

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jakub KAŇKA
Osobní číslo: Z16517
Studijní program: B4131 Zemědělství
Studijní obor: Zemědělství
Název tématu: Environmentální dopady pěstování japonského topolu z pohledu emisí skleníkových plynů
Zadávací katedra: Katedra agroekosystémů

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování úvodního shrnutí a literární rešerše na téma pěstování japonského topolu se zaměřením na environmentální dopady a emise skleníkových plynů
2. Práce na běžícím maloparcelkovém pokusech ve dvou pokusných lokalitách
3. Stanovení rámce pro sledování emisí zátěže japonského topolu a vybraných srovnávacích energetických plodin metodou LCA
4. Sestavení řetězce technických a agrotechnických operací uvnitř zvoleného rámce a stanovení cyklů pěstování japonského topolu
5. Hodnocení emisí skleníkových plynů z pěstování vybraných energetických plodin
6. Vytvoření seznamu literatury v abecedním pořadí dle ČSN

Rozsah grafických prací: do 5 stran (tabulky, grafy, fotografická příloha)
Rozsah pracovní zprávy: 40-stran včetně příloh
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Cline, W., R. (2007). Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country, Center for Global Development and the Peterson Institute for International Economics, 98 p.

Fott, P., Pretel, J., a kol. (2003). Národní zpráva České republiky o inventarizaci emisí skleníkových plynů. ČHMÚ, 97 s.

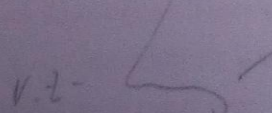
Kočí, V. (2009). Posuzování životního cyklu - Life cycle assessment LCA. Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim, 263 s.

Kalvová, J., Moldon, B. (1996). Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů. Karolinum Praha, 161 s.

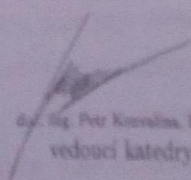
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.
Katedra agroekosystémů
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jaroslav Bernas
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2016
Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní materiál
Studentská 1508, 370 01 České Budějovice


prof. Ing. Miloš Šach, CSc., dr. h. c.
děkan

L.S.


doc. Ing. Petr Knevald, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. října 2016

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: Z16517 Zemědělství
Studijní obor: Zemědělství
Katedra: Agroekosystémů
Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Environmentální dopady pěstování japonské topolu z pohledu emisí
skleníkových plynů

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jaroslav Bernas, Ph.D.
Autor bakalářské práce: Jakub Kaňka

ČESKÉ BUDĚJOVICE

2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 22. 4. 2019

.....
Jakub Kaňka

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu této bakalářské práce, panu doc. Ing. Janu Moudrému, Ph.D., za jeho odborné rady, vstřícnost a ochotu při konzultacích a vedení této práce. Rovněž děkuji panu Ing. Jaroslavu Bernasovi, Ph.D. za výpočet v programu SIMA- PRO a pomoc při zpracování výpočtů použitých v bakalářské práci.

Dále bych chtěl poděkovat rodině a všem ostatním, kteří mě jakoukoliv cestou podporují při studiu.

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce „Environmentální dopady pěstování japonského topolu z pohledu emisí skleníkových plynů“ je vytvořit obecný přehled o pěstování rychle rostoucích dřevin, konkrétně pak Topolu japonského, literární rešerší. Dalším cílem je zpracovat výzkum zaměřený na vliv jeho pěstování na životní prostředí s ohledem na produkci skleníkových plynů, která je vyjádřena produkcí emisí oxidu uhličitého (CO₂ eq). Pro tento účel byl pro práci zpracován rámec veškerých operací a zásahů zahrnujících založení, ošetřování a následnou sklizeň plantáže. Pomocí těchto dat byla v programu SIMA - PRO vypočtena celková emisní zátěž z hlediska produkce CO₂ eq pro životní prostředí plynoucí z pěstování energetických plodin.

Keywords: biomasa, japonský topol, energetické plodiny, oxid uhličitý

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis „Environmental aspects of japan poplar growing - greenhouse gases emissions“ is to create a general overview of cultivation of fast-growing woody plants , specifically japan poplar, by literature study. Another objective is to elaborate a research focused on the environmental impact of its cultivation on greenhouse gas production, which is expressed by the production of carbon dioxide emissions (CO₂ eq). For this purpose, the scope of all operations and interventions including the establishment, treatment and subsequent harvesting of the plantation was elaborated in the range of this thesis. Using these data, the total emission burden for the environment in terms of CO₂ eq production resulting from the cultivation of energy crops was calculated in the SIMA - PRO program.

Klíčová slova: biomass, japan poplar, energy crops, carbon dioxide

Obsah

1 ÚVOD	9
2 LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
2.1 Obnovitelné zdroje energie	11
2.1.1 Biomasa.....	11
2.1.2 Dřevní biomasa	11
2.1.3 Energetické využití.....	12
2.2 Japonský topol – obecná charakteristika.....	12
2.2.1 Pěstování Japonského topolu	14
2.3 Výsadba.....	19
2.3.1 Údržba plantáže a porostu a nezbytná opatření při výsadbě	20
2.3.2 Regulace plevelů a ochrana proti škůdcům.....	21
2.3.3 Hnojení plantáže.....	22
2.3.4 Sklizeň (obmýetí) a obnova plantáže	22
2.3.5 Rušení a likvidace plantáže	24
2.3.6 Výnosový potenciál pěstování japonského topolu	25
2.3.7 Současnost a budoucnost pěstování japonského topolu v ČR	26
2.4 Technologie pěstování japonského topolu	27
2.4.1 Technologie krátkého obmýetí	27
2.4.2 Silvikultury.....	27
2.4.3 Lignikultury	28
2.4.4 Produkční potenciál lignikultur a silvikultur	29
2.4.5 Porosty sloužící k reprodukci.....	29
2.4.6 Reprodukce s využitím řízků	29
2.4.7 Reprodukce s využitím sazenic	30
2.4.8 Další možnosti pěstování japonského topolu	30
2.4.9 Porosty určené pro výrobu vlákniny	30

2.4.10 Energetický les	31
2.4.11 Využití japonského topolu v energetice	31
2.4.12 Mimoprodukční význam pěstování japonské topolu v krajině	32
2.5 Metoda LCA	32
2.5.1 LCA cyklus japonského topolu	35
3 CÍL PRÁCE	37
4 MATERIÁL A METODIKA	38
5 VÝSLEDKY A DISKUZE	41
6 ZÁVĚR	48
POUŽITÉ ZDROJE:	50

1 ÚVOD

V průběhu času, kdy docházelo k rozvoji lidstva a lidské civilizace vznikala čím dál tím větší nutnost odněkud čerpat energii. Nejstarším energetickým zdrojem, na který je prakticky od prvopočátku vázán život byl oheň. Jeho energie se využívá dodnes k vytápění různých objektů nebo k přípravě jídla. Hojné uplatnění nachází v moderní době i v těžkém průmyslu.

Problémem dnešní moderní doby je neustále větší potřeba energie. S tím vyvstává otázka kde jí čerpat? Obecně lze říci, že máme dva zdroje energie. Jedná se o zdroje obnovitelné a neobnovitelné. Mezi obnovitelné řadíme energii vody, větru, ohně, slunečního záření, geotermální energii atd. K neobnovitelným zdrojům patří v dnešní době stále hojně využívaná fosilní paliva a jaderná energie, avšak díky těmto zdrojům lidstvo stále získává více než 85% z potřebné energie. Problémem neobnovitelných zdrojů je jejich vysoká zátěž pro životní prostředí. Když pomíneme, že jejich zásoby jsou omezené a poměrně rychle se tenčí, spalováním fosilních paliv se do ovzduší uvolňuje velké množství oxidu uhličitého, který patří mezi hlavní skleníkové plyny. Rovněž při jejich těžbě dochází k velkým škodám pro přírodu a životní prostředí.

V současné době se do popředí zájmů mnoha států dostávají obnovitelné zdroje energie. Tyto zdroje jsou v mnoha zemích podporovány dotačními programy a dalšími zvýhodněními. Jedním z těchto zdrojů energie, který má perspektivní budoucnost je dozajista spalování biomasy. Biomasa je obecně chápána jako hmota rostlinné původu, která je buďto cíleně pěstovaná pro energetické využití, nebo jsou takto zpracovávány zbytky z různých průmyslových odvětví, jako je například dřevozpracující průmysl. Jedná se o moderní palivo, které je zároveň šetrné k životnímu prostředí. Nespornou výhodou je, že se jedná o jakýsi uzavřený systém. Při spalování biomasy se totiž uvolní do ovzduší právě tolik oxidu uhličitého, kolik ho rostlina přijala během svého růstu. Podstatnou výhodou této formy energie tedy je, že spalováním nedochází ke zhoršování skleníkového efektu.

Za zvýšený zájem o obnovitelné zdroje energie může do značné míry ropná krize, která propukla v 70. letech 20. století. Již tehdy spoustě obyvatelům došlo, jak je celý systém, postavený na fosilních palivech zranitelný a v důsledku toho začalo docházet k cílenému vysazování rozlehlých smrkových porostů, které byly v té době rychlým zdrojem dřevní hmoty. Dnes již máme mnohem výkonnější zdroje dřevní biomasy. Jedná se o různé klony dřevin rodu *Salix* a *Populus* (vrby a topoly). Tyto dřeviny jsou obecně známé jako rychle rostoucí a pěstují se na takzvaných výmladkových plantážích.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Obnovitelné zdroje energie

V současnosti je problémem, že pouze zlomková část vyprodukované energie je vyrobena z obnovitelných zdrojů. Podle Polaneckého (2015) je přibližně pouhých 12 % energie získáváno z obnovitelných zdrojů, zbytek vyrobené energie je ze spalování fosilních paliv, nebo jaderné energie. Není rovněž brán ohled na vzniklé škodliviny a nebezpečí, které souvisí s touto produkcí. Z hlediska budoucnosti mají tak obnovitelné zdroje energie velký potenciál z důvodu dohledné vyčerpatelnosti fosilních energetických zdrojů (Malaťák, 2008).

Obecně se jedná o nefosilní zdroje, jejichž využití je v souladu s přírodou a nedochází k produkci škodlivých látek jako u spalování fosilních paliv, která jsou sice levnější, ale jejich zásoby jsou omezené. Mezi obnovitelné zdroje energie řadíme energie vody, větru, slunečního záření, geotermální energii a v neposlední řadě také energii získanou z biomasy (Koloničný, 2010).

2.1.1 Biomasa

Biomasou je označována organická hmota rostlinného a živočišného původu. Pro energetické účely jsou ve formě biomasy buďto zpracovávány zbytky z lesní, průmyslové a zemědělské výroby, nebo je jsou určité plodiny za tímto účelem pěstovány (Cenka et al., 2001). Z hlediska zaměření této práce bude více popisována dřevní biomasa.

2.1.2 Dřevní biomasa

Dřevo patří mezi obnovitelné zdroje energie a řadíme ho mezi jeden druh biomasy (Malaťák, 2008). Dřevní biomasu lze využít prakticky jediným způsobem a to je spalování. Jedná se o nejstarší způsob sloužící k získávání energie, při kterém se do ovzduší uvolní právě tolik oxidu uhličitého, kolik ho rostlina během svého růstu akumuluje pomocí fotosyntézy (Scragg, 2009). Podle obchodních parametrů je dřevní biomasa rozdělena podle velikostí a způsobu výroby.

Nejmenší kategorii tvoří piliny, které mají velikost 1 – 5 mm a vznikají při řezání dřeva ostrými nástroji. Dále sem řadíme hobliny s velikostí 1 – 30 mm, vznikající hoblováním dřeva. Mechanickým stlačením dřevních zbytků vznikají pelety a brikety. Pelety jsou částice s velikostí do 25 mm, pokud jsou částice větší, označují se jako brikety. Velice často se nyní setkáváme na trhu s dřevní štěpkou.

Ta vzniká řezáním pomocí ostrých nástrojů na velikost 5 – 100 mm. Poslední kategorií je palivové dřevo, které má velikost nad 100 mm (Lyčka, 2011).

Štěpka je do jisté míry obtížně skladovatelný materiál. Pověšinou je vlhčího charakteru, což s sebou nese určité problémy při skladování. Ve velkých vrstvách může dojít k samozáhřevu, až samovznícení. Je tedy dobré skladovat štěpku s nižší vlhkostí, v případě vlhčí štěpky pak pravidelně kontrolovat teplotu a patřičně provzdušňovat, popřípadě rozhrnout, aby nebyla v příliš velké vrstvě (Cenek, 2001).

2.1.3 Energetické využití

Jak již bylo řečeno výše, nejstarší a nejpoužívanější metoda využití dřevní biomasy je její spalování. Jedná se o termochemický proces s téměř nulovou produkcí skleníkových plynů (Malat'ák, 2008). Samotný spalovací proces lze rozlišit na 3 základní fáze. Patří sem: sušení, pyrolýza a spalování. Spalování lze ještě rozlišit na spalování plynné složky a spalování pevných látek (Cenek, 2001). Sušení je proces, při kterém se buďto samovolně postupem času, nebo pomocí různých metod snižuje v dřevní hmotě obsah vody. Čím menší procento vody je obsaženo v dřevní hmotě, tím je vyšší výhřevnost.

Pyrolýza je stav, kdy se při zahřívání dřevní hmoty dosáhne zápalné teploty při současném dostatku kyslíku. Tím dojde k uvolnění hořlavých plynů a počátku procesu spalování. Hořlavé plyny slouží při spalování k prodloužení plamene a ke zvýšení teploty. Aby došlo ke kvalitnímu spálení veškeré pevné složky, je potřeba dostatečný přístup kyslíku (Cenek, 2001). Proces hoření je charakteristický produkcí oxidu uhelnatého, který dále oxiduje na oxid uhličitý (Scragg, 2009).

Obnovitelnost tohoto zdroje energie spočívá ve zpětném poutání oxidu uhličitého rostlinami při fotosyntéze. Spalováním rovněž vzniká popel, který se dá využít jako cenné hnojivo. V případě plantáží rychle rostoucích dřevin by popel z vytěžené a následně spálené hmoty měl přijít jako hnojivo zpět na konkrétní pozemek.

2.2 Japonský topol – obecná charakteristika

Japonské topoly patří do čeledi vrbovitých (*Salicaceae*) a řadíme je společně s vrbami do kategorie takzvaných rychle rostoucích dřevin. Obecně se u nás vžilo jejich pojmenování Japany. Obecně se jedná o velice variabilní skupinu dřevin.

Díky vzájemnému křížení a šlechtění se u vybraných druhů dosáhlo vysoké produkční hodnoty a odolnosti (Celjak, 2007).

První zmínky o pěstování japonského topolu na území České republiky jsou z roku 1990. Tou dobou se k nám dostaly z Rakouska první dva klony topolů, vzniklých křížením druhů topol černý (*Populus nigra*) a topol Maximovičův (*Populus maximowiczii*).

Známé jsou pod označením J – 104 a J – 105. Oba druhy se vyznačují vysokou produktivitou, která je dána především vysokou produkcí biomasy (vysoký přírůstek), dále jsou relativně nenáročné na prostředí a jsou dobře odolné vůči patogenům a škůdcům. Jejich řízky vynikají svou vysokou ujímavostí, což je z hlediska množení a rozšiřování porostů zásadní fakt (Čížek, 2007).

Přírůstky během prvního roku by měli dosáhnout minimálně 0,7 m, v praxi se ale obvykle pohybují v rozmezí 1,3-2,1 m. Důležitým faktorem ovlivňující přírůstek jak v prvním, tak i následujících letech je především volba vhodného stanoviště, jeho příprava a odpovídající péče o porost (Čížek, 2007). Většina jedinců dosahuje v rámci jednoho obmýetí, které je v našich podmínkách průměrně 6 let výšky v průměru okolo 10 metrů, výjimečně až 14 metrů (Trnka et al., 2008). Objemový přírůstek v první obmýetí je pak v ideálních případech až 7,5 t/ha v sušině (Čížek, 2007).

Kromě japanů existují i další doporučené klony topolů vhodných pro naše klimatické podmínky. Z hlediska zaměření této práce zde nebude uveden kompletní seznam registrovaných doporučených druhů, pouze vybraní zástupci. Kompletní seznam je k nalezení na stránkách ministerstva zemědělství ve Věstníku s platností od dubna roku 2014. Následuje seznam vhodných klonů rozdělený podle země původu:

- USA:
 - 'Androscoggin' (*Populus maximowiczii* x *P. trichocarpa*)
 - 'Oxford' (*Populus maximowiczii* x *P. berolinensis*)
 - 'NE 44' (*Populus maximowiczii* x *P. berolinensis*)
- Velká Británie:
 - 'P - 468' (*Populus trichocarpa* x *P. koreana*)
- Polsko:
 - 'P - 473' (*Populus deltoides* x *P. trichocarpa*)
- Holandsko:
 - 'NL-B-132b' (*Populus* x *euroamericana*)

- Česká republika:
 - 'P-410' totožný s 'P-412' (*Populus nigra* x *P. simonii*)
- bývalý Sovětský svaz:
 - 'Gomel 2' (hybrid blíže neurčeného balzámového topolu)

Dle Čížka (2007) se jako perspektivní klony v našich podmínkách osvědčily klony Androscoggin a Oxford. Další výše zmíněné klony nedosahovaly požadovaných výnosů či se nehodily pro naše klimatické podmínky.

2.2.1 Pěstování Japonského topolu

Tak, jako pro pěstování jakékoliv jiné plodiny je velice důležitá volba stanoviště. Obecným problémem je u nás jistá neznalost a neinformovanost především malých pěstitelů. V takových případech jsou plantáže zakládány na méně vhodných až nevhodných stanovištích, což se negativně projevuje na budoucím výnosu. V případě, že se plantáž zakládá na lokalitách méně vhodných, je potřeba věnovat mnohem větší pozornost výběru vhodného klonu. V následujících kapitolách budu uveden celý cyklus počínaje výběrem vhodného klonu dřeviny a stanoviště, údržby v době vegetace až po sklizeň a finální likvidace plantáže.

2.2.1.1 Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin

Tento termín nejčastěji označuje plantáže, na kterých se pěstují rychle rostoucí dřeviny, mezi které řadíme především topoly a vrby. Rychle rostoucí dřeviny jsou dřeviny, které se vyznačují rychlým nárůstem dřevní hmoty za relativně krátkou dobu. Pojmenování plantáží je odvozeno od schopnosti dřevin tvořit tzv. výmladky. Jedná se o přirozenou formu obnovy porostu růstem výmladků z pařezu po obmýtí. Obmýtím rozumíme rozmezí 3 – 7 let, kdy dochází ke sklizni. Životnost plantáží se průměrně pohybuje kolem 25 let, z jedné plantáže je tedy možné mít kolem 5 sklizní. Počet obmýtí se většinou odvozuje od produkčního potenciálu stanoviště, v době kdy začne výnos výrazněji klesat je čas na likvidaci plantáže (Fischer et al., 2010). Při sklizni je důležité vyvarovat se zbytečnému a nadměrnému poškození zbývající části rostliny. Jen tak je zajištěna dobrá schopnost obnovy porostu. Výhodou je již existující kořenový systém, který zajišťuje velice rychlou obnovu porostu.

2.2.1.2 Systémy pěstování

V zásadě existují tři technologie pěstování, patří mezi ně systém minirotače, midirotače a maxirotače. Tyto technologie se od sebe odlišují v délce obmýetí, s čímž rovněž souvisí spon výsadby a objem jednotlivých kmenů.

U minirotače dochází ke sklizni v cyklu 5 let při průměru kmene kolem 10 cm, roční výnos dosahuje až 20 t/ha. Při systému midirotače se sklízí v cyklu 10 let, kdy průměr kmene je asi 12 cm a výnos se pohybuje kolem 8 – 14 t/ha. K nejdelšímu obmýetí dochází u maxirotače. Zde se sklízí po 20 letech při průměru kmenů 20 – 30 cm a výnosu do 10 t/ha (Kozáček, 2009). Pro dosažení maximálních výnosů je doporučeno pěstovat topoly v nadmořské výšce 300 – 600 metrů.

Se stoupající výškou se obvykle prodlužuje doba obmýetí (Čížek, 2007). Následující tabulka uvádí rozdíly a produkty jednotlivých technologií, včetně sponu výsadby.

Tab. 1. Základní parametry jednotlivých typů porostů rychle rostoucích dřevin (Weger a Havlíčková, 2003)

	Mateční ce RRD	Výmladková plantáž RRD	Lignikultur a
Obvyklé obmýetí	1 rok	3–6 let	15–25 let
Opakování	ano 10–15×	ano 4–7×	není možné
Zakládání na půdě	zemědělské (orná i TTP)	zemědělské (orná i TTP)	lesní
Sortiment dřevin pro výsadbu	topoly, vrby a jiné dřeviny dle pokynů MZe, MŽP a (nových)	topoly, vrby a jiné dřeviny dle pokynů MZe, MŽP a (nových) předpisů ÚKZÚZ	topoly dle seznamu uznaných klonů OLH MZe
Hustota výsadby	10 000–20 000 ks/ha	6 000–15 000 ks/ha	800–2 000 ks/ha
Cílový produkt	řízky pro zakládání výmladkových	štěpka pro energetické využití	sortimenty pro dřevařský průmysl
Výnos za celou existenci porostu	100–500 tis. řízků/ha/rok	5–19 t/ha/rok (sušiny)	500–600 m³/ha/20– 25 let (9–11 t/ha/rok

Z tabulky je patrné, že s rostoucí dobou obmýetí potřebuje strom více prostoru pro svůj růst, je tedy potřeba snížit hustotu výsadby.

Rovněž se dá říci, že pokud je dřevina pěstovaná na budoucí dřevařskou výrobu, porost je sice kvalitnější z hlediska budoucího uplatnění, avšak klesá výnos. Technologicky největší hustota porostu je u plantáží matečnic, kdy je sklizeň každoroční a rostlina tak potřebuje minimum prostoru v porovnání s ostatními technologiemi.

2.2.1.3 Výběr vhodného stanoviště

Jak již bylo zmíněno výše, volba optimálního stanoviště je jedním z klíčů k úspěchu. Každý druh má lehce odlišné požadavky, co se hladiny podzemní vody, typu půdy, hnojení a dalších věcí týče, avšak obecně jsou požadavky dosti podobné. Jedním z nejdůležitějších podmínek pro růst je dostatek vody. V případě že je potřeba vody pokryta dostatečnými a častými srážkami, není až tak důležitý půdní typ. Pokud je ovšem hlavním zdrojem podzemní voda, či je srážek nedostatek, je dobré se vyhnout štěrkovým, či písčitým půdám z důvodu špatného vodního režimu. Hladina spodní vody by se ideálně měla pohybovat v rozmezí 1 – 2 metru, roční úhrn srážek potom minimálně 600 mm. Obecně topolům vyhovuje spíše přebytek vody, než její nedostatek. Některé druhy snesou zaplavení porostu až po dobu 1 měsíce (Níkl, 2012).

Topoly příznivě reagují na obsah půdního vzduchu, je tedy dobré vyhnout se půdám utuženým a náchylným k utužení. Plantáže jsou obvykle založeny na dlouho dobu, jakékoliv dodatečné kypření kromě povrchového tak není po založení již možné (Hanzák a Potůček, 2010). Za nejlepší ukazatel vhodnosti pozemku je považován kód BPEJ (bonitovaná půdně ekonomická hodnota). BPEJ je charakterizován pětímístným číselným kódem, který udává klimatickou a půdní charakteristiku, které hrají důležitý faktor v půdní úrodnosti. Kód slouží také k udávání ekonomické hodnoty pozemku (Čížková et al., 2006). Pastorek et al., (2004) charakterizuje ideální místo pro založení plantáže takto:

- dostatečná výška orniční vrstvy (minimálně 30 cm),
- nadmořská výška do 500 m,
- minimální roční průměr teplot přes 7 °C,
- hladina spodní vody ideálně v rozmezí 60 – 120 cm,
- minimální hodnota pH 5,5

Mezi spíše již organizační a technologické vlastnosti pak patří přístup techniky na pozemek.

Je důležité si uvědomit, že sklizeň rychle rostoucích dřevin probíhá vždy v zimě, tedy v době vegetačního klidu, dobré je tedy zakládat plantáže v blízkosti zpevněné komunikace (Stupavský 2009). Podle Wegera (2012) je dobré pro volbu stanoviště vycházet z výnosových map nacházejících se na stránkách geoportálu MŽP. Do jaké míry ovlivňuje volba vhodného stanoviště produkční potenciál topolů, uvádí následující tabulka.

Tab. 2 Vliv stanoviště na produkci rychle rostoucích dřevin (Weger, 2012)

Klony RRD	Příznivá stanoviště $t_{(suš.)}/ha/rok$	Nepříznivá stanoviště $t_{(suš.)}/ha/rok$
Nejlepší klony Jap105 S-218, S-195, S-117, S-337	13,7 – 14,9 (max. při třetí sklizni 22,2)	2,9 – 5,3
Průměrné klony P-Oxford-494, S-albCar-639, S-smithD-383, S-capwin-704, S-vimMoš-310,	6,9 – 9,2	2,5 – 4,4
Podprůměrné klony	5,5 – 8,1	0,7 – 3,6

Z tabulky je patrné, že i při volbě nejlepšího klonu umístěného do špatného stanoviště nelze dosáhnout uspokojivého výnosu. Výnos pak klesá na polovinu, někdy ještě níže. Kombinace špatně zvoleného stanoviště a nevhodného klonu ukazuje naprosto zanedbatelný výnos. Z hlediska ekonomické rentability pak tato chyba znamená jistou finanční ztrátu.

2.2.1.4 Výběr klonu a příprava k výsadbě

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, volba vhodného klonu je velice zásadní pro úspěšné založení perspektivního porostu. Ve většině případů jsou plantáže zakládány u nás na pozemcích spíše méně vhodných pro rychle rostoucí dřeviny, o to větší důraz je potřeba dát na výběr klonu dřeviny. Pro Českou republiku existuje seznam doporučených druhů topolů, který obsahuje 22 klonů.

Před samotnou výsadbou je potřeba provést ještě několik kroků. Mezi první patří získání patřičného povolení od Ministerstva životního prostředí. Dále je potřeba zažádat katastrální úřad o dočasné vyjmutí půdy ze zemědělského půdního fondu. Tato žádost je rovněž nezbytná pro založení porostu rychle rostoucích dřevin. Dalším krokem je pak zajištění pozemku pro výsadbu.

Nejlepší je založit porost na vlastní pozemku, v případě, že se jedná o pozemek pronajatý, je potřeba sepsat patřičnou smlouvu. V budoucnu se tak vyhneme problému, že nám bude smlouva předčasně vypovězena, což by znamenalo předčasnou likvidaci porostu (Kohout a kol., 2010).

V případě, že máme výše zmíněné záležitosti vyřešené, je možné přistoupit k nákupu řízků, či sazenic a začít s přípravou pozemku.

2.2.1.5 Příprava sadebního materiálu

Existují dva způsoby, jak založit porost. Jedním z nich je výsadba jich vzrostlých, zpravidla dvouletých sazenic. Výhodou je rychlejší počáteční růst a snazší regulace porostu, takto vysázené stromky zpravidla dokáží již velice dobře konkurovat plevelu tím, že jej brzy zastíní a tím zahubí. Nevýhodou je větší pracnost při výsadbě a také vyšší cena sadebního materiálu, která se pohybuje kolem 15 Kč za kus, cena jednoho řízku je asi 3 koruny za kus (Nikl, 2012). Druhým a v praxi častěji uplatňovaným poustup je výsadba řízků.

Řízky získáváme z porostů matečnic ořezáním jejich jedno až dvouletých výhonů, které později krátime na požadovanou délku (Weger, 2003). Délka řízků je většinou zhruba 20 cm a průměr 0,5 – 2,5 cm s tím, že klíčový prvek pro úspěšný růst je, aby měl minimálně 2 pupeny, ideální počet je v rozmezí 2 – 5 pupenů (Fajman, 2013). V případě, že porost zakládáme na sušší lokalitě, je vhodné volit větší délku řízku z důvodu čerpání spodní vody.

Uchování řízků by mělo být ve vlhkých a chladných místech. Před samotnou výsadbou by měli být řízky máčeny minimálně jeden den ve vodě, aby došlo ke zvýšení jejich vlhkosti a tím se podpořil počáteční růst (Nikl, 2012).

2.2.1.6 Příprava pozemku

Při přípravě pozemku je zásadní vycházet z toho, že pozemek nepřipravujeme na jedno vegetační období, jak je tomu u většiny klasických zemědělských plodin, nýbrž řádově na desítky let.

Ukazatelem, od kterého se příprava nejčastěji odvíjí, je aktuální zaplevelení pozemku. Plevelé jsou nežádoucí z hlediska konkurenční schopnosti vůči topolům jednak z důvodu zastínění, tak i odběru vody a živin potřebných pro růst. V případě velkého zaplevelení je dobré zahájit likvidaci plevelů klidně i dva roky dopředu (Níkl, 2012).

Nejčastější formou přípravy pozemku je jednorázová aplikace totálního herbicidu na podzim, následované po zhruba 3 týdnech orbou (Weger, 2003). Hloubku orby volíme podle půdního typu a aktuálního utužení, minimálně by však měla být alespoň 20 – 25 cm, tedy do hloubky, do které zapichujeme řízky. U utužených pozemků je lepší provést hlubokou orbu (tzv. rygolování), nebo hloubkové kypření z důvodu lepšího vzdušného režimu půdy (Čížková a kol., 2006). Na jaře provedeme již pouze urovnání pozemku. Bohatě postačí příprava pozemku bránami nebo ideální kombinací společně s disky, které zajišťují navíc lehké utužení povrchu pozemku, což je pro topoly z hlediska dobrého vzcházení žádoucí fakt.

2.3 Výsadba

Výsadbu je možno provést jak v jarním termínu, tak i podzimním. Co se ale podzimního termínu týče, prakticky se na území České republiky nepraktikuje (Kouhout, 2010). Při pokusech totiž docházelo k velkým ztrátám, konkrétně u topolů dosahovali až 40% (Níkl, 2009).

Nejvyužívanější termín pro naše podmínky je tedy termín na jaře. Podle aktuálního průběhu počasí je pak ideální termín od března až do poloviny května, což jsou dva mezní termíny. Nedoporučuje se výsadbu příliš odkládat, protože později již nejsou tak dobré vlhkostní podmínky pro zakořeňování. Ideálně by měla výsadba proběhnout, jakmile rozmrzne půda a pro zakořeňování jsou tedy ideální vlhkostní podmínky. Teplota půdy by se měla pohybovat kolem 5 °C (Weger, 2013). Z hlediska výsadby je důležité i to, pro jakou formu se rozhodneme. Při výsadbě ruční nejsme až tak závislí na případném zamokření, při výsadbě mechanizované musíme vyčkat, než podmínky dovolí bezproblémový pohyb mechanizace po pozemku, ani by došlo ke zbytečnému utužení pozemku, či zamazání sazenic blátem.

V závislosti na využívané mechanizace pro sázení a následné obhospodařování volíme i spon výsadby.

V prvních letech se jako optimální regulace plevelů využívá mulčování a kypření půdy, šířka výsadby tedy musí umožnit průjezd odpovídající mechanizace (Fajman, 2013). V podstatě rozlišujeme dva základní typy výsadby:

-jednořádky ve sponu (0,3 – 0,5 m) a (1,5 – 3 m),

-dvouřádky ve sponu (0,75 x 0,75 m) a (1,5 m).

Zde je opět rozhodujícím faktorem konkrétní využití stanoviště. Pro matečnicové porosty se využívá sponu (0,25 – 0,5 m) a (1,5 – 2 m).

Zvolený spon je ovšem velice individuální a vždy záleží na rozhodnutí každého pěstitele (Nikl, 2012). Pokud volíme pěstování na dřevní kulatinu, je potřeba zvětšit rozestup mezi jedinci v řádku, doporučuje se až 0,7 m (Špatenka, 2015). Podle zvoleného sponu výsadby se počet jedinců na jednom hektaru pohybuje nejčastěji v rozmezí 7000 – 10 000 (Čížková a kol., 2006).

Při výsadbě řízků by nad zem mělo vyčuhovat asi 2 – 3 cm z řízku, vždy musí být nad zemí alespoň jeden pupen. Půdu kolem řízku je dobré lehce utužit přišlápnutím, nebo mechanicky, aby došlo k dobrému zakořenění.

2.3.1 Údržba plantáže a porostu a nezbytná opatření při výsadbě

Údržba plantáže a odpovídající péče je klíčem k úspěchu. Je potřeba pečovat o dobrý zdravotní stav stromu, hlídat a případně regulovat výskyt škůdců.

Zejména v prvních letech je zapotřebí pravidelně provádět regulaci plevelů. Plantáž lze rovněž přihnojovat, avšak v našich podmínkách se z ekonomických důvodů hnojení většinou neprovádí.

Pokud chceme založit plantáž s rychle rostoucími dřevinami, je nezbytnou podmínkou obehnat ho, popřípadě i rozčlenit na menší kusy využitím izolačních pásů dřevin. Důvodem je jednak snaha o přirozené začlenění porostu do prostředí, ale hlavně snaha vytvořit jakousi bariéru bránící v případném šíření reprodukčních orgánů těchto nepůvodních, uměle vysazovaných druhů (Weger, 2003).

V podstatě lze využít jakéhokoliv pásu domácích druhů dřevin. Nejlepší variantou je vysadit původní druhy topolů, nebo vrb. Tyto druhy je pak rovněž možno sklízet v rámci celkového obmýtí plantáže a hlavně je lze vysadit z řízků, což při zakládání znamená velkou úsporu času a financí (Kohout et al., 2010).

2.3.2 Regulace plevelů a ochrana proti škůdcům

Regulaci plevelů je potřeba provádět zejména v prvním roce, v dalších letech, kdy dojde k zapojení porostu topolů, již zpravidla není potřeba provádět tak četné zásahy potlačující růst plevelů. V prvním roce se doporučuje dle aktuálního stavu pozemku provádět kultivaci meziřádků až 5x, v dalších letech četnost klesá (Celjak, 2007). Regulaci plevelů obvykle provádíme, dokud porost topolů nedosáhne výšky 2,5 m, poté už vlivem uzavření porostu a zastínění povrchu pod stromy nedochází k růstu plevelů. Vždy je lepší volit mechanickou ochranu před chemickou.

Topoly jsou velice náchylné na přípravky hubící plevele, proto při chemické ochraně je velké riziko retardace, či úplného zničení porostu (Nikl, 2012, Weger, 2000).

Z hlediska škůdců se lze setkat s polámáním a okusem stromů od zvěře, houbovými onemocněními porostu a rovněž škodí i hmyzí škůdci. Co se zvěře týče, jediná možná efektivní obrana je oplocení plantáže, což je finančně nákladné. Využití různých zvukových plašicích zařízení, nebo chemických přípravků odpuzujících zvěř se v praxi příliš neosvědčilo.

Obecně největší škody působí zvěř. Mladé stromky používá k vytloukání paroží, čímž je značně poškozuje. V důsledku vnějšího poškození pak jako sekundární jev může být vniknutí houbových patogenů do vzniklé rány (Nikl, 2012). Škody způsobené zvěří jsou obvyklé při stáří porostu do dvou až tří let, pak již většinou z důvodu velikosti stromů ke škodám nedochází. U stromků, kde dojde k poškození kůry po celém obvodu, dochází k zaschnutí. V dobrých podmínkách však topoly znovu raší od prvního nepoškozeného pupenu (Kohout et al., 2010). U takto poškozených a znovu obrostlých stromků je problém, že jsou oproti zbylému porostu opožděné a může dojít k jejich zastínění a definitivnímu úhynu.

Mezi významné patogeny patří zástupce rzi, rod *Melampsora* (Čížová, 2011). Dalším významným škůdcem napadajícím mladé letorosty je houbová choroba *Cryptodiaporthe populea*, způsobující onemocnění dotichýza. Mezi virové choroby řadíme mozaiku topolů a odlupčivost kůry (Lipowská, 2011). Do hmyzích škůdců patří mandelinka topolová (*Melasoma populi*) a kozlíček topolový (*Saperda carcharias*) (Čížková, 2011).

Nejlepší ochranou je jednoznačně prevence a pečlivé, pravidelné sledování stavu porostu. Ideální je jakýkoliv negativní zaznamenaný vliv podchytit co nejdříve, než dojde k větším škodám, či rozšíření do celého porostu.

2.3.3 Hnojení plantáže

Hnojení se příliš často v našich podmínkách neprovádí. Důvod je jednoduchý, snížení finančních nákladů. Většina stanovišť je navíc živinami zásobena dostatečně, hnojení má tedy význam pouze o opravdu chudých pozemků.

Pokud se přesto rozhodneme plantáž přihnojit, bohatě postačí aplikace 100 kg čistého N/ha. Tuto dávku je možno aplikovat v rámci přípravy před sadbou, nebo častěji, až po prvním obmýtí.

V tomto případě je pak dobré provést hnojení co nejdříve, než dojde k zapojení porostu a tím znemožnění pohybu potřebné techniky po pozemku (Fajman, 2013). V zahraničí se pro přihnojování často využívá odpadních vod. Tento systém dodá rostlinám potřebné živiny a zároveň poslouží jak závlaha. Navíc se jedná o levný a efektivní princip čištění vody. Je potřeba pouze dbát, aby voda nebyla nevhodně mechanicky a mikrobiálně znečištěna.

2.3.4 Sklizeň (obmýtí) a obnova plantáže

K obmýtí, tedy sklizni topolů pěstovaných na plantážích dochází v závislosti na podmínkách v cyklu 4 – 6 let (někteří autoři uvádějí horní hranici 7 let). Tato doba se nazývá jako tzv. velmi krátké obmýtí. Uvažujeme-li tedy celkovou životnost plantáže v průměru kolem 25 let, ke sklizni dojde v závislosti na zvolené délce obmýtí až 5krát. V podmínkách České republiky je hranice 4 let uváděna jako absolutní minimum. Nejčastěji ke sklizni dochází po 5 letech, v nepříznivých podmínkách lze v závislosti na využívané sklízecí mechanizaci a konkrétním klonu topolu prodloužit až na 8 let (Celjak, 2007).

Jelikož jsou rychle rostoucí topoly speciálně vyšlechtěné klony a tedy pro krajinu nepůvodní, je nezbytné, aby ke sklizni došlo dříve, než dojde k vytvoření generativních orgánů a tím „volnému“ rozšíření druhu do volné přírody.

O sklizni do jisté míry rozhoduje i současná situace na trhu. V případě, že je nedostatečná poptávka po dřevní hmotě (nejčastěji v tomto případě dřevní štěpka) například v důsledku mírné zimy, je možné sklizeň o rok, či v případě nutnosti i o více let odložit (Weger, 2003).

Samotná sklizeň se provádí v zimních měsících, nejčastěji od prosince do března z důvodu nejnižšího obsahu vody v rostlinném pletivu. Rovněž je tou dobou volná potřebná mechanizace a lidské pracovní síly (Weger, 2000).

Nejvhodnější je sklízet v době mrazů, kdy je půda zmrzlá a umožňuje tak bezproblémový pohyb techniky využitě pro sklizeň po pozemku (Čížek, 2007).

V podstatě využíváme dvě odlišné technologie sklizně:

1) Pořezání a snopkování (neboli vícefázová sklizeň) – v rámci této technologie lze volit mezi ruční a mechanizovanou sklizní. Prvním krokem je podřezání stromů pilou a jejich vázání do snopů. Ty je ideální umístit na kraj pozemku, aby při další manipulaci nedocházelo k poškození obrůstající plantáže. Tato sklizeň je však velice pracná a proto se hodí jen pro menší pozemky.

Pro větší pozemky je vhodné využít speciálního stroje, který podřezává stromky a váže je do snopků (Weger, 2003). Snopky se pak nechávají ležet na okraji pozemků z důvodu proschnutí, nebo jsou rovnou odváženy do místa konečného zpracování, kde se nechávají proschnout a až pak jsou zpravidla štěpkovány. Proschnutí snopků by mělo trvat v průměru kolem 6 měsíců, výsledná vlhkost se potom pohybuje mezi 20 – 30 %. Výslednou štěpku lze využít pro okamžité spalování (Špatenka, 2015).

2) Pořezání a štěpkování (neboli jednofázová sklizeň) – zahrnující sklizení speciálními, nebo upravenými stroji. Sklizeň probíhá podříznutím a okamžitým štěpkováním stromků, ke kterému dochází buď ručním vkládáním do traktorem taženého štěpkovače, nebo v rámci jedné operace. Nejčastěji se pak využívá sklízecí řezačky se speciálním adaptérem pro štěpkování dřevní hmoty. Takto vzniklá štěpka je rovnou ukládána na traktor s přívěsem pohybující se po boku řezačky (Celjak, 2007). O využití technice rozhoduje průměr sklízených stromků, řezačky se nejčastěji využívají do tloušťky kmene okolo 10 cm, avšak poradí si i s většími. Podle výrobců řezaček je pak maximální průměr kmene až 15 cm.

Tato sklizeň je sice méně náročná na práci a manipulovatelnost, avšak vzniklá štěpka má podstatně vyšší obsah vody. Vlhkost štěpky se pohybuje v rozmezí 45 – 50%.

Obsah vody má velký vliv na výhřevnost štěpky, s rostoucím obsahem vody výhřevnost klesá. Část vzniklé energie se totiž využívá k odpaření přebytečné vody, což je nežádoucí, proto je vždy lepší nechat štěpku před spalováním dobře proschnout. Do jaké míry ovlivňuje množství vzniklého tepla obsah vody v sušině, uvádí následující tabulka.

Tab. 3 Výhřevnost dřevní hmoty v závislosti na obsahu vody v sušině (Celjak, 2010)

Obsah vody (%)	Výhřevnost čisté dřevní hmoty (MJ/kg)
5	18,4
10	17,31
15	16,21
20	15,11
25	14,01
30	12,92
35	11,82
40	10,72
45	9,63
50	8,53
55	7,43
60	6,33

Jelikož jsou plantáže založené na delší dobu, je nezbytné provést kroky k její úspěšné regeneraci a co nejrychlejšímu opětovnému růstu stromků. K regeneraci dochází z pupenu, které vyrůstají na pařezu, z tohoto důvodu je dobré ponechat pořezy dostatečně vysoké, ideálně kolem 50 cm, což nám usnadní při následném obrůstání regulaci plevelů. Již při samotné sklizni je potřeba dbát, aby nedošlo ke zbytečnému poškození pařezů. Tak jako při založení plantáže je opět potřeba provádět regulaci plevelů. Doporučuje se provést i přihnojení plantáže, avšak v praxi se příliš nevyužívá. Růst stromků už je znatelně rychlejší díky již dobře rozvinutému kořenovému systému (Čížek, 2007).

2.3.5 Rušení a likvidace plantáže

Kolem 25 let životnosti plantáží již dochází k vyčerpání stromů a půdy a nastává tedy doba pro zrušení a následnou likvidaci plantáže.

Likvidace musí proběhnout pečlivě, aby bylo možné půdu navrátit zpět do zemědělského půdního fondu. Předtím, než se tak stane, provede Ministerstvo životního prostředí patřičnou kontrolu (Weger, 2000).

Ke zrušení plantáže by mělo dojít co nejdříve po poslední sklizni. Samotná likvidace zahrnuje odstranění nadzemních částí rostlin – pařízků a rovněž likvidaci kořenového systému. Uvádějí se dva možné způsoby likvidace. Prvním je trhání pařezů pomocí neseného rozrývače. Touto cestou je možné odstranit zbytky rostlin až do hloubky 50 cm.

Druhou možností je odstranění pařezů a do jisté míry i kořenového systému s využitím frézy, která je tažena za traktorem. Při této variantě není kořenový systém odstraněn do potřebné hloubky, proto je nutné provést ještě hlubokou orbu, která zajistí odstranění a rozrušení zbytků kořenu. Likvidaci kořenového systému je potřeba věnovat velkou péči, musí dojít k odstranění, nebo k silnému narušení kořenů na celém pozemku. Pokud by tento úkon byl vynechán, hrozí opětovné zapojení porostu topolů až z hloubky 25 cm, což je z hlediska následujícího využití pozemku nežádoucí (Kohout et al., 2010). Dříve uváděný názor, že je kořenový systém dobré ponechat jako drenáž a provzdušnění půdy byl již vyvrácen. Ponechání kořenů jako provzdušňovací vrstvy má význam pouze u hlubokých kořenů (Nikl, 2012). Kořeny jsou rovněž významným zdrojem dřevní biomasy. Pokusy bylo zjištěno, že kořenové dřevo má vyšší výhřevnost než nadzemní části stromů a z tohoto důvodu je výborným palivem. K vytrhávání kořenů se nejčastěji používají silné, nejlépe pásové traktory, nebo různé speciální vrtáky umístěné v tříbodovém závěsu traktoru. Tato varianta je využívána hlavně u plantáží pěstovaných pro delší obmýti s čímž souvisí a následná velikost pařezu a kořenového systému (Kohout et al., 2010). U stromů s rozvinutým kořenovým systémem, jako je topol, nebo borovice tvoří takto získané kořeny až 33 kg hmoty v sušině (Kohout et al., 2010 cit. dle Spinelli et al., 2005).

2.3.6 Výnosový potenciál pěstování japonského topolu

S určitostí nelze nikdy dopředu stanovit přesný výnos. Takto určené hodnoty jsou vždy pouze teoretické, tak jako při pěstování ostatních plodin na zemědělské půdě hraje důležitou roli počasí, průběh založení a ošetřování plantáže a spousta dalších vlivů. Podle Čížka (2007) je možné dosáhnout v tříletém pěstebním cyklu dosáhnout efektivní produkce topolů až 12 t sušiny/ha za jeden rok. Nezbytností jsou však odpovídající klimatické podmínky, charakteristické především nadmořskou výškou, které by neměla přesáhnout 400 m. Tyto výnosy jsou dosahovány zpravidla při třetím obmýti, tedy v době nejlepší kondice porostu.

Porosty topolů a obecně rychle rostoucích dřevin se často uplatňují při rekultivaci skládek, či jinak znečištěných stanovišť. Zde je však jasné, že výnosy jsou značně nižší. V takovýchto lokalitách je vhodné plochy přihnojit dusíkem, který výrazně podpoří růst stromů a tvorbu dřevní hmoty (Kohout et al., 2010).

V České republice se hojně setkáváme s plantážemi nepřesahujícími 1 hektar. Důvodem je, že mnoho lidí dědictvím získá část půdy a využití pro rychle rostoucí dřeviny se jeví jako ideální řešení. Takto založené porosty ovšem často nejsou založeny na odpovídajících stanovištích a ani příprava půdy není optimální. Výnosy pak nejsou zdaleka takové, jako u optimálně založených porostů na dobrých lokalitách.

Podle Čížka (2007) je pro pěstování rychle rostoucích dřevin důležité dodržet určitá pravidla: kvalitní příprava stanoviště, výsadba certifikovaných klonů dřevin a dostatečné zásobení stanoviště vodou a živinami.

2.3.7 Současnost a budoucnost pěstování japonského topolu v ČR

Aktuálně je podle zdrojů LPIS v České republice registrováno 2920 ha pozemků s rychle rostoucími dřevinami z čeho největší podíl tvoří právě japonské topoly. V této rozloze jsou však započítány pouze plantáže, které jsou oficiálně registrované a mají rozlohu větší než 1 ha. Jaká je skutečná rozloha plocha, na které jsou pěstovány rychle rostoucí pozemky, je tedy těžké odhadovat. Podle různých odhadů je plocha neregistrovaných porostů zhruba stejná jako registrovaných. Dá se tedy říci, že v České republice se aktuálně nachází kolem 6000 ha plantáží s rychle rostoucími dřevinami.

Obecným problémem na našem území je mylná představa zemědělců, že pokud půda neposkytuje uspokojivé výnosy v zemědělské výrobě, bude vhodná pro pěstování japonského topolu. V praxi toto rozhodně neplatí, pokud je půda neúrodná, chce to hledat jiné řešení jejího zúrodnění, nebo využití.

Podle Čížka (2007) poskytují nevhodně obhospodařované plantáže založené na nevhodných podmínkách pouze 50 % svého potenciálního výnosu. Jedná se bohužel o typický znak porostů na našem území. K přihnojování dochází jen ve velice ojedinělých případech, stejně tak jako regulace plevelů je prováděna jen v nezbytně nutné míře z důvodu minimalizace nákladů.

2.4 Technologie pěstování japonského topolu

V úvodu práce již byla popsána varianty pěstování na tzv. výmladkových plantážích.

Nejedná se však o jedinou technologii využívanou pro pěstování japonských topolů, existují i jiné. Odlišnost jednotlivých způsobů pěstování spočívá především v délce obmýetí, s čímž souvisí spon výsadby. Ten je zase odvislý od cílového produktu plantáže. Řadíme se možnost pěstování na dřevní štěpku, dřevní kulatinu, dále tzv. matečnicové porosty nebo porosty určené pro výrobu vlákniny.

2.4.1 Technologie krátkého obmýetí

Technologie pěstování s krátkým obmýetím je pro pěstební cykly, kde doba obmýetí je v průměru 4 – 6 let. Do této kategorie řadíme dva způsoby pěstování, jsou to silvikultury a lignikultury (Čížková et al., 2006).

Technologie se liší podle druhu půdy, na které jsou pěstovány. Jak již je z názvu patrné, silvikultury se pěstují na půdě lesní, naproti tomu lignikultury jsou zakládány na půdě zemědělské. Výsadbou topolů u lignikultur ovšem neznamená jediné uplatnění pozemku. Část půdy (konkrétně se jedná o meziřádky) je stále využívána pro pěstování klasických zemědělských plodin. Pro oba zmíněné způsoby pěstování je charakteristická výsadba jednoletých, nebo dvouletých sazenic. Pěstování z řízků se v těchto způsobech nevyužívá. Oba typy výsadby budou více popsány v následujících podkapitolách.

2.4.2 Silvikultury

Silvikultury je označení pro porosty, které jsou zakládány na lesní půdě. Tak jako pro jiné pěstební technologie je potřeba provést odpovídající přípravu půdy. Pokud je porost zakládán na vymýceném lese, je potřeba nejprve provést likvidaci pařezů, dále hlubokou orbu a následně urovnat pozemek před výsadbou.

Výsadba je prováděna do vrtaných jamek, nejčastěji o průměru 30 cm a hloubce 50 cm. Dále je potřeba provádět pravidelnou regulaci plevelu, nejméně pro 5 následujících let. Tato doba je zde delší oproti tradičním výmladkovým plantážím, důvodem je řidší spon výsadby. Ten se v našich podmínkách pohybuje nejčastěji v rozmezí 3 x 3 až 4 x 4 m. Dále je potřeba při stáří porostu kolem 7 let provést probírku porostu. Odstraňují se zakrslé, či jinak poškozené stromy (Čížková a kol., 2006).

V druhém roce po výsadbě je potřebné provádět pravidelné odvětvení kmene od bočních větví, avšak dbát, aby nedošlo ke zbytečnému poškození kmene (Čížek, 2007).

Délka obmýetí zde dosahuje až 25 let. Důležité je tedy vybrat takové klony, které jsou pro tuto technologii určené, a nehrozí riziko jejich samovolného rozmnožení. Produktem silvikultur jsou relativně silné kmeny, dosahujících průměrů často až 30 cm, které se dále zpracovávají pro různé účely, nevyužívají se však z důvodu vysoké kvality jako palivové dřevo.

2.4.3 Lignikultury

Jako lignikultury označujeme porosty, kde jsou současně pěstovány dvě plodiny, z toho jedna zemědělská a jedna nezemědělská. Jako nezemědělská plodina to bývá zástupce rychle rostoucích dřevin, v tomto případě japonský topol. Jelikož se využívá širokého sponu výsadby, až 6 x 6 m, nevyužitý prostor v meziřádcích se přímo nabízí k pěstování dalších plodin. Dají se zde pěstovat různé druhy obilnin, okopaniny, v zahraničí se uplatňují často i květiny. Důležité je sestavit sled plodin z hlediska jejich náročnosti na světlo, které v průběhu let ubývá. Různé zdroje uvádějí, že takto pěstovat plodiny v meziřádcích je možno zhruba 5 - 7 let, poté již dojde k zapojení porostu topolů. I tak se ale doporučuje stále provádět, alespoň jednou ročně kultivaci půdy, pokusy bylo zjištěno, že se tam dosáhne až o 30 % většího přírůstku (Weger, 2007).

Doba obmýetí u tohoto způsobu pěstování bývá v rozmezí 20 – 25 let, produktem je dýhárenské dřevo, nejčastěji určené pro výrobu nábytku. Zbylý odpad je využíván na topení, buď přímo, nebo ve formě štěpky. Stromy je kvůli požadované kvalitě výsledného dřeva nutné pravidelně odvětvenovat, obvykle do výšky 6 – 8 m. Vyvětvenovat se doporučuje tak dlouho, jak je to z hlediska technického možné, jen tak se dosáhne kvalitního rovného kmene bez suků (Čížek, 2007). Důležité je dbát, aby nedošlo ke zbytečnému zmenšení objemu koruny a rovněž k nežádoucímu poškození odvětvenovaných kmenů, čímž by případně vznikalo riziko zavlečení infekcí (Weger, 2007).

2.4.4 Produkční potenciál lignikultur a silvikultur

Opět platí, že porosty založené na méně vhodných podmínkách, což je typickým znakem českých plantáží, nebudou dosahovat tak velkých výnosů, jako porosty na vhodných stanovištích.

Podle Čížka (2007) se v pokusech pro porosty silvikultur a lignikultur osvědčily jedinci topolu *Populus x euroamericana*. Konkrétně se jedná o jeho klony 'NL-B-132b', 'I-45/51', 'I-476'. Dosahovaný výnos byl v rozmezí 450 – 600 m³/ha pro za dobu jednoho obmýtí, tedy 25 let (Kohout et al., 2010).

Čížek (2007) uvádí, že výnos ve sledovaném pokusu dosáhl 600 m³/ha za 25 let. Jelikož plocha, která byla sledována, leží na půdě, kde je sice dostatek vody, avšak nedostatek živin, dá se předpokládat, že na vhodném stanovišti lze dosáhnout ještě vyšší výnosů.

2.4.5 Porosty sloužící k reprodukci

Naprostou nezbytností pro další rozmnožování jsou mateční (reprodukční porosty). Pro množení můžeme využít dva různé typy, jedním je reprodukce pomocí řízků, druhou možností je využitím sazenic, nejčastěji 1 – 2 roky starých. Výhodou sazenic je rychlejší zakořenění a růst porostu, avšak na úkor větší pracnosti a ceně za kus sazenice oproti řízku.

2.4.6 Reprodukce s využitím řízků

Při zakládání reprodukčních porostů volíme pokud možno co nejmenší rozteč. Podle Wegera (2003) je nejčastěji využíván spon výsadby 0,2 – 0,5 m x 1,5 – 3 m mezi jednořádky. Zároveň Weger (2007) dodává, že jako maximální doba využití plantáže pro mateční porosty je 15 let, později již klesá produkce i kvalita výhonů využívaných pro výrobu finálních řízků.

U matečnicových porostů je rovněž velice důležité dbát správného označení pěstovaného klonu, aby nedocházelo k omylům při následné distribuci (Moudrý, 1999). Více než u klasického porostu je třeba sledovat zdravotní stav porostu a věnovat velkou péči regulaci plevelů s ohledem na produkční a zdravotní stav matečnic.

Pro úspěšný reprodukční porost je potřeba seříznutí porostu již po prvním roce růstu. V následujícím roce tak dojde k růstu nových výhonů z místa seříznutí. Tato místa označujeme jako hlavy. Hlavy rozeznáme nízko a vysoko založené.

U nízko založených hovoříme o vzdálenosti asi 10 cm od země. V praxi se tento způsob příliš nevyužívá z hlediska komplikovanější odběru výhonů a regulace plevelů. Druhým, využívaným způsobem je založení tzv. vysoké hlavy a to ve výšce 60 – 80 cm.

Z takto založených hlav dochází každoročně k seříznutí vzrostlých výhonů, nejlépe v zimním období. Výhony jsou následně skladovány ve vlhkém chladném místě. Kráceny na požadovanou délku jsou zpravidla až v řádech týdnů před výsadbou. Podle Fajmana (2013) by jeden řízek měl být zhruba 20 cm dlouhý a musí na něm být minimálně 2 pupeny, přičemž průměrně jich bývá 2 – 5.

2.4.7 Reprodukce s využitím sazenic

Při pěstování sazenic se porost zakládá klasicky s využitím řízků. Spon výsadby se odvozuje od zvolené mechanizace, s kterou budeme plantáž obdělávat a také od určeného stáří, pro které budou sazenice pěstovány.

Rozestup mezi jedinci je zpravidla menší, než při jakékoliv jiné technologii pěstování. Výška a tloušťka sadebního materiálu je stanoveno příslušnou vyhláškou.

U jednoletých sazenic je požadavek na minimální výšku 150 cm, zároveň musí mít sazenice tloušťku minimálně 8 mm ve výšce 50 cm nad zemí. Pro dvouleté sazenice jak pak minimální výška stanovena na 200 cm a tloušťka 12 – 15 mm, opět ve výšce 50 cm nad zemí (Čížková a kol., 2006).

2.4.8 Další možnosti pěstování japonského topolu

Mezi další možnosti pěstování řadíme především topolové kultury, které se využívají pro tvorbu vlákniny a dále pak tzv. energetické lesy. Porosty pro výrobu vlákniny nejsou pro Českou republiku typické, avšak lze se s nimi setkat. Forma energetického lesa je poměrně rozšířena, avšak je těžké přesněji určit, na jak velké rozloze tyto plochy jsou z důvodu nedokonalé evidence ploch.

2.4.9 Porosty určené pro výrobu vlákniny

Jak již bylo řečeno, tyto porosty nejsou zcela charakteristické pro naše podmínky. Tyto porosty se vyznačují vysokou kvalitou a rychlým růstem, zpravidla jsou zakládány na vhodných podmínkách a často jsou i hnojené. Doba obmýtí zpravidla nepřesahuje 15 let. Z hlediska ekonomického jsou porosty využívané pro výrobu vlákniny značně výhodnější ve srovnání s pěstováním na palivové dřevo.

2.4.10 Energetický les

Tato metoda pěstování se v zásadě shoduje s porosty, zakládanými jako silvkultury a lignikultury. Spon výsadby je prakticky totožný, a jelikož se jedná především o pozemky v soukromém vlastnictví určené nejčastěji pro produkci paliva pro vlastní potřebu, tedy v malém, spon výsadby je značně variabilní a záleží na jednotlivých pěstitelých. Podle Čížka (2007) dochází nejčastěji ke sklizni průměrně v cyklu 10 let, opět ale platí, že doba sklizně se zpravidla řídí potřebou daného pěstitele.

Jelikož jsou v České republice evidovány pouze plochy s rozlohou nad 1 ha, což tyto pozemky většinou nesplňují, lze jenom těžko stanovit jejich rozlohu. Pro majitele malých políček se tato možnost jeví jako ideální využití pozemku, který by jinak byl buď nevyužívaný, nebo je jeho pronájem z ekonomického hlediska kvůli malé rozloze značně nevýhodný.

2.4.11 Využití japonského topolu v energetice

Nejčastějším využitím získané rostlinné hmoty je ve formě dřevní štěpky. Z hlediska minimální náročnosti na zpracování, manipulovatelnosti dřevní štěpka jasně vede. Moderní kotle mají zpravidla zásobníky na palivo, po naplnění kapacity zásobníků je pak kotel schopný vyrábět teplo prakticky bez zásahu člověka. Zpravidla je štěpka využívána pro kotle s větší výkoností, kde případná vyšší vlhkost paliva není takovým problémem. Podle Kohouta et al., (2010) je jedinou nevýhodou dřevní štěpky, že není přesně stanovena její velikost. Její jednotlivé části se tak pohybují ve velikostech od 5 mm do 10 cm.

Pokud zakládáme plantáž pouze pro svoji potřebu, lze při znalosti jistých dat spočítat přibližnou velikost plantáže, kterou budeme potřebovat. Nejdůležitější je znát, do jaké míry je budova tepelně izolována, což lze zjistit s využitím termokamer. Dále potřebujeme znát výkon kotle a rovněž průměrnou hodnotu, na kterou chceme budovu vytápět. Podstatnou roli samozřejmě hraje i venkovní teplota. Pokud výše uvedené hodnoty známe, lze výpočtem stanovit přibližnou potřebnou velikost plantáže (Kohout et al., 2010).

Využití ve formě štěpky platí samozřejmě spíše pro větší plantáže z důvodu potřebné techniky na štěpkování. V případě malopěstitelů je nejvíce uplatňována forma pěstování na větší průměry stromů a následné využití ve formě polen.

2.4.12 Mimoprodukční význam pěstování japonské topolu v krajině

Je jasné, že málokdo zakládá plantáž s dřevinami za jiným účelem než svým osobním ziskem. Význam porostů je však daleko větší než jen ekonomický zisk, jedná se často o klíčový funkční prvek v přírodě. Mezi jejich mimoprodukční plánované účely řadíme: protierozní funkce, hlukové bariéry podél cest, zastínění a ochrana cest a pastvin například, zpevnění břehů rybníků a říčních koryt atd. Opadem jejich listů rovněž dochází k obohacování půdy o humus a další živiny (Jech a kol., 2003).

Asi málokdo si uvědomuje, nebo přímo zamýšlí, že díky pěstování japonského topolu přímo pomáhá přírodě. Plantáže do jisté míry ovlivňují tepelný režim lokality, regulují vodní koloběh a tím váží vodu v krajině, poskytují ochranu pro různé druhy živočichů, produkují kyslík, nebo mohou složit jako větrná bariéra (Kohout et al., 2010).

Existuje spousta dalších, větších či menších významů, které porosty v krajině zastávají. Mohou zastávat své místo i v parcích, nebo jak prvek zeleně v krajině sloužící pro rekreační účely. Z pohledu této práce je však nejdůležitějším prvkem jejich schopnost přeměňovat oxid uhličitý na kyslík pomocí fotosyntézy.

Celjak et al., (2008) ve své publikaci uvádí, že jeden hektar plantáže s rychle rostoucími dřevinami je schopen ročně absorbovat až 25 tun oxidu uhličitého. Ten je pomocí fotosyntézy a dalších jevů přeměněn na kyslík. Část takto vzniklého kyslíku rostliny spotřebují pro svůj růst, dá se však říci, že roční produkce kyslíku z jednoho hektaru plantáže dřevin dosahuje až 7 tun.

2.5 Metoda LCA

Life Cycle Assessment, neboli zkráceně LCA analýza je termín pro metodu sloužící k posuzování environmentálních aspektů výrobku ve všech stádiích jeho existence. Metoda byla vyvinuta, aby zdokumentovala životní cyklus produktu, zjistila jeho klady, popřípadě zápory a vybrala variantu výroby a zpracování s nejnižšími možnými následky vůči životnímu prostředí (Consoli, 1993). Metoda LCA se nezaměřuje pouze na konkrétní místo, kde byl produkt vyroben, ale zaměřuje se i na tzv. kategorii dopadu. Tato technika zabráňuje tomu, aby se problém pouze „přenášel z místa na místo“. Podstatou této metody lze posoudit komplexní působení výrobků. Jako příklad může posloužit vytápění domu elektřinou namísto spalovacího kotle.

Zdánlivě dojde ke snížení produkce škodlivých plynů, ovšem tento problém se pouze přenesl na jiné místo, kde se vyrábí potřebné energie pro vytápění (Kočí, 2009). Ve výsledku tedy nedojde k téměř žádnému snížení produkce škodlivých plynů, respektive dojde pouze k částečné úspoře díky lepším technologiím, které využívají velké elektrárny oproti běžným spalovacím kotlům.

Každý produkt během svého vývoje má různá stadia dopadu na životní prostředí. Vývoj zahrnuje fáze od zrození produktu, jeho vývoje a končí zpracováním a finálním využitím. Aby byla ekologická stopa produktu ucelená a kompletní, je potřeba analyzovat veškeré neobnovitelné a obnovitelné zdroje, které se v průběhu životního cyklu výrobku uplatní (Kočí, 2009).

Metoda LCA sestává ze čtyř základních fází. Patří sem definice cílů a rozsahu studie, inventarizace, hodnocení dopadů a celková interpretace výsledků. Schéma metody uvádí následující obr. č. 1.



Obr. č. 1. Schéma fází LCA (Zdroj: <http://lca-cz.cz/projekt-lca/lca.html>)

Obousměrné šipky značí opakování a provázání metody při postupu sestavování LCA. Poznatky z jedné fáze metody mohou ovlivnit fáze ostatní, proto je při postupu potřeba se držet předem vymezeného postupu. V opačném případě je nutno přehodnotit celou metodu, což při využití současné výpočetní techniky není již takový problém (Kočí, 2009). Typickým znakem pro tuto metodu je sběr a následné výpočty, popřípadě srovnání většího počtu dat, avšak aby měření mělo smysl, musí být provedeno v reálném časovém úseku.

2.5.1 Fáze LCA

Metoda LCA je založena na čtyřech základních fázích, jejich stručný popis následuje níže:

1) Definice cílů a rozsah studie

Prvním krokem je přesně definovat jaká věc a z jakého zaměření bude posuzována. Důraz je kladen především na jasnou specifikaci produktu a jeho konkrétní využití (Čurda, Fuchsová, 1996). S tím přímo souvisí další pojem a tím je funkční jednotka. Uvádí nám, jak bude produkt kvantifikován. Dále je potřeba určit hranice pozorování, tedy do jaké hloubky budeme přesně produkt zkoumat (Kočí, 2009).

2) Inventarizace

Tato fáze má za úkol zjištění a vyčíslení všech materiálových a energetických vstupů a výstupů, které se podílejí na životním cyklu produktu (Kočí, 2009).

Funkcí inventarizační analýzy je sběr a kvantifikace dat. Rovněž je posuzována věrohodnost a použitelnost údajů. Jedná se o souhrn veškerých vstupů a výstupů sledovaného produktu. Existuje mnoho možností sběru dat, přičemž z hlediska věrohodnosti je vždy nejlepší osobní sběr dat přímo na místě výzkumu (Remtová, 1996). Čurda a Fuchsová (1996) popisují každý systém jako schéma, kde pozorovaný produkt je jasně ohraničen dříve stanovenými hranicemi. Důležité je zkompletovat veškerá data, i nejmenší zásahy, aby výsledek byl skutečně věrohodný a přesný.

3) Hodnocení dopadů

Na základě analýzy získaných dat se provede vyhodnocení ekologických dopadů. V této fázi je potřeba zvolit výsledek v interpretovatelné veličině příslušné kategorie. Hodnocení začíná správným přiřazení výsledků k patřičným zadaným hodnotám (Kočí, 2009). Posuzování sledovaných produktů zpravidla lze provádět celkově, nikoliv pouze za vybrané období, nebo část životního cyklu. Zpravidla jedna část analýzy ovlivňuje další část (Čurda a Fuchsová, 1996).

4) Interpretace výsledků

Správná a přehledná interpretace výsledků je nezbytná část analýzy. Slouží k přehlednému prezentování výsledků a vyvození příslušných závěrů. Interpretace zahrnuje kontrolu vlastního sledování a sepsání příslušné závěrečné zprávy. Ta by měla obsahovat popis řešení a zjištěné výsledky (Kočí, 2009).

Na základě zjištěných dat se dále navrhují patřičná opatření sloužící ke snížení ekologické zátěže (Čurda a Fuchsová, 1996).

2.5.1 LCA cyklus japonského topolu

Prakticky veškeré cíle ekologických bilancí mají stejnou funkci a tou je snaha o minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí. Metoda LCA umožňuje popsat životní cyklus produktu od fáze vzniku až po finální využití.

Zaměření a cíl sledování

Cílem sledování této práce bylo zhodnocení dopadů pěstování japonského topolu na životní prostředí. Posuzována byla hlavně produkce emisí skleníkových plynů CO₂ eq za dobu životnosti porostu. Japonský topol bude dále srovnán s dalšími plodinami, využívajícími se pro energetické účely.

Výzkum by měl posloužit jako porovnání rostlinných biopaliv z hlediska ekologické zátěže pro životní prostředí. Z hlediska studie byly započítány i náklady pro založení a likvidaci plantáže, což jsou z hlediska životnosti porostu ekonomicky i emisně nejnáročnější úseky pěstování. Výsledky poslouží ke zhodnocení celkové životnosti porostů. Na základě výsledků tak bude možno sledovat energeticky vstupy a výstupy plantáže a posoudit, případně navrhnout úspornější řešení při produkci.

Velice důležité je charakterizovat konkrétní funkci produktu. V případě této práce je konečnou fází produktu jeho spálení za účelem vzniku energie.

Ačkoliv se zdánlivě může zdát, že pěstování polních plodin pro energetiku je z hlediska neobnovitelných zdrojů nenáročné, opak je pravdou. Energetické vstupy související s přípravou a založením porostu, jeho sklizní a likvidací porostu nejsou zanedbatelné. Další vysokou zátěží pro životní prostředí je využití minerálních hnojiv a chemických přípravků sloužících pro likvidaci plevelů, nebo škůdců.

Vstupy a výstupy

Aby byla studie co nejvíce přesná, je potřeba patřičně zaevidovat každý vstup a výstup týkající se sledování. V případě dřevin na energetické využití tento proces začíná zpravidla rok před založením plantáže, kdy je potřeba začít s přípravou pozemku. Tato příprava obnáší zejména regulaci plevelů, kvalitní prokypření a zpracování půdy a hnojení organickými hnojivy. Z hlediska celkové životnosti plantáže se jedná o nejvyšší vstupy z celkové životnosti.

Je potřeba započítat energii potřebnou pro výrobu hnojiv a jejich aplikaci, dále množství nafty potřebné pro kultivaci pozemku, nákup a sázení řízků. Z hlediska dalších let, jsou vstupy až na pravidelná obmýtí ve čtyřletém cyklu minimální zahrnující pouze regulaci plevelů, popřípadě škůdců. Další, energeticky velice náročným vstupem je likvidace plantáže a její návrat do původního stavu.

Z hlediska výstupů z plantáže se jedná „pouze“ o dřevní hmotu ve formě dřevní štěpky. Výnosy jsou zaevidovány v tunách sušiny.

Zjištěné údaje byly zpracovány pomocí počítačového programu SIMA - PRO a budou interpretovány v kapitole Výsledky.

3 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo rešeršní zpracování problematiky energetického využití biomasy. Tématem práce je druh rychle rostoucí dřeviny tzv. Japonský topol. Jedná se o křížence druhu topolu černého a topolu Maximovičova. Ve druhé části práce byl zpracován výpočet produkce CO₂ eq při jeho pěstování.

Dílčí cíle:

1. Shrnutí dosavadních poznatků o způsobech a vlivu pěstování japonského topolu
2. Zjištění množství emisí CO₂ vyprodukovaných při pěstování japonského topolu na vymezené ploše 1 hektar. Toto množství bylo stanovenou pomocí LCA analýzy s využitím programu SIMA – PRO.

Hypotézy:

1. Očekávaná emisní zátěž při pěstování japonského topolu pro energetické účely (vyjádřeno pomocí CO₂ eq) nepřesáhne 10 t/ha/životnost plantáže
2. Největší emisní zátěž vzniká při použití minerálních hnojiv a chemickém ošetřování porostu.

4 MATERIÁL A METODIKA

Náplní této bakalářské práce je pozorování a vyhodnocení environmentálních dopadů při pěstování energetických plodin, konkrétně Japonského topolu. Dalším krokem bylo dodržet předem stanovené cíle a z výsledku posoudit správnost předem stanovených hypotéz.

Pro výpočet vyprodukovaných emisí CO₂ eq bylo využito programu SIMA - PRO. Tento systém využívá databázi Ecoinvent. Pomocí uložených a zjištěných dat získává výsledky pro modelování životních cyklů širokého spektra komodit dle souladu s normami ČSN EN ISO 14040 A ČSN EN ISO 14044.

K samotnému výzkumu byl stanoven rámec veškerých agrotechnických operací pro posouzení životního cyklu Japonského topolu. Tento rámec vychází z pozorování plantáže o výměře 1 hektar, která byla založena na dobu 22 let s tím, že je počítáno se 4 - letými cykly obmýtí. Celkově tedy dojde k pěti obmýtím, první dva roky životnosti plantáže jsou brány jako založení. Předpokládaný průměrný výnos pro jedno obmýtí je 84,2 tuny s tím, že tato hodnota byla stanovena na základě údajů od různých autorů s přihlédnutím k danému stanovišti a péči o porost. Bylo počítáno s operacemi od přípravy půdy, přes agrotechnické operace jako je údržba porostu, odpovídající kultivace až po sklizeň. V následující tabulce je zanesena i operace rušení plantáže, což je však z hlediska dlouhodobosti projektu zatím spíše jen teoretická operace, protože v době rušení porostu se dá očekávat, že energetické vstupy a i dostupné technologie budou oproti dnešku více pokročilé.

Pomocí programu SIMA - PRO byl proveden výpočet CO₂ ekvivalentu z již výše zmíněného rámce operací a vstupů. Nástroj automaticky pracuje s rozsáhlou databází procesů a vstupů. Pomocí těchto údajů a výpočtu následně modeluje životní cyklus konkrétního produktu. Dalším krokem je pak vytvoření podrobné inventarizační analýzy.

Fáze inventarizační analýzy:

- 1) příprava a sběr údajů – sumarizace údajů podle literatury, vlastních měření a kvalifikovaných odhadů
- 2) kontrola platnosti získaných údajů – kontrola podle literatury a internetových zdrojů
- 3) provázání jednotlivých údajů k jednotlivým procesům

- 4) upřesnění hranic systému – v tomto případě zaměření na konkrétní agrotechnickou operaci
- 5) alokace toku – vznik pouze považovaného produktu v procesu
- 6) interpretace výsledků – diskuze ohledně dané tematiky a výsledků (Hovorková, 2013)

V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé agrotechnické operace, jejich opakování a přibližná spotřeba pohonných hmot. Spotřeba nafty byla převzata z publikace „Normativy zemědělských výrobních technologií“ (Kavka, 2006) a byla porovnávána se skutečnou spotřebou u konkrétního zemědělského prostředku. Jednotlivé hodnoty se nijak zásadně nelišili, proto jsou výchozí hodnoty brány podle výše zmíněné publikace.

Pro dopravu je využíván traktor s návěsem o ložné hmotnosti 15 tun, který sklizený materiál dopravuje do 17 kilometrů vzdáleného výkupu, kde je dřevní štěpka zpeněžována.

Tab. 4 Spotřeba nafty pro jednotlivé agrotechnické operace (Kavka, 2006)

Agrotechnická operace	Spotřeba nafty l/ha	Počet opakování
Chemická regulace plevelů	2,5	1
Orba	24	1
Smykování	7	1
Hnojení do zásoby	2,5	1
Doprava řízků + ruční výsadba	1,5	2
Chemická regulace plevelů (1. rok)	2	3
Sklizeň	22	5
Doprava sklizeného materiálu (17 km)	0,2litru/tunu	30
Rušení plantáže	40	1

V další tabulce jsou uvedeny jednotlivé výnosy za celé obmýetí. Plantáž byla založena s plánovanou životností 22 let, délka jednoho obmýetí je brána jednou za 4 roky. Celkově tedy dojde k pěti sklizním, než bude plantáž „vyčerpána“ a přistoupí se k její likvidaci. První dva roky jsou brány jako založení plantáže.

Doba životnosti je ovšem pouze teoretický údaj, životnost může být jak delší, tak kratší v závislosti na dosahovaném výnosu. Při této metodě sklizně se dosahuje množství sušiny 45 - 50%.

Tab. 5 Jednotlivé výnosy za dobu životnosti plantáže (při sušině 47%)

Obmýetí	Výnos (t/ha) fytomasa	Výnos (t/ha) sušina
1. (2-6 roky)	75	35,2
2. (6-10 roků)	86	40,4
3. (10-14 roků)	93	43,7
4. (14-18 roků)	88	41,4
5. (18-22 roků)	81	38,1
Celkem	423	198,8

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Všeobecně je bráno, že energie vyprodukovaná z biomasy je novodobě ekologické energetické řešení. Avšak situace není až tak jednoznačná. Při spálení se sice uvolní pouze tolik oxidu uhličitého, kolik ho rostlina spotřebuje během růstu. Problémem ale je, že třeba v případě dřeva, které roste i desítky let je veškerý „absorbovaný“ oxid uhličitý uvolněn spálením téměř okamžitě. Tento fakt je ovšem třeba brát s rezervou, protože nikdy nedojde k využití celé rostliny. Mnoho CO₂ je vázáno v kořenech a podzemních částech rostliny, ze kterých je uvolňování značně pomalejší (Petříková, 2006).

Navíc při spalování vznikají i další škodliviny. Velice důležitý je také fakt, kolik procent vlhkosti konkrétní biomasa při spalování obsahuje (Koloničný, 2010).

Celkově vyprodukovala plantáž za 22 let své existence 7864,2345 kg CO₂ eq/ha. Pro srovnání Krzyzaniak et al., (2019) uvádí ve své publikaci produkci CO₂ eq na jeden hektar plantáže v rozmezí 5122 – 5274 kg. Nutné je ale dodat, že ve svém výzkumu použil jiný klon dřeviny a plantáž byla sledována v časovém úseku 16 let. Celkově se tedy dá říci, že hodnoty jsou si dosti blízké.

Množství vyprodukovaného CO₂ eq z pohledu celkové životnosti plantáže uvádí podrobná tabulka č. 6 a sumární graf č. 1. Ze získaných údajů a výpočtů je zřejmé, že celková emisní zátěž plantáže za celou dobu její životnosti je 1368,50587 kg CO₂ eq na hektar porostu. Průměrná hodnota produkce CO₂ eq za všechna obmýtí je 0,032668 na jeden kilogram sušiny. Dle Moudrého a kol., (2011) se například při pěstování pšenice pro potravinářské účely vyprodukuje 0,5581 CO₂ eq / 1 kg pšenice. U kukuřice, pěstované pro energetické účely se hodnota vyprodukovaného CO₂ eq na kilogram sušiny pohybuje od 0,79 – 1,04 kg v závislosti na systému pěstování (Cui et. al., 2018). Takto nízká produkce CO₂ eq je dána zejména tím, že se jedná o speciální rychle rostoucí klon dřeviny, která když pomineme založení, nevyžaduje téměř žádnou údržbu. Je potřeba ale zmínit, že v tomto výpočtu nejsou zahrnuty emise, které vzniknou při likvidaci plantáže.

Pokud ale veškeré tyto hodnoty porovnáme se spalováním fosilních paliv, kdy při spálení uhlí vzniká 2,56 kg CO₂ nebo spálení nafty, kde vzniká dokonce 3,12 kg CO₂, jsou tyto hodnoty stále velice dobré (Petříková, 2006).

Dle předpokladu vznikla největší emisní zátěž při aplikaci minerálních hnojiv. Z hlediska plantáže, jako celku, je to více než 1/3 celkové emisní zátěže. Aplikací hnojiva bylo vytvořeno 489,5845701 kg CO₂ eq na ha porostu. Petříková (2006) ve své publikaci rovněž uvádí, že jedna z největších ekologických zátěží při pěstování většiny plodin je jejich hnojení minerálními hnojivy.

Naopak z pohledu emisí vzniklých použitím pesticidů vznikla zátěž „pouze“ 75,09171 kg CO₂ eq na ha porostu. Toto relativně malé číslo je dáno minimální potřebnou chemickou ochranou. Tato zátěž vzniká při zakládání plantáže při nezbytném ošetření plevelů, kdy je zásah nutno několikrát opakovat v určitém časovém horizontu. Rozhodujícím faktem je aktuální stav pozemku z hlediska nežádoucího zaplevelení. Často je nutné chemické ošetření porostu provést i po obmýtí, aby bylo opět zamezeno nežádoucímu růstu a konkurenceschopnosti plevelů.

Šedivý (2008) doporučuje pěstování energetických plodin obecně na zamořených půdách, kdy půdy nejsou z pohledu pěstování nijak zásadně dále kontaminovány. Navíc tím, že je hmota využita pro energetické účely nehrozí kontaminace potravin. Hmota je navíc z pozemku odvážena, tudíž dochází k postupnému „čištění“.

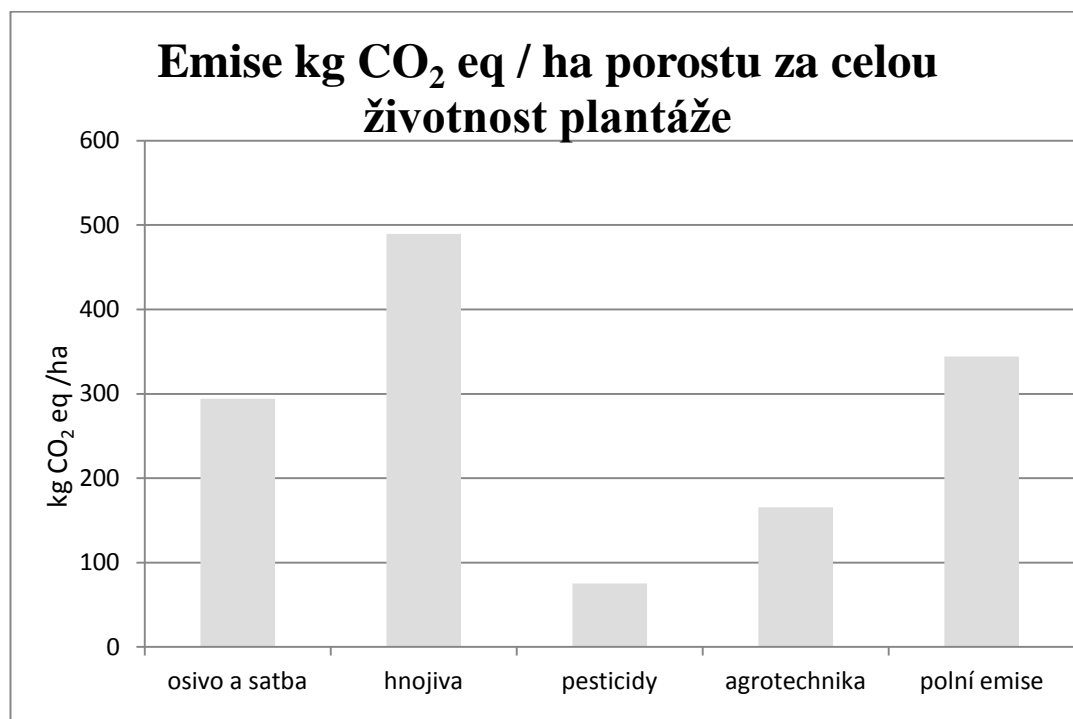
Ačkoliv se může zdát, že z hlediska produkce CO₂ eq je využití pesticidů zanedbatelné, není to tak zcela pravdou. Je potřeba si uvědomit, že jakoukoliv aplikací a v neposlední řadě i samotnou výrobou pesticidů dochází k velké zátěži životního prostředí. Jejich aplikací potom dochází ke kontaminaci půdy, povrchových i podzemní vod a v neposlední řadě i k úhynu velkého množství drobných živočichů.

Tab. 6 Emisní zátěž za celou životnost plantáže

Operace	kg CO₂ eq /ha	kg CO₂ eq /ha
Aplikace herbicidu postřikovačem	9,809932425	0,009809932425
Glyfosát (herbicid)	18,34549876	0,01834549876
Zpracování půdy (orba)	73,91709407	0,07391709407
Aplikace hnojiva rozmetadlem	6,23971456	0,00623971456

Dusičnan amonný (N)	489,5845701	0,4895845701
Zpracování půdy (kultivace)	21,59771233	0,02159771233
Výsadba	30,91280168	0,03091280168
Sadba	294,3210293	0,2943210293
Aplikace herbicidu po obmýtí	23,16234042	0,02316234042
Herbicid	56,74620152	0,05674620152
Polní emise N ₂ O přímé	253,002	0,253002
Polní emise N ₂ O nepřímé	91,188	0,091188
Celkem	1368,50587	1,36850587

Graf č. 1- Emise kg CO₂ eq / ha porostu za celou životnost plantáže



Celkem: 1368,50587 kg CO₂ eq/ ha

V další tabulce (tab. č. 7 a graf č. 2) je znázorněna emisní zátěž plynoucí ze založení hektaru plantáže rychle rostoucích dřevin. Celková hodnota pro založení 1 hektaru plantáže japonského topolu dosáhla hodnoty 1405,63987 kg CO₂ eq.

I tady se potvrzuje, že největší emisní zátěž plyne z použití minerálních hnojiv. Hodnota CO₂ eq dosahuje v tomto případě hodnoty 563,42161 kg/ ha porostu. Vysoká hodnota je dána především tím, že z důvodu dlouhé životnosti plantáže se hnojí při založení tzv. do zásoby. Z hlediska dlouhodobosti plantáže je potřeba nepodcenit toto hnojení. V průběhu životnosti, kdy je větší množství živin odebíráno, než doplňováno logicky dochází k poklesu úrodnosti a tím i snižování výnosu (Balík a kol., 2012). Navíc i topol, stejně jako jakékoliv jiné rostliny potřebuje nejvíce lehko přístupných živin hlavně na začátku svého růstu.

Relativně velkou emisní zátěží je v tomto případě i sadba. Na osázení 1 hektaru plantáže bylo použito 10 000 kusů řízků japonského topolu. Řízky jsou v tomto případě zhruba 20 cm dlouhé pruty, které se lehce naklíčené buďto pomocí mechanizace, nebo ručně zapichují do země tak, aby zůstal nad povrchem vždy jeden pupen. V praxi to znamená, že z celé délky řízku zůstane nad povrchem 3-5 cm. Emisní zátěž plynoucí z produkce sadby je v přepočtu na CO₂ eq 294 kg/ ha porostu. Vztaženo na celkovou životnost plantáže, kdy je životnost cca 20 let se však jedná o téměř zanedbatelný krok. V tomto případě se ani nedá říci, že by produkcí sadby vznikala nějaká další zátěž pro životní prostředí, jako tomu je například u pesticidů, nebo hnojiv.

U zakládání, kdy dochází k mnoha mechanickým úkonům od regulace plevelů, přes orbu, urovnání a přípravu pozemku je tudíž vyšší produkce emisí z hlediska agrotechniky. Dá se říci, že veškeré vyjmenované operace jsou energeticky hodně náročné, je zapotřebí velké množství nafty a tomu odpovídá i produkce 185,67268 kg CO₂ eq/ ha porostu.

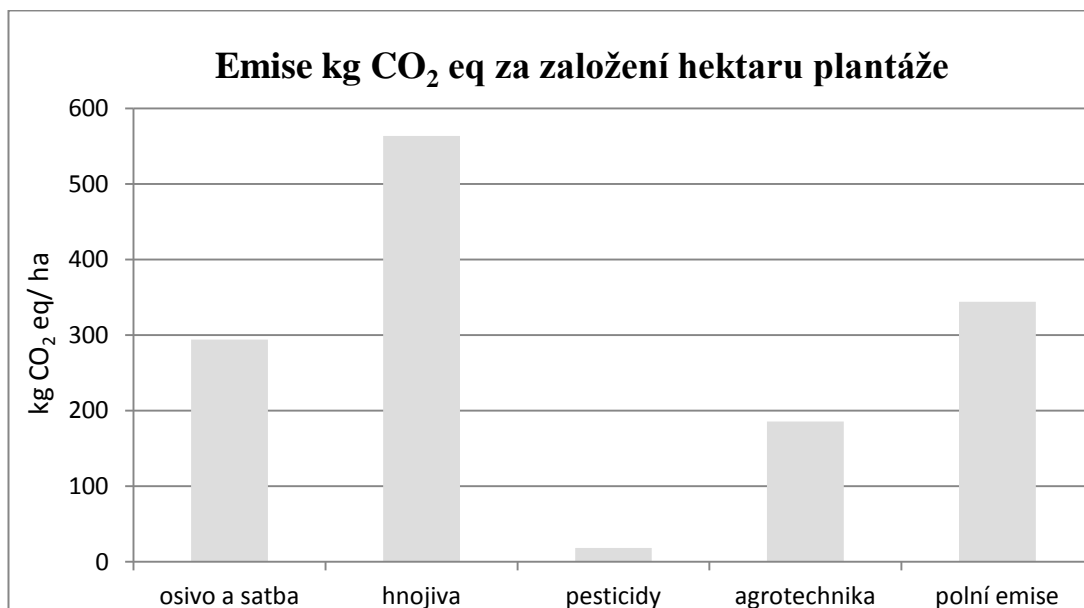
Jednoznačně energeticky nejnáročnější operací je zde hluboká orba slouží k provzdušnění půdy a ke snadnému pronikání kořenů do hlubších vrstev ornice k podzemní vodě (Saglana, 2012).

Tab. č. 7 – Emise kg CO₂ eq při založení plantáže

Operace	kg CO₂ eq /ha	kg CO₂ eq /ha
Aplikace herbicidu postřikovačem	9,809932425	0,009809932425
Glyfosát (herbicid)	18,34549876	0,01834549876
Aplikace hnojiva rozmetadlem	6,239714566	0,006239714566

Hnojení N	489,5845686	0,4895845686
Polní emise N ₂ O přímé	253,002	0,253002
Polní emise N ₂ O nepřímé	91,188	0,091188
Hnojení P	47,20296	0,04720296
Hnojení K	26,64408	0,02664408
Sadba	294	0,294
Výsadba	30,91280168	0,03091280168
Zpracování půdy (kultivace)- 3*	64,793137	0,064793137
Zpracování půdy (orba)	73,91709407	0,07391709407
Celkem	1405,63987	1,40563987

Graf č.2 - Emise kg CO₂ eq při založení plantáže



Celkem: 1405,63987 kg CO₂ eq/ ha

Poslední graf a tabulka vyjadřují emisní zátěž, která je vyprodukována za jedno obmýtí, tedy v tomto případě za 4 roky. Celková suma za toto období je 1291,71893 kg CO₂ eq/ ha porostu. Pomineme-li hnojiva, která už byla podrobněji rozvedena na předcházejících stranách, je zde druhou nejvyšší zátěží agrotechnika s emisní zátěží 365,751822 kg CO₂ eq/ ha porostu.

Je potřeba si uvědomit, že je sklízeno velké množství hmoty pomocí upravené řezačky. Řezaček jsou obecně jedny z energeticky vysoce náročných strojů, které jsou v zemědělství využívány.

Dále je potřeba sklizenou hmotu transportovat z pole na místo uložení (využití).

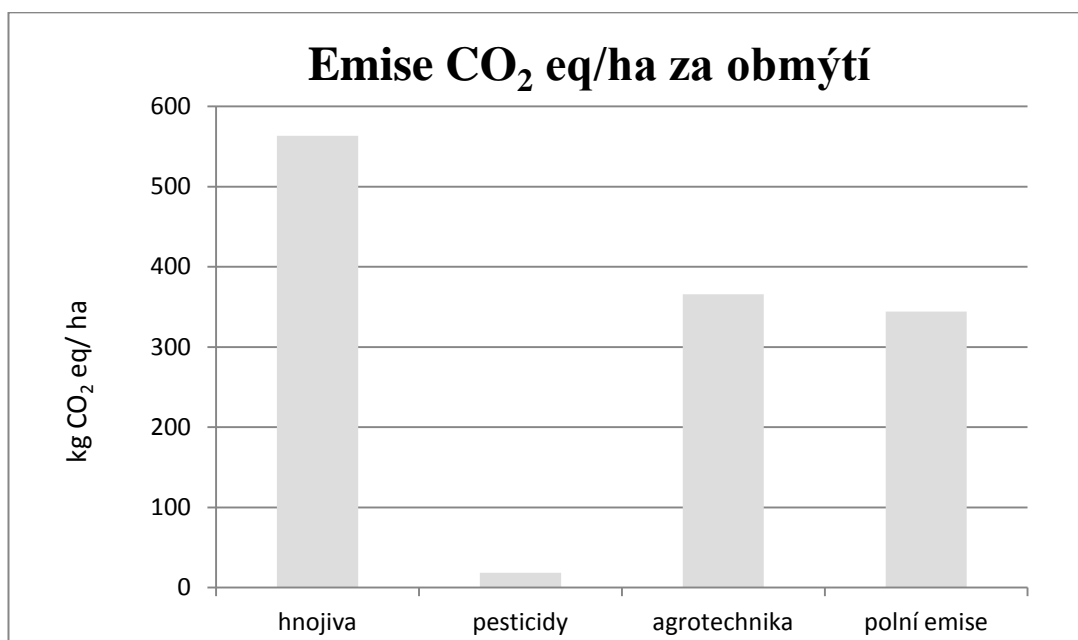
Podle různých autorů se při přepravě biomasy vyprodukuje zhruba 100 – 150 g CO₂/km/t.

Tab. č. 8 – Emise CO₂ eq na hektar za obmýtí

Operace	kg CO₂ eq /ha	kg CO₂ eq /ha
Aplikace herbicidu postřikovačem	9,809932425	0,009809932425
Glyfosát (herbicid)	18,34549876	0,01834549876
Aplikace hnojiva rozmetadlem	6,239714566	0,006239714566
Hnojení N	489,5845686	0,4895845686
Polní emise N ₂ O přímé	253,002	0,253002
Polní emise N ₂ O nepřímé	91,188	0,091188
Hnojení P	47,20296	0,04720296
Hnojení K	26,64408	0,02664408
Sklizeň řezačkou	124,9513373	0,1249513373
Technické operace na pozemku při sklizni	182,9495491	0,1829495491
Transport sklizeného materiálu	41,80128892	0,04180128892
Celkem	1291,71893	1,29171893

Celkem: 1291,71893 kg CO₂ eq/ ha

Graf č. 3 Emise CO₂ eq/ha za obmýání



Kategorie hnojení je opět poměrně výrazná, avšak je potřeba dodat, že na většině plantáží v našich podmínkách již k přihnojování v průběhu její životnosti nedochází. Důvod je prostý a to minimalizace finančních nákladů (Čížek, 2007). Bohužel tím samozřejmě klesá produkční potenciál plantáží. Toto platí zejména u drobných plantáží, které slouží zpravidla pouze jako zdroj paliva pro majitele. U větších intenzivních plantáží, nebo u matečnicových porostů je péče celkově důslednější.

6 ZÁVĚR

V posledních letech je kladen důraz na stále rostoucí trend využívání obnovitelných zdrojů energie. Je využívána solární energie, energie větru, spalování a fermentace biomasy atd. Problémem ale stále zůstává, že naprostá většina je získávána z neobnovitelných zdrojů, jako je ropa, uhlí a zemní plyn. Při spalování těchto paliv se ale uvolňuje velké množství škodlivin, mimo jiné i CO₂.

V této bakalářské práci byly zjišťovány emise vznikající při produkci biopaliva z japonského topolu, konkrétně z jeho kříženců topol černý (*Populus nigra*) a topol Maximovičův (*Populus maximowiczii*). Celková produkce emisí byla zpracována z pohledu provedených operací a materiálových vstupů.

Dílčím cílem práce bylo zpracovat tematiku týkající se pěstování japonského topolu počínající volbou vhodného klonu přes výsadbu a následnou údržbu a sklizeň plantáže. Jako nejvhodnější se pro naše podmínky jeví klony pod označením J – 104 a J – 105, které vynikají svým zdravotním stavem i výnosem. Mezi nejpoužívanější technologie se pak řadí metoda krátkého obmýetí (3 – 7 let) a následná sklizeň upravenou řezačkou s produkcí dřevní štěpky.

Dalším cílem bylo ověřit hypotézu, že celková emisní zátěž při pěstování japonského topolu nepřesáhne za 22 let (životnost plantáže) produkci 10 tun CO₂ eq na jeden hektar. Pomocí LCA analýzy bylo zjištěno, že celková produkce CO₂ eq za celou životnost plantáže dosáhla 7864,23452 kg CO₂/ ha. Celková produkce sušiny z hektaru byla za celou životnost téměř 190 tun, čemuž odpovídá 0,032668 kg CO₂ eq/ kg sušiny. V porovnání s pšenicí, která vyprodukuje 0,5581 kg CO₂ eq/kg sušiny, nebo chřasticí rákosovitou (životnost porostu 10 let) u které hodnota dosahuje 0,12645 kg CO₂ eq/kg sušiny je však tato hodnota velice příznivá. Z výsledků je zřejmé, že intenzivní porosty, které jsou založeny na delší dobu, produkují relativně málo skleníkových plynů a jsou tudíž perspektivní. Předpokládaná hypotéza byla tímto tedy potvrzena.

Druhá hypotéza byla, že největší emisní zátěž vzniká aplikací hnojiv a chemickým ošetřováním porostu z pohledu celkových emisí plantáže. Celkově za celou životnost těmito kroky vzniklo 3490,66265 kg CO₂ eq/ha, což je 44,4% z celkového množství emisí. Tato hypotéza byla tedy také potvrzena. U těchto operací je navíc nutno zohlednit veškeré dopady na životní prostředí.

Je důležité zmínit, že celková zátěž by byla ještě o něco vyšší, protože součástí výpočtu nejsou data ohledně likvidace plantáže. Tato data nebylo možno u sledované plantáže z hlediska dlouhé životnosti získat. Data ohledně likvidace jsou již sice k dispozici, protože již dochází k rušení plantáží, avšak tato fáze nebyla cílem práce a proto zde nebyla řešena. Likvidace plantáže na konci její životnosti je však případným námětem pro další práci.

POUŽITÉ ZDROJE:

BALÍK, Jiří, Jindřich ČERNÝ a Martin KULHÁNEK. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2329-2.

CELJAK I., 2007: Biomasa nemá význam pouze energetický. *Agro magazín*, 11, 40-43s.

CELJAK I., 2010: Pěstování topolů pro energetické účely – 3. *Biom.cz* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-3>>. ISSN: 1801-2655.

CELJAK I., BOHÁČ J., KOHOUT P., 2008: Význam cíleně pěstovaných rychlerostoucích topolových porostů v krajině, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-140-6

CENEK M. a kol. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2001, 208 s. ISBN 80-901985-8-9.

CONSOLI, *Guidelines for life-cycle assessment: 'A Code of Practise'*, SETAC, 1993: Brusel

ČÍŽEK V., 2007: Základní předpoklady pro zakládání plantáží a pěstování rychle rostoucích dřevin v ČR. Valašské Meziříčí: Mikroregion Hranicko, o.p.s. 39 s.

ČÍŽKOVÁ, L., ČÍŽEK, V., 2006: *Pěstování rychle rostoucích dřevin v České republice*. s. 5-23. In: *Pěstování sadebního materialu a zakládání porostů rychle rostoucích dřevin*. MZE a SLŠ ČR, Lesnická práce, ISBN 80-86386-85-6, 68 s.

ČÍŽKOVÁ, Lud'ka. Generativní množení topolů. *Lesnický průvodce*. 2011, (5), 21.

ČURDA, Dušan a Alena FUCHSOVÁ. *Ekologická bilance - hodnocení životního cyklu*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-85-368-95-1.

FAJMAN M., 2013: Produkční parametry výmladkových plantáží topolů a regulace kotlů na biomasu. Habilitační práce, Mendelova univerzita v Brně, 216 s.

FIALA P.,: Rychle rostoucí dřeviny na bývalých pastvinách. *Biom.cz* [online]. 2010-07-28 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rychle-rostouci-dreviny-na-byvalych-pastvinach>>. ISSN: 1801-2655.

FISCHER M., TRNKA M., KUČERA J., FAJMAN M., ŽALUD Z., 2011: Biomass productivity and water use relation in short rotation poplar coppice (*Populus nigra* x *p. maximowiczii*) in the conditions of Czech Moravian Highlands. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. sv. LIX, č. 6., ISSN 1211-8516. 141-152 s.

- HANZÁK J., POTŮČEK M., 2010: *Pěstování rychle rostoucích dřevin*. Less.cz [online]. [cit. 2017-02-10]. Dostupné na: http://www.less.cz/DocumentStore/RRD_plantážnictví.pdf
- HOVORKOVÁ S., 2013: Environmentální aspekty pěstování energetických plodin – produkce CO₂ eq. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 50 s.
- JECH J. a kol. (2003), Biomasa obnovitelný zdroj energie v krajině, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice, ISBN 80-85116-32-4. s-36 – 39
- JIXIAO, Cui a Peng SUI. Carbon emission of maize-based cropping systems in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production*. 2019, **2019**(213), 300-308.
- KAVKA, M, et al. Normativy zemědělských výrobních technologií. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2006. 376 s.
- KOČÍ, Vladimír. *Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment - LCA*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 978-80-86832-42-5.
- KOHOUT P., *Rychle rostoucí dřeviny v energetice: (topoly a vrby) : [odborná monografie]*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2010. ISBN 978-80-7394-247-2.
- KOLONIČNÝ J., Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.
- KOZÁČEK, L., 2009 : Produkční a energetické parametry plantáží rychle rostoucích dřevin. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 82 s.
- KRZY_ZANIAK, Michał, Mariusz STOLARSKI a Kazimierz WARMINSKI. Life cycle assessment of poplar production: Environmental impact of different soil enrichment methods. *Journal of Cleaner Production*[online]. 2019, **2019**(206), 785-796 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: www.elsevier.com/locate/jclepro
- LIPOWSKÁ M., 2011: Pěstování energetických plodin a jejich využití v ČR. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 41 s.
- LYČKA Z., Co je dřevní biomasa. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/8011-co-je-drevni-biomasa>
- MALATĚK J., VACULÍK P., *Biomasa pro výrobu energie*. Praha, 2008, 206 s. ISBN 978-80-213-1810.6.

- MOUDRÝ J. (Jr.); JIROUSKOVA Z.; PLCH R.; MOUDRÝ J.; KONVALINA P., HYSPLER R., 2011: Emisní zátěž při pěstování a zpracování pšenice. [The emission load during growing and processing of wheat.] *Úroda : časopis pro rostlinnou produkci*, 59 (12), pp. 501-506.
- MOUDRÝ J., STRAŠIL Z., 1999: Pěstování alternativních plodin. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice, 165 s.
- NIKL M. a kol., 2009: Pěstování a využití biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely. Pracovní metodika pro privátní poradce v lesnictví. Brandýs nad Labem: ÚHŮL, 35 s.
- NIKL M., SOUŠEK Z., WEGER J., 2012: Pěstování a využití biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely. Pracovní metodika pro privátní poradce v lesnictví. Brandýs nad Labem: ÚHŮL, 40 s.
- PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ J., 2004: Biomasa obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public, ISBN 80-86534-06-5, 288 s.
- PETŘÍKOVÁ V. *Energetické plodiny*. Praha: Profi Press, 2006. ISBN 80-86726-13-4.
- POLANECKÝ K., 2015 České perspektivy využití větru a Slunce pro elektřinu: *Energie 21*, 8(6), 10-11 s.
- REMTOVÁ K. *Trvale udržitelný rozvoj a strategie ochrany životního prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, c1996. Services for universities. ISBN 80-85-368-93-5.
- SAGLENA, Jan: Komerční pěstování rychlerostoucích dřevin v ČR. *Biom.cz* [online]. 2012-07-16 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/komercni-pestovani-rychlerostoucich-drevin-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- SCRAGG, Alan. *Biofuels Production, Application and Development*. Cambridge: CABI North American Office, 2009, 237 s. ISBN 978 1 84593 592 4.
- STUPAVSKÝ V., 2009: Výběr vhodného stanoviště pro založení plantáže rychle rostoucích dřevin. *Biom.cz* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyber-vhodneho-stanoviste-pro-zalozeni-plantaze-rychle-rostoucich-drevin>>. ISSN: 1801-2655.

ŠEDIVÝ, Pavel: Pěstování energetických plodin na devastovaných půdách. *Biom.cz* [online]. 2008-12-31 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-energetickych-plodin-na-devastovanych-pudach>>. ISSN: 1801-2655.

ŠPATENKA P., 2015: Sklizeň japonského topolu a jeho využití k vytápění. *Energie* 21., 8(5), 14-17 s.

TICHÁ, Marie a Bohumil ČERNÍK. POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU - LCA. *Projekt-lca* [online]. 2009 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://lca.cz.cz/projekt-lca/lca.html>

TRNKA M., TRNKA M., FIALOVÁ J., KOUTECKÝ V., FAJMAN M., ŽALUD Z., HEJDUK S., 2008: Biomass production and survival rates of selected poplar clones grown in a short-rotation on a former arable land. *Plant, Soil and Environment*. č. 54., ISSN 1214-1178. 78—88 s.

WEGER J., 2000: Zakládání a pěstování produkčních porostů dřevní biomasy. *Biomasa zdroj obnovitelné energie v krajině*. Průhonice, 23-32 s.

WEGER J., 2003: Biomasa pro energetické účely-Pěstování výmladkových plantáží rychle rostoucích dřevin (RRD) na zemědělské půdě. *Lesnická práce*, 4, 30-32 s.

WEGER, J., Bubeník, J., (2012): Produkce biomasy nových klonů vrb a topolů po šesti letech pěstování na zemědělské půdě v tříletém obmýtí. *Acta Pruhoniciana* 100: 51–62.

WEGER, J., HAVLÍČKOVÁ, K.: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie v krajině*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2003, 51 s. ISBN 80- 851-1632-4.