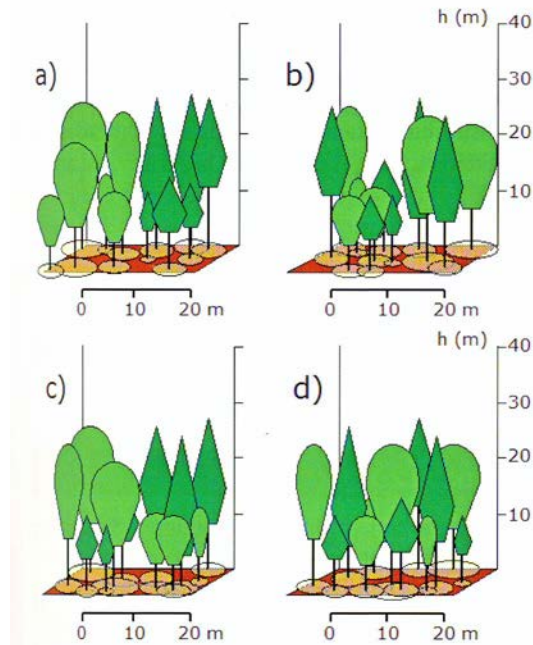


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PROSTOROVÁ STRUKTURA POROSTU



Prostorovou strukturou lesa

rozumíme horizontální a vertikální uspořádání stromů a ostatních rostlin (keře, byliny, apod.) v určitém časovém okamžiku



| Aspekt porostní struktury | Kvalitativní (slovní) vyjádření | Kvantitativní (numerické) vyjádření |
|---|--|---|
| Horizontální struktura (rozložení stromů po ploše) | Náhodné, shlukovité, pravidelné | Agregační index – CLARK, EVANS (1954) Distribuční index – PIELOU (1959) Index hodnoty rozptyl průměr – CLAPHAM (1936) Index disperze – MORISITA (1959) K-funkce – RIPLEY (1977) L-funkce – BESAG (1977) Párová korelační funkce – STOYAN, STOYAN (1992) |
| Hustota porostu | Řídká, rozvolněná, mezerovitá, hustá, přehuštěná | Zakmenění vzhledem k referenčním růstovým tabulkám Přirozená hustota porostu Procento zápoje Průměrná kruhová základna – ASSMANN (1970) Index hustoty porostu – REINEKE (1933) Faktor korunové konkurence |

| Aspekt porostní struktury | Kvalitativní (slovní) vyjádření | Kvantitativní (numerické) vyjádření |
|----------------------------------|---|--|
| Strukturální a druhová diverzita | Čistý (stejnorodý) porost, směs dvou dřevin, směs více dřevin | Druhá bohatost Druhá diverzita – HATTEMER (1994) Index diverzity – SHANNON (1948) Standardizovaný index diverzity Index druhového profilu (Artenprofileindex) – PRETZSCH (1995) Standardizovaný index druhového profilu |
| Smíšení dřevin | Jednotlivě smíšené dřeviny, skupiny, shluky, řady | Index smíšení dřevin - FÜLDNER (1996) Index segregace – PIELOU (1977) |

Homogenní Poissonův náhodný proces

je charakteristický tím, že **pravděpodobnost výskytu bodu P** (v našem případě stromu) na určitém místě $S(i)$ zkoumané oblasti **je konstantní a nezávisí na poloze tohoto místa uvnitř oblasti**

Hohomogenita procesu nastává, pokud **NEJSOU** přítomny:

- **efekty prvního řádu** (mění se intenzity procesu v závislosti na poloze uvnitř oblasti)
- **efekty druhého řádu** (pravděpodobnost P výskytu bodu na určitém i -tém místě $S(i)$ nezávisí na výskytu jiných bodů v libovolně vzdáleném okolí od místa $S(i)$ – nepřítomnost vzájemných interakcí)

Poissonovo rozdělení

$$P_n = \frac{(\lambda A)^n}{n!} e^{-\lambda A}$$

kde je

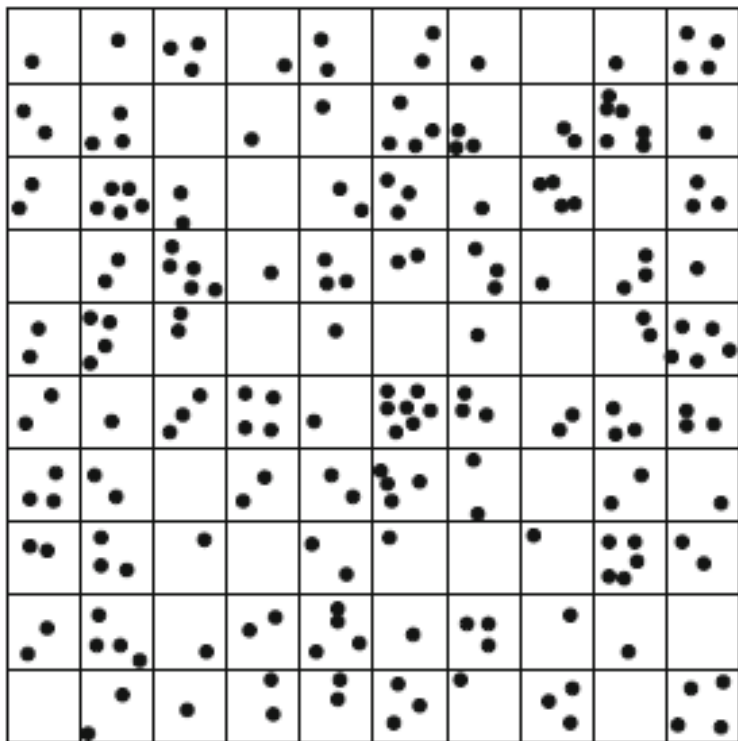
λ parametr Poissonova rozdělení, který se rovná střední hodnotě i rozptylu $\lambda = \mu = \sigma^2$, nazývaný také intenzita Poissonova procesu, rovná se podílu celkového počtu bodů v celé zkoumané oblasti a plochy této oblasti

A velikost podoblasti, v níž chceme zjistit pravděpodobnost výskytu n bodů

n modelovaný počet výskytu jevu (např. počet stromů na určité ploše)

- 10 m -

- 10 m -



$\lambda = 200$ stromů/100 čtverců = 2

$$p_n = \frac{2^n}{n!} e^{-2}$$

Pro $n = 0$ (ve čtverci nebude žádný strom)

$$p_0 = \frac{2^0}{0!} e^{-2} = 0,1353$$

Pro $n = 1$ (ve čtverci bude 1 strom)

$$p_1 = \frac{2^1}{1!} e^{-2} = 0,2706$$

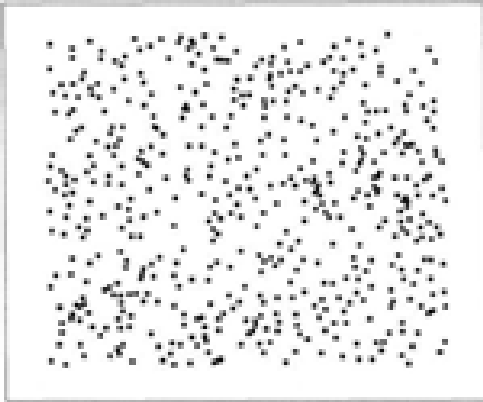
| n | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------|----|----|----|----|---|---|---|---|
| teoretické | 14 | 27 | 27 | 18 | 9 | 3 | 1 | 1 |
| pozorované | 15 | 26 | 27 | 17 | 9 | 4 | 1 | 1 |

Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody
 $p = 0,697$

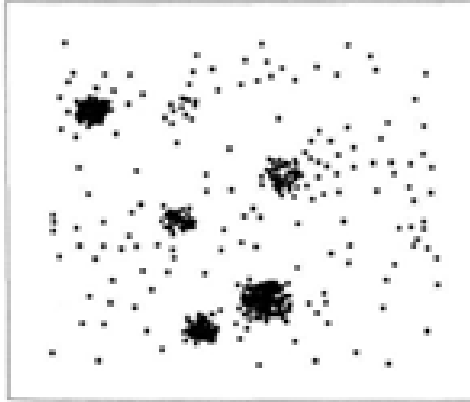
Základní typy porostní struktury

- náhodná (Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti) A,
- shlukovitá B
- pravidelná C

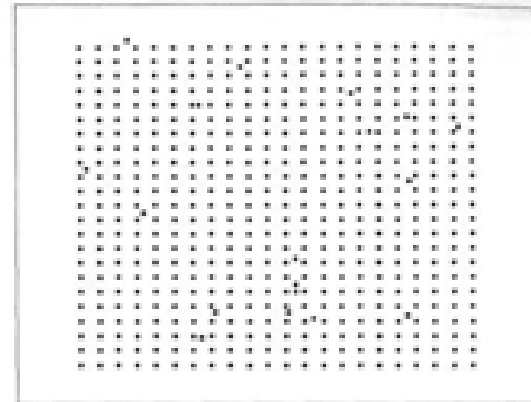
A



B



C



MÍRY HORIZONTÁLNÍ STRUKTURY

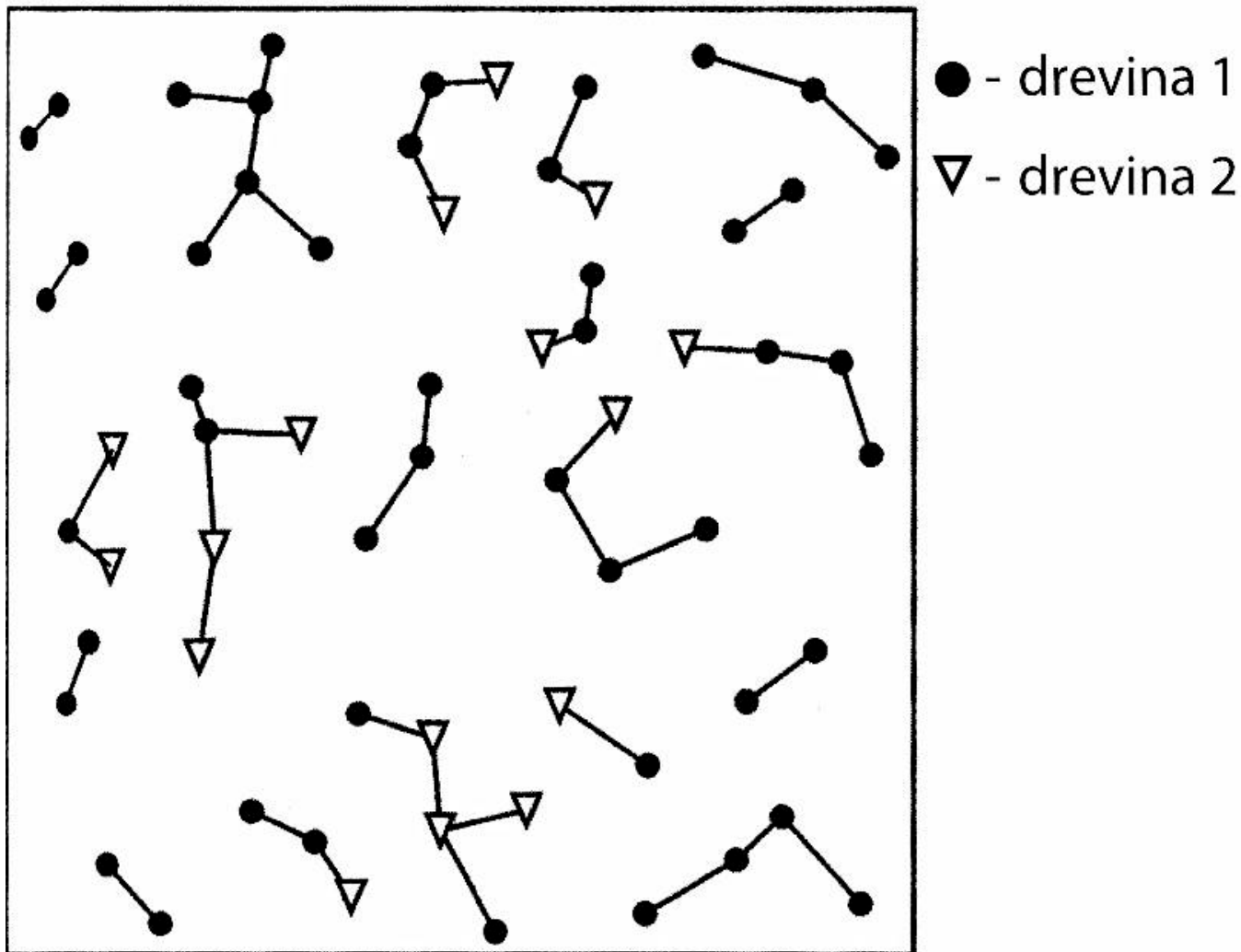
Clark-Evansův index agregace

Vychází z poměru pozorované průměrné vzdálenosti od náhodně vybraného stromu k jeho nejbližšímu sousedovi k očekávané (teoretické) průměrné vzdálenosti při splnění podmínky čistě náhodné struktury porostu dané Poissonovým rozdělením pravděpodobnosti

$$R = \frac{\bar{r}_{poz}}{\bar{r}_{teor}} \quad \bar{r}_{poz} = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N} \quad \bar{r}_{teor} = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}}$$

| | |
|------------------|---|
| R | Clark - Evansův agregační index |
| \bar{r}_{poz} | pozorovaná průměrná vzdálenost od náhodně vybraného stromu k nejbližšímu sousedovi |
| \bar{r}_{teor} | teoretická průměrná vzdálenost od náhodně vybraného stromu k nejbližšímu sousedovi |
| r_i | vzdálenost r_i od stromu i k jeho nejbližšímu sousedovi |
| N | počet stromů na zkoumané ploše |
| λ | parametr λ (intenzita Poissonova procesu), vypočte se jako podíl celkového počtu stromů v analyzované oblasti a plochy této oblasti |

Clark-Evansův index agregace



Clark-Evansův index agregace

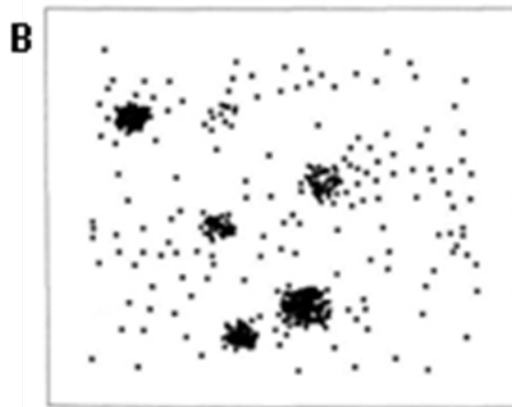
Teoreticky leží možné hodnoty R mezi hodnotami 0 (maximální „shlukovitost“ – všechny objekty leží v jednom bodě) a 2.1491 (přísně pravidelné hexagonální uspořádání)

- Hodnoty menší než 1 svědčí o shlukovitém uspořádání stromů,
- hodnoty kolem jedničky o náhodném uspořádání
- hodnoty vyšší než 1 o pravidelném uspořádání.

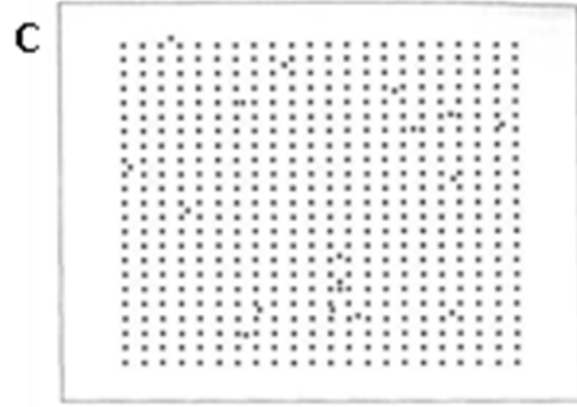
0,94



0,85



1,65



Clark-Evansův index agregace

Významnost odchylky od hodnoty 1 (náhodné struktury) je možné testovat na základě testového kritéria

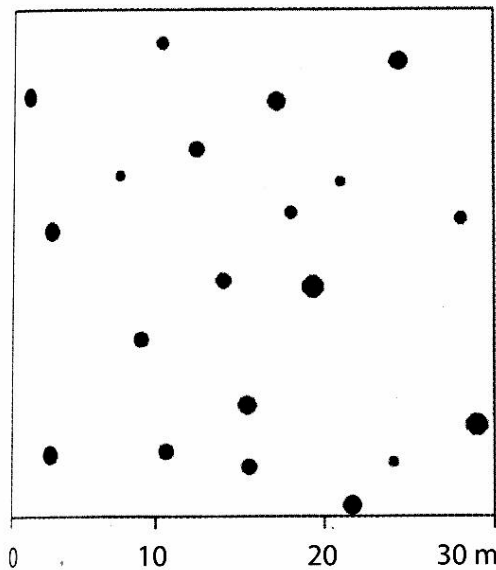
$$t_R = \frac{\bar{r}_{poz} - \bar{r}_{teor}}{\frac{0,26136}{\sqrt{\frac{n^2}{A}}}}$$

← směrodatná odchylka vzdálenosti k nejbližšímu stromu při náhodném rozmístění

Toto testové kritérium má Studentovo t-rozdělení s $n-1$ stupni volnosti.

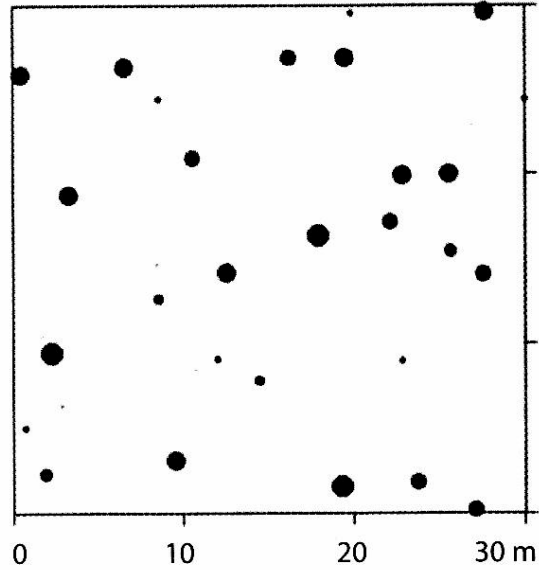
a)

$R=1,4^{**}$



b)

$R=1,2^*$

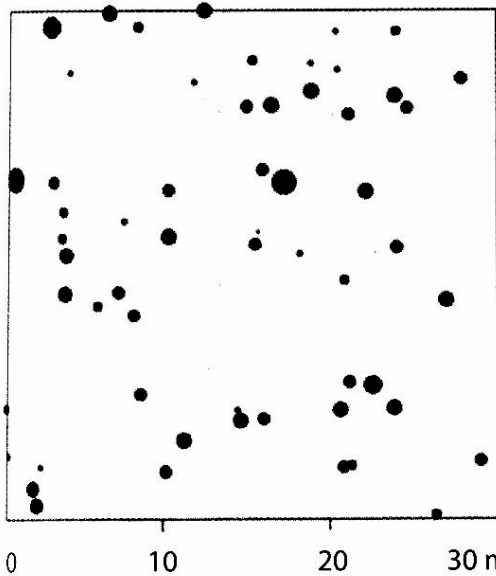


30 m
20
10
0

obr. a) , b) – pravidelná struktura
obr. c) náhodná
obr. d) shlukovitá

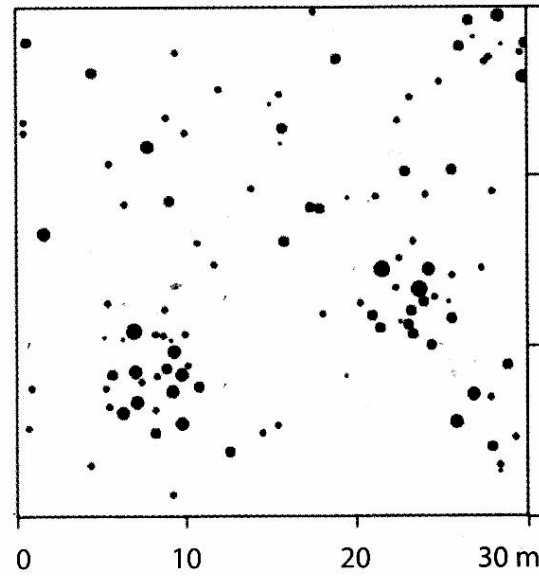
c)

$R = 1,0$



d)

$R = 0,9$



30 m
20
10
0

Distribuční index Pielou

Je založen na měření vzdálenosti od náhodně vybraného bodu zkoumané plochy k nejbližšímu sousedovi (nikoli na vzdálenostech mezi stromy).

$$I_p = \pi \cdot \lambda \cdot \bar{r}^2$$

λ parametr Poissonova rozdělení

\bar{r}^2 průměr vzdáleností od náhodného bodu k nejbližšímu sousedovi vypočítaný podle vztahu

$$\bar{r}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$$

Distribuční index Pielou

- náhodné uspořádání – I_p kolem jedné
- shlukovité uspořádání – I_p vyšší než jedna
- pravidelné uspořádání – I_p menší než jedna

Významnost odchylky od hodnoty 1 musí být, stejně jako v případě Clark-Evansova indexu, testována. K testování se používá kritérium $2n \cdot I_p$, které má χ^2 rozdělení s $2n$ stupni volnosti

Claphamův poměr rozptylu a průměru

Patří mezi charakteristiky struktury založené na zjišťování počtu jedinců ve výběrových čtvercích.

Jestliže použijeme m čtverců, poté veličina n_j , kde $j = 1, 2, \dots, m$, představuje počet jedinců v j -tém čtverci

$$\bar{n} = \frac{\sum_{j=1}^m n_j}{m} \quad n = \sum_{j=1}^m n_j = \bar{n} \cdot m \quad s_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (n_j - \bar{n})^2}{m - 1}$$

Claphamův poměr

$$I_c = \frac{s_n^2}{\bar{n}}$$

Claphamův poměr rozptylu a průměru

| | | |
|-----------------------|-----------|---|
| náhodné uspořádání | $I_c = 1$ | $s_n^2 = \bar{n} = \lambda$ |
| shlukovité uspořádání | $I_c > 1$ | (tedy rozptyl výrazně převyšuje hodnotu průměru, což indikuje velký počet čtverců s vysokým a naopak velmi nízkým nebo žádným počtem jedinců) |
| pravidelné uspořádání | $I_c < 1$ | (rozptyl je malý, počty jedinců ve čtvercích jsou víceméně vyrovnané) |

Odchylku hodnoty od referenční hodnoty 1 (náhodné uspořádání) testujeme pomocí testového kritéria

$$T = (m - 1) \cdot I_c,$$

které má χ^2 rozdělení s $(m-1)$ stupni volnosti, pokud platí $m > 6$ a $\bar{n} > 1$.

Claphamův poměr rozptylu a průměru

- 10 m -

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 |
| 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | 6 | 1 |
| 2 | 5 | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| 0 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 5 |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 1 | 7 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| 2 | 3 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 5 | 2 |
| 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 0 | 4 |

Na ploše 10 x 10 m je celkem 100 čtverců o straně 1 m a v každém čtverci je zaznamenán počet zjištěných jedinců.

Tedy vycházíme z hodnoty $m = 100$, průměrný počet jedinců na čtverec $\bar{n} = 2$ a rozptyl $s_n^2 = 2,18$. Poměr I_c je rovná $2,18/2 = 1,09$, což indikuje náhodné uspořádání. Pokud použijeme test podle vzorce $T = (m - 1) \cdot I_c$, tedy $99 \cdot 1,09 = 107,91$, poté se srovnání s kritickou hodnotou χ^2 rozdělení (pro $\alpha = 0,05$) 123,22 vychází, že $107,91 < 123,22$, a tedy že hypotéza o náhodném uspořádání nemůže být zamítnuta.

Dynamické funkce porostní struktury

K-funkce

L-funkce

párová korelační funkce

umožňují **posouzení změny (trendu) ve vývoji struktury zájmového území v závislosti na zvětšující se vzdálenosti od výchozího bodu** (tedy nakolik se mění struktura souboru stromů oproti teoretickému náhodnému uspořádání Poissonova procesu pro různou vzdálenost r od daného bodu)

Dynamické funkce porostní struktury

- Kolem každého stromu se opiše kruh o poloměru r .
- Spočítá se počet stromů v tomto kruhu.
- Poté se poloměr kruhu postupně zvětšuje a po každém zvětšení poloměru se znovu počítá počet stromů.
- spočítá se průměrný počet stromů n_r pro určitý poloměr r

$$\lambda \cdot K(r) = n_r,$$

kde je

$K(r)$ K-funkce

λ intenzita Poissonova procesu, počet bodů (stromů) připadající na jednotku plochy zkoumané oblasti

n_r střední hodnota počtu bodů (stromů) ve vzdálenosti menší nebo rovné r od náhodně zvoleného výchozího bodu (stromu)

r poloměr definující mezní vzdálenost od zvoleného bodu (stromu) ($r \geq 0$)

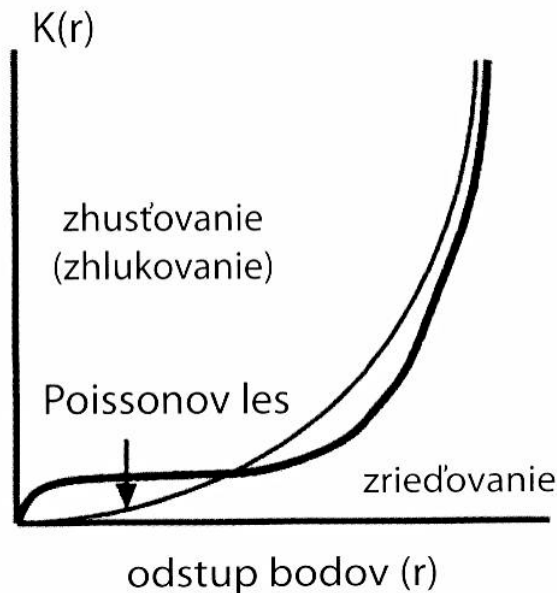
K-funkce

$$K(r) = \frac{n_r}{\lambda}$$

průměrný počet bodů můžeme vypočítat tak, že kolem všech bodů v oblasti budeme zjišťovat počet bodů vyskytujících se nejdále v předem nastavené vzdálenosti r . Tyto počty budeme sčítat přes všechny výchozí body a na závěr je podělíme celkovým počtem bodů ve zkoumané oblasti.

K-funkce

Za teoretickou K-funkci (tj. odpovídající náhodnému uspořádání stromů) se považuje parabola $K(r) = \pi \cdot r^2$, tedy se vzrůstající vzdáleností r očekáváme kvadratický nárůst počtu stromů zaznamenaných v kruzích o zvětšujícím se poloměru r . Kladné odchylky od této teoretické linie indikují shlukovité uspořádání, záporné odchylky pravidelnou strukturu.



K-funkce

Pro n stromů na experimentální ploše o velikosti A se K-funkce stanoví pro maximální vzdálenost r

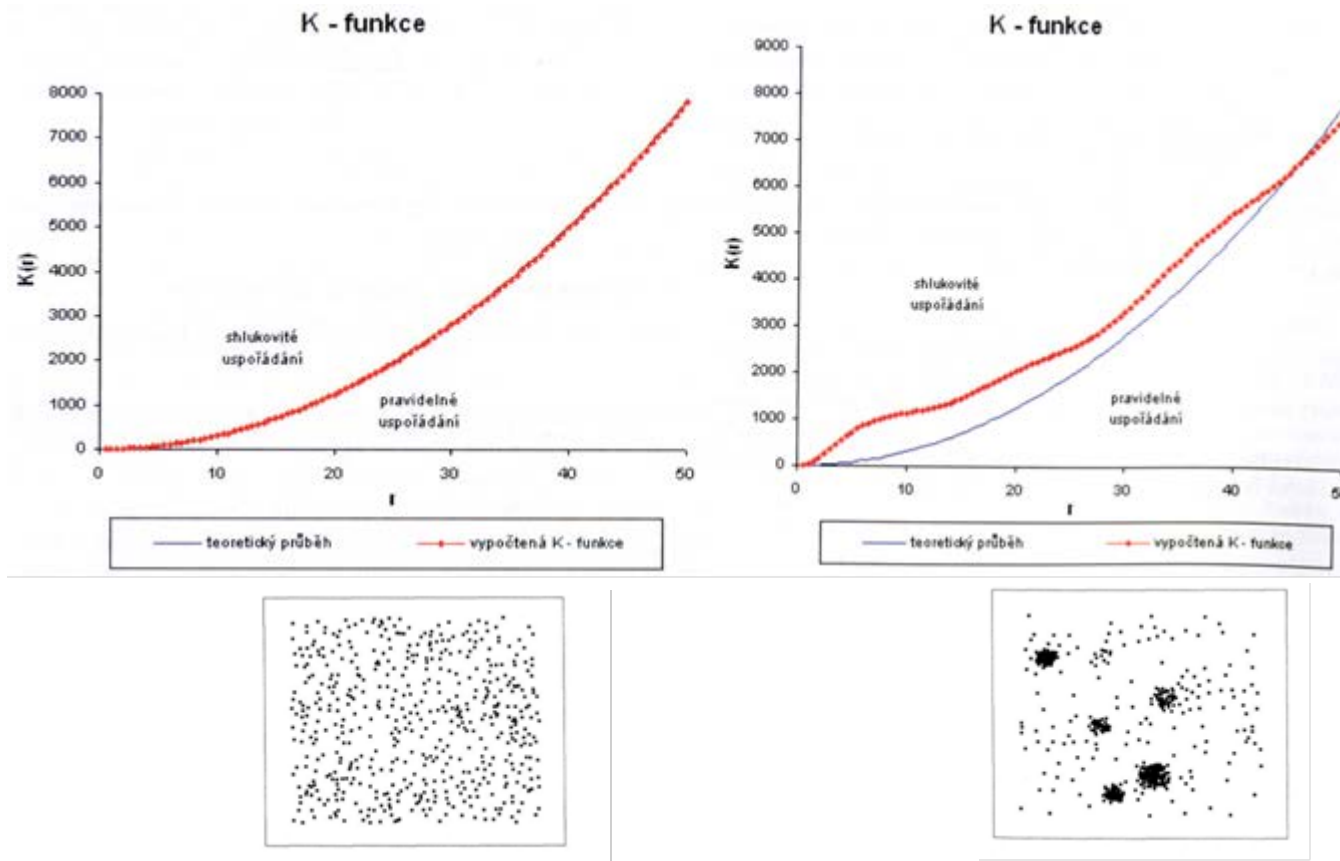
$$\hat{K}(r) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{P(r_{ij})}{n-1}$$

kde je

- r_{ij} vzdálenost dvou bodů – i (výchozí) a j (cílový),
- $P(r_{ij})$ funkce, která nabývá hodnoty 1, jestliže platí $r_{ij} \leq r$, jinak je funkce rovna nule,
- n počet bodů v celé oblasti,
- $\lambda = n/A$ parametr Poissonova rozdělení, průměrná hustota bodů.

K-funkce

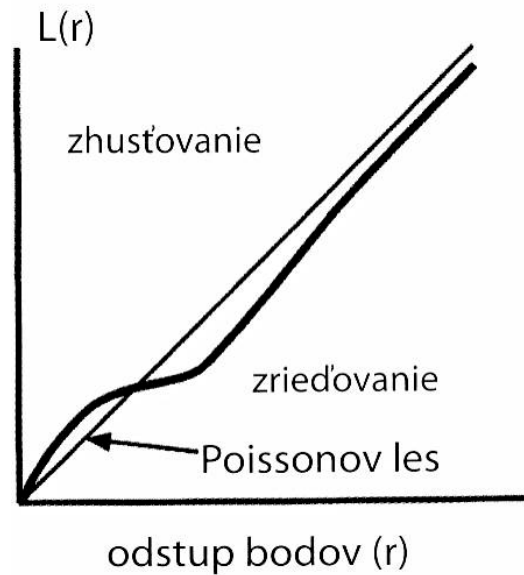
(Adolt 2003)



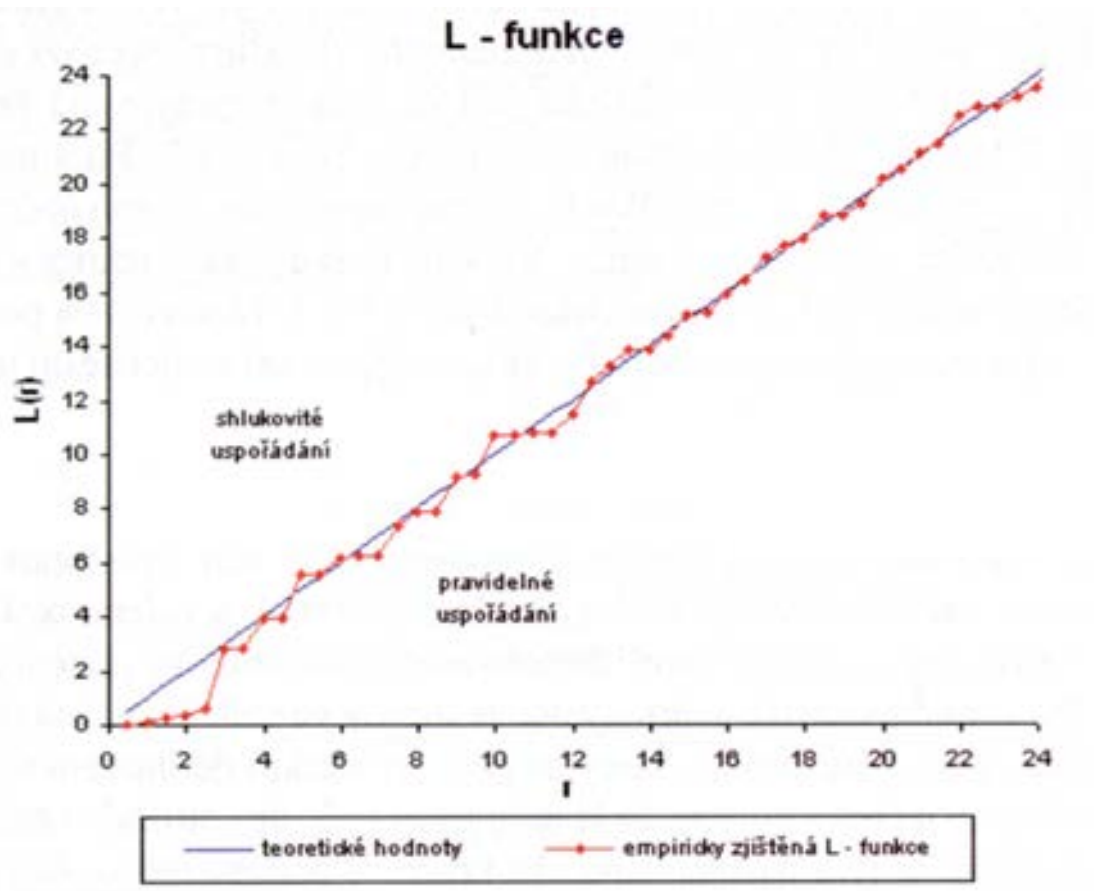
Vypočtené hodnoty K-funkce se dobře kryjí s hodnotami očekávanými v případě čistě náhodného uspořádání. Vpravo je K-funkce funkce pro porost B, která vypovídá o shlukovitém uspořádání od počátku až do vzdálenosti přibližně 45 metrů

L-funkce

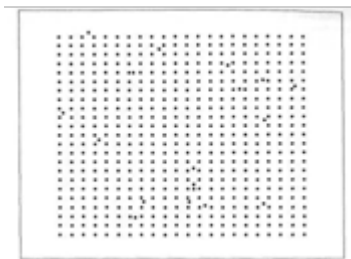
$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}}$$



L-funkce

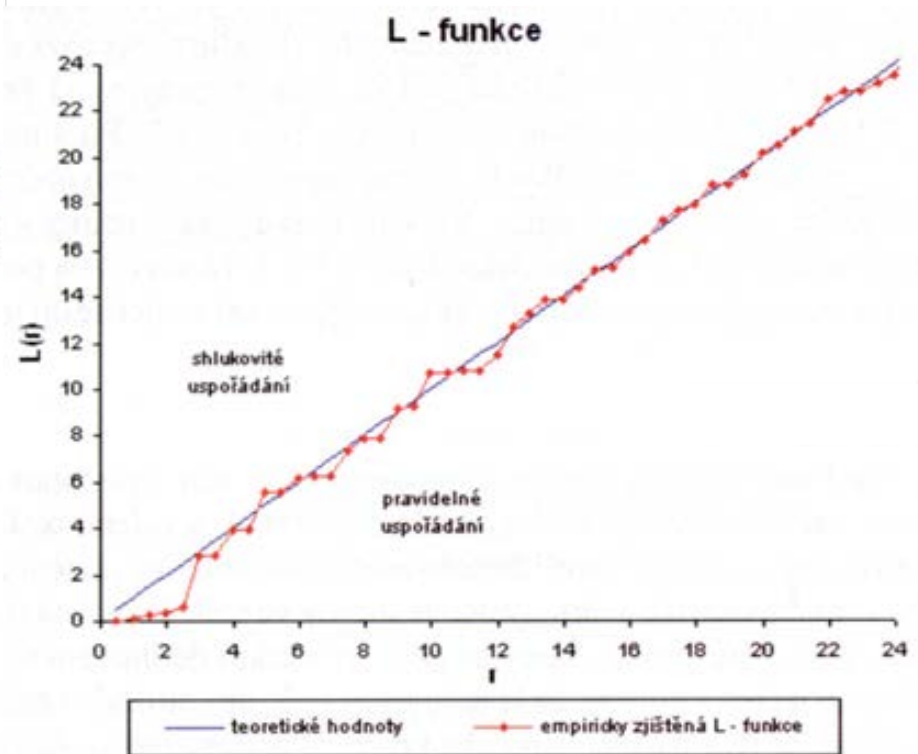
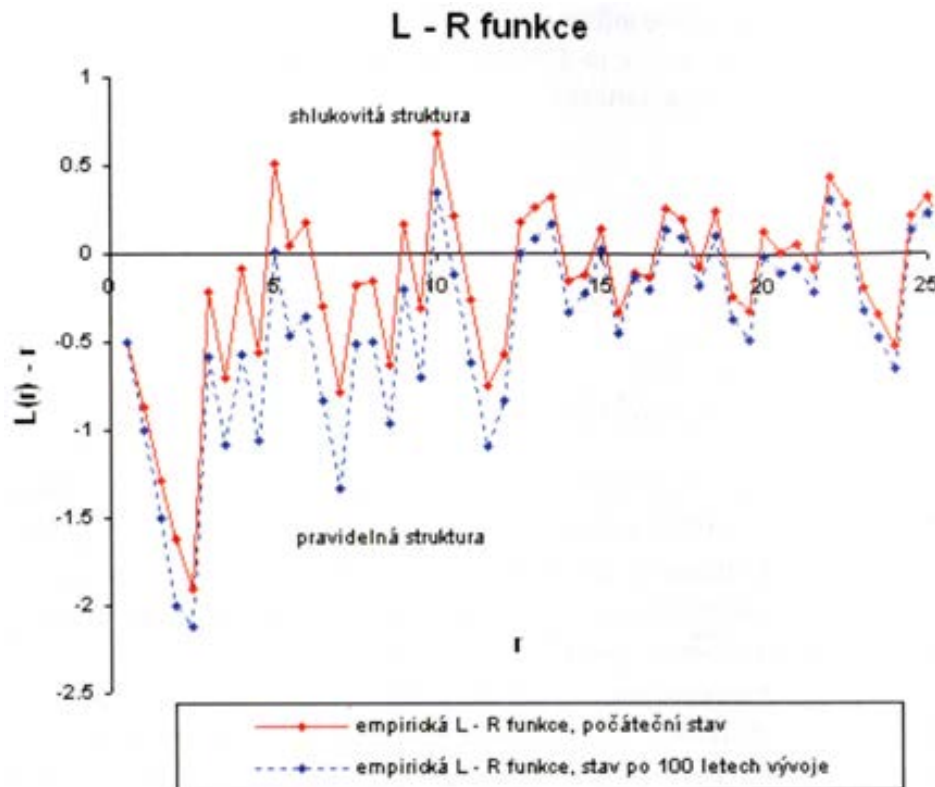


L-funkce
konstruovaná pro
mladý uměle
založený smrkový
porost aktuální
hustota přibližně
600 stromů na
hektar (ADOLT
2003)



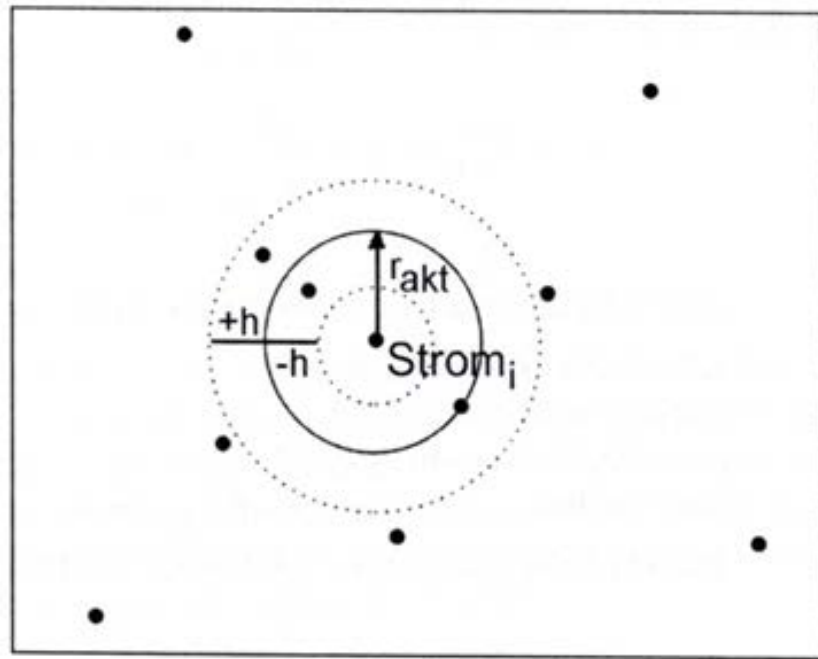
L-R funkce

vzniká odečtením hodnoty r od L-funkce. Takto vzniklá L-R funkce má pro případ čistě náhodného procesu teoretickou hodnotu nula, a to pro všechna uvažovaná r . Grafem je pak horizontální přímka $y = 0$. Hodnoty pod touto přímkou poukazují na pravidelné uspořádání, hodnoty nad přímkou svědčí o tendencích ke shlukování (ADOLT 2003).



Párová korelační funkce

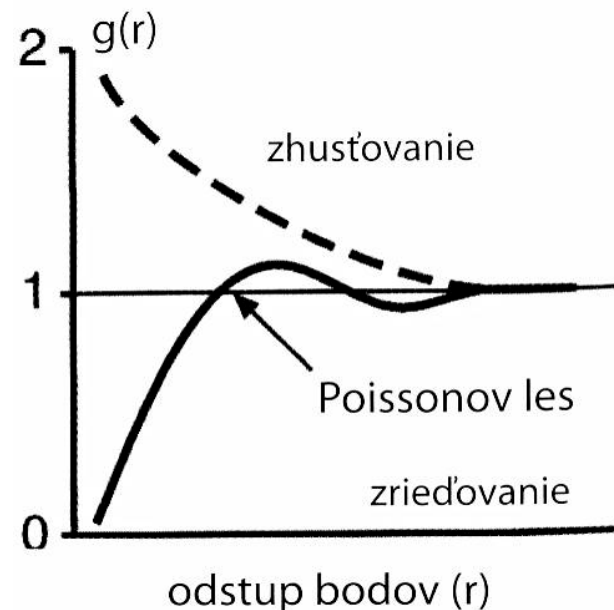
nevyhodnocuje počet bodů (stromů) v celém okolí o poloměru r , nýbrž se opírá o počty stromů v okolí definovaném jako kruhový prstenec o poloměru r a šířce $2h$. Do výpočtu jsou tak zahrnuty pouze stromy ve vzdálenosti od $r-h$ po $r+h$ od stromu výchozího. Každému stromu, který se nachází v takto definovaném okolí, se přiřazuje váha podle jisté jádrové funkce. Ta je definována tak, aby stromům přiřazovala tím větší váhu, čím blíže se tyto nachází středové kružnici prstencového okolí definované poloměrem r .



Párová korelační funkce

Výchozí parametry:

- minimální a maximální vzdálenost r (r_{min} a r_{max})
- přírůstek (o tuto hodnotu se bude zvětšovat poloměr r výběrového prstence při opakování analýzy)
- šířku poloviny výběrového prstence h (výběrový prsteneček bude mít šířku $2h = r \pm h$)



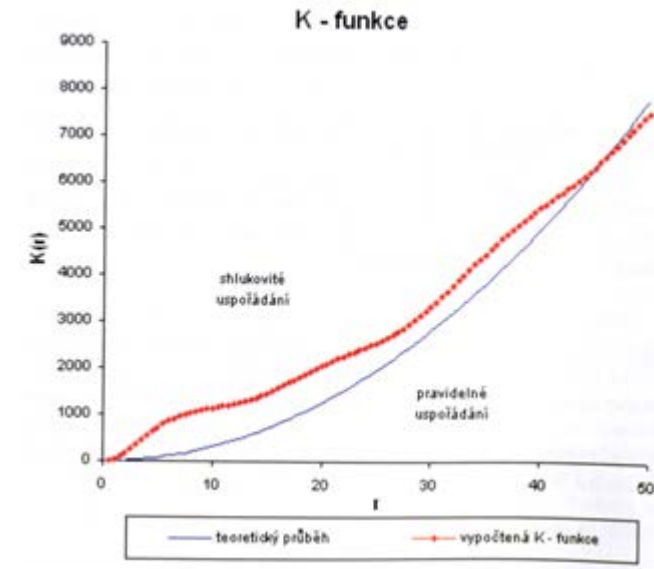
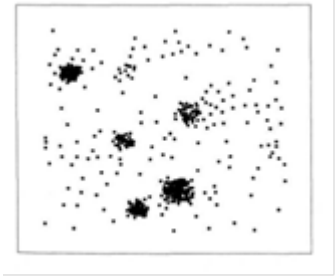
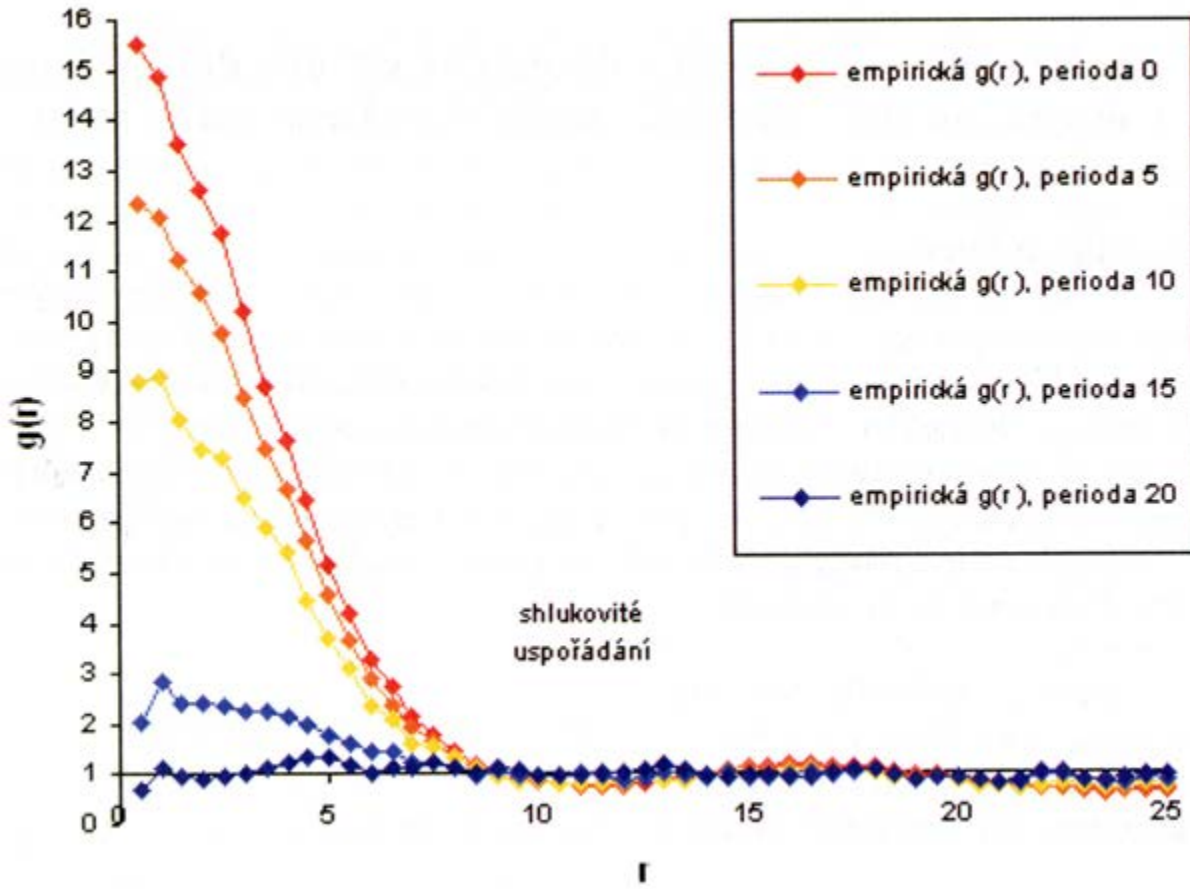
Párová korelační funkce

Podrobný postup provedení měření a výpočtu párové korelační funkce je v souboru „**Párová korelační funkce**“ na webu předmětu.

Výhodou párové korelační funkce v porovnání s K- a L-funkcemi je skutečnost, že její hodnota je pro danou velikost r podstatně méně ovlivněna vlastností struktury pod touto velikostí měřítka. K- i L-funkce staví na počtech bodů v oblasti od výchozího bodu až po poloměr r . Při následném zvětšení poloměru r o předem nastavenou hodnotu kroku je informace přicházející z nově přiřazené oblasti zpracována společně s informací přicházející z původního rozsahu okolí. Se vzrůstající velikostí okolí r vzhledem k velikosti kroku narůstá u K- a L-funkcí neschopnost detekovat změny struktury v následujícím kroku zvýšení měřítka.

Párová korelační funkce

Párová korelační funkce



Párové korelační funkce zpracované pro porost B (obr. 2) v různých fázích vývoje modelovaného růstovým simulátorem. Výchozí stav odpovídá periodě 0. Délka jedné periody je pět let, takže perioda 20 odpovídá stavu po sto letech. Z průběhu jednotlivých funkcí je jasně patrný postupný přechod od shlukovité struktury výchozího stavu k náhodnému uspořádání po sto letech vývoje (ADOLT 2003).

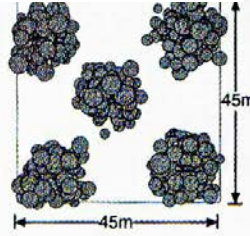
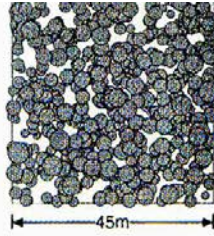
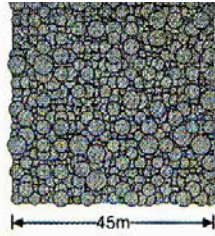
Struktura porostu

pravidelná

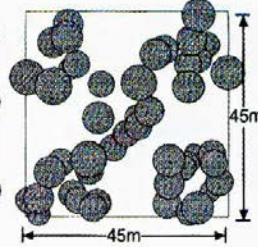
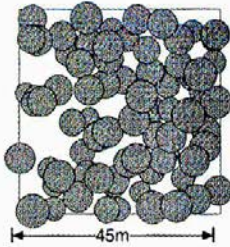
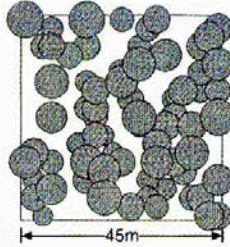
náhodná

skupinová

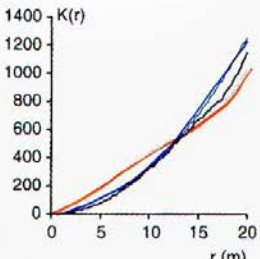
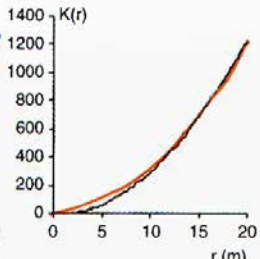
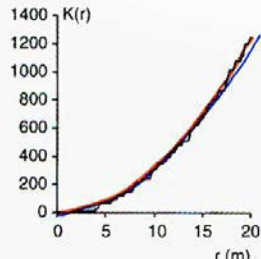
mladšia fáza



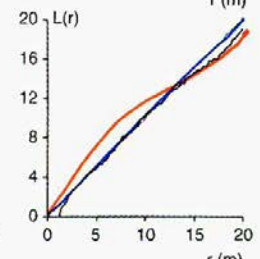
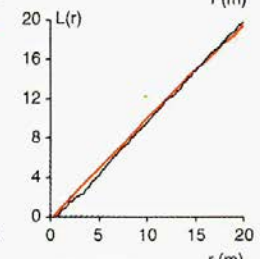
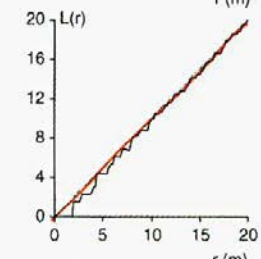
staršia fáza



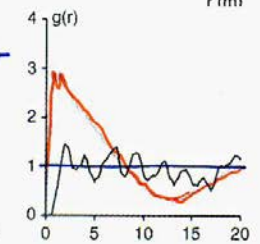
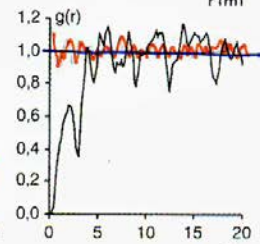
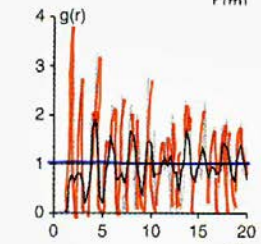
K-funkcia



L-funkcia



párokorelačná funkcia



modrá
oranžová
černá

náhodné usporiadání
mladšia fáza
staršia fáza

(Fabrika 2011)

CHARAKTERISTIKY HUSTOTY POROSTU

Zakmenění

vyjadřuje stupeň produkčního využití porostní plochy.

$$\rho = \frac{V/ha_{skut}}{V/ha_{tab}}$$

$$\rho = \frac{G/ha_{skut}}{G/ha_{tab}}$$

$$\rho = \frac{RP}{P}$$

- tabulkové podle růstových tabulek
- přirozené na základě maximální možné zásoby získané při bezzásahovém vývoji
- optimální maximální možný přírůstek porostu
- kritické produkuje se 95% možného maximálního přírůstku porostu

Index hustoty porostu podle Reinekeho

$$SDI = N \left(\frac{25}{d_{\bar{g}}} \right)^{-1,605}$$

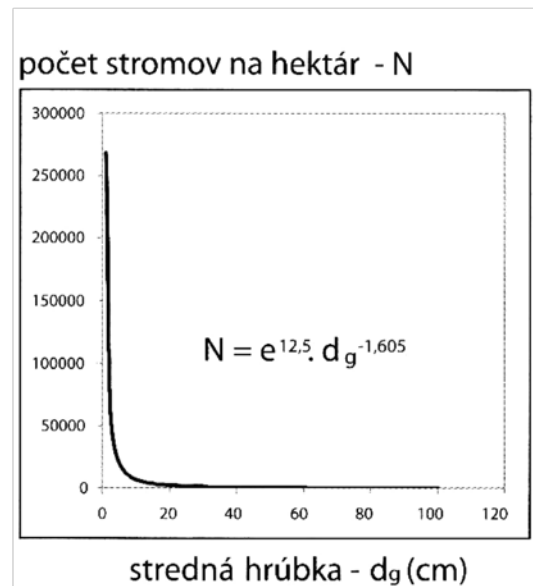
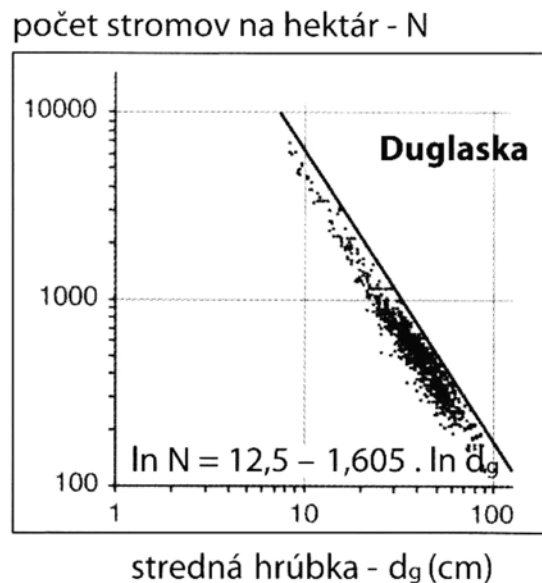
N počet stromů/ha

$d_{\bar{g}}$ střední tloušťka porostu reprezentující kruhovou základnu.

SDI stanovuje předpokládaný počet stromů pro referenční tloušťku 25 cm.

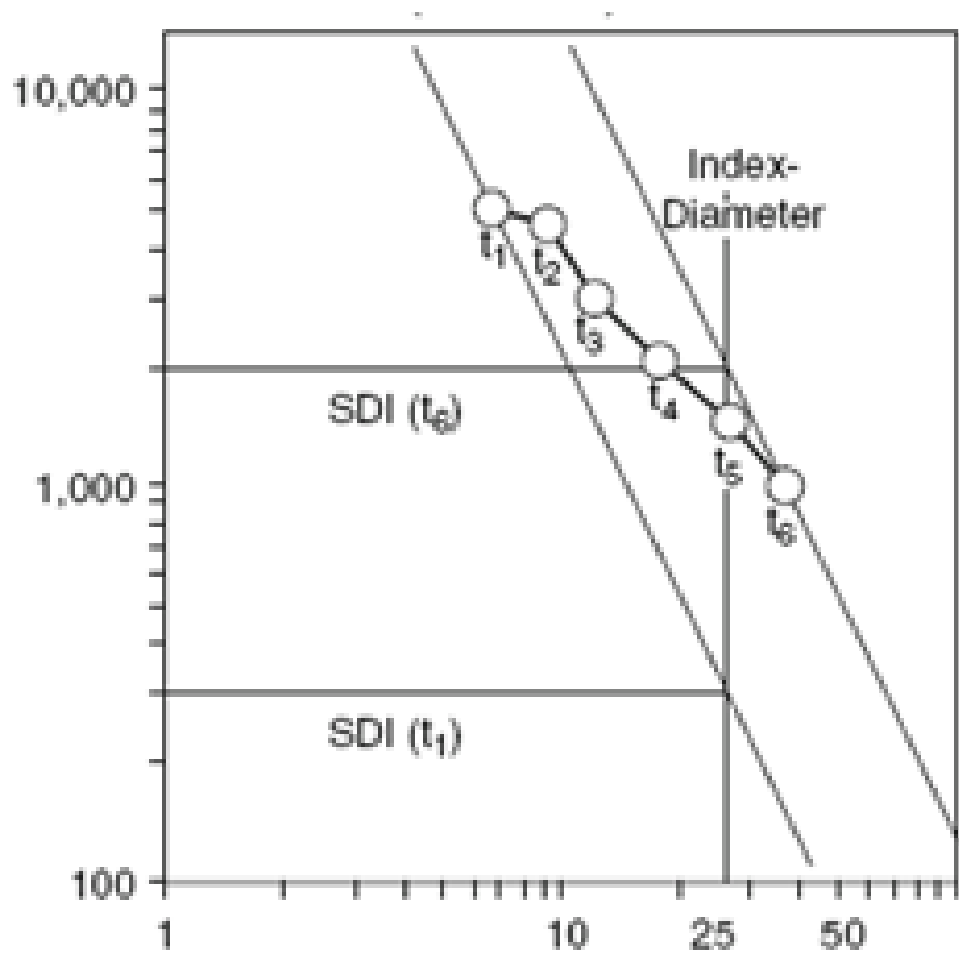
Index hustoty porostu podle Reinekeho

Odvozeno na základě **Reinekeho pravidla hustoty porosty** – klesající vztah mezi počtem stromů na jednotku plochy a střední tloušťkou porostu. Platí pro plně zakmeněné stejnověké porosty, které se vyvíjejí samovolně (bez zásahu člověka a vlivu přírodních katastrof).



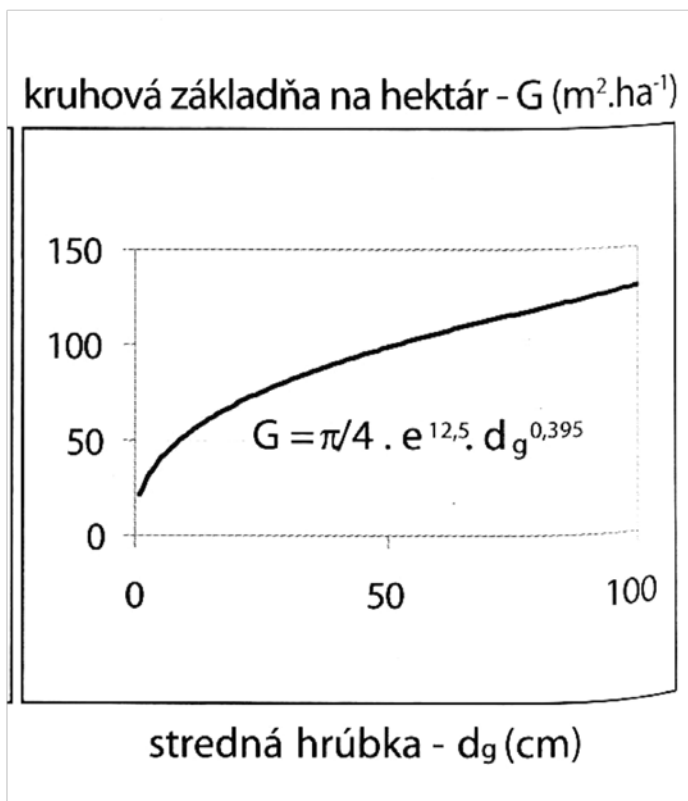
(FABRIKA 2011)

Index hustoty porostu podle Reinekeho



na ose X vynesena střední tloušťka, na ose Y počet stromů/ha (obě osy jsou logaritmické). Konkrétní zjištěné hodnoty byly vyneseny pro 6 následných měření (t_1, \dots, t_6). Aby se zjistila hodnota SDI, každým bodem t_1, \dots, t_6 se proloží přímka se směrnicí -1,605 a její průsečík s pořadnicí tloušťky 25 cm dá hodnotu SDI (udává počet stromů na ha, pokud hustota porostu zůstane nezměněna, pro porost se střední tloušťkou 25 cm). Na obrázku byly tyto přímky proloženy body t_1 a t_6 , čemuž odpovídá průsečík s pořadnicí střední tloušťky 25 cm (Index-Diameter) $SDI(t_1) = 300$ a $SDI(t_6) = 2000$.

Index hustoty porostu podle Reinekeho



max. kruhová základňa porostu odvozená z Reinekeho pravidla

MÍRY STRUKTURÁLNÍ A DRUHOVÉ DIVERZITY

Shannonův index diverzity

je nejznámější mírou druhové porostu (obecně jakéhokoliv přírodního společenstva). Obecně platí, že čím vyšší je hodnota tohoto indexu, tím vyšší je diverzita společenstva.

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i, \text{ kde } p_i = \frac{n_i}{N}$$

| | |
|-------|--|
| p_i | relativní četnosti druhu i |
| n_i | počet jedinců i -tého druhu a celkového počtu jedinců společenstva |
| N | celkový počet jedinců společenstva |
| s | celkový počet druhů společenstva |

Standardizovaný Shannonův index $E = \frac{H}{H_{\max}}$

| | |
|------------|---|
| H | Shannonův index |
| H_{\max} | maximální hodnota při daném počtu druhů $H_{\max} = \ln(s)$ |
| s | počet druhů společenstva |

Index druhového profilu (Artenprofil index)

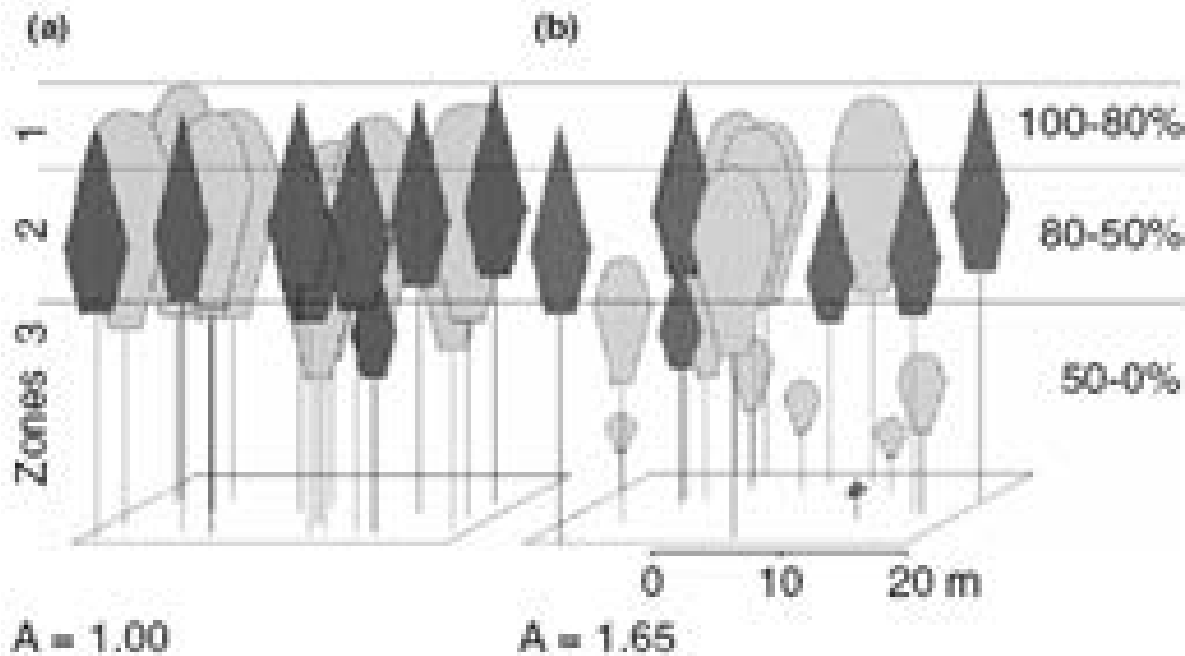
Upravený Shannonův index, kromě počtu a zastoupení dřevin uvažuje i s výškovým členěním porostu (Pretzsch 1995). Standardně se používají tři výškové úrovně, jejichž umístění je 0 - 50 %, 50 - 80 % a 80 - 100 % (maximální výšky porostu), ale výškové zóny mohou být libovolné jak z hlediska počtu, tak i výškového členění

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}), \text{ kde je } p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$$

- p_{ij} zastoupení i -té dřeviny v j -té výškové úrovni porostu
- n_{ij} počet jedinců i -té dřeviny v j -té výškové úrovni porostu
- N celkový počet jedinců porostu
- S počet dřevin porostu
- Z počet hodnocených výškových úrovní

Index druhového profilu (Artenprofil index)

(PRETZSCH 2009)



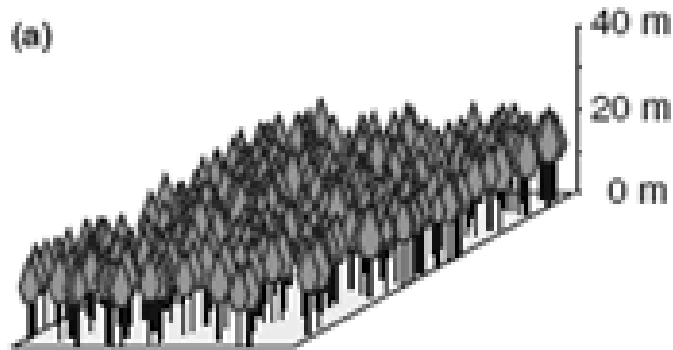
| | Zastoupení druhů v porostu a) | | Zastoupení druhů v porostu b) | |
|--------|-------------------------------|------|-------------------------------|------|
| | Smrk | Buk | Smrk | Buk |
| Zóna 1 | 0,35 | 0,55 | 0,25 | 0,25 |
| Zóna 2 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 |
| Zóna 3 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,25 |

$$A = 0,35 \cdot \ln(0,35) + 0,05 \cdot \ln(0,05) + \dots + 0,05 \cdot \ln(0,05) = 1,00,$$

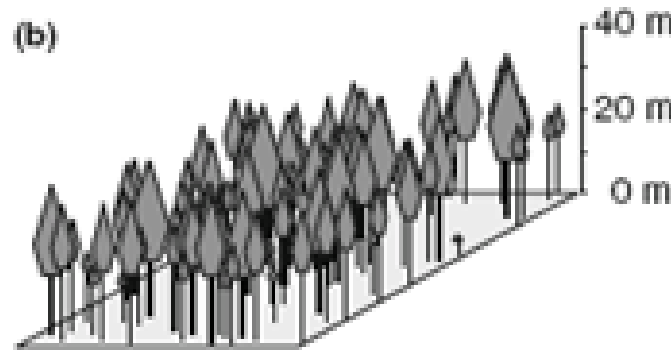
$$A = 0,25 \cdot \ln(0,25) + 0,10 \cdot \ln(0,10) + \dots + 0,25 \cdot \ln(0,25) = 1,65.$$

Standardizovaný Artenprofil index

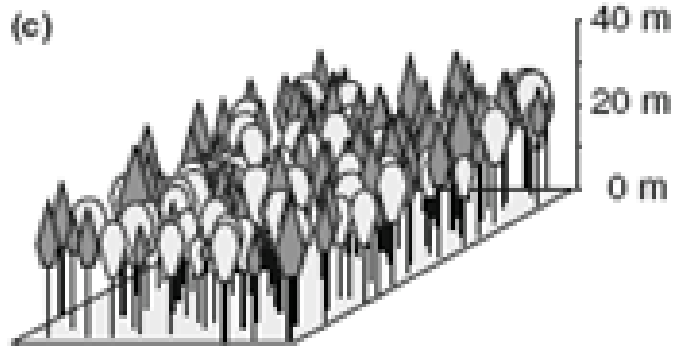
$$A_{rel} = \frac{A}{A_{max}} \cdot 100 = \frac{A}{\ln(Z \cdot S)} \cdot 100$$



$A = 0.29$
 $A_{rel} = 26.5$



$A = 1.03$
 $A_{rel} = 93.5$



$A = 1.41$
 $A_{rel} = 79.0$



$A = 2.02$
 $A_{rel} = 92.1$

- (a) jednoetážový smrkový porost
- (b) dvouetážový smrkový porost
- (c) dvouetážový buk-smrkový porost
- (d) víceetážový porost se smrkem, bukem a jedlí

(PRETZSCH 2009).

Füldnerův index smíšení dřevin

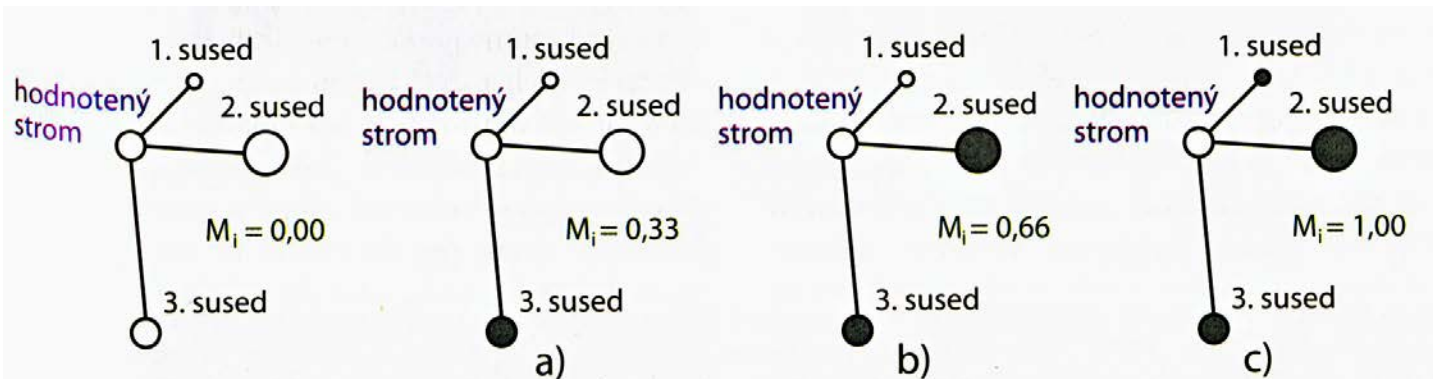
zaveden Füldnerem 1996. Slouží pro posouzení typu smíšení několika dřevin v porostu. Je definovaný na základě podílu susedů jiného druhu dřeviny vůči hodnocenému stromu.

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}}{n}$$

n počet hodnocených susedních stromů
 v_{ij} 0, je-li hodnocený susední strom
 téhož druhu jako strom hodnocený
 1, jde-li o jinou dřevinu

FÜLDNER (1996) doporučuje hodnotit tzv. strukturální kvartet, tj. jeden výchozí strom a jeho tři nejbližší susedy. Potom M_i může nabývat těchto hodnot:

- 0 pokud jsou všichni 3 nejbližší susedé stejného druhu jako výchozí strom,
- 0,33 pokud je 1 strom ze 3 nejbližších susedů jiného druhu než výchozí strom,
- 0,66 pokud jsou 2 stromy ze 3 nejbližších susedů jiného druhu než výchozí strom,
- 1 pokud jsou všechny tři susední stromy jiného druhu než výchozí strom.



(FABRIKA 2011)

Füldnerův index smíšení dřevin

Po ohodnocení všech stromů se spočítá průměrná hodnota indexu

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{N}$$

N celkový počet stromů v porostu.

Füldnerův index je v podstatě průměrným zastoupením dřevin jiného druhu v okolí náhodně vybraného stromu porostu.

Maximální hodnota 1 odpovídá stavu, kdy ani jeden ze stromů zastoupených v porostu nemá ve svém nejbližším hodnoceném okolí souseda téhož druhu.

Minimální hodnota 0 odpovídá stavu, kdy každý ze stromů porostu je obklopen pouze jedinci svého druhu.

Hodnoty do 0.5 vypovídají o skupinovitém smíšení dřevin, hodnoty nad 0.5 spíše o jednotlivém smíšení dřevin v porostu.

Segregační index podle Pieloua

Vychází ze zařazení nejbližších sousedů do druhu dřeviny. Je definován jako rozdíl jedničky a podílu pozorovaného počtu smíšených párů k jejich očekávanému počtu.

| Tabulka pro výpočet indexu segregace Pielou | | počet nejbližších sousedů dané dřeviny | | |
|---|-----------|--|-----------|--------|
| | | dřevina A | dřevina B | součet |
| výchozí stromy | dřevina A | a | c | m |
| | dřevina B | d | b | n |
| | součet | v | w | N |

$$a = \frac{m}{N} \cdot v; b = \frac{n}{N} \cdot w; c = \frac{m}{N} \cdot W; d = \frac{n}{N} \cdot v$$

Segregační index podle Pieloua

| Tabulka pro výpočet indexu segregace Pielou | | počet nejbližších sousedů dané dřeviny | | |
|---|-----------|--|-----------|--------|
| | | dřevina A | dřevina B | součet |
| výchozí stromy | dřevina A | a | c | m |
| | dřevina B | d | b | n |
| | součet | v | w | N |

Je-li vzájemné promísení dřevin v porostu čistě náhodné, pak by jednotlivým četnostem a , b , c , d tabulky měly odpovídat teoretické hodnoty

$$a = \frac{m}{N} \cdot v; b = \frac{n}{N} \cdot w; c = \frac{m}{N} \cdot w; d = \frac{n}{N} \cdot v$$

Teoretický počet smíšených párů by měl být roven teoretickému součtu četností

$$c + d = \frac{m}{N} \cdot w + \frac{n}{N} \cdot v$$

Segregační index podle Pieloua

$$S = 1 - \frac{N \cdot (c + d)}{(m \cdot w + n \cdot v)}$$

- m* počet jedinců dřeviny A v porostu
- n* počet jedinců dřeviny B v porostu
- N* celkový počet jedinců v porostu
- c* počet případů, kdy dřevina B je nejbližším sousedem dřeviny A
- d* počet případů, kdy dřevina A je nejbližším sousedem dřeviny B

Je to poměr pozorovaného počtu smíšených párů vůči očekávanému podílu smíšených párů

Segregační index podle Pieloua

Obor hodnot je od -1 do +1.

- 1 silná asociace mezi zkoumanými druhy dřevin (jednotlivé smíšení),
- 1 silná segregace zkoumaných dřevin (skupinovitě smíšení dřevin).
- 0 indiference - čistě náhodném vzájemném rozmístění dřevin.

Segregační index podle Pieloua

Segregační index podle Pieloua je možné stanovit pro libovolný počet dřevin dohromady, avšak s dílčí nevýhodou, která spočívá v tom, že hodnota takového indexu se hůře interpretuje. Například pokud by index počítaný pro tři dřeviny vyšel 0,85, neznamena to ještě, že všechny tři kombinace dvojic zastoupených dřevin vykazují stejnou vzájemnou afinitu. Proto je vhodné při použití tohoto indexu na tři a více dřevin, vypočítat jeho hodnotu i pro všechny možné kombinace dvojic zastoupených dřevin (ADOLT 2003).

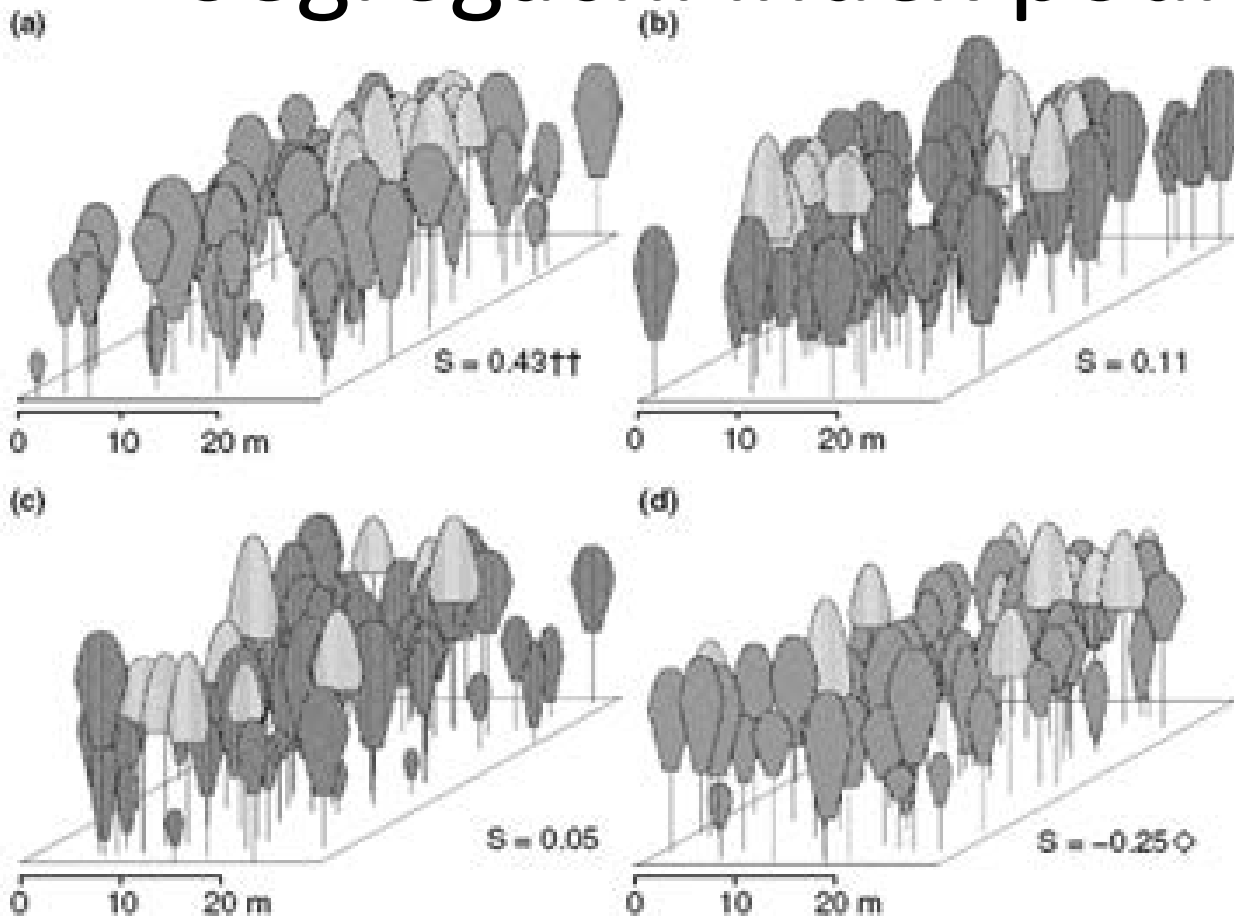
Segregační index podle Pieloua

Pro hodnoty indexu je možné odvodit kritické meze použitelné pro testování významnosti odchylek od nulové hodnoty (UPTON, FINGLETON 1985). Testové kritérium je

$$T_s = \frac{(N - 1) \cdot \left(|a \cdot b - c \cdot d| - \frac{N}{2} \right)^2}{m \cdot n \cdot v \cdot w}$$

které má χ^2 rozdělení.

Segregační index podle Pieloua



Příklad výpočtu segregačního indexu na porostu složeném z buku (tmavě šedá barva) a modřínu (světle šedá barva). Výrazně kladné hodnoty S (a, b) svědčí o tendenci k segregaci a tím o shlukovitém smíšení dřevin (výrazné shluky „světlých“ modřínů), výrazně záporné hodnoty S svědčí o jednotlivém smíšení dřevin (tendence k asociaci) – hlavně příklad (d), hodnota kolem 0 (c) naznačuje náhodné smíšení.

Symbol dvou křížků značí zamítnutí nulové hypotézy o náhodném smíšení dřevin na hladině významnosti $\alpha = 0,01$ a symbol diamantu značí zamítnutí nulové hypotézy o náhodném smíšení dřevin na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Znamená to, že příklady (b) a (c) indikují víceméně náhodné smíšení dřevin (test neprokázal statisticky významnou odchylku od 0), příklad (a) statisticky prokázanou tendenci ke shlukovitému smíšení dřevin a příklad (d) statisticky prokázanou tendenci k jednotlivému smíšení dřevin (PRETZSCH 2009).

Použitá literatura

ADOLT, R. (2003): Hodnocení prostorové a druhové struktury porostu. In: Simon, J. (ed.): Monitorovací plochy soustavy NATURA 2000 v České republice (1.část). Sborník prací institucionálního výzkumu, MZLU v Brně, Brno, s. 18 – 35

ASSMANN, E. (1970): The principles of forest yield study. Pergamon, Oxford, New York, 506 s.

BESAG, J.E. (1977): In: Ripley, B.D. (1977): Modelling spatial patterns (with discussion). Journal of Royal Statistical Society, Series B 39:2: 172–212

CLAPHAM, A. R. (1936): Over-dispersion in grassland communities and the use of statistical methods in plant ecology. Journal of Ecology 24: 232–251

CLARK, P.J. – EVANS, F.C. (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35 (4): 445–453

DONNELLY, K. (1978): Simulation to determine the variance and edge-effect of total nearest neighbour distance. In: Hodder, I. (ed.): Simulation studies in archaeology. Cambridge University Press, London, s. 91–95

Použitá literatura

FABRIKA, M.(2011): Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene. 599 s.

FÜLDNER, K. (1995): Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. PhD thesis Forstl Fak Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen: 146 + annex

FÜLDNER, K. (1996): Die “Strukturelle Vierergruppe” – ein Stichprobenverfahren zur Erfassung von Strukturparametern in Wäldern. Beitr. zur Waldinventur. Festschrift on the 60th anniversary of Prof. Dr. Alparslan Akca. Cuvillier, Göttingen, 139 s.

PIELOU, E.C. (1977) Mathematical Ecology. Wiley, New York, 385 s.

PRETZSCH, H. (1995): Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 166:9/10: 190–201

PRETZSCH, H. (2009): Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 664 s.

Použitá literatura

REINEKE, L.H. (1933): Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46: 627–638

RIPLEY, B.D. (1977): Modelling spatial patterns (with discussion). *Journal of Royal Statistical Society, Series B*, 39:2: 172–212

SHANNON, C.E. (1948): The mathematical theory of communication. In: Shannon, C.E., Weaver, W. (eds.): *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press, s. 3–91

STOYAN, D., STOYAN, H. (1992): *Fraktale Formen und Punktfelder: Methoden der Geometrie-Statistik*. Akademie Verlag, Berlin, 394 s.

UPTON, G.J.G., FINGLETON, B. (1985): *Spatial data analysis by example: Volume I: Point pattern and quantitative data*. Wiley, New York, 410 s.