

**Interreg**

CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**SUSTREE**

TAKING  
**COOPERATION**  
FORWARD

 Central Europe

 **SUSTREE D.C.3.2 : Training Material for Schools and Universities**

 SUSTREE (2016-2019)

# ČÁST 1

## SUSTREE PROJEKT



# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN

SUSTREE je mezinárodní projekt zaměřený na podporu adaptace klimatické změny a zachování genetické diverzity lesních ekosystémů ve Střední Evropě.



*Členové SUSTREE projektu*

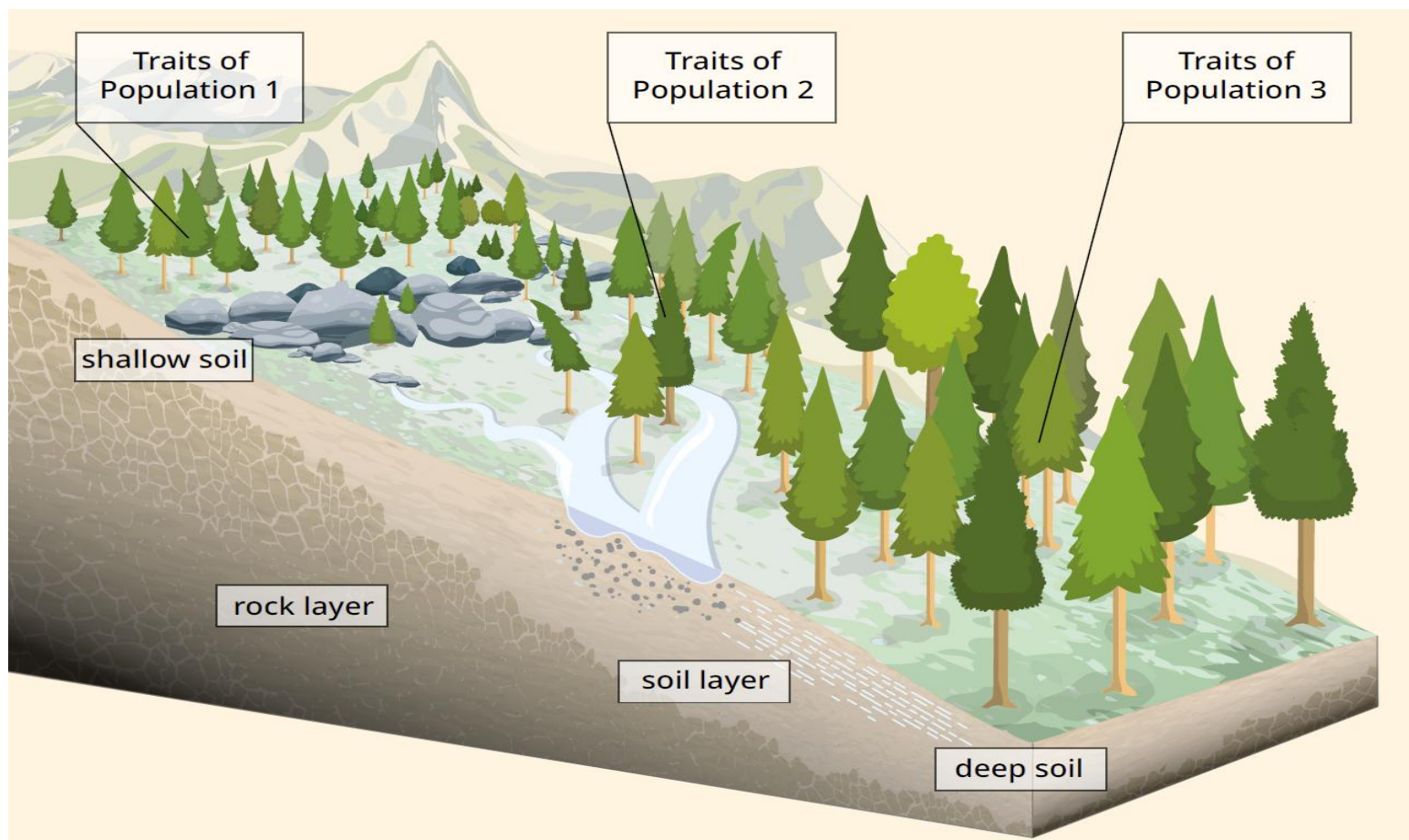


## Klíčová sdělení projektu SUSTREE :

- Lesní stromy vykazují adaptace na specifické, lokální klima jejich prostředí výskytu. Ty zaručují optimální růst a přežití za stabilních podmínek tohoto prostředí.
- Rychle probíhající změna klimatu narušuje vazbu mezi lokálním klimatem a v minulosti vytvořenými místními adaptacemi, čímž zpochybňuje paradigma „místní je nejlepší“.
- Regiony provenience, definované evropskými a národními právními předpisy, se mezi jednotlivými státy liší a nereflektují klimatické podmínky ani nepodporují kontrolovaný adaptivní management.
- Právní předpisy upravující problematiku zalesňování a přenos osiva by měly brát zřetel na adaptaci jednotlivých druhů v celém jejím rozsahu. Jedině tak napomohou řízení genetických zdrojů v důsledku změny klimatu.



# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN



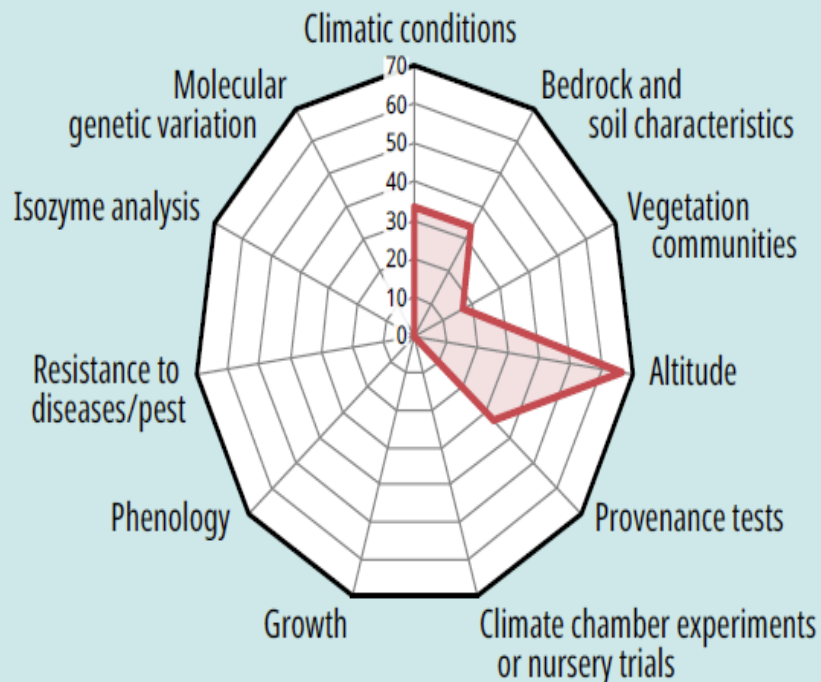
Variabilita populace jehličnanů způsobená gradientem nadmořské výšky a půdou





## *Kritéria pro vymezení oblastí původu - provenienci*

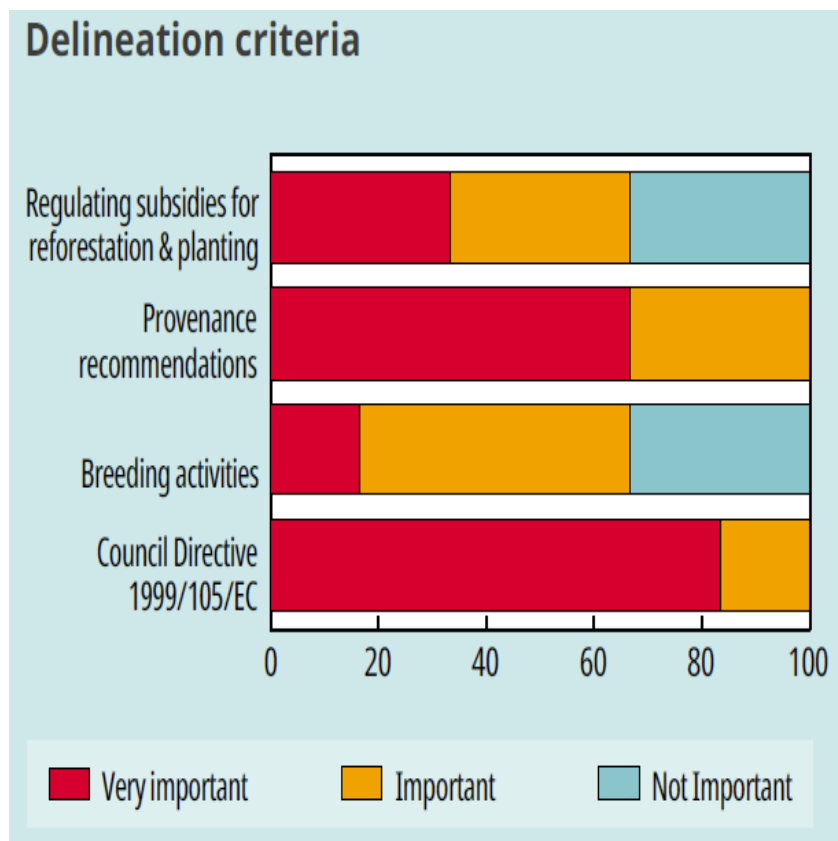
### Basis for defining provenance delineation



Provenience a jejich definující kritéria (např. ekologické jednotky, vegetační zóny či genetická podobnost) se v jednotlivých zemích liší.



## *Funkce provenienčních regionů*



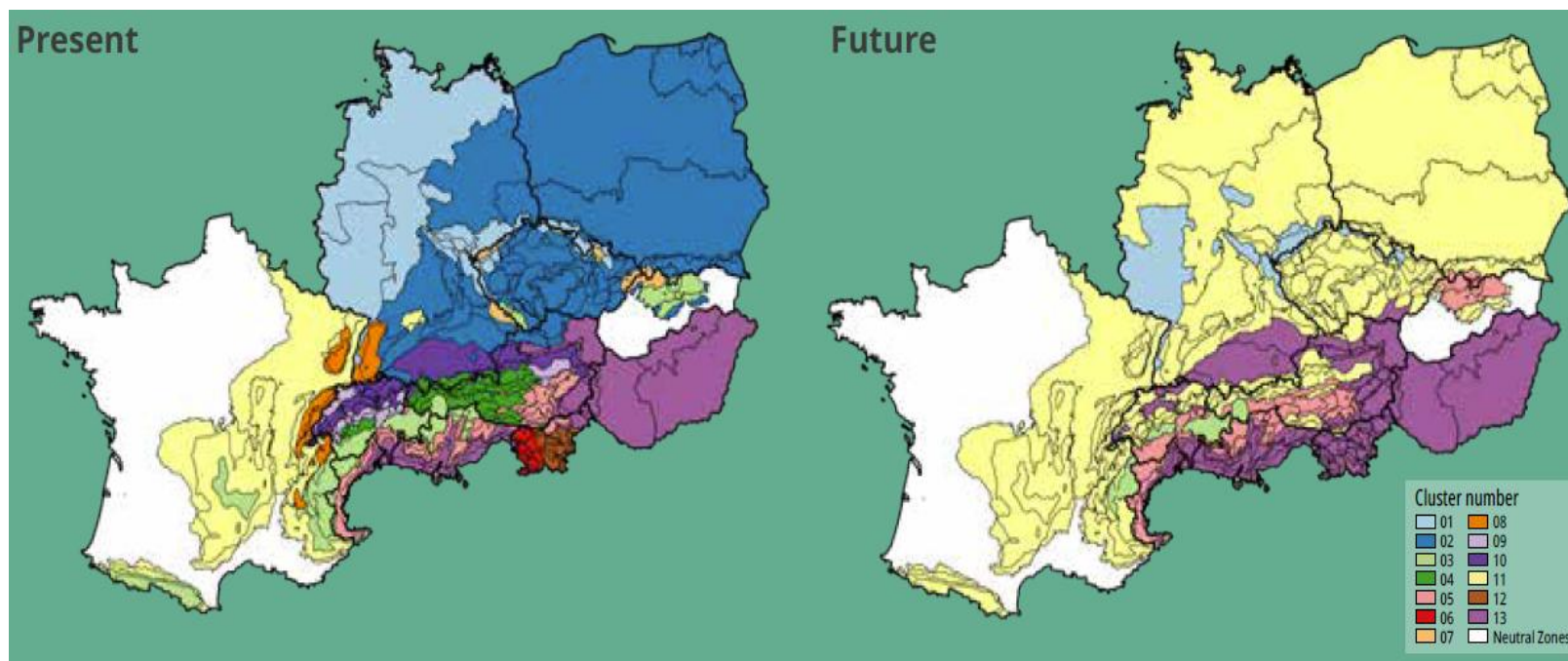
Vnitrostátní předpisy mohou nepřímě bránit adaptivnímu managementu tím, že omezí přenos RM mezi regiony provenience a mezi státy.

Jedním z příkladů je omezení přenosu semen a sazenic lesních dřevin přes hranice do sousedních zemí.



# OBLASTI PROVENIENCÍ V DOBĚ KLIMATICKÉ ZMĚNY

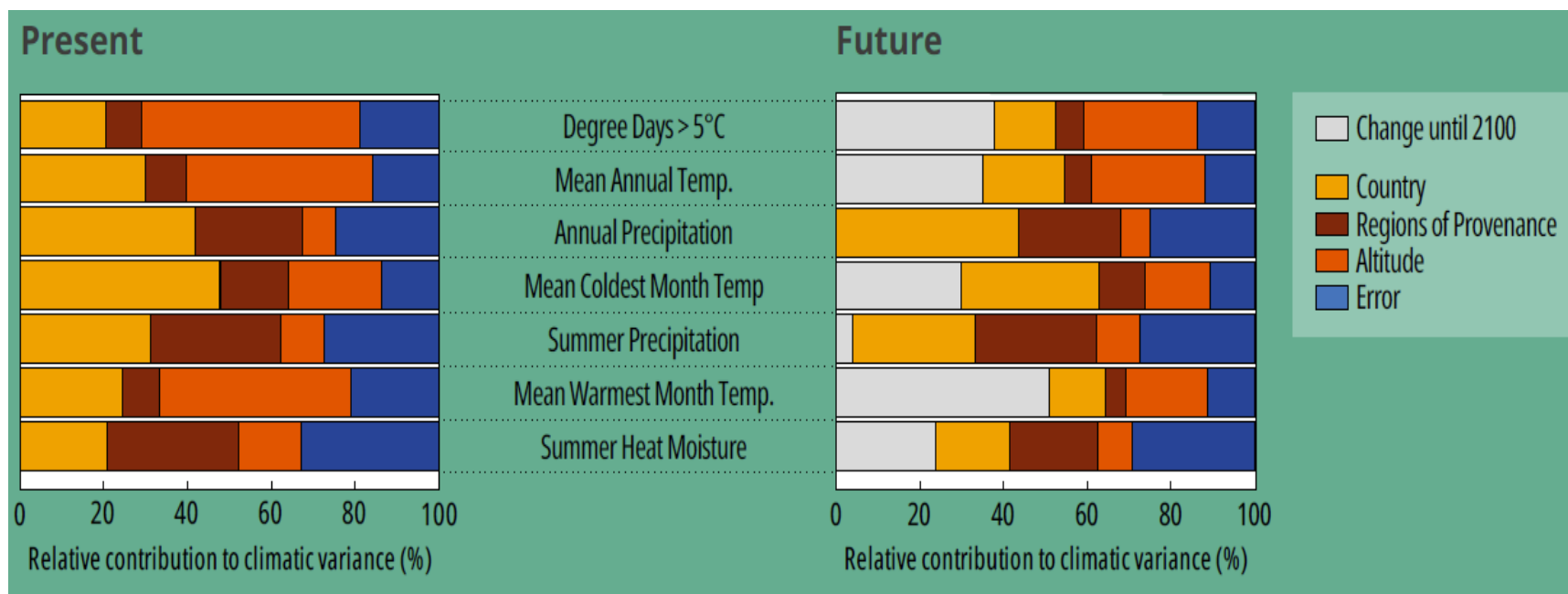
Podobnost mezi regiony provenience pro smrk ztepilý (*Picea abies*) za současného klimatu (vlevo) a očekávaný posun a rozšíření jihozápadních a panonských klimatických oblastí.





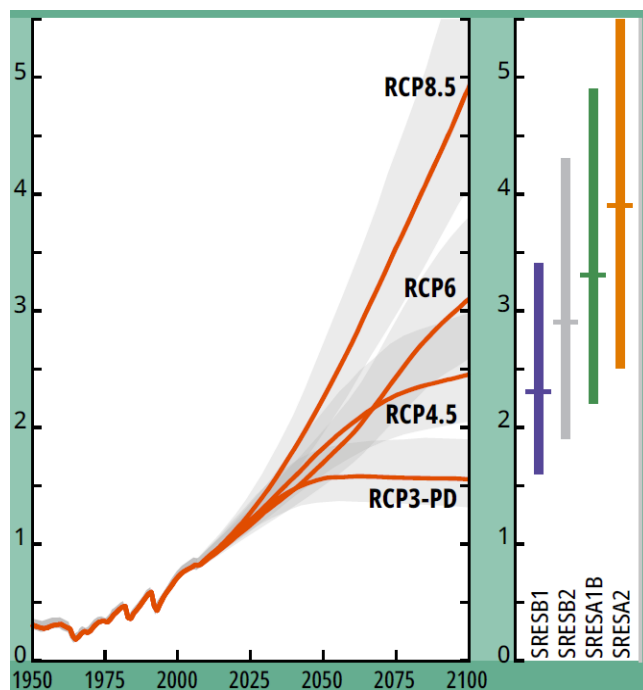
# OBLASTI PROVENIENCÍ V DOBĚ KLIMATICKÉ ZMĚNY

Jak dobře odráží regiony provenience hranice zemí a nadmořská výška změny parametrů klimatu, na které jsou místní populace stromů přizpůsobeny?



# OBLASTI PROVENIENCÍ V DOBĚ KLIMATICKÉ ZMĚNY

Pozorované a simulované průměrné globální teploty blízko povrchu země za období 1950–2100, znázorněné jako odchylky od průměrné teploty v letech 1980–1999, pro čtyři reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP). Zdroj: Rogelj et al. (2012)

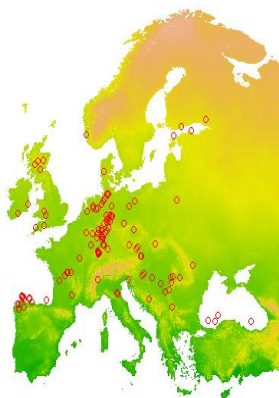


Vzhledem k očekávaným změnám klimatu v budoucnosti se ukazuje, že ani regiony provenience, ani hranice zemí nedokážou vysvětlit kolísání teploty v evropských lesích. Role státních hranic a regionů provenience by tedy měla být při přenosu semen přísně prozkoumána.

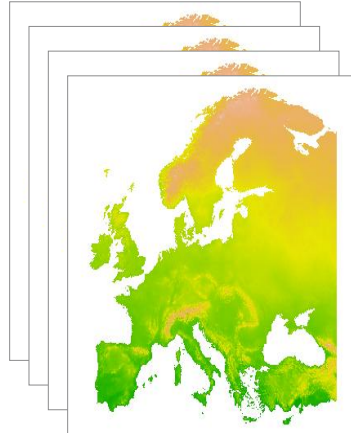


# VÝVOJ MODELU

Data testů proveniencí



Klimatická data



Datová matice (Provenienční testy + Klimatická data)

x	y	Env1	Env2	Env3	Douglas-fir
25.4499998	71.1500011	1.50	4.25	21.90	1
25.5499998	71.1500011	1.27	4.46	22.40	1
25.6499998	71.1500011	1.42	3.46	20.06	1
25.7499998	71.1500011	1.46	3.94	21.57	1
25.8499998	71.1500011	1.79	3.28	18.67	0
27.6499998	71.1500011	0.47	3.86	20.17	0
27.7499998	71.1500011	1.25	3.90	21.52	0

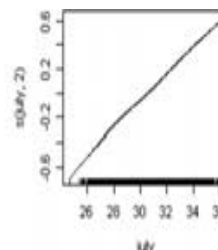
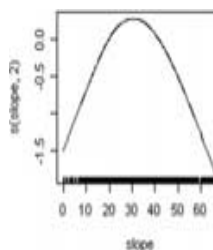


Přizpůsobení statistického modelu

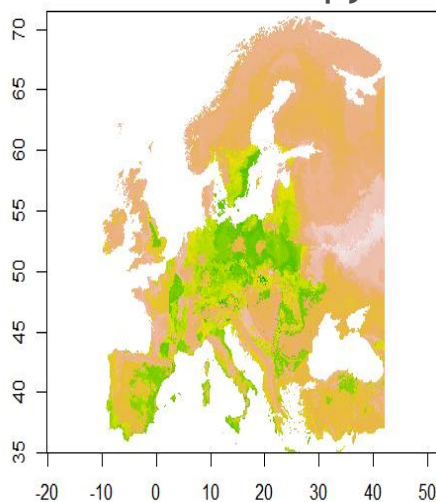
$$\text{Produktivita} = f(\text{Env}_1 + \text{Env}_2 + \text{Env}_3 \dots \text{Env}_n)$$



Hodnocení a vylepšování modelu



Produkční mapy



## UNIVERSAL RESPONSE FUNCTION

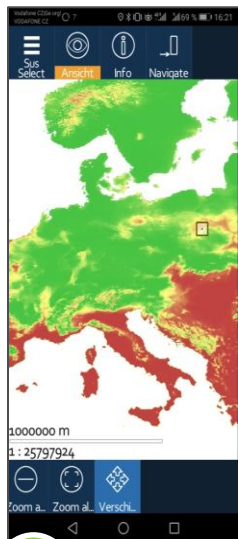
$$\text{Produktivita} = f (\text{Env}_1 + \text{Env}_2 + \text{Env}_3 \dots \text{Env}_n )$$

*Pro kvadratickou funkci*

*Pro RANDOM FOREST*

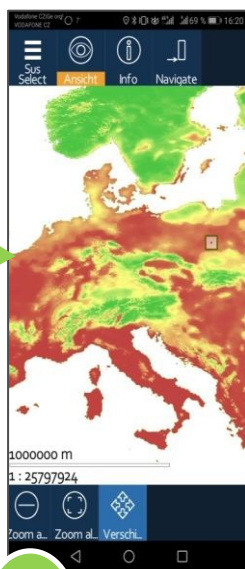


# MOBILNÍ APLIKACE: SUSSELECT



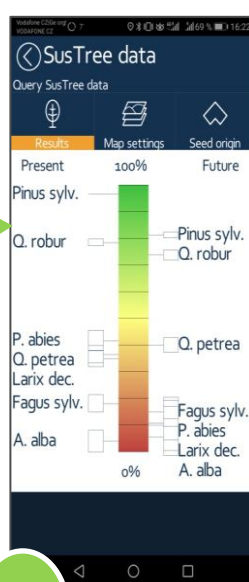
1

Zmapujte  
zranitelnost  
dřevin pro  
současných  
klimatických  
podmínek



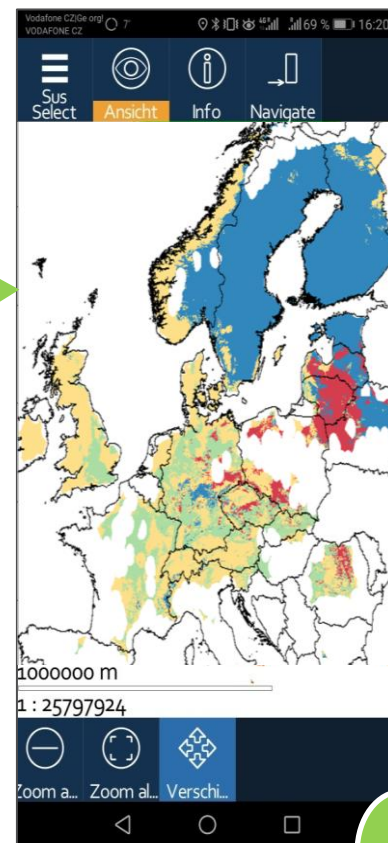
2

.....za  
budoucích  
klimatických  
podmínek



3

Srovnajte  
odolnost  
jednotlivých  
druhů dřevin



4

Najděte nejlepší  
sadební materiál  
pro stanoviště

Aplikace SusSelect  
vyvinutá pod  
SUSTREE Interreg  
zobrazuje současnou a  
budoucí odolnost sedmi  
evropsky významných  
druhů dřevin a navrhuje  
vhodný sadební  
materiál pro konkrétní  
oblasti.





# ČÁST 2

## PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN



# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN

Provenience = původ

Definice: **Provenience** je populace, nebo skupina jedinců stejného druhu, která se vyskytuje v jedné, nebo ve více přesně vymezených zeměpisných oblastech, nebo pochází z jedné, nebo z více přesně vymezených zeměpisných oblastí.

**Provenienční experimenty** (testovací výsadby) obsahují genetické vstupy (provenience), jejichž semena byla sbírána v geograficky odlišných lokalitách (oblastech původu). Tyto oblasti by měly reprezentovat mnohem větší plochu než pouze jednotlivá stanoviště.



Kontrast výsledků dvou různých proveniencí douglasky tisolisté pocházející z WA (Washington (WA) a Interior British Columbia (BC)) v Severní Americe při pěstování v prostředí východního Rakouska (Foto: Lambert Weißenbacher, BFW)



Hlavními důvody pro zahájení provenienčního výzkumu byla celkově nízká kvalita a špatný zdravotní stav porostů, které vyrostli z osiva ze zahraničních zdrojů reprodukčního materiálu.

Stromy, jejichž semena pocházela z různých oblastí, se vzájemně velice lišili a nepředvídatelně reagovali na nové stanovištní podmínky.



Cílem je porovnat růst jedné provenience v různých podmínkách

Získání informací o geografické variabilitě druhu ve vztahu k dřevařské produkci, kvalitě a citlivosti na faktory prostředí. Tyto informace použít jako základ pro následný výběr nejlepších proveniencí pro potřeby zalesňování (nebo pro zavedení nových druhů).

Vymezení možného transferu semen (směr, vzdálenost a omezení).

➤ Získání materiálu pro další šlechtění

➤ Předpověď druhového a provenienčního rozšíření pro budoucí klimatické podmínky

Jinými slovy nás provenienční výzkum informuje o následujícím:

- Studované charakteristiky jednotlivých populací (ekotypů).
- Jejich produkční potenciál.
- Jejich adaptační potenciál.
- Jejich fenotypové plasticitě a stabilitě.



# FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ GEOGRAFICKOU VARIABILITU

## OBLAST PŘIROZENÉHO ROZŠÍŘENÍ

Druhy s velkým areálem rozšíření (např. *Pinus sylvestris*, *Picea mariana*) vykazují obecně vyšší genetickou rozmanitost, než druhy s malým areálem (např. *Pinus radiata*, *Picea omorika*).

→ Ovlivněno klimatickými a ekologickými rozdíly (především kontinentálním x oceánickým klimatem) → postupná změna v projevu znaku v souladu s geografickým gradientem zvaným „cline“





# GEOGRAFICKÉ ROZŠÍŘENÍ



*Picea mariana*



*Picea omorika*



# GEOGRAFICKÉ ROZŠÍŘENÍ



*Pinus sylvestris*



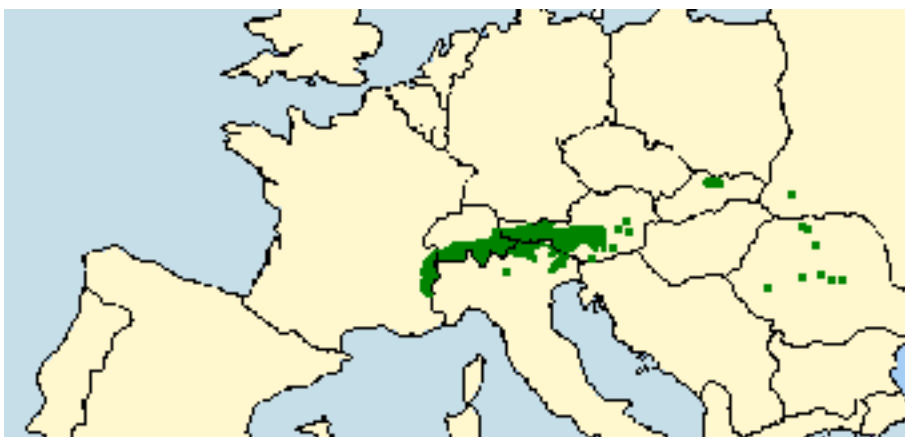
*Pinus uncinata*



Výskyt hor a s tím související výškový gradient ovlivňují lokální klimatické rozdíly a typ půdy.

Charakter oblasti přirozeného rozšíření  
(spojitý x nespojitý)

Nespojité oblasti sestávají z několika menších částí; tok genů není v tomto případě možný (e.g. *Pinus cembra* or *Larix decidua*).



*Pinus cembra*



- **Sever - jih** je nejsilnějším trendem klinální variability.

Je to důsledek rozdílů v zeměpisné šířce (variabilní vegetační doba, nižší průměrné a extrémní teploty na severu, rozdílná fotoperioda, ...)

- **Suché - humidní oblasti**

Výsledky na základě porovnání proveniencí pocházejících z oblastí s různými vlhkostními režimy

- **Výškový trend-** Výškový rozdíl 1000 metrů reprezentuje klimatický rozdíl odpovídající 10° zeměpisné šířky (přibližně 10°C průměrné teploty).

- Tento gradient je ovlivněn vlhkostí vzduchu, prouděním a vyzařováním tepla ze země což zapříčiňuje hodnoty 0.5- 0.65 °C per 100 m..



# DESIGN PROVENIENČNÍCH TESTŮ

- Provenienční test by ve své první fázi měl pokrýt celou oblast přirozeného rozšíření druhu.
- Pro zahrnutí trendů východ-západ a sever-jih by mělo být v testu zahrnuto okolo **10 - 15 proveniencí**.
- Pro zahrnutí odchylek od těchto trendů se potřebné množství zahrnutých proveniencí zvýší na 20 - 30 na druhy s malými areály rozšíření a na 50 - 100 na druhy s velkými areály rozšíření.
- Nejrozsáhlejší provenienční test v rámci České republiky byl založen v letech 1964 a 1968 a sestával z 1100 proveniencí smrku ztepilého.





## ➤ POČET PROVENIENCÍ V TESTU

je funkcí přirozeného areálu rozšíření druhu (čím větší areál tím více proveniencí je v testu třeba zahrnout) a variability růstových podmínek v rámci tohoto areálu.

## ➤ POČET PROVENIENČNÍCH TESTŮ

je funkcí heterogenity cílové oblasti, pro kterou je testovaný materiál určen (např. Česká republika je velice heterogenní, proto zde musí být zakládáno více srovnávacích výsadeb).



## ➤ POČET OPAKOVÁNÍ (BLOKŮ) V RÁMCI TESTU

Je funkcí heterogenity v rámci testu.

Pro rozlišení genetické a environmentální proměnlivosti nejčastěji stačí 3 až 4 bloky (tedy 3 až 4 opakování všech proveniencí).

## ➤ POČET STROMŮ V RÁMCI PLOCHY

Záleží na délce trvání experimentu a druhu dřeviny.

Nejčastěji se setkáme s 25 - 36 jedinci. Spon se liší v závislosti na druhu a možnostech vybrané plochy (obvykle se jedná o 2 x 2 m).



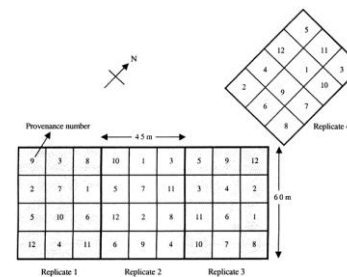
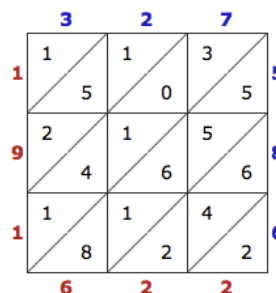
## Zakládání provenienčních testů - metody rozmístění proveniencí

### BLOKOVÁ METODA

- Každý blok porovnává všechny testované provenience; rozmístění bloků je náhodné.
- Počet bloků je volitelný a neměl by klesnout pod 3 až 4.
- Progresivní metoda; vhodné pro následnou statistickou analýzu.

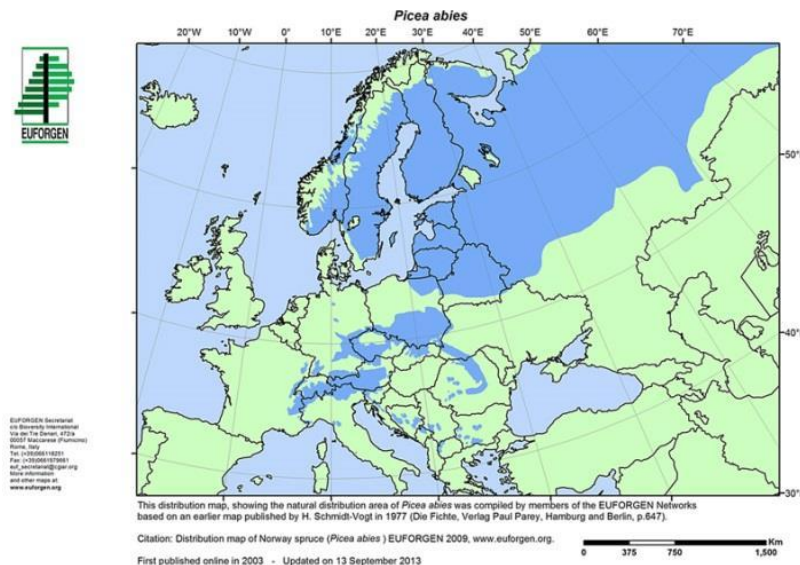
### MŘÍŽOVÁ METODA

### METODA PO 1 STROMU



# SMRK ZTEPILÝ V EVROPĚ

- Hlavní alpský region - Jihoevropský region: Jižní Evropa, Jižní Alpy, Severní Alpy
- Hlavní hercinský region - Karpatské regiony: Hercinský, Západní Karpaty, Východní Karpaty
- Hlavní severský region - Baltské regiony: Severní Polsko, Východní Balt, Centrální Skandinávie, Severní Skandinávie





Druhové umístění







Stromy představující tři evropské populace borovice lesní rostoucí na stejné výzkumné ploše IUFRO 1982 ve středním Polsku





*Rozdíly v zavětvení a  
úhlu nasazení větví*







Významné rozdíly  
nalezneme i mezi  
proveniencemi jedle  
bělokoré



# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN





# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN



# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN





# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN



# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN





# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN





# PROVENIENČNÍ VÝZKUM LESNÍCH DŘEVIN



# ČÁST 3. ZPŮSOBY UDRŽITELNOSTI



- Zachování aktuální (ekosystémové, druhové a genetické) rozmanitosti
- Zachování evolučního potenciálu druhů
- Zachování udržitelnosti pro budoucí generace a zároveň naplnění aktuálních potřeb společnosti





## *Přímé dopady*

- Snížení efektivní velikosti populace
- Zvýšení prostorové izolace
- Snížení hustoty populace
- Lokální změny prostředí

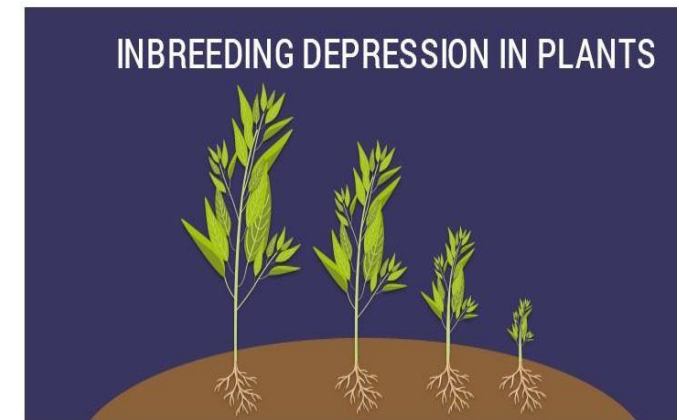
## *Genetické procesy*

- Genetický drift
- Genový tok
- Křížení - inbreeding
- Selektce



# VLIV INBREEDINGOVÉ DEPRESE NA SAZENICE AKÁTU (*Acacia mangium*)

Zdroj osiva	Výška sazenic (cm)
1. generace	32.5
2. generace	20.7
3. generace	18.1



Source:  
Byjus.com



# JAK VELKÝ JE „DOSTATEČNĚ VELKÝ“?

- 50/500 pravidlo (Franklin 1980)
- 50 - inbreedingová deprese na přijatelné hladině
- 500 - dostačující počet pro novou variantu mutace za účelem nahrazení ztráty genetickým driftem
- Čísla se vztahují spíše na efektivní velikost populace ( $N_e$ ), než na čísla výzkumu ( $N$ ) - takže můžeme potřebovat mnohem více.
- Situace kdy je  $N_e$  menší než  $N$  může nastat v případech: překrývající se generace, dvoudomost, asynchronní kvetení, rozdíly v plodnosti mezi jednotlivci



## ***In situ - Ex situ***

***In situ*** - systém nenarušených chráněných území v rámci přirozeného rozšíření (založený na ekosystému)

***Ex situ*** - umělé udržování populací mimo přirozené rozšíření (na základě druhů)



### Ideální model

Důraz na: velikost, souvislost, chráněné území

Omezení: umístění, rozměry, vzdálenost, bezpečnost, biologie

- Pohyb zvířat
- Rozsáhlé rozšíření mnoha druhů
- Genový tok mezi populacemi
- Nezemědělské oblasti
- Rozmanité prostředí

***Základní, ale nedostatečné!***



# ZACHOVÁNÍ BIOLOGICKÉ ROZMANITOSTI

## *EX SITU* : METODY A OMEZENÍ

Semenné banky - *problémy s regenerací*

Plantáže - *změny genových frekvencí, málo populací*

Botanické zahrady - *nedostatky pro zachování genofondu*

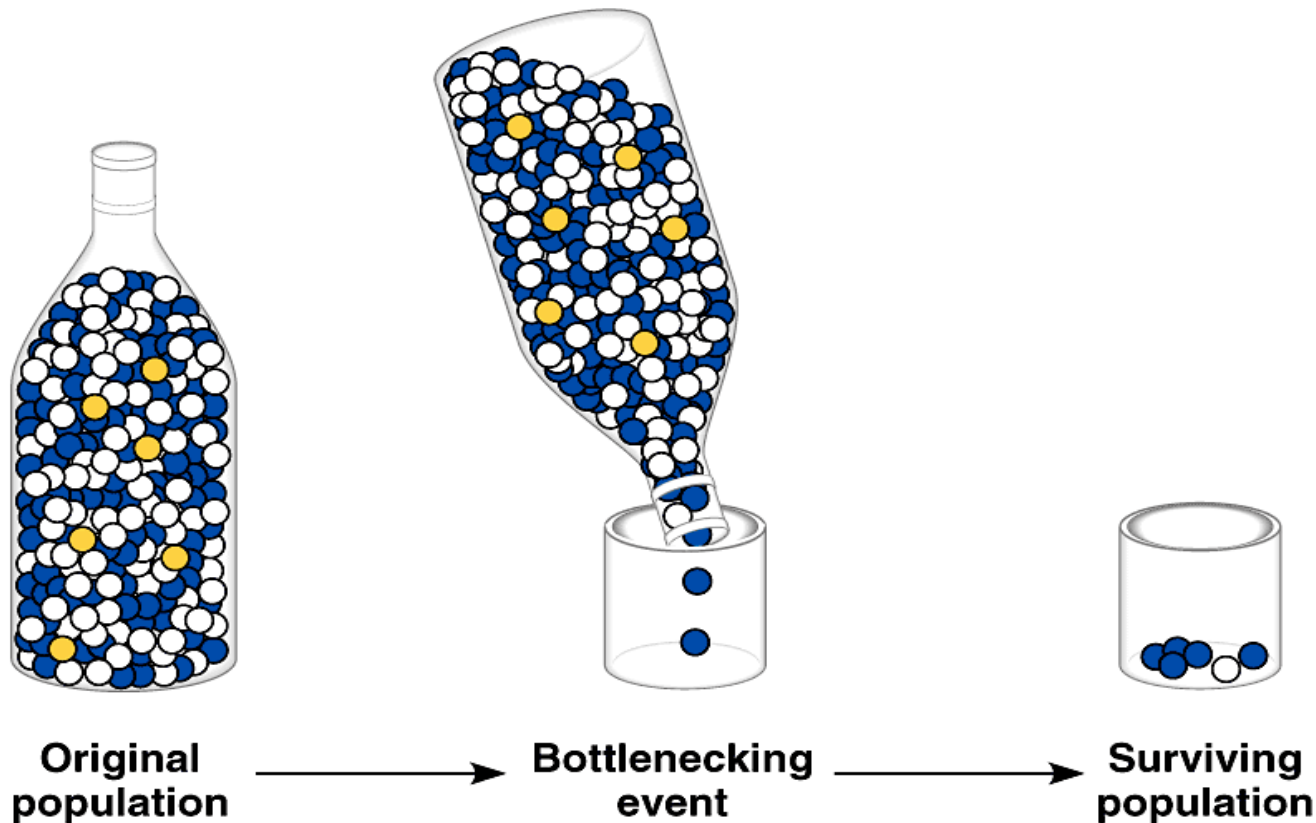




- Užitečné, ale zdroje mohou omezit aplikaci na několik málo druhů (obvykle komerčních)
- Poslední záchrana pro vysoce ohrožené druhy
- Vhodný k ostatním přístupům



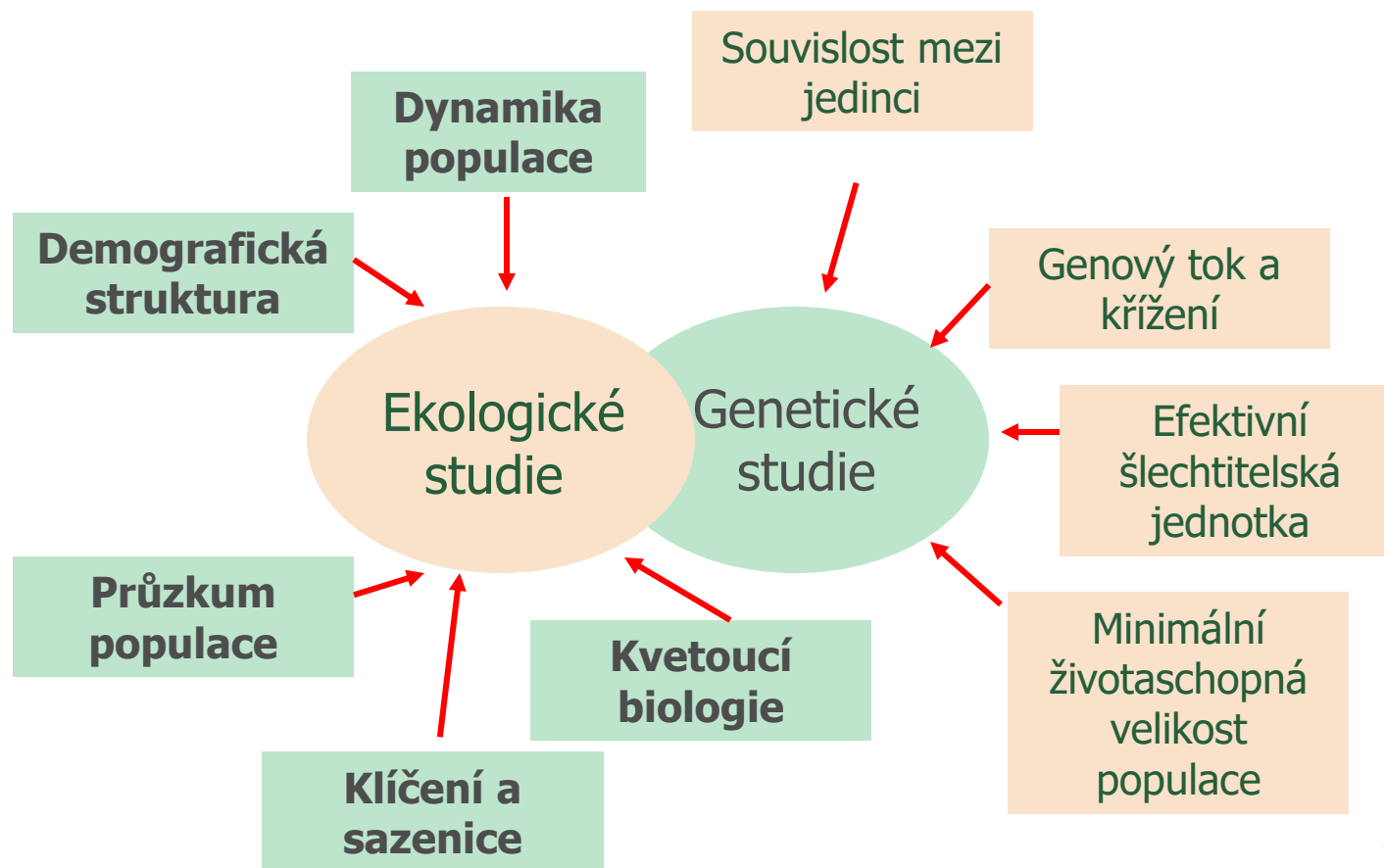
### Bottleneck → genetický drift



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

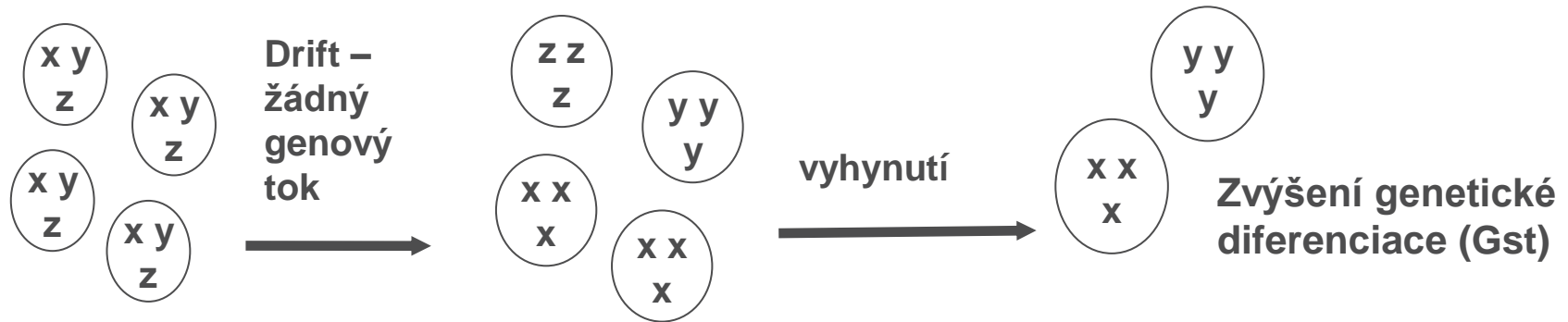


➤ Je důležité si uvědomit, že ekologické a genetické studie se vzájemně doplňují/nedoplňují?

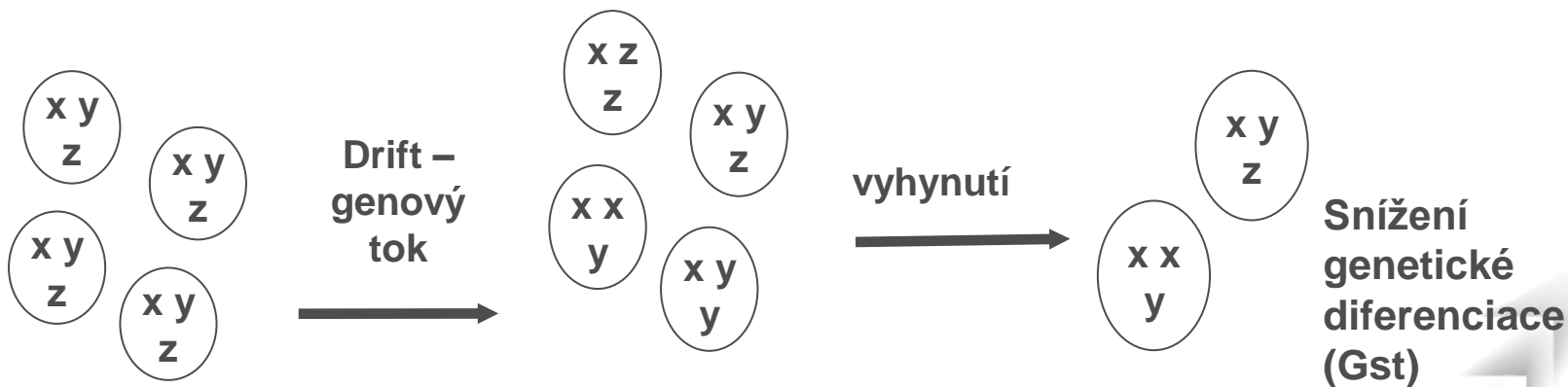


# ZACHOVÁNÍ BIOLOGICKÉ ROZMANITOSTI: GENETICKÉ PROCESY

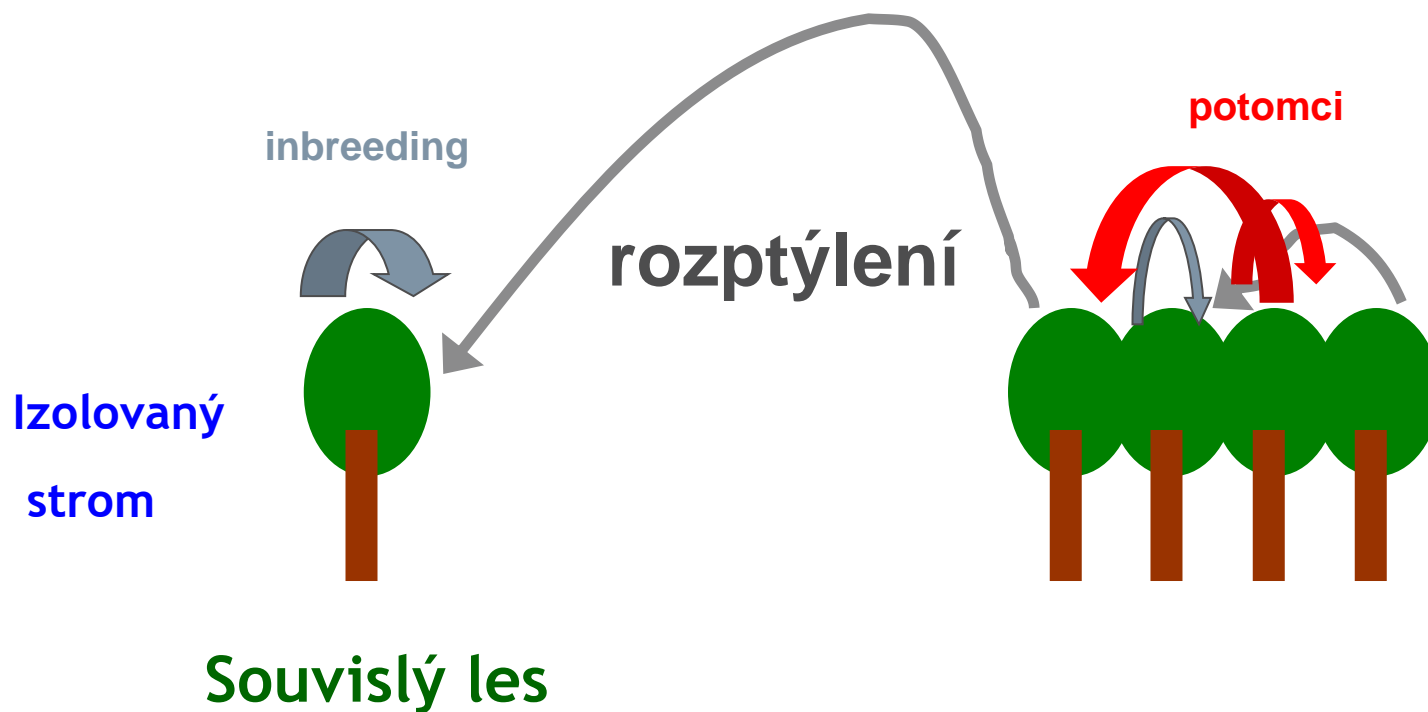
## A: Drift a vyhynutí: ztráta genetické rozmanitosti



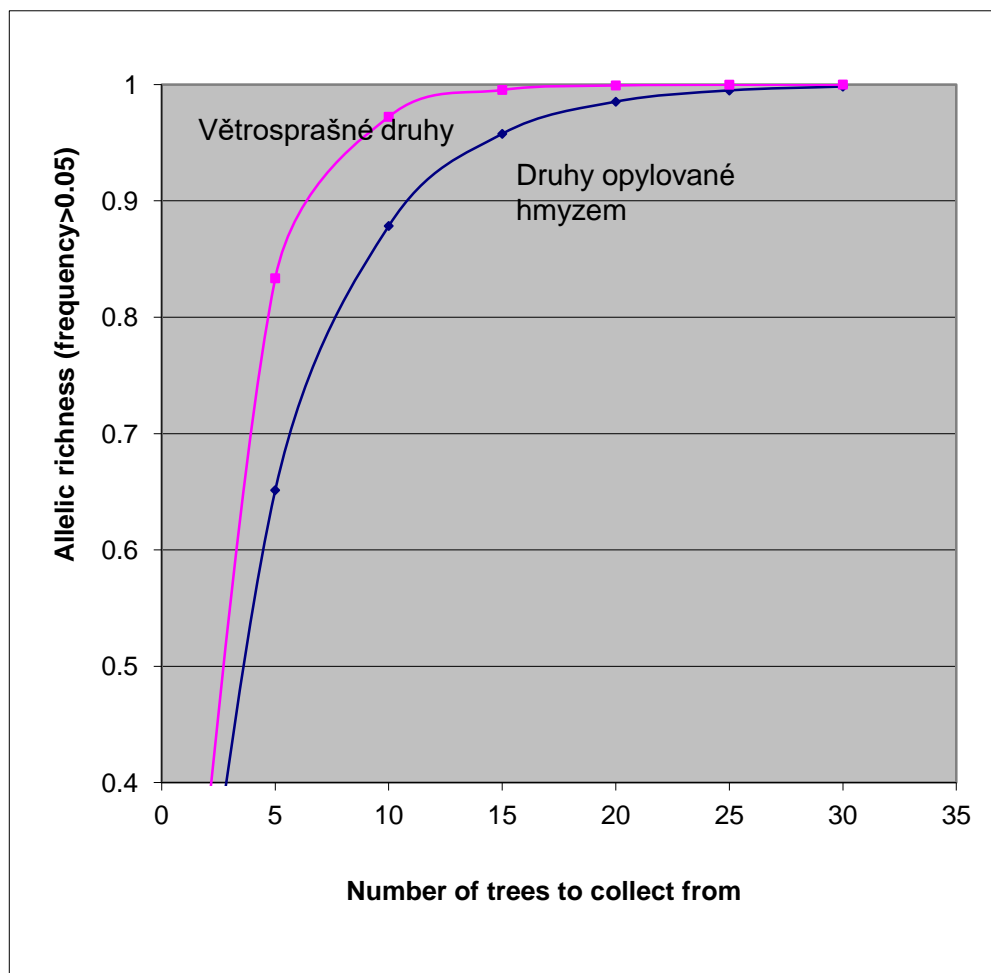
## B: Tok genů snižuje ztrátu genetické rozmanitosti



Předpoklady: větší inbreeding  
větší rozptýl pylu  
méně samců

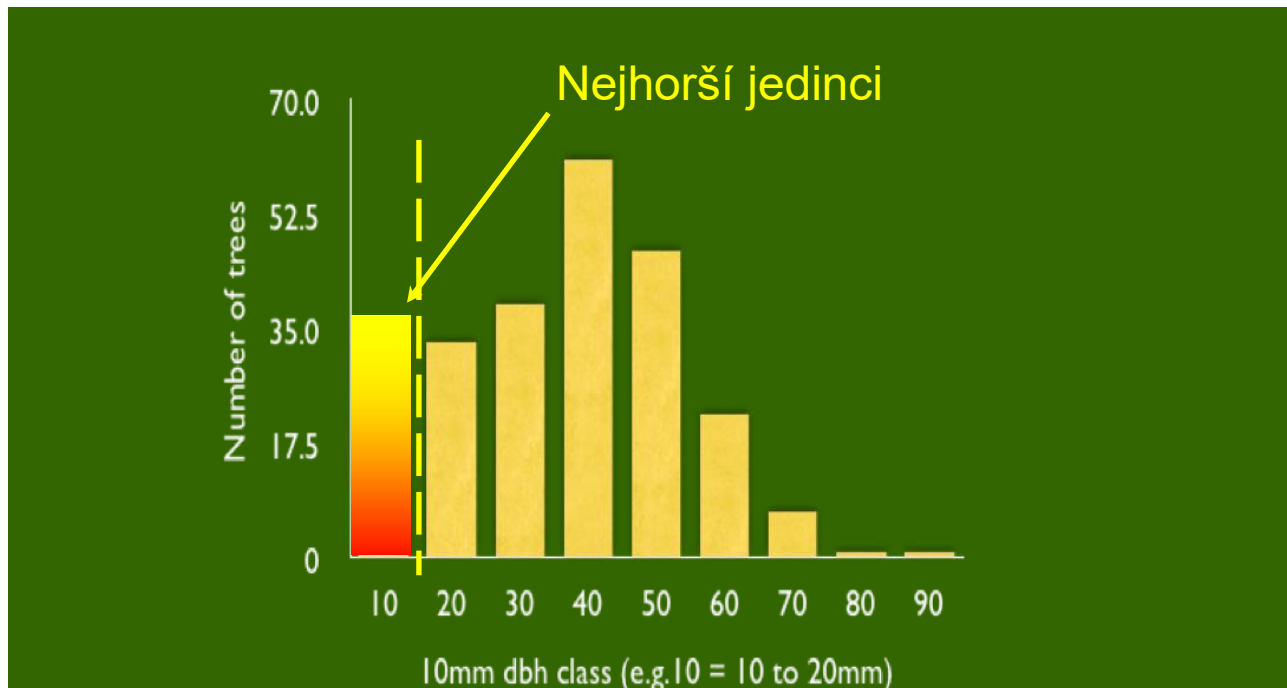


# Z KOLIKA STROMŮ PROVÁDĚT SBĚRY?





- Dysgenická selekce je druh selekce, který vede k nežádoucí změně genetické kvality v rámci jedné nebo více generací.



# TVRZENÍ O DYSGENICKÝCH SELEKČNÍCH A VARIAČNÍCH VZORCÍCH

“...další pozoruhodný rys je nedostatek zřetelných změn ve vztahu k zeměpisné šířce a délce: to může být způsobeno skutečností, že přírodní lesy kolem Středozemního moře byly člověkem narušeny a již po staletí podléhaly dysgenické selekci” (Palmberg 1975)

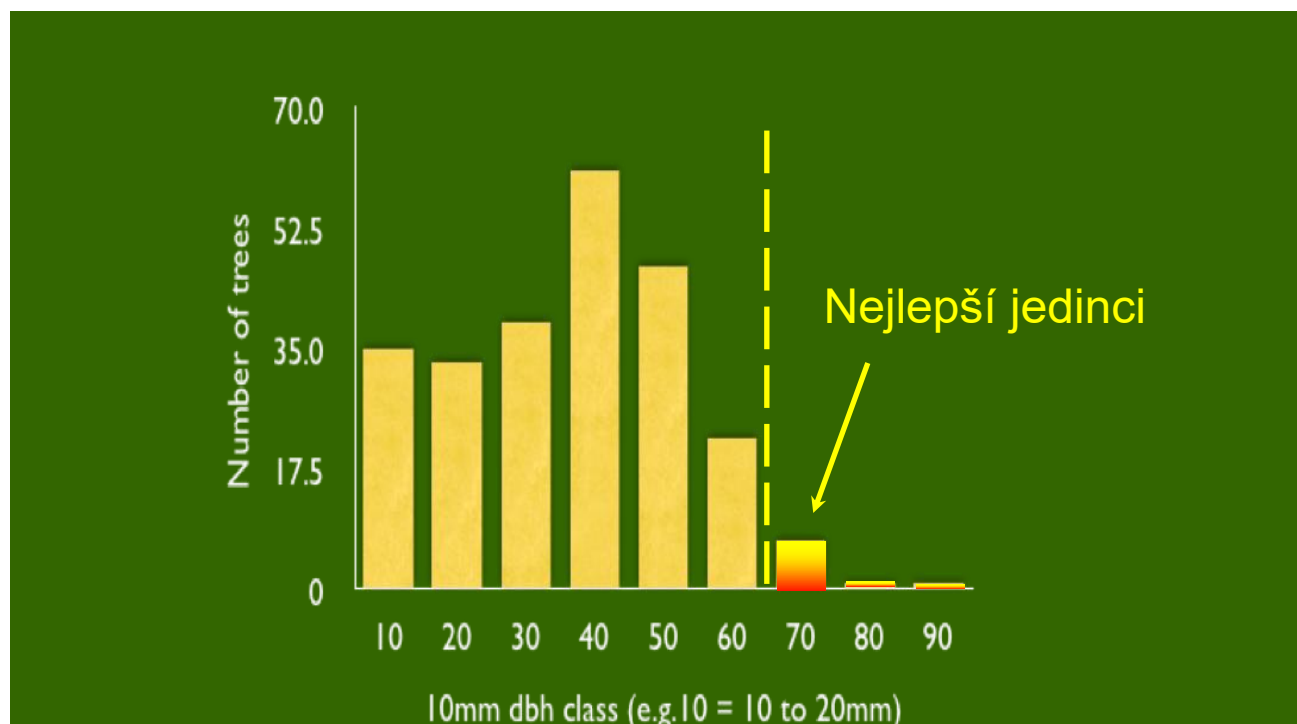


# TVRZENÍ O DYSGENICKÉ SELEKCI A SELEKTIVNÍ LOGARITMOVÁNÍ

“...ve většině oblastí se nyní tento kdysi slavný strom objevuje jen jako více rozvětvený keř nebo malý strom, což je hlavní příklad extrémní genetické eroze způsobené využíváním nejlepších genotypů již v minulosti” (Pennington et al. 1981)

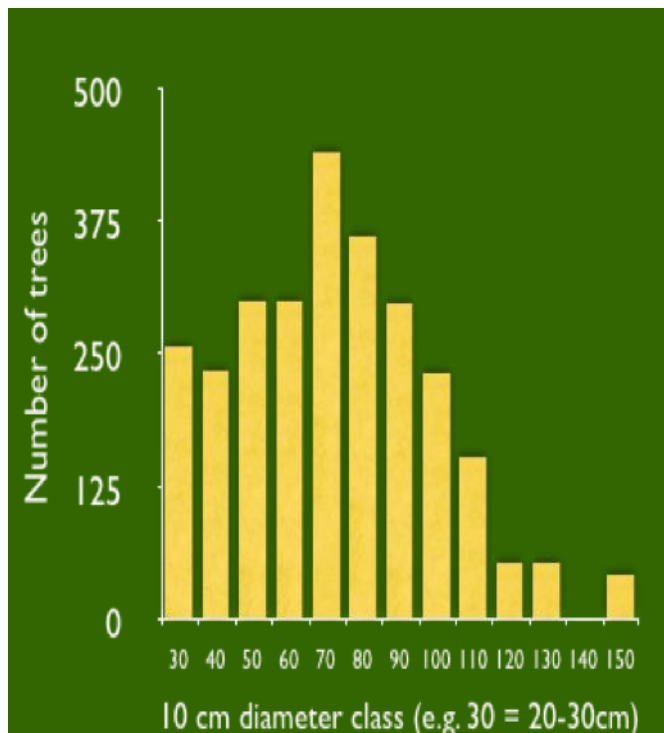


# POZITIVNÍ FENOTYPOVÝ VÝBĚR ZA ÚČELEM GENETICKÉHO ZLEPŠENÍ

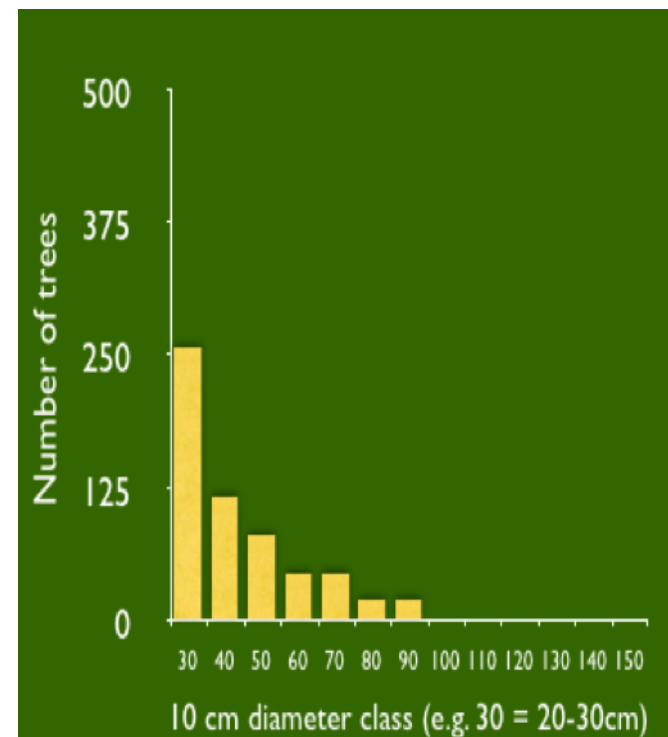


# SELEKCE NA ZÁKLADĚ LOGARITMOVÁNÍ

Před použitím  
logaritmu



Po použití  
logaritmu



Na základě Grogan et al. 2008

TAKING COOPERATION FORWARD



Odpověď na selekci ( $R$ ) = selekční rozdíl ( $S$ ) x heritabilita ( $h^2$ )

- ... umožňuje nám predikovat účinek fenotypové selekce, ať už pozitivní (zlepšení), nebo negativní (dysgenický)



ODPOVĚĎ NA SELEKCI (R) = SELEKČNÍ ROZDÍL (S) X  
HERITABILITA ( $h^2$ )

- Selekční rozdíl = rozdíl mezi průměrem vybraných jedinců a průměrem v populaci
- Pokud je výčetní tloušťka průměrného stromu 40 cm a průměrná tloušťka v populaci 20 cm, pak  $S = 20$  cm.
- Selekční rozdíl je určitým měřítkem fenotypové nadřazenosti uvnitř generace a obvykle odráží rozdíly jak v prostředí tak i rozdíly genetické





ODPOVĚĎ NA SELEKCI (R) = SELEKČNÍ ROZDÍL (S) X  
**HERITABILITA ( $h^2$ )**

Heritabilita = stupeň míry nadřazenosti genetického materiálu jedince nad vlivem okolního prostředí

- Velikost heritability se pohybuje od 0 do 1.



ODPOVĚĎ NA SELEKCI (R) = SELEKČNÍ ROZDÍL (S) X  
HERITABILITA ( $h^2$ )

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

$$h^2 = \frac{V_A}{V_G + VE}$$

$$h^2 = \frac{V_A}{V_A + VD + VI + VE}$$

➤ Při určování heritability (dědičnosti) se používá pouze heritabilita v užším smyslu ( $h^2$ ), protože pouze variabilita způsobená aditivními účinky predikovat na základě selekce.



- FRANKLIN, Ian Robert. Evolutionary change in small populations. 1980.
- PALMBERG, Christel. Geographic variation and early growth in south-eastern semi-arid Australia of *Pinus halepensis* Mill. and the *P. brutia* Ten. species complex. *Silvae Genetica*, 1975, 24: 150-160.
- PENNINGTON, Terence D., et al. *A monograph of neotropical Meliaceae (with accounts of the subfamily Swietenioideae by BT Styles and the chemotaxonomy by DAH Taylor)*. 1981.
- GROGAN, James, et al. What loggers leave behind: impacts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255.2: 269-281.

