

LESNICKÁ REKULTIVACE PO TĚŽBĚ HNĚDÉHO UHLÍ S VYUŽITÍM ŠESTI DRUHŮ DŘEVIN: PŘÍPADOVÁ STUDIE

AFFORESTATION OF BROWN-COAL POST-MINING SUBSTRATES USING SIX TREE SPECIES: A CASE STUDY

JIŘÍ ŠEFL¹⁾ ✉ - IVA ROUBÍKOVÁ²⁾ - VERONIKA ROŽCOVÁ²⁾

¹⁾Ústav pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem, Nábřeží 1326, 250 01 Brandýs nad Labem, Czech Republic

²⁾Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Pasteurova 3544/1, 400 96 Ústí nad Labem, Czech Republic

✉ e-mail: jurisefl@seznam.cz

ABSTRACT

Health conditions and a performance of forest tree plantations were evaluated on the Slatinice spoil heap (Miocene limnic fine-grain sediments) at the end of the growing season in 2019. In total 800 trees of six species were planted at two ecologically different spoil heap sites in 2010. Post-mining substrates were compared to the naturally evolved soil of seminatural adjacent habitat *Hruška*. Soil water availability was measured in the depth of rooting. Plant dieback depended on site conditions, and it was also found to be species-specific. Hornbeam trees were the tallest, while the other species showed just the half of their size. On the basis of growth achievement/dieback ratio, the most suitable species for spoil heap conditions were ranked in the order: oak > hornbeam > lime. Physical soil characteristic of seminatural *Hruška* and *Ressler* spoil heap site were similar as for high content of clayey fraction, high bulk density and low porosity. On the seminatural habitat, a topsoil (A horizon) with sufficient content of humus has evolved. Substrate of the *Sypáný* spoil-heap showed much more favourable physical properties such as lower bulk density, higher porosity, and sufficient content of humus. Its substrate was also deeper rooted. Soil matric potential (SMP) registered on substrates of the higher bulk density, showed more than 5-month long period when values dropped below the range of limited availability of water in A horizon in 2019. The lower bulk density substrate remained in sufficient water availability range, with an exception of its drop into range of limited availability of water for one summer month. This plot was placed on the base of spoil heap and was supplied by ground water.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: výsypky po těžbě uhlí; zalesňování; rekultivace; prosperita výsadeb

Key words: colliery spoil heaps; afforestation; reclamation; planting stock performance

ÚVOD

Lesnické rekultivace na výsypkách po těžbě hnědého uhlí čelí specifickým ekologickým faktorům, které je odlišují od problematiky zalesňování lesní a zemědělské půdy. Mezi zásadní ekologické faktory těchto typů rekultivací patří absence vyvinutého organického a organominerálního půdního horizontu, který by mohl tlumit některé nepříhodné fyzikální a chemické vlastnosti substrátů (ŠOURKOVÁ et al. 2004). Třetihorní substráty výsypky mívají nepříznivé fyzikální a chemické vlastnosti v podobě uléhavých jílovitých jezerních sedimentů, nebo naopak nesoudržných písků z přítoků těchto dávných jezer (BRADSHAW, CHADWICK 1980; DIMITROVSKÝ 1999; FLEGE 2000). Jílovité substráty mohou svou texturou představovat pro kořeny rostlin nepříznivě vyšší

poměr kapilárních pórů k nekapilárním (DIMITROVSKÝ 1999; SLÁVIK, DIMITROVSKÝ 2006). V prvních letech po nasypání jsou jílovité substráty rozrušené těžbou, vykazují hrudovitou strukturu, a proto se vyznačují vysokou hydraulickou vodivostí, kdy voda odtéká do spodiny systémem hrubých pórů. Později však tyto substráty působením srážek svou hrudovitou strukturu ztrácejí a stávají se slitými a vykazují naopak velmi malou hydraulickou vodivost. To se negativně projevuje v nedostatečné schopnosti infiltrace dešťových srážek (DIMITROVSKÝ 1999). Opačně extrémní písčité substráty jsou vodopropustné, a tudíž jsou náchylné ke vzniku nepříznivých vláhových poměrů pro mělký kořenový systém výsadeb. Substráty výsypky nebyly podrobeny procesu vymývání v holocenním klimatu, proto mohou obsahovat zvýšené množství uhličitánů, síranů nebo pyritu; ten se rozkladem v aerobním

prostředí mění právě na sírany, což vede k výraznému okyselování substrátu a zhoršení vitality sazenic lesních dřevin. Některé živiny mohou být naopak v nedostatku, např. fosfor (ŘEHOŘ et al. 2006). Extremitu výsypkových substrátů může významně umocnit regionální klima; např. byly doloženy rozdíly v rostlinné druhové skladbě výsypek vlhčí a chladnější Sokolovské pánve ve srovnání s výsypkami pánve Mostecké (PRACH 1998). Teplotní extrémy a zvýšený výdej vody transpirací také umocňuje řídký bylinný kryt v prvních 10 letech po nasypání výsypky (DIMITROVSKÝ 1999). Pro lesnickou rekultivaci je úkolem uvedené omezující faktory na konkrétní výsypce určit a pokusit se k nim nalézt optimální meliorační opatření. V závislosti od časové a environmentální nálehavosti (PRACH, HOBBS 2008) se uplatňuje různá intenzita lesnické rekultivace, od řízené sukcese, přes standardní lesnickou rekultivaci. Nástroji lesnické rekultivace silně kyselých nebo zrnitostně nepříznivých substrátů je překrytí meliorační zeminou, nebo její zapravení do substrátu orbou (ČERMÁK et al. 2002; ŘEHOŘ et al. 2006). U některých substrátů se lze spokojit s agrobiologickou meliorací (ČERMÁK, ONDRÁČEK 2009). V případě využití tzv. přímé rekultivace (tj. bez překrytí výsypkového substrátu mocnou vrstvou rekultivační zeminy), kdy kořenový systém vegetace bude z podstatné části rozprostřen v substrátu výsypky, je povrch po urovnání pokryt 5 cm mocnou vrstvou ornice a stabilizován osemem jetelotrávní směsí za účelem zabránění vzniku vodní eroze. Zásadním rozhodnutím lesnické rekultivace je volba dřevinné skladby, kterou řeší například metodiky ČERMÁK et al. (2002) nebo ČERMÁK a ONDRÁČEK (2009). Limitujícími faktory pro vitalitu sazenic lesních dřevin může být také řídké osídlení substrátů mykorrhizními houbami nebo jejich omezené druhové spektrum (DEACON 2006). Pozitivní vliv inokulace rostlin mykorrhizními preparáty na výsypkách je velmi specifický, často závislejší na taxonomické relaci houby a hostitele (RYDLOVÁ, VOSÁTKA 2001; PÜSCHEL et al. 2007; KAŁUCKA, JAGODZIŃKI 2016). Pro řízenou spontánní sukcesí může být limitujícím faktorem vzdálenost od „speciess pool“, tj. zdrojových populací druhově bohatých biotopů (PRACH, HOBBS 2008; REITSCHMIEDOVÁ, FROUZ 2016). Substráty vybraných výsypek Severočeské hnědouhelné pánve charakterizovali např. ČERMÁK, KOHEL (2003) nebo ŘEHOŘ et al. (2006). Nicméně komplexnější studie substrátů a ekologických aspektů Slatinické výsypky dosud chybí. Cílem naší studie bylo vyhodnotit růstovou dynamiku vybraných taxonů dřevin v ekologických podmínkách Slatinické výsypky a popsat charakter ekologických podmínek, které mohou představovat růstové limity pro výsadby dřevin na této lokalitě.

MATERIÁL A METODIKA

Oplocené testovací plochy Ressler a Sypaný leží ca 3 km JZ od města Most na tělese Slatinické výsypky. Srovnávací lokalita Hruška se nachází na neporušeném geologicko-pedologickém profilu v jejich blízkosti. Substrát Slatinické výsypky tvoří miocenní sediment limnického původu, konkrétně šedý prachovitý jílovec se zastoupením kaolinitu 38–42 %, illitu 30–35 % a zrn křemene 14–17 % (ČERMÁK, KOHEL 2003). Na celé výsypce byl uplatněn režim přímé rekultivace založením trvalých travních porostů a rozptýlené zeleně.

Výsadbová plocha Ressler

Plocha (816 m²) ležící v nadmořské výšce 300 m n. m. je pojmenována po blízkém kopci, jehož vrchol se nachází 500 m severním směrem. Plocha leží na mírně (do 3°), k jihu ukloněné plošině, představuje substrát jílovitohlinitý, s příměsí jemného písku, frakce < 0,01 mm je zastoupena 49 % (BANÝR 2014), struktura je do 20 cm segregovaná deskovitá, lupkovitě se rozpadající, hlouběji je substrát nestrukturní, silně ulehlý, nebobtnavý, hnědý (7,5YR4/2), prokořenění pod 20 cm je sporadické. Z části plochy je zcela odplavena meliorační vrstva ornice do terénních sníženin v okrajích plochy.

Výsadbová plocha Sypaný

Plocha (720 m²) leží v nadmořské výšce 262 m n. m., ca 1,5 km jižněji od lokality Ressler na sklonitém (do 7°), nasypaném amfiteátru výsypky. Substrát je zde jílovitohlinitý, plastický, frakce < 0,01 mm je zastoupena 46 % (BANÝR 2014), do hloubky 25 cm má segregovanou, kostkovitou strukturu, níže je nestrukturní, ulehlý, tmavě hnědý (7,5YR3/2), je bohatě prokořeněný do hloubky 40 cm. Podsvahová a západní část plochy je ovlivněna sezónním zamokřením půdního profilu.

Substráty obou ploch mají příměs skeletu (frakce 0,2–5 cm) do 10 % na lokalitě Sypaný a do 20 %, na lokalitě Ressler. Z toho polovinu tvoří úlomky uhlí a další polovinu úlomky porcelanitu a jílovce. Na obou lokalitách je vyvinuta vrstva nadložního humusu typu drnový mull. Pod ním se nachází antropogenní, 3–8 cm mocný organominerální horizont pocházející z rekultivační zeminy, který je silně prokořeněný, oživený žížalami a hmyzem (stínky a mravenci).

Srovnávací lokalita Hruška

Pro porovnání ekologických podmínek byla vybrána lokalita Hruška na neporušené pedologické a geologické stratigrafii. Plocha (100 m²) leží 300 m severně od lokality Ressler, na úpatí zalesněného kopce Ressler, v keřovém, lemovém společenstvu, na místě bývalého hrušňového sadu. Jednalo se o k jihu mírně ukloněnou (do 5°) terasu v 315 m n. m. na geologickém podloží sodalitického fonolitu. Půdním typem je kambizem modální, karbonátová, s výkvěty uhličitánu vápenatého. Písčitojílovitohlinitá, plastická, frakce < 0,01 mm je zastoupena 47 % (BANÝR 2014), žluto-hnědá (10YR5/6), s obsahem skeletu (kameny) do 50 %. Prokořeněná je do hloubky 30 cm. Organominerální horizont dosahuje mocnosti 10 cm.

Pedologické vlastnosti zájmových lokalit

Pórovitost na lokalitě Sypaný je v limitu optimálního stavu (mírná až střední) a v případě lokalit Ressler a Hruška je v hloubce 20 cm již na hraně stavu optimálního (mírná až slabá), viz tab. 1. Také hodnoty objemové hmotnosti půdy v hloubce 20 cm jsou na lokalitách Ressler a Hruška na hraně limitu optimálního stavu pro růst kořenů. Objemová hmotnost se na všech lokalitách zvětšuje směrem do hloubky, což znamená, že v hloubce do 15 cm lze nepřímo dokládat větší pórovitost působenou biologickým oživením půdy a větší podíl organické hmoty. Gradient ve vertikální změně (15 cm – vs. 20 cm) objemové hmotnosti je výraznější na lokalitě Ressler, kde vrchní horizont vykazoval o 19 % nižší objemovou hmotnost. Na ostatních lokalitách gradient přestavuje přibližně 4–5 %. V rámci objemové hmotnosti v hloubce 15 cm je mezi lokalitami větší různorodost, rozdíl mezi min. a max. hodnotou představuje 19 % z nejnižší hodnoty, kdežto v rámci hloubky 20 cm, činí tento rozdíl 11 % z nejnižší hodnoty. Největší objemové hmotnosti dosahovala v obou hloubkách lokalita Hruška. Tato lokalita vykazovala nejvyšší hodnotu normální hygroskopicity, 5,8 % objemových (tab. 2). Tato hodnota již odpovídá jílovitým půdám. Bod trvalého vadnutí (BTV) vypočtený na základě hodnoty hygroskopicity substrátu na lokalitě Hruška dosahoval 20,8 % objemových vlhkosti půdy. Tato hodnota vypovídá o vyšším podílu jílnatých částic ve srovnání s lokalitami výsypky Ressler a Sypaný, kde BTV byl stanoven na 12,2 %, resp. 15, 2 % objemové vlhkosti půdy (tab. 2). Hodnoty BTV na obou výsypkových substrátech jsou blízké BTV modelové retenční křivky pro jílovitohlinitou půdu (BLUME et al. 2016). Hydraulickou vodivost substrátů jsme odhadli podle grafikonu hydraulické vodivosti Soil Conservation Service USDA (sec. VAŠKŮ 2012), na základě půdní textury a půdní struktury. Pro lokalitu Ressler a Hruška jsme přijali atributy jílovitohlinitá půda/slitá struktura, které implikují hydraulickou vodivost 0,12 m.den⁻¹. A pro lokalitu Sypaný jsme přijali atributy jílovitohlinitá půda/polyedrická, kostkovitá struktura, kterým jsme přiřadili střední hodnotu škály, 0,6 m.den⁻¹.

Podíl nekapilárních pórů je na výsypkových substrátech nízký (tab. 2). Kationtovou výměnnou kapacitu lokalit, 13–14 cmol.kg⁻¹ (BANÝR 2014), lze označit za běžnou pro středně úrodné zemědělské půdy kambizemí a pelozemí. Sorpční komplex je zcela nasycený bazickými kationty (BANÝR 2014). Obsah fosforu je velice nízký. Množství dostupného draslíku je zjištěno jako střední (Ressl), až velmi vysoké (Sypaný). Množství hořčíku je na všech lokalitách velmi vysoké. Obsah vápníku je nízký (Ressl) nebo vyhovující (Sypaný), jedná se o půdy slabě karbonátové. V případě lokality Hruška je obsah vápníku velmi vysoký. Obsah humusu je nízký (Ressl) nebo střední (Sypaný), na lokalitě Hruška vysoký (tab. 3).

Výměnná půdní reakce lokality Ressl je mírně alkalická, lokalita Sypaný má slabě kyselou reakci. Hodnotu slabě kyselé reakce lze považovat pro lesní dřeviny za vyhovující, viz např. NÁROVCOVÁ et al. (2016). Neutrální výměnná půdní reakce na lokalitě Hruška odpovídá

vysokému obsahu karbonátů. Výsypky byly překryty 5 cm mocnou vrstvou rekultivační zeminy, předpokládáme, že se jednalo o místní zeminu pocházející z období před otevřením lomu ze širší oblasti bývalé obce Vršany. Tam se nacházely půdy jílovitohlinité, s obsahem karbonátů na třetihorních jílech (MICHAL 1967), jednalo se o kambizemě pelické, eutrofní. Substráty Slatinické výsypky je možno klasifikovat jako antropozemě pelické, eubazické.

Klima a fytoecologická charakteristika zájmových lokalit

Na výsadbové ploše Ressl byla měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu v 7:00, 15:00 a 23:00 UTC+2 (UTC, Universal Time Coordinated, koordinovaný světový čas), v období od 2. 5. do 25. 10. 2019 pomocí dataloggeru (OMEGA OM-CP-RHTEMP101, Omega Engineering, Canada). Čidlo v rámci svých technických možností zapisuje čas

Tab. 1.

Fyzikální charakteristiky substrátu zájmových lokalit (vlastní šetření)
Physical properties of soils on study sites (own data)

Lokalita/ Locality	Objemová hmotnost/ Bulk density 15 cm ρ_b [g.cm ⁻³]	Objemová hmotnost/ Bulk density 20 cm ρ_b [g.cm ⁻³]	Specifická hmotnost/ Particle density ρ_s [g.cm ⁻³]	Pórovitost/ Porosity 15 cm P [%]	Pórovitost/ Porosity 20 cm P [%]
Ressl	1,31	1,62	2,55	49	36
Sypaný	1,43	1,49	2,58	45	42
Hruška	1,56	1,65	2,60	40	36

Tab. 2.

Hygroskopicit a objem kapilárních a nekapilárních pórů substrátů ve hloubce 15 cm (vlastní šetření)
Hygroscoopy and capillary and non-capillary pores in substrates in 15 cm depth (own data)

Lokalita/ Locality	Vh _n (% vol.)	Vh (% vol.)	Θ_{NS} (% vol.)	$\Theta_{30\text{ min}}$ (% vol.)	$\Theta_{RVK24}/\Theta_{RWC24}$ (% vol.)	BTV/PWP (% vol.)	BSD (% vol.)
Ressl	3,4	6,1	42	2	39	12,2	26
Sypaný	4,2	7,6	45	3	42	15,2	29
Hruška	5,8	10,4	42	4	38	20,8	29

Vh_n – Normální hygroskopicit/Normal hygroscoopy, Vh – Maximální hygroskopicit/Maximal hygroscoopy, Θ_{NS} – Nasáklivost/Absorbability, $\Theta_{30\text{ min}}$ – Nekapilární póry/Non-capillary pores, $\Theta_{RVK24}/\Theta_{RWC24}$ – Kapilární póry, retenční vodní kapacita/Capillary pores, retention water capacity, BTV/PWP – bod trvalého vadnutí/permanent wilting point, BSD – bod snížené dostupnosti vody/point of reduced water availability

Tab. 3.

Charakteristiky minerálního horizontu (8–30 cm) studovaných lokalit, přístupné živiny. Zdroj: Zemědělská oblastní laboratoř Postoloprty (ROUBÍKOVÁ, ŠEFL 2013), odběry z června 2012. Hodnoty lokality Hruška – zdroj: VÚHU a. s. (BANÝR 2014), odběry červen 2013
Properties of mineral horizon (8–30 cm) of studied plots, available nutrients. Source: Agricultural laboratory at Postoloprty (ROUBÍKOVÁ, ŠEFL 2013), sampled in June 2012. Source for the site Hruška: BANÝR (2014), sampled in June 2013

Lokalita/Site	pH (KCl)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Humus (%)
Ressl	7,8	2	179	679	1572	1,4
Sypaný	5,5	3	356	855	2634	2,4
Hruška	6,9	3	238	738	8000	3,3

v definovaném cyklu, proto byl zvolen cyklus po 8 hodinách blížící se tzv. Mannheimským hodinám. Čidlo bylo umístěno ve 2 m nad zemí (ve smyslu standardní výšky měření v meteorologické stanici), na severní straně koruny, vzrostlé, hustě olistěné dřeviny. Průměrnou denní teplotu jsme počítali jako vážený aritmetický průměr teplot (T) odečtených ve výše uvedených časech: $T_7 + T_{15} + 2T_{23}/4$.

Oblast Slatinické výsypky spadá podle Quittovy klasifikace do teplé klimatické oblasti – T2 (CULEK 1996). Průměrná roční teplota vzduchu je 8,4 °C, průměrné roční srážky 520 mm (klimatická stanice Most-Kopisty; ČHMÚ [1]). Oblast leží v deštném stínu Krušných hor. Průměrné měsíční teploty ve vegetační sezóně 2019 na lokalitě Ressler jsou o 0,7 až 1,2 °C vyšší než teploty Ústeckého kraje (ČHMÚ [1]; vlastní měření). Největší teplotní rozdíl mezi lokalitou Ressler a hodnotou pro Ústecký kraj byl zjištěn pro měsíc červenec (+1,2 °C). Průměrné denní teploty v měsících červen až srpen na lokalitě Ressler přesahovaly 19 °C (vlastní měření). Srážky v těchto měsících byly v rozmezí 47–58 mm, naplňovaly pouze 57–71 % srážkového normálu (ČHMÚ [1]). Kritické období nedostatku vláhy nastalo v červnu a červenci, kdy poměr úhrnu měsíčních srážek a průměrné měsíční teploty dosahoval hodnot 2,72, resp. 1,96. Poměrně příznivější podmínky panovaly v květnu, kdy tento poměr činil 7,47, nebo v srpnu, září a říjnu, kdy přesahoval alespoň hodnotu 3,30.

Testovací plochy se nacházejí ve fyto geografickém obvodu Českého termofytika, fyto geografickém okrese Podkrušnohorská pánev (SKALICKÝ 1988). Potenciální přirozenou vegetací v oblasti by zde byly teplomilné bazilifilní doubravy na mělkých a suchých půdách spráši (asociace *Euphorbio-Quercetum*), střídané teplomilnými doubravami s druhy bezkolencových luk (as. *Melico pictae-Quercetum roboris*) na těžkých ilimerizovaných půdách se známkami oglejení. Současná rostlinná společenstva Slatinické výsypky jsou plně osluněná, heliofyty zcela dominují. Společným znakem všech lokalit (Ressler, Sypaný a Hruška) je dominance druhů bohatých půd, zastoupeny jsou také druhy vázané na půdy obsahující karbonáty. Dalším společným znakem je stálost druhů omezené hydrické řady a druhů lesních lemů teplých poloh Českého mezofytika. Lokality výsypky, tj. výsadbové plochy Ressler a Sypaný mají společnou skupinu pionýrských druhů, R strategů (GRIME 1981), vázaných na disturbované substráty (*Cirsium arvense*, *C. vulgare*, *Daucus carota*, *Elytrigia repens*, *Hordeum jubatum*, *Picris hieracioides*, *Polygonum aviculare* agg., *Tanacetum vulgare*, *Taraxacum officinale* a *Tussilago farfara*) a skupinu druhů indikujících zvýšené množství dusíku v půdě (*Artemisia vulgaris*, *Dactylis glomerata*). Na těchto lokalitách se střídají druhy hydrické řady omezené s druhy vůdčí hydrické řady. Zastoupeny jsou druhy zanesené z kultury, pocházející z rekultivačního výsevu (*Festuca arundinacea*, *F. pratensis*, *F. rubra*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium hybridum* a *T. pratense*). Některé druhy již ustupují. Lokalita Ressler se od lokality Sypaný odlišuje nižším zastoupením a pokryvností druhů vázaných na vůdčí hydrickou řadu. Srovnávací lokalita Hruška se od lokalit výsypek odlišuje výskytem nebo vyšším zastoupením druhů charakteristických pro klimaxovou vegetaci lesních lemů Českého termofytika a kalcifytů (*Artemisia pontica*, *Falcaria vulgaris*, *Salvia pratensis*). Srovnáním fytoocenózy mezi roky 2010 (ŠEFL, ROUBÍKOVÁ 2011) a 2019 došlo k výraznému posunu od dominance ruderálních druhů, k fázi postruderální, ke druhům teplomilných trávníků. Na lokalitě Ressler se šíří *Centaurea stoebe*, *Fragaria viridis*, *Senecio jacobea* a *Vicia angustifolia*, nebo došlo k posunu ke druhům trávníků čerstvě vlhkých, těžkých, uléhavých půd na lokalitě Sypaný, kde se šíří *Potentilla reptans* a *Trifolium dubium*. Na lokalitě Ressler se ze semenáčů dřevin uplatňuje nečetné zmlazení *Berberis vulgaris*, *Pyrus pyraeaster*, *Quercus petraea* a *Sorbus torminalis*. Zde je blízko species pool – kopec Ressler. V případě lokality Sypaný se uplatňuje zmlazení *Betula pendula* a *Salix caprea*, tj. pionýrských dřevin vůdčí hydrické řady, anemochorního šíření, typu dálková migrace (bříza), resp. skaut (jáva) ve smyslu REITSCHMIEDOVÁ, FROUZ (2016), kde je species pool vzdálený. *Rosa canina* na obou lokalitách expan-

duje. Na vysazených dřevinách, jejich větvích světlu exponovaných se již vyskytovaly běžné lišejníky tolerující silnější znečištění vzduchu, *Physcia tenella* a *Xanthoria parietina*.

Metodika stanovení vybraných fyzikálních charakteristik půdy

Účelem zjišťování fyzikálních charakteristik půdy bylo detekovat kritické hodnoty pro existenci a růst vegetace a vysazených dřevin. Měřičte byla vkládána na stanoviště, která ekologicky reprezentovala růstové podmínky testované výsadby. V období jednoho měsíce byla zjišťována objemová vlhkost půdy gravimetrickou metodou. Vzorek byl odebírán z hloubky 15 cm. Objemová hmotnost a specifická hmotnost půdy a pórovitost byly stanoveny podle metodiky FIALA et al. (1999). Souběžně s gravimetrickou metodou zjišťování objemové vlhkosti půdy byla objemová vlhkost půdy měřena TDR metodou (Time Domain Reflectance, Trime Pico 64, IMKO GmbH, Německo). Byl uplatňován set tří měření pro omezení chybného čtení v případě heterogenity substrátu.

Matriční potenciál půdy byl na testovacích plochách zjišťován odporovou metodou a tenzometrem. Odporová metoda užívala elektrody v sádrovém obalu (Delmhorst Instrument Co., USA). Matriční potenciál je odvislý od půdního druhu, proto elektrody byly kalibrovány na texturu jílovitohlinité půdy (DELA 2001). Také jednotlivá čidla byla proti sobě kalibrována. Metoda je schopna interpretovat hodnoty sacího tlaku od -246 do -14 430 hPa. Záznam hodnot negativního sacího tlaku probíhal ve 4hodinovém intervalu pomocí dataloggeru (MicroLog SP3, EMS s. r. o. Brno), který umožňoval souběžně snímat tři elektrody, které byly na měřičtech uloženy do hloubky 10, 20 a 30 cm. Měření negativního sacího potenciálu probíhalo na lokalitách Ressler a Sypaný v období od 10. 5. do 25. 10. 2019, na lokalitě Hruška od 21. 6. do stejného data jako u předchozích lokalit. Pro hodnocení matričního potenciálu byla užitá jen jedna hodnota za den, odečtená v čase 16:00 UTC+2. Periodicky, souběžně s měřením půdní vlhkosti TDR metodou, byl na měřičtech zjišťován matriční potenciál tenzometrem (T8, UMS GmbH, Německo). Metoda umožňovala zjišťovat rozsah matričního potenciálu od 0 do -850 hPa, tj. rozsah měření k hranici bodu snížené dostupnosti vody, tj. přibližně pF 3 (-1000 hPa = -1 bar) u zemědělských plodin (VAŠKŮ 2012). Půdní matriční potenciál v hloubce 22–24 cm byl odečítán minimálně po 60 minutách od osazení tenzometru. Hygroskopicitata, bod trvalého vadnutí, bod snížené dostupnosti vody rostlinám a objem kapilárních a nekapilárních porů byly stanoveny podle práce VAVŘÍČEK, KUČERA (2017).

Založení a měření výsadbových experimentů

Plochy výsadby Ressler a Sypaný se skládají z řadových směsí dřevin ve čtvercovém sponu 1×1 m, vysazených na jaře 2010. Na obou plochách se řadové výsadby opakují ve dvou výsadbových polích. Druhovú skladba byla volena v relaci k přírodním podmínkám biotopu (NEUHÄUSLOVÁ 1998) a v souladu s lesnickou legislativou (vyhl. č. 83/1996 Sb., resp. vyhl. č. 298/2018 Sb. a vyhl. č. 139/2004 Sb.). Na ploše Ressler byly vysazeny (taxony/počet): javor babyka – BB (*Acer campestre*)/100, dub letní – DB (*Quercus robur*)/150, jilm habrolistý – JL (*Ulmus minor*)/100. Na ploše Sypaný: dub letní/150, lípa srdčitá – LP (*Tilia cordata*)/100, habr obecný – HB (*Carpinus betulus*)/100 a tis červený – TS (*Taxus baccata*)/100. Sadební materiál pochází z PLO 17 – Polabí, z 1.–4. LVS (lesní vegetační stupeň, lišil se od dřeviny), pěstitelem byly Lesoškolky, a. s., Pěstební středisko Rečany. Tis byl vysazen za účelem vyhodnocení schopnosti jeho přežití v mikroklimatu buřené a okolní dřevinné výsadby. Sazenice byly dvouleté nebo tříleté, prostokořenné, podřezávané. Na lokalitě Sypaný byl soubor dubových sazenic podroben inokulačnímu testu mykorrhizním preparátem. Polovina sazenic dubu na lokalitě, tj. 75 sazenic, byla při výsadbě inokulována směsí ektotrofních mykorrhizních hub komerčního preparátu Ectovit® (Symbiom s. r. o., Česká republika), 75 sazenic dřeviny na

stejně ploše sloužilo jako kontrolní výsadba. Účelem bylo ověřit vliv preparátu na kondici sazenic. Aplikace byla provedena podle návodu výrobce. Kořenový systém dubu ještě před aplikací preparátu byl sledován bohatě osídlený ektotrofní mykorhizou. Všechny sazenice na obou plochách byly vysázeny jamkovou sadbou a nebyly po výsadbě zalévány. Plochy byly dvakrát ročně vyžínány, posečená biomasa byla ponechána na místě, aby sloužila jako mulč zabraňující výparu z holé půdy v okolí sazenic. Růstový výkon byl hodnocen na podzim 2019.

Úhyn sazenic byl registrován na konci každé vegetační sezóny. Pokud v následných sezónách odumřelá nadzemní část sazenice, byla obnovena výmladky, pak bylo toto zmlazení registrováno jako úspěšné odrůstání původní sazenice. Vývoj úhynu sazenic za vegetační sezónu vycházel ze sezónní bilance odumřelých sazenic a sazenic obnovených z výmladků. Kořenový krček sazenic byl měřen posuvným měřidlem s přesností 0,01 mm, výška sazenic byla měřena měřicí latí s přesností 1 cm, jako svislá výška nejvýše položené živé části výhonu nad zemským povrchem.

Referenční zdroje a statistika

Názvy botanických druhů rostlin byly sjednoceny podle Kaplana (KAPLAN 2019), lišejníků podle Lišky (LIŠKA et al. 2008). Rostlinná společenstva na lokalitách byla zařazena k fytocenologickým asociacím podle práce CHYTRÝ (2013). Pedologická nomenklatura byla užitá podle publikace NĚMEČEK et al. (2011). Barvy půdních horizontů byly určovány pomocí Munsellovy škály (Munsell Soil Color Book 2015). Kritéria pro objemovou hmotnost substrátů vzhledem k optimu pro růst rostlin jsou převzata z práce ŠIMON, LHOŠKÝ (1989) a pro pórovitost lesních půd z práce VAVŘÍČEK, KUČERA (2017) a kritéria pro obsah bazických kationtů, fosforu a obsah humusu jsou převzata z práce ČERMÁK, KOHEL (2003). Základní statistiky souborů byly počítány v prostředí MS Excel. Rozdílnost růstových výkonů dřevin byla porovnána dvou-výběrovým F-testem pro rozptyl a dvou-výběrovým t-testem (výsledky v archivu autorů).

VÝSLEDKY

Úhyn a přírůst výsadeb

Za období 2010–2019 činil celkový úhyn 27 % z výsadby na ploše Ressler, na ploše Sypaný bez započtení souboru tis to bylo 12 %. Skupina sazenic do 50 cm výšky byla zastoupena 25 % na ploše Ressler a na ploše Sypaný bez započtení souboru tis 13 % z výsadby. Pro plochu Ressler představují uhynulé sazenice spolu se sazenicemi do 50 cm výšky 52 % z výsadby a pro plochu Sypaný 25 % z výsadby bez započtení souboru tis.

Celkový úhyn za celé období byl nejvyšší u tisu (67 % výsadby druhu), dále byl vysoký úhyn souboru dub/Ressler (31 %) a také souboru babyka (28 %). Nejnižší celkový úhyn byl u souboru dub/Sypaný (3 %). Střední míra úhynu byla v souborech lípa (13 %), jilm (19 %) a habr (23 %). Nejvyšší úhyn v roce výsadby (podzim 2010) byl u jilmu, dosahoval 6 %, u ostatních dřevin se pohyboval v rozmezí 0–3 %. Další významný úhyn nastal u většiny dřevin v následných dvou letech po výsadbě. Později, až do sedmého roku po výsadbě byl již úhyn nečetný, vyskytoval se v souborech babyka, dub/Ressler a habr, avšak stále četný byl u tisu, viz obr. 1. Vyskytoval se také úhyn víceméně nezávislý na klimatických podmínkách a půdním substrátu, způsobený hlodavci a lokální kompeticí bušeně.

Rozmístění úhynů na lokalitě Ressler se shodovalo s plochami vyvýšeného mikroreliefu, zbaveného vrstvy rekultivační zeminy erozí. Další místa skupinového úhynu se shodovala s vysokou pokrývností vzrůstných, odnožujících trav jako *Calamagrostis epigeios*. Náhodná

distribuce úhynu byla způsobena konkurencí vzrůstných trsnatých trav jako *Festuca arundinacea*, dnes již na lokalitě téměř vymizelých, žírem hlodavců (jednotky jedinců dubu a babyky) a také lokální nepřítomností substrátu, způsobenou zejména zbytky uhlí. Výsadbové pole s mírně vypouklým reliéfem představuje 15 % uhynulých sazenic a vykazuje 16 % sazenic ve výškové třídě do 50 cm. Naopak výsadbové pole mírného úpadu zaplněného erozí tam hromaděnou zeminou, je růstově příznivější, představuje 12 % uhynulých sazenic a jen 9 % sazenic ve výškové třídě do 50 cm. Stagnující sazenice se s postupujícím odrůstáním okolní výsadby dostávají do stále více kompetitivního prostředí (CUBERA, MORENO 2007) o dostatek vody, nyní již nejen vlivem bylinného patra, ale i expandujícího kořenového systému odrůstlých sazenic.

Na lokalitě Sypaný je úhyn výrazně spjat s výsadbou tisu. Tis hynul v celém ekologickém gradientu plochy, pouze v horní části svahu přežilo více sazenic chráněných zástinem rychle odrůstajících řad okolního habru. Mimo tuto dřevinu je úhyn ostatních dřevin koncentrován do báze svahu, ve kterém epizodně v jarním období nastává přesycení substrátu výsypky vodou. Bez zohlednění tisu představuje horních 13 řad jen 4 % uhynulých sazenic, zatímco dolních 12 řad 8 % uhynulých sazenic. V dolní části lokality patří úhyn vedle tisu také habru a méně již lípě. Úhyn dubu je nízký, pouze 3 % sazenic, a je rozmístěn náhodně. Nejvyšší jedinci habru byli soustředěni do horní části svahu, naopak ve spodní části je habr nižší. Také lípa dosahuje větších výšek v horní části lokality. Distribuce výškových tříd dubu je po ploše náhodná.

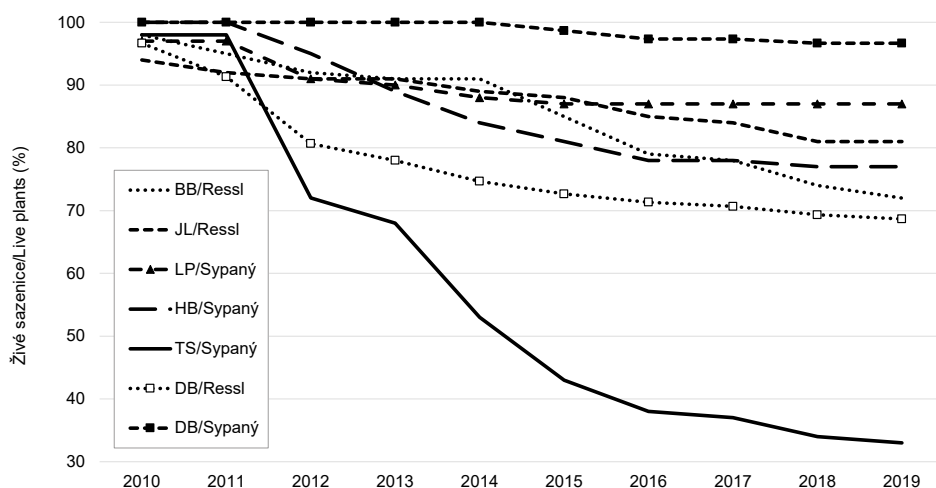
Na základě poměru dosažené výšky sazenic a úhynu (tab. 4) byly vyhodnoceny jako nejúspěšnější druhy dub, habr a lípa na lokalitě Sypaný, za nimi pak následoval dub a jilm na lokalitě Ressler. Jako méně úspěšná dřevina pak vychází babyka na lokalitě Ressler. Jednoznačně neúspěšnou dřevinou je tis, přestože byl vysazen na příznivější lokalitě Sypaný.

Největší výšky dosahoval soubor habr (Sypaný), medián 260 cm (obr. 2). Velkého růstového výkonu dosahovaly také soubory dub z lokality Ressler s mediánem výšky 135 cm a lípa (Sypaný) s mediánem výšky 120 cm. Také dub na lokalitě Sypaný patřil k souborům s větší hodnotou mediánu výšky – 107 cm. Malé výšky dosahovaly soubory jilm (Ressler), medián 82 cm, tis (Sypaný), medián 58 cm a babyka (Ressler), medián 49 cm. Soubory babyka a jilm, oba na lokalitě Ressler, svou malou výškou a levostranným uspořádáním ukazují na nepříznivé pedologické podmínky a odlehlymi hodnotami výrazně vzrostlých jedinců indikují výrazně vhodnější podmínky, kterých je některým jedincům dopřáno. Levostranné uspořádání výšek souboru tis je způsobeno rozrůzněným mikroklimatem, kterému jsou sazenice vystaveny, tj. jedinci, kteří zůstali nechráněni zástinem okolních výsadeb, stagnují a odumírají a jedinci, kteří jsou chráněni, počínají lépe odrůstat. Mezi dubem (Sypaný) inokulovaným a kontrolním nebyl zjištěn rozdíl v úhynu. Rozdíl v tloušťce kořenového krčku a výšce nebyl párovým t-testem prokázán.

Na lokalitách se projevovala oportunistická růstová architektura, jako výmladky z pařezové části (dub, lípa, habr) a silné mnohonásobné větvení kmene (jilm). Na kritický nedostatek vody v půdě na obou lokalitách výsadby všechny dřeviny reagovaly odumřením hlavní osy a následnou tvorbou výhonů z adventivních pupenů v pařezové části v následujících letech. Schopnost vytvářet náhradní osy z adventivních pupenů bazální části kmene je u mnohých dřevin strategií přežívání a přetrvání na biotopu lesostepí, kde obvykle panuje omezená hydrická řada (ŠEFL 2003).

Vývoj vybraných ekologických faktorů na lokalitách ve vegetační sezóně 2019

Lokalita Ressler vykazovala mezi 1. květnem a 24. srpnem 2019 v hloubce 0,15 m objemovou vlhkost pod 25 %. To znamená, že matriční

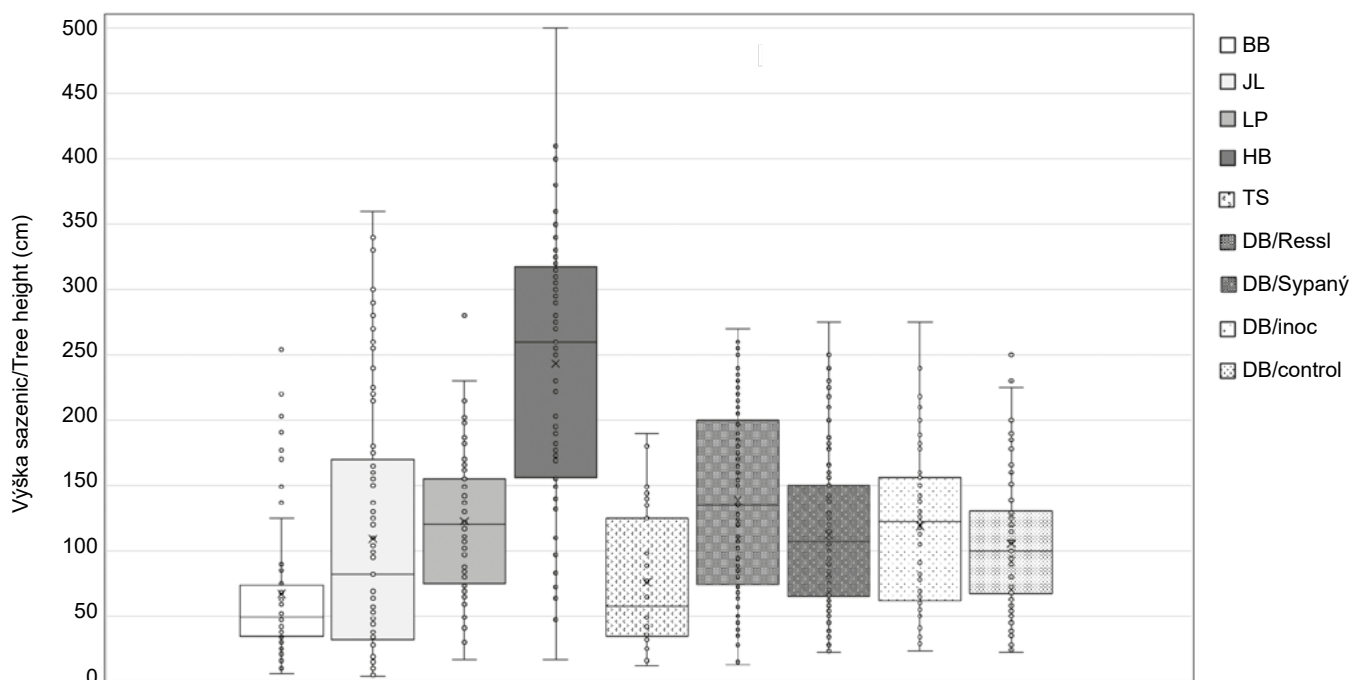


Obr. 1.

Vývoj počtu přežívajících sazenic ve sledovaném období

Fig. 1.

Survival of planting stock in the period of survey (BB *Acer campestre*, JL *Ulmus minor*, LP *Tilia cordata*, HB *Carpinus betulus*, TS *Taxus baccata*, DB *Quercus robur*)



Obr. 2.

Medián výšky dřevin na podzim 2019. Medián je vnitřní linka v krabicovém grafu, křížek je aritmetický průměr, vousy vymezují neodlehle hodnoty souboru. Soubor DB/Sypaný je složen ze souborů DB/inoc a DB/control; DB/inoc – dubové sazenice inokulované mykorrhizálním preparátem, DB/control – dubové sazenice kontrolní výsadby

Fig. 2.

Median of height of planting stock in autumn 2019. Inner line of box plot – median, cross – mean, whiskers – non outliers. For coding of tree species see Fig. 1. Set DB/Sypaný consists of sets DB/inoc and DB/control; DB/inoc – oak plants inoculated by mycorrhizal preparation, DB/control – oak plants of control plantation

potenciál se podle modelové retenční křivky (BLUME et al. 2016) pohyboval v oblasti snížené dostupnosti vody rostlinám, viz obr. 3 a 4. Vypočtené hodnoty snížené dostupnosti vody pro lokality uvádíme v tab. 2. Ovlhčení nad tuto hranici nastalo až od září. Elektrody odporové metody měření matričního potenciálu vykazují vysušení v období července, po počátek října (obr. 4). Čidla nebyla schopna reagovat na epizodní ovlhčení půdní vrstvy v období nízkých srážek v červenci a srpnu. Až příznivější poměr srážek a teploty v září a říjnu vedl k jejich ovlhčení. Dlouhé období stavu matričního potenciálu v oblasti snížené dostupnosti vody rostlinám odpovídá vysokému úhynu, málemu a nevyrovnanému růstovému výkonu sazenic na ploše.

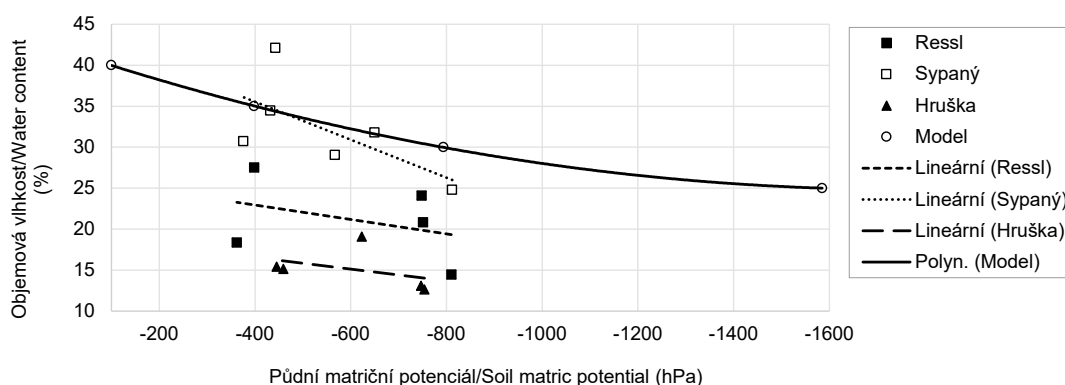
Lokalita Sypaný, s výjimkou druhé poloviny června 2019, nevykazovala pokles objemové vlhkosti pod 29 %, viz obr. 3 a 5. To znamená, že kromě uvedeného období nedošlo podle modelové retenční křivky k vystoupení z mezí vláhového optima pro rostliny. V případě druhé poloviny června se matriční potenciál pohyboval pouze na hranici snížené dostupnosti vody rostlinám. Tato lokalita v průběhu celé vegetační sezóny vykazovala o 8–10 % vyšší objemovou vlhkost ve srovnání s lokalitou Ressler. Stejně jako na lokalitě Ressler vykazují elek-

trody odporové metody ztrátu vlhkosti pod mez registračního minima, avšak pouze na kratší období, ca v délce jednoho měsíce (červenec); obr. 5. Také zde čidla nebyla schopna reagovat na epizodní ovlhčení půdy. Lokalita se vyznačuje oscilací ovlhčení spodní vrstvy 30 cm od konce července. Svrchnější vrstva 20 cm reaguje na ovlhčení níže položeného čidla opožděně, což nasvědčuje tomu, že dochází k ovlhčení této vrstvy kapilárním zdvihem. Čidlo v nejsvrchnější vrstvě 10 cm setrvalo po většinu sledovaného období, 14. 6.–16. 10., ve stavu vlhkosti pod registračním limitem. Lokalita je patrně zásobována podzemní vodou stékající svahem výsypky. Oběma lokalitám výsypky (Ressler a Sypaný) je společné podzimní (od 4. 10.) dostatečné ovlhčení všech čidel sledovaných vrstev. Na hodnotu snížené dostupnosti vody je svrchní (10 cm) čidlo na obou výsypkových lokalitách provlhčeno až při 40 mm srážek, nebo tehdy, je-li omezen výparný režim, tj. nastane-li období, ve kterém je poměr měsíčního úhrnu srážek k průměrné měsíční teplotě větší než 4 (tyto podmínky panovaly ve vegetační sezóně roku 2019 do května a opět nastaly až od měsíce září). Vyšší objemová vlhkost na ploše Sypaný po celé jedno sledované vegetační období a též krátkodobá perioda propadu hodnot matričního potenciálu do pásma snížené dostupnosti vody odpovídají nižšímu úhynu a vyššímu růstovému výkonu sazenic.

Tab. 4.

Pořadí úspěšnosti taxonů, stanovené poměrem výšky a úhynu za období 2010–2019; hodnoty jsou uvedeny pro podzim 2019
Order of taxon prosperity, determined as height/dieback ratio in 2010–2019; autumn 2019 data

Druh/Species	Medián výšky/ Median of height [cm]	Úhyn/ Dieback [%]	Medián výšky/% úhynu/ Median height/% of dieback	Pořadí úspěšnosti/ Prosperity order
<i>Acer campestre</i>	49	28	1,7	5
<i>Ulmus minor</i>	82	19	4,3	4
<i>Tilia cordata</i>	120	13	9,2	3
<i>Carpinus betulus</i>	260	23	11,3	2
<i>Taxus baccata</i>	57,5	68	0,8	6
<i>Quercus robur</i> /Ressler	135	31	4,3	4
<i>Quercus robur</i> /Sypaný	107	3	35,7	1



Obr. 3.

Vztah mezi objemovou vlhkostí [%] a matričním potenciálem, zjištěným tenzometrickou metodou, přístroj T8; modelová retenční křivka pro jílovitohlinitou půdu je převzata z BLUME et al. (2016)

Fig. 3.

Relation of water content [%] and soil matric potential, measured by tensiometer T8; model water retention curve for clay-loamy soil is borrowed from BLUME et al. (2016)

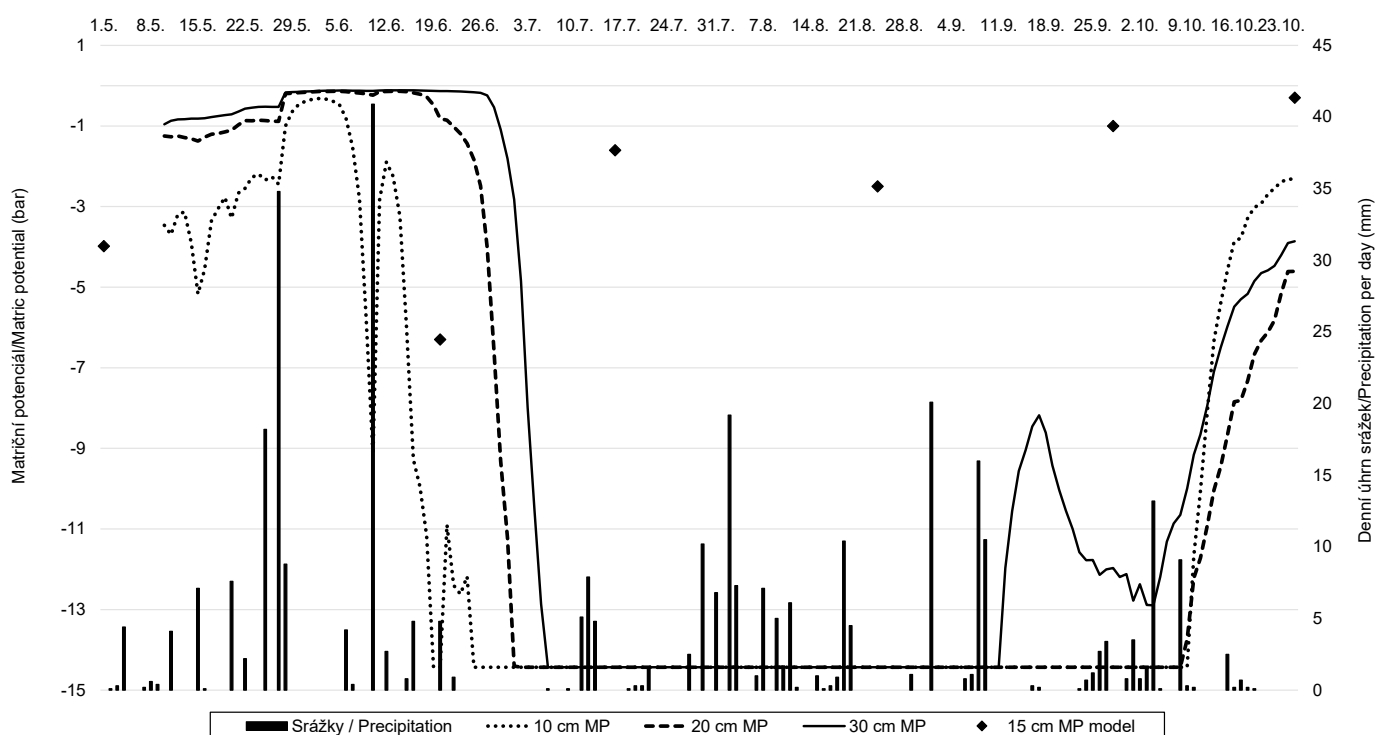
Lokalita Hruška se podobně jako lokalita Ressler vyznačuje v převážné části vegetačního období 2019 objemovou vlhkostí v hloubce 15 cm pod 20 % (obr. 3). Znamená to, že také zde se maticí potenciál podle modelové retenční křivky pohyboval ve velké části vegetačního období v oblasti snížené dostupnosti vody rostlinám. Maticí potenciál odečtený elektrodou ve svrchní 10cm vrstvě se vyznačoval fluktuací ovlhčení a vyschnutí. Elektroda detekuje období sucha v této svrchní vrstvě krátká, první týden července, druhá polovina července a poslední týden měsíce září, střídána přetrvávajícím ovlhčením (obr. 6). Čidlo ve vrstvě 10 cm se velice rychle ovlhčuje v polovině července po srážkách 18 mm vypadlých v průběhu 3 dnů, nikoliv však čidla v horizontech hlubších, na to půda vykazuje příliš nízkou hydraulickou vodivost. Snížení vlhkosti nejspodnější, 30cm vrstvy je proti svrchní opožděné; tato vrstva se vyznačuje dlouhými epizodami proschnutí až na limit registračního rozsahu čidla (21. 6.–26. 7., 10. 8.–29. 8. a 25. 9. až konec měření). Čidlo bylo v této vrstvě průsakem vody z horizontů svrchních dvakrát ovlhčeno, a to na konci července a na počátku září. Čidlo ve vrstvě 20 cm se jen velmi málo a opožděně ovlhčovalo, patrně z důvodu specifík substrátu. Mohlo být v kapse mezi kameny, přesto vykazovalo signatury společné čidlům této lokality. Průběh ovlhčení vrstev naznačuje, že lokalita je ovlhčována směrem od vrchního horizontu srážkami. Frekventované ovlhčení svrchního čidla je v souladu s vyšší hydraulickou vodivostí organominerálního substrátu, ve kterém se čidlo nachází. Niž položená čidla leží v půdním substrátu o nízké hydraulické vodivosti, podobné výsypkovému substrátu na lokalitě Ressler. Ovlhčení spodních vrstev je pomalé, proti svrchní vrstvě výrazně zpožděné, čemuž odpovídá otevřený keřový porost lokality s dominantním zastoupením rostlinných druhů omezené hydrické řady.

Rychlost a intenzita ovlhčení vrstev půdy byly vedle hydraulické vodivosti odvislé od intenzity srážek. V případě vydatných srážek nastalo plné ovlhčení půdní vrstvy a čidla v pouhém intervalu měření čidla (4 hodiny). Při málo vydatných srážkách byla ovlhčena jen svrchní vrstva a spodní vrstvy buď zůstaly suché, nebo se ovlhčily opožděně (opoždění až 8 dní). Snížení vlhkosti elektrody z plné polní kapacity na práh registračního minima v jílovitohlinité půdě je za výparného režimu letních dnů zprvu pozvolné, posouvající se v desetinách bar k hodnotě -1 bar, to trvá přibližně 7 dnů, další posun na mez měření -14,43 bar stoupá rychle, v jednotkách bar za den a odehraje se během 3 dnů.

Hodnoty maticí potenciálu měřeného tenzometrem T8 odpovídají na lokalitě Sypaný retenční křivce (obr. 3). Na ostatních lokalitách hodnoty objemové vlhkosti půdy implikují hodnoty maticí potenciálu za hranici technických možností přístroje (obr. 3). K přenesení sacího tlaku mezi přístrojem a půdou je potřeba delšího času než zvolená expozice trvající 60 minut.

DISKUSE

Na ploše Hruška a Ressler klesal maticí potenciál v letním období ve vrstvě půdy do 15 cm minimálně až do pásma snížené dostupnosti vody rostlinám, viz body modelového maticí potenciálu (MP model), obr. 4 a 6. Tyto epizody sucha byly patrně příčinou úhynu sazenic v prvních 3 letech výsadby na ploše Ressler (obr. 1). Tato lokalita se vyznačuje mírně alkalickou výměnnou reakcí (pH 7,8) a to může být



Obr. 4.

Lokalita Ressler, maticí potenciál (MP), v období 10. 5.–25. 10. 2019, v hloubkách 10, 20 a 30 cm, měřeno odporovou metodou. Denní úhrn srážek, meteorologická stanice Kopisty (ČHMÚ [2]); body představují modelové hodnoty MP odvozené z retenční křivky na základě gravimetricky stanovené objemové vlhkosti půdy

Fig. 4.

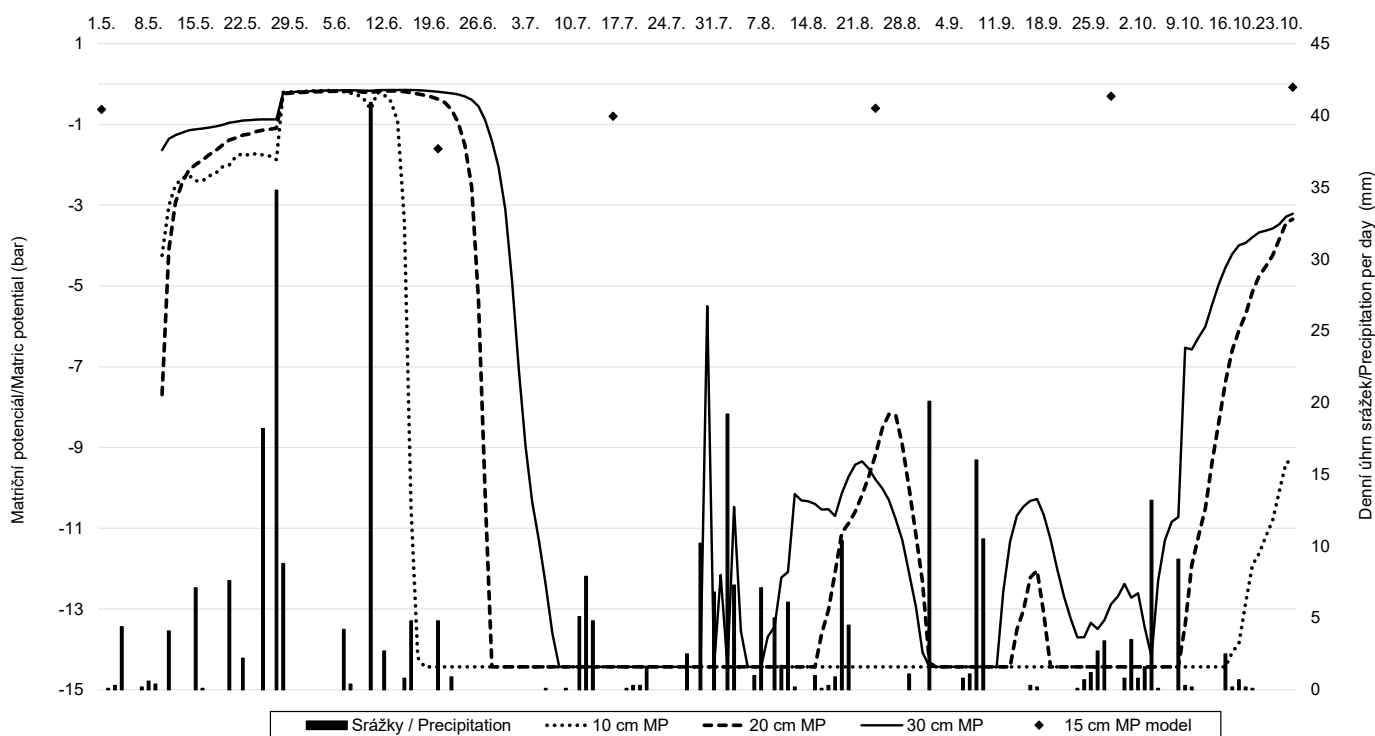
Ressler, matric potential (MP) in 10. 5.–25. 10. 2019, depths 10 cm, 20 cm and 30 cm, measured by electric resistance method. Precipitation per day, meteorological station Kopisty (ČHMÚ [2]); dots are model values of MP derived from water retention curve on the base of soil moisture value obtained by gravimetric method

další příčinou vyššího úhynu a nižší prosperity sazenic. Nicméně matriční potenciál byl stanoven z volného půdního profilu, kdežto v rhi-zosférním prostoru (jedná se o ca 1,5 mm tenký plášť kolem kořene) je vysychání kořene omezeno slizovými látkami, vylučovanými kořeny (CARMINATI et al. 2010). Kořeny rostlin mohou být takto po určitý čas uchráněny před vyschnutím. Mnohé rostliny, pokud jim to substrát dovolí, vytvářejí kořenový systém hlubší než zde sledovaný profil, hlouběji lze předpokládat obsah vody stabilnější (CUBERA, MORENO 2007). Významným faktorem zvyšujícím schopnost rostlin získat vodu je také mykorrhizní symbióza (DEACON 2006). Na lokalitě Sypaný byla příčinou úhynu sezónní hypoxie způsobená přesycením půdního profilu vodou, tomu napovídají epizody ovlhčení spodních vrstev (obr. 5) a soustředění úhynu do podsvahové části lokality. U většiny dřevin byl zaznamenán nejvyšší úhyn v prvních 3 letech po výsadbě, který byl také specifický podle taxonu. Ke stejným závěrům v dynamice úhynu výsadeb na výsypkách také dospěli CLEVELAND, KJELGREN (1994) a DIMITROVSKÝ, NECHANICKÝ (2004). Dub letní, habr obecný a lípa srdčitá byly na základě poměru výšky sazenic a úhynu vyhodnoceny pro Slatinickou výsypku jako nejvhodnější pro výsadbu v rámci hodnoceného souboru druhů (tab. 4). Podobného poměru výšky a úhynu dosahovaly tyto dřeviny také na výsypkách Sokolovska (DIMITROVSKÝ, NECHANICKÝ 2004). Stagnace výškového přírůstu nebyla na plochách zaznamenána. Případy stagnace a chřadnutí na substrátech výsypek po počátečním dynamickém růstu jsou někdy uváděny (SLÁVIK, DIMITROVSKÝ 2006). Hloubka prokořenění do 40–50 cm na lokalitě Sypaný je ve shodě se zjištěním studie provedené na výsypkách na Sokolovsku (ČERMÁK, ONDRÁČEK 2009). Na lokalitě Ressler bylo zjištěno prokořenění pouze 20 cm z důvodu ulehlého substrátu. Inokulace dubových sazenic mykorrhizním preparátem při zalesnění neměla vliv na snížení

úhynu ani na vzrůst sazenic. Přesto DEACON (2006) a KAŁUCKA, JAGODZIŃSKI (2016) uvádějí pozitiva inokulace sazenic v podmínkách výsypkových substrátů. Sadební materiál byl prokazatelně přirozeně mykorrhizními symbionty osídlen již před inokulací, což mohlo být jedním z možných důvodů indiferentního vlivu inokulace. Inokulační potenciál výsypkové plochy je možné také předpokládat z rozprostřeného rekultivačního zeminy (HELM, CARLING 1993; LUNT, HEDGER 2003).

Metoda TDR podléhala chybám z důvodu nehomogenity substrátu. Odchyłka větší než 5 % objemové vlhkosti metody TDR od standardu metody gravimetrické nastala v 50 % případů stejnou mírou na obou plochách výsypky. Na lokalitě Ressler metoda TDR objemovou vlhkost podhodnocovala patrně z důvodů vyšší příměsi uhlí (není nasáklivé, proto má relativní konduktivitu blízkou suché zemině). Na lokalitě Sypaný se jednalo v jednom případě o podhodnocení a dva případy byly nadhodnocení. Rozdíly ve čtení hodnot na této ploše ležely v nehomogenitě substrátu. Největší odchylky TDR metody od standardu gravimetrického na obou lokalitách dosahovaly nejvýše 10 % objemové vlhkosti, a to jak ve smyslu nadhodnocení, tak i podhodnocení.

Měření matričního potenciálu odporovou metodou bylo limitováno nízkou hydraulickou vodivostí substrátu, která neumožňovala čidlům zaznamenávat epizodní vlhkostní změny po nevydatných srážkách. Ze stejného důvodu se půdní matriční potenciál měřený odporovou metodou neshoduje s hodnotami matričního potenciálu odvozeného z retenční křivky pro jílovitohlinitou půdu. Schopnosti substrátu přijímat vodu na lokalitách Ressler a Sypaný jsou podle dat odporových čidel jiné než na lokalitě Hruška (obr. 4, 5 a 6). Vyšší hydraulická vodivost substrátu na lokalitě Hruška, viz obr. 6, může spočívat ve vyšším podílu humusu v organominerálním horizontu, ve srovnání s plochami



Obr. 5.

Lokalita Sypaný, matriční potenciál v období 10. 5.–25. 10. 2019, v hloubkách 10, 20 a 30 cm, měřeno odporovou metodou. Denní úhrn srážek, meteorologická stanice Kopisty (ČHMÚ [2]); body představují modelové hodnoty MP odvozené z retenční křivky na základě gravimetricky stanovené objemové vlhkosti půdy

Fig. 5.

Sypaný locality, matric potential in 10. 5.–25. 10. 2019, depths 10 cm, 20 cm and 30 cm, measured by electric resistance method. Precipitation per day, meteorological station Kopisty (ČHMÚ [2]); dots are model values of MP derived from water retention curve on the base of soil moisture value obtained by gravimetric method

výsypek, viz tab. 3. Přesnost metody tenzometrické, je-li užita ke krátkodobému osazení přístroje na lokalitě, závisí na dostatečně dlouhém času expozice přístroje, aby se vyrovnal tlakový potenciál mezi půdou a přístrojem. K tomu je zapotřebí času delšího než 60 minut.

ZÁVĚR

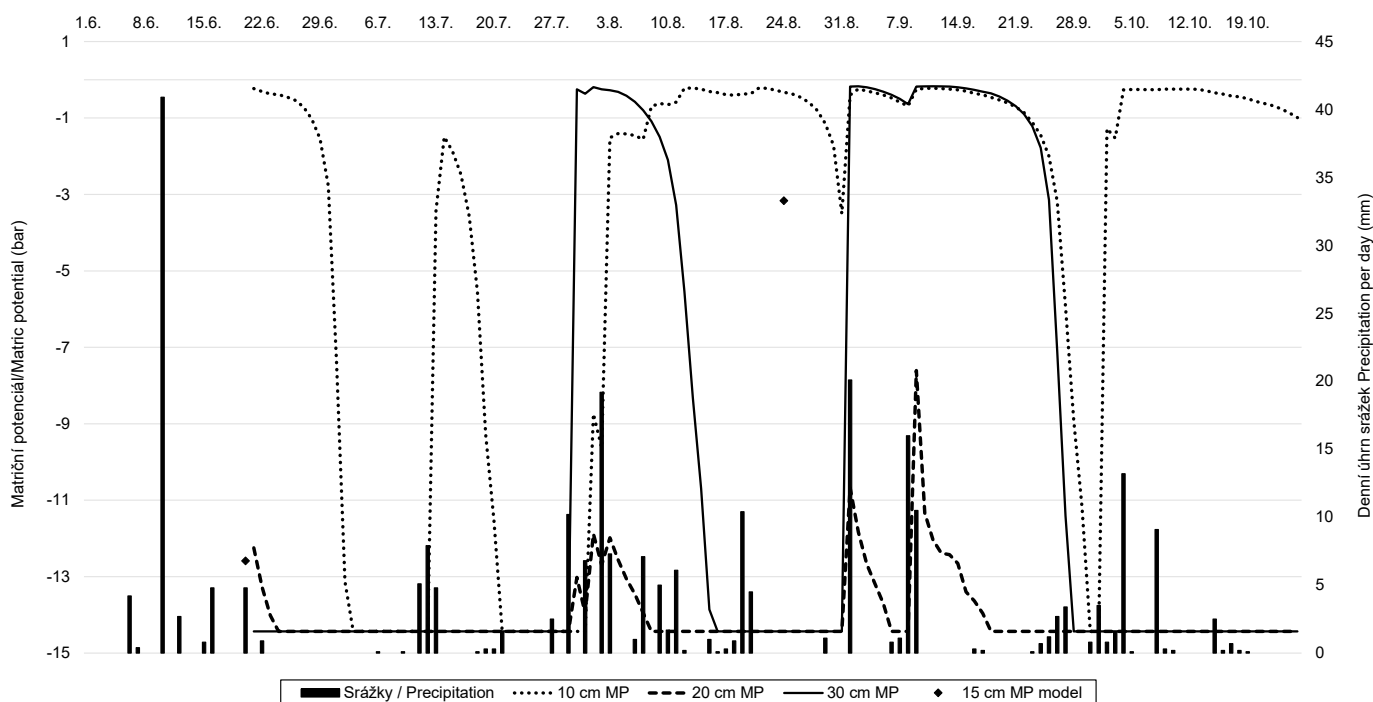
Prostředí Slatinické výsypky tvoří půdy jílovitohlinité, představující sníženou rychlost zasakování srážkové vody do půdy. Hodnoty pórovitosti leží v mezích tolerance (Sypaný), nebo na hranici (Ressler, Hruška) optimálního stavu pro růst kořenů rostlin. Lokalita Ressler (výsypkový substrát) a přírodní lokalita Hruška se vyznačují téměř shodnými, nepříznivými fyzikálními vlastnostmi půdy, jimiž jsou: vyšší podíl jílnatých částic, vyšší objemová hmotnost a nižší pórovitost. Hloubka prokořenění na lokalitě Ressler dosahovala 20 cm, na lokalitě Hruška 30 cm. Nepříznivé fyzikální vlastnosti přírodní lokality Hruška jsou však mírněny vyšším podílem humusu v podobě dobře vyvinutého organominerálního horizontu. Lokalita Sypaný (výsypkový substrát) vykazuje v rámci porovnávaných lokalit nejpříznivější fyzikální vlastnosti: hloubku prokořenění 40 cm, vyšší pórovitost a lepší vláhové poměry po většinu vegetační sezóny 2019. Lokality Ressler a přírodní lokalita Hruška trpí letními přísušky, matriční potenciál substrátu do hloubky 15 cm se pohyboval v pásmu snížené dostupnosti vody po téměř 5 měsíců vegetačního období. Obě plochy výsadby (Ressler a Sypaný) jsou i přes svou malou výměru pedologicky, a tím i fytoecologicky různorodé. Výsadbová pole obou ploch vykazovala rozdíl v ujmavosti sazenic a v dynamice jejich odrůstání. Největší úhyn sazenic

byl situován do prvních tří let po výsadbě, později byl jen nahodilý. Největší úhyn byl zaznamenán u tisu/Sypaný, naopak nejmenší u dubu a u lípy (Sypaný). Na lokalitě Ressler byl ekologickým faktorem v minimu nedostatek vody.

Na základě poměru růstového výkonu a úhynu byly jako nevhodnější dřeviny pro výsypku vyhodnoceny dřeviny v pořadí: dub, habr a lípa. Méně vhodné dřeviny jsou babyka a jilm habrolistý. Vliv mykorrhizní inokulace dubových sazenic na lokalitě Sypaný neměl vliv na úhyn ani na přírůst.

LITERATURA

- BANÝR P. 2014. Charakteristika půdních substrátů, rostlinných společenstev a mikroklimatu na vybraných plochách Slatinické výsypky. Diplomová práce. Ústí nad Labem, ÚJEP.
- BLUME H.P., BRÜMMER GW., FLEIGE H., HORN R., KANDELER E., KÖGEL-KNABNER I., KRETZSCHMAR R., STAHR K., WILKE B.M. 2016. Soil science. Berlin, Springer: 618 s.
- BRADSHAW A.D., CHADWICK M. J. 1980. The restoration of land. The ecology and reclamation of derelict and degraded land. Berkeley, University of California Press: 317 s.
- CARMINATI A., MORADI A. B., VETTERLEIN D., VONTOBEL P., LEHMANN E., WELER U., VOGEL H. J., OSWALD S.E. 2010. Dynamic of soil water content in the rhizosphere. Plant and Soil, 332: 163–176. DOI: 10.1007/s11104-010-0283-8



Obr. 6.

Lokalita Hruška, matriční potenciál v období 21. 6.–25. 10. 2019, v hloubkách 10, 20 a 30 cm, měřeno odporovou metodou. Denní úhrn srážek, meteorologická stanice Kopisty (ČHMÚ [2]); body představují modelové hodnoty MP odvozené z retenční křivky na základě objemové vlhkosti půdy stanovené na této lokalitě metodou TDR

Fig. 6.

Hruška, matric potential in 21. 6.–25. 10. 2019, depths 10 cm, 20 cm and 30 cm, measured by electrical resistance method. Precipitation per day, meteorological station Kopisty (ČHMÚ [2]); dots are model values of MP derived from water retention curve on the base of soil moisture obtained for this locality by the TDR (Time Domain Reflectance) method

- CLEVELAND B., KJELGREN R. 1994. Establishment of six tree species on deep-tilled minesoil during reclamation. *Forest Ecology and Management*, 68: 273–280. DOI: 10.1016/0378-1127(94)90051-5
- CUBERA E., MORENO G. 2007. Effect of land use on soil water dynamic in dehesas of Central-Western Spain. *Catena*, 71/2: 298–308.
- CULEK M. (ed.) 1996. Biogeografické členění České republiky. Praha, Enigma: 347 s.
- ČERMÁK P., KOHEL J., DEDERA F. et al. 2002. Rekultivace ploch devastovaných těžbou nerostných surovin v oblasti Severočeského hnědouhelného revíru. *Metodika*. Praha, VÚMOP: 88 s
- ČERMÁK P., KOHEL J. 2003. Hodnocení půdotvorného procesu antropozemí Severočeské hnědouhelné pánve, jejich kategorizace a využití. Praha, VÚMOP: 63 s.
- ČERMÁK P., ONDRÁČEK V. 2009. Stanovištní a rhizologické vlastnosti dřevin využívaných při zalesňování výsypek severočeské hnědouhelné pánve. *Metodika*. Praha, VÚMOP: 57 s.
- DEACON J.W. 2006. *Fungal biology*. Oxford, Blackwell: 371 s.
- DELA B.F. 2001. Measurement of soil moisture using gypsum blocks. *Hørsholm, By or Byg: 28 s. By og Byg Documentation 004*
- DIMITROVSKÝ K. 1999. Zemědělské, lesnické a hydrické rekultivace území ovlivněných báňskou činností. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací: 66 s. *Metodiky pro zemědělskou praxi 14*.
- DIMITROVSKÝ K., NECHANICKÝ M. 2004. Závěrečná zpráva projektu „Sledování vývoje a stavu kultur lesnické rekultivace Březno IX“. Praha, ČZU.
- FIALA K. (ed.) 1999. Závazné metody rozborov půd. Bratislava, Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy: 139 s.
- FLEGE A. 2000. Forest recultivation of coal – mine land: Problems and prospects. In: Haigh M. J. (ed.): *Reclaimed land. Erosion control, soils and ecology*. Rotterdam, Balkema: 291–338. *Land reconstruction and management 1*.
- GRIME J.P. 1981. *Plant strategies and vegetation processes*. Chichester, Wiley: 222 s.
- HELM D.J., CARLING D.E. 1993. Use of soil transfer for reforestation on abandoned mined lands in Alaska. II. Effects of soil transfers from different successional stages on growth and mycorrhizal formation by *Populus balsamifera* and *Alnus crispa*. *Mycorrhiza*, 3: 107–114.
- CHYTRÝ M. (ed.) 2013. *Vegetace České republiky. 4. Lesní a křovinná vegetace. Vegetation of the Czech Republic. 4. Forest and Scrub Vegetation*. Praha, Academia: 551 s.
- KALUCKA I.L., JAGODZIŃSKI A.M. 2016. Successional traits of ectomycorrhizal fungi in forest reclamation after surface mining and agricultural disturbances: A review. *Dendrobiology*, 76: 91–104. DOI: 10.12657/denbio.076.009
- KAPLAN Z. (ed.) 2019. *Klíč ke květeně České republiky*. Praha, Academia: 1168 s
- LIŠKA J., PALICE Z., SLAVÍKOVÁ Š. 2008. Checklist and red list of lichens of the Czech Republic. *Preslia*, 80: 151–182.
- LUNT P.H., HEDGER J.N. 2003. Effects of organic enrichment of mine spoil on growth and nutrient uptake in oak seedlings inoculated with selected ectomycorrhizal fungi. *Restoration Ecology*, 11:125–130.
- MICHAL V. 1967. Komplexní průzkum zemědělských půd ČSSR. Státní statek Most, závod 06 Vršany. Průvodní zpráva. Praha Suchdol, Expediční skupina pro průzkum půd.
- NÁROVCOVÁ J., NÁROVEC V., NĚMEC P. 2016. Optimalizace hnojení a hospodaření na půdách lesních školek. *Certifikovaná metodika*. Strnady, VÚLHM: 60 s.
- NEUHÄUSLOVÁ Z. (ed.) 1998. *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. Praha, Academia: 341 s.
- NĚMEČEK J., MÜHLHANSELOVÁ M., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P. 2011. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Praha, ČZU: 94 s.
- PRACH K. 1998. Komplex sukcesních stádií na antropogenních stanovištích. In: Neuhäuslová Z. (ed.): *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. Praha, Academia: 243–245.
- PRACH K., HOBBS R.J. 2008. Spontaneous succession versus technical reclamation in restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology*, 16: 363–366. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2008.00412.x
- PÜSCHEL D., RYDLOVÁ J., VOSÁTKA M. 2007. Mycorrhiza influences plant community structure in succession on spoil banks. *Basic and Applied Ecology*, 8: 510–520. DOI: 10.1016/j.baae.2006.09.002
- REITSCHMIEDOVÁ E., FROUZ J. 2016. Sokolovské výsypky: Od měsíční krajiny po les. *Uchycování pionýrských druhů dřevin a jejich význam*. Fórum ochrany přírody, 1: 29–33.
- ROUBÍKOVÁ I., ŠEFL J. 2013. Hodnocení růstových vlastností na Slatinické výsypce. *Studia Oecologica*, 1: 72–87.
- RYDLOVÁ J., VOSÁTKA M. 2001. Association of dominant plant species with arbuscular mycorrhizal fungi during vegetation development on coal mine spoil banks. *Folia Geobotanica*, 36: Article number 85. DOI: 10.1007/BF02803141
- ŘEHŮR M., ONDRÁČEK V., LANG T., ČABLÍK V. 2006. Možnosti aplikace biodegradačních metod a jílovcových sorbentů při rekultivaci fyto toxických ploch severočeské pánve. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, 4: 38–49.
- SKALICKÝ V. 1988. Regionálně fyto geografické členění. In: Hejný S., Slavík B. (ed.): *Květena České socialistické republiky. 1*. Praha, Academia: 103–121.
- SLÁVIK M., DIMITROVSKÝ K. 2006. Rhizologická měření u lesních dřevin na výsypkách. In: Neuhöferová, P. (ed.): *Zalesňování zemědělských půd. Výzva pro lesnický sektor. Kostelec nad Černými lesy*. Praha, ČZU v Praze; Opočno, VÚLHM: 139–153.
- ŠEFL J. 2003. *Dendrologicko-ekologická studie rodu Sorbus v NP Podyjí*. Disertační práce. Brno, MZLU.
- ŠEFL J., ROUBÍKOVÁ I. 2011. Růst lesních dřevin na Slatinické výsypce. *Studia Oecologica*, 5 (1): 83–101.
- ŠIMON J., LHOTSKÝ J. (ed.) 1989. *Zpracování a zúrodňování půd*. Praha, SZN: 317 s.
- ŠOURKOVÁ M., FROUZ J., ŠANTRŮČKOVÁ H. 2004. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). *Geoderma* 124: 203–214.
- VÁŠKŮ Z. 2012. *Základní druhy průzkumů pro krajinné inženýrství, využití a ochranu krajiny*. Praha, ČZU: 400 s.
- VAVŘÍČEK D., KUČERA A. 2017. *Základy lesnického půdoznalství a výživy lesních dřevin. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 362 s.*

Jiné zdroje:

- [1] ČHMÚ [online] <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>.
- [2] ČHMÚ. *Denní úhrn srážek stanice Kopisty pro období květen-říjen 2019*. Vyžádaný export dat. Pobočka Ústí nad Labem.

AFFORESTATION OF BROWN-COAL POST-MINING SUBSTRATES USING SIX TREE SPECIES: a case study

SUMMARY

Colliery spoil heaps of the open cast mining have a specific environment, which is a challenge for afforestation as a part of reclamation process. This study provides information on spoil heap that has not yet been studied from this point of view, and its aim is to compare performance of chosen forest tree species on the Slatinice spoil heap (Czech Republic), and relate it to principal ecological factors, which were expected to limit planting stock growth.

Soil conditions of two spoil-heap plots (Ressler and Sypaný; Tab. 1, 2 and 3) were compared with nearby placed, seminatural shrubby habitat of abandoned orchard (Hruška; Tab. 1, 2 and 3). Both Ressler and Sypaný plots were established in 2010. In total, 800 bare rooted plants (planting density and plot are given in brackets) of pedunculate oak (150/Ressler, 150/Sypaný), small-leaved lime (100/Sypaný), common hornbeam (100/Sypaný), field maple (100/Ressler), field elm (100/Ressler) and common yew (100/Sypaný) were outplanted. The oak plants were also inoculated to test mycorrhiza influence on their survival and performance on the Sypaný plot. One half of plants (75) were inoculated using ectomycorrhizal inoculum Ectovit® (Symbiom Ltd., Czech Republic). Another half of oaks served as a control. Evaluation of plant performance and study of ecological conditions were conducted in 2019. There were determined soil bulk density and soil particle density (Tab. 1), hygrosopy and volume of capillary and non-capillary pores (Tab. 2). Soil matric potential (SMP) was measured for a part of the growing season 2019. Volumetric soil water content was determined monthly. Both spoil heap plots were heterogenous as for microrelief, humus content and physical soil conditions. Topsoil horizon (A horizon) had started to develop on both spoil plots. Soil biological activity (occurrence of earthworms and insects) depended on habitat, and it was in positive relation to extent of plant cover. Greater content of organic matter in soil and finer soil aggregate evolved, and also better water infiltration and deeper rooting were shown (Fig. 4, 5 and 6). At Ressler site, similarly unfavourable physical properties of substrate compared to neighbouring seminatural Hruška site were found (Tab. 1 and 2). However, the substrate from Hruška site contained more humus in well-developed A horizon, which ameliorates this substrate (Tab. 3). As for physical soil properties, the best substrate features such as finer soil structure, lower bulk density and higher porosity were found at the spoil-heap site of Sypaný. Longer periods of soil matric potential (SMP) in range of limited availability of water appeared on habitats of the worsened infiltration conditions at Ressler and Hruška sites (Fig. 4 and 6). Herb layer species composition in the span of the survey (2010–2019) shifted on the studied spoil plots to a post-ruderal stage. Planting stock dieback was species-specific, and attributable to unfavourable compacted substratum, spells of drought (Ressler) or to seasonal hypoxia due to waterlogging (Sypaný). The dieback was also caused by rodents and grass competition in some cases. The incidence of planting stock dieback decreased three years after planting, with exception of yew which manifested a higher mortality levels till the seventh year after planting. Dynamic growth started after the tenth year of plantation age (Fig. 2). All tree species were capable of developing adventitious sprouts if main axis withered up. Particularly hornbeam and lime formed polycormons readily. The open spacing led also to formation of strong side and the multiple fork branching.

On the basis of dieback/growth achievement ratio, the most suitable species for spoil heap conditions were ranked in the order: pedunculate oak > common hornbeam > small-leaved lime (Tab. 4). Mycorrhizal inoculation of oak plants had no impact either on survival or performance.

Zasláno/Received: 22. 06. 2020

Přijato do tisku/Accepted: 20. 11. 2020