



**Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR  
InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018**

# GENETIKA A LES

V Českej republike dlhodobo prevláda umelá obnova lesov. Bude to aj naďalej kvôli pretrvávajúcim problémom s odumieraním porastov/drevín, rastúcej sile a frekvencii klimatických extrémov.

Genetická kvalita a správne použitie reprodukčného materiálu do veľkej miery predurčuje produkčnú schopnosť a stabilitu lesov.

Dodržovaním „technologickkej disciplíny“ pri získavaní a používaní reprodukčného materiálu sa dá veľa získať – vid' ďalej.

**Dôsledky použitia reprodukčného materiálu z nekvalitného zdroja alebo nevhodného prenosu reprodukčného materiálu:**

- straty na produkcii,
- oslabenie ekologickej stability porastov,
- Zvýšené náklady na ochranu príp. až predčasnú obnovu porastov.

## Genetické faktory ovplyvňujúce rast a kvalitu lesných drevín:

- 1) **Vysoká dedivosť ekologicky a ekonomicky významných znakov** ako je rast, tvar kmeňa a koruny, typ vetvenia, kvalita dreva, vegetatívna fenológia.
- 2) **Dedičná podmienenosť reakcie drevín resp. ich reprodukčného materiálu získaného v rôznych zdrojových populáciách** na prenos a zmenu stanovištných podmienok.

Význam genetickej kvality lesného reprodukčného materiálu sa zväčšuje s rastúcou intenzitou **dopadov škodlivých činiteľov a klimatických zmien na lesy >>>** a nutnosťou adaptačných opatrení / rekonštrukcií lesných porastov.

# System pre lesný reprodukčný materiál

Ako jedna z mála súčastí lesníctva je problematika RM regulovaná na medzinárodnej úrovni. Deje sa to prostredníctvom Schémy OECD a Smernice Európskeho spoločenstva. Účel:

- Posilnenie záruk pravosti lesného reprodukčného materiálu.
- Garancia minimálnej kvality zdroja prostredníctvom kategorizácie LRM
- Zabezpečenie informácií o prírodných podmienkach v mieste pôvodu zdrojovej populácie prostredníctvom vytýčenia semenárskych oblastí

Nepriamo sa podporuje využívanie kvalitných zdrojov lesného reprodukčného materiálu, ako aj výsledkov selekcie a šľachtenia.

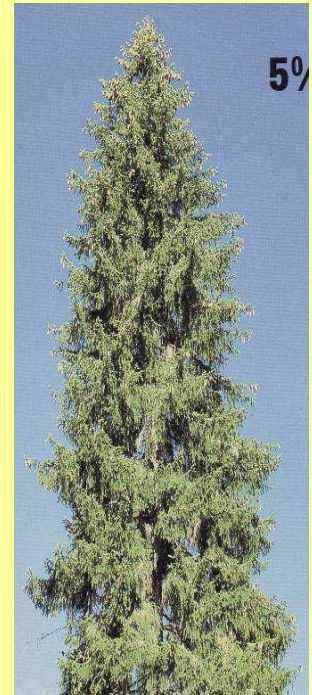
Nereguluje sa používanie reprodukčného materiálu, možné na národnej úrovni.

Odhadovaný príspevok systému – bez šľachtenia - je +5 až 10 % hodnoty produkcie lesných porastov (TANZ et al. 2001)

# A. Kvalita zdroja reprodukčného materiálu

Príčinou jej mimoriadne veľkého významu je vysoká **dedivosť** – miera prenosu z rodičov na potomstvo – ekonomicky a ekologicky významných vlastností lesných drevín, ako sú:

- **Rýchlosť** rastu a jeho dynamika.
- **Vnější fenotypové znaky**: krivosť, točitosť, typ vetvenia, tvar koruny, vidličnatý rast, hrúbka a uhol vetiev.
- **Kvalita dreva**: hustota a zloženie, podiel jadra.
- **Tolerancia** voči abiotickému stresu, **náchylnosť/odolnosť** voči chorobám, atraktivita pre škodcov a parazitov, mrazuvzdornosť.
- **Fenológia**: začiatok a ukončenie rastu / vegetácie, priebeh kvitnutia a plodenia.



## Vplyv proveniencie / prenosu lesného reprodukčného materiálu na rast, prežívanie a zásobu založeného lesného porastu

A) Rozdiely v raste, prežívaní a produkcii 11 slovenských proveniencií smreka na sérii plôch založených v rôznych nadmorských výškach. Vek 45 rokov.

Rozdiely medzi najlepšimi a najhoršími provenienciami:	Nadmorská výška pokusných plôch		
	450 m	750 m	1 250 m
- v strednej výške v m a v %	20,8–22,3 +7 %	24,3–25,8 +6 %	15,8–19,0 <b>20 %</b>
- v objeme str. kmeňa v m <sup>3</sup> a v %	0,41–0,50 24 %	0,55–0,67 21 %	0,32–0,45 <b>44 %</b>
- v jednotkovej zásobe na provenienciu v m <sup>3</sup>	25–35 <b>39 %</b>	14–28 <b>96 %</b>	12–21 <b>73 %</b>

Na základe poznatkov o dedivosti, **efekt kvality zdroja reprodukčného** materiálu meraný zlepšením alebo zhoršením sortimentovej štruktúry, odhadujem na **10-30 %** **očakávanej hodnoty lesných porastov.**

- Vidličnatosť, točitosť alebo trhliny kmeňa môžu byť p...  
materských stromov, ktoré sú nositeľmi tohto znaku...  
dedivosti sa získala z voľnoopelených potomstiev.
- Nežiadúce vlastnosti sa v potomstve nekvalitných porastov často kumulujú - efekt sčítovania resp. až násobenia defektov.

Reprodukčný materiál z nekvalitného zdroja vlastníkovi už v momente výsadby významne znižuje výnos zo zakladaného lesného porastu.

*Príkladom sú zbery bukvice zbieranej pod netvárnymi, ale bohato plodiacimi bukmi v Holandsku exportované do celej západnej Európy (Tulstrup 1959).*





## **B. Vplyv prenosu reprodukčného materiálu**

**Na produkciu a stabilitu lesných porastov má prenos reprodukčného materiálu rovnaký vplyv ako kvalita zdroja.**

**Provenienčné pokusy** slúžia na identifikáciu dobre rastúcich a adaptovaných zdrojov reprodukčného materiálu pre umelú obnovu lesa.

Dôvod zakladania: Katastrofálne skúsenosti s používaním semien neznámeho pôvodu pre zalesňovanie. Medzinárodný obchod so semenom ihličnanov a dubov v Európe od 17. st.

**Provenienčný výskum poskytuje najvýznamnejší experimentálny dôkaz o vzťahoch medzi stromami (genotypmi) a prostredím**

## Vplyv proveniencie / prenosu lesného reprodukčného materiálu na rast, prežívanie a zásobu založeného lesného porastu

A) Rozdiely v raste, prežívaní a produkcii 11 slovenských proveniencií smreka na sérii plôch založených v rôznych nadmorských výškach. Vek 45 rokov.

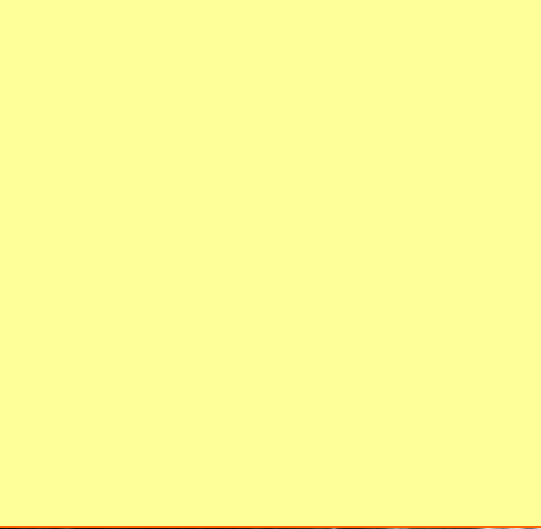
Rozdiely medzi najlepšimi a najhoršími provenienciami:	Nadmorská výška pokusných plôch		
	450 m	750 m	1 250 m
- v strednej výške v m a v %	20,8–22,3 +7 %	24,3–25,8 +6 %	15,8–19,0 <b>20 %</b>
- v objeme str. kmeňa v m <sup>3</sup> a v %	0,41–0,50 24 %	0,55–0,67 21 %	0,32–0,45 <b>44 %</b>
- v jednotkovej zásobe na provenienciu v m <sup>3</sup>	25–35 <b>39 %</b>	14–28 <b>96 %</b>	12–21 <b>73 %</b>

B) Rozdiely v raste, prežívaní a produkcii západokarpatských proveniencií buka, duba a jedle. Plochy Kováčová – Bieň s 19 provenienciami BK, Tríbeč s 25 prov. DBZ a Dubová s 30 provenienciami JD. Vek 30–33 rokov.

Rozdiely medzi najlepšimi a najhoršími provenienciami:	Drevina		
	Buk lesný	Dub zimný	Jedľa biela
- v strednej výške v metroch a v %	10,2–12,3 20 %	9,7–11,5 18 %	10,9–13,5 24 %
- v objeme str. kmeňa v m <sup>3</sup> a v %	–	0,05 - 0,8 <b>64 %</b>	0,09–0,17 <b>88 %</b>
- v jednotkovej zásobe na provenienciu v m <sup>3</sup> a v %	–	1.5– 4,5 <b>196 %</b>	4–11,5 <b>181 %</b>

V pokuse Cieslara z r. 1905 boli medzi stredoeurópskymi provenienciami vo veku 100 rokov dvojnásobné – t.j. 100 % rozdiely v podieli kvalitatívnych sortimentov A, B a C (Geburek 2005).

Dva pokusy so smrekovcom (Weisgerber, Šindelář, 1992) ukázali veľké rozdiely v raste, tvare kmeňa a náchylnosti na rakovinu *Trichoscyphella willkommii*.



# **System pre reprodukčný materiál -ZÁVER**

- **Genetická kvalita lesného reprodukčného materiálu je jednorazovým a často rozhodujúcim vkladom do produkčného cyklu.**
- Cena lesného reprodukčného materiálu je malým zlomkom celkových výrobných nákladov lesného hospodárstva.
- Do genetickej kvality RM sa oplatí investovať: **Narozdiel od pestovania a ochrany lesov nevyžaduje ďalšie náklady.**

# Šľachtenie lesných drevín

## Vývoj šľachtenia lesných drevín

- Želal by som si, aby som sám, alebo niekto iný, mal to šťastie získať hybridy drevín, ktoré budú potrebovať na svoj plný rast o polovicu kratší čas než divorastúce stromy.

*(J.G.Kölreuter, 1765)*

- Na všetkých lesníckych školách treba hybridizáciu preberať na prednáškach a tak vložiť do vnímavej, fantáziou obdarenej mysle mládeže zárodok na väčšie výskumy a činy.

*(R. Geschwind, 1865)*

- Šľachtenie lesných drevín je jednoduchý postup, ktorý sa stáva komplikovaným en vtedy, ak chceme **šľachtenie robiť efektívnejšie.** *(R. Campbel, 1976)*

# Vývoj šľachtenia lesných drevín

Prečo je šľachtenie lesných drevín **komplikované**?

- Dlhoveké dreviny
- Veľkorozmerné dreviny
- Reprodukčná a produkčná doba sú časovo vzdialené
- Šľachtenie pre neznámu a neistú budúcnosť
- Pri šľachtení poľnohospodárskych plodín, počítame generácie a genetický zisk v porovnaní so šľachteným materiálom, u lesných drevín, okrem niekoľkých výnimiek, v porovnaní s divým materiálom

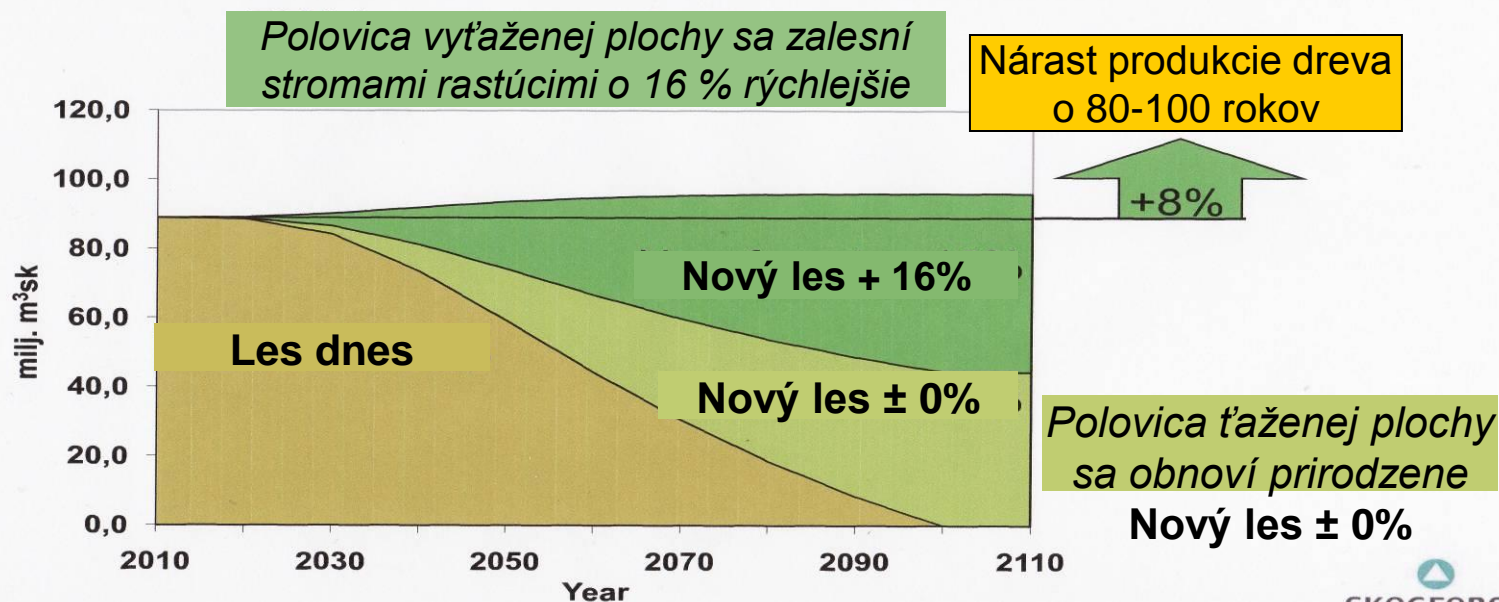


# Rola šľachtenia lesných drevín

- Nadväzuje na uplatnenie umelej obnovy
- Kompromis vo filozofii lesníctva resp. péči o les:  
maximálne výnosy vs maximálna stabilita
- **Chceme šľachtenie alebo nie?**

**Lesníctvo je pomalý systém.** Príčinou je dlhovekosť lesných drevín. Šľachtiteľské programy lesných drevín pokročili najďalej do 3. generácie. Bežne sa využíva 1. a 2. generácia semenných sádov, rodičov potomstiev a klonov.

## Les je pomaly sa vyvíjajúci systém



# Prínosy selekcie a šľachtenia lesných drevín

Hlavnými zdrojmi lesného reprodukčného materiálu u nás sú uznané porasty na zber semena (85%), nasledované semennými sadmi (15%) a klonmi (< 1%).

Realizované prínosy selekcie a šľachtenia kvantifikované prostredníctvom genetického zisku:

	Bežné zdroje LRM			Produkty intenzívneho šľachtenia	
	Uznané porasty	Sem. sady 1. generácie	Sem. sady 1,5 generácie s otestovanými klonmi.	Vegetatívne množenie najlepších otestovaných klonov	Umelé kríženie otestovaných klonov a vegetatívne množenie ich potomstva
Eliminácia inbreedingu	0	+ 2 %	+ 2 %	+3 %	+3 %
Selekcia	+ 3 %	+ 8 %	+ 23 %	27 %	27 %
Kontaminácia z pozadia	0–1,5 %	0–4 %	0–8 %	0	0
Dodatočné náklady na LRM	0	0	–3 %	– 5 %	–5 %
<b>Celkový <math>\Delta G</math></b>	<b>3 až 5 %</b>	<b>6 až 10 %</b>	<b>17 až 23 %</b>	<b>25 %</b>	<b>35 %</b>



## Využitie šľachtenia lesných drevín v zahraničí

### **Švédsko, Fínsko:**

Systematická pozornosť selekcii zdrojov a šľachteniu lesných drevín.

Semenné sady sú hlavným zdrojom LRM.

Od r. 2010 sady 1.5 a 2. generácie s  $\Delta G$  16 %.

Dlhodobý prínos šľachtenia na produkciu švédskych lesov je 8%.

### **Veľká Británia, Írsko:**

Zalesňovanie spustnutých pozemkov smrekom sitkanským a duglaskou.

Intenzívna produkcia na 1–1.3 mil. ha porastov.

Výberové stromy >>> hybridizácia >>> testovanie.

Rodičia potomstiev >>> vegetat. množenie kontr. potomstiev

Dlhodobý prínos šľachtenia je 10–25 %.

## Využitie šľachtenia lesných drevín v zahraničí

### USA:

Budovanie semenných sádov borovice (južné štáty) a duglasky (západné pobrežie) od 50. rokov.

Jeden cyklus (selekcia, testovanie) trvá 20 rokov.

Od r. 1990 sady 1,5. a 2. generácie s  $\Delta G$  18–23 %.

**V súčasnosti vstupujú do produkcie sady 3. generácie s  $\Delta G$  25–30 %.**

Hromadné kontrolované kríženie elitných jedincov na ktoré nadväzuje vegetívne množenie hybridov somatickou embryogenézou  $\Delta G$  35 %.

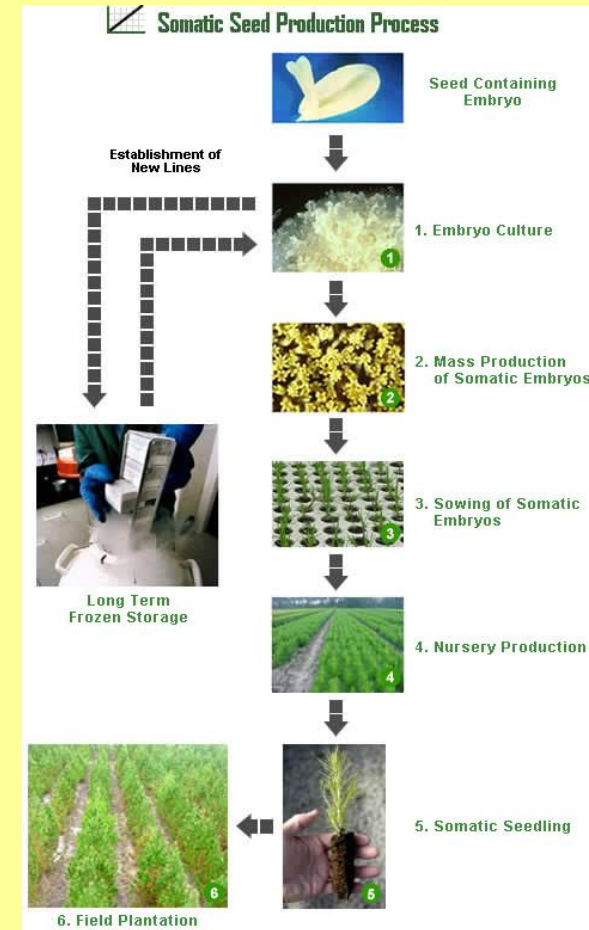
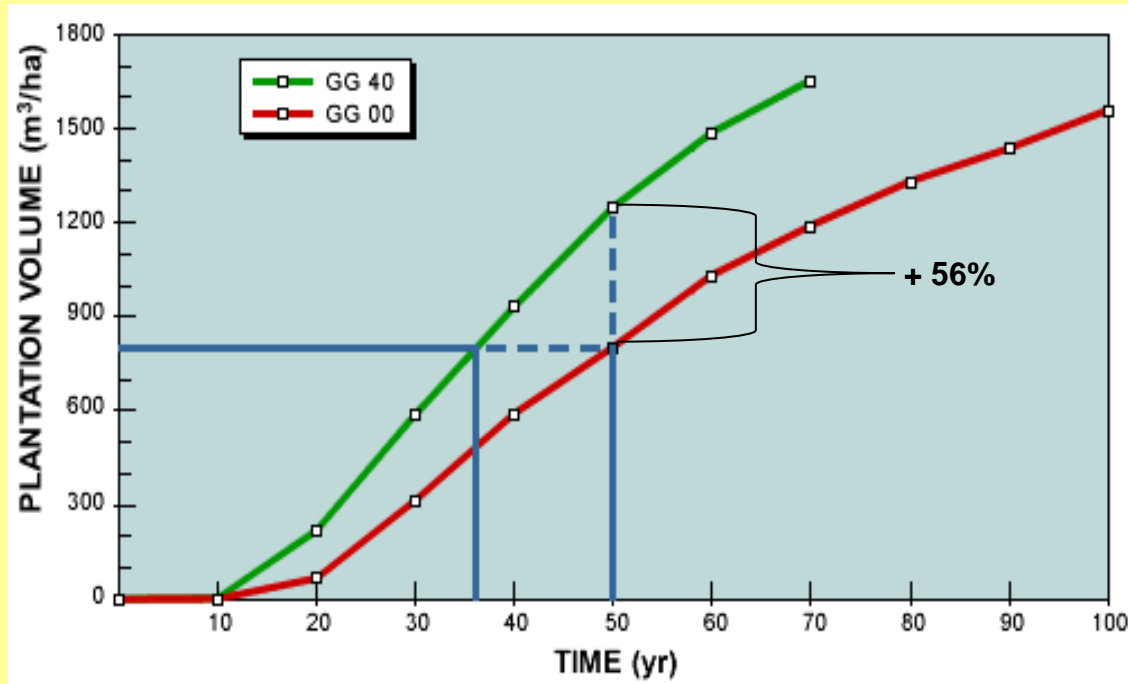
ArborGen: odhad 30 mil. šľachtených sadeníc borovíc ročne.

# Využitie šľachtenia lesných drevín v zahraničí

## Kanada

➔ Semenné sady prvej generácie: **8-13%**

➔ Od r. 1980 kombináciou hybridizácie a somatickej embryogenézy najlepších stromov: **+ 30-60%** - 10 miliónov sadeníc ročne.



# Šľachtenie na neznáme ekologické podmienky

- **Šľachtiteľská dilema:** obmedzená alebo vysoká variabilita
- **Ekologická dilema:** zmeny v druhovom zložení alebo zmeny v genetickej štruktúre
- Pre známe ekologické podmienky je šľachtiteľský cieľ jednoznačne definovaný: **maximálny výnos**  
Pre neznáme alebo neurčité ekologické podmienky nový šľachtiteľský cieľ : **vysoký adaptívny potenciál** namiesto **maximálneho výnosu**



# Porovnanie vplyvu systému pre reprodukčný materiál, selekcie a šľachtenia lesných drevín

- **Negatívny efekt dedivosti nežiadúcich fenotypových znakov: 10–30 % hodnoty porastov.**
- **Dodržovanie pravidiel prenosu - proveniencie:**  
V zahraničných aj našich pokusoch ~ **25–100 %** rozdiely v produkcii a kvalite smreka, smrekovca, duba či jedle rôzneho pôvodu. Podobne veľké rozdiely v prežívaní. Proveniencia RM teda ovplyvňuje produkciu aj ekologickú stabilitu lesa.
- **Prínos uznaných porastov:  $\Delta G$  je ~ 3 %.**
- **Prínos šľachtenia:  $\Delta G$  semenných sadov 1. generace: 7% MO, 7-12% SM a 12% BOL (5% rúst, 20% kvalita).**

# Les a antropogénne vplyvy & klimatická zmena

- Ekologické faktory s ťažko predvídateľným selekčným tlakom
  - Zmeny v podmienkach prostredia (znečistenie ovzdušia, intoxikácia pôdy)
  - Klimatické zmeny (extrémne vs. priemerné hodnoty)
  - Metódy obhospodarovania vs. ekologické podmienky

# Ako zmenené podmienky ovplyvňujú genofond?

- Selekcia v rodičovskej populácii:
  - eliminácia nevhodných materských jedincov,
  - zmeny v reprodukčnom procese.
- Selekcia v potomstve / nové generaci:
  - na základe rozdielnej životaschopnosti
  - nové kombinácie biotických a abiotických činiteľů

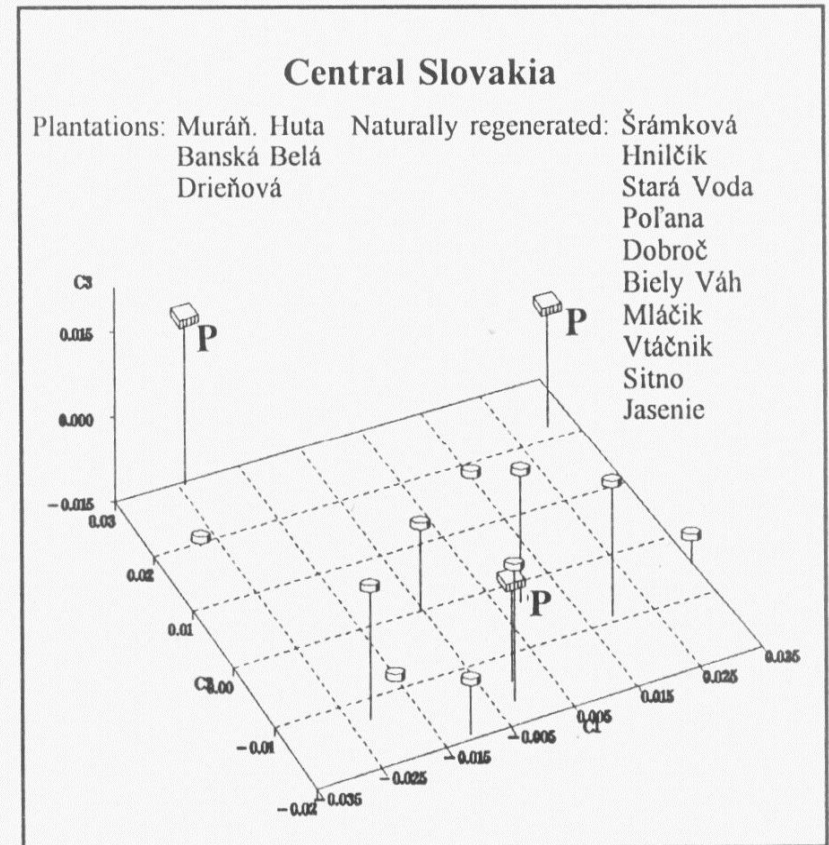
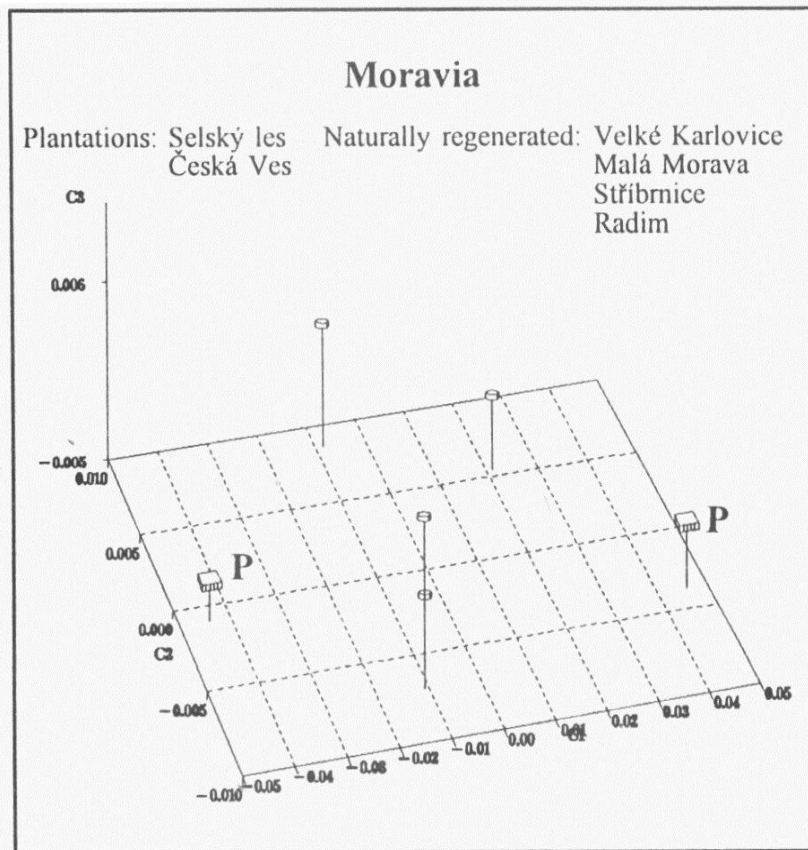
	Subset	N	N <sub>a</sub>	PP %	H <sub>o</sub>	H <sub>e</sub>
Dospelý porast Nová Bystrica	Vitálne	30	2.1 (0.1)	89	0.173 (0,04)	0.174 (0,04)
	Subvitálne	30	1.8 (0.1)	72	0.184 (0.05)	0.173 (0.04)
	Odumierajúce	30	1.9 (0.2)	72	0.150 (0.04)	0.169 (0.04)
Mladý porost Vreščovka	Vitálne	78	2.2 (0.1)	72	0.172 (0.04)	0.189 (0.05)
	Odumierajúce	78	2.3 (0.2)	72	0.156 (0.04)	0.184 (0.05)
Mladý porost skríželné	Vitálne individuals	56	2.5(0.2)	100	0.133 (0.03)	0.146 (0.05)
	Odumierajúce	56	2.3(0.2)	91	0.132 (0.03)	0.139 (0.05)



# Spôsob obnovy:

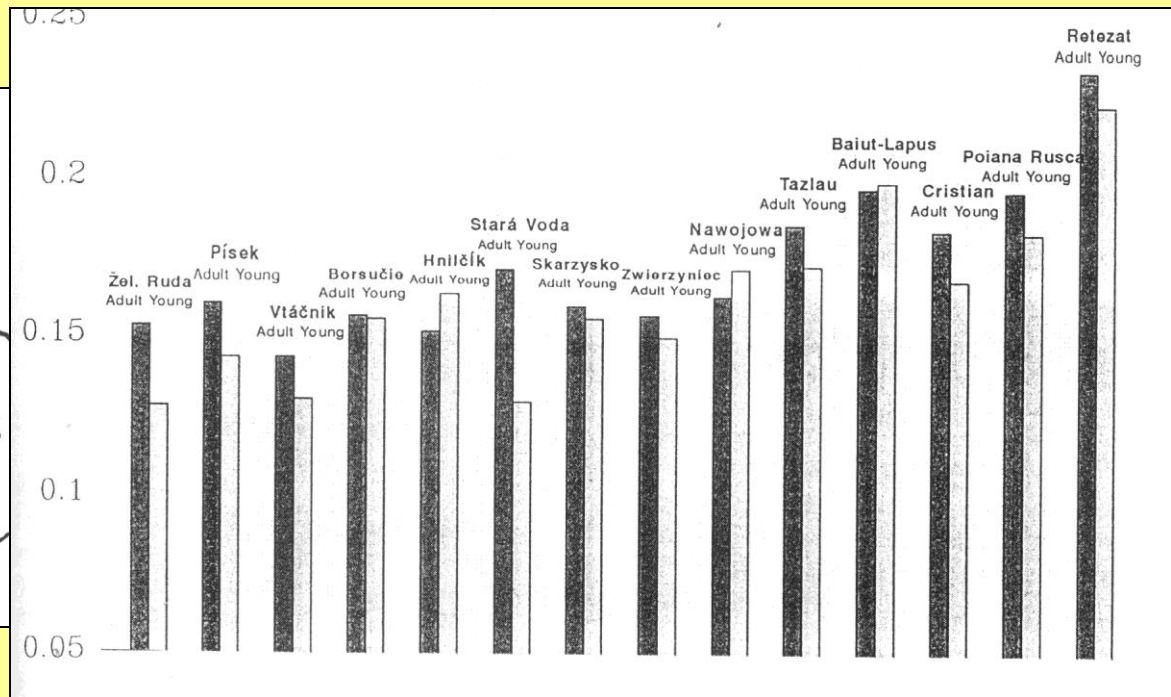
- Prirodzená alebo umelá obnova?
- **Prirodzená obnova**
  - Prirodzená obnova **zabezpečí** vyššiu genetickú diverzitu ako umelá
  - Prirodzená obnova **neumožňuje** vyššiu druhovú diverzitu ako u materského porastu
  - Prirodzená obnova **neumožňuje** vyšší genetický zisk

**Genetické štruktúry dospelých porastov jedle bielej pochádzajúcich z prirodzenej a umelej obnovy na severnej Morave a strednom Slovensku. Prvé 3 osi PCOA zobrazujú 79% rozdielov zistených analýzou variability v15 izoenzýmových lokusoch, meraných Neiiovymi genetickými vzdialenosťami.**



# Priemerné heterozygotnosti dospelých porastov jedle bielej a ich prirodzených obnov v rôznych častiach jej areálu dreviny.

Prirodzený výber uprednostňuje heterozygotnejších (variabilnejších jedincov), Longauer 1997

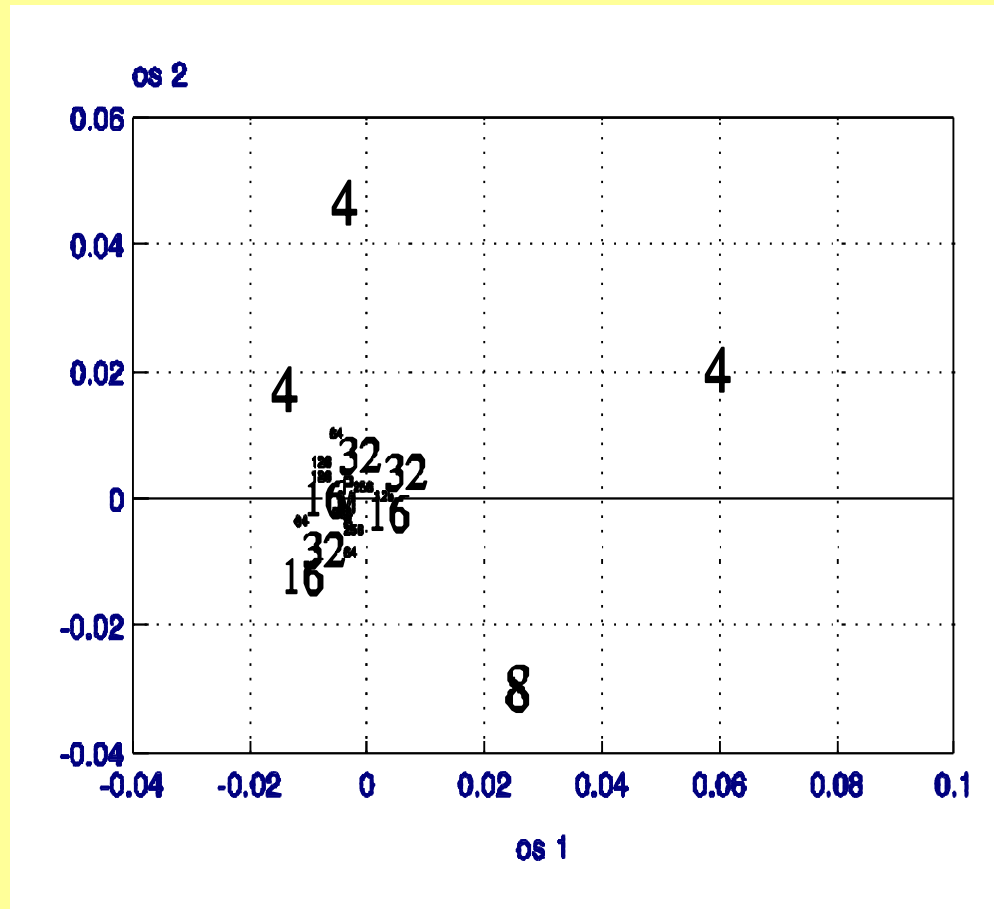


- **Umelá obova**

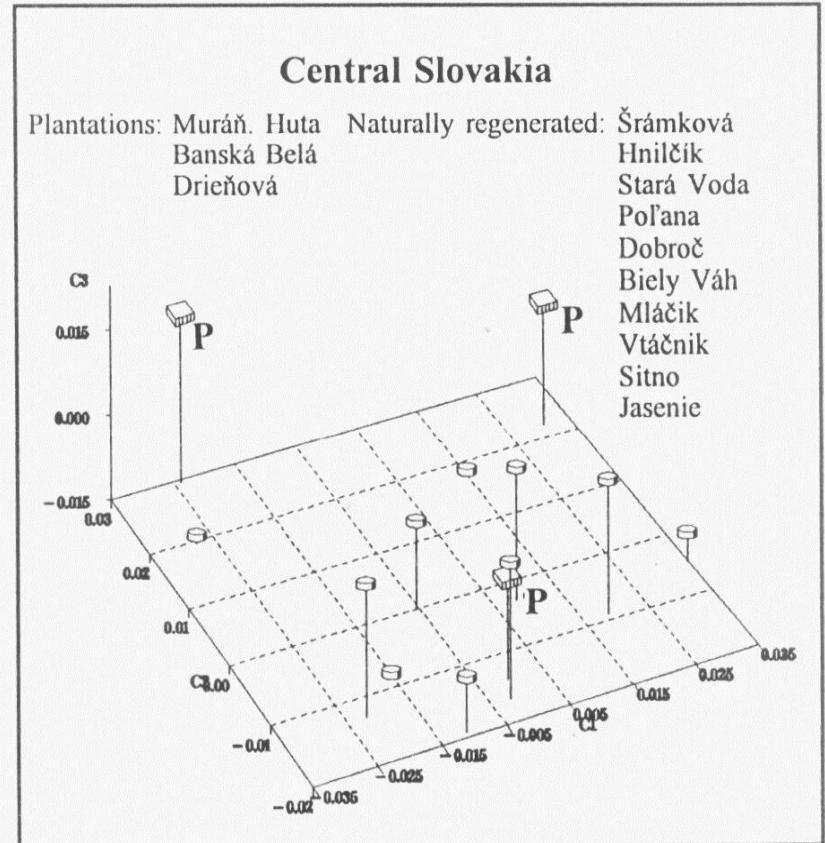
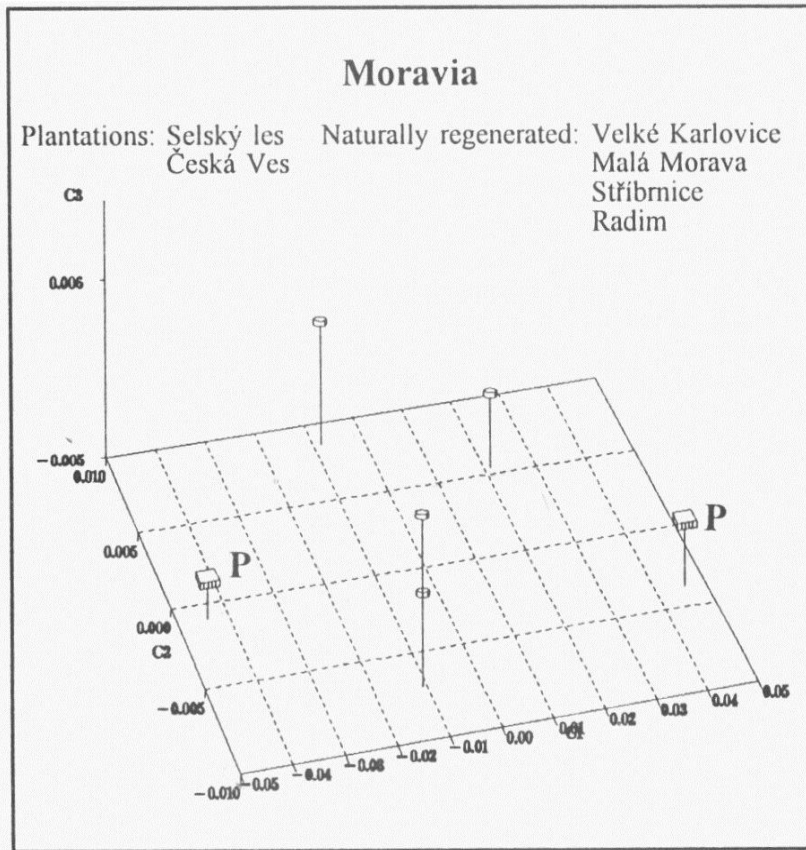
- **zabezpečí** vyššiu druhovú diverzitu ako prirodzená obnova
- **dovoľuje** úplnú a rýchlu zmenu druhového zloženia a genetickej diverzity
- použitie šľachteného materiálu = **genetický zisk**
- **na udržanie genetickej diverzity**: semeno z veľkého počtu materských stromov



Vplyv počtu stromov, z ktorých sa zbiera semeno, na odchýlku alelickej štruktúry zozbieraného semena v porovnaní s materským porastom (M). Model Gömöry a kol. 1998.



**Genetické štruktúry dospelých porastov jedle bielej pochádzajúcich z prirodzenej a umelej obnovy na severnej Morave a strednom Slovensku. Prvé 3 osi PCOA zobrazujú 79% rozdielov zistených analýzou variability v15 izoenzýmových lokusoch, meraných Neiiovymi genetickými vzdialenosťami.**

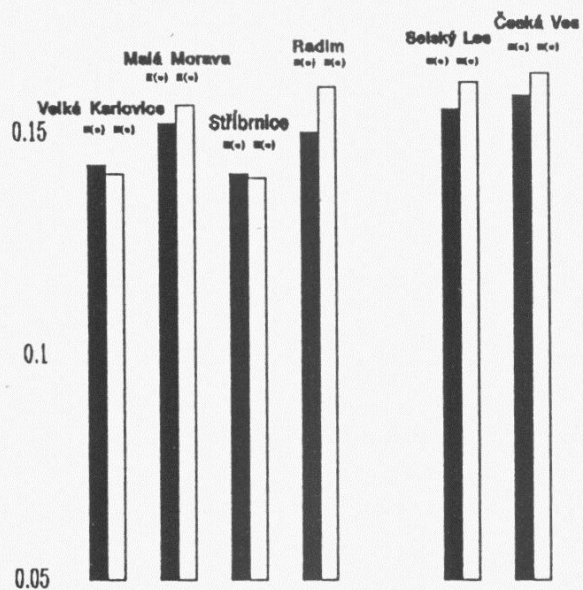


## Moravia

0.2

### Natural stands

### Cultures

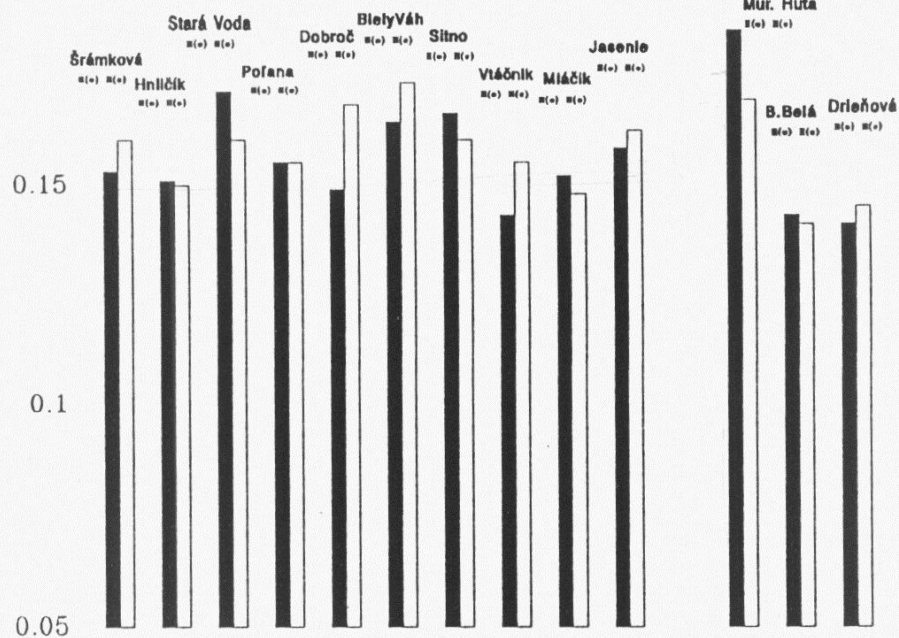


## Central Slovakia

0.2

### Natural stands

### Cultures





## **Kvitnutie a plodenie smreka a jedle v 3 porastoch počas 3-5 rokov:**

1) Stromy nekvitnú a neplodia rovnako intenzívne:

SM: 30% najplodnejších stromov vytvára 60% samčích kvetov a 80% šišíek

JD: 30% najplodnejších stromov vytvára 70% samčích kvetov a 85% šišíek

2) V rôznych rokoch opakovane kvitnú a plodia približne rovnaké stromy.

3) Skupiny najplodnejších a neplodiacich stromov sa geneticky odlišujú:

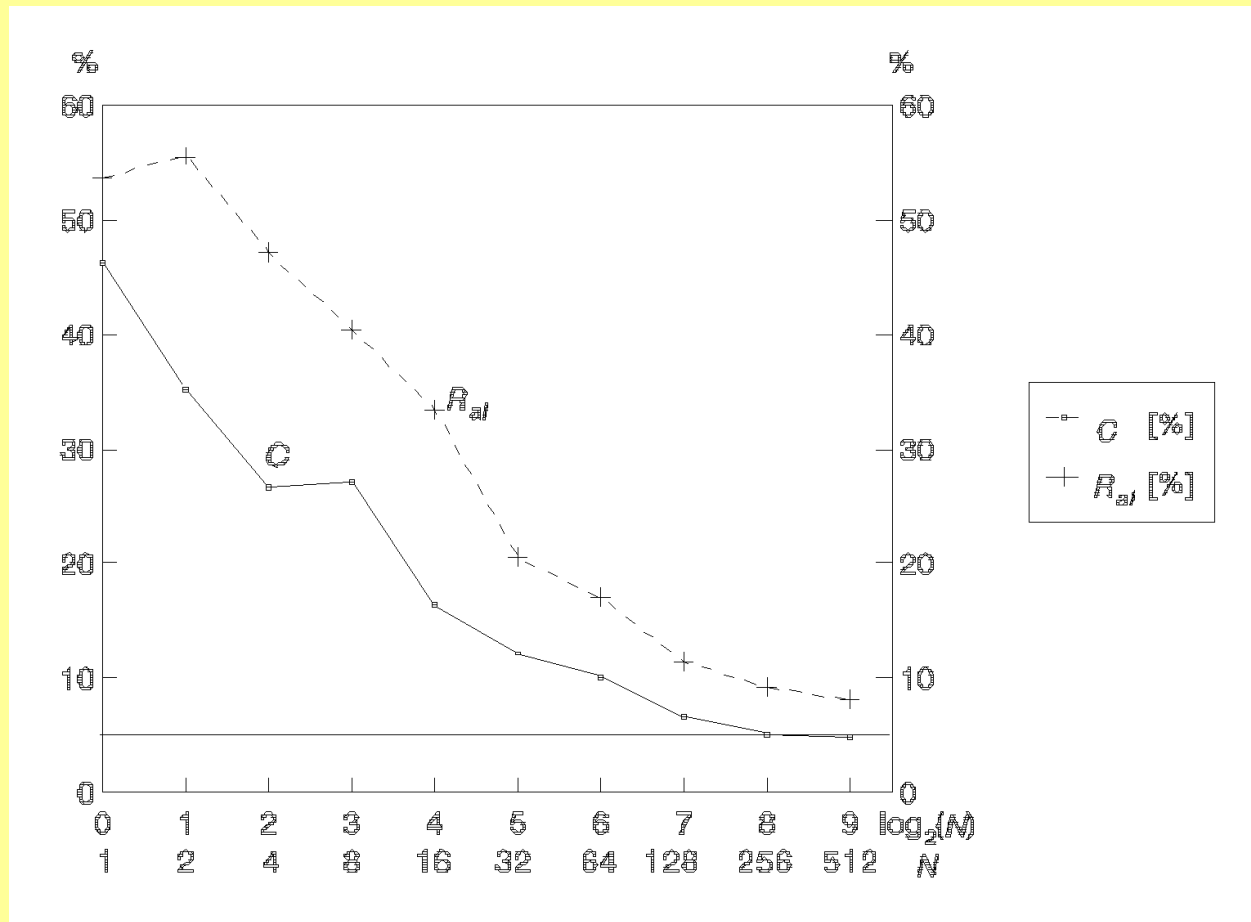
- Silne plodiace stromy sú heterozygotnejšie.

- Menej plodiace majú vyššiu genetickú diverzitu: počet alel na lokus a rovnaký alebo vyšší podiel polymorfných lokusov.

# Rola výmladnosti v prirodzenej obnove *Prunus avium*



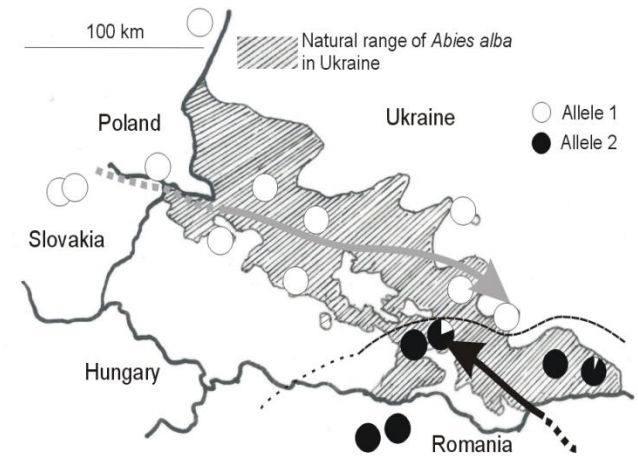
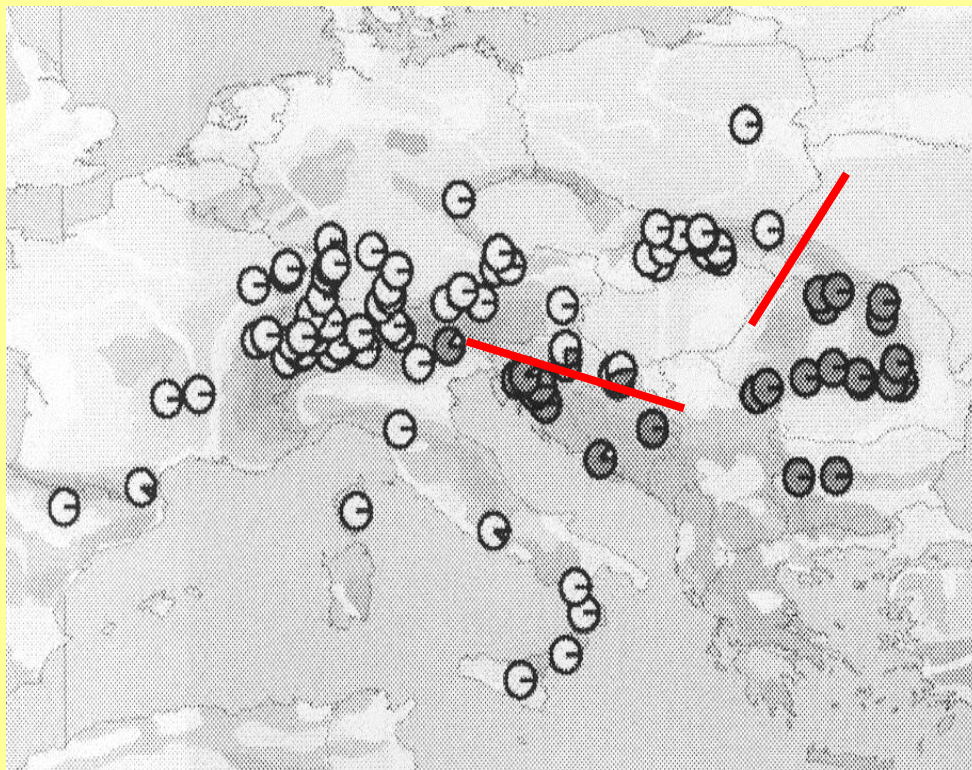
Vplyv počtu stromov, z ktorých sa zbiera semeno ( $N$ ), na zmenu alelických frekvencií ( $C$ ) a pravdepodobnosť strát zriedkavých genetických variánt ( $R_{al}$ ), čiže zmenu genetickej štruktúry a ochudobnenie genofondu zozbieraného semena.



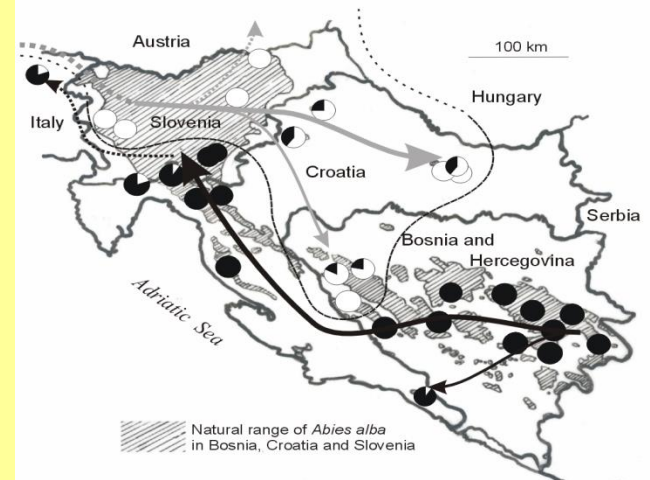
# Ako sa pripraviť?

- Provenienčný výskum sa stane **dôležitejším** než kedykoľvek predtým
  - predpovedanie reakcií na zmenu podmienok (napr. provenienčné pokusy v teplejších oblastiach)
  - provenienčné pokusy s jednotkami so známou genetickou štruktúrou
- Použitie nepôvodných proveniencií (napr. z teplejších oblastí)

# Rozšírenie odlišných haplotypov mtDNA jedle bielej a rekonštrukcia jej migračných ciest

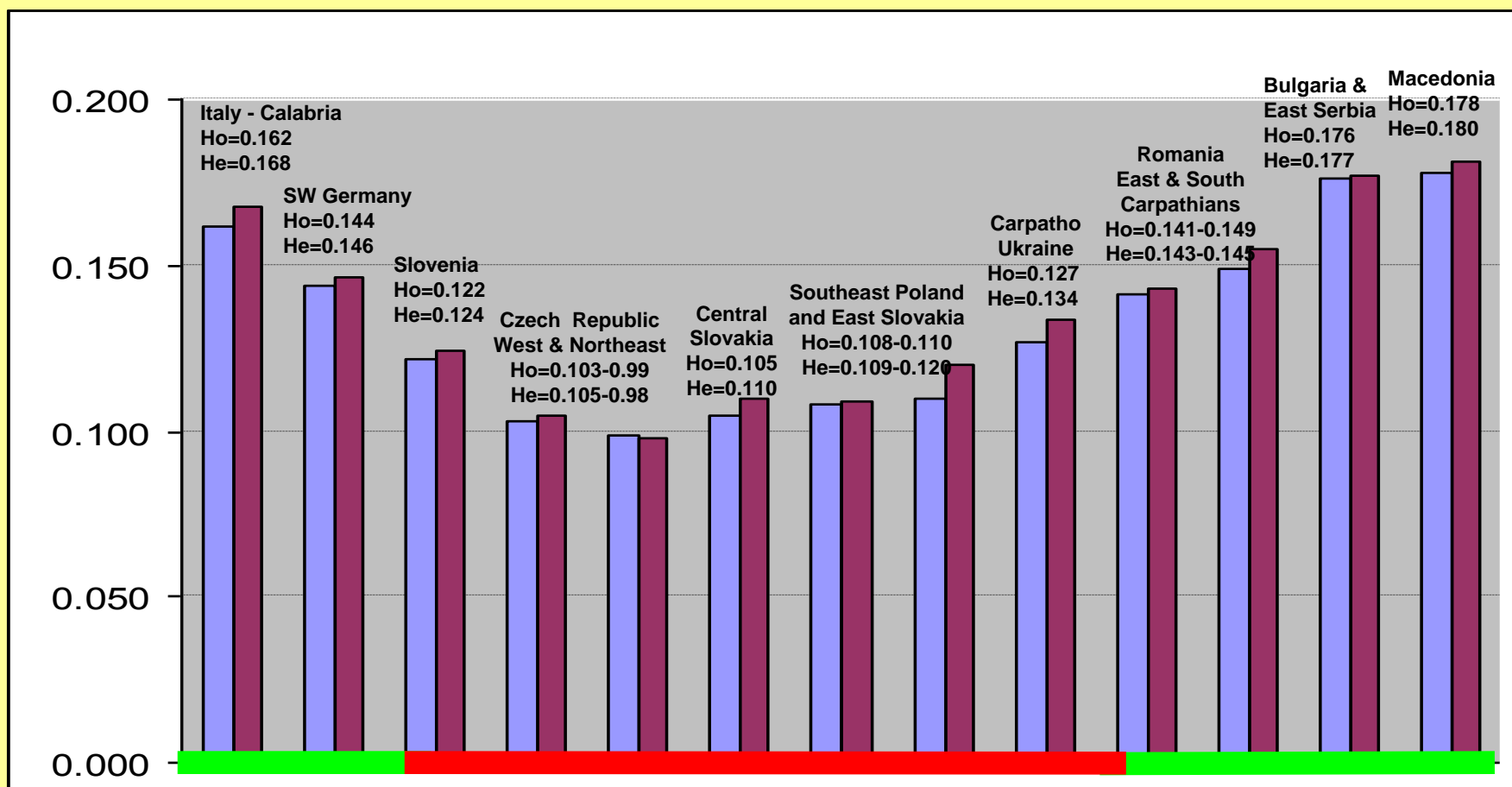


Gömöry *et al.* (2004)

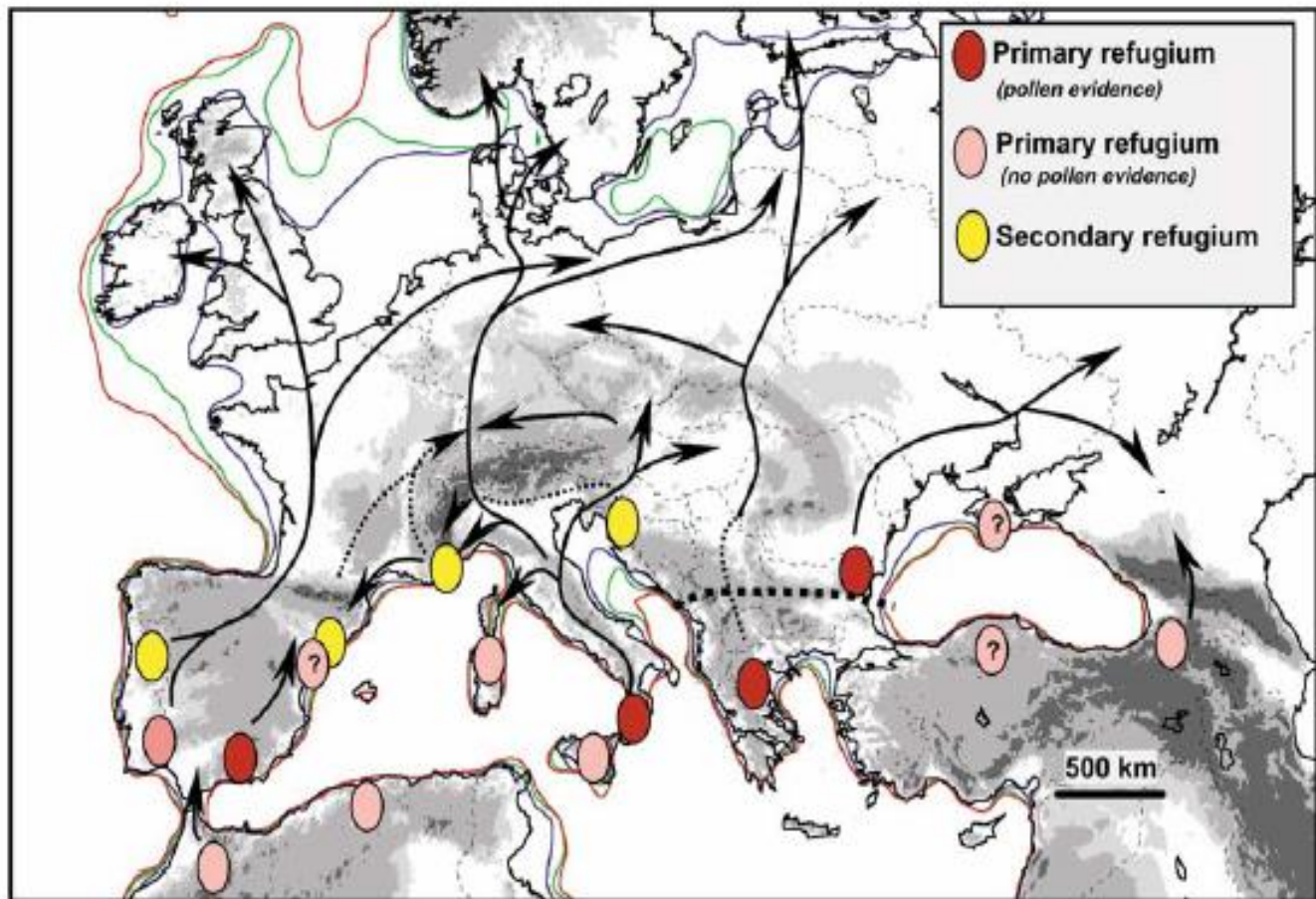




**Nižšia priemerná heterozygotnosť jedle v strednej Európe:  
 potvrdenie hypotézy o tom, že príčinou chradnutia jedle  
 (Larsen 1986) je jej znížená genetická variabilita.  
 Pri poľadovej migrácii na sever jedľa stratila časť svojej  
 genetickej výbavy.**



# Primárne a sekundárne glaciálne refúgiá dubov a ich postglaciálne migračné prúdy (Petit a kol. 2004)



# Ako sa pripraviť?

- Použitie hybridného materiálu (*napr. A. alba x A. cephalonica atd.*)
- Použitie exotických drevín (*napr. z teplejších oblastí*)
- Nové dimenzie – **genetický monitoring** (monitoring zmien v genetickej štruktúre a ich následné predpovedanie)

- Úlohy pre lesnú prevádzku
  - racionálne využitie pravidiel pre zber a prenos semenného materiálu
  - evidencia prenosu semenného materiálu – nástroj pre rozhodovanie
  - preferovanie prirodzenej obnovy na úkor umelej obnovy
  - širšie založené šľachtiteľské programy
  - zvyšovanie biodiverzity

- Úlohy pre lesnícky výskum
  - Nové využitie poznatkov populačnej genetiky (genetický monitoring, hodnotenie genetických zdrojov)
  - Nové trendy v provenienčnom výskume (testy pre nové ekologické podmienky, G x E interakcie, **fyziológia**)
  - Nové šľachtiteľské ciele (vyššia adaptabilita a odolnostný potenciál, vyššia diverzita)

- Úlohy pre medzinárodnú spoluprácu
  - založenie a vyhodnocovanie experimentov
  - realizácia spoločných šľachtiteľských programov
  - výmena experimentálneho materiálu
  - výmena ***know-how***

- **Stredoeurópske lesníctvo potrebuje viac semenných sadov a podporu výskumu pre zabezpečenie reprodukčného a šľachteného materiálu vhodných proveniencií hlavných lesných drevín ako aj rôznych rýchlorastúcich drevín, schopných tolerovať klimatické zmeny (rezistencia voči suchu ... ..)**
- **Stredoeurópske lesníctvo musí odstrániť 30–40-ročnú medzeru v šľachtení v porovnaní s vedúcimi krajinami a zvýšiť úsilie vo využívaní genetiky a pestovných technológií pre splnenie potrieb budúcnosti.**

*(Ramskogler, 2012)*