

ПРИМЕНА ВИЗУЕЛИЗАЦИЈЕ И СИМУЛАЦИЈЕ ПРИ УЗГОЈНИМ РАДОВИМА У ШУМАРСТВУ - ЗНАЧАЈ, САВРЕМЕНА ПОТРЕБА И НУЖНОСТ

МИЛУН КРСТИЋ¹
ЉУБИВОЈЕ СТОЈАНОВИЋ

Извод: У раду је приказана могућност и потреба примене узгојне аналитике у шумарству путем моделовања, визуелизације и симулације у узгојним радовима. Указано је на постојање карактеристичних нумерички изражених образаца (формула) и норми које могу да се користе као оријентациони показатељи при узгојним радовима. Коришћењем поступка визуелизације приказани су практични примери израђених узгојних модела, изражених табеларно и графички, за дефинисање састојинског стања, за одредјивање показатеља врсте проредног захвата, јачине проредног захвата, одредјивање проредног интервала, изводјење обновних сеча. Методом симулације извршена је провера ефеката извршених сеча, њихове реалности и практичне применљивости као конкретних показатеља узгојних потреба и мера у састојини. Коришћењем специјализованог софтвера СВС (*Stand Visualization System*), презентована је визуелизација конкретног састојинског стања, симулација (динамичка визуелизација) одредјених узгојних захвата при нези и обнови шума, ефеката извршених мера израдом разлиитих сценарија и тиме поступак оптимизације истих. Презентована је вршена »експериментална симулација у природним условима« постављањем великог броја серија огледних површина, са по 3-4 огледна поља, при научним истраживањима у оквиру НИ пројеката, као и за припрему семинара за шумску привреду.

Кључне речи: Узгојна аналитика, визуелизација и симулација, дефинисање узгојних потреба, оптимизација решења, провера реалности, практична применљивост.

VISUALISATION AND SIMULATION IN SILVICULTURE:
SIGNIFICANCE, PRESENT-DAY NEED AND NECESSITY

Abstract: The paper deals with the necessity and prospects of applying silvicultural analytics in forestry through modeling, visualisation and simulation in silvicultural treatments. It points to some numerical patterns (formulas) and norms that can be used as guiding indicators of silvicultural treatments. By using the visualisation procedure, we generated tabular and graphical illustrations of different silvicultural models applied in practice to define the stand conditions and parameters used to determine the type of thinning, its weight, and interval, or to perform regeneration cuts. The simulation method was used to check the effects of cutting treatments and the feasibility of their actual and practical use as specific indicators of silvicultural needs and measures. We used the Stand Visualisation System (SVS), a specialised software, to present the visualisation of specific stand conditions, and simulation (dynamic visualisation) of some silvicultural treatments used in tending and regeneration as well as the effects of the measures implemented by creating different scenarios to optimise the process. The paper presents the »experimental simulation in natural conditions« per-

1 др Милун Крстић, ред. проф. у пензији; др Љубивоје Стојановић, ред. проф. у пензији, Универзитет у Београду Шумарски факултет

formed by setting up a large number of series of experimental areas, with 3-4 experimental fields in each, within scientific research NI projects, as well as for the preparation of forestry seminars.

Keywords: silvicultural analytics, visualisation and simulation, definition of silvicultural needs, solution optimisation, feasibility check, practical applicability.

1. УВОД - ЗНАЧАЈ ПРИМЕНЕ АНАЛИЗЕ И ПРИКАЗА ПОДАКА

У савременим условима је у свету, у земљама са развијеним шумарством, одавно превагнуло мишљење да је у области узгојних радова потребно користити више „егзактног” на рачун углавном примењиваног „импресивног”, односно феноменолошког описивања, треба више користити нумеричке параметре, као оријентационе показатеље при извођењу ових радова. У вези с тим у стручној литератури може се наћи већи број разних норми у виду нумерички изражених математичко-статистичких релација (једначина – модела) и образаца (формула), таблица, графикона и др., који омогућавају да се субјективне процене и утисци, односно дескриптивне формулације, замене мерљивим показатељима. Те норме засноване су на односу конкретних састојинских елемената - на односу основних елемената изградјености састојине - висине стабала и пречника или темељнице, затим на односу висине стабала и међусобног размака стабала и друго (Јевтић, М., 1992; Крстић, М., 1994, 1996, 1997, 2014. и др.).

Када се резултати рада и анализа могу квантитативно изразити, за доношење правовремених оптималних пословних одлука, веома ефикасно се користе различити математички модели (Basković, M., Vuleta, J., 2004), који укључују регресиону анализу, линеарно програмирање, компјутерску симулацију. У литературним изворима може се наћи више дефиниција моделовања, између осталих: „*Моделовање је процес креирања модела њодашака њрименом формалној ојиса њодашака коришћењем њтехнике моделовања*“.

Различити модели квантитативне анализе, што је случај у шумарству, посебно у гајењу шума, користе се када треба решити неке комплексне проблеме, који се могу квантитативно изразити и успешно представити одговарајућим математичко-статистичким релацијама – једначинама. У шумарству су дефинисани и израђени бројни одговарајући модели, који се могу и примењивати при узгојним радовима шумарству и користити за практичне потребе. После детаљне теоријске разраде, основних претпоставки, математичких, биолошких и економских карактеристика, у нашим условима разрађени су и представљени неки од најзначајнијих математичко-статистичких модела, приказом у виду формула и математичко-статистички изражених једначина (модела), наведен је низ примера практичне природе који се, уз претходно објашњени поступак примене, њиховим коришћењем могу решити у области гајења шума и пратити ефекати извршених узгојних радова: Крстић, М. (1989, 1991, 1992, 1994, 1996, 1997а, 2006, 2007, 2009-10; 2014, 2018), Говедар, З. (2005), Крстић, М., Ранковић, Н. (1996-97),

Крстић, М., Стојановић, Љ.(1998) и др. Ти модели практично су представљени и уграђени у наставну литературу: Стојановић, Љ., Крстић, М. (2000, 2008), Крстић, М. (2006, 2009-10, 2014, 2018) и др. Такви примери су: модели дефинисања састојинског стања и оптималне изграђености састојине, изграђености круна стабала у састојини као показатељ узгојних потреба; модели у обнови шума; модели дефинисања и карактерисање норматива извођења основних мера неге састојине; модел зависности изданачке способности од пречника и висине пања и др. Поред тога, у наведеним литературним изворима наведени су и бројни табеларно приказани узгојни модели, као пример дефинисању основних узгојних потреба и мера у шумама основних врста дрвећа, као и графички приказани узгојни модели.

Аналитика има широку примену у науци и пословању а специфичан случај аналитичке технике је моделовање података. Анализа се врши и применом дескриптивне анализе, анализе података при истраживањима и анализа података у циљу потврдјивања резултата. Дескриптивна анализа обухвата дескриптивну статистику, коришћењем сумарне статистике, у оквиру које се сумаризују карактеристике појединачних делова популације и инференцијалну (индуктивну) статистику - процес доношења закључака о целој популацији на основу информација о узорку из ње. (Wikipedia, 2009: data analysis).

Опште је познато да у шуми владају специфични природни закони и да се они тешко могу »укалупити у шаблон« и применити универзални ”рецепт” за узгојне радове, који ће бити једнако применљив за све шуме у различитим условима средине. Међутим, за разрешавање наведених дилема, коришћењем конкретних - локалних састојинских карактеристика и станишних услова, са задовољавајућом реалношћу, аналитичким путем, могу се оријентационо одредити узгојне потребе и одговарајући захвати у састојини.

Да би се утврдиле карактеристике анализиране појаве у складу са постављеним циљем, веома је важно како ће се вршити приказ података и резултата, који се у шумарству може вршити текстуално, табеларно и графички. Текстуални приказ података је најједноставнији, али истовремено најтеже разумљив и најобимнији. Табеларни приказ података се примењује ради веће прегледности, потпунијег и јаснијег визуелног сагледавања прикупљених података и добијених резултата, упоредјивања и олакшавања рада при даљој њиховој анализи. Графички приказ прикупљених или обрађених података врши се у циљу разумљивијег и интересантнијег приказа резултата изражавања, и визуелно приказује на три основна начина: 1 у виду дијаграма и разних геометријских облика; 2 у облику географских карата – картограма; 3 у виду слика (Крстић, М., 2009/10; 2014).

Перспективни, тродимензионални приказ или блок дијаграми, представљају популарни метод приказивања површинских тематских података, могу се користити за остваривања визуелног утиска, који није могуће постићи са уобичајеним дводимензионалним картама. Визуелизација и симулација последњих година омогућена је израдом графичких приказа и динамичке визуелизације, приказом резултата просторно-временских модела при-

меном ГИС-а, који је компјутеризовано оруђе за просторно моделирање: (Burrough P.A., McDonnell, R.A. 2006); *** 2004 - Примена ГИС технологије у планирању газдовања шумама). Резултати тих анализа се могу видети као статичне карте, графикони или табеле, а динамичка визуелизација (симулација) омогућује осећај кретања посматрача или промене окружења које се приказује, што је посебно корисно у ГИС апликацијама моделирања, где се у области испитивања уочавају промене током времена. Постоје бројни примери израђених тематских карата за потребе гајења шума, нпр. за приказ састојинског стања – стања шума по саставу, пореклу, карте узгојних радова и др. У гајењу шума коришћење компјутерских софтвера омогућава добијање корисних информација у виду одређених нумеричких и визуелних показатеља у практичном и теоријском смислу, и на основу тога могу се изводити закључци који ће се касније применити и у практичном смислу за дугорочно предвиђање динамике развоја састојине, а у вези са тим и планирање одговарајућих мера у циљу оптимизације стања. Њихова примена је сада прилично раширена и постоје многи примери успешног решавања одређених проблема помоћу њих (Крстић, М., 2009/2010).

За сваку конкретну састојинску ситуацију у шумарству потребно је применити оптимално решење, а оптимизација мера неге подразумева се проналажење најбољег адекватног решења. Примена узгојне аналитике у комбинацији са техникама визуелизације и симулације представља једно од могућих решења за брже и ефикасније закључивање о ефектима извршених мера и креирање нових методолошких поступака у гајењу шума.

Визуелизација је свака техника креирања слике, дијаграма или анимације у циљу слања одређене поруке. Кроз имагинарну представу може бити ефикасан начин представљања суштине конкретне идеје, односно, визуелне презентације неке информације, података или сазнања (Wikipedia, 2008). Карактеристичан пример визуелизације је графичка представа неког објекта, којим се комплекс информација илустративно и јасно објашњава помоћу карата, слика, шема. Користи се, такође, за математичко или статистичко представљање концепта неког процеса.

Симулација се може дефинисати и као динамичка визуелизација, односно сликовити приказ различитих ситуација и стања под утицајем различитих третмана, који омогућава олакшано закључивање и омогућава „учење на грешкама“, што чини велику предност. Суштина је да се симулација, као једноставни метод презентације резултата неке студије или сазнања, користи за: формулисање одређеног проблема, развој модела, функционисање модела, анализу добијених резултата (разних сценарија и њихових алтернатива), што укључује поступак оптимизације у инжењерству, за разна тестирања, вежбања или едукацију. Може се користити за приказ како би се неки реални ефекти одразили у другачијим условима или били изведени на другачији начин (Крстић, М., 2009/10).

Према Крстић, М. (2014), симулација се у шумарству може користити као једноставан модел рада са стаблима или састојином, чиме се приказује

могућност демонстрације одређених мера и активности у шуми, или као дијагностички инструмент. То практично значи да би се омогућило нпр. употређивање примене различитих критеријума при избору стабала за сечу, потребно је извести симулацију истих, а затим то и визуелно приказати, у циљу што бољег разумевања проблема, као и ефикасности његовог решавања.

Крајем прошлог века разрађено је више компјутерских програма за симулацију развоја састојине: Botkin, D. (1992), Marquis, D., Ernst, R. (1992), Tanaka, K., Ishibashi, S. (1996), Chumachenko, S.I. *et al.* (1996), McGaughy, P. (1997) и др. Већина програма, за које се претендује да буду „општеприменљиви“, засновани су на коришћењу већег броја променљивих, ограничавајућих и реметећих фактора раста стабала и развоја састојине. За њихову примену потребна је одређена база података и веома комплексна и обимна претходна истраживања услова станишта, развоја врсте у одређеним условима, познавање биоеколошких карактеристика врста и др. (Крстић, М., 2003/6).

Примена метода визуелизације и симулације у гајењу шума, започета је крајем прослог века у Србији са појавом рачунара, када су чињени покушаји развијања специјализованих компјутерских програма за обраду података, потребе планирања и приказ показатеља извршених узгојних радова (Крстић, М., Ранковић, Н., 1986). За анализу састојинског стања на бази конкретних таксационих података и његове промене извођењем одговарајућих узгојних сеча Крстић, М. (2003а) креирао је софтвер – SiMS (*Silvicultural Measures Simulation*) којим се, на бази конкретних података састојинског стања пре и после одговарајућег узгојног захвата (сече), омогућава је анализа извршеног једног или више различитих захвата, тестирање извршених сеча и кориговање у циљу одређивања оптималног захвата и мера. Програм је, такође, симулатор састојинске структуре и развоја састојине кроз време преко развоја појединачних стабала (Крстић, М., 2004), и може се користити за пројекцију развоја (предвиђање - симулирање) састојинске структуре на крају анализираниог периода, после онолико година колико сам корисник изабере.

2. ВИЗУЕЛИЗАЦИЈА И СИМУЛАЦИЈА УЗГОЈНИХ РАДОВА У ШУМАРСТВУ

2.1. Визуелизација

Један од веома важних елемената за планирање и реализацију узгојних потреба и мера јесте визуелни приказ разних структурних облика и квалитета састојине, значаја, метода и начина изводјења одредјених узгојних мера, јер омогућава боље разумевање суштине, на основу познате крилатице да „једна слика говори више него хиљаду речи“.

Према Oberson Asuoni, C. *et al.* (2014), научна визуелизација, као део истраживачког процеса, обухвата графичко представљање научних чињеница, користи се за разумевање, интерпретацију података и њихово истражи-

вање, као помоћно средство за разумевање и увид у систем, а такође графика може навести на неке нове идеје и правце истраживања.

Визуелизација се у практичном смислу има свој улаз и излаз. На улазу се налазе „сирови” прикупљени подаци који могу бити трансформисани, што подразумева промену података или геометријски приказ. Завршетак самог поступка визуелизације се постиже на излазу где се врши мапирање података и добијају визуелни објекти као резултат самог процеса (Bathgate, S., 2007). Према Al-Kodman-у, К. (1999), коришћење техника визуелизације је значајно за упознавање јавности у процесу планирања, имплементације и евалуације.

Визуелизација, представља технику креирања слике, дијаграма или анимације у циљу слања одређене поруке. Кроз имагинарну представу, визуелизација може бити ефикасан начин представљања суштине конкретне идеје, односно визуелне презентације неке информације, података или сазнања. Комбинација перспективних приказа и динамичке визуелизације, представља моћно средство приказа резултата просторно – временских модела у GIS-у. Овај метод може се користити за остваривања визуелног утиска, којег није могуће постићи са уобичајеним дводимензионалним картама (Крстић, М. 2009/10, 2014).

Према Guanglei, G. *et al.* (2011), визуелизација у шумарству представља научно, техничко и значајно помоћно средство за управљање подацима о шумским ресурсима, израду планова газдовања, као и приказивање конкретне састојинске ситуације.

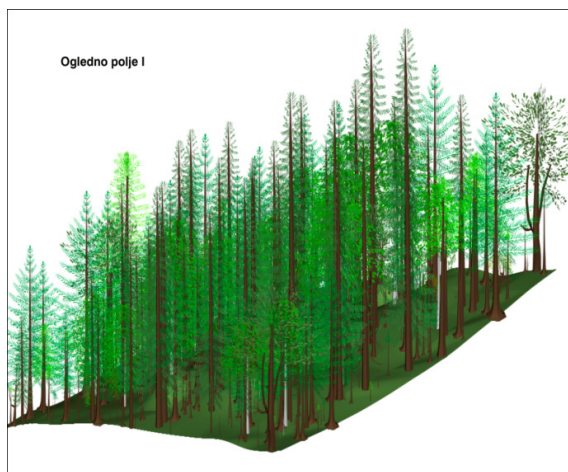
Како је раније наведено, приказ података и резултата, у шумарству се може вршити текстуално, табеларно и графички. Табеларни приказ података се примењује ради веће прегледности, потпунијег и јаснијег визуелног сагледавања прикупљених података и добијених резултата, упоређивања и олакшавања рада при даљој анализи. Графички приказ прикупљених или обрађених података врши се у циљу разумљивијег и интересантнијег приказа резултата истраживања

2.1.1. Визуелизација у гајењу шума - примери коришћења израђених узгојних модела

Један од веома важних елемената за планирање и реализацију узгојних потреба и мера јесте визуелни приказ разних структурних облика састојине, значаја, метода и начина извођења одређених узгојних мера, јер омогућава боље разумевање суштине. Визуелизација је у гајењу шума најчешће коришћени метод у циљу сликовитог приказа стања неког састојинског елемента или читаве састојине а посебно је значајна за планирање и извођење одређених узгојних мера, где се сликовито може представити почетно стање и стање после извршеног одређеног узгојног третмана.

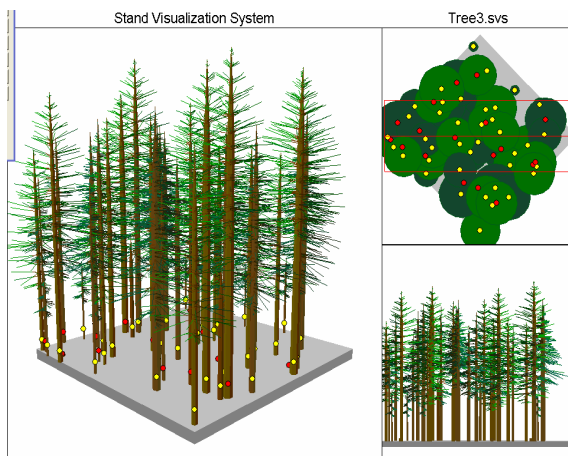
Наведено је да један од компјутерских програма за израду визуелних приказа састојинског стања, као и за симулацију одређених радова у газдовању шумама, компјутерски програм SVS (*Stand Visualization System*),

који омогућава визуелни приказ састојинског стања из тродимензионалне перспективе, из профила (бочно), и из птичје перспективе (одозго), у циљу поређења стања и доношења закључака у вези са дефинсањем оптималних узгојних мера и њихове примене (McGaughy, R., 1997). Веома је погодан за визуелизацију и симулацију извођења узгојних радова у шумарству као и приказ стања пре и после извођења одговарајућих узгојних захвата, и код нас је често примењиван: Говедар, З. (2005); Говедар, З., Крстић, М. (2006); Кањевац, Б. (2015, 2020) и др.



Слика 1. Визуелни 3D приказ изгледа локалитета програму SVS и састојине (Остојић, Д., 2005)

Figure 1 Visual 3D representation of the locality and the stand using the SVS software (Ostojić, D., 2005)



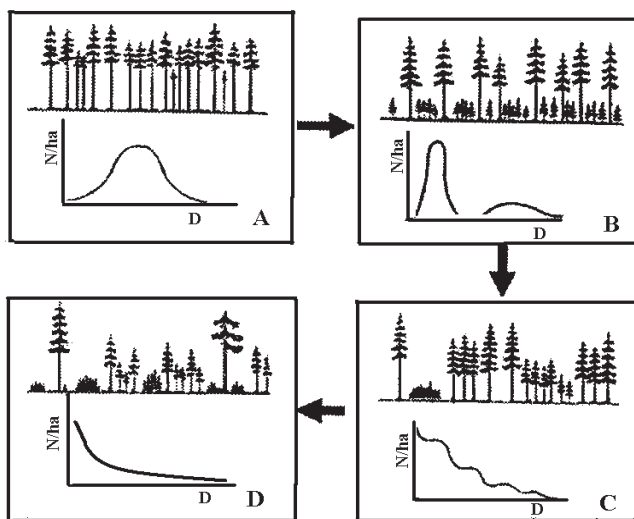
Слика 2. Визуелни приказ састојине и дозначених стабала

Figure 2 Visual representation of the stand and marked trees

У циљу приказа визуализације, у даљем тексту презентовани су најчешће примери и визуелни прикази из радова аутора у овој области, у литературном извору „Гајење шума“ (Стојановић, Љ., Крстић, М., 2000, 2008), али и других извора.

Визуелизација структуре састојине

Познато је да састојине по старости могу бити једнодобне, разнодобне и пребирне, и да свака има карактеристичну структуру, изражену расподелом стабала по дебљинским степенима. Код једнодобних шума линија расподеле стабала је мање-више приближна звоноликој (Гаусовој) криви (слика 3А). Разнодобне шуме карактерише присуство више старосних група стабала (слика 3В и 3С), док крива расподеле стабала код пребирних шума има хиперболичан тренд (слика 3D).



Слика 3. Структура састојине (Рафаилов, Г., 2003): једнодобна састојина (А), разнодобна састојина (В и С), пребирна састојина (D)

Figure 3 Stand structure (Rafailov, G., 2003): even-aged stand (A), uneven-aged stand (B and C), selection stand (D)

Визуелизација изгледа склопа састојине

Склоп састојине, дефинисан према начину склапања круна дрвећа у састојини, њиховом међусобном односу, може да буде хоризонталан, вертикалан и степенаст или пребиран са својим основним карактеристикама (Стојановић, Љ., Крстић, М., 2008), што је илустровано на слици 4.



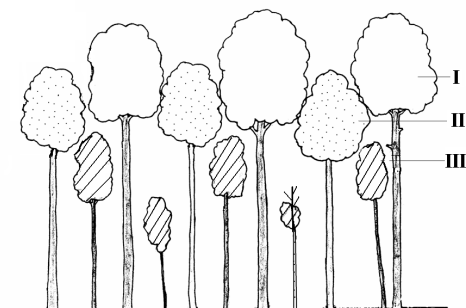
Слика 4. Шематски приказ хоризонталног, вертикалног и степенастог склопа
 Figure 4 Scheme of horizontal, vertical and layered canopy

Визуелизација класификације стабала у састојини

Важност познавања класификација стабала у састојини, при извођењу сеча прореда, произилази из чињенице што се поједини облици проређивања састојине међусобно разликују по томе које категорије стабала се из састојине уклањају, тј. што је сваки метод прореда везан за одређену специфичну класификацију стабала у састојини (слике 5 и 6).



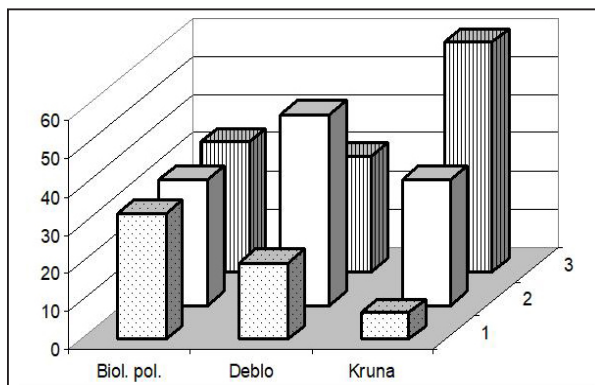
Слика 5. Класификација стабала која се примењује код Данске и Француске прореде: А – главна стабла, В – штетна, С – корисна, D – индиферентна стабла
 Figure 5 Classification of trees applied in Danish and French thinning: A – main trees, B – harmful trees, C – useful trees, D – indifferent trees



Слика 6. Класификација стабала у састојини по биолошким разредима
 Figure 6 Classification of trees by canopy classes

Визуелизација квалитета стабала у састојини

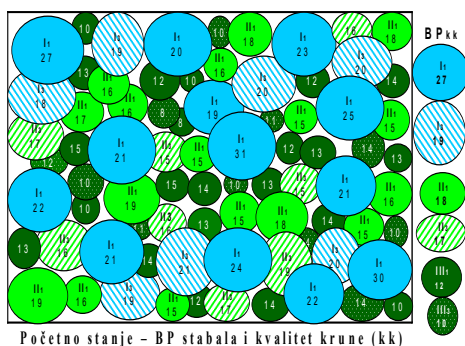
На графикону 1. дат је визуелни тродимензионални приказ категоризације и квалитета ненеговане састојине букве: биолошког положаја стабала, квалитета дебла и квалитета круне одговарајућом арапским бројем 1, 2, 3 и шрафуром. Запажа се да стабла приближно једнако заступљена у сва три биолошка положаја, да су најзаступљенија стабла средњег квалитета дебла (2), најзаступљенија су стабла са лоше развијеним крунама (3) које су прекратке, једнострано развијене, и др. (Крстић М., Стајић, С., 2003).



Графикон 1. Графички приказ квалитета састојине
Graph 1 Stand quality

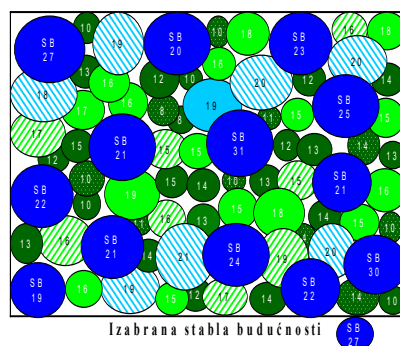
Визуелизација квалитета стабала у састојни као критеријум за дознаку

На слици 7. дат је визуелни дводимензионални шематски приказ просторног распореда, категоризације стабала, њихових димензија и квалитета круне (Крстић, М. 2014). Просторни распоред и димензије стабала на површини снимљени су ортогоналном методом, и блиски су стварном (реалном). При томе је приказано следеће: биолошки положај стабала означен римским бројевима I, II, III у различитим бојама; прсни пречник стабала исказан одговарајућим бројчаним вредностима – 27, 19, 12; квалитет круне стабала одговарајућом арапским бројем 1, 2, 3, шрафуром и бојом, са истовременом ознаком припадности биолошком положају (I₁, I₃, II₁, II₃, III₁, III₃). Димензије и просторни распоред изабраних стабала будућности на истој површини приказан је на слици 8 (SB).



Слика 7. Визуелни приказ просторног распореда, категоризације и квалитета круне стабала (оригинал)

Figure 7 Visualisation of the spatial arrangement, categorisation and crown quality of final crop trees (original)



Слика 8. Визуелни приказ просторног распореда изабраних стабала будућности

Figure 8 Visualisation of the spatial distribution of the selected trees

2.1.2. Визуелизација изражена табеларним приказом узгојних модела

Табеларни приказ модела оптималне изградњености састојина различитих врста дрвећа, као што су таблице приноса и прираста, комплексан је оријентациони показатељ оптималне израђености састојине, и представљају модел коме треба тежити. На основу упоредних вредности наведених елемената у таблицама и утврђених у конкретној састојини, може се оријентационо одредити јачина проредног захвата у конкретној старости.

Модели узгојних захвата за шуме појединих врста дрвећа - нормативи извођења сеча неге

Постоје бројни визуелно табеларно изражени нормативи за одређене основне врсте дрвећа, односно модели неге, као веома добар и комплексан показатељ за одредивање јачине захвата при извођењу различитих узгојних сеча и времена поновног вршења на истој површини и др. Приказани подаци у табелама показују какве морфолошке карактеристике стабала треба да имају у одређеној фази развоја састојине да би била стабилна, са правилно развијеним стаблима, одговарајућих димензија, коме треба тежити при извођењу одговарајућих узгојних мера.

Јачина захвата и интервал између две узастопне сече неге **храстових шума** (табела 1) зависи од порекла састојине, врсте узгојног захвата и типа шуме (Radkov, I., Minkov, J., 1963).

Табела 1. Карактеристике сеча неге у храстовим шумама (Radkov, I., Minkov, J., 1963)

Table 1 Characteristics of tending cut in oak forests (Radkov, I., Minkov, J., 1963)

Тип шуме / Forest type		Врста сеча неге / Type of tending cut							
		Осветљавање / Liberation cut		Чишћење / Cleaning cut		Прореди / Thinning		Прогална сеча / Release cut	
		Јач. зах. V (%) Weight V (%)	Интервал (год.) Interval (year)	Јач. зах. V (%) Weight V (%)	Интервал (год.) Interval (year)	Јач. зах. V (%) Weight V (%)	Интервал (год.) Interval (year)	Јач. зах. V (%) Weight V (%)	Интервал (год.) Interval (year)
Високе шуме / Forest height	Китњак/ Sessile oak	30-60	2-3	15-30	3-4	15-20	5-8	15-20	8-10
	Кит-сл. / Sess.oak- Hung.oak	20-40	2-3	15-20	3-4	15-20	5-8	15-20	8-10
	Сладун / Hung.oak	20-30	3-4	10-15	4-5	15-20	6-10	10-15	10-12
	Сл.-цер / Hung.oak- Turk.oak	20-30	2-3	10-15	4-5	10-15	8-10	10-15	10-15

Број стабала у природној **буковој** састојини коме треба тежити и њихова горња висина, у зависности од старости, приказана је у табели 2.

Табела 2. Показатељи развоја и структуре младих букових састојина (Vyskot, M. *et al.*, 1978)

Table 2 Parameters of development and structure of young beech stands (Vyskot, M. *et al.*, 1978)

Старост састојине (год.) / Stand age (year)	10-11	12-13	14-15	17-19	20-28
Горња висина (m) / Upper height limit (m)	3,0-3,2	3,4-3,9	5,4-5,8	5,9-7,7	8,5-9,5
Број стабала (1000/ha) / Number of trees (1000/ha)	140-150	90-94	82-89	45-53	19-24

Према чешким упутствима (табела 3) јачина захвата и проредни интервал у састојинама **бора** зависе од станишта, висине састојине, броја стабала по *ha* и старости састојине (Pliva, K., 1980). Мерама неге густина састојине треба да се редукује, тако да нпр. у старости 20 година буде око 5000-6000 стабала по *ha*. Следећим проредним захватима, после 10 година, густина састојине смањује се на око 3500 стабала по *ha*, итд.

Табела 3. Јачина захвата у квалитетним састојинама бора на добром станишту (Pliva, K., 1980)

Table 3 Thinning weight in high-quality pine stands in good sites (Pliva, K., 1980)

год./ year	Старост састојине / Stand age						
	15	20	30	40	50	60	70
H (m)	5-6	8-10	12-15	14-18	16-20	18-23	19-24
N (kom/ha)	7,5-8000	5-6000	3500	2500	1700	1300	1000
Захват по N (%) / Thinned per N (%)	25-35	17-34	29-33	27-28	19-20	15-23	18-20

Извођење проредних сеча у квалитетним састојинама **јеле** узгојни захвати зависе од старости састојине, горње висине састојине, броја стабала у састојини, и врсте проредног захвата (табела 4). Први захват је у 20. години старости при висини стабала од 5 *m*. Јаким проредним захватима до 40 год. старости се препоручује уклањање оријентационо око трећине стабала, а касније умерана јачина захвата.

У нашим условима, у састојинама **смрче** (табела 5), применом метода израде локалног станишног модела развоја стабала, на најбољим стаништима са проредом треба почети око 20. год. старости при висини доминантних стабала од 7 *m*, на средњим, око 30. године, а на најлошијим, око 35. године (Крстић, М., Стојановић, Љ., 1998). Повећање висина стабала доминантног спрата за усвојена 2 *m*, као показатеља проредног интервала, на најбољим стаништима је после 4-5 година, на средње квалитетним после 4-6

година, а на најлошијим после 5-6 година, колико треба да износи проредни интервал у најмлађим састојинама. Са повећањем старости састојине, у свим условима, повећава се дужина проредног интервала.

Табела 4. Показатељи проредних захвата у састојинама јеле (Pliva, К., 1980)
Table 4 Parameters of thinning treatments in fir stands (Pliva, К., 1980)

Старост (год.) / Age (year)	15	25	30	40	50	60	70
Начин прореде / Thinning type	Висока – комбинована / High – combined			Висока / High			
Горња висина / Upper limit height (m)	2-3	7	11	15	19	23	26
Бр. ст.пре сече / Num. of trees before the cut (N/ha)	8.000	6.000	4.000	2.500	1.600	1.200	1.000
Јачина захвата / Thinning weight (%)	25	33	37	36	25	17	10
Прор. интервал / Thinning interval (год. / year)	Први захват у 20-ој год. при висини стабала од 5 м. The first cut at the age of 20 at a tree height of 5 m.						

Табела 5. Почетак у учесталости проредних сеча у смрчевим шумама (Крстић, М., Стојановић, Љ., 1998)

Table 5 The beginning of the frequency of thinning treatments in spruce forests (Крстић, М., Стојановић, Љ., 1998)

Бонитет / Site class	Горња висина, старост састојине и проредни интервал / Upper height limit, stand age and thinning interval						
I	Горња висина / Upper height limit	Н (m)	7	9-19	20-27	28-31	> 32
	Старост / Age	Т (год.) / (year)	20	24-45	46-65	66-80	> 80
	Прор. интервал / Thinning interval	I (год.)	почетак start	4	5-6	7-8	9-10
III	Горња висина / Upper height limit	Н (m)	8,5	10-13	13-25	26-31	
	Старост / Age	Т (год.) / (year)	30	36-45	46-80	81-100	
	Прор. интервал / Thinning interval	I (год.) / (year)	почетак start	3-4	5-6	7-9	
V	Горња висина / Upper height limit	Н (m)	6,5	7-18	19-25		
	Старост / Age	Т (год.) / (year)	35	40-70	> 71		
	Прор. интервал / Thinning interval	I (год.) / (year)	почетак start	5-6	7-8		

Табела 6. Основна узгојна табела при извођењу проредних сеча као мера неге
Table 6 Simple silvicultural table when performing thinning as a tending measure

		Г.Ј: »Мали Јастребац II« МУ: »Мали Јастребац II«				Одељење / Compartment: 30				Огледно поље / Experimental field: 1					
		Надморска висина / Altitude: 640 m				Нагиб терена / Slope: 8°				Експозиција / Aspect: северна / northern					
Типолошка припадност: Планинска шума букве (<i>Fagetum moseiaca montanum s.l.</i>) на дубоком киселом смеђем земљишту на шкриљцима / Forest type classification: Montane beech forest (<i>Fagetum moseiaca montanum s.l.</i>) on deep acid brown soil over slate		Почетно стање 2004. године / Initial state in 2004				Стабла будућности / Final crop trees				Дозначена стабла / Marked trees					
Дебљ. степен / Diameter class (cm)	N (ком / ind.) по ha / per ha	G (m ²) по ha / per ha	%	V (m ³) по ha / per ha	%	N (ком / ind.) по ha / per ha	%	V (m ³) по ha / per ha	%	N (ком / ind.) по ha / per ha	%	V (m ³) по ha / per ha	%		
														по ha / per ha	по ha / per ha
7,5	146	0,64	1,9	1,4	0,4					135	43,1	1,3	1,8		
12,5	73	0,90	2,6	6,0	1,6					52	16,7	4,3	5,7		
17,5	52	1,25	3,7	11,2	2,9					42	13,4	9,1	12,0		
22,5	167	6,65	19,5	69,1	18,1	31	14,5	12,8	7,5	31	9,9	12,8	16,7		
27,5	230	13,66	40,2	157,0	41,0	84	44,6	57,4	33,3	31	9,9	21,2	28,1		
32,5	73	6,05	17,8	74,9	19,5	31	14,5	31,8	18,4	11	3,5	11,3	14,9		
37,5	31	3,42	10,1	44,3	11,6	21	11,2	30,0	17,5	11	3,5	15,7	20,8		
42,5	10	1,42	4,2	18,9	4,9	21	11,2	39,6	2,3						
Укупно / Total	782	33,99	100	382,8	100	188	100	171,6	100	313		75,7	100		
		D _g = 23,5 cm				D _g = 30,1 cm				D _g = 17,3 cm					
		H _g = 23,1 m				H _g = 24,4 m				H _g = 18,8 m					
Укупно / Total		Стање после сече / State after cutting				Учешће стабла будућности / Share of final crop trees				Јачин захвата / Thinning weight					
		469		26,63		307,1		по N / per N = 24,0 %		по N / per N = 40,0%		по G / per G = 20,7%			
		Текући запремински прираст / Current volume increment				по V / per V = 44,8 %				по V / per V = 19,8%					
		I _v = 10,2		m ³ /ha		P _v = 2,7%									

Визуелни приказ састојинског стања и извршених узгојних мера

У карактеристичној узгојној табели бр. 6 поступком визуелизације приказани су основни подаци о локалитету и станишту, о типолошкј припадности, састојинском стању (расподели стабала, темељнице и запремине по дебљинским степнима), предложеним и извршеним узгојним мерама и подацима о извршеној дознаци стабала (Крстић, М. *et al.*, 2004).

У конкретном случају се уочава да је састојина средњедобна, недовољно негована јер је, због ураштање стабала, велики број стабала у најтањем дебљинском степену као и заостала стара стабла у јачим бебљинским степнима. У састојини је извршена је дознака према стварној узгојној потреби одговарајућим проредним захватом са издвајањем стабала будућности, чији је број 188 по *ha*. Да су правилно издвојена, у доминантном спрату, указује њихов средњи пречник (D_g), који је већи од средњег пречника почетног састојинског стања за читавих 6,6 *cm*, као и већа њихова просечна висина за 1,3 *m*. Дознаком стабала се првенствено тежило ка регулисању састојинског стања уклањањем најтањих као и најдебљих стабала. Због тога је јачина захвата по броју стабала 40% а по запремини 19,8% што значи да је извршена прореда јаког захвата по броју стабала, а умерене јачине захвата по запремини.

Визуелни табеларни приказ модела изданаčke способности од пречника и висине пања

Истраживање ове корелационе зависности вршено је за следеће врсте дрвећа: храст китњак, букву, горски јавор, црвени храст, горски јавор, бели јасен, белу липу, багрем и мечју леску (Крстић, М., Ранковић, Н. (1996-97); Крстић, М., 2006) и показује да постоји веома изражена зависност наведених елемената, која се може се изразити једначинама регресије – моделима (табела 7).

Зависност броја изданака од здруженог утицаја пречника (D_p) и висине пања (H_p) добро изражавају и експоненцијална и линеарна функција, која се, као једноставнија, препоручује за коришћење:

$$Y = a + b \cdot D_p + c \cdot H_p \quad (\text{kom})$$

У табели су приказане израчунате упоредне вредности за одређену врсту дрвећа за исти пречник пања 30 *cm* и висину пања 30 *cm*. Констатоване зависности и израђени модели могу да послуже за предвидјање броја изданака из пања у зависности од изданаčke базе (пречника и висине пања) код анализираних врста дрвећа и, у вези с тим, планирати одговарајуће мере неге. Наравно, оне важе за идентичне услове средине и требало би их проверити и у другачијим условима.

Табела 7. Статистички показатељи регресије зависности броја изданака од пречника и висине пања
Table 7 Statistical regression parameters of the dependence of the number of shoots on the diameter and height of the stump

Статист. показ. / Statistical parameters	Китњак / Sessile oak	Црвени храст / Red oak	Буква / Beech	Горски јавор / Sycamore maple	Бели јасен / Common ash	Бела липа / White linden	Багрем / Black locust	Меџа леска / Turkish hazel
R	0,837*	0,541*	0,58**	0,580*	0,634*	0,773*	0,751**	0,622*
r ²	0,701	0,292	0,336	0,336	0,402	0,600	0,564	0,387
F	16,40	3,510	10,6	4,054	6,389	12,64	16,5	5,374
Se	4,682	10,75	3,67	4,616	2,911	14,32	7,38	12,04
Парам. / Param.	a	1,602	2,196	1,987	0,068	-13,906	-4,662	-12,263
	b	-0,006	0,501	0,521	0,523	2,018	0,849	1,806
	ц	0,724	0,481	0,072	0,178	0,187	0,459	0,270
Очекивани број изданака на пању за X₁=30 cm и X₂=30 cm / Expected number of shoots per stump for X₁=30 cm and X₂=30 cm								
Ком. / Ind.	23	29	20	23	7	60	30	50

* статистички значајно на нивоу $p < 0,05$; ** статистички значајно на нивоу $p < 0,01$

2.1.3. Графички приказани узгојни модели поступком визуелизације

Поред приказа у виду табела, поступком визуелизације у шумарству представљају се и подаци који имају природну геометријску структуру - графикони и др. Овакав вид визуелизације нема просторну презентацију података, али свакако доприноси олакшаном тестирању хипотеза и креирању нових достигнућа.

2.1.3.1. Визуелизација мера неге састојине

Визуелизација модела различитих фаза неге састојине

При нези шума, према Schutz, J-F. (Стојановић, Љ., Крстић, М., 2008), постоје четири фазе (слика 9):

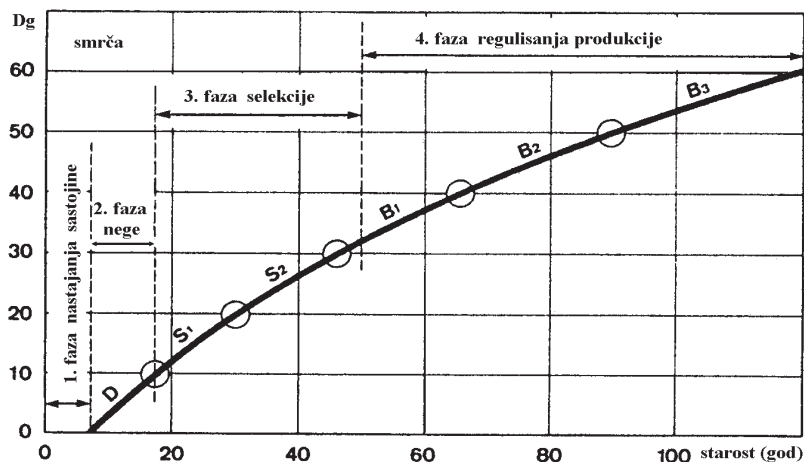
1. Фаза настанка састојине у време подмлађивања, са истовременим регулисањем састава и квалитета састојине (прва фаза неге);

2. Фаза неге, тј. формирања стабала у периоду младика у старости оријентационо 8-20 година, првенствено са циљем уклањања стабала лошег квалитета и формирања стабла са добро развијеном круном;

3. Фаза интензивне позитивне селекције стабала, односно одабирање стабала која имају могућност да се развију у најквалитетнија стабла велике производности и виталности у старости 18-50 година;

4. Фаза регулисања продукције почиње после извршене селекције стабала у старости састојине од 50 година надаље.

У свакој наведеној фази неге примењују се одговарајуће сече као мере неге.

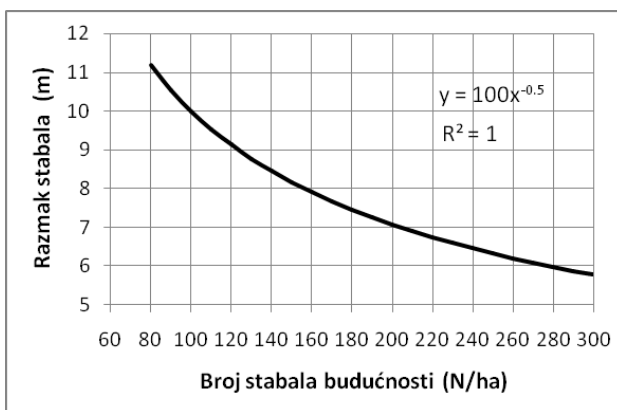


Слика 9. Фазе неге састојине у састојинама смрче према Schutz, J-F. (Стојановић, Љ., Крстић, М., 2008)

Figure 9 Stages of stand tending in spruce stands according to Schutz, J-F. (Stojanović, Lj., Krstić, M., 2008)

Дефинисање размака и животног простора стабала у састојини

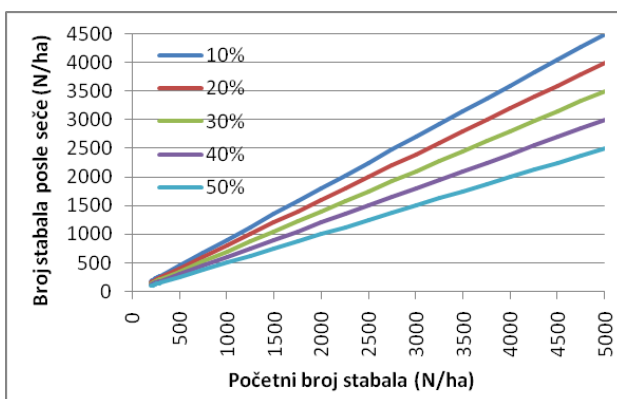
При извођењу прореди са издвајањем стабала будућности и дефинисаног њиховог броја по *ha*, потребно је одредити међусобно растојање, које се лако може установити са графикана 2. Нпр., за издвајање 100 стабала будућности, просечно међусобно растојање биће 10 *m*; за 200 стабала биће приближно 7 *m*, што се прецизно може одредити коришћењем приказане формуле, итд.



Графикон 2. Промена размака стабала од броја стабала будућности
Graph 2 Change in the tree spacing depending the number of final crop trees

Промена броја стабала са јачином захвата при проредним сечама

У зависности од јачине проредног захвата број стабала после сече се пропорционално смањује, и то се лако може утврдити са графикана 3. Нпр. при прореди умерене јачине захвата од 20% почетни број стабала 5000 *kom/ha* ће се смањити на 4000 *kom/ha*; за почетни број стабала 2500 *kom/ha* биће 2000 *kom/ha*, итд.



Графикон 3. Промена броја стабала са јачином захвата
Graph 3 Change in the number of trees with the changing thinning weight

Промена фактора размака стабала као показатеља могућег интензитета проредног захвата

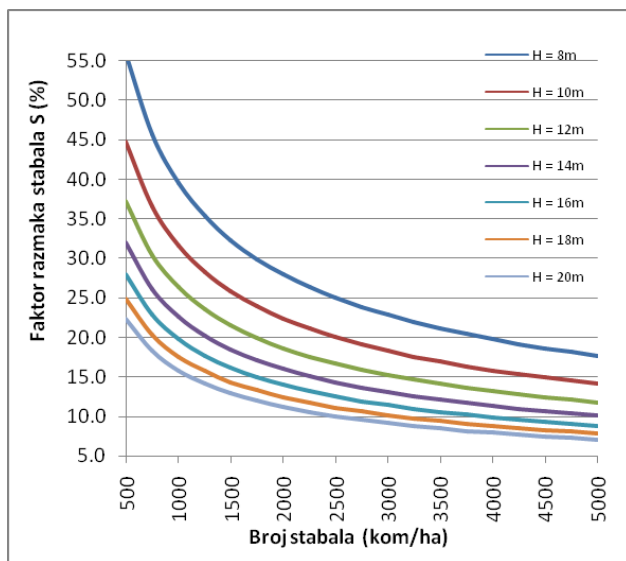
Харт. Бекингов фактор размака стабала ($S\%$), као показатељ стабилности састојине, један је од најчешће коришћених показатеља за одређивање јачине захвата при проредним сечама (Крстић, М., 1994, 1997, 2014; Стојановић, Љ., Крстић, М., 2000). Мења се у зависности од конкретног броја стабала у састојини и висине стабала доминантног спрата (графикон 4).

На основу фактора размака стабала извршена је категоризација састојина по степену стабилности и могуће јачине проредног захвата који се на основу тога препоручује:

$S > 20\%$ - састојина је стабилна и може се без бојазни јачим захватом проређивати;

$S = 15\text{-}20\%$ - састојина је прилично густа и потребан је опрезан захват умерене јачине, посебно ако су доминантна стабла виша од 15 m;

$S = 10\text{-}15\%$ - састојина је веома густа и нестабилна – препоручује се врло опрезан слабији захват са чешћим понављањем.



Графикон 4. Промена фактора размака стабала ($S\%$) од броја и висине стабала
Graph 4 Change in the tree spacing factor ($S\%$) depending on the number and height of trees

Пример 1: При броју стабала изнад 4500 *ком/ха* и висини сабала доминантног спрата 10 m, $S < 15\%$, што значи да је потребан веома опрезан захват слабијег интензитета; при овој висини а при броју стабала испод 2500 *ком/ха* састојина је стабилна и може се без бојазни проредјивати према конкретној узгојној потреби, јер је $S > 20\%$.

Пример 2. При висини стабала доминантног спрата од 16м састојина је нестабилна ако је број стабала већи од 1750 *kom/ha*, јер је $S < 15\%$ и потребан веома опрезан захват, а стабилна је и може се без бојазни проредјивати тек ако је број стабала \leq од 1000 *kom/ha* је стабилна и може се без бојазни проређивати, јер је $S > 20\%$.

На основу Hart-Backing-овог фактора размака стабала, проредом слабог захвата сматра се онда ако је после прореде $S = 16\%$ (15-17%); умереног 19% (18-20%); јаког 22% (21-25%) и врло јаког, изнад 25% (Nicolescu, B.H., 2018).

Према препорукама Института за развој шумарства у Паризу, вредност S после прореде у састојинама јеле треба да износи 16-18, смрче 16-19, бора 20-24% (Јевтић, М., 1992).

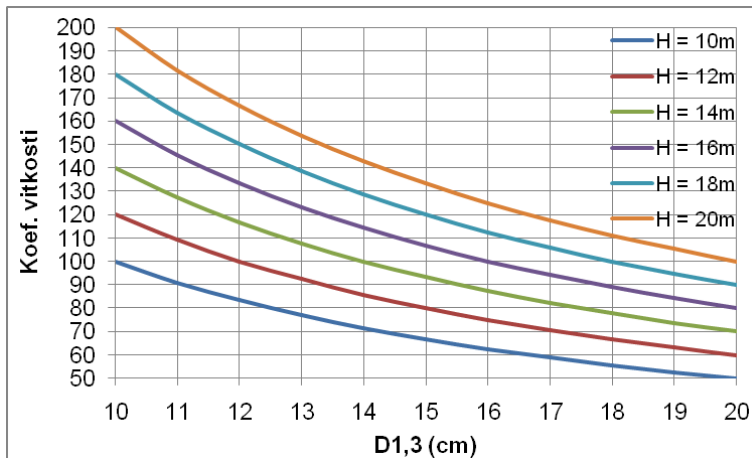
На идентичан начин може се израчунати и број стабала, који треба да остане после сече за унапред одређени фактор размака стабала. Израчунавање је знатно олакшано, јер постоје израђене табеле и графикони за одређивање ових односа. Из њих се једноставно читава вредност S конкретне састојине, или пак који број стабала треба да има састојина конкретне висине, за одређени фактор размака стабала (графикон 3).

Коефицијент виткости стабала као показатељ могућег интензитета проредног захвата

Степен стабилности одређене састојине изражава се, такође, нумерички и одређује преко коефицијента виткости стабала (K_v), односом између висине стабала доминантног спрата (H_{dom}) и прсног пречника средњег састојинског стабла (D_g). Зависност ризика оштећења састојине од снега и ветра од степена виткости стабала, према Јевтић, М. (1992), нарочито је истраживана у Француској и између њих је утврђена значајна корелациона зависност, на основу чега је извршена следећа категоризација састојина:

- када је коефицијент виткости (K_v) испод 80 састојина је стабилна и могу се без бојазни изводити проредне сече одговарајуће јачине захвата;
- коефицијент виткости $K_v = 90-100$, већ постоји одређена зона ризика и може се вршити “опрезна прореда” без јачег задирања у дебља стабла (горњи спрат);
- ако је коефицијент виткости K_v изнад 100, то је већ зона високог ризика по стабилност састојине и стабла нису индивидуално стабилна, па је потребна велика опрезност при извођењу прореда.

Са графикона 5 једноставно се може утврдити какав је коефицијент виткости стабала при одређеним димензијама средњег састојинског пречника и висине стабала доминантног спрата. Ако је нпр. средњи пречник састојине $D_g = 15$ *cm*, при висини стабала доминантног спрата изнад 15 *m* састојина је нестабилна јер је коеф. виткости изнад 100; при истом пречнику од 15 *cm* састојина је стабилна ако је висина испод 12 *m*, јер је коефицијент виткости испод 80, итд. (Крстић, М., 1994, 1997; Стојановић, Љ., Крстић, М., 2000).



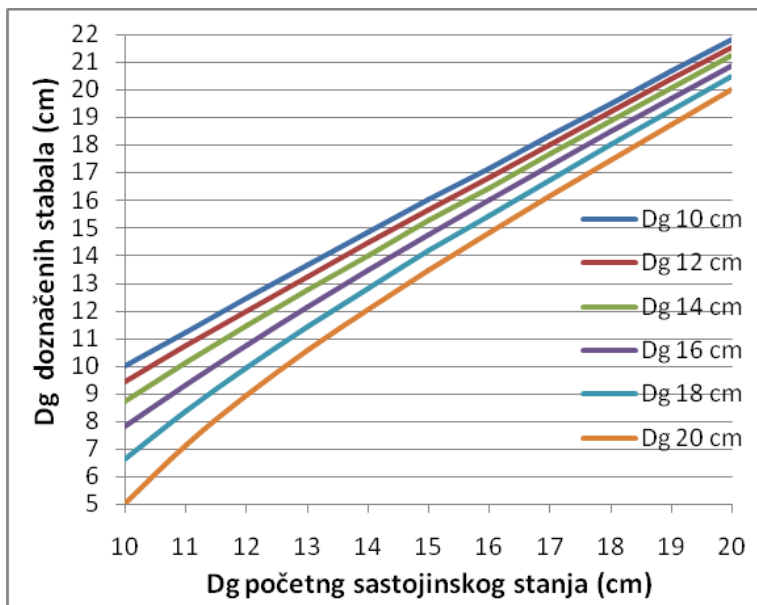
Графикон 5. Коефицијент виткости стабала у зависности од прсног пречника и висине

Graph 5 Coefficient of tree slenderness depending on breast diameter and height

Средњи састојински пречник као показатељ врсте и ефекта извршеног проредног захвата

Средњи састојински пречник, како је наведено, показатељ је врсте проредног захвата. Ако је средњи пречник дозначених (посечених) стабала нижи од средњег пречника састојине пре сече, извршена је ниска прореда и обратно. На основу повећања средњег пречника састојине после извесног времена, може се такође оценити ефекат извршених проредних сеча, због чега је од велике важности познавање средњег пречника састојине после сече, да би се избегло тзв. “рачунско повећање средњег пречника”. Ако је средњи пречник посечених стабала нижи од пречника састојине пре сече (извршена ниска прореда), његова вредност ће се после сече рачунски повећати и обратно, при сечи крупнијих стабала (висока прореда) ће се смањити. Због тога је важно израчунати вредност средњег пречника састојине после сече, који се, према Георгиевски, Н.П. (1957) једноставно може рачунски одредити (Крстић, М., 1994, 1997); Стојановић, Љ., Крстић, М. (2000), како је приказано на графикону 6.

На графикону 6. запажа се да се у зависности од средњег пречника (D_g) почетног стања и средњег пречника (D_g) дозначених стабала долази до промене и може установити колики ће бити средњи састојински пречник (D_g) после сече. Ако је пречник дозначених стабала мањи од средњег пречника састојине почетног стања (дозначивана више тања стабла), средњи пречник састојине после сече D_{g1} биће већи, и обратно ако је пречник дозначених стабала већи од средњег пречника састојине почетног стања (више дозначивана дебља стабла), средњи пречник састојине после сече D_{g1} биће мањи.



Графикон 6. Промена пречника (D_g) после сече стабала са јачином захвата 20%
Graph 6 Change in diameter (D_g) after felling trees at 20% thinning weight

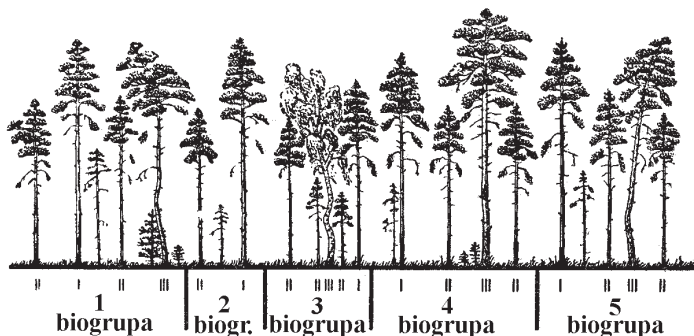
Пример 1. Ако је пречник састојине почетног стања $D_g = 15 \text{ cm}$, а D_g дозначених стабала 20 cm , средњи пречник састојине после сече биће $D_{g1} = 13,46 \text{ cm}$, односно рачунски смањен за $1,54 \text{ cm}$; обратно средњи састојински пречник почетног стања $D_g = 15 \text{ cm}$, а D_g дозначених стабала 10 cm , средњи пречник састојине после сече биће $D_{g1} = 16,1 \text{ cm}$, тј рачунски је повећан за $1,1 \text{ cm}$.

Визуелизација комбинованог метода проредних сеча

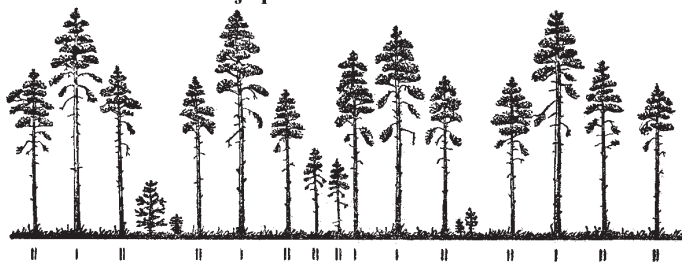
Графички приказ комбинованог вида проредних сеча у стручној литератури се третира као посебан метод (Стојановић, Љ., Крстић, М., 2008). Описан је у руској стручној литератури, а детаљније га је разрађивао Еитиген (Нестеров, В. Г., 1954).

У састојини се увек врши идентификација различитих биогрупа стабала, применом карактеристичне класификације стабала: I - квалитетна, која се помажу у развоју; II - штетна, која ометају развој најквалитетнијих стабала; III - корисна, разних узрасних категорија. Наведена категоризација стабала врши се поново при свакој следећој проредној сечи (слика 10). Карактеристика метода је сеча јаког интензитета, којом се из сваке биогрупе уклањају штетна стабла, док се индиферентна некада остављају, а некада уклањају. Као и при свакој прореди регулише се квалитет, састав, здравствено стање итд.

Zastupljenost stabala po biogrupama



stanje posle seče



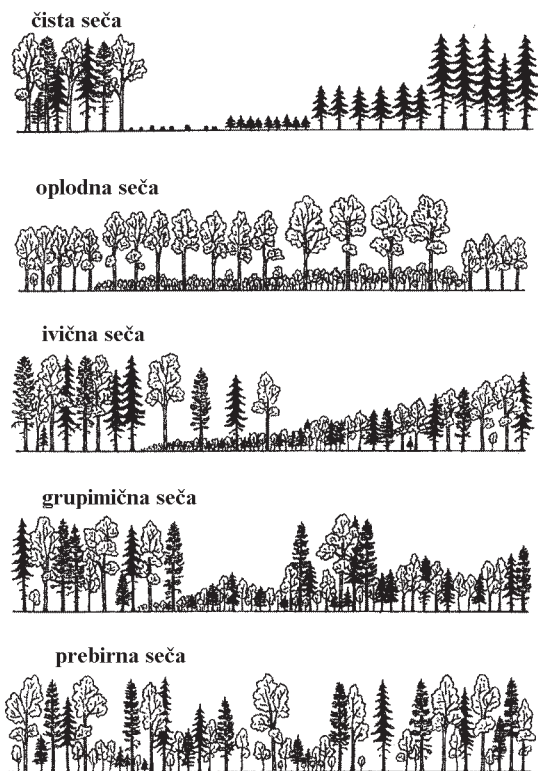
Слика 10. Комбиновани метод проредних сеча (Нестеров, В. Г., 1954): стање пре сече - у састојини су заступљена стабла различитих категорија значаја; стање после сече – формиран степенаст склоп, остављена квалитетна и корисна стабла, уклоњена штетна и некорисна стабла.

Figure 10 Combined thinning method (Nesterov, V.G., 1954): state before cutting – trees of different importance categories are represented in the stand; state after felling – a layered structure was formed, good-quality and useful trees were left, harmful and useless trees were removed.

2.1.3.2. Визуелизација метода природног обнављања шума

Визуелни приказ поступка извођења одређене сече природног обнављања шума

Познато је да су основни методи природног обнављања шума чиста, оплодна и пребирна сеча, који су представљени графички на слици 11.



Слика 11. Основни методи природног обнављања шума по Мејер-у (Diaci, J., 2006)

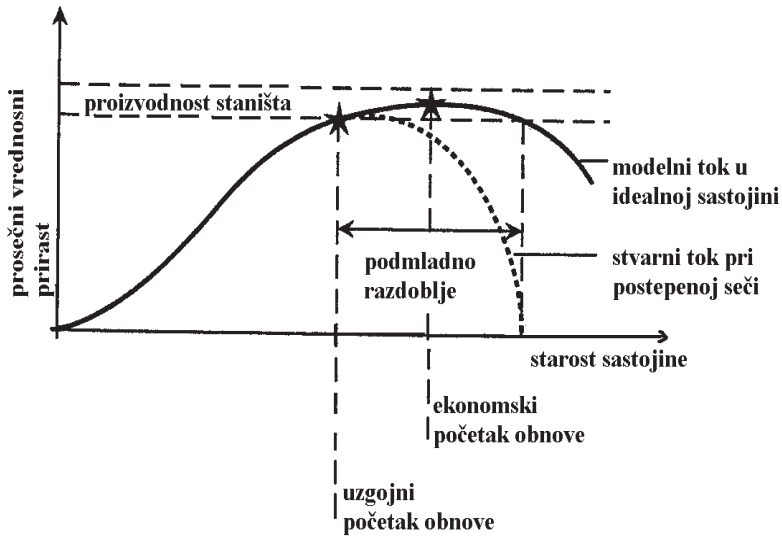
Figure 11 Basic methods of natural forest regeneration according to Meyer (Diaci, J., 2006)

Визуелизација модела почетка извођења оплодне сече

Према Млиншеку, вредносни прираст састојине је помоћно средство при одлучивању када треба састојину обнављати. Кулминација просечног (добног) вредносног прираста значи да је време за обнављање састојине. Време кулминације зависи од бонитета станишта – на бољем станишту раније кулминира. У том смислу Diaci, J. (2006) наводи постојање економског и узгојног времена обнове.

Економско време обнове састојине једнако је кулминацији просечног вредносног прираста (слика 12), јер је тада производни потенцијал станишта потпуно искоришћен (прошло је време кулминације просечног запреминског прираста и текућег вредносног прираста).

Узгојно време обнове заснива се на економском времену обнове и оправдано је започети обнову нешто пре него што је просечни вредносни прираст кулминирао у одговарајућим условима станишта (слика 12).

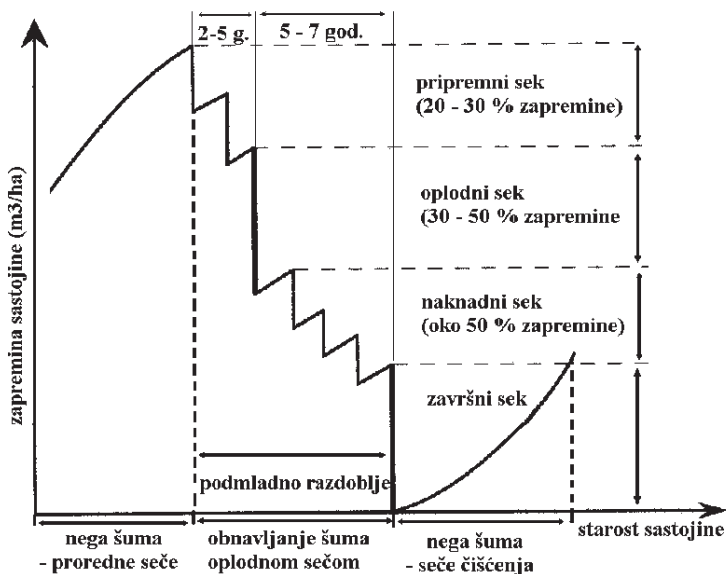


Слика 12. Шематски приказ теоретског времена обнове састојине и разлика између економског и узгојног времена почетка обнове у састојини која се обнавља оплодном сечом по Бацхманн-у, на основу кулминације просечног (добног) вредносног прираста (Diaci, J., 2006).

Figure 12 Theoretical stand regeneration time and the difference between the economic and silvicultural time of the regeneration start in a stand regenerated by shelterwood felling according to Bachmann, based on the culmination of the average (age) value increase (Diaci, J., 2006).

Визуелизација модела извођења оплодне сече (слика 13)

При дужини подмладног раздобља 7-12 година, припремни сек оплодне сече може се извршити у један или два захвата, у временском периоду извосити 2-5 година уклањањем 20-30% запремине састојине пре почетка обнављања. Оплодним секом оплодне сече уклониће се 30-50% запремине састојине после извођења припремног сека. Накнадни сек оплодне сече може се обавити у неколико захвата, при чему ће бити уклоњено око 50% запремине састојине преостале после оплодног сека. После успешно извршеног обнављања састојине применом оплодне сече изводјењем завршног сека, треба почети са извођењем сеца као мера неге младе састојине, извођењем сече чишћења.



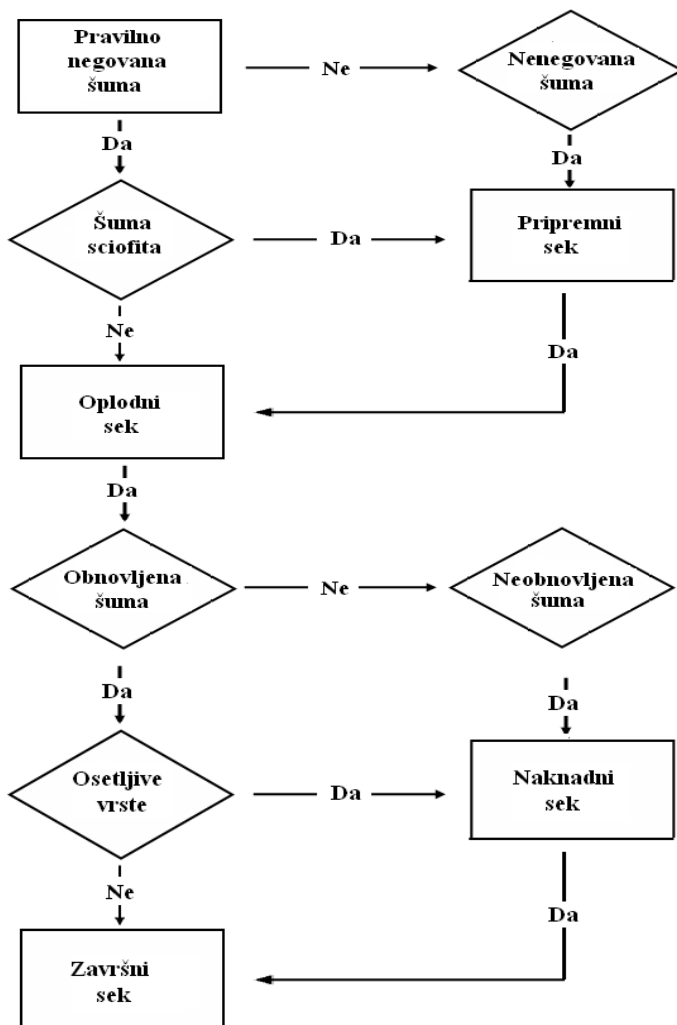
Слика 13. Извођење опложне сече при дужини подмладног раздобља 7-12 година (модификована шема Млиншека - Стојановић, Љ., Крстић, М., 2008)

Figure 13 Carrying out shelterwood cut at the regeneration interval of 7-12 years (modified scheme of Mlinšek - Stojanović, Lj., Krstić, M., 2008)

Визуелизација алгоритма извођења опложне сече

Приказани алгоритам извођења опложне сече (шема 1) указује на следеће:

- Треба сагледати да ли је шума негована или не? Ако је ненегована, неопходно је вршити припремни сек опложне сече;
- Сагледати да је шума сциофилних врста или не? Ако јесте, потребно је вршити припремни сек опложне сече, а ако је шума хелиофилних врста (по природи су разређене) и обично га не треба га вршити;
- После изводјења опложног сека опложне сече упит је да ли је шума задовољавајуће обновљена и да ли се ради о осетљивим врстама, чијем је подмлатку потребна заштита матичне састојине? Ако није обновљена, или се ради о осетљивим врстама дрвећа, неопходно је извођење накнадног сека опложне сече;
- После успешно извршене обнове, врши се уклањање свих стабала старе састојине извођењем завршног сека опложне сече.



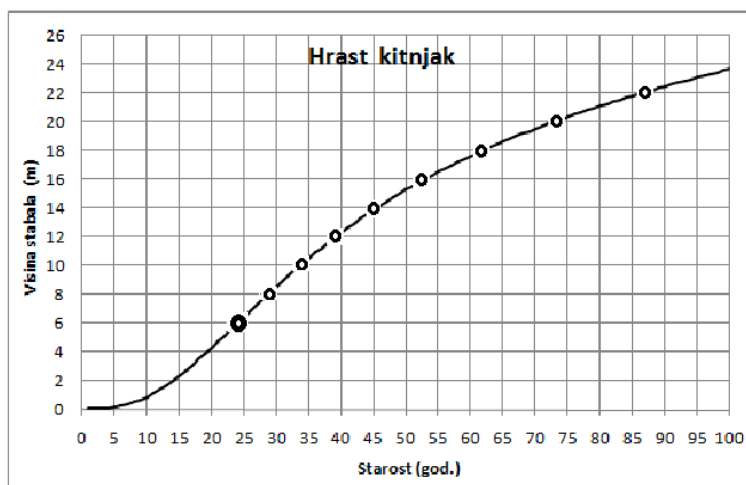
Шема 1. Алгоритам извођења оплодне сече
(Стојановић, Љ., Крстић, М., 2008)
Scheme 1 Algorithm for conducting shelterwood cut
(Stojanović, Lj., Krstić, M., 2008)

2.1.4 Табеларни и графички приказани узгојни модели путем визуелизације

Ради веће прегледности, сагледавања и бољег разумевања ефеката одређених узгојних радова, често се истовремено врши табеларни и графички визуелни приказ резултата.

Визуелизација модела извођења проредних сеча у шумама храста китњака

За одређивање почетка проређивања и проредног интервала у нашим условима разрађени модели који се заснивају на биеколошким особинама врста - карактеристикама развоја и прираста висина стабала у одређеним станишним условима. На основу израђени су **локални станишни модели развоја стабала** неких врста дрвећа (Крстић, М., 1996), коришћењем одређених функција раста. На основу динамике висинског раста доминантних стабала (повећање „горње висине“ стабала) одређује се проредни интервал, јер то подразумева и истовремено пропорционално повећање ширине круне, а самим тим потребу за поновним извођењем прореда. Локални станишни модели развоја доминантних стабала, израђени за различите станишне услове у китњаковим шумама североисточне Србије (Крстић, М., 1996), у смрчевим шумама (Стојановић, Љ., Крстић, М., 1998), и у изданаčким шумама букве (Крстић, М., Кањевац, Б (2020), могу да послуже за одређивање времена почетка извођења прореда и проредног интервала. На основу добијених развојних модела висинског раста доминантних стабала китњака, смрче и букве, утврђено је да је најреалнији показатељ проредног интервала у овим шумама повећање висине доминантног спрата за 2 m, као и висине у конкретној старости у којима треба почети проредне сече и понављати их, у одређеним типовима шума, односно на различитим бонитетима станишта.



Графикон 7. Почетак проређивања и проредни интервал у шумама храста китњака
Graph 7 Thinning start and interval in sessile oak forests

Пример 1 (Крстић, М., 1996): У шумама храста китњака у источној Србији (табела 8), по овом критеријуму у зависности, од типа шуме, у састојинама на најбољим стаништима, са проредом треба почети око 25. године старости при висини стабала доминантног спрата од 6 m. Повећање „горње висине“ стабала

китњака доминантног спрата за усвојена 2 m, на најбољим стаништима (II бонитет) је после 5 година, на средњим после 5-6 година а на лошијим после 6-7 година. На основу тога проредни интервал на најбољим стаништима износи 5-6 година до старости састојине од 50 година а касније 8-10, а на најлошијим 7-8 година до 50 године старости, односно 9-15 година касније. У састојинама старости преко 75 година проредни интервал је 12-15 година. Дакле, са повећањем старости састојине у свим еколошким јединицама се повећава дужина проредног интервала.

Табела 8. Почетак у учесталост проредних сеча у китњаковим шумама у зависности од висине доминантних стабала, односно бонитета (Крстић, М., 1996)
Table 8 Start and frequency of thinning cuts in sessile oak forests depending on the height of dominant trees, or site classes (Krstić, M., 1996)

Бонитет Site class	Горња висина, старост састојине и проредни интервал / Upper height limit, stand age and thinning interval						
II	Горња висина / Upper height limit	H (m)	6	6-10	11-15	15-17	> 18
	Старост/ Age	T (год.) / T (year)	25	25-35	36-50	50-60	65-90
	Прор. интервал / Thinning interval	I (год.) / I (year)	Почетак / Start	5	6	7-8	10-12
II/III	Горња висина / Upper height limit	H (m)	7	7-12	13-16	16-18	> 19
	Старост/ Age	T (год./ year)	30	30-45	50-65	65-80	> 80
	Прор. интервал / Thinning interval	I (год./year)	Почетак / Start	6	7-8	9-10	10-12
III	Горња висина / Upper height limit	H (m)	6,5	7-10	10-14	> 14	
	Старост/ Age	T (год./ year)	35	35-50	50-65	> 70	
	Прор. интервал / Thinning interval	I (год./year)	Почетак / Start	6-7	8-10	10-15	

Поступком визуелизације, графички приказ у састојинама на најбољим стаништима дат је на графикону 6. Запажа се, како је наведено, да проредни интервал износи 5-6 година до старости састојине од око 50 година, односно до горње висине стабала 15-16 m, а касније 8-10 година. У састојинама старости преко 75 година и висине стабала преко 20 m проредни интервал је 12-15 година.

Визуелизација модела изграђеност круна као показатеља узгојних потреба у састојини

Приказани графички модел развијености круна односи се на неговане састојине храста китњака семеног порекла, у различитим развојним фазама састојине– подмладак, рани младик, старији младик (Крстић, М., 2006,

2007). На основу конкретне узгојне потребе примењиване су одговарајуће узгојне мере карактеристичне за одређене развојне фазе: осветљавање подмлатка, чишћење и прве прореде. На бази истраживања у временском периоду 1994-2006. године, праћен је прелаз састојине из једне развојне фазе у другу и утврђене основне вредности елемената развоја.

У развојној фази подмлатка, старости 8 година, број стабала је износио 52.000 *kom/ha*, средњи прсни пречник ($D_{1,3}=0,54 \text{ cm}$), укупна висина ($H_{uk}=1,53 \text{ m}$), висина почетка круне ($H_{pk}=0,6 \text{ m}$), дужина круне ($L_k=0,96 \text{ m}$), пречник круне ($D_k=0,64 \text{ m}$).

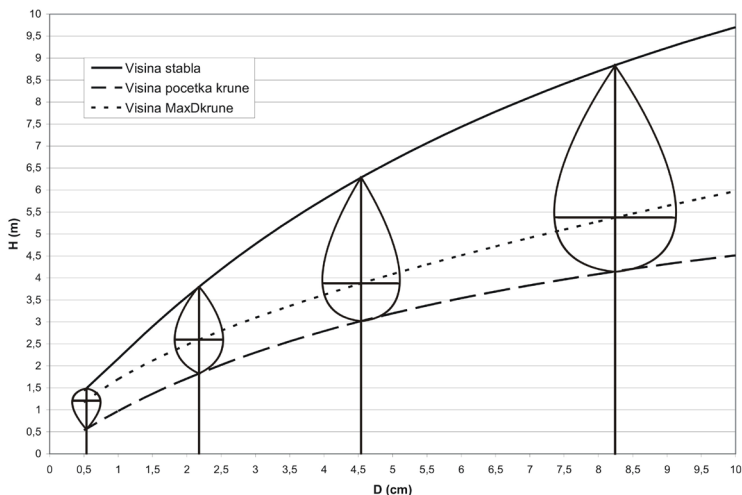
У развојној фази раног младика, старости 12 година, број стабала је износио 32.000 *kom/ha*, $D_{1,3}=2,18 \text{ cm}$, $H_{uk}=4,0 \text{ m}$, $X_{pk}=2,1 \text{ m}$, $L_k=1,98 \text{ m}$, $D_k=1,12 \text{ m}$.

У развојној фази касног младика, старости 20 година, број стабала је износио 14.800 *kom/ha*, $D_{1,3}=4,54 \text{ cm}$, $H_{uk}=6,0 \text{ m}$, $H_{pk}=2,8 \text{ m}$, $L_k=3,2 \text{ m}$, $D_k=1,72 \text{ m}$.

У развојној фази касног младика, старости 24 године, број стабала је износио 7.100 *kom/ha*, $D_{1,3}=8,24 \text{ cm}$, $H_{uk}=8,5 \text{ m}$, H_{pk} = око 4 *m*, $L_k=4,9 \text{ m}$, $D_k=2,5 \text{ m}$.

Уочава се да дужина и ширина круне повећавају са повећањем пречника стабла, али је дужина круне у односу на укупну висину стабла све мања услед изумирања доњих грана.

У најранијој младости, у фази подмлатка највећа ширина круне је на горњој трећини њене висине (дужине), а у фази раног младика на половини висине. У периоду сатаријег младика највећа ширина круне померена је на ниже, и налази се на доњој трећини висине круне (слика 14).



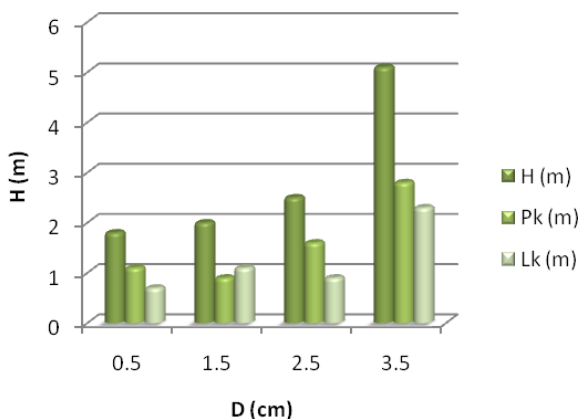
Слика 14. Изграђеност круна стабала хрста китњака у североисточној Србији (Крстић, М., 2006, 2007).

Figure 14 The crown structure of sessile oak trees in north-eastern Serbia (Krstić, M., 2006, 2007).

Наведени подаци указују да су средњи састојински пречник ($D_{1,3}$) и ширина круне (D_k) просечно двоструко повећани преласком из једне развојне фазе састојине у другу, т.ј. да постоји пропорционални однос између броја стабала по јединици површине и ових елемената састојине и изграђености круне. Елементи изграђености круне су веома добри показатељи узгојних потреба и начина извођења узгојних мера у састојини. Изражено повећање дужине круне стабала китњака са повећањем пречника указује на непоходност уклањања тањих стабала која имају слабије развијену круну а самим тим и знатно мањи прираст.

Визуелизација изграђености круна стабала као показатеља квалитета састојине

На Фрушкој гори, после успешне природне обнове, састојина храста китњака се налази у развојној фази младика, старости 16 година, у којој нису примењиване одговарајуће мере неге – сече осветљавања подмлатка, број стабала храста китњака је 68.800 *kom/ha*. Средњи састојински пречник (d_g) је 2,0 *cm*, а висина 2,9 *m*. Стабла су доминантно семеног порекла (80%), по квалитету дебла је у категорији добар са 65%, а по квалитету круне са 50%. У категорији здраво је 80% стабала, 5% оштећено, 5% сувих стабала и 10% је у фази сушења. У дебљинском степену максималне заступљености стабала (1,5 *cm*) стабла китњака имају просечну висину 2,0 *m*, а почетак круне је на висини 0,9 *m*, што значи да је укупна дужина круне 1,1 *m*. У дебљинском степену 2,5 *cm*, просечна висина стабала је 2,5 *m*, висина почетка круне износи 1,6 *m*. Најдебља стабла имају просечну висину 5,1 *m*, висина почетка круне је 2,8 *m*, а дужина круне 2,3 *m* (графикон 8). Подаци указују на сличне вредности карактеристика изграђености састојине китњака у североисточној Србији.



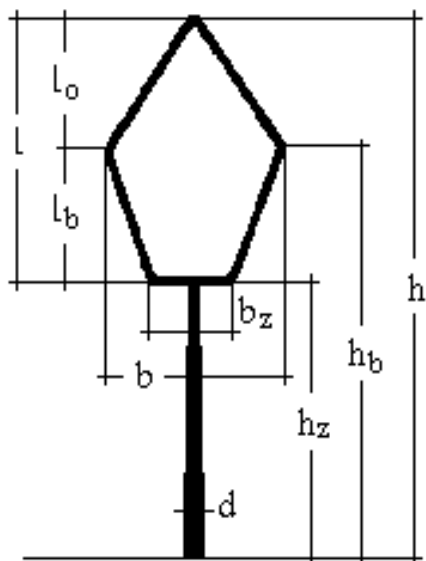
Графикон 8. Изграђеност круне храста китњака на Фрушкој гори (Крстић, М. *et al.*, 2022)

Graph 8 The crown structure of sessile oak trees on Fruška Gora (Krstić, M. *et al.*, 2022)

Визуелизација степена развијености круна стабала букве као показатеља узгојне потребе

Према Стојановић, Љ., Крстић, М. (2000), да би састојина била стабилна, стабла морају имати правилно развијене круне одговарајућих димензија, што се дефинише елементима израђености круне (слика 15), узимајући у обзир поједине параметре састојине „идеалне“ структуре.

Избор одговарајућих узгојних мера у циљу формирања „идеалне структуре“ букових састојина (Badouh, 1939), мора се одређивати према стању састојина, са тежњом да се формира састојина следећих морфолошких карактеристика стабала у одговарајућој развојној фази (табела 9).



Слика 15. Елементи израђености круне
Figure 15 Elements of crown structure

Табела 9. Морфолошке карактеристике стабала у састојинама букве »идеалне« структуре (Jurča J. et al., 1973) према Badouh, 1939)

Table 9 Morphological characteristics of trees in beech stands of »ideal« structure (Jurča J. et al., 1973) according to Badouh, 1939)

Морфолошка ознака / Morphological trait	природни подмладак и младик / natural young growth and saplings				средњед. / middle-aged	дозрев. / maturing
Старост стабла (година) / Tree age (year)	10	15	20	25	35	88
Горња висина (m) / Upper limit height (m)	3-3,5	3,5-4	5-6	7-8	12-13	28,4
Степен виткости ($h/d_{1,3}$) / Degree of slenderness ($h/d_{1,3}$)	232	198	189	155	140	71

Релативна дужина круне (l/h) / Relative crown length (l/h)	0,58	0,59	0,55	0,50	0,50	0,55
Облик круне (l/b) / Crown shape (l/b)	2,60	2,76	2,37	2,30	2,13	2,00
Степен раширености круне (b/h) / Crown width to stem height ratio (b/h)	0,22	0,21	0,23	0,22	0,23	0,28
Удео круне светлости (l_o/l) / Share of light crown (l_o/l)	0,49	0,44	0,48	0,49	0,40	0,38
Степен ширења круне (b/d) / Crown width to stem diameter ratio (b/d)	51	42	44	34	33	15

Наведени подаци показују какве морфолошке карактеристике стабала треба да буду у одређеној фази развоја, како би састојина била стабилна, са правилно развијеном стаблима, одговарајућих димензија:

- степен виткости ($h/d_{1,3}$) при висини доминантних стабала 3-4 *m* мора бити испод 200, у средњедобној састојини нешто изнад 100, а касније испод 100;
- релативна дужина круне - степен крошњатости (l/h) у стадијуму подмлатка и раног младика мора бити око 0,6, односно, круна треба да захвата 60% висине стабла, а касније око 50%;
- коефицијент облика круне (l/b) у средњедобној састојини треба да износи око 2,0, тј. дужина круне (l) је око 2 пута већа од њене ширине (b);
- степен раширености круне показује да је у подмлатку и младик у ширину круне (b) око 5 пута мања од висине стабла (h), а касније 4 пута;
- удео круна светлости (l_o/l) до 25 година старости треба да буде око половине њене дужине, а касније око трећине а у средњедобној састојини око 40%.

Коваћ, К. *et al.*, (2013) наводе да су пожељне вредности изградјености састојине букве да надстојна стабла буду заступљена са 10-15%, стабала доминантног спрата 25-45%, а 40-65% стабла подстојног спрата, а да склоп састојине на крају развојне фазе младика, пре почетка извођења прореда, треба да буде сведен на 1,0.

2.2. СИМУЛАЦИЈА У ШУМАРСТВУ ПРИ УЗГОЈНИМ РАДОВИМА

Симулација се, и у шумарству, често користи у циљу увежбавања (тренинг симулација). Најчешће примењује у случају када би у реалности вежбање било веома скупо, или у опасним ситуацијама, па се то “учење” обавља у безбедним виртуелним условима, нпр. студенти у учионици путем симулације на рачунарима „уче посао“ без опасности да се оштети или уништи објекат рада (Крстић, М., 2014).

Због велике дужине производног процеса у шумарству потребно је много времена за сагледавање ефеката извршених мера газдовања шумама, што

је често основни проблем и ограничавајући фактор у дефинисању и примени одговарајућих узгојних мера. Потреба за добијањем брзе, прецизне и правремене информације о садашњем састојинском стању и дугорочно предвиђање динамике развоја састојине евидентна је, а у вези с тим и планирање одговарајућих мера у циљу оптимизације стања. То савремена рачунарска техника омогућава. У том циљу компјутерско моделовање омогућава симулацију развоја састојине у будућности и сагледавање динамике развоја шумских екосистема применом различитих сценарија изводјења одређених узгојних мера. Њихова примена сада је раширена и постоје многи примери успешног решавања одређених проблема помоћу њих (Крстић, М., 2014).

И код нас у Србији су, са појавом рачунара, како је наведено, чињени покушаји развијања специјализованих компјутерских програма за обраду података, потребе планирања и приказ показатеља извршених узгојних радова (Крстић и Ранковић, 1986), и за анализу састојинског стања на бази конкретних таксационих података и његове промене извођењем одговарајућих узгојних сеча – SiMS (Крстић, М., 2003). На бази конкретних података састојинског стања пре и после одговарајућег узгојног захвата (сече), омогућена је симулација извршеног једног или више различитих захвата, анализа, тестирање извршених сеча и кориговање у циљу одређивања оптималног захвата и мера.

У Србији је, такође, вршена ”експериментална симулација у природним условима”, применом различитих узгојних третмана који омогућавају олакшано закључивање у циљу оптимизације решења. Вршена су обимна истраживања применом различитих метода прореда, са различитом јачином захвата. Примери у шумама букве: Стојановић, Љ. *et al.* (1987, 1988, 1989, 1990, 1994, 2003, 2004); Крстић, М. *et al.*, (2003а,б, 2004а,б; 2015), и др. Примери у вештачки подигнутим састојинама бора: Стојановић, Љ. *et al.* (1990; 2008; 2009); Крстић, М. (1994), Кањевац, Б. (2015) и др. Примери у шумама хрстова: Крстић М. (1989; 1991, 1992, 1996, 2003б, 2007); Крстић, М. *et al.* (2005б, 2007, 2015, 2022); Стојановић, Љ. *et al.* (2006, 2007), Вукин, М. (2016); Кањевац, Б. (2020, 2021) и др.

Примери примене узгојне аналитике у истраживањима: Madsen, P., Larsen, J. (1996); Chumachenko, S.I. *et al.* (1996) и др., а у нашим условима Крстић М. (1990; 1991; 1992, 1994, 1996, 1997, 2003; 2006б); Крстић, М. *et al.* (2003а,б, 2004; 2005б; 2012; 2020) и др. Применом метода симулације општи показатељи одређених сценарија неге шума при дознаци стабала, коришћењем различитих критеријума, у ненегованој средњеједобној састојини букве вршили су Крстић, М., Стајић, С. (2003).

Поред наведених резултата објављених у научним часописима, вршена су истраживања применом ”експерименталне симулације у природним условима” у оквиру бројних научноистраживачких пројеката, које су финансирали СИЗ-а шумарства СР Србије; Министарство науке и заштите животне средине Републике Србије; Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије - Фонда за шуме Србије, Министарство пољопривре-

де, шумарства и водопривреде Републике Србије - Управа за шуме Србије, између осталих: Стојановић Љ. (руководилац пројекта) *et al.* (1987-89); Стојановић, Љ. (руководилац пројекта) *et al.*, (2008-2010); Крстић, М. (руководилац пројекта) *et al.* (1993/94); Крстић, М. (руководилац пројекта) *et al.* (2012-2013).

Исто тако, у оквиру припреме и одржавања 12 семинара из гајења шума за шумску привреду у Србији и Републици Српској, у периоду 1994-2019, применом експерименталне симулације у природним условима, у шумама различитих врста дрвећа, вршена је припрема објеката постављањем великог броја серија огледних површина. Свака серија састојала се од 3-4 огледне површине у оквиру којих су дознаком стабала вршени различити проредни захвати, са различитом јачином захвата.

У оквиру наведених активности, само на подручју североисточне Србије постављено је више од 50 серија оваквих огледних површина, а основне њихове карактеристике приказане су у уџбенику (Стојановић, Љ., Крстић, М. 2008).

2.3. ВИЗУЕЛИЗАЦИЈА И СИМУЛАЦИЈА У ГАЈЕЊУ ШУМА

Компјутерска визуелизација састојинског стања и симулација извођења проредних сеча у састојини применом различитих модела мера неге у конкретној састојини, омогућава израду различитих сценарија и, поступком оптимизације, предлагање најповољнијег решења (Крстић, М. *et al.*, 2015).

У гајењу шума методи визуелизације и симулације најважнију примену имају у симулацији развоја састојине и симулацији узгојних радова, заснованих на сазнањима о развоју шуме, у циљу анализе стања после тога, што представља основ за савремено планирање и газдовање шумама. (Крстић, М., 2009/10). За предвиђање развоја састојине, у основи се могу користити емпиријски модели или модели који су засновани на еколошким теоријама и описују екофизиолошке карактеристике појединачних стабала“ (Кангас, А., Расинмаки, Ј., 2007).

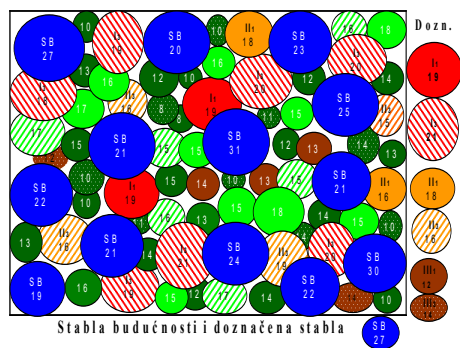
При узгојним радовима постоји потреба да се врши симулација извођења одређених узгојних захвата, уз истовремену визуелизацију поступка. Применом метода визуелизације и симулације у гајењу шума код нас интензивно су се бавили следећи аутори: Крстић, М. (2003/а) је развио програм за симулацију узгојних радова и развоја састојине после њихове реализације SiMS (*Silvicultural Measures Simulation*); Крстић, М., Стајић, С. (2003) бавили су се симулацијом примене различитог узгојног захвата у изданаочној састојини букве коришћењем квалитета стабала као критеријума при дознаци стабала; Крстић, М. (2004/а) је примењивао метод симулације у састојини букве проучавајући на тај начин развој састојине после примене различитих узгојних захвата; Говедар, З., Крстић, М. (2006) су вршили симулацију узгојних радова при обнови шума у састојини букве, јеле и смрче. На основу визуелних приказа јасно је представљена смена врста дрвећа у дугим развојним циклусима у прашуми букве, смрче и јеле што је и карактеристична појава у оваквим састојинским условима; Керен, С. (2009)

се бавио применом хемисферичних фотографија при дефинисању режима светлости и његовог утицаја на подмлађивање у мешовитој шуми јеле и смрче; Тарјан – Тоболка, А. (2014) визуелно је представила планиране узгојне потребе у конкретним састојинским ситуацијама у шумском газдинству „Нови Сад“; Кањевац, Б. (2015) визуелно је представио узгојне потребе у вештачки основаним састојинама црног бора, као и у састојинама хрasta китњака (2020), и др.

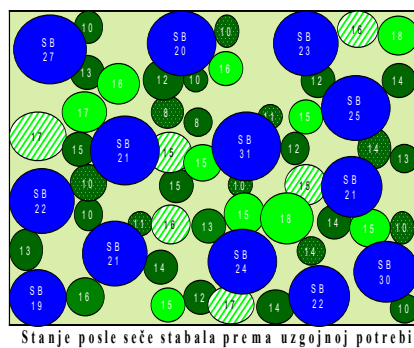
Примена метода визуелизације и симулације у циљу оптимизације мера неге има вишеструки значај: омогућава јаснији и прецизнији приказ састојинског стања; омогућава предвиђање динамике даљег развоја састојине; олакшава планирање узгојних мера у циљу оптимизације стања састојине.

Пример 1: Визуелизација и симулација извођења различитих проредних сеча на истој површини

На слици 16 дат је визуелни приказ просторног распореда, димензија, биолошког положаја и квалитета стабала на огледној површини (Крстић, М., 2014), са истовременим дефинисаним стаблима будућности (SB). На сл. 17 симулирано је извођење селективне прореде са издвајањем стабала будућности и уклањањем стабала према стварној узгојној потреби уклањањем конкурената, стабала лошег квалитета и здравственог стања. Интензитет захвата по броју стабала је 26,3%, а по темељници 27,7%, што указује да је извршена висока селективна прореда јаког захвата.



Слика 16. Почетно стање (оригинал)
Figure 16 Initial state (original)

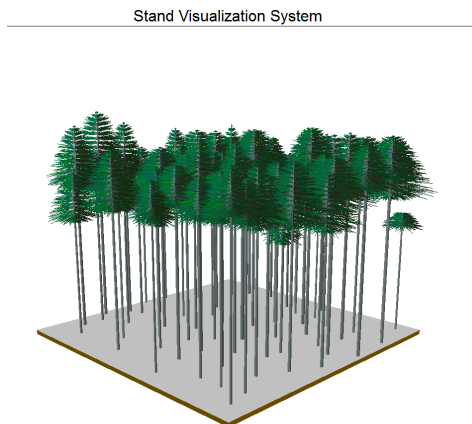


Слика 17. Стање после симулације сече
Figure 17 State after the cutting simulation

Пример 2: Визуелизација и симулација извођења различитих проредних захвата на истој површини

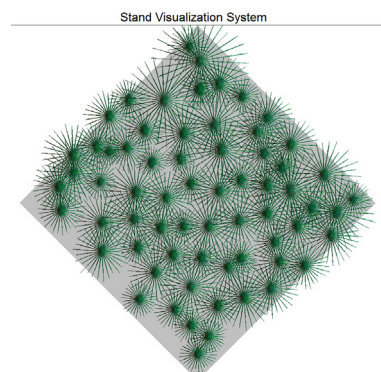
Поступак визуелизације и симулације извођења проредних сеча у вештачки поднутим састојинама бора (слика 18, 19), применом различитих сценарија дознаке стабала - различитих критеријума за дознаку и утврђивањем

ефеката дознаке, са истовременим оптимизациојом решења, вршио је Кањевац, Б. (2015) коришћењем специјализованог програма за визуелизацију састојинског стања (SVS – *Stand Visualization System*).



Слика 18. Тродимензионални приказ почетног састојинског стања (Кањевац, Б., 2015)

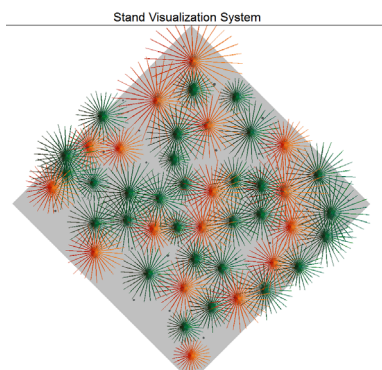
Figure 18 Three-dimensional view of the initial stand state (Kanjevac, B., 2015)



Слика 19. Почетно стање склопа састојине (Кањевац, Б., 2015)

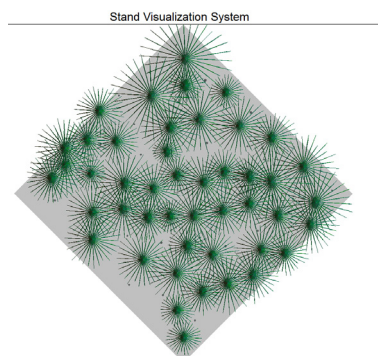
Figure 19 Initial state of the stand canopy (Kanjevac, B., 2015)

У циљу оптимизације прореда, као мера неге, извршена је анализа и поређење стања после прореда које су извршене симулацијом прореда према следећим критеријумима: према стварној узгојној потреби, биолошком положају стабала, квалитету дебла и квалитету круне.



Слика 20. Означена стабла будућности црвеном бојом (Крстић, М. *et al.*, 2015)

Figure 21 Final crop trees marked red (Krstić, M. *et al.*, 2015)

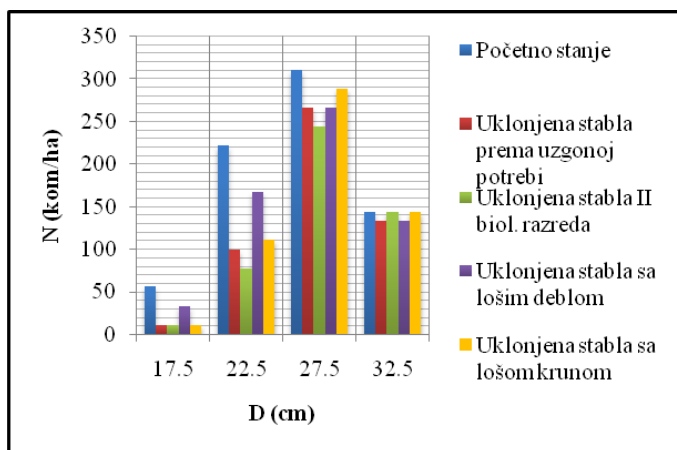


Слика 21. Склоп после извршене симулације селективне прореде (Крстић, М. *et al.*, 2015)

Figure 20 Tree canopy after the simulation of the selection thinning (Krstić, M. *et al.*, 2015)

Према стварној узгојној потреби интензитет захвата по броју стабала је јак и износи 30,2% а по темељници је умерен и износи 23,3%, што указује да је извршена селективна прореда са издвајањем стабала будућности. По броју стабала захват је најслабији при сценарију прореде уклањањем само стабала са лошим квалитетом дебла, када износи 18,1%, а уклањањем само стабала са лошим квалитетом круне 24,3%. Симулацијом прореде уклањањем само стабала II биолошког положаја захват је јак и износи 34,9%, док је при сценариу прореде према стварној узгојној потреби захват оптималан и износи 30,3%.

На графикону 9. може се уочити да је најјачи захват извршен уклањањем стабала са лошим квалитетом дебла и круне, и да је интензитет захвата код свих варијанти прореда највећи у дебљинском степену 27,5 cm, јер је у овом дебљинском степену и највећи број стабала.



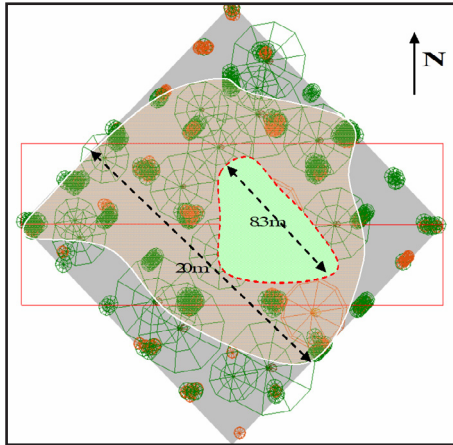
Графикон 9. Распореда стабала по дебљинским степенима за почетно стање и стање после симулације прореда према различитим критеријумима (Кањевац, Б., 2015; Крстић, М. *et al.*, 2015)

Graph 9 Distribution of trees by diameter degrees for the initial state and the state after the thinning simulation according to different criteria (Kanjevac, B., 2015; Krstić, M. *et al.*, 2015)

Наведени показатељи указују на чињеницу да наведене критеријуме појединачно није оправдано користити, с обзиром на то да би ефекти прореда веома варирали, као што то и сам интензитет захвата показује крећући се од 18,1% па чак до 34,9% по броју стабала.

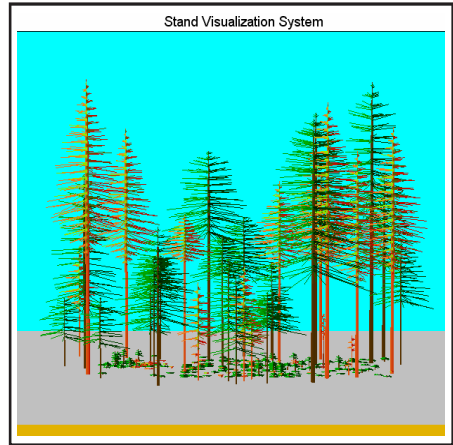
Пример 3: Визуелизација и симулација извођења обновног процеса у шуми

Почетно састојинско стање, подмладна површина, подмладна група и иницијално подмладно језгро коришћењем, такође, специјализованог програма за визуелизацију састојинског стања (SVS – *Stand Visualisation System*) приказани су на слици 22. и 23.



Слика 22. Симулација процеса подмлађивања састојине у шуми (Говедар, З., 2005)

Figure 22 Simulation of the regeneration process in the forest (Govedar, Z., 2005)

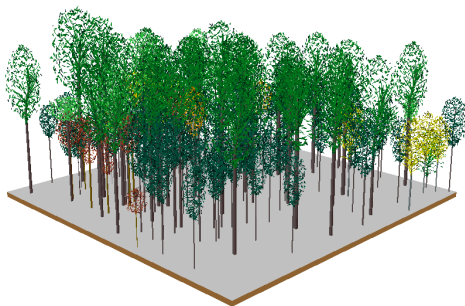


Слика 23. Визуелизација подмлађене састојине (Говедар, З., 2005)

Figure 23 Visualisation of a regenerated forest stand (Govedar, Z., 2005)

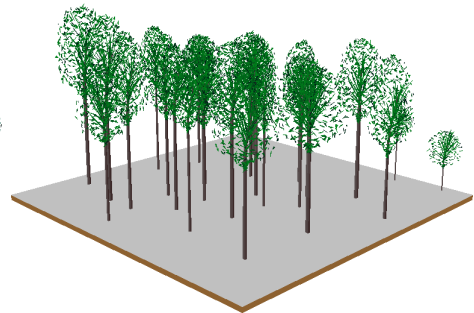
Пример 4. Поступак визуелизације и симулације извођења сеча природне обнове

Истраживање у шуми храста китњака, извођењем одговарајућих обновних захвата применом при дознаци стабала, утврђивањем ефеката подмлађивања, са истовременим оптимизацијом решења (слика 24, 25), вршио је Кањевац, Б. (2020).



Слика 24. Визуелни приказ почетног стања састојине (Кањевац, Б., 2020)

Figure 24 Visual representation of the initial stand state (Kanjevaca, B., 2020)

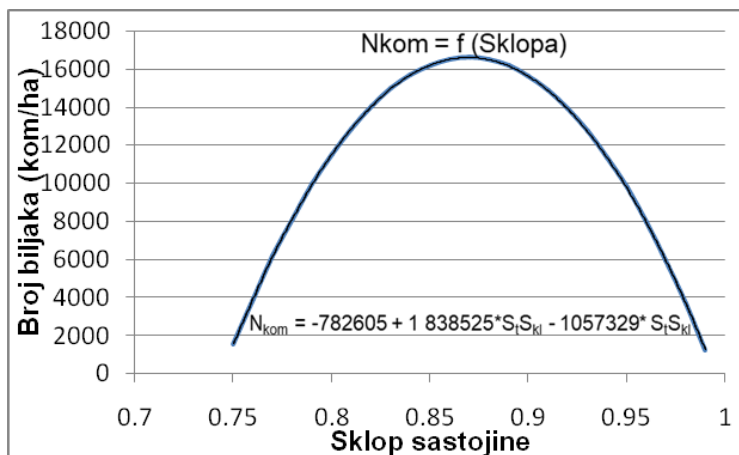


Слика 25. Визуелни приказ стања састојине после симулираног припремно-оплодног сеча

Figure 25 Visual representation of the stand state after the simulation of the preparatory cut

Пример 5. Визуелни приказ и симулација подмлађивања у буково-јелових шумама

Проучавањем подмлађивања букве и јеле, на планинском масиву Гоч у мешовитој шуми *Abieti-Fagetum s.lat.*, од елемената изграђености састојине, успостављена је зависност поузданим једначинама регресије, односно приказана моделима (Крстић, М. *et al.*, 1997). Звисност укупног броја биљака подмлатка јеле и букве ($N_{kom/ha}$) од степена склопа састојине ($S_t S_{kl}$) изражена је параболчном функцијом (графикон 10).



Графикон 10. Зависност броја подмлатка јеле и букве од склопа састојине
Graph 10 Dependence of the number of fir and beech saplings on the stand structure

Са графикона се запажа да је најбоље подмлађивање, када се јавља и одржава подмладак старости 5 година од 16.620 *kom/ha*, при склопу састојине 0,87. Добро подмлађивање, према класификацију Колпикова – више од 10.000 *kom/ha* (Стојановић, Љ., Крстић, М., 000), је при степену склопа 0,79-0,95; а незадовољавајуће (испод 4.000 *kom/ha*), про склопу $\leq 0,76$ и $> 0,97$.

3. ЗАКЉУЧАК

У савременим условима газдовања шумама, у области узгојних радова, потребно је користити више „егзактног”, применом нумеричких параметара, као оријентационих показатеља при извођењу ових радова, на рачун често примењиваног феноменолошког описивања. Указано је да се у стручној литератури налази већи број разних норми у виду нумерички изражених математичко-статистичких релација (једначина – модела) и образаца (формула), таблица, графикона, шема и др., што омогућава да се субјективне процене и утисци, односно дескриптивне формулације, замене мерљивим показатељима. Те норме су засноване на односу конкретних састојинских елемената - основних елемената изграђености.

На конкретним бројним примерима приказана је могућност и потреба примене узгојне аналитике у шумарству путем моделовања, визуелизације и симулације у узгојним радовима. Наведен је низ примера узгојних модела практичне природе коришћењем у области гајења шума: модели дефинисања састојинског стања и оптималне изграђености састојине, изграђености круна стабала у састојини као показатељ узгојних потреба; модели у обнови шума; модели дефинисања и карактерисање норматива извођења основних мера неге састојине; модел зависности изданачке способности од пречника и висине пања и др.

Коришћењем поступка визуелизације ради веће прегледности, потпунијег и јаснијег визуелног сагледавања добијених резултата, упоређивања и олакшавања рада при даљој анализи, приказани су практични примери примене израђених узгојних модела, изражених нумерички, табеларно и графички за одређивање показатеља неопходне врсте проредног захвата, јачине проредног захвата, одређивање проредног интервала, извођење обновних сеча.

Приказаним методом комјутерске симулације, коришћењем специјализованог софтвера SVS (*Stand Visualization System*), израдом различитих сцена-рија, омогућена је динамичка визуелизација и провера ефеката предложених и извршених сеча различитог начина и јачине захвата, њихове реалности и практичне применљивости, што омогућава оптимизацију решења на основу конкретних показатеља узгојних потреба и мера у састојини, односно предла-гање најповољнијег решења.

ЛИТЕРАТУРА

- Al-Kodmany, K. (1999): Using visualization techniques for enhancing public participation in planning and design: process, implementation, and evaluation. *Landscape and Urban Planning* 45, 37-45.
- Bathgate, S. (2007): Visualization of the Forestry Woodchain using VTK. University of Edinburgh – School of Forestry, Edinburgh.
- Backović, M., Vuleta, J. (2004): *Ekonomsko matematički metodi i modeli*. Čugura print, Beograd.
- Bodružić, M. (2013): Stanje, uzgojni ciljevi i mere u veštački podignutim sastojinama četinarâ na području Čelince u Republici Srpskoj. Magistarski rad, u rukopisu. Šumarski fakultet u Beogradu.
- Botkin, D. (1992) *Manual for JABOWA – II, The forest growth model*. Oxford University press, Oxford, New York.
- Burrough, P.A., McDonnell, R.A. (2006): *Principles of Geographical Information Systems - Spatial Information Systems and Geostatistics* (prevod: Bajat B. i Blagojević D.) Dedraplast, Beograd.
- Chumachenko, S.I., Syssouev, V.V., Palyonova, M.M., Bredikhin, M.A., Korotkov, V.N. (1996): Imitation modelling of heterogeneous uneven-aged stands spatial dynamics account silvicultural treatment. Proceedings from IUFRO Conference: Modelling regeneration success and early growth of forest stands. Copenhagen.

- Govedar, Z. (2005): Načini prirodnog obnavljanja u mešovitim šumama jele i smrče na području zapadnog dela Republike Srpske. Doktorska disertacija u rukopisu, Šumarski fakultet u Beogradu.
- Govedar, Z., Krstić, M. (2006): Dynamics of natural regeneration of the mixed stand of beech, fir and spruce in virgin forest „Lom“ in the Republic of Srpska. International Scientific Conference: Sustainable use of Forest Ecosystems, the Challenge of the 21st Century. Donji Milanovac, Serbia. Proceedings, 193–199.
- Guanglei, G., Guodong, D., Yintong, Z., Wenjun, L., Ren, L. (2011): Individual Tree Simulation and Stand Visualization of *Pinus Tabulaeformis* Plantation. International Journal of Emerging 1(4), Zürich, pg. 648–658.
- Diaci, J. (2006): Gojenje gozdov. Univerza v Ljubljane, Biotehniška fakulteta, Ljubljana.
- Jevtić, M. (1992): Nega četinarskih kultura sastojina veštačkog porekla proredom. Rukopis, Prosilva, Beograd.
- Jurča, J., Chroust, L. a kolektiv (1973): Racionalizace vchovy mladych lesnich porostu. Praha.
- Kangas, A., Rasinmäki, J. (2007): Adaptable Simulation and Optimization for Forest Management Planning. University of Helsinki – Department of Forest resource management, Helsinki.
- Kanjevac, B. (2015): Mogućnost optimizacije mera nege šuma primenom uzgojne analitike putem vizuelizacije i simulacije. Master rad u rukopisu. Šumarski fakultet u Beogradu.
- Kanjevac, B. (2020): Obnavljanje šuma hrasta kitnjaka sa podstojnim spratom pratećih vrsta drveća na području severoistočne Srbije. Doktorska disertacija u rukopisu. Šumarski fakultet u Beogradu, 369 str.
- Kanjevac B., Krstić, M., Babić, V., Govedar Z. (2021): Regeneration Dynamics and Development of Seedlings in Sessile Oak Forests in Relation to the Light Availability and Competing Vegetation. Forests 12(4), 384; pg. 2-15. Basel (This article belongs to the Section Forest Ecology and Management).
- Keren, S. (2009): Primjena hemisferičnih fotografija pri definisanju režima svetlosti i njenog uticaja na podmlađivanje u mješovitoj šumi jele i smrče na Dnolučkoj planini u BiH. Master rad u rukopisu, Šumarski fakultet Beograd.
- Kovář, K.; Hrdina, V.; Bušina, F.; Vacek S. (2013) Učební texty z předmětu Pěstování lesů. Vyšší odborná škola lesnická a Střední lesnická škola Bedřicha Schwarzenberga Písek, 1-189.
- Krstić, M. (1989): Istraživanje ekološko-proizvodnih karakteristika kitnjakovih šuma i izbor najpovoljnijeg načina obnavljanja na području severoistočne Srbije. Doktorska disertacija u rukopisu, Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet, 264 str.
- Krstić, M. (1990): Neke karakteristike promene gustine sastojine i životnog prostora stabala izvođenjem seča proreda. Glasnik Šumarskog fak. br. 71-72, Beograd, str. 141-150.
- Krstić, M. (1991): Korelaciona analiza nekih važnijih elemenata izgradjenosti kitnjakovih sastojina. Glasnik Šumarskog fak. br. 73, Beograd, str. 251-259.
- Krstić, M. (1992): Odnos prsnog prečnika i širine krune kod stabala hrasta kitnjaka. Šumarstvo, br. 3-4, Beograd, str. 49-56.
- Krstić, M. (1994): Prilog otklanjanju nekih dilema oko kriterijuma prilikom izvođenja proreda u veštački nastalim sastojinama bora. Naučni skup: “Uzgojno-biološki i ekonomski značaj proreda u šumskim kulturama i mladim sastojinama Srbije“ 22-24.09.1993.g., B. Koviljača. Zbornik radova str. 93-99, Beograd.
- Krstić, M. (1996): Mogućnost planiranja prorednih zahvata (seča) korišćenjem lokalnog stanišnog modela razvoja stabala. Šumarstvo br. 3, str. 23-30, Beograd.
- Krstić, M. (1997a): Praktična primena uzgojne analitike u šumarstvu. Šumarstvo br. 4-5, Beograd, str. 23-31.
- Krstić, M. (1997b): Crown development of sessile oak trees as an indicator of silvicultural needs in a stand. International Scientific Symposium “50 years - Faculty of Forestry”. Book of articles, 163-168. Skopje, Macedonia.

- Krstić, M. (2003a) Program za simulaciju uzgojnih radova (SiMS). Simpozijum: Perspektive razvoja šumarstva. 23-24. oktobar, Zbornik radova str. 97-111. Šumarski fakultet Univerziteta u Banjaluci.
- Krstić, M. (2003b) Kitnjakove šume Djerdapskog područja – stanje i uzgojne mere. Monografija. Akademska misao, Beograd, 1-138.
- Krstić, M. (2004) Simulacija razvoja sastojine bukve mešovitog porekla posle primene različitog uzgojnog zahvata. Zbornik radova sa XXXI Simpozijum o operacionim istraživanjima. Fruška Gora. Zbornik radova, 367-371.
- Krstić, M. (2006/a) Gajenje šuma – konverzija, melioracija i veštačko obnavljanje. Udžbenik, Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Beograd, str. 1-375.
- Krstić, M. (2006/b) Crown form and quality of sessile oak trees in the seedling and sapling development phases as the indicators of silvicultural needs and measures. International Scientific Conference: Sustainable use of Forest Ecosystems, the Challenge of the 21st Century, Donji Milanovac, Serbia. Proceedings, pg 188-192.
- Krstić, M. (2007): Crown Form Model of sessile oak trees in the seedling and sapling development phases. International Symposium: Sustainable forestry – problems and challenges. 24-26.10.2000, Ohrid, Mecedonia. Proceedings, 95-99.
- Krstić, M. (2009/10): Modelovanje i GIS u Gajenju šuma. Skripta (recenzirana autorizovana predavanja) na master studijama modula Gajenje šuma. Šumarski fakultet u Beogradu, str. 1-180.
- Krstić, M. (2014) Uzgojna analitika - modelovanje, vizuelizacija i simulacija radova u gajenju šuma. Skripta (autorizovana predavanja) iz istoimenog predmeta na master i doktorskim studijama modula Gajenje šuma. Šumarski fakultet u Beogradu, str. 1-194.
- Krstić, M. (2018) Ugojna analitika. Zadaci za vežbe (elaborat) iz predmeta Gajenje šuma na master studijama i na doktorskim studijama na Šumarskom fakultetu u Beogradu, 1-14.
- Krstić M., Ranković N. (1986) Jedan primer korišćenja mikroročunara u šumarstvu. Šumarstvo br. 3-4, Beograd,
- Krstić, M., Ranković, N: (1996-97) Prečnik i visina panja kao faktori izdanačke sposobnosti nekih vrsta drveća. Glasnik Šumarskog fakulteta br. 78-79, Beograd, 69-78.
- Krstić, M., Koprivica, M., Lavadinović, V. (1997) The dependance of beech and fir regeneration on the characteristics of stand canopy and light regime. IUFRO Workshop "Empirical and process based models for forest tree and stand growth simulation". Proceedings. 223-230. Lisboa, Portugal.
- Krstić, M., Stojanović, Lj. (1998) Planning of thinnings in spruce stands by using a local site model of tree development. Paper presented in the "2nd International workshop on forest ecosystem modelling, upscaling and remote sensing". 21-25 September 1998, Antwerpen, Belgium, pg 7.
- Krstić, M., Stajić, S. (2003) Kvalitet i zdravstveno stanje stabala kao kriterijum za doznaku pri meliorativnim sečama u degradiranim šumama. Simpozijum: Perspektive razvoja šumarstva. 23-24. oktobar, Zbornik radova str. 73-85. Šumarski fakultet Univerziteta u Banjaluci.
- Krstić, M., Babić, V. (2003) Proučavanje izdanačke sposobnosti niskih bukovih šuma. Šumarstvo, br. 3-4, Beograd, 41-50.
- Krstić, M., Stojanović, Lj., Aleksić, P., Radovanović, T. (2004): Predlog odgovarajućih uzgojnih zahvata u izdanačkim sastojinama bukve na Jastrebcu. Šumarstvo 4, UŠITS, B.grad, 1-18.
- Krstić, M., Koprivica, M., Rakonjac, Lj., Milijašević, T., Popović, Z., Danilović, M., Košanin, O., Lavadinović, V. (2005/a): Izdanačke bukove šume severoistočne Srbije. Monografija. Šumarski fakultet, Institut za šumarstvo, Beograd.
- Krstić, M., Stojanović, Lj., Petrović, A. (2005/b) Predlog uzgojnih zahvata u mešovitim šumama hrasta kitnjaka i graba na području Majdanpeka. Šumarstvo 3. Beograd, str. 53–70.
- Krstić, M., Stojanović, Lj. (2007): Gajenje šuma hrasta kitnjaka. Poglavlje u monografiji: Hrast kitnjak u Srbiji, str. 209-292. Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet; Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije. Planeta Print, Beograd.

- Krstić, M., Stavretović, N., Isajev, V., Bjelanović I. (2012): Crown structure of *Picea omorika* trees in the plantation. Arch. Biol. Sci., Belgrade, 64 (2), 605-611.
- Крстић, М., Кањевац, Б., Бабић, В. (2015): Упоредне карактеристике симулације проредних захвата коришћењем различитих критеријума при дознаци. Шумарство бр. 3, УШИТС, стр. 1-16.
- Krstić, M., Kanjevac, B (2020) Planiranje prorednih seča u izdanačkim šumama bukve korišćenjem lokalnog stanišnog modela razvoja stabala. Šumarstvo 3-4. УШИТС. Beograd, str. 51-61.
- Krstić, M., Kanjevac, B, Nedimović, D., Zelenković, J. (2022): Stanje i karakteristike sastojine hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* agg. Ehr.) na Fruškoj gori u razvojnoj fazi mladika. Šumarstvo 1-2. УШИТС. Beograd, 21-33.
- Madsen, P., Larsen, J. (1996): Modelling natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with regard to shelterwood density, soil moisture and soil carbon content. Proceedings from the IUFRO Conference: Modelling Regeneration Success and Early Growth of Forest Stands, 400-405, Copenhagen.
- Marquis, D., Ernst, R. (1992) User's guide to SILVAH. Stand analysis, prescription and management simulator program for hardwood stands of the Alleghenies. Northeastern forest experiment station, USDA.
- McGaughy, R. (1997): Visualizing forest stand dynamics using the stand visualization system. Proceedings of the ACSM/ASPRS Annual convention and exposition; April 7 – 10 Siatl WA, 4.
- Нестеров, В. Г. (1954): Общее лесоводство. Москва – Ленинград.
- Nicolescu VN (2018) The Practice of Silviculture. Textbook. Brasov.
- Oberson Asuoni, C., Foulon, J., Frey, P., Tierny, J. (2014) Introduction to Scientific Visualization. ICS Summer School, Roscoff (1 – 88).
- Ostojić, D. (2005): Ekološki činioci prirodnog održavanje i obnove cenopopulacija Pančićeve omorike u NP Tara. Doktorska disertacija u rukopisu. Šumarski fakultet u Beogradu.
- Pliva, K. (1980) Deferecovana spůsobu hospodareni v lesich ČSR. Praha.
- Radkov, I., Minkov, J. (1963): Dubovite gori v Bulgaria. Varna.
- Rafailov, G. (2003) Izborno stopanisuvane na gorite – teorija i praktika. LTU, Sofia.
- Stojanović Lj., Milin Ž., Krstić, M. et al. (1987): Rezultati istraživanja najpovoljnijih metoda proreda bukovih šuma preko naučno-proizvodnih ogleda na području Šumskih sekcija Boljevac i Bor u 1986. godini. Posebno izdanje, str. 1-197, Beograd.
- Stojanović Lj., Milin Ž., Krstić, M. et al. (1988) : Izbor najpovoljnijeg načina proreda u prirodnim šumama bukve, hrasta i kulturama bora, preko naučno-proizvodnih ogleda na području Bora, Boljevca, Zaječara i Knjaževca. Posebno izdanje, 1-360, Beograd.
- Stojanović Lj., Krstić M., Bobinac, M. (1989): Istraživanja optimalnih uzgojnih mera u različitim ekološko-proizvodnim jedinicama bukovih šuma u cilju ostvarenja maksimalnog prinosa. Posebno izdanje, Beograd, str. 1-68.
- Stojanović Lj., Krstić M., Bobinac, M. (1990) Rezultati istraživanja optimalizacije mera nege putem seča proreda u kulturama crnog i belog bora na području Srbije. Naučni skup: „Savremene metode pošumljavanja i zaštite u očuvanju i proširenju šumskog fonda Srbije“, Arandjelovac, Zbornik radova str. 407-420.
- Stojanović Lj., Krstić M., Vučković, M., Bobinac, M. (1990): Istraživanje optimalnih metoda melioracije i rekonstrukcije degradiranih bukovih šuma. Posebna publikacija »Unapredjenje šuma i šumarstva regiona T. Užice«, knjiga II, Beograd, str. 55-87.
- Stojanović Lj., Krstić M., Bobinac M. (1994) Obnavljanje i nega čistih bukovih šuma. Posebna publikacija: »Prorede u bukovim šumama«, str. 7-21, JP »Srbijašume«, Beograd.
- Stojanović, Lj., Krstić, M. (2000): Gajenje šuma III. Udžbenik, Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Beograd.

- Stojanović, Lj., Krstić, M., Stanković, D. (2003): Predlog odgovarajućih uzgojnih zahvata u različitim sastojinskim stanjima bukovih šuma na području Brezovice. Šumarstvo br. 1–2, Beograd, str. 133–164.
- Стојановић, Љ., Крстић, М., Радовановић, Т. (2004): Предлог оптималних узгојних захвата у изданаџким биковим шумама на Озрену. Шумарство 3–4. УШИТС. Београд, стр. 105–137.
- Стојановић, Љ., Крстић, М., Бјелановић, И. (2006): Предлог узгојних захвата у шумама сладуна и цера са посебном наменом на подручју Врњачке Бање. Шумарство 3, Београд, стр. 61–76.
- Стојановић, Љ., Вукин, М., Бјелановић, И. (2007): Узгојни циљеви и мере у изданаџким шумама сладуна и цера на подручју Враћевшнице – Рудник. Шумарство 3–4. УШИТС. Београд, стр. 23 – 28.
- Stojanović, Lj., Krstić, M. (2008): Gajenje šuma I. Udžbenik, Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet, Beograd.
- Stojanović, Lj., Krstić, M. (2009): Prorede u veštački podignutim sastojinama crnog i belog bora u Srbiji. Šumarstvo br. 1–2, Beograd, str. 1–21.
- Tanaka, K., Ishibashi, S. (1996): The stand growth simulation system VENUS. Proceedings from IUFRO Conference: Modelling regeneration succes and early growth of forest stands. Copenhagen.
- Tarjan-Toboika, A. (2014): Vizuelizacija uzgojnih potreba i mera na primeru odeljenja 35 Gazdinske jedinice „Topolik“ na području Šumskog gazdinstva „Novi Sad“. Master rad u rukopisu, Šumarski fakultet Beograd.
- Вукин, М. (2016): Еколошки потенцијали и обнављање Липовачке шуме у функцији унапређења стања животне средине града Београда. Докторска дисертација у рукопису. Универзитет Сингидунум Факултет за примењену екологију ‘Футура’. Београд.
- Vyskot, M., Jurča, J., Korpel, S., Reh, J. (1978) Pesteni lesu. Statne zemedelske nakladatelstvi, Praha.
- *** (2004) Primena GIS tehnologije u planiranju gazdovanja šumama – manual. Norwegian Forestry Group, Oslo; Šumarski fakultet, Beograd; Institut za šumarstvo, Beograd.
- *** Materijali za seminare iz za gajenja šuma za šumsku privredu u Srbiji: »Prorede u bukovim šumama«, 1994 Boljevac; »Prirodno obnavljanje bukovih šuma«, Severni Kučaj, Kukavica, Stolovi, Cer-Vidojevica, Tara, 2000; »Prorede u veštački podignutim sastojinama crnog i belog bora na području Užica - Šargan«, 2002; »Gazdovanje bukovim šumama«, Brezovica – Bor, 2003; »Gazdovanje degradiranim (izdanačkim) bukovim šumama«, Ozren – Sokobanja, 2004; »Gazdovanje šumama hrasta kitnjaka«, Majdanpek – Donji Milanovac, 2005; »Gazdovanje šumama sa posebnom namenom«, Trstenik - Vrnjačka Banja, 2006; »Prebirno gazdovanje u mešovitim šumama jele, smrče i bukve na Zlataru«, 2008; »Prorede u kulturama bora«, Divčibare – Bukovi, 17 oktobar 2008; »Obnavljanje šuma sladuna i cera«, Lipovica, Beograd, 2013.
- *** Materijali za seminare iz za gajenja šuma šumsku privredu u Republici Srpskoj: »Gazdovanje šumama bukve na području Ribnika«, 2019; »Gazdovanje šumama hrasta na području Foče«, 2019.
- *** Wikipedia.org/wiki (2008, 2010, 2015) Tematski sadržaji: Geographic_information_system; Data analysis; Modeling; Scientific modeling; Simulation; Visualization; Modeling and Simulation; Tree allometry.
- *** <http://www.silvis.forest.wisc.edu/visualization/visualization.php>
- *** Stojanović, Lj. (rukovodilac projekta) *et al.* (1987-89): NI projekat: Istraživanje optimalnih metoda melioracije izdanačkih i degradiranih šuma zavisno od stepena degradiranosti sastojine i zemljišta i potrebe prevodjenja izdanačkih šuma u viši uzgojni oblik. SIZ-a šumarstva SR Srbije.
- *** Stojanović, Lj. (rukovodilac projekta) *et al.*: (2008-2010): NI projekat BTN. 20030: Izbor odgovarajućih uzgojnih mera u kulturama bora u cilju maksimalne proizvodnje kvalitetnog drveta i održivog razvoja. Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

- *** Krstić, M. (rukovodilac projekta) *et al.* (1993/94): NI projekat: Istraživanje najpovoljnijeg načina obnavljanja šuma kitnjaka sa aspekta saniranja posledica sušenja i tehnologije iskorišćavanja postojeće drvene mase. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije - Fonda za šume Srbije.
- *** Krstić, M. (rukovodilac projekta) *et al.* (2012-2013): NI projekat: Sastojinsko stanje i dinamika prirodnog podmladjivanja u prašumama bukve u Srbiji. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije - Uprava za šume Srbije

VISUALISATION AND SIMULATION IN SILVICULTURE: SIGNIFICANCE, PRESENT-DAY NEED AND NECESSITY

*Milun Krstić
Ljubivoje Stojanović*

Summary

This paper points out that contemporary forestry should turn to »exact« descriptions instead of commonly applied »impressive« or phenomenological descriptions in the field of silvicultural treatments. In other words, numerical parameters should be used as guiding parameters when performing these treatments. It also points to a large number of different norms found in the professional literature in the form of numerical models expressed as mathematical-statistical relationships (equations) and patterns (formulas), tables, graphs, etc., which can help replace subjective assessments and impressions, i.e. descriptive formulations with measurable parameters. These norms are based on the relationship between specific stand elements – the main elements of the stand structure. We used concrete examples to show that it is possible and necessary to use silvicultural analytics in forestry through modeling, visualisation and simulation which can be used as guiding indicators and applied to silvicultural treatments in practice. The paper presents a range of models that have been created and defined in forestry and elaborated in our conditions – some of the most significant mathematical and statistical models, presented as formulas. It presents a number of practical examples that can be used in forestry to monitor and improve the effects of silvicultural treatments. These examples are also presented and incorporated into the teaching literature. They include models for defining stand conditions, optimum stand structure, and stand crown structure as indicators of silvicultural needs, forest regeneration models, models for defining and characterising standards for the implementation of basic stand tending measures, models of the dependence of shoot capacity on the stump diameter and height, etc. By using the visualisation procedure to obtain a more comprehensive and clearer visual overview of the collected data and obtained results, facilitate their comparison and use in further analysis, we generated tabular and graphical illustrations of different silvicultural models applied in practice to define the stand conditions and parameters used to determine the type of thinning, its weight, and interval, or to perform regeneration cuts. We used the Stand Visualisation System (SVS), a specialised software, to present the visualisation of specific stand conditions, and simulation (dynamic visualisation) of some silvicultural treatments used in tending and regeneration as well as the effects of the measures implemented by creating different scenarios to optimise the process. The simulation method was used to check the effects of cutting treatments and the feasibility of their actual and practical use as specific indicators of silvicultural needs and measures. The paper presents the »experimental simulation in natural conditions« performed by setting up a large number of series of experimental areas, with 3-4 experimental fields in each, within scientific research NI projects, as well as for the preparation of seminars in the management of natural and artificially-established stands of the main forest species.