



УНИВЕРЗИТЕТУ НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

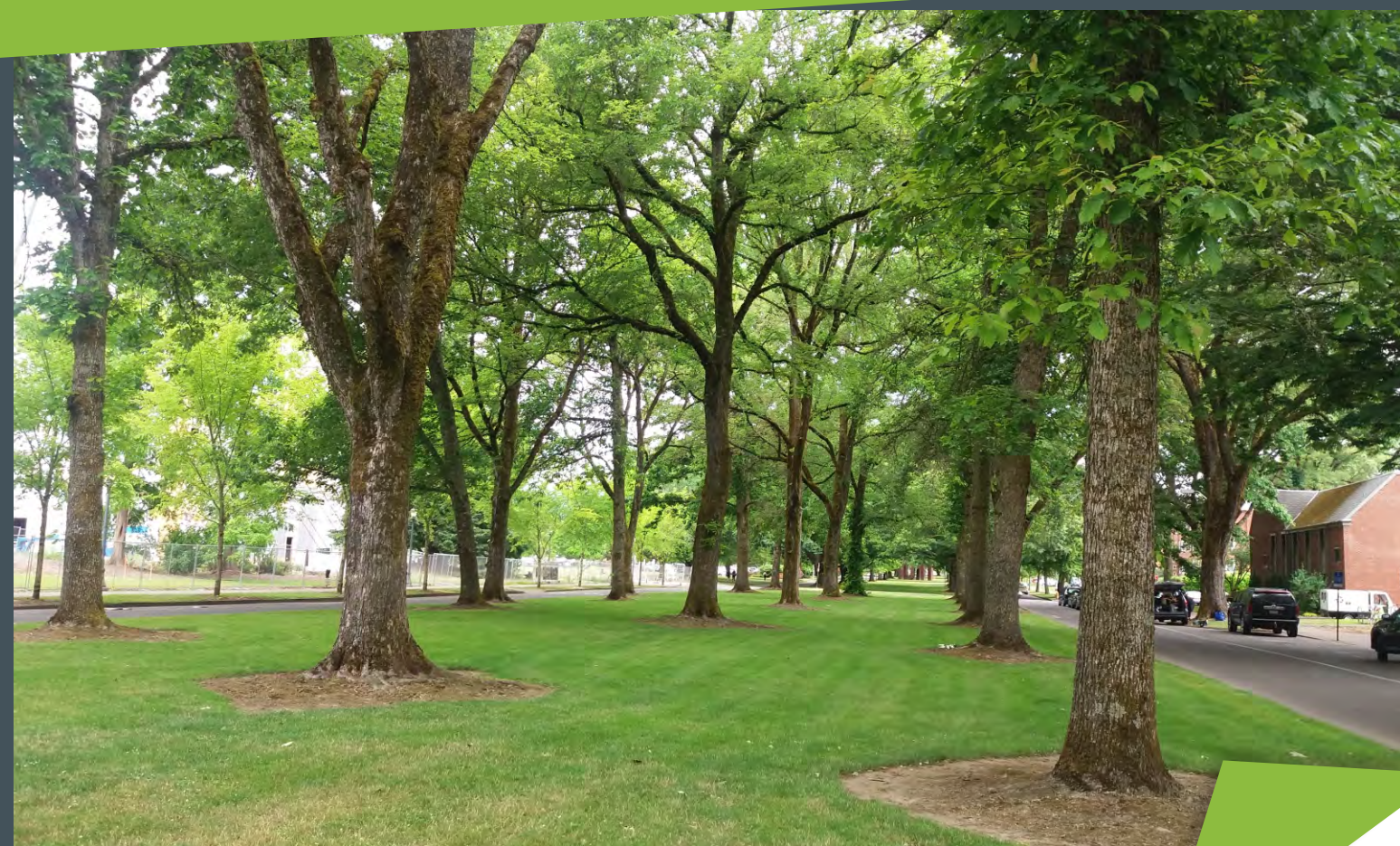
Животна средина и одрживи развој



Животна средина и одрживи развој

Милена Д. Лакићевић

Милена Д. Лакићевић



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

ЖИВОТНА СРЕДИНА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ

Практикум

Др Милена Д. Лакићевић

Нови Сад, 2018. године

ЕДИЦИЈА „ПОМОЋНИ УЏБЕНИК“

Оснивач и издавач едиције:

Универзитет у Новом Саду
Пољопривредни факултет
Трг Доситеја Обрадовића 8, Нови Сад, Србија

Година оснивања:

1954.

Главни и одговорни уредник едиције:

Др Недељко Тица, редовни професор
Декан Пољопривредног факултета

Чланови комисије за издавачку делатност:

Др Љиљана Нешић, редовни професор, председник
Др Бранислав Влаховић, редовни професор, члан
Др Милица Рајић, редовни професор, члан
Др Нада Плавша, ванредни професор, члан

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

502.131.1(075.8)(076)

ЛАКИЋЕВИЋ, Милена

Животна средина и одрживи развој : практикум / Милена Д. Лакићевић. - Нови Сад : Пољопривредни факултет, 2018 (Нови Сад : Perins Inženjering). - 73 стр. : илустр. ; 30 cm. - (Едиција Помоћни уџбеник / Пољопривредни факултет, Нови Сад)

Тираж 20. - Библиографија.

ISBN 978-86-7520-434-3

а) Животна средина - Одрживи развој - Практикуми
COBISS.SR-ID 325269767

Аутор:

Др Милена Д. Лакићевић, доцент

Главни и одговорни уредник:

Др Недељко Тица, редовни професор

Декан Пољопривредног факултета

Рецензенти:

Др Саша Орловић, редовни професор, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

Др Емина Младеновић, доцент, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

Др Милена Кресоја, истраживач сарадник, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

Издавач:

Универзитет у Новом Саду

Пољопривредни факултет, Нови Сад

Забрањено штампање и фотокопирање. Сва права задржава издавач.

Штампа: Перинс инжењеринг, Нови Сад

Штампање одобрио: Комисија за издавачку делатност,

Пољопривредни факултет, Нови Сад

Тираж:

20

Место и година штампања: Нови Сад, 2018. године

Садржај

1. Увод.....	1
1.1. Инсталација програма R и окружења R studio	1
2. Биолошки спектар флоре	7
2.1. Одређивање биолошког спектра флоре	9
1.2. Задатак за студенте	12
3. Индекси биодиверзитета	13
3.1. Индекси α диверзитета	14
3.1.1. Одређивање индекса α диверзитета	14
Одређивање индекса богатство врста (N)	15
Одређивање Шеноновог индекса (H')	16
Одређивање Симсоновог индекса (D)	17
Обједињавање и анализа добијених резултата	18
3.2. Индекси β диверзитета.....	19
3.2.1. Одређивање индекса β диверзитета.....	19
Одређивање Џакардовог растојања	20
Одређивање Соренсеновог индекса.....	21
3.3. Додатне анализе	23
3.4. Задаци за студенте.....	29
4. Еколошки чиниоци	30
4.1. Обрада резултата лабораторијских испитивања	32
Пример 1	32
Једнострука анализа варијансе	33
R команде	34
Пример 2.....	36
Двострука анализа варијансе.....	37
R команде	38
4.2. Задатак за студенте	41
5. Ареал биљних врста.....	42
5.1. Картирање ареала биљних врста	43
Картирање ареала врсте <i>Tilia tomentosa</i>	44
Картирање ареала врсте <i>Tilia cordata</i>	47
Картирање ареала врста <i>Tilia tomentosa</i> и <i>Tilia cordata</i>	48
5.2. Задатак за студенте	49

6. Губитак биљних врста	50
6.1. Мапирање података о инвазивним врстама.....	52
6.2. Задатак за студенте	58
7. Заштита биљних врста.....	59
7.1. Картирање биљака значајних за заштиту	60
R команде	61
7.2. Анализа карактеристика дендрофлоре у заштићеном природном добру	66
R команде	66
7.2. Задатак за студенте	72
Литература.....	73

ЗАХВАЛНОСТ

Практикум је настао као део резултата истраживања у Лабораторији за шумарске науке Министарства пољопривреде САД (Корвалис, Орегон) и Фулбрајт програма Владе САД.

1. Увод

Практикум је састављен у складу са програмом вежби на предмету Животна средина и одрживи развој. Основне теме које су обухваћене практикумом су:

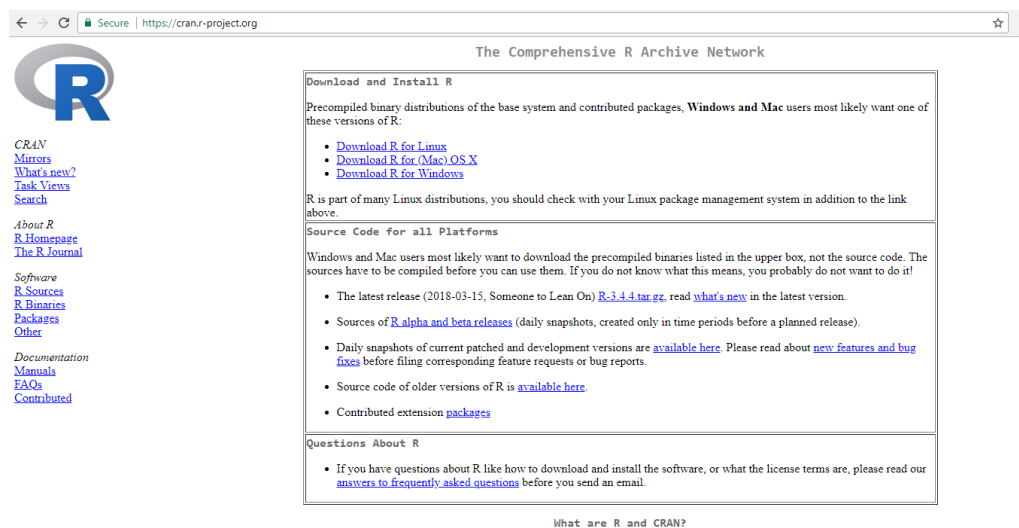
- Биолошки спектар флоре
- Биодиверзитет и индекси диверзитета флоре
- Еколошки чиниоци
- Ареал биљних врста
- Губитак биљних врста и
- Заштита биљних врста.

Свака тема је сажето приказана на почетку поглавља, а затим је описан задатак у вези са темом поглавља. Сви задаци су решени у статистичком програму R studio и примери се односе на обраду података, основне статистичке анализе и израду карти и мапа. На крају поглавља дати су задаци за вежбу које студенти треба да ураде самостално, на основу показаних примера. Основни циљ практикума је да студентима пружи преглед основних могућности решавања проблема у пракси коришћењем програма R studio као савременог компјутерског алата који се користи широм света. Већина до сада објављених уџбеника примени програма R је на енглеском језику и захтева добро познавање статистике тако да је намена практикума да основе овог напредног програма прилагоди потребама истраживања у области пејзажне архитектуре и предеоне екологије. Програм R је бесплатан и тренутно постоји преко 11.000 пакета за R у којима су већ програмиране статистичке анализе.

1.1. Инсталација програма R и окружења R studio

Инсталација се састоји од два корака: инсталација програма R и инсталација његовог окружења (интерфејса) који се назива R Studio.

R се преузима са адресе: <https://cran.r-project.org/> (Слика 1).



Слика 1. Инсталација програма R

Инсталација не чини пакете доступним, већ је потребно да се они учитају применом команде:

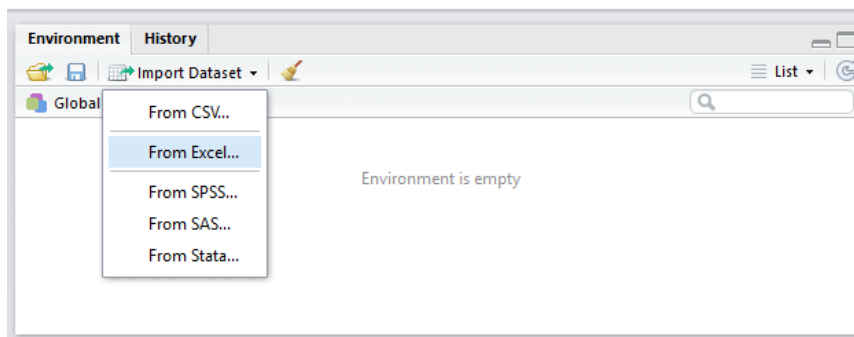
```
| library(naziv paketa)
```

Слично томе, постоји и функција:

```
| require(naziv paketa)
```

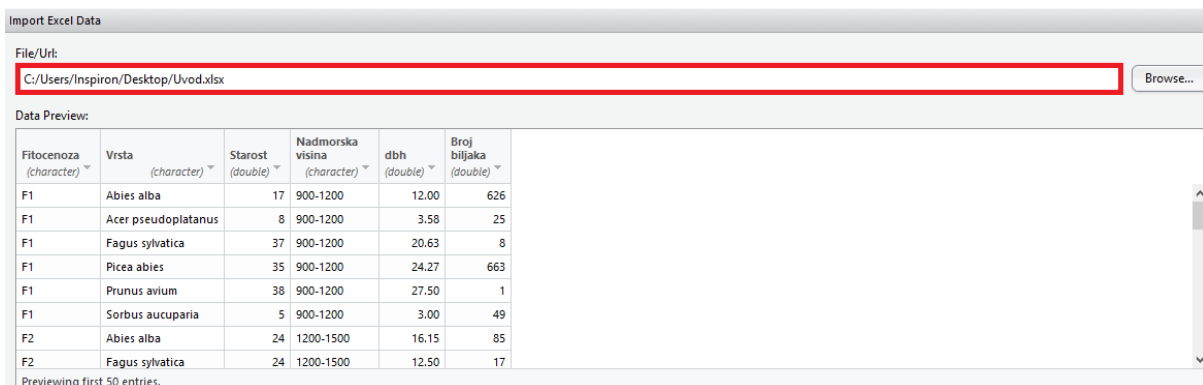
помоћу које се проверава да ли је пакет инсталиран, и уколико јесте, врши се његово учитавање.

Приликом рада у програму R Studio често се као улазни подаци користе документи који постоје у меморији рачунара. Подаци се могу учитати кликом на „import dataset“ или помоћу пакета. Поступак учитавања документа Uvod.xlsx приказан је на Слици 4.



Слика 4. Учитавање датотеке

У следећем кораку се уноси путања потребног документа и добија се приказ учитаних података (Слика 5).



Слика 5. Уношење путање датотеке

Након поступака приказаних на Сликама 4 и 5 подаци су учитани и могу се даље користити за све анализе у програму R Studio. Применом команди дефинише се на који начин ће учитани подаци бити обрађени. Пример команди може да изгледа на следећи начин:

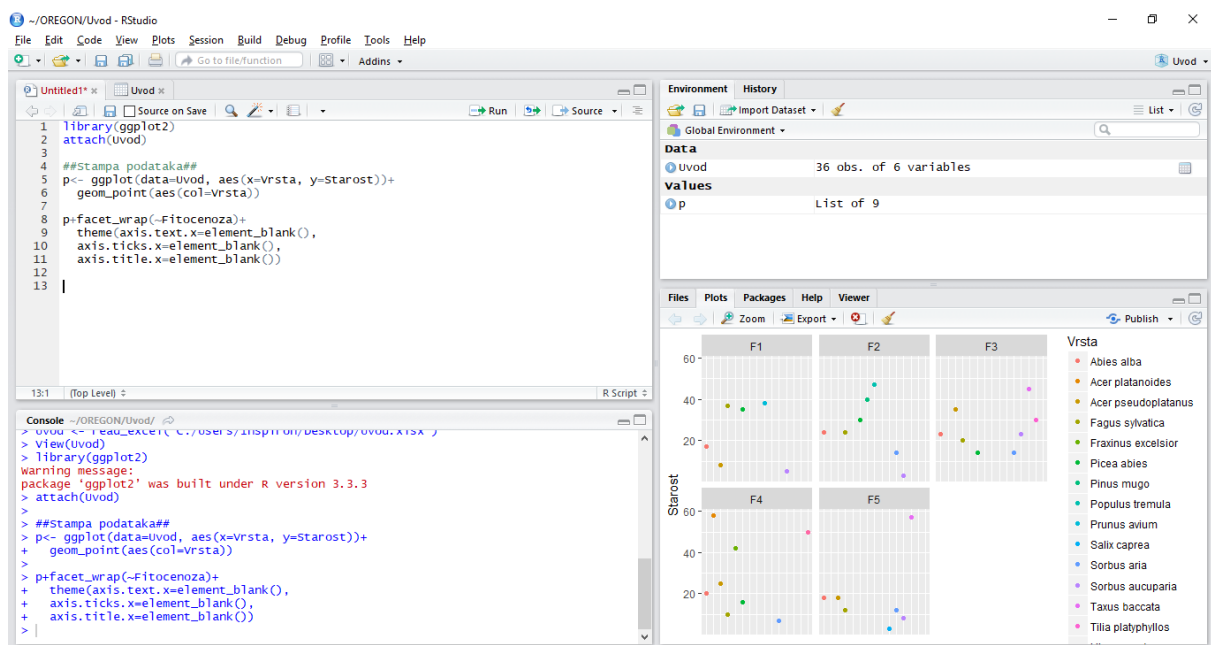
```
| library(ggplot2)
| attach(Uvod)
```

```
##Stampa podataka##
p <- ggplot(data=Uvod, aes(x=Vrsta, y=Starost))+
  geom_point(aes(col=Vrsta))

p+facet_wrap(~Fitocenoza)+
  theme(axis.text.x=element_blank(),
        axis.ticks.x=element_blank(),
        axis.title.x=element_blank())
```

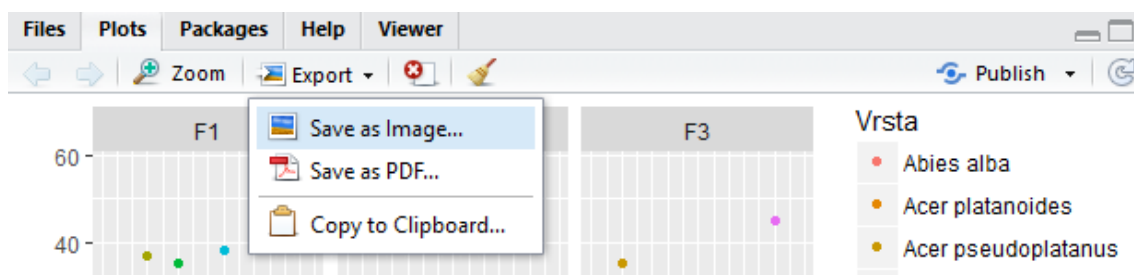
За сада је значајно приметити да ознака `#tekst` значи да овако обележени текст програм не препознаје као команду, тако да се овај начин обележавања често користи за додавање објашњења, нарочито када су у питању сложенији кодови. Поред тога у наведеном примеру се може уочити да се користи симбол `<-` који представља оператор придруживања и замењује знак једнакости.

Када се подаци учитају и унесу кодови који су потребни за обављање анализа добија се приказ као на Сlici 6.



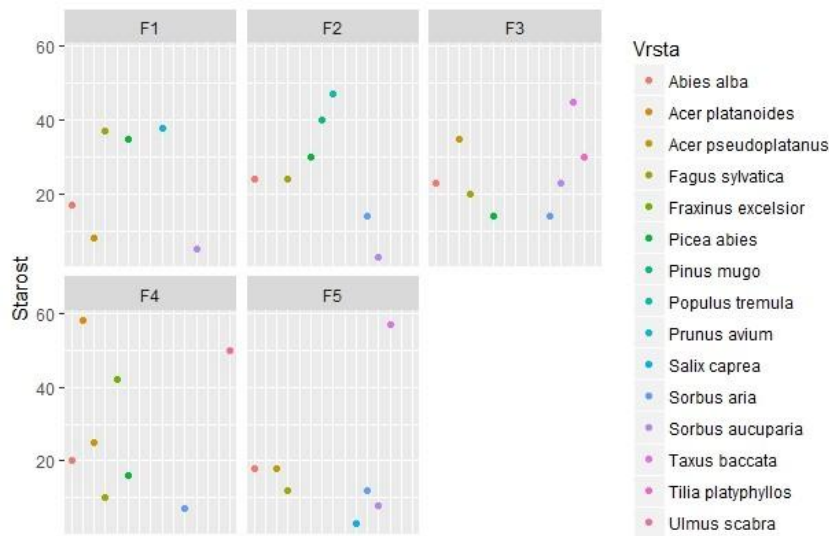
Слика 6. R Studio окружење са приказом резултата анализе

Уколико је потребно да се добијени графички приказ сачува као посебна слика то ће бити учињено на следећи начин (Слика 7):



Слика 7. Чување графичких приказа

Слика 8 приказује како изгледа графички приказ који је сачуван у претходном кораку.

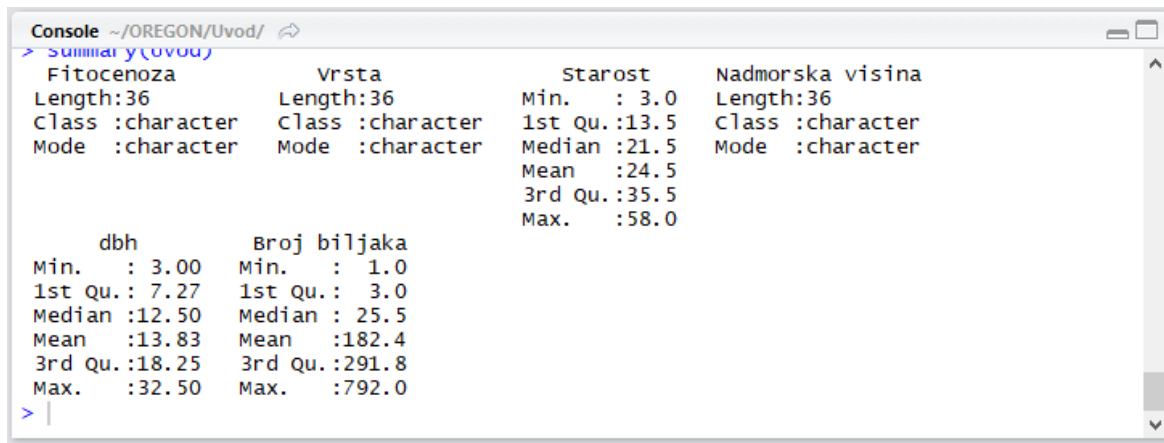


Слика 8. Резултати анализе

У наредним примерима биће приказано како изгледају неке од команди које се односе на манипулацију података из учитане табеле. Основни преглед учитане табеле се остварује помоћу команде и на тај начин се добија основна дескриптивна статистика за сваку варијаблу у бази:

```
| summary(Uvod)
```

и као резултат се добија приказ:



Слика 9. Резултати анализе

Уколико је потребно да се прикажу латински називи врста из табеле примениће се:

```
| unique(Vrsta)
```

и на тај начин је добијен приказ:

```
| [1] "Abies alba" "Acer pseudoplatanus" "Fagus sylvatica"
| [4] "Picea abies" "Prunus avium" "Sorbus aucuparia"
```

[7]	"Pinus mugo"	"Populus tremula"	"Sorbus aria"
[10]	"Taxus baccata"	"Tilia platyphyllos"	"Acer platanoides"
[13]	"Fraxinus excelsior"	"Ulmus scabra"	"Salix caprea"

Помоћу наредних команди биће одређена просечна старост биљака, медијана пречника на висини 1,3 m (dbh), максимални број биљака:

```
mean(Starost)
median(dbh)
max(`Broj biljaka`)
```

и као резултат добија се:

```
> mean(Starost)
[1] 24.5
> median(dbh)
[1] 12.5
> max(`Broj biljaka`)
[1] 792
```

У наредним примерима биће приказано како се више задатака из праксе пределе екологије може решити применом овог програма.

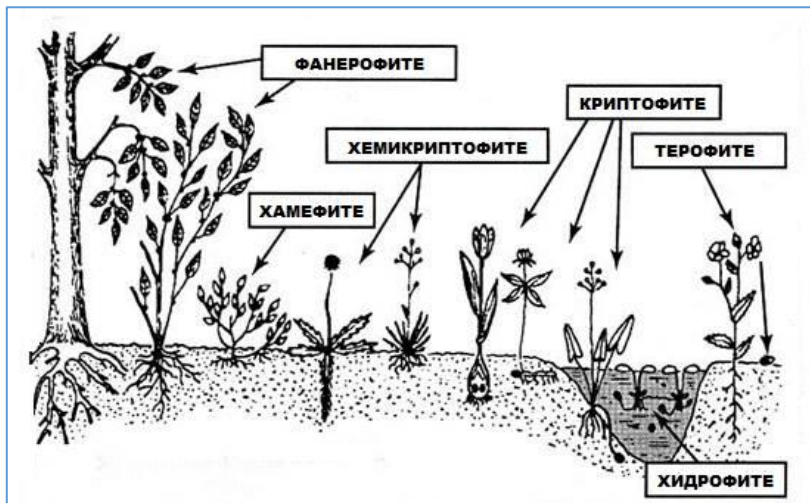
2. Биолошки спектар флоре

Биолошки спектар представља процентуално учешће појединих животних форми биљака у укупној флори одређеног подручја. Животна форма биљке је скуп њених морфолошких, анатомских, физиолошких и фенолошких карактеристика и представља еколошку категорију која није условљена систематском припадношћу и сродношћу биљних врста. Познато је да слични услови спољашне средине доводе до стварања сличне животне форме и ова појава се назива еколошка конвергенција. Супротно томе, постоји појава адаптивне радијације која подразумева да филогенетски блиске врсте имају различиту животну форму.

Животне (еколошке) форме биљака се, према подели коју је предложио Раункије, сврставају у пет основних категорија:

1. фанерофите (P)
2. хамефите (Ch)
3. хемикриптофите (H)
4. криптофите (K) и
5. терофите (T)

Криптофите се даље деле у две подкатегорије: геофите (G) и хидрофите (Hud). Целокупна подела је извршена на основу морфолошких карактеристика, према типу и положају органа који преживљавају неповољне сезоне. Слика 10 приказује категорије животних форми биљака, на основу којих се даље може одредити биолошки спектар флоре.



Слика 10. Категорије животних форми биљака

Фанерофите (P) су животна форма биљака са вишегодишњим, трајним надземним изданцима и гранама са пупољцима удаљеним најмање 25 cm од површине тла. Овој категорији припадају дрвенасте и многе жбунасте форме. Примери фанерофита су: *Pinus peuce*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Prunus spinosa*, *Tamarix tetrandra*, итд.

Хамефите (Ch) су животна форма биљака код којих се пупољци налазе изнад површине тла, на висини до 25 cm. Њихови пупољци су боље заштићени од пупољака фанерофита јер се највећи број биљака које из ове категорије налази у артичкој и алпској вегетацији. Примери хамефита су врсте из родова *Vaccinium*, *Calluna*, *Sedum*, *Thymus*, итд.

Хемикриптофите (H) представљају животну форму биљака код којих надземни делови преко зиме изумиру, али пупољци остају на површини тла, на подземним стаблима или кореновима. Највећи број биљака умерене зоне припада хемикриптофитама. Примери хемикриптофита су: *Ramonda nathaliae*, *Epilobium montanum*, *Achillea millefolium*, као и већина врста из фамилије *Poaceae*.

Криптофите (K) представљају животну форму биљака код којих надземни делови преко зиме изумиру, а пупољци остају на подземним органима и у складу са типом подлоге разликују се: геофите (G) и хидрофите (Hud). Код геофита подземни органи се налазе испод земље и биљке презимљавају помоћу луковица, ризома, стаблових и коренских кртола. Примери геофита су врсте из родова: *Allium*, *Galanthus*, *Iris*, *Cyclamen*, *Crocus*, итд. Код хидрофита подземни органи се налазе у води и примери хидрофита су врсте из родова: *Typha*, *Nuphar*, *Sparganium*, итд.

Терофите (T) су животна форма које обухвата једногодишње зељасте биљке које неповољне услове преживљавају у облику семена. Примери терофита су: *Trifolium campestre*, *Solanum hispidum*, *Campanula patula*, *Consolida orientalis*, итд.

Биолошки спектар флоре варира у зависности од климатске зоне и у Табели 1 је приказано процентуално учешће основних животних форми биљака у умереном, медитеранском и планинском појасу.

Табела 1. Биолошки спектар животних форми у вегетацији различитих климатских зона

Животна Форма	Биолошки спектар животних форми [%]		
	Умерени појас	Медитерански појас	Планински појас
P	7	12	0
Ch	3	6	25
H	50	29	67
G	22	11	4
T	18	42	4

На основу вредности из Табеле 1 може се закључити да у умереном појасу доминирају хемикриптофите (50%), док су хамефите најмање заступљене (3%). Наведени подаци представљају просечне вредности за одређену климатску зону, а биолошки спектар се одређује за сваки локалитет посебно.

Свака описана животна форма се даље класификује према различитим карактеристикама, као на пример, категорија фанерофита се према висини дели на: макрофанерофите, мезофанерофите, микрофанерофите (високо, средње и ниско дрвеће) и нанофанерофите (жбуње). Категорија хамефита се на основу типа изданака дели на: одрвенеле (Ch frut), полуодрвенеле патуљасте жбунове (Ch suffrut) и зељасте хамефите (Ch herb), итд.

2.1. Одређивање биолошког спектра флоре

На основу података који су дати као материјал за вежбе, потребно је одредити биолошки спектар флоре. Задатак треба решити коришћењем статистичког програма R Studio. У наставку текста је поступно описан поступак за решавање постављеног задатка.

Прво је потребно учитати одговарајући документ са рачунара у вежбаоници:

```
library(readxl)
df<-read_excel("D:/Zivotna sredina/Praktikum.xlsx",
               sheet = "Zivotna forma")
view(df)
```

За решавање овог задатка користиће се пакет "dplyr" који се инсталира на следећи начин:

```
install.packages("dplyr")
library(dplyr)
```

Пре решавања задатка корисно је прегледати учитане податке и коришћењем наредних команди утврдиће се димензије (број редова и колона) и штампати првих шест редова предметне табеле:

```
dim(df)
head(df)
```

Као резултат добија се:

```
> dim(df)
[1] 53  2
> head(df)
  Vrsta                `Zivotna forma`
<chr>      <chr>
1 Agrostis canina      H
2 Anemone nemorosa     G
3 Antennaria dioica    H
4 Anthoxanthum odoratum H
5 Arhenatherium elatius H
6 Asperula cynanchica  H
```

Уколико је потребно издвојити врсте које припадају одређеној животној форми, на пример фанерофитама (P) примењује се команда "subset":

```
fanerofite<-subset(df, `Zivotna forma`=="P")
fanerofite
```

Као резултат добија се:

```
1 Betula pendula      P
2 Carpinus betulus    P
3 Corylus avellana    P
4 Crataegus monogyna  P
5 Fagus moesiaca      P
6 Malus sylvestris    P
7 Populus tremula     P
8 Quercus petraea     P
9 Rosa vosagiaca      P
10 Salix fragilis     P
11 Sorbus aucuparia   P
```

На исти начин се могу извојити врсте које припадају нпр. геофитама (G):

```
geofite<-subset(df, `Zivotna forma`=="G")
geofite
```

Као резултат добијен је приказ:

```
vrsta      `Zivotna forma`
<chr>      <chr>
1 Anemone nemorosa      G
2 Dryopterix filix-mas  G
3 Orobanche gracilis    G
```

Исти поступак се може поновити и за остале животне форме. Претходни поступци су служили за учитавање, основни преглед података и инсталацију потребних R пакета, а у наставку ће бити описан поступак одређивања биолошког спектра флоре.

На почетку ће бити формирана табела са приказом категорија животних форми и бројем врста које им припадају, коришћењем команди:

```
df1<-count(df, `Zivotna forma`)
df1
```

Као резултат добија се следећа табела:

```
`Zivotna forma`      n
<chr>      <int>
1 Ch          7
2 G           3
3 H          28
4 P          11
5 T           4
```

На основу ових података одређује се биолошки спектар, као процентуално учешће сваке од животних форми у укупном броју:

```
df2<-mutate(df1, Bioloski_spektar=round(100*n/sum(n),2))
df2<-data.frame(df2)
df2
```

Овом командом је остварено да се основној табели дода колона под називом "биолошки спектар", дефинисан је поступак прорачуна вредности у овој колони и дате вредности су заокружене на две децимале:

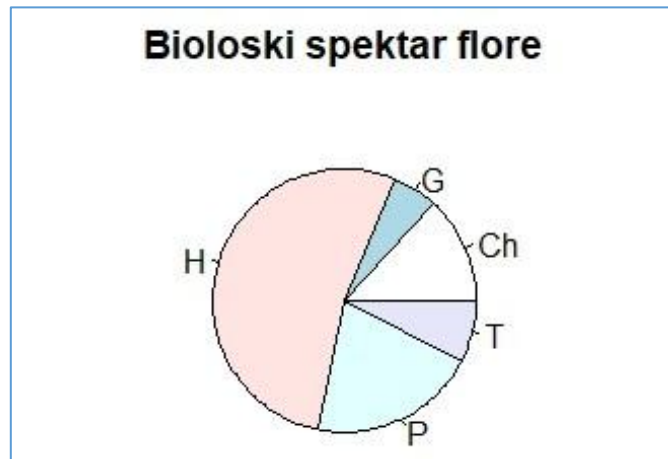
```
Zivotna.forma      n      Bioloski_spektar
1      Ch          7          13.21
2      G           3           5.66
3      H          28          52.83
4      P          11          20.75
5      T           4           7.55
```

На овај начин одређен је биолошки спектар флоре за анализирани пример.

Добијене вредности се најчешће приказују графички и у складу са тим може се применити команда:

```
pie(df2$`Bioloski_spektar`,
    main="Bioloski spektar flore",
    labels=c(df2$`Zivotna.forma`))
```

Значење „df2\$`Bioloski\_spektar`“ је следеће: из базе df2 извојити колону са називом „Bioloski spektar“. Као резултат добија се следећи приказ:

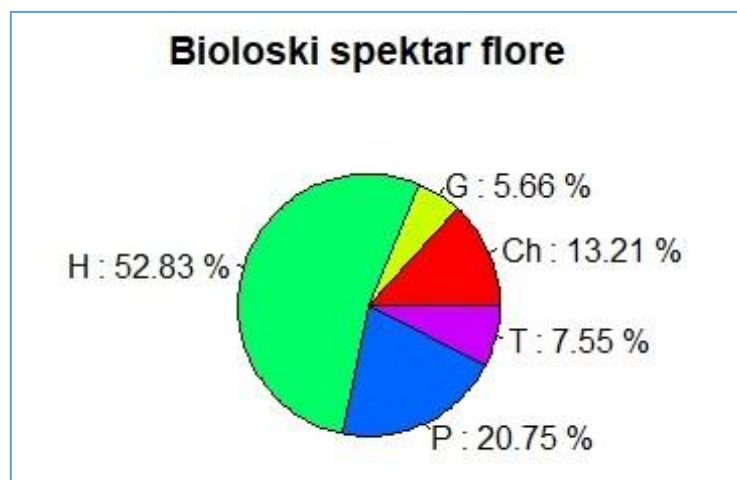


Слика 11. Биолошки спектар флоре

Слика 11 може да буде допуњена, додавањем вредности из колоне „биолошки спектар“ и променом палете боја:

```
labels<-paste(c(df2$`Zivotna.forma`), ":", df2$Bioloski_spektar)
labels <- paste(labels, "%", sep=" ")
pie(df2$Bioloski_spektar, labels = labels,
    col=rainbow(length(labels)),
    main="Bioloski spektar flore")
```

и на тај начин се добија Слика 12.



Слика 12. Биолошки спектар флоре

Анализом добијених резултата може се закључити да анализирани биолошки спектар одговара спектру умерене зоне у великој мери; доминирају хамефите (52,83%), али у анализираном примеру има више представника из категорије фанерофита (20,75%).

1.2. Задатак за студенте

Одредити биолошки спектар флоре на основу података који су приказани у документу Bio_spektar.xlsx.

Решавање задатка се састоји из следећих корака:

- одредити животну форму за сваку врсту (на основу описа у уводу поглавља)
- одредити биолошки спектар приказујући резултате у форми табеле
- приказати добијене резултате графички (коришћењем функције "pie")

3. Индекси биодиверзитета

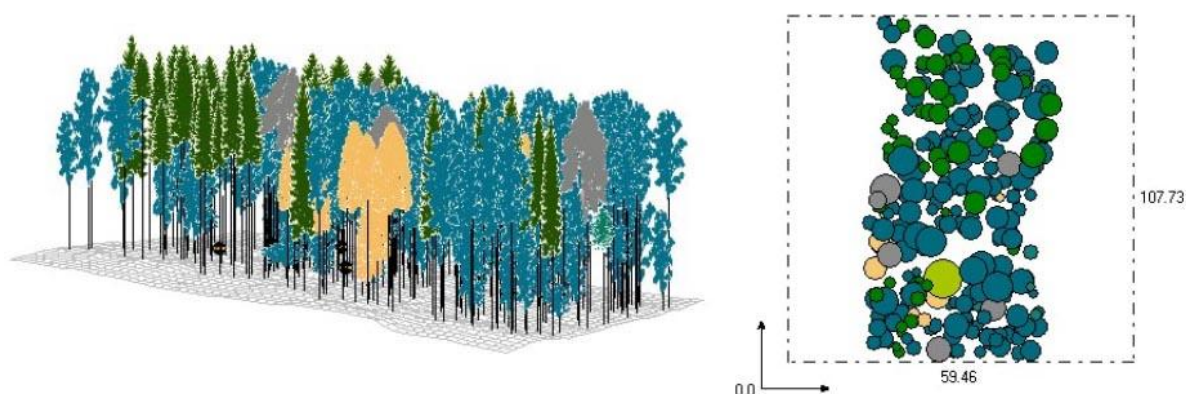
Биодиверзитет се односи на свеукупност гена, врста и екосистема на Земљи. Биодиверзитет се другачије означава и као биолошка разноврсност. Постоје три основна нивоа биодиверзитета: генетички, специјски и екосистемски диверзитет који су међусобно условљени и нераскидиви у биолошком смислу и повезани у просторном и временском контексту.

Генетички диверзитет подразумева укупан број и укупну разноврсност гена, односно генетичких информација присутних у таксонима свих нивоа организације живе материје. Ова варијабилност је изузетно важна јер боља генетичка комбинација одређује већу могућност опстанка у неповољним и стално променљивим условима спољашње средине.

Специјски диверзитет подразумева скуп свих врста биљака, животиња, гљива и микроорганизама у биотопима на Земљи. Органске врсте настањују одговарајућа станишта и међу њима постоје тесне везе и међусобно испреплетане интеракције. Врста (лат. *species*) се издваја као фундаментална јединица биодиверзитета.

Екосистемски диверзитет подразумева скуп свих екосистема, од акватичних до копнених и укључује укупну разноврсност животних станишта (биотопа) и животних заједница (биоценоза), као и еколошких процеса који се у одвијају у екосистемима.

У области пејзажне архитектуре и предеоне екологије најчешће се разматра специјски диверзитет флоре. При томе, анализирају се α , β и γ диверзитет: **α диверзитет** је разноликост врста на датом станишту, **β диверзитет** приказује разлике у саставу врста за различите биљне заједнице или различита станишта, док **γ диверзитет** приказује разноликост врста на нивоу целокупног пејзажа. За обављање потребних анализа користе се одговарајући индекси на основу којих се диверзитет флоре може измерити односно квантификовати. Основни подаци за одређивање вредности индекса биодиверзитета су: број врста и број индивидуа које припадају свакој врсти (Слика 13).



Слика 13. Пример шумске фитоценозе, модел SIBYLA

<http://etools.tuzvo.sk/sibyla/>

3.1. Индекси α диверзитета

Уколико се разматра диверзитет флоре у одређеном подручју, узимају се у обзир две основне карактеристике:

- богатство (енг. *richness*) и
- уједначеност (енг. *evenness*).

Богатство се односи на укупни број различитих врста присутних у датом подручју, а уједначеност на равномерност њихове расподеле у укупном флористичком саставу.

Основни индекси помоћу којих се може квантификовати диверзитет флоре су: богатство врста (N), Шенонов индекс (H') и Симсонов индекс (D).

Богатство врста (N) је најједноставнији индекс и односи се на укупни број различитих врста које су регистроване у одређеној биљној заједници. У том погледу, овај параметар не обезбеђује податке о уједначености и због тога је потребно разматрати додатне индексе.

Шенонов индекс (H') се одређује на основу формуле:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

где је: p_i учешће броја биљака врсте i у укупном броју биљака које су присутне у датом подручју, а S укупни број регистрованих биљних врста.

Шенонов индекс мери и богатство и уједначеност и вредност овог индекса најчешће варира у опсегу 1.5-3.5. Уколико је за одређено подручје вредност Шеноновог индекса 4 или већа, подручје се може и двојити као изузетно значајно у погледу флористичког диверзитета.

Симсонов индекс (D) се одређује помоћу формуле:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (2)$$

где је (као и у претходној формули): p_i учешће броја биљака врсте i у укупном броју биљака, а S укупни број регистрованих биљних врста у анализираном подручју.

Наведени индекс мери уједначеност. Вредности Симсоновог индекса се крећу између 0 и 1 и веће вредности указују на бољу уједначеност врста у биљној заједници.

3.1.1. Одређивање индекса α диверзитета

У овом поглављу биће објашњен поступак одређивања индекса флористичког диверзитета у статистичком програму R Studio. Као пример користиће се подаци

приказани у Табели 2. Наиме, на основу података о присуству и броју врста у пет биљних заједница – фитоценоза (F), за сваку од њих биће одређени следећи индекси биодиверзитета: богатство врста (N), Шенонов индекс (H') и Симсонов индекс (D).

Табела 2. Улазни подаци за одређивање вредности индекса биодиверзитета

F	<i>A. alba</i>	<i>F. sylvatica</i>	<i>T. platyfollos</i>	<i>P. abies</i>	<i>T. baccata</i>
F ₁	0	20	19	18	3
F ₂	25	25	21	20	20
F ₃	12	34	33	23	0
F ₄	14	2	41	0	15
F ₅	18	7	5	38	14

Табела ће се креирати у R-окружењу коришћењем команди:

```
number<-c(0, 25, 12, 14, 18, 20, 25, 34, 2, 7, 19, 21, 33, 41, 5,
18, 20, 23, 0, 38, 3, 20, 0, 15, 14)
table<-matrix(c(number), nrow=5, byrow = F)
rownames(table)<-paste("F", 1:5, sep="")
colnames(table)<-c("A.alba", "F.sylvatica", "T.platyfollos",
"P.abies","T.baccata")
table
```

На овај начин добијена је табела која одговара Табели 2 и она ће бити даље коришћена као основа за одређивање наведених индекса диверзитета флоре.

Одређивање индекса богатство врста (N)

У првом кораку ће се одредити вредност индекса богатство врста (N) за сваку биљну заједницу:

```
df.N<-c(sum(table[1,]>0), sum(table[2,]>0), sum(table[3,]>0),
sum(table[4,]>0), sum(table[5,]>0))
df.N
```

Добијене вредности ће бити придружене називима редова основне табеле коришћењем функције "cbind":

```
df.N<-data.frame(cbind(row.names(table), N))
df.N
```

на тај начин добија се нова табела која приказује називе фитоценоза и одговарајућу вредност индекса богатство (N):

```
V1 N
F1 4
F2 5
F3 4
F4 4
F5 5
```

Ове вредности се за дати пример могу лако утврдити и без примене програма, али је описани поступак значајан када се разматра већа база података – реалне студије случаја када је могуће разматрати и неколико стотина врста.

Одређивање Шеноновог индекса (H')

За одређивање Шеноновог и Симсоновог индекса користиће се пакет „vegan“. Важно је напоменути да је прорачун наведених индекса могуће обавити применом описане формуле, односно манипулацијом података у основној табели, али коришћење пакета „vegan“ овај поступак скраћује.

Најпре је потребно инсталирати наведени пакет:

```
| install.packages("vegan")  
| library(vegan)
```

У оквиру пакета постоји и пример базе података која укључује 50 заједница и 225 врста, а може се прегледати на следећи начин:

```
| data("vsi")
```

Анализом ове базе закључује се да примена пакета „vegan“ захтева да се табеле, које је потребно обрадити, припреме тако да се у колонама налазе врсте, а у редовима биљне заједнице. Основна табела креирана на почетку овог поглавља већ има наведену структуру, тако да није потребно уносити било какве измене. Шенонов индекс се одређује помоћу следећих команди:

```
| for (table.row in 1:5)  
| {senon<- matrix(diversity(table[,], index = "shannon"))}  
| senon
```

и као резултат добија се приказ:

```
|      [,1]  
| [1,] 1.241319  
| [2,] 1.604052  
| [3,] 1.318931  
| [4,] 1.065412  
| [5,] 1.371715
```

У циљу бољег прегледа, добијене вредности ће бити означене као Шенонов индекс, припојиће се ознакама одговарајућих биљних заједница и на крају ће се формирати нова табела:

```
| colnames(senon)<-c("Senonov_indeks")  
| senon<-round(senon, 3)  
| df.shannon<-data.frame(cbind(row.names(table), senon))  
| df.shannon
```

и као коначни приказ добиће се:

V1	Senonov_indeks
1 F1	1.241
2 F2	1.604
3 F3	1.319
4 F4	1.065
5 F5	1.372

На основу добијених вредности може се закључити да је вредност Шеноновог индекса највиша за фитоценозу F₂, а најнижа за фитоценозу F₄. Све наведене вредности су у границама просека, односно ниједна од анализираних биљних заједница се не може издвојити као изузетна у погледу флористичког састава.

Одређивање Симсоновог индекса (D)

Слично претходно описаном поступку биће одређен и Симсонов индекс биодиверзитета, применом команди:

```
for (table.row in 1:5)
{simpson<-matrix(多样性(table[,], index = "simpson"))}
colnames(simpson)<-c("Simsonov_indeks")
simpson<-round(simpson,3)
df.simpson<-data.frame(cbind(row.names(table), simpson))
df.simpson
```

као резултат добијен је приказ:

V1	Simsonov_indeks
F1	0.696
F2	0.798
F3	0.72
F4	0.594
F5	0.697

Добијена табела се може преуредити тако да вредности Симсоновог индекса буду сложене у растући низ:

```
df.sim.order<-df.simpson[order(df.simpson$Simsonov_indeks),]
df.sim.order
```

и као резултат се добија:

V1	Simsonov_indeks
4 F4	0.594
1 F1	0.696
5 F5	0.697
3 F3	0.72
2 F2	0.798

Добијени приказ чини тумачење резултата једноставнијим, вредност Симсоновог индекса је најнижа у фитоценози F₄, а највиша у фитоценози F₂. Уколико се анализира основна табела може се закључити да је у фитоценози F₂ присутно пет биљних врста и

да оне имају приближно једнак број представника (25, 25, 21, 20 и 20), чиме се објашњава висока вредност Симсоновог индекса.

Обједињавање и анализа добијених резултата

Индекси биодиверзитета који су одређени у предходним корацима могу бити обједињени и приказани у заједничкој табели. Поступак за добијање табеле са обједињеним подацима је:

```
df.c<-merge(df.shannon, df.simpson, by="v1")
df.c
df.complete<-merge(df.N, df.c, by="v1")
df.complete
```

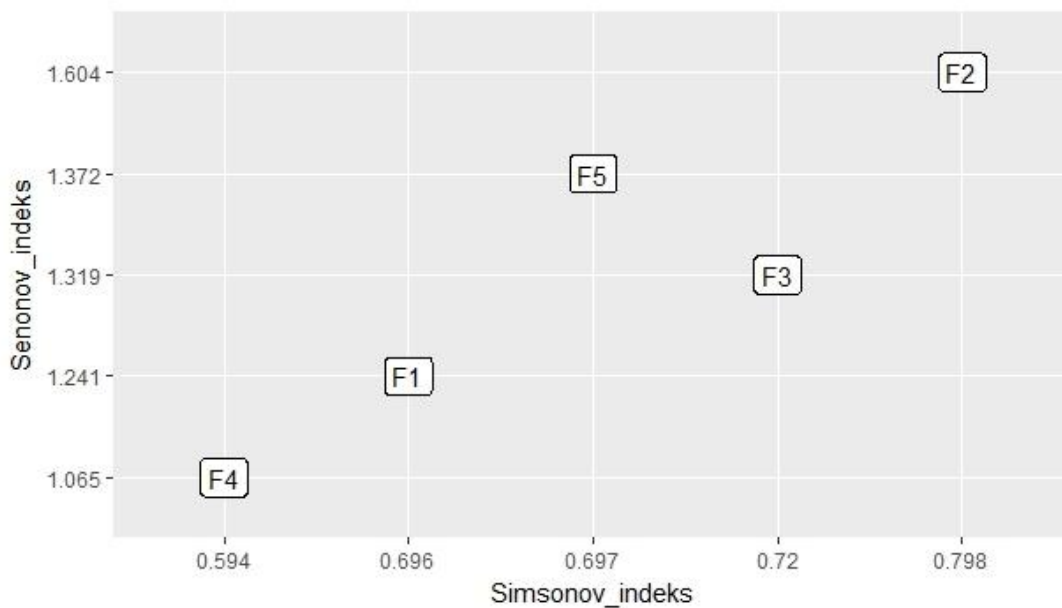
На тај начин добија се табела са приказом три анализирана индекса биодиверзитета:

V1	N	Senonov_indeks	Simsonov_indeks
F1	4	1.241	0.696
F2	5	1.604	0.798
F3	4	1.319	0.72
F4	4	1.065	0.594
F5	5	1.372	0.697

Наведене вредности се могу приказати и графички и у литератури се сугерише заједнички приказ Шеноновог и Симсоновог индекса, који се остварује на следећи начин:

```
library(ggplot2)
p<-ggplot(data=df.c, aes(x=Simsonov_indeks, y=Senonov_indeks))
p+geom_label(label=df.c$V1)
```

и као резултат добијена је Слика 14.



Слика 14. Вредности Симсоновог и Шеноновог индекса биодиверзитета

На основу Сlike 4 закључује се да је фитоценоза F_4 , према вредностима оба индекса, најмање значајна са аспекта биолошке разноликости, док је фитоценоза F_2 најзначајнија у наведеном погледу. Уколико се упореде фитоценозе F_5 и F_3 закључује се да је за фитоценозу F_5 већа вредност Шеноновог индекса, а за фитоценозу F_3 је већа вредност Симсоновог индекса и да би се донео коначан закључак која је од наведених заједница вреднија у погледу биодиверзитета требало би укључити додатне анализе. У датом примеру, то може да буде индекс биодиверзитета – богатство и пошто је вредност датог индекса већа за фитоценозу F_5 њој се може доделити предност над фитоценозом F_3 .

3.2. Индекси β диверзитета

Осим утврђивања индекса биодиверзитета за различите биљне заједнице појединачно, важно је упоредити састав флоре у различитим биљним заједницама и то је могуће остварити коришћењем већег броја индекса, који се називају индекси β диверзитета. Као најзначајнији индекси β диверзитета издвајају се: Џакардово растојање (d_j) и Соренсенов индекс (S).

Џакардово растојање (d_j) се одређује на основу формуле:

$$d_j(A, B) = 1 - \frac{n_{ab}}{n_a + n_b - n_{ab}} \quad (3)$$

где су: A и B биљне заједнице, n_{ab} број заједничких врста у заједницама A и B , n_a број врста присутан у заједници A и n_b број врста присутан у заједници B .

Вредност Џакардовог растојања варира између вредности 0 и 1, где 0 означава потпуно преклапање састава флоре, а вредност 1 сугерише да дате биљне заједнице немају ни једну заједничку врсту, односно да имају потпуно различит флористички састав.

Соренсенов индекс (S) се одређује на основу формуле:

$$S_{(A,B)} = \frac{2 \times n_{ab}}{n_a + n_b} \quad (4)$$

где су (као и у претходној формули): A и B биљне заједнице, n_{ab} број заједничких врста у заједницама A и B , n_a број врста присутан у заједници A и n_b број врста присутан у заједници B .

Соренсенов индекс се креће у распону $[0, 1]$ и мери сличност, тако да уколико је $S_{(A,B)}=0$ закључује се да биљне заједнице A и B имају идентичан флористички састав.

Иако се у литератури често одређују вредности оба описана индекса, Џакардовом растојању се даје предност, јер је метрички, док је Соренсенов индекс полуметрички.

3.2.1. Одређивање индекса β диверзитета

У тексту који следи биће описан поступак одређивања индекса β диверзитета за пет анализираних биљних заједница, коришћењем Џакардовог растојања и Соренсеновог

индекса. На основу спроведене анализе доноси се закључак о сличности флористичког састава за дате фитоценозе.

Одређивање Џакардовог растојања

У наставку текста биће одређено Џакардово растојање које описује разлике у флористичком саставу фитоценоза.

```
jacc<-vegdist(table, method = "jaccard", binary = T)
jacc<-round(jacc,2)
jack
```

Као резултат добија се табела са вредностима Џакардовог растојања:

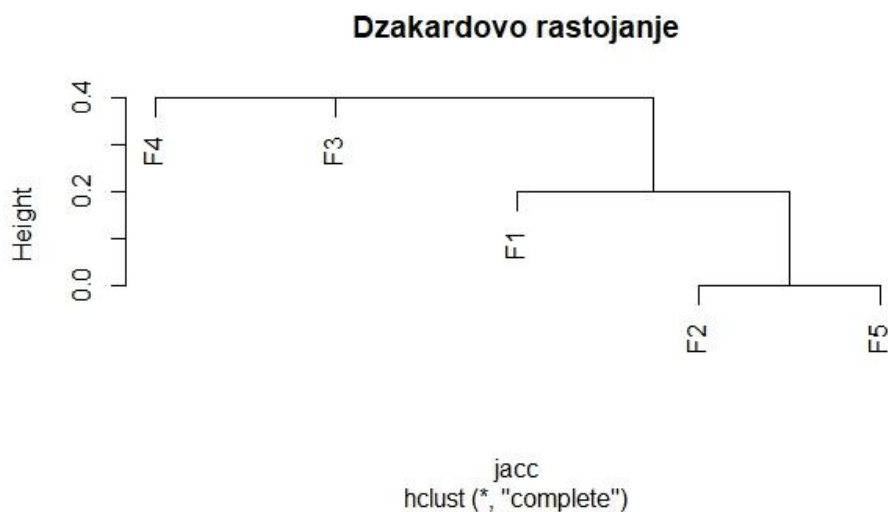
	F1	F2	F3	F4
F2	0.2			
F3	0.4	0.2		
F4	0.4	0.2	0.4	
F5	0.2	0.0	0.2	0.2

Анализом добијених вредности може се закључити да фитоценозе F₂ и F₅ имају исти флористички састав (вредност индекса Џакардово растојање је 0), а највеће разлике у саставу флоре постоје између фитоценоза F₃ и F₁, F₃ и F₄, као и F₃ и F₁ (вредност индекса Џакардово растојање је 0.4).

Наведени резултати се могу приказати и помоћу одговарајућег кластер дендрограма:

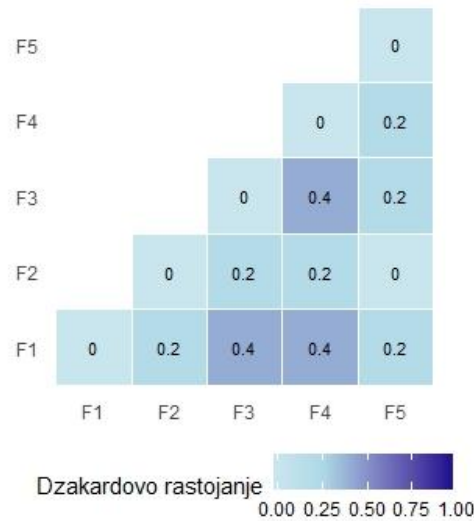
```
plot(hclust(jacc, method="complete"),
     main = "Dzakardovo rastojanje")
```

и тај начин добијена је Слика 15.



Слика 15. Кластер дендрограм Џакардовог растојања

Напредније команде омогућавају да се Џакардово растојање прикаже као на Слици 16 и овај поступак је дат као додатак уз материјал за вежбе.



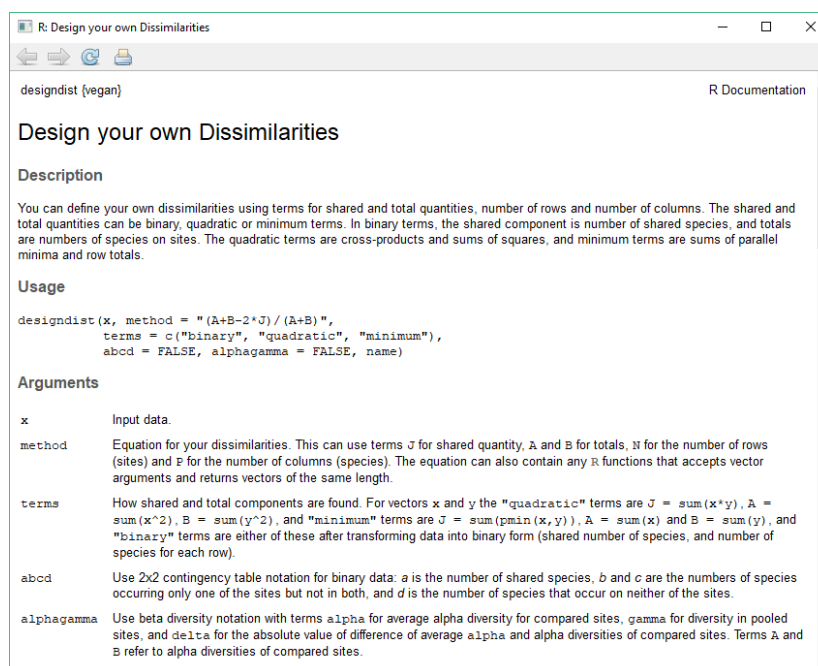
Слика 16. Матрица Џакардовог растојања

Одређивање Соренсеновог индекса

У наставку текста биће описан поступак одређивања Соренсеновог индекса. Детаљније упознавање са овим индексом поређења флористичког састава биљних заједница остварује се помоћу команде:

```
?designdist(method="sorensen")
```

Добијено објашњење изгледа како је приказано на Слици 17.



Слика 17. Опис Соренсеновог индекса

У циљу одређивања вредности Соренсеновог индекса примениће се команде:

```
sorensen<-designdist(table, method = "(2*I)/(A+B)",
terms=c("binary"))
sorensen<-round(sorensen, 2)
sorensen
```

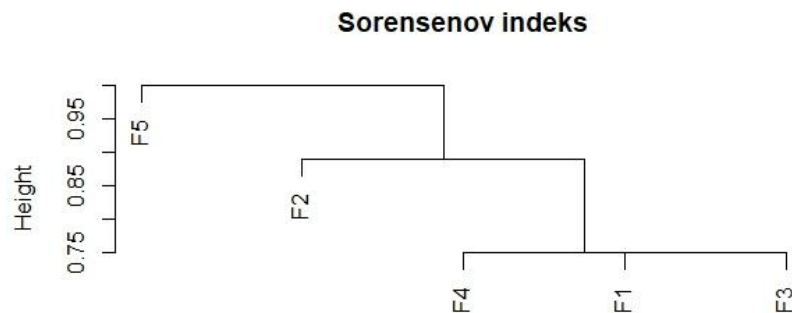
и као резултат добија се:

```
      F1  F2  F3  F4
F2 0.89
F3 0.75 0.89
F4 0.75 0.89 0.75
F5 0.89 1.00 0.89 0.89
```

Као и на примеру Џакардовог индекса добијене вредности ће бити приказане у форми одговарајућег кластер дендрограма:

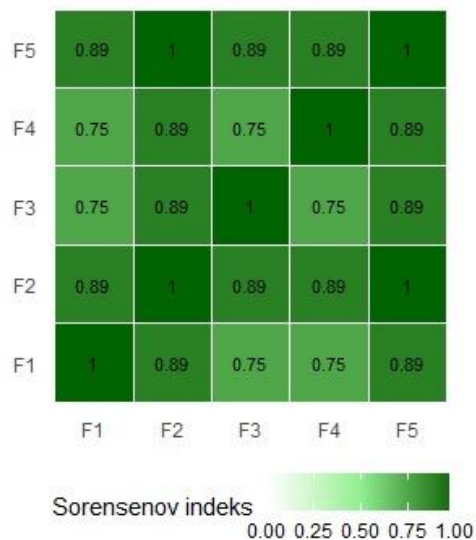
```
plot(hclust(sorensen, method="complete"),
main ="Sorensenov indeks")
```

и на тај начин је добијена је Слика 18.



Слика 18. Кластер дендрограм Соренсеновог индекса

Графички приказ вредности може да изгледа као на Слици 19 (поступак је сложенији и објашњен у додатку за вежбе).



Слика 19. Матрица Соренсеновог индекса

Добијене вредности потврђују да фитоценозе F₂ и F₅ имају исти флористички састав (вредност Соренсеновог индекса је 1), док између фитоценоза F₁ и F₃, F₁ и F₄, F₄ и F₅ постоје највеће разлике у погледу састава флоре.

3.3. Додатне анализе

У циљу анализе састава флоре, осим анализе индекса биодиверзитета, укључују се и додатне анализе које се односе на одређивање учешћа сваке биљне врсте у укупном саставу флоре, као и анализа додатних систематских одредница, при чему се као најзначајније издвајају припадност одговарајућем разделу и припадност одговарајућој фамилији. У наставку текста биће описано како се додатне анализе могу обавити у статистичком програму R Studio.

Учешће сваке од врста у наведеним фитоценозама се може одредити коришћењем следећих команди:

```
table.udeo<-table/(rowSums(table))
table.udeo<-round(table.udeo, 3)*100
table.udeo
```

и тај начин добијена је нова табела:

	A.alba	F.sylvatica	T.platyfyllos	P.abies	T.baccata
F1	0.0	33.3	31.7	30.0	5.0
F2	22.5	22.5	18.9	18.0	18.0
F3	11.8	33.3	32.4	22.5	0.0
F4	19.4	2.8	56.9	0.0	20.8
F5	22.0	8.5	6.1	46.3	17.1

На основу добијених резултата може се закључити, на пример, да у фитоценози F₁ не постоји ниједан примерак врсте *Abies alba*, да је удео врсте *Tilia platyfyllos* у саставу дендрофлоре у фитоценози F₄ једнак 56,9% итд.

За биљне врсте присутне у датим фитоценозама анализираће се додатне систематске одреднице и са тим циљем учитаће се табела која приказује припадност одговарајућем разделу и фамилији:

```
library(readxl)
df.flora<-read_excel("D:/Zivotna sredina/Praktikum.xlsx",
                     sheet = "Flora")
view(df.flora)
```

Називи колона учитане табеле се могу проверити на следећи начин:

```
> names(df.flora)
[1] "Fitocenoza" "Vrsta" "Broj" "Razdeo" "Familija"
```

Најпре ће бити анализиран број биљака који припада голосеменицама односно скривеносеменицама за сваку фитоценозу појединачно, коришћењем следећих команди:

```
agg.razdeo<-aggregate(df.flora$Broj, by=list(Razdeo,Fitocenoza),
                      FUN=sum, na.rm=T)
agg.razdeo
```

као резултат добијен је следећи приказ:

	Group.1	Group.2	x
1	Angiospermae	F1	39
2	Gymnospermae	F1	21
3	Angiospermae	F2	46
4	Gymnospermae	F2	65
5	Angiospermae	F3	67
6	Gymnospermae	F3	35
7	Angiospermae	F4	43
8	Gymnospermae	F4	29
9	Angiospermae	F5	12
10	Gymnospermae	F5	70

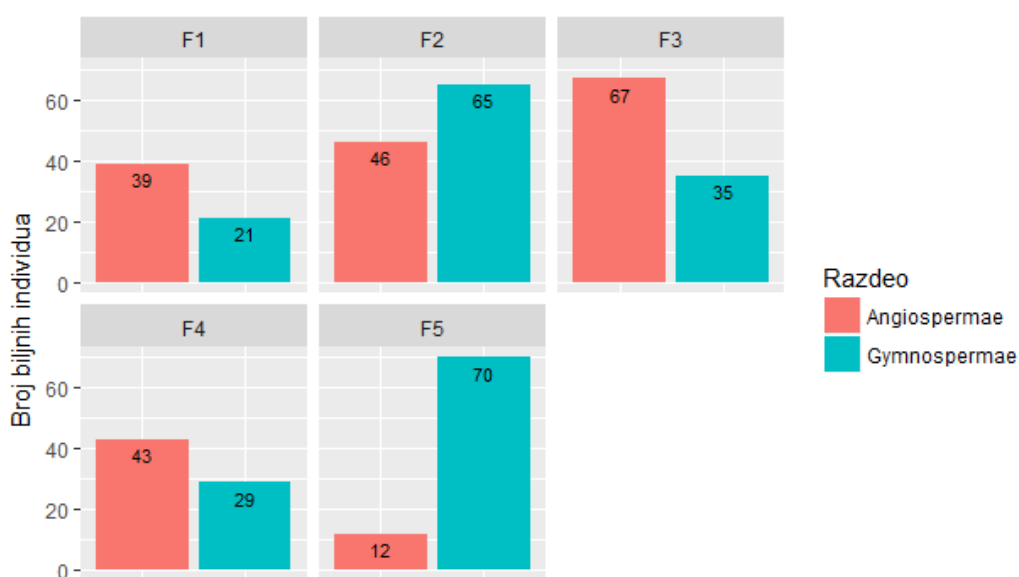
Добијени резултати биће приказани графички, коришћењем функције „ggplot“:

```
p<-ggplot(data=agg.razdeo, aes(x=Group.1, y=x, fill=Group.1)) +
  geom_bar(stat="identity")+
  labs(y="Broj biljnih individua")+
  guides(fill=guide_legend(title="Razdeo"))+
  facet_wrap(~Group.2)
p
```

На овај начин добијен је основни приказ (p), а применом наредних функција додатно ће се уредити његов изглед:

```
p+theme(axis.text.x=element_blank(),
        axis.ticks.x=element_blank(),
        axis.title.x=element_blank())+
  geom_text(aes(label=x), vjust=1.5, color="black", size=3)
```

и као коначни резултат добијена је Слика 20.



Слика 20. Припадност разделима

На сличан начин биће приказана припадност врста одговарајућим фамилијама, за сваку фитоценозу појединачно. Међутим, у овом примеру уместо броја биљних индивидуа биће разматран удео биљака који припада датој фамилији (спектар фамилија). Прво ће се применити следеће команде:

```
agg.fam<-aggregate(df.flora$Broj, by=list(Familija,Fitocenoza),
                    FUN=sum, na.rm=T)
agg.fam
```

на тај начин добијена је табела чијих првих шест редова изгледа како је приказано:

	Group.1	Group.2	x
1	Fagaceae	F1	20
2	Pinaceae	F1	18
3	Taxaceae	F1	3
4	Tiliaceae	F1	19
5	Fagaceae	F2	25
6	Pinaceae	F2	45

Дату табелу је потребно додатно уредити, како би се одредило процентуално учешће сваке од фамилија у укупном саставу. За наведене прорачуне користиће се пакет „dplyr“:

```
library(dplyr)
fam.udeo = agg.fam %>%
  group_by(Group.2) %>%
  mutate(broj_total = sum(x)) %>%
  group_by(Group.2) %>%
  mutate(Per = x/broj_total)
fam.udeo
```

Првих шест редова нове табеле изгледа на следећи начин `head(fam.udeo)`:

	Group.1	Group.2	x	broj_total	Per
	<chr>	<chr>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
1	Fagaceae	F1	20.0	60.0	0.333
2	Pinaceae	F1	18.0	60.0	0.300
3	Taxaceae	F1	3.00	60.0	0.0500
4	Tiliaceae	F1	19.0	60.0	0.317
5	Fagaceae	F2	25.0	111	0.225
6	Pinaceae	F2	45.0	111	0.405

Добијени резултати биће приказани коришћењем функције „ggplot“:

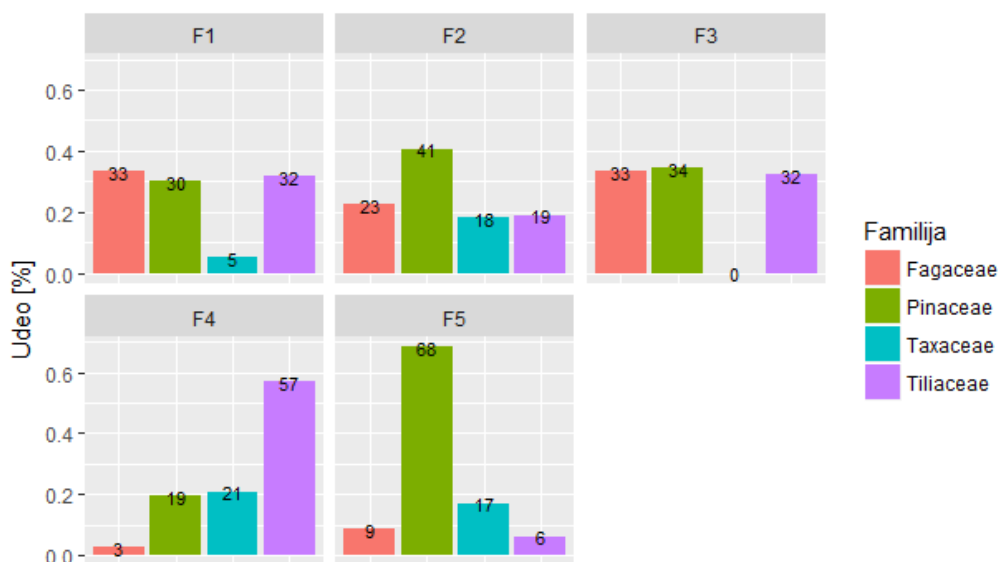
```
p1<-ggplot(data=fam.udeo, aes(x=Group.1, y=Per,
fill=Group.1)) +
  geom_bar(stat="identity")+facet_wrap(~Group.2)+
  guides(fill=guide_legend(title="Familija"))
p1
```

и након имена изгледа добијеног приказа, коришћењем команди:

```
p1+theme(axis.text.x=element_blank(),
```

```
axis.ticks.x=element_blank(),
axis.title.x=element_blank())+
geom_text(aes(label=100*round(Per,2)),
          hjust=0.5, vjust=0.5, color="black", size=3)+
labs(y="Udeo [%]")
```

добија се Слика 21.



Слика 21. Спектар фамилија

На основу добијених резултата може се, на пример, закључити да 68% флоре у фитоценози F₅ чине врсте из фамилије *Pinaceae*, да у фитоценози F₃ не постоји ниједан представник фамилије *Taxaceae*, итд.

Подаци из табела се могу лако могу груписати у складу са различитим условима. Уколико је потребно приказати врсте у анализираним фитоценозама које имају, на пример, више од 20 биљних индивидуа, то ће се учинити помоћу команде:

```
broj.b<-subset(df.flora, Broj>20)
broj.b
```

и као резултат добија се следећи приказ:

Fitocenoza <chr>	Vrsta <chr>	Broj <dbl>	Razdeo <chr>	Familija <chr>
1 F2	A.alba	25.0	Gymnospermae	Pinaceae
2 F2	F.sylvatica	25.0	Angiospermae	Fagaceae
3 F2	T.platyfyllos	21.0	Angiospermae	Tiliaceae
4 F3	F.sylvatica	34.0	Angiospermae	Fagaceae
5 F3	T.platyfyllos	33.0	Angiospermae	Tiliaceae
6 F3	P.abies	23.0	Gymnospermae	Pinaceae
7 F4	T.platyfyllos	41.0	Angiospermae	Tiliaceae
8 F5	P.abies	38.0	Gymnospermae	Pinaceae

Уколико је значајно извојити представнике фамилије *Pinaceae*, то ће се учинити на следећи начин:

```
pinaceae<-subset(df.flora, Familija=="Pinaceae" & Broj>0)
pinaceae
```

и добијен је приказ:

	Fitocenoza	Vrsta	Broj	Razdeo	Familija
	<chr>	<chr>	<dbl>	<chr>	<chr>
1	F1	P.abies	18.0	Gymnospermae	Pinaceae
2	F2	A.alba	25.0	Gymnospermae	Pinaceae
3	F2	P.abies	20.0	Gymnospermae	Pinaceae
4	F3	A.alba	12.0	Gymnospermae	Pinaceae
5	F3	P.abies	23.0	Gymnospermae	Pinaceae
6	F4	A.alba	14.0	Gymnospermae	Pinaceae
7	F5	A.alba	18.0	Gymnospermae	Pinaceae
8	F5	P.abies	38.0	Gymnospermae	Pinaceae

Различити услови се могу лако и комбиновати, на пример уколико је циљ да се прикажу врсте из фитоценоза F₂ и F₅ које припадају скривеносеменицама, оне ће бити издвојене коришћењем команде:

```
skrivenosemenice25<-subset(df.flora,
(Fitocenoza=="F2"| Fitocenoza=="F5") &
Razdeo=="Angiospermae" & Broj>0)
skrivenosemenice25
```

као резултат добија се:

	Fitocenoza	Vrsta	Broj	Razdeo	Familija
	<chr>	<chr>	<dbl>	<chr>	<chr>
1	F2	F.sylvatica	25.0	Angiospermae	Fagaceae
2	F2	T.platyfyllos	21.0	Angiospermae	Tiliaceae
3	F5	F.sylvatica	7.00	Angiospermae	Fagaceae
4	F5	T.platyfyllos	5.00	Angiospermae	Tiliaceae

Поред тога, могуће је дефинисати додатне услове за анализу добијених резултата. На пример, спектар фамилија се може груписати у три категорије: ниска, средња и висока заступљеност, дефинисањем одговарајућих граница за сваку категорију:

```
Zastupljenost<-cut(fam.udeo$Per, breaks=c(-0.01,0.1,0.3, 1),
labels=c("Niska", "Srednja", "Visoka"))
Zastupljenost
fam.udeo$Zastupljenost<-Zastupljenost
fam.udeo
```

и као резултат добија се приказ:

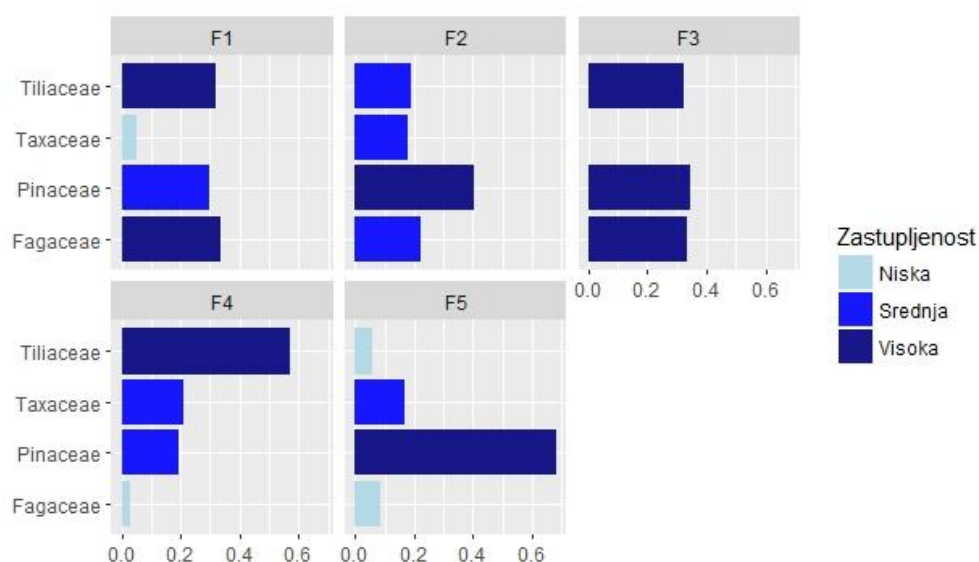
	Group.1	Group.2	x	broj_total	Per	Zastupljenost
1	Fagaceae	F1	20	60	0.33333333	Visoka
2	Pinaceae	F1	18	60	0.30000000	Srednja
3	Taxaceae	F1	3	60	0.05000000	Niska
4	Tiliaceae	F1	19	60	0.31666667	Visoka

5	Fagaceae	F2	25	111	0.22522523	Srednja
6	Pinaceae	F2	45	111	0.40540541	Visoka
7	Taxaceae	F2	20	111	0.18018018	Srednja
8	Tiliaceae	F2	21	111	0.18918919	Srednja
9	Fagaceae	F3	34	102	0.33333333	Visoka
10	Pinaceae	F3	35	102	0.34313725	Visoka
11	Taxaceae	F3	0	102	0.00000000	Niska
12	Tiliaceae	F3	33	102	0.32352941	Visoka
13	Fagaceae	F4	2	72	0.02777778	Niska
14	Pinaceae	F4	14	72	0.19444444	Srednja
15	Taxaceae	F4	15	72	0.20833333	Srednja
16	Tiliaceae	F4	41	72	0.56944444	Visoka
17	Fagaceae	F5	7	82	0.08536585	Niska
18	Pinaceae	F5	56	82	0.68292683	Visoka
19	Taxaceae	F5	14	82	0.17073171	Srednja
20	Tiliaceae	F5	5	82	0.06097561	Niska

Резултати могу бити приказани и графички:

```
s<-ggplot(data=fam.udeo, aes(x=Group.1, y=Per))
s+geom_bar(stat="identity",
aes(fill=Zastupljenost))+
facet_wrap(~Group.2)+
theme(axis.title.x=element_blank(),
axis.title.y=element_blank())+
coord_flip() +
scale_fill_manual(values=alpha(c("lightblue", "blue",
"navy"),0.9))
```

и на тај начин се добија Слика 22.



Слика 22. Заступљеност фамилија

У складу са претходно описаним примерима, може се решити већи број задатака у пракси.

3.4. Задаци за студенте

На основу података који су обезбеђени у документу ParkoviNS.xlsx потребно је урадити следеће задатке:

- одредити индексе α диверзитета (богатство врста, Шенонов и Симсонов индекс) за: а) Дунавски и б) Футошки парк у Новом Саду
- одредити индексе β диверзитета (Цакардов и Соренсенов индекс) за Дунавски и Футошки парк
- анализирати флористички састав – припадност дендрофлоре одговарајућем разделу за Дунавски парк и приказати добијене резултате коришћењем функције ggplot
- анализирати флористички састав – припадност дендрофлоре одговарајућим фамилијама за Футошки парк и приказати добијене резултате коришћењем функције ggplot

4. Еколошки чиниоци

Биљке насељавају одређена станишта (животне просторе, биотопе), и у фази освајања нових простора се адаптирају на присутне станишне услове, а каснијим фазама их, у извесној мери, модификују. Опстанак и развој биљака условљен је деловањем чиниоца спољашње средине који се називају еколошки чиниоци (фактори). **Еколошки чиниоци** могу бити везани за живу и неживу компоненту животне средине, и у складу са тим се разликују биотички и абиотички чиниоци.

Биотички чиниоци укључују узајамне утицаје између живих организама, и ту спадају међусобни утицаји између биљака, међусобни утицаји између биљака и микроорганизама, гљива, животиња, итд. Разликују се интраспецијски или хомотипски односи који представљају односе између јединки исте врсте и интерспецијски или хетеротипски односи који представљају односе између јединки различитих врста. Интерспецијски и у одређеним случајевима интраспецијски односи могу бити неутрални, компетитивни, симбиотички, паразитски и предаторски.

Абиотички чиниоци су сви утицаји спољашње средине који формирају услове живота и омогућавају опстанак биљним врстама. Најзначајнији абиотички чиниоци су: климатски (светлост, температура, влага, ваздух), орографски (рељеф, разуђеност терена, надморска висина, експозиција, нагиб) и едафски чиниоци (физичко-хемијска својства земљишта).

Еколошка валенца представља амплитуду колебања еколошког фактора у којој је могућ опстанак одређене биљне врсте. Еколошка валенца има три основне вредности (кардиналне тачке) и то су: еколошки оптимум, еколошки минимум и еколошки максимум. Еколошки оптимум је вредност еколошког фактора при којој се најбоље одвијају животни процеси биљака, док изван граница еколошког минимума, односно еколошког максимума, животни процеси престају (Слика 23). Оптимална зона обухвата опсег вредности еколошког фактора при којима се одвијају нормалне физиолошке активности биљака и карактерише је максимална бројност популације. Поред основних вредности, често се разматрају вредности еколошког песимума (разликују се горњи и доњи еколошки песимум), који се налази унутар еколошке валенце, близу минималне односно максималне вредности. Зону која се налази између доњег песимума и минимума и зону која се налази између горњег песимума и максимума карактерише екстремни физиолошки стрес и ниска бројност биљних врста.



Слика 23. Еколошка валенца

У зависности од ширине еколошке валенце разликују се стеновалентне и еуривалентне биљне врсте. Стеновалентне врсте опстају у уским опсезима интензитета одређеног еколошког фактора и биљне врсте могу бити стеновалентне за један или више еколошких фактора. Супротно томе, еуривалентне биљне врсте подносе велика колебања појединих еколошких фактора и због тога су ове врсте присутне на различитим типовима станишта. Највећи број коровских врста су еуривалентне у односу на шири спектар еколошких чинилаца.

Као најзначајнији абиотички фактори за опстанак и развој биљних врста издвајају се светлост и влага. Биљке се у односу на захтеве према светлости деле на: хелиофите, скиофите и полускиофите. Хелиофите су врсте које се развијају у условима пуне дневне светлости, слабо подносе засену и насељавају углавном отворена станишта. Примери хелиофита су: *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Fraxinus ornus*, *Larix decidua*, *Populus tremula*, *Liriodendron tulipifera*, итд. Скиофите су врсте које добро подносе засену и могу се развијати у густом шумском склопу. Биљке које припадају скиофитама најчешће имају крупне листове, наизменично распоређене по нодусима и без преклапања, како би до сваког листа појединачно стигла довољна количина доступне светлости. Скиофитама припада мањи број биљних врста и примери су: *Fagus sylvatica*, *Abies alba*, *Ulmus glabra*, *Hedera helix*, итд. Полускиофите су врсте које најбоље успевају у условима пуне дневне осветљености, али које могу поднети извесан степен засене, као на пример: *Picea abies*, *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Carpinus betulus*, *Acer saccharum*, *Acer rubrum*, итд.

У складу са подлогом на којој се развијају разликују се: водене (акватичне) и копнене (терестричне) биљке. Акватичне биљке се називају и хидрофите, и њихов опстанак на стаништима је условљен могућношћу снабдевања потребним гасовима (кисеоником и угљен-диоксидом), као и снабдевањем довољном количином светлости. Терестричне биљке се у односу на захтеве према води деле на: хигрофите, мезофите и ксерофите. Хигрофите су биљке прилагођене условима влажних станишта и најмање су прилагођене суши од свих копнених биљака. У хигрофите спадају врсте из родова *Salix*, *Populus*, итд. Мезофите су хетерогена и широка еколошка група биљака, прилагођене условима умерене влаге. Мезофитама припада већина листопадног дрвећа и жбуња, зељастих ливадских биљака, као и већина гајених биљака. Примери мезофита су: *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus*, највећи број врста из рода *Quercus*, итд. Ксерофите су биљке сушних станишта, прилагођене условима недостатка воде. Недостатак воде је најчешће праћен високим температурама, односно станишта ових биљака се обично одликују условима ксеротермије. У ксерофите спадају: *Nerium oleander*, *Laurus nobilis*, *Quercus ilex*, итд.

Односе између биљних врста и еколошких фактора проучава грана екологије која се назива аутоекологија или екологија врсте. У пејзажној архитектури, хортикултури и другим биотехничким дисциплинама, често се проучава утицај одређеног абиотичког фактора на развој биљних врста; на пример може се испитивати толераност биљних врста према суши, повећаној концентрацији соли у земљишту, итд. Наведена испитивања се обављају спровођењем огледа на огледним пољима или у лабораторијским условима (*in vitro*). Након спровођења огледа, добијени резултати се обрађују применом основних статистичких тестова и један пример статистичке обраде резултата огледа је описан у наредном поглављу.

4.1. Обрада резултата лабораторијских испитивања

У овом поглављу биће описани поступци обраде резултата лабораторијских истраживања за два одабрана примера. Оба примера се односе на испитивање утицаја различитих концентрација NaCl на клијање семена врсте *Amorpha fruticosa*. У првом примеру биће анализиран материјал прикупљен на једном станишту, а у другом ће бити упоређени резултати за материјал скупљен на два станишта са различитим водним режимом.

Пример 1

Циљ лабораторијског испитивања је одређивање утицаја различитих концентрација NaCl на клијање семена врсте *Amorpha fruticosa*. Материјал је прикупљен на станишту које одговара природном распрострањењу багреница – хигрофилне биљне заједнице у близини воденог тока. Разматране су две концентрације раствора: 1000 ppm NaCl и 2000 ppm NaCl. Као контрола, праћено је и клијање семена на подлогама која не садржи NaCl. Клијање је праћено током 14 дана, и након овог периода одређена је техничка клијавост семена.

Поставка огледа се може дефинисати на следећи начин:

- јединица огледа: техничка клијавост семена врсте *Amorpha fruticosa*
- фактор: концентрација раствора NaCl
- нивои фактора (третмани): 0 ppm NaCl, 1000 ppm NaCl и 2000 ppm NaCl
- број понављања: 10

Резултати испитивања су дати као материјал за вежбе. Статистичка обрада резултата у R програму започиње учитавањем потребних пакета и документа са добијеним резултатима огледа:

```
install.packages(c("Rcmdr", "agricolae"))
library(Rcmdr)
library(ggplot2)
library(agricolae)

attach(Praktikum)
ogled<-Praktikum
ogled

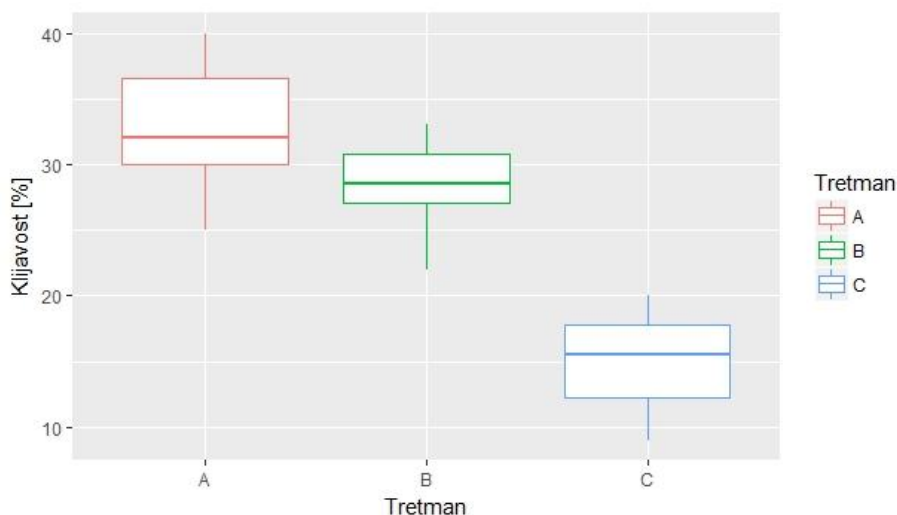
habitat1<-subset(ogled, Staniste=="H1")
habitat1
```

У претходном кораку дефинисано је да се издвоје резултати за станиште H₁ које одговара условима природног распрострањења врсте *Amorpha fruticosa*. Техничка клијавост се може приказати графички коришћењем команди:

```
p1<-ggplot(data=habitat1, aes(x=Tretman, y=Klijavost))+
  geom_boxplot(aes(col=Tretman))+ylab("Klijavost [%]")

p1
```

Као резултат добијена је Слика 24. Вредност клијавости за сваки третман (А, В и С) је дат помоћу „boxplot“ приказа. На овај начин могуће је јасно сагледати вредности максимума, минимума, медијане, првог и трећег квартила за сваки третман, због чега се овај тип приказа често примењује.



Слика 24. Клијавост семена *Amorpha fruticosa*

Једнострука анализа варијансе

Одабрани начин тестирања је једнострука анализа варијансе (енг. One-Way ANOVA). Наведени тест пореди варијабилност у резултатима између три или више група, за које се верује да су последица деловања једне независне променљиве (отуда назив једнострука). Уколико се пореде резултати за само две групе примењује се тзв. „t“ тест.

Једнострука анализа варијансе укључује једну категоријалну променљиву (са три или више нивоа) и једну зависну променљиву. У конкретном примеру независна променљива је концентрација NaCl, а зависна је клијавост семена багрена. Тест се у овом случају примењује да би се утврдило да ли постоје статистички значајне разлике у средњој вредности техничке клијавости багрена у зависности од концентрације NaCl (разматрају се случајеви када је концентрација NaCl једнака 0, 1000 и 2000 ppm). Сврха ANOVA теста је да покаже да ли су разлике међу посматраним групама настале услед случајне грешке (грешке узорковања) или услед деловања независне променљиве (систематског узрочника).

Предуслови за ANOVA тест:

- у једнострукој анализи варијансе постоји само један фактор
- зависна променљива треба да буде приказана као нумеричка променљива
- узорци треба да буду узети из популација које имају једнаке варијансе. Хомогеност варијансе се проверава помоћу Левеновог теста.
- нивои фактора не смеју да утичу једни на друге, тј. не могу да буду у међусобној интеракцији.

Истраживачко питање: Да ли постоје разлике у клијавости семена зависно од концентрације NaCl (третмани А, В и С)?

Нулта хипотеза: Клијање семена је исто без обзира на концентрацију NaCl.

Алтернативна хипотеза: Клијање семена се разликује у зависности од концентрације NaCl.

Након дефинисања нулте и алтернативне хипотезе одређује се ниво поверења. У овом примеру усвојен је интервал поверења од 95% (стандардна вредност).

R команде

У првом кораку, биће проверена хомогеност варијансе применом Левеновог теста, при чему је нулта хипотеза да су варијансе једнаке у све три групе:

```
leveneTest(klijavost~ as.factor(Tretman),data=habitat1)
```

Као резултат добија се:

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  2  0.8424 0.4417
      27
```

Добијена p вредност теста је 0,4417. Правило тестирања је да се p вредност пореди са одабраним нивоом значајности. Ниво значајности је допуштена вероватноћа да се направи грешка *Тупа 1*, тј. да се одбаци нулта када је она тачна. Најчешће се користи 5%-тни (0,05) ниво значајности. У конкретном случају, ниво значајности је 0,4417 што је далеко веће од 0,05, те се прихвата нулта хипотеза и закључује се да су варијансе у све три групе једнаке. На овај начин задовољена је претпоставка ANOVA теста и са испитивањем може да се настави применом команди:

```
anova1<-aov(klijavost~Tretman, data=habitat1)
summary(anova1)
```

На тај начин добијени су резултати:

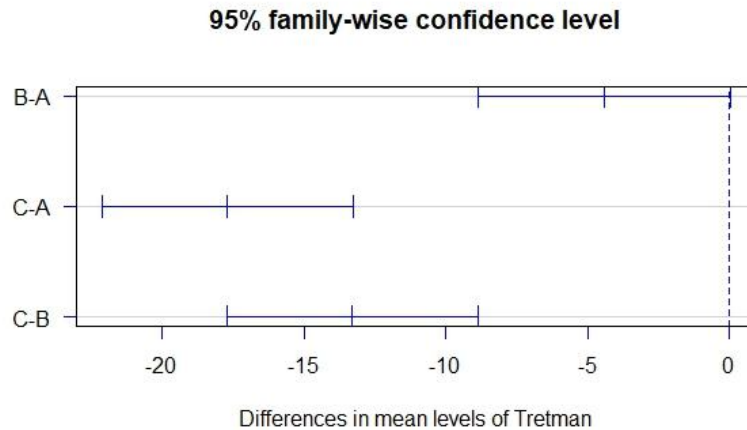
```
> summary(anova1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Tretman         2 1698.5   849.2    53.05 4.43e-10 ***
Residuals      27  432.2    16.0
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Нулта хипотеза ANOVA теста је: средње вредности клијавости багренаца су једнаке за све три концентрације NaCl. Са тим у вези је F статистика која пореди варијабилност у групама са варијабилношћу у оквиру група. Резултати показују да је регистрована вредност F статистике висока (53,05) и да је p вредност мања од 0,05. Последишно, одбацује се нулта хипотеза да нема значајних разлика у клијавости багренаца између три групе и прихвата се алтернативна да постоје разлике у клијавости у зависности од концентрације NaCl.

На основу добијених резултата утврђено је да постоје разлике међу групама, али не и међу којим. За ту сврху се користи „HSD posthoc“ тест:

```
t<-TukeyHSD(anova1)
plot(t, las=1, col="blue")
```

Добијени резултати су приказани на Слици 25.



Слика 25. HSD тест

На основу добијених резултата закључује се да се клијавост најмање разликује за третмане А и В, а највеће разлике у клијавости постоје између третмана А и С. Потпуније тумачење је могуће сврставањем добијених резултата у одговарајуће хомогене групе, што се остварује применом команде:

```
posthoc1<-HSD.test(anova1, "Tretman", group=T)
posthoc1
```

Као резултат добијен је следећи приказ:

```
kljavost groups
A      32.7    a
B      28.3    a
C      15.0    b
```

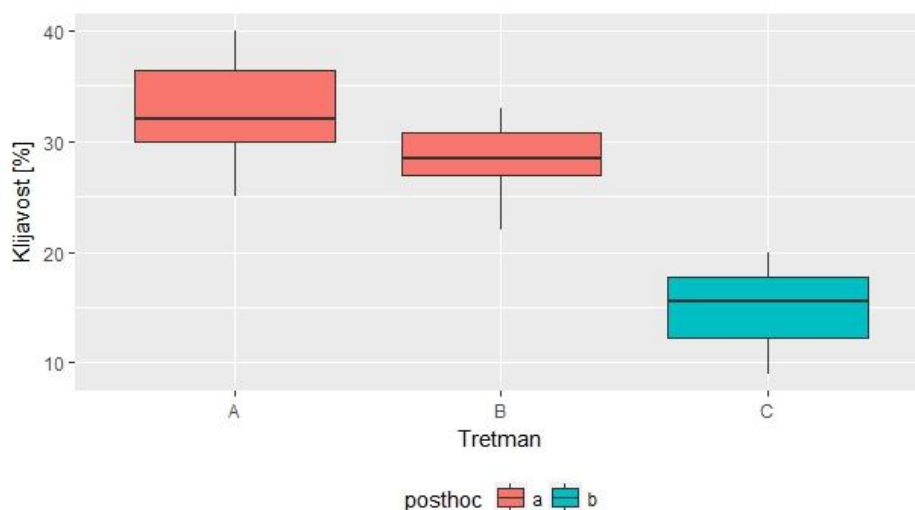
На основу приказаних резултата закључује се да се да не постоје статистички значајне разлике у клијању између третмана А и В – они припадају истој хомогеној групи (a). Наиме, највеће вредности клијања су добијене за третмане А и В, а најнижа за третман С. Добијени резултати се могу придружити постојећој табели:

```
habitat1$posthoc[habitat1$Tretman == "A"] <- "a"
habitat1$posthoc[habitat1$Tretman == "B"] <- "a"
habitat1$posthoc[habitat1$Tretman == "C"] <- "b"
habitat1
```

Након тога могуће је приказати добијене резултате графички:

```
p2<-ggplot(data=habitat1,
aes(x=Tretman, y=kljavost), col=posthoc)+
  geom_boxplot(aes(fill=posthoc))+
  theme(legend.position="bottom")+ylab("kljavost [%]")
p2
```

На тај начин добијена је Слика 26.



Слика 26. Клијавост семена *Amorpha fruticosa*

Пример 2

У овом примеру биће анализирани вредности клијавости семена багрена прикупљеног на два типа станишта, при различитим концентрацијама NaCl. Наиме, претходни пример је проширен увођењем резултата клијавости семена анализираних врсте прикупљеног на станишту које не одговара условима природног распрострањења багрена, у питању су ксерофилне фитоценозе у близини саобраћајница. Задатак у овом примеру је да се испита утицај два фактора: типа станишта и концентрације NaCl на клијање семена *Amorpha fruticosa*. Концентрације NaCl су исте као у претходном примеру: 0, 1000 и 2000 ppm. Поставка огледа се може дефинисати на следећи начин:

- јединица огледа: техничка клијавост семена врсте *Amorpha fruticosa*
- фактор 1: тип станишта
- нивои фактора 1: хигрофилно станиште, ксеротермно станиште
- фактор 2: концентрација раствора NaCl
- нивои фактора 2: 0 ppm NaCl, 1000 ppm NaCl и 2000 ppm NaCl

Резултати огледа су дати као материјал за вежбе. На почетку ће бити инсталиран пакет "pastecs" који омогућава прорачун вредности дескриптивне статистике.

```
install.packages("pastecs")
library(pastecs)
stat.desc(klijavost)
```

Као резултат добијен је следећи приказ:

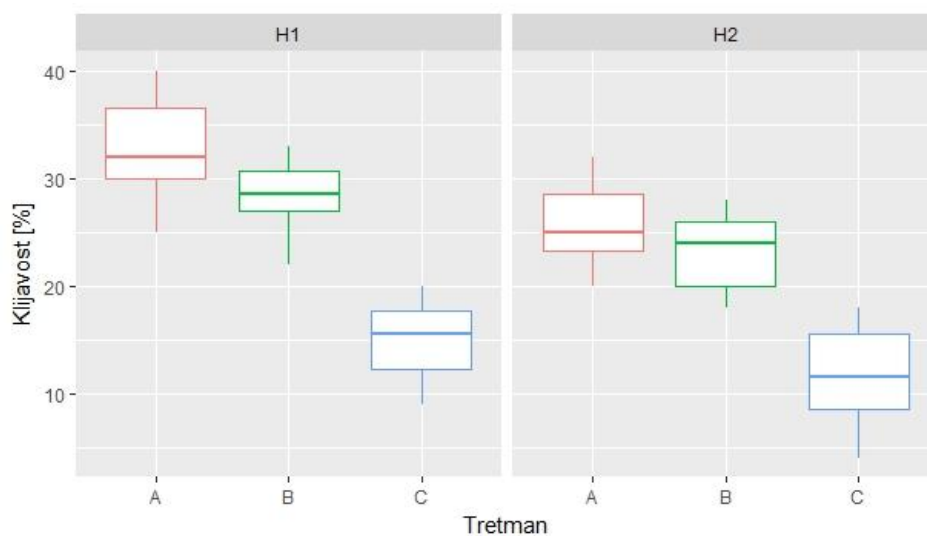
```
> stat.desc(klijavost)
  nbr.val  nbr.null  nbr.na    min    max  range
 59.000000  0.000000  0.000000  4.000000 40.000000 36.000000
  sum    median    mean  SE.mean CI.mean.0.95    var
1329.000000 24.000000 22.5254237  1.1095347  2.2209749 72.6329632
  std.dev  coef.var
  8.5224975  0.3783502
```

На овај начин су поред максималне, минималне вредности, медијане и аритметичке средине одређене и вредности стандардне грешке, стандардне девијације, коефицијента варијације, итд.

Као и у претходном примеру, резултати огледа биће презентовани применом "boxplot" приказа:

```
p3<-ggplot(data=ogled, aes(x=Tretman, y=Klijavost))+
  geom_boxplot(aes(col=Tretman))+ theme(legend.position="none")
+ylab("Klijavost [%]") +xlab("Tretman")
p3+facet_wrap(~Staniste)
```

чиме је добијена Слика 27.



Слика 27. Клијавост семена *Amorpha fruticosa*, станишта H₁ и H₂

Двострука анализа варијансе

У овом примеру одабрани начин тестирања је двострука анализа варијансе (енг. Two-Way ANOVA). Дати тест пореди варијабилност у резултатима између три или више група, за које се верује да су последица деловања две независне променљиве, односно два фактора. Слично као и у претходном тесту (једнострука анализа варијансе) и овде је потребно да фактори буду категорички односно неметрички (није број, већ нека категорија), док зависна променљива мора да буде нумеричка (интервал или број). У овој примеру зависна променљива је клијавост семена багренаца, док су фактори: тип станишта и концентрација NaCl. Двострука анализа варијансе даје одговор на три истраживачка питања, која у датом примеру гласе:

1. Да ли постоје разлике у клијавости семена зависно од типа станишта?
2. Да ли постоје разлике у клијавости семена зависно од концентрације NaCl?
3. Да ли постоје разлике у клијавости семена зависно од међусобне везе типа станишта и концентрације NaCl?

Предуслови за примену двоструке анализе варијансе одговарају предусловима примене једноструке анализе варијансе. Поред тога постоји и додатни услов који се односи на нормалност расподеле резидуала и овај услов ће бити објашњен приликом решавања датог примера.

R команде

У првом кораку биће проверена хомогеност варијансе применом Левеновог теста:

```
| leveneTest(klijavost~ as.factor(Staniste)*as.factor(Tretman),  
| data=ogled)
```

Добијени резултат је:

```
| Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)  
|  
|      Df F value Pr(>F)  
| group  5  0.4733 0.7945  
|      53
```

На основу добијених вредности закључује се да је ниво значајности 0,7945 што значи да се прихвата нулта хипотеза да су варијансе једнаке, тако да се може наставити са применом ANOVA теста:

```
| anova2<-aov(klijavost~as.factor(Staniste)*as.factor(Tretman),  
| data=ogled)
```

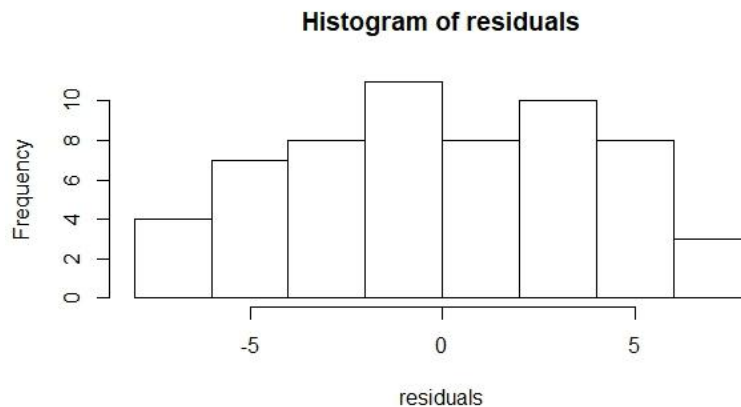
У наредном кораку ће бити проверена нормалност расподеле резидуала. Вредност резидуала ће бити одређена применом команде:

```
| residuals<-anova2$residuals
```

и након тога ће њихова расподела бити приказана помоћу хистограма:

```
| hist(residuals)
```

Нај начин се добија Слика 28.



Слика 28. Расподела резидуала

Закључује се да резидуали имају нормалну расподелу тако да је испуњен предуслов примене Two-Way ANOVA теста.

Вредности ANOVA теста се одређују помоћу команде:

```
| summary(anova2)
```

и добија се следећи приказ:

```
> anova2<-aov(klijavost~as.factor(Staniste)*as.factor(Tretman),data=ogled)
> summary(anova2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
as.factor(Staniste)	1	398.0	398.0	23.966	0.00000958	***
as.factor(Tretman)	2	2809.2	1404.6	84.575	< 2e-16	***
as.factor(Staniste):as.factor(Tretman)	2	30.7	15.4	0.925	0.403	
Residuals	53	880.2	16.6			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

На основу добијених резултата закључује се да постоје статистички значајне разлике у клијавости семена у зависности од типа станишта. Поред тога, може се закључити да постоје статистички значајне разлике у клијању семена зависно од концентрације NaCl. На крају, закључује се да не постоје статистички значајне разлике у клијавости семена у зависности од међусобне везе између типа станишта и концентрације NaCl и да се, у складу са тим, може уопштити утицај концентрације NaCl на клијавост семена за оба типа станишта. Детаљнија анализа се остварује применом post-hoc тестова и у овом примеру је одабран Tukey HSD тест:

```
| tukeyHSD(anova2)
```

Приказ резултата за фактор „станиште“ је:

```
$`as.factor(Staniste)`
```

	diff	lwr	upr	p adj
H2-H1	-5.195402	-7.324007	-3.066797	0.0000096

На основу добијених вредности закључује се да је клијавост семена већа за материјал прикупљен на станишту H₁, што је очекивани резултат. Наиме, уколико се анализира Слика 23, може се закључити да станиште H₁ припада оптималној зони за еколошки фактор "доступност воде", док H₂ се налази између оптималне и песималне зоне.

Приказ резултата за фактор „концентрација NaCl“ је:

```
$`as.factor(Tretman)`
```

	diff	lwr	upr	p adj
B-A	-3.439353	-6.587377	-0.2913284	0.0292112
C-A	-15.950000	-19.057403	-12.8425971	0.0000000
C-B	-12.510647	-15.658672	-9.3626230	0.0000000

Добијени резултати указују да постоје статистички значајне разлике између сва три пара концентрација NaCl. Тачне вредности разлика у средњим вредностима приказане су у колони "diff" и тако се може закључити да је, у просеку, клијавост при третману А већа за 15.95 у односу на клијавост при третману С, итд.

На крају приказани су резултати за интеракцију оба фактора, станишта и концентрације NaCl:

```
$`as.factor(Staniste):as.factor(Tretman)`
      diff      lwr      upr      p adj
H2:A-H1:A -6.900000 -12.288224 -1.5117762 0.0050033
H1:B-H1:A -4.400000 -9.788224  0.9882238 0.1699650
H2:B-H1:A -9.366667 -14.902540 -3.8307930 0.0000930
H1:C-H1:A -17.700000 -23.088224 -12.3117762 0.0000000
H2:C-H1:A -21.100000 -26.488224 -15.7117762 0.0000000
H1:B-H2:A  2.500000 -2.888224  7.8882238 0.7433889
H2:B-H2:A -2.466667 -8.002540  3.0692070 0.7742036
H1:C-H2:A -10.800000 -16.188224 -5.4117762 0.0000035
H2:C-H2:A -14.200000 -19.588224 -8.8117762 0.0000000
H2:B-H1:B -4.966667 -10.502540  0.5692070 0.1025630
H1:C-H1:B -13.300000 -18.688224 -7.9117762 0.0000000
H2:C-H1:B -16.700000 -22.088224 -11.3117762 0.0000000
H1:C-H2:B -8.333333 -13.869207 -2.7974596 0.0006062
H2:C-H2:B -11.733333 -17.269207 -6.1974596 0.0000010
H2:C-H1:C -3.400000 -8.788224  1.9882238 0.4341831
```

Као и у претходним примерима, оцењује се да статистички значајна разлика постоји између парова нивоа фактора код којих је ниво значајности $p < 0.05$. У том погледу, закључује се да је за исте концентрације NaCl клијавост увек већа за материјал прикупљен на станишту H₁, као и да се клијавост на оба типа станишта смањује са повећањем концентрације NaCl. Резултати се могу објаснити био-еколошким особеностима врсте, *Amorpha fruticosa* је факултативни халофит, што значи да се може развијати на умерено заслањеним подлогама, али њеном развоју више одговарају незаслањена земљишта.

Пошто фактор „станиште“ има два, а фактор „концентрација NaCl“ три нивоа, постоји укупно шест комбинација нивоа фактора које се могу анализирати као појединачне групе. Оне су у документу који приказује резултате огледа означене као: 1A, 1B, 1C, 2A, 2B и 2C, при чему број означава станиште, док су словом означене различите концентрације NaCl. За дате групе се може поновити ANOVA тест и HSD тест и овај поступак је сличан као у примеру 1.

```
anova3<-aov(data=ogled, klijavost~Oznaka)
summary(anova3)
posthoc2<-HSD.test(anova3, "Oznaka", group=T)
posthoc2
```

Као резултат HSD теста, вредности клијања су сврстане у одговарајуће хомогене групе.

```
      klijavost groups
1A  32.27273      a
1B  28.33333     ab
2A  25.80000      b
2B  23.33333      b
1C  15.00000      c
2C  11.60000      c
```

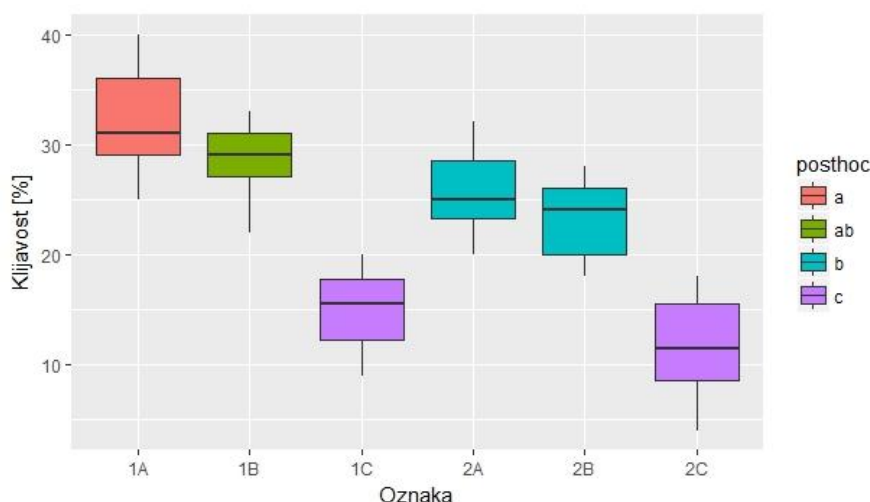
Резултати анализе ће бити придружени основној табели:

```
ogled$posthoc[ogled$oznaka == "1A"] <- "a"
ogled$posthoc[ogled$oznaka == "1B"] <- "ab"
ogled$posthoc[ogled$oznaka == "1C"] <- "c"
ogled$posthoc[ogled$oznaka == "2A"] <- "b"
ogled$posthoc[ogled$oznaka == "2B"] <- "b"
ogled$posthoc[ogled$oznaka == "2C"] <- "c"
ogled
```

Након тога, могуће је графички приказати добијене резултате, применом команди:

```
p4<-ggplot(data=ogled, aes(x=Oznaka, y=Klijavost), col=posthoc)+
  geom_boxplot(aes(fill=posthoc))+
  ylab("Klijavost [%]")
p4
```

На тај начин добијена је Слика 29, која омогућава једноставније тумачење резултата.



Слика 29. Клијавост семена *Amorpha fruticosa*, станишта Н₁ и Н₂

Закључује се да је клијавост најинтензивнија за материјал са станишта Н₁ при концентрацији 0 ppm NaCl (контрола), следи је клијавост на истом станишту при концентрацији 1000 ppm, а затим следе вредности клијавости на станишту Н₂ при концентрацијама 0 и 1000 ppm, међу којима не постоји статистички значајна разлика. Најниже вредности су добијене за концентрације 2000 ppm NaCl на оба станишта.

4.2. Задатак за студенте

На основу података приказаних у документу *Ogled_vezba.xlsx* потребно је обавити статистичку анализу клијавости семена врсте *Carpinus betulus*. Оглед обухвата анализу два чиниоца, светлости и температуре и при томе су за светлост су разматрана два, а за температуру три различита режима.

5. Ареал биљних врста

Ареал биљне врсте је област коју одређена врста заузима својим распрострањањем. Синоним за ареал је географски опсег врсте. Осим ареала врсте често је важно разматрати и распрострањање виших таксономских категорија, тако да постоје и ареал родова, фамилија, редова и супротно томе, може се разматрати ареал нижих таксономских категорија, тако да се разликују ареал подврста и ареал варијетета. На основу структуре и облика издвајају се два основна типа ареала: компактни и дисјунктни ареал.

Компактни ареал је тип ареала код кога врста заузима једну целовиту површину. Уколико постоји део ареала који заузима мању површину изван основног целовитог дела, дати део ареала се назива енклава. Компактни ареал имају врсте: *Tilia cordata*, *Fagus sylvatica*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, итд.

Дисјунктни ареал је тип ареала код кога врста заузима више одвојених површина. Узорци настанка дисјунктног ареала су бројни: климатски фактори, антропогени утицај, конкуренција између врста, итд. Дисјунктни ареал имају врсте: *Pinus nigra*, *Picea abies*, *Cercis siliquastrum*, итд.

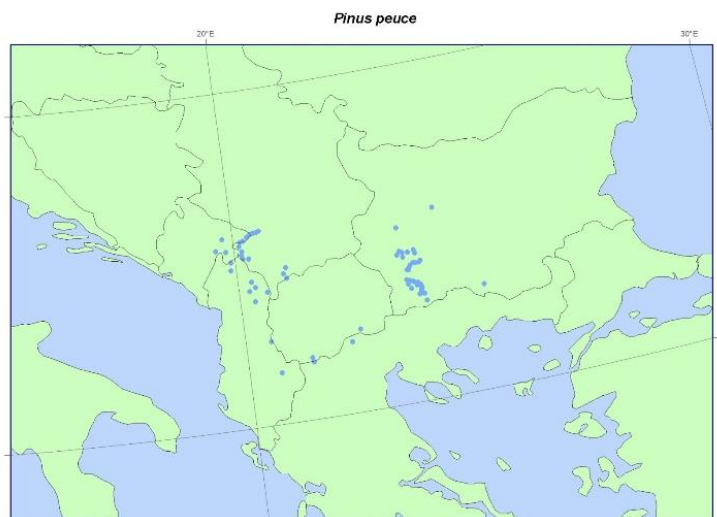
Величина ареала варира у зависности од врсте, еуривалентне врсте односно врсте са широком еколошком валенцом имају већи ареал, док стеновалентне, односно врсте које опстају у уским опсезима једног или више еколошких фактора имају и мањи ареал.

У односу на величину ареала издвајају се две граничне категорије биљних врста: космополитске и ендемске. Космополитске или еурихорне врсте су биљке које су настањене на свим континентима. Космополитски тип распрострањења је изражен код водених биљака и репрезентативан пример космополитске врсте је *Phragmites communis* (трска). Појава космополитизма код водених биљака се објашњава као последица деловања релативно уједначених еколошких фактора у воденој средини. Супротно космополитским врстама постоје ендемичне или стенохорне врсте код којих је ареал распрострањања ограничен. У зависности од величине ареала, ендемичне врсте се деле на: стеноендемите (распрострањање ограничено на неколико хектара или чак ара), локалне ендемите (распрострањање везано за једну флористичку провинцију), ендемити у правом смислу (ареали заузимају један флористички подрегион) и субендемите (који заузимају један флористички подрегион и делове суседних подрегиона).

Ареали врста се често картирају тако што се на географску мапу наносе тачке са одговарајућим координатама на којима је регистровано присуство одређене биљне врсте. Периферне тачке на карти одређују границе ареала. Важно је напоменути да унутар граница ареала врста није равномерно распоређена, по правилу врста је најзаступљенија у центру, док се заступност смањује са приближавањем границама. Граница ареала може бити стварна и изнуђена; стварна граница је узрокована еколошким чиниоцима и подразумева да биљка насељава простор у коме може да се прилагоди абиотичким, пре свега климатским факторима и да се ван тог простора неће ширити, а изнуђена граница се односи на постојање одређене механичке баријере у простору као што су морска пространства, планински масиви и сл.

Карте које приказују ареал врста (или других таксономских јединица) називају се хоролошке карте. Ареал се на хоролошким картама представља помоћу два основна графичка метода и то су тачкасти и контурни метод.

Тачкасти метод подразумева приказивање распрострањења помоћу тачака и основна предност овог метода је што омогућава лако сагледавање густине ареала. Пример хоролошке карте са наведеним типом приказа је дат на Слици 30 и приказано је распрострањење врсте *Pinus peuce*, ендемита Балканског полуострва.



Слика 30. Ареал врсте *Pinus peuce*

<http://www.euforgen.org/species/pinus-peuce/>

Контурни метод подразумева спајање граничних тачака распрострањења и сенчење тако добијене површине. Основна предност овог метода је јасно приказивање граница ареала предметне врсте.

Посебна врста хоролошких карти су квантификоване хоролошке карте које осим распрострањења приказују и квантитативну оцену једног или више карактера као што су животне форме, еколошки параметри, итд. Стандардне и квантификоване хоролошке карте имају велики значај за дефинисање стратегија заштите биодиверзитета, састављање црвених листа, управљање стаништима и пределима, као и за моделирање распрострањења врста односно прогнозу будућег стања које може настати као последица климатских промена, ширења инвазивних врста и сл.

5.1. Картирање ареала биљних врста

У следећем задатаку ће бити приказано како се ареал биљних врста може картирати коршћењем статистичког програма R Studio.

Уколико су познате координате распрострањења одређене биљне врсте картирање је могуће обавити у програму R или неком другом програму, додавањем сваке координате на географску карту. Наведени поступак је релативно лако применити када су у питању ендемичне врсте (нпр. *Ramonda serbica*, *Pinus peuce*). За остале примере, када је ареал врсте односно број координата већи, корисно је преузети податке о распрострањењу из одговарајуће базе.

У наведеном примеру подаци о распрострањењу ће бити преузети из R пакета *rgbif* чиме је поступак картирања ареала скраћен. Коришћењем овог пакета биће картирани ареали врста *Tilia tomentosa* и *Tilia cordata* засебно, а једна карта ће приказати ареал обе врсте.

Картирање ареала врсте *Tilia tomentosa*

У циљу картирања распрострањења биљних врста потребно је инсталирати (и након тога учитати) следеће пакете:

```
install.packages(c("rgbif", "maps", "ggmap", "mapdata"))
library(ggplot2)
library(dplyr)
library(ggmap)
library(maps)
library(mapdata)
library(rgbif)
```

Пакет *rgbif* омогућава да се за одређену биљну врсту добије преглед локација на којима је забележено њено присуство. У овом задатку то је врста *Tilia tomentosa* и њу је потребно пронаћи у бази података коју овај пакет нуди. Како би се из базе искључили подаци који су непотпуни примениће се следећа команда:

```
data.base.lipa<- occ_search(scientificName = "Tilia tomentosa",
hasCoordinate = TRUE,
hasGeospatialIssue = FALSE)
data.base.lipa
```

добијена база укључује 504 локације:

```
> data.base.lipa
Records found [504]
```

Свака локација је повезана са 128 карактеристика које су значајне за дату врсту и њено распрострањење, и неке од карактеристика које су садржане у бази су:

```
> names(data.base.lipa$data)

 [1] "name"                "key"
 [3] "decimalLatitude"     "decimalLongitude"
 [5] "issues"              "datasetKey"
 [7] "publishingOrgKey"    "publishingCountry"
 [9] "protocol"            "lastCrawled"
[11] "lastParsed"          "crawlId"
[13] "extensions"          "basisOfRecord"
[15] "taxonKey"             "kingdomKey"
[17] "phylumKey"          "classKey"
[19] "orderKey"            "familyKey"
[21] "genusKey"            "speciesKey"
[23] "scientificName"      "kingdom"
[25] "phylum"            "order"
[27] "family"              "genus"
[29] "species"             "genericName"
```

За потребе решавања постављеног задатка потребно је креирати нову табелу која ће садржати податке о географској дужини и географској ширини локација на којима је врста регистрована:

```
locs <- subset(data.base.lipa$data,
               select=c(decimalLongitude, decimalLatitude))
locs
```

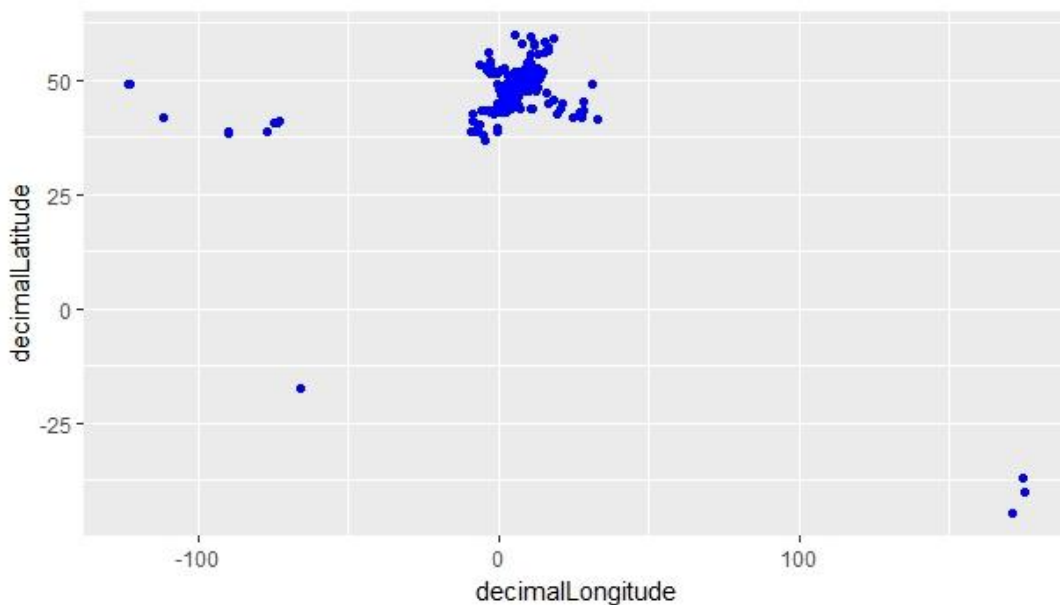
Првих шест редова нове табеле изгледа како је приказано:

```
> head(locs)
# A tibble: 6 x 2
  decimalLongitude decimalLatitude
      <dbl>         <dbl>
1         5.59         45.4
2        14.7         51.7
3        10.8         59.8
4        12.9         52.3
5         6.65         46.4
6         6.56         51.1
```

Добијене резултате је могуће приказати графички применом функције ggplot:

```
p<-ggplot(locs, aes(decimalLongitude, decimalLatitude))
p+geom_point(color="blue")
```

и тај начин добија се следећи приказ:



Слика 31. Координате распрострањења врсте *Tilia tomentosa*

Добијени подаци треба да буду повезани са картом света како би преглед распрострањања био потпун. Карта света се може добити коришћењем команди:

```

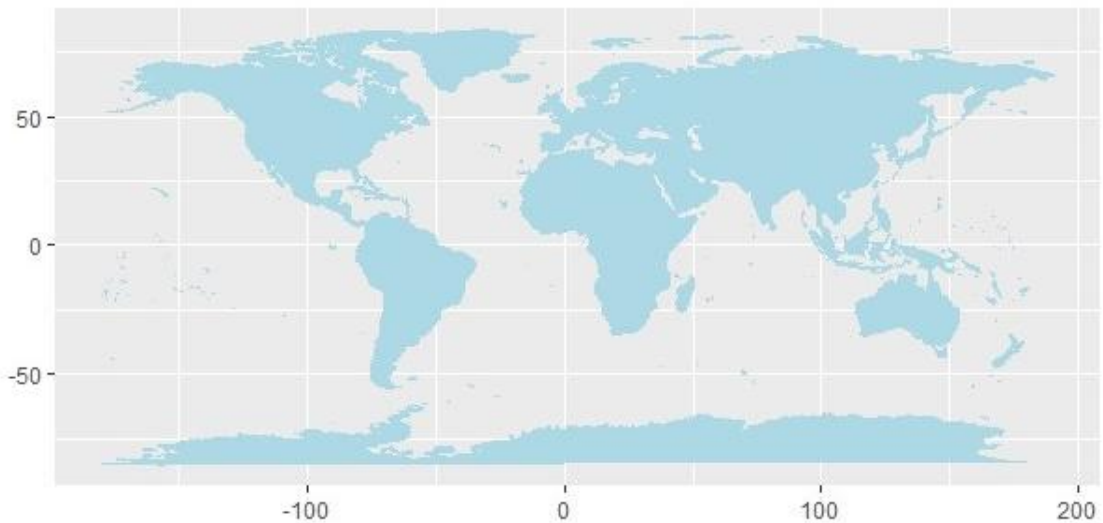
world_map <- map_data("world")
ggplot(world_map)
p <- ggplot() + coord_fixed() +
  xlab("") + ylab("")
p

base_world_map <- p + geom_polygon(data=world_map,
  aes(x=long, y=lat, group=group), color="light blue",
  fill="light blue")

base_world_map

```

и изгледа као на Сlici 32.



Слика 32. Карта света, ggplot пакет

Добијени приказ се може додатно уредити применом следећих команди:

```

c <- theme(panel.grid.major = element_blank(),
  panel.grid.minor = element_blank(),
  panel.background =
  element_rect(fill = 'white', colour = 'white'),
  axis.line = element_line(colour = "white"),
  axis.ticks=element_blank(),
  axis.text.x=element_blank(), axis.text.y=element_blank())

base_world <- base_world_map + c

base_world

```

Сада је потребно повезати координате распрострањења врсте *Tilia tomentosa* и карту света у један приказ и то ће се остварити на следећи начин:

```

map_tilia <- base_world +
  geom_point(data=locs,
  aes(x=decimalLongitude, y=decimalLatitude),
  colour="darkblue",
  fill="darkblue",
  size=2, alpha=0.5)
map_tilia

```

Добијеној карти се може додати наслов:

```
map_tilia + ggtitle ("Распрострањење врсте Tilia tomentosa") +  
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))
```

и на тај начин се добија коначна карта (Слика 33).



Слика 33. Распрострањење врсте *Tilia tomentosa*

Картирање ареала врсте *Tilia cordata*

На сличан начин може се добити и распрострањење за врсту *Tilia cordata*. Поступак је сада краћи јер је већ креирана основна карта, пакети су учитани, итд. Најпре ће бити одређене координате локација на којима је врста регистрована.

```
data.base.lipa1<- occ_search  
(scientificName = "Tilia cordata",  
hasCoordinate = TRUE,  
hasGeospatialIssue = FALSE)  
data.base.lipa1  
  
locs1 <- subset(data.base.lipa1$data,  
select=c(decimalLongitude, decimalLatitude))  
locs1
```

Сада је могуће приказати распрострањење на карти света, коришћењем команди:

```
map_tilia1 <- base_world +  
geom_point(data=locs1,  
aes(x=decimalLongitude, y=decimalLatitude),  
colour="brown1", fill="brown1", size=2, alpha=0.5)  
  
map_tilia1  
  
map_tilia1 + ggtitle ("Распрострањење врсте Tilia cordata") +  
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))
```

На тај начин добијена је Слика 34.



Слика 34. Распрострањење врсте *Tilia cordata*

Картирање ареала врста *Tilia tomentosa* и *Tilia cordata*

На крају ће на једној карти бити приказана распрострањења врста *Tilia tomentosa* и *Tilia cordata*. У првом кораку биће издвојене географске координате локација на којима су врсте регистроване, као и латински називи врста. Уколико би биле издвојене само координате, коначна карта би приказала укупну расподелу наведене две врсте, док не би било могуће разликовати распрострањење за сваку од њих. Придруживање назива врста координатама на којима су оне регистроване омогућава да се на карти прикаже распрострањење за обе врсте појединачно (најчешће се користе различите боје).

```
loc.n<-subset(data.base.lipa$data,
select=c(name, decimalLongitude, decimalLatitude))
loc.n

loc.n1<-subset(data.base.lipa1$data,
select=c(name, decimalLongitude, decimalLatitude))
loc.n1
```

Називи врста и координате локација ће бити повезане у заједничку базу:

```
loc.merge<-rbind(loc.n, loc.n1)
loc.merge
```

Сада је могуће добити карту која приказује распрострањење обе врсте:

```
map.tilia.2 <- base_world +
  geom_point(data=loc.merge,
    aes(x=decimalLongitude, y=decimalLatitude,
      fill=loc.merge$name,
      color=loc.merge$name), size=2, alpha=0.3)+
  theme(legend.position = "bottom")+
  theme(legend.title = element_blank())
map.tilia.2
```

Карта је приказана на Слици 35.



Слика 35. Распрострањење врста *Tilia cordata* и *Tilia tomentosa*

Увеличавањем добијеног приказа у R-у могу се јасно сагледати локације на којима се ареал ових врста подудара.

5.2. Задатак за студенте

Направити појединачне и заједничку хоролошку карту за врсте:

- *Acer campestre*
- *Acer palmatum*

6. Губитак биљних врста

На свету је описано приближно 270.000 врста васкуларних биљака и процењује се да је 12% њих угрожено, на различите начине и у различитом степену. Изумирање врста је природан процес, али је антропогени утицај узроковао да оно буде 1.000 пута брже од нормалне стопе изумирања, тако да на годишњем нивоу нестане приближно 0,05% укупног броја врста.

Фактори који утичу на губитак биљних врста се деле на детерминистичке и стохастичке. У детерминистичке факторе спадају: губитак станишта, прекомерна експлоатација природних ресурса, интродукција алохтоних врста, загађивање животне средине и сл. У стохастичке факторе се убрајају демографски, генетички и фактори везани за појаву катастрофа. Највећи број истраживања је усмерен на процену утицаја детерминистичких фактора на губитак биљних врста. У наставку текста биће описано како најважнији детерминистички фактори утичу на губитак диверзитета флоре.

Губитак станишта директно угрожава опстанак биљних врста, јер у биотопу свака врста заузима одговарајуће место (еколошку нишу), простор на коме остварује своје животне активности. На сваком биотопу владају специфични станишни услови и уколико је врста на њих боље адаптирана теже ће опстати у измењеним условима средине (услови који настају после пожара, сече шума, исушивања мочвара и сл.). У том погледу су посебно осетљиве ендемичне, реликтне и острвске популације. Деструкција или деградација станишта је примарни узрок угрожености биљних врста.

Интродукција алохтоних врста представља узрок губитка биодиверзитета, јер се увођењем нове врсте нарушава успостављена равнотежа и специфични међусобни односи између врста. Поред тога, алохтоне врсте су, по правилу, агресивне и лако прилагодљиве јер немају природне непријатеље на новим стаништима.

Интродукција алохтоних врста се, у неким случајевима, спроводи намерно, на пример када се врсте уводе због својих биомелиоративних функција (нпр. *Robinia pseudoaccacia*), примене у исхрани (нпр. *Amygdalus communis*), орнаменталних карактеристика (нпр. *Salix matsudana*, *Paulownia tomentosa*), значаја за дрвну индустрију (нпр. *Pinus strobus*) и сл., а некада је интродукција алохтоних врста случајна. Процењује се да је, на нивоу Европе, 1/3 алохтоних врста унета намерно, док су преостале 2/3 алохтоних врста унете ненамерно. Намерно или случајно интродуковане врсте пролазе кроз процес натурализације и неке од њих не могу дуго опстати на новим стаништима, док друге показују високу адаптивност, успевају да се прилагоде новим станишним условима и у неким случајевима постају чак и инвазивне. Процењује се да приближно 3% интродукованих врста имају инвазивни карактер на новим стаништима.

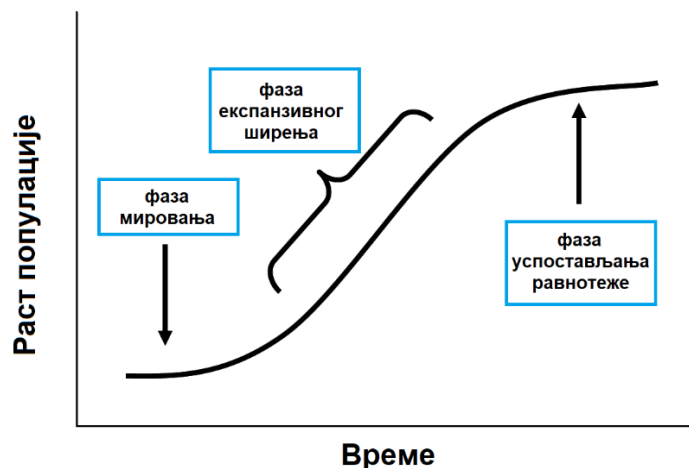
Инвазивне врсте се брзо шире на локалитетима изван свог природног распрострањења и захваљујући својим морфолошким, анатомским, физиолошким карактеристикама и биеколошким захтевима лако потискују локалну флору. Инвазивне врсте имају способност самосталног обнављања животног циклуса и њихово ширење представља велику опасност за очување биодиверзитета. Опасност за биодиверзитет је последица њихове изражене компетитивности, инвазивне врсте су најчешће скромнијих захтева

према факторима спољашње средине у односу на локалне, и у еколошком смислу вредније биљне врсте, тако да их лако потискују, шире се, и у граничним случајевима могу колонизовати различите типове станишта.

Процес инвазије обухвата два основна процеса:

- интродукцију биљне врсте, успостављање физиолошких процеса и обнављање животног циклуса на новом станишту и
- ширење врсте унутар и ван граница новог станишта.

Процес ширења врсте обухвата три основне фазе које су приказане на Слици 36. Прва фаза обухвата фазу мировања коју карактерише ниска бројност популације интродуковане биљне врсте. Фаза мировања, у којој врста не показује свој инвазивни карактер, траје различито у зависности од врсте – од неколико месеци до неколико деценија. На основу тога се може закључити да је потребно посматрање интродуковане биљне врсте током дугог временског периода како би се са сигурношћу тврдило да дата врста на новим стаништима нема инвазивни карактер. У фази експанзивног ширења врста најагресивније испољава своја инвазивна својства. Ова фаза траје све док биљна врста не наиђе на лимитирајући фактор (или факторе) спољашње средине на који не може да се прилагоди или на природне непријатеље. Природни односно биолошки непријатељи су друге инвазивне врсте (посебно оне које имају исте или сличне еколошке захтеве) као и болести и штеточине које се појављују тек након процеса натурализације интродуковане биљне врсте. У коначној фази, фази успостављања равнотеже, инвазивна врста је достигла своју максималну бројност популације и очекује се престанак њеног даљег ширења.



Слика 36. Процес ширења инвазивних врста

Инвазивне врсте су присутне у шумским екосистемима у Европи. Површине под шумом заузимају приближно 33% површине европског копна, односно око 215 милиона хектара. Према проценама, на приближно 9 милиона хектара шума (4%) преовлађују алохтоне биљне врсте. У шумским екосистемима у Европи евидентирано је присуство 160 интродукованих биљних врста, а као инвазивне се издвајају: *Robinia pseudoaccacia*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*, *Eucalyptus sp.*, *Prunus serotina*, *Pseudotsuga menziesii*, итд.

Најагресивније инвазивне дрвенасте врсте у Србији су: *Robinia pseudoaccacia*, *Ailanthus altissima*, *Acer negundo*, *Amorpha fruticosa*, итд. Међу зељастим биљкама највећу претњу представљају инвазивне врсте: *Ambrosia artemisiifolia*, *Asclepias syriaca*, *Reynoutria japonica*, итд.

6.1. Мапирање података о инвазивним врстама

У овој вежби задатак је да се мапирају подаци о инвазивним врстама који су прикупљени на основу извештаја Европске агенције за животну средину (ЕЕА). Подаци се односе на број најагресивнијих инвазивних врста биљака и животиња које угрожавају копнене и терестричне екосистеме у државама Европе, као и на индекс угрожености држава овим врстама. У овој вежби мапирање података о инвазивним врстама ће укључити Србију и земље са којима се Србија граничи. Подаци ЕЕА о инвазивним врстама су дати као материјал за вежбе. Као и у претходним примерима биће коришћен програм R Studio.

Први задатак се односи на приказивање броја најагресивнијих инвазивних врста у Србији и суседним земљама израдом одговарајуће мапе. На почетку ће се инсталирати, а затим учитати пакети неопходни за решавање датог задатка:

```
install.packages("raster")
library(ggplot2)
library(ggmap)
library(maps)
library(mapdata)
library(raster)
library(dplyr)
```

Следећи корак је учитавање карте света:

```
world_map <- map_data("world")
ggplot(world_map)

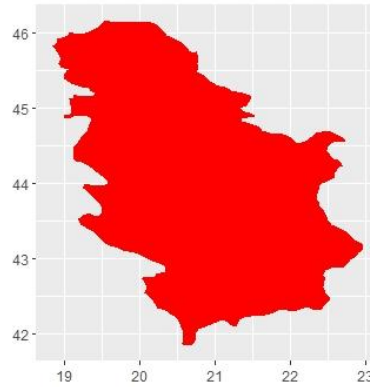
p <- ggplot() + coord_fixed() +
  xlab("") + ylab("")
p
```

Из базе података садржаних у карти света биће извојена база података за Србију:

```
str(world_map)
srbiyaDF <- subset(world_map, world_map$region=="serbia")
srbiyaDF
```

Након добијања базе података, може се приказати карта Србије (Слика 37):

```
sr_map <- p + geom_polygon(data=srbiyaDF,
  aes(x=long, y=lat, group=group),
  fill="red")
sr_map
```



Слика 37. Мапа Србије, ggplot пакет

Слично као на примеру Србије, из базе података садржаних у карти света биће извојена база података за земље са којима се Србија граничи:

```
rg_map<-subset(world_map, world_map$region=="Montenegro"|
world_map$region=="Bosnia and Herzegovina"|
world_map$region=="Romania"|
world_map$region=="Bulgaria"|
world_map$region=="Macedonia"|
world_map$region=="Hungary"|
world_map$region=="Albania"|
world_map$region=="Croatia")

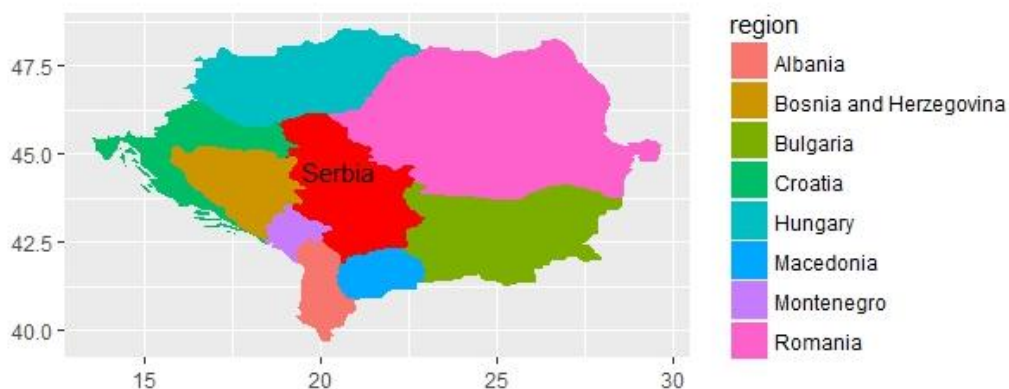
rgDF<-fortify(rg_map)
rgDF
```

У следећем кораку биће приказана карта Србије и суседних земаља:

```
region_map1 <- p + geom_polygon(data=rgDF, aes(x=long, y=lat,
fill=region, group=group))
region_map1

region_map2<- region_map1 + geom_polygon (data=srbijaDF,
aes(x=long, y=lat, group=group), fill="red")+
annotate("text", x = 20.6, y = 44.5, label = "Serbia")
region_map2
```

Добијени приказ изгледа као на Слици 38.



Слика 38. Мапа Србије и суседних држава, ggplot пакет

Сада је потребно спојити базу података за Србију и базе података земаља са којима се Србија граничи:

```
completedDF<-rbind(srbijaDF, rgDF)
completedDF
data.merged<-merge(completedDF, data.invasive, "region")
data.merged<-fortify(data.merged)
data.merged
```

На овај начин је добијен просторни односно географски контекст и сада је потребно учитати податке који се односе на број регистрованих инвазивних врста у свакој држави. Подаци су дати као excel фајл:

```
attach(Praktikum)
data.invasive <-data.frame(region, `Invazivne vrste`)
data.invasive
```

Учитана табела изгледа на следећи начин:

	region	Invazivne.vrste
1	Albania	21
2	Bosnia and Herzegovina	28
3	Bulgaria	34
4	Croatia	34
5	Hungary	43
6	Macedonia	29
7	Montenegro	16
8	Romania	39
9	Serbia	12

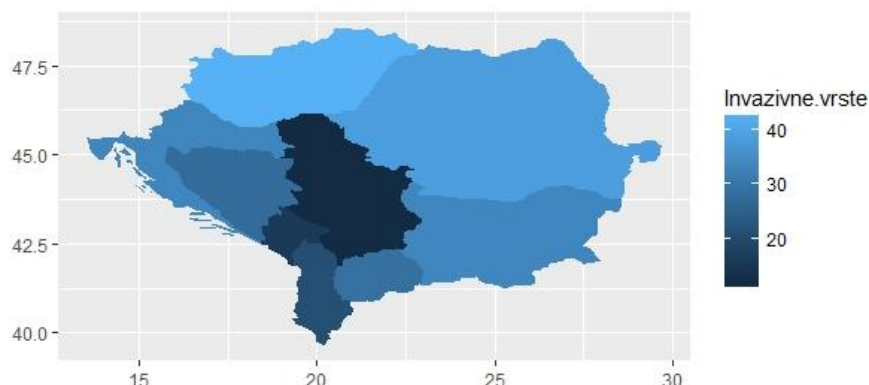
Табела ће бити повезана са просторним подацима:

```
data.merged<-merge(completedDF, data.invasive, "region")
data.merged<-fortify(data.merged)
data.merged
```

У претходном кораку обезбеђени су сви потребни подаци како би се добила мапа са приказом броја инвазивних врста. Мапа ће бити штампана применом команди:

```
map_merged<- p + geom_polygon(data=data.merged,
                              aes(x=long, y=lat, fill=Invazivne.vrste, group=group))
map_merged
```

и на тај начин се добија Слика 39.

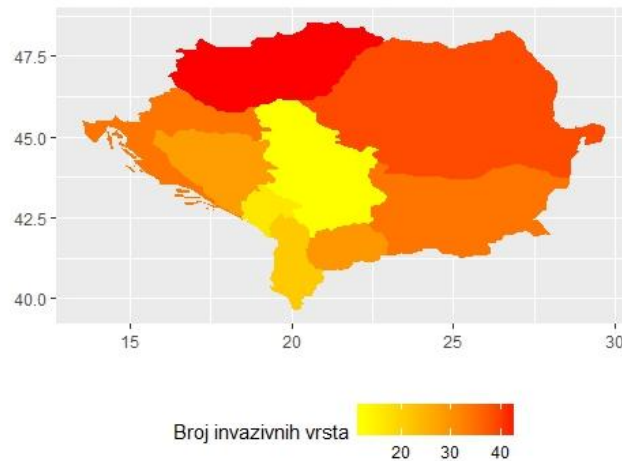


Слика 39. Број најагресивнијих инвазивних врста у Србији и суседним државама

Боје на добијеној мапи би требало изменити тако да су светлијом бојом означене државе у којима је број инвазивних врста мањи:

```
map_color<-map_merged+
scale_fill_gradient(low = "yellow", high = "red")+
labs(fill="Broj invazivnih vrsta")+
theme(legend.position = "bottom")
map_color
```

Нова мапа је приказана на Слици 40.

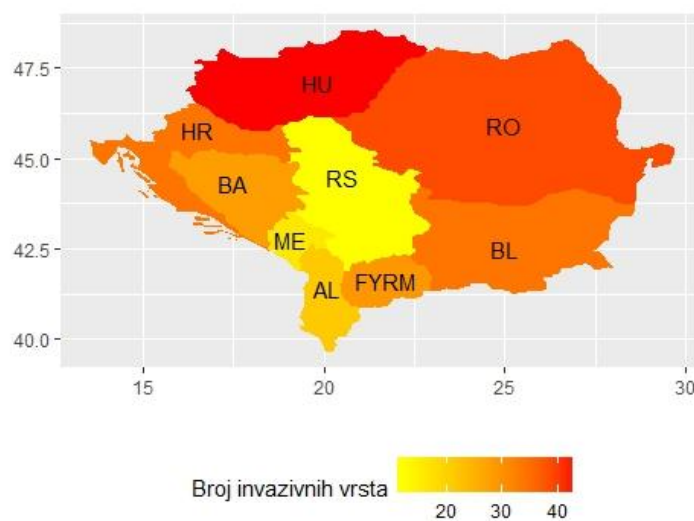


Слика 40. Број најагресивнијих инвазивних врста у Србији и суседним државама

Коначно, мапи се могу додати ознаке за сваку државу:

```
t<-annotate("text",
x=c(20.5, 19.1, 25, 25, 21.7, 17.5, 19.8, 20.1, 16.5),
y=c(44.5, 42.75, 45.9, 42.5, 41.6, 44.3, 47.1, 41.4, 45.8),
label=c("RS","ME", "RO", "BL", "FYRM", "BA", "HU", "AL", "HR"))
map_merged.countries <- map_color+t
map_merged.countries
```

И тако је добијен коначни приказ (Слика 41).



Слика 41. Број најагресивнијих инвазивних врста у Србији и суседним државама

Додатна анализа ће укључити процену угрожености земаља инвазивним врстама, тако што ће се процена груписати у три категорије: ниска, средња и висока угроженост. Критеријум за одређивање угрожености ће бити број инвазивних врста (n): ниска угроженост ($n \leq 20$), средња угроженост ($20 < n \leq 35$) и висока угроженост ($n > 35$).

Анализа ће бити спроведена применом команди:

```
Nivo.ugrozenosti<-cut(data.invasive$Invazivne.vrste,
breaks=c(0,20,35,100),
labels = c("Niska", "Srednja", "visoka"))

data.invasive1<-cbind(data.invasive, Nivo.ugrozenosti)
data.invasive1

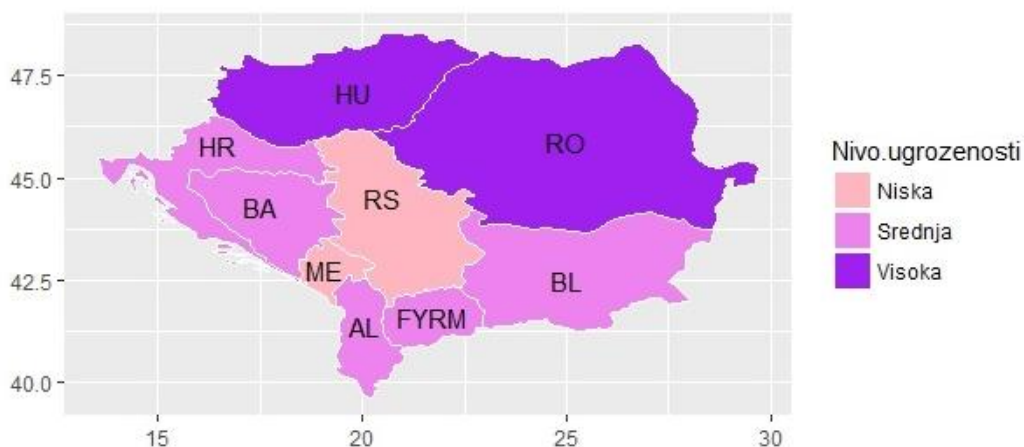
data.merged1<-merge(completedF, data.invasive1, "region")
data.merged1<-fortify(data.merged1)

data.merged1
```

Добијени подаци биће приказани на новој мапи:

```
map_merged1<- p + geom_polygon(data=data.merged1,
aes(x=long, y=lat,
fill=Nivo.ugrozenosti,
group=group), col="white")+
scale_fill_manual(values=c("lightpink", "violet", "purple"))+t
map_merged1
```

која изгледа као на Слици 42.



Слика 42. Ниво угрожености инвазивним врстама у Србији и суседним државама

Поред тога, ЕЕА је одредила за индекс угрожености инвазивним врстама и ови подаци ће бити коришћени у изради нове мапе. Индекс узима број процењених инвазивних врста и површину државе и представља процену броја инвазивних врста на површини од 1.000 km². Ови подаци ће бити учитани из excel документа:

```
data.index <-data.frame(region, `Индекс угрожености`)
data.index
```

Приказ учитаног документа је следећи:

	region	Indeks.ugrozenosti
1	Albania	0.71-1.50
2	Bosnia and Herzegovina	0.26-0.70
3	Bulgaria	0.26-0.70
4	Croatia	0.26-0.70
5	Hungary	0.26-0.70
6	Macedonia	0.71-1.50
7	Montenegro	0.11-0.25
8	Romania	0.11-0.25
9	Serbia	0.11-0.25

Подаци ће бити повезани са просторним подацима помоћу команди:

```
data.merged1<-merge(completedF, data.index, "region")
data.merged1<-fortify(data.merged1)

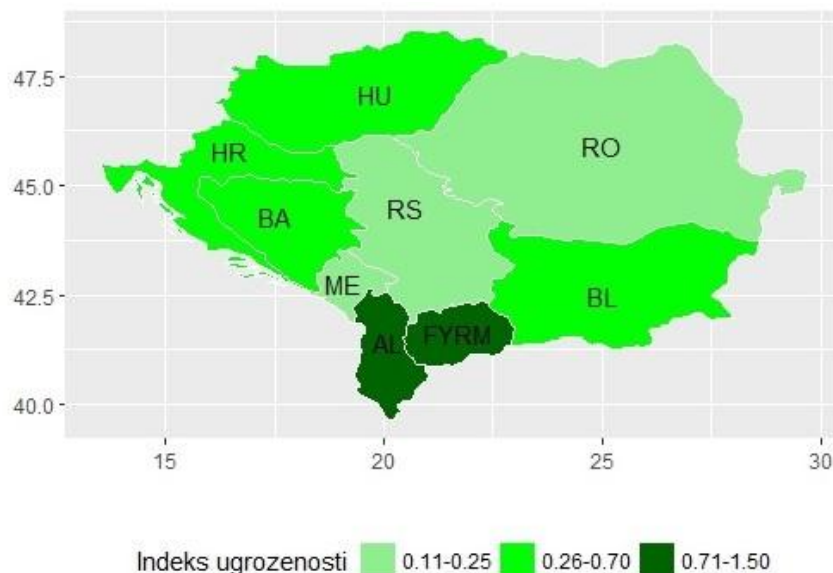
data.merged1
```

Након тога, могуће је податке из нове базе искористити за креирање одговарајуће мапе:

```
index_map<- p + geom_polygon(data=data.merged1,
aes(x=long, y=lat, fill=`Indeks.ugrozenosti`,
group=group), col="white")+
scale_fill_manual(values=c("lightgreen", "green", "darkgreen"))+
theme(legend.position = "bottom")+
labs(fill="Indeks ugrozenosti")

index_map+t
```

Мапа изгледа као на Слици 43.



Слика 43. Индекс угрожености инвазивним врстама за Србију и суседне државе

На крају, на једној мапи биће приказан индекс угрожености и број најагресивнијих инвазивних врста:

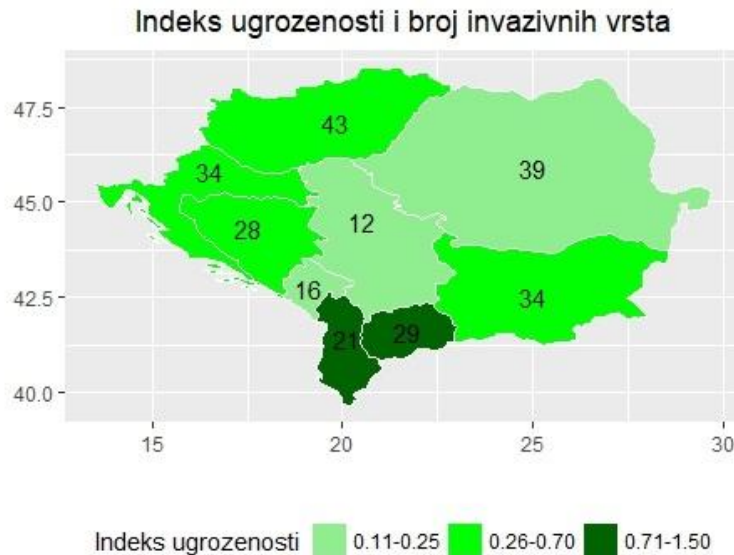
```
t1<-annotate("text", x=c(20.5, 19.1, 25, 25, 21.7, 17.5, 19.8,
20.1, 16.5),
```

```

y=c(44.5, 42.75, 45.9, 42.5, 41.6, 44.3, 47.1, 41.4, 45.8),
label=c("12", "16", "39", "34", "29", "28", "43", "21", "34"))
index_map + t1 +
ggtitle("Индекс угрожености и број инвазивних врста")+
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5))

```

На тај начин добијена је Слика 44.



Слика 44. Индекс угрожености и број најагресивнијих инвазивних врста у Србији у суседним државама

6.2. Задатак за студенте

На основу података датих у документу *Invazivne_vrste_zadatak.xlsx* потребно је да се, за приказане државе, креирају мапе:

- броја инвазивних врста
- нивоа угрожености инвазивним врстама
- индекса угрожености инвазивним врстама.

7. Заштита биљних врста

Поступци за заштиту биљних врста се могу груписати у три категорије: поступци формално-правне заштите, поступци *ex situ* и поступци *in situ* заштите. Поступци формално-правне заштите имају превентивни карактер, док поступци *ex situ* и *in situ* заштите имају активан, офанзивни приступ.

Поступци формално-правне заштите обухватају доношење различитих правних аката на националном или међународном нивоу, на основу којих се биљним врстама додељује одговарајући ниво правне заштите. Правни документи којима се обезбеђује заштита врста могу бити: закони, уредбе, наредбе, декларације, кодекси, конвенције, резолуције, стратегије и сл. Као најзначајније међународне конвенције и декларације за заштиту природе и биљних врста могу се извојити: Декларација о човековој средини (Штокхолм, 1972. година), Конвенција о очувању биодиверзитета (Рио де Жанеиро, 1992. година), Декларација о очувању флоре, фауне и њихових станишта (UNECЕ, 1988. година), Конвенција о заштити европског дивљег живог света и природних станишта – Бернска конвенција (Берн, 1979. година).

***Ex situ* заштита** обухвата поступке за очување, гајање и размножавање угрожених биљних врста изван њихових природних станишта. Примери *ex situ* заштите су гајење биљака у ботаничким баштама, мањим колекцијама живих биљака (алпинетуми, баште и сл.), као и оснивање банке гена, семена и плодова и специјализованих лабораторија у којима се биљни материјал, сакупљен на природним стаништима, може одржавати и размножавати током дужег временског периода. *Ex situ* заштита се примењује када сви остали облици заштите не уроде плодом, односно када бројност популације угрожене биљне врсте на њеном природном станишту достигне критичну границу ишчезавања. Успешност *ex situ* заштите зависи од познавања биоеколошких захтева угрожене биљне врсте, и у том смислу је потребно да се на *ex situ* станишту што верније симулирају услови који постоје на природном станишту биљне врсте. Крајњи циљ *ex situ* заштите је враћање – реинтродукција угрожених биљних врста на природна станишта са којих су ишчезле или на којима им је опстанак био угрожен.

***In situ* заштита** подразумева заштиту угрожених биљних врста на њиховим природним стаништима. Заштита биљних врста је немогућа без заштите њихових станишта, тако да *in situ* заштита обухвата: а) очување изворних екосистема и б) очување, одржавање и опоравак популација врста на њиховом природном станишту. У поступке *in situ* заштите спада и успостављање система заштићених природних подручја. У Србији постоји седам категорија заштићених природних добара и то су: национални парк, парк природе, предео изузетних одлика, резерват природе (општи и специјални), споменик природе и заштићено станиште. Важно је напоменути да се у овим категоријама налазе и простори који су значајни са аспекта који није везан за ботаничке вредности.

Национални парк је веће подручје са природним екосистемима високе вредности у погледу очуваности, сложености грађе и биогеографских обележја са разноврсним облицима флоре и фауне, репрезентативним физичко-географским објектима и појавама и културно-историјским вредностима. У Србији постоји пет националних паркова (НП Фрушка гора, НП Ђердап, НП Копаоник, НП Шар-планина и НП Тара).

Парк природе је подручје са добро очуваним природним својстима вода, ваздуха и земљишта, са преовлађујућим природним екосистемима и без већих деградационих промена предеоног лика. Примери паркова природе у Србији су: Стара планина, Голија, Вршачке планине, Палић, Сићевачка клисура, итд.

Предео изузетних одлика је релативно мање подручје живописних пејзажних обележја, ненарушених примарних вредности предеоног лика, са облицима традиционалног начина живота и културних добара, а такође и заштићена околина непокретних културних добара. Предела изузетних одлика у Србији су: Овчарско-кабларска клисура, Долина Пчиње, Мируша, Клисура реке Градац, итд.

Резерват природе је изворни или незнатно измењени део природе особитог састава и одлика биљних и животињских заједница, као делова екосистема, намењених првенствено очувању генетског фонда. Дели се на две категорије: општи и специјални резерват природе.

Општи резерват природе има намену одржавања генетских извора и екосистема у динамичном и еволутивном стању и примери у Србији су: Делиблатска пешчара, Острозуб, Ртањ, Руговска клисура, итд.

Специјални резерват природе представља предео у коме је посебно изражена једна или више природних вредности које треба штитити, односно природних појава које треба пратити и усмеравати. Примери у Србији су: Ковиљско-петроварадински рит, Обедска бара, Стари Бегеј-Царска бара, клисура реке Увац, клисура реке Трешњице, итд.

Споменик природе представља природни објекат репрезентативних ботаничких, геоморфолошких, геолошких, хидрографских и других обележја, као и људским радом формирана ботаничка вредност (ботаничке баште, појединачна стабла, дрвореди, арборетуми и сл.) уколико она има посебан значај. У споменике природе спадају: Ботаничка башта "Јевремовац", Бањичка шума, Дунавски парк, Каменички парк, Футошки парк, итд., као и појединачна стабла: стабло копривића у центру Новог Сада, амерички платан у Футогу, јаворисни платан у Топчидеру, итд.

Заштићено станиште обухвата једно или више типова природних станишта значајних за очување популација биљних и животињских врста и њихових станишта и примери су: Велико Блато, Мали вршачки рит, итд.

Проглашавању подручја, појединачног стабла или групе стабала за заштићено природно добро претходи израда обимне документације, која укључује резултате континуираног осматрања стања (мониторинга), израду предлога заштите и сл.

7.1. Картирање биљака значајних за заштиту

У овом задатаку биће објашњен поступак картирања биљних индивидуа у програму R Studio. Као пример биће анализирано шест биљака у Новом Саду и за њих ће бити приказани: латински назив, географске координате, тип (да ли је у питању лишћарска или четинарска врста) и значај са аспекта заштите (значај I, II и III реда). Пример има илустративни карактер и дат је као додатак за вежбе.

R команде

На почетку ће бити учитани потребни пакети:

```
library(ggplot2)
library(ggmap)
library(maps)
library(basemap)
```

Подаци о биљним индивидуама ће бити учитани помоћу команде:

```
attach(Praktikum)
```

У наставку текста описане су команде за добијање различитих приказа у вези са анализираним биљним индивидуама. Прва карта ће приказати положај одабраних биљака у ширем просторном контексту, тако да ће се прво приказати карта Новог Сада:

```
kontekst <- get_map(location="Liman 2, Novi Sad, Serbia",
  zoom = 12, source='google', maptype='roadmap',
  color='color')
ggmap(kontekst)
```

На тај начин је добијена Слика 45.



Слика 45. Карта Новог Сада, ggmap пакет

На карту ће се додати правоугаоник који приказује зону у којој се налазе анализиране биљне врсте:

```
rect <- data.frame(xmin=19.827, xmax=19.871,
  ymin=45.228, ymax=45.255)
map.kontekst <- kontekst + geom_rect(data=rect,
  aes(xmin=xmin, xmax=xmax, ymin=ymin, ymax=ymax),
  color="blue", alpha=0.2, inherit.aes = FALSE)
print(map.kontekst)
```

Добијена је Слика 46.

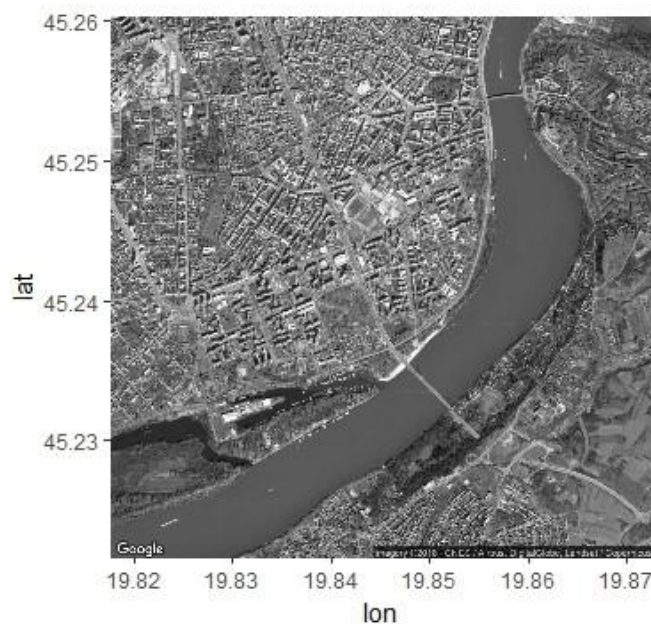


Слика 46. Шири просторни контекст локација биљних врста

Након добијања приказа ширег просторног контекста, биће приказана карта у крупнијој размери и на њу ће се додати координате за сваку анализирану биљну индивидуу. На почетку ће бити приказана основна карта, применом команди:

```
basemap <- get_map(location= "Liman 2, Novi Sad, Serbia",
  zoom = 14, maptype='satellite',
  color='bw', source='google')
ggmap(basemap)
```

Добијена је Слика 47.



Слика 47. Ужи просторни контекст локација биљних врста

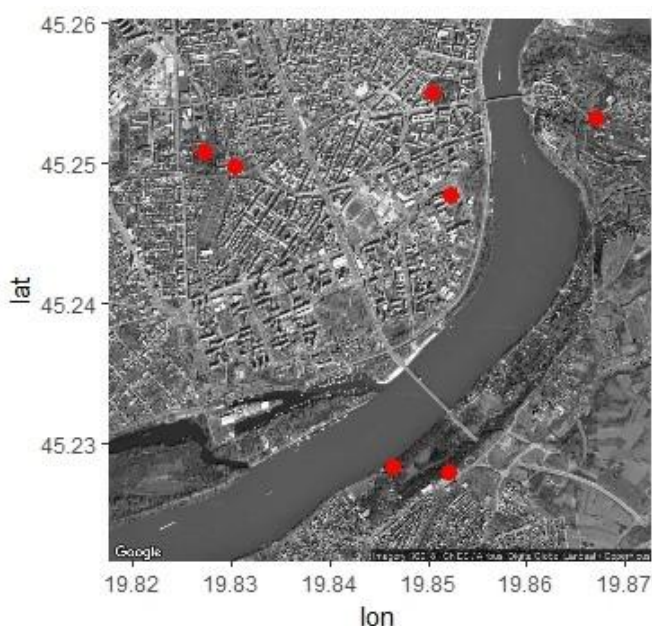
У следећем кораку, основној карти ће се додати координате на којима су присутне предметне биљке:

```
map1 <- ggmap(basemap, extent='panel',
              base_layer=ggplot(Praktikum, aes(x=lon, y=lat)))
map1
```

Добијена карта изгледа као Слика 47, и да би координате постале видљиве потребно је да се дефинише начин њиховог приказа:

```
map.locs <- map1 + geom_point(color = "red", size = 3)
map.locs
```

Као резултат добија се Слика 48.



Слика 48. Локације биљних врста

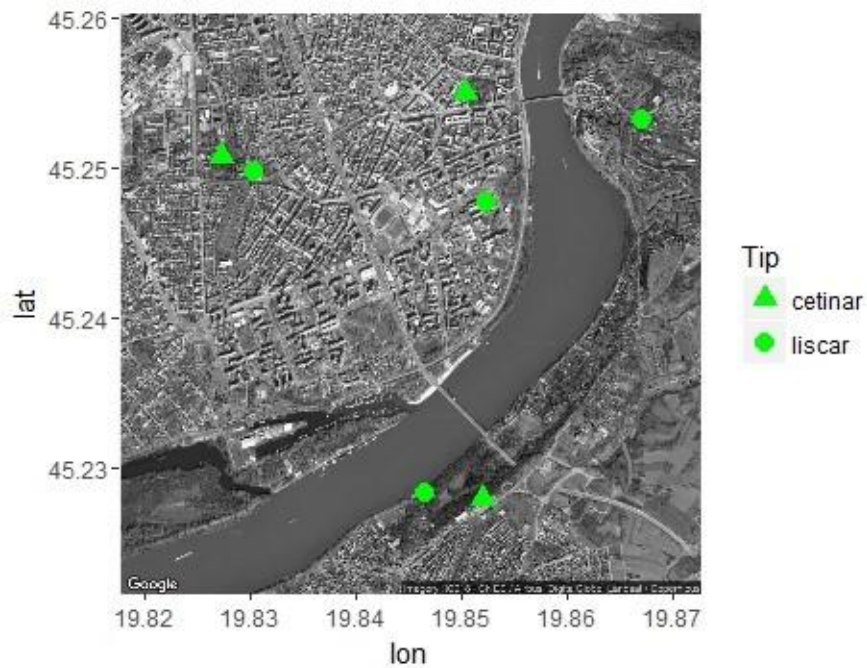
У наредним командама биће објашњено како се основној карти додају допунски подаци (назив врсте, тип, значај). Најпре ће бити приказана карта са подацима о типу врсте и како би се ускладио облик (приказивање лишћара у облику круга и четинара у облику троугла) биће примењена команда:

```
Praktikum$Tip <- factor(Praktikum$Tip, c("liscar", "cetinar"))
Praktikum$Tip
```

Сада је могуће штампати карту са приказом локација на којима се врсте налазе, као и типа врсте:

```
map.tip <- map1 + geom_point(data=Praktikum,
                             aes(shape=Tip), size=3.3, col="green")
map.tip
map.tip + guides(shape=guide_legend(reverse=T))
```

Помоћу претходних команди добијена је Слика 49.

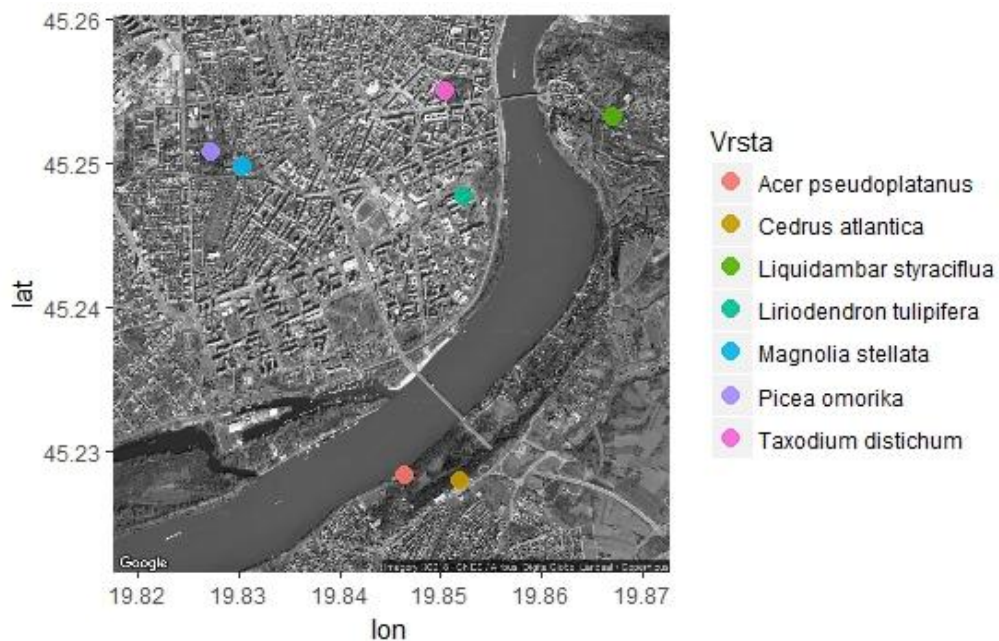


Слика 49. Локације и тип биљних врста

Следећа карта ће приказати локације са латинским називима врста:

```
map.vrsta <- map1 + geom_point(aes(col = vrsta),
size=3.3, alpha=0.9)
map.vrsta
```

Као резултат добијена је Слика 50.



Слика 50. Локације и називи биљних врста

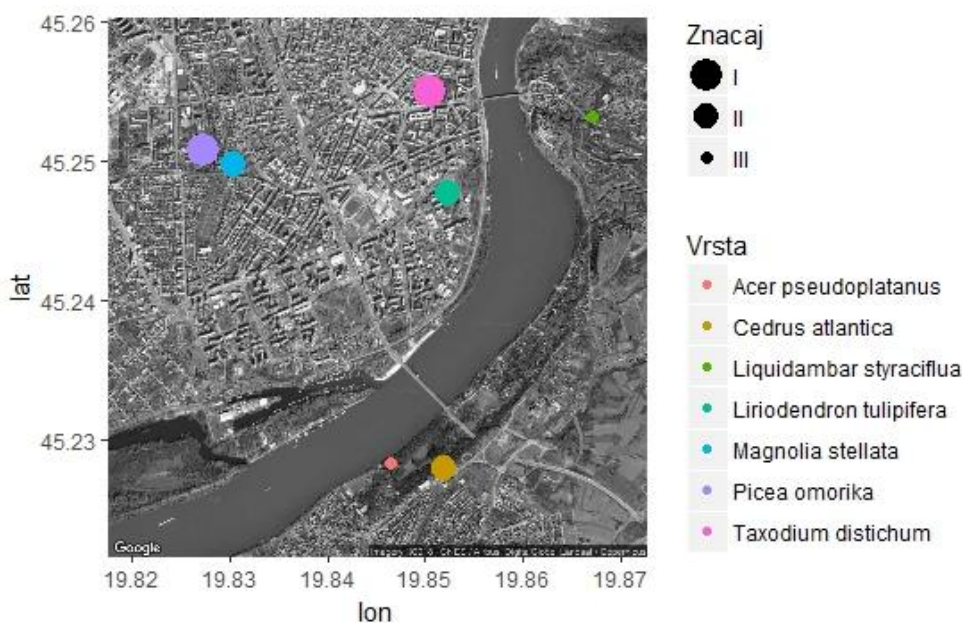
Уколико осим назива врста треба да се прикаже и њихов значај, потребно је да се дефинише да међу ознакама I, II и III постоји следећи однос: $III < II < I$. То ће бити учињено помоћу команде:

```
Praktikum$Znacaj<-factor(Praktikum$Znacaj, c("III", "II", "I"))
Praktikum$Znacaj
```

Сада се може штампати карта на којој су врсте од већег значаја за заштиту означене већим симболима:

```
map.vrsta.znacaj <- map1 + geom_point(data=Praktikum,
aes(col =vrsta, size=Praktikum$Znacaj))
map.vrsta.znacaj
map.vrsta.znacaj + guides(size=guide_legend(reverse=T))+
labs(size="Znacaj")
```

На тај начин добијена је Слика 51. Важно је напоменути да се величина симбола у овом примеру односи само на значај биљне индивудуе са становишта заштите, односно не приказује димензије биљке.

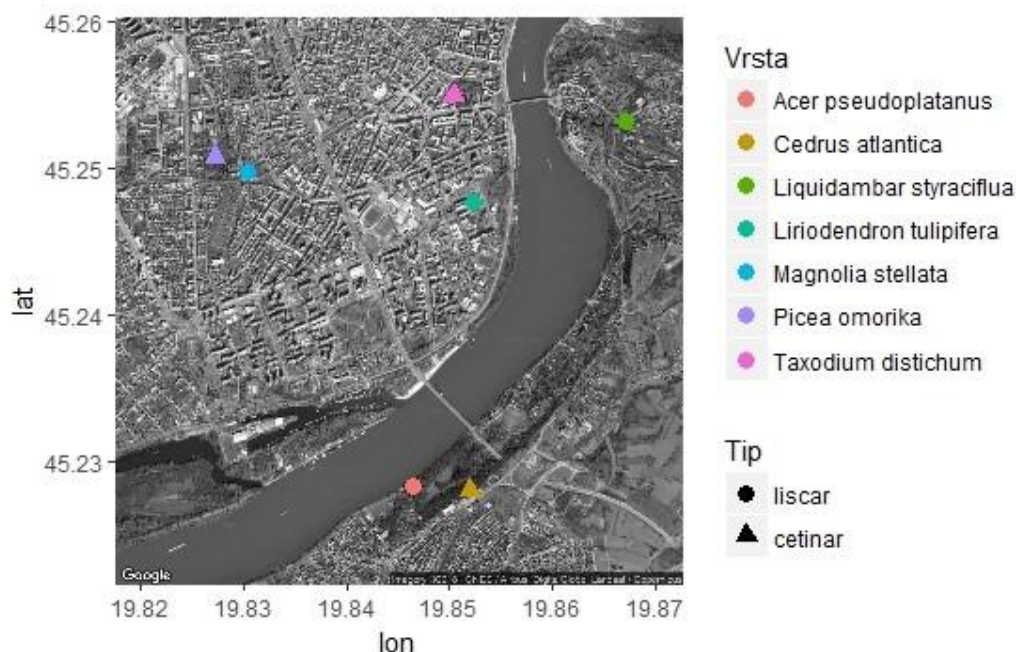


Слика 51. Називи и значај биљних врста

Осим наведених приказа, може се приказати назив и тип врсте на истој карти:

```
map.vrsta.tip <- map1 + geom_point(data=Praktikum,
aes(col = vrsta,
shape=Tip), size=3)
map.vrsta.tip
```

Добијена карта изгледа како је приказано на Слици 52. Могућности приказа су бројне и циљ ове вежбе је да пружи основни преглед неких од расположивих начина.



Слика 52. Називи и тип биљних врста

7.2. Анализа карактеристика дендрофлоре у заштићеном природном добру

У овој вежби биће приказано како се могу обрадити подаци у вези са карактеристикама дендрофлоре у заштићеном природном добру. Вежба се односи на део дендрофлоре споменика природе „Топчидерски парк“ и обухвата 50 биљних индивидуа. Материјал о биљним индивидуама је дат као додатак за вежбе укључује следеће податаке: латински назив, висина биљке, виталност биљке и опис. Виталност се односи на кондицију стабала односно одсуство фитопатолошких и ентомолошких оштећења и у складу тим свака биљна индивидуа је оцењена вредностима од 1 (најнижа оцена) до 5 (највиша оцена). Опис се, у овом примеру, односи на процену карактеристика биљних врста и разликују се три категорије: врсте значајне за заштиту, инвазивне врсте и врсте које не припадају претходним категоријама (могу се сврстати у неутралне). У наставку текста биће објашњен поступак и резултати анализе.

R команде

За решавање датог задатка биће инсталиран нови пакет и учитани подаци о дендрофлори:

```
install.packages("Rmisc")
library(Rmisc)
attach(Praktikum)
```

Коришћењем овог пакета могуће је обавити основну статистичку анализу података. У првом кораку биће анализирана висина стабала у заштићеном природном добру:

```
sum <- summarySE(Praktikum,
                  measurevar="visina",
                  groupvars="vrsta")
sum
```

Као резултат добија се следећи приказ:

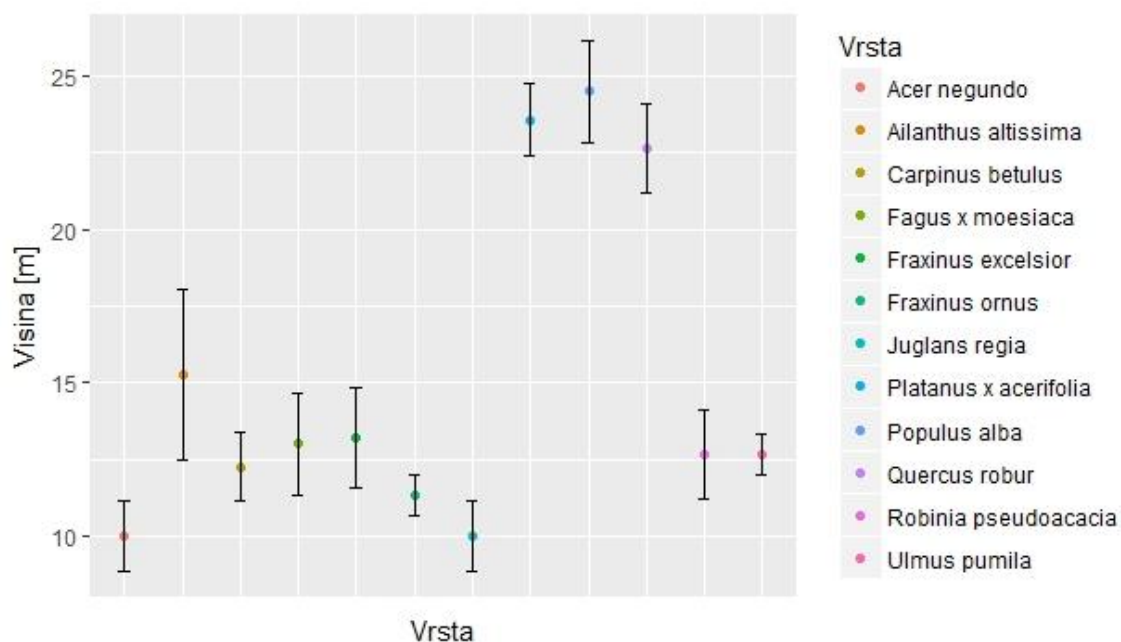
	Vrsta	N	Visina	sd	se	ci
1	Acer negundo	3	10.00000	2.000000	1.1547005	4.968275
2	Ailanthus altissima	8	15.25000	7.869471	2.7822781	6.579042
3	Carpinus betulus	4	12.25000	2.217356	1.1086779	3.528308
4	Fagus x moesiaca	4	13.00000	3.366502	1.6832508	5.356855
5	Fraxinus excelsior	5	13.20000	3.633180	1.6248077	4.511189
6	Fraxinus ornus	3	11.33333	1.154701	0.6666667	2.868435
7	Juglans regia	3	10.00000	2.000000	1.1547005	4.968275
8	Platanus x acerifolia	7	23.57143	3.154739	1.1923794	2.917647
9	Populus alba	4	24.50000	3.316625	1.6583124	5.277490
10	Quercus robur	3	22.66667	2.516611	1.4529663	6.251609
11	Robinia pseudoacacia	3	12.66667	2.516611	1.4529663	6.251609
12	Ulmus pumila	3	12.66667	1.154701	0.6666667	2.868435

Добијени резултати се односе на: број индивидуа (N), аритметичку средину висине ($Visina$), стандардну девијацију (sd), стандардну грешку (se) и интервал поверења (ci). Добијени резултати се често приказују графички и један од могућих приказа се добија применом команди:

```
library(ggplot2)

ggplot(sum, aes(x=Vrsta, y=Visina))+
  geom_point(aes(col=Vrsta))+
  geom_errorbar(aes(ymin=Visina-se, ymax=Visina+se),
               width=.2, position=position_dodge(.9))+
  ylab("Visina [m]") +
  theme(axis.text.x=element_blank(),
        axis.ticks.x=element_blank())
```

У претходном кораку одређено је да се прикажу вредности аритметичке средине и стандардне грешке за висину присутних биљних врста (Слика 53).



Слика 53. Висина стабала ($\bar{x} \pm se$)

Уколико је потребно да се врсте класификују у различите групе зависно од просечне висине то се може учинити на више начина. Први начин је коришћен у ранијим поглављима и подразумева примену команди:

```
library(dplyr)

visina.klase<-cut(sum$visina, breaks=c(0,12,25,100),
labels=c("nisko", "srednje visoko", "visoko"))

visina.klase1<-cbind(sum, visina.klase)
visina.klase1

visina.klase1[,c(1,7)]
```

Помоћу ове команде остварено је да се врсте чија је просечна висина 12 m или мања означе као ниске, врсте чија је просечна висина већа од 25 m означе као високе, а преостале врсте као средње високе и добијени су следећи резултати:

	Vrsta	visina.klase
1	Acer negundo	nisko
2	Ailanthus altissima	srednje visoko
3	Carpinus betulus	srednje visoko
4	Fagus x moesiaca	srednje visoko
5	Fraxinus excelsior	srednje visoko
6	Fraxinus ornus	nisko
7	Juglans regia	nisko
8	Platanus x acerifolia	srednje visoko
9	Populus alba	srednje visoko
10	Quercus robur	srednje visoko
11	Robinia pseudoacacia	srednje visoko
12	Ulmus pumila	srednje visoko

На основу добијених резултата закључује да се, у анализираном природном добру, три врсте означавају као ниске, и то су: *Acer negundo*, *Fraxinus ornus* и *Juglans regia*, док остале врсте спадају у категорију средње високих.

Осим описаног начина, могуће је да се разврставање на различите класе обави помоћу неког од кластер метода. У наредном тексту биће описана примена метода "k-means clustering" који се користи за анализу података за које нису дефинисане групе или категорије. У овом примеру резултати ће се сврстати у три категорије, применом следећих команди:

```
fit1<-kmeans(sum$visina, 3)

fit1
```

И као резултат добија се приказ:

```
k-means clustering with 3 clusters of sizes 3, 6, 3

Cluster means:
      [,1]
1 10.44444
2 13.17222
3 23.57937
```

На основу добијених вредности, врсте ће бити сврстане у одговарајуће групе:

```
aggregate(sum$visina, by=list(fit1$cluster), FUN=mean)
a <- data.frame(sum$vrsta, fit1$cluster)
a
```

и као коначан резултат добија се:

	sum.vrsta	fit1.cluster
1	Acer negundo	1
2	Ailanthus altissima	2
3	Carpinus betulus	2
4	Fagus x moesiaca	2
5	Fraxinus excelsior	2
6	Fraxinus ornus	1
7	Juglans regia	1
8	Platanus x acerifolia	3
9	Populus alba	3
10	Quercus robur	3
11	Robinia pseudoacacia	2
12	Ulmus pumila	2

На овај начин добијено је да се врсте *Acer negundo*, *Fraxinus ornus* и *Juglans regia* сврстају у категорију ниских, врсте *Platanus x acerifolia*, *Populus alba* и *Quercus robur* сврстају у категорију високих, док остале врсте припадају категорији средње високих биљака на анализираном простору.

У следећем задатку биће анализирана виталност биљних индивидуа и као и у претходном примеру, најпре ће бити извршена основна статистичка анализа за параметар виталност за сваку биљну врсту применом команди:

```
sum1 <- summarySE(Praktikum,
                   measurevar="vitalnost",
                   groupvars="vrsta")
sum1
```

Као резултат добијени су следећи подаци:

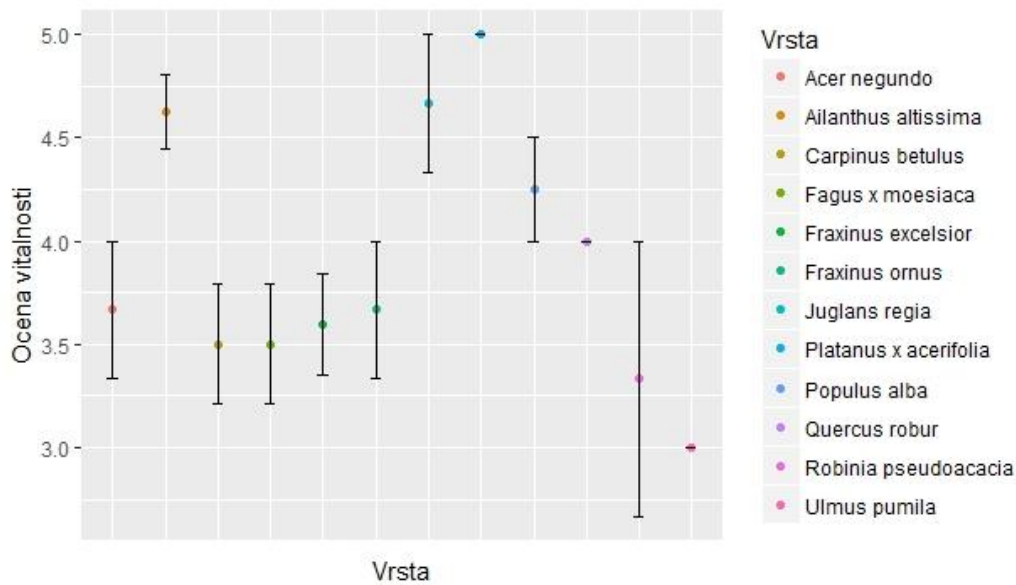
	Vrsta	N	vitalnost	sd	se	ci
1	Acer negundo	3	3.666667	0.5773503	0.3333333	1.4342176
2	Ailanthus altissima	8	4.625000	0.5175492	0.1829813	0.4326819
3	Carpinus betulus	4	3.500000	0.5773503	0.2886751	0.9186931
4	Fagus x moesiaca	4	3.500000	0.5773503	0.2886751	0.9186931
5	Fraxinus excelsior	5	3.600000	0.5477226	0.2449490	0.6800874
6	Fraxinus ornus	3	3.666667	0.5773503	0.3333333	1.4342176
7	Juglans regia	3	4.666667	0.5773503	0.3333333	1.4342176
8	Platanus x acerifolia	7	5.000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
9	Populus alba	4	4.250000	0.5000000	0.2500000	0.7956116
10	Quercus robur	3	4.000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
11	Robinia pseudoacacia	3	3.333333	1.1547005	0.6666667	2.8684352
12	Ulmus pumila	3	3.000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

На основу добијених вредности закључује се да оцена просечне виталности стабала варира између вредности 3 (добијене за представнике врсте *Ulmus pumila*) до вредности 5 (добијене за представнике врсте *Platanus x acerifolia*).

Подаци ће бити приказани и графички:

```
ggplot(sum1, aes(x=Vrsta, y=vitalnost))+
  geom_point(aes(col=Vrsta))+
  geom_errorbar(aes(ymin=vitalnost-se, ymax=vitalnost+se),
               width=.2, position=position_dodge(.9))+
  ylab("Ocena vitalnosti")+theme(axis.text.x=element_blank(),
                                axis.ticks.x=element_blank())
```

На тај начин добијена је Слика 54.



Слика 54. Оцена виталности стабала ($\bar{x} \pm se$)

У случајевима када је вредност стандардне грешке једнака 0 (врсте *Platanus x acerifolia*, *Quercus robur* и *Robinia pseudoacacia*) закључује се да је свим стаблима додељена иста оцена виталности.

Добијени резултати се могу сврстати у одговарајуће категорије применом метода „k-means clustering“. У овом задатку врсте ће бити сврстане у четири категорије применом команди:

```
fit2<-kmeans(sum1$vitalnost, 4)
fit2
```

Добијени резултати су:

```
k-means clustering with 4 clusters of sizes 7, 2, 2, 1
Cluster means:
      [,1]
1 3.466667
2 4.125000
3 4.645833
4 5.000000
Clustering vector:
[1] 1 3 1 1 1 1 3 4 2 2 1 1
```

На основу приказаних вредности биће извршено одговарајуће груписање врста:

```
aggregate(sum1$Vitalnost, by=list(fit2$cluster),FUN=mean)
b <- data.frame(sum1$vrsta, fit2$cluster)
b
```

Као коначни резултат добија се:

	sum1.vrsta	fit2.cluster
1	Acer negundo	1
2	Ailanthus altissima	3
3	Carpinus betulus	1
4	Fagus x moesiaca	1
5	Fraxinus excelsior	1
6	Fraxinus ornus	1
7	Juglans regia	3
8	Platanus x acerifolia	4
9	Populus alba	2
10	Quercus robur	2
11	Robinia pseudoacacia	1
12	Ulmus pumila	1

На основу добијених резултата закључује се да је просечна оцена виталности највиша код представника врсте *Platanus x acerifolia*, а за њом следе просечне оцене виталности представника врсте *Ailanthus altissima* и *Juglans regia*, итд.

У следећем кораку биће приказан однос између оцене виталности и карактеристике "опис врста":

```
sum2 <- summarySE(Praktikum,
                    measurevar="Vitalnost",
                    groupvars="Opis")
sum2
```

Добијени су резултати:

	Opis	N	vitalnost	sd	se	ci
1	I	17	3.941176	0.8993462	0.2181235	0.4624011
2	N	19	3.894737	0.6578363	0.1509180	0.3170669
3	Z	14	4.357143	0.7449463	0.1990953	0.4301192

На основу добијених резултата се закључује да је за групу инвазивних врста (I) просечна виталност једнака 3,941, за групу врста значајних за заштиту (Z) ова вредност је 4,357, док је за врсте које не припадају претходним категоријама (N) вредност једнака 3,895. Иако је оцена виталности највиша код врста које су значајне са аспекта заштите, уочава се да све категорије имају добре оцене виталности.

Уколико је потребно приказати оцену виталности, назив врсте и опис групе којој врста припада (инвазивне врсте, врсте значајне за заштиту и неутралне врсте), то ће бити остварено у два корака. У првом кораку, табела са оценама виталности ће бити проширена додавањем одговарајућег опис:

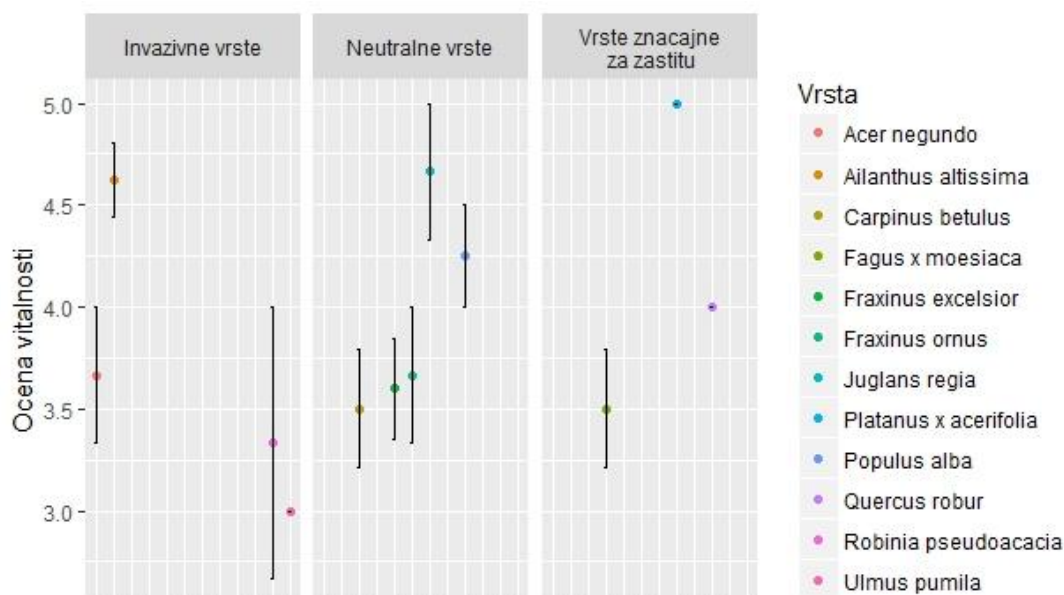
```
sum1$Opis[sum1$vrsta=="Acer negundo"|
sum1$vrsta=="Ailanthus altissima"|sum1$vrsta=="Robinia
pseudoacacia"|sum1$vrsta=="Ulmus pumila"]<-"Invazivne vrste"
```

```
sum1$Opis[sum1$Vrsta=="Fagus x moesiaca"|
sum1$Vrsta=="Platanus x acerifolia"|sum1$Vrsta=="Quercus robur"]<-
"Vrste znacajne\n za zastitu"
sum1
sum1$Opis[is.na(sum1$Opis)]<-"Neutralne vrste"
sum1
```

У другом кораку потребно је дефинисати начин графичког приказа за податке садржане у табели sum1:

```
ggplot(sum1, aes(x=Vrsta, y=vitalnost))+
geom_point(aes(col=Vrsta))+
  geom_errorbar(aes(ymin=vitalnost-se, ymax=vitalnost+se),
    width=.2, position=position_dodge(.9))+
  ylab("Ocena vitalnosti")+theme(axis.title.x = element_blank(),
    axis.text.x=element_blank(),axis.ticks.x=element_blank())+
  facet_wrap(~sum1$Opis)
```

Као резултат добијена је Слика 55.



Слика 55. Оцена виталности стабала ($\bar{x} \pm se$)

У овом поглављу описан је поступак картирања биљних индивидуа и статистичке обраде неких од њихових основних карактеристика. Описани примери треба да буду основа за решавање сличних задатака у пракси.

7.2. Задатак за студенте

На основу података датих у документу Dendroflora_zastita.xlsx потребно је да се изврши картирање примерака биљних врста и то: а) њихове локације б) њихове локације и степена заштите и в) њихове локације и старости. Након тога, потребно приказати вредности дескриптивне статистике за карактеристику старост, сврстати резултате у одговарајуће групе применом метода k-means и креирати одговарајућу мапу.

Литература

Borcard, D., Gillet, F., Legendre, F. (2011): Numerical Ecology with R. Springer.

Jones, O., Maillardet, R., Robinson, A. (2014): Introduction to Scientific Programming and Simulation Using R, Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group.

R Core Team (2018): An Introduction to R. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>

Robinson, A.P., Hamann, J.D. (2010): Forest Analytics with R. Use R! Springer.

Вујић, А. (2008): Заштита природе. Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад.

Ранђеловић, В. (2017): Фитогеографија. Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет, Ниш.

Стевановић, Б.М., Јанковић, М. (2001): Екологија биљака са основама физиолошке екологије биљака. NNK Internatinal, Београд.