SROVNÁNÍ POROSTOTVORNÉ SCHOPNOSTI BOROVICE RUMELSKÉ SE SMRKEM ZTEPILÝM

COMPARISON OF STAND-DEVELOPMENT CAPABILITY OF MACEDONIAN PINE WITH NORWAY SPRUCE

Dušan Kacálek ✉ – Ondřej Špulák – David Dušek

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady, Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

✉ *e-mail: kacalek@vulhmop.cz*

ORCID: D. Kacálek 0000-0003-4906-1034

O. Špulák 0000-0002-4924-3068

ABSTRACT

At air-polluted sites, Macedonian pine (MCP) was found to withstand harsh conditions, where sulfur dioxide induced Norway spruce (NS) die-off. Despite MCP is a native species in the Balkans only, it is mixed with NS frequently. It has been more than 30 years since a planting experiment was established in the Jizera Mts., where MCP's capability of thriving within the large post-calamity clear-cut was tested. The objective of the study was to compare the performance of MCP with nearby standing NS of the same age and also analyze forest floor properties. The results showed that performance of MCP was similar to that one of NS in the conditions of the study site. The MCP differed principally in higher basal area due to forked stems and heavier organic forest floor of litter-fall origin, which was lower in plant-available nutrients. The pH KCl matched with differences in basic cations contents and their saturation.

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

Klíčová slova: *Pinus peuce*; *Picea abies*; prosperita; organické nadložní horizonty půdy

Key words: *Pinus peuce*; *Picea abies*; performance; organic forest floor layers

ÚVOD

Coby domácí dřevina ve dvou oddělených populacích na Balkáně je borovice rumelská (BOR) považována za třetihorní relikt (Kovačević et al. 2013; Farjon 2017), jehož rozšíření je výsledkem alpínských zalednění v pleistocénu. Patří do podrodu borovic *Strobus* (Palmé et al. 2009; Kovačević et al. 2013; Farjon 2017; Nikolić et al. 2018). Ve své domovině je BOR často doprovázena smrkem ztepilým (SM) a jedlemi (Farjon 2017). Kodominance těchto druhů v pohoří Rila je přičítána režimu občasných požárů jak nízké, tak vysoké intenzity (Feurdean et al. 2019). Prosperita SM v porovnání s BOR byla na Balkáně také studována (Lines 1985; Tsakov 1993; Dimitrov 2022; Kolev, Dimitrov 2022; Tanovski et al. 2023a, 2023b). Vzhledem k probíhající klimatické změně je BOR kategorizována v červeném seznamu jako téměř ohrožený druh (Boonman et al. 2024). Má nicméně širokou ekologickou adaptabilitu (Tanovski et al. 2022). Pro introdukci BOR do mnoha zemí severní polokoule doporučili Alexandrov, Andonovski (2011) provenience z pohoří Pirin, Pelister a Prokletije. Zájem o BOR dosvědčují introdukční pokusy v Německu (Lattke et al. 1987; Bachmann et al. 2015) i v Česku (Kaňák 1994; Podrázský et al. 2020; Kaňák, Rauchová 2023). V německé části Krušných hor byla zjištěna vyšší odolnost BOR vůči průmyslovému znečištění ovzduší ve srovnání s odumírajícími SM (Kaňák 1994). U nás byla později vysazována na výzkumných plochách za účelem testování její schopnosti růstu na rozsáhlých post-imisních holinách vzniklých odumřením dominantně smrkových porostů v Jizerských (Balcar, Podrázský 1994) a Orlických horách (Kriegel 2000). Tato studie cílí na hodnocení produkční schopnosti a tvorby nadložního humusu pod více než 30letými porosty BOR v porovnání se SM ve vyšší horské poloze. Byl ověřován předpoklad, zda BOR v daných podmínkách splnila roli náhradní dřeviny domácího SM.

MATERIÁL A METODIKA

Výzkumná plocha a biometrická měření

Experimentální výsadby obou dřevin sestávají z 8 plošek (4 × BOR, 4 × SM) o výměře 0,01 ha; každá ploška BOR sousedí s ploškou SM v rámci jednoho ze čtyř bloků. Porostní varianty jsou součástí výzkumné plochy Jizerka (Balcar, Podrázský 1994). Průměrná nadmořská výška části plochy s ploškami BOR a SM je 975 metrů. Průměrná roční teplota na lokalitě dosahuje 4,9 °C (dlouhodobý průměr 1998–2023), průměrně (1994–2023) spadne 1 113 mm srážek za rok, z toho 696 mm ve vegetační době (květen až říjen). Stanoviště je kyselá smrčina (8K). Zdejší podzolové půdy na žulových horninách BOR vyhovují (viz Lines 1985; Farjon 2017), nicméně ve své domovině se vyskytuje i na karbonátech (Mandžukovski et al. 2022). Výsadby byly provedeny v roce 1990; plochy s BOR musely být v důsledku vysokých ztrát v roce 1992 vylepšeny. Jednotný spon výsadeb byl 2 × 1 m, tj. maximálně 50 stromů na plošku 0,01 ha. Data zahrnují každoroční měření výškového vývoje z let 1990–2011 v borovici a 1990–2013 ve smrku; doplňující měření proběhla v obou dřevinách v roce 2018 a před začátkem růstové sezóny 2024, tj. poslední dosažená výška se vztahuje k roku 2023. Při této biometrické kampani byly také změřeny výčetní tloušťky kmenů.

Nadložní humus

Vzorky byly odebírány s pomocí čtvercového ocelového rámu 25 × 25 cm (plocha 625 cm^2). Svrchní vrstva nerozložených jehlic a části drti (LF) a vrstva drti a měli (FH) byly vzorkovány odděleně. Na každém ze čtyř opakování (plošce) dané varianty byl odebrán humusový materiál ze tří míst vnitřní části plochy (aby byla snížena možnost ovlivnění sousedními porosty). Vzorky byly po vysušení zváženy, přesáty skrz dvoumilimetrové síto a jemnější frakce byla znovu zvážena. Tato přesátá frakce byla analyzována v laboratoři. Svrchní organická vrstva LF byla analyzována na pseudototální obsah N, P, K, Ca a Mg (%). Ve spodní organické vrstvě FH byl zjišťován obsah ($mg.kg^{-1}$) rostlinám přístupných živin P, K, Ca a Mg metodou Mehlich III, procento humusu (Springel-Klee), procento oxidovatelného uhlíku, spalitelných látek a dusíku (Kjeldahl), charakteristiky sorpčního komplexu (hodnoty S, T, H, V), aktivní pH ve vodě a výměnné pH v roztoku chloridu draselného (KCl).

Analýza dat

Byla vypočtena mortalita dřevin podle parcel a roku výsadby (vylepšování BOR). Pro prezentaci výškového vývoje bylo vybráno 20 % (z výsadbového počtu) jedinců nejvyšších v roce 2023.

Data o chemických vlastnostech lesních půd byla analyzována pomocí zobecněných hierarchických lineárních modelů. Použitý model lze formálně vyjádřit ve tvaru:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot Dřevina + u_{Blok/Ploška} + \varepsilon$$

kde

- y je závislá proměnná,
- $\beta_0; \beta_1$ jsou regresní koeficienty modelu,
- $Dřevina$ je nezávislá (vysvětlující proměnná),
- $u_{Blok/Ploška}$ vyjadřuje hierarchickou strukturu dat, kdy je faktor ploška hierarchicky vnořen do faktoru blok a oba jsou modelovány jako náhodný efekt,
- ε vyjadřuje chybovou složku.

Pro analýzu dat vyjádřených v procentech byl použit model s beta distribucí a logistickou link transformační funkcí, pro analýzu pH, T, S a T-S byl použit model s normální distribucí a pro ostatní proměnné model s gamma distribucí a logaritmickou link transformační funkcí.

Analýza byla provedena v prostředí statistického jazyka R a do něj integrovaného jazyka STAN pro bayesovský statistický přístup za využití MCMC metod. Bayesovský přístup poskytuje plnou posteriorní distribuci parametrů, a tedy komplexnější obraz o nejistotách spojených s odhady parametrů, na rozdíl od frekventistického přístupu, který poskytuje pouze bodový odhad a interval spolehlivosti. Bayesovský přístup umožňuje korektně vizualizovat a interpretovat, jak posteriorní pravděpodobnostní hustota pokrývá různé možné hodnoty parametru.

VÝSLEDKY

Prosperita

Z výsadby BOR 1990 během prvních dvou let na jednotlivých parcelách přežívalo pouze 26 až 40 % jedinců (průměrně 34 %). Dosadba z roku 1992 si vedla lépe; ztráty se objevovaly v prvních 5 letech a na konci rostlo 40–59 % (průměrně 47 %) stromků (tab. 1). Hustota porostů v roce 2023 dosahovala průměrně 2 325 jedinců na ha. Vzhledem k vícekmennému habitu BOR (obr. 1) činil počet kmenů průměrně 6 600 na ha. Výškový růst BOR byl v prvních 4–5 letech po výsadbě minimální, akceleroval až po 10 letech. Průměrný výškový vývoj dominantních jedinců byl na všech čtyřech ploškách obdobný, ve věku 33 let dosahovali okolo 10 m výšky (obr. 2 vlevo). Závěs sněhu v zimě 2018–2019 BOR negativně neovlivnil.

Mortalita SM se soustředila do prvních pěti let po výsadbě. Na konci tohoto období na čtyřech parcelách přežívalo 36 až 42 % stromků (průměrně 39 %). Do věku 23 let, kdy byla probírkou zredukována hustota porostu průměrně na 1 350 jedinců na ha, pokleslo průměrné přežívání pouze o 2 % výsadbového počtu (na 37 %). Výškový přírůst SM během prvních 5–6 let stagnoval. V zimě 2018–2019 bylo 61 % stromů polámáno sněhem. SM ochotně zregeneroval; koruny zůstaly nicméně deformovány. Ve věku 33 let je průměrná výška dominantních jedinců také ca 10 m (obr. 2 vpravo). V porovnání s BOR jsou výšky SM na jednotlivých parcelách více rozrůzněné.

Nadložní humus

Svrchní vrstva nadložního humusu L+F ukázala tendenci rostlinného materiálu BOR být chudší všemi analyzovanými živinami (obr. 3). Významně se BOR a SM od sebe lišily v obsazích N, Ca, P a Mg (obr. 5). Spodní vrstva nadložního humusu (F+H) ukázala různé tendence odlišující organický materiál BOR a SM (obr. 4a, b). Neobvyklá je neshoda tendencí aktivního a výměnného pH (obr. 4a), kdy v prvním případě byl kyselejší humus pod SM a ve druhém případě pod BOR; rozdíly se ukázaly být významné (obr. 6a). Tendence ilustrovaná výsledky výměnného pH KCl přitom dobře koresponduje s vyšší koncentrací výměnných bazických kationtů a jejich saturací v sorpčním komplexu pod SM; koncentrace vodíkových kationtů byla nevýznamně vyšší pod BOR (obr. 6a). Spodní vrstva humusu F+H původem ze SM byla významně bohatší rostlinám přístupným draslíkem, vápníkem a hořčíkem, nicméně celkové množství akumulovaného rostlinného materiálu bylo vyšší pod BOR (obr. 6b).

https://doi.org/10.59269/ZLV/2025/2/757

DISKUSE

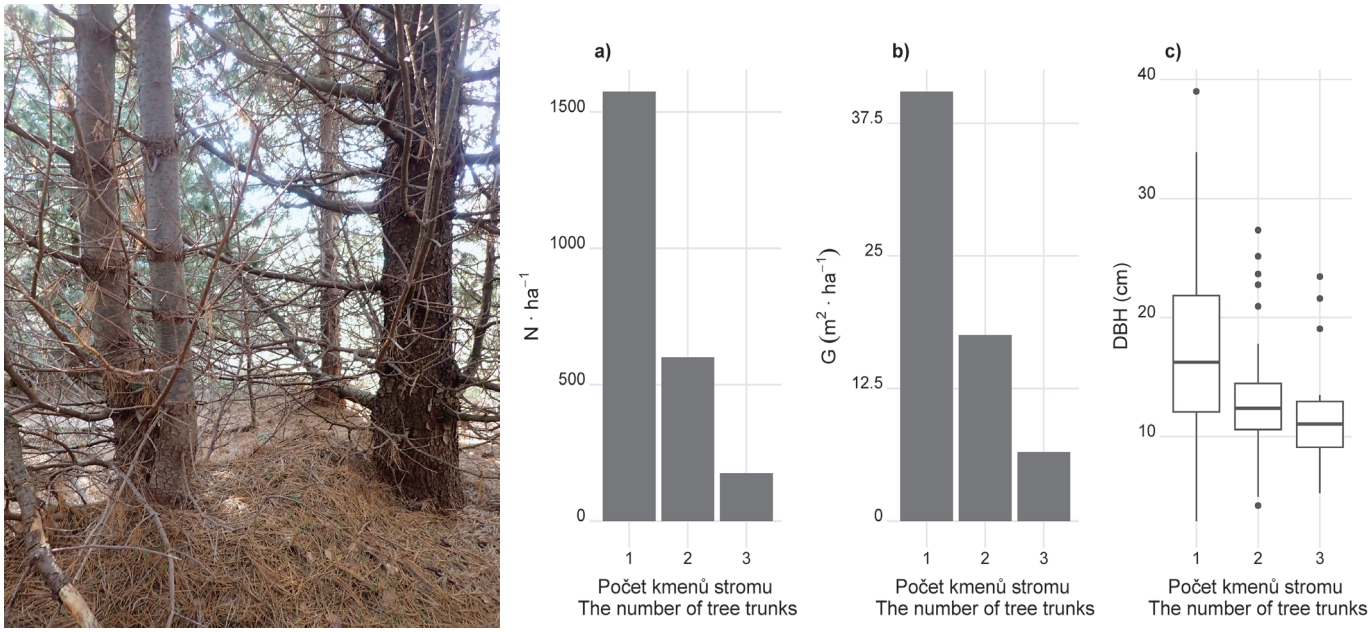
Prosperita

Odolnost BOR proti zlomům závěsem sněhu a zároveň vhodnost užití pro zalesňování v horských polohách uvádějí Bachmann et al. (2015) nebo Novotný et al. (2022). Zkušenosti z introdukce této dřeviny ve Velké Británii jsou vesměs pozitivní; ukázaly schopnost BOR tvořit zdravé porosty (Lines 1985; Savill, Mason 2015; Mason et al. 2018; Savill 2019). Naproti tomu v nejzápadnější části Marylandu, v Apalačském pohoří na východě USA, byla popisována vysoká mortalita – přežívalo méně než 20 % jedinců jak u *P. peuce,* tak u *P. griffithii* (Genys 1983). Našim pozorováním pomalého růstu juvenilních výsadeb BOR odpovídají poznatky ze severu Walesu z výzkumných ploch z Clocaenog, Clwd; také zde nebyly pozorovány problémy v souvislosti se sněhovými zlomy (Danby 1993). Dvacet let staré velšské porosty BOR byly, nicméně o ca 2 m vyšší (Danby 1993) než námi studované výsadby na ploše Jizerka. Lines (1985) uvádí, že porosty BOR podobné střední výšky mají mírně větší hektarovou zásobu než SM. Vyšší produkční potenciál BOR ve srovnání se SM je patrný také z analýzy našich dat, kde při srovnatelné střední a horní výšce jako SM má BOR téměř dvojnásobnou kruhovou výčetní základnu. Srov-

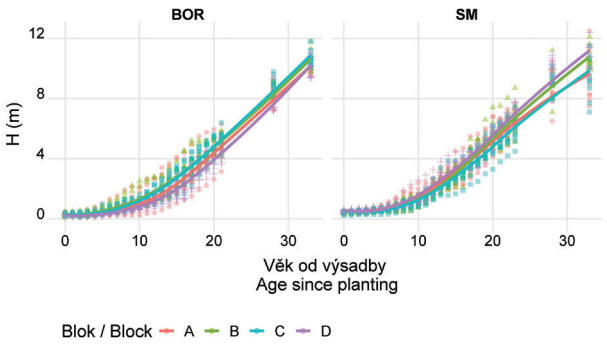
Tab. 1.
Porostní charakteristiky BOR doložily vyšší dřevoprodukční schopnost díky zmnožení počtu kmenů (pod výškou 1,3 m), ačkoliv obě dřeviny měly stejnou výšku porostů.
The MCP stand attributes showed a different wood-production capability and stem multiplication below breast heights although both species showed the same height.

Varianta/ Treatment	h_{mean} 2023	h_{dom} 2023	G.ha^{-1}	Vidličnaté/Forked	Žijící/Survival 2023
BOR/MCP	9 m	10 m	67 m^2	32 %	47 %
SM/NS	9 m	10 m	34 m^2	0 %	37 %

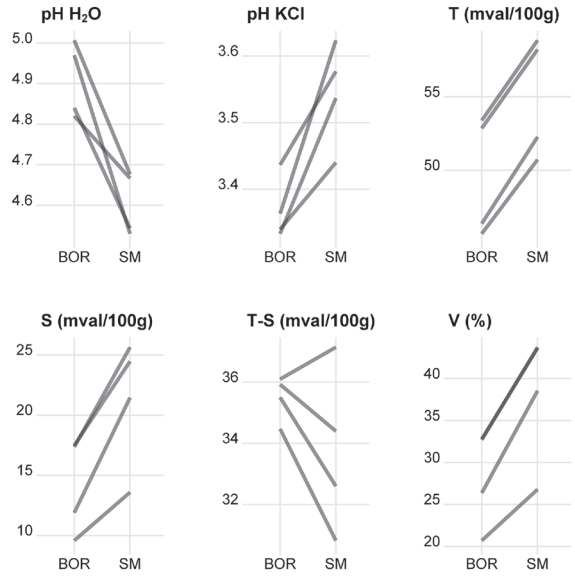
Captions: h_{mean} – střední výška/mean height; h_{dom} – 20 % nejvyšších stromů/20% of the tallest trees; G – basal area



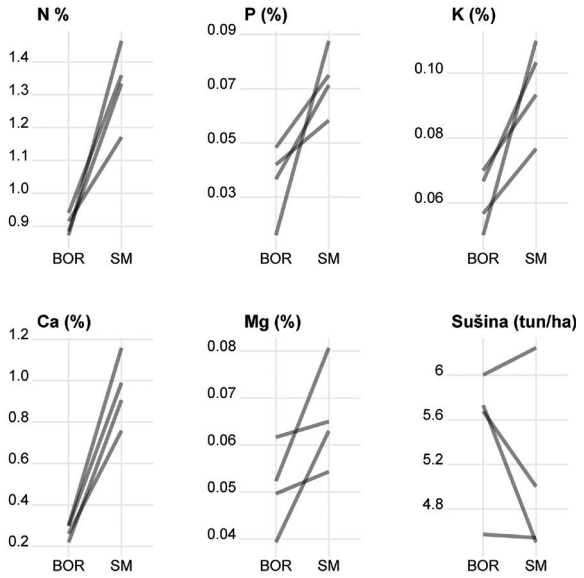
Obr. 1.
Rozdělení BOR podle počtu kmenů, podíl jednokmenných a vícekmenných stromů na kruhové základně a rozložení výčetní tloušťky podle počtu kmenů. Z fotografie BOR je zřejmá nízká kvalita produkce z důvodu hlubokého zavětvení a také hromadění opadu jehlic na povrchu půdy. (Foto: D. Kacálek)
Fig. 1.
Distribution of MCP according to number of stems, share of one-stem and forked trees in basal area and distribution of DBH according to number of stems. The photo illustrates a low-quality wood due to branching along the whole stem and also accumulated litter-fall in the forest floor. (Photo: D. Kacálek)



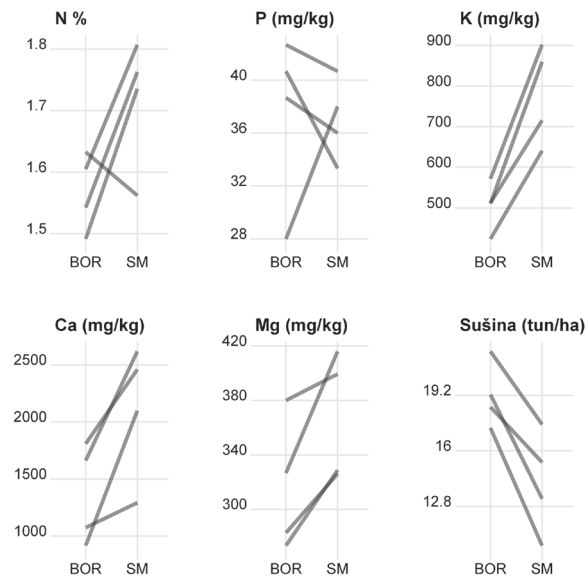
Obr. 2.
Výškový vývoj 20 % v roce 2023 nejvyšších jedinců (z výsadbového počtu) borovice rumelské (BOR) a smrku ztepilého (SM) na jednotlivých parcelách. Vyrovnání metodou loess (lokální regrese).
Fig. 2.
Height development of the 20% of the highest Macedonian pine (BOR on the left) and Norway spruce (SM on the right) individuals (from the planting count) in 2023 on individual plots. Smoothed using the loess method.



Obr. 4a.
Chemické vlastnosti nadložního humusu (průměrné hodnoty ze tří vzorků) v horizontu F+H podle bloku a dřeviny. Jednotlivé úseky spojují hodnoty ze stejného bloku.
Fig. 4a.
Chemical properties of forest floor humus (average values from three samples) of the F+H horizon by block and species. The individual line segments connect values from the same block. BOR denotes MCP – Macedonian pine; SM denotes NS – Norway spruce.



Obr. 3.
Zastoupení živin (průměrné hodnoty ze tří vzorků) v horizontu L+F podle bloku a dřeviny. Jednotlivé úsečky propojují hodnoty variant stejného bloku.
Fig. 3.
Nutrient concentrations (average values from three samples) of the L+F horizon by block and species. The individual line segments connect values from the same block. BOR denotes MCP – Macedonian pine; SM denotes NS – Norway spruce; Sušina (tun/ha) denotes dry mass (tons per ha).

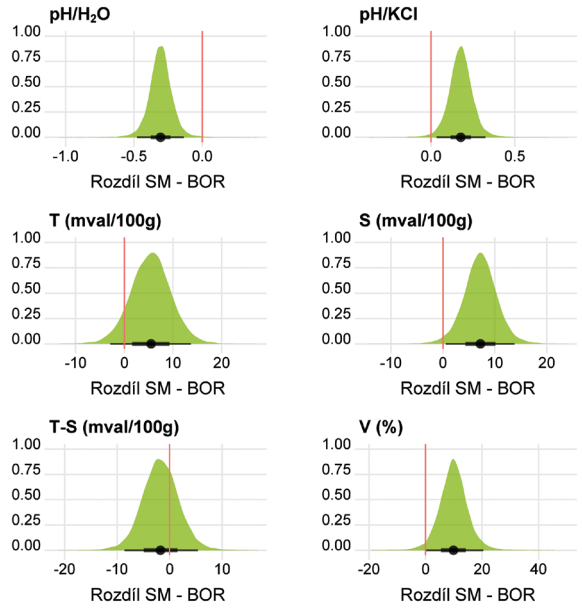


Obr. 4b.
Chemické vlastnosti nadložního humusu (průměrné hodnoty ze tří vzorků) v horizontu F+H podle bloku a dřeviny. Jednotlivé úsečky spojují hodnoty ze stejného bloku.
Fig. 4b.
Chemical properties of forest floor humus (average values from three samples) of the F+H horizon by block and species. The individual line segments connect values from the same block. BOR denotes MCP – Macedonian pine; SM denotes NS – Norway spruce; Sušina (tun/ha) denotes dry mass (tons per ha).

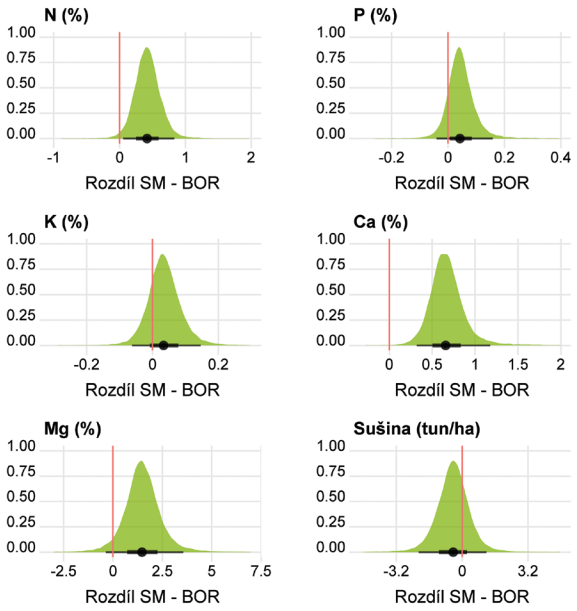
https://doi.org/10.59269/ZLV/2025/2/757

nání obou dřevin v nízkých polohách (do 300 m n. m.) přímořské oblasti západního Skotska ukázalo, že o 6 let mladší a o 6,5 m nižší BOR měly hektarovou kruhovou výčetní základnu o ca 14 m² větší než SM; BOR přitom tvořila nejzdravější porosty ze všech srovnávaných borovic (Mason et al. 2018). Na našem experimentu se na tak velké sumě kruhové základny podílí zejména zmnožení (vidličnatost) kmenů BOR (obr. 1), která má pravděpodobně původ v zimním poškození terminálních pupenů v prvních letech po výsadbě (nejčastěji ve výšce cca 0,5–1 m).

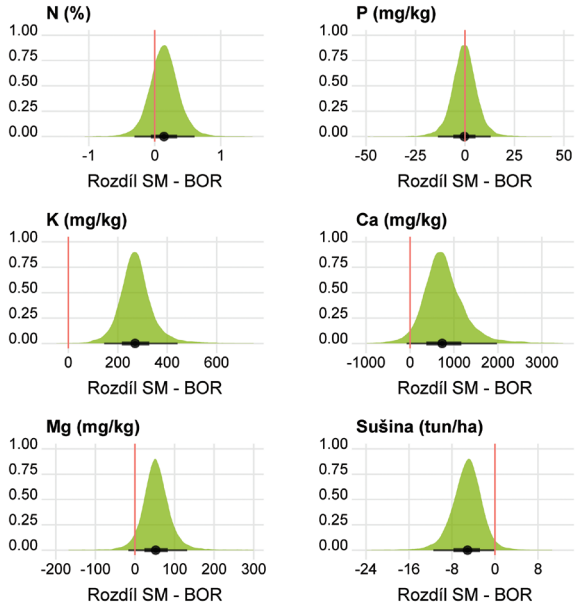
Podrázský et al. (2020) ukázali, že BOR rostoucí v sušších podmínkách Česka v rámci arboreta u Kostelce nad Černými lesy (nadmořská výška 300–345 m) patřila k produkčně méně zdatným borovicím. Také Novotný et al. (2022) zmiňují u BOR pouze krátkodobou toleranci k suchu. S jistou opatrností je třeba brát srovnání porostů BOR různého věku rostoucích v Bavorsku s tabulkovými hodnotami pro smrk a borovici lesní, kdy se výčetní tloušťky porostů BOR v 67 a 74 letech tabulkovým hodnotám podobaly, zatímco v 77, 97 a 105 letech předstihovaly smrk a borovici (Bachmann et al. 2015). Mladé porosty BOR a SM našeho experimentu se z hlediska výškového růstu podobají, SM je pouze výškově více diverzifikovaný. Obě dřeviny se nicméně mohou výrazně růstově lišit, jak ukázal Dimitrov (2022) na příkladu přirozeného smíšeného lesa, popisujícím růstovou depresi u SM ve srovnání s BOR projevující se v posledních 30 letech. Petrova et al. (2024) uvedli, že existuje výrazná korelace růstové deprese SM a aktivní reakce půdního roztoku; jednou z příčin dlouhodobého růstového útlumu některých SM porostů může být také zamokření svrchní půdy a odumírání jemných kořenů. Negativní dopady zamokření by se pravděpodobně projevily i u BOR a také u dřevin schopných snášet půdy dlouhodobě nasycené vodou. Architektonika kořenových systémů SM (viz Mauer, Houšková 2017) a BOR (viz Mic-



Obr. 6a.
Posteriorní hustota pravděpodobnosti rozdílu chemických charakteristik mezi smrkem ztepilým a borovicí rumelskou v horizontu F+H s 80% a 95% bayesovskými kredibilními intervaly.
Fig. 6a.
Posterior probability density of the difference in chemical characteristics between Norway spruce and Macedonian pine in the F+H horizon with 80% and 95% Bayesian credible intervals. BOR denotes MCP – Macedonian pine; SM denotes NS – Norway spruce; Rozdíl denotes Difference.



Obr. 5.
Posteriorní hustota pravděpodobnosti rozdílu hodnot chemických charakteristik mezi smrkem ztepilým a borovicí rumelskou v horizontu L+F s 80% a 95% bayesovskými kredibilními intervaly.
Fig. 5.
Posterior probability density of the difference in chemical characteristics between Norway spruce and Macedonian pine in the L+F horizon with 80% and 95% Bayesian credible intervals. BOR denotes MCP – Macedonian pine; SM denotes NS – Norway spruce; Rozdíl denotes Difference.



Obr. 6b.
Posteriorní hustota pravděpodobnosti rozdílu chemických charakteristik mezi smrkem ztepilým a borovicí rumelskou v horizontu F+H s 80% a 95% bayesovskými kredibilními intervaly.
Fig. 6b.
Posterior probability density of the difference in chemical characteristics between Norway spruce and Macedonian pine in the F+H horizon with 80% and 95% Bayesian credible intervals. BOR denotes MCP – Macedonian pine; SM denotes NS – Norway spruce; Sušina (tun/ha) denotes dry mass (tons per ha).

KOVSKI, ENNOS 2003) ukazuje na významný podíl laterálních kořenů. Na zakořenění BOR se významněji podílí kůlové a kotevní kořeny vyrůstající z laterálních (MICKOVSKI, ENNOS 2003), které mohou tvořit preferenční cesty zvyšující intenzitu infiltrace (JAČKA et al. 2021) a snižující obsah vody v půdě. Silné kotvy rostoucí z laterálních kořenů má také SM; hloubku prokořenění značně ovlivňuje právě hladina podzemní vody (MAUER, HOUŠKOVÁ 2017). Kompetice obou druhů v přirozených podmínkách ukázala převahu zastoupení BOR nad SM (POPOVIĆ et al. 2021; KOLEV, DIMITROV 2022). Očekává se, že vyšší teploty a nižší srážky BOR v jejím areálu ovlivní; byl pozorován posun do vyšších poloh pravděpodobně v souvislosti se vzrůstem zimních teplot (TANOVSKI et al. 2022).

Vztah s růstovým prostředím

I plošně malé monokultury mohou lokálně omezovat počty druhů rostlin a hub sdílejících lesní prostředí. Tak např. KAŁUCKA et al. (2013) nalezli menší počty druhů obou skupin organismů pod BOR ve srovnání s přirozeným lesem složeným z dubu zimního, borovice lesní, topolu osiky a podrostu habru obecného. Větší množství obou vrstev nadložního humusu pod BOR než pod SM našeho experimentu indikuje pomalejší rozklad borového opadu, což je pravděpodobně připsatelné dekompozitorům. I jinde se můžou BOR jehlice rozkládat pomaleji, jak naznačují hodnoty významně vyššího poměru uhlíku a dusíku u nadložního humusu *Pinus peuce* než u *Pinus sylvestris* z Polska; významně nižší C/N hodnoty byly pod exotickými jedlemi *A. cephalonica* a *A. procera* (SKORUPSKI et al. 2012). Celkově však SKORUPSKI et al. (2012) neshledali v chemických vlastnostech jehlic exotů a borovice lesní rozdíly. Je nepochybné, že opadem se vrací důležité množství živin do půdy. Hromadění nadložního humusu nicméně vždy značí pomalejší rozklad, a tím i koloběh živin. Horší meliorační účinky BOR uvádějí ve svém review také NOVOTNÝ et al. (2022). Ani méně příznivé vlastnosti půdy nejsou samy o sobě rozhodující, zda dřeviny porostou více či méně. Tak např. SPASIĆ et al. (2024) nalezli horší půdy pod koniferami, jako jsou *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus rotundata*, *Pinus strobus* a *Pinus sylvestris.* Přitom dva z těchto jehličnanů *L. decidua* a *P. sylvestris* patřily k nejlépe prosperujícím dřevinám (SPASIĆ et al 2024).

Důvody k introdukci BOR

Už dříve jsme zmínili funkci BOR jako náhradní dřeviny SM; kromě výzkumného testování nebyla nicméně často vysazována. Vzhledem k zlepšení růstového prostředí českých severních hor navíc tento důvod pro její užití již pominul. STOKES et al. (2023) informovali o potřebě zvýšit druhovou diverzitu britských lesů a nespoléhat tolik na porosty taktéž introdukovaného *Picea sitchensis*. BOR byla také na seznamu hodnocených druhů (SAVILL, MASON 2015; MASON et al. 2018; SAVILL 2019; STOKES et al. 2023). Ačkoliv se BOR ve srovnání se smrkem sitka jeví jako výrazně méně produktivní (STOKES et al. 2023), její produkce by mohla být vyšší než u jiných v Británii pěstovaných borovic (SAVILL 2019). V našich podmínkách je BOR pravděpodobně nevhodná k výsadbám v oblastech ohrožených suchem. Přestože je BOR k suchu tolerantnější než další balkánská borovice *P. heldreichii* (PANAYOTOV et al. 2010), na sucho reaguje sníženým přírůstem (PANAYOTOV, YURUKOV 2007) i zvýšenou mortalitou (ANEV, TZVETKOVA 2018). Připomínáme již zmíněnou menší produkci BOR v nižších polohách Česka (PODRÁZSKÝ et al. 2020). V horských polohách u nás by mohla být i do budoucna využitelná. Z hlediska zpracování její dřevní suroviny jsou nevýhodou silné větve a špatné přirozené čištění kmene (SAVILL, MASON 2015), což je patrné i v našich experimentálních výsadbách.

ZÁVĚR

Geograficky nepůvodní borovice rumelská prokázala svou schopnost prosperovat na bývalé rozsáhlé imisní holině v Jizerských horách. Při podobných parametrech střední výšky jako domácí smrk ztepilý měla téměř dvojnásobnou kruhovou výčetní základnu z důvodu četného zmnožení (vidličnatosti) kmenů. Biomeliorační funkci skrze opad jehlic má borovice rumelská ve srovnání se smrkem ztepilým mírně horší; akumuluje silnější vrstvu nadložního humusu obsahujícího méně přístupných živin.

Poděkování:

Výsledek vznikl díky prostředkům z institucionální podpory MZE-RO0123 a projektu NAZV QK22020045 „Potenciál geograficky nepůvodních druhů dřevin v lesním hospodářství ČR“. Výzkumnou plochu Jizerka založil emeritní vědecký pracovník útvaru ing. Vratislav Balcar, CSc. Autoři dále děkují technikům VS Opočno Dušanu Bartošovi, Jiřímu Balcarovi, Tomáši Petrovi a Aleně Hvězdové za asistenci při biometrických měřeních a odběrech vzorků nadložního humusu. Lucii Šedivé a ing. Josefu Tomášovi patří dík za provedení chemických analýz.

LITERATURA

ALEXANDROV A.H., ANDONOVSKI V. 2011. EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use of Macedonian pine (*Pinus peuce*). Rome, Italy, Bioversity International: 6 s.

ANEV S.M., TZVETKOVA N.P. 2018. Drought stress in four subalpine species: gas exchange response and survivorship. Russian Journal of Ecology, 49, 5: 422–427. DOI: 10.1134/S1067413618050016

BACHMANN M., ROMMEL D., STIMM B. 2015. Growth and performance of Macedonian pine (*Pinus peuce* Griseb.) in Bavaria against the backdrop of climate change. Forestry Ideas, 21 (2): 173–187.

BALCAR V., PODRÁZSKÝ V. 1994. Založení výsadbového pokusu v hřebenové partii Jizerských hor. Zprávy lesnického výzkumu, 39 (2): 1–7.

BOONMAN C.C.F. , SERRA-DIAZ J.M., HOEKS S., GUO W-Y., ENQUIST B.J., MAITNER B., MALHI Y., MEROW C., BUITENWERF R., SVENNING J-CH. 2024. More than 17,000 tree species are at risk from rapid global change. Nature Communications, 15: 166. DOI: 10.1038/s41467-023-44321-9

DANBY N.P. 1993. The use of pines in Wales. Quarterly Journal of Forestry, 87 (1): 26–36.

DIMITROV D.P. 2022. Dendrochronology of Macedonian pine (*Pinus peuce* Griseb.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) mixed stand in "Tsarichina" forest reserve, Balkan range Mountains. Nauka za gorata – Forest Science, Special Issue II: 19–30.

FARJON A. 2017. A handbook of the world's conifers. Volume 2. Leiden-Boston, Brill: 754–756.

FEURDEAN A., TONKOV S., PFEIFFER M., PANAIT A., WARREN D., VANNIÈRE B., MARINOVA E. 2019. Fire frequency and intensity associated with functional traits of dominant forest type in the Balkans during the Holocene. European Journal of Forest Research, 138: 1049–1066. DOI: 10.1007/s10342-019-01223-0

GENYS J.B. 1983. Growth rates of different white pines studied in Maryland's Appalachian Region. Castanea, 48 (4): 300–304.

Jačka L., Walmsley A., Kovář M., Frouz J. 2021. Effects of different tree species on infiltration and preferential flow in soils developing at a clayey spoil heap. Geoderma, 403: 115372.

Kałucka I., Jagodziński A.M., Skorupski M., Kasprowicz M., Wojterska M., Dobies T., Sławska M., Wierzbicka A., Łabędzki A., Nowiński M., Małek S., Banaszczak P., Karolewski P., Oleksyn J. 2013. Biodiversity of Balcan pine (*Pinus peuce* Griseb.) experimental stands in the Rogów Arboretum (Poland). Folia Forestalia Polonica, series A, 55 (4): 181–189. DOI: 10.2478/ffp-2013-0020

Kaňák J., Rauchová J. 2023. Arboretum Sofronka – sbírka světového sortimentu druhů rodu Pinus. Plzeň, Ramap: 67 s.

Kaňák K. 1994. Performance of *Pinus cembra*, P. *peuce* and *P. strobiformis* within air-polluted areas. In: Schmidt, W.C., Holtmeier, F.K. (eds.): International workshop on subalpine stone pints and their environment: the status of our knowledge. St. Moritz, Switzerland, Sep 05–11, 1992. Ogden, Utah, U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station: 127–129. USDA Forest Service General Technical Report Intermountain, vol. 309.

Kolev K., Dimitrov D.P. 2022. Macedonian pine (*Pinus peuce* Griseb.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) competition pattern in restoration of the upper treeline in "Tsarichina" reserve. Nauka za gorata – Forest Science, 1: 59–68.

Kovačević D., Nikolić B., Mladenović Drinić S., Bojović S., Dodoš T., Rajcević N., Marin P.D. 2013. Genetic relationships among some *Pinus*, *Picea* and *Abies* species revealed by RAPD markers. Genetika, 45 (2): 493–502. DOI: 10.2298/GENSR1302493K

Kriegel H. 2000. Ovlivnění ekologických poměrů a růstu kultur (podsadeb) v horských oblastech odumírajícím smrkovým porostem. Práce VÚLHM, 82: 93–113.

Lattke H., Braun H., Richter G. 1987. *Pinus peuce* (Griseb) eine ervolgsversprechende Alternativbaumart für die Schadgebiete des oberen Erzgebirges. Sozialistische Forstwirtschaft, 37 (9): 279–282.

Lines R. 1985. The Macedonian pine, (*Pinus peuce* Grisebach) in the Balkans and Great Britain. Forestry, 58 (1): 27–40.

Mandžukovski D., Teofilovski A., Andreevski M., Ćušterevska R., Tzonev R., Dimitrov M. 2022. Relationships between vegetation of Macedonian pine (*Pinus peuce* Griseb.) and different types of soils on which it develops. Hacquetia, 21 (1): 89–106. DOI: 10.2478/hacq-2021-0030

Mason W.L., MacDonald F., Parratt M., McLean J.P. 2018. What alternative tree species can we grow in western Britain? 85 years of evidence from the Kilmun Forest Garden. Scottish Forestry, 72 (1 Spring/Summer): 24–33.

Mauer O., Houšková K. 2017. Zpevňující funkce smrku ztepilého. In: Kacálek, D. et al.: Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin. Strnady, VÚLHM: 78–87.

Mickovski S.B, Ennos A.R. 2003. Anchorage and asymmetry in the root system of *Pinus peuce*. Silva Fennica, 37 (2): 161–173.

Nikolić B., Kovačević D., Mladenović Drinić S., Nikolić A., Mitić Z.S., Bojović S., Marin P.D. 2018. Relationships among some pines from subgenera pinus and strobus revealed by nuclear EST-microsatellites. Genetika, 50 (1): 69–84.

Novotný P., Fulín M., Bažant V. 2022. Katalog taxonů introdukovaných dřevin s potenciálem lesnického využití na stanovištích s nižší dostupností vláhy. Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM: 196 s. Lesnický průvodce 1/2022.

Palmé A.E., Pyhäjärvi T., Wachowiak W, Savolainen O. 2009. Selection on nuclear genes in a *Pinus* phylogeny. Molecular Biology and Evolution, 26 (4): 893–905. DOI: 10.1093/molbev/msp010

Panayotov M.P., Yurukov S.I. 2007. Tree ring chronology of *Pinus peuce* from the Pirin Mts and the possibilities to use it for climate analysis. Phytologia Balcanica, 13 (3): 313–320.

Panayotov M., Bebi P., Trouet V., Yurukov S. 2010. Climate signal in tree-ring chronologies of *Pinus peuce* and *Pinus heldreichii* from the Pirin Mountains in Bulgaria. Trees, 24: 479–490. DOI: 10.1007/s00468-010-0416-y

Petrova K., Dimitrov D.P., Pavlova-Traykova E., Grigorova-Pesheva B. 2024. Study of basic soil parameters in relation to permanent growth depression of Norway spruce stands in Bulgaria. Nauka za gorata – Forest Science, 1: 27–38.

Podrázský V., Vacek Z., Vacek S., Vítámvás J., Gallo J., Prokůpková A., D'Andrea G. 2020. Production potential and structural variability of pine stands in the Czech Republic: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) vs. introduced pines – case study and problem review. Journal of Forest Science, 66 (5): 197–207. DOI: 10.17221/42/2020-JFS

Popović A., Pantić D., Medarević M., Šljukić B., Obradović S. 2021. Impact of mixing on the structural diversity of Serbian spruce and Macedonian pine endemic to relict forest communities in the Balkan Peninsula. Forests, 12: 1095. DOI: 10.3390/f12081095

Savill P., Mason B. 2015. *Pinus peuce* Griseb., Macedonian or Balkan pine. Quarterly Journal of Forestry, 109 (4): 245–252.

Savill P. 2019. *Pinus peuce* Griseb. – Macedonian pine. In: The silviculture of trees used in British forestry. 3rd edition. Boston, CABI: 215–217.

Skorupski M., Jagodziński A.M., Żytkowiak R., Karolewski P. 2012. Differences in chemical composition of needle and leaf litter from exotic and native tree species stands. Dendrobiology, 68: 101–112.

Spasić M., Vacek O., Vejvodová K., Tejnecký V., Vokurková P., Križová P., Polák F., Vašát R., Borůvka L., Drábek O. 2024. Which trees form the best soil? Reclaimed mine soil properties under 22 tree species: 50 years later – assessment of physical and chemical properties. European Journal of Forest Research, 143: 561–579. DOI: 10.1007/s10342-023-01637-x

Stokes V.J., Jinks R., Kerr G. 2023. Ananalysis of conifer experiments in Britain to identify productive alternatives to Sitka spruce. Forestry, 96: 170–187. DOI: 10.1093/forestry/cpac035

Tanovski V., Matovic B., Kesic L., Stojanovic D.B. 2022. A review of the influence of climate change on coniferous forests in the Balkan peninsula. Topola/Poplar, 210: 41–64. DOI: 10.5937/topola2210041T

Tanovski V., Matovic B., Risteski M., Trajkov P. 2023a. Modelling the tree height-diameter relationship of Macedonian pine (*Pinus peuce* Gris.) Forests in North Macedonia. Journal of Forest Science, 69 (11): 497–513. DOI: 10.17221/68/2023-JFS

Tanovski V., Matovic B., Trajkov P. Nestorovski L. 2023b. Relationship between some structural elements of Macedonian pine (*Pinus peuce* Gris.) in different elevations in National Park Pelister in North Macedonia. Croatian Journal of Forest Engineering, 44 (2): 385–400. DOI: 10.5552/crojfe.2023.2218

Tsakov Ch. 1993. Height structure of pure *Pinus peuce* stands and mixtures with spruce in the Pirin national park. Nauka za gorata, 30 (3): 22–32.

COMPARISON OF STAND-DEVELOPMENT CAPABILITY OF MACEDONIAN PINE WITH NORWAY SPRUCE

SUMMARY

Introduction: Macedonian pine (MCP) is native to the Balkans, where it is often accompanied by Norway spruce (NS) and firs (Farjon 2017). MCP performance in SO_2-polluted conditions was tested in Central Europe (Kaňák 1994). Later, MCP was planted within the post-disturbance clear-cut in N Bohemia, the Sudetes Mts. (Balcar, Podrázský 1994). There, a performance and accumulation of forest-floor humus below more than 30-year-old patches of MCP and on-site native NS were investigated.

Material and methods: The experimental plantations (see Table 1) consist of eight 0.01-ha plots (4 × MCP and 4 × NS designed as adjacent patches – replicates) in the Jizerka study site (Balcar, Podrázský 1994). Both treatments were planted in 1990, 50 trees per 0.01 ha initially; MCP plots needed a repair planting in 1992. Data represent height growth and also DBH in 2023. The forest floor samples were taken using a steel frame of 25 × 25 cm. Undecomposed needles with little fermented matter (L+F) and major part of fermented matter with amorphous humus (F+H layer) were taken separately three times from each replicate i.e. twelve samples per the tree treatment. The fine fraction (sieved through 2-mm mesh) of L+F was analyzed for pseudo-total contents (%) of N, P, K, Ca and Mg, the F+H layer fine fraction for plant-available P, K, Ca and Mg (the Mehlich III procedure), humus (Springle-Klee), oxidizable carbon, loss on ignition and nitrogen (Kjeldahl), sorption complex characteristics (S, T, H, V) and also pH. Data on the chemical properties of forest soils were analyzed using generalized hierarchical linear models in the R statistical environment and the integrated STAN language for Bayesian statistical approach utilizing MCMC methods.

Results – Performance: MCPs planted in 1990 showed survival rates between 26 and 40% at the four replicates (34% in average) in the first two years. The repair-planted MCPs performed better; loss of alive plants occurred mainly in the first five years. In 2023, 40 - 59% of the plants at the four replicates (47% in average) survived. The MCP stand density was 2 325 trees per hectare; the number of stems was, however, 6 600 per hectare due to forking habitus of the pines (Fig. 1). MCPs height growth was minimal over 4–5 years after planting; the growth rate increased in the 10th year. The mean height development of dominant trees was similar in the four replicates; the 33-year-old dominants are ca 10 m tall (Fig. 2 on the left). Snow load of 2018–2019 winter season did not affected MCP negatively. The plant loss in NS patches occurred in the first five years following planting. In 2023, 36–42% (39% in average) alive NS trees were present. Until the age of 23 years, when NS treatment was thinned to get a mean density 1 350 trees per hectare, the total average loss was 37%. In winter 2018–2019, a snow load broke 61% of the trees. The lost leading shoots were substituted, the trees, however, exhibited deformations. The 33-year-old dominant NS trees were 10 m tall in average (Fig. 2 on the right). The NS heights also vary more in the replicates compared to the MCPs.

Results – Nutrient return: The upper L+F layer below MCP tended to be lower in all nutrients (Fig. 3). The underlying F+H humus showed various differences between MCP and NS. It is unusual that pH in water and KCl show inverse tendencies (Fig. 4a and 6a). However, the pattern in pH KCl reflects significantly different concentrations of base cations and their saturation. Concentration of hydrogen cations, which also seems to reflect pH in KCl, was insignificantly higher below MCP (Fig. 6a). Similarly, the F+H layer higher in plant-available K, Ca and Mg below NS, however the amount of the accumulated layer was higher below MCP (Fig. 4a and 6b).

Discussion – Performance: MCP resistance against snow breaks and its suitability for mountains was reported by Bachmann et al. (2015). The slow growth of our juvenile plantations was similar to that in Clocaenog, Clwd, Wales (Danby 1993). Lines (1985) wrote that MCPs of mean height being similar to a NS stand have slightly higher standing volume. The production potential of MCP was obvious also from our data as similar mean and dominant heights of both treatments were found, whereas MCP's basal area was almost doubled compared to the NS stand. The large MCP basal area is attributable to a stem forking (Table 1; Fig. 1). In natural forests, NS showed lower growth increments compared to MCP in the last 30 years (Dimitrov 2022). When competing with NS, MCP dominates (Popović et al. 2021; Kolev, Dimitrov 2022). It is expected that higher temperatures and lower precipitation will affect MCP in its native area; an observed shift to higher altitudes was attributed to increased winter temperatures (Tanovski et al. 2022).

Discussion – Growing environment: Monocultures can reduce numbers of plant and fungi species sharing the forested environments. Kałucka et al. (2013) reported such effect from below MCP compared to natural forest composed of broadleaves and Scots pine. Skorupski et al. (2012) found higher C/N below MCP compared to the native pine and introduced firs. Heavier MCP forest floor layers indicate different decomposition rate than below NS. Its soil-improving effects are worse (Novotný et al. 2022). Despite the tendencies in nutrient contents and weight of forest floor, MCP does not show a growth depression in the study site.

Discussion – Reasons for forestry growing MCP outside its natural area: As for the substitution, it is not about replacing one monoculture with another, it is essential to increase the species diversity of the forests (Stokes et al. 2023). In the conditions of the Czech Republic, MCP is likely unsuitable for planting in drought-prone areas (see Anev, Tzvetkova 2018; Panayotov, Yurukov 2007). When grown in drier conditions, MCP belonged to less-productive pines (Podrázský et al. 2020). It could be useful in higher mountain areas in the future.

Conclusions: MCP showed its capability to thrive within the formerly air polluted study site. MCP doubled its basal area due to the forked stems with similar mean and dominant heights compared to NS. MCP is not a soil improver as it produces the thicker organic layers on the topsoil surface, which is lower in plant-available nutrients.

Zasláno/Received: 17. 07. 2024

Přijato do tisku/Accepted: 11. 09. 2024