



Računalna podrška kartografskim projekcijama (PROJ4, Kartografske projekcije, QGIS)

A. Plan vježbi

Na ovim vježbama upoznat ćete se s programima za računalnu podršku kartografskim projekcijama koji vam mogu omogućiti kontrolu nad definiranjem različitih koordinatnih sustava kartografskih projekcija za određene skupove podataka, kao i nad njihovom transformacijom:

- PROJ.4
(skup programa i programskih funkcija za različita računanja s kartografskim projekcijama),
- Kartografske projekcije
(računalni program za automatsko računanje i crtanje kartografskih mreža u zadanom mjerilu i za bilo koji dio Zemljine sfere u većem broju projekcija),
- QGIS
(računalna GIS aplikacija otvorenog kôda koja omogućuje vizualizaciju, uređivanje i analiziranje prostornih podataka, te podržava različite geodetske referentne koordinatne sustave i transformacije između njih).

B. Ishodi učenja

Po završetku ovih vježbi student će:

- znati neke od načina zadavanja parametara kartografskih projekcija i geodetskih referentnih koordinatnih sustava u različitim programima za računalnu podršku kartografskim projekcijama,
- prepoznati kartografsku projekciju i geodetski referentni koordinatni sustav povezan sa skupom prostornih podataka,
- primijeniti alate koji će mu omogućiti upravljanje parametrima koordinatnog sustava kartografske projekcije i transformaciju između geodetskih (geografskih) koordinata u koordinate u ravnini kartografske projekcije i obratno.

C. Koncepti koji će se upotrijebiti na vježbama

Zadavanje projekcije

Zadavanje projekcije je postupak u kojem se pomoću metapodataka (parametara) opisuje koji je referentni koordinatni sustav upotrijebljen za georeferenciranje određenog skupa podataka. U većini softvera za GIS moguće je učitati prostorne podatke kojima metapodaci o projekciji i referentnom koordinatnom sustavu nisu pridruženi. Međutim, bez takve informacije, softver možda neće ispravno registrirati ili prikazati te podatke, ili će promijeniti koordinatni sustav tih podataka u neki pretpostavljeni, ili će pak transformirati te podatke u neku drugi koordinatni sustav i/ili kartografsku projekciju. Pridruživanjem referentnog koordinatnog sustava podaci se ne mijenjaju, zadaje se njihova prostorna referenca. Mnogi problemi u interoperabilnosti (upotrebi podataka iz različitih skupova) podataka često su posljedica nedostatka informacija o parametrima koordinatnog sustava ili kartografske projekcije tih podataka ili njihovog pogrešnog zadavanja.

Metapodaci o projekciji

Metapodaci neke projekcije opisuju parametre prostornog referentnog koordinatnog sustava koji je upotrijebljen za georeferenciranje određenog skupa prostornih podataka. Ako je poznata informacija o tome u kojem sustavu je dan određeni skup podataka, te će podatke biti lakše povezati s nekim drugim skupom podataka čiji se referentni sustav razlikuje. Sastavni dijelovi metapodataka o nekom geodetskom referentnom koordinatnom sustavu su:

- Ime kartografske projekcije
- Detaljni podaci o parametrima kartografske projekcije (npr., standardne paralele, srednji meridijan, linearno mjerilo uzduž srednjeg meridijana, pomak u smjeru istoka, pomak u smjeru sjevera, i sl.)
- Podaci o obliku i orijentaciji koordinatnog sustava i jedinicama
- Oznaka horizontalnog datuma i veza s globalnim datumom WGS84.
- Oznaka elipsoida i njegove dimenzije
- Oznaka vertikalnog datuma (ako je primjenjivo)

Poznavanje ovih parametara nužno je za postupak zadavanja kartografske projekcije i prostornog referentnog sustava. Primjer metapodataka o projekciji HTRS96/LCC:

```
PROJCS["HTRS96 / Croatia LCC",  
  GEOGCS["HTRS96",  
    DATUM["Croatian_Terrestrial_Reference_System",  
      SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101,  
        AUTHORITY["EPSG","7019"]],  
      TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0],  
      AUTHORITY["EPSG","6761"]],  
    PRIMEM["Greenwich",0,
```

```

    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.01745329251994328,
        AUTHORITY["EPSG","9122"]],
    AUTHORITY["EPSG","4761"]],
    UNIT["metre",1,
        AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    PROJECTION["Lambert_Conformal_Conic_2SP"],
    PARAMETER["standard_parallel_1",45.91666666666666],
    PARAMETER["standard_parallel_2",43.083333333333334],
    PARAMETER["latitude_of_origin",0],
    PARAMETER["central_meridian",16.5],
    PARAMETER["false_easting",0],
    PARAMETER["false_northing",0],
    AUTHORITY["EPSG","3766"],
    AXIS["Easting",EAST],
    AXIS["Northing",NORTH]]

```

Metapodaci o projekcijama HTRS96/TM i HTRS96/LCC

Koordinatni sustav poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije – skraćeno HTRS96/TM, sa srednjim meridijanom 16°30' i linearnim mjerilom na srednjem meridijanu 0,9999 je projekcijski koordinatni sustav Republike Hrvatske za područje katastra i detaljne državne topografske kartografije.

Projekcija: Gauß-Krügerova (poprečna Mercatorova)

Elipsoid: GRS80

Srednji meridijan: 16°30'

Linearno mjerilo preslikavanja na srednjem meridijanu: 0,9999

Konstanta koja se dodaje istočnim koordinatama: 500 000

Koordinatni sustav uspravne Lambertove konformne konusne projekcije – HTRS96/LCC, sa standardnim paralelama 43°05' i 45°55' je projekcijski koordinatni sustav Republike Hrvatske za područje pregledne državne kartografije.

Projekcija: Lambertova konformna konusna

Elipsoid: GRS80

Srednji meridijan: 16°30'

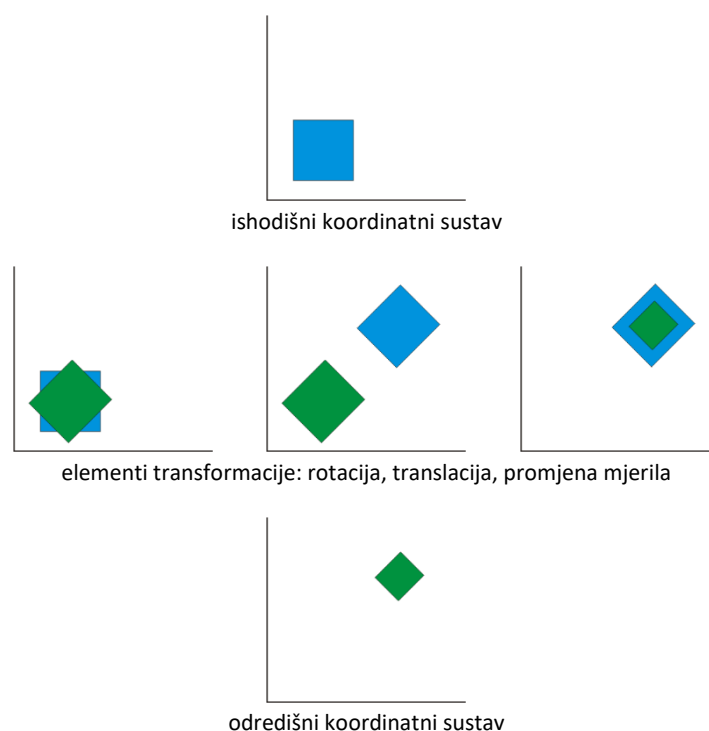
Standardne paralele: 43°05' i 45°55'

Transformacija koordinata vs. „Projecting-on-the-fly“ (automatska promjena projekcije) vs. „Reprojecting“ (promjena projekcije na zahtjev)

Transformacija koordinata je pojam koji se najčešće odnosi na preračunavanje koordinata iz jednog geodetskog datuma u drugi. S pomoću geodetskog datuma referentni koordinatni sustav se definira u odnosu na stvarni svijet.

Iako mnogi softveri za GIS imaju mogućnost preračunavanja koordinata iz jednog geodetskog datuma u drugi, ponekad neće moći riješiti vaš problem. Na primjer, transformacija koju želite izvesti možda nije standardna opcija, ili možda nije poznato u kojem su datumu vaši podaci, što je potrebno za odabir ispravne transformacije. U takvim slučajevima, za preračunavanje ravninskih koordinata iz jednog geodetskog datuma u drugi, može se umjesto transformacije datuma (povezuje trodimenzionalne referentne koordinatne sustave) koristiti Helmertova ili afina transformacija ravnine kao njezina aproksimacija.

Helmertova transformacija ravnine omogućuje transformaciju iz jednog koordinatnog sustava u neki drugi u kojem u odnosu na ishodišni sustav postoji translacija, rotacija i promjena mjerila. Helmertova transformacija čuva kutove (konformna je). Afina transformacija je linearna transformacija koja čuva paralelnost, ali ne čuva kutove.



Elementi Helmertove transformacije ravnine: rotacija, translacija i promjena mjerila.

Za izračunavanje parametara Helmertove transformacije potrebno je poznavati koordinate dviju točaka u oba koordinatna sustava. Za izračunavanje parametara afine transformacije potrebno je poznavati koordinate triju točaka u oba koordinatna sustava. Ukoliko nisu poznate koordinate dodatnih točaka nema mogućnosti za procjenjivanje dobrote transformacije, a eventualne grube pogreške ostaju sakrivene. Tek ako su poznate koordinate dodatnih (prekobrojnih) točaka u oba ravninska koordinatna sustava, tada je moguća primjena metode najmanjih kvadrata, što znači da se

tada mogu izvesti ne samo odgovarajuće formule za procjenu točnosti parametara transformacije, nego i za procjenu točnosti transformiranih koordinata.

Pojam "projecting-on-the-fly" odnosi se na značajku u softverima za GIS koja je osmišljena sa zadatkom da automatski promjeni koordinatni sustav prikaza skupova podataka (npr. podataka spremljenih u geografskim koordinatama) kako bi se oni prikazali zajedno s drugim, npr. „projiciranim“, skupovima prostornih podataka. Pri transformaciji podataka „on-the-fly“, izvorni koordinatni sustav i projekcija skupa podataka koji su spremljeni s podacima ostaju nepromijenjeni. Mijenja se samo koordinatni sustav njihovog prikaza.

Iako automatska promjena projekcije može uštedjeti nekoliko koraka te olakšati preliminarni vizualni pregled skupova podataka, takav način često može uzrokovati i probleme ako se pogrešno koristi nad skupovima podataka koji su spremljeni u različitim koordinatnim sustavima. Zbog toga je najsigurnije podacima promijeniti projekcije na zahtjev tj. „reprojicirati“ ih tako da su spremljeni u istom koordinatnom sustavu i kartografskoj projekciji.

Za razliku od promjene projekcije „on-the-fly“, promjena projekcije na zahtjev ili „reprojiciranje“ mijenja podatke, tj. vrši se promjena zadanog skupa podataka, kao i njihov vizualni prikaz. Pri promjeni projekcije na zahtjevi možda ćete morati najprije podatke „odprojicirati“ tj. promijeniti njihove koordinate u geografsku širinu i dužinu, a tek onda „reprojicirati“ u drugu kartografsku projekciju. To će ovisiti o mogućnostima softvera za GIS koji koristite.

Izvor:

Gruver, A., Dutton, J. A. (2017): GEOG 486: Cartography and Visualization. Concept Gallery, e-Education Institute, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University <raspoloživo na: [URL](#)>, [1. 3. 2018.].

PROJ.4 – Cartographic Projections Library

PROJ.4 (<http://proj4.org/>) je skup programa i programskih funkcija za različita računanja s kartografskim projekcijama, geodetskim datumima i računanjima na sferi ili rotacijskom elipsoidu.

PROJ.4 je projekt zajednice OSGeo (<https://www.osgeo.org/>) (Open Source Geospatial Foundation) i koristi se uglavnom u svim njihovim projektima kao što su QGIS, GRASS GIS, PostGIS, MapServer, OpenLayers, itd. PROJ.4 dolazi pod MIT (Massachusetts Institute of Technology) licencom koja dopušta njegovu slobodnu upotrebu bez ograničenja, uključujući upotrebu, kopiranje, izmjenjivanje, spajanje, objavljivanje, distribuiranje, podlicenciranje ili prodaju programa uz uvjet da se uključi izvorna licenca i dopuštenje.

PROJ.4 može se [preuzeti u obliku izvornog kôda](#). U tom slučaju potrebno je obaviti [prevođenje izvornog kôda u izvršne programe i biblioteke za Windows operacijski sustav](#).

U slučaju preuzimanja PROJ.4 prevedenog u izvršne programe i biblioteke za operacijske sustave Windows ne postoji standardna instalacija, program se raspakira u neki direktorij, npr. na disk C:.

Sadržaj direktorija `proj` su različiti poddirektoriji, a nama je najzanimljiviji poddirektorij `bin` u kojem se nalazi biblioteka funkcija `proj.dll`, te izvršni programi `*.exe` koji provode naredbe za različita računanja za koja su predviđeni:

- `proj.exe` provodi direktne i inverzne transformacije kartografskih projekcija
- `cs2cs.exe` provodi transformaciju iz izvornog u određeni geodetski referentni koordinatni sustav na skupu zadanih točaka. Transformacije uključuju transformaciju između geodetskih datuma s pomoću translacije, 7-parametarske transformacije ili tzv. grid-transformacije.
- `geod.exe` upotrebljava se za računanje elemenata Zemljine sfere ili rotacijskog elipsoida (npr. računanje azimuta ili duljine geodetske linije)

A. Pokretanje programa PROJ.4

Na računalima na fakultetu direktorij `proj` nalazi se na disku C: (`C:\proj`). Program PROJ.4 je program koji se izvršava u retku za naredbe (terminalu, tekstualnoj konzoli), tj. u Windowsima u Command Promptu (CMD). Za pokretanje Command Prompta odabrati Start > Command Prompt ili Start > Run > `cmd`.

Za radni direktorij izabrati `C:\proj\bin` upisom `cd \proj\bin` u Command Prompt. Pokretanje programa se obavlja upisivanjem naredbe `proj`.

Pojavit će se poruka o verziji programa i kratke upute za upotrebu.

B. Prva upotreba paketa PROJ.4

1. Ispisati podržane kartografske projekcije na ekran:
`C:\proj\bin: proj -lp | more`

2. Ispisati podržane kartografske projekcije u datoteku:
C:\proj\bin: proj -lp >projekcije.txt
3. Detaljniji ispis podržanih kartografskih projekcija na ekran:
C:\proj\bin: proj -lP | more
4. Detaljniji ispis podržanih kartografskih projekcija u datoteku:
C:\proj\bin: proj -lP >projekcije.txt

Ispis se sastoji od naziva projekcije koji se koristi u programu i punog naziva projekcije, a kod detaljnog ispisa dobiju se još i podaci s parametrima projekcije:

- PCyl., Cyl., Conic, Misc, Azi itd. - skupina kojoj pripada projekcija po obliku normalne kartografske mreže
- Sph. - projekcija je definirana za sferu
- Sph&Ell - projekcija je definirana za sferu i rotacijski elipsoid
- no inv. - definirana je samo transformacija sa sfere/elipsoida u ravninu, ali ne i obrnuto, tj. iz ravnine na sferu/elipsoid.
- lat_1, lat_2 - moguće je zadati standardne paralele.

Pojedine projekcije mogu imati i neke specifične parametre.

5. Ispis rotacijskih elipsoida/sfera koje su unaprijed definirane:
C:\proj\bin: proj -le | more

Stara Gauß-Krügerova projekcija s 2 meridijanske zone (5. i 6.) odnosila se na Besselov elipsoid 1841 (bessel). Danas je u Hrvatskoj u službenoj upotrebi elipsoid GRS80. Projekcija koja se upotrebljava u Hrvatskoj službenoj kartografiji je tmerc, poprečna Mercatorova projekcija (Gauß-Krügerova projekcija). NAPOMENA: paziti na velika i mala slova jer je program osjetljiv na njih, dakle GRS80 nije isto što i grs80.

C. Zadavanje kartografske projekcije s pomoću parametara programa PROJ.4

1. Ako se želi zadati projekcija HTRS96/TM potrebno je koristiti sljedeće parametre programa *proj* (upisuju se s razmakom iza naziva programa *proj* ili *proj.exe*):
+proj=tmerc +ellps=GRS80 +lon_0=16.5 +k_0=0.9999 +x_0=500000
2. Ako se želi zadati projekcija HTRS96/LCC potrebno je koristiti parametre:
+proj=lcc +ellps=GRS80 +lat_1=45.91666666666666
+lat_2=43.08333333333334 +lat_0=0 +lon_0=16.5 +x_0=0 +y_0=0

D. Transformacija koordinata neke točke

1. Ako se želi za Hrvatsku transformirati točka s elipsoida GRS80 u ravninu kartografske projekcije HTRS96/TM treba pozvati program *proj* sa sljedećim parametrima:

```
C:\proj\bin:
proj +proj=tmerc +ellps=GRS80 +lon_0=16.5 +k_0=0.9999 +x_0=500000
```

Nakon što se pritisne ENTER program očekuje da se upiše koordinata točke na elipsoidu u obliku " $\lambda \varphi$ ", npr:

15d28'36.3"E 43d37'26.4"N
("d" označava stupnjeve, "E" istok, "N" sjever)

Program ispisuje rezultat, tj. koordinate točke u projekciji:
417420.54 4832071.12

i očekuje upis sljedeće točke. Za kraj rada s programom pritisnuti tipke Control+C.

2. Ako se želi za Hrvatsku transformirati točka iz ravnine kartografske projekcije HTRS96/TM na elipsoid GRS80 treba pozvati program proj sa istim parametrima kao i u prethodnom zadatku ali uz dodatnu opciju -I (inverse).

C:\proj\bin:
proj +proj=tmerc +ellps=GRS80 +lon_0=16.5 +k_0=0.9999 +x_0=500000 -I

Nakon što se pritisne ENTER program očekuje da se upiše koordinata točke u ravnini projekcije i to istočna i sjeverna koordinata, tj. "y x", npr.
417420.54 4832071.12

Program ispisuje rezultat, tj. točku na elipsoidu:
15d28'36.3"E 43d37'26.4"N

i očekuje upis sljedeće točke. Za kraj rada s programom pritisnuti tipke Control+C.

E. Transformacija popisa točaka u datoteci

Koordinate točaka mogu biti zapisane i u datoteci, a trebaju biti u sljedećem obliku:

```
koor1 koor2 proizvoljni tekst
# preskoči ovaj redak
...
```

Iza koordinata može stajati proizvoljni tekst koji će se prepisati u ispis. Retke koji ne sadrže koordinate ili ih ne treba preračunavati označava se s znakom # (moguće je i nekim drugim znakom koji se zadaje opcijom -tc gdje je c znak koji kada se pojavi na početku retka signalizira da redak treba preskočiti).

1. Preuzmi datoteku "grs80.txt" s e-kolegija i spremi u direktorij C:\proj\bin.
2. Otvori datoteku u programu Notepad i pogledaj njezin sadržaj
3. Sljedećom naredbom preračunaj točke u HTRS96/TM:
proj +proj=tmerc +ellps=GRS80 +lon_0=16.5 +k_0=0.9999 +x_0=500000 -tP
<grs80.txt

VAŽNO: Pogledaj 8 redak u datoteci grs80.txt i 8 redak u ispisu. Zaključak: prazni retci nisu dopušteni.

Ispis, tj. rezultat transformacije moguće je spremiti u datoteku.

4. Sljedećom naredbom preračunaj točke u datoteci "grs80.txt" u službenu hrvatsku Gauß-Krügerovu projekciju, a rezultat ispiši u datoteku "HTRS96_TM.txt":
`proj +proj=tmerc +ellps=GRS80 +lon_0=16.5 +k_0=0.9999 +x_0=500000 -tP
<grs80.txt >HTRS96_TM.txt`
5. Otvori datoteku HTRS96_TM.txt u programu Notepad i pogledaj njezin sadržaj.

Znakovi < i > u retku za naredbe označavaju preusmjeravanje standardnog ulaza (pretpostavljeni ulaz je tipkovnica) i standardnog izlaza (pretpostavljena vrijednost je ekran) računala. Upisom imena datoteke ili naziva sučelja (serijskog, paralelnog, USB, mrežnog) definira se odakle će se podaci u očekivanom formatu preuzeti i kamo će ih se poslati. Ovaj način rada svojstven je većini operacijskih sustava (Windows, Linux/Unix).

F. Pregled parametara paketa PROJ.4

`+x_0 +y_0`

gotovo u svim projekcijama može se preračunatim ravninskim koordinatama dodati konstantni iznos, `+x_0` dodaje se istočnoj koordinati, a `+y_0` dodaje se sjevernoj koordinati

`-E`

ispisuje se najprije zadana koordinata zatim i preračunata koordinata

`-lu`

(list units) ispisuje podržane jedinice za duljinu

`-r`

(reverse input) omogućuje zamjenu redoslijeda zadavanja koordinata, npr. najprije geografska širina pa duljina ili najprije koordinata sjeverno pa istočno

`-s`

(switch output) zamjena redoslijeda koordinata pri ispisu

`-S`

(scales) uz koordinate točke ispisuju se linearno mjerilo u smjeru meridijana i paralele, mjerilo površina, deformacija kutova, te maksimalno i minimalno linearno mjerilo. Vrijednosti se ispisuju unutar "< >"

`-m faktor`

faktor mjerila za ravninske koordinate, za transformaciju s elipsoida/sfere u ravninu ravninske koordinate se množe s faktorom, a pri obrnutoj transformaciji dijele s faktorom. Faktor se može zadati i u obliku razlomka `1/faktor` ili `1:faktor`

+towgs84

omogućuje zadavanje parametara transformacije datuma u WGS84

-f format

format je znakovni niz oblika kakav se upotrebljava za standardnu funkciju programskog jezika C printf kojim se zadaje oblik ispisa koordinata. Ako se zada za ispis geografskih koordinata ispisat će se u stupnjevima i njegovim dijelovima. Pretpostavljeni format je %.2f kojim se zadaje ispis na dva decimalna mjesta, a za geografske koordinate format DMS. Žele li se ravninske koordinate ispisati npr. na 5 decimalnih mjesta format treba zadati opcijom -f %.5f. Žele li se ravninske koordinate ispisati kao cijeli brojevi format treba zadati opcijom -f %.f.

-wn ili -Wn

n zadaje broj decimala za sekunde kod ispisa geografskih koordinata u obliku stupnjeva minuta i sekundi. -W naznačava da će se stupnjevi, minute i sekunde ispisivati "poravnato" tj. s konstantnim brojem znakova, npr. opcija -w5 dat će ispis u obliku 15dE 45d8'40.32377"N, a opcija -W5 će istu vrijednost ispisati u obliku 15d00'00.00000"E 45d08'40.32377"N

-v -V

ispisuje podatke o projekciji i zadanim parametrima prije provođenja transformacija, -V ispisuje detaljnije podatke

Navedene i objašnjene parametre ispitati na primjeru službene kartografske projekcije za Hrvatsku HTRS96/TM!

G. Zadaci za samoprocjenu

1. Izračunaj duljinu meridijanske kružnice na sferi s pomoću PROJ.4.

Uputa: U ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji izračunaj koordinate točke koja ima geografsku širinu 90° i pomnoži vrijednost sjeverne koordinate s 4. Provjeri rezultat s pomoću egzaktna formule ($2 \cdot R \cdot \pi$).

2. Izračunaj duljinu meridijanske elipse na elipsoidu WGS84 s pomoću PROJ.4.

Uputa: U poprečnoj cilindričnoj projekciji izračunaj koordinate točke koja ima geografsku širinu 90° i pomnoži vrijednost sjeverne koordinate s 4. Provjeri rezultat s pomoću formula i računa duljine luka meridijana na prethodnim vježbama.

3. Izračunaj površinu sfere s pomoću PROJ.4.

Uputa: U ekvivalentnoj cilindričnoj projekciji izračunaj koordinate točke koja ima duljinu 180° i širinu 90° i pomnoži istočnu i sjevernu koordinatu, pa taj umnožak pomnoži s 4. Provjeri rezultat s pomoću egzaktna formule ($2 \cdot R^2 \cdot \pi$).

4. Izračunaj površinu elipsoida WGS84 s pomoću PROJ.4.

Uputa: U ekvivalentnoj cilindričnoj projekciji izračunaj koordinate točke koja ima duljinu 180° i širinu 90° i pomnoži istočnu i sjevernu koordinatu, pa taj umnožak pomnoži s 4. Provjeri rezultat s

pomoću formule
$$P = 2b^2\pi \left(\frac{1}{1-e^2} + \frac{1}{2e} \ln \frac{1+e}{1-e} \right) = 2a^2\pi \left(1 + \frac{1-e^2}{2e} \ln \frac{1+e}{1-e} \right).$$

H. Rješenja zadataka za samoprocjenu

1. Izračunaj duljinu meridijanske kružnice na sferi pomoću PROJ.4

sjeverna koordinata: 10007538,69

```
D:\proj\bin>proj +proj=eqc +ellps=sphere  
0d0'0" 90d0'0"  
0.00 10007538.69
```

```
0.00 10007538.69
```

Nakon množenja s 4 dobijemo: 40030154.76

Možete upotrijebiti i opciju `-m 4` koja će vrijednosti koordinata pomnožiti s 4.

2. Izračunaj duljinu meridijanske elipse na elipsoidu WGS84 pomoću PROJ.4

sjeverna koordinata: 1001965,73

```
D:\proj\bin>proj +proj=tmerc +ellps=WGS84  
0d0'0" 90d0'0"N  
0.00 1001965.73
```

```
0.00 1001965.73
```

Nakon množenja s 4 dobijemo: 4007862,92

Pretpostavljena vrijednost srednjeg meridijana `+lon_0` je 0, zato se upisuje 0 za geografsku dužinu, naime poprečna Mercatorova projekcija samo srednji meridijan preslikava u pravu veličinu. Zašto kada trebam dužinu do pola, ipak uvijek dobijem istu vrijednost i za druge geografske dužine?

Možete upotrijebiti i opciju `-m 4` koja će vrijednosti koordinata pomnožiti s 4.

3. Izračunaj površinu sfere pomoću PROJ.4

sjeverna koordinata: 6370997,00

istočna koordinata: 20015077,37

```
D:\proj\bin>proj +proj=cea +ellps=sphere  
180d0'0" 90d0'0"  
20015077.37 6370997.00
```

```
180d0'0" 90d0'0"
```

Nakon množenja s 4 dobijemo: $5,10063991516 \cdot 10^{14}$

4. Izračunaj površinu elipsoida WGS84 pomoću PROJ.4

sjeverna koordinata: 6363885,33

istočna koordinata: 20037508,34

```
D:\proj\bin>proj +proj=cea +ellps=WGS84  
180d0'0" 90d0'0"  
20037508.34 6363885.33
```

```
180d0'0" 90d0'0"
```

Nakon množenja s 4 dobijemo: $5,100656215 \cdot 10^{14}$

Računalni program „Kartografske projekcije“

U Zavodu za kartografiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu sastavljen je računalni program „Kartografske projekcije“ ([može se preuzeti s E-kolegija](#)). čija je namjena olakšati rad na projektiranju matematičke osnove karata ([Tutić 1998](#)). Program uključuje 85 projekcija Zemljine sfere, od kojih svaka, uz nekoliko iznimaka, može biti uspravna, poprečna i kosa. Omogućuje crtanje mreže meridijana i paralela i sadržaja zadanog u datoteci (konture kontinenata, granice država, rijeke, itd.). Područje preslikavanja može se ograničiti mrežom meridijana i paralela, pravokutnim okvirom i u azimutnim projekcijama kružnicom.

A. Prva upotreba programa „Kartografske projekcije“

1. Za pokretanje programa Kartografske projekcije odabrati Start > Karta.
Kada se program pokrene pojavi se uobičajen prozor s nazivom programa, izbornikom i crtežom lista papira u koji je ucrtan okvir karte. Veličina i oblik lista papira i okvira karte može se mijenjati izborom Karta > Okvir karte.
2. Izbor jedne od 85 ponuđenih projekcija odvija se preko izbornika Karta > Projekcija.
Kad izaberemo izbornik Projekcija, pojavljuje se podizbornik u kojem su navedene skupine projekcija prema obliku kartografske mreže. Tek nakon izbora skupine pojavljuje se dijalog u kojemu možemo izabrati pojedinačne projekcije koje pripadaju toj skupini i njezine parametre. Parametri koji su obliku stupnjeva, minuta i sekunda upisuju se s pomoću razmaknice, pri čemu program automatski upisuje odgovarajući znak za jedinicu).
3. Zadavanje parametara karte (ne kartografske projekcije!) odvija se preko izbornika Karta > Parametri
Zadani parametri određuju koji će dio Zemljine sfere biti iscrtan, s kojom gustoćom mreže meridijana i paralela i s kojom gustoćom točaka po meridijanima i paralelama. U parametre karte uključeni su još i mjerilo, polumjer Zemljine sfere i još neke dodatne opcije.

Rubovi područja preslikavanja zadaju se s pomoću dvije točke na sferi. Prva točka mora imati južniju geografsku širinu i zapadniju geografsku dužinu od druge točke. U početku su te vrijednosti postavljene tako da se preslika cijela Zemlja. Mjerilo karte možemo zadati ili ga program određuje ovisno o veličini zadanog okvira. Ako zadamo takvo mjerilo da područje preslikavanja više ne stane u okvir karte pojavit će se poruka koja na to upozorava. Promjenom mjerila karta se povećava ili smanjuje oko središnje točke okvira karte. Polumjer sfere možemo upisati ili izabrati. Možemo izabrati takav polumjer da sfera ima isti volumen ili oplošje kao neki elipsoid ili da je jednak srednjem polumjeru zakrivljenosti u nekoj točki na elipsoidu.

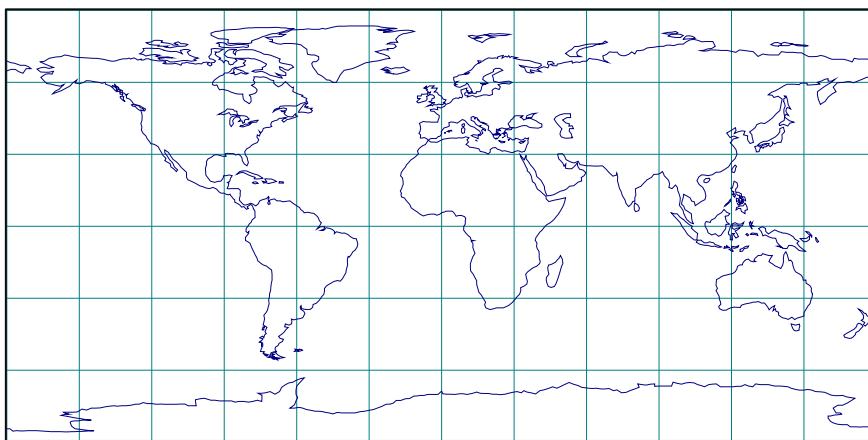
Nakon zadavanja svih parametara kartografske projekcije i karte, karta se može iscrtati na zaslon monitora pozivom izbornika Karta > Crtanje. Program generira kartografsku mrežu s pomoću izabrane projekcije i zadanih parametara, a granice država možemo dodati učitavanjem podataka iz datoteke preko izbornika Program > Podaci. Mogu se izabrati podaci za zvijezde (ZVIJEZDE), konture kontinenata (WORLD), konture kontinenata s podjelom na države (WORLD5) i granica Hrvatske.

Iscrtana karta može se spremiti s pomoću Karta > Karta u datoteku gdje se može izabrati između 2 formata zapisa:

- AUTOCAD Script - AutoCAD može naredbe interpretirati iz neke tekstualne datoteke s ekstenzijom .scr sve dok su naredbe u toj datoteci u skladu s formatom naredbi koje se upisuju u redak za naredbe
- Windows Metafile – format koji može sadržavati vektorsku i rastersku grafiku.

B. Crtanje karte svijeta u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji

1. Iz izbornika Karta > Projekcija izabrati Cilindrična, a zatim Ekvidistantna cilindrična.
2. Preko izbornika Program > Podaci učitati datoteku World.bin s granicama kontinenata.
3. Pozivom izbornika Karta > Crtanje iscrtava se karta svijeta.
4. Iscrtanu kartu ispisati u datoteku zadavanjem Karta > Karta u datoteku > AutoCAD script > Svijet_EQC.scr i učitati u AutoCAD. Ispisati kartu i u Windows metafile i umetnuti u Word.



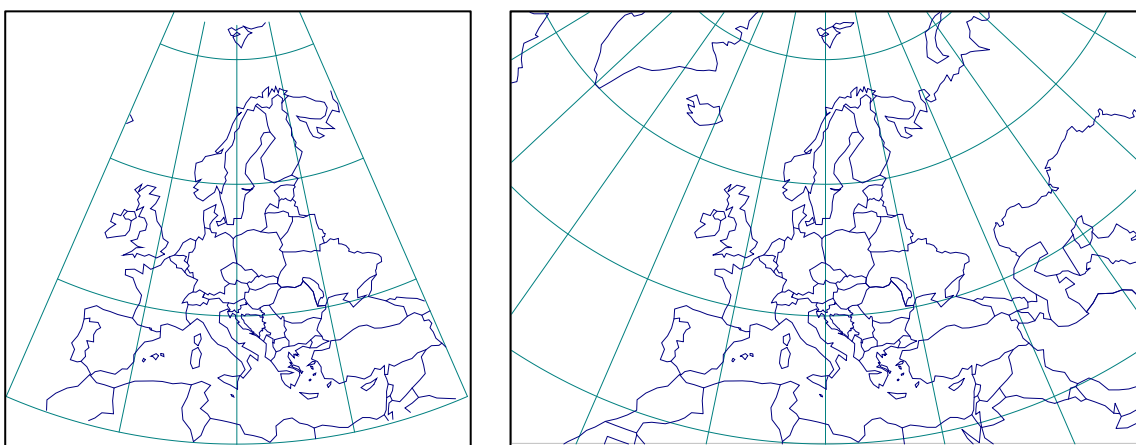
Karta svijeta u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji, $\varphi_0=0$.

Deformacije dužina i kutova udaljavanjem od ekvatora naglo rastu, pa se ta projekcija rijetko upotrebljava za prikaz čitavog svijeta.

C. Crtanje karte Europe u ekvivalentnoj konusnoj projekciji

1. Iz izbornika Karta > Projekcija izabrati Konusna, a zatim Ekvivalentna konusna. Srednji meridijan je 15° , a standardne paralele su 43° i 62° .

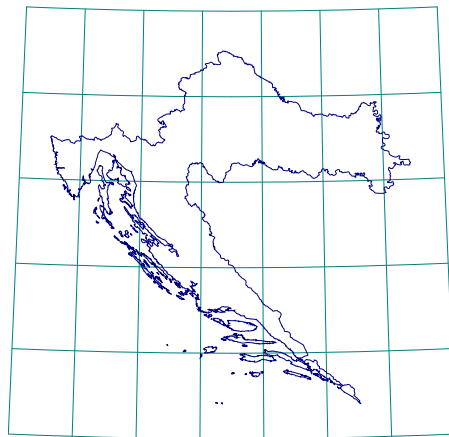
2. U izborniku Karta > Parametri zadati sljedeće parametre. Rubovi područja preslikavanja su: geografska širina od 30° do 80° , geografska dužina od -15° do 45° . Razmak mreže meridijana i paralela je 15° .
3. Preko izbornika Program > Podaci učitati datoteku World5.bin s granicama država svijeta.
3. Pozivom izbornika Karta > Crtanje iscrtava se karta Europe omeđena meridijanima i paralelama zadanog područja.
4. Za iscrtavanje mreže do okvira karte potrebno je vratiti se u Parametre karte i pod Način iscrtavanja mreže izabrati opciju Karta omeđena okvirom karte.



Karta Europe omeđena meridijanima i paralelama zadanog područja (lijevo) i iscrtana do okvira karte (desno). Rubovi područja preslikavanja su: geografska širina od 30° do 80° , geografska dužina od -15° do 45° . Razmak mreže meridijana i paralela je 15° .

D. Crtanje karte Hrvatske u konformnoj konusnoj projekciji

1. Iz izbornika Karta > Projekcija izabrati Konusna, a zatim Konformna konusna. Srednji meridijan je $16^{\circ}30'$, a standardne paralele su $43^{\circ}05'$ i $45^{\circ}55'$.
2. U izborniku Karta > Parametri zadati sljedeće parametre. Rubovi područja preslikavanja su: geografska širina od 42° do 47° , geografska dužina od 13° do 20° . Razmak mreže meridijana i paralela je 1° .
3. Preko izbornika Program > Podaci učitati datoteku Hrvatska.bin s granicama Hrvatske.
4. Pozivom izbornika Karta > Crtanje iscrtava se karta Hrvatske omeđena meridijanima i paralelama zadanog područja.
5. Iscrtanu kartu ispisati u datoteku zadavanjem Karta > Karta u datoteku > AutoCAD script > Hrvatska_LCC.scr i učitati u AutoCAD. Ispisati kartu i u Windows metafile i umetnuti u Word.



Karta Hrvatske u Lambertovoj konformnoj konusnoj projekciji.

Rubovi područja su geografska širina od 42° do 47° , geografska dužina od 13° do 20° .

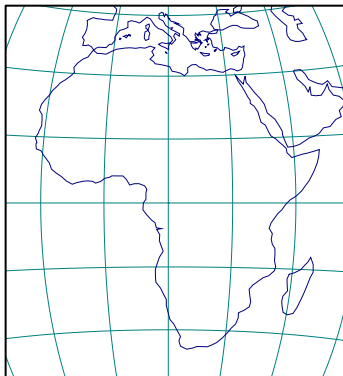
Razmak mreže meridijana i paralela je 1° . Standardne paralele su $43^\circ 05'$ i $45^\circ 55'$.

E. Zadaci za samoprocjenu

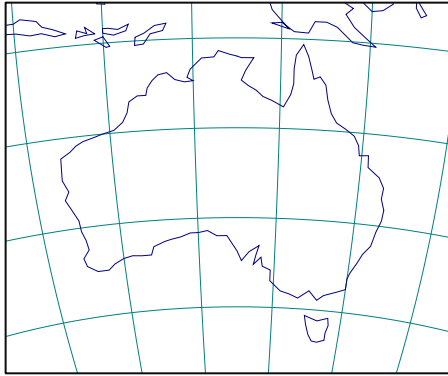
1. Primjenom računalnog programa „Kartografske projekcije“ iscrtaj kartu svijeta u Winkelovoj trostrukoj projekciji. Winkelova trostruka projekcija spada u grupu uvjetnih projekcija (Ostale projekcije > Uvjetna). Što zaključuješ o deformacijama dužina i kutova na iscrtanoj karti? Usporedi kartu svijeta u Winkelovoj trostrukoj projekciji s kartom svijeta u uspravnoj ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji.

Paralele su u Winkelovoj trostrukoj projekciji blago zakrivljene linije, a raspored deformacija površina i kutova između ekvatora i polarnih područja vrlo je povoljan, pa se ta projekcija preporuča za izradu karata svijeta.

2. Primjenom računalnog programa „Kartografske projekcije“ iscrtaj Afriku u poprečnoj ekvivalentnoj azimutalnoj projekciji. Sjeverni pol nalazi se na 180° geografske duljine, srednji meridijan je 15° i razmak mreže meridijana i paralela je 15° . NAPOMENA: Kod kosih azimutnih projekcija os x je usmjerena prema jugu pa je za geografsku dužinu pola kose projekcije upisati 180° kako bi os x bila usmjerena na sjever kako smo navikli.



3. Primjenom računalnog programa „Kartografske projekcije“ iscrtaj Australiju u kosoj ekvivalentnoj azimutalnoj projekciji. Sjeverni pol nalazi se na -20° geografske širine i 180° geografske duljine, srednji meridijan je 135° i razmak mreže meridijana i paralela 10° .
NAPOMENA: Kod kosih azimutnih projekcija os x je usmjerena prema jugu pa je za geografsku dužinu pola kose projekcije upisati 180° kako bi os x bila usmjerena na sjever kako smo navikli.



QGIS

QGIS je geoinformacijski programski paket otvorenog kôda koji se može koristiti za uređivanje, analizu i vizualizaciju prostornih podataka. Program nudi brojne funkcionalnosti GIS-a koje su ugrađene u softver ili dostupne putem dodataka. Podržava veliki broj rasterskih i vektorskih formata podataka putem biblioteke GDAL/OGR. QGIS je besplatan i slobodan softver objavljen pod GNU GPL licencom, što znači da se QGIS može slobodno [preuzeti](#), koristiti i modificirati za izvođenje raznih specijaliziranih zadataka, a proširenje njegove osnovne funkcionalnosti moguće je i kroz korištenje brojnih dodataka. Ukoliko izradite neku proširenje ili nadogradnju QGIS-a koju želite objaviti ili na bilo koji drugi način učiniti dostupnom drugima, GNU GPL licenca vas obvezuje da i te promjene i nadogradnje objavite pod istom licencom. U protivnom, podliježete zakonskim sankcijama kao i kod kršenja bilo koje druge licence, npr. komercijalne.

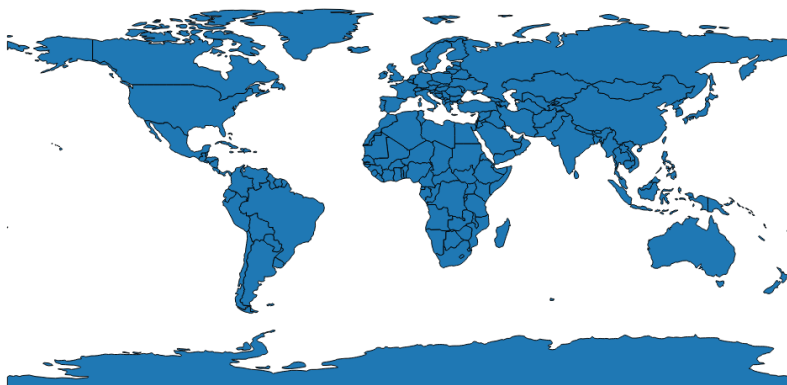
A. Preuzimanje i učitavanje podataka s konturama granica država

1. Podatke s granicama država za cijeli svijet [preuzeti sa stranica Natural Earth-a](#). Datoteku `ne_110m_admin_0_countries.zip` spremiti na računalo i raspakirati.
2. Pogledati sadržaj preuzete datoteke. U kojem formatu su zadani podaci? Je li uz podatke zadan koordinatni sustav i kartografska projekcija?
3. Otvoriti `ne_110m_admin_0_countries.prj` u nekom od programa za uređivanje teksta (npr. u Notepad-u). Možeš li navesti metapodatke o koordinatnom sustavu?

GEOGCS = Geographic Coordinate System

```
GEOGCS["WGS84", DATUM["WGS_1984", SPHEROID["WGS  
84", 6378137, 298.257223563]], PRIMEM["Greenwich", 0], UNIT["degree", 0.0174  
53292519943295]]
```

4. Pokrenuti QGIS i preko izbornika Layer > Add Layer > Add Vector Layer učitati vektorske podatke s granicama država (datoteka `ne_110m_admin_0_countries.shp`).



Podaci Natural Eartha s granicama država svijeta učitani u QGIS.

B. Zadavanje koordinatnog sustava kartografske projekcije

1. Pozivom izbornika **Project > Project Properties** provjeriti što je zadano pod **Project Coordinate Reference Sytem (CRS)**.

Selected CRS: WGS 84

Extent: -180.00, -90.00, 180.00, 90.00

Proj4: +proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs

WGS84 je naziv za globalni elipsoid (datum) koji se često u GIS okruženju koristi kao referentni koordinatni sustav u datumu WGS84, u kojem su točke zadane geografskim/geodetskim koordinatama sa svrhom pružanja globalnog okvira za prostorne podatke cijelog svijeta. Longlat nije standardna kartografska projekcija, služi za vizualizaciju geografskih koordinata u ravnini tako da se na istočnu os nanese geografske dužine, a na sjevernu os geografske širine. Tako dobivena slika odgovara obliku mreže u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji. Matematički, umjesto jednadžbi $x = R\varphi^{\text{°}}$ i $y = R\lambda^{\text{°}}$ koje odgovaraju ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji sfere, u pseudo-projekciji latlong imamo $x = \varphi^{\text{°}}$ i $y = \lambda^{\text{°}}$.

PROJ.4 biblioteka koristi se u QGIS-u za definiranje koordinatnih sustava kartografskih projekcija. Zato je potrebno razumjeti i znati napisati definiciju bilo koje projekcije pomoću parametara programa PROJ.4.

C. Automatske transformacija („on-the-fly“) u uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju

1. Pozivom izbornika **Project > Project Properties** (opcija **Enable „on the fly“ CRS transformation** mora biti uključena) prikazati podatke u koordinatnom sustavu uspravne ekvidistantne cilindrične projekcije na sferi

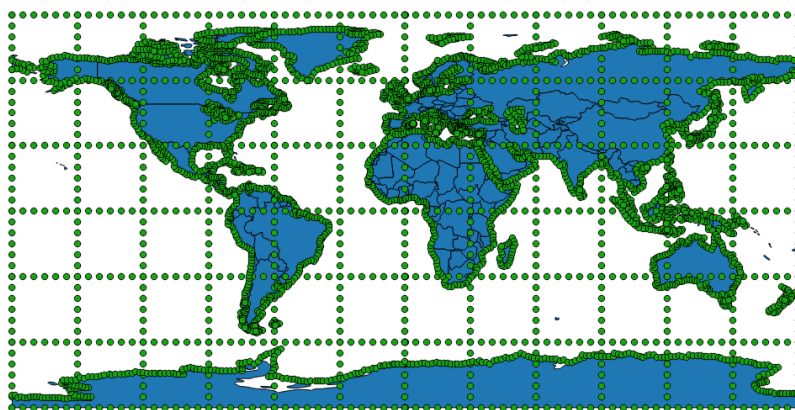
World Equidistant Cylindrical (Sphere)

Extent: -180.00, -90.00, 180.00, 90.00

Proj4: +proj=eqc +lat_ts=0 +lat_0=0 +lon_0=0 +x_0=0 +y_0=0 +a=6371007 +b=6371007 +units=m +no_defs

Pojam "projecting-on-the-fly" odnosi se na značajku GIS softvera koja je osmišljena sa zadatkom da automatski promijeni koordinatni sustav prikaza skupova podataka (npr. podataka spremljenih u geografskim koordinatama) kako bi se oni prikazali zajedno s drugim, npr. projiciranim, skupovima prostornih podataka.

2. Pomoću naredbe **Layer > Add Layer > Add Delimited Text Layer** učitati točke s konturama kontinenta zapisane u script datoteci (Svijet_EQC.scr), koju ste izradili u računalnom programu „Kartografske projekcije“.



Transformacija podataka („on-the-fly“) u uspravnu ekvidistantnu cilindričnu projekciju na sferi i preklapanje s podacima iscrtanim u istoj projekciji u računalnom programu „Kartografske projekcije“.

VAŽNO: U ovoj metodi prikaza podataka, tj. transformaciji podataka („on-the-fly“), izvorni koordinatni sustav i projekcija skupa podataka koji su spremjeni s podacima ostaju nepromijenjeni. Mijenja se samo koordinatni sustav njihovog prikaza.

D. Preuzimanje i učitavanje podataka s konturama granice Hrvatske

1. Podatke s granicom Hrvatske [preuzeti sa stranica DivaGIS-a](#). Datoteku HRV_adm.zip spremiti na računalo i raspakirati.
2. Pogledati sadržaj preuzete datoteke. U kojem formatu su zadani podaci? Je li uz podatke zadan referentni koordinatni sustav?
3. Otvoriti HRV_adm0.prj u nekom od programa za uređivanje teksta (npr. u Notepad-u). Možeš li navesti metapodatke o koordinatnom sustavu? Jesu li DivaGIS podaci zadani u istom koordinatnom sustavu kao i podaci NaturalEarth-a?

```
GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137.0,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]]
```

4. Pokrenuti QGIS i preko izbornika Layer > Add Layer > Add Vector Layer učitati vektorske podatke s granicom Hrvatske (datoteka HRV_adm0.shp).

E. Transformacija podataka („reprojiciranje“) u Lambertovu konformnu konusnu projekciju

1. Pozivom izbornika Layer > Save As reprojicirati podatke u koordinatni sustav Lambertove konformne konusne projekcije (za CRS potrebno je izabrati HTRS96/LCC)

HTRS96 / Croatia LCC

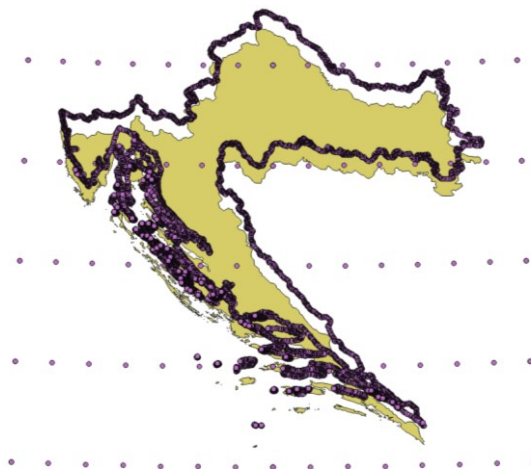
```
Proj4: +proj=lcc +lat_1=45.91666666666666 +lat_2=43.08333333333334  
+lat_0=0 +lon_0=16.5 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0  
+units=m +no_defs
```

Pročitati i interpretirati parametre programa PROJ.4 upotrijebljene za definiciju projekcije HTRS96/TM.

2. Otvoriti novi radni prostor (Project > New) i učitati reprojicirane podatke s granicom Hrvatske.

VAŽNO: Transformacija podataka „reprojiciranjem“ za razliku od transformacija podataka „on-the-fly“, mijenja podatke, tj. vrši se promjena zadanog skupa podataka, kao i njihov vizualni prikaz.

3. Pomoću naredbe Layer > Add Layer > Add Delimited Text Layer učitati točke s granicama Hrvatske zapisane u script datoteci (Hrvatska_LCC.scr), koju ste izradili u računalnom programu „Kartografske projekcije“.



Transformacija podataka u koordinatni sustav Lambertove konformne konusne projekcije (HTRS96/TM) i preklapanje s podacima iz računalnog programa „Kartografske projekcije“.

VAŽNO: Odstupanje (pomak) podataka uzrokovan je različito definiranim parametrima projekcije. U računalnom programu „Kartografske projekcije“ koordinatni sustav Lambertove konformne konusne projekcije definiran je na sferi (polumjera 6370290 m), dok je u programu QGIS definiran na elipsoidu (+ellps=GRS80).

E. Zadatak za samoprocjenu

1. Pokušaj definirati parametre Lambertove konformne konusne projekcije tako da se prikaz granice Hrvatske iscrtane u računalnom programu „Kartografske projekcije“ podudara s prikazom granice Hrvatske koja je dobivena transformacijom koordinata u QGIS-u.

Uputa za jedno od mogućih rješenja ovog zadatka:

- A. Primjenom računalnog programa „Kartografske projekcije“ iscrtaj kartu Hrvatske u Lambertovoj konformnoj konusnoj projekciji. Rubovi područja preslikavanja su geografska širina od 42° do 47° i geografska dužina od 13° do 20°. Razmak mreže meridijana i paralela je 1°. Standardne paralele su 43°05' i 45°55', srednji meridijan je 16°30'. U parametrima karte zadaj polumjer sfere 6370000 m. Iscrtanu granicu Hrvatske spremi u script datoteku.
- B. U QGIS-u pomoću parametara PROJ-a4 zadaj koordinatni sustav Lambertove konformne konusne projekcije s istim parametrima

Settings > Custom Coordinate Reference System Definition

```
+proj=lcc +lat_1=45.91666666666666 +lat_2=43.08333333333334 +lat_0=0  
+lon_0=16.5 +x_0=0 +y_0=0 +a=6370000 +b=6370000 +units=m +no_defs
```

i izvrši transformaciju granice Hrvatske.

- C. Učitaj točke zapisane u script datoteci i provjeri preklapaju li se ti podaci s transformiranom granicom Hrvatske.

