Zpráva spoluřešitele projektu QI112A170 za rok 2014

Možnosti cíleného pěstování a využití geneticky hodnotných částí populací sadebního materiálu smrku ztepilého s klimaxovou strategií růstu pro horské oblasti

Karel Matějka
IDS, Na Komořsku 2175/2A, 143 00 Praha 4
e-mail: matejka@infodatasys.cz

Praha, 2014

Úvod

Cílem části projektu, která byla řešena na pracovišti IDS v letech 2011 až 2014 byl výběr modelových populací smrku ztepilého (*Picea abies*) na jeho přirozených stanovištích v Krkonoších, v Krušných horách a v Jeseníkách a analýza růstu těchto populací. Současně byly vyhodnocovány populační a fenotypové vlastnosti těchto populací. V posledním roce řešení byla vyhodnocena fenotypová proměnlivost dalších dvou populací na Šumavě. Populace vzniklé přirozeným zmlazením byly doplněny uměle vytvořenými populacemi vzniklými na základě výsadeb v obdobných přírodních podmínkách. Přípravnými pracemi byly vymezení klimaticky podmíněných lesních vegetačních stupňů provedené na základě nového matematického modelu a zpracování klimatických řad použitých pro popis variability počasí v posledních několika letech - s těmito daty je dále srovnáván růst hodnocených populací smrku.

Přehled prací provedených v roce 2014

Terénní práce

- Jeseníky - verifikace modelování LVS v terénu.
- Krkonoše a Šumava - odběr vzorků jehlic pro hodnocení fenotypové variability mladých populací smrku.

Vyhodnocení dat

- Zhodnocení fenotypové variability a růstu mladých populací smrku, provedení souhrnu zjištění na období 2012-2014
- Analýza kompletních výsledků týkajících se přirozeného zmlazení smrku z modelové lokality TVP22 v Krkonoších
- Zhodnocení proměnlivosti semenáčků smrku pomocí mnohorozměrné analýzy

Publikování výsledků

Matějka K., Leugner J., Krpeš V. (2014): Phenotype features in juvenile populations of *Picea abies* and their growth. - Journal of Forest Science, 60: 96-108.

Bylo zjištěno, že struktura populací *Picea abies* z přirozené a umělé obnovy se výrazně liší. Tyto rozdíly se projevují nejen ve fenotypové variabilitě populací, ale i v rychlosti růstu jejich jedinců.

Posuzování fenotypové variability mladých populací smrku nemůže být prováděno bez znalostí toho, jak se různé typy (fenotypy, typy dle selekčních a růstových strategií a pod.) podílejí na dynamice lesního ekosystému. Zastoupení těchto typů v populacích vychází jak z geografických a přírodních podmínek (například v návaznosti na šíření metapopulací s různou genotypovou skladbou v postglaciálu), tak z ovlivnění struktury lokálních populací činností člověka (ovlivnění přímé - typicky pěstební zásahy; ovlivnění nepřímé - například selekce v důsledku imisního stresu). Nezanedbatelný význam má přenos sadebního materiálu mezi různými regiony. V horském prostředí je potřeba uvažovat i šíření genotypů (fenotypů) typických pro určitý výškový stupeň do stupňů jiných (jak směrem nahoru, tak dolů). Nelze jednoznačně doporučit, jaká by měla být optimální variabilita (diversita) fenotypů (genotypů) v populacích mladého smrku. Lze nalézt umělé populace smrku v horských podmínkách založené výsadbou, které mají jak širší, tak i užší variabilitu ve srovnání s obdobnými populacemi vzniklými spontánní obnovou. Pro další vývoj uměle zakládaných porostů smrku je podstatné zastoupení různých typů (fenotypů, růstových typů) v populaci, aby tato měla dostatečnou plasticitu a byla tedy odolná vůči potenciálnímu stresu (například změna klimatu, výskyt škůdců). Přílišné zvýšení této variability by však v budoucnu zřejmě znamenalo potenciální ohrožení až úhyn vyššího podílu jedinců. Diversitu typů v uměle zakládaných (vysazovaných) populacích je tedy potřeba srovnávat s obdobnou diversitou v mladých populacích založených přirozenou obnovou, které vycházejí z lokálního potenciálu přírodních populací a jsou modifikovány místními přírodními podmínkami a jejich variabilitou v minulosti.

Prokázáno bylo, že dynamika růstu mladého smrku souvisí s některými kvantitativními vlastnostmi jehlic, přičemž se jedná především o poměr délky a šířky jehlic, případně o samostatně hodnocenou délku jehlic, která má vyšší význam u nejmladších jedinců (semenáčků). Pro zachování stability budoucích porostů by tedy neměli být z pěstovaného sadebního materiálu vyřazováni zvláště jedinci s krátkými jehlicemi, přestože mohou mít menší výšku. Pro zachování dostatečné diversity v uměle zakládaných populacích by měl být brán ohled též na specifické nevylučování jedinců některých typů podle charakteristického průřezu jehlicí.

Matějka K. (2014): Počasí na Churáňově (Šumava) v období 1983-2011 a jeho možná interpretace z hlediska dynamiky ekosystémů. - URL: http://www.infodatasys.cz/climate/churanov1983-2011.pdf

Tento text obsahuje základní rozbor vývoje počasí (včetně teplot) na meteorologické stanici Churáňov. Tento rozbor se stal základem pro obdobné hodnocení vývoje teplot v regionech Krkonoš, Krušných hor a Jeseníků, které se staly základem pro zjištění vztahu mezi meziroční variabilitou teplot a kolísáním výškového přírůstu zmlazení smrku (Matějka 2011b, 2012a, Matějka et Leugner 2013).

Matějka K. (2014): Lesní vegetační stupně s převahou smrku v ČR. [předneseno na semináři Lesník 21. století, Stachy, 27 března 2014] - URL: http://www.infodatasys.cz/public/Lesnik21_2014km.pdf

Jedná se o souhrnný materiál popisující vyvinutou metodiku matematického modelování lesních vegetačních stupňů a příslušné výsledky, ze všech regionů, kde probíhal tento projekt - v Krkonoších, Krušných horách, Jeseníkách a na Šumavě.

Matějka K. (2014): Smrk (*Picea abies*) a horské lesy ČR.
- URL: http://www.infodatasys.cz/proj005/piceaabies.htm

Výsledky projektu jsou souhrnně publikovány prostřednictvím této nově založené webové stránky.

Metodika

Modelování lesních vegetačních stupňů v Jeseníkách

Pro toto modelování byl zvolen obdobný postup, jako v případě Krkonoš (Matějka 2011b) a Krušných hor (Matějka 2012a), který používá modelování globálních teplotních gradientů v České republice společně s rastrovým digitálním modelem terénu (Matějka 2012b). Vzhledem k tomu, že Jeseníky jsou ve srovnání s dříve řešenými okrajovými pohořími české kotliny položeny výrazně východněji, mezi teplotními gradienty má výraznější postavení též gradient zeměpisné délky. Proto byl v programu PlotOA doplněn též výpočet zohledňující zeměpisnou délku (Matějka 2009). Parametry globálního modelu pro období teplotního normálu 1961-1990

$$T = c + B_a A + B_\varphi \varphi$$

byly převzaty z práce Matějka (2010): c = 25.80 °C; B_a = -0.00557 °C/m; B_φ = -0.3180 °C/°. Vliv konfigurace terénu byl zohledněn hodnotami potenciálního ročního přímého záření (výpočet podle rovnice 1) a parametrem B_h/B_a vypočteným pro oblast Šumavy (-286.419), který byl úspěšně používán i ve všech dříve vyhodnocovaných regionech (Matějka 2012b).

V roce 2014 proběhla verifikace polohy hranic modelovaných vegetačních stupňů v terénu.

Odběr vzorků a mikroskopická analýza jehlic

V roce 2014 byly provedeny dodatečné odběry nejnovějšího ročníku jehlic u jedinců přirozené obnovy v Krkonoších (již dříve hodnocená lokalita TVP 24; Matějka et Leugner 2013; Matějka et al. 2014) a na Šumavě (oblast Trojmezí - Plechý; plocha T, Matějka 2008 a plocha RL na podmáčeném mírně rašelinném stanovišti v blízkosti Rakouské louky; lokalita T mohla být na začátku 19. století ovlivněna výsadbou, lokalita RL představuje přirozené porosty, které v minulosti prakticky nebyly ovlivněny pěstebními zásahy, viz Jelínek 2005 a obr. 2, v současnosti došlo k totální disturbanci stromového patra po letech 2003 [extrémní teploty] a 2007 [orkán Kyril]). Současný stav rostlinných společenstev po rozpadu stromového patra v území dokumentuje fytocenologický snímek 20/2014 z lokality T z 8.9.2014:

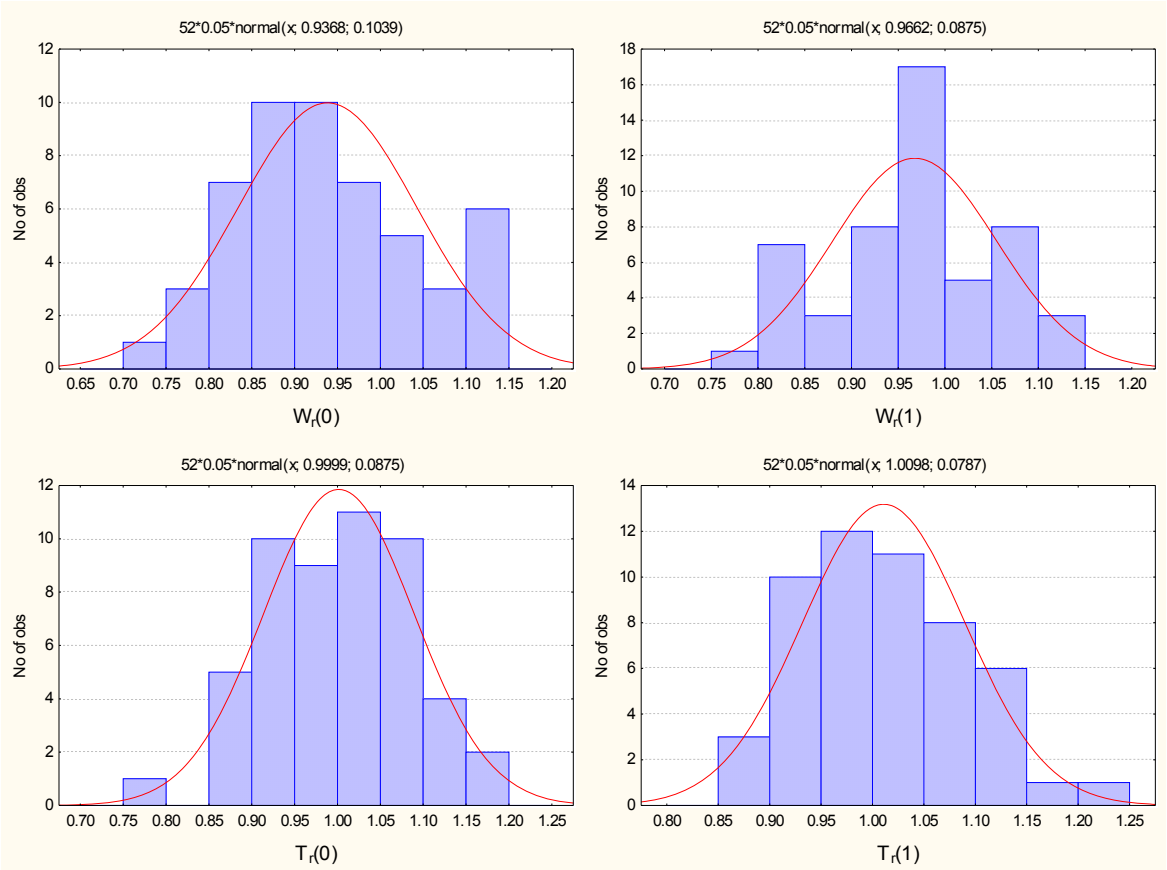
Plocha 500 m^2; pokryvnost E_3 0 %, pokryvnost E_2 0.1 %, pokryvnost E_1 90 %, pokryvnost E_0 20 %
E_2: *Picea abies* r
E_1: *Athyrium distentifolium* 2-3, *Avenella flexuosa* 2-3, *Calamagrostis villosa* 2, *Carex canescens* r, *Dryopteris dilatata* +, *Epilobium angustifolium* +-1, *Fagus sylvatica* r, *Homogyne alpina* +, *Luzula sylvatica* 1, *Molinia caerulea* r, *Oxalis acetosella* +-1, *Picea abies* 1, *Rubus idaeus* r, *Soldanella montana* r, *Sorbus aucuparia* r, *Trientalis europaea* +, *Vaccinium myrtillus* 1

U všech jedinců byly odebrány vzorky pro mikroskopickou analýzu jehlic. Pro tyto účely byly jehlice odebrané v terénu fixovány v roztoku FAA - formaldehyd (36 % vodný roztok) 5ml + ledová kyselina octová 5ml + 90ml ethanol (50 % směs s vodou).

Z každého jedince byly vybrány k analýze 3 reprezentativní jehlice posledního ročníku. Byly provedeny příčné *hand-free* řezy střední (nejširší) částí každé jehlice. Nativní preparáty byly mikroskopovány (přístroj Nikon Eclipse E200) s objektivem 10x a fotografovány (fotoaparát Canon EOS 1100D). Vyhodnocení snímků

proběhlo programem FotoOverlay (Matějka 2013b). Měřena byla tloušťka jehlice a její šířka, přičemž rozhodující pro orientaci os podél nichž proběhlo měření bylo umístění cévního svazku, respektive poloha floému a xylému. Pro vyhodnocení byla pozornost věnována vedle poměru tloušťky (*T*) a šířky (*W*) jehlice též tvaru jehlice, především tomu, má-li horní polovina jehlice tvar konvexní nebo konkávní.

Na příčném průřezu jehlicí je nejmarkantnějším znakem přítomnost až dvou siličných kanálků. Někteří autoři se snaží vyhodnocovat průměrný počet siličných kanálků, ale tento znak není příliš vhodně zvolený, protože většina jehlic má vyvinuty oba kanálky, ty však neprostupují po celé délce jehlice, takže na právě provedeném řezu nemusí být jeden, případně oba kanálky zachyceny (na druhou stranu i to může být určitou charakteristikou vypovídající o vlastnostech jehlice). Zdá se však, že přítomnost kanálků může ovlivňovat měřené kvantitativní charakteristiky jehlice, v našem případě šířku, případně tloušťku jehlice. Z toho důvodu byly z databáze vybráni všichni jedinci, u nichž byly zjištěny průřezy jehlicí s oběma kanálky, s jedním kanálkem i bez kanálku (celkem bylo takových jedinců 52). Příslušná šířka těchto jehlic nechť je označena postupně *W*(2), *W*(1) a *W*(0), tloušťka obdobně *T*(2), *T*(1) a *T*(0). Dále nechť značí $W_r(0) = W(0)/W(2)$ a $W_r(1) = W(1)/W(2)$ pro určitého jedince; obdobně $T_r(0)$ a $T_r(1)$ pro tloušťku. Zatímco obě průměrné hodnoty (pro všechny jedince) $W_r(0) = 0{,}937$ (směrodatná odchylka $s_x = 0{,}104$) a $W_r(1) = 0{,}966$ ($s_x = 0{,}087$) byly statisticky signifikantně nižší nežli 1 ($p < 1$ %), hodnoty $T_r(0) = 1{,}000$ ($s_x = 0{,}087$) a $T_r(1) = 1{,}010$ ($s_x = 0{,}079$) se od 1,0 významně nelišily. Nejsou-li na příčném řezu jehlicí zachyceny oba kanálky, bude šířka jehlice nižší nežli na řezu jehlicí s oběma kanálky. Tloušťka jehlice však ovlivněna nebude (obr. 1). Těchto výsledků lze využít při zpřesnění hodnocení rozdílů mezi lokalitami tak, že přímo naměřené hodnoty *W* budou děleny příslušnými koeficienty $W_r(0)$ a $W_r(1)$, aby byly zjištěny odpovídající šířky *W'* pro jehlice s oběma kanálky.



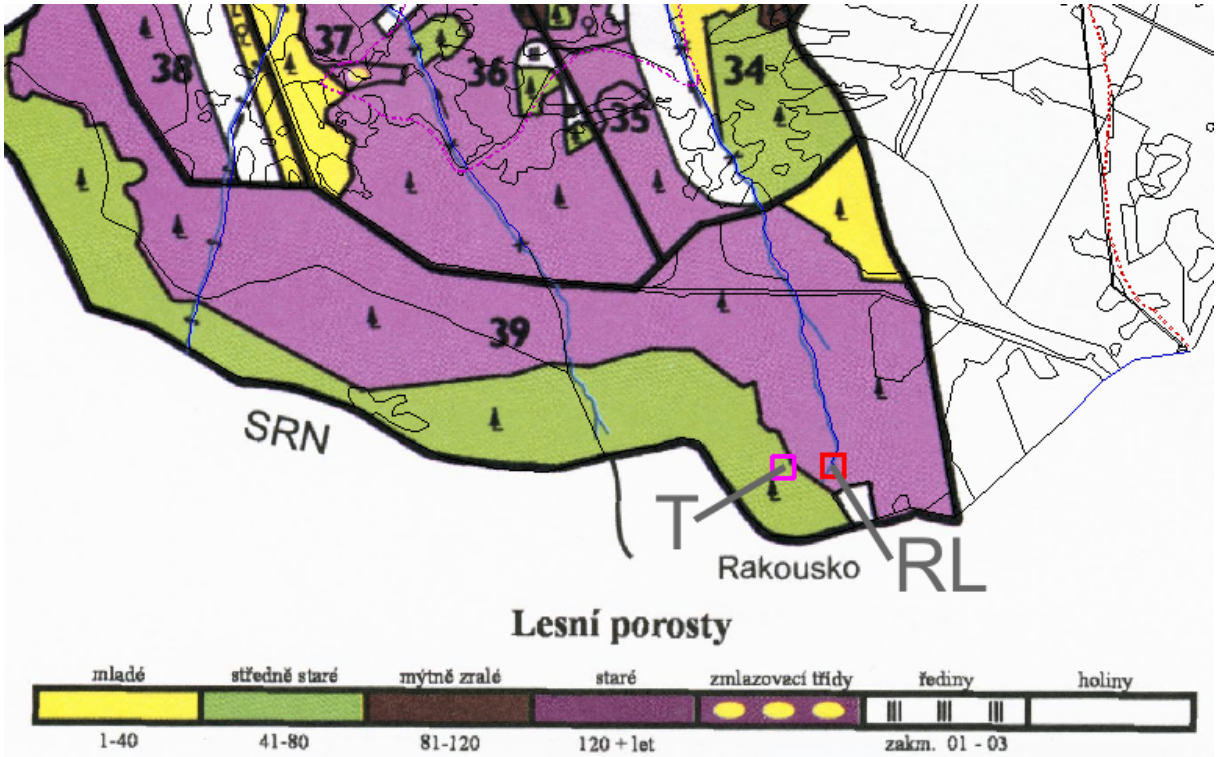
Obr. 1. Relativní šířka (W) a tloušťka (T) jehlice smrku bez siličného kanálku (vlevo) či s jedním siličným kanálkem (vpravo) ve srovnání s jehlicí s oběma kanálky.

Variabilita populací byla hodnocena na základě několika indikátorů. Základem byl výpočet směrodatné odchylky měřených charakteristik *W*, *W'*, *T* a poměru *T/W*. Rozdílnost typů jehlic v populace bez ohledu na jejich velikost ukazuje Pearsonův korelační koeficient *r* mezi šířkou a tloušťkou jehlice. Jednoduché vizuální porovnání je možné na základě vykreslených distribučních elips v prostoru *W* – *T*, které bylo realizováno v programu PlotOA. Celková variabilita velikosti průřezu jehlicí byla hodnocena proměnnou V, která zohledňuje vztah mezi šířkou a tloušťkou jehlice obdobně, jako je tomu u plochy distribuční elipsy (obr. 16)

$$V = \sqrt{s_W s_T} \times r$$

kde s_W je směrodatná odchylka šířky jehlice W, s_T směrodatná odchylka tloušťky jehlice T a r je korelační koeficient mezi W a T. Obdobně bylo postupováno i s použitím transformované šířky jehlice W_r.

Srovnání proběhlo s výsledky obdobné analýzy vzorků z pěti lokalit v Jeseníkách, které byly odebrány v roce 2013 (Matějka 2013a).



Obr. 2. Šumava: Poloha lokalit T a RL na rekonstruované historické porostní mapě revíru Nové Údolí z roku 1873 (Jelínek 2005) překryté obrysovou mapou z roku LHC Stožec z roku 2003.

Tabulka 1. Umístění lokalit s odběrem jehlic pro mikroskopickou analýzu a určení fenotypové variability populací. Obnova: P - přirozená, U - umělá. Průměrná teplota vzduchu pro období 1961-1990 modelována v programu PlotOA (Matějka 2009, 2012b).

Region	Lokalita	Obnova	JTSK-X (m)	JTSK-Y (m)	Nadmořská výška (m)	Teplota (°C)	LVS
Jeseníky	DS	P	-1068072	-548642	1329	2,2	8/9
	DS	U	-1067983	-548851	1324	2,0	8/9
	A	P	-1073535	-545126	1141	3,1	7/8
	A	U	-1073798	-544924	1123	3,2	7/8
	E	P	-1069608	-541520	1196	3,0	8
Krkonoše	TVP24	P	-984119	-639660	1210	3,3	8
Šumava	T	P	-1182035	-804440	1343	2,7	8
	RL	P	-1182075	-804235	1340	2,8	8

Statistická analýza dat

Variabilita růstu (výškového přírůstu P) jednotlivých populací *Picea abies* v roce Y byla hodnocena na základě růstového modelu

$$P_Y = a \times h_{Y-1}^{b}$$

pro vztah k výšce jedince h v roce předcházejícím. Variabilita rozdílu mezi modelovaným a skutečným přírůstem (respektive směrodatná odchylka těchto residuí) vypovídá o růstové variabilitě celé populace (Matějka et al. 2014).

Variabilita různých měřených parametrů mezi jedinci v populaci je udávána jako odhad směrodatné odchylky. Variabilita zabarvení jehlic je počítána na základě tří směrodatných odchylek pro tři barevné komponenty skenovaných jehlic (20 jehlic z každého jedince) pro červenou , zelenou a modrou barvu v modelu R-G-B:

$$varRGB = STD(RGB_R)^2 + STD(RGB_G)^2 + STD(RGB_B)^2$$

(Matějka et al. 2014).

Vztah mezi kvantitativními proměnnými zjištěnými pro jedince v určité populaci byl hledán především na základě vyhodnocení Pearsonova korelačního koeficientu, v případě celé množiny proměnných se jednalo o matici korelací. Vzhledem k tomu, že pro výchozí datový soubor mohou některé hodnoty chybět, korelační koeficienty v matici mohou být založeny na různém počtu datových párů (vždy by se však mělo jednat o více jak cca 80 % potenciálních párů, tedy počtu hodnocených jedinců). Názorné zobrazení vztahu všech proměnných je možno získat na základě výpočtu metody hlavních komponent (PCA). Na základě korelační matice byl vytvořen prostor PCA s umístěním jednotlivých proměnných, ale prostor objektů již není možno jednoduše spočítat. Skóre jednotlivých objektů tedy bylo potřebné počítat jako maticový součin $\mathbf{Y} \times \mathbf{U}$, kde $\mathbf{Y}$ je matice normalizovaných dat (každý řádek jeden vzorek) a $\mathbf{U}$ je matice skóre proměnných (každý řádek jedna proměnná) (viz např. Legendre et Legendre 2012) s tím, že byly vypuštěny některé vzorky a některé proměnné, aby zůstala datová matice úplná.

Dva různé parametry velikosti jehlic byly zobrazovány v grafech v programu PlotOA (Matějka 2009). Rozdílnost jehlic náležejících různým skupinám byla hodnocena pomocí překryvu těmto skupinám odpovídajících distribučních elips. Tvar těchto elips vyjadřuje totiž i korelaci mezi zobrazenými proměnnými. Plocha distribučních elips je vhodným parametrem pro posouzení variability dat - je to parametr lépe vypovídající o celkové datové proměnlivosti dvourozměrných dat, nežli je pouhá dvojice jednoduchých variancí.

Výsledky

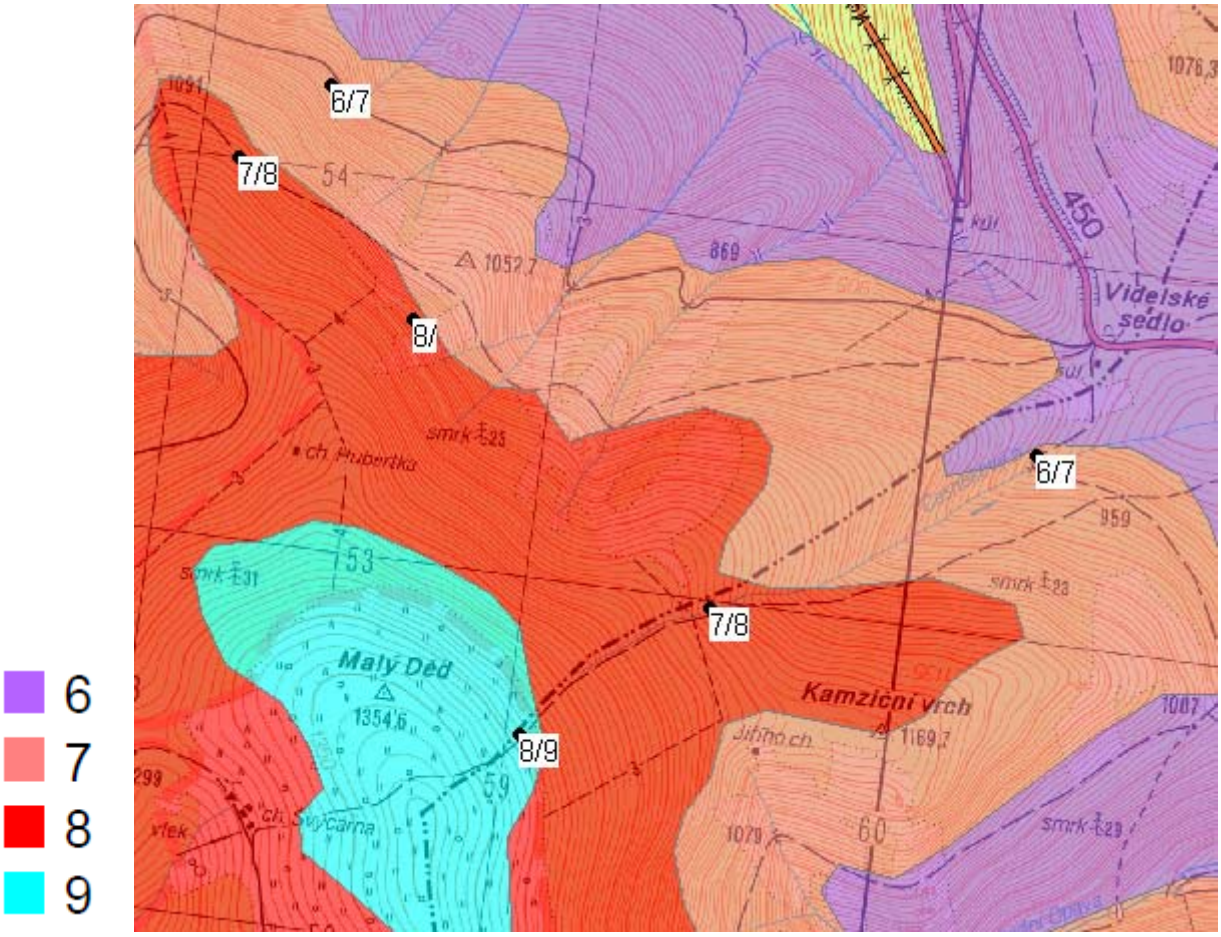
Modelování lesních vegetačních stupňů v Jeseníkách

Terénní verifikace mapování LVS byla v roce 2014 doplněna pro severní část Jeseníků (obr. 3, 5). Ukazuje se, že na většině míst leží v terénu skutečně pozorované hranice LVS v místech, kde byly identifikovány s pomocí matematického modelu, obdobně jako tomu bylo na lokalitách v jižní části pohoří (Matějka 2013; obr. 8-9). Dobře proběhlo i vymezení 9. LVS v místech s jeho okrajovým výskytem (Červená hora), kde je možno i přes výsadby kleče objevit typická společenstva subalpinského bezlesí, jak dokládá následující snímek (obr. 6):

> snímek 21/14, datum 17.9.2014, nadmořská výška 1325 m, sklon 0°, plocha 20 m^2, pokryvnost E_1 99 %, pokryvnost E_0 5 %
>
> E1: *Avenella flexuosa* 2, *Bistorta major* +, *Calamagrostis villosa* +-1, *Calluna vulgaris* +, *Deschampsia cespitosa* +, *Homogyne alpina* r, *Nardus stricta* +, *Oxalis acetosella* +, *Rubus idaeus* 2, *Vaccinium myrtillus* 4, *Vaccinium vitis-idaea* 2

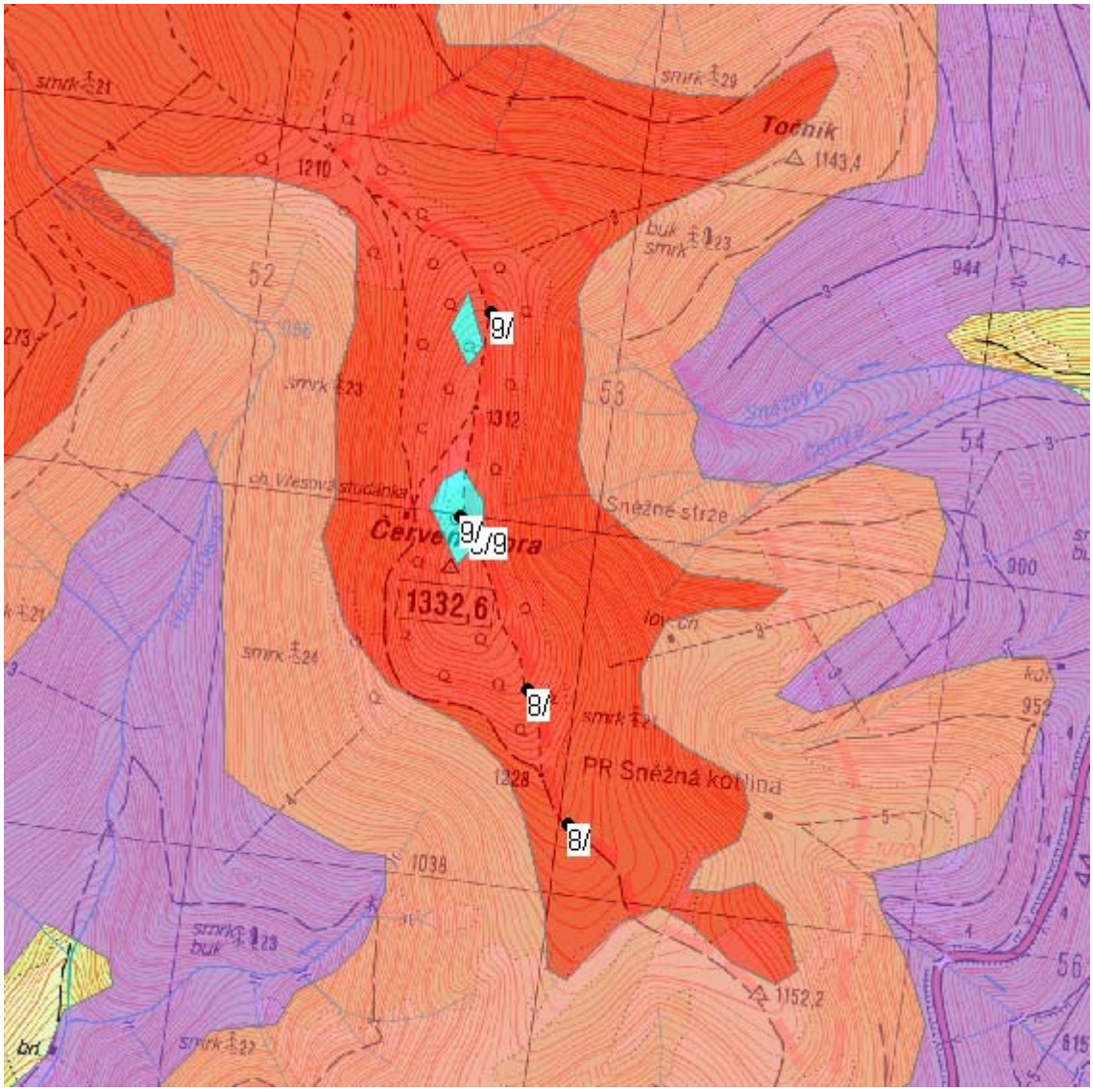
Jedná se o společenstvo asociace *Vaccinio-Callunetum vulgaris* Büker 1942, u kterého však již lze uvažovat o jisté podobnosti s as. *Avenello flexuosae-Callunetum vulgaris* Zlatník 1925 (cf. Chytrý 2007).

Rovněž druhá, menší enkláva 9. LVS severně od Červené hory (obr. 5) je v terénu dobře identifikovatelná (obr. 7). Stejně je možno v terénu nalézt hranici 8. a 9. LVS obr. 3), která se prakticky shoduje s linií, která byla určena matematickým modelem.



Obr. 3. Nové vymezení lesních vegetačních stupňů na základě matematického modelování v Jeseníkách v oblasti Videlské sedlo - Malý Děd a lokality na nichž proběhla verifikace modelu na základě posouzení stavu v terénu - označen je LVS, případně hranice určené v terénu.

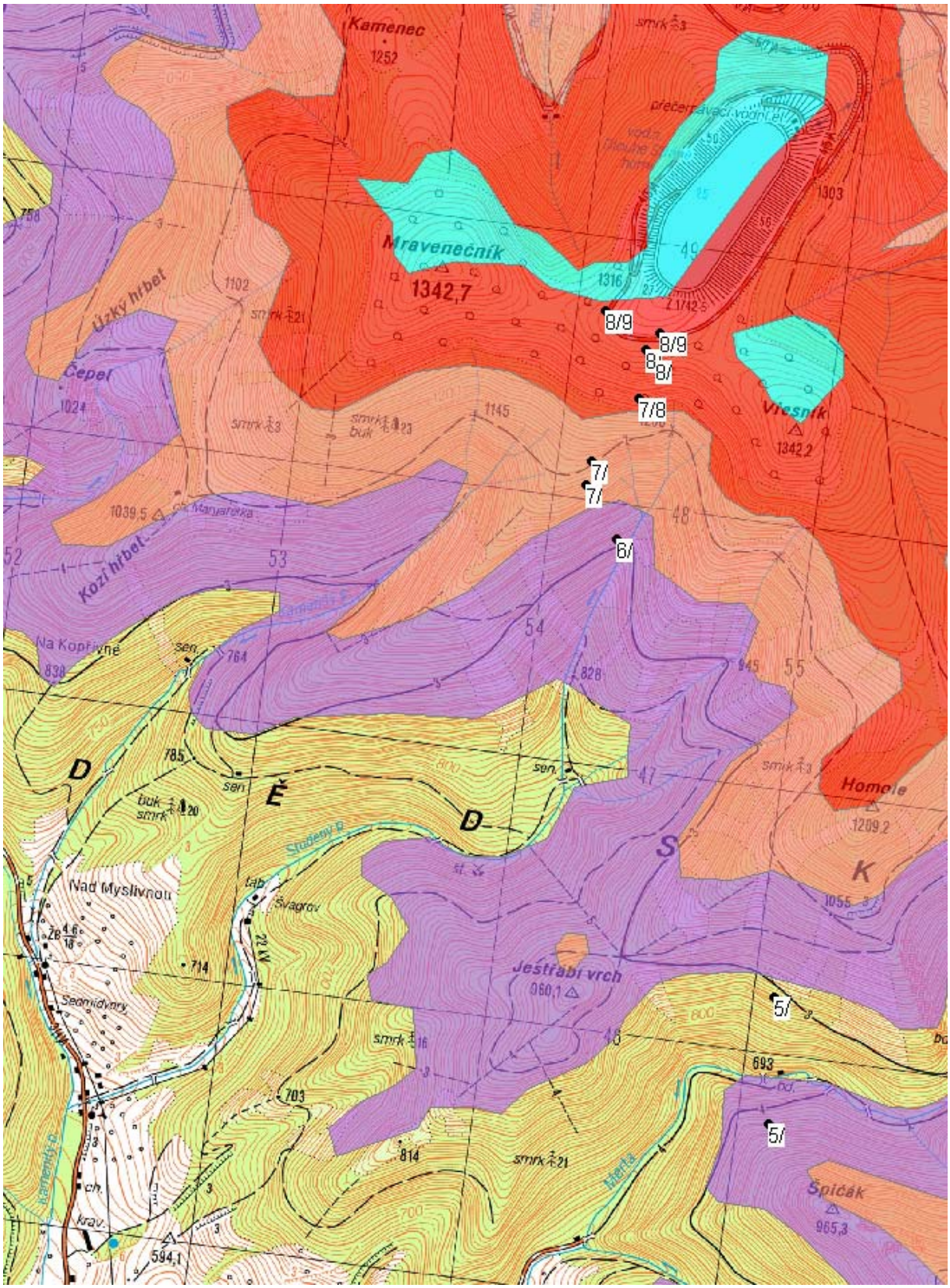
Obr. 4. Hranice 8. a 9. LVS východně od Malého Dědu odpovídá hranici modelované (obr. 3).



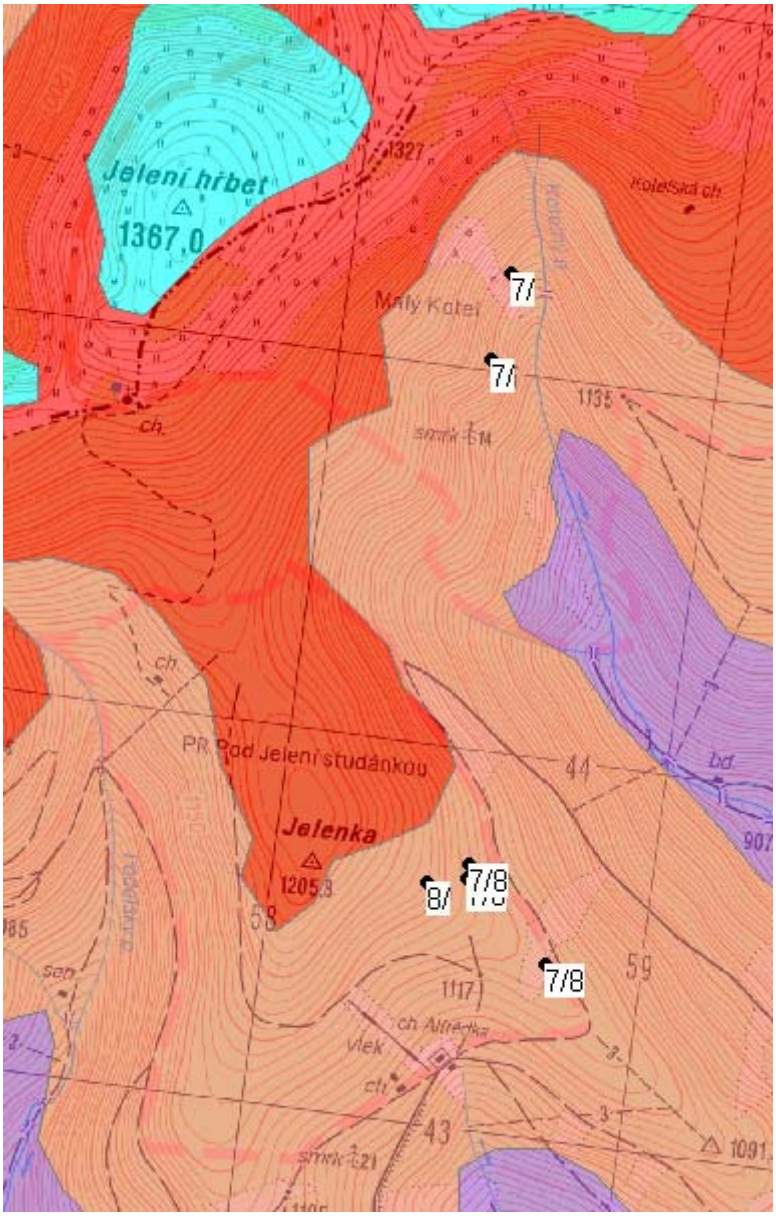
Obr. 5. Nové vymezení lesních vegetačních stupňů na základě matematického modelování v Jeseníkách v oblasti Červené hory a lokality na nichž proběhla verifikace modelu na základě posouzení stavu v terénu - označen je LVS, případně hranice určené v terénu.

Obr. 6. Plocha snímku 21/14 severně od vrcholu Červené hory, který představuje přirozené bezlesí v malé enklávě 9. LVS (obr. 5).

Obr. 7. Druhá, menší enkláva 9. LVS severně od Červené hory (obr. 5).



Obr. 8. Nové vymezení lesních vegetačních stupňů na základě matematického modelování v Jeseníkách v oblasti Vernířovice - Mravenečník a lokality na nichž proběhla verifikace modelu na základě posouzení stavu v terénu - označen je LVS, případně hranice určené v terénu.



Obr. 9. Nové vymezení lesních vegetačních stupňů na základě matematického modelování v Jeseníkách v oblasti Jelení hřbet - Jelenka a lokality na nichž proběhla verifikace modelu na základě posouzení stavu v terénu - označen je LVS, případně hranice určené v terénu.

Dílčí závěr

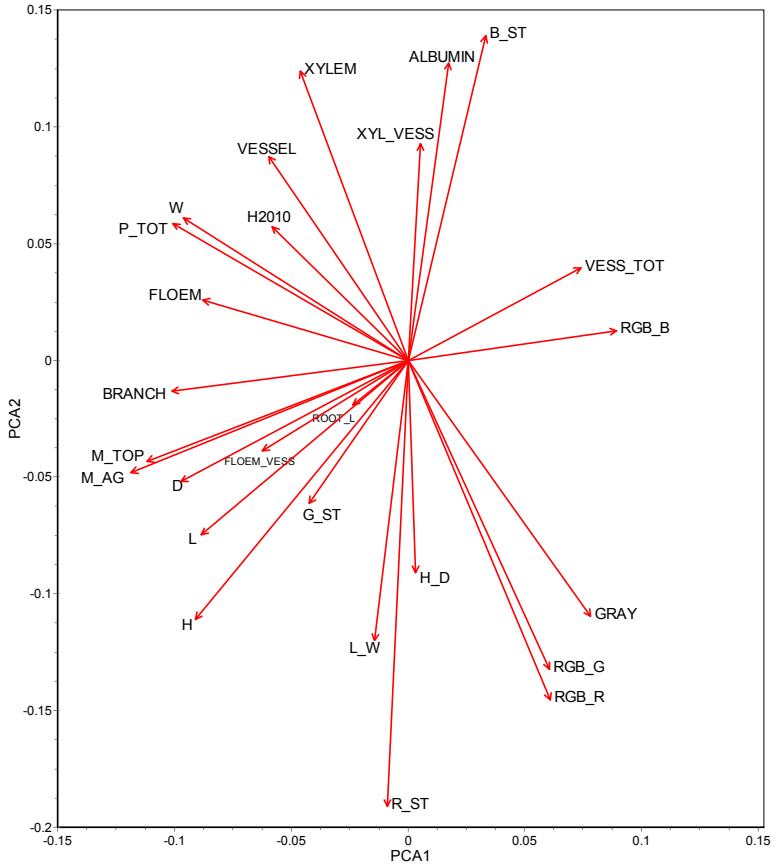
V Jeseníkách existuje výraznější lokální diferenciace průměrných teplot vzduchu, která se projevuje odchylkami měřených a modelovaných teplot - zatímco přibližně jihozápadní část pohoří je teplejší oproti globálnímu teplotnímu modelu, severovýchodní část pohoří je naopak chladnější. Další výraznější odchylky byly zaznamenány v nejvyšších polohách okolo Pradědu. Vzhledem k těmto skutečnostem nebyly pro hranice lesních vegetačních stupňů použity isothermy odvozené dříve, ale byly odvozeny limitní teploty na základě v terénu pozorovaných hranic vegetačních stupňů. Odvozeny tak byly hraniční teploty 2,0 °C (hranice 8. / 9. lvs), 3,0 °C (hranice 7. / 8. lvs), 4,0 °C (hranice 6. / 7. lvs), 5,0 °C (hranice 5. / 6. lvs) a 6,0 °C (hranice 4. / 5. lvs). Je patrné, že tyto hranice jsou o 0,2 až 0,7 °C nižší oproti hranicím zjištěným v Čechách. Nejvýznamnější je odchylka hranice 7. / 8. lvs (Matějka 2014).

V současných typologických mapách ÚHÚL jsou lesy Hrubého Jeseníku relativně častěji mapovány v rámci vyššího lvs, nežli v rámci nižšího lvs vzhledem ke stupni, k němuž skutečně náleží podle klimatického modelu. Nejzřetelnější je tento fakt v rámci 9. lvs, což může být způsobeno skutečností, že byla v minulosti uměle snížena alpinská hranice lesa (Matějka 2014).

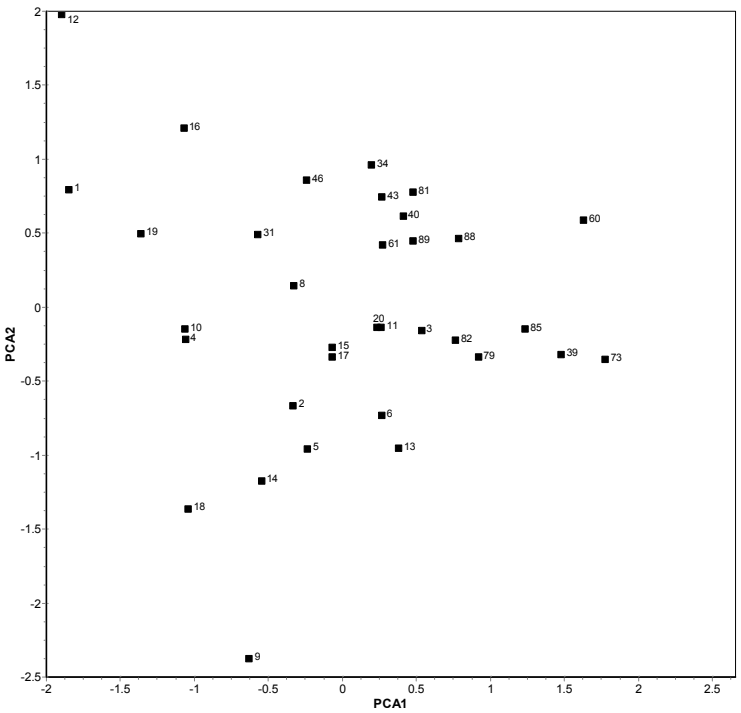
Zhodnocení proměnlivosti semenáčků smrku pomocí mnohorozměrné analýzy

Dvouleté semenáčky smrku ztepilého byly pěstovány v lesní školce a po jejich vyzvednutí byly biometricky analyzovány a byly z nich odebrány jehlice pro kvantitativně anatomickou analýzu a pro makroskopické měření velikosti a barvy (Matějka et al. 2014). Všechna data byla sestavena do datové matice. Ta však byla neúplná, protože ne všechny proměnné se podařilo změřit u všech analyzovaných jedinců. Korelační matici tedy bylo možno vypočítat, takže bylo možno vytvořit prostor PCA s umístěním jednotlivých proměnných (obr. 10), ale již ne prostor objektů (tedy jednotlivých semenáčků). Skóre jednotlivých objektů tedy bylo potřebné počítáno pro takový výběr vzorků a proměnných, aby byla datová matice úplná (zbylo 34 objektů - vzorků a použito bylo 23 proměnných: D, H, H2010, ROOT_L, BRANCH, M_AG, RL, RW, RGB_R, RGB_G, RGB_B, GRAY, R_ST, G_ST, B_ST, P_TOT, VESS, XYLEM, FLOEM, ALBUMIN, VESS_TOT, XYL_VESS, FLOEM_VESS). Výsledný prostor prvých dvou os je na obr. 11. Tam jsou vlevo vzorky větších semenáčků (ani ne tak výška, jako hmotnost) a vpravo semenáčky malé. Druhá osa (vertikální) zhruba odpovídá vzrůstu proměnných XYLEM, ALBUMIN a XYLEM/VSCB, současně mírně klesá výška jedinců H.

Měření jedinci vytvářejí poměrně rovnoměrné pokrytí prostoru tvořeného osami měřených parametrů, což se projevuje rovnoměrným pokrytím ordinačního prostoru (obr. 11), nejsou tam tedy patrné žádné oddělené shluky jedinců.



Obr. 10. Ordinační prostor prvých dvou os PCA s umístěním proměnných pro soubor semenáčků.
Datová matice obsahovala následující proměnné D – průměr kořenového krčku, H – výška jedince, H_D = H/D; H2010 – výška jedince v předcházejícím roce; ROOT_L – délka hlavního kořene; BRANCH – počet větví; M_AG – hmotnost nadzemní části jedince, M_TOP – hmotnost vrcholové části jedince; W – průměrná makroskopická šířka jehlice, L – přímo měřená průměrná délka jehlice, L_W = L/W; Barevné vlastnosti jehlic: RGB_R, RGB_G, RGB_B – barevné složky pro červenou, zelenou a modrou barvu, GRAY – počítaný odstín šedé, RST, GST, BST – standardizované barevné komponenty; Mikroskopické parametry měřené na příčném řezu jehlicí: P_TOT – celková plocha průřezu jehlicí, VESSEL – plocha cévního svazku, XYLEM – plocha xylému, FLOEM – plocha floému, ALBUMIN - plocha albuminózních buněk, počítány byly poměry VESS/TOT = VESSEL/P_TOT, XYL/VESS = XYLEM/VESSEL, FLOEM_VESS = FLOEM/VESSEL.



Obr. 11. Ordinační prostor prvých dvou os PCA s umístěním vybraných vzorků.

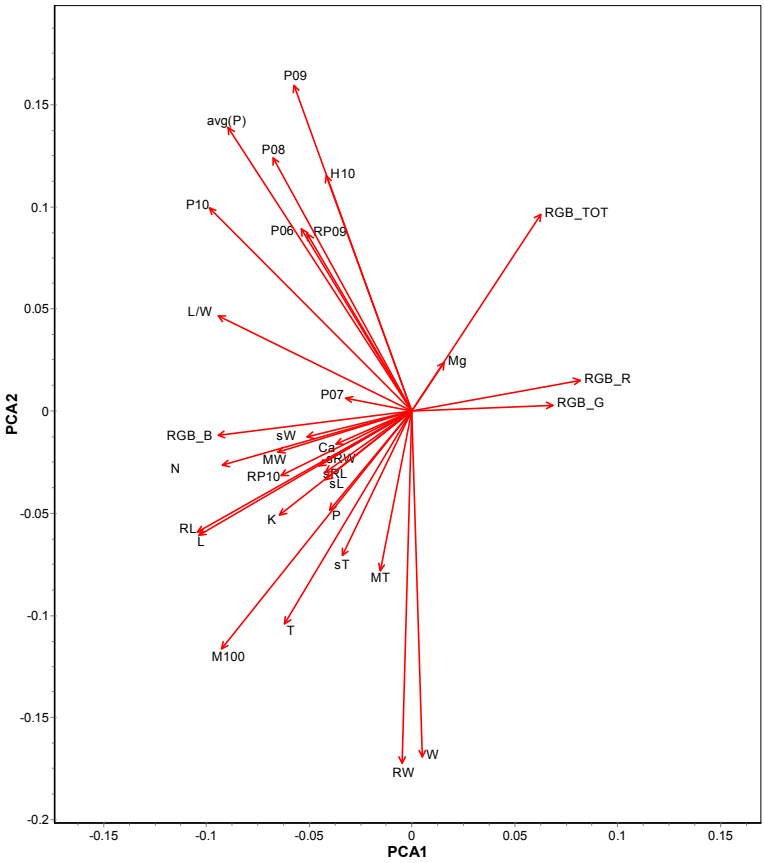
Modelová lokalita Krkonoše TVP24

Lokalita Střední hora v Krkonoších vybraná pro výzkum přirozeného zmlazení smrku je prakticky identická s dlouhodobě sledovanou trvalou výzkumnou plochou TVP 24, kde různá šetření probíhají od roku 1980 (VACEK ET AL. 2007). Před rozpadem mateřského porostu zde byly odebrány vzorky pro analýzu isoenzymů (IVANEK ET AL. 2009), na což navázal odběr vzorků a analýza isoenzymů z jedinců zmlazení (příloha 1). Toho bylo následně využito v roce 2011, kdy byly odebrány vzorky pro srovnávací analýzy z jedinců obnovy na jiných lokalitách (Matějka 2011, Matějka et Leugner 2013). V roce 2014 k dříve zjišťovaným charakteristikám přibyly mikroskopické analýzy jehlic, čímž se jednalo o nejkomplexněji šetřenou mladou populaci smrku vzniklou přirozeným zmlazením. První komplexnější vyhodnocení dat z této lokality proběhlo v roce 2012 (Matějka 2012a). Výsledná databáze obsahuje následující charakteristiky jedinců:

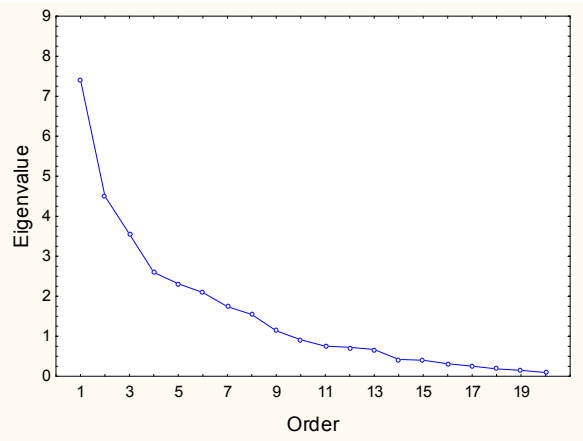
- Barevné charakteristiky jehlic byly měřeny na základě skenů souboru 20 jehlic. Hodnoty R-G-B pro tři barevné složky byly odečítány v programu PlotOA (Matějka 2009, 2012a): RGB_R, RGB_G, RGB_B – relativní barevné složky pro červenou, zelenou a modrou barvu; RGB_TOT - odstín šedi jehlice.
- M100_G - hmotnost 100 jehlic.
- Obsah živin v jehlicích: N_PRC - obsah dusíku, P_PRC - obsah fosforu, K_PRC - obsah draslíku, CA_PRC - obsah vápníku, MG_PRC - obsah hořčíku.
- Přímo makroskopicky měřená průměrná velikost 20 jehlic: T - tloušťka, W - šířka, L - délka.
- Velikost jehlic měřená na základě vyhodnocení skenu 20 jehlic: RW - průměrná šířka jehlice, RL - průměrná délka jehlice, L_W = RL/RW.
- Variabilita jehlic byla hodnocena jako směrodatná odchylka měřených charakteristik: sT - směrodatná odchylka hodnot T v souboru měřených jehlic (obdobně sW, sL, sRW, sRL).
- Mikroskopicky hodnocená velikost příčného průřezu jehlicí (průměr na základě řezů 3 jehlicemi): MW - mikroskopická šířka jehlice, MT - mikroskopická tloušťka jehlice.
- Velikost jedince: H10 - výška jedince v roce 2010.
- Výškový přírůst jedince v posledních letech: P06, P07, P08, P09, P10 - přírůst jedince v letech 2006 až 2010; RP09, RP10 - relativní přírůst jedince v roce 2009 a 2010; AVG_P - průměrný přírůst jedince v letech 2006 až 2010.
- Genetická charakteristika jedince byla odvozena na základě isoenzymové analýzy: G6PDH - alelická kombinace pro lokus G-6-PDH; SDH_A - alelická kombinace pro lokus SDH-A; MDH_C - alelická kombinace pro lokus MDH-C; AAT_C - alelická kombinace pro lokus AAT-C (viz příloha 1).

Vztah sledovaných kvantitativních proměnných byl hodnocen metodou hlavních komponent (obr. 12). První ordinační osa popisující nejvyšší podíl datové variability je spojena především s barevnými charakteristikami

jehlic, s nimiž koreluje rovněž obsah dusíku, ale též poměr L/W a mírně i mikroskopická šířka jehlice. Druhá ordinační osa je spojena s výškovým přírůstem, ale též s makroskopickou šířkou jehlice. Ukazuje se tedy, že růst jedinců mladého smrku je silně korelačně svázán s různými charakteristikami jehlic. Mezi těmito charakteristikami vynikají barva jehlic (ta může být podmíněna jak geneticky, fysiologickým stavem jedince, tak dostupností živin na příslušném mikrostanovišti) a jejich tvar určený poměrem délky a šířky jehlice. Celkově lze očekávat, že pro celkovou variabilitu dat mají zásadní význam přibližně tři faktory (obr. 13).



Obr. 12. Ordinační prostor prvých dvou os PCA s umístěním proměnných pro soubor jedinců šetřených na lokalitě TVP24 v Krkonoších.

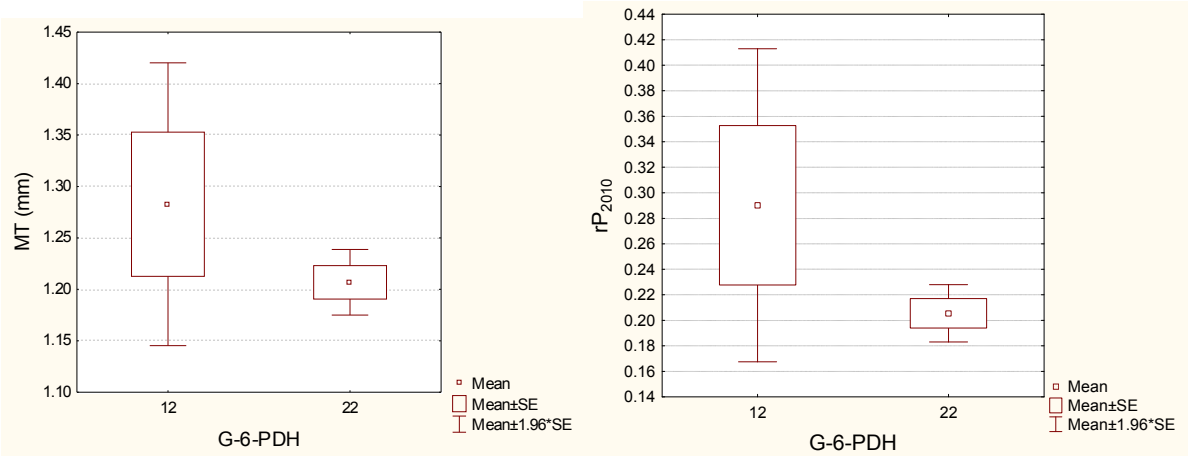


Obr. 13. Vlastní čísla korelační matice použité při PCA (obr. 12) podle jejich pořadí.

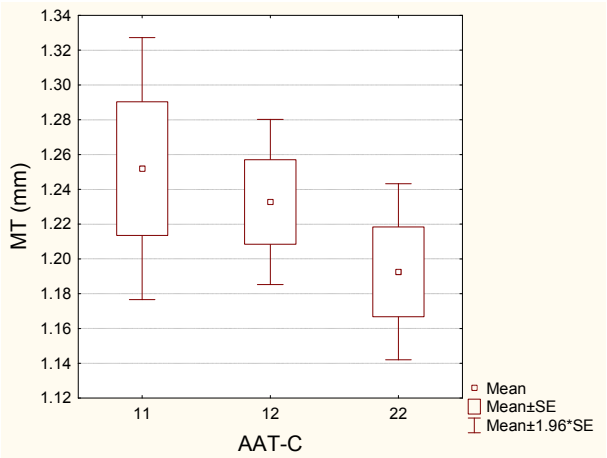
Porovnání fenotypových a genotypových charakteristik populace

V roce 2011 byla genetická struktura populace na lokalitě TVP24 hodnocena s pomocí isoenzymů (viz Příloha). Přestože bylo analyzováno velmi málo jedinců, zdá se, že různé genotypy vykazují rozdílné fenotypové vlastnosti i rozdílný charakter růstu, jak ukazuje příklad lokusu G-6-PDH. Přestože byli zjištěni pouze 4 heterozygotní jedinci z 35, právě oni přispívají ve zvýšené míře k fenotypové variabilitě populace, minimálně co se týče šířky jehlic a relativní rychlosti růstu (obr. 14). Rovněž u lokusu AAT-C je naznačen vliv na velikost jehlic (obr. 15). Zajímavé je, že i obsah Ca v jehlicích byl u dvou homozygotů 11 a 22 dle lokusu AAT-C signifikantně odlišný a to jak co se týče průměrů (t-test, p = 0,037), tak i naznačené rozdílnosti variancí (F-test, p = 0,075).

Přestože výše uváděné rozdíly jsou statisticky převážně nesignifikantní, je potřebné obdobné analýzy provádět v budoucnu na materiálu podstatně širšího rozsahu a opakovat je na různých lokalitách i v různých regionech.



Obr. 14. Rozdíly v mikroskopické tloušťce jehlice (MT; rozdíl průměrů hodnocený t-testem p = 0,134, rozdíl variancí hodnocený F-testem p = 0,126) a v relativní rychlosti růstu v roce 2010 (rP_{2010}; rozdíl průměrů hodnocený t-testem p = 0,033, rozdíl variancí hodnocený F-testem p = 0,039) u dvou genotypů podle lokusu G-6-PDH.

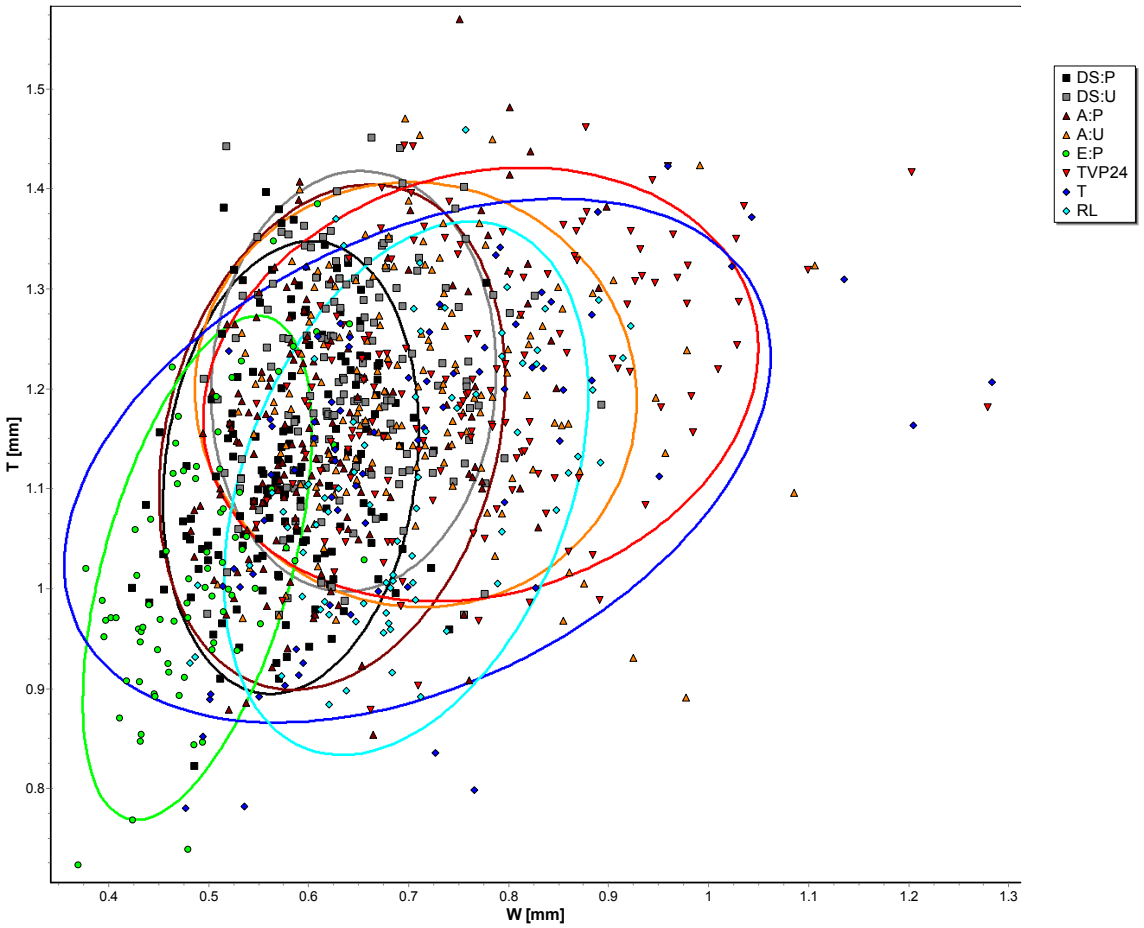


Obr. 15. Rozdíly v mikroskopické tloušťce jehlice (MT) u genotypů podle lokusu AAT-C. Pro rozdíl průměrů u homozygotů 11 a 22 hodnocený t-testem vychází p = 0,199.

Variabilita průřezu jehlicemi

Variabilita populace hodnocená prostou šířkou jehlice W (respektive její směrodatnou odchylkou) je zpravidla nepatrně nižší ve srovnání s variabilitou hodnocenou pomocí proměnné W_r.

Ukazuje se, že populace smrku ze všech lokalit v Jeseníkách měly nejnižší variabilitu, naopak variabilita jehlic u jedinců na Šumavě byla velmi vysoká (obr. 16, tabulka 2).



Obr. 16. Poloha měřených jehlic *Picea abies* v prostoru šířky (W) a tloušťky (T) jehlice na různých sledovaných lokalitách. Vykresleny jsou 95%-ní distribuční elipsy v programu PlotOA.

Tabulka 2. Variabilita makroskopických znaků jehlic sledovaných populací *Picea abies*. Nejvyšší zjištěné hodnoty variability jsou označeny tučně. Označení proměnných: rl - průměrná délka jehlice, rw - průměrná šířka jehlice, varRGB - variabilita barvy, s_{resid} - směrodatná odchylka rozdílu mezi skutečným a modelovaným přírůstem (viz tabulka 4), n - počet hodnocených jedinců, avg - aritmetický průměr, std - směrodatná odchylka, max-min - rozpětí hodnot.

	n	rl		rw		rl/rw			var_{RGB}	s_{resid}
Lokalita		avg	std	avg	std	avg	std	max-min		
DS:P	49	10.37	1.51	0.881	0.077	11.81	1.65	7.01	516.8	3.83
DS:U	50	12.47	1.89	0.972	0.076	12.87	1.98	8.66	**616.6**	6.00
A:P	50	12.70	**2.05**	0.958	**0.101**	13.34	**2.32**	**11.53**	370.9	4.84
A:U	50	13.00	1.93	1.005	0.086	12.98	1.92	8.26	513.6	3.95
E:P	20	10.50	1.44	0.851	0.086	12.42	1.88	6.60	285.5	**6.66**

Na základě údajů z Jeseníků se ukazuje, že variabilita mikroskopické šířky jehlic je vyšší mezi jedinci z umělé obnovy ve srovnání s obnovou přirozenou (obr. 16, tabulka 3). Naproti tomu makroskopicky zjišťovaná variabilita velikosti jehlic byla nejvyšší na lokalitě Alfrédka s přirozenou obnovou, kde však naopak byla relativně nízká variabilita barvy jehlic. Zdá se tedy, že variabilita barvy může být spojena velmi ovlivněna proměnlivostí osvětlení a zastínění jedinců, která je vyšší právě na této lokalitě s rozptýlenými zbytky mateřského porostu, ale nízká na sousední lokalitě s přirozenou obnovou, kde již bylo stromové patro kompletně odtěženo. Nejnižší variabilita barvy jehlic byla zjištěna na pralesní lokalitě Eustaška, což odpovídá i nízké variabilitě osvětlení jedinců v podrostu pod uzavřeným stromovým zápojem.

Celkově lze tedy konstatovat, že variabilita různých znaků populace smrku je ovlivněna jak genetickou diversitou populace, tak variabilitou mikrostanovišť (osvětlení, ale pravděpodobně i dostupnost živin na

mikrostanovišti). Vysoká variabilita kvantitativně fenotypových charakteristik mezi jedinci populace nemusí ukazovat na obdobně vyšší variabilitu výškového růstu těchto jedinců.

Tabulka 3. Variabilita mikroskopických znaků jehlic sledovaných populací *Picea abies*. Označení proměnných: avg - aritmetický průměr, min - minimální hodnota, max - maximální hodnota, std - odhad směrodatné odchylky, r - korelační koeficient mezi proměnnou a tloušťkou jehlice (T), V - celková variabilita velikosti průřezu jehlicí, siličné kanálky - průměrný počet kanálků na průřezu jehlicí; n - počet hodnocených řezů.

Lokalita	Proměnná	avg	min	max	std	*r*	*V*	siličné kanálky
A:P	*W* (mm)	0.623	0.482	0.898	0.094	0.3605	0.0391	
(n=150)	W_r (mm)	0.646	0.485	0.929	0.098	0.3513	0.0391	
	T (mm)	1.152	0.854	1.569	0.126			
	T/W	1.878	1.194	2.438	0.268			0.90
A:U	*W* (mm)	0.707	0.509	1.106	0.113	0.0485	0.0054	
(n=147)	W_r (mm)	0.736	0.543	1.145	0.116	0.1056	0.0119	
	T (mm)	1.195	0.891	1.471	0.108			
	T/W	1.729	0.911	2.368	0.284			0.79
DS:P	*W* (mm)	0.582	0.424	0.778	0.066	0.2227	0.0195	
(n=150)	W_r (mm)	0.600	0.438	0.778	0.067	0.2250	0.0198	
	T (mm)	1.122	0.823	1.397	0.115			
	T/W	1.948	1.296	2.683	0.262			1.06
DS:U	*W* (mm)	0.645	0.495	0.893	0.073	0.1021	0.0091	
(n=150)	W_r (mm)	0.669	0.516	0.924	0.076	0.1256	0.0113	
	T (mm)	1.208	0.975	1.451	0.107			
	T/W	1.896	1.282	2.786	0.255			0.91
E:P	*W* (mm)	0.488	0.370	0.656	0.062	0.5837	0.0518	
(n=80)	W_r (mm)	0.508	0.395	0.700	0.064	0.6154	0.0556	
	T (mm)	1.022	0.724	1.385	0.128			
	T/W	2.105	1.541	2.703	0.240			0.83
TVP24	*W* (mm)	0.772	0.547	1.279	0.135	0.3368	0.0428	
(n=147)	W_r (mm)	0.801	0.547	1.279	0.139	0.3559	0.0457	
	T (mm)	1.205	0.879	1.462	0.119			
	T/W	1.598	0.924	2.164	0.261			0.86
T	*W* (mm)	0.708	0.477	1.284	0.166	0.5392	0.0859	
(n=75)	W_r (mm)	0.726	0.494	1.284	0.168	0.5456	0.0875	
	T (mm)	1.129	0.781	1.423	0.153			
	T/W	1.642	0.940	2.378	0.279			1.25
RL	*W* (mm)	0.697	0.482	0.922	0.103	0.4876	0.0564	
(n=75)	W_r (mm)	0.719	0.498	0.985	0.112	0.5067	0.0612	
	T (mm)	1.101	0.884	1.460	0.130			
	T/W	1.600	1.252	2.184	0.222			1.11

Variabilita růstu a srovnání populací

Hodnocené populace ve třech sledovaných regionech (Krkonoše - Matějka 2011b, Krušné hory - Matějka 2012a a Jeseníky - Matějka 2013a) se lišily nejen fenotypovými charakteristikami, ale též rychlostí růstu, jeho charakterem (resp. rozdílným zrychlováním růstu v závislosti na velikosti jedince) a variabilitou růstových parametrů v rámci populace. Zvláště poslední parametr se ukázal jako užitečný pro vyhodnocení perspektivy budoucího porostu.

Nejnižší variabilita výškového růstu (hodnota s_{resid}, tabulka 4) mezi jedinci populace byla zjištěna na lokalitách v Krušných horách. Tam byla variabilita růstu v rámci uměle založených populací (výsadby) mírně zvýšená oproti přirozené obnově. V Jeseníkách byla variabilita růstu nejvyšší na pralesní lokalitě Eustaška s přirozeným zmlazením. Na jiných lokalitách byla variabilita růstu srovnatelná s Krušnými horami, pouze v rámci výsadby na lokalitě Dlouhé stráně byla zvýšená a to zřejmě v důsledku založení populace jako směsi materiálu s rozdílným původem, o čemž svědčí i mírně odlišný charakter jehlic ve srovnání s přirozenou obnovou (obr. 16).

Obecně nejvyšší variabilita růstu byla zjištěna v rámci populací v Krkonočích. Extrémně vysoká hodnota variability byla nalezena na lokalitě 6, kde zřejmě byl při výsadbě použit materiál o různém (a pravděpodobně nevhodném) původu.

Tabulka 4. Variabilita růstu jednotlivých populací *Picea abies* hodnocená na základě modelu $P_Y = a \times h_{Y-1}^{b}$ v Jeseníkách. SE - standardní chyba (znakem * jsou označeny signifikantní hodnoty na hladině 5%), s_{resid} - směrodatná odchylka rozdílu mezi skutečným a modelovaným přírůstem.

		Obnova:	přirozená				umělá			
Region (data - citace)	Rok	Lokalita	N	SE_a	SE_b	s_{resid}	N	SE_a	SE_b	s_{resid}
Krkonoše	2010	3	127	0.2008 *	0.0901 *	6.27				
(Matějka et al. 2014)		5	132	0.5156 *	0.0937 *	7.61				
		6					150	2.9626	0.0947 *	12.50
		7	135	1.0988 *	0.0753 *	6.78	132	0.0029	0.1268 *	6.11
		8	147	1.2488	0.1067 *	5.65	18	0.8272	0.4609	5.20
		TVP24	186	0.4411 *	0.0647 *	5.69				
Krušné hory	2011	Klínovec A	80	0.0591	0.1658 *	3.46				
(Matějka et al. 2014)		Klínovec B	80	0.0453	0.1914 *	3.06	60	14.521	0.4873	3.73
		Klínovec C	80	0.0621	0.2150 *	3.60				
		Špičák A	80	0.0912	0.1558 *	2.95				
		Špičák B	80	0.1258	0.1594 *	4.28	60	0.1345	0.1097 *	4.49
Jeseníky	2012	Dlouhé stráně (DS)	50	1.5780	0.1260 *	3.83	50	0.5280	0.2164 *	6.00
(Matějka 2013a)		Alfrédka (A)	50	1.4560	0.1984 *	4.84	50	0.0010	0.1637 *	3.95
		Eustaška (E)	20	0.0230	0.2314 *	6.66				

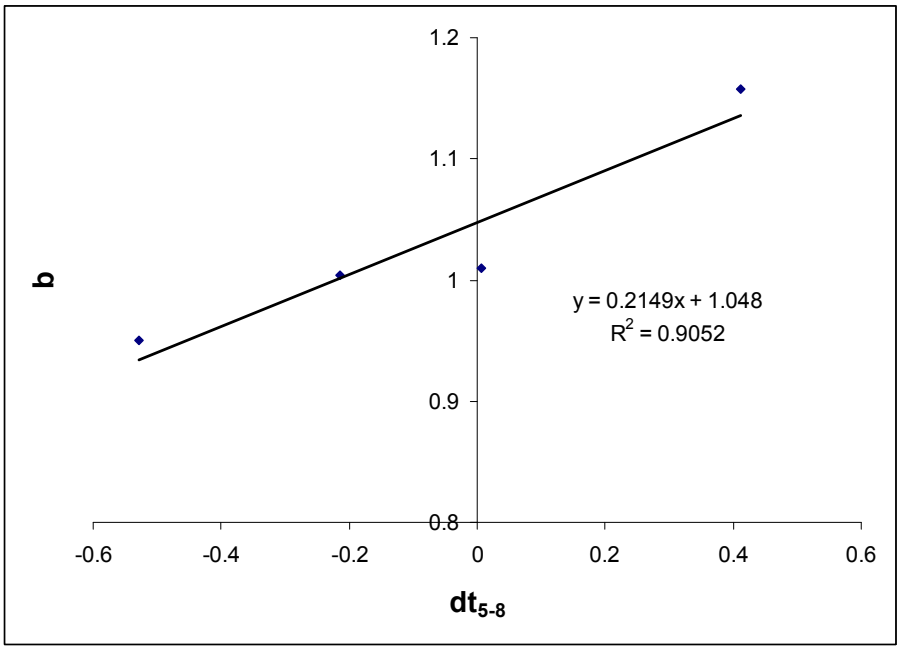
Souhrn

Ve všech sledovaných regionech (Krušné hory, Krkonoše, Jeseníky) se potvrdil výrazně odlišný růst mladých populací smrku ztepilého pocházejících z přirozené a z umělé obnovy. Populace z umělé obnovy mají růst značně nevyrovnaný - většinou výrazně rychlejší, ale existují i výsadby, které mají růst naopak snížený. To bývá zřejmé zvláště na stanovištích, kde v minulosti došlo k porušení půdy (typické je stržení humusových půdních horizontů) a jsou tam tedy narušené cykly živin, ale i dynamika vody.

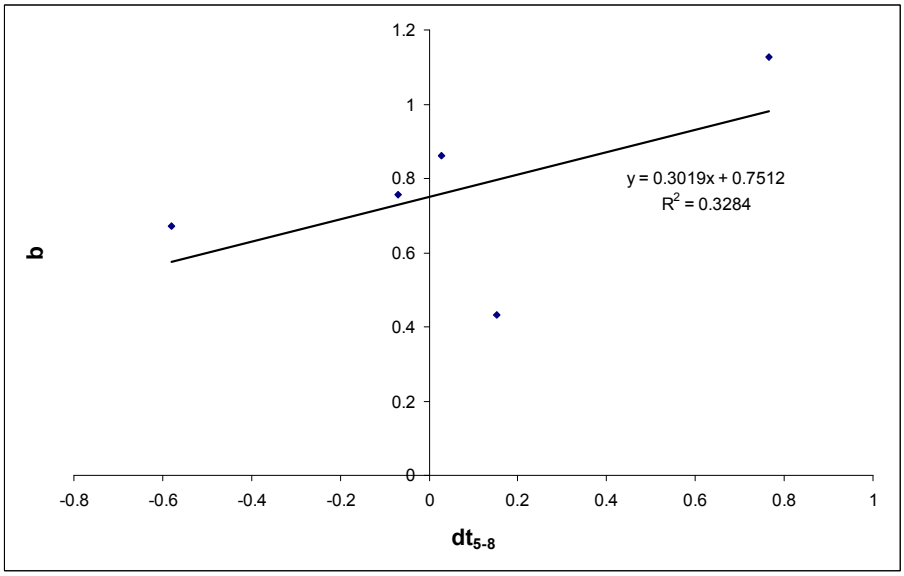
Fenotypovou variabilitu mladého smrku je možno posoudit na základě kvantitativních vlastností jehlic, přičemž zvláště významné jsou kvantitativně anatomické vlastnosti jehlice pozorovatelné na jejím průřezu. Pomocí poměru šířky a tloušťky jehlice, které mohou být doplněny údajem o tvaru průřezu jehlicí a o charakteru rozmístění sklerenchymatických pletiv pod epidermis, lze rozlišit několik typů jehlic. Různé populace se liší zastoupením jedinců s různými typy jehlic. Populace vzniklé umělou obnovou mají většinou odlišnou strukturu (fenotypovou, pravděpodobně tedy i genotypovou) ve srovnání s populacemi vzešlými z přirozené obnovy.

Fenotypová diversita populací z přirozené obnovy často nemusí být vyšší nežli u populací z umělé obnovy, kde se mohou kombinovat jedinci různých ekotypů, neodpovídající danému stanovišti či regionu, kteří by v přirozených populacích byly postupně vyselektováni.

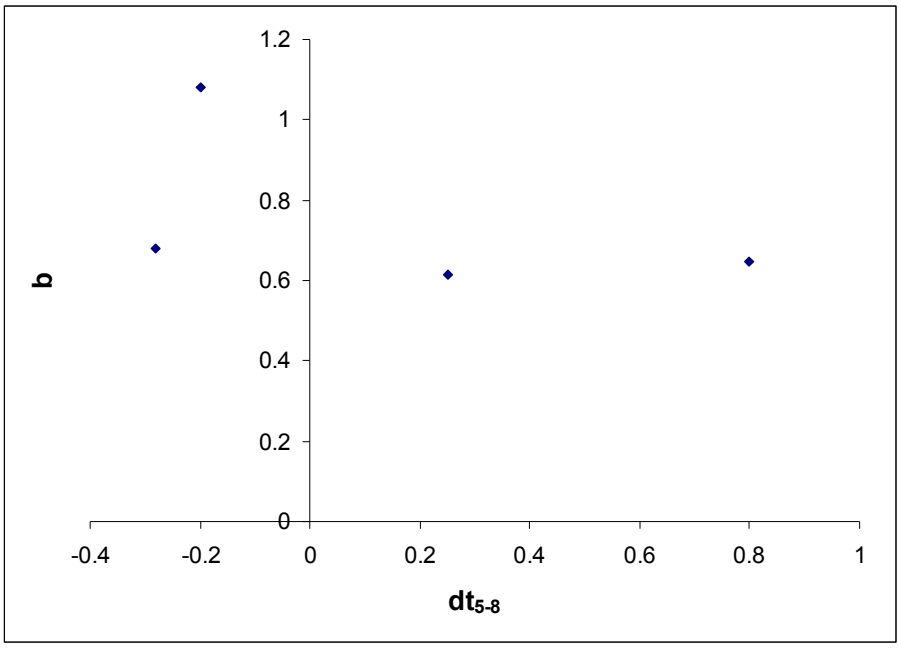
Závislost meziroční změny výškového přírůstu mladého smrku (obnovy) na meziročním kolísání průměrných teplot vzduchu měsících květen až srpen, které představují hlavní růstovou periodu pro tuto dřevinu na jeho původních stanovištích v 8., případně 7. LVS, se podařilo prokázat v Krkonoších a v Krušných horách (obr. 17-18). V případě Jeseníků však taková závislost nebyla pozorována (obr. 19), což může být způsobeno několika vlivy. Jednak byly porovnávány pouze čtyři dvojice let a jak ukazuje příklad dvou dříve zmíněných regionů, existují roky, kdy byla pozorována výrazná odchylka od této závislosti. Dále použitá stanice Šumperk nemusí být relevantní pro stanovení podmínek ve smrkovém vegetačním stupni.



Obr. 17. Závislost meziroční změny výškového přírůstu mladého smrku v oblasti Krkonoš vyjádřené regresním koeficientem b na rozdílu průměrných teplot v měsících květen až srpen (podle stanice Labská bouda) v příslušných letech (Matějka 2011a).



Obr. 18. Závislost meziroční změny výškového přírůstu mladého smrku v oblasti Krušných hor vyjádřené regresním koeficientem b na rozdílu průměrných teplot v měsících květen až srpen (podle stanice Karlovy Vary - letiště) v příslušných letech (Matějka 2012a).



Obr. 19. Porovnání meziroční změny výškového přírůstu mladého smrku v oblasti Hrubého Jeseníku vyjádřené regresním koeficientem b a rozdílem průměrných teplot v měsících květen až srpen (podle stanice Šumperk) v příslušných letech (data Matějka 2013a).

Závěr

Jednotné vymezení lesních vegetačních stupňů lze provést s pomocí matematického modelování průměrných ročních teplot vzduchu, jehož základem je digitální model terénu. Použita byla data odpovídající období klimatického normálu 1961-1990. Takto se podařilo determinovat skutečné hranice lesních vegetačních stupňů s dominantním smrkem ztepilým i v území, kde hranice lvs nejsou dobře patrné, protože v lesích i nižších poloh je dlouhodobě pěstován smrk (typický příklad Krušných hor).

Pro fenotypovou klasifikaci mladých jedinců smrku ztepilého (od semenáčků po nárosty) není možno použít typické postupy založené na typu větvení, ale velmi dobře se hodí znaky patrné na příčném průřezu jehlicemi. Zvláštní pozornost je potřeba věnovat poměru tloušťky a šířky jehlice, rozmístění sklerenchymatických pletiv a celkovému tvaru průřezu. Do budoucna je potřeba věnovat pozornost možnému automatickému hodnocení tvaru průřezu jehlicí na příslušných mikroskopických snímcích.

Dalšími významnými fenotypovými charakteristikami jsou makroskopická délka a šířka jehlice, které je vhodné stanovovat na základě průmětu jehlice na plochu, čímž plocha jehlice odpovídá fotosynteticky aktivní ploše jehlice. Celá oblast měření velikosti jehlic je značně problematická a volba metody měření závisí na účelu studia (cf. Sellin 2000) Ukazuje se, že roční výškový přírůst jedince je v rámci populace korelován s průměrnou délkou jeho jehlic, případně s poměrem délky a šířky jehlice.

Veškeré korelace mezi rychlostí růstu (ročním výškovým přírůstem) a kvantitativně fenotypovými charakteristikami jsou platné v rámci určité populace a mezi populacemi se mohou lišit. Takové vztahy nemusí být patrné v rámci "umělých" populací vznikajících při umělé obnově výsadbou, protože v rámci nich mohou být soustředěni jedinci původem z různých přírodních populací, kteří jsou adaptováni na různé environmentální podmínky (odlišné ekotypy).

Cílem umělé obnovy by nemělo být zajištění maximální šíře fenotypové a genotypové diversity sázených jedinců, ale zachování takové diversity, která odpovídá lokálním a přírodním podmínkám stanoviště. Protože takové "optimální" hodnoty dosud nejsou známy a s odpovídajícími charakteristikami se při přípravě sadebního materiálu dosud nepracovalo, nacházíme často mladé populace z umělé obnovy, které mají vyšší fenotypovou diversitu nežli vedlejší populace vzniklé přirozenou obnovou.

Výškový přírůst mladého smrku v území klimaxových smrčin 8., případně 7. lesního vegetačního stupně je značně determinován průměrnými teplotami vzduchu v květnu až srpnu daného roku.

Literatura

Chytrý M. [Ed.] (2007): Vegetace České republiky. 1. Travinná a keříčková vegetace. Vegetation of the Czech Republic. 1. Grassland and heathland vegetation. - Academia, Praha.

Ivanek O., Matějka K., Novotný P. (2009): Genetická struktura dvou částí porostu smrku ztepilého při horní hranici lesa na území KRNAP. [Genetic structure of two parts of Norway spruce stand near the alpine forest limit in the Krkonoše National Park] - Zprávy lesnického výzkumu, 54: 300-306.

Jelínek J. (2005): Od jihočeských pralesů k hospodářským lesům Šumavy. - ÚHÚL, Brandýs nad Labem.

Legendre P., Legendre L. (2012): Numerical ecology. 3rd Ed. - Elsevier, Amsterdam etc.

Matějka, K. (2008): Vývoj lesního ekosystému v oblasti Trojmezí (Šumava) - URL: www.infodatasys.cz/sumava/trojmezi.pdf

Matějka K. (2009) Nápověda k programu PlotOA. Plotting of ordination diagrams and cartograms. - URL: http://www.infodatasys.cz/software/hlp_PlotOA/plotoa.htm

Matějka K. (2010a): Globální gradienty teploty v České republice. - URL: http://www.infodatasys.cz/climate/GlobalGradients.pdf

Matějka K. (2010b): Program IsoEnz. Databáze isoenzymových analýz (Isoenzyme analysis database). - URL: http://www.infodatasys.cz/software/hlp_isoenz/isoenz.htm

Matějka K. (2011a): Long-term vegetation dynamics in the mountain forests of the Czech Republic. - URL: http://www.infodatasys.cz/proj003/forestdynamics2011.pdf

Matějka K. (2011b): Zpráva spoluřešitele projektu QI112A170 za rok 2011. - URL: http://www.infodatasys.cz/proj005/QI112A170_results2011.pdf

Matějka K. (2012a): Zpráva spoluřešitele projektu QI112A170 za rok 2012. - URL: http://www.infodatasys.cz/proj005/QI112A170_results2012.pdf

Matějka K. (2012b): Klimatické gradienty a modelování lesních vegetačních stupňů v ČR. [Climate gradients and modelling of the forest altitudinal zones in the Czech Republic] - URL: http://www.infodatasys.cz/public/model_lvs_cr_2012.pdf

Matějka K. (2013a): Zpráva spoluřešitele projektu QI112A170 za rok 2013. - URL: http://www.infodatasys.cz/proj005/QI112A170_results2013.pdf

Matějka K. (2013b): Nápověda a popis programu FotoOverlay. [Description of the program FotoOverlay and program help] - URL: http://www.infodatasys.cz/software/hlp_FotoOverlay/FotoOverlay.htm

Matějka K. (2014): Lesní vegetační stupně s převahou smrku v ČR. [předneseno na semináři Lesník 21. století, Stachy, 27 března 2014] - URL: http://www.infodatasys.cz/public/Lesnik21_2014km.pdf

Matějka K., Leugner J. (2013): Growth of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karsten) from artificial and natural regeneration in the Krkonoše Mts. and air temperature variability. - Journal of Forest Science, 59: 150-158.

Matějka K., Leugner J., Krpeš V. (2014): Phenotype features in juvenile populations of *Picea abies* and their growth. - Journal of Forest Science, 60: 96-108.

Sellin A. (2000): Estimating the needle area from geometric measurements: application of different calculation methods to Norway spruce. - Trees-Structure and Function, 14: 215-222.

Vacek S., Matějka K., Simon J., Malík V., Schwarz O., Podrázský V., Minx T., Tesař V., Anděl P., Jankovský L., Mikeska M. (2007): Zdravotní stav a dynamika lesních ekosystémů Krkonoš pod stresem vyvolaným znečištěním ovzduší [Health status and dynamics of forest ecosystems under air pollution stress in the Giant Mts.] In: Folia Forestalia Bohemica, Vol. 4. - Lesnická práce, s.r.o., Kostelec n. Černými lesy, 216 p.

Příloha. Výsledky analýzy isoenzymů *Picea abies* ze zmlazení na lokalitě TVP24

Odběry byly provedeny 4.5.2011 dle standardní metodiky laboratoře isoenzymů lesních dřevin VÚLHM Strnady. Analýzy proběhly dle běžné metodiky standardních operačních postupů. Pro zpracování dat a jejich vyhodnocení byl použit program IsoEnz (Matějka 2010b). Celkem bylo analyzováno 37 jedinců.
Mateřský porost byl v minulosti analyzován obdobně (Ivanek et al. 2009).
Pro další analýzy jsou použitelné pouze 4 lokusy s více determinovanými alelami, konkrétně se jedná o G-6-PDH, SDH-A, MDH-C a AAT-C.

Vyhodnocení alelických frekvencí a genetické divesity populace

Enzym G-6-PDH
Alelické kombinace:
12 4
22 31
Alela 1 frekvence 0.0571
Alela 2 frekvence 0.9429
Počet alel 2
Heterozygotnost 0.1143
- očekávaná 0.1078
Hardy-Weinbergova rovnováha
chi-kvadrát (1) 0.1286 P 0.2804

Enzym GDH
Alelické kombinace:
22 34
Alela 2 frekvence 1.0000
Počet alel 1

Enzym SDH-A
Alelické kombinace:
13 1
23 1
33 33
Alela 1 frekvence 0.0143
Alela 2 frekvence 0.0143
Alela 3 frekvence 0.9714
Počet alel 3
Heterozygotnost 0.0571
- očekávaná 0.0559
Hardy-Weinbergova rovnováha
chi-kvadrát (3) 0.0303 P 0.0016

Enzym PGM-A
Alelické kombinace:
22 34
Alela 2 frekvence 1.0000
Počet alel 1

Enzym MDH-B
Alelické kombinace:
22 36
Alela 2 frekvence 1.0000
Počet alel 1

Enzym MDH-C
Alelické kombinace:
22 35
23 1
Alela 2 frekvence 0.9861
Alela 3 frekvence 0.0139
Počet alel 2
Heterozygotnost 0.0278
- očekávaná 0.0274
Hardy-Weinbergova rovnováha
chi-kvadrát (1) 0.0071 P 0.0675

Enzym IDH-B
Alelické kombinace:
22 35
Alela 2 frekvence 1.0000
Počet alel 1

Enzym AAT-A
Alelické kombinace:
22 37
Počet jedinců 37
Alela 2 frekvence 1.0000
Počet alel 1

Enzym AAT-B
Alelické kombinace:
22 37
Počet jedinců 37
Alela 2 frekvence 1.0000
Počet alel 1

Enzym AAT-C
Alelické kombinace:
11 10
12 11
22 13
Alela 1 frekvence 0.4559
Alela 2 frekvence 0.5441
Počet alel 2
Heterozygotnost 0.3235
- očekávaná 0.4961
Hardy-Weinbergova rovnováha
chi-kvadrát (1) 4.1143 P 0.9574