

Tvorba linií rychle rostoucích dřevin v krajině pro účely potencionální výroby biocharu



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního
prostředí**

Katedra geoenvironmentálních věd

**David Nadrchal, obor Územní technická a správní služba,
program Krajinářství**

2020/2021

Školitel: doc. Mgr. Lukáš Trakal, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Bouček

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem vypracoval tuto bakalářskou práci samostatně a čestně, pod odborným vedením doc. Mgr. Lukáše Trakala, Ph.D. Další informace mi poskytl Ing. Jiří Bouček. Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal informace pro zpracování této práce a že tištěná verze se shoduje s verzí nahranou do Univerzitního informačního systému.

Datum.....

Podpis.....

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Mgr. Lukáši Trakalovi Ph.D. za důsledné a odborné vedení mé práce a pomoc se stanovením jejího zaměření na produkci biocharu. Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Boučkovi za věcné informace a rady pro zpracování práce.

Abstrakt

Rychle rostoucí dřeviny (RRD) jsou druhy, které se využívají pro svoji schopnost rychlé a opakované produkce rostlinné biomasy (fytomasy), nejčastěji topoly (*Populus*) a vrby (*Salix*). V současnosti jsou pěstovány ve většině případů pro energetické využití. Prvotní myšlenkou je snižovat emise oxidu uhličitého (CO₂) nahrazováním fosilních zdrojů spalováním získané fytomasy. Poprvé se takové myšlenky začínají objevovat během 20. století, a ačkoliv je tento koncept dobrý, výnosy, které poskytují současné plantáže vzhledem k obsazené ploše nejsou nikterak vysoké. Při konvenčním spalování za přítomnosti kyslíku dochází také k emisi téměř veškerého uhlíku (C) z fytomasy v podobě CO₂ zpět do atmosféry. Pěstování RRD pro komerční účely je nejisté vzhledem k nízké výkupní ceně dřevní štěpky, překážkách v podobě legislativních omezení a celkově snižujícím se zájmu mezi zemědělci. Mohou však přinášet řadu produkčních i mimoprodukčních funkcí. Pravděpodobně největší potenciál nabízejí RRD při pěstování v agrolesnických systémech (ALS) a na místo klasického spalování pro energetické využití může být získaná fytomasa použita na výrobu biocharu, zuhelnatělé biomasy získané pyrolýzou. S poznatky ohledně RRD, ALS a biocharu je možno navrhnout teoretický koncept s přínosy pro zemědělce, ve smyslu možnosti zvýšení jejich výnosů a zisku tepelné energie a dotací, tak pro ochranu půdy a krajiny zlepšením protierozní ochrany, hospodaření s vodou, biodiverzity, tvorby mikroklimatu a řešení problematiky kontaminace rezidui pesticidů, polycyklickými aromatickými uhlovodíky, potenciálně rizikovými prvky, např. arsenu (As), kadmia (Cd), zinku (Zn), rtuti (Hg), olova (Pb), hliníku (Al), chromu (Cr) nebo mědi (Cu), zlepšení půdních vlastností, hlavně zvýšení pH u acidifikovaných půd, a možnosti efektivnější sekvence C. Práce podává komplexní pohled na danou problematiku s přihlédnutím na výzkumy a praktické zkušenosti různých autorů s možností dalších navazujících výzkumů.

Klíčová slova

Rychle rostoucí dřeviny, agrolesnické systémy, biouhel, ochrana půdy a krajiny

Abstract

Fast growing woody crops (FGWC) are species used for their ability of large, fast, and repeated production of biomass (fytomass), usually poplars (*Populus*) and willows (*Salix*). Across the world, planting and harvesting of fast-growing wood crops is very popular among the farmers and landowners usually for energetical purposes. The idea is very simple, to get a cheap and renewable resource instead of fossil fuels with decreased carbon dioxide (CO₂) emissions. Problem is that the ratio between planted land and obtained amount of the energy which we get from burning the wood isn't effective. Additionally, most of the carbon is emitted back to atmosphere as CO₂ via conventional burning with presence of oxygen. The prognosis related to growing of FGWC for energetical purposes is uncertain in Czech Republic due to low purchase price of the wood chips, legislative obstacles and disinterest of farmers. The growing of FGWC can bring, nevertheless, many positive aspects. For the growing, farmers could obtain donations and with specific compliance use them as an area in ecological purpose as a proviso for Greening donations and/or they can be used for recultivation of contaminated areas. Probably the biggest potential of FGWC growing is in agroforestry systems when the harvested wood is then used for biochar production, pyrolyzed material made from biomass. Based on the knowledge of FGWC, agroforestry and biochar, it is possible to propose a theoretical concept which can have several benefits for farmers, such as: (I) donations; (II) better yield and thermal energy production; as well as (III) the solution for landscape and soil protection (e.g., soil erosion protection, better water management, biodiversity support, sorption of pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially risky elements in the soil arsenic (As), cadmium (Cd), zinc (Zn), mercury (Hg), lead (Pb), aluminium (Al), chrome (Cr) or copper (Cu), and improving pH soil and carbon sequestration. The thesis gives a complex view to this problematic using the experiments and practical knowledge of several authors and possibility of future experiments to prove all potential benefits and characterize the precise structure of the concept.

Key words

Fast growing wood crops, agroforestry, biochar, landscape and soil protection

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíle práce	10
3. Faktory ohrožení zemědělské půdy a krajiny	11
3.1 Ohrožení půdy	11
3.1.1 Půdní eroze	11
3.1.2 Ztráta organické hmoty	12
3.1.3 Živiny a jejich ztráta	12
3.1.4 Acidifikace	12
3.1.5 Kontaminace	13
3.2 Ohrožení krajiny	14
3.2.1 Mikroklima krajiny	14
3.2.2 Ztráta biodiverzity	14
3.2.3 Vodní režim	15
4. Pěstování rychle rostoucích dřevin	16
4.1 Druhy RRD	16
4.2 Současná situace	16
4.3 Legislativa	17
4.4 Dotace	17
4.5 Výsadba a údržba	18
4.6 Sklizeň	19
4.7 Likvidace	21
5. Linie RRD	22
5.1 Agrolesnické systémy	22
5.2 Aspekty a přínosy tvorby linií RRD	23
5.2.1 Praktické zkušenosti	23
5.2.2 Protierozní ochrana	24
5.2.3 Vodní režim	24
5.2.4 Mikroklima	24
5.2.5 Biodiverzita	25
5.2.6 Možné nevýhody a omezení	25

6. Biouhel	26
6.1 Definice	26
6.2 Výrobní postupy a vedlejší produkty	26
6.3 Vliv na půdu a pozitivní přínosy	27
6.3.1 Remediacce	27
6.3.2 Acidifikace	28
6.3.3 Živiny	28
6.3.4 Zadržetí vody	30
6.3.5 Organická hmota	30
6.3.6 Sekvestrace	30
6.4 Vlastnosti biouhlu z RRD	31
6.5 Možná rizika	32
6.6 Aplikace do půdy	32
7. Výsledné zhodnocení	33
8. Diskuse	35
9. Závěr a přínosy práce	40
10. Přehled literatury a použitých zdrojů	41
10.1 Literatura	41
10.2 Obrázky	45
10.3 Grafy	45
10.4 Statistická data	45
10.5 Legislativa	46
11. Přílohy	

1. Úvod

Již od doby, kdy lidé začali využívat dřevo bylo velmi významným obnovitelným zdrojem materiálu, a to zejména vzhledem k snadné dostupnosti, zpracovatelnosti a pevnosti. Rovněž tvořilo, a v některých oblastech dodnes tvoří, významný zdroj energie, hlavně tepelné. Pravděpodobně náhodou přišli naši předci na fakt, že některé dřeviny se po pokácení začnou zmlazovat a mohou tedy opakovaně nabízet zdroj dřeva, aniž by bylo nutné kácet další stromy. Toto dřevo sice nenabízelo tak kvalitní mechanické vlastnosti, jako kmenové dřevo stromů, které zde rostly původně, ale bylo ho poměrně mnoho a vyrůstalo z pařezů starých stromů rychle. Člověk se velmi rychle naučil tuto schopnost některých dřevin využívat pro svůj prospěch, většinou právě pro získání palivového dřeva (Maděra a kol., 2016).

Důkazy o pěstování dřeva pařezinovým (nízkokmenným) způsobem, jak je dnes v lesnické praxi tento způsob nazýván, jsou často k vidění v okolí vesnic se zachovalým původním krajinným rázem. Typicky se jedná o okraje lesů nebo mimolesní porosty, které jsou charakterizované jako výmladkové lesy. Nejčastěji se v těchto porostech nachází vrby (*Salix*), lísky (*Corylus*), jeřáby (*Sorbus*) a topoly (*Populus*). Mezi dalšími se můžeme setkat s lípami (*Tilia*), javory (*Acer*), habry (*Carpinus*) a dalšími rody. Ty byly využívány méně často a jsou většinou omezeny na oblasti, kde existoval jejich přirozený výskyt. V současnosti téměř není výmladkový způsob pěstování dřevin v lesech používán (Maděra et al., 2016). Ovšem mimo les zažívá pěstování tímto způsobem v posledních 50 letech silný rozvoj (Weger et al., 2012).

Po zjištění, že spalování uhlí a ropy způsobuje významné znečištění ovzduší a má zásadní vliv na klimatické změny, které jsou významným ohrožením pro životní prostředí, se začaly hledat různé alternativy, jak uhlí nahradit. Vzhledem k snadné dostupnosti a již existující infrastruktuře byl (a stále je) jako náhrada na mnoha místech zvolen zemní plyn. To znamenalo významné snížení znečištění ovzduší i množství emisí CO₂, NO_x, SO₂, uhlovodíků a pevných částic, nicméně stále se jedná o spalování fosilního paliva, a tak hledání alternativního obnovitelného zdroje pokračovalo (ústní sdělení, [V. Zdražil], [ČZU], 8.3.2019). Brzy se začaly v Evropě, hlavně ve Skandinávii a v Itálii, objevovat plantáže dřevin, které byly přímo pěstovány pro využití jako zdroj energie výmladkovým způsobem, tedy na podobném principu, na jakém se palivové dřevo pěstovalo už v minulosti (Weger a kol., 2012).

Pěstování RRD v energetických plantážích představuje významné úspory v množství emisí CO₂ a zpomaluje tak postupující klimatickou změnu. V současnosti se však ukazuje, že poměr získané energie ku ploše, na které se RRD pěstují, je poměrně malý. Tento faktor je vzhledem k nutnosti dostatku volné zemědělské půdy pro produkci potravin nevyhovující. Pěstování RRD je často využíván způsob hlavně méně úrodných pozemků, které nejsou pro polní plodiny tolik vhodné nebo se jedná o rekultivace ploch (např. kontaminovaných) bez jiné možnosti využití (Stolarski et al., 2017). To ovšem vede k efektu, kdy jsou plantáže často umísťovány mimo půdní bloky s polními kulturami a jejich potenciál pro zlepšení mimoprodukčních vlastností půdy nemusí být tak vysoký. Na území ČR pěstování RRD za energetickým účelem oproti např. severní a západní Evropě nezažívá zdaleka tak silný rozvoj. Důvodů je více, z praktického hlediska se pěstování RRD za účelem prodeje dřevní štěpky příliš nevyplácí, respektive není jistý zisk, a vlastníci pozemků a zemědělci proto od jejich pěstování často odstupují (Weger a kol., 2012).

Půda a krajina v ČR a na celém světě je ohrožena faktory souvisejícími s nešetrným hospodařením, průmyslovým znečištěním a klimatickými změnami. U půd se jedná zejména o rizika půdní eroze (Wuepper et al., 2019), acidifikace (Dai et al., 2017), kontaminace (Vácha, 2019), ztráty organické hmoty a vysychání. Zemědělská krajina tvoří velkou část rozlohy území ČR a její podíl na utváření krajinných hodnot je tak zásadní (Mohelský, 2015). V souvislosti s nešetrným hospodařením dochází ke ztrátě biodiverzity (Dudley et al., 2017), neschopnosti krajiny udržet mikroklima mající za následek vysychání půd a intenzivnější průběh meteorologických extrémů (Středová a kol., 2011) a celkové neschopnosti zadržet vodu (Dolejský, 2016).

Jednou z možností, jak celý systém pěstování RRD zefektivnit, a vylepšit tak některé mimoprodukční ale i produkční funkce půdy jsou agrolesnické systémy (ALS). Tímto pojmem se označuje pěstování dřevin různého druhu v kombinovaných systémech s konvenční zemědělskou produkcí na orné půdě (Norrlin et al., 2020).

V posledních letech po celém světě zažívá velký vzestup půdní aditivum známé pod anglickým názvem biochar (česky biouhel), které je vyráběno zuhelnatěním biomasy z různých zdrojů pyrolýzou (Břendová a kol., 2014). Stále větší množství hlubších výzkumů prováděných v různých podmínkách odhaluje mnoho pozitivních potencionálů biouhlu v souvislosti s problematikou ochrany půdy (Liu et al., 2018; Břendová a kol., 2014; Dai et al., 2017).

Vzhledem k nejisté budoucnosti pěstování RRD za účelem prodeje dřevní štěpky se tak nabízí otázka, jaké využití hledat. S přihlédnutím k problémům postihujícím zemědělskou půdu a krajinu a znalostem ohledně ALS a biouhlu se nabízí možnost vytvořit na ohrožených plochách ALS s RRD a získanou fytomasu neprodávat, ale využívat ji pro výrobu biouhlu, který bude aplikován do půdy.

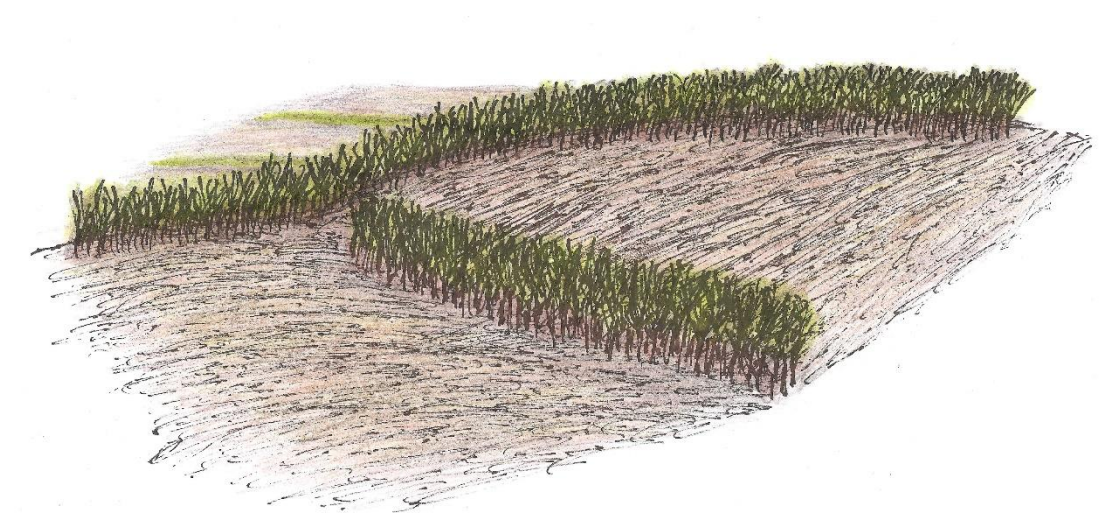
2. Cíle práce

Hlavním cílem práce je identifikace konceptu pěstování rychle rostoucích dřevin na zemědělské půdě ve formě linií (Obr. 1) za účelem výroby a aplikace biouhlu s popisem možných pozitivních a negativních přínosů pro současné zemědělství a ochranu půdy a krajiny.

Práce bude rozdělena na dvě hlavní části:

V první části je cílem popsat současnou situaci pěstování RRD. Je třeba popsat schválené druhy RRD pro pěstování v ČR, dotace, legislativní podmínky pěstování na zemědělské půdě, výsadbu, údržbu a likvidace porostů a agrolesnické systémy se zkušenostmi s jejich pěstováním vztažené k RRD. Dále je třeba zjistit, zda mohou ALS s RRD pomoci s řešením problémů postihujících zemědělskou krajinu v ČR, meteorologickými extrémami souvisejícími s klimatickými změnami, vodním režimem a degradací půdy. Musí být rovněž uvedeny možná omezení vznikající v souvislosti s ALS.

Druhá část práce se bude zabývat tématem aplikace biouhlu do půdy. Zde je cílem popsat biouhel, jeho vlastnosti, výrobní postupy, vedlejší produkty výroby a hlavní přínosy vztažené k problematice kontaminace pesticidy, polycyklickými aromatickými uhlovodíky a potenciálně rizikovými prvky a dále problematice živin v půdě, ztráty organické hmoty, acidifikace, zadržování vody v půdě a sekvestrace. Také budou popsány možná rizika a omezení v souvislosti s aplikací biouhlu do půdy.



Obr. 1 Linie RRD na orné půdě (tvorba autora, 2021)

3. Faktory ohrožení zemědělské půdy a krajiny

3.1 Ohrožení půdy

3.1.1 Půdní eroze

Půdní eroze je jedním z nejzávažnějších environmentálních problémů souvisejících s činností člověka a velmi častým projevem degradace půdy. Hlavním principem eroze je mechanický odnos půdních částic vnějšími vlivy. Podle těchto vlivů rozeznáváme erozi větrnou a vodní. Větrná eroze je způsobena prouděním vzduchu nad povrchem mající za následek odnos půdních částic. Vodní eroze se rozděluje na plošnou, probíhající na celém půdním bloku vlivem dopadajících srážek a rýhovou (Obr. 2), způsobenou kumulací povrchových a podpovrchových průtoků v půdě při intenzivních déletrvajících srážkách. Hlavním následkem eroze je snižování mocnosti profilu ornice, ztráta živin, ztráta organické složky půdy a zvyšování šterkovitosti půdy (převaha hrubých frakcí v půdě). Druhotnými následky vodní eroze je splach půdy do vodních toků mající vliv na zhoršování kvality vody. Unášené půdní částice se následně ukládají ve vodních nádržích na vodním toku a způsobují tak jejich zanášení vyžadující následné častější velmi nákladné čištění od sedimentů. U větrné eroze dochází ke zvyšování vzdušné prašnosti a možnosti usazování půdních částic v sídelních strukturách, kde mohou být příčinou zhoršování zdraví obyvatelstva v důsledku zátěže respiračního systému a rovněž možnosti šíření půdních bakterií a jiných patogenů (eAGRI.cz, 2020). Celkové následky eroze jsou kritické, dochází ke ztrátě úrodnosti půdy a se zvyšováním podílu hrubších frakcí k desertifikaci, která může mít v budoucnosti velmi rozsáhlé důsledky v podobě nedostatku potravin pro obyvatelstvo a neobyvatelnosti poškozených oblastí (Whitford et al., 2020).

Celosvětově dosahuje půdní ztráta vlivem vodní eroze průměrné hodnoty 1,4 Mg/ha/rok. V současnosti se považuje za erozí nejohroženější území na světě Jižní Amerika (Wuepper et al., 2019). V ČR je nejnebezpečnější vodní eroze (Tab. 1). Větrná eroze je nebezpečná na zhruba 10 % rozlohy zemědělské půdy. Nejohroženější oblastí je Jihovýchodní Morava (Procházková a kol., 2010).

Stupeň ohrožení erozí	Vodní eroze		
	Dlouhodobá průměrná ztráta půdy (G) t/ha/rok	Plocha zemědělské půdy	
		ha	%
Extrémně ohrožená	10,1 a více	743 581,98	17,81
Velmi silně ohrožená	8,1–10,0	192 920,72	4,62
Silně ohrožená	4,1–8,0	679 829,09	16,28
Středně ohrožená	2,1–4,0	750 254,14	17,97
Slabě ohrožená	1,1–2,0	519 325,48	12,44
Velmi slabě ohrožená	1,0 a méně	1 289 324,13	30,88
Celkem	–	4 175 235,54	100,00

Tab. 1 Potencionální ohrožení půdy erozí v ČR za rok 2018 (Statistická ročenka ŽP, 2018)



Obr. 2 Rýhová vodní eroze v místě soustředěného odtoku srážkové vody (VÚMOP, 2016)

3.1.2 Ztráta organické hmoty

Vlivem půdní eroze, aerace půdy podporující rozklad a vysycháním dochází ke ztrátě organické složky půdy. Za organizační příčinu je často považována nedostatečná aplikace organických hnojiv související s úbytkem chovů hospodářských zvířat produkující chlévskou mrvu a kejdu. Za náhradu lze považovat zelené hnojení, ale tato praxe, i když je stále častěji používaná, není zatím v ČR příliš rozšířená. Vzhledem k rozsáhlému zemědělskému suchu v letech 2015 – 2019 a předpokladu stupňování extrémních meteorologických jevů v budoucnosti je nutné řešení, a to s přihlédnutím k důležité roli organické hmoty pro úrodnost a zadržení vody (ústní sdělení, [V. Zdražil], [ČZU], 25.4.2019).

3.1.3 Živiny a jejich ztráta

Obsah živin v půdě je zásadní pro správný růst a zdravotní stav rostlin. Dělí se na makroživiny (N, P, K) a mikroživiny (Zn, Cu, Mg, Ca, S, aj.). Růstem rostlin dochází k vyčerpání živinové zásoby, kterou je nezbytné doplňovat organickými nebo minerálními hnojivy (Křepelka, 2012). Mimo ztrátu vyčerpáním živinové zásoby je možné také pozorovat vliv půdní eroze a vyplavování živin z půdy. Tento jev může druhotně vést ke vzniku eutrofizace vod (Kočí a kol., 2010).

3.1.4 Acidifikace

Acidifikace půdy je přirozený i člověkem ovlivňovaný proces, při kterém dochází ke snižování pH půdy v důsledku kyselé depozice nebo zemědělství, nejčastěji v důsledku aplikace některých hnojiv, odebráním fytomasy a neschopností půdy regulovat vlastní pH s ohledem na obsah alkalických kovů a kovů alkalických zemin Ca, Mg, Na a K. V souvislosti s acidifikací dochází ke snižování úrodnosti půd v důsledku nedostupnosti živin a zvyšuje se riziko kontaminace potravin PRP (viz. kapitola 3.1.5) (Dai et al., 2017). V ČR byla acidifikací v roce 2018 ohrožena v nejvyšším stupni téměř polovina rozlohy zemědělské půdy (Tab. 2)

Ohroženost	Acidifikace	
	Plocha zemědělské půdy	
	ha	%
Vysoká	1 938 162,21	46,37
Vyšší střední	1 013 395,24	24,24
Nižší střední	408 439,50	9,77
Nízká	544 898,94	13,04
Zanedbatelná	212 411,26	5,08
Nehodnoceno	62 628,06	1,50
Celkem	4 179 935,21	100,00

Tab. 2 Ohroženost půdy acidifikací v ČR (Statistická ročenka ŽP, 2018)

3.1.5 Kontaminace

Mezi nejčastější půdní kontaminanty patří potencionálně rizikové prvky (PRP) a organické polutanty (Vácha, 2019), pesticidy a jejich rezidua (Liu et al., 2018) a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Evropa patří mezi první oblasti světa, které se problematikou kontaminace půd zabývaly zejména v posledních 50 letech (Vácha, 2019).

Pesticidy a jejich rezidua se vyskytují v souvislosti se zemědělskou produkcí, kde jsou běžně používány pro ošetření porostů plodin za účelem zvýšení výnosů ochranou proti škůdcům. Mohou dále přecházet přes fytomasu do potravního řetězce, některé jeví známky bioakumulace, např. DDT (Liu et al., 2018). Dnes je většina pesticidů majících výrazné negativní účinky na lidské zdraví a životní prostředí a vykazující perzistenci v EU zakázána (upravena protokolem REACH zavedeným v roce 2006) (Europarl.eu, 2020). Jedná se např. o karbofuran, atrazin, chlorpyrifos a diuron. U některých pesticidů, např. často používaného herbicidu glyfosátu, se stále diskutuje o možných negativních účincích. Obsah pesticidů a jejich reziduí v půdě také negativně působí na edafon důležitý pro správné fungování produkčních schopností, hlavně půdní struktury (Norrlin et al., 2020).

PAU souvisí nejčastěji s kontaminací v průmyslových oblastech, kde se jako palivo využívá nebo využívalo uhlí, všeobecně je jejich obsah vázán většinou na fosilní paliva (Vácha, 2019). Řadíme mezi ně např. naftalen, pyren, benzo-pyren nebo antracen. Přesný mechanismus působení PAU na organismy je stále zkoumán. Vždy záleží na délce expozice, koncentraci a specifické odpovědi těla organismu. U teplokrevných živočichů, konkrétně potkanů, byl popsán karcinogenní vliv benzo-pyrenu. Při dlouhodobé expozici se odhaduje vliv na poruchy jater a ledvin, možný vznik šedého zákalu, žloutenky a vývojových poruch plodu (IDPH.com, 2020). Výrazný je rovněž negativní vliv na vodní ekosystémy s dlouhodobými následky. Přenos z kontaminované půdy probíhá přechodem skrz kořenový systém do konzumované fytomasy (Vácha, 2019).

PRP zahrnují metaloidy a kovy, které jsou ve vyšších koncentracích škodlivé a mohou se vyskytovat v půdě přirozeně nebo v souvislosti s antropogenní činností, zejména spalováním uhlí, úniky nebo jako nežádoucí obsah v minerálních hnojivech. Z legislativního hlediska ČR (vyhláška MŽP č. 153/2016 Sb.) se v souvislosti s kontaminací půd PRP sleduje 11 prvků, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V a Zn

(Vácha, 2019). Různé rizikové prvky mají tzv. nebezpečné koncentrace, kdy dochází k jejich fyto toxickému a zootoxickému působení na organismy. Přesné mechanismy působení na organismy a životní prostředí jsou stále předmětem výzkumů. Vždy záleží na délce expozici a přijaté dávce. Všeobecně se udává, že PRP mají tendenci k akumulaci v měkkých tkáních. Např. u Cd a Pb byl popsán možný vliv na hladinu hormonů a také vývojové poruchy plodu. Pro rostliny bývají toxické až při velmi vysokých dávkách, mnoho z PRP je zároveň v menších dávkách žádoucích jako nezbytné živiny pro vývoj a růst rostlin (Singh et al., 2011). V půdě mohou být PRP obsaženy v pevné fázi nebo v roztocích. V pevné fázi jsou absorbované na jílové minerály, hydroxidy a oxidy nebo organickou hmotu a dále ve formě sloučenin a vázané na půdotvorný substrát. Půdní roztoky se vyskytují jako roztoky volných kovů nebo anorganických a organických komplexů. Z hlediska nebezpečnosti se předpokládá, že právě půdní roztoky PRP mají primární význam ve škodlivosti, jelikož mohou přecházet do potravního řetězce vstřebáváním do fytomasy skrz kořenový systém (Vácha, 2019). Chování PRP v půdách je značně ovlivněno půdními vlastnostmi, tj. kationtovou výměnnou kapacitou, pH půdy, obsahem organické hmoty, redukčně-oxidačním potenciónem, salinitou a strukturou půdy (Vácha, 2019).

3.2 Ohrožení krajiny

3.2.1 Mikroklima krajiny

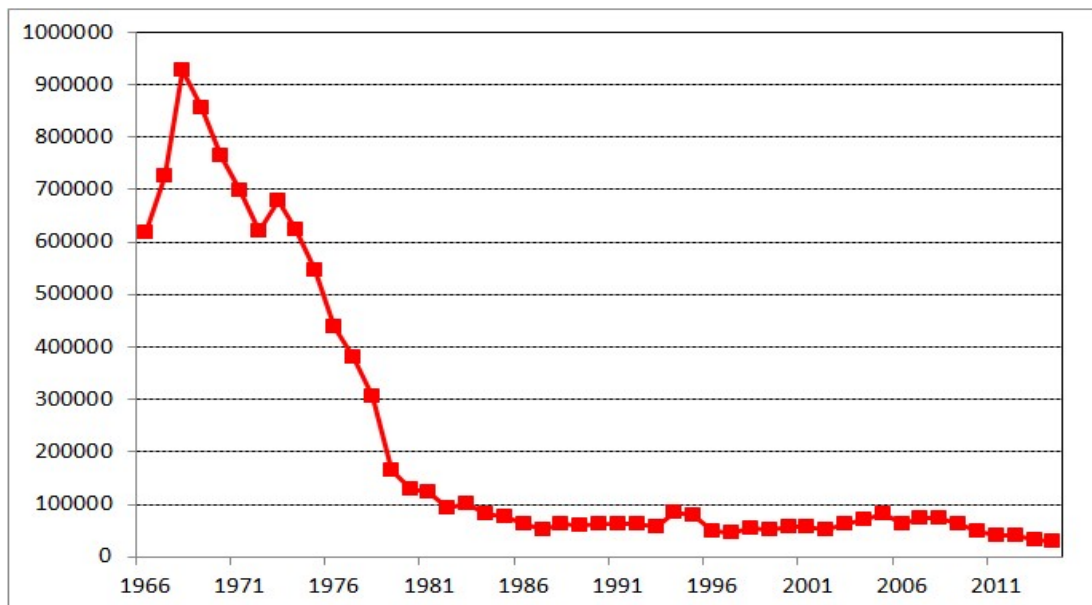
Mikroklimatem krajiny je myšlen specifický vývoj teplot na konkrétním místě v čase. Klimatické změny mohou podporovat vznik meteorologických extrémů, jejichž následkem bývá v letních měsících nadměrné zahřívání povrchu (teplotní extrém). Vysoké teploty přispívají k odparu vody souvisejícím s rozvojem sucha. Různé druhy zemědělských plodin mají vliv na vývoj a tlumení vzniku teplotních extrémů, při kterých dochází v letních měsících. Rostliny této schopnosti dosahují odražením slunečního záření od povrchu listů a dále tlumí teploty evapotranspirací. Nejnáchylnější je ke vzniku teplotních extrémů holá plocha bez vegetačního krytu. Nejčastěji se jedná o období po prvních letních sklizních obilovin a řepky, a tento efekt je umocněn souvislou velikostí plochy (Středová a kol., 2011).

3.2.2 Ztráta biodiverzity

Biodiverzita představuje množství druhů, které se vyskytují ve stejný čas na stejném místě (Primm, 2019). Zemědělství je jedním z faktorů majících vliv na její ztrátu. Celosvětově v souvislosti s rostoucí populací a měnícími se spotřebitelskými vzorci spočívajícími v nárůstu spotřeby potravin a technických surovin, např. olejů pro výrobu biopaliv, dochází k nutnosti uvolnit větší množství půdy pro zemědělskou produkci. Tím dochází ke známým a často diskutovaným problémům, vypalování vzácných biotopů, např. tropických deštných pralesů, nebo transformaci stepí a savan na ornou půdu. Dalšími z faktorů ovlivňující biodiverzitu v souvislosti se zemědělstvím jsou emise skleníkových plynů podporující změny klimatu a uvolňování nebezpečných polutantů, např. pesticidů, které mohou při úniku do povrchových vod erozí nebo splachem způsobovat poškození vodních ekosystémů (Dudley et al., 2017).

V ČR se dlouhodobě diskutuje problematika úbytku drobné zvěře, tedy zajíců, bažantů a koroptví, hmyzu, ptáků aj. živočichů charakteristických pro zemědělskou krajinu (Boháč a kol., 2006). Nelze vždy přesně vyjádřit, jaký vliv má na úbytek

množství druhů přímo zemědělství, a jaké další faktory, např. klimatická změna (Dudley et al., 2017). U drobné zvěře charakteristické pro zemědělskou krajinu, nejvíce u koroptve polní (*Perdix perdix*), se však pozoruje velký pokles množství jedinců od 60. let 20. stol. (Graf 2), kdy se začaly ve větší míře používat totální pesticidy, hlavně insekticidy na bázi DDT a docházelo k strukturálním změnám v zemědělství v souvislosti s kolektivizací (Boháč a kol., 2006). U koroptve, sýčka a chocholouše došlo jen od roku 1982 k úbytku početnosti přibližně o třetinu (Česká společnost ornitologická, 2012).



Graf 1 Vývoj početnosti koroptve polní od 60. let (ČSO, 2012)

3.2.3 Vodní režim

Vodním režimem je myšlena schopnost zadržení srážkové vody v konkrétním území, respektive povodí (Dolejský, 2016). Vzhledem ke klimatickým změnám, které způsobují častější výkyvy mezi zemědělským suchem a velkým množstvím dešťových srážek rozprostřených během krátkých časových intervalů, je nutné zadržení a efektivní využívání vody v krajině. Na vodní režim mají vliv krajinná struktura (přítomnost krajinných prvků, např. polních cest, příkopů, vegetace, mokřadů), způsob obdělávání (orná půda nebo trvalé travní porosty), agrotechnika (osevní postupy a zpracování půdy) a půdní a geologické parametry na daném místě (propustnost půd a podloží) (Katalog opatření, 2018).

4. Pěstování rychle rostoucích dřevin

4.1 Druhy RRD

Mezi RRD řadíme druhy, které disponují výmladností, rychlým růstem a schopností vegetativního množení (Weger a kol., 2012; Stolarski et al., 2017; Lamerre et al., 2015). Výzkumu těchto dřevin se dlouhodobě v ČR věnuje Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. Ten je zároveň pověřený sestavováním seznamu povolených druhů, odrůd a kříženců RRD a jiných energeticky využitelných plodin pro pěstování na zemědělské půdě (Příloha 1) (Weger a kol., 2012).

V seznamu se setkáváme nejčastěji s topoly (*Populus*) a vrbami (*Salix*). Ve většině případů s mezidruhovými kříženci, kteří mohou za optimálních podmínek přinášet vysoké výnosy. Mají však i své nevýhody. Vnášení kříženců do volné krajiny vyžaduje povolení (viz kapitola 4.3) a ve zvláště chráněných územích (ZCHÚ) je jejich vysazování přímo zakázané (Příloha 1). Rovněž se u nich mohou častěji vyskytovat nemoci, např. rez topolová (Weger a kol., 2012). Je možné najít i několik původních druhů topolů a vrb, případně jejich kultivary. Do sušších podmínek se hodí např. topol černý (*Populus nigra*), který je dostupný v několika kultivarech, např. Achilles, Herkules a Průhonice k výsadbě bez povolení OOP a vrba jíva (*Salix caprea*), zejména se svým křížencem (*S. caprea* x *S. viminalis*), a známá hojně využívaná vrba Smithova (*Salix smithiana*) též bez nutnosti povolení. Topol osika (*Populus tremula*), vrba křehká (*Salix euxina*), vrba bílá (*Salix alba*) a vrba košíkářská (*Salix viminalis*) a jejich kultivary a křížence se hodí více do vlhčích podmínek a ve většině případů nevyžadují povolení (Příloha 1) (Weger a kol., 2011). Další skupinu vyžadující povolení jsou invazivní druhy dřevin, např. pajasan žláznatý (*Ailanthus altissima*) nebo trnovník akát (*Robinia pseudoacacia*) (Příloha 1). Mezi alternativní druhy RRD řadíme méně používané dřeviny, většinou původních druhů. Jedná se dle seznamu hlavně o lísku obecnou (*Corylus avellana*), podnožové růže, šípkovou růži (*Rosa canina*) a jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), které však zatím v experimentech nevykázaly příliš dobré výsledky ohledně vegetativního množení (Pracovní seznam, 2020).

4.2 Současná situace

V Evropě ČR dlouhodobě zaostává např. za Skandinávskými zeměmi (Tab. 3), kde se pěstují převážně vrby, a Německem, Itálií a Rakouskem, kde převažují topoly (Weger a kol., 2011). Z výzkumů je patrné, že naprostou převahu v pěstovaných druzích RRD v ČR mají topoly vůči vrbám, a to v poměru až 9:1. Nejčastěji pěstovanou odrůdou je dle předpokladů japonský topol a jeho kříženci, tzv. japan (*Populus nigra* x *Populus maximowiczii*), a to až ze 70 % (Weger a kol., 2012).

Oblast a typické RRD	Rozloha (ha)
Skandinávie a Velká Británie (vrby)	8 000
Severní Itálie (topoly)	7 000
Německo (topoly)	2 200
Rakousko (topoly)	1 200
ČR (vrby a topoly)	250

Tab. 3 Rozloha plantáží vybraných druhů RRD v Evropě (Weger a kol., 2011)

4.3 Legislativa

Problematika pěstování RRD na zemědělské půdě je upravena dvěma zákony a katastrální vyhláškou.

V první řadě se jedná o zákon č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu. Tento zákon byl novelizován v roce 2015 a významně omezil možnosti pěstování RRD na zemědělské půdě. V § 3 odst. 5 je psáno, že plantáže dřevin není možné pěstovat na půdách I. a II. třídy ochrany dle BPEJ, kterých je celkem pět řazených od I. třídy (nejcennější a nejúrodnější půdy) až do V. třídy (neúrodné půdy bez většího produkčního potenciálu) (zákon o ochraně ZPF).

V odst. 6 se omezuje doba pěstování výmladkových plantáží na 30 let. Většina plantáží se standardně ruší po 15–25 letech, kdy se výnosnost fytomasy začne snižovat. V tomto směru je zákon nastaven dobře a nepředstavuje pro pěstování linií RRD překážku. Tento odstavec rovněž stanovuje povinnost po ukončení pěstebního cyklu rekultivovat stanoviště (viz kapitola 3.7), kde RRD rostly (zákon o ochraně ZPF).

V odst. 7 se zmiňuje povinnost nahlásit zřízení plantáže RRD, započetí nového pěstebního cyklu a likvidace orgánům ochrany ZPF do 15 dnů, pokud nebyla nebo nebude tato skutečnost ohlášena v rámci žádosti o dotace ke Státnímu zemědělskému intervenčnímu fondu podle přímo použitelného předpisu EU upravujícího společná pravidla pro režimy přímých podpor v rámci společné zemědělské politiky (zákon o ochraně ZPF).

Dále se problematice věnuje zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. Zde se setkáváme zejména s omezeními ve smyslu cíleného rozšiřování nepůvodních druhů a kříženců. Některé druhy RRD mají status nepůvodních rostlin a také je většina ze schválených druhů pro pěstování hybridního původu. Všechny nepůvodní druhy a kříženci s několika výjimkami podléhají dle § 5 odst. 4 a 5 při výsadbě v krajině povolení OOP (zákon o ochraně přírody a krajiny).

Rovněž se tento zákon zabývá problematikou pěstování RRD v chráněných oblastech, kde je záměrné šíření nepůvodních druhů rostlin a živočichů zakázáno dle § 15, 26, 29, 34, 35, odst. 2 a § 36 odst. 2. (zákon o ochraně přírody a krajiny).

Posledním bodem je ochrana krajinného rázu dle § 14, odst. 1, který chrání krajinný ráz související s přírodními a historickými hodnotami před jeho poškozováním nebo změnami a odst. 2, který nařizuje povinnost hlásit jakékoliv zásahy, které by mohli poškodit nebo měnit krajinný ráz (zákon o ochraně přírody a krajiny).

Vyhláška č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí v příloze 2 uvádí, že v případě pěstování plantáží dřevin na orné půdě, např. energetických, okrasných aj., jejichž účelem je produkce vysokého množství dřevní hmoty v co nejkratším časovém intervalu s použitím intenzivního agrotechnického obdělávání není potřeba žádat orgány ochrany ZPF o vyjmutí dotčených ploch ze ZPF (vyhláška o katastru nemovitostí).

4.4 Dotace

Dotace pro pěstování RRD se vypisují na každý rok a výše platby se může měnit, případně nemusí být vypisována vůbec. Realizace plantáží RRD není proplácena (Weger, 2019)

V rámci přímých plateb jsou vypláceny dotace SAPS nebo Greening. Platba SAPS v roce 2019 činila 3 394 Kč/ha a platba Greening 1 884 Kč/ha (Weger, 2019).

Pro linie RRD zde existuje zajímavá možnost v podobě dotací na realizaci. Pokud by splňovaly standardy jejich pěstování plánovaný koncept této práce, a budou sloužit pro co nejlepší výsledky v protierozní ochraně, tak mohou být dotovány např. z OP ŽP 4.3 (AOPK ČR, 2020).

Porosty RRD se rovněž dají dle NV č. 50/2015 Sb. označit za plochu v ekologickém zájmu pro plnění podmínky 5 % rozlohy u plateb Greening. Takové využití je však limitováno podmínkami volby speciálních druhů dřevin a nepoužitím žádných pesticidních přípravků na ochranu porostů RRD a dalšími podmínkami (eAGRI, 2017).

4.5 Výsadba a údržba

Výsadba RRD se od konvenčních výsadeb v lesnictví nebo mimo lesní porosty výrazně liší. RRD disponují velmi dobrou schopností vegetativního množení z řízky, a tak při jejich cíleném pěstování na reprodukční materiál není třeba sazenic ani semen. Generativní porosty, tzv. matečnice, se skládají z vybraných jedinců požadovaných druhů. Matečnice jsou sklizeny každý rok a ziskem jsou tzv. prýty neboli pruty. Pruty jsou určeny k přímému zpracování na výsadbu. Samotným sadebním materiálem jsou řízky z prutů. Mají zpravidla délku 20 – 30 cm, ta se volí dle náročnosti stanoviště a zvoleného klonu, a průměr 0,5 – 2,5 cm. S přípravami se začíná rok před výsadbou. Půda by měla být na podzim hluboce zpracovaná, uvádí se hodnoty hloubky zpracování 60 – 80 cm s využitím pluhu nebo kypřiče. Nejdůležitější je však velmi pečlivé odplevelení stanoviště, které je základním předpokladem úspěchu pro správné zapojení porostu (Weger a kol., 2012). Zásahy herbicidy nejsou vzhledem k požadovanému environmentálnímu zaměření konceptu vhodné, ale při jejich šetrné aplikaci v dostatečném předstihu lze docílit velmi dobrých výsledků (Stolarski et al., 2017). V praxi se nahrazuje využití herbicidů opakovanou mechanickou kultivací a rovněž se testují možnosti výsadby do mulčované předplodiny (Weger a kol., 2012; Stolarski et al., 2017).

Doba výsadby se volí většinou v termínech března až dubna. Je prováděna ručně nebo mechanizovaně. Pruty jsou nařezány na řízky o požadované délce a průměru, které jsou zasazeny vertikálně, v mírném sklonu, výjimečně horizontálně v jednořádkách nebo dvouřádkách. U jednořádků se používá spon 0,3 – 0,6 m a prostor mezi řádky 1,5 – 2 m. U dvouřádků se používá spon 0,6 – 0,8 m, 0,7 – 1 m mezi řádky a 1,5 – 3 m mezi dvouřádky. Nadzemní část řízky by měla mít přesah 3 – 5 cm. U ruční výsadby se provádí sázení řízků zarytím a vzhledem k časové náročnosti se vyplatí pouze u malých ploch (Weger a kol., 2012; Stolarski et al., 2017). Dnes se většinou využívá mechanizované výsadby sazeči, které jsou připojeny k traktoru. Sazeč má obsluhu v podobě pracovníka (případně více), který vkládá celé pruty do řezačů. Ty připravují řízky na předem nastavenou délku. Stroj ryje v zemi rýhy, do kterých vkládá řízky a zahrnuje je (Obr. 3). Tento systém je nejpoužívanější a nabízí nejvyšší rychlost, kvalitu a přesnost výsadby (Weger a kol., 2012; Stolarski et al., 2017).

Velmi důležitým faktorem je posouzení vhodnosti zvoleného stanoviště pro pěstování RRD a navazující volba vhodných druhů nebo kříženců. Hodnocení stanoviště se

provádí na základě BPEJ, hlavním faktorem pro dobrý růst a zapojení porostu jsou klimatické a půdní podmínky v dané oblasti (Weger a kol., 2012; Stolarski et al., 2017). Pro jejich určení jsou sledovány základní parametry, půdní typ, průměrná roční teplota a roční suma srážek. Velmi důležité jsou praktické zkušenosti místních zemědělců (Weger a kol., 2012; Lamerre et al., 2015; Stolarski et al., 2017).



Obr. 3 Řezací sazeč Egedal (Egedal a.s., 2021)

Po výsadbě se většina údržby omezuje na první dva roky od založení porostu. Nejčastěji se řeší problematika zaplevelení porostů RRD a v současné situaci s přemnožením spárkaté zvěře je rovněž nutno řešit ochranu mladých porostů před okusem. Odplevelování nelze po založení porostu provádět dodatečným postřikem herbicidy, např. glyfosátem. Regulace plevelů se z tohoto důvodu omezuje na mechanickou kultivaci a sečení. Současná nabídka mechanizace nabízí i specializované stroje přímo pro údržbu porostů RRD. V případě ochrany před spárkatou zvěří se jako nejúčinnější jeví oplocení porostů, které je však velmi nákladné a snižuje tak ekonomickou výhodnost pěstování RRD. Z dalších používaných postupů se setkáváme s postřikem protiokusovými repelenty, které jsou v lesnictví běžně používány. Ty sice nevykazují tak vysokou účinnost jako oplocení, ale snižují výrazně náklady na údržbu (Weger a kol., 2019; Stolarski et al., 2017).

4.6 Sklizeň

Délka sklizňového cyklu se volí dle zaměření porostu, podmínek na stanovišti a druhu RRD (Tab. 4). Délku obměty určuje převážně volba druhu dřeviny a půdní a klimatické podmínky na stanovišti (Weger a kol., 2012, Stolarski et al., 2017).

Manuální těžba se provádí pouze na malých plochách, na větších plochách se používá téměř výhradně mechanizovaná těžba. Při manuální těžbě se stromy kácí motorovou pilou a poté se ponechávají na místě nebo odvázejí, nejčastěji po jejich štěpkování. Pouze výjimečně se RRD po těžbě převážejí nařezané na segmenty nebo celé (Scholz, 2009; Stolarski et al., 2017).

	Matečnice RRD	Výmladková plantáž RRD	Lesnická lignikultura nebo silvikultura
Obvyklé obmýtí	1 rok	3-6 let	15-20 let
Opakování sklizně	ano: 10 až 15x	ano: 4 až 7x ve stejném porostu	není možné
Zakládání na půdě	zemědělské (orná i TTP)	zemědělské (orná i TTP)	v ČR pouze na lesní
Sortiment dřevin pro výsadbu	topoly a vrby resp. jejich klony a odrůdy specifikované pokyny MZe, MŽP a předpisy ÚPOV		topoly dle seznamu uznaných klonů OLH MZe
Hustota výsadby	10000 – 20000 ks/ha	8000 – 20000 ks/ha	270 – 630 ks/ha
Cílový produkt	řízky pro zakládání výmladkových plantáží	štěpka pro energetické a průmyslové využití	sortimenty pro dřevařské využití
Celkový výnos	100 až 500 tis. řízků/ha/rok	5-19 t/ha/rok (sušiny)	5-11 t/ha/rok (sušiny)

Tab. 4 Informace o výsadbě a sklizni dřevin dle typu porostu (Weger a kol., 2012)



Obr. 4 Štěpkovací harvester (Bioenergy blog, 2017)

Mechanizovaná těžba probíhá čtyřmi způsoby:

1. Řezáním celých stromů, které se mohou ponechat na místě pro usušení před odvozem a spotřebou. Tento způsob se používá při nedostatečných skladovacích kapacitách. Z toho pramení jeho hlavní výhoda. Stromy se mohou nechat na pozemku po dobu až několika měsíců, než se uvolní skladovací kapacita.
2. Řezáním celých stromů a jejich svazkovaním. Rozdíl mezi mechanizovanou a manuální těžbou je v tomto případě v použití speciálního harvestoru se střížnou

hlavou, která kácí celé stromy. Poté jsou svázané do svazků, které mohou být ponechány na místě nebo odvezeny na další zpracování.

3. Sklizení štěpkovacím harvestorem (Obr. 3). V tomto případě se těžba provádí harvestorem, který sklízí dvou nebo jednořádky a zároveň je zpracuje na dřevní štěpku. Tyto stroje jsou nejpoužívanější, mohou být agregovány se sklízecími řezačkami nebo s traktory (Scholz, 2009; Stolarski et al., 2017).

4. Lisovací řezač Jenz Biobaler umožňuje sklizení a lisování fytomasy do kulatých balíků (Stolarski et al., 2017).

4.7 Likvidace

Důležitou a zákonem danou součástí existence porostů RRD je i jejich rekultivace, respektive likvidace porostu po uplynutí jeho životnosti. Ta spočívá v takovém zásahu, který spolehlivě zlikviduje zbytky dřevin a umožní využívání půdy pro konvenční zemědělskou výrobu. V praxi je tato činnost prováděna různými způsoby. Provádí se po pozorování výrazného snížení výnosů nebo zhoršení zdravotního stavu porostu, většinou po 15 – 25 let (Weger a kol., 2012). Nejdoporučenějším způsobem je likvidace pařezů lesní frézou (Obr. 5) následovaná hlubokou orbou nebo kypřením pro eliminaci kořenových zbytků, ze kterých by mohly některé druhy dřevin obrůst (Weger a kol., 2012; Stolarski et al., 2017). Tento způsob je široce používán a odzkoušený v Rakousku. Likvidace postřikem herbicidů se z environmentálního hlediska nedoporučuje a nemusí být vždy zcela účinná (Weger a kol., 2012).



Obr. 5 Lesní fréza (LDS.cz, 2015)

5. Linie RRD

5.1 Agrolesnické systémy

Jednou z často diskutovaných alternativ pro zlepšení stavu ochrany půdy a krajiny jsou agrolesnické systémy (ALS) (Norrlin et al., 2020; Lamerre et al., 2015, Houška, 2019; Weger a kol., 2020). V případě linií dřevin mluvíme o liniové výsadbě (angl. Alley Cropping) (Norrlin et al., 2020). Na orné půdě se jedná o silvoorebné systémy (Obr. 7). Za tradiční ALS v Evropě můžeme považovat např. polní a pasené sady (silvopastevní systémy, Obr. 6) a dále remízky a větrolamy. Většina zkušeností s jejich pěstováním však pochází ze zahraničí. V ČR byla tradice pěstování výrazně poznamenána během druhé poloviny 20. století rozsáhlými strukturálními změnami v zemědělství (Weger a kol., 2020).

ALS se dělí do tří kategorií, a to dle cílového sortimentu dřevin a tím pádem jejich produkční funkce na liniovou výsadbu cenných listnáčů např. dubů (*Quercus*), javorů (*Acer*), lip (*Tilia*), ořešáků (*Juglans*) aj., výsadbu ovocných dřevin, např. třešní (*Prunus*), slivoní (*Prunus*) a jabloní (*Malus*) a výsadbu RRD, převážně vrb (*Salix*) a topolů (*Populus*) (Weger a kol., 2020).

Rozdíl je zejména v době obmýetí nebo produkční funkci a uspořádání. U výsadeb cenných listnáčů se obmýetí provádí po 40 – 60 letech od založení porostu, výsledným produktem je dřevařský sortiment pro různé použití. U ovocných dřevin to jsou jejich plody, případně i dřevo, a u RRD platí stejné zaměření jako u plantáží, ve většině případů dřevní štěpka. Vždy se pěstují na poměrně malé ploše z celkové rozlohy půdy, tato plocha by neměla být větší než 5 – 20 %. V principu se tedy na polích nachází linie nebo pásy o dvou a více řádcích cílových RRD vzdálených 10 – 40 m a v mezipásech zemědělské plodiny, např. obilniny, pícniny aj. (Weger a kol., 2020). V zahraničí (v Německu) existují zkušenosti se pěstováním ALS RRD v jednořádcích s mezipásky zemědělských plodin širokých 2 – 3 m (Lamerre et al., 2015).



Obr. 6 Silvopastevní ALS s RRD poblíž obce Letařovice v okrese Liberec (archiv autora, 2020)



Obr. 7 ALS (silvoorebný) s porosty RRD v Německu (D. Freese, 2014)

5.2 Aspekty a přínosy tvorby linií RRD

5.2.1 Praktické zkušenosti

V praxi jsou nejdůležitějšími parametry pro zakládání linií RRD výběr vhodného stanoviště, druhů dřevin a ochrana před zvěří, které se řídí stejnými zásadami, jako ochrana plantáží RRD. U linií je potřeba rovněž dbát na ochranu před působením herbicidů, které jsou běžně používané pro ochranu zemědělských plodin před pleveli. Hlavním důvodem ohrožení dřevin v liniích je jejich umístění mezi pásy pěstovaných plodin, na které bezprostředně navazují (Weger a kol., 2020).

Z praktických zkušeností získaných na experimentálních liniích v Úholičkách u Prahy vyplývá, že obzvláště mladé stromy a zapuštěné řízky jsou velmi málo odolné proti působení totálních herbicidů, např. RoundUp, tak i herbicidů působících na dvouděložné plevely, např. Mustang nebo systémových půdních, jako Maraton (Weger a kol., 2020). Mezi základní způsoby ochrany před působením herbicidů mimo jejich vynechání a nahrazení jejich používání alternativními metodami, např. plečkami nebo vypalovači plevelů, patří důsledná aplikace (Weger a kol., 2020; Lamerre et al., 2015; Stolarski et al., 2017). Ta spočívá ve využití moderních postřikovačů, které mají velmi přesné a jednotlivě odpojitelné trysky zabraňující nežádoucímu úletu aplikovaných herbicidů. U vzrostlejších stromů již riziko poškození herbicidy není tak vysoké, další možností je tedy v letech založení linií pěstovat v jejich okolí méně náročné plodiny na ochranu proti plevelům, např. pícniny (Weger a kol., 2020).

Při pěstování plantáží se při volbě některých klonů topolů setkáváme hlavně ve vlhkých letech s výskytem rzi topolové, která způsobuje předčasný opad listů (Weger a kol., 2012; Eyles, 2010). Rovněž působí jako alergen. V praxi se tento problém u plantáží řeší tzv. retardačními pásy, které jsou zpravidla tvořeny porosty přirozeně se vyskytujícími dřevinami na území ČR, a to v šíři minimálně jednoho dvouřádku. Jejich účelem je jednak ochrana před rzí, ale také před šířením nepůvodních druhů a hybridů z plantáží a před okusem zvěří. V případě linií RRD je však zřízení takových pásů

těžko proveditelné, proto je třeba se při jejich výsadbě co nejvíce zaměřit na pěstování původních druhů dřevin, které jsou odolnější (Weger a kol., 2012).

5.2.2 Protierozní ochrana

ALS RRD přispívají ke snížení rizika vodní i větrné eroze (Weger et al., 2020; Houška, 2019; Norrlin et al., 2020; Eyles, 2010; Lamerre et al., 2015). Pokud mají mít protierozní opatření co nejvyšší účinnost proti rýhové vodní erozi, musí se zřizovat dle doporučené metodiky v místech, která jsou nejnáchylnější na kumulované průtoky srážkové vody, nejčastěji v údolnicích, křivkách spojujících nejnižší body v dané oblasti (eAGRI, 2020). Mezi další možnosti patří zřízení linií, které kopírují osy vrstevnic a jsou zastoupeny v intervalech (určitých vzdálenostech) a šířce dle erozní ohroženosti plochy (Eyles, 2010). Hustota a umístění protierozních opatření v terénu nelze všeobecně definovat, vždy se přizpůsobují specifickým faktorům na konkrétní ploše (eAGRI, 2020). Na Novém Zélandu se běžně používají vrby a topoly pro ochranu před erozí a sesuvy na vysoce ohrožených plochách s intenzivní pastvou ovcí a dobytka. Výsadba zde probíhá ostrůvkovitě, podél erozních rýh a periodických koryt a na prudkých svazích v liniích na ose vrstevnic (Eyles, 2010). Kořenový systém vrb a topolů pomáhá ve stabilizaci půdy a zároveň snižuje intenzitu povrchových i podpovrchových průtoků (Norrin et al., 2020; Lamerre et al., 2015). V ALS s topoly bylo v ekvivalentním porovnání s porostem pšenice bez ALS vypočteno, že ochrana půdy před erozí dosáhla až 3,3 Mg/ha/rok (Norrin et al., 2020).

5.2.3 Vodní režim

Přínos ALS RRD spočívá v několika principech. Jejich přítomnost umožňuje podporu malého vodního cyklu důležitého pro hospodaření s vodou v rámci regionu. U dřevin se obecně diskutuje jejich schopnost pomoci se stabilnějším rozložením srážek během roku, ale tato vlastnost nebyla dosud potvrzena (Houška, 2019). Přítomnost ALS výrazně snižuje odtok vody z území. Na pastvinách s přítomností mladých dřevin bylo zaznamenáno až 60 % snížení odtoku v porovnání s pastvinami bez jejich přítomnosti (Norrin et al., 2020).

Ve smyslu vsakování vody do hlubších vrstev se uplatňuje přítomnost kořenů dřevin v půdě. Podél nich se může voda dostávat do hlubších vrstev půdy nebo podloží. Tento efekt je však velmi závislý na druhovém složení porostů a na celkovém množství dostupné vody. U ALS byla zaznamenána mnohem vyšší kapacita zadržení vody v porovnání se standardní monokulturou pšenice. Jmenovitě ALS vykázal kapacitu 411 mm/ha zadržené vody oproti 283 mm/ha u plochy pšenice. (Norrin et al., 2020).

5.2.4 Mikroklima

ALS RRD mohou snížit intenzitu meteorologických extrémů a pomoci ke stabilnějšímu průběhu teplot, a to ve vzduchu i v půdě. Efekt je podstatně silnější v teplejších a aridnějších oblastech (Houška, 2019). Pro evapotranspiraci spotřebují dřeviny velké množství slunečního záření, které by bylo bez jejich přítomnosti přeměněno na teplo (Houška, 2019; Norrlin et al., 2020). Tyto příznivé efekty jsou však přímo úměrné vyspělosti porostů (vzrůstu a zapojenosti) a také množství dřevin na dané ploše (Norrin et al., 2020). Při experimentu v Německu byl zkoumán vliv ALS s RRD (konkrétně topoly) na výkyvy teplot u porostů ozimé pšenice měřením teplot v ALS s pšenicí a na monokultuře pšenice. Výsledky ukázaly zajímavé výsledky. V noci byly zaznamenány noční teploty ve většině případů vyšší v ALS s pšenicí,

zatímco denní teploty byly v ALS nižší. Během května byly naměřeny v ALS průměrné noční teploty vyšší o 1,6 °C a denní nižší o 1,9 °C oproti monokultuře pšenice. V červnu byly průměrné noční teploty vyšší o 1,5 °C a denní nižší o 2,5 °C. V červenci byly naměřené průměrné teploty v ALS v noci vyšší o 0,8 °C a ve dne nižší o 3,4 °C, v srpnu poté v noci vyšší o 0,7 °C a ve dne nižší o 2,6 °C (Kanzler et al., 2019).

5.2.5 Biodiverzita

Podpora biodiverzity ALS RRD oproti konvenčním zemědělským monokulturám je známá (Weger a kol., 2020; Houška, 2019; Jose, 2012; Lamerre et al., 2015). Funguje zejména na principu vytvoření úkrytů v korunách stromů pro různé živočichy, např. ptáky, netopýry, drobné i větší savce a hmyz a dále mohou tvořit v krajině přechodný stupeň mezi sukcesně málo vyspělými oblastmi, zemědělskými kulturami a vyspělými oblastmi, např. lesy (Houška, 2019; Jose, 2012). Provedené výzkumy zaznamenali zvýšení počtu stěvlíků na pozemcích s ALS RRD (Weger a kol., 2020). Dále je uváděno, že ALS mohou tvořit migrační koridory a orientační body v krajině pro zlepšení životních podmínek živočichů a jejich zřízení znamená stabilnější a udržitelnější životní podmínky oproti konvenčním zemědělským systémům, čímž pomáhají předcházet ztrátě biodiverzity. Celkově je však problematice působení ALS RRD na biodiverzitu málo porozuměno a výsledky se mohou lišit dle konkrétních podmínek na stanovišti, způsobu obhospodařování a druhu RRD (Jose, 2012).

5.3 Možné nevýhody a omezení

V souvislosti se zaváděním všech ALS a pozemkových úprav na plochy, kde se předtím nenacházely, může docházet ke vzniku omezení. Prvotně se jedná o nutnost přizpůsobit agrotechniku a osevní postupy zemědělce hospodářského na dané ploše novým podmínkám, což může vést ke zvýšení nákladů a množství ztrátového pracovního času např. na manipulaci techniky (ústní sdělení, [V. Kouhout], [zemědělec], Heřmanova Huť, 19.8.2020). Některé druhy dřevin mohou v prvních letech po založení porostu představovat konkurenci pro zemědělské plodiny, ve smyslu kompetice o půdní vláhu. Se stárnutím porostu však dochází ke změně obsazování půdních horizontů kořenovým systémem, kde u dřevin se rozvíjí ve větších hloubkách a nepředstavuje pro povrchové kořeny plodin již takovou konkurenci (Houška, 2019). U porostů ALS s vrbami a topoly je uváděna velmi dobrá snášenlivost s obilninami, okopaninami, pícninami, luštěninami, olejninami a všeobecně s většinou běžně pěstovaných zemědělských plodin (Lamerre et al., 2015).

6. Biouhel

6.1 Definice

Jako biouhel je označována zuhelnatělá biomasa s obsahem C až 90 %. Přesné chemické parametry a vlastnosti však nelze definovat, jelikož se odvíjejí od vstupního materiálu a použité technologie výroby. Výroba probíhá termochemickým rozkladem bez přístupu kyslíku (pyrolýzou), z různých materiálů, např. dřeva, slámy, chlěvské mrvy, drůbežího trusu, biologicky rozložitelného odpadu nebo čistírenských kalů. Hlavní využití nachází biouhel v zemědělství, kde je označován jako půdní kondicionér zlepšující produkční parametry půdy (Břendová a kol., 2014; Liu et al., 2018; Chen et al., 2011; Fletcher et al., 2014), ale může být využit i pro čištění vod nebo jako aditivum do kompostů pro úpravu rozkladu organické hmoty (Břendová a kol., 2014; Li et al., 2017).

6.2 Výrobní postupy a vedlejší produkty

Pyrolýza je charakteristická předem definovanou teplotou, jejím průběhem v čase a celkovou dobou průběhu (Břendová a kol., 2014). Zařízení pro výrobu touto metodou se označují jako reaktory, alternativně speciální pece (anglicky označované názvem Kiln) (Joseph et al., 2019).

Dle finální teploty na konci procesu a délky trvání se pyrolýza rozděluje na pomalou a rychlou. Při pomalé pyrolýze dochází k pozvolnému nárůstu teploty, která na konci procesu nedosahuje vyšších hodnot než 800 °C. Rychlá pyrolýza je naopak charakteristická krátkou dobou zdržení v reaktoru, v řádech sekund a finální teplotou na konci procesu až 1 200 °C. Mimo biouhlu vznikají při pyrolýze materiálu vedlejší produkty, kterými jsou plyn a olej využitelné jako obnovitelná paliva. Dle zvolení pomalé nebo rychlé pyrolýzy dochází k různému poměru a množství získaného plynu, oleje a biouhlu. Při pomalé vzniká přibližně 35 % hmotnosti oleje, 30 % hm. plynu a 30 % hm. biouhlu. Naopak při rychlé pyrolýze dochází k mnohem vyššímu podílu oleje, 60 – 75 % hm. a pouze 10 – 20 % hm. biouhlu a plynu (Břendová a kol., 2014). Při pyrolýze rovněž vzniká určité množství tepelné energie. Přibližná spotřeba na vlastní výrobu biouhlu je 5 MJ/kg vstupního materiálu (ústní sdělení, [J. Káňa], [Biouhel.cz], 2.10.2020), dle výhřevnosti vstupního materiálu a efektivity je tedy možné získat různé množství tepelné energie (Tab. 5). Teplota pyrolýzy má zásadní vliv na výnos biouhlu, kdy bylo pozorováno výrazné snížení jeho výnosů se zvyšující se teplotou (Břendová a kol., 2014; Liu et al., 2018).

Materiál	Vlhkost (%)	Výhřevnost (MJ/kg)
Dřevní štěpka	10	16,4
Dřevní štěpka	20	14,28
Dřevní štěpka	40	10,1
Smrková kůra	15	15,47
Smrková kůra	60	8,4
Obilná sláma	10	15,49
Kukuřičná sláma	10	14,4

Tab. 5 Výhřevnost různých druhů biomasy (TZB-info, 2020)

Prakticky v ČR existují tři možnosti výroby, reaktory s nepřímým ohřevem reakčního prostoru přes plášť, např. Pyreg nebo Karbotech, u kterých dochází k přeměně

zhruba 30 % objemu vstupního materiálu, typicky drcené fytomasy, na biouhel a zisku různého množství tepelné energie dle výhřevnosti vstupního materiálu. Zařízení je však velmi drahé a jeho pořízení se v praxi ekonomicky nevyplatí při vyšších než nulových nákladech na vstupní materiál. Dále dřevozplyňující reaktory s nedostatkem vzduchu, např. Tarpo, ve kterých se přemění přibližně 15 % materiálu na biouhel a většina na bioplyn, který je spalován v kogeneračních jednotkách se ziskem elektrické a tepelné energie. Jejich pořízení se bez dotací a nákladech vyšších než 800 Kč/t materiálu nevyplatí. Poslední možností je pec Kon-Tiki, speciální ohniště pro spalování biomasy na uhl. Pořizovací cena je velmi nízká, avšak toto zařízení neumožňuje zisk oleje, plynu ani tepelné energie. Ve většině případů se jako materiál používá kusové dřevo, např. větve z prořezávek, ale je možné využít i dřevní štěpku, kukuřičné klasy nebo slámu. Hlavní nevýhodou tohoto zařízení je nutnost větší míry manuální obsluhy znesnadňující zpracování velkých objemů materiálu (ústní sdělení, [J. Káňa], [Biouhel.cz], 2.10.2020).



Obr. 8 Pec Kon-Tiki (Ithaka institute, 2020)

6.3 Vliv na půdu

6.3.1 Remediace

Remediace je půdní proces, při kterém se využívá biouhel nebo jiný materiál na organické bázi, např. kompost nebo fytomasa, jako sorpční médium odstraňující nebezpečné látky organického i anorganického původu. U biouhlu se využívá schopnosti sorpce těchto látek povrchem a schopnosti měnit půdní vlastnosti (Břendová a kol., 2014). Sorpce a úprava půdních vlastností je ve velké míře ovlivněna porozitou (velikostí povrchu a objemem pórů) a vstupním materiálem. Porozita je ve většině případů úměrné teplotě pyrolýzy. Vyšší teplota pyrolýzy 700 – 900 °C vede k její zvětšení, záleží však na vstupním materiálu. Všeobecně rostlinný biouhel vyráběný např. z dřevní štěpky, kůry nebo slámy vykazuje vyšší hodnoty porozity, než při výrobě např. z chlévské mrvy, kejdy nebo čistírenských kalů (Liu et al., 2018). Zásadní pro sorpci polutantů biouhlem je také obsah funkčních skupin, hlavně karboxylové (-COOH), hydroxylové (-OH), laktonické, amidové a aminové, které však naopak se zvyšující teplotou ubývají (Li et al., 2017). Materiály s vysokým

obsahem organického C, např. dřevo nebo kůra, vykazují lepší vlastnosti sorpce (Liu et al., 2018).

U půd s aplikací biouhlu byla zjištěna zvýšená schopnost sorpce PAU (Chen et al., 2011; Fletcher et al., 2014), dokázaná např. při experimentu provedeném v roce 2011, kde přírůstek biouhlu vyrobeného z borovicového dřeva při pyrolyzních teplotách 100 – 700 °C do půdy znamenal snížení obsahu PAU. Nejvyšší sorpce byla zaznamenána u biouhlu vyrobeného při 300 °C, kdy se sorpce PAU v půdě oproti kontrolnímu vzorku bez biouhlu zvýšila o 0,5 % (Chen et al., 2011).

Obsah a chování pesticidů a jejich reziduí v půdě je ovlivňován dvěma způsoby, skrze přímou sorpci (byla prokázána např. u atrazinu, chlorpyrifosu a karbofuranu) nebo změnou půdních vlastností, hlavně zvýšením pH, což může vést ke zrychlenému rozkladu pesticidů a jejich reziduí, např. hydrolytickým rozkladem organofosfátů. Samotná sorpce závisí na struktuře a velikosti molekul pesticidů, půdních podmínkách (hlavně pH a obsahu minerálů) a parametrech biouhlu (porozitě, velikosti povrchu a obsahu funkčních skupin) (Liu et al., 2018).

Obsah PRP v půdě je aplikací biouhlu ovlivněn dvěma způsoby, přímou sorpcí a úpravou půdních parametrů mající vliv na mobilitu PRP, hlavně pH (kapitola 5.3.2) a KVK, kterou v půdách zvyšuje (Liu et al., 2018; Břendová a kol., 2014; Li et al., 2017). Dle vstupního materiálu a postupu výroby dosahuje biouhel různé sorpční kapacity PRP. Při experimentech byla naměřena sorpční kapacita biouhlu vyrobeného z bukové kůry při 400 – 450 °C pro Cd 5,4 mg/g. U biouhlu vyrobeného z borovicového dřeva byla naměřena s. kapacita pro Pb 4,13 mg/g a při výrobě ze sójové slámy při 700 °C pro Hg 0,67 mg/g (Li et al., 2017).

6.3.2 Acidifikace

Biouhel dle vstupního materiálu dosahuje poměrně vysokých hodnot pH 8 – 13 a přesný mechanismus ovlivňování pH půdy souvisí také s vysokým obsahem prvků Ca, Mg, Na a K (Břendová a kol., 2014; Malo et al., 2013). Některé průzkumy ukázaly, že obsah těchto prvků je pro úpravu půdního pH zásadnější než vlastní pH biouhlu (Dai et al., 2017).

Aplikací biouhlu do ohrožených půd se dají rizika acidifikace zmírnit nebo odstranit vzhledem ke zvýšení půdního pH po aplikaci, a může tak sloužit jako náhrada za vápnění polí (Břendová a kol., 2014, Malo et al., 2013). Aplikace biouhlu vyrobeného z bukové kůry ukázala zvýšení pH v kyselé půdě o 1,5 až 2 jednotky (Dai et al., 2017). Stanovení aplikační dávky závisí na vlastnostech biouhlu a půdy. Všeobecně je doporučeno před aplikací v polních podmínkách odebrat vzorky půdy, otestovat pH a následně vytyčit menší testovací plochy, na kterých dojde k aplikaci v různých dávkách pohybujících se od 10 – 45 Mg/ha, a podle nejlepších dosažených výsledků volit aplikační dávku dle specifické potřeby půdního pH pěstovaných plodin (Malo et al., 2013).

6.3.3 Živiny

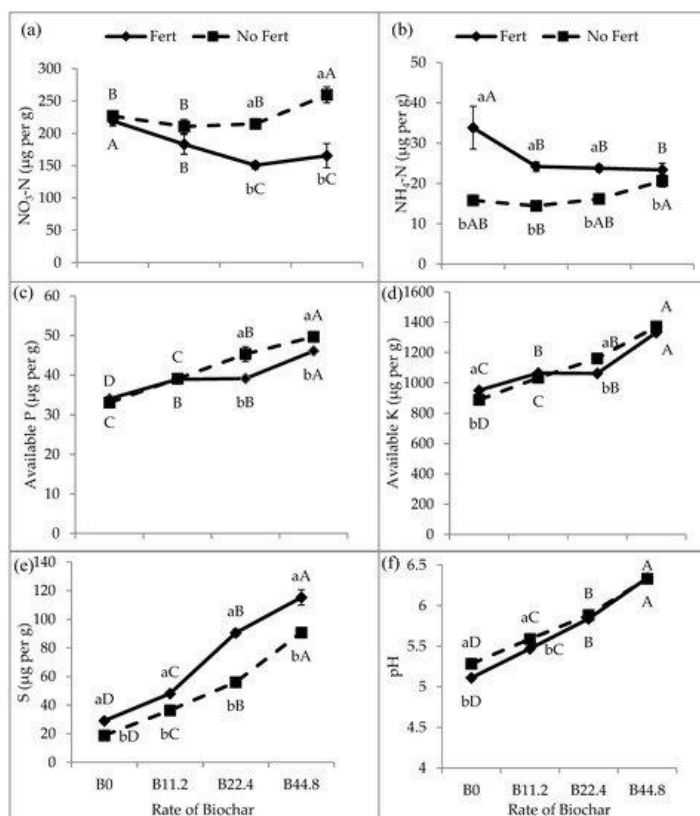
U biouhlu je diskutován jeho přínos pro živinovou bilanci v půdě a přispívá ke zvýšení obsahu půdního C (Břendová a kol., 2014; Liu et al., 2018). Vstupní materiál je jedním ze zásadních faktorů určujících finální vlastnosti biouhlu. Velká část chemických látek v něm obsažených přechází do biouhlu a určuje tak obsah živin N,

P, K v poměru k C. Biouhel vyrobený ze dřeva vykazuje ve většině případů větší poměr C vůči N a P (Tab. 6). Živiny obsažené v biouhlu jsou však pro rostliny nedostupné (Břendová a kol., 2014, Bista et al., 2019).

Vstupní biomasa	C	N	P	K	S	Ca	Mg
	g.kg ⁻¹						
Drůbeží trus	392	31	36	59	14	50	13
Arašídové slupky	804	25	2,0	16	0,6	5	3
Štěpka borovice	817	2,2	0,1	1,5	0,1	1,9	0,6

Tab. 6 Obsah živin v biouhlu dle vstupního materiálu (Břendová a kol., 2014)

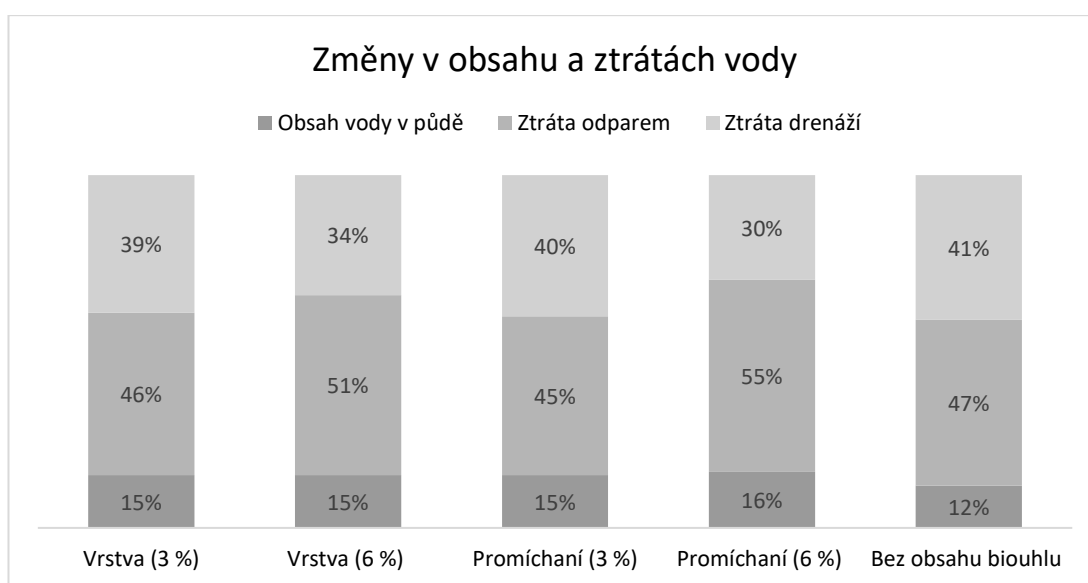
Při aplikaci biouhlu bylo zaznamenáno výrazné snížení koncentrace nitrátů v půdě vedoucí ke snížení výnosů jarního ječmene a ředkviček (Břendová a kol., 2014). Před aplikací do půdy je doporučena jeho úprava zalitím zkapalněnými hnojiv, např. močůvkou, kejdou nebo jinými výkaly smíchanými s vodou, digestátem nebo minerálními hnojiv. Tato úprava by měla vést k nasycení živinami, zejména nitráty a fosforečnany. Tento proces se nazývá očkování (ViaNatura.cz, 2019). Je rovněž doporučena aplikace biouhlu ve směsi s organickými hnojiv, např. kompostem, mrvou, digestátem nebo čistírenskými kaly (Conte et al., 2017). Při experimentu provedeném v půdě obsahující 12 % písku, 70 % humusu a 18 % jílu u pšenice se testovaly dávky biouhlu 0; 11,2; 22,4; 44,8 Mg/ha v kombinaci s a bez hnojení N, P a S. Výsledky (Graf 2) prokázaly velice zajímavou interakci mezi biouhlem a půdními živinami při zvolení různých aplikačních dávek (Bista et al., 2019). Důležitý je také zmiňovaný obsah Ca, Mg, Na a K, jejichž obsah se po aplikaci v půdě zvýšil (Břendová a kol., 2014). Vzhledem k sorpci živin a zvýšení KVK může biouhel rovněž přispět ke snížení rizika vyplavování živin z půdy (Bista et al., 2019; Břendová a kol., 2014).



Graf 2 Zastoupení živin v půdě dle různých koncentrací biouhlu (Bista et al., 2019)

6.3.4 Zadržení vody

Poréznost určuje velikost plochy jednotlivých částic a je pro schopnost zadržovat vodu v půdě u biouhlu nejdůležitější. Byla popsána schopnost biouhlu vázat vodu a uvolňovat ji zpět do půdy při jejím vysychání, ale hlavní princip zadržování vody spočívá ve zvětšení specifického půdního povrchu. Porozitu ovlivňuje vstupní materiál a teplota pyrolýzy (Břendová a kol., 2014; Basso et al., 2013; Rasa et al., 2018). V roce 2013 byl proveden experiment, při kterém byly do válců se spodní drenáží a volným povrchem vloženy vzorky písčité půdy bez a s obsahem 3 a 6 % biouhlu vyrobeného z tvrdého dřeva ve variantách s promícháním v půdě a uložením ve vrstvě v hloubce 11,6 cm. Výsledky po 91 dnech, teplotě 30 °C a přidavku 150 ml vody jednou týdně prokázaly zvýšení množství vody v půdě a změnu rozložení ztrát vody (Graf 2) (Basso et al., 2013).



Graf 3 Procentuální rozložení ztrát a zadržení vody vzhledem k množství dodané vody dle experimentu (Basso et al., 2013)

6.3.5 Organická hmota

Biouhel vykazuje schopnost zpomalovat oxidaci organické hmoty, čímž může zabraňovat její degradaci (Břendová a kol., 2014; Liu et al., 2018). Pravděpodobnou příčinou je ovlivňování mikrobiálních společenstev osidlujících póry biouhlu (Fletcher et al., 2014). Tohoto jevu se využívá pro lepší sekvestraci uhlíku při míchání biouhlu např. s kompostem (směs označována jako kompochar) (Břendová a kol., 2014; Sun et al., 2014; Liu et al., 2018). Změnám v mikrobiálních společenstevch po aplikaci biouhlu je však stále poměrně málo porozuměno a je rovněž nejistý vliv biouhlu v dlouhodobém hledisku (Hardy et al., 2019).

6.3.6 Sekvestrace

Jako sekvestraci označujeme proces, při kterém se atmosférický CO₂ ukládá v různém prostředí, většinou v oceánech nebo geologických vrstvách. Na povrchu převažuje otevřený cyklus s opětovným uvolněním CO₂ zpět do atmosféry po rozkladu biomasy. Část nerozložené biomasy se však v podobě humusu ukládá v půdě, která je považována za největší povrchové úložiště obsahující až 80 % veškerého vázaného uhlíku na povrchu. Při pyrolýze prováděné při 300 – 350 °C bylo zaznamenáno konverze až 50 % obsaženého uhlíku ze vstupního materiálu do

biouhlu. Navzdory poměrně odolné struktuře vůči biologické degradaci je po 5 – 10 letech v půdě pouze 10 – 20 % původního C obsaženého v biouhlu z důvodu rozkladu méně odolných molekul (Lehmann et al., 2006). Při možnosti zisku tepelné energie jinak vyrobené z fosilních paliv může biouhel představovat velmi dobrý systém sekvestrace C v půdě s vyšší délkou zadržení oproti standardní organické hmotě představované např. zeleným hnojením nebo chlévskou mrvou (Lehmann et al., 2006; Břendová a kol., 2014).

6.4 Vlastnosti biouhlu z RRD

Při experimentech byly získány různé poznatky ohledně působení na sorpci polutantů a vlastností biouhlu vyrobeného z topolů a vrb.

V ČR byl zkoumán vliv biouhlu na sorpci a desorpci PRP (Cd, Cu, Pb a Zn) v půdách. Biouhel byl vyroben z vrb pěstovaných v kontaminované a nekontaminované půdě za účelem zjištění přenosu PRP skrz biohel. Po sklizni a štěpkování byla fytomasa z vrb vysušena na vzduchu a zpracována pyrolýzou s max. teplotou 400 °C při jejím zvyšování o 10 °C/min. Takto vyrobený biouhel byl aplikován do půd v koncentraci 1 % a 2 %. Použití biouhlu vyrobeného z kontaminované i nekontaminované fytomasy nevykázalo rozdíly v sorpci PRP u biouhlu z kontaminované fytomasy, pravděpodobně na základě jejich silné sorpce na biouhel. Zároveň experiment dokázal kompetici mezi PRP při sorpci na biouhel, kdy sorpce Cd a Zn byla snižena v důsledku kompetice s Pb a Cu (Trakal a kol., 2011).

Další experiment se zabývá průzkumem sorpce Cd a vlastnostmi biouhlu vyrobeného z topolových pilin v porovnání s jinými vstupními materiály, konkrétně rýžovou, kukuřičnou, obilnou a bavlněnou slámou. Výroba probíhala pomalou pyrolýzou při teplotě 600 °C. Výsledky ukázaly u biouhlu vyrobeného z topolových pilin nejnižší sorpci Cd a výrazné rozdíly v porozitě, výnosu biouhlu ze vstupního materiálu, obsahu popela a pH (Tab. 7) (Sun et al., 2014).

Vstupní materiál	Výnos (%)	Velikost povrchu (m ² /g)	Šířka pórů (nm)	Obsah popela (%)	pH
Rýžová sláma	34,3	156,2	21,5	10,65	7,3
Bavlněná s.	30,5	49,4	15,1	2,90	8,4
Obilná s.	33,4	183,3	19,9	8,11	7,2
Kukuřičná s.	27,6	70,0	23,7	3,19	8,5
Topolové piliny	28,2	37,7	11,6	2,24	7,6

Tab. 7 Srovnání vlastnosti biouhlu vyrobeného z topolových pil s různými druhy slámy (Sun et al., 2014)

Při zkoumání vlastností biouhlu vyrobeného z vrb se rovněž potvrdil již známý vliv různých teplot pyrolýzy na změny ve vlastnostech materiálu. Jako vstupní materiál byla použita fytomasa z vrb pěstovaných na lehce kontaminovaných půdách. Teploty pyrolýzy byly 350 – 650 °C. Konkrétně bylo při experimentu potvrzeno zvyšování porozity (při 350 °C byla plocha povrchu pouze 0,610 m²/g, při 650 °C 225,9 m²/g, nejvyšší rozdíl byl naměřen mezi teplotami 450 a 550 °C, kdy se hodnota zvětšila téměř stonásobně ze 4,272 na 212,1 m²/g) a pH se zvyšující se teplotou (při teplotě 350 °C bylo pH 7,07 a při 650 °C 11,36) a snižující se výnos. Z hlediska pozorování chování PRP Cd, Pb, Zn, As, Se a Hg byly rovněž zaznamenán vliv teploty pyrolýzy. Vyšší teploty měly vliv na obsah Cd, Pb a Zn, který se snížil. Obsah Hg, As a Se byl

přibližně stejný ve srovnání se vstupním materiálem. Tento faktor ukázal na možnou těkavost Cd, Pb a Zn při zvyšující se teplotě (Fletcher et al., 2014).

6.5 Možná rizika

Specifické vlastnosti biouhlu mohou v některých případech představovat určitá rizika. Z hlediska zemědělství se jedná zejména o změny v mikrobiálních společenstvech, které mohou vést v některých případech k velmi pomalému rozkladu organické hmoty v půdě, dále může docházet k omezení funkčnosti některých pesticidů, sorpci živin z půdy a jejich nedostupnosti pro rostliny, změnám pH mimo tolerované hodnoty některých plodin (Kuppusamy et al., 2015) a komplikované logistice a aplikaci v polních podmínkách (viz. kapitola 6.6) (Lehmann et al., 2006).

6.6 Aplikace do půdy

Při experimentu byla jako nejvhodnější dávka z hlediska obsahu živin a úpravy pH stanoveno množství biouhlu 22,4 Mg/ha (Bista et al., 2019). Opět je třeba zdůraznit, že nelze stanovit obecnou dávku a vždy je před aplikací potřeba provést testování parametrů půdy s praktickou zkouškou na experimentálních plochách. Aplikace může být v polních podmínkách prováděna mechanizací. Pro aplikaci by se neměly používat pluhy, jelikož orbou dochází k zahrnutí biouhlu do spodních vrstev půdy a nedostatečnému promíslení, což má za následek omezení funkčnosti biouhlu ve smyslu úpravy KVK, pH a sorpce polutantů. Jako nejefektivnější se jeví intenzivní promíslení ve svrchní vrstvě půdy (přibližně do hloubky 15 cm) (Lehmann et al., 2006). Mnoho výrobců zemědělské techniky nabízí stroje s přímou aplikací hnojiva a jeho promíslení s půdou, např. kypřiče Fertis a Digger Fert+ od společnosti Farmet by měly být dle sdělení výrobce schopny aplikovat drcený biouhel na frakci nepřesahující 10 mm, ale dosud nebyl takový postup odzkoušen v praxi (ústní sdělení, [zastoupení výrobce Farmet], 6.3.2021). Celkový problém při aplikaci v polních podmínkách představuje hustota biouhlu, která dosahuje hodnot pouze okolo 170 kg/m³ a musí tak docházet k častějšímu plnění zásobníků a náročnější logistice, což může být částečně řešeno při směsích biouhlu s organickými hnojivy, např. mrvou nebo kompostem, které mohou být aplikovány rozmetacími vozy. Problémem může být rovněž volba správné frakce biouhlu. U příliš jemné frakce může při aplikaci docházet ke ztrátě prašností a jemné částice mohou být snadněji v půdě transportovány. Následkem může být i ztráta biouhlu z půdy (Lehmann et al., 2006).

7. Výsledné zhodnocení

Linie RRD mohou pomoci s řešením některých z nejzávažnějších problémů postihujících současnou zemědělskou krajinu, konkrétně ztráty biodiverzity, sucha, meteorologických extrémů a půdní eroze. V některých oblastech je však pozitivní vliv navrhovaných linií RRD diskutabilní. Zejména v oblasti biodiverzity, jak vyplývá z této práce, je přínos omezen na dostatečně zapojené a vzrostlé porosty. U RRD však dochází k rychlému obmýtí a většinu času je porost poměrně řídký. V tomto směru je proto vhodné kombinovat ALS RRD s jinými ALS, např. cennými listnáči nebo ovocnými dřevinami, které mají delší dobu obmýtí, nebo realizovat linie v několika intervalech pro rozložení sklizní na jedné ploše. Pro příklad při obmýtí po 4 letech v prvním roce realizovat 1/3 linií, 2 roky poté 2/3 a za další 2 roky 3/3. Při tomto způsobu dojde k diverzifikaci porostů do skupin s různým zapojením a vzrůstem, které zabrání vzniku holé plochy. Vystává zde však otázka praktické proveditelnosti. Jako nejvhodnější se jeví kombinovat všechny známe opatření pro zlepšení biodiverzity, např. linie s RRD spolu s polními cestami s výsadbou ovocných dřevin nebo konvenčními remízky tvořenými typickými porosty bezu černého (*Sambucus nigra*), trnky obecné (*Prunus spinosa*), hlohu jednosemenného (*Crataegus monogyna*) a jiných dřevin, které mají pozitivní vliv nejen ve smyslu budování úkrytů, ale i pro životní cyklus motýlů, např. ohroženého otakárka ovocného (*Iphiclides podalirius*), a rovněž poskytují potravu pro ptactvo. Podobně jako biodiverzita je na vyspělosti porostů závislá i tvorba mikroklimatu pomáhající s tlumením meteorologických extrémů a jako ochrana proti vysušování půdy. V tomto případě je vhodné postupovat obdobně jako při řešení problematiky biodiverzity. Otázkou praktických výzkumů je také skutečná protierozní účinnost ALS RRD. Zde je vhodné ověřením různých intervalů umístění ve svahu a šířky linií jakož i způsob umístění např. na ose vrstevnic nebo v údolnicích, kde se soustřeďuje odtok v porovnání s technickými protierozními opatřeními, např. průlehy a příkopy.

Jako nejvhodnější druhy RRD pro tvorbu linií se vzhledem k jejich nízkému invazivnímu potencionálu a dobré odolnosti jeví na sušší stanoviště topol černý a vrba jíva s jejich kultivary a na vlhčí stanoviště vrba křehká, vrba košíkářská a topol osika. Pro zlepšení druhové pestrosti porostů je nutné praktické ověření kompatibility např. růží nebo lísek s porosty vrb a topolů. Pro výsadby se ve většině případů počítá s mechanizací v podobě řezacích sazečů stejně tak jako v případě sklizně štěpkovacích harvesterů a likvidace porostů lesní frézou a podryváky nebo pluhu.

Biouhel je jeden z možných prostředků pro mírnění nebo eliminaci projevů degradace půd, hlavně acidifikace, ztráty organické hmoty a kontaminace PRP, PAU a pesticidy. Komplikace se mohou objevit i zde. Kvůli nízké hustotě pouze 170 kg/m³ se jeví aplikace samotného biouhlu jako značně komplikovaná z logistického a organizačního hlediska. Bylo zjištěno, že vstupní materiál má zásadní vliv na vlastnosti biouhlu. Pokud je vstupním materiálem dřevní štěpka z RRD pěstovaných na postižené půdě, kde má dojít zároveň k aplikaci, je otázkou, jaké bude např. pH biouhlu a obsah Ca, Mg, Na a K při zasažení půdy acidifikací. Přenos kontaminantů skrz biouhel zpětně do půdy nebyl prokázán. Důležitým faktorem je nepřístupnost živin v biouhlu pro rostliny a jeho schopnost sorpce volných půdních živin, která zabraňuje jejich ztrátě. V důsledku je však z hlediska nepřístupnosti živin pro rostliny nutné biouhel před aplikací upravit, a to naočkováním kapalnými hnojivy nebo jej aplikovat ve směsi s kompostem, mrvou, digestáty nebo čistírenskými kaly. V případě vytváření směsí biouhlu např. s mrvou nebo kompostem je pro aplikaci v polních

podmínkách možné využít rozmetací vozy, čímž se částečně eliminuje i problematika složité aplikace a rizika úniku biouhlu prašností při jemných frakcích. Problémem je také vysoká cena automatizovaných zařízení pro výrobu biouhlu. Existuje sice možnost pořízení poměrně levné pece Kon-Tiki, která se však jeví vhodnější pro nárazové použití při zpracování dřevního odpadu např. z prořezávek. Na trhu není dostupné zařízení v nižší cenové relaci, které by kromě biouhlu umožnilo získat tepelné energie pro zlepšení rentability a efektivnosti celého konceptu.

Jako největší výhody ALS RRD pro zemědělce se jeví možnosti čerpat dotace na realizaci jako protierozního opatření (za předpokladu splnění podmínek, v současné době se připravují nové dotační tituly) a přímé platby SAPS na pěstování RRD a možnost jejich zařazení jako plochy v ekologickém zájmu pro Greening. Při zlepšení půdního pH a správné úpravě biouhlu je možné rovněž dosáhnout zvýšení výnosů plodin a v důsledku sorpce i snížení rizika kontaminace potravin PRP, PAU a pesticidy. Největší překážky pro realizaci tohoto konceptu v praxi se jeví kromě zvýšení časů ztrátové práce, a tedy nákladů v podnicích, případně odporu zemědělců, také legislativní překážky v podobě zákazu pěstování RRD na půdách 1. a 2. třídy ochrany BPEJ. V tomto směru je třeba vyjednání výjimky pro pěstování ALS RRD.

8. Diskuse

Jedním z předních odborníků v ČR zabývajících se problematikou pěstování RRD a ALS je J. Weger při VÚKOZ, v.v.i. V jeho publikacích se můžeme setkat s přesným návodem na pěstování RRD, tedy zakládáním porostů, těžbou a likvidací a také patří mezi osoby zodpovědné za sestavování seznamu povolených odrůd topolů, vrb a jiných RRD a energetických plodin. Pro popis způsobů sklizně byl vzhledem k detailnějšímu popisu zvolen autor Scholz. Dle studované zahraniční literatury se zkušenosti Scholze a Wegera v podstatě neliší od zkušeností jiných evropských autorů, např. Stolarskiho. Ten popisuje pěstování RRD velmi podobně, ve směru volby mechanizace pro sklizně a zakládání porostů, údržby porostů a příprav před založením porostů. Z hlediska sklizně popisují Scholz a Stolarski podobné poznatky, např. využití mechanizace v podobě štěpkovacích harvesterů, které oba uvádějí jako nejpoužívanější a nejefektivnější. Stolarski ukazuje jeden možný způsob mechanizované těžby navíc, a to využití stroje Jenz Biobaler, který dokáže sklízet RRD a lisovat fytomasu do kulatých balíků. Při prohlídce stránek výrobce Jenz však nebyl tento stroj nalezen v nabídce, jeho dostupnost tak není jistá. Názory obou autorů se částečně rozcházejí ve směru ochrany před plevele. Zatímco J. Weger nedoporučuje pro ošetřování ploch pro založení porostů využití herbicidů (respektive říká, že není nutné), Stolarski uvádí, že bez jejich použití může být úmrtnost porostů velmi vysoká a s tím souvisí i mnohem nižší budoucí výnosy. Nutno podotknout, že autor nabízí velmi sofistikovaný systém aplikace, a to i vzhledem ke špatné reakci řízků RRD na působení herbicidů, které zmiňují oba autoři. Shoda panuje i ohledně zkušeností s volbou druhů RRD. Zmiňují, že je třeba volit dle přesných podmínek na stanovišti, např. vlhkosti, půdního typu nebo podnebí. Celkově tak lze problematiku pěstování RRD označit za velmi dobře zpracovanou nejen v zahraničí, ale i v ČR.

Problémem může být volba sortimentu dřevin. Situace z minulých let ohledně kůrovcové kalamity ukázala, jak může být pěstování monokulturních porostů za účelem co nejvyšších zisků nebezpečné. V krajině nemají ALS a RRD obecně oproti lesům, které pokrývají v ČR třetinu území a více než 50 % jejich porostů tvoří právě smrk ztepilý (*Picea abies*), zdaleka takové zastoupení. U RRD zatím bylo pozorováno ohrožení rzí hlavně u topolových plantáží, a to v prostředí ČR studiemi Jana Wegera, tak i v zahraničí, např. na Novém Zélandu, kde jsou vrby a topoly využívány od 70. let, jak popisuje autor Eyles. Masivní úhyny RRD v důsledku chorob nebyly zatím v ČR pozorovány, ale dle Wegera (ústní sdělení) může být výrazným nebezpečím sucho, na které jsou řízky mnohem náchylnější než sazenice. U moderních plantáží se nejčastěji setkáváme právě s monokulturními porosty, které jsou ve většině případů tvořeny hybridy nebo nepůvodními druhy dřevin, což vyvolává otázky ohledně hlediska možnosti dalšího šíření těchto druhů do krajiny s potencionálním vlivem na terestriální ekosystémy. Z tohoto důvodu je vhodné poznamenat, že EU a ČR mají velmi dobře nastavené legislativní požadavky pro vnášení hybridů a nepůvodních druhů dřevin do krajiny.

Velkou otázkou ohledně konceptu pěstování ALS RRD na orné půdě je legislativa. Zákon o ochraně ZPF zakazuje pěstování RRD na půdách I. a II. třídy ochrany BPEJ. Tento faktor je v současné době největší překážkou pro realizaci konceptu a bez úpravy zákona nebo vydání výjimky pro pěstování ALS nelze s funkcí konceptu počítat na velké části rozlohy orné půdy. Zákon o ochraně přírody a krajiny nepředstavuje pro koncept větší překážku.

Za ALS se považuje většinou liniová výsadba dřevin kombinovaná s konvenční produkcí na zemědělské půdě, jak uvádí Weger a kol., Houška, Lamerre et al., Norrlin et al., Jose a Eyles. Tato výsadba však může být i ostrůvkovitá. ALS se dále dělí dle Wegera na výsadbu cenných listnáčů, ovocných dřevin a RRD. Weger a kol. popisuje pěstování ALS RRD jako výsadbu ve víceřádkových pásech dělených mezipásky širokými 10 – 40 m se zemědělskými plodinami. Lamerre et al. popisuje pěstování v jednořádkách s mezipásky širokými 3 m. Většina zkušeností s pěstováním pochází ze zahraničí, v ČR tradice ALS zanikla během kolektivizace zemědělství, jak uvádí Weger a kol. V zahraničí se přesto obzvláště ohledně RRD nejedná o zcela běžnou praxi a dle Norrlin et al. je potřeba věnovat této problematice intenzivní výzkumnou činnost.

Půda a zemědělská krajina v ČR je ohrožená moderním zemědělstvím, které klade vysoké nároky na výnosy plodin. Přesto, že EU patří vzhledem k omezování škodlivých vlivů zemědělství k nejnávštěvnějším oblastem světa, stále se nedá mluvit o faktu, že by došlo k opravdu výraznému zlepšení stavu krajiny a půdy.

Na celém světě je půda ohrožena vodní a větrnou erozí, kdy Wuepper et al. uvádí průměrnou ztrátu 1,4 Mg/ha/rok a za nejohroženější oblast světa považuje Jižní Ameriku. Odborníci z VÚMOP v ČR pro statistickou ročenku životního prostředí vypočetli, že téměř polovina zemědělské půdy v ČR je ohrožena vodní erozí. Výzkumy českých i zahraničních odborníků zabývajících se problematikou ALS uvádí, že mohou pomoci v boji proti vodní i větrné erozi. Tuto skutečnost uvádí v ČR Weger a kol. a Houška z VÚKOZ, ale neuvádějí žádná vlastní pozorování. V zahraničí uvádí ochranu proti erozi např. Eyles na Novém Zélandu, kde je eroze a sesuvy svahů vzhledem k silně odlesněné a intenzivně pasené krajině velmi závažným problémem. Používají se zde vrby i topoly s ostrůvkovitou i liniovou výsadbou a ukazují zde velmi dobré výsledky v ochraně proti erozi. Mezi další autory uvádějící protierozní působení je Norrlin et al., v této rešerši můžeme najít citaci autora Ghaley et al. udávající, že v experimentálním ALS bylo dosaženo oproti konvenční monokultuře s pšenicí snížení eroze o 3,3 Mg/ha/rok. Takový výsledek se dá považovat za velmi dobrý. Dalším zahraničním autorem uvádějícím protierozní působení ALS je např. Lamerre et al., v tomto případě však autor není konkrétní.

Vzhledem ke klimatickým změnám, které mohou způsobovat výrazné výkyvy mezi zemědělským suchem a krátkodobými intenzivními srážkami, je nutné řešit vyváženější hospodaření s vodou vedoucí ke stabilizaci vodního režimu v krajině, jak uvádí např. Dolejský nebo Norrlin et al. Tato tematika byla v posledních letech během intenzivního zemědělského sucha velmi často mediálně řešena. Přítomnost ALS může vést ke zlepšení vodního režimu, jak uvádí Weger a kol., Norrlin et al., Lamerre et al. a Houška. Houška popisuje ve smyslu zlepšení vodního režimu podporu malého vodního cyklu při přítomnosti ALS a obecně dřevin, což vede k lepšímu hospodaření s vodou na regionální úrovni a také zmiňuje předpoklad lepšího rozložení srážek, který ale není dosud potvrzen. Norrlin et al. cituje práci autorů Ghaley et al., který popsal mimo zlepšení protierozní ochrany i lepší zadržení vody u ALS oproti konvenční zemědělské kultuře pšenice, a to konkrétně o 128 mm/ha.

Klimatické změny souvisí i s mikroklimatem krajiny, který je podle Procházkové a kol. určen jako specifický vývoj teplot na určitém místě. Tento efekt je dobře znám např. z lesních porostů. ALS mohou dle názorů českých i zahraničních autorů podporovat zlepšení mikroklimatu v zemědělské krajině, takovou informaci uvádí Houška, Norrlin

et al. a Kanzler et al. Mikroklima je zásadní pro tlumení meteorologických extrémů, a jak bylo prokázáno experimentem v polních podmínkách provedeným Kanzlerem et al., ALS oproti porostu pšenice vykázal mnohem menší fluktuaci teplot.

Ztráta biodiverzity v zemědělské krajině je dle Dudley et al., Boháče a kol. a Mohelského často zmiňována jako jeden z hlavních faktorů, na které může mít zemědělství vliv. Houška, Norrlin et al., Lamerre et al. a Jose uvádí, že ALS podporují biodiverzitu. Houška a Jose zmiňuje podporu ve smyslu budování úkrytů pro ptáky, hmyz, drobnou zvěř aj., vytvoření stabilnějšího prostředí a lepší propojení sukcesně vyspělých a nevyspělých oblastí. Jose dále zmiňuje tvorbu migračních koridorů a orientačních bodů usnadňujících pohyb živočichů v zemědělské krajině. Ohledně biodiverzity byl proveden průzkum v plantážích i ALS RRD, který prokázal zvýšení počtu bezobratlých, konkrétně střeplíků.

Lze předpokládat, že v některých případech mohou ALS představovat určité omezení nebo rizika. Houška uvádí možnost konkurence mezi dřevinami a plodinami v ALS v prvních letech po založení porostu, kdy dřeviny mohou odebírat půdní vláhu a kořenovými výměšky omezovat růst zemědělských plodin. Autor však není zcela konkrétní v popisu druhů dřevin (je zmiňován pouze vliv ořešáků a jehličnanů) a dále uvádí, že po dosažení určitého věku dřevin dochází ke změně obsazování půdních horizontů směrem do hlubších vrstev, a tak plně vzrostlé dřeviny ve většině případů nepředstavují pro plodiny již takovou konkurenci. Lamerre et al. navíc uvádí přímé poznatky ohledně topolů a vrb, u kterých zmiňuje velmi dobrou snášenlivost se všemi druhy běžně pěstovaných plodin. Nebyla nalezena žádná literatura zmiňující pohledy zemědělců na danou problematiku z hlediska omezení v souvislosti s ALS. Z tohoto důvodu byl vznesen dotaz k V. Kohoutovi, zemědělcovi se zkušenostmi s pěstováním RRD a obhospodařujícím 1 600 ha převážně orné půdy v obci Heřmanova Huť v okrese Plzeň-sever. Dle jeho sdělení odpor zemědělců k pozemkovým úpravám a změnám v systému hospodaření souvisí s velmi omezenými termíny pro polní práce na velkých plochách, kdy při nevhodně provedené změně nastává výrazné prodloužení ztrátových časů mající za následek možné snížení zisku vzhledem k nevyzpytatelným meteorologickým podmínkám v posledních letech. Sám ale uznává, že problematiku ohrožení půdy a krajiny je nutné řešit a dle jeho sdělení může být koncept ALS s RRD velmi zajímavou možností.

Biouhel je zahraničními i českými autory sledován, jako jedna z budoucích možných cest pro odstranění některých problémů půdní degradace, zejména acidifikace, ztráty organické hmoty a kontaminace. Všichni citovaní autoři se shodují na definici i popisu vlastností, kdy uvádějí jako biouhel materiál vyrobený pyrolýzou za různých teplot z organického materiálu. Rovněž uvádějí, že vlastnosti biouhlu jsou značně variabilní a odvíjí se od teploty a délky trvání pyrolýzy a vstupního materiálu.

Za účelem zjištění situace ohledně dostupnosti technologických zařízení pro výrobu biouhlu v ČR byl osloven J. Káňa spravující nadační fond Biochar Foundation a zakladatel společnosti BIOUHEL.cz s.r.o. Dle jeho praktických zkušeností je možné využít v zásadě tři dostupná zařízení, zplyňovače, reaktory s vnějším ohřevem pláště a pec Kon-Tiki. Reaktory a zplyňovače jsou velmi drahá zařízení, a z tohoto důvodu nelze předpokládat jejich pořízení zemědělci pro lokální výrobu. Pec Kon-Tiki je levná, cena se pohybuje od 16 000 – 25 000 Kč, ale neumožňuje získání tepelné energie, jejíž využití přispívá ke zvýšené efektivitě a ušetření emisí CO₂. Zároveň se hodí spíše pro využití v malém měřítku vzhledem k nutnosti manuální obsluhy.

Z hlediska vlivu biouhlu na obsah živin v půdě udává Břendová a kol. na základě citace experimentu autora Nelissen et al. snížení výnosů jarního ječmene a ředkviček v půdách s aplikací biouhlu v důsledku sníženého obsahu nitrátů v půdě. Bista et al. provedli experiment zaměřující se na zjištění skutečného obsahu půdních živin v půdách při porovnání různých aplikačních dávek biouhlu s využitím dodatečného hnojení a bez něj. Výsledky poukázaly na zajímavé interakce, kdy obsah půdních živin vzrostl při přidavku biouhlu bez přihnojení více než při přihnojení, ale u pšenice byla zaznamenána velká úmrtnost a snížení výnosů pravděpodobně v důsledku redukce kořenového systému. Jako nejlepší možnost byla autory stanovena dávka 22,4 Mg/ha v kombinaci s přihnojením. Zkušenosti autorů Bista et al. a Nelissen et al. jsou stejné ve směru snížení výnosů po aplikaci biouhlu a ukazují, že naměřený obsah živin v půdě s aplikací biouhlu není pro růst plodin zásadní, jelikož živiny, hlavně nitráty, jsou pro rostliny nedostupné. Možným řešením je dodatečná úprava biouhlu pro doplnění živin. Distributor a výrobce pece Kon-Tiki Vianatura.cz na svých internetových stránkách uvádí, že pro zamezení ztráty půdních živin po aplikaci biouhlu je vhodné jej upravit zalitím zkapalněnými hnojivy organického nebo minerálního původu. Conte et al. také uvádí využití směsí biouhlu s organickými hnojivy, konkrétně mrvou, digestátem, kompostem nebo čistírenskými kaly.

U zadržení vody v půdách s obsahem biouhlu je uváděno, že hlavním principem je zvětšení specifického půdního povrchu vzhledem k vysoké porozitě biouhlu. Její hodnota je závislá na teplotě pyrolýzy, jak zmiňují Rasa et al., Basso et al., Liu et al. a Břendová a kol. Zároveň však Břendová a kol. a Fletcher et al. zmiňují, že biouhel vyrobený ze dřeva dosahuje nižších hodnot porozity oproti výrobě ze slámy. Z experimentu, který provedli Basso et al. vyplývá, že biouhel může zlepšit zadržení vody v půdě, konkrétně o 2 % při obsahu 6 % biouhlu a změnil rozložení ztrát vláhly ve prospěch ztráty odparem oproti ztrátě drenáží v porovnání s kontrolním vzorkem.

Jako hlavní půdní kontaminanty uvádí Vácha PRP a PAU. PRP jsou v půdách obsaženy v důsledku kontaminace, např. nekvalitními hnojivy obsahujícími Cd, nebo jako přirozená složka půdy, která se může v důsledku změn půdních vlastností, hlavně pH a KVK, uvolňovat do roztoků vstřebatelných rostlinami. Tento efekt popisuje Vácha i Li et al. Li et al. uvádí zkušenosti se sorpcí PRP biouhlem vyrobeným z různých materiálů při různé teplotě. Prokázána byla např. sorpce Pb 4,13 mg/g a Cd 5,4 mg/g biouhlu. Sorpci biouhlu ze získané fytomasy pěstovaných RRD dřevin, konkrétně topolů a vrb, se zabývá zahraniční i česká literatura. L. Trakal a kol. uvádí jako příklad pěstování vrb na půdě kontaminované Pb, Cd, Zn a Cu za účelem popsat vliv působení kontaminované biomasy na možný přenos skrze biohel a kompetiční vztahy mezi PRP při sorpci na biouhel. Z výsledků je patrné, že mezi biouhlem vyrobeným z kontaminované a nekontaminované fytomasy nebyly zaznamenány výrazné rozdíly v sorpci a byl zjištěn kompetiční vztah při sorpci mezi PRP Pb, Cu a Zn, Cd. Koncentrace Zn a Cd nebyla aplikací téměř ovlivněna právě v důsledku sorpce Pb a Cu. Podobných zjištění dosáhl Fletcher et al., kdy neprokázal přenos kontaminantů z vrbové fytomasy skrze biouhel zpět do půdy a nebyly zaznamenány rozdíly v sorpci mezi biouhlem vyrobeným z kontaminované a nekontaminované fytomasy. Rovněž bylo poukázáno na snížení koncentrace Cd, Zn a Pb oproti vstupnímu materiálu se zvyšující se teplotou pyrolýzy. Sun et al. se zabýval porovnání biouhlu vyrobeným ze slámy bavlníku, obilí, rýže a kukuřice s biouhlem vyrobeným z topolových pilin. U biouhlu z topolových pilin byla zjištěna nejmenší porozita, který měla pravděpodobně za následek nejnižší sorpci Cd ze všech porovnávaných

biouhlů. Sorpcí PAU se zabýval Chen et al., který sorpci biouhlem prokázal a zmiňuje se o ní i Fletcher et al.

Liu et al. popisuje problematiku kontaminace pesticidy a jejich sorpce biouhlem. Tato práce je však vztažena k prostředí Číny, kde se stále používají některé pesticidy v EU dnes již zakázané, např. karbofuran, diurin, atrazin nebo chlorpyrifos. Přesto na základě autorových zkušeností lze předpokládat vliv na sorpci pesticidů a jejich reziduí běžně používaných i v EU, kdy uvádí, že limitace spočívají ve vlastnostech aplikovaného biouhlu (jeho porozitě) a samotných pesticidů (velikosti molekul) a půdních podmínkách, hlavně pH, kdy jeho zvýšení biouhlem může přispět k snadnější degradaci např. organofosfátů.

U biouhlu byla potvrzena schopnost zvyšovat půdní pH a předcházet tak acidifikaci vzhledem k vysokému obsahu Ca, Mg, Na a K a vlastnímu pH pohybujícímu se dle teploty pyrolýzy (vyšší teplota vede k vyššímu pH) mezi 8 – 13, jak uvádějí Břendová a kol., Dai et al. a Malo et al. Vliv obsahu Ca, Mg, Na a K na úpravu pH půdy je dle Dai et al. důležitější, než vlastní pH biouhlu.

Dle Břendové a kol. a Liu et al. může biouhel zpomalovat oxidaci organické hmoty, čímž předchází její degradaci. Umožňuje tak lepší sekvestraci uhlíku, čehož se využívá pro míchání směsí biouhlu a kompostu (kompocharu), jak udává i Sun et al. Hardy et al. uvádí změny v mikrobiálních společenstvech, které jsou dosud neprozkoumané v dlouhodobém hledisku a není tak zcela jisté, jaký přesně bude vliv přídatku biouhlu v půdě na degradaci organické hmoty v dlouhodobém časovém horizontu.

V souvislosti se snižováním emisí skleníkových plynů, hlavně CO₂, se řeší jako jedna z možností řešení řízená sekvestrace. Biouhel je vzhledem k vysokému obsahu C a pomalé degradaci často uváděn jako velmi vhodný prostředek pro sekvestraci v půdě, což zmiňuje např. Břendová a kol., Lehmann et al., Liu et al. a další autoři. Lehmann et al. však uvádí, že u biouhlu vyrobeného při 300 – 350 °C bylo již po 5 – 10 letech v půdě zůstatek pouze 10 – 20 % C obsaženém v aplikovaném biouhlu v důsledku degradace méně odolných molekul. Vzhledem k relativně nízké teplotě pyrolýzy při experimentu však lze předpokládat, že se tak stalo v důsledku vyšší aromaticity biouhlu vyrobeného při nižších teplotách, což udává např. Liu et al.

9. Závěr a přínosy práce

Zpracování bakalářské práce poskytlo širší nadhled na současnou problematiku související s moderním zemědělstvím, které klade vysoké nároky na půdu a krajinu, jejichž důsledkem je pokračující degradace půdy a poškození krajinných hodnot.

Byly ukázány možné benefity konceptu linií (ALS) RRD pro protierozní ochranu, zvýšení biodiverzity, zlepšení vodního režimu a tvorby mikroklimatu. Zhodnocena byla možná reálná míra přínosu vzhledem k získaným znalostem o sklizni a údržbě RRD, která ukázala, že ne vždy mohou ALS RRD zcela plnit představy o těchto přínosech a je třeba dbát na zodpovědný a sofistikovaný management jejich pěstování a je vhodné je pro zpestření krajiny kombinovat s konvenčními krajinnými a pozemkovými úpravami v podobě polních cest, vodních nádrží, mokřadů, ALS ovocných dřevin a cenných listnáčů a biopásy složenými z nektarodárných a krmných plodin. Z možných omezení je třeba zmínit zvýšení nákladů a prodloužení časů ztrátové práce v zemědělských podnicích.

Získány byly vědomosti o biouhlu, konkrétně o výrobních postupech a vedlejších produktech, technologických zařízeních používaných v praxi a působení aplikace biouhlu na půdu. V tomto směru byly potvrzeny schopnosti řešení některých závažných projevů degradace souvisejících se zemědělstvím a znečištěním. Aplikace biouhlu může vést ke zvýšené sorpci PRP, PAU a pesticidů v půdě, odstranění acidifikace v důsledku vysokého vlastního pH a obsahu Mg, Na, K a Ca a při vhodné úpravě přídatkem kapalných hnojiv nebo smícháním biouhlu s organickými hnojivy také ke zlepšení obsahu živin a snížení vyplavování živin. Tyto faktory mohou přispět k produkci kvalitnějších potravin a za příznivých okolností i zvýšení výnosů zemědělských plodin. Rovněž biouhel přispívá k sekvestraci C v půdě a umožňuje tak snížení množství emitovaného CO₂ v zemědělství. Omezení může spočívat za určitých okolností v komplikované aplikaci, snížené účinnosti některých pesticidů a při nevhodně zvolené aplikační dávce k přílišnému zvýšení půdního pH.

Celkově práce podává komplexní náhled na koncept pěstování linií RRD za účelem výroby biouhlu a jeho možného vlivu pro ochranu půdy a krajiny. Tento koncept se jeví jako potencionálně zajímavý pro budoucí zemědělství a pro odstranění nebo zmírnění zmiňovaných faktorů ohrožení zemědělské půdy a krajiny, ale je třeba dále se zabývat praktickými výzkumy zejména v oblasti protierozní účinnosti ALS RRD při různém uspořádání na ohrožených plochách, vlivem na biodiverzitu, vodní režim krajiny a prozkoumáním vlastností a působení biouhlu při výrobě z RRD pěstovaných na půdě, která může být zasažena acidifikací a bude mít různé vlastnosti. Rovněž je na trhu v ČR potřeba zařízení pro výrobu biouhlu s možností zisku tepelné energie, které by se nacházelo v nižší cenové relaci a umožnilo by tak nasazení na lokální úrovni.

10. Přehled literatury a použitých zdrojů

10.1 Literatura

BASSO, Andres S., Fernando E. MIGUEZ, David A. LAIRD, Robert HORTON a Mark WESTGATE. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy* [online]. 2013, **5**(2), 132-143 [cit. 2021-02-12]. ISSN 17571693. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gcbb.12026>

BISTA, Prakriti, Rajan GHIMIRE, Stephen MACHADO, Larry PRITCHETT a Ravi NAIDU. Biochar Effects on Soil Properties and Wheat Biomass vary with Fertility Management. *Agronomy* [online]. 2019, 403-427 [cit. 2021-03-08]. ISSN 2073-4395. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/10/623/htm>

BOHÁČ, J., J. MOUDRÝ a L. DESETOVÁ. *Biodiverzita a zemědělství* [online]. JČU, 2006 [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: http://www.jaroslavbohac.wz.cz/download/05_bohac.pdf

BŘENDOVÁ, Kateřina, TLUSTOŠ, Pavel, SZÁKOVÁ, Jiřina, BOHUNĚK, Martin. *Využití biouhlí (biocharu) k úpravě půdních vlastností* [online]. Biom.cz, 2014 [cit. 2021-01-21]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>

CONTE, Pellegrino a Vito LAUDICINA. Mechanisms of Organic Coating on the Surface of a Poplar Biochar. *Current Organic Chemistry* [online]. 2017, **21**(6), 559-565 [cit. 2021-03-30]. ISSN 13852728. Dostupné z: [doi:10.2174/1385272821666161216122035](https://doi.org/10.2174/1385272821666161216122035)

DAI, Zhongmin, Xiaojie ZHANG, C. TANG, Niaz MUHAMMAD, Jianjun WU, Philip C. BROOKES a Jianming XU. Potential role of biochars in decreasing soil acidification - A critical review. *Science of The Total Environment* [online]. 2017, 581-582, 601-611 [cit. 2021-03-28]. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716328583>

DOLEJSKÝ, Vladimír. *Voda v krajině v kontextu změny klimatu* [online]. MŽP, 2016 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160414_konference_voda_krajin_a/\\$FILE/Voda%20v%20krajin%C4%9B%2014_4_2016_DOLEJSKY.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160414_konference_voda_krajin_a/$FILE/Voda%20v%20krajin%C4%9B%2014_4_2016_DOLEJSKY.pdf)

DUDLEY, Nigel a Sasha ALEXANDER. Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity* [online]. 2017, **18**(2-3), 45-49 [cit. 2021-02-15]. ISSN 1488-8386. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14888386.2017.1351892?journalCode=tbid20>

FLETCHER, Ashleigh J., Malcolm A. SMITH, Andreas HEINEMEYER, Richard LORD, Christopher J. ENNIS, Edward M. HODGSON a Kerrie FARRAR. Production Factors Controlling the Physical Characteristics of Biochar Derived from Phytoremediation Willow for Agricultural Applications. *BioEnergy Research* [online]. 2014, **7**(1), 371-380 [cit. 2021-03-30]. ISSN 1939-1234. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-013-9380-x>

Greening – procentní podíl ploch v ekologickém zájmu [online]. MZE, 2014 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/prime-platby/greening-procentni-podil-ploch-v.html>

HARDY, Briec, Steven SLEUTEL, Joseph E. DUFÉY a Jean-Thomas CORNELIS. The Long-Term Effect of Biochar on Soil Microbial Abundance, Activity and Community Structure Is Overwritten by Land Management. *Frontiers in Environmental Science* [online]. 2019, 7 [cit. 2021-03-30]. ISSN 2296-665X. Dostupné z: doi:10.3389/fenvs.2019.00110

HOUŠKA, Jakub: *Agrolesnictví pomůže krajině i zemědělství* [online]. Biom.cz, 2020 [cit. 2021-02-04]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/agrolesnictvi-pomuze-krajine-i-zemedelstvi>.

Chemicals and pesticides [online]. European Parliament, 2020 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/78/chemicals-and-pesticides>

CHEN, Baoliang a Miaoxin YUAN. Enhanced sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by soil amended with biochar. *Journal of Soils and Sediments* [online]. 2011, 11, 62-71 [cit. 2021-03-04]. ISSN 1439-0108. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/225574157_Enhanced_Sorption_of_Polycyclic_Aromatic_Hydrocarbons_by_Soil_Amended_with_Biochar

JASKULSKA, Iwona a Dariusz JASKULSKI. Strip-Till One-Pass Technology in Central and Eastern Europe. *Agronomy* [online]. 2020, 10(7) [cit. 2021-02-14]. ISSN 2073-4395. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/342525267_Strip-Till_One-Pass_Technology_in_Central_and_Eastern_Europe_A_MZURI_Pro-Til_Hybrid_Machine_Case_Study

JOSE, Shibu. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems* [online]. 2012, 85(1), 1-8 [cit. 2021-03-29]. ISSN 0167-4366. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-012-9517-5>

JOSEPH, S., P. TAYLOR a A. COWIE. *Choosing a biochar reactor to meet your needs* [online]. Biochar international, 2019 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://biochar.international/guides/biochar-reactor-to-meet-needs/>

KANZLER, Michael, Christian BÖHM, Jaconette MIRCK, Dieter SCHMITT a Maik VESTE. Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems* [online]. 2019, 93(5), 1821-1841 [cit. 2021-03-25]. ISSN 0167-4366. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10457-018-0289-4>

KOČÍ, Vladimír, Jiří BURKHARD a Blahoslav MARŠÁLEK. *Eutrofizace na přelomu tisíciletí* [online]. Praha: VŠCHT, 2010 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <http://ekotoxikologie.sweb.cz/toxlab/knihovna/eutrofizace.htm>

Kon-Tiki pec na výrobu dřevěného uhlí [online]. ViaNatura.cz, 2019 [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <http://www.vianatura.cz/zkusenosti/pestovani/290-kon-tiki>

KUPPUSAMY, Saranya, Palanisami THAVAMANI, Mallavarapu MEGHARAJ, Kadiyala VENKATESWARLU a Ravi NAIDU. Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: Current knowledge and future research directions. *Environment International* [online]. 2016, 1-12 [cit. 2021-03-07]. ISSN 01604120. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015300842>

LAMERRE, Justine, Kai-Uwe SCHWARZ, Maren LANGHOF, Georg VON WÜHLISCH a Jörg-Michael GREEF. Productivity of poplar short rotation coppice in

an alley-cropping agroforestry system. *Agroforestry Systems* [online]. 2015, **89**(5), 933-942 [cit. 2021-03-29]. ISSN 0167-4366. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-015-9825-7>

LEHMANN, Johannes, John GAUNT, Marco RONDON, Kadiyala VENKATESWARLU a Ravi NAIDU. Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* [online]. 2006, 403-427 [cit. 2021-03-07]. ISSN 1381-2386. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.183.1147&rep=rep1&type=pdf>

LI, Hongbo, Xiaoling DONG, Evandro B. DA SILVA, Letuzia M. DE OLIVEIRA, Yanshan CHEN a Lena Q. MA. Mechanisms of metal sorption by biochars. *Chemosphere* [online]. 2017, 466-478 [cit. 2021-03-04]. ISSN 00456535. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123485304001739?via%3Dihub>

LIU, Yuxue, Linson LONAPPAN, Satinder Kaur BRAR a Shengmao YANG. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, 60-70 [cit. 2021-03-04]. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718325841>

MADĚRA, Petr, Antonín BUČEK, Luboš ÚRADNÍČEK, a kol. *Starobylé výmladkové lesy - metodika inventarizace, evidence a péče* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016 [cit. 2021-02-04]. ISBN 978-80-7509-477-3. Dostupné z: https://invenio.nusl.cz/record/263359/files/nusl-263359_1.pdf

MOHELSKÝ, Martin. *Biopásy, dřívě remízky* [online]. Myslivost.cz, 2015 [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.myslivost.cz/CasopisMyslivost/Myslivost/2015/Srpen-2015/Biopasy-drive-remizky>

OP ŽP (4.3) [online]. AOPK ČR, 2014 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://www.dotace.nature.cz/bezlesi-tituly/op-zp-osa-6-protierozni-opatreni.html>

Polycyclic aromatic hydrocarbons [online]. Illinois Department of Public Health, 2020 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://www.idph.state.il.us/cancer/factsheets/polycyclicaromatichydrocarbons.htm>

Pracovní seznam e-plodin [online]. Praha: VÚKOZ, 2020 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.vukoz.cz/index.php/energeticke-plodiny/pracovni-seznam-e-plodin>

PRIMM, Stuart. *Biodiversity* [online]. Britannica, 2019 [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/biodiversity>

PROCHÁZKOVÁ, Eva a Dominika KOBZOVÁ. *Problematika eroze v ČR* [online]. Praha: VÚMOP, 2010 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: http://www.czba.cz/files/ceska-biopllynova-asociace/uploads/files/21_VPBPS2011_prochazkova.pdf

Ptáci zemědělské krajiny [online]. Česká společnost ornitologická, 2012 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.birdlife.cz/co-delame/vyzkum-a-ochrana-ptaku/ochrana-druhu/ptaci-zemedelske-krajiny/>

Rozumně hospodařit na zemědělské půdě [online]. Zemědelec.cz, 2012 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.zemedelec.cz/rozumne-hospodarit-na-zemedelske-pude/>

SCHOLZ, Volkhard. *Rychle rostoucí dřeviny - technologie sklizně* [online]. Biom.cz, 2009 [cit. 2021-01-28]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rychle-rostouci-dreviny-technologie-sklizne>

SINGH, Jiwan a Ajay S. KALAMDHAD. *Effects of Heavy Metals on Soil, Plants, Human Health and Aquatic Life* [online]. Environ, 2011 [cit. 2021-03-14]. ISSN 2248-9649. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265849316_Effects_of_Heavy_Metals_on_Soil_Plants_Human_Health_and_Aquatic_Life

SOLLEN-NORRLIN, Maya, Bhim Bahadur GHALEY a Naomi Laura Jane RINTOUL. *Agroforestry Benefits and Challenges for Adoption in Europe and Beyond. Sustainability* [online]. 2020, **12**(17) [cit. 2021-03-29]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/17/7001>

STOLARSKI, Mariusz J. a Michał KRZYŻANIAK. *Short-Rotation Woody Crops for Energy. Encyclopedia of Sustainable Technologies* [online]. Elsevier, 2017, 141-152 [cit. 2021-03-27]. ISBN 9780128047927. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489101290>

STŘEDOVÁ, Hana. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2011 [cit. 2021-02-14]. ISBN 978-80-86690-90-2. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/mikroklima%20-%20mezoklima.pdf>

SUN, Jingkuan, Fei LIAN, Zhongqi LIU, Lingyan ZHU a Zhengguo SONG. Biochars derived from various crop straws: Characterization and Cd(II) removal potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2014, **106**, 226-231 [cit. 2021-03-26]. ISSN 01476513. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651314001936?via%3Dihub>

TRAKAL, L., M. KOMÁREK, J. SZÁKOVÁ, V. ZEMANOVÁ a P. TLUSTOŠ. Biochar application to metal-contaminated soil: Evaluating of Cd, Cu, Pb and Zn sorption behavior using single- and multi-element sorption experiment. *Plant, Soil and Environment* [online]. 2011, **57**(8), 372-380 [cit. 2021-03-29]. ISSN 12141178. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/230854403_Biochar_application_to_metal-contaminated_soil_Evaluating_of_Cd_Cu_Pb_and_Zn_sorption_behavior_using_single_and_multi-element_sorption_experiment

Use of poplars and willows for erosion control [online]. New Zealand Farm Forestry, 2010 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.nzffa.org.nz/farm-forestry-model/resource-centre/tree-grower-articles/november-2010/use-of-poplars-and-willows-for-erosion-control/>

VÁCHA, Radim. *Kontaminace půdy* [online]. Praha: VÚMOP, 2019 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.ctpz.cz/vyzkum/kontaminace-pudy-857>

Vodní eroze půdy [online]. eAGRI.cz, 2020 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>

WEGER, Jan a JOBBIKOVÁ, Jana. *Dotace pro RRD* [online]. VÚKOZ, 2019 [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <https://www.vukoz.cz/index.php/rychle-rostouci-dreviny/dotace-pro-rrd>

WEGER, Jan a kol. *Pěstování výmladkových plantáží rychle rostoucích dřevin* [online]. VÚKOZ, 2012 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.vukoz.cz/index.php/rychle-rostouci-dreviny/pestovani>

WEGER, Jan, LOJKA, Bohdan, BUBENÍK, Jaroslav. *Agrolesnické systémy a rychlerostoucí dřeviny* [online]. Biom.cz, 2020 [cit. 2021-01-28]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/agrolesnicke-systemy-a-rychlerostouci-dreviny>

WEGER, Jan: *Výmladkové plantáže topolů a vrb* [online]. Biom.cz, 2011 [cit. 2021-02-05]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vymladkove-plantaze-topolu-a-vrb>

WHITFORD, Walter G., Benjamin D. LONAPPAN, Satinder Kaur BRAR a Shengmao YANG. Desertification: A review. *Ecology of Desert Systems* [online]. Elsevier, 2020, 371-395 [cit. 2021-03-06]. ISBN 9780128150559. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128150559000126>

WUEPPER, David, Pasquale BORELLI a Robert FINGER. *Countries and the global rate of soil erosion* [online]. Nature, 2019 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0438-4>

10.2 Obrázky

FREESE, D. *ALS (silvoorebný) s porosty RRD v Německu* [foto]. DeFAF, 2014 [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://agroforst-info.de/arten/baeume-und-acker/>

JACOBSON, Michael. *Štěpkovací harvester* [foto]. Bioenergy Extension Blog, 2017 [online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <http://nebioenergy.blogspot.com/2017/02/new-willow-harvester-in-action.html>

Lesní fréza [foto]. LDS.cz, 2015 [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.sluzby-levne.cz/technika/>

Pec Kon-Tiki [foto]. Ithaka institute, 2020 [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://docplayer.net/47937224-Kon-tiki-open-fire-cone-kiln.html>

Rýhová vodní eroze v místě soustředěného odtoku srážkové vody [foto]. VÚMOP v.v.i., 2016 [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/2404236-Ochrana-pudy-vody-a-krajiny.html>

Řezací sazeč Edegal [foto]. Edegal Maskinfabrik a.s., 2021 [online]. [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://egedal.dk/da/produkter/energy-planter>

10.3 Grafy

BASSO, Andres. *Procentuální rozložení ztrát a zadržetí vody vzhledem k množství dodané vody dle experimentu* [graf]. GCB Bioenergy, 2013 [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gcbb.12026>

BISTA, Praktiti. *Zastoupení půdních živin dle různých koncentrací biouhlu* [graf]. Agronomy, 2019 [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/10/623/htm>

Vývoj početnosti koroptve polní od 60. let [graf]. ČSO, 2012 [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.birdlife.cz/co-delame/vyzkum-a-ochrana-ptaku/ochrana-druhu/ptaci-zemedelske-krajiny/>

10.4 Statistická data

BŘENDOVÁ, Kateřina a kol. *Obsah živin v biouhlu dle vstupního materiálu* [statistická data]. Biom.cz, 2014 [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>.

NOVÁK, Jan. *Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva* [statistická data]. TZB-info, 2020 [online]. [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>

Potencionální ohrožení půdy acidifikací v ČR [statistická data]. Statistická ročenka ŽP, CENIA, 2018 [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/publikace/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr-2018/>

Potencionální ohrožení půdy vodní erozí v ČR [statistická data]. Statistická ročenka ŽP, CENIA, 2018 [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/publikace/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr-2018/>

SUN, Jingkuan et al. *Srovnání vlastností biouhlu vyrobeného z topolových pil s různými druhy slámy* [statistická data]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2014 [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651314001936?via%3Dihub>

WEGER, Jan a kol. *Informace o výsadbě a sklizni dřevin dle typu porostu* [statistická data]. VÚKOZ v.v.i., 2012 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.vukoz.cz/index.php/rychle-rostouci-dreviny/pestovani>

WEGER, Jan. *Rozloha plantáží vybraných druhů RRD v Evropě* [statistická data]. Biom.cz, 2011 [statistická data]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vymladkove-plantaze-topolu-a-vrb>

10.5 Legislativa

Vyhláška o katastru nemovitostí č. 357/2013 Sb. [online]. In: *Zákony pro lidi*, 2013 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-357>

Zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny č. 114/1992 Sb. [online]. In: *Zákony pro lidi*, 1992 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114>

Zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu č. 334/1992 Sb. [online]. In: *Zákony pro lidi*, 1992 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-334>