

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Agroekologické aspekty agrolesnických postupů vpéči o půdní
úrodnost**

Bakalářská práce

Autor práce: Kulatay Kuanysh

Obor studia: Ekologické zemědělství

Vedoucí práce: Ing. Josef Holec, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Agroekologické aspekty agrolesnických postupů péči o půdní úrodnost" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Josefu Holcovi, Ph.D. za to, že mi věnoval čas a za celkový přístup.

Agroekologické aspekty agrolesnických postupů v péči opůdní úrodnost

Souhrn

Cílem mé bakalářské práce je shrnout agroekologické aspekty agrolesnických postupů v oblasti půdní úrodnosti. Agrolesnické systémy se každým dnem těší stále většímu zájmu zemědělců. Důležitá je obnova půdní úrodnosti prostřednictvím návrhu a plánování rostlinné výroby a výběru metod a druhů plodin a dřevin vhodných pro pěstování v konkrétních přírodních podmínkách. Agrolesnické systémy jsou jedním z nástrojů, které mohou zemědělci využít k zachování kvality půdy a vytvoření nového systému, který bude zemi rozvíjet nejen zemědělsky, ale také ekonomicky a sociálně. Jejich hlavní výhodou je, že jsou jedním z nástrojů, které pomáhají bojovat proti suchu, narušení půdy, zlepšují kvalitu produktů a také pomáhají najít rovnováhu biologické rozmanitosti. V bakalářské práci je nejprve uvedena definice agrolesnictví, po níž následuje přehled o historickém vývoji agrolesnictví. Poté jsou rozebrány pozitivní a negativní aspekty agrolesnických systémů se zaměřením na vliv agrolesnictví na životní prostředí a půdu. Poté je popsán současný stav agrolesnictví s výhledem do budoucna.

Klíčová slova: Ekosystémové služby, produkční systémy, agroekosystém, smíšené kultury, jedlé lesy, liniové výsadby, silvopastorální systémy.

Agroecological aspects of agroforestry practices in the soil fertility management

Summary

The aim of my bachelor thesis is to summarize the agroecological aspects of agroforestry practices in the field of soil fertility. Agroforestry systems are gaining more and more interest among farmers every day. It is important to restore soil fertility through the design and planning of crop production and the selection of methods and species of crops and trees suitable for cultivation in specific natural conditions. Agroforestry systems are one of the tools that farmers can use to maintain soil quality and create a new system that will develop the country not only agriculturally but also economically and socially. Their main advantage is that they are one of the tools that help to combat drought, soil disturbance, improve the quality of products and also help to find a balance of biodiversity. In the bachelor thesis, a definition of agroforestry is first given, followed by a discussion of the historical development of agroforestry. Then the positive and negative aspects of agroforestry systems are discussed, focusing on the impact of agroforestry on the environment and the soil. The current state of agroforestry is then described with a view to the future.

Keywords: Ecosystem services, production systems, agroecosystem, mixed crops, edible forests, linear plantations, silvopastoral system.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Cíl práce	2
3.	Literární rešerše	3
3.1.	Agroekologie	3
3.2.	Charakteristika agrolesnictví	4
3.3.	Příklady agrolesnictví	5
3.4.	Historie agrolesnictví	8
3.4.1.	Historie agrolesnictví v České republice	9
3.4.2.	Agrolesnické systémy v Evropě	10
3.5.	Benefity a negativa agrolesnických systémů	11
3.5.1.	Hospodářský, socioekonomický a krajinářský aspekt	11
3.5.2.	Přínosy pro životní prostředí	12
3.6.	PŮDA – organická hmota a uhlík	14
3.6.1.	DUSÍK A DALŠÍ ŽIVINY	14
3.6.2.	Mikrobiota	15
3.6.3.	Problémy eroze a její případné řešení	15
3.6.4.	Zlepšování půdy prostřednictvím agrolesnictví	19
3.6.5.	Vliv agrolesnictví na půdní biotu	20
3.6.6.	Degradace půdního pokryvu	21
3.6.7.	Agrolesnictví pro degradované půdy a suché oblasti.	23
3.7.	Kazakhstan	26
3.7.1.	Charakteristika vybrane oblasti – Turkestánský region.	27
3.7.2.	Charakteristika rostlinné produkce a ovocnářství	28
3.7.3.	Charakteristika živočišné produkce	29
3.7.4.	Obecné zhodnocení zemědělství v Turkestánském regionu	29
3.7.5.	Obecná charakteristika agrolesnického systému a SWOT analýza	30
4.	Závěr	32
5.	Literatura	34

1. Úvod

Lesy a zemědělství mají zásadní význam pro živobytí lidí. Úbytek lesů se celosvětově zrychluje a představuje globální problém. Během posledních 1 000 let se lesní porosty na naší planetě zmenšily ve prospěch zemědělské půdy a různých lidských potřeb. Tento trend odlesňování přináší řadu negativních dopadů, mezi něž patří zmenšování přirozeného prostředí pro mnoho druhů a snižování uhlíkové stopy člověka, což se zdá být v budoucnosti vážným problémem. Z tohoto důvodu je nezbytné nadále podporovat opatření k zalesňování a paralelně podporovat produkci potravin prostřednictvím udržitelného zemědělství. Jedním z mála využívaných přístupů k propojení výhod zemědělství a lesní půdy je implementace agrolesnických systémů. Tato strategie zahrnuje integrování stromů do zemědělských nebo farmářských aktivit s cílem dosáhnout různorodých cílů, jako je výroba dřeva, potravin a ovoce. Zároveň se tím dosahují nepřímé výhody, včetně zlepšení obsahu živin v půdě, mikroklimatických změn, ochrany půdy a estetického vylepšení krajiny (Kimmins et al. 2010). Agrolesnictví spojuje dva úzce související sektory, a to zemědělství a lesnictví, s cílem optimalizovat produkci a zachovat ekonomickou udržitelnost zemědělství. Agrolesnictví přináší nejen ekonomické výhody, ale též pozitivní dopady na životní prostředí, včetně podpory biodiverzity a omezení půdní eroze. Efektivní využití jak produkčních, tak neprodukčních ploch je klíčové pro dosažení optimálního zisku a udržitelnosti půdního hospodaření ve všech zemích, včetně Kazachstánu na který je část této práce zaměřena. Přesto je nutné pečlivě zhodnotit jak pozitivní, tak negativní aspekty agrolesnictví na celkové životní prostředí.

2. Cíl práce

Zpracovat přehled literatury k péči o půdní úrodnost kombinované s agrolesnictvím ve smyslu efektivní správy služeb agroekosystému. Charakterizovat potenciál agrolesnických systémů, jejich využití a vliv na udržení půdní úrodnosti včetně analýzy možností zavádění a šíření agrolesnictví v kulturní krajině Kazachstánu. Popsat přínosy i limity produkce potravin v těchto systémech a definovat problematické oblasti.

3. Literární rešerše

3.1. Agroekologie

Agroekologie představuje oblast vědeckého výzkumu zaměřenou na interakce člověka s životním prostředím v kontextu zemědělské výroby. Studuje vliv zemědělství na přírodní komplexy a jejich složky, vzájemné vztahy uvnitř agroekosystémů a také specifika oběhu látek v nich. Hlavní pozornost je věnována fungování agroekosystémů v podmínkách různých technogenních zátěží (Černikov 2000).

Agroekologické metody mohou přispět ke zvýšení výnosů a snížení spotřeby chemických hnojiv a pesticidů, což podporuje ekonomickou efektivitu a ekologickou udržitelnost zemědělství (Clara 2018).

Cílem agroekologie je zajistit udržitelnou a vysoce kvalitní biologickou produkci, optimální využití bioenergetického potenciálu agroekosystémů, ochranu a obnovu přírodní základny zemědělského sektoru a minimalizaci negativního vlivu na okolní přírodní prostředí (Černikov 2000).

Agroekologie umožňuje integrovat poznatky o zemědělství a ekologii pro udržitelné využívání půdy, vody a biodiverzity (Stephen 1998).

Rozvoj agroekologie je nezbytný pro zajištění potravinové bezpečnosti a ochranu životního prostředí v podmínkách změny klimatu a degradace přírodních zdrojů (Miguel 1995).

Hlavním a konečným úkolem agroekologie je ekologická optimalizace zemědělských podniků a přilehlých území. To předpokládá zohlednění požadavků racionálního využívání přírodních zdrojů ve všech sektorech moderního agropromyslového komplexu, včetně výroby prostředků pro zemědělství, materiálně-technického zabezpečení, samotné zemědělské výroby a také sklizně, skladování, primárního zpracování a prodeje zemědělských produktů (Černikov 2000).

V oblasti zemědělství je primární strukturální jednotkou, kde dochází k interakci člověka s přírodou, funkční jednotkou – agroekosystém (nebo agrobiogeocenóza). Je však třeba poznamenat, že toto pojetí je vnímáno nejednoznačně. Například podle Y. Oduma (1987) jsou agroekosystémy domestikované ekosystémy, které se v mnoha ohledech nacházejí na rozhraní mezi přírodními ekosystémy (louky, lesy) a umělými (města).

V současné době jsou agroekosystémy (agrobiogeocenózy) vnímány jako sekundární, lidskem změněné biogeocenózy, které se staly významnými elementárními jednotkami biosféry; jejich základem jsou uměle vytvořené biotické komunity, obvykle chudé na druhovou rozmanitost živých organismů. Tyto komunity formují a regulují lidé za účelem získání zemědělských produktů. Agroekosystémy se vyznačují vysokou biologickou produktivitou a dominancí jednoho nebo několika vybraných druhů (odrůd, plemen) rostlin nebo živočichů. Pěstované plodiny a chovaná zvířata jsou vystavena umělému, nikoli přirozenému výběru. Jako ekologické systémy jsou agroekosystémy nestabilní: mají slabě

vyjádřenou schopnost samoregulace, bez lidské podpory se rychle rozpadají nebo degenerují a transformují se do přírodních biogeocenóz (například meliorovaná půda se může změnit v bažinu). Agroekosystémy s převahou obilovin existují ne déle než jeden rok, mnoholeté trávy 3...4 roky, ovocné kultury 20...30 let. Lesní ochranné pásy, které jsou součástí agroekosystémů, ve stepní zóně existují nejméně 30 let. Avšak bez lidské podpory (údržbové seče, doplňky) postupně "degenerují", přeměňují se na přirozené ekosystémy nebo hynou. Převažující formou agroekosystémů jsou umělé fytoceonózy: kulturní (plánovaně využívané louky a pastviny); polokulturní (nestálé regulované umělé výsadby – seté, mnoholeté louky); kultivované (trvale regulované mnoholeté výsadby, pole a zahradní plodiny); intenzivně kultivované (skleníkové kultury, hydroponika, aeroponika a další, vyžadující vytvoření a udržování speciálních půdních, vodních a vzdušných podmínek). Řízení agroekosystému je prováděno zvenčí a podřízeno externím cílům.

Zajímavá je definice R.A. Poluektova (1991), který nazývá agroekosystémy specifickým typem ekosystémů zemědělské plochy, kde rostou kulturní rostliny, žijí další druhy rostlin a živočichů a probíhá složený řetězec fyzikálních a chemických transformací energie a látek.

3.2. Charakteristika agrolesnictví

Agrolesnictví je termín používaný k označení udržitelných zemědělských systémů, ve kterých jsou stromy anebo keře záměrně pěstovány spolu s polními plodinami na stejné zemědělské anebo lesní půdě. Samotný termín byl představen vcelku nedávno, avšak techniky výsadby stromů spolu s dalšími plodinami pro vzájemný prospěch jsou známy po mnoho staletí (Jacobi et al. 2017).

Agrolesnické systémy mohou mít různé podoby, od pěstování polních plodin mezi řadami stromů až po hraniční výsadbu živých plotů, které jsou vysazeny podél polí a slouží tak jako větrolamy. Do některých agrolesnických systémů může být zapojena i pastva hospodářských zvířat (Current et al. 1995).

Agrolesnictví efektivně spojuje stromy, keře a hospodářská zvířata, využívajíc jejich vzájemných synergických interakcí. Výsledné produkty agrolesnictví zahrnují polní plodiny, ovoce a dřevo z prosperujících stromů a keřů, a též potenciální živočišné produkty, jako je maso, mléko a vlna (Sutuma 1996). Podle ekonomických analýz je patrné, že v úvodních letech po provedení zalesňovacích opatření a v průběhu následného růstu stromů jsou náklady pro zemědělce přibližně o 5 % vyšší než očekávané budoucí přínosy. Jedná se o náklady spojené s úvodní péčí o stromy a tvarováním jejich korun. Nicméně tyto náklady jsou dalece vykompenzovány následným výnosem z produkce. Výhody však nejsou omezeny pouze na stranu farmářů a jejich sklizně. Zakládáním agrolesnických systémů dochází k rozšíření biodiverzity krajiny a poskytování útočiště mnoha druhům živočichů (Nátr 2011).

Sutuma (1996) upozorňuje na využívání jak zemědělských, tak nejnovějších technologií souvisejících

s lesem, což má za následek efektivnější, prospěšnější, zdravější a více udržitelný způsob využívání půdy. Podle Nátra (2011) kombinace polních plodin a dřevin na pozemku nebrání mechanizaci, protože stromy lze umístit v rozmezí od 15 do 40 metrů od sebe.

Navíc mohou tyto systémy pozitivně ovlivnit biofyzikální vlastnosti půdy a následně zvýšit výnosnost zemědělské půdy. Agrolesnictví přináší rozmanitost ve výrobě a posiluje bezpečnost potravin, a to nejen v rozvojových zemích. Současně snižuje ekonomická rizika spojená s fluktuacemi tržních cen a rozšiřuje sortiment dostupného zboží pro komunity s omezeným přístupem na trh. Agrolesnictví je široce využíváno jako systém přírodního hospodaření v různých částech světa, a k tomuto tématu bylo provedeno mnoho výzkumných analýz. Vědecké studie se často soustředí na ekonomickou výkonnost těchto systémů (Jerneck & Olsson 2013).

3.3. Příklady agrolesnictví

Pokud jde o agrolesnické systémy, existují dva hlavní myšlenkové směry: ti, kteří to vidí jako metodu využívání půdy, a ti, kteří to vidí jako soubor integrovaných technik správy půdy (Sinclair 1999).

Za prvé, agrolesnictví je definováno jako interdisciplinární obor, který studuje souhru mezi lidmi, zvířaty, léčivými bylinami a vytrvalými dřevinami jako součást většího systému lesního a zemědělského hospodaření. V této fázi se díváme na ekosystém jako celek, což znamená, že zkoumáme věci, jako je produktivita, stabilita, udržitelnost a obecná rovnováha systému využívání půdy. Současná fáze zahrnuje také ekonomické a ekologické aspekty (Sinclair 1999).

Druhá fáze zahrnuje implementaci souboru postupů obhospodařování půdy, které záměrně začleňují stromy (včetně keřů, palem a bambusů) se zemědělskými plodinami nebo zvířaty na stejném pozemku a současně. To uvádí do pohybu podstatné ekologické a ekonomické interakce mezi těmito dvěma složkami (Sinclair 1999).

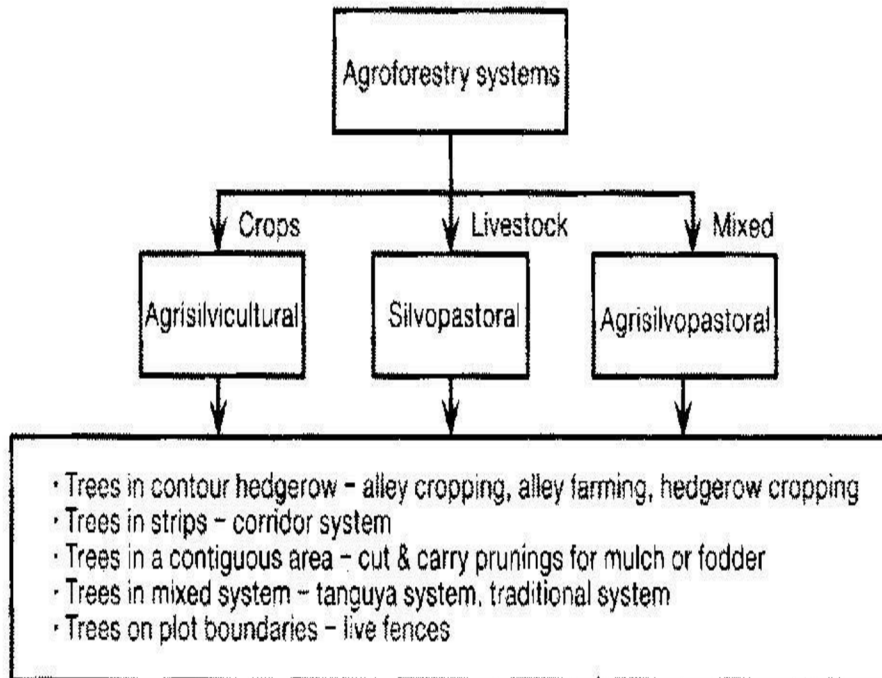
Podle Ehrenbergera (2014) má termín "agrolesnictví" širokou škálu významů, které se mění s časem a geografickou polohou. Přestože při definování těchto systémů existuje určitý prostor pro interpretaci, všechny obsahují následující funkce.

- Hospodářská aktivita propojující produkci zemědělských plodin s tou, kterou poskytují stromy nebo keře.
- vzájemná propojenost mezi jednotlivými složkami systémů
- zvýraznění dalších funkcí mimo produkci, případně trvalost systému
- důležitost role člověka v tomto systému

Mezi mnoha agrolesnickými postupy praktikovanými rozvojovými zeměmi vyniká zpracování půdy v subtropických a tropických ekosystémech. (změna kultivačních postupů). Zemědělské plodiny se pěstují několik let na pozemcích, které byly kdysi spáleny. Po určitém období jsou tyto plochy opět ponechány ladem a nadále jsou opuštěné. Je známo, že tropické oblasti díky tomuto mechanismu zažily rozsáhlé

odlesňování. Ačkoli existují některá nařízení, která je třeba dodržovat, například dostatečně dlouhé období úhoru, lze tuto metodu stále považovat za udržitelnou, zejména pokud je aplikována na domorodé komunity (Ehrenberger 2014).

Existuje několik agrolesnických systémů, jejichž strukturu lze vidět na Obrázku č. 1.



Obrázek č. 1: Obecné rozdělení agrolesnických systémů. (Soukup & Barták 2009/2013)

Prvním systémem je zemědělsko-lesní systém silvoorebního typu (anglicky „agrisilvicultural“), kde se stromy nebo keře kombinují s pěstováním zemědělských plodin na těžce ploše. Některé často používané systémy spočívají v uspořádání řad stromů, které plní funkci živých plotů, s mezerami mezi nimi, kde se nacházejí obdělávané plochy se zasetými plodinami. V tropických oblastech jsou praktikovány následující agrolesnické systémy:

- Systém úhorového hospodářství. Zahrnuje používání orné půdy k pěstování polních plodin po několik let, následované výsadbou výhradně dřevin.
- Kultivace plodin v prostoru mezi stromy v prvních fázích nově založených plantáží s primárním zaměřením na těžbu dřeva. Tento systém přináší výhodu v tom, že lze sklízet zaseté plodiny před samotnou těžbou dřeva.
- Využití dřevin jako živého ochranného pásu: Dřeviny plní funkci živého plotu, který chrání před větrem a nadměrným slunečním zářením. Mezi živými ploty jsou umístěny plodiny, které mohou využívat stín poskytovaný těmito ploty.
- Různé druhy stromů jsou rozptýleny náhodně nebo metodicky podle stanovených vzorů; to umožňuje stromům s různými účely koexistovat na zemědělské půdě.

- Plantážní plodiny, které zahrnují kávu, kakao a čaj, jsou základní součástí integrované agrolesnické strategie. Na plantážích jsou běžné palmové rostliny a další stromy milující stín.
- Pěstování stromů na zemědělské půdě za účelem sběru palivového dřeva.

Jiným agrolesnickým systémem je pastevně-lesní systém, známý také jako silvopastorální, kde zvířata nacházejí krmivo přímo v agrolesních. Oblíbený především v tropických a subtropických regionech.

- Proteinní banka, tj. výroba krmiv z plodin nebo stromů s vysokým obsahem proteinů, pěstovaných v rámci agrolesnického systému. Hospodářská zvířata nacházejí potravu ve formě plodů, které poskytují dřeviny vysázené jako živé ploty.
- Náhodné rozmístění dřevin nebo systematické uspořádání, spolu s volným pohybem hospodářských zvířat.

Posledním klasifikovaným systémem je agrolesně-pastevně-zemědělský systém, kde se kromě pěstování polních plodin vysazují také stromy a provádí se chov zvířat.

- Živé ploty, které slouží dvojímu účelu, mohou zvýšit úsilí o kontrolu eroze a také poskytnout skotu jídlo a přístřeší.
- Různé druhy stromů, rostlin a zvířat koexistují v oblasti obklopující lidské domovy, jak uvedl Martin (2014).

3.4. Historie agrolesnictví

V historických obdobích byly dřeviny a zemědělské plodiny často pěstovány ve vzájemné kombinaci po celém světě, a existuje mnoho příkladů tohoto jevu. V Evropě bylo obvyklé alespoň do středověku kácet opuštěné lesy, provádět spálení hmoty dřevin a následně na vykácených plochách pěstovat různé druhy zemědělských plodin. Taktéž bylo běžné sázet dřeviny buď ve stejnou dobu jako plodiny, nebo před nebo po jejich zasetí. Výše uvedený model hospodaření v Evropě však ztratil popularitu před řadou let. V případě Finska byl tento model zemědělského hospodaření rozšířen až do konce 19. století a v několika oblastech Německa byl stále praktikován i ve dvacátých letech dvacátého století (King 1968).

Na Filipínách se původní obyvatelé věnovali komplexnímu a do jisté míry rafinovanému způsobu střídavého obdělávání půdy. Při odlesňování pro zemědělské využití strategicky zachovávali určité vybrané stromy, jež na konci cyklu pěstování rýže poskytovaly částečný stín. Tento "stínový baldachýn" sloužil k omezení nadměrné expozice slunci v době, kdy pro zrání rýže byla klíčová spíše vlhkost než sluneční světlo. To však nebylo všechno. Stromy byly neodmyslitelnou součástí jejich zemědělského systému, ať už byly vysazovány nebo zachovávány z původních lesů. Kromě své ochranné role poskytovaly také potraviny, stavební dřevo, kosmetické a léčebné produkty (Conklin 1957).

V africkém prostředí byla podobná konfigurace. Na jihu Nigérie byly obvykle společně pěstovány batáty, kukuřice, dýně a fazole pod ochranou rozptýlených stromů (Forde 1937). V Zambii byla tradičně praktikována pěstování hlavní plodiny na usedlosti spolu s několika vedlejšími plodinami, které byly vysévány současně s rozptýlenými dřevinami (Crown 1938). U Jorubů západní Nigérie, kteří systematicky uplatňují intenzivní systém smíšeného pěstování bylin, keřů a stromů, je tento přístup chápán jako prostředek k uchování lidské existence prostřednictvím plného využití omezeného prostoru získaného z hustého lesa. Tuto metodu srovnávají s vícepodlažními budovami v hustě osídlených oblastech, kde je potřeba expanze spíše ve vertikálním směru než horizontálním. Argumentují také, že je to ekonomicky efektivní strategie pro boj s erozí, vyplavováním a udržováním úrodnosti půdy (Ojo 1966). Popisují to barvitě jako "rostliny, které čerpají živiny ne z jednoho stolu, ale z mnoha stolů pod jednou oblohou" (Henry 1949).

Agrolesnictví oficiálně popsal na počátku 20. století americký ekonomický geograf J. Russell Smith ve své knize *Tree Crops* (1929). Smith považoval stromové „trvalé zemědělství“ za řešení problémové eroze, která často následovala po obdělávání svažitých pozemků. Jeho příspěvky však byly během zelené revoluce v 60. letech 20. století a následného inkluzivnějšího přístupu k rozvoji zemědělských systémů (FSR/E) na počátku 70. let, hledající udržitelné zemědělské alternativy, do značné míry přehlíženy. Tyto snahy neřešily mnoho základních potřeb drobných zemědělců v tropech s omezenými zdroji, jako jsou nezbytné produkty pocházející ze stromů, včetně potravin, paliva, krmiva, stavebních materiálů, léků a příjmů, a také udržitelnost ekosystémů, kterou stromy udržují.

V roce 1977 vydalo Kanadské centrum pro mezinárodní rozvojový výzkum zprávu nazvanou „Stromy, potraviny a lidé“ (jako součást Projektu identifikace priorit tropického lesnického výzkumu), která popisuje zásadní roli stromů při udržování zemědělské produkce v tropech. To vedlo k založení Mezinárodní rady pro výzkum v oblasti agrolesnictví (ICRAF), která nakonec v roce 1977 sídlila v keňském Nairobi, a v roce 1982 ICRAF vydala časopis *Agroforestry Systems*, který měl nově vznikajícímu oboru poskytnout celosvětové výzkumné zázemí. V roce 2002 byl ICRAF přejmenován na Světové středisko pro agrolesnictví – Center for International Forestry Research and World Agroforestry (CIFOR-ICRAF), což odráží jeho globální mandát.

3.4.1. Historie agrolesnictví v České republice

Rané formy zemědělství vytvářely symbiózu s pravidelným odlesňováním a stěhováním, což je známý prvek v tropických oblastech. Na území dnešní České republiky byla tato praxe adaptována do modifikované podoby. V období před výraznými kulturními změnami, zejména v období předkulturní krajiny ovlivněné mezolitickou civilizací, byl tento typ zemědělství jednou z možností obživy v raných etapách rozvoje zemědělské společnosti. Záměrné vyčišťování lesů pro vytváření polí určených k seti obilovin bylo v historii jednou z nejrozšířenějších strategií při formování kulturní krajiny (Ehrenbergerová 2014).

V oblasti dnešního státu se střídání mezi lesy a poli, stejně jako využívání lesů pro pastvu, praktikovalo v podstatě až do konce středověku (známé jako fenomén středního lesa). I přesto, že v období baroka byla krajina do značné míry strukturalizována do podoby lesů, polí, luk a pastvin (Martiník et al. 2015).

Nové odrůdy plodin, vylepšené metody výsadby a rozšířené používání pesticidů a hnojiv jsou jen několika příklady zemědělského pokroku, který v posledních desetiletích urychlil oddělení systémů pěstování plodin a chovu hospodářských zvířat, stejně jako výstavba stájí pro hospodářská zvířata. Postupem času vedla potřeba řízené obnovy lesů a stabilního chovu k limitům a do poloviny dvacátého století k úplnému zákazu pastvy v lesních oblastech. Další agrolesnická technika byla zavedena v době obnovy lesů na konci 18. století. V prvních letech po založení lesa to zahrnovalo pěstování potravinářských plodin uprostřed rozptýlených dřevin lesa. Nedostatek vhodné půdy pro pěstování plodin si vyžádal tento přístup, který také pomohl zalesnit velké plochy, které byly v tomto období opuštěny nebo byly v havarijním stavu (Martiník et al., 2015).

V období do poloviny 19. století měla většina evropských států rozsáhlé lesy, polní porosty a roztroušenou zeleň skládající se z jednotlivých stromů, stromořadí a remízků. S přibývajícím intenzifikací zemědělství docházelo k proměně mnoha oblastí, které se staly rozsáhlými poli zemědělských monokultur. Tyto monokultury zahrnovaly především obiloviny, brambory a v dnešní době také ekonomicky významné plodiny, jako jsou slunečnice a řepka. Je patrné, že s růstem produkce potravin a

ekonomickým ziskem pro zemědělce docházelo k úbytku biodiverzity a snižování turistické atraktivnosti krajiny (Nátr 2011).

Pravdivost dřívějších pokroků není zpochybněna oživením zájmu o integraci zemědělských systémů založených na stromech s mimořádně plodnými zemědělskými regiony. Místo toho je důležité zdůraznit, že agrolesnictví zůstává ekologicky atraktivní, udržuje nebo dokonce zvyšuje produkci biomasy a ekonomický zisk pro zemědělce, a to vše díky rozšiřování nových poznatků, které umožňují například zavedení přesných forem zemědělství a rostoucí tlak negativních civilizačních dopadů na člověka (Nátr 2011).

Agrolesnictví s využitím pastvy je u nás zastoupeno především v kopcovitých oblastech, jako jsou Šumava a Bílé Karpaty. Tento konkrétní druh agrolesnictví je v naší oblasti poměrně vzácný, hlavně proto, že se nachází ve vysokých nadmořských výškách, kde tradiční pěstování plodin není nijak zvlášť praktické. Z tohoto důvodu byly tyto oblasti chráněny před orbou a odvodněním a byly posíleny výsadbou a ochranou stromů (Lojka & Martiník 2014).

Podle Krčmaržové & Jelečka (2016) bylo agrolesnictví v České republice dlouhou dobu opomíjeno ve výzkumu a nebylo začleněno do výuky. Tato situace se však v nedávné době změnila. Výzkumu v agrolesnictví se v současnosti věnuje řada českých institucí a odborníků. Česká agrolesnická organizace, která je členem Evropské Agrolesnické federace (EURAF), byla založena v roce 2014. Podpora agrolesnictví v krajině a provádění výzkumu jsou jejími primárními cíli.

3.4.2. Agrolesnické systémy v Evropě

V Evropě se agrolesnictví právě teď pohybuje šnečím tempem. Jednou z oblastí, která zaznamenala pozitivní účinky agrolesnictví, je region Montpellier ve Francii. Sucho a rostoucí teploty jsou dva příklady problémů se změnou klimatu, které podnítily šíření této praxe, což zase zlepšilo zemědělskou produkci na místní úrovni a otevřelo dveře novým příležitostem pro diverzifikaci zemědělství. Článek, který popisuje situaci v Montpellier, jasně uvádí, že "byla zachována zemědělská výroba, zvýšila se biodiverzita krajiny, v rámci zemědělské výroby se objevily další ekonomické příležitosti a v neposlední řadě krajina získala zajímavou estetickou hodnotu díky novým krajinným prvkům složeným ze stromů, tj. agrolesnictví také zlepšilo neproduktivní funkci krajiny". Informace poskytly Lojka a ČSAL v roce 2018. Francouzští zemědělci využívají agrolesnictví jako marketingový nástroj k propagaci svých rostlinných a živočišných statků. Je dobře známo, že francouzská kuchyně má velkou radost z vysoce kvalitních komponent. Výsledkem je, že francouzští specialisté na agrolesnictví se rozhodli uvádět na trh své výrobky zdůrazněním odlišnosti použitých složek.

Existují restaurace, díky nimž je cílem výhradně poskytovat produkty, maso a mléčné výrobky z farem, které praktikují tento způsob zemědělství (Erber 2018).

Silvo pastorální systémy jsou dalším druhem udržitelného agrolesnictví, které se rozkládá na třech milionech hektarů ve Španělsku a Portugalsku. Tato technika zahrnuje vzájemnou výsadbu vzácných dubových porostů s jinými druhy dubů, jako jsou jedlé korkové duby produkující žaludy nebo častější mandlové duby pěstované v Portugalsku. V blízkosti těchto lesních porostů se často pasou ovce, prasata a koně. Některé z nejlepších iberských šunek pocházejí ze zvířat, která jedí žaludy. Agrolesnická metoda je dobře testovaná a spolehlivá a umožňuje dlouhodobé výnosy plodin i ve velmi suchých oblastech, kde je nízká úrodnost půdy. I když tento systém nabízí produkční výhody, jako je maso a dřevo, nabízí také nevýrobní výhody, jako jsou rekreační aktivity a požární ochrana (Martinik et al., 2015). Díky svému potenciálu podporovat udržitelné řízení životního prostředí, hospodářský rozvoj a snižování chudoby získaly agrolesnické systémy velkou pozornost politiků a dalších skupin (Vosti 1995).

3.5. Benefity a negativa agrolesnických systémů

3.5.1. Hospodářský, socioekonomický a krajinářský aspekt

Agrolesnictví zvyšuje nejen příjmy ze zemědělství a chovu hospodářských zvířat, ale také samotné dřevo, které lze prodávat za rychle rostoucí řezivo nebo vzácné druhy stromů. Stejným způsobem můžete použít ovoce, ořechy a další produkty z mnoha jiných druhů stromů. Výzkumní pracovníci, kteří se zabývají finančními přínosy agrolesnictví, se většinou domnívají, že je nutný další výzkum ekonomiky oboru a dlouhodobé ziskovosti systémů (Lojka 2018). Kromě zjevného peněžního zisku z prodeje stromů a jejich plodů lze dosáhnout dalších úspor nákladů z biologických interakcí stromů s prostředím, které chrání půdu, plodiny a dobytek. Některé stromy také pomáhají zemědělcům šetřit peníze snížením množství syntetického hnojiva, které musí používat. V podobném duchu pasoucí se zvířata obohacují půdu o živiny ze svého hnoje (Raskin & Osborne 2019).

Jedním z nejběžnějších způsobů měření produkce agrolesnictví je indikátor ekvivalence půdy (LED). Tento ukazatel představuje množství monokulturní plochy potřebné k dosažení stejného výnosu jako v agrolesnickém systému. V zásadě to znamená, že RA stromů a plodin jsou kombinovány. Výstraha pro biomasu a další vrstva pro tržní produkci jsou dvě hlavní praktické divize. Přesvědčivějším přístupem by bylo použít jiné výrobní metriky než index výnosů (HI). Zvažování je možné spolu s dalšími faktory. K vyjádření produktivních charakteristik použijte ekonomické ukazatele. Různé systémy musí být porovnány s ohledem na jejich celkové a konkrétněji jejich dlouhodobé náklady a výhody. Nair (1993) poznamenává, že odhad škod na životním prostředí a stanovení dotací může být náročné nebo možná nemožné.

Agrolesnické systémy mají pozitivní dopad na vnímání malebnosti a ekologických aspektů krajiny. Zvýšená rozmanitost v kompozici krajiny a zlepšená strukturální efektivita agrolesnických sítí přispívají

k vyššímu hodnocení krajiny (Franco et al., 2003).

S ohledem na dopady změny klimatu mají agrolesnické systémy schopnost revolucionizovat správu krajiny tím, že ji učiní udržitelnější a ekologičtější. Edice jihomoravských Ekolistů 2018 se zaměřila na agrolesnictví. Čeští odborníci, kteří přispěli k tomuto problému na téma "šance pro krajinu", podrobně popisují několik výhod agrolesnických systémů, které zabírají řadu stránek. U větrolamů jde o ochranu půdy před větrnou erozí a vysycháním. Rostliny s tím pomáhají a také zvyšují vlhkost vzduchu. Podle Marakové (2018) mohou mít podobné výhody i rostliny v agrolesnických systémech. Pokud jde o estetiku zemědělské krajiny, Česká republika se dlouhodobě potýká s problémem velkých pozemkových bloků; v důsledku toho je země na prvním místě v EU s průměrnou rozlohou farmy 133 ha, zatímco průměr EU je 16 ha (Bílá 2020). Přestože Česká republika stanovila maximální velikost půdního bloku 30 ha, bude tato norma prosazována pouze pro půdy, které jsou ohroženy erozí od roku 2020. Očekává se, že všechny půdní bloky budou podléhat této normě v následujícím roce (Cibulka 2019).

Každý ví, že naše nerozvinuté pastviny jsou degradovány v důsledku eroze půdy a zhutnění. Státní pozemkový úřad to potvrzuje a upozorňuje na absenci biokoridorů a vazeb, které by tyto travní porosty rozdělovaly. Postupem času terén ztratil své původní vozovky a louky byly buď orány, zasypany, nebo zarostlé (Dobiášová, 2006). Historické katastrální mapy poskytují okno do té doby a umožňují nám porovnat stav, jaký byl tehdy, s tím, jaký je nyní. Z nich můžeme odvodit, že v té době bylo v oblasti mnoho silnic (Kyselka, 2006).

Cílem agrolesnictví je zlepšit produktivitu hospodářských zvířat využitím jedlých keřů a stromů ve spojení s hospodářskými zvířaty a jejich interakcemi. Integrace zemědělských a lesnických postupů přináší produktivnější, šetrnější k životnímu prostředí a dlouhodobě udržitelný přístup k hospodaření s půdou (Sutuma, 1996).

3.5.2. Přínosy pro životní prostředí

Příznivý účinek na několik kritických environmentálních ukazatelů je hlavním přínosem agrolesnictví. V agrolesnické krajině se nachází více druhů rostlin a živočichů než v tradiční zemědělské půdě. Stromy pomáhají zlepšit rozmanitost flóry a fauny na Zemi. Většině ptáků by se v takovém prostředí. Také divoká zvěř a stromy snižují dopad zemědělských vstupů, jako jsou syntetická hnojiva (Mosquera-Losada 2012). Biokoridory mohou zvýšit biologickou rozmanitost mnoha způsoby, včetně úzkých pruhů stromů používaných pro výsadbu alejí, čelních skel různých šířek nebo dokonce podrostu. Podle Pokorného (2011) obnovuje využívání přírodních krajinných prvků v agrolesnictví ekologickou stabilitu krajiny, což je praxe, která v důsledku vzestupu moderního zemědělství téměř vymřela.

Řešení problémů rostoucích teplot a sucha, dvou důsledků přetrvávající změny klimatu, je často spojeno s environmentálními výhodami. Běžně produkované plodiny, jako je kukuřice, řepka olejná a

pšenice, mají ve srovnání se stromy mělký kořenový systém, který umožňuje stromům přístup k podzemní vodě, která je pro tyto plodiny příliš hluboká. Schopnost stromů vytvořit specifické mikroklima je navíc nesmírně cenným přínosem. Během léta stromy pomáhají zmírňovat teplotu absorbováním oxidu uhličitého, uvolňováním kyslíku a zadržováním vlhkosti (Dupraz, 2018). Stín, který vytvoříte, můžete použít k výrobě zeleniny nebo ke spánku dobytka (Ehrenberger 2018). Hnojená půda, která postrádá stromy, vyčerpává živiny rychlostí, která je několikanásobně vyšší než u zalesněné půdy. Výzkum ukázal, že kořeny stromů mohou pomoci zmírnit eutrofizaci, což je problém, který postihuje řadu evropských států, včetně České republiky (Dupraz, 2018; Kočí, 2000). Jelikož agrolesnictví není samostatná zemědělská technologie, ale produkční systém, tak se zohledňují místní ekologické charakteristiky, aby byla farma co nejproduktivnější a maximálně využívala zemědělskou půdu a byla co nejudržitelnější z dlouhodobého hlediska. Ekologická udržitelnost je výsledkem používání technologií šetrných k životnímu prostředí a kombinace stromů a plodin, které působí symbioticky. Tento postup obvykle zachovává nebo dokonce zlepšuje půdu. Tato metoda tedy poskytuje ekosystémové služby a snižuje dopad člověka na přírodu. Je také považována za řešení pro místní adaptaci na změnu klimatu ve srovnání s intenzivnější zemědělskou výrobou, při níž se používají hnojiva (Martin & Sherman 1992). Kwesig et al. (2003) zdůrazňuje potřebu specifických plodin a stromů pro meziplodiny, aby se zvýšil přístup drobných zemědělců k výživným potravinám a zlepšila se úrodnost půdy.

Potenciál agrolesnictví zlepšovat kvalitu půdy je široce uznáván jako hlavní výhoda od doby, kdy se stalo vědecky uznávanou disciplínou a praxí (Young 1989; Nair 2011). V posledních letech se obnovil zájem o studium kvality a zdraví půdy jako ukazatele udržitelnosti zemědělství. Praxe agrolesnictví je již po desetiletí propagována v tropických i mírných oblastech světa díky svým vnímaným přínosům, které spočívají nejen ve zlepšování kvality půdy, ale také v poskytování dalších ekosystémových služeb (Jose 2009). Mnoho ekologických přínosů a ekosystémových služeb očekávaných od agrolesnictví nebude realizováno, pokud tyto postupy nezlepší schopnost půdy být dlouhodobě produktivní a zdravá.

3.6. PŮDA – organická hmota a uhlík

Začlenění stromů do agrolesnictví zvyšuje množství organické hmoty v půdě tím, že přidává opad nad i pod zem. Půdní organická hmota je zdrojem energie pro půdní organismy a ovlivňuje jak půdní biodiverzitu, tak související biologické funkce půdy. V důsledku toho je organický uhlík v půdě jedním z důležitých ukazatelů používaných k hodnocení zdraví půdy. Ramos et al. (2018) ve svém článku kvantifikoval nadzemní a podzemní zásoby uhlíku a jejich rozložení v krajinném měřítku ve dvou agrolesnických systémech založených s palmou olejnou a kakaovníkem v Brazílii. Odhadli více nadzemního uhlíku, díky využívanému opadu a přítomnosti živé biomasy, v agrolesnickém systému palmy olejné spolu s kakaovníkem nežli ve spojení systému palmy olejné s neproduktivními bylinami. Nadzemní zásoba uhlíku byla v krajině rozložena heterogenně. Rovněž zjistili, že organického uhlíku v půdě představuje největší zásobu uhlíku v těchto systémech a že se tato zásoba uhlíku neliší v závislosti na uspořádání systému. Dále bylo porovnáváno globální ukládání uhlíku na pozemcích zalesněných eukalyptem s tradiční savanou v Kamerunu. Bylo zaznamenáno, že eukalyptové plantáže ukládají více uhlíku než tradiční savany, zejména nejstarší eukalyptové plantáže (Noumi et al. 2018). Dále bylo porovnáváno ukládání uhlíku v půdě mezi lesní plantáží, farmouse střídáním kukuřice a pastvin a dvěma tradičními lesopastvinnými systémy v Tanzanii. Obsahorganického uhlíku v půdě se mezi těmito způsoby využití půdy významně nelišil, ačkoli organického uhlíku v půdě v lesních plantážích tvořil více vápenatý uhlík. Podobnost v obsahuorganického uhlíku v půdě přičítali relativně mladému stáří systémů a pomalé akumulaci organické hmoty v polosuchých klimatických podmínkách (Osei et al. 2018).

3.6.1. DUSÍK A DALŠÍ ŽIVINY

V Zambii byl hodnocen nutriční potenciál akácie v kombinaci s kukuřicí. Výsledky ukázaly, že spadá akácie může poskytnout více než 18 kg N na hektar za rok a zvýšit tak mikrobiální diverzitu a početnost (Yengwe et al. 2018). V Mexiku byla měřena produkce opadua rozklad živin z opadu ve dvou zastíněných kakaových systémech, z nichž jeden byl 35 let starý a druhý starý 55 let. Byl vytvořen závěr, že mladší systém produkoval o 23 % více opadua steliva, což bylo způsobeno větším podílem opadu z mladého kakaovníku. S věkem kakaovníků skutečně ubývalo opadu, zatímco podestýlka mladších stromů zůstávala konstantní a hojná. Nebyl pozorován žádný vliv stáří kakaovníků na přísun N, K, Zn nebo S z opadu, ale upozorovaly vliv na P, Ca, Mg, Fe a Cu (Pe´rez-Flores et al. 2018). V Ghaně byl porovnáván vliv různých druhů stromů a jejich listový opad na potenciální dodávky dusíku do porostů kukuřice. bylo zjištěno, že listy těchto stromů mohou poskytnout až 93 mg N kg⁻¹. Obsah živin míra mineralizace listů se u jednotlivých druhů stromů příliš nelišily (Partey et al. 2018).

3.6.2. Mikrobiota

Mikrobiota je považována za klíčovou pro zdraví půdy a udržitelnost ekosystému, protože hraje důležitou roli v rozkladu půdní organické hmoty, koloběhu živin, a tím ovlivňuje chemické a fyzikální vlastnosti půdy, které v konečném důsledku určují její úrodnost a dlouhodobou udržitelnost. V posledních letech se řada prací zabývala půdní biotou v kontextu agrolesnictví a tento trend pokračuje. Byla zkoumána role inokulace arbuskulárními mykorhizními houbami a vodního stresu na přežívání sazenic *F. aldiba* v Etiopii. Bylo zjištěno, že inokulace arbuskulárními mykorhizními houbami zvýšila růst sazenic bez ohledu na původ inokula a stav vody (Hailemariam et al 2018). Diverzitu arbuskulárních mykorhizních hub lze ovlivnit uspořádáním agrolesnického systému, a to díky vlivu stínu na účinnost bioinokulantů sestávajících z rhizobakterií, bakterií rozpouštějících fosfáty a arbuskulárních mykorhizních hub. Bylo zjištěno, že výnos všech studovaných rostlin byl nižší ve stínu než na plném světle, ale účinnost bioinokulantů byla srovnatelná na plném slunci i ve stínu pro sóju, mungo fazole a hrách setý. Ve stínu však pozorovali méně úspěšnou nodulaci než na plném slunci (Shukla et al. 2018).

3.6.3. Problémy eroze a její případné řešení

Degradace půdy je zhoršení všech produkčních i mimoprodukčních funkcí. Je způsobena negativními účinky intenzivního zemědělství a lesnictví a vlivem lidské civilizace. Každý jednotlivý degradační proces obvykle vyvolává řetězovou reakci, kdy po sobě následující procesy způsobují poškození půdy (ASZ 2015).

Na problém v České republice upozornil Hladík (2015), polovina tamní zemědělské půdy je ohrožena vodní erozí a dalších 40 % je ztuhle, takže je méně schopná absorbovat a zadržovat vodu. Myšlenka, že půda je omezený zdroj, jehož tvorba je zdoluhavý proces ve srovnání s jeho rychlou a trvalou degradací nebo ničením, představuje změnu paradigmatu. Česká republika je pro tři moře předělem, což je v tomto ohledu důležité mít na paměti.

Primární procesy vedoucími k degradaci půdy v České republice jsou následující: kompakce půdy, eroze způsobená vodou a větrem, acidifikace půdy, ztráta organické hmoty s následným vysušováním, pedokompakce čili ztuhnutí půdy a kontaminace půdy, což zahrnuje znečištění pesticidy či léčivy (ASZ 2015).

Polovina orné půdy je ohrožena vodní erozí. Odstranění přírodních vodních prvků, jako jsou háje a hranice, spolu s vytvořením oblastí se souvislými svahy umožnilo produkovat plodiny v obrovském měřítku, aniž by byla přijata nezbytná opatření k zabránění erozi. Špatné postupy výsadby, ztuhování půdy a nadměrné používání těžkého zemědělského vybavení přímo souvisí s nedostatečnou aplikací organických hnojiv. Nakonec stojí za zmínku, že špatný stav půdy je způsoben nedostatečnou regulací a

rozmazáním odpovědnosti mezi Ministerstvem zemědělství, Ministerstvem životního prostředí a Ministerstvem pro místní rozvoj (ASL 2015).

Zavedením protierozních opatření lze zabránit vodní erozi. Mezi tyto kroky patří stínění půdy před erodujícím deštěm, shromažďování odtoku na stíněné oblasti, nasměrování co největšího množství do půdního profilu, zpomalení rychlosti odtoku, a nakonec snížení erodovatelnosti půdy. Povrchový odtok, který je generován, musí být bezpečně odváděn z místa projektu, pokud to bude vyžadováno. Je důležité zajistit, aby povrchový odtok mohl bezpečně opustit oblast projektu, pokud to bude nutné. V takové situaci by měla být voda směřována do potoka nebo do jiné oblasti, kde nemůže přímo způsobit škodu. Podle Novotného a kol. (2014), při výstavbě protierozních opatření se doporučuje začít s méně náročnými organizačními a agrotechnickými řešeními z finančního hlediska a poté postupovat k technicky vyspělejším opatřením.

Sklon terénu patří mezi klíčové faktory ovlivňující vodní erozi. Mapa ohrožení vodní erozí byla sestavena na základě analýzy sklonu terénu a distribuce půdních typů. Z agronomické perspektivy zahrnuje vodní eroze fyzikální a biologickou degradaci půdy, nevratnou ztrátu půdy, humusu a rostlinných živin, vysychání půdy, potlačení mikrobiálního života, narušení nebo zničení plodin a celkovou degradaci produkční půdy (Pasák et al. 1984).

Z hlediska větrné eroze jsou stromy efektivnější při zadržování písečného prachu než keře, díky svým rozsáhlým korunám a hustému olistění. Půda pod stromy je pravděpodobně bohatší na živiny ve srovnání s půdou pod keři. Při iniciativách na zlepšení půdy by tak mělo být dáвано přednost výsadbě stromů oproti keřům.

Zvýšení obsahu organické hmoty v půdě v agrolesnických systémech po třech letech výsadby glicidí zlepšuje živiny v půdě a její schopnost podporovat zemědělství, ale ne dostatečně pro udržitelnou produkci, protože tato technologie sama o sobě nezajišťuje dostatečný půdní kryt pro snížení eroze a měla by být použita v kombinaci dalšími iniciativami managementu pro snížení eroze. Kromě toho je nutné provádět operace zemědělského hospodaření, jako je prořezávání, ořezávání a mulčování (Augustine et al. 2007). Podle (Younga 1989) není přínos agrolesnictví pro zdraví půdy o mnoho větší než přínos monokultur, a to ani při dvojnásobné diverzifikaci plodin. Výběr druhů plodin s doplňkovou úlohou k nikám může být pro agrolesnictví důležitější než přínosy výběru druhů s širokou diverzifikací plodin. Kombinace druhů s různou hloubkou kořenů, začlenění druhů odolných vůči zastínění pod koruny zakládajících stromů a začlenění druhů vázajících dusík do směsí pro zvýšení dostupnosti dusíku v půdě zvyšuje účinnost využití zdrojů systému (Younga 1989). Výběr druhů s různou strukturou kořenů může pomoci oddělit příjem vody z různých úrovní půdy, což vede k menší konkurenci a menším ztrátám vody hlubokou perkolací. (Douglas et al. 2020) zaznamenali o 11-18 % vyšší celkový obsah uhlíku v půdě na otevřených pastvinách ve srovnání s pastvinami s topolovými systémy, zatímco na pastvinách s

olšovými systémy to bylo o 2-6 % více ve srovnání s otevřenými pastvinami, což naznačuje, že pro zlepšení půdy je třeba vybrat správné vhodné druhy v závislosti na lokalitě a klimatu. Studie (Dialla et al. 2019) ukázala, že pod *F. albida* a *P. reticulatum* byly hladiny Na, Ca, P, Mg, K, NH₄-N, OC a pH v půdě výrazně vyšší ve srovnání s ostatními druhy dřevin a otevřenými plochami, což naznačuje, že *F. albida* a *P. reticulatum* jsou vhodnějšími dřevinami pro výsadbu v agrolesnických parcích FMNR (farmářsky řízená přirozená obnova) ke zlepšení úrodnosti půdy, produkce potravin a krmiv než jiné keře nebo stromy. Úloha stromů v agrolesnických systémech je dána řadou faktorů, včetně druhu (hloubky zakořenění), velikosti a vzdálenosti stromů, typu půdy, objemu a průběhu srážek a intenzity období sucha.

3.6.3.1. Agrolesnictví a eroze půdy

Jedním z nejzávažnějších environmentálních problémů je eroze půdy, která způsobuje zvětrávání živin a ztrátu úrodnosti, mění strukturu půdy, ovlivňuje výživu a vývoj rostlin a negativně ovlivňuje produktivitu a udržitelnost přírodních a zemědělských ekosystémů. Nejdůležitějším klimatickým faktorem ovlivňujícím erozi půdy a transport sedimentů jsou srážky (Cao et al. 2020). Různé agrolesnické systémy uplatňované v různých oblastech světa mohou do určité míry snižovat odtok a zabraňovat erozi půdy, čímž přispívají k obnově životního prostředí a poskytují ekonomické výhody. Praxe uplatňování těchto systémů založených na dřevinách v suchých oblastech může optimalizovat rozvoj zemědělství prostřednictvím stabilizace svahů (Montagnini & Metzler 2017). Využívání agrolesnictví je důležitou oblastí pro snížení degradace půdy, protože agrolesnické systémy mohou zmírnit účinky proměnlivosti srážek a pomáhají chránit půdu a půdní živiny (Beliveau et al. 2017).

Přidávání organické hmoty prostřednictvím opadu, steliva a prořezávek v agrolesnických systémech zvyšuje půdní pokryv a působí jako fyzická bariéra proti erozi půdy spolu s intercepcí přímo stromy (Atangana et al. 2014). Další ukládání biomasy prostřednictvím odumírání kořenů a rozkladu nadzemní části podestýlky poskytuje potravu pro půdní organismy a zvyšuje biologickou aktivitu půdních inženýrů (Kamau et al. 2017), což přispívá ke strukturální stabilitě půdy a makroporozitě, které jsou důležité pro snížení půdní eroze v podmínkách agrolesnictví (Muchane et al. 2020). Využití agrolesnictví může udržet potřebný lesní porost pro zajištění hydrologických funkcí lesa (Van'Noordwijk et al. 2020). Opad udržuje kvalitu vody tím, že filtruje půdní částice z odtoku (Suprayogo et al. 2020). Stromové, tj. "infiltračně příznivé" systémy využívání půdy mohou udržovat vysokou míru infiltrace tím, že tok proudí trychtýřovitě přes kmeny (Liang 2020), a mohou zlepšovat hydrologické funkce tím, že poskytují korunový pokryv na úrovni stromů a podrostu, jakož i na povrchu půdy a prostřednictvím absorpce vody stromy a další vegetací. Pokrytí okolí stromů podrostovou vegetací a opadem úzce souvisí se zdravím povodí a omezuje povrchový odtok, snižuje dopad splachů na půdu a zlepšuje infiltraci. V agrolesnictví

vedou biogenní kanály tvořené kořeny starých stromů, žížalami a dalšími půdními inženýry k makroporézności, která je pro infiltraci nezbytná (Suprayogo et al. 2017). Zadržování vlhkosti v korunách stromů a její zachycování jsou hlavními prostředky ochrany před srážkami.

Zadržování vlhkosti v korunách prodlužuje dobu infiltrace, zatímco zachycování vlhkosti v korunách vede k přímému výparu prostřednictvím povrchu listů nebo stékání po kmene, v závislosti na architektuře listů a kmene (Van' Stan et al. 2016). Kořeny stromů, opad a podrostová vegetace snižují rychlost odtoku do půdy a zvyšují depozici (Udawatta et al. 2010). Agrolesnické systémy mají o 75 % vyšší míru infiltrace a o 57 % nižší míru odtoku ve srovnání s monokulturami (Muchane et al. 2020). Rozmanitý a uzavřený kořenový systém v půdě agrolesnických systémů produkuje více rekalciřantních kořenových výmladků, které se pomalu rozkládají, což zvyšuje akumulaci organického uhlíku v půdě a vede k tvorbě půdních pórů s lepší infiltrací (Vignozzi et al. 2019).

3.6.4. Zlepšování půdy prostřednictvím agrolesnictví

Agrolesnictví je zemědělská technika zaměřená na diverzifikaci různých složek produkce agroekosystému, jako jsou dřeviny, trvalky, palmy, plodiny, krmiva nebo zvířata (Rosati et al. 2020). Agrolesnictví je považováno za praktickou agroekologii díky ekologickým přístupům a principům, na nichž je založeno jeho navrhování a řízení; podléhá různým interakcím mezi stromy a plodinami a bylo označeno za potenciální způsob intenzifikace pro zlepšení udržitelnosti zemědělství (Pretty 2018). Na základě kombinace různých produkčních složek se agrolesnické systémy dělí na lesnicko-pastevní (stromy + pastviny), lesnicko – zemědělské (stromy + plodiny, jako jsou alejové plodiny, větrolamy, ochranné pásy atd.) a agrolesnickopastevní (stromy + plodiny + hospodářská zvířata) (Rosati. et al. 2020). Víceleté systémy jsou z hlediska zdraví půdy lepší než jednoleté plodiny, a to díky vyššímu přísunu uhlíku do půdy a menšímu narušení půdy (Pan et al. 2022). Jelikož agrolesnictví napodobuje složení a fungování přirozených dřevinných trvalých ekosystémů, má potenciál pro udržitelnost zemědělství. Navíc tím, že agrolesnictví působí jako významný zdroj půdní organické hmoty, může ovlivňovat fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy a podporovat rozvoj rostlin (Du et al. 2022). Stabilizací půdy, podporou tvorby agregátů, ukládáním uhlíku v půdě, zvyšováním dostupnosti živin a zachováním a udržováním zdravé půdní bioty může agrolesnictví obnovit zdravé půdy (Pan et al. 2022).

Vliv agrolesnictví na kvalitu půdy prostřednictvím změn ekosystémových funkcí a služeb způsobených přímo i nepřímo stromy se liší v závislosti na druhu plodiny, klimatu a zeměpisné poloze. Stromy hrají důležitou roli v koloběhu živin, zachycují a recyklují vyluhované živiny prostřednictvím svých hlubokých kořenů, které fungují jako "záchranná síť" proti ztrátám živin z koloběhu živin. Stromy ve stromových systémech také zachycují živiny přítomné v atmosféře a přispívají k suché depozici (Schroth & Burkhard 2003). Agrolesnictví poskytuje slibnou příležitost k ukládání a zachycování uhlíku v půdě, který se ztrácí v důsledku intenzifikace zemědělství a používání těžkého obdělávání půdy a hnojiv (Chatterjee et al. 2018). Agrolesnictví přispívá k efektivnějšímu využívání zdrojů než monokultury díky strukturální a funkční rozmanitosti složek získaných ve smíšených kulturách (Hailu 2015). Začlenění stromů do zemědělských podniků zvyšuje kapacitu polí, organickou hmotu v půdě (Chatterjee et al. 2018), dostupný draslík, dostupný fosfor, zásoby uhlíku v půdě (Surki et al. 2020) a snižuje objemovou hmotnost (Hailu 2015), která zadržuje vodu tím, že zvyšuje její retenční schopnost a uvolňuje ji rostlinám postupně jako houba (Schroth & Burkhard 2003). Přídavek organické hmoty hraje důležitou roli při agregaci půdy a při snižování její objemové hmotnosti. Snižování hustoty půdy podporuje cirkulaci vzduchu, distribuci vody v rhizosféře, lepší doplňování podzemní vody a kvalitu živin v půdě v suchých a polosuchých oblastech (Surki et al. 2020). Akumulace povrchového opadu listů a větviček je významným zdrojem živin a organického uhlíku v agrolesnických systémech. Půdní organický uhlík přímo i nepřímo ovlivňuje

efektivitu využívání živin v zemědělství. Účinnost využívání živin se zvýší zvýšením příjmu a dostupnosti půdy s vysokým obsahem organického uhlíku a aktivním hlubokým kořenovým systémem (Sonmez et al. 2016). Kromě toho je pravděpodobné, že zvýšení mikrobiální rozmanitosti v důsledku přidání organické hmoty poskytne mykorrhizu, která uvolní fosfor a zpřístupní jej plodinám (Lorenz a Lal 2014).

3.6.5. Vliv agrolesnictví na půdní biotu

Spojení stromů s plodinami má vliv nejen na fyzikální a chemické vlastnosti půdy, ale také na mikroorganismy přítomné v půdě. Mikrobiální populace v půdě nepřímo přispívá k růstu rostlin, protože hraje důležitou roli při zvyšování úrodnosti a produktivity. Tím nepřímo ovlivňuje růst rostlin (Li et al. 2020) Půdní organismy, zejména mikroorganismy, hrají důležitou roli v produktivitě a zdraví rostlin i v koloběhu živin. Porovnáme-li agrolesnické systémy s pěstováním jedné plodiny, je v nich přítomno více půdních mikrobů a jsou rozmanitější a funkčnější. Očekává se, že to v těchto systémech zvýší biologickou úrodnost půdy. Hodnoty mikrobiální abundance a mikrobiální produktivity spojené s půdou jsou vyšší v agrolesnických systémech vlivem stromů, depozice organické hmoty, kořenových exudátů, kvantitativní úrovně a rozmanité kvality podestýlky. Na přeměnu uhlíku a koloběh živin mají vliv nematody, koljušky, akari, diplopodi, žížaly, houby a různý hmyz. Půdní inženýři, jako jsou mravenci, termiti a žížaly, hrají důležitou roli při tvorbě agregátů a udržování struktury půdy. Pro biologickou kontrolu jsou důležité stonožky, brouci, draví roztoči, koljušky a masožravé hlístice (Marsden et al. 2020).

Opad a kořenové exsudáty poskytují mikrobiálním společenstvům potřebnou energii ve formě aminokyselin, cukrů a organických kyselin nebo jiných látek. Poskytnutím určitých stanovišť, útočišť pro epigenetické organismy, heterogenity mikroklimatu, pufracího působení, půdní vlhkosti a vzdušné vlhkosti může agrolesnictví zvýšit biodiverzitu půdy ve srovnání s monokulturou, což má očekávaný vliv na související ekosystémové služby. Prostřednictvím různých funkcí spojených s půdou určuje půdní fauna její zdraví. (Beule et al. 2022).

Studie (Zhu et al. 2022) provedená v Číně ukázala, že ochranné pásy topolů snižují diverzitu půdních hub, ale autoři současně našli více ektomykorrhizních a méně patogenních hub než na zemědělské půdě. Zjistili také, že relativní početnost skupiny Basidiomycota se zvýšila ze 14,72 % na 19,18 %. V ochranných pásech topolů byl na rozdíl od zemědělské půdy vyšší obsah zástupců rodu *Inocybe* a nižší obsah rodu *Fusarium*. Ektomykorrhizní houby mohou se stromy navázat symbiotický vztah, absorbovat uhlík z hostitele a pomáhat hostiteli přijímat živiny, jako je dusík a fosfor. Patotrofní houby odebírají živiny z buněk hostitele a inhibují růst rostlin (Zhu et al. 2022). Agrolesnické systémy namísto zvyšování alfa diverzity zlepšují diverzitu půdních mikrobů, a to především vytvářením mikrobiomu spojeného se

stromy, který se svým složením liší od mikrobiomu plodin (tj. větší beta diverzita v agrolesnických systémech) (Beule et al. 2022). Beule et al. (2022) přezkoumali systémy alejového pěstování plodin mírného pásma a zjistili, že v agrolesnických systémech mírného pásma se zvyšuje počet půdních mikroorganismů a tento příznivý účinek se může postupně rozšířit i na řádky plodin. Několik studií prokázalo zvýšení podílu hub, což naznačuje, že mohou být prospěšnější houby než bakterie.

3.6.6. Degradace půdního pokryvu

Racionální využívání zemědělských zdrojů předpokládá trvalý progresivní růst jejich produktivity. Nicméně současné zemědělské systémy nevyhovují tomuto požadavku a přispívají k degradaci půdního pokryvu. Pod degradací se rozumí postupné zhoršování kvality půdy v důsledku změn, které ničí její strukturu, vedou k vzniku negativních chemických vlastností a ztrátě její úrodnosti. Nakonec půda ztrácí schopnost plnit zdrojové a environmentální funkce.

Degradační jevy půdy podle (March, 2006) lze rozdělit do následujících sedmi hlavních skupin souvisejících s různými směry narušení půdy a procesy probíhajícími v půdách a ekosystémech.

Porušení bioenergetického režimu půd a ekosystémů:

- Devastace půd (ztráta rostlinného pokryvu půd, vedoucí k odumření půdy);
- Dehumifikace půd (ztráta humusu půd); Vyčerpání půd a vyčerpání půd (procesy v půdách v důsledku dlouhodobého působení jednoho druhu zemědělských plodin).

Patologický stav půdních horizontů a profilů půd:

- Zábory a vyloučení půd z existujících ekosystémů (průmyslová eroze půd) (zábory půd městy, osadami, silnicemi, vedeními elektrické energie a komunikací, potrubími, lomy, nádržemi, skládkami atd.);
- Vodní a větrná eroze (deflace půd) (rozklad horních vrstev půdy pod vlivem vody a větru);
- Vznik nestrukturovaných vrstev a nadměrná kompakce horizontů (ztráta struktury půdy nebo její nadměrná kompakce při obdělávání polí těžkou technikou při vlhkosti přesahující "fyzickou zralost" půd; sekundární solonizace černozemních půd; vytváření podpovrchového utuženého horizontu).

Porušení vodního a chemického režimu půd:

- Sucho a desertifikace půd (výsledek jak celosvětového procesu pouštnění, tak nedůsledné lidské činnosti);
- Přívalové povodně a sesuvy půdy (výsledek redukce vegetace v horských oblastech);
- Sekundární zasolení půdy (výsledek nesprávného zavlažování mineralizovanými nebo sladkými vodami);
- Přírodní a sekundární okyselení půdy (kyselost půdy pod úrovní optimální reakce půdy, která je pro

mnoho rostlin v rozmezí pH 5,5 až 8);

- Přesušování půdy (výsledek nesprávně prováděných melioračních opatření).

Zatopení, degradace a zasolení půd vodami vodních nádrží. Vytváření vodních nádrží je doprovázeno vývojem komplexu negativních procesů, které vedou k degradaci půdního pokryvu: zatopení říčních a prvních nadřičních teras; zvedání hladiny spodních vod a zaplavení půdy; abraze břehů a zasolení delty; znečištění a sodové (alkalické) zasolení vod a půd.

Znečištění a chemická toxikace půd:

- Průmyslové znečištění půdy (výsledek usazování par, aerosolů, prachu nebo rozpuštěných znečišťujících látek na povrchu půdy s atmosférickými srážkami);
- Zemědělské znečištění půdy (důsledek nesprávného používání pesticidů, příděl nadměrných dávek minerálních a organických hnojiv, odpadů a odpadních vod zemědělských farem);
- Radioaktivní znečištění půdy (přirozená nebo antropogenní akumulace radionuklidů v půdě v důsledku jaderných výbuchů, havárií na jaderných zařízeních, úniků radioaktivních materiálů, ukládání odpadů z jaderného průmyslu).

Degradace krajiny oblastí s rozšířením mnoholetého permafrostu. Tyto území se vyznačují extrémní nestabilitou vlivem antropogenních faktorů. Neřízený pohyb dopravy, přeplnění a další procesy vedou k narušení rostlinného pokryvu, což způsobuje roztání permafrostu, rozvoj erozních procesů a destrukci půdního pokryvu.

Rozrušení půd válečnými akcemi. Pohyb vojenské techniky, stavba obranných objektů, bombové útoky, granátové výbuchy atd. vedou k degradaci, a dokonce úplnému zničení půdního pokryvu. Testování a použití jaderných zbraní způsobuje radioaktivní znečištění půdy.

Pro stepní zemědělské ekosystémy Severního Kazachstánu jsou největšími ekologickými problémy dehumifikace, eroze a deflace půd. Roční deficit humusu v černozemích a hnědých půdách činí 0,5 až 1,0 t/ha, což má negativní dopad na celý soubor půdních vlastností. Při nízkém podílu lesů na stepním území může jakékoli zpracování půdy při odpovídající rychlosti větru způsobit erozi a provádět se s deflací.

Pro uchování a obnovu půdních zdrojů je nezbytný systém ochrany půdy, který zahrnuje komplex opatření pro zachování, zlepšení, cílenou změnu a racionální využití půdy jako jednoho z nejdůležitějších krajinnotvorných prvků a objektů lidské činnosti. Tento systém zahrnuje ochranu půdy před erozí, znečištěním, vyčerpáním, opatření pro obnovu narušených půd (rekultivace), zvýšení úrodnosti půdy a racionalizaci jejich využití. Ochrana půdy by měla být prováděna s ohledem na propojení s dalšími složkami životního prostředí – vodami, atmosférou, rostlinstvem a živočišným světem. V systému ochrany půdy má významnou roli ochrana půdy před znečištěním produkty technogenního původu, která spočívá v zdokonalení technologií a principů organizace výroby, stejně jako v metodách detoxikace

znečištěných půd. Chemické znečištění půdy lze předcházet pomocí agrolesomeliorativních postupů, a sanitární ochrana půdy je zaměřena na zabránění znečištění půdy různými druhy odpadů a mikrobiologickými aerosoly (Dobrovolský, Nikitin 2000).

3.6.7. Agrolesnictví pro degradované půdy a suché oblasti.

Environmentální předpisy navrhuji využití agrolesnictví jako praktického řešení pro obnovu degradované krajiny, splnění závazků vyplývajících z mezinárodních dohod, zmírnění emisí skleníkových plynů, přechod na nízkouhlíkové zemědělství a zlepšení potravinové bezpečnosti na celém světě (Matos et al. 2022). V této souvislosti se v roce 2015 objevují (Rodriguez et al. 2021) různé agrolesnické systémy pro zvýšení obsahu uhlíku v degradované půdě v kolumbijské Amazonii, protože zavedení stromů na pastviny zvyšuje bioinženýrství v půdě, což vede k tvorbě biogenních makroagregátů v půdě s vysokým obsahem uhlíku. Tvorba půdních agregátů je důležitá pro koloběh živin i pro koloběh uhlíku, protože působí jako zásobárna uhlíku. Půdní agregáty se skládají z biogenních, fyzikálních a kořenových agregátů. Tvorba fyzikálních půdních agregátů je pomalejší než tvorba biogenních agregátů. S větším podílem bioinženýrství agrolesnické systémy akumulují více organického uhlíku prostřednictvím tvorby biogenních agregátů a také kořenových agregátů v důsledku rozpadu kořenů (Diel et al. 2019). V degradovaných půdách tak může agrolesnictví oživit ekosystémové služby půdy. V regionech, kde se dříve používaly postupy "slash-and-burn", mají agrolesnické systémy potenciál zlepšit úrodnost půdy na vyšší úroveň než obnova zalesňováním. Využívání agrolesnických systémů je životaschopnou strategií pro udržitelné obhospodařování půdy. Využívání agrolesnických systémů zachovává biologickou rozmanitost a další ukazatele zdravé půdy, což má vliv na jejich potenciální budoucí využití při obnově degradované půdy (Matos et al. 2022).

I přes zdánlivě velký počet výhod a potenciálně pozitivní dopad na živobytí malých zemědělců, se agrolesnictví nešíří příliš rychle. Pomalý proces implementace nebo dokonce opuštění této metody může být způsobeno několika faktory. Za prvé, na jedné straně jsou náklady na okamžitou implementaci vysoké, a na druhé straně se přínosy projevují až po třech až sedmi letech (Mercer 2004). V podmínkách, kdy nejednáme s malými zemědělci, by to nebyl problém. Podle (Holdena a kol. 1998), chudoba může vést ke krátkému horizontu plánování, a proto může chudým zemědělcům zabránit v investování do technologií zachování, které budou chránit jejich základnu přírodních zdrojů. Jacobi a kol. (2017) zjistili, že zemědělci, kteří se podílejí na agrolesnictví, nejvíce potřebují podporu v počátečních fázích implementace, kdy jsou vysoké náklady a návratnost je nízká. Vzhledem k tomu, že neexistují dostatečné dotace na pomoc zemědělcům při jejich počátečních nákladech, jako je nákup semen nebo požadovaná dodatečná pracovní síla, je intenzita provádění často nízká, protože zemědělci kromě zavedení agrolesnictví, raději podporují část svých ročních kultur pomocí tradičních zvyků. Předpokládá se, že

jakmile jsou zemědělci přesvědčeni o výhodách agrolesnických systémů (a získají specifické zemědělské zkušenosti), budou k agrolesnickým metodám častěji přistupovat (Scherr 1995). Takové postupné zavádění však dále prodlužuje období mezi zvyšováním výdajů domácností a získáváním všech výhod systému a v důsledku toho, může odradit sousední domácnosti od implementace systému.

Agrolesnické systémy jsou náročné na znalosti; jsou mnohotvárné, víceproduktové a vícesložkové (Mercer 2004). Složitost zakládání a řízení systémů může dále omezit nebo snížit získané přínosy (Franzel et al. 2004; Jacobi et al. 2015). Fáze implementace vyžaduje fázi testování a úprav konkrétního agrolesnického systému, který má být použit. Tato fáze se může zdát zbytečná, nicméně umožňuje zemědělcům přizpůsobit agrolesnický systém místním socioekonomickým a biofyzikálním podmínkám. Agrolesnický systém vyžaduje širší znalosti o rostlinných druzích – jejich výnosu, tržní ceně a ochraně – než je tomu u pěstování konvenčních jednoletých plodin. Jednou z nejspecifičtějších a nejdůležitějších dovedností, kterou je třeba se naučit, je prořezávání stromů, které, pokud není prováděno správně nebo vůbec, může výrazně ovlivnit produktivitu systému. Ve studované oblasti poskytují poradci ze všech projektů potřebnou podporu a pomoc při správě nově instalovaných systémů všem zemědělcům, kteří jsou následovníky projektu. Někteří zemědělci, kteří systém zavádějí na vlastní pěst, si však musí dovednosti osvojit sami. Tvrdí se, že agrolesnické systémy budou kvůli své složitosti potřebovat delší dobu, než se stanou samopropagačními jako dřívější inovace zelené revoluce (Amacher et al. 2004).

Navzdory všem pozitivním aspektům agrolesnických systémů lze identifikovat několik negativních dopadů tohoto přístupu. Hlavním problémem a nevýhodou agrolesnictví je nižší využití mechanizace, což vede k vyšší pracovní síle. Výsadba, ořezávání, kácení a sklizeň stromů, mimo jiné úkoly vyžadující znalosti a manuální dovednosti, budou v této souvislosti také nezbytné. Stromy a větve mohou spadnout a poškodit plodiny, které jsou určeny ke sklizni. Druhy stromů vysazených v projektu agrolesnictví mohou konkurovat plodinám, které tam mají růst. V případě výrazného poklesu rychlosti větru, což vede ke zvýšení vlhkosti, může dojít k výskytu houbových onemocnění (Ehrenberger 2014). Vyšší náročnost lidské práce představuje další výzvu.

Existují klady a záporné aspekty mít více lidí zapojených do tohoto systému, zejména při pohledu na venkovské prostředí a množství práce, která jde do něj (Sands 2005).

Podle Martiníka a kol. (2015), prvky agrolesnického systému, včetně stromů, plodin, zvířat a možná i dalších, musí být pěstovány nebo chovány s ohledem na dosažení ekonomických anebo environmentálních cílů.

Agrolesnictví je vyvíjející se formou řízení přírodních zdrojů zaměřenou na životní prostředí (Leakey 1999). Zahrnutím pěstování stromů na pastvinách a zemědělské půdě tato metoda zajišťuje a rozšiřuje produkci ve prospěch společnosti, ekonomiky a životního prostředí.

Ne každý případ agrolesnictví lze považovat za příkladný, říkají Martin a kol. (2015).

V agrolesnictví se dřeviny pěstují vedle zemědělských plodin ve specifikovaném prostorovém a časovém sledu, jak uvádí Ehrenberger (2014). Všechny části tohoto systému jsou vzájemně závislé ekonomicky a ekologicky. Pastva a domácí dobytek, včely a ryby jsou jen několika příklady mnoha zvířat, která těží z dřevin používaných v agrolesnictví, jehož cílem je zvýšit přístup populace k různým produktům. Současné agrolesnické postupy navíc pomáhají udržovat nebo vytvářet dobré mikroklima a dohlížet na udržitelnost půdy.

3.7. Kazachstan

V podmínkách intenzivního rozvoje ekonomických vztahů a zajištění potravinové bezpečnosti země hraje důležitou roli racionální a efektivní využití zemědělských zdrojů, zejména zemědělských půd. Zemědělský fond Republiky Kazachstán činí 272,5 milionu hektarů, z nichž 222,5 milionu hektarů je zemědělských pozemků.

Rozsáhlost území a bohatství přírodních zdrojů přispěly k rozvoji zemědělství Republiky Kazachstán expanzivním směrem. Nicméně agrární transformace, především zaměřené na strukturální změny a neregulovanou liberalizaci trhu, vedly k rozpadu materiálně-technické základny zemědělského sektoru a systémovým technologickým změnám v produkci, jejich privatizace ohrozila existenci základního neobnovitelného prostředku produkce v zemědělství – půdy, bez kterého je fungování tohoto odvětví nemožné. Intenzivní využívání půdního fondu bez zohlednění agroekologického potenciálu území a vědecky podložených systémů zemědělství vedlo k výraznému snížení úrodnosti půdy, degradaci půdy a desertifikaci, stejně jako k rozvoji vodní a větrné eroze.

Podle údajů Agentury pro správu zemědělských zdrojů Republiky Kazachstán ke dni 1. června 2005 dosáhly pastviny extrémního stupně degradace na ploše 26,6 milionu hektarů, zasolené a slané půdy dosáhly 94,9 milionu hektarů, plocha zemědělských půd podléhajících erozním procesům byla více než 90 milionů hektarů. V celé republice plochy zemědělských půd podléhajících vodní erozi činí 5 milionů hektarů, z nichž 1,0 milionu hektarů připadá na pastviny, přičemž většina těchto oblastí se nachází v jižních a jihovýchodních oblastech. Na písčinych půdách Almatinské oblasti byly prováděny práce na využití Akdalinského zavlažovacího systému k pěstování rýže. Na tomto území bylo využito přibližně 22,5 tisíc hektarů místo plánovaných 50 tisíc hektarů, které jsou neustále promývány proti zasolení. V důsledku neúčinného využívání bylo vyvedeno ze zemědělského oběhu více než 6 tisíc hektarů půdy. V důsledku neúčinného využívání vodních zdrojů v povodí Syrdarji a Aralského moře dramaticky vzrostly plochy sekundárního zasolení a v současnosti dosahují přibližně 75 tisíc hektarů. Závažnou obavu také vyvolává pokračující degradace pastvin a technogenní degradace půdního krytu v Kaspickém regionu s ohnisky sekundárního zasolení na zavlažovaných územích, znečištěním půd ropnými produkty, chemickými látkami, mineralizovanými odpadními vodami a radionuklidy.

V zemědělství republiky došlo v důsledku prudkého poklesu používání minerálních hnojiv (z 970 tisíc tun v roce 1985 na 43 tisíc tun v roce 2004) a organických hnojiv (120-130 tisíc tun ročně oproti 22 milionům tun v roce 1990) k vytvoření negativního bilance živin v půdě. Obsah humusu v půdě poklesl o 20-30 % a místy až o 57 %. Došlo k nerovnováze mezi procesy tvorby humusu a jeho rozkladu, což vedlo ke snížení podílu agronomicky cenných voděodolných agregátů (0,25 mm) o 10-28 % v závislosti na typu půd. Zvýšila se hustota ornílo-humózních a humózních horizontů o 0,01-0,23 g/cm³, a v některých případech dosáhla již kritických hodnot - 1,40-1,50 g/cm³. Z tohoto důvodu bylo v posledních

letech vyňato ze zemědělského oběhu více než 12,8 milionu hektarů ornice, což vedlo k poklesu orné půdy z 35,2 milionu hektarů v roce 1985 na 22,4 milionu hektarů v roce 2004. (Jalankuzov et al., 2012)

S ohledem na nejnovější pokroky v oblasti agrochemie a agroekologie je vhodné stanovit hlavní priority:

1. Zlepšení teoretických základů optimalizace minerální výživy prostřednictvím studia oběhu a bilance biogenních prvků, zákonitostí působení hnojiv, biologických a jiných agrochemických prostředků na úrodu a kvalitu produktů, úrodnost půdy, ekologickou stabilitu zemědělských krajín;
2. Vývoj modelů optimalizace půdních procesů, řízení výživy rostlin a výnosů plodin na základě geoinformačních systémů (GIS) a počítačových programů;
3. Vývoj technologií komplexního provedení agrochemických, agrotechnických, rehabilitačních, fyto-sanitárních, protierozních a melioračních opatření, regulujících úrodnost zemědělské půdy a ekologickou bezpečnost rostlinné produkce;
4. Zlepšení systému lokálního a celkového monitorování antropogenního vlivu na zemědělské ekosystémy a vytvoření norem pro maximálně přípustné antropogenní zatížení zemědělských krajín podle klimatických zón, typů plodinových střídání a druhů plodin; zavedení nejnovějších expresních metod detoxikace a obnovy půdy s ohledem na úroveň znečištění;
5. Zlepšení a vytvoření zcela nových ekologicky čistých technologií a technických prostředků výroby rostlinné produkce na základě širokého zavedení agrolandšaftního systému zemědělství v souladu se všemi přírodními zónami země, a také minimální a nulové obhospodařování.
6. Obnovení fungování geografické sítě experimentů s hnojivy a vytvoření jednotného vědeckého programu, který zajistí všem účastníkům společné informační prostředí;
7. Organizace odborného vzdělávání a rekvalifikace odborníků z agrochemických a agroekologických center, stanic agrochemických služeb;

3.7.1. Charakteristika vybrane oblasti – Turkestánský region.

Turkestánský region se nachází na jihu Kazachstánu. Převážná část je rovinatá s případnými pahorkatinami s nadmořskou výškou 200-300 m s pásovitými hřebeny pouště Kyzylkum a Mujunkum. Na jihu se nachází velká step a v centrální části jsou hřebeny hor.

Půdy regionu jsou lehké a kaštanové. Kaštanové půdy jsou charakteristické v oblastech suchýchstepí a velmi se podobají černozemím. Mají však menší obsah humusu a větší obsah alkalickýchsolí – vyskytují se často se zasolenými půdami. Dalším typem půd jsou alfisolys, což jsou vápenito-jilovité půdy s nízkým obsahem humusu.

Klima je kontinentální a suché. Léto bývá dlouhé, horké a suché s průměrnými teplotami 20–28 °C. Zimy jsou krátké s častými dešti, s průměrnými teplotami -11 °C až -2 °C. Srážky se pohybují mezi 100-400 mm, ovšem se silným kolísáním, a v horských oblastech mohou dosáhnout až 1000 mm. Suché kontinentální podnebí znesnadňuje zemědělskou produkci, proto byly vytvořeny tři důležité zavlažovací kanály: Kirovův, Aryský a Turkestánský. Avšak tyto kanály nesou i mnoho nevýhod z hlediska ekologie a životního prostředí (Zharylkasyn 2019).

3.7.2. Charakteristika rostlinné produkce a ovocnářství

Převažujícím odvětvím zemědělství v Turkestánské oblasti je rostlinná výroba. Růstu produkce v rostlinné výrobě je dosaženo především díky nárůstu zemědělské půdy, a to především orné půdy. Orné půdy bylo evidováno 825 tisíc hektarů k roku 2022. V zájmu zajištění potravinové bezpečnosti regionu a rozvoje jeho exportního potenciálu, jakožto i zajištění optimální struktury plodin, jejich střídání a regionální specializace se zemědělci snaží brát ohled na diverzifikaci plodin.

V roce 2018 se mezi plodiny s největší osevní plochu řadily obilniny (přes 250 tisíc hektarů, zejména pšenice, kukuřice, ječmen a rýže), luštěniny (také přes 150 tisíc ha), dále olejniny, včetně bavlny (také přes 150 tisíc hektarů, dále zejména slunečnice) a pícniny, jakožto krmivo pro živočišnou produkci (přes 150 tisíc hektarů). Brambory, spolu se zeleninou, tvoří přes 100 tisíc hektarů orné půdy (Statistické údaje oddělení statistiky Turkestánské oblasti). Mezi často pěstované druhy zeleniny a ovoce patří: různé druhy melounů, jabloně, hrušně, meruňky, třešně, hrozny a ořechy na jihu.

Trvalé kultury, myšleno sady ovocných stromů a bobulovin, pokrývají plochu přes 18 tisíc hektarů. Pěstují se zde především jabloně, hrušně, meruňky a ořechy. Například v roce 2020 bylo sklizeno přes 86 tisíc tun ovoce a bobulovin. Vinic se zde nachází do 10 tisíc hektarů, a jejich produkce přesahovala přes 55 tisíc tun (Syzdykov et al 2020).

Mezi lety 2014-2020 kolísaly hrubé výnosy sklizně v rámci několika procent. Vinu nesla vysoká závislost na přírodních a klimatických podmínkách. Největším systémovým problémem v oblasti rostlinné výroby je suché podnebí a nedostatek závlahové vody. Jediným řešením tohoto problému je zvýšení účinnosti zavlažování a zavedení technologií šetřících vodu. V oblastech, kde neexistují žádné moderní technologie, činí spotřeba vody na zavlažování jednoho hektaru plodin až 17 000 kubíků vody. Přitom norma je 6 000 kubíků. Ovšem v zemědělských podnicích, kde byly zavedeny pokročilé technologie, například v okrese Arys v regionu Turkestán, se spotřeba vody díky kapkové závlaze snížila na 3-3,5 tisíce kubíků na hektar (Azretbergenova et al. 2020). Dalším problémem Turkestánského zemědělství je nedostačující a zastaralé technické vybavení.

3.7.3. Charakteristika živočišné produkce

V Turkestánském regionu je mnoho oblastí, které jsou využívány pro pastevectví, a to především oblasti stepí. Jedním z hlavních odvětví chovu hospodářských zvířat je chov ovcí, což je i jedním z tradičních zaměstnání Kazachů. Ovce se chovají především pro vlnu, kůži a maso, dále je to lůj, mléko a také hnůj, který slouží jako hnojivo. Mezi plemena, která jsou chována, patří Kazachstánské jemnovlnné či hrubovlnné ovce, Degeres či Qigay. Mezi další pastevní zvířata se řadí kazašští koně (adžedajský, kutanajský) a krávy (Auliekolská, Kazašská bělohlavá) pro masnou či mléčnou produkci.

3.7.4. Obecné zhodnocení zemědělství v Turkestánském regionu

V posledních letech zaznamenal agrární sektor Turkestánského regionu pozitivní vývoj. Zemědělský sektor se na hrubé produkci tohoto regionu podílí 10-12 %. Státní podpora směřující do agrární sféry se každoročně zvyšuje: dotování nákladů na nezbytné pohonné hmoty s cílem zvýšit dostupnost osevních a zahradnických prací, výsadbu ovocných sadů a vinné révy, výroba minerálních hnojiv, herbicidů, biopreparátů a další.

Na rozvoj zemědělství regionu bylo v roce 2018 vyčleněno celkem 26 miliard kazašské tenge (přes 1,2 miliardy korun). V letech 2017-2018 bylo dotacemi pokryto více než 40 000 ekonomických subjektů zemědělsko-průmyslového komplexu (Zharylkasyn 2019). Směrem k rozvoji zavlažování půdy poskytoval regionální rozpočet v roce 2019 prostředky ve výši 1,3 miliardy kazašské tenge. Díky tomu se zlepšilo zásobování vodou na 9,8 tisíc hektarů půdy a do provozu bylo uvedeno zavlažování dalších 3,5 tisíc hektarů.

Oproti dotacím ze strany státní sféry je ovšem opomíjen výzkum, který by hodnotil potřeby trhu a obecně potřeby rozvoje v zemědělském sektoru. Dále lze říct, že není vyvinuta od stran státu dostatečná veterinární a potravinová bezpečnost produktů. Dále není dostatečně vybudovaná logistická infrastruktura na případnou distribuci produktů ze zemědělského sektoru.

Státní sféra se snaží zlepšit klimatické podmínky tím, že podporuje a vytváří programy v rámci Projektu obnovy krajiny v Kazachstánu. Jedná se o financovaný projekt, který podporuje udržitelné hospodaření v krajině. Cílem je předcházet další erozi a další degradaci půdy a ekosystémů, dezertifikaci a odlesňování v suchých oblastech a napravovat prostřednictvím udržitelného řízení a obnovy degradovaných krajín, včetně lesů a pastvin. V rámci Bonnské výzvy se v roce 2018 Kazachstán zavázal obnovit do roku 2030 1,5 milionu hektarů lesa, a tím zvýšit lesnatost země ze 4,7 % na 5 % a snížit degradaci půdy. Cílem kazašského klimatického akčního plánu je začlenit opatření proti rozšiřování pouští do hospodářského a sociálního rozvoje, čelit rozšiřování pouští a předcházet mu a udržovat půdu v příznivém a udržitelném stavu. Vyprahlá a degradovaná půda má totiž negativní dopad na ekonomiku

a kvalitu života v zemi, zejména v nejchudších oblastech, kde jsou obyvatelé závislí na lokálním zemědělství.

3.7.5. Obecná charakteristika agrolesnického systému a SWOT analýza

Na základě literárních zdrojů byla vytvořena tato SWOT analýza, která má zhodnotit tvorbu agrolesnického systému v Turkestánském regionu (tab. 1).

Tab. 1: SWOT analýza Agrolesnického systému v Turkestánském regionu

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none"> • omezení eroze, vysychání půdy (celkové ozdravné účinky na půdu) • zemědělská produkční činnost – sklizeň více druhů produktů • zvýšení biodiverzity • ekologické přínosy (ochlazování krajiny, zadržování vody, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • málo akreditovaných a vzdělaných pracovníků • malá veterinární kontrola a kontrola bezpečnosti potravin • malé výnosy dřevin v mladém systému • vyšší výdaje při zakládání systému • nedostatečná zemědělská a lesnická technika
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none"> • pracovní příležitosti pro lokální obyvatele • lokální zemědělské produkty – větší produkční samostatnost • žádost o dotace od státu ke svému projektu • spojení pastevní krajiny s dřevinami 	<ul style="list-style-type: none"> • klimatické výkyvy, a tudíž negativní ovlivnění systému • Nedostatečná vláha na při zakládání agrolesnického porostu • možnost šíření škůdců a chorob v systému

Z této vytvořené SWOT analýzy je patrné, že by založení agrolesnického systému mohlo mít pozitivní vliv na krajinu, klima ale i sociální oblast Turkestánského regionu, ale potýkalo by se s několika možnými negativy.

Pro založení nového agrolesnického systému by šlo požádat o peněžní dotace v rámci Projektu obnovy krajiny v Kazachstánu, a dále z něj do budoucna čerpat v rámci jeho další údržby. Zakládání nového systému by mohlo negativně ovlivnit suché a teplé klima regionu a nedostatek vláhy. Dále je si nutno uvědomit, že než by byl vytvořen plně funkční a prosperující systém, muselo by se investovat mnoho času a peněz na jeho zbudování.

Nově zbudované agrolesnické systémy by mohly sloužit jako nový zdroj pracovních příležitostí pro lokální obyvatele, především pro chudší sektor. Díky vysázení dřevin by se mohla omezit eroze a zamezit degradace půdy, s čímž má tento region problémy. Dále by dřeviny mohly přispět při zadržování vody v krajině.

Spojením dřevin, plodících např. ovoce, a polních plodin, případně pasteveckých hospodářských zvířat, by se mohlo dosáhnout výnosu vícera druhů produktů z jedné lokality. Ovšem spojení vícero druhů rostlin, popřípadě zvířat, by mohlo vést k většímu rozvoji chorob (jak rostlinných, tak živočišných) a mohlo by se stát útočištěm pro větší spektrum škůdců. Rozvoj těchto potencionálních problémů spolu s údržbou těchto poměrně ne příliš známých systémů (pro lokální obyvatelstvo) by mohl nést problémy, jelikož se v těchto lokalitách vyskytuje málo vzdělaných pracovníků v této problematice.

4. Závěr

Agrolesnické systémy nabízejí výhody, které zahrnují zásahy do ekologie a životního prostředí, podle Kotrby (2000-2016), který cituje velké množství výzkumů ze západní Evropy a dalších zemí se srovnatelnými přírodními podmínkami a krajinnými cíli. Mezi výhody patří prevence zanášení vodních toků, provádění protierozních opatření, zadržování vody v krajině, snížení odpařování, minimalizace kontaminace podzemních vod dusíkem a zvýšení využití živin faktory, jako jsou hluboce zakořeněné stromy. Moderní zemědělská technologie, včetně mechanizovaných metod, je také zcela kompatibilní s takovými systémy. Tradiční výnosy pozemků se zvyšují pěstováním plodin a dřevin v pásech mezi zónami zemědělské produkce, na rozdíl od jejich individuálního pěstování v monokultuře. Výsledky analýz "efektivnosti využívání půdy" ukazují, že agrolesnictví má potenciál zvýšit produktivitu až o 40 %. Typ "trojrozměrného" zemědělství je možný, když vysoké stromy zvětšují užitečnou plochu. Agrolesnické systémy mohou zvýšit produkci dřeva, což je skvělé, protože dřevo je obnovitelná surovina, a existují i další obecné výhody. Tuto výhodu může poskytnout jak spotřeba energie (polena, štěpky), tak výsadba žádoucích a finančně prospěšných listnatých stromů. V nábytkářském sektoru lze nahradit tropická dřeva, druhy jako je třešeň, ořech nebo bříza. Ovocné stromy by mohly být pěstovány vedle jiných zemědělských plodin, jako jsou byliny nebo zelenina, nebo dokonce vedle skotu. Přidání odrůdy tímto způsobem zlepšuje potenciál sadů pro zisk. Vzhledem k pozitivním účinkům stromů na produkci i počasí je agrolesnictví skvělým způsobem, jak podpořit včelařství. Krajinné prvky, které mají příznivý ekologický dopad, jako jsou cesty, nárazníkové pásy, větrolamy, biokoridory, břehové porosty a další, všechny spolupracují na vytvoření harmonického celku. Faktory, jako je nedostatek informací, nepodporující politika ministerstva zemědělství, nedostatečná informovanost obyvatel venkova a jejich strach z opuštění tradičních zemědělských postupů, brání tomu, aby se agrolesnictví v Kazachstánu plně etablovalo.

Dlouhodobý pohled mnoha zemědělců na stromy jako potenciální hrozbu úrody na zemědělské půdě se mění, a to je klíčové. Dříve bylo zmíněno, že agrolesnictví má potenciál hrát hlavní roli v budoucím rozvoji venkovské krajiny. Pozitivní ekologické, environmentální, sociální, ekonomické a kulturní výsledky jsou jen špičkou ledovce. Vývoj produkce plodin a chovu zvířat je implikován přijetím multifunkčního zemědělství. Bude tedy více pracovních míst kvůli vyšší poptávce po manuální práci, která bude přetrvávat i do zimy. Bude naléhavě zapotřebí udržitelné výroby energie a potravin v celosvětovém měřítku.

Agrolesnictví má velký potenciál i mimo oblast výroby potravin, protože má mimo jiné schopnost vyrábět obnovitelnou energii. Snížení uhlíkové stopy, zamezení vyluhování dusičnanů do podzemních

vod a ochrana před erozí jsou pro udržitelnou produkci potravin zásadní. To vše plus "bonus" biologické rozmanitosti je na dosah s dobře naplánovanými agrolesnickými postupy. Všude tam, kde je významný problém s kácením stromů, aby se uvolnila cesta pro zemědělskou půdu, může agrolesnictví pomoci s udržitelným hospodařením. Navzdory mnoha výhodám není agrolesnictví bez nevýhod. Mezi klíčové nevýhody patří kompatibilita půdy pro tento typ zemědělství, nižší intenzita produkce a absence značné mechanizace, kterou je obtížné přijmout.

V důsledku toho je agrolesnictví relativně nepopulární zemědělskou technikou, která je stále v procesu objevování. V době, kdy vybíráme intenzifikaci, která je efektivní a šetrná k životnímu prostředí, je v agrolesnictví velký prostor pro zlepšení. Zvýšení dostupnosti a sofistikovanosti mechanizace může být vyvoláno rostoucí poptávkou po této alternativě řízení, což vede k jejímu dalšímu rozšíření. Agrolesnictví má obrovský příslib do budoucna díky všem těmto faktorům, a to jak na domácím, tak na mezinárodním poli.

5. Literatura

1. Amacher Gregory S., Ersado Lire, Hyde William F., Osorio Amy. 2004. Tree planting in Tigray, Ethiopia. The importance of human disease and water microdams. *Agroforestry Systems* 60, 211–225.
2. ASZČR. 2015. ASZ: Mezinárodní rok půdy. Praha. Available from: <https://www.asz.cz/>.
3. Atangana A.; Khasa, D.; Chang, S.; Degrande, A. 2014. Phytoremediation in Tropical Agroforestry. In *Tropical Agroforestry*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 343–351.
4. Augustine C.M.J.; Vogt, K.A.; Harrison, R.B.; Hunsaker, H.M. 2007. Nitrogen-fixing trees in small-scale agriculture of mountainous southeast Guatemala: Effects on soil quality and erosion control. *J. Sustain. For.*, 23, 61–80.
5. Azretbergenova G., Syzdykova A.O., Bimendeev B.B. 2020. Increasing economic efficiency of Agrecultural sector in the regions of Kazakhstan. *Problems of AgriMarket.*(2):75-81.
6. Beliveau A.; Lucotte, M.; Davidson, R.; Paquet, S.; Mertens, F.; Passos, C.J.; Romana, C.A. 2017. Reduction of soil erosion and mercury losses in agroforestry systems compared to forests and cultivated fields in the Brazilian Amazon. *J. Environ. Manag.* 203, 522–532.
7. Beule L., Rodas V., Vaupel A. 2022. Abundance, diversity and function of soil microorganisms in temperate Alley-Cropping agroforestry systems. DOI: 10.3390/microorganisms10030616.
8. Bílý Vojtěch. ZSCR. 2020. SZP: Jednání o nedostatečném rozpočtu SZP. Praha. Available from: <https://www.zscr.cz/clanek/jednani-z-nedostatecneho-rozpoctu-szp> 4848 (accessed February 2020).
9. Cao L.; Wang S.; Peng T.; Cheng Q.; Zhang L.; Zhang Z.; Yue F.; Fryer A.E. 2020. Monitoring of suspended sediment load and transport in an agroforestry watershed on a karst plateau, Southwest China. *Agric Ecosyst. Environ.* 299, 106976.
10. Chancellor J., Galway H., Worthington D., Forde CD. 1937. Land and labour in a Cross-river village, Southern Nigeria: Discussion. The Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographers), London.
11. Chatterjee N.; Nair P.R.; Chakraborty S.; Nair V.D. 2018. Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various agroecological regions: A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 266, 55–67
12. Cibulka J, Chlubná T. 2019. Pěstování pšenice a řepky. DOI: 10.1478/journal.pirozhlas.0054076.
13. Conklin HC. 1957. Hanunoo agriculture: A report on an integral system of shifting cultivation in the Philippines. DOI: 10.4356/jgit.201463021.
14. Crown CR. 1938. Report on the financial and economic position of Northern Rhodesia. DOI: 10.1868/journal.pkra.0056055.
15. Current D., Lutz E., Scherr SJ. 1995. The costs and benefits of agroforestry to farmers. Oxford University Press, Oxford.
16. Diallo M., Akponikpè P., Fatondji D., Abasse T., Agbossou EK. 2019. Long-term differential effects of tree species on soil nutrients and fertility improvement in agroforestry parklands of the Sahelian Niger. DOI: 10.1080/14728028.2019.1643792.
17. Diel J.; Vogel H.J.; Schlüter, S. 2019. Impact of wetting and drying cycles on soil structure dynamics. *Geoderma*, 345, 63–71.
18. Dobiášová B. 2006. Vývoj zemědělství ve 20 století. Masarykova Univerzita, Brno.
19. Dobrovolský G.V., Nikitin E.D. Ekologické funkce půdy. 2006.

20. Douglas G, Dodd MB, Mackay A, Vibart R. 2020. Soil carbon stocks under grazed pasture and pasture-tree systems. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136910.
21. Du, X.; Jian, J.; Du, C.; Stewart, R.D. 2022. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 10, 188–196.
22. Dupraz C, Lawson G, Papanastasis VP, Lamersdorf N. 2018. Temperate agroforestry: European way. DOI: 10.1079/9781780644851.0098.
23. Eddy WC, Yang WH. 2022. Improvements in soil health and soil carbon sequestration by an agroforestry for food production system. Cambridge University Press, Cambridge.
24. Erber Aleš. Agrolesnictví – budoucnost českého zemědělství a výzva pro lesní školkaře?! *Ekolist.cz* [online]. 13.9.2018
25. Franco D, Franco D, Mannino I, Zanetto G. 2003. The impact of agroforestry networks on scenic beauty estimation: The role of a landscape ecological network on a socio – cultural process. DOI: 10.7654/8767759874304.
26. Franklin M, Sherman S. 1992. Agroforestry principles. DOI: 10.4562/journal.pecno.0098053.
27. Franzel S, Lilles JPB, Denning GL, Mercado AR. 2004. Scaling up the impact of agroforestry: Lessons from three sites in Africa and Asia. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000029008.71743.2d.
28. Hailemariam M, Birhane E, Gebresamuel G, Gebrekiros A. 2018. Arbuscular mycorrhiza effects on *Faidherbia albida*: Growth under varying soil water and phosphorus levels in Northern Ethiopia. DOI: 10.1007/s10457-017-0146-x.
29. Hailu, G. 2015. A review on the comparative advantage of intercropping systems. *J. BiolAgricu. Healthc.*, 5, 2224–2320
30. Headley JC. 1985. Soil conservation and cooperative extension. Duke University Press, Durham.
31. Hladík Jiří. ASZČR. 2015. ASZ: Mezinárodní rok půdy. Praha. Available from: <https://www.asz.cz/> (accessed September 2015).
32. Holden ST, Shiferaw B, Wik M. 1998. Poverty, market imperfections and time preferences: Of relevance for environmental policy. Cambridge University Press, Cambridge.
33. Jacobi J, Gambon H, Stiefel SLM, Rist S. 2017. Use and role of local and external knowledge in agroforestry projects in Bolivia. DOI: 10.1007/s00267-016-0805-0.
34. Jalankuzov T.D., Isenova, G., Žamanbajeva, G. (2012). Hodnocení znečištění černozemí severního Kazachstánu v důsledku používání hnojiv a pesticide.
35. Jerneck A, Olsson L. 2013. Understanding the agroforestry adoption gap in subsistence agriculture: Insights from narrative walks in Kenya. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2013.04.004.
36. Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits. DOI: 10.1007/s10457-009-9229-7.
37. Kamau, S.; Barrios, E.; Karanja, N.; Ayuke, F.; Lehmann, J. 2017. Soil macrofauna under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. *Soil Biol. Biochem.*, 112, 35–46.
38. Kimmins JP, Seely B, Blanco JA, Welham CVJ. 2010. Forecasting forest futures: A hybrid modelling approach to the assessment of sustainability of forest ecosystems and their values. DOI: 10.4324/9781849776431.
39. King KFS. 1968. Agri - silviculture (the taungya system). Ibadan University Press, Ibadan.
40. Kotrba J. 2000-2016. AGRIS. ČZU Praha: Český spolek pro agrolesnictví,
41. Kwesiga F, Mafongoya P, Akinnifesi FK, McDermott MH. 2003. Agroforestry research and development in Southern Africa. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000005222.68054.38.

42. Kyselka I. 2006. Drobné prvky a historické struktury venkovské krajiny: Funkce, ochrana a možnosti obnovy. DOI: 10.4677/journal.pil.0096042.
43. Leakey R. 1999. Potential for novel food products from agroforestry trees. DOI: 10.3345/journal.pfc.0076188.
44. Li X, Ge T, Chen Z, Wang S. 2020. Enhancement of soil carbon and nitrogen stocks by abiotic and microbial pathways in three rubber-based agroforestry systems in Southwest China. DOI: 10.1002/ldr.3625.
45. Liang, W.L. 2020. Effects of stemflow on soil water dynamics in forest stands. In *Forest-water interactions*; Springer: Cham, Switzerland.
46. Lojka B. Martiník A. 2014. Agroforestry in Czech Republic. In: 2nd EURAF CONFERENCE [online]. Cottbus. 2016.
47. Lojka B. 2018. ČSAL. Agrolesnictví z pohledu francouzské praxe. Ekolist.cz [online].
48. Lorenz, K.; Lal, R. 2014. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 34, 443–454.
49. Marsden C, Cortet J, Hedde M, Martin-Chave A. 2020. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions. DOI: 10.1007/s11104-019-04322-4.
50. Martiník Antonín, Lojka Bohdan, Weger Jan, Erber Aleš. 2015. Agrolesnictví v České republice, Minulost, současnost a budoucnost. <https://agrolesnictvi.cz/wp-content/uploads/2015/06/Agrolesnictví-v-České-republice.pdf>
51. Matos, P.S.; da Silva, C.F.; Pereira, M.G.; da Silva, E.M.R.; Tarré, R.M.; Franco, A.L.C.; Zonta, E. 2022. Short-term modifications of mycorrhizal fungi, glomalin and soil attributes in a tropical agroforestry. *Acta Oecologica*, 114, 103815.
52. Mařáková M. 2018. Nejúčinnější opatření proti větrné erozi. Masarykova Univerzita, Brno.
53. Mercer DE. 2004. Adoption of agroforestry innovations in the tropics. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000029007.85754.70.
54. Montagnini, F.; Metzler, R. 2017. *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*; Springer: Cham, Switzerland.
55. Mosquera-Losada MR, Moreno G, Pardini A, McAdam JH, Papanastasis V, Burgess PJ, Lamersdorf N, Castro M, Liagre F, Rigueiro-Rodríguez A. 2012. Past, present and future of agroforestry systems in Europe. DOI: 10.7633/journal.pfase.8876543.
56. Muchane, M.N.; Sileshi, G.W.; Gripenberg, S.; Jonsson, M.; Pumarino, L.; Barrios, E. 2020. Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta – analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 295.
57. Nair Ramachandran P.K. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Springer Netherlands, Springer Science+Business Media Dordrecht Boston: Kluwer Academic Publishers in cooperation with International Centre for Research in Agroforestry, Dordrecht.
58. Noumi VN, Zapfack L, Djongmo VA, Hamadou MR. 2018. Floristic diversity, carbon storage and ecological services of eucalyptus agrosystems in Cameroon. DOI: 10.1007/s10457-017-0130-5.
59. Novotný I, Mistr M, Papaj V. 2014. Příručka ochrany proti vodní erozi. DOI: 10.6634/journal.popve.0077080.
60. Nátr L. 2011. *Příroda, nebo člověk*. Charles University Press, Prague.
61. Odom E. *Ecology*. Vol. 1-2, 1986.
62. Ojo G. J. A. 1966. *Yoruba culture*. University of Iife and London Press.

63. Osei AK, Peak D, Kimaro AA, Gillespie A. 2018. Soil carbon stocks in planted woodlots and Ngitili systems in Shinyanga, Tanzania. DOI: 10.1007/s10457-016-0028-7.
64. Pan, C.; Shrestha, A.; Innes, J.L.; Zhou, G.; Li, N.; Li, J.; He, Y.; Sheng, C.; Niles, J.O.; Wang, G. 2022. Key challenges and approaches to addressing barriers in forest carbon offset projects. *Journal of Forestry Research*, 33, 1109–1122.
65. Partey ST, Thevathasan NV, Zougmore R, Preziosi RF. 2018. Improving maize production through nitrogen supply from ten rarely-used organic resources in Ghana. DOI: 10.1007/s10457-016-0035-8.
66. Pasák V. 1984. Ochrana půdy před erozí. DOI: 10.4567/journal.pghs.1074342.
67. Perez J, Suárez YP, Pérez AA, Bolaina VC. 2017. Leaf litter and its nutrient contribution in the cacao agroforestry system. DOI: 10.1007/s10457-017-0096-3.
68. Pretty JN. 2018. Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. DOI: 10.1126/science.aav0294.
69. Poluektov R. A. Dynamické modely agroekosystémů. 1991.
70. Ramos HMN, Vasconcelos SS, Kato OR, Castellani D. 2018. Above – and belowground carbon stocks of two organic, agroforestry-based oil palm production systems in eastern Amazonia. DOI: 10.1007/s10457-017-0131-4.
71. Raskin B, Osborn S. 2019. Agroforestry for the UK. DOI: 10.0986/4555/journal.pew.012314.
72. Reardon T, Vosti SA. 1995. Links between rural poverty and the environment in developing countries: Asset categories and investment poverty. Michigan State University Press, Ann Arbor.
73. Rodríguez L, Salazar JCS, Pulleman MM, Cruz LG. 2021. Agroforestry systems in the Colombian Amazon improve the provision of soil ecosystem services. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103933.
74. Rosati, A.; Borek, R.; Canali, S. 2020. Agroforestry and organic agriculture. *Agrofor. Syst.*, 95, 805–821.
75. Sands R. 2005. Forestry in a global context. DOI: 10.3980/journal.pfgc.0127884.
76. Scherr SJ. 1995. Economic factors in farmer adoption of agroforestry: Patterns observed in Western Kenya. DOI: 10.3760/journal.pug.1245889.
77. Schroth, G.; Burkhard, J. 2003. Nutrient leaching. In *Trees, Crops and Soil Fertility— Concepts and Research Methods*; Schroth, G., Sinclair, F.L., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, UK.
78. Sorensen E. 2017. An introduction to the vegetation of tropical Africa. Oxford University Press, Oxford.
79. Sprague MA. 2020. Fundamentals of soil science. Springer Nature, Cham.
80. St Clair H, Lynch JP. 2005. The opening of Pandora's Box: Climate change impacts on soil fertility and crop nutrition in developing countries. DOI: 10.1093/jxb/erj054.
81. Stefan L, Ulicna L, Biro D. 2021. Carbon footprint analysis of agroforestry systems in Slovakia. DOI: 10.1007/s10980-021-01320-2.
82. Stocking MA, Murnaghan N. 2001. Handbook for the field assessment of land degradation. Routledge, London.
83. Tadesse T, Hagos H, Tesfay A, Yibrah B, Negash M. 2019. Impacts of land use and land cover changes on soil properties and land degradation in Northern Ethiopia. DOI: 10.1007/s13165-019-00230-y.
84. Teo I, Chan V, Tan W. 2019. A review on the impact of agroforestry on ecosystem services and the mitigation of greenhouse gas emissions in Southeast Asia. DOI: 10.1007/s13593-019-00571-2.
85. Thomas R, Dawson L, Pirie A, Noim U, Oliveira J. 2002. Management options for agroforestry systems in the UK. DOI: 10.1023/A:1020873717377.

86. Tian F, Zhang H, Zha Z, Liang Y, Hu H, Yang Y, Yuan Z. 2019. Effects of tree species on soil carbon dynamics and soil microbial community composition in subtropical China. DOI: 10.1002/ldr.3223.
87. Torello Mariana. ASZČR. 2015. ASZ: Mezinárodní rok půdy. Praha. Available from: <https://www.asz.cz/> (accessed September 2015).
88. Tripathi, R.C., Bera, R. 2019. Effect of soil depth on soil carbon storage and nitrogen availability under different land uses in a subtropical watershed. *Geoderma*, 337, 1093–1103.
89. Tschakert P, Dietrich KA. 2010. Anticipatory learning for climate change adaptation and resilience. DOI: 10.1098/rstb.2009.0130.
90. Turkelboom, F.; Poesen, J.; Wesemael, B.V. 2007. Role of land use, land cover and soil erosion on soil organic carbon and nutrient distribution in the Senegal and Gambia river basins. *Biogeochemistry*, 85, 71–83.
91. Turner WR, Imbernon J, Bretagnolle V. 2016. Agroforestry systems in France: The results of an interdisciplinary national survey. DOI: 10.4314/jae.v21i1.3.
92. Ujihara A, Krzysztof M, Kapur S. 2022. State of soil biodiversity in agroforestry: A review. *Soil Science Society of America Journal*, 86, 465–485.
93. Vaezi AR, Sadeghi SHR, Tazeh M, Kiani F, Alizadeh A. 2019. Soil loss estimation under climate change scenarios in a semi-arid catchment using the SWAT model. DOI: 10.1007/s10661-019-7237-3.
94. Wang F, Yang Q, Wang Y, Zhang X. 2021. Sustainable agriculture: The connection between environmental health and food security. DOI: 10.1080/08941920.2021.1875621.
95. Wang W, Wang J, Wang J, Zhan Q, Zhu J. 2020. Impacts of Land Use/Cover Change on Erosion-Sediment Yield: A Case Study in the Three Gorges Reservoir Area, China. DOI: 10.3390/w12020356.
96. Westley FR. 2008. A theory of transformative agency in linked social-ecological systems. DOI: 10.1146/annurev.environ.30.051606.094315.
97. Wojdalski J, Grządziel J, Gałązka A, Baran A. 2019. The relationship between the microbial activity and soil enzyme activity in the soil of beech forest. DOI: 10.1007/s00128-019-02553-3.
98. Wolz, K.J.; Isaacs, R.; Landis, D.A. 2017. Landscape composition influences pollinators and pollination services in perennial biofuel plantings. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 248, 30–37.
99. Wolz, K.J.; Isaacs, R.; Landis, D.A. 2018. Bee community and floral resource use associated with crop pollination in a mosaic of annual crops and perennial grasslands. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 258, 20–27.
100. Wronka P. 2004. Modelowanie zmian środowiska w polskich Tatrach – przegląd badań. DOI: 10.14746/psp.2004.1.10.
101. Xu L, Bai X, Xu X, Hua Y. 2019. Dynamic monitoring and evaluation of soil erosion in an agroforestry watershed based on the RUSLE and 3D-GIS. DOI: 10.1007/s00128-019-02703-6.
102. Xue, L.; Ren, H.; Li, Y.; Li, B.; Fang, J.; Nie, Y.; Zhao, X. 2016. The fine root traits of *Robinia pseudoacacia* L. plantation ecosystem under long-term compost treatment. *Plant Soil Environ.*, 62, 413–419.
103. Xue, Y.; Ren, Z.; Wang, J.; Li, H.; Wei, W.; Shen, Y.; Liu, C. 2021. Land use changes drive soil erosion and crop yield dynamics in the semi-arid Loess Plateau, China. *CATENA*, 197, 105070.
104. Yamamoto K, Saito K, Nakayama K, Takashima T, Tsubota H, Tsuyuzaki S. 2019. Effects of plant diversity on soil carbon dynamics in grasslands. DOI: 10.1002/ldr.3450.

105. Yang, K.; Yang, Y.; Tang, M.; Li, Y.; Wang, Y.; Liu, J. 2021. Effects of plant growth-promoting bacteria on nitrogen and phosphorus absorption by moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) seedlings in hydroponic culture. *Biol. Fertil. Soils*, 57, 267–282.
106. Zavaleta E. 2000. Valuing ecosystem services lost to *Tamarix* invasion in the United States. DOI: 10.1023/A:1006347332209.
107. Žehulková E, Strnad L, Fecenko J, Hradil T. 2020. Evaluation of land use and land cover changes in the Ostrava region (Czech Republic) using satellite imagery. DOI: 10.3390/ijgi9020104.

