

# ANALÝZA DOPADOV ZNEČISTENIA OVZDUŠIA NA GENOFOND SMREKA OBYČAJNÉHO

ROMAN LONGAUER, DUŠAN GÖMÖRY, MARIÁN PACALAJ

---

## Úvod

Pri lesných drevinách množstvo prác poukazuje na genetické predispozície náchylnosti k pôsobeniu abiotických škodlivých činiteľov, patogénov a parazitov. Aj v oblastiach silne ovplyvnených znečistením ovzdušia síce dochádza k pomerne rýchlemu rozpadu lesných porastov, vyskytujú sa však v nich nielen chradnúce, ale aj relatívne vitálne, k znečisteniu tolerantnejšie jedince.

V našej práci sme sa pokúsili zodpovedať otázku významu dedičnej predispozície náchylnosti a tolerance ku komplexu zmien lesného prostredia vplyvom znečistenia ovzdušia pri drevine smrek v oblasti stredného Spiša a na Kysuciach.

## Materiál

Vzťah medzi genetických faktorov a vitalitou resp. chradnutím dospelého smreka sme hodnotili v lesných porastoch stredného Spiša. K ich pomerne zlému zdravotnému stavu okrem iných činiteľov stále prispievajú, okrem iného, aj nepriaznivé zmeny chemických vlastností pôd depozíciou znečisťujúcich látok z hutníckej výroby v minulosti. Počas inverzných klimatických situácií sú to však aj emisie zo Spišskej kotliny a cezhraničné znečistenie ovzdušia. Poškodené porasty, v ktorých sme vybrali vitálne a chradnúce vzorníky smreka, sa nachádzajú v Mestských lesoch Spišská Nová Ves v nadmorskej výške 600-1,000 m, v 5. až 7. lvs kyslého ekologického radu, slt *Fageto-Abietum* a *Fagetum abietino-piceosum* n.s. a v.s. Expozícia je V, SV a SZ.

Úlohu dedičných predispozícií na žltnutí smrekových zmladení a kultúr sme analyzovali na Kysuciach (lokality Čadečka, Oščadnica a Stará Bystrica). Popri komplexe problémov súvisiacich so zmenou drevinového zloženia prispieva k chradnutiu smrekových porastov na týchto lokalitách cezhraničné znečistenie ovzdušia zo Sliezskej priemyselnej aglomerácie. Nami analyzované porasty sa nachádzajú v nadmorskej výške 600-1,050 m n. m. v 4. a 6. lvs prechodného ekologického radu A/B slt *Fageto-abietum* a kyslého radu slt. *Fagetum abietino-piceosum*. Materským substrátom sú flyšové série. Expozícia je SZ a Z.

## Metodika

V dvoch dospelých smrekových porastoch (silne a stredne poškodenom) sme vybrali 115 párov susediacich dospelých stromov s kontrastnou vitalitou: jeden z nich bol chradnúci (senzitívny) a druhý vitálny (strestolerantný). V žltných smrekových zmladeniach a kultúrach sme podobným párovým výberom vybrali 50 párov jedincov s kontrastnou vitalitou a sfarbením ihličia. Párový výber sme použili preto, aby sa mohol vylúčiť vplyv mikrostanovištných rozdielov na vitalitu chradnúcich a tolerantných jedincov.

**Tabuľka 1. Kritériá selekcie tolerantných a senzitivných jedincov smreka v imisiami poškodených porastoch**

	<b>Stromy v dospelých porastoch</b>	<b>Jedince v prirodzenom zmladení</b>
<b>Senzitívne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redukovaný prírastok v posledných 10 rokoch</li> <li>• Vysoký stupeň defoliácie (2+) a žltnutia ihličia</li> <li>• Bez príznakov napadnutia podkôrnym hmyzom, hubovou infekciou</li> <li>• Bez akéhokoľvek mechanického poškodenia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Žltozelené chlorotické sfarbenie, krátke ihlice</li> <li>• Redukované prírastky</li> </ul>
<b>Tolerantné</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viditeľné prírastky terminálu aj bočných vetiev</li> <li>• Husté, veľké koruny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Husté, zelené ihličie</li> <li>• Normálne prírastky terminálu aj bočných vetiev</li> </ul>

Z každého jedinca sa odobrali vzorky pletív na genetickú analýzu. Pomocou izoenzymových genetických markérov sa určil genotyp každého jedinca v 22 génových lokusoch (Génový lokus = miesto na reťazci DNA, na ktorom sa nachádza kódujúca sekvencia určitej vlastnosti alebo znaku. V našom prípade úsekov sme analyzovali lokusy kontrolujúce syntézu enzýmov, podieľajúcich sa na procesoch primárneho a sekundárneho metabolizmu).

Pre každý dospelý porast a žltnúce zmladenia sa z jednotlivých genotypov vypočítali alelické a genotypové frekvencie skupín tolerantných a chradnúcich jedincov. Rozdiely alelických a genotypových frekvencií medzi skupinami sa testovali pravdepodobnostným testom RAYMONDA a ROUSSETA (1995). Z genotypov jednotlivých stromov sme vypočítali aj súborné charakteristiky genetickej diverzity: priemerný počet alel na lokus, podiel polymorfných lokusov, pozorovaná a očakávaná heterozygotnosť.

## Výsledky

- 1) Vo frekvencii výskytu alelických variánt génov sa medzi tolerantnými a chradnúcimi jedincami rozdiely prejavili len v zmladeniach postihnutých žltnutím (v 3 z 15 analyzovaných lokusov). V dospelých porastoch rozdiel pozorovaný nebol.
- 2) Pri genotypovej štruktúre, odrážajúcej usporiadanie alel v diploidnom genóme smreka, sa odchýlky od rovnovážneho stavu prejavili vo viacerých lokusoch tak v dospelých porastoch, ako aj v zmladeniach. V silne poškodenom poraste to bola redukcia homozygótov v skupine stres tolerantných aj chradnúcich jedincov. V stredne poškodenom poraste redukcia homozygótov v skupine chradnúcich jedincov. V žltných zmladeniach boli prítomné odchýlky obidvoma smermi, prevládal však nadbytok heterozygótov v skupine tolerantných (vitálnych) jedincov.
- 3) Skupiny tolerantných a chradnúcich jedincov sa odlišovali aj v heterozygotnosti: V dospelom silne poškodenom poraste boli rozdiely nájdené v 5, v stredne poškodenom v 3 a v žltných zmladeniach v 3 lokusoch.
- 4) Rozdiely medzi tolerantnými a chradnúcimi jedincami boli najvýraznejšie v genetickej diverzite. Vykázali jednoznačný trend: vyššou genetickou diverzitou sa vyznačovali chradnúce jedince. V oboch dospelých porastoch (silne a stredne poškodenom) a žltných zmladeniach sa chradnúce jedince vyznačovali vyšším priemerným a vyšším celkovým počtom alel. V silne poškodenom dospelom poraste a žltných zmladeniach sa v chradnúcich jedincoch zistil aj vyšší podiel polymorfných lokusov.

**Tabuľka 2. Genetické charakteristiky súborov tolerantných a chradnúcich jedincov smreka v imisne poškodených porastoch**

Drevina/typ porastu		<i>N</i>	<i>N<sub>a</sub></i> <sup>1</sup>	<i>PP</i>	<i>H<sub>o</sub></i> <sup>1</sup>	<i>H<sub>E</sub></i> <sup>1</sup>
Silne poškodený dospelý porast 85-100 r.	Tolerantné	44	2,3 (0,2)	72,7	0,131 (0,037)	0,132 (0,036)
	Senzitívne	44	2,6 (0,2)	95,5	0,150 (0,036)	0,148 (0,034)
Stredne poškodený porast dospelý porast 95 r.	Tolerantné	69	2,3 (0,2)	81,8	0,120 (0,034)	0,124 (0,035)
	Senzitívne	63	2,5 (0,2)	81,8	0,137 (0,035)	0,137 (0,035)
Žltnúce zmladenia a kultúry 5-15 r.	Zdravé	50	2,1 (0,2)	67,7	0,172 (0,044)	0,189 (0,045)
	Žltnúce	50	2,2 (0,2)	67,7	0,156 (0,040)	0,185 (0,048)

*N* – veľkosť vzorky, *N<sub>a</sub>* – priemerný počet alel na lokus, *PP* – podiel polymorfných lokusov, *H<sub>o</sub>* – priemerná pozorovaná heterozygotnosť, *H<sub>E</sub>* – priemerná očakávaná heterozygotnosť, <sup>1</sup> – smerodajná odchýlka uvedená v zátvorke

## Závery

Získané výsledky jednoznačne poukazujú na existenciu genetickej predispozície tolerance resp. citlivosti na pôsobenie komplexu stresov súvisiacich so znečistením ovzdušia. Pri smreku na tento jav poukazuje viacero publikovaných prác, najmä z Nemecka (prehľad vid'. MÜLLER-STARCK, 1995). Dokázaná je tiež existencia selekcie indukovanej dlhodobým znečistením ovzdušia. Vyplýva z toho, že v exponovaných lesných porastoch nie je postup chradnutia resp. odumierania smreka úplne náhodný, dlhšie prežívajú tie jedince, ktorých genetická konštitúcia zabezpečuje úspešnejšie prežitie na nepriaznivých stanovištiach. V našom prípade sa to pri porovnaní tolerantných a chradnúcich jedincov prejavilo štatisticky významnými odchýlkami ich genetických parametrov od alelických a genotypových frekvencií cez heterozygotnosť po celkovú genetickú diverzitu.

Závažným zistením je, že v dôsledku selekcie indukovanej priamo znečisťujúcimi látkami a nepriamo zmenami stanovištných podmienok, sa postupne redukuje genetická variabilita. Chradnúce jedince, ktoré ak sa dožijú dospelosti, sa reprodukcie zúčastňujú v len obmedzenom rozsahu. Tak sa stráca časť genofondu potenciálne dôležitá pre adaptáciu nových generácií lesa k zmenám ekologických podmienok v budúcnosti.

Pri porovnaní viacerých drevín (smrek, jedľa, buk, LONGAUER a kol., 2001) sa selekcia vplyvom znečistenia ovzdušia prejavila pri smreku výraznejšie, než pri jedli alebo buku. Nepochybne k tomu prispieva jeho plytký koreňový systém, ktorý je zmenou chemizmu pôdy v dôsledku depozície znečisťujúcich látok ovplyvnený skôr a intenzívnejšie, než koreňové systémy hlbšie koreniaceho drevín.

## Praktické doporučenia

Výsledky porovnania genetickej štruktúry tolerantných a chradnúcich jedincov smreka dokazujú, v zhode s podobnými analýzami v zahraničí, genetickú podmienenosť tolerance ku komplexu škodlivých činiteľov súvisiacich s dlhodobým pôsobením znečistenia ovzdušia. Je dôležité pripomenúť, že tento záver sa vzťahuje na porasty, v ktorých prvotnou príčinou oslabenia prejavujúceho sa žltnutím nie sú ochorenia hubového pôvodu, hmyzí škodcovia, nešetrná výchova a obnova.

Získané poznatky o dedičnej predispozícii k citlivosti resp. odolnosti k pôsobeniu znečistenia ovzdušia je pri drevine smrek možné a nutné zohľadniť v projektoch ozdravných opatrení v imisiami poškodených lesov. Použitie generatívneho a vegetatívne množeného reprodukčného materiálu (vid'. Harz, Krušné hory v Nemecku (SCHUBERT a kol., 2002) alebo Krkonoše (SCHWARZ, 2000) zo strestolerantných jedincov je nielen biologicky, ale aj ekonomicky naje-

fektívnejším spôsobom obmedzenia škôd spojených so znížením vitality porastov dlhodobo ovplyvňovaných znečistením ovzdušia.

Najmä na Kysuciach a Orave žltnutie smreka zasiahlo aj porasty, v ktorých sa táto drevina vyskytuje prirodzene. Faktory prispievajúce k žltnutiu a chradnutiu smreka ktorými sú aj znečistenie ovzdušia zo susedného Sliezska, depozícia znečisťujúcich látok zhoršujúca pôdne vlastnosti, vysoké koncentrácie fotooxidantov (ozónu) a klimatické extrémny, budú na severozápadnom Slovensku s vysokou pravdepodobnosťou pôsobiť aj v budúcnosti.

Pre umelú obnovu smreka doporučujeme používať potomstvá vitálnych jedincov miestneho pôvodu, pri ktorých je predpoklad úspešnejšej adaptácie na často veľmi extrémne podmienky prostredia.

Semeno na dopestovanie reprodukčného materiálu pre umelú obnovu doporučujeme v prípade úrody semena zbierať v uznaných porastoch zasiahnutých chradnutím, resp. žltnutím. V takýchto porastoch je potrebné semeno zbierať z dopredu vyznačených vitálnych jedincov a aj za cenu zvýšených východiskových nákladov na zber pri nižšom množstve šišíek z jedného materského stromu.

Strategickým riešením bude založenie regionálneho semenného sadu smreka klonmi s preukázateľne vyššou toleranciou, a to hlavne pre oblasť severozápadného Slovenska. Riešením je tiež širšie využitie vegetatívne množeného materiálu.

Výberové stromy pre založenie semenných sadov a vegetatívne množenie bude potrebné vyselektovať v porastoch zasiahnutých žltnutím resp. chradnutím (najvýraznejšie sa tam prejavuje tolerancia vitálnych jedincov). Výber a archiváciu bude potrebné realizovať čo najskôr. Kvôli praktickej potrebe, a tiež kvôli rýchlo postupujúcemu rozpadu a predčasnej obnove porastov bez možnosti ponechať vitálne stromy ako výstavky. V obvode OZ Čadca náš terénny prieskum preukázal, že v žltnutím zasiahnutých porastoch uznaných pre zber semena sa nachádza dostatočný počet vitálnych, fenotypovo kvalitných jedincov s predpokladom vyššej tolerancie k žltnutiu, resp. stresom vyvolaným znečistením ovzdušia.

## Literatúra

- KONNERT, M., 1993. *Untersuchungen zum Einfluss genetischer Faktoren auf die Schädigung der Weißtanne*. [Výskum vplyvu genetických faktorov na chradnutie jedle bielej]. Forstwissenschaftliche Centralblatt, roč. 112, s. 20-26.
- LONGAUER, R., GÖMÖRY, D., PAULE, L., KARNOSKY, D.F., MAŇKOVSKÁ, B., MÜLLER-STARCK, G., PERCY, K., SZARO, R., 2001. *Selection effects of air pollution on gene pools of Norway spruce, European silver fir and European beech*. [Dôsledky selekcie znečistením ovzdušia na genofond smreka, jedle a buka]. *Environmental Pollution*, 115, s. 405-411.
- MÜLLER-STARCK, G., 1995a. Genetic variation under extreme environmental conditions. [Genetická variabilita v extrémnych podmienkach prostredia]. In BARADAT, PH., ADAMS, W.T., MÜLLER-STARCK, G. (eds.): *Population Genetics and Genetic Conservation of Forest Trees*. SPB Academic Publishing Amsterdam, s. 201-210.
- MÜLLER-STARCK, G., ZIEHE, M., 1992. Genetic variation in populations of *Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., and *Q. petraea* LIEBL. [Genetická variabilita buka, duba letného a zimného v Nemecku]. In MÜLLER-STARCK, G., ZIEHE, M. (eds.): *Genetic Variation in European Populations of Forest Trees*. Sauerlander's Verlag, s. 125-140.
- RADDI, S., STEFANINI, F.M., CAMUSSI, A., GIANNINI, R., 1994. *Forest decline index and genetic variability in Picea abies KARST.* [Index rozpadu porastov a genetická variabilita smreka obyčajného]. *Forest Genetics*, roč. 1, č. 1, s. 23-32.
- RIEGEL, R., SCHUBERT, R., MULLER-STARCK, G., KARNOSKY, D.F., PAULE, L., 2001. Genetic variation in two heavily polluted stands of Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST.) as indicated by nuclear and

organelle DNA markers. [Genetická variabilita v dvoch znečistením silne poškodených porastoch indikovaná nukleárnou a organelovou DNA]. In *MULLER-STARCK, G., SCHUBERT, R (eds.): Genetic Response of Forest Ecosystems to Changing Environmental Conditions*. Forestry Sciences Vol. 70., Kluwer Academic Publishers Dordrecht/Boston/London, s. 21-34.

SCHUBERT, R., MÜLLER-STARCK, G., METZGER, H.-G., RIEGEL, R., 2002. Chloroplast microsatellite markers monitoring genetic differentiation of *Picea abies* [L.] KARST. in response to air and soil pollution. [Monitoring genetickej diferenciacie *Picea abies* v dôsledku znečistenia ovzdušia a pôdy pomocou chloroplastových mikrosatelitových markérov]. In *MANKOVSKÁ, B. (ed): Long-term Air Pollution Effect on Forest Ecosystems*. 20<sup>th</sup> International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems. August 30-September 1, 2002. Book of Abstracts, p. 99.

SCHWARZ, O., 1998. *Záchrana genofondu lesných drevín*. Správa Krkonošského národného parku. Ročenka, 1998.s. 52-54.

*Kontaktné adresy:*

**Ing. Roman LONGAUER, CSc.**

**Doc. Ing. Dušan GÖMÖRY, CSc.<sup>1</sup>**

**Ing. Marián PACALAJ**

Lesnícky výskumný ústav Zvolen

T. G. Masaryka 22

960 92 Zvolen

*e-mail:* <lonagauer@fris.sk>

<sup>1</sup> Technická univerzita

Lesnícka fakulta

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen