schopností jedinců v populaci. Populace je soubor jedinců téhož druhu na určitém území. Genetická variabilita mezi jedinci umožňuje druhům se snáze adaptovat na změny životního prostředí (Primack et al., 2011).

V dnešní době se snižuje počet vitálních druhů z důvodu dosažení vysokých výnosů. Konvenční zemědělství využívá sníženou genetickou diverzitu, která je způsobena pěstováním monokultur závislé na chemických vstupech. Na druhé straně, ekologické zemědělství se snaží vyhledávat odrůdy použitelné v klimatických či půdních podmínkách (Šarapatka & Urban, 2006).

### ***Druhová diverzita***

Důležitá a prakticky uchopitelná úroveň je druhová diverzita. Zahrnuje všechny druhy živých organismů nalézající se na Zemi. Vyjadřuje druhovou pestrost (počet druhů ve sledovaném společenstvu) a vyrovnanost společenstva (poměrné rozdělení jedinců do druhů). Například tropické deštné pralesy suchozemských ekosystémů se projevují vysokou druhovou diverzitou. Povrch planety Země pokrývají pouhými 7 %, avšak jsou domovem největšího podílu světového počtu druhů. z vodních ekosystémů jsou to korálové útesy nacházející se v tropických oblastech (Švecová et al., 2007).

Dále je schopna poskytovat rozličné zdroje, které lidstvo může využívat v případě nutnosti (např. léky, stavební materiál z rostlinných a živočišných produktů, léčiva atd.). s druhovou diverzitou souvisí pojem druh. Druh lze definovat jako skupinu jedinců, kteří jsou morfologicky, fyziologicky a biochemicky odlišní od ostatních skupin (Primack et al., 2011).

### ***Biotopická diverzita***

Biotopická diverzita představuje rozmanitost biotopů v krajině, jakými jsou krajinné prvky (remízky, meze, mokřady, okraje polí atd). Tato místa jsou chráněna před pesticidy a chemickými vstupy živin, a tudíž mohou poskytovat ochranu ohroženým rostlinným a živočišným druhům, které se dříve vyskytovaly na obhospodařované půdě. Přírodní krajinné prvky ovlivňují biodiverzitu i zemědělce mající přímý vliv na krajinu, kterou obhospodařují, ale i na širší okolí. Tato úroveň biodiverzity zvyšuje jak druhovou diverzitu, tak i udržuje přirozené druhové bohatství (Šarapatka & Urban, 2006).

### ***Ekosystémová diverzita***

Ekosystémová diverzita je úroveň biodiverzity označující celé ekologické systémy, které tvoří strukturu krajiny v jednotě živé složky společenstva a jeho biotopu. (Šarapatka & Urban, 2006). S ekosystémovou diverzitou má spojitost ekosystém a společenstvo. Ekosystém je část biosféry zahrnující vzájemně závislé rostliny a živočichy a jejich fyzikální a chemické prostředí založené na výměně látek a toku energie. Každý ekosystém má specifické ekologické funkce, které jsou pro udržení života na Zemi klíčové. Biologické společenstvo představuje soubor populací různých druhů vyskytujících se v určitém čase a prostoru mezi nimiž jsou vzájemné vztahy.

### **3.1.2 Typy biodiverzity dle prostorového měřítka - $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$**

Whittaker (1972) popsal tři úrovně pro měření biodiverzity v prostorových měřících, kterými jsou alfa -  $\alpha$ , beta -  $\beta$  a gama -  $\gamma$  diverzita.

Alfa diverzita hodnotí rozmanitost druhů na úrovni jednoho typu stanoviště nebo společenstva v dané oblasti. Lze ji také jednoduše vyjádřit jako prostý počet druhů na stanovišti.

Beta diverzita popisuje rozdíly v druhovém složení mezi jednotlivými stanovišti nebo podél nějakého gradientu (např. zeměpisného, vlhkostního, nadmořské výšky apod.). Příkladem může být druhové složení společenstva podmáčených luk, které si bude podobné na blízkých loukách a beta diverzita těchto stanovišť bude nízká. Při srovnání druhového složení společenstev podmáčené louky s loukami v horských oblastech se bude beta diverzita zvyšovat, což je způsobeno nízkým zastoupením společně se vyskytujících druhů.

Gama diverzita je podobná jako alfa diverzita, ale odlišuje je dané měřítko. Gama diverzita se zabývá počtem druhů v rámci velkých území. Lze říci, že se jedná o diverzitu na úrovni regionu či krajiny (Šarapatka et al., 2010).

### **3.1.3 Faktory ovlivňující biodiverzitu**

Existují primární a sekundární faktory, které zahrnují klimatické, geografické a geologické faktory mající značný vliv na správnou funkčnost biodiverzity.

#### **3.1.3.1 Geografické faktory**

##### ***Zeměpisná šířka***

Nejzásadnějším geografickým faktorem je zeměpisná šířka. S narůstající zeměpisnou šířkou klesá počet druhů na jednotku plochy. Z hlediska druhové rozmanitosti jsou ekosystémy v tropických oblastech pestřejší a bohatší, zatímco polární oblasti a pouště jsou výrazně chudší.

##### ***Nadmořská výška***

Podstatnou roli hraje také nadmořská výška, kdy s rostoucí nadmořskou výškou klesá druhová početnost. Tato skutečnost je dána vlivem malé rozlohy a izolací, protože vysokohorská společenstva zaujímají menší území a větší izolovanost.

##### ***Hloubka ve vodním prostředí***

Biologická rozmanitost ve vodním prostředí závisí na hloubce vody. S přibývajícím hloubkou přirozeně ubývá druhů, ale u dna je druhová rozmanitost velmi výrazně větší. Begon et al. (1997) uvádí, že druhové bohatství bentických bezobratlých se mění různě v závislosti na hloubce. Neexistuje jednotný gradient, ale druhové bohatství je největší v hloubce 2000 m, což odpovídá hranici kontinentálního šelfu. Ve vyšších hloubkách, tedy za kontinentálním šelfem, druhová bohatost klesá vlivem nedostatečných potravních zdrojů.

#### **3.1.3.2 Primární faktory**

##### ***Proměnlivost podnebí***

Z hlediska klimatických faktorů ovlivňuje biodiverzitu klimatická proměnlivost. Tento ukazatel závisí na předvídatelnosti nebo nepředvídatelnosti této proměnlivosti. V sezónně předvídatelném prostředí se jednotlivé druhy mohou přizpůsobit určitým sezónním podmínkám. Následně v takovém prostředí koexistuje větší počet druhů než v běžném

prostředí. Například jednoleté rostliny mírných pásem klíčí, rostou, kvetou a vytváří semena v rozličných obdobích sezónního cyklu. Naopak ve stálých prostředích se nacházejí takové možnosti pro specializace druhů, které se nevyskytují v sezónních prostředích (Begon et al., 1997).

V suchozemských společenstvech je druhová bohatost obvykle nejvyšší ve slunných, nízko položených oblastech s dostatečným úhrnem srážek (Primack et al., 2011). Podle některých studií se zdá, že druhové bohatství roste s rostoucí stabilitou klimatu. Například u ptáků, savců a hlemýžďů obývajících západní pobřeží Severní Ameriky byl zaznamenán pokles druhového bohatství kvůli zvyšujícímu se rozptylu průměrných měsíčních teplot (Begon et al., 2010).

### ***Disturbance***

Dalším zajímavým faktorem je disturbance neboli opakované narušení daného stanoviště, které vede k poškození až vyhynutí některých jedinců. Účinek disturbance může vést ke snížení alfa diverzity narušeného stanoviště, ale místo toho vytváří podmínky života vhodné pro jiné druhy, což následně zvyšuje beta diverzitu i gama diverzitu celého místa. Například dopadnutí protitankové střely zničí část lesa, ale vznikne uprostřed lesa otevřený otvor.

Disturbance mohou být ovlivněny abiotickými příčinami (požáry, bouře, sesuvy půdy), ale také mohou být způsobeny činností jiných organismů (rochníci se divoká prasata), působením predátorů či parazitů, ale i lidskou činností (vykácení lesů nebo těžba nerostných surovin). Pozitivní působení disturbance na diverzitu může být například kosení lučních porostů. Proto nejvyšší druhovou bohatost lze očekávat ve společenstvech, kde disturbance není ani příliš vzácná, ani příliš častá (Begon et al., 2010).

### ***Produktivita prostředí***

Produktivita je členěna na primární a sekundární produktivitu. Primární produktivita (produktivita rostlin) je závislá na dostupnosti živin nebo jiných podmínkách omezujících jejich růst. v závislosti na zvyšující se intenzitě světla, průměrné teplotě a délce vegetačního období stoupá od polárních oblastí k tropickým oblastem. Sekundární produktivita je produkce biomasy, pod kterou spadají heterotrofní organismy. Především vychází z primární produktivity odrážející množství zdrojů, které jsou dostupné pro organismy na nejnižších úrovních potravních řetězců (Begon et al., 2010).

Přírůstek produktivity s množstvím dostupných zdrojů může směřovat k větší druhové bohatosti. Pokud se zvýší množství zdrojů, ale nevzroste jejich diverzita, v důsledku toho se

může nacházet v oblasti více jedinců jednotlivých druhů, ale nikoli větší počet druhů. Na druhé straně je možné, že původně vzácné druhy s větším množstvím zdrojů jsou dostatečně abundantní. Díky tomu se ve společenstvu objevují nové a specializované druhy a druhové bohatství se zvyšuje (Begon et al., 2010).

Brown a Davidson (1977) ukazují, že ve skutečnosti druhové bohatství narůstá s rostoucí produktivitou. Například v jihozápadních pouštích Spojených států amerických je velmi pevná a pozitivní korelace mezi srážkami a druhovým bohatstvím mravenců a malých hlodavců živící se semeny. V suchých oblastech úzce souvisí roční úhrn srážek s primární produktivitou a s množstvím dostupných semen. Ve společenstvech na druhově bohatých stanovištích se nacházejí velké i malé druhy mravenců. Vede to k tomu, že živočichové v produktivnějších oblastech mají daleko širší spektrum velikostí semen, nebo množství semen je dostatečně velké na to, aby uživily další druhy konzumentů (Begon et al., 1997).

Mnohem obtížnější je objasnit pokles druhové rozmanitosti doprovázející zvýšení produktivity. Rosenzweig (1971) popisuje tzv. „paradox obohacování.“ Vysvětlením tohoto paradoxu je, že vyšší produktivita způsobuje rychlejší růst populací, což vede k urychlenému vymírání populací některých druhů, díky zvýšenému principu konkurenčního vyloučení. Řada studií ukazuje, že vztah mezi produktivitou a druhovou bohatostí může být unimodální. Unimodální vztah znamená, že nejprve dochází k nárůstu druhové bohatosti a poté klesá s růstem produktivity, tedy druhové bohatství je největší při střední produktivitě prostředí. Například kulturní eutrofizace vod vykazuje pokles diverzity fytoplanktonu a růst produktivity (Begon et al., 1997).

### **3.1.3.3 Sekundární faktory**

#### ***Rozsah predace ve společenstvu***

Predace může zvýšit druhové bohatství tím, že umožní méně kompetičním druhům přežít vedle silnějších druhů. Při vysoké predaci může docházet k úplnému vyhynutí kořisti a projeví se to snižující se diverzitou společenstva. Předpokládá se, že při střední intenzitě predace dochází k nejvyšší míře druhového bohatství, díky existenci unimodálního vztahu mezi intenzitou predace a druhovým bohatstvím společenstva (Begon et al., 2010).

#### ***Rozsah mezidruhové kompetice***

Konkurence mezi druhy v průběhu delší evoluce může vést k diferenciaci ekologických nik, specializaci, a dokonce i ke speciaci a vzniku nových druhů (Šarapatka et al., 2010).

Mezidruhová konkurence je základem evoluční ekologie, ale také je vnímána jako hnací síla přirozeného výběru, proti které musí bojovat všechny organismy, aby byly schopné přežít a rozmnožovat se (Gliessmann, 2014).

### ***Prostorová heterogenita***

Početnější druhy se vyskytují v prostorově rozmanitějších prostředích, s větším spektrem mikroklimat a v prostředích, která nabízí vyšší ochranu před predátory. Vysoká heterogenita představuje větší rozmanitost zdrojů. V některých případech druhová bohatost může souviset s prostorově abiotickou heterogenitou. Studie na rostlinných společenstvech prokázala pozitivní vztah mezi druhovou bohatostí a prostorovou heterogenitou. Rostliny rostoucí na různém povrchu s odlišnými půdními typy budou obsahovat více druhů než společenstvo pokrývající rovný povrch s homogenní půdou (Begon et al., 1997, 2010).

### ***Sukcesní vývoj***

Sukcese je progresivní proces změny druhového složení, chemického složení půdy, struktury společenstva a mikroklimatických vlastností, ke kterým dochází po disturbanci biologického společenstva (Primack et al., 2011). Podle Begona et al. (1997) studie rostlinných společenstev ukázaly, že biodiverzita postupně roste během sukcese. Tato zákonitost obecně platí při sukcesním vývoji. V raných fázích sukcese se biodiverzita většinou zrychluje, ale v blízkosti klimaxu (finální stádium sukcese) může klesat z důvodu několika dominantních druhů (tzv. ekologických dominant). Existence sukcese je nutným důsledkem toho, že oblasti kolonizují druhy ze sousedních společenstev, která se vyskytují v pozdějších fázích sukcese. Nejen, že sukcese doplňuje stanoviště o nové druhy, ale také nahrazuje druhy stávajícími (Begon et al., 1997).

### ***Stáří prostředí***

Vývojové stáří ekosystému je dlouhotrvající a nenarušený vývoj přispívající ke specializaci druhů a tím dochází i k růstu jejich počtu. Druhová bohatost společenstev může být různá, protože některá společenstva dosáhla více rovnovážnému stavu a jsou druhově bohatší než jiná. Mnoho vědců se domnívá, že tropické oblasti jsou druhově bohatší než oblasti mírného pásma, protože existují déle, tudíž jejich evoluční proces mohl trvat delší dobu. Naproti tomu mírné pásmo se nadále zotavuje z pleistocenního období zalednění, při kterých se biomy mírného pásma přemístily směrem do oblastí tropů. Také tropické oblasti byly narušeny během



dob ledových, prostřednictvím klimatických změn na celé Zemi, kvůli kterým se tropické pralesy nacházely pouze v málo refugiích obklopených stepí (Begon et al., 2010).

Nižší druhovou bohatost v mírném pásmu ve srovnání s tropickým pásmem lze vysvětlit také tím, že tropické druhy se vyvíjejí daleko rychleji díky vyššímu počtu mutací v teplejším prostředí. Wright (1972) porovnával evoluční rychlosti mezi páry příbuzných druhů dřevin. První druh pocházel z tropů a druhý druh z mírného pásma. Na základě míry nukleotidové substituce na určitých částech DNA se určila rychlost evoluce, kde byla u tropických druhů více než dvojnásobně rychlejší (Begon et al., 2010).

### ***Ostrovní biogeografie***

Ostrovní biogeografie představuje teorii, která popisuje změny živočišných a rostlinných druhů na ostrovech v závislosti na rozloze a odlehlosti biotopů od pevniny. Vychází ze vztahu mezi rozlohou a počtem druhů, kdy počet druhů roste s velikostí ostrova. MacArthur a Wilson navrhli rovnovážnou teorii ostrovní biogeografie, podle níž je počet druhů na ostrově určen rovnováhou mezi imigrací a vymíráním. Druhy opakovaně vymírají a jsou nahrazovány buď stejnými druhy, nebo jinými druhy. Z této teorie vyplývá, že velké ostrovy obývá větší počet druhů než na malých ostrovech. Čím je ostrov vzdálenější, tím je na něm menší zastoupení druhů (Begon et al., 2010).

## **3.2 Biodiverzita na Zemi**

V současnosti je na světě popsáno přibližně 1,7 miliónů druhů organismů. Skutečný počet se odhaduje v rozmezí 5-30 miliónů (Laštůvka & Krejčová, 2000). Je zajímavé, že každým rokem je zaznamenáno asi 20 000 nových druhů. Biologicky nejrozmanitějšími prostředími na Zemi zaujímají tropické deštné pralesy, korálové útesy, tropická jezera a hluboká moře. Podle Primack et al. (2001) je v tropických pralesích diverzita způsobena především množstvím živočišných druhů patřících do určitých taxonomických skupin, hlavně hmyzu. Ačkoli tropické deštné pralesy zabírají malou celkovou plochu kontinentu, obsahují polovinu světového druhového bohatství. V hlubokém moři a na korálových útesech zahrnuje rozmanitost organismů širší spektrum kmenů a tříd. Prokazuje se, že pro velkou část organismů je typický nárůst druhové diverzity směrem k tropickým oblastem. Například Thajsko se vyznačuje vysokou abundancí druhů savců (265 druhů), zatímco ve Francii žije pouze 93 druhů, přestože mají tyto země přibližně stejnou rozlohu.

Na celé Zemi se vyskytuje mnoho neznámých a neobjevených druhů mořského života, bakterií a dalších organismů. Na druhé straně, jsou stále objevenována nová společenstva existujících na místech, která jsou extrémně odlehlá a lidem nepřístupná. Pak zvláště hluboko v mořích a v korunách stromů se našla neobvyklá společenstva (Primack et al., 2001).

### 3.3 Biodiverzita v České republice

V dnešní době je na území České republiky známo 80 000 druhů (40 000 druhů hub, 24 000 druhů hmyzu, 3 500 druhů cévnatých rostlin, 8 000 druhů ostatních bezobratlých a 711 druhů obratlovců). V České republice se nové druhy vyskytují především mezi bezobratlými. Ve výjimečných případech i mezi cévnatými rostlinami, např. vláskatec tajemný (*Trichomanes speciosum*), dále mezi tzv. kritickými taxony. Podle kritéria IUCN (Světový svaz pro ochranu přírody) je klasifikována třetina těchto druhů jako ohrožená. Je tedy důležité si uvědomit, že je nutné vynaložit veškeré úsilí na jejich ochranu.

Česká republika leží v srdci Evropy. Je obklopena různorodostí druhů ze všech světových stran, proto je velmi variabilní. V menším měřítku Česká republika vypadá jako pestrá mozaika různých biotopů (louky, lesy, skály, mokřady).

Kromě toho, že má Česká republika velmi bohatou kulturní a historickou krajinu, která přispívá k zachování biologické rozmanitosti, se krajina v průběhu staletí výrazně proměnila v důsledku urbanizace, průmyslového rozvoje, těžby a intenzifikace zemědělství. V současnosti existuje mnoho opatření zaměřených na zachování biodiverzity v různých regionech České republiky, jako je obnova mokřadů, rybníků a lesů, velkoplošné zemědělství a zejména osvěta o ochraně přírody.

### 3.4 Agroekosystémy

Agroekosystémy představují soustavy hospodářsky významných rostlinných a živočišných druhů, které funkčně souvisí s okolním prostředím za účelem zemědělské produkce. Jsou člověkem uměle řízeny a udržovány v raném stádiu sukcese. Jsou zcela ovlivněny antropogenními vlivy, především výběrem druhů, dodatkovou energií (hnojení, lidská práce) a disturbancí (Martinková a kol., 2008). Představuje specifický typ prostředí, který lze charakterizovat jako zemědělskou biodiverzitu neboli agrobiodiverzitu (Šarapatka et al., 2010).

Právě v agroekosystémech dochází k disturbanci mnohem častěji a pravidelněji než v přírodních ekosystémech. Agroekosystémy mohou jen zřídka pokročit ve svém sukcesním vývoji velmi daleko, protože se zvyšuje závislost na lidských vstupech a mění se tok energie a účinnost koloběhu živin. Z těchto důvodů jsou agroekosystémy považovány za méně rezistentní a pružné než přírodní ekosystémy. Proto je složité zachovat rozmanitost agroekosystému (Gliessmann, 2014). Jsou uměle obohacovány živinami prostřednictvím významných vstupů z hlediska hnojení a zavlažování, aby byla zajištěna optimální produkce plodin a biomasy (Gaba et al., 2014).

### **3.4.1 Stabilita agroekosystému**

Stabilita agroekosystému je charakterizována jako schopnost agroekosystému odolávat změnám a udržovat své funkce a produkci při různých vlivech, jako jsou změny klimatu, ztráta biodiverzity, nadměrné používání hnojiv a pesticidů, eroze půdy a mnoho dalších faktorů. Stabilita obvykle představuje relativní absenci výkyvů v populaci organismů systému, tedy ustálený stav (Gliessmann, 2014). Hodnocení stability ekosystému je založeno na dvou vlastnostech, jakými jsou rezistence a resilience. Rezistence (odolnost) popisuje schopnost ekosystému odolávat narušení. Čím menší je rozdíl mezi stavem před a po disturbanci, tím je ekosystém odolnější. Agroekosystémy se vyznačují velmi nízkou rezistencí. Resilience (pružnost) vyjadřuje schopnost ekosystému zotavit se z narušení a dostat se zpět do původního stavu (Šarapatka et al., 2010).

Z ekologického hlediska se obsáhle diskutuje o vztahu mezi diverzitou a stabilitou. Lze říci, že mezi nimi existuje určitá souvislost – znamená to, že čím je ekosystém rozmanitější, tím je odolnější vůči změnám a má lepší schopnost se zotavit z disturbance (Gliessmann, 2014). Dále stabilitu agroekosystému lze zlepšit udržitelnými zemědělskými postupy, jako je integrované zemědělství, ochrana půdy, zachování vodních zdrojů, zlepšení biologické rozmanitosti či minimalizace využívání hnojiv a pesticidů.

### **3.4.2 Biodiverzita v agroekosystémech**

Výsledná biologická rozmanitost v agroekosystémech závisí na diverzitě vegetace v samotné agroceóze i v okolních biotopech, pěstovaných plodinách, systémovém hospodaření a izolaci zemědělských ploch od přirozených ekosystémů krajiny (Šarapatka a kol., 2010). Klíčovou roli v řízení celého systému je vytvoření komplexnějšího a rozmanitějšího agroekosystému, protože pouze vysoká rozmanitost přináší prospěšné interakce (Gliessmann, 2014).

Biodiverzita v agroekosystémech umožňuje zemědělství dosahovat vyšších zisků v produktivitě a zodpovídá za regulaci škůdců, změn klimatu a přírodních katastrof. Přispívá k lepšímu zajištění udržitelného živobytí na místní, národní a globální úrovni. Také pomáhá snížit tlak zemědělství na ohrožené druhy, což má za následek zachování struktury ekosystémů a stability druhové diverzity (Trajkova et al., 2021). Mnoho studií také prokazuje význam biodiverzity pro poskytování ekosystémových služeb, kdy například rozmanitost plodin zvyšuje výživu lidí nebo rozmanitost krycích plodin zlepšuje rostlinnou biomasu (Wood et al., 2015). Lze také říci, že i v agroekosystémech, a to především v jejich zemědělské krajině se objevuje velký počet druhů (např. některé vzácné či ohrožené druhy), jejichž existence je závislá na managementu uskutečňovaném zemědělcem (Boháč, 2013).

Z hlediska stability a produktivity se na biodiverzitě v agroekosystémech podílí zvýšení biologické rozmanitosti celých trofických sítí, zvýšení výskytu mutualistických a bioregulačních interakcí, pozitivní vliv biogeochemických procesů, obsazení nik autochtonními a žádoucími druhy a koexistence herbivorů a jejich bioregulátory.

#### **3.4.2.1 Zvýšení biodiverzity celých trofických sítí**

Trofické sítě neboli potravní sítě jsou zásadním ukazatelem dynamiky společenstev v agroekosystémech (Shennan, 2007). Jsou prostředkem přenosu energie a hmoty, a zároveň jedním z nejvýznamnějších způsobů mezidruhové interakce (Loreau, 2010).

V biologických společenstvech se vyskytuje jeden druh, který se živí více druhů na nižší trofické úrovni, konkuruje o potravu s několika druhy jsoucí na stejné úrovni a je kořistí odlišných druhů na vyšší trofické úrovni. V tomto případě se hovoří o potravních sítích (Primack et al, 2011).

V poslední době byly vytvořeny modely potravní sítě zahrnující evoluční procesy (Brännström et al, 2010). Cílem těchto modelů je zharmonizovat vlastnosti na úrovni druhů s nově vznikajícími vlastnostmi struktury a dynamiky trofických sítí na úrovni společenstva.

Loreau (2010) spolu s Thébaultem vyvinuli model, který je vhodný pro obecnou analýzu vztahu mezi biodiverzitou a produktivitou ekosystémů v potravních řetězcích. Ve svém mechanickém modelu zjistili, že změny v biologické rozmanitosti mohou ovlivňovat fungování ekosystému prostřednictvím trofických interakcí mezi druhy (Thébault & Loreau, 2003). Kromě toho se změny v diverzitě na jedné trofické úrovni mohou šířit do vyšších a nižších trofických úrovní, což ovlivňuje biodiverzitu všech trofických

úrovní v potravních sítích (Gliessmann, 2014). Závěrem této analýzy je, že účinky druhové bohatosti na vlastnosti ekosystému jsou velmi závislé na struktuře potravní sítě (Loreau, 2010). Například míra symbiotické fixace dusíku je dána aktivitou více trofických úrovní. Leguminózy přináší výrazné pozitivní účinky v rámci agroekosystému. Fixují vzdušný dusík pomocí symbiózy s hlízkovými bakteriemi na jejich kořenech. Dále hlístice živící se kořeny mohou inhibovat fixaci vzdušného dusíku tím, že se živí kořeny a snižují počet kořenových hlíz potřebných pro fixaci dusíku (Wood et al., 2015). Trofické sítě hrají důležitý význam v agroekosystémech, jako je ochrana proti škůdcům a chorobám (Gliessmann, 2014).

Begon et al. (2010) ve vztahu se strukturou potravní sítě a stabilitou společenstev tvrdí, že dynamika souhrnných vlastností (např. produktivita a biomasa) je v bohatších společenstev stabilnější. To potvrzuje i Tilmanovo vědecké zkoumání (1996) minnesotských luk, které také ukazuje pozitivní dopad druhové pestrosti na stabilitu biomasy společenstva (Begon et al., 2010). Se stabilitou společenstev a trofickou strukturou velmi úzce souvisí dvojí vlastnost – rezistence a pružnost. Rezistence představuje schopnost odolávat změnám. Pružnost je schopnost obnovit se z disturbance a navrátit se do původního stavu. Díky tomu jsou společenstva odolnější vůči změnám a lépe se dokážou zotavit z disturbance. Obecně platí, že čím je společenstvo složitější a druhově rozmanitější, tím je rezistence a odolnost silnější (Gliessmann, 2014). Naopak společenstva s kratšími potravními řetězci a primitivnějšími trofickými sítěmi jsou obvykle pružnější, ale méně odolné (Šarapatka et al., 2010).

### **3.4.2.2 Zvýšení výskytu mutualistických a bioregulačních interakcí**

Mutualistické interakce jsou schopny nejen koexistovat, ale jsou na sobě navzájem závislé, aby se mohly optimálně vyvíjet. Ve složitých přírodních společenstvech jsou mutualistické vztahy mezi organismy různých druhů běžnou záležitostí, neboť vytvářejí složité závislosti mezi členy společenstev. Jsou klíčem k úspěšnému vytvoření udržitelných zemědělských systémů, které vyžadují méně externích vstupů a lidských zásahů. Nárůst mutualismu zvyšuje odolnost agroekosystému vůči negativním vlivům škůdců, chorob a plevelů (Gliessmann, 2006). Mohou efektivněji alokovat zdroje, zvýšit celkovou produktivitu a významně přispět k biologické rozmanitosti.

Co se týče bioregulačních neboli biotických interakcí, jsou to vztahy mezi organismy navzájem. Zahrnují dopady živého prostředí na organismy a jsou významným faktorem ovlivňující biodiverzitu (Michalet & Touzard, 2010). Mezi biotické interakce organismů se řadí neutralismus, kompetice, komensalismus, amensalismus, mutualismus, parazitismus a predace. Tyto interakce zásadně ovlivňují zvyšování nebo snižování biologické

rozmanitosti. V agroekosystémech jsou zemědělci v jistém slova smyslu nepostradatelnými organismy zajišťující agrotechnické a pěstební předpoklady všem plodinám. Mění a přizpůsobují podmínky fyzikálního a biologického prostředí podle potřebám plodiny či plodin. Aby toho bylo udržitelně dosaženo, musí zemědělci porozumět biotickým interakcím agroekosystému (Gliessmann, 2014).

Vzhledem k tomu, že pozitivní interakce zmírňují stres či disturbanci, tudíž facilitace (tj. raně sukcesní druhy zlepšují dostupnost zdrojů a stanovištní podmínky novým migrantům) souvisí se vztahem mezi biodiverzitou a biomasou, která způsobuje zvyšování druhového bohatství v narušených prostředích (např. alpské louky, aridní a polosuchá prostředí). Ačkoliv ve skutečnosti intenzita facilitace se snižuje s rostoucím stresem nebo disturbancí v nejobtížnějších podmínkách (Michalet & Touzard, 2010). Hacker a Gaines (1997) uvádí, že pozitivní interakce zvyšují biodiverzitu tím, že usnadňují přežití druhům, které za normálních podmínek nemohou přežít silnou disturbanci, stres nebo predaci. Řada experimentálních studií prokázala, že bioregulační interakce patří mezi hlavní procesy, jejichž prostřednictvím biodiverzita ovlivňuje produktivitu a stabilitu (Michalet & Touzard, 2010).

### **3.4.2.3 Pozitivní vliv biogeochemických procesů**

Biogeochemický cyklus představuje pohyb chemických prvků, který neustále probíhá mezi biotickým a abiotickým prostředím (atmosférou, litosférou a hydrosférou). Název „biogeochemický“ proto, že se na tomto procesu podílejí biologické, geologické a chemické faktory. Biogeochemické procesy jsou složité a vzájemně propojené. V ekosystémech cirkuluje mnoho živin, z nichž jsou nejdůležitější: uhlík (C), dusík (N), kyslík (O), síra (S) a fosfor (P; Gliessmann, 2014). V hlavních globálních biogeochemických cyklech hraje klíčovou roli půdní prostředí, které je schopno utvářet nejrozmanitější organismy na souši. Jsou nedílnou součástí těl živých organismů (Moldan, 2015). Organismy jsou také schopné řídit energetické toky a biogeochemické cykly (Loreau, 2010). Součástí koloběhu látek je jejich mobilizace, transport prostředím, přeměna, chemické, fyzikální a biologické reakce (Moldan, 2015). Biodiverzita pozitivně ovlivňuje fungování ekosystému, včetně primární produktivity a koloběhu živin (Smith et al., 2015).

## ***Dusík***

Dusík (N) patří mezi nejdůležitější rostlinnou živinu nesoucí významnou úlohu pro životní prostředí. Ačkoli rostliny vyžadují velké množství dusíku, přitom se řadí mezi nejčastěji nedostatkovou živinu. Je přítomen ve všech aminokyselinách, proto je hlavní složkou bílkovin (Gliessmann, 2014).

Podle Koller-France et al. (2021) byl dobře prokázán vztah mezi biodiverzitou a dusíkem v experimentech studující účinky biodiverzity na ekosystémech. Množství N uvolněného za jednotku času závisí na celkovém uložení N v půdě spolu s dalšími faktory (hodnota pH, půdní vlhkost, kvalita substrátů; Koller-France et al., 2021).

Oelmann et al. (2011) prováděli pokusy na trvalých travních porostech, kde hodnotili ukládání N ve formě dusičnanů a jejich vliv na biodiverzitu. Zjistili, že čím vyšší počet druhů rostlin je, tím nižší je koncentrace dusíku v půdě. Pokud rostliny přijímají více dusíku, tudíž v půdě se ho vyskytuje v menším množství. Také při vyšší biodiverzitě rostlin se zvyšuje produkce rostlinné biomasy. V důsledku toho se v půdě dostupnost dusičnanu amonného ( $\text{NO}_3$ ) snižuje s rostoucí biodiverzitou rostlin. Ekosystémy bohaté na živiny vyplavují méně dusíku do podzemních vod, což chrání kvalitu sladkovodních ekosystémů (Oelmann et al., 2011).

## ***Fosfor***

Dalším globálním prvkem je fosfor (P). Fosfor je nezbytnou součástí nukleových kyselin, fosfolipidů a ATP. Fosfor ve formě fosfátů se nachází v některých enzymech, které katalyzují metabolické reakce (např. metabolismus cukrů v rostlinách). Fosfor je absorbován ve formě fosfátů z půdního roztoku prostřednictvím kořenů rostlin (Gliessmann, 2014).

Přítomnost fosforu v půdě je v mnoha suchozemských ekosystémech rozhodující pro produktivitu rostlin. V důsledku rostoucího vlivu druhové bohatosti na aktivitu půdní fosfatázy je pozitivně spojen se zvýšenou produktivitou rostlin (Chen et al., 2022). Podobně jako u dusíku, lze získat větší množství rostlinné biomasy v rozmanitějších systémech tím, že vzniká z většího příjmu fosforu rostlinami (Koller-France et al., 2021). I když jsou fosforečnany v roztoku dobře dostupné a jsou přijímány rostlinami, je ve většině půd relativně nízká dostupnost P. Na základě výsledků Chena et al. (2022) naznačují, že zachování rozmanitosti rostlin zvyšuje aktivitu fosfatázy v půdě a dostupnost fosforu.

Celkově lze říci, že biogeochemické procesy jsou klíčové pro udržení biodiverzity v agroekosystémech. Je to dáno tím, že různé druhy mikroorganismů a rostlin jsou

závislé na biogeochemických procesech a přispívají k zachování životaschopnosti agroekosystémů.

#### **3.4.2.4 Obsazení nik autochtonními a žádoucími druhy**

Ekologická nika představuje postavení druhu v ekosystému a zahrnuje požadavky druhu na stanoviště a jeho funkční roli (Polechová & Storch, 2008). Jedná se o souhrn podmínek a zdrojů, které konkrétní organismus potřebuje a toleruje. Je to rozmezí ekologických faktorů, ve kterých může organismus uplatňovat svoje životní a důležité projevy a ekologické funkce. Polechová & Storch (2008) definují ekologickou niku jako část ekologického prostoru, kde může populace druhu přežít, ovlivňovat své prostředí a využívat zdroje. Nicméně rozsah jejich populace může být kontrolován biologickými faktory, jako je predace, konkurence či parazitismus. V důsledku toho, se niky v ekosystému utvářejí a vyvíjejí podle toho, jak se tyto faktory mění.

Přednostní obsazení nik autochtonními (původními) a žádoucími druhy je klíčovým principem ochrany přírody a udržitelného hospodaření s ekosystémy. Autochtonní neboli původní druhy jsou druhy, které se přirozeně vyskytují v určitém ekosystému. Tyto druhy mají určitou výhodu před introdukovanými druhy, protože se lépe přizpůsobují lokálním podmínkám a jsou součástí původního ekosystému. Také hrají významnou roli při zachování biologické rozmanitosti a ekologické stability. Například v zemědělství by měly být upřednostňovány autochtonní plodiny a odrůdy, protože jsou nejvíce přizpůsobeny lokálním a klimatickým podmínkám. Adaptace těchto druhů také snižuje potřebu používání pesticidů, díky čemuž se zvyšuje výnosnost.

Na druhé straně se v ekosystému vyskytují škůdci a plevelné druhy, které často představují cizí druhy zavlečené do nového prostředí, v němž jsou schopné se velmi rychle rozšířit. (Mooney & Meyerson, 2007). V důsledku toho, mohou invazní druhy velmi dobře profitovat, pokud negativní interakce mezi druhy upřednostňuje právě již zmiňované invazní druhy před autochtonními druhy. Například hořčice česneková (*Alliaria petiolata*) prakticky eliminuje kolonizaci arbuskulárními mykorhizními houbami, což drasticky snižuje regeneraci některých autochtonních druhů dřevin (Mooney & Meyerson, 2007).

Plevelné druhy a škůdci mohou způsobit vážné ekonomické i ekologické škody, a především ohrozit biologickou rozmanitost a ekosystémy. Je tedy důležité, aby se při hospodaření s ekosystémy brala v úvahu ekologická nika a byly přednostně preferovány autochtonní druhy před agresivními invazními druhy. Při zachování a obnově ekosystémů a biodiverzity s využíváním autochtonních druhů jsou udržitelné ekosystémy



odolnější vůči změnám a schopné poskytovat ekosystémové služby současným i budoucím generacím.

#### **3.4.2.5 Koexistence herbivorů s jejich bioregulátory**

Z důležitých biotických interakcí se pro vysvětlení koexistence rostlinných druhů ve společenstvu uvádějí herbivoři, kteří jsou schopni měnit mezidruhovou konkurenci (Kempel et al., 2015). Herbivorie (býložravost) je konzumace částí rostlin živočichy. Je jednou z nejvýznamnějších vztahů rostlin a živočichů. Býložravci ovlivňují stav a fitness rostlin. Působí na populace rostlin přímo pastvou, ale také sešlapáváním a narušením vegetace.

Herbivoři se rozdělují na generalisty a specialisty. Většina herbivorů jsou potravní specialisté, což způsobuje snížení kompetice mezi herbivory a potravní sítí. Specialisté jsou typem herbivorů, kteří nahrazují ztrátu rostlinného druhu nárůstem predace jiných druhů. Na úrovni specializovaných populací býložravců přispívá rozrůzněnost potravních nik k výrazné ztrátě stability.

Naproti tomu generalisté, kterým chybí kompenzační schopnost, se mezi nimi konkurence zvyšuje s rostoucí diverzitou, a to způsobuje pokles stability jak na úrovni ekosystému, tak i na úrovni populace. Dále mohou podporovat koexistenci, pokud je jejich spotřeba konzumace závislá na abundanci rostlin, kde početnější druhy ubývají více než ty méně početné, následně je to považováno za tzv. stabilizační mechanismus (Kempel et al., 2015). Stabilizační mechanismy na rostlinných společenstvech jsou primárně řízeny specializovanými býložravci udržující hustotu hostitelských rostlin. Tyto mechanismy mohou být ovlivněny i generalistickými býložravci, kteří mění hostitelské nebo živné druhy rostlin a neúměrně se živí nejpočetnějšími druhy. Pokud se rostliny nacházejí ve společenstvu jako bujněji rostoucí a zároveň nejméně chráněné, pak herbivoři podporují koexistenci tím, že selektivně konzumují tyto rostliny, čímž se snižují průměrné rozdíly ve fitness mezi druhy, což prokazuje stabilizační vliv herbivorů na rostlinné společenstvo (Kempel a kol., 2015). Díky koexistenci herbivorů se značně zvyšuje biodiverzita v agroekosystémech, kdy například s vyšší biodiverzitou býložravců zde nepřevládají patogenní organismy (Urban, Šarapatka et al., 2003).

Koexistence herbivorů a jejich bioregulátorů je klíčovým faktorem pro udržení stability v ekosystémech. Bioregulátory jsou organismy ovlivňující populaci jiných organismů v ekosystému (např. predátoři, parazité nebo patogeny). Tyto organismy mohou ovlivnit početnost populací herbivorů a také ovlivňovat celkovou strukturu a funkci ekosystému. Bioregulátory mohou ve výjimečných případech ovlivnit populace býložravců tím,

že jim pomohou přežít. V jiných případech mohou působit jako limitující faktory pro býložravce (např. činnost bioregulátorů omezuje abundanci herbivorů nebo herbivoři jsou omezeni dostupností potravy). Crawley (1989) potvrzuje fakt, že koexistence herbivorů s jejich bioregulátory je nezbytná pro zachování biologické rozmanitosti v ekosystémech a že změny v populaci jedné skupiny mohou mít důsledky pro celý ekosystém.

### **3.5 Formy hospodaření v zemědělství**

Způsoby hospodaření se v průběhu historie lidstva neustále vyvíjely. Z původních primitivních zemědělských soustav, mezi které se řadily žďárové a úhorové soustavy, způsobily následný industriální vývoj a velkou změnu v zemědělství. Agrotechnické způsoby, jako je zavlažování, střídání plodin a pěstování meziplodin, postupně zvyšovaly efektivitu zemědělství.

Nejrozšířenější formou hospodaření je konvenční zemědělství, které se hojně vyskytuje ve vyspělých zemích. V dnešní době se však objevují i další metody, a to zejména alternativní způsoby hospodaření. Nejčastějšími alternativy v zemědělství jsou ekologické zemědělství, integrované zemědělství a v posledních letech se soustředí i na precizní zemědělství.

#### **3.5.1 Charakteristika ekologického zemědělství**

Ekologické zemědělství je moderní forma hospodaření, jehož začátky pocházejí již od první poloviny 20. století. Jeho myšlenkou je produkce zdravých a hodnotných potravin trvale udržitelným způsobem.

V ekologickém zemědělství je kladen velký důraz na životní prostředí a jeho jednotlivé složky. Omezuje či zakazuje používání pesticidů, která zatěžují a znečišťují životní prostředí nebo zvyšují riziko kontaminace potravního řetězce. Pečuje o vnější životní pochody a welfare hospodářských zvířat (Dvorský & Urban, 2014). Ekologické zemědělství má obvykle rozmanitější osevní postupy s širším spektrem pěstovaných plodin. Dále vykazuje výrazně vyšší biomasu a abundanci žížal (Šarapatka & Urban, 2006).

Cílem ekologického zemědělství je zachovávat a zlepšovat půdní úrodnost (tzn. hospodaří s humusem a udržuje úrodnost naší půdy), nepoužívat rychlorozpustná průmyslová hnojiva, syntetické pesticidy, herbicidy a regulátory růstu. Podstatné je také schopnost produkovat hodnotné a kvalitní bioprodukty a krmiva s vysokou nutriční hodnotou v dostatečném množství. V ekologickém zemědělství dochází k cílené minimalizaci

používání agrochemických vstupů (např. neobnovitelné zdroje a fosilní paliva). Především se snaží o udržování přirozených ekosystémů krajiny, o ochranu přírody a její diverzitu (Dvorský & Urban, 2014).

V přírodních podmínkách má největší zastoupení v podhorských a horských oblastech s vysokým podílem trvalých travních porostů (Redlichová et al., 2014). Ekologický způsob hospodaření je v těchto méně příznivých oblastech charakteristické pro extenzivní chov masného skotu, koz a ovcí.

V dnešní době je ekologické zemědělství v České republice schváleným a státem podporovaným systémem zemědělského hospodaření (Redlichová et al., 2014). Od roku 1994 je součástí agrární politiky České republiky. Ekologické zemědělství je zákonem pevně daným systémem s přísnými a kontrolovanými pravidly. Orgán dohlížející na správné dodržování těchto pravidel v České republice je Ministerstvo zemědělství.

### **3.5.2 Charakteristika konvenčního zemědělství**

Konvenční zemědělství neboli intenzivní zemědělství je jednou z forem zemědělského hospodaření, jehož cílem je maximalizovat výnosy produkce a dosáhnout co nejvyššího zisku. Vyžaduje značné množství chemických a energetických vstupů, které silně ovlivňují výnosy pěstovaných plodin. V konvenčním hospodaření se hlavně používají průmyslová a minerální hnojiva, která dodávají živiny pěstovaným plodinám, ale nevyživují půdu. V půdě ubývá organická hmota a začínají se projevovat degradační procesy (např. zhoršování půdní struktury, utužování půdy nebo omezení vsakování vody). Dále se využívají další chemické vstupy jako jsou syntetické pesticidy, růstové regulátory, chemické postřiky proti škůdcům a virovým chorobám a geneticky modifikované organismy.

Konvenční hospodaření se vyznačuje neschopností funkčního ekosystému udržet dynamickou rovnováhu mezi jeho jednotlivými složkami, nízkou úrovní adaptace na prostředí a neustálým narušováním půdního prostředí. Konvenční zemědělství je založeno na pěstování monokultur (pěstování jedné plodiny), které snižují náklady na pracovní sílu, ale díky tomu je především velmi nízká biodiverzita.

### **3.5.3 Vliv rozdílných forem zemědělství na biodiverzitu**

Biodiverzita má velmi silný vliv nejen na ekologické a konvenční zemědělství, ale také i na další metody hospodaření. Je důležitým faktorem zdraví, stability a produktivity zemědělství.

Ekologické zemědělství podporuje pěstování původních druhů rostlin v souladu s ochranou biodiverzity (Boháč et al., 2007). Pozitivní úlohou ekologického zemědělství z hlediska biodiverzity je vytváření podmínek k ochraně neprodučních ekosystémů a volně žijících organismů v nich (z důvodu nepoužívání dusíkatých hnojiv nebo pesticidů). Klíčové je v EZ zvýšit vstupy organické hmoty do půdního prostředí, kam vstupuje dostatečné množství organického hnojiva (chlévkový hnůj, kompost, kejda) a zapraví se posklizňové zbytky. Významné jsou také ekologické dopady na půdu představující příjem živin, stimulace či inhibice odlišných organismů (Urban, Šarapatka et al., 2003). V ekologickém zemědělství se využívá i metoda zeleného hnojení. Je to zaorání nesklizených plodin pro udržení a zvyšování úrodnosti, podporující rozvoj bezobratlých. Je to metoda, která se vyskytuje velmi zřídka v konvenčním zemědělství (Václavík, 2006).

Na druhé straně, konvenční zemědělství nepodporuje biodiverzitu, jelikož se více zaměřuje na používání syntetických a chemických postřiků, aby byly plodiny zdravé a výnosné. Existuje možnost, jak konvenční hospodaření může podpořit biologickou rozmanitost, a to prostřednictvím integrované ochrany proti škůdcům a pěstování meziplodin.

Co se týče hospodaření s půdou, je pro obě rozdílné formy zemědělství velmi významné, protože půda silně ovlivňuje správné fungování celosvětové zemědělské produkce. Zdravá půda je především základním ukazatelem pro zachování biologické rozmanitosti. Zemědělství proto nemůže existovat bez biologické rozmanitosti. Kromě vysoké úrovně biologické rozmanitosti se ekologické zemědělství projevuje také lepší kvalitou půdy. Zlepšuje složení půdy a zabraňuje větrné a vodní erozi tím, že zvyšuje množství rostlinného materiálu a biomasy v půdě. Různé studie ukázaly, že ve všech organických půdách jsou pozorovány vyšší hladiny celkového organického uhlíku, rozpustného organického uhlíku a celkového dusíku. Tyto zvýšené koncentrace živin mohou přispívat potravním řetězcům a množství biomasy v ekologickém systému. Naproti tomu konvenční zemědělství může zlepšit kvalitu půdy používáním udržitelných metod, jako je neobdělávání půdy nebo agrolesnictví. Některé výzkumy naznačují, že pokud konvenční zemědělství omezí agrochemické vstupy, zvyšuje se biodiverzita, půdu činí zdravější a zlepšuje výkonnost plodin.

### **3.5.4 Dopady pěstovaných plodin na biodiverzitu**

Ekologické farmy mají pestřejší a šetrnější osevní postupy s mnohem širší škálou pěstovaných plodin než konvenční zemědělství. Je to dáno tím, že se zaměřují na střídání plodin, které je důležitým prostředkem ochrany proti škůdcům a plevelům (Václavík, 2006). Používání krycích plodin a meziplodin umožňuje zemědělcům zvýšit biologickou rozmanitost.

Pěstují tzv. doprovodné rostliny (plevele), které přinášejí řady srovnání. Např. průzkum ve Švýcarsku odhalil, že na okrajích i uvnitř porostu ekologicky obhospodařovaných ploch se vyskytuje vyšší zastoupení planě rostoucích a plevelných druhů. Tento rostlinný pokryv ovlivňuje i populace hmyzu a poskytuje zázemí a potravu pro včely v zemědělské krajině (Urban, Šarapatka et al., 2003).

Z hlediska biodiverzity je klíčovou úlohou ekologického zemědělství zvyšování biologické rozmanitosti planě rostoucích rostlin, pěstovaných plodin a trvalých travních porostů. Vzhledem k tomu, že v původních travních společenstvech žije podstatně více rostlinných druhů, je význam trvalých travních porostů pro biodiverzitu na zemědělsky obdělávané půdě velmi důležitý (Boháč et al., 2007). Např. louky patří mezi druhově nejbohatší společenstva. Pro louky je typické, že rostlinný materiál není trvale odstraňován jako na pastvinách, ale je několikrát za rok jednorázově sečen a z pozemku odklizen. Směřuje to k tomu, že louky zůstávají po většinu roku nenarušené, což umožňuje rozvoj mnoha rostlinným druhům (např. dozrávání semen druhů rostlin). Diverzita trav a bylin na lučních porostech znamená nejen poskytovat potravu a úkryt hmyzu a půdním organismům, ale také obohacovat seno o minerální látky, vitamíny a další látky. Na druhé straně může dojít k nežádoucímu stavu, pokud luční porosty se neposečou. v porostu se začne hromadit stařina, která zabraňuje růstu semenáčků a nižších rostlin, tím dochází ke snižování biodiverzity. Nesečené luční porosty snadno ovládnou některé agresivní druhy trav a bylin, jako např. pcháč oset (*Cirsium arvense*), rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), šťovík kadeřavý (*Rumex crispus*) nebo medyněk měkký (*Holcus mollis*; Šarapatka & Urban, 2006).

Pastviny se odlišují od lučních společenstev četností odběrů nadzemní biomasy, odrážející se v rostlinném pokryvu. Nejdůležitějšími faktory pastvin jsou odstraňování biomasy rostlin během celého vegetačního období, selektivní spásání rostlin, narušování vegetace sešlapáváním, postupný návrat živin ve formě exkrementů a zhutňování půdy. Extenzivní pastviny se vyznačují menším podílem spásaných ploch, které umožňují rostlinám prosperovat, a poskytují různorodé úkryty a zdroj potravy pro motýly, čmeláky a brouky. Intenzivní pastvy jsou degradovány a v půdách často obohacovány živinami, zejména dusíkem a fosforem (Šarapatka & Urban, 2006). Ekologické pastviny také obsahují více dvouděložných druhů a druhů typických pro trvalé travní porosty než konvenční pastviny (Urban, Šarapatka et al., 2003).

Při hodnocení biodiverzity hrají významnou úlohu kromě trvalých travních porostů i krajinnotvorné prvky (okraje remízků, lesů, polí, cest). Tyto prvky jsou důležitým biotopem a útočištěm pro ohrožené druhy rostlin dříve vyskytující se na loukách, orné

půdě a na pastvinách. Naopak rizikem pro biodiverzitu trvalých travních porostů je intenzivní využívání pastvin a luk, vytlačující kompetičně slabší druhy rostlin. Pokud se TTP příliš hnojí, dochází k posílení počtu některých druhů, zejména trav. Louky a pastviny přestávají být zemědělsky obhospodařovány, tudíž jejich snaha navrátit se do původního stavu je obtížná (Šarapatka & Urban, 2006).

Plodiny v ekologickém hospodaření jsou trvalejší a více rezistentní, protože platí, že čím je větší biologická rozmanitost, tím jsou rostliny odolnější vůči škůdcům a chorobám (Urban, Šarapatka et al., 2003).

Naproti tomu plodiny v konvenčním zemědělství jsou méně účinné při zachování celistvosti zemědělské půdy, protože obhospodařovaná půda se projevuje až trojnásobně vyššími ztrátami půdy. Konvenčně pěstované plodiny jsou náchylnější k chorobám a škůdcům, tudíž zemědělci jsou nuceni aplikovat větší dávky pesticidů (Urban, Šarapatka et al., 2003).

### **3.6 Procesy ohrožující druhovou diverzitu agrocenóz**

Ohrožení druhové diverzity agrocenóz se projevuje značným snížením biologické rozmanitosti vlivem migrace nebo vymírání druhů. Jedním z hlavních cílů ochrany přírody je především zamezit ztrátu biodiverzity. Ochrana krajiny má ve vyspělých zemích velmi dlouholetou tradici, která byla často základním kamenem dnešních ochránářských hnutí na ochranu životního prostředí. S ochranou přírody souvisí i to, že na mezinárodní úrovni působí několik významných organizací orientovaných na ochranu přírody a biologickou rozmanitost, zejména Mezinárodní svaz ochrany přírody (IUCN – International Union for Conservation of Nature) a Světový fond na ochranu přírody (WWF – World Wide Fund for Nature; Moldan, 2021). Mezinárodní svaz ochrany přírody vydal v roce 2012 Červený seznam 63 837 druhů, z nichž 19 817 bylo ohroženo. Celkem je klasifikováno 3 947 kriticky ohrožených druhů, 5 766 ohrožených druhů a více než 10 000 zranitelných druhů. To vše je výsledkem následujících antropogenních aktivit (Sobti, 2022).

Biologická diverzita je stále více ohrožována lidskou činností a jejími dopady na životní prostředí, především zavlečením biologicky invazními druhy, změnami ve zpracování půdy, nadměrným využíváním biologických zdrojů, používáním pesticidů, a v poslední době i změnou klimatu (Loreau, 2010).

### 3.6.1 Ztráta stanovišť

Největší hrozbou pro biologickou rozmanitost je degradace a ztráta přirozených stanovišť. Ztráta stanovišť zahrnuje přímé ničení stanovišť a poškození související se znečištěním a fragmentací. Ke ztrátě biotopu dochází, když se dané stanoviště nachází v narušeném stavu, žijící populace následně nemají refugie, a tak zahynou. V mnoha částech světa, zejména na ostrovech a v obydlených oblastech, již byla většina přirozených stanovišť zničena. Například v mnoha zemích důležitých pro biodiverzitu (Keňa, Madagaskar, Thajsko a Indie) bylo zničeno více než 50 % původních lesních stanovišť (Primack et al., 2001, 2011). Organizace Global Forest Watch zaznamenala v letech 2008–2019 celosvětovou ztrátu necelých 10 % stromového porostu.

K největším globálním ztrátám stanovišť dochází v tropických deštných pralesech, jejichž aktuální míra ztráty těchto lesů je alarmující. Primack et al. (2001) předpovídají, že v roce 2040 bude obývat Planetu Zemi minimum autochtonních deštných lesů. Důvod spočívá ve stále rostoucí populaci a chudobě spojené se zvyšujícím tlakem na jejich zmenšování plochy. Odlesňování je hlavní příčinou ztráty lesů v tropických oblastech. Důvodem je těžba dřeva a hospodaření na půdě tropických deštných lesů v průmyslových zemích (Primack et al., 2001).

Existují i další stanoviště, která jsou ohrožena zánikem, jako jsou tropické opadavé lesy, korálové útesy, savany či mokřady. Např. mangrovy jsou jedním z nejvýznamnějších a nejproduktivnějších mokřadních společenstev na Zemi. Zařazují se mezi druhy dřevnatých rostlin tolerující slanou vodu. Ačkoli Caraguti et al. (2018) uvedli, že mangrovové porosty vykazovaly 20% ztráty biologické rozmanitosti, vyznačují se však velkým ekologickým a hospodářským významem. Nabízejí jedinečné stanoviště pro nespočet druhů (Primack et al., 2001) a chrání před přírodními katastrofami (Caraguti et al., 2018). Přes svůj význam celosvětově mizí tempem 1-2 % ročně. Za posledních 20 let změna klimatu (např. zvyšování hladiny moří a změny srážek) a lidská činnost způsobily 35% pokles těchto porostů. Tyto změny vedou ke změně druhového složení a růstu mangrovových porostů (Carguti et al., 2018).

### 3.6.2 Fragmentace stanovišť

Fragmentace je proces rozdělování původního velkého stanoviště na menší části v průběhu času, čímž se zmenšuje celková plocha stanoviště. K tomuto procesu dochází při jakémkoli zmenšení původní plochy, kdy je rozdělena výstavbou silnic, železnic, ropovodů,

plotů a dalších bariér omezujících volnému pohybu živočichů. Např. silnice v horách mohou rozdělit lesní stanoviště na samostatné části (Primack et al., 2001). Zařazuje se mezi hlavní hrozby biodiverzity. Na fragmentaci se silně podílí vliv antropogenního narušení, jako je rozšiřování zemědělství, které dramaticky přispívá k fragmentaci biotopů na celém světě (Rogan et al., 2018).

Podle Rogana et al. (2018) se vyskytuje stále více studií, které se snaží pochopit důsledky fragmentace ohrožujících biodiverzitu.

Podle Haddada et al. (2015) existují zase výzkumy, které jasně demonstrují silné a většinou zhoršující účinky fragmentace stanovišť na biodiverzitu a ekologické procesy. V tomto ohledu, může mít fragmentace stálé, nepříznivé a mnohdy nepředvídatelné následky.

Fragmentace stanovišť také ztěžuje přežívání druhů. Typickým příkladem je, že mnoho ptačích druhů kvůli zvýšenému riziku predace nejsou schopna překročit ani malý otevřený prostor. Pokud druh v jednom fragmentu vyhyne v důsledku sukcesních nebo populačních procesů, pak tu tento druh již nemusí existovat díky migračním bariérám, a proto bude celkový počet druhů ve fragmentu postupně klesat. Z hlediska omezení loveckých možností původních druhů, jsou např. ploty schopné zabránit přirozenému pohybu (Primack et al., 2001).

V neposlední řadě má fragmentace sklon k náchylnostem nepůvodních invazních druhů. Lesní okraje představují narušená prostředí, kde se tyto druhy mohou usadit a rozmnožovat, jako jsou omnivorní savci (mýval, skunk; Primack et al., 2001).

### **3.6.3 Znečištění životního prostředí**

Na první pohled se zdá, že znečištění se nejméně projevuje, ale jedná se o běžně vyskytující se proces, který výrazně ohrožuje biologickou rozmanitost. Znečištění obecně zahrnuje používání minerálních hnojiv, nebezpečných chemikálií, znečištění vody, ovzduší a eutrofizaci prostřednictvím nadměrného dodávání živin ve formě dusíku a fosforu.

#### ***Kontaminace pesticidy***

Za nejběžnější formu znečištění se považuje kontaminace pesticidy. Pesticidy představují chemické látky používající se v agroekosystému k regulaci a ničení škůdců, plevelů a chorob. Jejich používání prudce snižuje biologickou rozmanitost jak v suchozemských, tak i ve vodních ekosystémech.

Pesticidy mohou mít negativní dlouhodobé dopady na lidský organismus v důsledku snižování potravních zdrojů, zanechávání reziduí v potravinách a kontaminace zdrojů pitné



vody. Několik studií ukázalo, že velmi časté používání pesticidů vede ke ztrátě biodiverzity a degradaci ekosystémů. Jejich používání primárně přispívá k poklesu populace ptáků, hmyzu, vodních a půdních společenstev, a to buď nedostatkem stanovišť a potravy, nebo přímým působením (Sud, 2020).

Sud (2020) v celoevropské studii ukazuje, že používání insekticidů a fungicidů má trvalé negativní dopady na biodiverzitu. Rovněž insekticidy mají možnost snižovat biologickou ochranu proti škůdcům.

### ***Používání minerálních hnojiv***

Dalším závažným problémem pro biodiverzitu jsou minerální hnojiva. Mezi problematické živiny patří především dusík (N) a fosfor (P), které při jejich nevhodném a nadměrném používání výrazně ohrožují biodiverzitu a nesou také mnoho negativních dopadů na ekosystémy.

Minerální dusíkaté hnojení nepříznivě působí na diverzitu rostlin v trvalých travních porostech a snižuje druhovou bohatost rostlin. Jejich účinek se obvykle projevuje prostřednictvím dusičnanu amonného ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Jedná se tak o nejrozšířenější dusíkaté hnojivo pro zemědělce. Dusíkatá hnojiva sice podporují růst některých trav, jako je jílek vytrvalý (*Lolium perenne*), bojíněk luční (*Phleum pratense*) a lipnice luční (*Poa pratensis*), které dokážou rychle a efektivně absorbovat živiny z půdy, ale naopak omezují přítomnost luskovin (Gaujour et al., 2012). Dle Gaujour et al. (2012) druhová bohatost klesá s rostoucí půdní úrodností dusíkem. Sloučeniny dusíku způsobují eutrofizaci pobřežních, mořských a podzemních vod, zvýšení koncentrace oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) v atmosféře a koncentrace  $\text{NO}_x$  vyvolávající vznik atmosférického smogu a ozonu (Sud, 2020). Dle Primacka et al. (2001) má ozon pozitivní roli v tom, že dokáže pohlcovat nebezpečné ultrafialové záření. Na druhou stranu, ve vysokých koncentracích ničí rostlinná pletiva, poškozují přírodní společenstva a snižuje výnosy plodin. Ozon a smog jsou proto velmi nebezpečné pro lidstvo a celou biologickou rozmanitost.

Dále přítomnost fosforu přispívá ke snížení druhové bohatosti, který je negativně ovlivněn eutrofizací sladkovodních vod. Způsobuje vyšší ztráty druhů než obohacování dusíkem a vápníkem. I když obohacování půdy fosforem vede ke zvýšení produktivity, snižuje však druhovou bohatost konkurenčním vyloučením a jeho přebytek v půdě značně zpomaluje obnovení ohrožených druhů (Gaujour et al., 2012).

Intenzivní využívání dusíkatých a fosforečných hnojiv na zemědělských půdách způsobuje eutrofizaci. Tato minerální hnojiva jsou zodpovědná za 78 % celosvětové eutrofizace

mořských a sladkovodních vod. Eutrofizace je proces nadměrné akumulace živin, zejména dusíku a fosforu vedoucí k masivnímu a nebezpečnému růstu řas (Primack et al., 2001), acidifikaci vod a ztrátě biologické rozmanitosti (Jwaideh et al., 2022). Dle Sud (2020) existují celosvětové trendy, které nadále zhoršují stav vodních útvarů, a to především v důsledku znečištění a eutrofizace.

### **3.6.4 Nadměrné využívání zdrojů**

Nadměrné využívání zdrojů znamená, že přírodní zdroje jsou rychle vyčerpávány na příliš nízké úrovni, aby udržely životaschopné populace. To vše může vést k vyčerpání zdrojů a následnému vyhynutí mnoha ohrožených druhů. Zahrnuje nejen rybolov, těžbu nerostných surovin, lov, ale i jiné způsoby získávání přírodních zdrojů. Obzvláště nadměrný rybolov způsobuje obrovské ohrožení pro mnoho druhů, hlavně pro vodní život.

Již v minulosti si lidé obstarávali zdroje potravy a jiné zdroje nezbytné k přežití v přírodních podmínkách. Také v předindustriálním období vedla intenzita exploatace většinou ke ztrátě a vymizení původních druhů. V důsledku toho, v současnosti jsou světové přírodní zdroje stále rychlejším tempem vyčerpávány. To vše je způsobeno silným vlivem lidské činnosti (Primack et al., 2001).

Nadměrné využívání zdrojů často souvisí s poptávkou po dříve nevyužitých nebo lokálně využívaných zdrojích. Jedním z typických příkladů je obchodování s kožešinovými produkty na mezinárodní úrovni, které výrazně snižují počet daných druhů, jako jsou druhy lam, kočkovité šelmy a mnoho dalších (Primack et al., 2001).

K nadměrnému využívání zdrojů dochází tak, že lidé okamžitě začnou využívat nalezené zdroje. Následně je konkrétní zdroj využíván, dokud se nestane vzácným nebo nevyhyne, v takovém případě se lidská populace přesměruje do jiné oblasti nebo na jiný druh (např. komerční rybolov; Primack et al., 2001).

### **3.6.5 Biologická invaze**

Jak již bylo výše uvedeno, biologické invaze se stále více považují za závažný problém pro zachování biodiverzity (Reichard & White, 2003) v suchozemských, mořských a sladkovodních ekosystémech (Mačić et al., 2018).

Podle Bellarda et al. (2022) Mezinárodní svaz ochrany přírody (IUCN) a Světový fond na ochranu přírody (WWF) označují biologicky invazní druhy za hlavní příčinu celosvětového vymírání veškeré populace na Zemi, zejména na ostrovech.

Invazní (zavlečené, exotické, introdukované) druhy jsou druhy zvyšující svou přítomnost ve společenstev na úkor autochtonních druhů (Mačić et al., 2018). To znamená, že tyto druhy mohou snadno obsadit nová stanoviště a vytlačit tak původní druhy. Důvodem je nedostatek jejich přirozených nepřátel v novém prostředí, např. zavlečení králíci do Austrálie se nepozorovatelně rozšířili a spásali rostliny, dokud původní druhy nebyly zcela vyhubeny. Dokážou změnit složení společenstva a stanoviště, způsobit místní vymírání a ztrátu původních genotypů, ovlivnit vlastnosti potravní sítě a fungování ekosystémů (Mačić et al., 2018). Usher (1988) také potvrzuje fakt, že exotické druhy ovlivňují strukturu a fungování ekosystému.

Biologická invaze v agroekosystémech výrazně nese negativní dopad na ekonomiku, životní prostředí a biodiverzitu. V zemědělství mohou tyto druhy způsobit závažné ekonomické ztráty tím, že invazní druh konkuruje s hospodářskými plodinami o živiny a vodu, což může vést ke snížení výnosů a kvality produktů. Kromě toho mohou také sloužit jako vektor pro šíření chorob a škůdců způsobující ztráty na úrodě. V posledních desetiletích se některé zavlečené druhy staly velkým problémem pro zemědělce, mezi které patří invazní druhy plevelů a škůdci. Tyto druhy se velmi rychle šíří, díky svému rychlému reprodukčnímu cyklu a vysokému rozmnožovacímu potenciálu. Z tohoto důvodu se zemědělci snaží omezovat šíření invazních druhů pomocí různých způsobů (např. výběr odolnějších odrůd plodin vůči škůdcům, používání pesticidů, ruční a mechanické odstraňování nebo využití biologické kontroly).

Z nejznámějších zástupců invazních druhů plevelů v agroekosystému se řadí Ambrosie peřenolistá (*Ambrosia artemisiifolia*). Je to významný invazní plevel rychle se šířící v teplejších oblastech. Tento druh rostliny je pro zemědělce problematický nejen kvůli konkurenci s hospodářskými plodinami, ale také díky vylučujícím alergenům. Mezi další invazní druhy plevelů patří třtina kanadská (*Phragmites australis*), křídlatka japonská (*Reynoutria japonica*) nebo pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*).

Existuje mnoho různých druhů škůdců, které mohou napadat plodiny v agroekosystému, např. mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), obaleč jablečný (*Cydia pomonella*), vrtule višňová (*Rhagoletis cingulata*), mšice zelná (*Brevicoryne brassicae*) či octomilka japonská (*Drosophila suzukii*).

Všechny invazní druhy představují nepůvodní druhy, které se vyskytly v cílových oblastech působením lidské činnosti. Vliv lidské činnosti může způsobit změny přírodních podmínek, jako je narušení krajinného pokryvu nebo narůstající výskyt požárů, kterým jsou některé exotické druhy lépe přizpůsobeny než původní druhy. Primack et al. (2001) považují biologické invaze za rostoucí problém v důsledku narůstajících změn životního prostředí

vyvolaných člověkem (např. těžba dřeva, zemědělství, globální změna klimatu či rybolov). Většina druhů, které se nacházejí v důsledku lidské činnosti mimo své přirozené prostředí, se na nových územích neusazují, protože dané prostředí nevyhovuje jejich požadavkům. Přesto se určité procentuální zastoupení druhů může usadit v nových oblastech a mnohé z nich se mohou stát invazními druhy (Primack et al., 2001).

### **3.6.6 Změna klimatu**

Existuje mnoho studií, které dokazují, že změna klimatu a její dopady patří mezi největší hrozby pro biodiverzitu a samotné fungování agroekosystémů. V současné době klimatické změny spolu s lidskou činností způsobují obrovskou zátěž pro biologickou rozmanitost než změny ovlivněné přirozenými globální klimatickými změnami. K tomuto procesu dochází vlivem antropogenních klimatických změn, které zahrnují zvyšování teplot, stoupající hladiny moří, posuny klimatických pásem či nárůst emisí skleníkových plynů a aerosolů. Všechny výše uvedené dopady mohou zásadně ohrozit jak přírodní prostředí, tak i lidskou populaci (Omann et al., 2009). V důsledku klimatických změn jsou proto stanoviště méně žádoucí pro různé druhy, které v nich žijí.

Změna klimatu v agroekosystémech zahrnuje dlouhodobé změny v klimatických podmínkách, které ovlivňují produkci a zdraví rostlin v agroekosystému. Představuje významný problém pro zemědělství, jelikož klimatické podmínky mají vliv na půdní úrodnost, kvalitu plodin, hospodaření s vodou a další faktory, které jsou klíčové pro zemědělskou výrobu. Klimatické změny řídí činnost agroekosystémů prostřednictvím zvyšování teplot, zvýšeného množství oxidu uhličitého v atmosféře, změněných srážkových režimů a zvýšeného výskytu plevelů, škůdců a patogenů na růst a výnosy plodin. Tyto změny mohou vést ke snížení výnosů, kvality plodin a ke ztrátě biodiverzity. Vzhledem k tomu, že rozmanitost agroekosystémů se snižuje s cílem maximalizovat výnosy monokultur za příznivých podmínek, tudíž mohou být tyto systémy méně odolné vůči klimatickým změnám (Mirás-Avalos & Baveye, 2018).

Jedním z hlavních projevů klimatických změn je zvyšování teplot. Vysoké teploty mohou způsobit vysychání půdy, zhoršení kvality půdy či zastavení růstu plodin. Se zvyšujícími se teplotami úzce souvisí také prodlužování vegetačního období, kdy některé plodiny nelze pěstovat v dané oblasti díky nevhodnému podnebí. Na zvyšování teploty se podepisuje i výskyt chorob a škůdců, kteří negativně ovlivňují výnosnost plodin. V neposlední řadě, se zvyšováním teplot mají spojitost narůstající finanční náklady na ochranu proti klimatu (např. zavlažování, aplikace hnojiv a ochrana proti škůdcům a chorobám). S rostoucími teplotami stoupá i hladina moří, která je ovlivněna táním horských ledovců. Tento vzestup hladiny moří způsobuje

zastavení růstu některých korálových útesů, zaplavení nízko položených mokřadních společenstev a osídlených území. Primack et al. (2001) zjistili, že tento jev již probíhá, protože hladina moří za posledních sto let stoupla o 10–25 cm.

Změna srážkového režimu v agroekosystémech je dalším důležitým projevem změny klimatu mající vliv na zemědělskou produkci a potravinovou bezpečnost. V oblastech s menším úhrnem srážek mohou být výnosy výrazně nižší, protože rostliny nejsou schopné absorbovat potřebnou vodu pro její růst a nedostatek srážek může vést k degradaci půdy. Na druhé straně, v oblastech s větším množstvím srážek může docházet k častějším a intenzivnějším povodním a erozi půdy.

Na změně klimatu v agroekosystému se významně podílí zvýšený výskyt plevelů, škůdců a patogenů. Vlivem změny klimatu může dojít k růstu populací plevelů, které konkurují s ostatními plodinami o živiny, vodu a sluneční světlo. Také výskyt škůdců je ovlivněn vysokými teplotami a nízkým úhrnem srážek, tudíž mohou poškozovat plodiny a snižovat jejich výnosy. Škůdci jsou také přenašeči různých chorob a patogenů způsobující další výrazné snížení výnosnosti (Mirás-Avalos & Baveye, 2018).

Co se týče zvýšeného množství oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) v atmosféře, výrazně se podílí na neustále zvyšující se koncentraci skleníkového efektu a na zemědělské produkci. Je důležité říci, že zvýšený obsah  $\text{CO}_2$  má jak pozitivní, tak i negativní vlivy na agroekosystémy. Z pozitivního hlediska zvýšené množství  $\text{CO}_2$  vede k rychlejšímu procesu fotosyntézy, růstu rostlin a k vyšší produkci rozkládajícího se kořenového materiálu a následnému zvyšujícímu se pH půdy. Naopak, zvyšující se množství  $\text{CO}_2$  nese i negativní dopady na agroekosystém. Například při vyšší koncentraci  $\text{CO}_2$  dochází k menšímu otevírání průduchů rostlin, čímž se snižuje transpirace rostlin. Také způsobuje změnu výživy rostlin tím, že rostliny mohou produkovat méně dusíku (N) a bílkovin, což může vést k horší kvalitě plodin. Zvýšení atmosférického oxidu uhličitého může prospět některým plodinám, ale může také ovlivnit celkovou kvalitu a výnosnost plodin. Proto je nezbytné monitorovat koncentraci atmosférického  $\text{CO}_2$  a dodržovat udržitelné zemědělské postupy, aby byla zajištěna ochrana zemědělské produkce (Lal, 2004).

Je nutné si uvědomit, že globální změny klimatu budou mít obrovské následky jak na světovou ekonomiku, tak i na ochranu přírody. Je tedy důležité pečlivě monitorovat fungování společenstev a ekosystémů, chránit nově vzniklá společenstva před zničením a zároveň obnovovat degradovaná společenstva (Primack et al., 2001).

### **3.7 Způsoby zvyšování biodiverzity**

Agroekosystémy jsou neustále narušovány v podobě kultivace, zpracování půdy, setí, hnojení, ochrany plodin a sklizně. Jak je v konvenčním zemědělství typické, zemědělské systémy jsou omezeny pouze na nejranější stádia sukcese, kdy je disturbance častá a intenzivní. Udržitelnější agroekosystémy usilují o větší stabilitu a zachování částečné sukcese. V raných stádiích sukcesního procesu je výhodou vysoká primární produkce, v následujících stádiích dále pak vyšší druhová diverzita, složitost vztahů nebo působnost související s cykly prvků. Zemědělské systémy nemusí být tak obyčejné a málo rozmanité jako je tomu v klasickém konvenčním systému (Šarapatka et al., 2003). Zvyšování biodiverzity v agroekosystémech je významnou ekologickou strategií k zajištění udržitelnosti produkce (Altieri, 1999).

#### ***Osevní postupy***

Na zvyšování biologické rozmanitosti se podílejí správně navržené osevní postupy. Jsou základem v péči o půdní úrodnost, zásobování systému organickou hmotou nebo pro vázání vzdušného dusíku při pěstování bobovitých plodin (Šarapatka et al., 2010). Plodiny v osevních postupech se pravidelně střídají za sebou na určitých honech a současně v jednotlivých letech. Mají zásadní vliv na strukturu a výnosnost půdního prostředí (Azis et al. 2011). Pomáhají omezovat erozi a rozvoj chorob a škůdců plodin (Šarapatka et al., 2010). Jsou to nezbytně důležité postupy, které mohou zvýšit biodiverzitu na všech úrovních, zlepšit kvalitu půdy, snížit erozi půdy a stimulovat mikrobiální činnost (Balota et al., 2004).

#### ***Způsoby pěstování rostlin***

V rámci navrhovaných osevních postupech lze diverzitu dále zvýšit pěstováním smíšených kultur z více plodin společně, čímž se zvýší alfa diverzita. Typickým příkladem mohou být luskovinoobilné směsky. Dalším způsobem, jak je možné zvýšit biodiverzitu, je pěstování rostlin v samostatných řádcích. Při aplikaci tohoto způsobu lze říci, že se jedná o polykulturu monokultur. Polykulturní pěstování je založené na výsadbě nebo výsevu odlišných druhů plodin na jednom území. Tento způsob pěstování je výhodný díky minimálnímu zatížení půdy. Vzhledem k tomu, že různé druhy mají jiné živinové poměry, požadavky na vodu a celkový charakter, tudíž neexistuje mezi nimi taková konkurence a půdu není nutné tolik hnojit. Příkladem je pěstování cibule s mrkví, které efektivně omezí šíření škůdců. Tento způsob pěstování cílí na zvyšování beta diverzity (Šarapatka et al., 2010).

### ***Meziplodiny***

Meziplodiny neboli krycí plodiny jsou plodiny, které se vysévají mezi dvěma hlavními plodinami, aby zlepšily půdní podmínky. Na základě jejich biologických vlastností je lze využívat k vytvoření vegetačního pokryvu půdy v mezíporostním období. Účelem pěstování meziplodin je podpora mimoprodukčních a produkčních funkcí zemědělství. Mimoprodukční funkce má za úkol zachovávat a chránit přírodní zdroje. Produkční funkce je propojena s integrovaným systémem hospodaření na orné půdě, který efektivně využívá přírodní podmínky a energomateriálové vstupy k dosažení požadovaného výnosu a kvality rostlinných produktů a zároveň zefektivňuje dodatekové vstupy energie. Základní funkcí meziplodin na orné půdě je produkce biomasy (Brant et al., 2008). Plní nezastupitelnou funkci při regulaci zaplevelení, obohacují půdní prostředí posklizňovými zbytky a zlepšují koloběh živin. V případě nedostatku chlévského hnoje, lze meziplodiny využít jako náhradní organické hnojivo (Šarapatka et al., 2010).

Častější zařazování meziplodin se řadí k faktorům, které výrazně zvyšují biodiverzitu a ekologickou stabilitu v agroekosystémech. Meziplodiny výrazně prodlužují dobu, po kterou je půda pokryta vegetací, což značně snižuje riziko eroze. Vytváří optimální klimatické podmínky pro činnost půdních organismů. Jsou energeticky bohatým pěstebním substrátem pro půdní rozkladače, ale také pro volně žijící organismy fixující vzdušný dusík. Díky meziplodinám se posiluje přítomnost všech složek edafonu a zvyšuje se biologická aktivita půdy (Brant et al., 2008).

### ***Agrotechnické zásahy***

Správně naplánovaná agrotechnická opatření mohou zvýšit diverzitu agroekosystému. V mnoha případech se projevuje snížením nebo minimalizací zpracování půdy, kdy dojde k omezení disturbance systému a zvýšení biologické aktivity půdy a ovlivnění procesů probíhajících v půdním prostředí (Šarapatka et al., 2010).

### ***Výživa a ochrana rostlin***

Pro posílení biodiverzity agroekosystému je velmi důležitá optimální výživa a ochrana rostlin, jejímž cílem je poskytnout půdnímu prostředí dostatečné množství organické hmoty a šetrnou ochranu založenou na zásadách integrované ochrany rostlin (Šarapatka et al., 2010).

### ***Integrace hospodářských zvířat***

Začlenění hospodářských zvířat zpět do zemědělské krajiny zvyšuje celkovou biodiverzitu agroekosystému. Kromě toho, může aktivita zvířat (pastva, konzumace rostlinných zbytků a ukládání hnoje) změnit aspekty strukturní diverzity, dominance druhů a funkce systému (Gliessmann, 2014).

### ***Založení nových biotopů***

Zakládání a ochrana nových biotopů hrají zásadní úlohu pro zvyšování biologické rozmanitosti a zlepšení stability ekosystémů. Keřové pásy mají protierozní opatření a poskytují optimální stanoviště pro širokou škálu živočišných druhů. Při výsadbě keřových porostů se vyberou místní druhy, které jsou významným zdrojem potravy pro živočichy. Ekologická hodnota křovin se zvýší, pokud při zakládání navazují remízky, okraje lesa či okraje polí (Šarapatka & Urban., 2006).

Okraj lesa jako přechodná zóna je klíčovým biotopem pro velké množství organismů. Vymezuje hranici mezi vysokými stromy a zemědělskou krajinou, jako jsou pastviny a louky. Účelem jeho vzniku je plynulý a vícestupňový přechod mezi lesem a jeho okolím (Šarapatka & Urban., 2006).

### ***Ochranná vegetace***

Na okrajích polí je nutné zachovávat ochrannou vegetaci, kterými jsou např. živé ploty, travnaté či květnaté pásy. Ochranná vegetace je klíčový způsob pro snižování negativních vlivů zemědělství na životní prostředí (např. únik živin do vodních zdrojů nebo eroze). Stává se důležitým biotopem pro řadu prospěšných organismů (Šarapatka et al., 2010).

Z výše uvedených způsobů zvyšování biodiverzity vyplývá, že biologická rozmanitost je na farmách určována mnoha faktory souvisejících jak s projektováním samotného agroekosystému, využíváním a hospodařením na sousedících plochách, tak s managementovými zásahy v samotném agroekosystému (Šarapatka et al., 2010).

## **3.8 Možnosti konzervace biodiverzity**

Udržovat zdravé životní prostředí znamená důkladně pečovat a uchovávat v dobrém stavu všechny jeho složky – společenstva, ekosystémy, populace a druhy. Ohrožení těchto složek v konečných důsledcích může vést k jejich úplnému vymizení, ale pokud mezi nimi



přežijí původní druhy, mohou se vždy dostat do původního stavu (Primack et al., 2011). Konzervace biologické rozmanitosti zahrnuje ochranu, udržitelné využívání, obnovu a zvyšování biodiverzity (Sobti, 2022).

Možnosti zachovávání biodiverzity lze rozdělit do dvou kategorií: metoda *in-situ* a *ex-situ* (Sobti, 2022). Kvůli stále zvyšující ztrátě biodiverzity je kladen větší důraz na používání konzervace *in-situ* a *ex-situ*, která mají zabránit rostlinným populačním a taxonomickým ztrátám (Stevens, 2007). Strategie metody *ex-situ* a *in-situ* se vzájemně doplňují. Je to díky tomu, že jedinci z populací *ex-situ* se často vypouští do volné přírody, aby se zvýšilo úsilí o ochranu *in-situ* (Primack et al., 2001).

### **3.8.1 Ochrana biodiverzity *in-situ***

Hlavním cílem ochrany *in-situ* biodiverzity je udržet a zachovávat populace na jejich přirozených stanovištích (Pánková et al., 2018), což je prospěšné pro všechny druhy (Sobti, 2022). V případě výskytu kulturních rostlin se jedná o konzervaci *in-situ*, pokud jsou chráněny v prostředí, kde byly vypěstovány a využívány (Wyse Jackson & Sutherland, 2000). Existují různé typy chráněných oblastí, jako jsou přírodní rezervace, národní parky a biosférické rezervace spadající do kategorie ochrany *in-situ* (Sobti, 2022). Zakládání biosférických rezervací, národních parků a přírodních rezervací poskytuje jednak ochranu druhů, a jednak zajišťuje jejich dynamický přirozený růst. Dále mezi tuto ochranu se řadí ještě specifická on-farm konzervace.

Primack et al. (2001) se domnívají, že *in-situ* ochrana mnoha vzácných druhů je nepřijatelná z důvodu zvyšujících se vlivů člověka, tudíž tato ochrana nemusí být dostatečně účinná. Na druhé straně, pokud jsou během celého životního cyklu zajištěny odpovídající podmínky, ochrana biodiverzity *in-situ* může být dlouhodobě úspěšná. (Dostačil, 1998).

#### **3.8.1.1 Národní parky**

Národní parky jsou chráněné oblasti s typickým reliéfem, které chrání přírodní prvky a divokou přírodu krajiny. Využití národních parků musí být podřízeno zachování ekologicky stabilních přírodních ekosystémů vhodných pro jejich dané stanoviště a dosažení biodiverzity. Dlouhodobým cílem ochrany národního parku je zachování, postupná regenerace přírodních ekosystémů a zajištění nepoškozeného průběhu přírodních jevů.

### 3.8.1.2 Přírodní rezervace

Přírodní rezervace jsou chráněná území určená pro druhy a přirozené procesy v nenarušeném prostředí.

### 3.8.1.3 Biosférické rezervace

Biosférická rezervace je rozsáhlá oblast, kterou uznává mezinárodní program UNESCO Člověk a biosféra (Man and the Biosphere Programme). V roce 1971 založilo UNESCO program biosférických rezervací. Účelem vytváření biosférických rezervací je podpořit trvale udržitelné hospodaření a využívání přírodních zdrojů, a zvýšit biodiverzitu v degradovaných oblastech (Sobti, 2022). Zahrnuje polopřirozené a antropogenně ovlivněné oblasti sloužící k sledování a vyhodnocování změn mezi přírodním prostředím a člověkem (Sobti, 2022).

### 3.8.1.4 On-farm konzervace

Důležitou formou konzervace genetických zdrojů rostlin pro hospodaření na farmách je on-farm konzervace. Je schopna zachovávat a řídit genetickou rozmanitost krajových odrůd v dané lokalitě nebo regionu. On-farm konzervace udržuje rozmanitost na všech úrovních a využívá se pro lepší zajištění živobytí zemědělců. Díky tomu dochází k zachování tradičních forem hospodaření. Poskytuje vyhovující podmínky pro genetické zdroje všech planě rostoucích a plevelných druhů. On-farm konzervace musí zahrnovat způsoby, které podporují zvýšenou produkci potravin, dopady pěstování plodin a zisky farmářů. Zájem farmářů o on-farm konzervaci se zvyšuje v oblastech, kde začalo intenzivní a vysoce mechanizované zemědělství (Evropa, Severní Amerika; Michalová, 1998).

## 3.8.2 Ochrana biodiverzity *ex-situ*

Metoda *ex-situ* konzervace se řadí mezi nejvýznamnější a nejrozšířenější metodu uchovávání genetických zdrojů rostlin (Dostačil et al., 2011). Použití ochrany *ex-situ* je indikováno v případě, kdy není možné zajistit rozvoj populace na prvotním stanovišti nebo z důvodu narušení přírodního stanoviště, změny klimatu nebo krajiny, je ochrana *in-situ* nepřijatelná (Hoban & Schlarbaum, 2014). *Ex-situ* ochrana je založena na ochraně organismů mimo jejich přirozené stanoviště (Sobti, 2022). *Ex-situ* ochrana by měla směřovat k maximalizaci zachování genetické rozmanitosti druhu, včetně jeho adaptace k původním podmínkám, aby se druhy mohly následně vrátit do přirozených stanovišť se zlepšenými životními podmínkami. Mezi standardní způsoby provádění ochrany *ex-situ* patří

botanické zahrady, genové banky, tkáňové kultury, zoologické zahrady a akvária (Pánková et al., 2018).

### **3.8.2.1 Genové banky**

Genové banky zaujímají velmi důležitou roli při dlouhodobé konzervaci genetických zdrojů rostlin. Genetická diverzita uložená v genových bankách může být využita ve výzkumu a šlechtění, např. vnesením nových alel do existujících šlechtitelských populací mající morfologicky a fyziologicky příznivé účinky na vlastnosti rostlin (Stephan et al., 2020).

Genetické zdroje rostlin jsou nenahraditelnými a speciálními genovými zdroji zajišťující zlepšení biologických a hospodářských schopností pro šlechtění odrůd a zachování biodiverzity agroekosystémů. Tyto genetické zdroje vznikly domestikací, selekcí a zejména záměrným šlechtěním, kde došlo k podstatné změně biologických a hospodářských vlastností těchto druhů a k výraznému zvýšení jejich produktivity (Dostačil et al., 2011). Je nutné zmínit, že pro správné a bezpečné uchování genetických zdrojů je důležité provádět jejich regeneraci a následnou konzervaci (Šarapatka et al., 2010).

Lze uvést dva významné příklady zabývající se uchováváním genetického materiálu, kterými jsou Genová banka VÚRV a Holovousy. Genová banka VÚRV (Výzkumného ústavu rostlinné výroby) je koordinacním pracovištěm Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin, zvířat a mikroorganismů a agrobiodiverzity. Cílem Genové banky VÚRV je uchovávat a poskytovat genetický materiál pro různé účely (např. výzkum, šlechtění a zajištění genetické rozmanitosti). Tato genová banka celosvětově spolupracuje s dalšími genovými bankami a organizacemi. Podílí se na různých projektech zaměřených na ochranu genetického materiálu a zachování biodiverzity. Druhým příkladem jsou Holovousy, které vlastní rozsáhlou kolekci ovocných dřevin sloužící jako genetický zdroj pro ochranu a šlechtění ovocných druhů dřevin. Kolekce obsahuje více než 1500 druhů ovocných dřevin (např. odrůdy jabloní, hrušní, višň, třešň, meruňk, slivoní apod.). Podstatou této sbírky je zachování genetické rozmanitosti ovocných druhů a pěstovaných odrůd.

Pro zachování biologické diverzity byly vytvořeny různé typy genových bank, mezi které patří semenné banky, polní genové banky, uchovávání in vitro a kryokonzervace (Sobti, 2022).

#### ***Semenné banky***

Semenné banky jsou nejpoužívanější metodou pro uchování rostlinných druhů a zachovávání jejich nenarušených genofondů, které lze v budoucnosti využít k obnově populace v případě vyhynutí druhů. Právě semena představují nejvhodnější část rostliny pro

uložení. Semena některých druhů tropických a subtropických rostlin se vyhýbají nízkým teplotám a vysoušení. Jedná se o tzv. rekalitrantní semena, která se skladují pouze několik týdnů až měsíců. Na druhé straně, jsou tzv. ortodoxní semena, která snáší vysoušení a uchovávají se při nízkých teplotách (Dostačil, 1998).

### ***Konzervace in vitro***

U již zmiňovaných rekalitrantních semen se používá tato metoda. Účelem konzervace *in vitro* spočívá v tom, že celé rostliny, jejich části a tkáně se skladují v laboratořích v umělých podmínkách při zpomaleném růstu. Nejedná se o dlouhodobou konzervaci, avšak její předpokládaná doba trvání je 1 až 4 roky (Dostačil, 1998).

### ***Kryokonzervace***

Kryokonzervace se používá při konzervaci semen, částí rostlin či tkáňových kultur. Jedná se o dlouhodobou metodu, která je určena pro uchování rostlinného materiálu při velmi nízkých teplotách (-196 °C) v tekutém dusíku (Dostačil, 1998). Při takto nízkých teplotách se zastavují všechny metabolické procesy v buňkách (Sobti, 2022). Přesunutí rostlinných částí a tkání do zkapalněného dusíku a jejich zpětné obnovení je velmi složité, proto je tento způsob poměrně finančně nákladný (Dostačil, 1998).

### ***Polní genové banky***

Polní genové banky neboli polní kolekce jsou nejjednodušší formou konzervace vegetativně množených plodin. Tato metoda se zaměřuje na rostliny, které nevytvářejí životaschopná semena či druhy s rekalitrantními semeny, jejichž genetický základ je nutné zachovat klonováním. Je charakteristická vysokou pracovní náročností, vysokými náklady a riziky – počasí, choroby a škůdci, lidská činnost (Dostačil, 1998).

#### **3.8.2.2 Botanické zahrady**

Botanické zahrady zachovávají sbírky rostlinných druhů pro různé účely již mnoha staletí (Stevens, 2007). Podle Stevense (2007) jsou definovány jako instituce uchovávající dokumentované živé sbírky rostlin pro cílené vědecké výzkumy, prezentace a vzdělávání veřejnosti. Zaujímají stále významnější úlohu v ochraně genofondu planě rostoucích a kulturních druhů rostlin. Slouží k zachování genofondu rostlin v podmínkách *ex-situ*.

Botanické zahrady mohou chránit *ex-situ* rozmanitost rostlin a zabránit tak jejich vyhynutí prostřednictvím integrovaných ochranných opatření. To by mělo v budoucnu více posílit ochranu biodiverzity. Mounce et al. (2017) ukazují, že botanické zahrady obsahují nejméně 105 634 rostlinných druhů, což představuje 30 % druhové diverzity rostlin a chrání více než 41 % ohrožených druhů.

V roce 1989 byla publikována první strategie v ochraně botanických zahrad. V roce 1998 byla zahájena mezinárodní konzultace s cílem vylepšit strategie s ohledem na Úmluvu o biologické rozmanitosti, kterou zavedla organizace Botanic Gardens Conservation International (BGCI). Tato organizace sdružuje 800 botanických zahrad z více než sto zemí. Později byl akceptován program Globální strategie pro ochranu rostlin (GSPC). Cílem tohoto programu je zastavit ztrátu rozmanitosti rostlin a zajistit, aby lidská činnost podpořila diverzitu rostlin i v budoucnosti (Mounce et al., 2017). Globální strategie pro ochranu rostlin zahrnuje 16 cílů, pod které patří – znalosti a dokumentování diverzity rostlin, ochrana, udržitelné využívání, osvěta a činnost na budování kapacit. Botanické zahrady splňují všechny cíle, ale jako hlavní instituce v tomto programu jsou tyto instituce klíčové v dosažení cíle 8 (Mounce et al., 2017). K dosažení tohoto cíle muselo být alespoň 75 % ohrožených druhů rostlin ve sbírkách *ex-situ* a minimálně 20 % muselo být k dispozici pro programy obnovy do roku 2020 (O'Donnell & Sharrock, 2017).

### **3.8.2.3 Zoologické zahrady a akvária**

Zoologické zahrady jsou nepostradatelnou součástí při ochraně druhů žijících mimo jejich původní přirozené stanoviště. Zoologické zahrady jsou přístupné veřejnosti, kde jsou různé druhy živočichů uzavřeny ve výběžích nebo v polopřirozených či otevřených prostranstvích, v nichž se mohou i rozmnožovat (Kasso & Balkrishnan, 2013). Cílem zoologických zahrad je budování chovných populací vzácných a ohrožených druhů živočichů (Primack et al., 2001).

Akvárium představuje umělé prostředí pro různé druhy živočichů žijících ve vodě. Většinou se nalézají v zoologických zahradách (Kasso & Balkrishnan, 2013). Akvária zajišťují ochranu hlavně pro ohrožené kytovce a jiné mořské živočichy.

Antropogenní a přírodní faktory představují vážné ohrožení pro populaci, druhy i samotné lidstvo. Chov v zajetí je důležitou součástí komplexních plánů ochrany, které mají zabránit vyhynutí druhů nebo populací. V posledních letech působí zoologické zahrady a akvária jako zásadní partneři v ochraně ohrožených a vzácných druhů. Je to díky tomu, že zvířata chovaná v těchto zařízeních patří mezi představitele svého

druhu a prostřednictvím svého rozmnožování mohou být zárukou proti vyhynutí volně žijících druhů. Světová asociace zoologických zahrad a akvárií (WAZA) se podílí na zlepšení stavu biologické rozmanitosti ochranou stanovišť, druhů a genetické diverzity. Díky chovu v zajetí v zoologických zahradách a akváriích se podařilo zachránit řadu vzácných a ohrožených druhů (Sobti, 2022).

### **3.9 Metody hodnocení biodiverzity**

Existuje řada metod, jak lze měřit biodiverzitu. Je to dáno velkým množstvím různorodých indexů, které je velmi obtížné určit. Jakákoli část biologické diverzity může být měřena pomocí různých metod, jako jsou modely, tabulky a grafická znázornění závisující na odlišném úhlu pohledu hodnocení.

Jak již bylo zmíněno, objevení tolika různých metod může být způsobeno tím, že při měření biodiverzity jsou hodnoceny složky heterogenity a druhové bohatosti. Je důležité říci, že heterogenita je spojnicí mezi druhovou bohatostí a vyrovnaností diverzity. S tím souvisí i fakt, že druhové bohatství je považováno za symbolické měřítko biodiverzity (Magurran, 2004).

Storch (2019) potvrzuje, že je také možné měřit genetickou diverzitu (podle sekvence DNA), funkční diverzitu (podle proměnlivosti vlastností organismů), a především taxonomickou rozmanitost, na kterou se nejvíce spoléhají biologičtí vědci. Problémem však je, že míry biologické rozmanitosti je těžké posuzovat. Z tohoto důvodu se nejčastěji hodnotí biodiverzita pomocí indexů.

#### **3.9.1 Vzorkování biodiverzity**

Vzorkování biodiverzity se soustřeďuje na odběr vzorků reprezentujících celé společenstvo (McCabe, 2011). Cílem vzorkování biodiverzity je získat přesné a reprezentativní informace o biologické rozmanitosti daného prostředí. Tato data mohou být použita k posouzení stavu biodiverzity, stanovení ochranných opatření a sledování změn v průběhu času. Pro vzorkování biologické diverzity platí stejná pravidla jako pro jakýkoli jiný odběr vzorků. Při výběru z výsledné populace by pro získání hodnotného vzorku měla být použita následující pravidla (Jarkovský et al., 2012):

- náhodnost
- samostatnost
- reprezentativnost

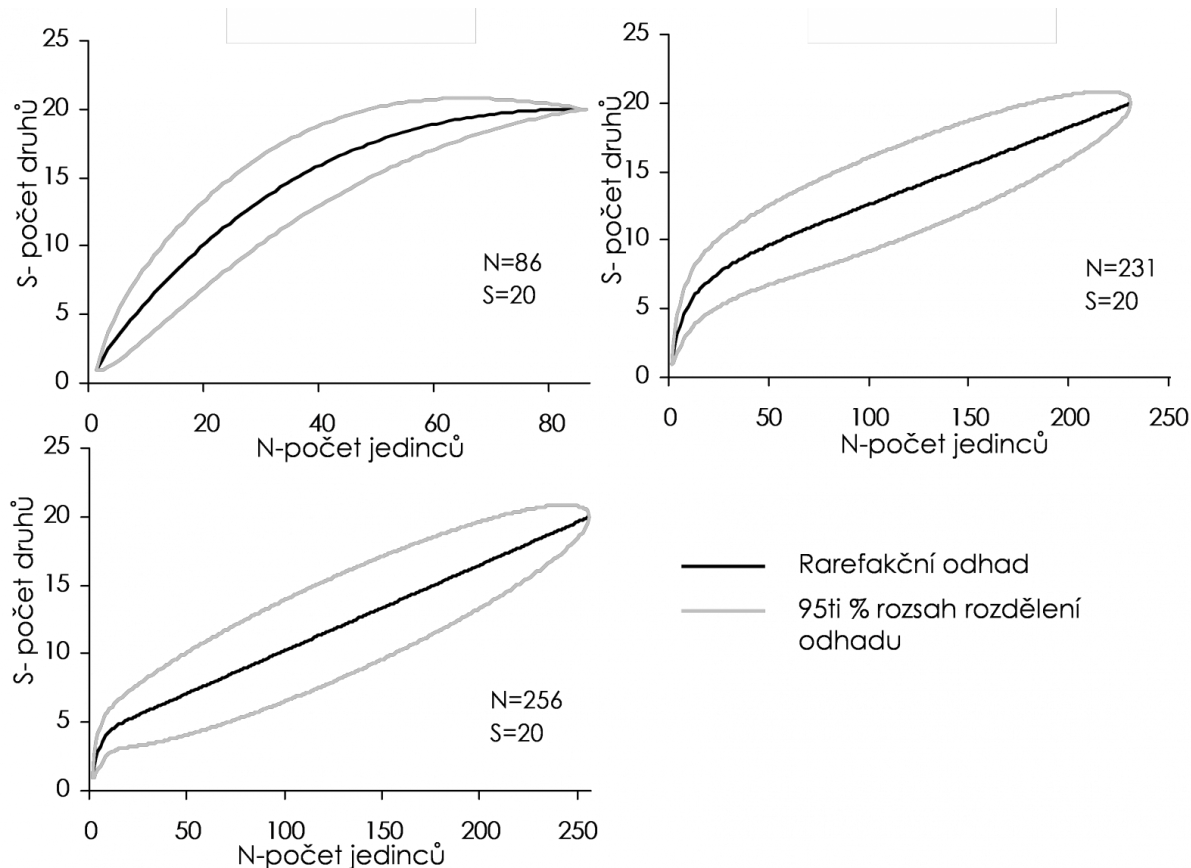
Při plánování vzorkování biodiverzity je důležité zohlednit velikost, počet a tvar vzorku. **Velikost vzorku (snímku)** se týká počtu jednotek, které jsou vybírány a analyzovány z celkové populace, aby se získaly veškeré informace o druhovém složení a rozmanitosti daného ekosystému. Velikost vzorku je klíčovým faktorem pro úspěšnost a přesnost sběru dat o biodiverzitě. Pro stanovení vhodné velikosti vzorku se využívají různé statistické metody (např. power analýza určující, kolik vzorků je nutné pro dosažení určitého stupně přesnosti). Je důležité brát v úvahu, že velikost vzorku nemusí být vždy stejná pro všechny druhy organismů. Některé druhy mohou být vzácnější nebo se mohou vyskytovat pouze v určitých částech ekosystému, tudíž je nutné odebrat vzorky z větších oblastí pro získání přesných informací o těchto druzích. S velikostí vzorku souvisí i počet vzorků.

**Počet vzorku** má za úkol zajistit přesné a spolehlivé odhady počtu druhů v daném prostoru. Obecně platí, že větší počet vzorků vede k přesnějším odhadům biodiverzity, protože umožňuje zachytit větší rozmanitost druhů v dané oblasti. Avšak vysoký počet vzorků může být finančně a časově náročný, proto musí být počet vzorků pečlivě naplánován v závislosti na konkrétním cíli a prostředí, ve kterém se výzkum provádí.

Vztah mezi velikostí vzorku ve smyslu počtu jedinců a počtem detekovaných druhů lze vyjádřit pomocí tzv. rarefakce (Jarkovský et al., 2012). Rarefakce je statistická metoda, která se používá buď k porovnání druhové bohatosti mezi různými vzorky lišící se velikostmi, nebo pro odhad celkové biodiverzity dané oblasti. Pro správné provedení rarefakční analýzy existují následující předpoklady:

- Jedinci jsou náhodně rozmístěni ve společenstvu.
- Vzorky jsou stejně velké a měřené stejným způsobem.
- Společenstva by měla mít obdobné taxonomické složení.

Výsledky rarefakce se obvykle zobrazují pomocí rarefakční křivky (viz Obr. 1). Tato křivka představuje grafické znázornění ukazující, jak se zvyšuje celkový počet zaznamenaných druhů s počtem vzorků.



**Obr. 1** Rarefakční křivka pro různé počty jedinců a druhů s výsledkem jejich odhadu (Jarkovský et al., 2012)

Dalším důležitým faktorem při vzorkování biodiverzity je *tvar vzorku*, který se týká rozložení vzorků v prostoru. Základním tvarem vzorku je obvykle čtverec, obdélník či kruh. Určení tvaru vzorku závisí podle konkrétních potřeb a možností daného experimentu.

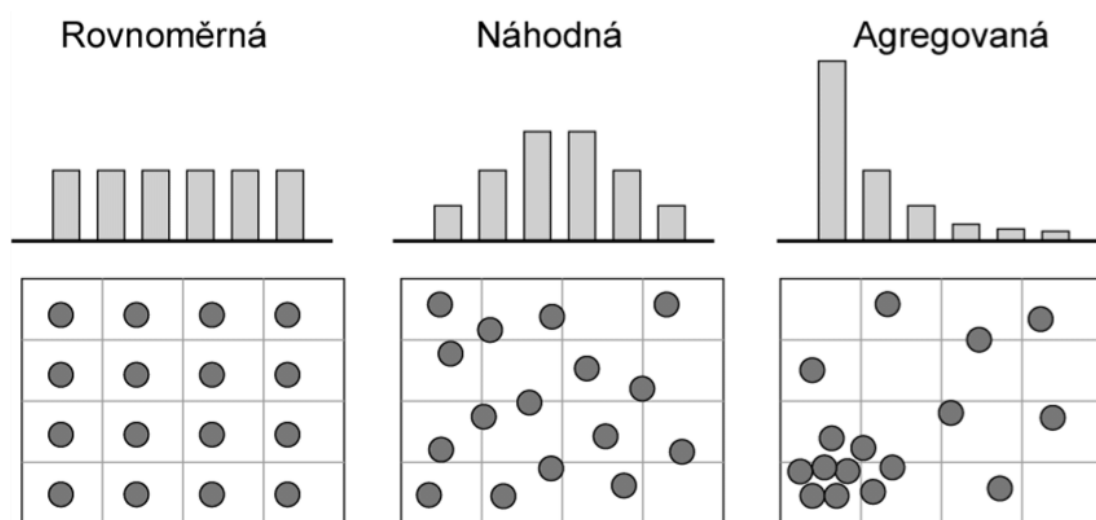
Již výše uvedené faktory jsou nepostradatelné pro správnou analýzu biodiverzity a zajištění přesných výsledků. Při sběru a analýze biologických dat je důležité pečlivě zvážit tyto faktory, aby se dosáhlo co nejvíce reprezentativního zobrazení biologické rozmanitosti studovaného prostředí.

Pro lepší pochopení této problematiky je nutné si uvědomit, že heterogenita (různorodost) biotické povahy vyžaduje velké požadavky na přípravu vzorkovacího plánu. Důvodem je, že organismy nejsou obvykle v prostředí rovnoměrně rozmístěny (Jarkovský et al., 2012). Jestliže je stanoviště vzorkováno delší časové období nebo je rozšiřována oblast vzorkování, je vysoce pravděpodobné, že bude zaznamenáno více druhů (Magurran, 2004). Mohou také nastat situace, kdy se odebírají vzorky o velmi malém množství, které mohou

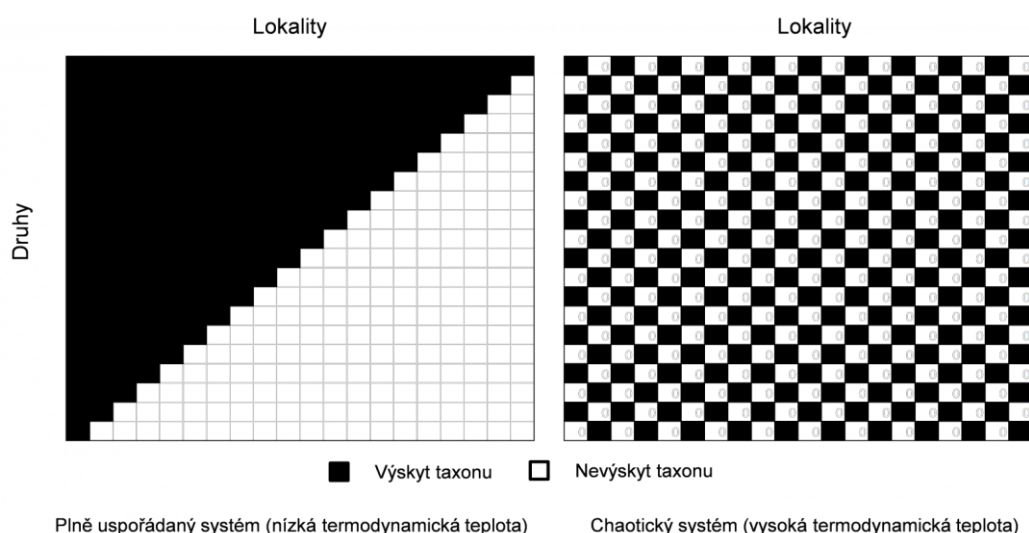


vést k zavádějícím a zkresleným výsledkům. Naopak nadměrný počet vzorků se stává vysoce nákladným (McCabe, 2011).

Se vzorkováním biodiverzity úzce souvisí rozmístění organismů v konkrétním prostředí, nazývané frekvenční distribuce. Existuje mnoho typů frekvenční distribuce v prostředí – rovnoměrné, náhodné a agregované (viz Obr. 2). Jejich hodnoty se stanovují na základě poměru průměru a rozptylu počtu organismů přítomných ve vzorcích. Rozptyl rovnoměrného rozmístění je menší než průměr, zatímco u agregovaného rozmístění je tomu naopak. v náhodném rozmístění je tomu tak, že se rozptyl rovná průměru. Tyto typy distribucí jsou popisovány pomocí pozitivního a negativního binomického rozložení a Poissonova rozdělení (Jarkovský et al., 2012).



**Obr. 2** Typy frekvenční distribuce organismů v prostředí (Jarkovský et al., 2012)



**Obr. 3** *Uspořádání vztahu mezi druhy a lokalitami (Jarkovský et al., 2012)*

### 3.9.1.1 Způsoby vyjádření abundance

Při hodnocení biodiverzity se používá základní parametr umožňující měřit a porovnávat rozmanitost druhů v určitém ekosystému, který se nazývá abundance. Abundance může být vyjádřena různými způsoby – početností, pokryvností, biomasou a frekvencí.

Početnost představuje počet jedinců daného druhu v ekosystému nebo společenstvu. Jedná se o ukazatel, který popisuje, jak hojný je daný druh v oblasti. Pokud určitý druh vykazuje vysoký počet jedinců, znamená to, že druh má dobrou reprodukční úspěšnost nebo příznivé místní podmínky. Naopak nízká početnost druhu je způsobena faktory omezující jeho přežití, růst a reprodukci. Monitoring početnosti druhů je důležitý pro pochopení dynamiky populací a ekosystémů a pro plánování ochranných opatření, která mají za cíl ochranu biodiverzity a prevenci vymírání druhů (Graham, 2020).

Dalším ukazatelem je pokryvnost, která je charakterizována jako procentuální podíl plochy obsazené jedinci daného druhu z celkové plochy studované oblasti (Braun-Blanquet, 1932). Umožňuje posoudit, jaké rostlinné druhy jsou na daném území nejhojněji zastoupeny a jak se různé druhy vzájemně prolínají. Platí, že čím více prostoru druh pokrývá, tím větší je pravděpodobnost, že se bude daný druh vyskytovat ve více než jednom vzorku (Roswell et al., 2021). Braun-Blanquet (1932) uvádí, že pokryvnost musí být hodnocena pravidelně v různých ročních obdobích, jelikož například v suchých a vlhkých letech (zejména ve stepích a pouštích) se vyskytují velké rozdíly v pokryvnosti druhů na stejné ploše.

Biomasa je celková hmotnost jedinců určitého druhu v daném ekosystému. Měří se obvykle v jednotkách hmotnosti (kg/ha plochy nebo t/ha plochy). Zahrnuje hmotu všech jedinců daného druhu, včetně stonků, listů, kořenů a dalších částí organismu. Biomasa může být důležitým ukazatelem ekologického stavu daného ekosystému, protože vyšší biomasa může poskytovat vyšší produktivitu a větší schopnost ekosystému dodávat potravu a energii pro další organismy v potravní síti. Naproti tomu, nižší biomasa vede k ohrožení druhu, což může mít negativní dopad na stabilitu a biodiverzitu ekosystému (např. nadměrný lov savčích a ptačích druhů).

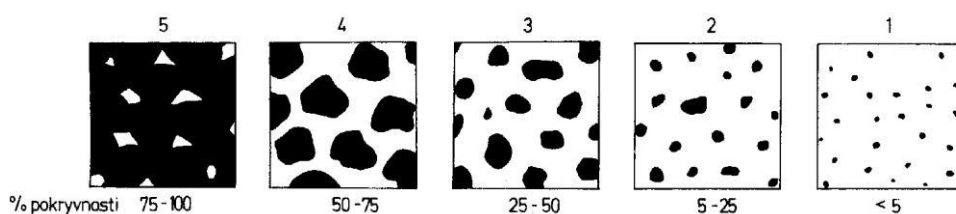
Frekvence se používá k popisu četnosti výskytu určitého druhu v prostoru nebo souboru vzorků. Popisuje, jak často se daný druh vyskytuje v určitém ekosystému nebo populaci. Také vyjadřuje poměr počtu pozorování určitého druhu vůči celkovému počtu pozorování v daném vzorku nebo prostoru (Magurran, 2004).

### 3.9.1.2 Metody stanovení abundance

**Přímý odhad** je metoda sběru dat, který se obvykle provádí přímým sčítáním jedinců daného druhu v oblasti. Používá se pro různé druhy organismů (např. ptáci, savci, ryby, hmyz a další). Přímý odhad v závislosti na abundanci může být složitou metodou, která vyžaduje pečlivé plánování a provedení terénního výzkumu. Nicméně, když je tato metoda správně provedena, může poskytnout velmi přesné odhady počtu jedinců v populaci, což je klíčové pro monitorování a hodnocení populace jednotlivých druhů (např. při sledování změn v populaci v průběhu času, posuzování účinnosti ochranných opatření nebo při hodnocení vlivu změn v prostředí na populaci). Přímý odhad je vhodnější pro menší populace, zejména rostlinná společenstva, protože umožňuje získat informace o druhovém složení a pokryvnosti rostlinných druhů v daném společenstvu. Tento odhad se provádí pomocí vizuálního posouzení počtu jedinců rostlin a jejich druhového složení na stanovené ploše. Při přímém odhadu se stanoví vhodné velikosti ploch, na kterých se budou rostliny počítat. Tyto plochy musí být reprezentativní pro celé rostlinné společenstvo, a proto se vybírají náhodně v různých částech daného prostředí. Na těchto plochách se provede inventarizace rostlinných druhů. V rámci inventarizace se zaznamená počet jedinců každého druhu rostliny a přesné umístění na dané ploše. Naměřená data jsou následně vyhodnocena za účelem získání informací o počtu druhů a počtu jedinců napříč rostlinnými společenstvy.

Abundance ve smyslu pokryvnosti může být udávána přímo v procentech nebo speciálními stupnicemi, nejčastěji Braun-Blanquetovou nebo Dominovou stupnicí pokryvnosti. **Braun-Blanquetova stupnice** je nejběžnější semikvantitativní metoda používaná v botanickém

výzkumu pro popis a hodnocení vegetačního pokryvu v daném ekosystému. Tato stupnice byla vyvinuta botanikem Josiasem Braunem-Blanquetem na počátku 20. století (Braun-Blanquet, 1932). Stupnice se skládá z pěti stupňů (1–5), přičemž každý stupeň popisuje odlišnou úroveň pokryvnosti daného rostlinného druhu ve vzorku (viz Obr. 4). Braun-Blanquetova stupnice je založena na tzv. fylogenetickém snímku (relevé), který vytváří seznam všech rostlinných druhů přítomných na vymezeném území. Všechny druhy jsou rozděleny do několika vegetačních pater – stromové ( $E_3$ ), keřové ( $E_2$ ), bylinné ( $E_1$ ) a mechové ( $E_0$ ). Následně jsou jednotlivé druhy zařazeny do vegetačních pater podle své výšky, např. stromy (1 m) patří do  $E_2$  nebo semenáčky stromů do  $E_1$ . V rámci jednotlivých pater se určí pokryvnost všech druhů (Moravec, 1994). Výsledky analýzy Braun-Blanquetovy stupnice mohou být použity k monitorování druhového složení, struktury a funkce rostlinných společenstev. Pomocí této stupnice lze také srovnávat různé lokality a hodnotit jejich biodiverzitu.




---

Braun-Blanquetova stupnice:	
5	— pokryvnost 75—100 %
4	— pokryvnost 50—75 %
3	— pokryvnost 25—50 %
2	— pokryvnost 5—25 % (10—25 % — 1964)
1	— pokryvnost pod 5 %, dosti hojně až roztroušeně
+	— pokryvnost zanedbatelná, roztroušeně
r	— ojediněle (někdy užíván symbol —)

---

**Obr. 4** Grafické zobrazení Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti (Moravec, 1994)

**Analýza obrazu** je moderní metoda používaná k odhadování počtu jedinců v populaci na základě analýzy digitálních obrazů. Provádí se pomocí softwaru, který umožňuje rozpoznávání a počítání jedinců na základě určitých parametrů (barva, tvar, velikost atd.). Výhodou analýzy obrazu je rychlé a efektivní sčítání populace, a to i v obtížně přístupných oblastech.

**Point intercept** se řadí mezi metody, které se využívají k odhadu abundance rostlin v určitém bodě. Díky této metodě ekologové získávají informace o druhovém složení vegetace a o poměru jednotlivých druhů. Point intercept spočívá v měření počtu průsečíků vedeného bodu s rostlinnými orgány (listy, stonky nebo květy) v předem definovaných intervalech na určitém měřítku. Průsečíky mohou být počítány buď ručně, nebo pomocí speciálních zařízení, jako je point-frame, kde se jednotlivé body průsečíků zaznamenávají na průhledném rámu. Výhodou této metody je snadné zpracování dat a přesnost odhadů abundance. Kvůli časové náročnosti se obvykle používá na malých vzorcích, což může omezit reprezentativnost dat (Graham, 2020)

**Line intercept** je také metoda sloužící k odhadování abundance rostlin v určitém úseku. Je schopna měřit délku průsečíků vedených linií s rostlinnými orgány. Pomocí line interceptu lze získat kvantitativní data o populaci rostlin. Například v zemědělství se používá k monitorování růstu plodin nebo k posuzování úspěšnosti obnovy lesů či mokřadů. Tato metoda je rychlejší a efektivnější než point intercept. Avšak může být méně přesná a vyžaduje správně provedené měření s minimální chybovostí (Graham, 2020).

### **3.9.2 Hodnocení biodiverzity pomocí indexů**

Z dat abundance získaných vzorkováním lze vypočítat indexy diverzity, které mají za cíl vyjádřit diverzitu jedním číslem. Z tohoto důvodu mezi nimi existují pevné vzájemné vztahy.

#### **3.9.2.1 Hodnocení alfa diverzity**

Indexové hodnocení alfa diverzity lze rozdělit do tří skupin (Jarkovský et al., 2012):

- a) indexy počtu druhů
- b) indexy dominance
- c) indexy počtu druhů a jejich ekvitability

##### **3.9.2.1.1 Indexy počtu druhů**

Pro indexy založené na početnosti druhů („D“) je nejvhodnější použít počet taxonů (S) v samotném společenstvu, který zároveň poskytuje klíčové údaje o celkovém počtu objevených druhů (N; Jarkovský et al., 2012).

Mezi nejznámější indexy počtu druhů se uvádí Margalefův a Menhinickův index. Tyto indexy jsou vyjádřeny ve vztahu mezi počtem druhů a počtem jedinců. Je dáno, že čím větší je počet druhů ve společenstvu, tím větší je hodnota těchto indexů (Kanieski et al., 2017).

### ***Margalefův index***

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$$

### ***Menhinickův index***

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Výhodou těchto indexů je jejich jednoduchý výpočet, který byl použit v několika vědeckých studiích (Kanieski et al., 2017). Naopak jednou z nevýhod je, že neovlivňují jednak tvar společenstva, a jednak vzájemné poměry taxonů. Tím pádem se skrývá fakt, že některé druhy jsou vzácné a jiné druhy se chovají jako běžné (Begon et al., 1997). Navzdory tomu, představují smysluplné indexy, které mohou být prospěšné při zkoumání biodiverzity (Magurran, 2004).

#### 3.9.2.1.2 Indexy dominance

Indexy založené na dominanci hodnotí výskyt výrazně dominantních druhů nebo vyrovnanost společenstva. Tyto indexy zohledňují reprezentativnost druhů s největší hodnotou významnosti. K dosažení těchto indexů se docílí za předpokladu, že jejich hodnoty musí probíhat v opačných směrech, a proto představují inverzní hodnotu. Mezi ně patří Simpsonův, Mc'Intoshův a Bergerův-Parkerův index diverzity (Kanieski et al., 2017).

### ***Simpsonův index***

Simpsonův index je jedním z nejznámějších a nejstarších ukazatelů dominance (Magurran, 2004). Udává pravděpodobnost, že dva náhodně zvolení jedinci z určitého společenstva patří ke stejným druhům. Tento index je razantně ovlivněn nejhojnějším druhem a vykazuje menší senzitivitu vůči vzácným druhům (Jarkovský et al., 2012; Kanieski et al., 2017). Jeho hodnoty se mohou pohybovat v rozmezí od nuly do jedné. Je dáno, že čím blíže se hodnota přibližuje k nule, tím vyšší je index dominance (Kanieski et al., 2017). Jarkovský et al. (2012) uvádí, že rostoucí hodnota Simpsonova indexu zvyšuje dominanci a zároveň snižuje vyrovnanost společenstva, proto je vhodnější používat jeho inverzní hodnotu. Pokud je ve vzorcích přítomno více než 10 druhů, vztah mezi tímto indexem a počtem druhů silně závisí na distribuci (rozložení) abundance druhů ve vzorku.

Magurran (2004) dle Lande et al. (2000) považuje Simpsonův index za neobjasnitelný a méně populární než Shannonův index. Begon et al. (1997) zdůrazňují skutečnost, že druhově bohaté, ale zároveň nevyvážené společenstvo mohou mít nižší index než druhově chudé a vyvážené společenstvo.

$$D = \sum_{i=1}^S \left( \frac{(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right),$$

kde  $s$  je počet taxonů,  $n_i$  je počet jedinců v  $i$ -tém taxonu a  $N$  je celkový počet jedinců.

Simpsonův index vyrovnanosti je vyjádřen jako podíl z maximální hodnoty  $D$ , který nastává v případě, pokud by jedinci byli dokonale rovnoměrně rozmístěni mezi druhy, tzv.  $D_{\max} = S$ . Může nabývat hodnot od nuly do jedné. Ekvitabilita  $E$  je určena vztahem (Begon et al., 1997):

$$E = \frac{D}{D_{\max}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2} \times \frac{1}{S}$$

### ***Mc'Intoshův index***

Tento index není oficiálně považován za index dominance. Lze jej však vypočítat jako míru diverzity ( $D$ ) nebo dominance nezávislejší na celkovém počtu jedinců ( $N$ ; Magurran, 2004):

$$D = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}}$$

### ***Bergerův-Parkerův index***

Bergerův-Parkerův index se vyznačuje poměrnou početností nejhojnějších druhů (Magurran, 2004). Podobně jako u Simpsonova indexu může být jeho hodnota inverzní a též může nabývat hodnot od nuly do jedné. Tento index je značně ovlivněn velikostí vzorku, ale zároveň je nezávislý na počtu druhů (Jarkovský et al., 2012).

$$BP = \frac{N_{\max}}{N},$$

kde  $N_{\max}$  je počet jedinců nejhojnějšího taxonu a  $N$  je celkový počet jedinců.

### 3.9.2.1.3 Indexy počtu druhů a jejich ekvitability

Tyto indexy, které se zaměřují na ekvitabilitu (vyrovnanost) zastoupení druhů, nemají žádné předpoklady o abundančních modelech druhů a lze je tedy považovat za tzv. neparametrické indexy (Jarkovský et al., 2012). Do této skupiny indexů spadá Shannonův-Weaverův a Brillouinův index.

#### ***Shannonův-Weaverův index***

Tento index se řadí mezi nejpoužívanější a nejznámější index. Podstatou tohoto indexu je nahodilý výběr jedinců z teoreticky neomezeného počtu a výskyt všech druhů společenstva ve vzorku (Jarkovský et al., 2012). Hodnoty se pohybují v rozmezí od 1,3 do 4,0. V případě tropických deštných lesů dosahují hodnoty kolem 4,5. Jeho hodnota se udává v logaritmech a vyjadřuje, kolik identických druhů je index schopen vytvořit se stejnou hodnotou. Shannonův-Weaverův index je dán vztahem:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad P_i = \frac{n_i}{N}$$

kde  $s$  je celkový počet taxonů,  $n_i$  představuje počet jedinců  $i$ -tého druhu,  $P_i$  je podíl počtu jedinců  $i$ -tého druhu na celkovém počtu jedinců všech druhů a  $N$  je celkový počet jedinců.

#### ***Brillouinův index***

Na rozdíl od Shannonova indexu se Brillouinův index zaměřuje na kompletní popis biodiverzity vzorkovaného společenstva.

$$H_B = \frac{\ln N! - \sum_{i=1}^S \ln n_i}{N}$$

kde  $s$  je počet taxonů,  $N$  je celkový počet jedinců a  $n_i$  je počet jedinců  $i$ -tého taxonu.

Ekvitabilita  $E_B$  je dána vztahem:

$$E_B = \frac{H_B}{H_{B-max}}$$

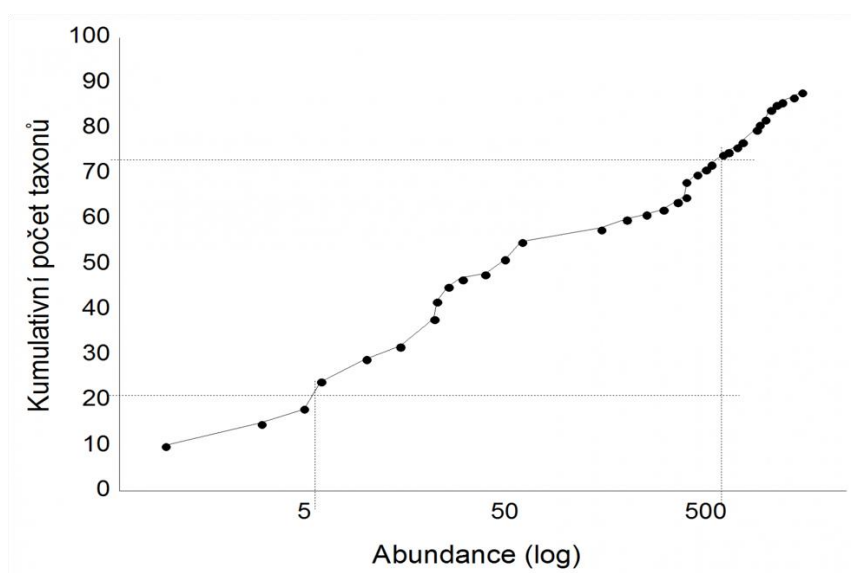
kde  $H_{B-max}$  je maximální hodnota Brillouinova indexu.



Autoři, jako je Laxton (1978) a Pielou (1969) zaznamenali, že z informačního hlediska je Brillouinův index matematicky zajímavější pro měření biodiverzity. Nevýhodou je, že výpočet Brillouinova indexu je časově omezený a méně prozkoumaný než již zmíněný Shannonův index. z tohoto důvodu se v praxi s ním tolik neseťkáváme.

#### 3.9.2.1.4 Q statistika

Q statistika představuje další index, který slouží k popisu diverzity. Podstatou tohoto indexu je měření sklonu křivky abundance kumulativního počtu druhů. Hlavní nevýhodou je, že je ovlivněna malou velikostí vzorku, jestliže vzorek obsahuje méně než 50 % druhů. Výsledkem je rozložení hodnot, které lze snadno statisticky porovnávat napříč různými společenstvy (Jarkovský et al., 2012).



**Obr. 5** Zobrazení křivky abundance kumulativního počtu druhů

#### 3.9.2.2 Hodnocení beta diverzity

Beta diverzita je statistická míra rozmanitosti, která se používá k porovnání různých souborů druhů. Pokud jsou dva druhové soubory velmi podobné, může být beta diverzita nízká, zatímco pokud jsou velmi odlišné, může být beta diverzita vysoká.

Při hodnocení beta diverzity je také důležité vzít v úvahu statistickou významnost výsledků. Obvykle se to provádí porovnáním naměřených hodnot beta diverzity s hodnotami, které by byly získány náhodným výběrem z daného souboru druhů. Jestliže jsou získané hodnoty významně vyšší či nižší, než by se očekávalo náhodným výběrem, tudíž existuje

skutečný rozdíl mezi soubory druhů (Magurran, 2004). Obecně lze říci, že hodnocení beta diverzity je nepostradatelným nástrojem pro porovnávání biologické rozmanitosti různých souborů druhů a pro pochopení přírodních procesů, které ovlivňují tuto diverzitu.

Existuje mnoho různých indexů  $\beta$  diverzity, které se používají k měření rozdílů mezi druhovými soubory. Některé z nejčastěji používaných indexů  $\beta$  diverzity jsou:

### ***Codyho index $\beta_c$***

Cody (1975) se zabýval změnami ve složení ptačích společenstev podél gradientů stanovišť (Magurran, 2004). Tento index může být také definován jako míra množství biotické změny (Wilson & Shmida, 1984).

$$\beta_c = \frac{[g(H) + l(H)]}{2},$$

kde  $g(H)$  je počet získaných druhů a  $l(H)$  je počet ztracených druhů.

Codyho index je výhodný, protože je relativně jednoduchý na výpočet. Nevýhodou je riziko zkreslených výsledků, pokud jsou data nevyvážená nebo obsahují extrémní hodnoty.

### ***Jaccardův index $\beta_J$***

Tento index měří podobnost mezi druhovými soubory na základě podílu počtu společných druhů a celkového počtu druhů v obou souborech. Je dán ve vztahu:

$$\beta_J = \frac{a}{a+b+c}$$

### ***Whittakerův index $\beta_w$***

Whittakerův index je jedním ze základních statistických indexů používajících k měření biodiverzity v rámci jednoho geografického regionu. Tento index vyvinul Whittaker (1960), který byl prvním představitelem konceptů alfa, beta a gama diverzity. Použití tohoto indexu umožňuje srovnat biodiverzitu mezi různými oblastmi a identifikovat oblasti s vysokou nebo nízkou biodiverzitou, což může vést k lepšímu plánování ochrany přírody a udržitelného využívání přírodních zdrojů (Magurran, 2004).

Whittakerův index je dán ve vztahu:

$$\beta_W = S/\alpha, \text{ nebo}$$

$$\beta_W = (S/\alpha) - 1,$$

kde  $s$  je celkový počet druhů a  $\alpha$  je průměrná druhová bohatost vzorků.

### ***Wilson & Shmida index $\beta_T$***

Podobně jako Codyho index odráží tento index nárůst a pokles druhů napříč gradientem, ale zároveň je vyrovnán alfa diverzitou (Wilson & Shmida, 1984).

$$\beta_T = \frac{[g(H) + l(H)]}{2\bar{\alpha}}$$

### ***Sørensenův index $\beta_{sor}$***

Sørensenův index, také známý jako Sørensenův koeficient podobnosti, je statistickým indexem používaným k měření podobnosti mezi dvěma soubory druhů nebo jiných ekologických jednotek. Obvykle se používá k porovnávání druhového složení mezi různými ostrovy nebo mezi různými částmi kontinentů.

Tento index se mírně odlišuje od Jaccardova indexu a je definován následovně (Koleff et al., 2003):

$$\beta_{sor} = \frac{2a}{2a + b + c}$$

## 4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat formou literární rešerše význam biodiverzity v agroekosystémech z hlediska produktivity a stability. Bakalářská práce na základě dostupných a zjištěných informací shrnula a vysvětlila význam biodiverzity v agroekosystémech, jako jsou např. zvyšování biologické rozmanitosti celých trofických sítí, zvýšení výskytu mutualistických a bioregulačních interakcí, pozitivní ovlivnění biogeochemických procesů, přednostní obsazení nik autochtonními a žádoucími druhy spíše než agresivními škůdci a pleveli, a koexistence herbivorů s jejich bioregulátory.

Zachování biodiverzity v agroekosystémech je klíčové pro udržení životaschopnosti zemědělství a zajištění potravinové bezpečnosti, zvyšování produktivity a stability agroekosystémů. Proto je zachování biodiverzity v agroekosystémech důležité z několika důvodů. Zmiňované biogeochemické procesy jsou nenahraditelné pro udržení biodiverzity v agroekosystémech. Je to způsobeno tím, že biogeochemické procesy jsou nezbytné pro život různých druhů rostlin a mikroorganismů, které se výrazně podílejí na zvyšující se produkci rostlinné biomasy a na udržitelnosti agroekosystémů. Kromě toho biodiverzita v agroekosystémech zvyšuje biologickou rozmanitost a stabilitu celých trofických sítí, což má pozitivní vliv na produktivitu a udržitelné zemědělství. V neposlední řadě, přítomnost autochtonních a žádoucích druhů přispívá k odolnosti udržitelných ekosystémů vůči změnám a zároveň pomáhá potlačovat škůdce a plevele bez nutnosti používání chemických pesticidů a herbicidů.

Biodiverzita je také ovlivněna negativními procesy, které ji ohrožují. Mezi hlavní procesy ohrožující biodiverzitu agrocenóz zařazujeme ztrátu a fragmentaci stanovišť, biologickou invazi, nadměrné využívání zdrojů, změnu klimatu a používání pesticidů. Tyto procesy představují hlavní hrozby pro biodiverzitu v agroekosystémech, protože mohou vést k následné migraci nebo dokonce k úplnému vymizení druhů.

Možnosti řešení, jak docílit nejvyšší úrovně biodiverzity, existuje hned několik. Jednou z nich je použití meziplodin a osevních postupů, které zlepšují kvalitu půdy a snižují riziko eroze, chorob a škůdců plodin. Dále jsou možná správně naplánovaná agrotechnická opatření, která mají za úkol zvyšovat biologickou aktivitu půdy. Další z možností, jak biodiverzitu zvýšit, je zakládání nových biotopů, jako jsou např. keřové pásy, okraj lesa, remízky, meze či okraje polí. Na okrajích polí je nutné zachovávat ochrannou vegetaci, která je zásadní pro řadu užitečných organismů. Mezi klíčové faktory pro řešení problému ohledně zachování

biodiverzity v agroekosystémech patří vzdělání a osvěta této problematiky. Tento přístup může pomoci zvýšit povědomí zemědělců a široké veřejnosti o důležitosti biodiverzity a způsobů, jak ji udržovat v agroekosystémech.

Tato bakalářská práce může být cenným zdrojem informací pro budoucí výzkum v této oblasti a může pomoci při vytváření různých opatření a strategií pro ochranu biodiverzity v agroekosystémech.

## 5 Seznam použité literatury

- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **74(1-3)**: 19-31.
- Aziz I, Ashraf M, Mahmood T, Islam KR. 2011. Crop rotation impact on soil quality. *Pakistan Journal of Botany* **43(2)**: 949-960.
- Balota EL, Andrade DS, Colozzi Filho A, Dick RP, Kanashiro M. 2004. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology* **35(4)**: 300-306.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR. 1997. *Ekologie: jedinci, populace a společenstva*. Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR. 2010. *Základy ekologie*. Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Bellard C, Marino C, Courchamp F. 2022. Ranking threats to biodiversity and why it doesn't matter. *Nature Communications* **13(2616)**: 1-4.
- BEZK, z.s. 2018. Meziplodiny chrání pole a vylepšují půdu. *Ekolist*, Praha. Available from <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/meziplodiny-chrani-pole-a-vylepsuji-pudu> (accessed October 2018).
- Boháč J. 2013. *Biologie ochrany přírody pro agroekology*. České Budějovice.
- Boháč J, Moudrý J, Desetová L. 2007. Biodiversity and Agriculture. *Životné Prostredie* **41**: 24-29.
- Brännström Å, Loeuille N, Loreau M, Dieckmann U. 2010. Emergence and maintenance of biodiversity in an evolutionary food-web model. *Theoretical Ecology* **4**: 467-478.
- Braun-Blanquet J. 1932. *Plant Sociology: The Study of Plant Communities*. McGraw-Hill, New York.
- Brown JH, Davidson DW. 1977. Competition between seed-eating rodents and ants in desert ecosystems. *Science* **196**: 880-882.

- Brant V, Balík J, Fuksa P, Hakl J, Holec J, Kasal P, Neckář K, Pivec J, Prokinová E. 2008. *Meziplodiny*. Kurent s.r.o., České Budějovice.
- Caraguti L, Gatto B, Rastelli E, Martire ML, Coral C, Greco S, Danovaro R. 2018. Impact of mangrove forests degradation on biodiversity and ecosystem functioning. *Scientific Reports* **8**: 1-11.
- Chen X, Chen HYH, Chang SX. 2022. Meta-analysis shows that plant mixtures increase soil phosphorus availability and plant productivity in diverse ecosystems. *Nature Ecology & Evolution* **8**: 1112-1121.
- Crawley MJ. 1989. Insect Herbivores and Plant Population Dynamics. *Annual Review of Entomology* **34**: 531-562.
- Dostačil L. 1998. Metody konzervace genetických zdrojů rostlin a možnosti jejich využití. Pages 25-35 in Faberová I, Holubec V, editors. *Metody konzervace genofondu rostlin a možnosti jejich využití v ČR*. Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha – Ruzyně, Praha.
- Dostačil L, Hermuth J, Stehno Z. 2011. *Uchování a využívání genetických zdrojů rostlin a agro-biodiversity v kontextu klimatických změn*. Úroda, Praha.
- Dvorský J, Urban J. 2014. *Základy ekologického zemědělství: podle nařízení Rady (ES) č. 834/2007 a nařízení Komise (ES) č. 889/2008 s příklady*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), Brno.
- Feledyn-Szewczyk B, Kuś J, Stalenga J, Berbec AK, Radzikowski P. 2016. The Role of Biological Diversity in Agroecosystems and Organic Farming. Pages 4-20 in Konvalina P, editor. *Organic Farming – A Promising Way of Food*. IntechOpen, České Budějovice.
- Gaba S, Fried G, Kazakou E, Chauvel B, Naval ML. 2014. Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity. *Agronomy for Sustainable Development* **34**: 103-119.
- Gaujour E, Amiaud B, Mignolet C, Plantureux S. 2012. Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **32(1)**: 133-160.

- Gliessman SR. 2014. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press, Boca Raton.
- Gliessman SR. 2006. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press, Boca Raton.
- Graham U. 2020. *Measuring Abundance: Methods for the Estimation of Population Size and Species Richness*. Pelagic Publishing.
- Hacker SD, Gaines SD. 1997. Some implications of direct positive interactions for community species diversity. *Ecology* **78**: 1990–2003.
- Haddad NM et al. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* **1** (e1500052) DOI:10.1126/sciadv.1500052.
- Hoban S, Schlarbaum S. 2014. Optimal sampling of seeds from plant populations for ex-situ conservation of genetic biodiversity, considering realistic population structure. *Biological Conservation* **177**: 90-99.
- Jarkovský J, Littnerová S, Dušek L. 2012. *Statistické hodnocení biodiverzity*. Akademické nakladatelství CERM, Brno.
- Jwaideh MAA, Sutanudjaja EW, Dalin C. 2022. Global impacts of nitrogen and phosphorus fertiliser use for major crops on aquatic biodiversity. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **27**: 1058–1080.
- Kanieski MR, Longhi SJ, Soares PRC. 2017. Methods for Biodiversity Assessment: Case Study in an Area of Atlantic Forest in Southern Brazil. Pages 46-55 in Bülent Ş, Grillo O, editors. *Selected Studies in Biodiversity*. IntechOpen.
- Kasso M, Balakrishnan M. 2013. Ex Situ Conservation of Biodiversity with Particular Emphasis to Ethiopia. *International Scholarly Research Notices* **2013**: 1-11.
- Kempel A, Razanajatovo M, Stein C, Unsicker SB, Auge H, Weisser WW, Fisher M, Prati D. 2015. Herbivore preference drives plant community composition. *Ecology* **96(11)**: 2923-2934.
- Kent R, Berger J, Zack S. 2012. Abundance as a conservation value. *Oryx* **47(2)**: 157-158.



- Kent M. 2011. *Vegetation Description and Data Analysis: A Practical Approach*. John Wiley & Sons, Incorporated, New York.
- Koleff P, Lennon JJ, Gaston KJ. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* **72(3)**: 367-382.
- Koller-France E, Wilcke W, Oelmann Y. 2021. Does Plant Biodiversity Influence Nutrient Cycles? *Frontiers for Young Minds* **9** (e557532) DOI:10.3389/frym.2021.557532.
- Lal R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* **304(5677)**: 1623-1627.
- Laštůvka Z, Krejčová P. 2000. *Ekologie*. Konvoj, Brno.
- Loreau M. 2010. From Populations to Ecosystems: Theoretical Foundations for a New Ecological Synthesis. Pages 1-260 in Levin SA, Horn HS, editors. *Monographs in Population Biology*. Princeton University Press, Princeton.
- Mačić V et al. 2018. Biological Invasions in Conservation Planning: A Global Systematic Review. *Frontiers in Marine Science* **5 (178)**: 1-13.
- Magurran AE. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Martinková Z, Soukup J, Hamouz P, Honěk A, Holec J, Koprudová S, Nečasová M, Saska P, Tyšer L. 2008. *Biodiverzita plevelových společenstev, její význam a udržitelné využívání*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Mccabe DJ. 2011. Sampling Biological Communities. *Nature Education Knowledge* **2(11)**: 13.
- Mendelova Univerzita v Brně. Management kvality pro všeobecné zemědělství, Brno. Available from [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/) (accessed December 2020).
- Michalet R, Touzard B. 2010. Biotic Interactions, Biodiversity, and Community Productivity. Pages 59-78 in Pugnaire FI, editor. *Positive Plant Interactions and Community Dynamics*. CRC Press, Boca Raton.

- Michalová A. 1998. „On-farm“ konzervace, důvody a možnosti jejího využití. Pages 90-94 in Faberová I, Holubec V, editors. *Metody konzervace genofondu rostlin a možnosti jejich využití v ČR*. Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha – Ruzyně, Praha.
- Ministerstvo zemědělství ČR. 2009. Ekologické zemědělství. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha. Available from <https://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/ekologicke-zemedelstvi/> (accessed September 2009).
- Ministerstvo životního prostředí ČR. 2008a. Národní parky. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. Available from [https://www.mzp.cz/cz/narodni\\_parky](https://www.mzp.cz/cz/narodni_parky) (accessed November 2022).
- Ministerstvo životního prostředí ČR. 2008b. Zoologické a botanické zahrady. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. Available from [https://www.mzp.cz/cz/botanicke\\_zoologicke\\_zahrady](https://www.mzp.cz/cz/botanicke_zoologicke_zahrady) (accessed November 2022).
- Miras-Avalos JM, Baveye PC. 2018. Editorial: Agroecosystems Facing Global Climate Change: The Search for Sustainability. *Frontiers in Environmental Science* **6** (135) DOI:10.3389/fenvs.2018.00135.
- Moldan B. 2015. *Podmaněná Planeta*. Karolinum Press, Praha.
- Moldan B. 2021. *Životní prostředí v globální perspektivě*. Karolinum Press, Praha.
- Mooney HA, Meyerson L. 2007. Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5(4)**: 199-208.
- Moravec J. 1994. *Fytocenologie: Nauka o vegetaci*. Academia, Praha.
- Mounce R, Smith P, Brockington S. 2017. Ex situ conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants*. **3(10)**: 795-802.
- Oelmann Y, Buchmann N, Gleixner G, Habekost M, Roscher C, Rosenkranz S, Schulze ED, Steinbeiss S, Temperton VM, Weigelt A, Weisser W, Wilcke W. 2011. Plant diversity effects on aboveground and belowground N pools in temperate grassland ecosystems: Development in the first 5 years after establishment. *Global Biogeochemical Cycles* **25**: 1-11.

- O'Donnell K, Sharrock S. 2017. The contribution of botanic gardens to ex situ conservation through seed banking. *Plant Diversity* **39(6)**: 373-378.
- Omann I, Stocker A, Jäger J. 2009. Climate change as a threat to biodiversity: An application of the DPSIR approach. *Ecological Economics* **69(1)**: 24-31.
- Pánková H, Münzbergová Z, Kříž K. 2018. Záchrané pěstování ohrožených rostlin v soukromých zahradách. *Fórum ochrany přírody* **1**: 28-32.
- Primack RB, Kindlmann P, Jersáková J. 2011. *Úvod do biologie ochrany přírody*. Portál, Praha.
- Primack RB, Kindlmann P, Jersáková J. 2001. *Biologické principy ochrany přírody*. Portál, Praha.
- Polechová J, Storch D. 2008. Ecological Niche. Pages 1088-1097 in Jørgensen SE, Fath BD, editors. *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier Science.
- Redlichová R, Bečvářová V, Vinohradský K. 2014. *Vývoj ekologického zemědělství ČR v ekonomických souvislostech*, Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Reichard SH, White PS. 2003. Invasion Biology: An Emerging Field of Study. *Annals of the Missouri Botanical Garden Press* **90(1)**: 64-66.
- Rogan JE, Lacher TE. 2018. Impact of Habitat Loss and Fragmentation on Terrestrial Biodiversity. Pages 1-18 in Elsevier Reference Collection, editor. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier.
- Rosenzweig ML. 1971. Paradox of Enrichment: Destabilization of Exploitation Ecosystems in Ecological Time. *Science* **171**: 385-387.
- Roswell M, Dushoff J, Winfree R. 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* **130(3)**: 321-338.
- Shennan C. 2007. Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture. *The Royal Society Publishing* **363(1492)**: 717-739.
- Smith P, Cotrufo MF, Rumpel C, Paustian K, Kuikman PJ, Elliott JA, McDowell R, Griffiths RI, Asakawa S, Bustamante M, House JI, Sobocká J, Harper R, Pan G, West PC, Gerber

- JS, Clark JM, Adhya T, Scholes RJ, Scholes MC. 2015. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. *Soil* **1(2)**: 665-685.
- Sobti RC. 2022. *Biodiversity: Threats and Conservation*. Taylor & Francis Group.
- Stephan W, Lohwasser U, Oppermann M. 2020. Document or Lose It – On the Importance of Information Management for Genetic Resources Conservation in Genebanks. *Plants* **9(8)**: 1-13.
- Stevens AD. 2007. Botanical Gardens and their Role in ex Situ Conservation and Research. *Phyton* **46(2)**: 211-214.
- Stone Brook University. 2014. Sustainable Vs. Conventional Agriculture. New York. Available from <https://you.stonybrook.edu/environment/sustainable-vs-conventional-agriculture/> (accessed June 2014).
- Storch D. 2019. Biodiverzita: co to je, jak ji měřit, co ji podmiňuje a k čemu je to všechno dobré. *Živa* **5**: 194-197.
- Sud M. 2020. Managing the Biodiversity Impacts of Fertiliser and Pesticide Use: Overview and insights from trends and policies across selected OECD countries. *Organisation for Economic Cooperation and Development Publishing* **155**: 6-60.
- Šarapatka B et al. 2010. *Agroekologie: východisko pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Bioinstitut, o. p. s., Olomouc.
- Šarapatka B, Urban J. 2006. *Ekologické zemědělství v praxi*. PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Šumperk.
- Švecová M, Smrž J, Petr J. 2007. *Biodiverzita a udržitelný rozvoj*. Klub ekologické výchovy, Praha.
- Thébault E, Loreau M. 2003. Food-web constraints on biodiversity-ecosystem functioning relationships. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **100(25)**: 14949-14954.
- Trajkova F., Arsov S, Gudeva LK. 2021. The role and importance of agrobiodiversity for agriculture. *Journal of Agriculture and Plant Sciences* **19**: 47-61.

- Urban J, Šarapatka B et al. 2003. *Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi, I. díl (Základy ekologického zemědělství, agroenvironmentální aspekty a pěstování plodin)*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- Usher MB. 1988. Biological invasions of nature reserves: A search for generalisation. *Biological Conservation* **44**: 119-135.
- Václavík T. 2006. *Ekologické zemědělství a biodiverzita*. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. 2020. Výzkumný tým 09: Genová banka. Praha 6 – Ruzyně. Available from <https://www.vurv.cz/vyzkum/odbor-genetiky-a-slechteni-rostlin/genova-banka/> (accessed May 2020).
- Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský, s.r.o. Metodické listy OVP: Genofondy a genové banky ovocných plodin. Holovousy. Available from [www.vsuo.cz](http://www.vsuo.cz) (accessed November 2022).
- Wilson MV, Shmida A. 1984. Measuring Beta Diversity with Presence-Absence Data. *The Journal of Ecology* **72(3)**: 1055-1064.
- Wyse Jackson PS, Sutherland LA. 2000. *International Agenda for Botanic Gardens in Conservation*. Botanic Gardens Conservation International, UK.
- Wood SA, Karp DS, Declerck F, Kremen C, Naeem S, Palm CA. 2015. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution* **30(9)**: 531-539.