Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 26, 1985, s. 107–126

Oxf. 568

Izvleček:

KOTAR M.:

POVEZANOST PROIZVODNE ZMOGLJIVOSTI SESTOJA Z NJEGOVO GOSTOTO

Avtor obravnava v sestavku gostote gozdnih sestojev na podlagi števila dreves, temeljnice in lesne zaloge ter njihove povezave z lesno proizvodnjo sestoja. V sestavku je opisana tudi uporaba pravila odnosa med konkurenco in gostoto v gozdnih sestojih ter možnost uporabe Mitscherlichovega zakona pri ugotavljanju odvisnosti prirastka od višine lesne zaloge sestoja v isti razvojni fazi.

Abstract:

KOTAR M.:

THE LINK-UP OF PRODUCTION CAPACITY OF A STAND AND ITS DENSITY

The author deals with the density of forest stands on the basis of the number of trees, the basal area, growing stock and their link-up with the wood production of the stand. The implementation of the rule on the relationship between competition and density in forest stands is also presented, as well as the possibility of implementation of Mitscherlich's law when identifying the dependence of increment on the amount of growing stock of a stand at the same stage of development.

Prof. dr. Marjan KOTAR, dipl. inž. gozd.
Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo
61000 Ljubljana, Večna pot 83, YU

1. UVOD

Razvoj in rast gozdnih sestojev označujejo spremembe cele vrste sestojnih značilnosti ali kazalnikov. Te spremembe pa imajo naravo zakonitosti, ki izvirajo iz drevesne vrste, rastišča ter načina in vrste naših posegov v gozd. To spoznanje nam omogoča spremljanje razvoja in rasti gozdnih sestojev ter ugotavljanje uspešnosti doseganja gozdnogojitvenih ciljev. Iz vrste kazalnikov, ki označujejo rast sestoja, navedimo samo tiste, katerih vrednost lahko ugotovimo s preštevanjem ter s preprostim merjenjem in preprostim izračunavanjem. To so predvsem število dreves, lesna zaloga stoječega sestoja, sestojna temeljnica, zgornja in srednja sestojna višina, srednji premer, srednja dolžina krošenj, površina krošenj, sestojni volumen krošenj ter združbena zgradba sestoja. Kot vidimo, imamo veliko kazalnikov, ki so med seboj tudi odvisni.

V gozdarstvu v Sloveniji spremljamo razvoj sestoja tako, da ugotavljamo srednji sestojni premer, srednje sestojne višine in lesne zaloge sestoja. V srednjeevropskih deželah lesno zalogo pogosto nadomesti sestojna temeljnica, ker jo hitreje in natančneje določijo. V skandinavskih deželah in v deželah zunaj Evrope pa se je močno uveljavila spremljava rasti sestojev glede na število dreves. Seveda je uporaba tega kazalnika primerna le v enomernih sestojih. V tem sestavku obravnavamo samo tiste kazalnike razvoja sestoja, ki jih imenujemo gostota; to so vrednosti sumarnih znakov, izražene na enoto površine sestoja. Skušal bom prikazati predvsem povezavo med vrednostjo gostote in proizvodno zmogljivostjo sestoja ter gostoto in nekaterimi drugimi sestojnimi kazalniki, s katerimi podajamo stanje sestoja v vsakdanji praksi.

V sestavku obravnavamo tri gostote, in sicer:
a) gostota glede na število dreves (število dreves na ha),
b) gostota glede na temeljnico (temeljnica na ha),
c) gostota glede na lesno zalogo (lesna zaloga na ha).

2. GOSTOTA SESTOJA PO ŠTEVILU DREVES

Z razvojem in rastjo sestoja se zmanjšuje število dreves. To zmanjševanje števila dreves sledi določeni zakonitosti. Že bežen pogled v donosne tablice, ki predstavljajo poenostavljen model gozda na nekem določenem rastišču, določene drevesne vrste, nam pokaže, da je število dreves na hektar različno glede na drevesno vrsto, rastišče (bonitetni razred) in starost.

Ker predstavljajo donosne tablice razvoj gozda ob natančno določenem gojitvenem ukrepanju, je v njih prikazano zmanjševanje števila dreves s starostjo kot posledica razvoja sestoja ter načina in jakosti ukrepanja. V donosnih tablicah prikazana zakonitost zmanjševanje števila dreves s starostjo je preveč pod vplivom predvidenih ukrepanj v sestojih; način teh ukrepanj pa se je sčasoma močno spremenil. Zato je število dreves, ki ga dobimo iz tablic, za znanost prav malo pomembno, za prakso pa skoraj nič. Pri tem tabličnem številu dreves tudi ni zagotovljena največja proizvodnja lesa. Vse drugačno vrednost pa ima gostota (število dreves na hektar), ki jo dobimo v sestojih, katerih razvoj smo prepustili naravi. To vrednost imenujemo *naravna gostota.* Pri tej gostoti — vsaj tako ugotavlja veliko raziskovalcev — imamo tudi največjo lesno proizvodnjo. Ta naravna gostota je zelo pomembna pri bonitiranju, tj. ugotavljanju rodovitnosti rastišč.

Pri bonitiranju rastišč se je v svetu močno uveljavila tako imenovana metoda rastiščnih indeksov (site index). To je metoda bonitiranja, ki temelji na zgornji višini sestoja. Rastiščni indeks predstavlja zgornjo višino sestoja pri starosti 50 let, ali, v drugi različici te metode, zgornjo višino sestoja pri starosti 40 let; vendar se v tem primeru šteje kot sestoj na prvem rastišču to višino pri občutno nižji starosti kot sestoj na drugem rastišču. — to je fiziološka starost (v primeru zastarčenosti se ne upoštevajo zgoščene letnice, ampak se vzame le toliko letnic, kolikor bi jih to drevo potrebovalo, če bi raslo na prostem). Ugotavljanje rodovitnosti rastišča temelji na ugotovitvi, da obstaja tesna korelacijska povezava med zgornjo višino sestoja in celotno lesno proizvodnjo. To povezavo podaja tako imenovani Eichhornov zakon. Eichhorn je že leta 1904 odkril, da je pri enaki srednji sestojni višini enaka tudi celotna lesna proizvodnja sestoja, ne glede na rastišče. Če imamo npr. dva sestoja — prvi je na zelo rodovitnem rastišču, drugi pa glede lesne proizvodne sposobnosti na zelo revnem — bosta imela oba, npr. pri starosti, ko bosta imela srednjo sestojno višino 25 m, enako celotno lesno proizvodnjo. Razloček bo v tem, da bo imel sestoj na prvem rastišču to višino pri občutno nižji rasti kot sestoj na drugem rastišču. Gehrhardt (ASSMANN, 1961) je ta zakon razširil na zgornjo sestojno višino. Zgornja sestojna višina je namreč precej manj odvisna od vrste in jakosti gojitvenih ukrepov kot srednja višina. Tudi naše raziskave smrekovih gozdov (KOTAR, 1980) potrjujejo in opozarjajo, da sta zgornja višina in celotna lesna proizvodnja tesneje povezani kot srednja sestojna višina in lesna proizvodnja. Današnje, lahko bi rekli sodobnejše donosne tablice temeljijo prav na tem razširjenem Eichhornovem zakonu. Vendar pa so raziskave v svetu, in tudi pri nas pokazale, da so še zmeraj precejšnje razlike v celotni lesni proizvodnji lesa med sestoji, ki uspevajo na različnih rastiščih in imajo isti rastiščni indeks, torej enako zgornjo višino pri isti starosti. Te razlike niso ravno velike, so pa kljub temu pomembne. Nastajajo predvsem zaradi različnega števila dreves na enoto površine, in to ob istem srednjem premeru. Za zgled vzemimo smrekov gozd na Pokljuki. Tam ima smreka že po naravi ozko krošnjo, zato lahko na enaki površini ob isti zgornji višini sestoja raste več dreves kot pa na rastiščih, kjer rastejo po naravi drevesa s široko krošnjo. Zato bomo ugotovili, da pri isti zgornji višini in pri isti starosti uspeva v gozdovih Pokljuke in drugih gorskih gozdovih smreke več dreves kot na nižinskih rastiščih istega rastiščnega indeksa. Zato je tudi celotna lesna proizvodnja znotraj istega bonitetnega razreda, ki temelji na rastiščnem indeksu, višja v gorskem gozdu kot pa v nižinah. Glede na to spoznanje so uvedli prirastoslovci t. i. raven proizvodnosti (yiled level). Po številu dreves v sestojih, ki uspevajo na rastiščih z istim rastiščnim indeksom in ob istem srednjem premeru, delimo rastišča na različne, ponavadi na tri ravni proizvodnosti. Lahko bi rekli, da je zgornja višina odsev „navpičnih učinkov", raven proizvodnosti pa „vodoravnih učinkov" rastišča. Kolikšni so ti „vodoravni učinki" ali razlike med proizvodnostnimi ravnimi vidimo, če pri enaki zgornji višini primerjamo celotno lesno proizvodnjo različnih sestojev (ASSMANN, 1961). Višja raven proizvodnosti se torej kaže v večjem številu dreves ob enakem premeru in isti zgornji višini ali pa ob enakem številu dreves in večjem srednjem prsnem premeru ob isti zgornji višini sestoja. Vendar pa skoraj ni mogoče neposredno ugotavljati te ravni proizvodnosti naših rastišč, ker v večini naših sestojev gospodarimo, to pa pomeni, da je število dreves posledica rastišča in gospodarjenja. Raven proizvodnosti naših rastišč bi bilo mogoče neposredno ugotavljati le tedaj, če bi na vsakem rastišču ali rastišni enoti imeli tudi nekaj sestojev, katerih razvoj bi popolnoma prepustili naravi. Žal imamo takšnih sestojev danes zelo malo, dobili pa jih bomo v prihodnosti, če bomo ohranili vse tiste gozdne rezervate, ki smo jih izločili iz gospodarjenja v preteklem desetletju. Posredno pa lahko ugotovimo raven proizvodnosti za posamezna rastišča, če poznamo zakonitosti, ki veljajo med srednjim prsnim premerom ter številom dreves pri isti zgornji višini. Za predstavitev teh zakonitosti se moramo najprej seznaniti z nekaterimi novimi kazalniki gozdnih sestojev.

2.1 Specifična gostota sestoja (SDI)

Pod specifično gostoto sestoja (stand density index) razumemo delež (razmerje) dreves obravnavanega sestoja v primerjavi s številom dreves sestoja, ki je bil prepuščen naravnemu razvoju in ima enak srednji prsni (temeljnični) premer. Ta kazalnik je uvedel Reineke že leta 1933 (STERBA, 1981), vendar je zaradi lažje predstavitve uporabljal namesto deleža ali odstotka kar število dreves, ki bi jih imel obravnavani sestoj, če bi imel srednji (temeljnični) premer 10 palcev (inch). Sterba (STERBA, 1981) je to preračunal v metrični sistem; tako pomeni danes SDI število dreves danega sestoja, preračunano na srednji premer 25 cm. Po Reinekeju ločimo SDI danega sestoja in $SDI_{MAKS.}$: slednji predstavlja število dreves v sestoju, ki ima srednji premer 25 cm, njegov razvoj pa je bil prepuščen naravi. Ta drugi kazalnik imenujemo naravna specifična gostota sestoja ali tudi največja (maksimalna) specifična gostota sestoja. Reineke je ugotovil tole: če na koordinatni sistem, ki ima logaritmsko lestvico na obeh oseh (dvojni logaritemski papir), nanašamo na obscisno os srednji temeljnični premer, na ordinatno os pa število dreves naravnemu razvoju prepuščenih sestojev, potem se te točke razvrstijo na premici s smernim koeficientom k = – 1,605. Različne drevesne vrste imajo na različnih rastiščih svoje premice, vendar imajo vse enak smerni koeficient k = – 1,605, torej so vzporedne. Zato lahko to zapišemo matematično takole:

$$N_{MAKS,d_s} = A.d_s^{\,-1,605} \qquad \text{(zveza št. 1)}$$

d_s = srednji prsni premer (temeljnični)
N_{MAKS,d_s} = največje število dreves pri srednjem premeru d_s
A = Parameter, ki je odvisen od rastišča ali drevesne vrste.

Enačba 1 nam pove, da je največje število dreves pri srednjem sestojnem premeru predstavljeno z alometrijsko funkcijo. Zanjo pa vemo, da nastane ob podmeni, da je relativni prirastek za znak N sorazmeren relativnemu prirastku za znak d (če vzamemo označitev iz enačbe 1). Če to zapišemo matematično, dobimo tole diferencialno enačbo:

$$\frac{dN}{dt} \cdot \frac{1}{N} = k\,\frac{dd_s}{dt} \cdot \frac{1}{d_s} \qquad \text{(zveza št. 2)}$$

t = čas,
k = konstanta

Rešitev te diferencialne enačbe nam da enačbo 1, vendar pisano v splošni obliki.

Povezava med dejanskim številom dreves pri istem srednjem premeru (d_s) pa je taka:

$$\frac{N_O}{N_{MAKS,d_s}} = p = \frac{N_O}{A.d_s^{\,-1,605}} \qquad \text{(zveza št. 3)}$$

SDI je definiran kot število, ki ustreza enakemu deležu (p) pri sestoju s srednjim premerom d_s = 25 cm, zato velja:

$$\frac{SDI}{N_{MAKS,25}} = p = \frac{N_o}{Ad_s^{-1,605}} = \frac{SDI}{A.25^{-1,605}}$$

$N_{MAKS,25}$ = največje število dreves v sestoju s srednjim premerom d_s = 25 cm.
N_o = dejansko število dreves

Iz tega lahko izrazimo SDI, in sicer

$$SDI = \frac{N_o \,.\, A \,.\, 25^{-1,605}}{A\, d_s^{-1,605}} = N_o \left(\frac{25}{d_s}\right)^{-1,605} \qquad \text{(zveza št. 4)}$$

Absolutna specifična gostota sestoja je, kot vidimo iz zveze št. 4, podana s številom dreves in s srednjim premerom sestoja (temeljničnim). Ta zveza nam rabi samo za prevedbo števila dreves danega sestoja z danim srednjim premerom na število dreves, ki bi jih imel ta sestoj, če bi imel srednji premer 25 cm. Vendar pa nam še vedno manjka povezava, kako ugotoviti SDI_{MAKS}, oziroma maksimalno specifično gostoto sestoja na danem rastišču za dano drevesno vrsto, če nimamo sestojev, ki jih je v razvoju usmerjala le narava. Zveza št. 4 nam omogoča, da ugotovimo naravno specifično gostoto pri 25 cm le tedaj, če imamo nedotaknjene sestoje pri poljubnem srednjem premeru.

Da bomo bolje razumeli vrednosti smernega koeficienta (k = −1,605) oziroma potence v alometrijski funkciji, ki jo je že leta 1933 ugotovil Reineke, ter ugotavljanje SDI_{MAKS} iz gospodarskih sestojev, se moramo najprej dobro seznaniti z zakonom o intraspecifični konkurenci v populacijah, prepuščenih naravnemu razvoju. Ta zakon, v strokovnem slovstvu znan kot „zakon potence $-\frac{3}{2}$ ", podaja največjo gostoto sestoja glede na število dreves, in to ob različnih starostih sestoja in na različnih rastiščih. Ta biološki model sta odkrila japonska raziskovalca na kmetijskih kulturah Shinozaki in Kira leta 1956, razširila pa Ogawa, leta 1961, in Yoda 1964. (DREW and FLEWELING, 1977.) Ti raziskovalci so ugotovili, da je v čistih kulturah, kljub razlikam v starosti ali razvojnih fazah in različnim rastiščnim razmeram zveza med srednjo težo (suha teža) rastline in gostoto glede na število — če jo predstavimo na dvojnem logaritemskem papirju — vedno premica, kadar so te rastlinske populacije prepuščene naravnemu razvoju. Vrednost potence, ki v tem primeru pomeni smerni koeficient premice, ima vrednost $-\frac{3}{2}$ ali pa je zelo blizu te vrednosti. Ta največja gostota se nanaša na največjo *vrednost povprečnega števila osebkov* ali dreves za dane razmere, in ne na največje število dreves v samem sestoju. V teh naravi prepuščenih kulturah ali sestojih se začne izločanje šele takrat, ko je rastni prostor popolnoma zaseden; šele takrat lahko govorimo o največjem številu osebkov. Yoda je leta 1963 ugotovil zvezo med priraščujočo površino (S) in težo rastline (W) ter jo podal takole:

S je sorazmeren z 1/N (zveza a)
N je štev. osebkov ali dreves na 1 ha pri neki določeni starosti.

Nadalje je ugotovljeno:
S je sorazmeren L^2 (zveza b)
(če vzamemo za L neko osnovno dimenzijo rastline, ki se meri linearno, npr. višino drevesa ali širina krošnje, ali premer debla itd.)

ugotovljeno je tudi:
W je sorazmeren L^3 (zveza c)
(to pomeni, da je teža funkcija neke linearne dimenzije s tretjo potenco)
zato velja:
S je sorazmeren L^2 je sorazmeren (L^3) je sorazmeren $(W)^{\frac{2}{3}}$ (zveza d)

Če vzamemo namesto izraza sorazmeren znak $\propto$, potem to zvezo zapišemo:

$$S \propto L^2 \propto (L^3)^{\frac{2}{3}} \propto (W)^{\frac{2}{3}}$$ (ponovno zveza d)

Če vzamemo prvi člen zveze d in ga zamenjamo z zvezo a ter zadnji člen zveze d, dobimo:

$$1/N \propto W^{\frac{2}{3}}$$ (zveza e)

ter

$$W \propto (N)^{-\frac{3}{2}} \text{ oziroma } W = c \cdot N^{-\frac{3}{2}}$$ (zveza f)

zvezo f pišemo pogosto logaritmsko.

$$\ln (W) = \ln c - \frac{3}{2} \ln N$$

Te zakonitosti veljajo za srednjo težo osebka in specifično gostoto sestoja. Yoda je v svojih raziskavah drevesnih vrst Abies sachalinensis ter Betula ssp. dobil vrednost potence zelo blizu $-\frac{3}{2}$ (DREW and FLEWELLING, 1977), Reineke pa je ugotavljal zvezo med srednjim premerom in največjo specifično gostoto sestoja, in ne med težo in gostoto. Ogawa je že leta 1961 ugotovil zvezo med težo in prsnim premerom.

$$W \propto d_s^{2,5} \text{ oziroma } W = r \cdot d_s^{2,5}$$ (zveza g)

r = parameter

Zato lahko zapišemo zvezo h, ki sledi iz zveze f in g

$$r \cdot d_s^{2,5} = c \cdot N^{-\frac{3}{2}}$$ (zveza h)

Če zvezo h logaritmiramo in izrazimo ln N dobimo

$$\ln N = \frac{(\ln c - \ln r - 2,5 \ln d_s)\, 2}{3}$$

če postavimo, da je $\ln A = \frac{2}{3} (\ln C - \ln r)$,
dobimo $\ln N = \ln A - 1,667 \ln d_s$

$$N = A \cdot d_s^{-1,667}$$

Vrednost potence k = –1,667, dobljene z zvezo, ki jo je ugotovil Ogawa, ter vrednost potence, ki jo je ugotovil leta 1933 Reineke, k = –1,605, sta si zelo blizu. Razlika med tema dvema vrednostma pa bi bila še manjša, če bi vzeli povezavo v zvezi g med srednjo težo drevesa in srednjim premerom, in ne med težo drevesa in njegovim prsnim premerom v istem sestoju. Če bi vzeli srednje teže in srednji premer, torej različne sestoje, bi bila vrednost potence bližje vrednosti –1,605.

Kot vidimo, je veljavnost „zakona potence $-\frac{3}{2}$" potrjena tudi z Reinekejevimi ugotovitvami in nasprotno, in da je ta zakon veljaven ne samo v kmetijskih kulturah, ampak tudi v enomernih gozdnih sestojih, vendar ob pogoju, da je njihov razvoj prepuščen naravi. Ostane nam še vprašanje, kako predstaviti odvisnost med donosom sestoja v različnih razvojnih fazah ali različnih starostih sestoja in gostoto sestoja. Z drugimi besedami: kakšna je zveza med srednjim sestojnim premerom in specifično gostoto sestoja (zveza med d_s in SDI, in ne samo med d_s in $SDI_{MAKS.}$).

Veliko raziskovalcev, ki so se ukvarjali s tem problemom, je ugotovilo, da je ta povezava najbolje podana z recipročno funkcijo, ki izhaja iz tako imenovanega „pravila odnosa med konkurenco in gostoto" (competition-density rule) ali na kratko, iz C–D pravila, ki sta ga ugotovila Shinozaki in Kira leta 1953, razširil pa ga je Goulding 1972 (STERBA, 1981)

Kira je postavil zvezo
$1/W = a N + b$
W = srednja teža rastline,
N = gostota oz. štev. osebkov/ha

Goulding je to zvezo razširil na srednji temeljnični premer sestoja ter postavil zvezo

$$d_s = \frac{1}{A'N+B'} \qquad \text{(zveza št. 5)}$$

Ta zveza velja pri enaki starosti sestoja ali enaki zgornji višini; pri tem pomeni d_s = premer srednje temeljničnega drevesa, N = število dreves na ha.

Enako zvezo lahko uporabimo tud za odvisnost volumna srednjega drevesa od gostote

$$V_s = \frac{1}{A'N+B'} \qquad \text{(zveza št. 5a)}$$

Če obe strani enačbe pomnožimo s številom dreves na ha, dobimo na levi strani lesno zalogo na ha.

$$N \cdot V_s = \frac{1}{A'+B'/N} \;;\; V/ha = \frac{1}{A'+B'/N} \qquad \text{(zveza št. 6)}$$

A', B' = parametra hiperbole

Kot vidimo, se srednji premer pri isti zgornji višini zmanjšuje s povečevanjem gostote, in to s funkcijo hiperbole. Enako lahko ugotovimo, da se pri enaki zgornji višini lesna zaloga povečuje z gostoto oziroma s številom dreves. Ta povezava deloma odgovarja tudi na vprašanje o tem, ali je nizko število kandidatov pri redčenju primerno.

Pri konstantni zgornji višini lahko izračunamo temeljnico na enoto površine z naslednjo zvezo:

$$G = d_s^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot N = \frac{1}{(A'N+B')^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot N = \frac{\pi \cdot N}{4(A'N+B')^2} \qquad \text{(zveza št. 7)}$$

G = temeljnica na enoto površine (na 1 ha)

Število dreves ob dani zgornji višini, pri katerem ima temeljnica na enoto površine svoj maksimum, dobimo tako, da enačbo 7 odvajamo na N, ter prvi odvod enačimo z nič (izračun maksimuma)

$$\frac{dG}{dN} = \frac{N \frac{\pi}{4} \cdot 2(A'N+B')A' - (A'N+B')^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{(A'N+B')^4} \quad ; N_{G\ MAKS.} = \frac{B'}{A'} \qquad \text{(zveza št. 8)}$$

$N_{G\ MAKS.}$ = število dreves na enoto površine ob dani zgornji višini pri maksimalni temeljnici. Če vstavimo enačbo št. 8 v enačbo št. 7, dobimo srednji premer sestoja (temeljnični) pri maksimalni temeljnici ($d_{s,G\ MAKS.}$)

$$d_{s,G\ MAKS.} = \frac{1}{2B'} \qquad \text{(zveza št. 9)}$$

Koeficienta A' in B' sta konstanti le pri enaki zgornji višini. Če nanesemo na dvojni logaritemski papir (koordinatni sistem) na absciso zgornje višine sestojev, na ordinate pa vrednosti koeficientov A' oziroma B', vidimo, da se te točke porazdeljujejo na premici. Torej je med temi vrednostmi in zgornjo višino alometrijska zveza. To sta odkrila Tadaki 1964 in Ando 1968 oziroma Goulding 1972 (STERBA, 1981). V bistvu sta prva dva postavila oziroma ugotovila alometrijsko povezavo med srednjo višino in koeficientoma A' in B', Goulding pa je to dokazal tudi za zgornjo višino.

Zato lahko zapišemo naslednji zvezi (št. 10 in 11):

$$A' = a_o h^{a_1} \qquad \text{(zveza št. 10)}$$

$$B' = b_o h^{b_1} \qquad \text{(zveza št. 11)}$$

$a_.$, a_1, b_o, b_1 = parametri funkcije
h = zgornja sestojna višina

Če vstavimo enačbo 10 in 11 v enačbo št. 8, dobimo naslednjo zvezo:

$$N_{G,MAKS.} = \frac{B'}{A'} = \frac{b_o h^{b_1}}{a_o h^{a_1}} = \frac{b_o}{a_o} h^{(b_1 - a_1)} \qquad \text{(zveza št. 12)}$$

To je število dreves pri maksimalni temeljnici, odvisno od zgornje višine. Prav tako lahko izračunamo srednji premer pri maksimalni temeljnici, izražen prek zgornje višine. (Enačbo 11 vstavimo v enačbo št. 9)

$$d_{s,G\,MAKS} = \frac{1}{2b_o} d^{-b_1}$$ (zveza št. 13)

Če iz zveze 13 izrazimo zgornjo višino in to vstavimo v enačbo 12, dobimo:

$$h = (d_{s,G\,MAKS} \cdot 2b_o)^{-\frac{1}{b_1}}$$

$$N_{G,MAKS} = \frac{b_o}{b_o} 2b_o^{\left(\frac{a_1}{b_1}-1\right)} \cdot d_{s,MAKS}^{\left(\frac{a_1}{b_1}-1\right)}$$ (zveza št. 14)

Če zapišemo: $\left(\frac{a_1}{b_1} - 1\right) = B$ (zveza št. 15)

$$\frac{b_o}{a_o} (2b_o)^B = A$$ (zveza št. 16)

dobimo: $N_{G,MAKS} = A \cdot d^B_{s,GMAKS}$. (zveza št. 17)

Zveza št. 17 predstavlja tudi zvezo, ki jo je dobil Reineke.

Če vstavimo v enačbo št. 5 zvezi št. 10 in št. 11, dobimo:

$$d_s = \frac{1}{a_o h^{a_1} \cdot N + b_o h^{b_1}}$$ (zveza št. 18)

Enačba št. 18 predstavlja tudi posplošeno pravilo C–D, ki podaja odvisnost med srednjim sestojnim premerom, številom dreves na ha (N) in zgornjo višino.

Koeficiente oziroma parametre a_o, a_1, b_o, b_1 v enačbi štev. 18 izračunamo s pomočjo podatkov o sestojih na istem rastišču pri isti drevesni vrsti, vendar morajo imeti ti sestoji različne gostote in različne starosti, oziroma različne razvojne faze.

Za izračun teh parametrov uporabimo metodo nelinearne regresije. Enačbo št. 18 pa lahko prevedemo tudi v triparametrično enačbo, če uporabimo zvezi št. 15 in 16 ter Reinekejeve izsledke.

$$B = \frac{a_1}{b_1} - 1 = -1{,}605\,;\; b_1 = -\frac{a_1}{0{,}605}$$ (zveza št. 19)

Zato lahko zapišemo C–D pravilo v naslednji matematični obliki:

$$d_s = \frac{1}{a_o \cdot h^{a_1} N + b_o h^{-\frac{a_1}{0{,}605}}}$$ (zveza št. 20)

Enako kot iščemo parametre enačbe št. 18, iščemo tudi tukaj te parametre s pomočjo nelinearnega regresijskega modela. Če je vsota kvadratov odstopanj med izračunanimi vrednostmi in dejanskimi vrednostmi za d_s bistveno različna, če parametre računamo po enačbi št. 18 ali pa po enačbi št. 20, pomeni, da B ni enak B = –1,605, ampak ima neko drugo vrednost.

Da bi dobili približno predstavo o vrednostih SDI_{MAKS}, in o tem, kako se ta vrednost spreminja glede na različno raven proizvodnosti, navajamo v naslednji preglednici izvleček iz donosnih tablic za smreko

Preglednica 1: SDI_{MAKS} glede na različne ravni proizvodnosti in različne bonitetne razrede

smreka (povzeto po STERBA, 1981)

Raven proizvodnosti	bonitetni razred glede na zgornjo višino				
	28	32	36	40	Povprečje
spodnja	927	1003	1093	1169	1048
srednja	968	1067	1183	1318	1134
zgornja	1014	1173	1333	1522	1261
povprečje	970	1081	1203	1336	1148

Kot vidimo iz preglednice, se $SDI_{MAKS.}$ povečuje z naraščanjem ravni proizvodnosti, kot tudi z naraščanjem višinskega bonitetnega razreda oziroma rastiščnega indeksa.

Poznavanje specifične gostote sestoja in njen vpliv na lesno proizvodnjo sestoja je posebno pomembno pri znanstvenoraziskovalnem delu na področju ugotavljanja učinkov različnih jakosti redčenj ter pri postavljanju modelov gospodarjenja z gozdovi: Enako je poznavanje $SDI_{MAKS.}$ pomembno pri izboljšavi donosnih tablic, to je pri uvajanju ravni proizvodnosti.

V Sloveniji imamo razmeroma velik del gozdne površine obdelan fitocenološko. Izločene sintaksonomske enote predstavljajo sočasno tudi rastiščne enote. Rodovitnost teh rastiščnih enot določamo z rastiščnim koeficientom in rastiščnega indeksa, to je uvrščanjem teh enot v bonitetne razrede glede na zgornje višine. Donosne tablice, ki imajo kot vhod zgornjo višino, so torej sočasno tudi rastiščne donosne tablice z razmeroma velikim intervalom vseh kazalnikov, ki so prikazani v njihovi vsebini. Če bi v vsaki rastiščni enoti istega rastiščnega indeksa ugotovili tudi SDI_{MAKS} vsake drevesne vrste, bi dobili zelo dobro podlago za postavitev ravni proizvodnosti. S tem pa bi močno povečali uporabnost in natančnost donosnih tablic.

Pravilo C–D, ki ga obravnavamo v tem sestavku, pa je zelo pomembno tako za raziskovalno kot za praktično delo. Ko bomo ugotovili vrednosti parametrov enačbe, ki v matematični obliki ponazarja to pravilo, in to za vse rastiščne enote in za vsako obravnavano vrsto, bomo lahko naše jakosti redčenj izvajali v tistem razmiku, ki zagotavlja najboljšo pridelavo lesa. Takrat bomo lahko tudi bolj utemeljeno določali ciljno število dreves ali različne modele gospodarjenja.

2.2. Indeks razdalje med drevesi (S%)

Gostoto dreves v sestoju pogosto prikazujemo z indeksom razdalje, ki je v literaturi znan pod imenom Hart-Becking's spacing index (BRAASTAD, 1982)

$$S\% = \frac{100\sqrt{\frac{10\,000}{N}}}{h}$$ (zveza št. 21)

N = število dreves na 1 ha
h = zgornja sestojna višina v m,
S% = indeks razdalje v %

Ob uvedbi tega indeksa so uporabljali namesto zgornje sestojne višine, srednje višine po Loreyu, vendar so to v novejšem času opustili.

Ker vemo, da sodelujejo v lesni proizvodnji sestoja povečini drevesa, ki imajo svoje krošnje v t. im. „strehi sestoja" (canopy), je smiselno, da pri določanju indeksa razdalje upoštevamo le ta drevesa. Tako lahko potem te indekse tudi medsebojno primerjamo. V nasprotnem primeru se indeks močno spreminja zaradi števila dreves v polnilnem sestoju, ki pa ne vpliva bistveno na proizvodnjo. Zato štejemo le drevesa, ki spadajo po združbenem ustroju v razred nadvladajočih, vladajočih in sovladajočih (po Kraftu: 1, 2 in 3 razred) osebkov.

Hart-Beckingov indeks podaja delež povprečne razdalje med drevesi glede na zgornjo višino sestoja, če bi drevesa rasla v pravokotnem razporedu. Čim večja je gostota dreves pri dani zgornji višini, tem manjši je ta indeks razdalje. Vrednost tega indeksa se z razvojem sestoja precej spreminja, ker povprečna razdalja med drevesi in zgornja višina nista v linearni povezavi.

2.3 Indeks gostote sestoja (I_K)

Indeks gostote sestoja predlagamo kot kazalnik stanja sestojev glede na gostoto zaradi njegove preprostosti in zaradi njegove stabilnosti. Ta indeks dobimo z naslednjimi podmenami: Recimo, da drevo, ki ima svojo krošnjo v strehi sestoja, potrebuje za svoj razvoj toliko kvadratnih metrov rastne površine, kolikor znaša zgornja višina sestoja (npr. od gošč navzgor). To vzamemo kot podlago za primerjanje, čeprav je dejanska velikost te površine v resnici odvisna od drevesne vrste in rastišča.

Nadalje vzemimo za merilo gostote količnik, ki ima obratno vrednost kot Hart-Beckingov indeks razdalje (vendar ne izražen v odstotkih)

$$K = \frac{h}{\sqrt{\frac{10\,000}{N}}} = \frac{h\sqrt{N}}{100}$$ (zveza št. 21)

K = količnik gostote
h = zgornja višina sestoja

Če imamo takšen sestoj, ki ustreza modelu, da ima drevo toliko m^2 rastne površine, kot je njegova višina, potem bi znašal njegov količnik gostote (K_{mod}):

$$K_{mod} = \frac{h}{\sqrt{h}} = \sqrt{h}$$ (zveza št. 22)

K_{mod} = modelni količnik gostote

Razmerje med dejanskim količnikom in modelnim količnikom gostote pa nam predstavlja indeks gostote sestoja (I_k)

$$I_k = \frac{K}{K_{mod}} = \sqrt{\frac{h \cdot N}{10\,000}} = \frac{1}{100}\sqrt{h \cdot N} \qquad \text{(zveza št. 22)}$$

Če ima ta indeks višjo vrednost kot 1, pomeni, da je gostota dejanskega sestoja večja kot gostota modelnega sestoja. Če pa je ta vrednost manjša od 1, pa pomeni, da je obravnavan sestoj redkejši kot pa modelni. Ta indeks je preprosto merilo gostote sestoja in je uporaben tako v gospodarskih in negovanih sestojih kot tudi v nedotaknjenem gozdu.

S tem indeksom nazorno prikažemo potrebne razlike v gostoti, med različnimi drevesnimi vrstami in med različnimi rastišči.

Vsi dosedaj obravnavani kazalniki gostote na podlagi števila dreves so primerni in uporabni le v enomernih in čistih sestojih. Čeprav je pri nas le malo takšnih gozdov, veljajo za naše gozdove zakonitosti enomernih sestojev, ker so grajeni malopovršinsko enodobno.

Zato so obravnani kazalniki in njihova povezanost z lesno proizvodnjo dober pripomoček tudi pri gospodarjenju z našimi gozdovi, predvsem pa dober pripomoček gozdarjem, ki se ukvarjajo z rastjo in razvojem gozdnih sestojev.

3. GOSTOTA SESTOJA GLEDE NA TEMELJNICO

3.1. Zarast

Od vseh mogočih gostot sestoja smo do zdaj uporabljali le gostoto na podlagi temeljnice, tj. zarast. Zarast je razmerje ali količnik med temeljnico resničnega sestoja in temeljnico sestoja donosnih tablic pri enaki drevesni vrsti, pri enaki starosti in na enakem bonitetnem razredu. Tako definirana zarast, ki je kazalnik zaraslosti površine z gozdnim drevjem, pa ima veliko slabosti.

Isti sestoj je imel različno zarast glede na različne donosne tablice. Donosne tablice predstavljajo model gozda, ki daje največjo gozdno rento, to pa se ne sklada z modelom največje lesne proizvodnje (tudi vrednostne). Pri modelu gozda z največjo gozdno rento so zelo pomembni vmesni donosi, tj. redčenja. Ta renta je tem večja, čim večji je delež redčenj. Ta pa je pri različnih avtorjih donosnih tablic različen, in to po skupnem deležu, kakor tudi v dinamiki izrabe. Assmann (ASSMANN, 1961) trdi, da je delež redčenj v vseh donosnih tablicah prevelik, in da je zato lesna zaloga tabličnih sestojev premajhna; to pa pomeni, da sestoj ne more v svoji življenjski dobi izrabiti proizvodne sposobnosti rastišča. Ta delež redčenj je prevelik v zadnji tretjini proizvodne dobe, zato nastopi kulminacija povprečnega volumenskega prirastka predčasno. Druga slaba stran zarasti je v tem, da ima večina donosnih tablic premalo bonitetnih razredov, da bi zadovoljivo predstavile razlike med dejanskimi rastišči, zato so razlike med tablično temeljnico (1,0) in temeljnico sestoja, v katerem gospodarimo tako, kot je to zamišljeno v modelu tablic, prevelike.

3.2 Naravna zarast

Zaradi vseh teh slabosti zarasti je Assmann (ASSMANN, 1961) uvedel novo gostoto na podlagi temeljnice.

Ta je predstavljena z razmerjem med temeljnico obravnavanega sestoja in temeljnico enako starega sestoja na istem rastišču, ki pa je bil prepuščen naravnemu razvoju. Temeljnico tega naravi prepuščenega sestoja imenujemo naravna temeljnica ali pa maksimalna temeljnica. Ugotavljanje te temeljnice je vezano na dolgotrajno spremljavo razvoja sestojev, zato imamo danes le malokje te vrednosti. Naravna temeljnica ali naravna zarast je tudi dober kazalnik ravni proizvodnosti, sočasno pa je tudi osnova najboljšega merila za prikazovanje jakosti redčenj in njihovega učinka. Jakost redčenja namreč najbolje prikažemo z deležem, ki ga ima dejanska temeljnica redčenega sestoja nasproti temeljnici neredčenega, enako starega sestoja na podobnem rastišču. Če bi hoteli ugotoviti vrednost teh naravnih temeljnic za vse naše drevesne vrste, potem bi morali na vseh pomembnejših rastiščih pri vseh naših drevesnih vrstah, ki tu uspevajo, postaviti stalne ploskve, kjer bi razvoj sestojev prepustili naravi. S periodičnimi meritvami pa bi ugotavljali vrednost tega kazalnika. To je dolgotrajno delo, ki se ga bomo morali lotiti. Pri tem bodo imeli pomembno vlogo naši gozdni rezervati.

Približne vrednosti teh naravnih temeljnic pa lahko dobimo tudi s pomočjo vzorčnih ploskev, in sicer tako, da jih postavimo v tistih gozdovih, za katere domnevamo, da v njih ni bilo ukrepov ali pa so bili ti ukrepi minimalni. Od tako izbranih vzorčnih ploskev pridejo v poštev samo tiste (FRANZ, 1965),

1. ki imajo pri isti zgornji višini najvišje vrednosti temeljnice (isto rastišče),
2. ki nimajo panjev, mlajših kot 20 let, ali pa imajo takih panjev zelo malo.

S pomočjo raziskovalnih oziroma vzorčnih ploskev pa lahko določimo vrednosti naravne temeljnice tudi s pomočjo preračunavanj preko števila dreves. Pri tem uporabimo pravilo C–D. V prejšnjem poglavju smo predstavili povezavo med srednjim premerom in številom dreves pri isti zgornji višini, in sicer s hiperbolo:

$$d_s = \frac{1}{A'N + B'} \qquad \text{(a)}$$

Zato lahko sestojno temeljnico predstavimo z naslednjo zvezo:

$$G = \frac{N \cdot \pi}{4\,(A'N + B')^2} \qquad \text{(b)}$$

Ko smo s pomočjo odvoda iskali njeno največjo vrednost, smo dobili tole zvezo:

$$N_{G,\,MAKS} = \frac{B'}{A'} \qquad \text{(c)}$$

Če ta izraz (c) vstavimo v izraz (b), dobimo zvezo:

$$G_{MAKS} = \frac{\pi}{16\,A'\,B'} \qquad \text{(zveza št. 24)}$$

kjer pomeni G_{MAKS} = maksimalna temeljnica. Parametra A' in B' določimo enako, kot smo ju določali v prejšnjem poglavju.

4. GOSTOTA SESTOJA NA PODLAGI VOLUMNA DREVES

Velikost lesne zaloge na enoto površine nam pogosto rabi kot merilo gostote sestoja. Ta kazalnik, ki je pri nas tudi najpogostejši — največkrat celo edini — je sicer zelo praktičen in nazoren, vendar pa ima to pomanjkljivost, da se v njegovi vrednosti zrcalijo kar tri sestavine. Na njegovo vrednost vplivajo sestojna temeljnica, sestojna višina in sestojna oblićnica, torej kar tri prvine, ki se med rastjo sestoja spreminjajo.

Kot kazalnik gostote je za uporabo posebno praktična hektarska lesna zaloga, saj je v isti merski enoti glavni proizvod gozdarstva. Višina lesne zaloge je odvisna od rastišča, drevesne vrste, razvojne faze oziroma starosti sestoja in gojitvenih ukrepov. Gojitvena ukrepanja se zrcalijo predvsem v številu osebkov na enoto površine ter srednjem premeru sestoja.

Če pravilo C—D zapišemo v prvotni obliki, to je 1/W = AN+B (pri tem pomeni: N = štev. osebkov na ha, W = povprečna teža osebka oziroma donos, A in B = parametra enačbe), in če v gozdu donosa ne merimo v utežnih enotah, ampak z volumnom, ter pomnožimo levo in desno stran enačbe z 1/N, dobi enačba tako obliko:

$$N \cdot W = \frac{1}{A+B/N} \quad \text{oziroma} \quad V = \frac{1}{A+B/N} \qquad \text{(zveza št. 25)}$$

Pri tem pomeni V = lesna zaloga na enoto površine.

To je povezava med velikostjo lesne zaloge in številom dreves pri enaki zgornji višini na istem rastišču in pri isti drevesni vrsti. Več dreves pri enaki zgornji višini predstavljajo tudi višjo lesno zalogo, ki pa je posledica večje proizvodnosti sestoja.

Pri gospodarjenju z gozdovi je za nas pomembno, da spoznamo razmerje med velikostjo lesne zaloge na enoto površine ter tekočim prirastkom sestoja. To razmerje ugotovimo, če poznamo razmerje med temeljnico in temeljičnim prirastkom, višino in višinskim prirastkom ter razvoj sestojne obličnice. Vse te povezave poznamo bolj približno, in sicer v modelnih sestojih to je v donosnih tablicah. Znana nam je oblika rastne in prirastne krivulje v višino, temeljnice in tudi lesne zaloge. Na podlagi njihovega poteka in periodičnih meritev lesne zaloge v dejanskih sestojih ocenjujemo, v kateri fazi so naši sestoji in kako se bo gibal prirastek v prihodnosti. Zelo malo pa imamo podatkov o tem, kako je z gibanjem prirastka glede na lesno zalogo v isti starosti oziroma isti razvojni fazi. Ponazorimo to s praktičnim zgledom:

Imamo bukov sestoj na rastišču z rastiščnim indeksom 22 (h_{zg} pri 50 letih je 22 m). Sestoj ima sedaj zgornjo višino 25,1 m, kar ustreza starosti 70 let. Z vrtanjem prirastka smo ugotovili, da je znašal tekoči prirastek v zadnjem desetletju 11,2 m^3/ha/leto. Lesna zaloga sestoja znaša 304 m^3/ha. Če pogledamo v donosne tablice (EAFV—1968), vidimo, da so to podatki tabličnega sestoja. Zato upravičeno pričakujemo, da bo tekoči prirastek v naslednjem desetletju 10,9 m^3/ha/leto. Torej se bo zmanjšal, ker je bila njegova kulminacija že v prejšnjem desetletju, četudi bo višina lesne zaloge sestoja v naslednjem desetletju narasla celo na 348 m^3. Ne dajo pa nam donosne tablice povezave, kolikšen bi bil prirastek v preteklem desetletju, če bi imeli višino lesne zaloge namesto 304 m^3/ha samo 228 m^3/ha,, to je 75% od 304 m^3 (pri enaki zgornji višini sestoja oziroma pri enaki starosti). Sklepanje, da bi prirastek znašal 8,4 m^3/ha (to je 75% od 11,2) je najbrž največkrat napačno, čeprav uporabniki donosnih tablic največkrat računajo tako.

Pri iskanju te zakonitosti, tj. med višino prirastka in višino lesne zaloge v isti razvojni fazi, lahko uporabimo Mitscherlichov zakon o padajočem donosu. Avtor tega zakona je domneval, da je sprememba (donos) znaka Y glede na spremembo rastnega faktorja x proporcionalna razliki med največjo vrednostjo (maksimalen donos) znaka Y in sedanjo vrednostjo (sedanji donos) znaka Y. To zakonitost lahko zapišemo z naslednjo diferencialno enačbo:

$$\frac{dY}{dx} = s\,(Y_{MAKS.} - Y) \qquad \text{(zveza št. 26)}$$

Y = donos
x = rastni faktor (gnojilo, svetloba, voda itd.)
Y_{MAKS} = maksimalen možen donos
s = faktor proporcionalnosti

Z rešitvijo te diferencialne enačbe dobimo znano Mitscherlichovo formulo.

$$Y = Y_{MAKS}(1 - e^{-sx}) \qquad \text{(zveza št. 27)}$$

Če vzamemo naslednje zamenjave v zgornji zvezi:

$Y = i_{dej}$ = tekoči volumenski prirastek dejanskega sestoja
$Y_{MAKS} = i_{MAKS}$ = maksimlani tekoči volumenski prirastek v obravnavani razvojni fazi sestoja (starosti)
s = faktor proporcionalnosti

$$x = \frac{V_{dej}}{V_{MAKS} - V_{dej}};$$

V_{dej} = lesna zaloga obravnavanega sestoja
V_{MAKS} = lesna zaloga sestoja, ki zagotavlja maksimalni tekoči volumenski prirastek sestoja v obravnavani razvojni fazi

dobimo naslednjo zvezo:

$$i_{dej} = i_{MAKS}\left(1 - e^{-s\frac{V_{dej}}{V_{MAKS} - V_{dej}}}\right)$$ kar lahko tudi pišemo

$$i_{dej} = i_{MAKS}\left(1 - \exp\left(-s\frac{V_{dej}}{V_{MAKS} - V_{dej}}\right)\right) \qquad \text{(zveza št. 28)}$$

Gornja zamenjava je utemeljena, saj je višina lesne zaloge tudi rastni faktor, ker volumenski prirastek nastaja na lesni zalogi stoječega sestoja.

Opozoriti pa moramo, da V_{MAKS} ni neposredno povezan z naravno temeljnico, vsaj ne v mlajših sestojih ali v prvih razvojnih fazah, in to zaradi tako imenovanega rastnega pospeška. V teh mlajših sestojih je namreč volumenski prirastek preredčenih sestojev za krajšo dobo višji od prirastka nepreredčenih sestojev. Vendar se to dogaja v prvih razvojnih fazah, tj. v letvenjaku, in le delno v drogovnjaku (do starosti 50 let), za katere pa le izjemoma ugotavljamo prirastek. V drugih razvojnih fazah se prirastek pri enaki zgornji višini zmanjšuje z zmanjševanjem lesne zaloge, to zmanjševanje prirastka je razumljivo, saj je znano, da del prirastka odstranjenih dreves prevzamejo sosednja drevesa, kolikšen pa je ta del, je odvisno od razvojne faze in drevesne vrste. Zato je treba ugotoviti vrednost faktorja „s" v različnih razvojnih fazah in za vsako drevesno vrsto posebej. Ugotavljanje vrednosti tega faktorja je razmeroma enostavno, če poznamo vrednosti za i_{MAKS} in V_{MAKS}. V tem primeru potrebujemo samo sestoj pri isti zgornji sestojni višini, za katero imamo na voljo vrednosti i_{MAKS} in V_{MAKS}, temu sestoju izmerimo lesno zalogo (V_{dej}) in prirastek (i_{dej}). Če te vrednosti vstavimo v enačbo št. 28, lahko izračunamo vrednost s. Vrednosti i_{MAKS} in V_{MAKS} lahko vzamemo tudi iz donosnih tablic, dokler nimamo pravih vrednosti. Prave vrednosti pa bomo dobili po drevesnih vrstah in rastiščnih enotah le z zbiranjem teh podatkov v polnoporaslih sestojih, ki izkazujejo najvišji prirastek. Torej v vsaki rastiščni enoti izberemo nekaj sestojev, ki imajo v dani razvojni fazi najvišji prirastek; povprečje teh prirastkov predstavlja i_{MAKS}, povprečje njihovih lesnih zalog pa V_{MAKS}.

Kot velja za gostote na podlagi števila dreves in temeljnice, velja tudi za gostoto na podlagi lesne zaloge: ta znak ima pravo informativno vrednost, če ga primerjamo z vrednostjo tega znaka v sestoju pri enaki zgornji višini ali starosti, ki je bil prepuščen naravnemu razvoju ali pa z vrednostjo tega znaka v nekem modelnem sestoju. Gostote na podlagi števila dreves in temeljnice primerjamo najpogosteje z gostotami naravi prepuščenih sestojev, gostoto na podlagi lesne zaloge pa z gostotami modelnih sestojev, tj. s tabličnimi sestoji ali pa s sestoji, ki imajo najvišjo lesno proizvodnjo (tekoči prirastek).

5. SKLEP

Čeprav so gostote sestoja v strokovni literaturi že dolgo poznane, je gozdarska operativa sprejela le nekatere. Nobena od opisanih gostot nima tolikšne prednosti, da bi lahko rekli, katera je najboljša. Samo celostno poznavanje vseh gostot in njihovih povezanosti z lesno proizvodnjo omogoča pravilno ukrepanje v gozdu. Z gozdnogojitvenimi ukrepi spreminjamo gostote sestoja, zato močno spreminjamo tudi vse druge kazalnike, ki so z gostotami tesno povezani. Verjetno pri našem dosedanjem delu v gozdu upoštevamo le gostoto na podlagi lesne zaloge, pa še te ne dovolj. Kot razberemo iz prispevka, pa imata pomembni vlogi tudi drugi dve gostoti. Povsem pa smo zanemarili gostoto na podlagi števila dreves, ki je s stališča proizvodnje precej pomembna. Zanimivo je, da pravilo C—D, ki je enako pomembno kot Mitscherlichov zakon, do danes še ni dobilo svojega mesta v gozdarstvu. V naših ukrepih za delo v gozdu to pravilo še ni upoštevano. Namen sestavka ni v tem, da bi celotno gozdarstvo začelo ugotavljati prikazane gostote, ampak v tem, da bi te zakonitosti, ki veljajo med gostotami in lesno proizvodnjo, upoštevali pri našem delu v gozdarstvu, in mogoče spodbudilo posameznike, da bi te zakonitosti preverili tudi v naših gozdovih.

6. POVZETEK

Pri gospodarjenju z gozdovi spremljamo več merljivih kazalnikov, ki označujejo rast in razvoj sestoja. Med njimi imajo vidno mesto gostote sestoja. Pri gostotah razlikujemo gostoto glede na število drevja, gostoto glede na sestojno temeljnico in gostoto glede na lesno zalogo.

Pri gostotah glede na število dreves je najbolj razširjena specifična gostota sestoja (stand density index). Ta je definirana kot število dreves na hektar pri srednje temeljničnem premeru 25 cm. Ta kazalnik pridobi večjo informativno vrednost, če ga primerjamo z največjo specifično gostoto sestoja; to predstavlja število dreves v sestoju, ki je bil prepuščen naravnemu razvoju in ima srednji temeljnični premer 25 cm. Izračun specifične gostote v sestojih, ki imajo različen srednji premer, poteka prek alometrijske enačbe z vrednostjo potence: B = –1,605. To vrednost potence je v raziskavah ugotovil Reineke (1933), potrdil pa Ogawa (1961). Tadva raziskovalca sta ugotovila, da se število dreves v sestoju, ki je prepuščen naravnemu razvoju, zmanjšuje glede na srednji temeljnični premer s potenco B = –1,605. V bistvu je to tako imenovani razširjeni Zakon potence –3/2 (The $-3/2^{th}$ power law). Ta zakon velja na vseh rastiščih za vse drevesne vrste. Potenca B = –3/2 velja za povprečno težo osebka, potenca B = –1,605 pa za srednji temeljnični premer drevesa. Kot povezava med donosom in različno gostoto sestoja rabi pri specifični gostoti sestoja tako imenovano Pravilo odnosa med konkurenco in gostoto (competition density rule), ki v nekoliko prilagojeni obliki podaja zvezo med srednje temeljničnim premerom in številom drevja na hektar pri enaki zgornji višini.

Gostoto sestoja pa lahko predstavimo tudi s Hart-Beckingovim indeksom razdalje med drevesi (Hart-Becking's spacing index). Ta indeks ima to slabo lastnost, da se med razvojem sestoja močno spreminja.

Kot nadomestilo zanj predlagamo indeks gostote sestoja (density index), ki je definiran kot količnik med recipročno vrednostjo Hart-Beckingovega indeksa obravnavanega sestoja in recipročno vrednostjo Hart-Beckingovega indeksa za modelni sestoj, kjer pripada vsakemu drevesu toliko kvadratnih metrov rastne površine, kolikor znaša zgornja višina sestoja. Vrednost tega indeksa gostote se z razvojem sestoja le malo spreminja. Njegova vrednost izraža individualnost drevesne vrste in individualnost rastišča, ne pa toliko spremembe, ki nastajajo zaradi rasti sestoja.

Pri gostotah, ki temeljijo na osnovi temeljnice, se je izkazalo, da so te primerne, če jih primerjamo z naravno ali največjo zarastjo, to je vrednostjo temeljnice sestoja, katerega razvoj smo prepustili naravi. Velika težava pri tem pa je, da velikost naravne temeljnice ugotovimo le z dolgotrajno spremljavo razvoja nedotaknjenih sestojev.

Kot gostoto, ki temelji na lesni zalogi, uporabljamo lesno zalogo na hektar. Pri iskanju odvisnosti med lesno zalogo na hektar in tekočim prirastkom v isti razvojni fazi ali pri isti starosti sestoja se je izkazalo, da je primerno uporabiti Mitscherlichov zakon; pri tem uporabimo kot rastni faktor količnik med dejansko lesno zalogo in razliko med lesno zalogo, ki zagotavlja največji prirastek sestoja v tej razvojni fazi in dejansko lesno zalogo.

7. SUMMARY

In forest management we follow all sorts of measurable indicators that indicate the growth and development of the stand. The density of the stand has an important part among them. Speaking of density, we distinguish: density according to the number of trees, density according to the basal area and density according to growing stock.

In density according to the number of trees, the stand density index is most widely spread. It is defined by the number of trees per hectare at a 25 centimetre mid-base diameter. This indicator becomes of a bigger informative value if we compare it to the maximum stand density index represented by the number of trees in a stand that has been left to develop naturally and has a 25 centimetre mid-base diameter. The calculation of the density index in stands with different mid-diameters, can be done with the alometric equation with a B = –1,605 power value. This value was established as a result of research carried out by Reineke (1933) and confirmed by Ogawa (1961). These two researchers accertained that the number of trees in a stand that has been left to develop naturally, decreases according to the mid-base diameter with the B = –1,605 power. Basically this is the so called extended „–3/2th power law". This law holds true for the average weight of the subject, while B = –3/2 power holds true for the average weight of the subject, while B = –1,605 power holds true for the mid-base tree diameter. As a link between yield and the different stand density with the stand density index, serves the so called „competition density rule" which in a slightly modified form gives the link between the mid-base diameter and the number of trees per hectare at the same upper height.

Apart from the stand density index, we can present the stand density also with the Hart-Becking's spacing index. This index has one weak characteristitc though, namely during the development the stand changes considerably. As a substitute for this index we suggest the density index that is defined as a quotient between the reciprocal value of Hart-Becking's index of the treated stand and the reciprocal value of Hart-Becking's index for the model stand in which each tree has as many sq metres for growth as much the upper height of the stand is. The value of this density index changes only slightly with the development of the stand. Its value expresses the individuality of the tree species and the individuality of the site, but not so much the changes that occur due to the stand's growth.

It has been proved that densities are based on the basis of the basal area, are suitable to be compared to the natural, respectively maximum overgrowth, namely with the value of the stand's basal area that has been left to develop naturally. The problem with this is, that we can determine the size of the natural basal area only if we follow the development of untouched stands for a long time.

As density based on growing stock we use growing stock per hectare. Searching for interdependency between growing stock per hectare and the current increment within the same development phase or at the same age of the stand, it has been proved that the use of Mitscherlich's law, where we use as the growth factor the quotient between the actual growing stock and the difference between the growing stock that assures maximum stand increment within this development phase and the actual growing stock, is appropriate.

8. LITERATURA

1. *ASSMANN, E.: Waldertragskunde. Bayer. Landw. Verlag. München 1961.*
2. *BRAASTAD, H.: Natural mortality in Picea abies stands. Repport 12/81 from Norwegian Forest Research Institute. AAS – NLH.*
3. *DREW, J., FLEWELLING, J.: Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterey pine plantations. Forest Science Vol 23., No 4, s. 517–534, 1977.*
4. *KIKUZAWA, K.: Yield-density diagram for natural deciduous broadleaved forest stands. Forest ecology and management, 4 (182) 341–358, Amsterdam 1982.*
5. *KOTAR, M.: Prirastoslovje, Biotehniška fakulteta-gozdarstvo, Ljubljana 1979.*
6. *KOTAR, M.: Rast smreke na njenih naravnih rastiščih v Sloveniji, Biotehniška fakulteta-gozdarstvo, Ljubljana 1980.*
7. *KRAMER, H., HELMS, J.: Zur Verwendung und Aussagefähigkeit von Bestandesdichteindices bei Duglasie. Forstw. Cbl. 104 (1985), 36–49, Hamburg u. Berlin 1985.*
8. *LONG, J., SMITH, F.: Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. Forest ecology and management 7 (1983/84) 191–206, Amsterdam 1983.*
9. *STERBA, H.: Assmanns Theorie der Grundflächenhaltung und die „Competition-Density-Rule" der Japaner Kira, Ando und Tadaki. Cbl. ges. Forstwesen. 92 (1975), 1. s. 46–62.*
10. *STERBA, H.: Natürlicher Bestockungsgrad und Reinekes SDI. Cbl. ges. Forstwesen 98 (1981), 2, s. 101–116.*