

Hodnocení produkce biomasy topolů a vrb na Lochočické výsypce po 27 letech sledování porostu

Evaluation of biomass production of poplars and willows on Lochočice spoiler heap–mine after 27 years of growth observation / Bewertung der Biomasseproduktion von Pappeln und Weiden auf der Lochočická-Deponie nach 27 Jahren Bestandsüberwachung

ING. JAN WEGER PH.D., BC. JAROSLAV BUBENÍK, ING., BC. KAMILA VÁVROVÁ PH.D.

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Průhonice; weger@vukoz.cz; bubenik@vukoz.cz

Přijato: 13. 4. 2023, recenzováno: 15. 5. a 13. 6. 2023

ABSTRAKT

Pokusný porost byl založen za účelem výběru vhodných klonů topolů a vrb pro produkci biomasy nebo biologickou rekultivaci na východním svahu Lochočické výsypky připravené pro lesnickou rekultivaci. Od roku 1995, na konci vegetačních období, probíhala měření růstových parametrů. Sklizeň ve tříletém obmýtlí proběhly v letech 1998, 2001, 2004, 2007 a v roce 2010 také v další části porostu po 12letém obmýtlí. Průměrný roční výnos šesti nejlépe hodnocených topolových klonů v 3letém obmýtlí za 4 sklizeň 2001–2010 byl 5,5 t (suš.)/ha/rok u 12letého obmýtlí 3,6 t (suš.)/ha/rok. Po 27 letech výmladkového pěstování (5 sklizeň) si v podmínkách výsypky zachovala z testovaného sortimentu dobrou vitalitu jen registrovaná odrůda křížence *P. nigra* × *P. simonii* 'Kaktu', kterou je možno doporučit pro produkci biomasy i rekultivaci výsypek v podkrušnohorské oblasti.

The experimental plantation was established of fast-growing trees on an eastern slope of recultivated spoiler heap–mine Lochočice. Quantitative parameters have been measured since the end of first growing season in 1995. The plantation was harvested in 3year and 12year rotations in 1998, 2001, 2004, 2007 and 2010. The average annual yield was 5.5 and 3.6 t(dry)/ha/yr of six best evaluated poplar clones in 3year rotation after four harvests (2001–2010) and in 12year rotation respectively. Only registered variety of *P. nigra* × *P. simonii* 'Kaktu' maintained good vitality after 27 years of coppicing with 5 harvests in 3year rotation in condition of spoiler heap–mine. This variety can be recommended for biomass production and recultivation of spoiler heap–mines in the Lower-Ore Mountains region.

Der Versuchsbestand wurde eingerichtet, um geeignete Pappel- und Weidenklone für die Biomasseproduktion oder eine biologische Rekultivierung am Osthang der für die forstwirtschaftliche Rekultivierung vorbereiteten Lochočická-Abraumdeponie auszuwählen. Seit 1995 werden, am Ende der Vegetationsperioden, die Wachstumsparameter gemessen. Die Ernten in der dreijährigen Wachstumsperiode wurden 1998, 2001, 2004, 2007 und im 2010 auch in einem anderen Teil des Bestandes nach einer 12-jährigen Wachstumsperiode durchgeführt. Der durchschnittliche Jahresertrag der sechs bestplatzierten Pappelklone in der dreijährigen Wachstumsperiode über die vier Ernten 2001–2010 betrug 5,5 t (Trockengewicht)/ha/Jahr, in der zwölfjährigen Wachstumsperiode 3,6 t (Trockengewicht)/ha/Jahr. Nach 27 Jahren Niederwaldanbau (5 Ernten) hat nur die registrierte Sorte der Hybrid *P. nigra* × *P. simonii* 'Kaktu' unter den Bedingungen der Deponie eine gute Wuchskraft behalten und kann für die Biomasseproduktion und die Sanierung von Deponien in der Region unterhalb des Erzgebirges empfohlen werden.

Klíčová slova: topol - biomasa - výnos - výmladková plantáž - výsypka

Keywords: poplar - biomass - yield - short rotation coppice - spoiler heap–mine

1 | ÚVOD

Stanoviště pokusu na Lochočické výsypce se nachází v severočeském Podkrušnohoří - Mostecké pánvi, jež je oblastí silně ovlivněnou povrchovou těžbou hnědého uhlí. Mostecká pánev má rozlohu 1 420 km², z nichž je 850 km² uhlonosných a rozkládá se na území od Kadaně až po Ústí nad Labem. Je dlouhá 80 km a její šířka kolísá mezi 2,5 až 16 km. Je zde vyvinuta 10 až 50 m mocná hnědouhelná sloj miocenního stáří, která se západním směrem štěpí.

Fytogeograficky spadá oblast do kategorie doubrav, resp. do dubohabřin a lipových doubrav. Těžbou, transportem a ukládáním nadložních hornin a hlusiny vznikají výrazně odlišné petrografické a stratiografické vlastnosti daného území. Na celém těžbou

dotčeném území dochází k degradaci až destrukci pedosféry [40]. Nachází se zde řada výsypek s povrchovou vrstvou neúrodné zeminy z hloubek i více než 100 m, či orniční vrstvou narušenou přesuny. Tyto výsypky jsou revitalizovány tzv. zemědělskou nebo lesnickou rekultivací za účelem zkvalitnění ekologicko-ekonomických podmínek v dané oblasti [8]. V posledních dekádách se také na vybraných lokalitách ověřují postupy rekultivace, které využívají přirozené sukcese rostlinných i živočišných druhů. Pro lesnickou rekultivaci byly tradičně používány topoly a vrby z důvodu jejich rychlého růstu a vytvoření porostního klimatu vhodného pro výsadby fyto geograficky odpovídajících a hospodářsky cílových druhů dřevin [5,30]. Vybrané klony a odrůdy těchto rychle rostoucích dřevin (RRD) jsou také perspektivní pro produkci dendromasy využitelné pro

materiálové nebo energetické účely. Porosty RRD mají díky svým hydrologickým, protierozním, stabilizačním, asanačně-hygienickým, klimatickým a esteticky-rekreačním funkcím kladné vlivy i na své okolí [54]. Výběr druhů dřevin má odpovídat fyto geografické oblasti, povaze stanoviště a funkci porostu [40].

Výmladkové plantáže jsou novou formou pěstování rychle rostoucích dřevin (RRD), zejména topolů a vrb, na zemědělské půdě, která je určená k produkci biomasy využitelné pro energetické nebo materiálové účely a zpracování. Tyto porosty mají významné mimoprodukční funkce a přínosy [7,52]. Cílem pěstování energetických plodin druhé generace, mezi které patří RRD, je přispění k splnění ambiciózních cílů v oblasti energetické politiky obnovitelných zdrojů do roku 2050, kdy se mají země EU stát uhlíkově neutrální [22,33]. Na rozdíl od jednoletých zemědělských plodin pěstovaných na orné půdě disponují rychle rostoucí dřeviny rozsáhlým kořenovým systémem [4] efektivně využívajícím živiny a současně zlepšujícím půdní vlastnosti jako je obsah organické hmoty a půdní struktura [35]. Výmladkové plantáže vyrovnávají po vytvoření korunového zápoje odtokové poměry lokality a tím i riziko vyplavování živin a eroze [39]. Porosty RRD, zejména pak vybrané druhy a klony vrb, jmenovitě v roce 2017 registrovaná odrůda 'Rokyta' [23], mohou sloužit jako vegetační filtry pro kontaminované půdy

[10,21,41] nebo odpadní vody či kaly [11]. Podle posledních výsledků výzkumu jsou výmladkové plantáže též CO_2 negativní – v průběhu životnosti plantáže uloží zejména do půdy více uhlíku, než se uvolní jejich pěstováním. Z hlediska následného energetického využití biomasy jsou pak tyto porosty RRD hodnoceny jako CO_2 neutrální – množství uhlíku uvolněné spalováním biomasy je ve velmi krátké době (za obmýtí 3-6 let) opět akumulováno do narůstajícího dřeva. Čím déle se porost na ploše vyskytuje a čím větší je, tím více absorbuje uhlíku z vzdušného CO_2 [32,34]. Rozvoj pěstování nepotravinářských plodin na antropogenních a devastovaných půdách může též pomoci jejich rychlejší biologické rekultivaci, což má významný dopad na životní prostředí a zvýšení celkové ekologické stability postižené oblasti. [18].

Porosty RRD se též podílejí na zvyšování biodiverzity lokality, příp. oblasti, zejména v oblastech s intenzivní a monokulturní zemědělskou nebo lesnickou výrobou [12,47,50]. Umístění porostů RRD v blízkosti prvků přírodě blízké trvalé vegetace nebo ÚSES apod. urychluje prostupování významné místní fauny a flory do výmladkové plantáže [13]. Výmladkové plantáže se stávají úkrytem pro mnoho druhů organismů, které z naší krajiny mizí tlakem intenzivní hospodářské činnosti. V oblasti mostecké pánve značně přemnožená spárkatá zvěř však může významně poškodit čerstvě vysazené a mladé



Obr. 1: Stav porostu na lokalitě Lochočická výsypka v období nejlepšího růstu před 3. sklizní (únor 2004); zprava jsou klony S-335, odrůda 'Rokyta', S-253, P-365 (silně odumřelý), P-267, P-264, odrůda 'Kaktu' (P-412), (P-410) a P-506.

porosty RRD. Dalším způsobem, jak je možno zvyšovat biodiverzitu a environmentální efekty výmladkových plantáží, je zakládat vícedruhové a více-klonové plantáže [42]. Sníží se tak riziko škodlivého dopadu dřevokazných hub, hmyzu [24,36] a zvýší jejich celková odolnost. Je však důležité, aby byly při zakládání porostů RRD respektovány jisté podmínky, jako je ochrana stávajících, přímou činností člo-

věka neovlivněných vegetačních prvků, významné populace domácích rostlin (např. chráněné luční porosty, populace topolu černého), příkopy, kraje lesů s bohatou druhovou strukturou aj. Pro vytváření a zachování biodiverzity výmladkových plantáží je vhodné minimalizovat intenzivní odplevelování na období od přípravy pozemku do prvního, výjimečně druhého roku po založení plantáže [36], v zá-

Tab. 1: Sortiment klonů topolů a vrb vysazených v porostu Lochočická výsypka.

Kód klonu (VÚKOZ)	Číslo klonu	Taxonomické označení	Původ
Topoly			
P-nigLuž-003	P-003	<i>P. nigra</i> L.	Brno Lužánky, Česká rep.
P-nigKun-035	P-035	<i>P. nigra</i> L.	Kunovice, Česká rep.
P-nigPře-062	P-062	<i>P. nigra</i> L.	Přerov nad Labem, Česká rep.
P-nigsim-410	P-410	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carr. 'Kaktu'*	Přerov nad Labem, Česká rep.
P-nigsim-412	P-412	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carr. 'Kaktu'*	Přerov nad Labem, Česká rep.
P-nigsim-413	P-413	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carr. 'Kaktu'*	Přerov nad Labem, Česká rep.
P-delsim-414	P-414	<i>P. nigra</i> L. × <i>P. simonii</i> Carr. 'Kaktu'*	Přerov nad Labem, Česká rep.
P-eurNLB-264	P-264	<i>P. × canadensis</i> Moench 'NL-B-132b'	Wageningen, Nizozemsko
P-euroam-267	P-267	<i>P. × canadensis</i> Moench 'Quareento'	Gabčíkovo, Slovensko
P-euraCZ-327	P-327	<i>P. × canadensis</i> Moench 'CZ-344/58'	Špalek, Česká rep.
P-euraCZ-364	P-364	<i>P. × canadensis</i> Moench 'CZ-364'	Špalek, Česká rep.
P-euroam-365	P-365	<i>P. × canadensis</i> Moench pč. 337	Kunovice, Česká rep.
P-euraCZ-370	P-370	<i>P. × canadensis</i> Moench 'CZ-2018/58'	Přerov nad Labem, Česká rep.
P-euraCZ-371	P-371	<i>P. × canadensis</i> Moench 'CZ-A-010'	Špalek, Česká rep.
P-euraCZ-532	P-532	<i>P. × canadensis</i> Moench 'CZ-981'	Kunovice, Česká rep.
P-euraCZ-538	P-538	<i>P. × canadensis</i> Moench 'CZ-1005'	Kunovice, Česká rep.
P-delang-105	P-105	<i>P. deltoides</i> Marsh. var. <i>angulata</i> Ait.	Maďarsko
P-delmis-106	P-106	<i>P. deltoides</i> Marsh. ssp. <i>missourinensis</i> A. Henry	Gabčíkovo, Slovensko
P-delBel-107	P-107	<i>P. cf. trichocarpa</i> Torr. & Gray	Belgie
P-delBel-108	P-108	<i>P. deltoides</i> Marsh.	Belgie
P-delMLR-506	P-506	<i>P. deltoides</i> Marsh.	Maďarsko
P-dellau-415	P-415	<i>P. deltoides</i> Marsh. × <i>P. laurifolia</i> Ledeb.	Pardubice, Česká rep.
P-iamNE2-430	P-430	<i>P. deltoides</i> Marsh. × <i>P. trichocarpa</i> Torr. & Gray	West Virginia, Parsons
Vrby			
S-albVal-203	S-203	<i>S. alba</i> L.	Valenza, Itálie
S-albCor-464	S-464	<i>S. alba</i> L.	Corabia, Rumunsko
S-vimPuG-253	S-253	<i>S. viminalis</i> L. 'Pulchra Glauca'	Horní Moštěnice, Česká rep.
S-vimina-335	S-335	<i>S. viminalis</i> L.	Kostolany, Slovensko
S-smithF-218	S-218	<i>S. × smithiana</i> Willd. 'Rokyta'	Brno, Česká rep.
S-smiDob-417	S-417	<i>S. × smithiana</i> Willd.	Černolice, Slovensko
S-capwin-703	S-703	<i>S. caprea</i> L. × <i>wind</i>	Pospíšil, Česká republika
S-capwin-705	S-705	<i>S. caprea</i> L. × <i>wind</i>	Pospíšil, Česká republika

*dříve též pod označením klon 'CZ-2354/58'

vislosti na vitalitě růstu dřevin po výsadbě. Jedním z mnoha opatření jak zlepšit druhovou rozmanitost lokality, obzvláště pak v případech zemědělských rekultivací, jsou v současnosti hojně studované a částečně do praxe zaváděné agrolesnické systémy kombinující produkci jednoletých zemědělských plodin a živočišnou výrobu s trvalými kulturami dřevin, včetně RRD [25,28].

Při rekultivacích je důležité použít klony, které jsou produktivní a efektivně využívají půdní živiny. Nízký odběr živin z půdy je žádoucí jak pro ekonomiku, tak i udržitelnost pěstování energetických plodin [1]. Na základě studia půdních odběrů a rozborů základních živin v horizontech 5–15 cm a 50–60 cm v porostech RRD jsme zjistili, že výmladkové plantáže topolů a vrb nemají výrazný vliv na živinové poměry 11 studovaných lokalit [44]. Výhodou pěstování RRD z hlediska živinového zásobování je skutečnost, že značná část živin se vrací do půdy v opadu. Navíc v případě topolů a vrb se primárně sklízí lignocelulózní nadzemní dřevní hmota, která je chudá na živiny, na rozdíl od plodů a květenství energetických plodin první generace jako je například řepka nebo pšenice. Uvádí se, že například v ročním opadu výmladkových plantáží topolů se vrací do půdy až 68 kg dusíku na hektar [37].

Nezanedbatelným pozitivním efektem uplatnění netradičních technických a zejména energetických

plodin při biologické rekultivaci výsypek je ekonomický efekt z možného tržního uplatnění vyprodukované zemědělské biomasy [18]. Z ekonomického hlediska by pak biomasa (štěpka) z výmladkových plantáží pěstovaných na výsypkách mohla být využitelná zejména v místních kotelnách, při spalování s uhlím v blízkých elektrárnách nebo pro peletování či komunální energetiku. Celková rozloha zemědělských rekultivací výsypek v lokalitě hnědouhelných dolů Kohinoor a Chabařovice, kde se nachází i Lochočická výsypka, je odhadována na 580 ha, v případě lesnických rekultivací výsypek lze uvažovat o 1 300 ha rozlohy [40]. Námi sledovaný pokusný porost RRD se nachází v souřadnicích 50°38'1,244"N, 13°56'59,754"E na místě, kde před vytěžením stála vesnice Lochočice.

Cílem tohoto článku je vyhodnocení porostu s výmladkovým pěstováním 10 vybraných klonů topolů, jedné topolové odrůdy a jedné vrby na stanovišti v nepříznivé lokalitě s probíhající rekultivací. Po skončení rekultivace a jejím předání LČR sledujeme ve výsadbě RRD vývoj rozpadajícího se porostu výnosové zkoušky vybraného sortimentu rychle rostoucích dřevin. V textu se zaměřujeme zejména na hlediska dynamiky a setrvalosti výnosu biomasy z plantáže využitelné k energetickým účelům. Článek je součástí souboru hodnocení pokusných ploch na různých místech České republiky [2,45].



Obr. 2: Stav porostu na lokalitě Lochočická výsypka v roce 2023, únor; zprava jsou nezřetelně viditelné klony S-335, odrůda 'Rokyta', S-253, P-365 (silně odumřelý), P-267, P-264, odrůda 'Kaktu' (P-412), (P-410) a P-506.

2 | MATERIÁL A METODIKA

Pokusná plocha byla založena na východním svahu lesnické rekultivace výsypky Lochočice – sever IV.B u města Chabařovice. Výsadba do jednořádků o spoju 0,33 m × 2,5 m (12 121 rostlin na hektar) na ploše 3 500 m² byla provedena v první polovině dubna roku 1995 rekultivační divizí Mostecké uhelné společnosti, která plochu také oplotila. V současné době oplocení již neexistuje (stav 2023). Po úspěšném ujetí topolů a vrb byla výsadba z důvodu pomalého růstu v prvních dvou letech po výsadbě odplevelována sečením v meziřádcích. Po vytvoření korunového zápoje po první sklizni ve čtvrtém roce od založení, kdy začal porost výrazně rychleji růst, byla údržba omezena na minimum. Plocha nebyla nikdy hnojena ani zavlažována. Oplocení přestalo být funkční po 8 letech.

Výsadba nebyla koncipována jako polní pokus, vysazené klony topolů a vrb jsou vysazeny pouze v jednom opakování. Od počátku byl porost sledován s ohledem na potenciál jednotlivých klonů k využití pro energetické účely na rekultivovaných plochách severočeských hnědouhelných dolů, a proto byly jednotlivé řádky s klony rozděleny do bloků s odlišnou délkou obmytí 3 a 12 let. Část porostu byla ponechána bez zásahů a nebyla měřena ani sklízena. V průběhu existence porostu měnila plocha majitele, respektive správce, a v současnosti je po období pod Palivovým kombinátem Ústí nad Labem s.p. v majetku Lesy České republiky, s.p., Lesní správa Litoměřice.

2.1 | SORTIMENT DŘEVIN

Celkem bylo na ploše vysazeno 23 topolových a 8 vrbových klonů, jež byly vybírány s ohledem na celkové nepříznivé podmínky lokality. Tabulka 1 uvádí sortiment vysazených klonů.

Po jisté období existovaly nejasnosti ohledně taxonomického zařazení klonů P-nigsim-410/P-412/P-413/P-414 'Kaktu'. [29] píše o klonu *P-delsim-414* jako o kříženci *P. deltoides* a *P. simonii*. Analýzou čtyř výše zmíněných klonů (P-410, P-412, P-413, P-414) ve VÚKOZ DNA laboratoři jsme zjistili genetickou totožnost těchto klonů, čímž jsme zrevidovali taxonomické zařazení hybrida P-delsim-414 z *P. deltoides* × *P. simonii* na *P. nigra* × *P. simonii* [26]. Později

byl klon P-delBel-107 identifikován jako geneticky příbuzný nikoli s klony *P. deltoides*, ale s klony druhu *P. trichocarpa* [48]. Neupřesněný stále zůstává původ klonu P-iamNE2-430. V našem sortimentu klonů je veden jako *P. × interamericana* (shodné s názvem *P. × generosa*), kříženec druhů *P. deltoides* × *P. trichocarpa*, avšak podle morfologických znaků, především tvaru listů [31], se zdá být bližší hybridu *P. × berolinensis* (kříženec *P. laurifolia* × *P. nigra*) [55]. V tabulce 1, sortiment vysazených klonů, jsou uvedena taxonomická zařazení podle FAO [6,17] včetně změn.

2.2 | PŮDNÍ A KLIMATICKÁ CHARAKTERISTIKA STANOVIŠTĚ

V době založení porostu byly na lokalitě nepříznivé fyzikální vlastnosti navezeného substrátu (silně jílovitá ornice ze skrývky o projektované hloubce 0,30 m, tzv. lesnická rekultivace) a s tím související porušený hydrologický režim půd. Navážení a první kultivace substrátu byly provedeny těsně před výsadbou. Půdní reakce je podle rozborů provedených v letech 2004–2010 nejprve neutrální, později alkalická, v horizontu 50–60 cm v roce 2010 silně alkalická. Všechny půdní rozborů ukazují nízký obsah fosforu. V podorniči i ornici je vyhovující obsah draslíku. U vzorků ornice z roku 2010 je obsah draslíku dobrý. Velmi vysoký obsah hořčíku je v ornici i podorniči. Zjištěné hodnoty obsahu vápníku v půdě Lochočické výsypky se blíží průměrné hodnotě uvedené pro Ústecký kraj (5 211 mg.kg⁻¹) ve vrstvě 5–15 i 50–60 cm. [20]. Obsah oxidovatelného uhlíku je střední ve vrstvě ornice a nízký v podorniči [27]. Naměřené hodnoty obsahů půdních elementů jsou uvedeny v tabulce 2. V roce 2019 jsme v lokalitě porostu RRD Lochočické výsypky provedly kontrolní odběr půdních vzorků v horizontech 5–15 cm. Naměřené hodnoty obsahů půdních elementů jsou uvedeny v tabulce 2.

Spolu s rozborů základních živinových prvků v roce 2019 byly provedeny rozborů rekultivované půdy z hlediska obsahu těžkých kovů. V půdě lokality Lochočická výsypka nebyly zjištěny nadlimitní hodnoty obsahu těžkých kovů. Spolu s rozborů půd byly provedeny též analýzy nadzemní dendromasy modřínu, dvou druhů vrby a topolu. Nadlimitní hodnoty obsahu kadmia byly zjištěny ve dvou vzorcích

Tab. 2: Zjištěná množství půdních elementů na lokalitě Lochočická výsypka.

Odběr	Hloubka	pH	P	K	Ca	Mg	C _{ox}
5. 6. 2019	5–15	7,66	7	290	5368	1108	1,41
7. 4. 2010	5–15	7,43	13,4	309	5356	933	1,40
7. 4. 2010	50–60	7,85	7,6	233	5324	882	0,93
23. 2. 2004	5–15	7,41	10,7	259	4613	1012	1,27
23. 2. 2004	40–50	7,50	8,7	238	4730	837	0,99

vrba a jednom topolu, ve variantě dřevní hmoty modřínu nebyly zjištěny nadlimitní hodnoty. Koncentrace kadmia ve dvou variantách první vrbo-topolové a druhé modřínové byly: 1,00; 1,01; 0,54; 0,02 mg/kg. V ostatních těžkých kovech As, Cr, Hg, Ni, Pb nebyly v nadzemní dřevní hmotě zjištěny nadlimitní hodnoty [51].

Lokalita patří do klimatické oblasti teplé, T2 [38]. Průměrná roční teplota a úhrn srážek byly $\bar{\theta}_t = 8,6^\circ\text{C}$ a $\sum P = 640\text{ mm}$ (ČHMÚ, 2023). Nadmořská výška je 250 m n.m. Průběh ročních sum srážek a průměrných ročních teplot v rozmezí let 1995–2022 je uveden v grafu 1.

2.3 | METODIKA SBĚRU DAT

Mezi lety 1995–2010, na konci vegetačních období, probíhalo měření růstových parametrů RRD. Nejprve byly měřeny výšky a ujmavost rostlin, od roku 1998 též průměr kmene v jednom metru výšky a ve sklizňových letech hmotnost surové (čerstvé) nadzemní biomasy. Sklízně proběhly v letech 1998, 2001, 2004, 2007 a 2010, v době vegetačního klidu.

Měřením růstových parametrů byl sledován zdravotní stav porostu a potažmo potenciál ke sklizni biomasy. Tloušťka kmenů byla měřena digitální průměrkou (Mantax Digitech, Haglöf) s přesností na 1 mm, výška jedinců měřícími latěmi s přesností na 5 cm (dřevěnou latí do 4 m, hliníkovou teleskopickou tyčí Nestle telefix do 8 m), případně výškoměrem Haglöf Vartex IV). Z poměru vysazených a aktuál-

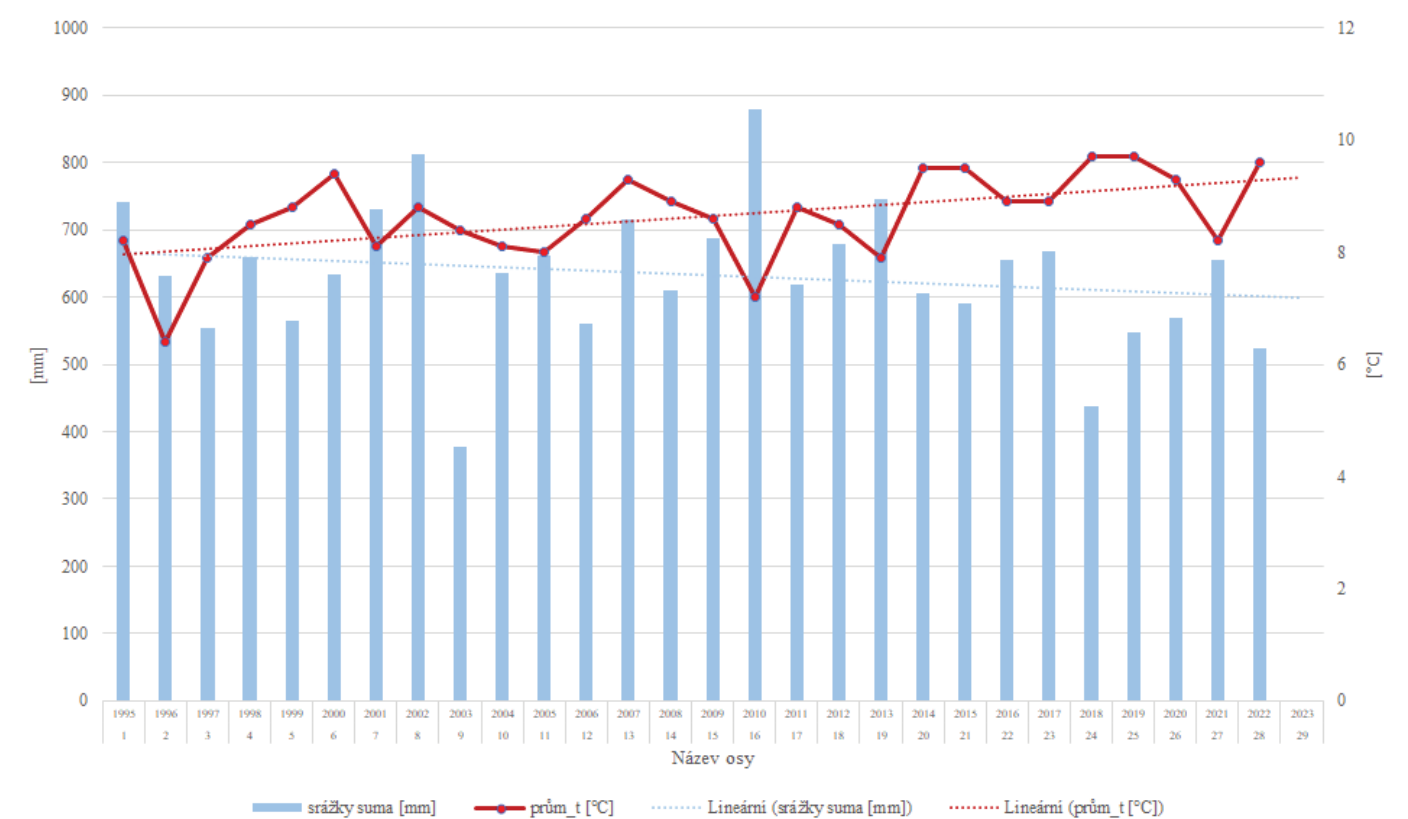
ně živých jedinců bylo vypočteno procento živých jedinců.

Sklizně nadzemní biomasy probíhaly v únoru až dubnu po období růstu v následujícím roce (např. pro obmýtlí 1998–2000 v únoru 2001). Sklízelo se ruční nebo motorovou pilou či křovinořezem podle tloušťky kmínků. Kmeny se podřezávaly ve výšce 0,1–0,3 m nad povrchem půdy dle přírodních podmínek a stavu (stáří) pařezu. Sklizené kmeny z každé pokusné parcelky byly svázané do snopků a zváženy přímo na místě dvěma digitálními vahami Soehnle Professional 2755 (max. nosnost 30 kg; přesnost $\pm 20\text{ g}$). Hmotnost surové biomasy snopků [kg (sur.)] byla odečítána současně na obou vahách s přesností na dekgramy. Po zvážení surové biomasy byly od každého klonu odebrány vzorky o hmotnosti 1–3 kg pro zjištění aktuálního obsahu vody ve dřevě. Hmotnost vzorku čerstvé biomasy byla určena na digitální váze s přesností $\pm 5\text{ g}$. Sušení vzorků bylo prováděno až do konstantní hmotnosti při maximální teplotě 105°C v sušičkách Binder a Conterm Selecta. Podíl sušiny v surové biomase v okamžiku sklizně byl vypočten jako podíl hmotnosti absolutně suchého vzorku a hmotnosti vzorku čerstvé (surové) biomasy. Výnos sušiny [v kg (suš.)] z parcelky se vypočítal jako součin surové (čerstvé) hmotnosti všech snopků a procenta sušiny ve vzorku.

Hektarový výnos sušiny se z údajů polního vážení na parcele počítal dle vzorce:

$$Y_d = W_w * D / A_p / N_{yr} * C \tag{1}$$

Graf 1: Sumy srážek a průměrné roční denní teploty v letech 1995–2022, pro Ústecký kraj (Zdroj: ČHMÚ, 2023).



Tab. 3: Hektarové výnosy (t(suš.)/ha/rok) u sledovaných klonů topolů a vrby v 3 letém obmýtí.

Klon \ rok sklizně	1998	2001	2004	2007	2010	skup.
'Kaktu' (P-412)	0,44	9,30	12,12	5,00	8,78	C
'Kaktu' (P-410)	0,32	7,12	9,05	4,88	11,28	BC
'Kaktu' (P-413)	0,33	4,25	4,52	2,62	8,96	ABC
'Kaktu' (P-414)	0,28	3,68	4,19	3,13	7,48	AB
P-eurNLB-264	0,15	7,47	6,55	0,80	0,48	A
P-dellau-415	0,23	3,60	3,96	2,62	1,28	A
S-vimPuG-253*	0,46	2,71	3,95	7,67	9,15	

*Výsledky jediného hodnoceného klonu vrby nebyly s topoly porovnávány pro značně odlišnou dynamiku výnosu

Y_d - výnos sušiny z hektaru za rok [t(suš.)/ha/rok]
 W_w - hmotnost surové biomasy [kg (sur.)]
 D - podíl sušiny v surové hmotnosti vzorku (%)
 A_p - výměra zkusných ploch, na kterých byl sledovaný klon sklizen [m²]
 N_{yr} - délka obmýtí [v pokusu 3 roky]
 C - koeficient přepočtu hmotnostních a plošných jednotek [v pokusu 10]

Vypočtený hektarový výnos topolů a vrby na lokalitě Lochočická výsypka slouží především k porovnání výnosových schopností mezi klony a odrůdami. Z hlediska dalšího praktického využití takto vypočteného výnosu je nutno uvést, že může být zatížen některými nepřesnostmi (přepočet z relativně malého počtu jedinců, nahodilé vlivy atd.) a lze proto očekávat, že se výnosy na podobných stanovištích budou v reálných podmínkách odlišovat např. podle kvality pěstební péče nebo proměnlivosti pozemku a počasí rekultivovaných lokalit.

Naměřená a vypočtená data z hodnocení byla zpracována statisticky parametrickými metodami analýzy rozptylu (ANOVA) s využitím programu Unistat 5.5. a Statistica.

3 | VÝSLEDKY

Od počátku experimentu docházelo v pokusném porostu k nadprůměrným ztrátám výsadeb, a proto byla, resp. mohla být v konečném hodnocení za 15 let růstu hodnocena jen menší část vysazených klonů, odrůd topolů a vrby. Po průzkumu porostu výmladkové plantáže na Lochočické výsypce v roce 2023 lze konstatovat, že porost je z hlediska počtu přežívajících jedinců v podstatě ve stejném stavu jako v roce 2010 po ukončení pokusných sklizní s tím, že jedinci v obou variantách sklizení (3 a 12 let) vykazují 12letý přírůst nadzemní dřevní hmoty - obrázky č. 2, 5 a 6.

3.1 | VÝNOSY BIOMASY

Průměrný roční výnos šesti topolových a jednoho vrbového klonu, které si zachovaly růstovou vitalitu

(viz tabulka 3.) v 3letém obmýtí po celou dobu experimentu, byl 4,5 t (suš.)/ha/rok za 5 sklizní (1998–2010). Výnosy z roku 1998 dosáhly velmi nízkých hodnot u všech klonů, takže bylo uvažováno dokonce o ukončení pokusu. V následujícím roce však měla většina klonů vynikající přírůsty, což umožnilo pokračování pokusu. V období let 1998 až 2004 docházelo v 3letém obmýtí u sledovaných topolových klonů k postupnému nárůstu výnosu. V roce 2004 byl průměrný výnos topolových klonů 6,7 t (suš.)/ha/rok. V roce 2007 u stejných klonů sklizně poklesly na průměr 3,2 t (suš.)/ha/rok. Ve sklizňovém roce 2010 výnosy odrůdy 'Kaktu' opět významně vzrostly. I s téměř úplným odumřením klonů P-415, P-264 je průměrné množství sklizené dřevní hmoty z 6 vážených topolových klonů v roce 2010 6,4 t (suš.)/ha/rok. Výnosy vrbového klonu S-253 se v tomto období pohybovaly od 2,71 do 9,15 t (suš.)/ha/rok. S každou následující sklizní byl u klonu S-253 zaznamenán nárůst sklizené biomasy. Průběh výnosů 3letého obmýtí je uveden v grafu 2., tabulce 3 (pro ilustraci stavu porostu před třetí sklizní je přiložen obrázek č. 1).

Tab. 4: výnosy (t(suš.)/ha/rok) u sledovaných klonů topolů a vrby ve 3 a 12 letém obmýtí (1998–2010).

Klon	4×3 léta	1×12 let
P-nigsim-412	8,80	6,22
P-nigsim-410	8,08	2,28
P-nigsim-413	5,09	2,96
P-delsim-414	4,62	2,61
P-eurNLB-264	3,83	5,06
P-dellau-415	2,87	2,63
P-nigLuž-003*	---	5,71
P-nigKun-035*	---	2,72
P-euraCZ-532*	---	4,09
P-iamNE2-430*	---	4,63
S-vimPuG-253	5,87	0,8

*dřeviny 3letého obmýtí před třetí sklizní odumřely.



Obr. 3: Odrůda 'Kaktu', *P. nigra* × *P. simonii* před 5. sklizní s dobře viditelným horizontálním větvením (zima 2010).



Obr. 4: Identická odrůda 'Kaktu' druhý rok po 5. sklizni (červenec 2011).

Výnosy jednotlivých klonů a odrůdy ze čtyř po sobě jdoucích sklizní (2001–2010) jsme mezi sebou statisticky porovnávali. Data z roku 1998 nebyla statisticky vyhodnocena z důvodu velmi nízkých hodnot dosažených výnosů. Homogenity rozptylu bylo dosaženo bez logaritmizace dat vypočítaných hektarových výnosů (Levenův test $p = 0,2446$). Pro prokázání rozdílů ve výnosech byla použita analýza variance (ANOVA, resp. MP-ANOVA). Nejlepších výnosů dosáhla odrůda hybridu *P. nigra* × *P. simonii* 'Kaktu' (P-410, P-412, P-413 a P-414) – 3,8 až 7,1 t (suš.)/ha/rok za 5 sklizní (1998–2010). Statisticky prokazné rozdíly mezi nimi však ukazují na značně proměnlivé podmínky pozemku a porostu, protože se jedná o identické genotypy (obrázky č. 3,4).

Výsledky sklizně 12 let starých jedinců hodnocených klonů spolu se srovnáním průměrných výnosů 3letého a 12letého obmytí uvádí tabulka 4. Sumu sklizené sušiny pro jednotlivé klony za 12 let růstu a podíl sklizňových let na celkové produkci biomasy jednotlivých klonů na lokalitě Lochočická výsypka uvádí graf 2. Průměrný výnos sušiny topolů v 12letém a 3letém obmytí za 12 let růstu uvádí graf 3.

Ačkoli je na první pohled patrný rozdíl mezi množstvím dřevní hmoty sklizené ve 12letém a 3letém obmytí, nepodařilo se tento rozdíl statisticky průkazně potvrdit. Výnosy hodnocené odrůdy 'Kaktu' (dříve označované jako klony P-410, P-412, P-413 a P-414) *P. nigra* × *P. simonii*, jsou přehledně znázorněny v grafu 4.

3.1 | VÝŠKA JEDINCŮ

Průměrná maximální výška (V_{max}) jedinců topolových klonů a odrůdy P-264, 'Kaktu' ve 3letém obmytí v roce 2006, 2009, před 4., 5. sklizní, byla 3,45 m, respektive 4,05 m. Klon P-415 není do průměru zahrnut z důvodu chybějících dat V_{max} jedinců před 4. sklizní.

Zatímco v roce 2006 se V_{max} 'Kaktu', P-264 nijak statisticky významně nelišily, v roce 2009 dosáhly 'Kaktu' největších výšek, zatímco P-264 s P-415 byly z šesti měřených (4 opakovaná odrůda 'Kaktu' a 2 klony) nejnižší. Naměřené hodnoty V_{max} i jiných růstových parametrů 3letého a 12letého obmytí jsou uvedeny v tabulce 5. Z důvodu odlišné metodiky měření výšek v dřívějších letech jsou V_{max} uvedeny pouze pro rok 2006 a 2009.

U 12letého obmytí jsou výšky jedinců hybridů *P. deltoides*, *P. nigra*, P-430, P-264, P-532 (14,14 až 14,44 m) statisticky průkazně vyšší než u *P. nigra* L. × *P. simonii* 'Kaktu' (9,12–9,34 m). Ačkoli odrůda 'Kaktu' roste do výšky nejhůře, je hodnocena po výnosové stránce nejlépe v 3letém i 12letém obmytí. Průměrná výška identických opakování 'Kaktu' (P-410, P-412, P-413 a P-414) se v 12leté obmytí pohybovala od 9,12 (P-412) do 10,03 m (P-413).

3.2 | TLOUŠŤKA KMENE A POČET KMENŮ NA ROSTLINU

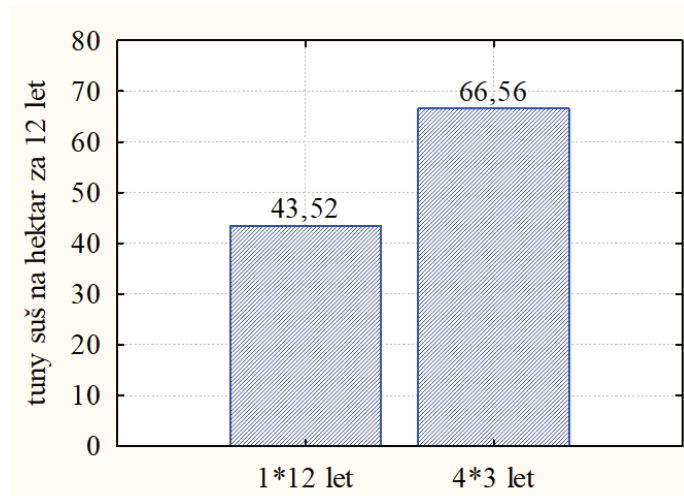
S měřením tloušťky kmene v 1 metru nad úrovní terénu ($d_{1,0}$) bylo započato již před rokem 2006. Tloušťky se měřily šuplerou, přičemž byly vynechávány slabší kmeny. Od roku 2006 je používána digitální průměrka umožňující rychlé měření všech kmenů jedinců, což výrazně ovlivňuje (snižuje) průměrnou hodnotu tloušťky oproti předcházející metodice. Proto je tento růstový parametr především u 3letého obmytí třeba posuzovat s náležitou obezřetností.

V 3letém obmytí v roce 2006 byly výrazně tlustší kmeny klonu 'Kaktu' (22,25 mm) oproti kmenům klonů P-415 a P-264 (12,1 a 12,9 mm), zatímco v roce 2009 byly výrazně tlustší kmeny 'Kaktu' (P-410, P-412, P-414) (15,2; 14,9 a 10,2 mm) oproti klonu P-415 (6,8 mm).

U 12letého obmytí dosahují největších průměrných hodnot tlouštěk kmenů 'Kaktu' (P-412 a P-410) (65,6; 53,4 mm) spolu s *P. nigra* P-003 (63,9 mm), jež jsou průkazně tlustší než průměr tlouštěk kmenů klonu P-430 (32,1 mm).

Průměrný počet kmenů na jedince se u topolů pěstovaných v 3letém obmytí pohyboval v rozmezí 3,00–5,25 v roce 2006 a 4,2–9,4 v roce 2009. U 12letého obmytí je nejnižší počet kmenů na rostlinu u klonu 'Kaktu' (P-413) (1,2) a nejvyšší u klonu P-430 (4). Rozdíl v počtu kmenů na jedince mezi 'Kaktu' (P-413), P-035, 'Kaktu' (P-410) (1,2; 1,4; 1,4) a P-415, P-430 (3,4; 4) je signifikantní. Počty kmenů na jedince se mezi identickými jedinci odrůdy

Graf 3: Průměr tun sklizené sušiny na hektar u 6 topolů sklizených v 12 a 3letém obmytí, 12 let růstu.

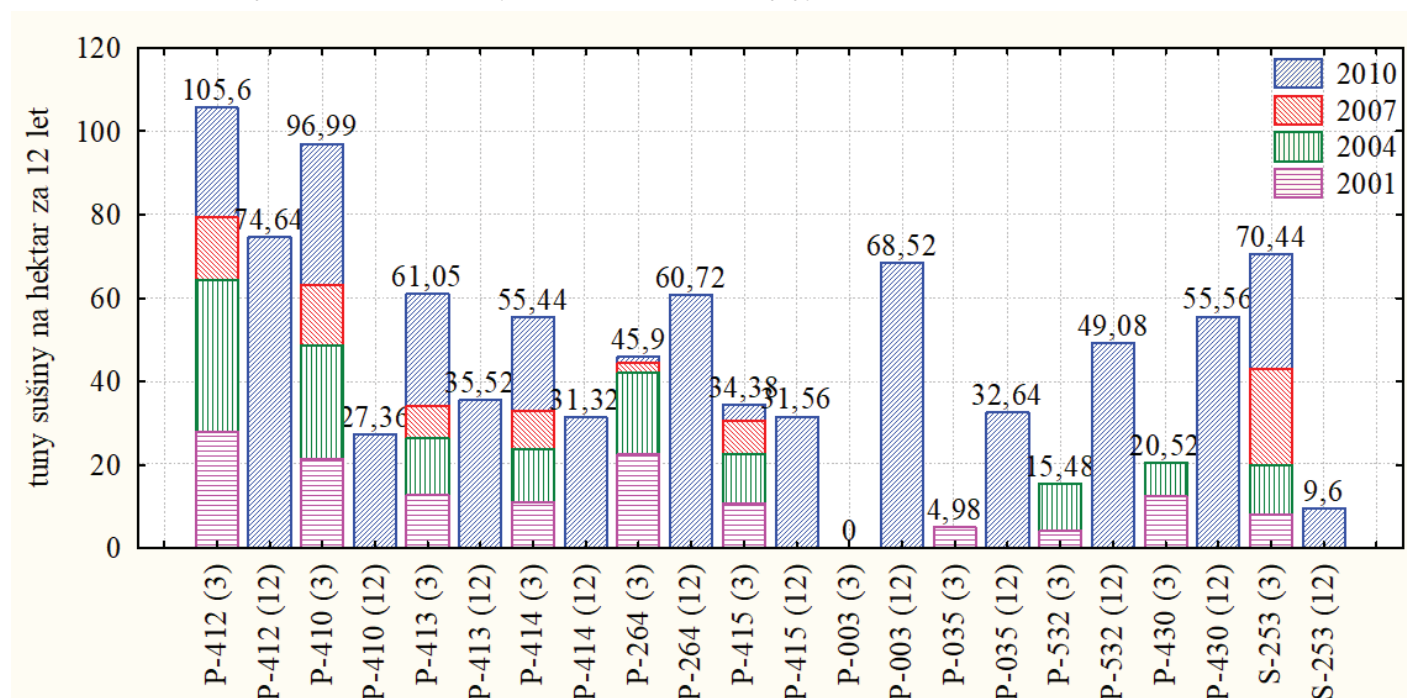


'Kaktu' (P-410, P-412, P-413 a P-414) (1,4; 1,8; 1,2; 1,6) nijak statisticky významně nelišily.

3.3 | PROCENTO PŘEŽÍVAJÍCÍCH JEDINCŮ

Průměrné procento živých (přežívajících) jedinců P-264, 'Kaktu' (P-410, P-412, P-413 a P-414), P-415 a S-253 bylo na ploše 3letého obmytí v roce 2006 59 %, a v roce 2009 pokleslo na 34 %. Do procenta přežívajících nejsou započítány neměřené klony, u nichž jsme zjistili 100% úhyn, nebo nebyly měřeny z důvodu velmi nízkého zbývajících počtu jedinců již před 4. sklizní. V průběhu kontrolního výjezdu na plochu Lochočická výsypka v červenci roku 2011 bylo zjištěno, že většina zbývajících klonů vrby a topolů, s výjimkou hybridů *P. nigra* × *P. simonii*, odumřela.

Graf 2: Kumulativní hektarové výnosy sušiny u vrbového a topolových klonů v 3letém a 12letém obmytí za 12 let (1998 až 2010, 4 sklizně a sklizeň 12letých stromů v roce 2010) na lokalitě Lochočická výsypka.



Procento posledních 4 přežívajících klonů 3letého obmýtí se k roku 2011 pohybuje v rozmezí 29 (P-410) –56 % (P-414).

Průměrné procento živých jedinců P-003, P-035, P-264, 'Kaktu' (P-410, P-412, P-413 a P-414), P-415, P-430, P-532, S-253 12letého obmýtí bylo při sklizni 35 %. Při kontrole porostu v červenci 2011 bylo zjištěno, že 12leté pařezy obrůstají hůře než v 3letém obmýtí. Řada pařezů 12letého obmýtí neobrazila vůbec, či výhony z roku 2010 byly nalezeny suché a pařezy, z nichž obrazily, odumřelé.

U vrb byl hlavním důvodem ztrát po 5. sklizni podobně jako na jiných lokalitách okus a vytloukání spárkatou zvěří, která se dostala na plochy porušeným oplocením (viz tab. 5.). Pro názornou ukázkou rozdílnosti růstu klonů na lokalitě Lochočická výsypka, stavu porostu s 3letou délkou obmýtí, respektive nesklízeného porostu - viz obrázky č. 1–6.

3.4 | REGISTRACE KLONŮ P-410, P-412, P-413 A P-414 NA ODRŮDU 'KAKTU'

Na základě zkušeností z pokusných ploch, včetně zkoumání na Lochočické výsypce, byl vybrán topolový klon P-410 (vzhledem ke genetické shodě zá-

roveň i klony P-412, P-413 a P-414) pro registraci na odrůdu, kterou jsme pojmenovali 'Kaktu'. 'Kaktu' (*Populus × xiaohei* Hwang & Liang, hybrid *Populus nigra × Populus simonii*) bylo úspěšně zaregistrováno v roce 2018. Hlavním charakteristickým rysem této odrůdy jsou dobré výnosy nadzemní dřevní hmoty i při nižších ročních srážkových úhrnech, široké větvení a listy v nižších částech výmladků, zabírající nebo tlumící růst plevelů v podrostu. 'Kaktu' má charakteristický habitus růstu projevující se především až kolmou polohou větví vůči kmeni, viz obrázky č. 3 a 4.

4 | DISKUZE

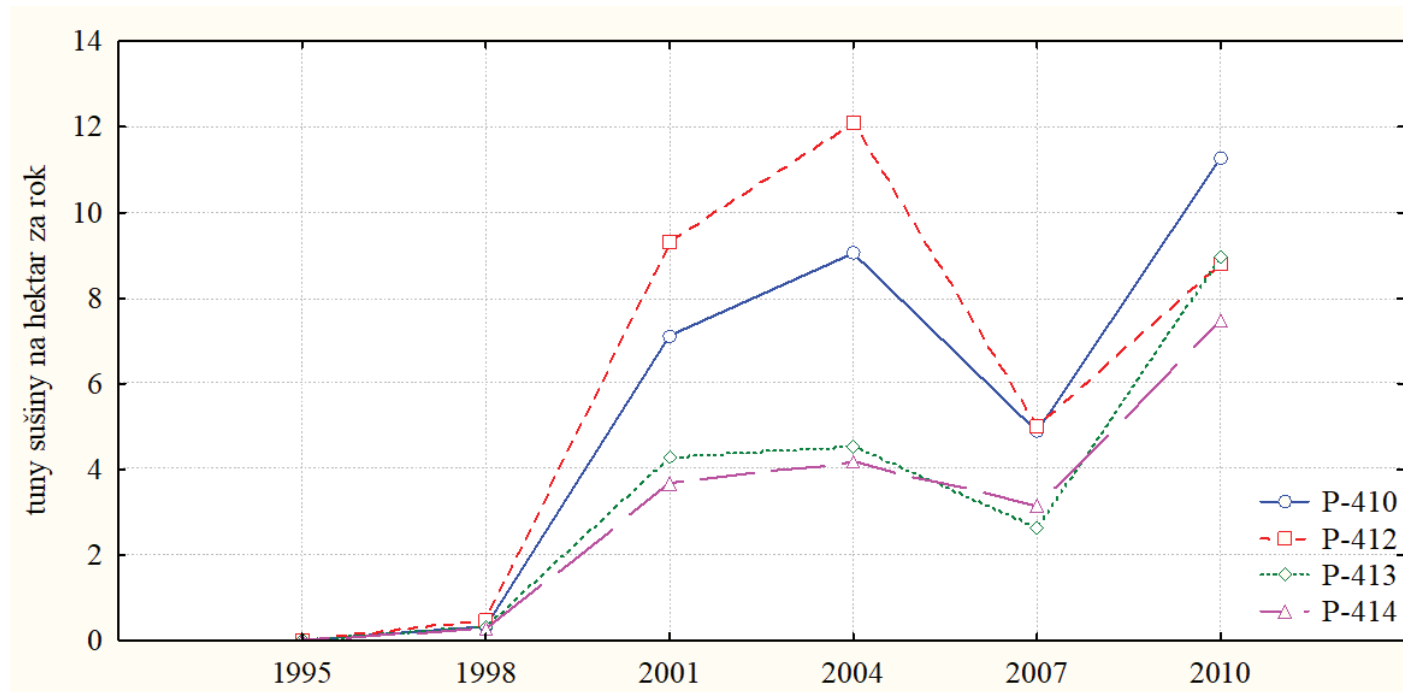
Na základě výsledků rozborů půdy v lokalitě Lochočická výsypka, kde je půdní reakce vesměs neutrální a koncentrace Mg ve všech případech výrazně přesahují 600 mg/kg, lze očekávat podobnou reakci na případnou imisní zátěž jako v jiných lokalitách, například na sokolovských výsypkách. Naměřené hodnoty pH a koncentrace Mg mohou podstatným způsobem eliminovat zhoubný vliv imisních zátěží, především SO₂ [9].

Při porovnání výnosů vybraných klonů topolů a vrb pěstovaných výmladkovým způsobem na lo-



Obr. 5 a 6: odrůda 'Kaktu', *P. nigra × P. simonii* na lokalitě Lochočická výsypka v únoru 2023 po 28 letech růstu s 5 sklizněmi výmladků mezi lety 1995–2011. Na obrázku 5 vlevo je za vzrostlými jedinci patrný úsek sklízený kdysi v režimu 3letého obmýtí, ze kterého prakticky zbyli jen jedinci (ex klon P-410) aktuálně registrovaní jako odrůda 'Kaktu', na obrázku 6 je patrný úsek stromů sklízených po 12 letech růstu patrně stejné odrůdy.

Graf 4: Dynamika výnosu odrůdy 'Kaktu'..



kalitě Lochočická výsypka s výnosy na jiných lokalitách je možno konstatovat, že tato lokalita je spíše podprůměrně vhodná pro produkci biomasy tímto způsobem. Například odrůda 'Kaktu' křížence *P. nigra* × *P. simonii* s průměrnou výší výnosů (4,63 t (suš.)/ha/rok) u 3letého obmýetí odpovídaly úrovni výnosů dosažených na pokusné ploše v Libědicích či Dalovicích u Karlových Varů, které jsou řazeny mezi

lokality nepříznivé pro výmladkové plantáže topolů či vrb (Weger, 2008). Pro zřetelné porovnání rozdílů úrovně výnosů lze uvést lokalitu výzkumného areálu Michovky Průhonice, kde dosahovaly hodnoty výnosy nadzemní dřevní hmoty odrůdy 'Kaktu' po první sklizni tříletého cyklu obmýetí úrovně 5,7 t (suš.)/ha/rok, zatímco po druhé již 11,8 t (suš.)/ha/rok [43].

Tab. 5: Růstové parametry topolů a vrb změřené v letech 2006, 2009 před sklizněmi porostů.

Klon	Průměrné procento živých jedinců			Průměrná výška jedinců [V_{max} ; m]			Průměrná tloušťka kmene [$d_{1,0}$; mm]			Průměrný počet kmenů jedince [ks]		
	3 roky		12 let	3 roky		12 let	3 roky		12 let	3 roky		12 let
	2006	2009		2006	2009		2006	2009		2006	2009	
'Kaktu' (P-413)	42%	42%	40%	3,45 ^A	2,96 ^{AB}	10 ^{AB}	15,4 ^{AB}	8,3 ^{AB}	51,7 ^{AB}	4,2	6,6	1,2 ^A
'Kaktu' (P-414)	83%	56%	80%	3,79 ^A	3,83 ^B	9,5 ^{AB}	15,4 ^{AB}	10,2 ^B	29 ^{AB}	3,75	6,4	1,6 ^{AB}
P-dellau-415	61%	24%	25%	---	2,54 ^A	11,3 ^{AB}	12,1 ^A	6,8 ^A	35,4 ^{AB}	3,75	9,4	3,4 ^{BC}
P-euraCZ-532	---	---	25%	---	---	14,1 ^B	---	---	41,5 ^{AB}	---	---	2,6 ^{ABC}
P-iamNE2-430	---	---	25%	---	---	14,4 ^B	---	---	32,1 ^A	---	---	4,0 ^C
P-nigLuž-003	---	---	35%	---	---	10,4 ^{AB}	---	---	63,6 ^B	---	---	2,0 ^{AB}
P-nigKun-035	---	---	41%	---	---	11,5 ^{AB}	---	---	46,7 ^{AB}	---	---	1,4 ^A
'Kaktu' (P-410)	46%	29%	29%	3,47 ^A	5,70 ^C	9,3 ^A	18,3 ^{AB}	15,2 ^B	53,4 ^B	5,25	8,6	1,4 ^A
'Kaktu' (P-412)	66%	37%	23%	4,09 ^A	5,18 ^C	9,1 ^A	22,3 ^B	14,9 ^B	65,6 ^B	3	4,2	1,8 ^{AB}
P-eurNLB-264	37%	5%	24%	2,85 ^A	2,35 ^A	14,2 ^B	12,9 ^A	9,1 ^{AB}	43,9 ^{AB}	4	4,4	2,4 ^{ABC}
S-vimPuG-253	78%	42%	35%	4,54	4,70	4,4	14,2	11,1	19,3	6,6	10,8	6,0

Legenda:

ABC homogenické skupiny dle ANOVA, statisticky byly porovnávány pouze klony topolů.

Chybějící údaje nebyly měřeny z důvodu špatného růstu těchto klonů při výmladkovém pěstování (3leté obmýetí).

Při srovnání výnosů většiny klonů na lokalitě Lochočická výsypka s Metodikou analýzy potenciálu biomasy [15,16] je možno konstatovat, že odpovídají lokalitám nevhodným pro založení výmladkové plantáže RRD. Teprve po páté sklizni odpovídají výnosy 'Kaktu' průměrné až podprůměrné lokalitě podle rámcové typologie zemědělských půd pro pěstování RRD [46,49].

Z grafu 4 je zřejmá nekontinuita výnosů mezi 3. a 5. sklizní u tříletého obmýetí, resp. propad výnosu biomasy při 4. sklizni. Průběh výnosu byl způsoben zejména rostoucí konkurencí mezi jednotlivými klony. Dalším faktorem snižujícím vitalitu dřevin bylo zastínění vyšším okolním porostem, tzn. 12letým porostem a opláštěním. K špatnému růstu mohl přispět také extrémně suchý rok 2003 s ročním úhrnem srážek 378 mm, což je pouze 59 % průměru za existenci pokusu. Předpokládáme tedy, že v důsledku těchto vlivů došlo ve 4. obmýetí ke snížení produkce biomasy a odumírání většího počtu jedinců. Podle zkušeností z jiných porostů může zastínění zpomalit růst obrážejících pařezů, či podpořit rozvoj houbových chorob zvýšením vlhkosti v místě zastínění. Na řadě živých i odumřelých pařezů byly nacházeny plodnice dřevokazných hub a hniloby. Například na ploše Doubravice [53] došlo po 3. sklizni k téměř kompletnímu odumření části plantáže z důvodu zastínění nesklizeným porostem. Naproti tomu vysoké výnosy dosažené zejména u 'Kaktu' v 5. sklizni mohly být způsobeny kompletním odumřením klonů v okolních řádcích po 4. sklizni, čímž byla výrazně snížena konkurence a usnadněn přístup k světlu i živinám.

Průměrné výnosy nejlepších klonů v pokusu (*P. nigra* × *P. simonii*) z pěti sklizní se pohybovaly v rozmezí 2,34 (P-415) až 7,13 ('Kaktu' P-412) t (suš.) na hektar za rok u 3letého obmýetí, respektive 2,61 ('Kaktu' P-414) až 6,22 ('Kaktu' P-412) t (suš.) na hektar za rok u 12letého obmýetí. V spíše okrajových oblastech pro pěstování topolů v rozmezí 55°28' až 63°48' severní šířky na území Švédska se výnosy topolových porostů pohybovaly od 1,01 do 28,83 t (suš.) na hektar za rok, přičemž průměr ze 41 měřených ploch byl 8,81 t (suš.) na hektar za rok. Očekávaný výnos biomasy je mezi 70–105 t (suš.) na hektar za 10–15 let růstu topolů [19]. Na Lochočické výsypce se v přepočtu podařilo sklídit za 15 let růstu v 3letém obmýetí 34,4 (P-415) až 105,6 ('Kaktu' P-412) t (suš.) na hektar, respektive 27,4 ('Kaktu' P-410) až 74,6 ('Kaktu' P-412) t (suš.) na hektar ve 12letém obmýetí.

Pro srovnání s naším porostem RRD na rekultivované výsypce může být použit pokus založený v německé Lužici. Topoly (*Populus ssp.*, sekce *Tacamahaca*) a vrby (*Salix viminalis*) byly vysázeny na místech, kde proběhla povrchová těžba lignitu. Jednotlivé klony zde dosahovaly výnosů 2,5 až 11,7 t (suš.) na hektar za 3 roky, v průměru 5,25 t (suš.) na hektar za 3 roky v závislosti na substrátu, na kterém byly klony vysázeny. V pokusu se stejným sortimentem

klonů, sponem a založením na zemědělské půdě byly zjištěny výnosy v rozmezí 6,6 až 22,8 t (suš.) na hektar za 3 roky [3].

S výjimkou P-264 a 'Kaktu' nelze výnosy či růstové parametry (V_{max} , $d_{1,0}$, počet výhonů, ujímavost) sledovaných hybridů srovnat s výsledky naměřenými na jiných lokalitách v ČR, protože se ostatní klony v praxi nepoužívají. Průměrný výnos u klonu P-264, vypočtený ze 3 sklizní na čtyřech různých lokalitách, byl 5,24 t (suš.) na hektar za rok, průměrná výška jedince 6,1 m, počet kmenů 5 a procento živých jedinců 62 % [53]. Na Lochočické výsypce tento klon dosáhl po 3. sklizni výnosu 6,55 t (suš.) na hektar za rok, průměrná výška jedince byla 5,52 m, počet kmenů na jedince byl 4,0 a počet živých jedinců 73 %. U klonů českého křížence *P. nigra* × *P. simonii* ('Kaktu') se uvádí průměrná výše výnosů 6,6 t (suš.) na hektar za rok [14]. Na Lochočické výsypce dosáhly čtyři klony tohoto křížence za první tři sklizně průměrného výnosu 4,61 t (suš.) na hektar za rok. Za pět sklizní pak bylo zjištěno 5,37 t (suš.) na hektar (1995–2010).

Pokusný porost rychle rostoucích dřevin na Lochočické výsypce byl složen ze sortimentu topolů a vrb, které se v současné době ve výmladkových plantážích na území ČR již téměř nepoužívají. V případě, že by byly využity současné nejlepší klony, je možné předpokládat, že by některé z nich dosáhly lepších výsledků pro produkci biomasy.

5 | ZÁVĚRY

Na základě dlouhodobého sledování a hodnocení (28 let) pokusného porostu topolů a vrb na rekultivované Lochočické výsypce je možno vyslovit tyto závěry:

1. Pro výmladkové pěstování testovaných topolů byly stanovištní podmínky Lochočické výsypky a zřejmě i jiných lesnicky rekultivovaných výsypek v regionu jen průměrně až podprůměrně vhodné ve srovnání s výsledky na zemědělských půdách v ČR. Porost vyžadoval více pěstební péče, a přesto měla většina topolů a vrb v pokusu pomalé tempo růstu v prvním obmýetí (výnos 0,15–0,46 t (suš.)/ha/rok), relativně nízké celkové výnosy a vysoké ztráty po 15 letech pěstování.

2. Nejlepší výsledky měly klony českého křížence *P. nigra* × *P. simonii* registrované odrůdy 'Kaktu' (ex klony P-410, P-412, P-413, P-414), které dosáhly průměrného výnosu 5,37 t (suš.) na hektar za pět sklizní a zachovaly si dobrou vitalitu i po 15. roce pěstování. Při uvedených výnosech a současných ekonomických podmínkách by byla produkce biomasy z výmladkové plantáže efektivní pouze v případě, kdyby byly pro založení porostu využity finanční prostředky na rekultivaci, neboť zemědělské dotace (SAPS) nejsou pro lesnickou rekultivaci dostupné. Na základě zjištěných dobrých

výnosových vlastností klonů P-410, P-412, P-413 a P-414 pro vitální růst topolů v nepříznivých stanovištních podmínkách byl v roce 2016 započat proces registrace klonů na odrůdu 'Kaktu', jenž byl úspěšně završen v roce 2018.

3. Ve srovnání s růstem jiných dřevin používaných na Lochočické výsypce (modříny, javory, jasany, břízy) je možno hodnotit růst topolů a vrb jako velmi dobrý. Topoly, resp. vybrané klony, a registrovanou odrůdu 'Kaktu' z testovaného sortimentu je proto možné doporučit k lesnické rekultivaci podobných lokalit v severočeském regionu pro tvorbu primární stromové vegetace, příznivého podrostního klimatu a zkvalitnění půd (zvýšení obsahu humusu). Podle cílů rekultivace je možno doporučené topoly pěstovat výmladkovým způsobem v obmýtí 3–5 let po dobu 15 let nebo nevýmladkovým způsobem s obmýtím a životností porostu 15–20 let.

PODĚKOVÁNÍ

Výsledky byly zpracovány a aktualizovány díky podpoře projektu: NCK-BIOCIRKL (TN02000044).

LITERATURA

- [1] ADEGBIDI, H., G., VOLK, T., A., WHITE, E., H., ABRAHAMSON, L., P., BRIGGS, R., D., BICKELHAUPT, D., H.: Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass and Bioenergy*, vol. 20, p. 399–411, 2011.
- [2] BUBENÍK, J., FIALA, P., REININGER, D., WEGER, J., SAMEK, T.: Výsledky výnosového testu domácích vrb po první sklizni na stanovištích odlišných zemědělských lokalitách. *Vrba-dřevina roku 2018*, Kunovice, s. 38–42, 2018.
- [3] BUNGART, R., BENS, O., HÜTTL, R., F.: Production of bioenergy in post-mining landscapes in Lusatia Perspectives and challenges for alternative landuse systems. *Ecological Engineering*, no. 16, p. 5–16, 2000.
- [4] CUMPLIDO-MARIN, L., GRAVES, A., R., BURGESS, P., J., WILLIAMS, A.: On-farm greenhouse gas emissions associated with the cultivation of two new bioenergy crops in the UK. *Energy Nexus*, vol. 8, p. 1–19, 2022.
- [5] ČÍŽEK, V., GALUSZKA, E., NEMETH, R., SAMKOVÁ, M., ŠILHART, M., ŠÍŘINA, P.: Návrh systému zeleně pro imisní, těžební a průmyslové oblasti. *ZZ 291*, VÚOZ, Průhonice, 1991.
- [6] DICKMANN, D., I., KUZOVKINA, J.: Poplars and willows in the world. *International poplar commission thematic papers*. FAO, Working paper IPC/9-2, Rome, Italy, p. 12–21, 2008.
- [7] DIMITRIOU, I. et al.: Quantifying environmental effects of Short Rotation Coppice (SRC) on biodiversity, soil and water; IEA BIOENERGY: Task 43: 2011:01 https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/01/IEA_Bioenergy_Task43_TR2011-01.pdf
- [8] DIMITROVSKÝ, K., ELIÁŠOVÁ, B., PROKOPOVÁ, D.: Kritické poznámky k problematice spontánních sukcesí. *Zpravodaj Hnědé Uhlí*, č. 4, s. 23–29, 2011, ISSN 1213–1660.
- [9] DIMITROVSKÝ, K., KUNT, M.: Taxonomické zhodnocení lesnických rekultivací jako podklad pro rekultivační typologii lesa. *Zpravodaj Hnědé Uhlí*, č. 4, s. 20–36, 2014, ISSN 1213–1660.
- [10] FISCHEROVÁ, Z., TLUSTOŠ, P., SZÁKOVÁ, J., ŠICHOROVÁ, K.: A comparison of phytoremediation capability of selected plant

species for given trace elements. *Environmental Pollution*, vol. 144, p. 93–100, 2006.

- [11] HASSELGREN, K.: Use of municipal wastewater in short rotation energy forestry – full scale application. *Proceedings of the International Conference Biomass for Energy and Industry*, 8–11 June 1998, Würzburg, C.A.R.M.E.N., Rimpár, p. 835–838, 1998.
- [12] HAVLÍČKOVÁ, K., KAŠPAROVÁ, L.: Hodnocení biodiverzity v porostech RRD. *Acta Pruhoniana*, vol. 92, p. 51–54, 2009.
- [13] HAVLÍČKOVÁ, K., KAŠPAROVÁ, L., RUDIŠOVÁ, I.: Vliv opláštění na biodiverzitu ve výmladkové plantáži rychle rostoucích dřevin. *Acta Pruhoniana*, vol. 92, p. 55–60, 2009.
- [14] HAVLÍČKOVÁ, K., KNÁPEK, J., VAŠÍČEK, J., WEGER, J.: Biomasa jako obnovitelný zdroj energie, ekonomické a energetické aspekty. *Acta Pruhoniana*, č. 79, s. 66, 2005.
- [15] HAVLÍČKOVÁ, K., SUCHÝ, J., WEGER, J., ŠEDIVÁ, J., TÁBOROVÁ, M., BUREŠ, M., HÁNA, J., NIKL, M., JIRÁSKOVÁ, J., PETRUCHOVÁ, J., KNÁPEK, J., VAŠÍČEK, J., GALLO, P., STRAŠIL Z.: Analýza potenciálu biomasy v České republice. *VÚKOZ*, s. 498, 2010.
- [16] HAVLÍČKOVÁ, K., WEGER, J.: Metodika analýzy potenciálu biomasy jako obnovitelného zdroje energie. *Acta Pruhoniana*, č. 83, s. 48, 2006.
- [17] HONG QIAN, KLINKA, K.: Plants of British Columbia: scientific and common names of vascular plants, bryophytes, and lichens. UBC Press, Canada, p. 139, 1998.
- [18] JACKO, K., ZÁRUBOVÁ, R.: Potenciál využití složišť VEP pro pěstování energetických plodin. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, č. 3, s. 20–24, 2021, ISSN 1213–1660.
- [19] JOHANSSON, T., KARAČIĆ, A.: Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications. *Biomass and Bioenergy*, no. 35, p. 1925–1934, 2011.
- [20] KLEMENT, V., SUŠIL, A.: Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2004–2009. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Odbor bezpečnosti krmiv a půdy, Brno, 2010.
- [21] Komárek, M., Tlustoš, P., Száková, J., Chrástný, V. (2008): The use of poplar during a two-year induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. *Environmental pollution*, vol. 151, p. 27–38.
- [22] KRÁLÍK, T., KNÁPEK, J., VÁVROVÁ, K., OUTRATA, D., ROMPORTL, D., HORÁK, M., JANDERA, J.: Ecosystem services and economic competitiveness of perennial energy crops in the modelling of biomass potential – A case study of the Czech Republic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 173, p. 1–14, 2023.
- [23] KUBÁTOVÁ, P., ŽILINČIKOVÁ, N., SZÁKOVÁ, J., ZEMANOVÁ, V., TLUSTOŠ, P.: Is the harvest of Salix and Populus clones in the growing season truly advantageous for the phytoextraction of metals from a long-term perspective?. *Science of the Total Environment*, vol. 838, p. 1–9, 2022.
- [24] LINDEGAARD, K., N., CARTER, M., M., MCCracken, A., SHIELD, I., F., MACALPINE, W., HILTON JONES, M., VALENTINE, S., LARSSON, S.: Comparative trials of elite Swedish and UK biomass willow varieties 2011–2010. *Aspects of Applied Biology*, vol. 112, p. 57–66, 2011.
- [25] LOJKA, B., MARTINÍK, A., WEGER, J., HOUŠKA, J., DOLEŽALOVÁ, H., KALA, L., SZABÓ, P., KOTRBA, R., KRČMÁŘOVÁ, J., CHLÁDOVÁ, A., VÁVROVÁ, K., JOBBIKOVÁ, J., EHRENBERGE-ROVÁ, L., SNÁŠELOVÁ, M., KRÁLÍK, T.: Zavádění agrolesnických systémů na zemědělské půdě. Certifikovaná metodika, MZe 2/2020-18133, TAČR, ČZU v Praze, Mendelova Univerzita v Brně, VÚKOZ Průhonice, Etnologický Ústav AV ČR, ČSAL, Botanický Ústav AV ČR, ASZ ČR, Praha, s. 70, 2020.
- [26] LUKÁŠOVÁ, M., WEGER, J.: Možnosti genetické identifikace klonů a kříženců topolu simonova, černého, bavlníkového, maximovičova (Populus simonii, P. nigra, P. deltoides, P. maximowiczii) metodou simple sequence repeat. *Acta Pruhoniana*, č. 92, s. 19–25, 2009.

- [27] MACUROVÁ, H.: Hodnocení výsledků půdních rozborů. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Oddělení centrální laboratoře, 2011.
- [28] MARTINÍK, A., LOJKA, B., EHRENBERGEROVÁ, L., WEGER, J., DOLEŽALOVÁ, H., KALA, L., JOBBIKOVÁ, J., HOUŠKA, J., KOTRBA, R., BLAŽEJOVÁ, A., CHLÁDOVÁ, A.: Když se řekne agrolesnictví, Didaktická pomůcka – stručně a přehledně o agrolesnictví. TAČR, Menelova Univerzita v Brně, ČZU v Praze, VÚKOZ Průhonice, ASZ ČR, ČSAL, Brno, s. 66, 2020.
- [29] MOTT, J.: Topoly a jejich uplatnění v zeleni. SEMPRA – Výzkumný a šlechtitelský ústav okrasného zahradnictví v Průhonicích, ČS. redakce VN MON, Průhonice, 1989.
- [30] MOTT, J.: Využití topolů při rekonstrukci krajiny Severočeské hnědouhelné pánve narušené těžbou uhlí a průmyslovými emisemi. ZZ607, VÚOZ, Průhonice, s. 22, 1991.
- [31] MOTT, J., ÚRADNÍČEK, L.: Poplars and their leaves (xray patterns of poplar leaves). Acta Pruhoniciana, č. 74, s. 31–128, 2003.
- [32] PACALDO, R., S., VOLK, T., A., BRIGGS, R., D.: Carbon balance in short rotation willow (*Salix dasyclados*) biomass crop across a 20-year chronosequence as affected by continuous production and tear-out treatments. Aspects of applied biology, vol. 112, p. 131–138, 2011.
- [33] PAUL, C., BARTKOWSKI, B., DÖNMEZ, C., DON, A., MAYER, S., STEFFENS, M., WEIGL, S., WIESMEIER, M., WOLF, A., HELMING, K.: Carbon farming: Are soil carbon certificates a suitable tool for climate change mitigation?. Journal of Environmental Management, vol. 330, p. 1–11, 2023.
- [34] PAUL, K., I., ENGLAND, J., R., ROXBURGH, S., H.: Carbon dynamics in tree plantings: How changes in woody biomass impact litter and soil carbon. Forest Ecology and Management, vol. 521, p. 1–17, 2022.
- [35] PERTTU, K., L.: Environmental justification for short-rotation forestry in Sweden. Biomass and bioenergy, vol. 15, p. 1–6, 1998.
- [36] PERTTU, K., L.: Environmental and hygienic aspects of willow coppice in Sweden. Biomass and bioenergy, vol. 16, p. 291–297, 1999.
- [37] RYTTER, R.-M.: Biomass production and allocation, including fine-root turnover, and annual N uptake in lysimeter-grown basket willows. Forest Ecology and Management, vol. 140, p. 177–192, 2001.
- [38] QUITT, E.: Klimatické oblasti Československa. Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV v Brně, s. 73, 1971.
- [39] ŠÍR, M., WEGER, J., VONDRKA, A.: Klimatická účinnost porostů rychle rostoucích dřevin v krajině. Acta Pruhoniciana, vol. 92, p. 45–50, 2009.
- [40] Štýs, S., Bízková, R., Ritschelová, I. (2014): Proměny severozápadu. Český statistický úřad, Praha, s. 186.
- [41] TLUSTOŠ, P., SZÁKOVÁ, J., VYSLOUŽILOVÁ, M., PAVLÍKOVÁ, D., WEGER, J., JAVORSKÁ H.: Clonal and seasonal variation of As, Cd, Pb, and Zn uptake by willows (*Salix* spp.) grown in contaminated soils–Centr. Europ. Journal of Biology, vol. 2, p. 254–276, 2007.
- [42] WEGER, J., BUBENÍK, J.: První výsledky hodnocení smíšené výmladkové plantáže topolů a vrb. Acta Pruhoniciana, vol. 96, p. 27–36, 2010.
- [43] WEGER, J., BUBENÍK, J.: Produkce biomasy nových klonů vrb a topolů po šesti letech pěstování na zemědělské půdě v tříletém obmýtí. Acta Pruhoniciana, vol. 100, p. 51–62, 2012.
- [44] WEGER, J., BUBENÍK, J.: Analýza vlivu pěstování rychle rostoucích dřevin (RRD) na zemědělské půdy, zejména v I. a II. třídě ochrany ZPF. Zpráva funkčního úkolu: 667-2017-17253, Průhonice, s. 45, 2017.
- [45] WEGER, J., BUBENÍK, J.: Hodnocení výnosu a růstu domácích vrb po 14 letech výmladkového pěstování. Acta Pruhoniciana, č. 97, s. 39–46, 2011.
- [46] WEGER, J., HAVLÍČKOVÁ, K., a kol.: Rámcová typologie zemědělských půd pro pěstování vybraných klonů topolů a vrb k energetickému využití v České republice. Lesnická práce, č. 04/07, Praha, s. 32–33, 2007.
- [47] WEGER, J., LOJKA, B., DUMBROVSKÝ, M., KNÁPEK, J., VÁVROVÁ, K., KOTRBA, R., SOBOTKOVÁ, V., HOUŠKA, J., PREININGER, D., BUBENÍK, J., STEHNO, J., VYMAZALOVÁ, M., ŠINKO, J., HUMEŠOVÁ, T., ÚRADNÍČEK, L.: Doporučené postupy a komponenty agrolesnických systémů pro obnovu a posílení mimo-produkčních funkcí krajiny. Certifikovaná metodika, Průhonice, TA ČR Program EPSILON TH04030409, p. 130, 2022.
- [48] WEGER, J., POSPÍŠKOVÁ, M.: DNA identification of poplar clones grown for production of energy biomass on an example of hybrid poplar *Populus nigra* L. × *Populus maximowiczii* Leb. Proceedings of the scientific conference the Tree and Flower – Part of Life, VUKOZ v.v.i., Průhonice, ISBN 978-80-85116-52-6, p. 155–158, 2007.
- [49] WEGER, J., STRAŠIL, Z., HONZÍK, R., BUBENÍK, J.: Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji. Průhonice, OBV s. r. o. a VÚKOZ, v. v. i., p. 78, 2012.
- [50] WEGER, J., VÁVROVÁ, K., KAŠPAROVÁ, L., BUBENÍK, J., KOMÁREK, A.: The influence of rotation length on the biomass production and diversity of ground beetles (Carabidae) in poplar short rotation coppice. Biomass and Bioenergy, vol. 54, p. 1–9, 2013.
- [51] WEGER, J., VÁVROVÁ, K., KNÁPEK, J.: Studie využitelnosti energetických plodin (EP) - dřevin a bylin - v zajišťování následků po hornické činnosti bývalých hnědouhelných povrchových dolů - s výhledem řešení k horizontu 2030-2050. Prezentace prezentována na: PKÚ s.p.; 2019 16. a 30. července; Chlumec.
- [52] WEGER J., VLASÁK P., ZÁNOVÁ I., HAVLÍČKOVÁ K.: Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin pro produkci biomasy. Životné prostredie, Bratislava 2006/3: 137–142, 2006.
- [53] WEGER, J.: Výnosy vybraných klonů vrb a topolů po 9 letech výmladkového pěstování. Acta Pruhoniciana, č. 89, s. 5–10, 2008.
- [54] WEGER, J., JECH, D., HAVLÍČKOVÁ, K., ŠÍR, M.: Výzkum krajinných funkcí cílené produkce biomasy (rychle rostoucími dřevinami) – zejména jejich přínosy pro diverzitu krajiny a hydrologický režim. - 34 p., ms. [Závěrečná zpr. projektu VaV320/3/99; de-pon. in: Knih. VÚKOZ, Průhonice], 2002.
- [55] WENDEL, G., W.: Results of a 20-Year Test of Hybrid Poplars in West Virginia. U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-237, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, p. 5, 1972.