

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SEMINARSKI RAD

**DINAMIČKI MODEL LJUBAVI  
MODEL ROMEO I JULIJA**

Studenti: Marina Čubelić  
Mirjana Prkačin  
Mateja Vidović

Zagreb, lipanj 2011.

# SADRŽAJ

1. UVOD
2. DINAMIČKI SUSTAVI
3. DINAMIČKI MODEL LJUBAVI
4. RJEŠAVANJE MODELA
5. SLUČAJ JEDNAKIH ROMANTIČNIH STILOVA
6. SLUČAJ KNEMA UTJECAJA VLASTITIH OSJEĆAJA
7. VATRA I LED
8. GRAŠAK U LJUSCI
9. ROMEO ROBOT
10. LJUBAVNI TROKUT
11. ZAKLJUČAK
12. LITERATURA

## 1. UVOD

Davne 1960. Rapoport je opisao matematički model ljubavi, a proučavali su ga također i Radzicki (1993.) i Strogatz (1994.). Međutim, ljubav je vrlo teško matematički opisati. Postoji mnogo vrsta ljubavi i svaka od njih se međusobno razlikuje. Osim ljubavnog partnera, čovjek može voljeti sebe, život, čovječanstvo, itd. Nadalje, suprotno od ljubavi ne mora biti mržnja, ta dva osjećaja mogu postojati uzajamno, te netko može istovremeno voljeti neke osobine partnera, a neke mrziti. Dakle, ne možemo sa sigurnošću tvrditi da je nečija ljubav uzrokovana samo vlastitim osjećajima i osjećajima druge osobe, nego ovisi i o drugim utjecajima, a parametri koji karakteriziraju međuodnos mogu se mijenjati.

## 2. DINAMIČKI SUSTAVI

U jednodimenzionalnom problemu promatra se veličina  $x$  koja se mijenja u vremenu  $t$ , ali u praksi se puno češće susreću problemi u kojima sudjeluje više međusobno zavisnih veličina koje se mijenjaju vremenom. To znači da vrijednost jedne veličine utječe na vrijednost druge.

$$x' = f(x, y, t) \quad (1)$$

$$y' = g(x, y, t) \quad (2)$$

Tu je  $x' = \frac{dx}{dt}$  i  $y' = \frac{dy}{dt}$ , a  $f$  i  $g$  su funkcije triju varijabla koje opisuju brzinu promjene od  $x$ , odnosno  $y$  u ovisnosti o  $x$ ,  $y$  i  $t$ . U svakom trenutku  $t$  načelno mogu se odrediti vrijednosti  $x(t)$ ,  $y(t)$  tih veličina. Također, moguće je procijeniti brzine njihovih promjena. To dovodi do vrlo važnog poopćenja običnih diferencijalnih jednadžba, odnosno do sustava običnih diferencijalnih jednadžba. Kada te brzine ovise samo o vrijednostima veličina  $x$  i  $y$ , a ne o promatranom vremenu, dobije se sljedeći oblik sustava:

$$x' = f(x, y) \quad (3)$$

$$y' = g(x, y) \quad (4)$$

Cilj je riješiti taj sustav, tj. dobiti formule za  $x(t)$ ,  $y(t)$  za svaki  $t$  i tako opisati život ovog dinamičkog sustava. To općenito nije moguće, pa se pribjegava drugim metodama. Na primjer, ako je poznato stanje dinamičkog sustava u trenutku  $t_0$  (tj. početni uvjeti  $x(t_0) = x_0$  i  $y(t_0) = y_0$ ) koriste se grafičke ili numeričke metode kojima se mogu približno odrediti  $x(t)$  i  $y(t)$  za svaki  $t$ . Za dobivanje približnih rješenja neophodne su suvremene kompjutorske tehnike.

Pri proučavanju dinamičkih sustava važnu ulogu ima trajektorija točke  $(x_0; y_0)$ , sa svojstvom da postoji vrijeme  $t_0$  tako da bude  $x(t_0) = x_0$  i  $y(t_0) = y_0$  (tj. putanja koja prolazi kroz zadani početni uvjet). Prema definiciji, to je skup svih  $(x(t), y(t))$ , gdje  $t$  prolazi svim vremenima (svim realnim brojevima). To je, dakle, skup svih stanja (život) tog dinamičkog sustava koji sadrže stanje  $(x_0, y_0)$ .

Primjer takvog modela je dinamički model ljubavi.

### 3. DINAMIČKI MODEL LJUBAVI

Model privlačnosti između dvije osobe se može prikazati pomoću dvije linearne jednačbe:

$$\begin{aligned}\frac{dR}{dt} &= aR + bJ \\ \frac{dJ}{dt} &= cR + dJ\end{aligned}\tag{5}$$

gdje je  $R(t)$  Romeova ljubav prema Juliji u vremenu  $t$ , a  $J(t)$  Julijina ljubav prema Romeu. Parametri  $a$  i  $b$  predstavljaju Romeov "romantični stil", dok parametri  $c$  i  $d$  opisuju Julijin "romantični stil". Parametar  $a$  govori koliko Romeovi osjećaji utječu na njega, dok  $b$  opisuje koliko na njega utječu Julijini osjećaji. Parametri  $c$  i  $d$  opisuju isto s Julijina gledišta.

"Romantični stilovi", koji će biti objašnjeni u daljnjem tekstu na Romeovom primjeru, mogu se podijeliti na 4 skupine:

- 1) Pohlepnik:  $a > 0$ ,  $b > 0$  (Romeo je ohrabren svojim osjećajima prema Juliji i njezinim osjećajima prema njemu)
- 2) Narcist:  $a > 0$ ,  $b < 0$  (Romeu je više stalo do vlastitih osjećaja nego do Julijinih)
- 3) Oprezni ljubavnik:  $a < 0$ ,  $b > 0$  (Romeo bježi od vlastitih osjećaja, ali je ohrabren Julijinim)

4) Pustinjak:  $a < 0$ ,  $b < 0$  (Romeo bježi kako od svojih tako i od Julijinih osjećaja)

Sustav jednažbi (5) ima jednu stacionarnu točku kada je  $R = J = 0$ , a označava ravnodušnost (ravnotežu) između Romea i Julije. Ravnoteža se dobije iz sustava:  $dR/dt=0$ ,  $dJ/dt=0$ . Inače, to je jedina stacionarna točka ako je determinanta sustava  $ad-bc$  različita od 0.

U daljnjem tekstu, navedene "romantične stilove" (pohlepnik, narcis, oprezni ljubavnik, pustinjak) i njihove međusobne utjecaje prikazat ćemo grafički, pomoću modela u programskom paketu *Wolfram Mathematica 7.0*

## 4. RJEŠAVANJE MODELA

Kako je ranije spomenuto, model je rješavan u programskom paketu *Wolfram Mathematica 7.0*, a model izgleda ovako:

```
f[x,y]:=λ1 x[t]+λ2 y[t]
g[x,y]:=λ3 x[t]+λ4 y[t]
```

```
rjesenje:=Evaluate[{x[t],y[t]}/.DSolve[{x'[t]==f[x,y],y'[t]==g[x,y],x[0]==x0,y[0]==y0},{x,y},t]]
```

Za rješenje potrebno je zadati parametre ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  i  $\lambda_4$ ) i početne uvjete ( $x_0$ ,  $y_0$ ). Da bi se istovremeno dobilo više trajektorija zadano je više početnih uvjeta. Za prikazivanje eksplicitnih rješenja i grafa potrebno je napisati sljedeće naredbe:

```
Evaluate[Table[rjesenje,{x0,x0_min,x0_max},{y0,y0_min,y0_max}]]
```

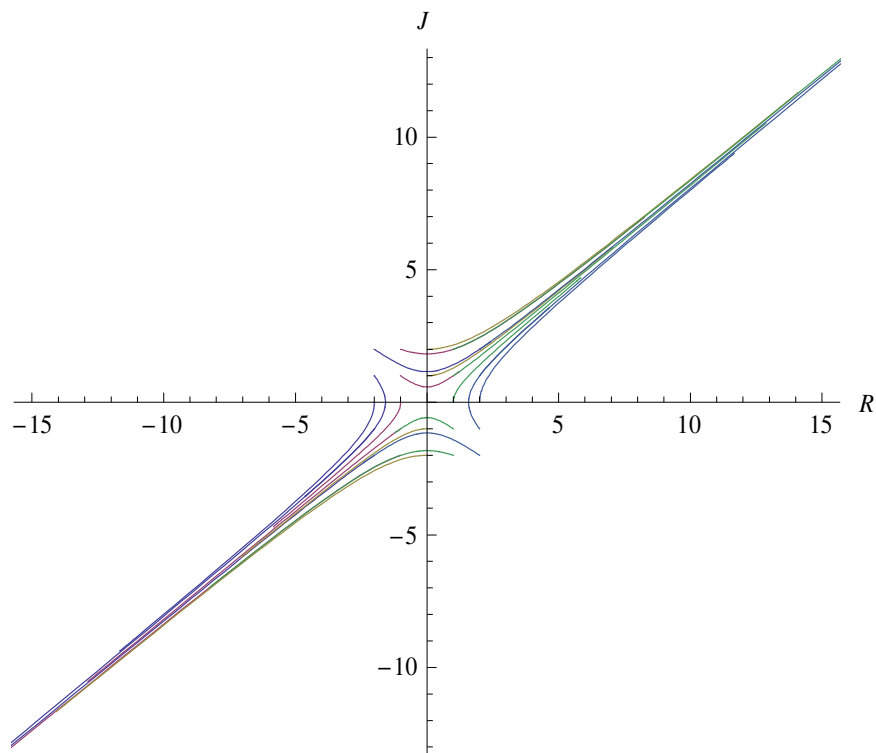
```
ParametricPlot[Evaluate[Table[rjesenje,{x0,x0_min,x0_max},{y0,y0_min,y0_max}]],{t,0,1},AspectRatio->Automatic,AxesOrigin->{0,0},PlotRange->Automatic,AxesLabel->{x,y}]
```

## 5. SLUČAJ JEDNAKIH „ROMANTIČNIH SITLOVA“

U daljnjem tekstu prikazat ćemo odnos između dvaju partnera (Romea i Julije) ukoliko oni imaju jednake "romantične stilove". (Primjeri preuzeti od Volarević i Kralik, 2010.)

### Primjer 1. pohotnik + pohotnik

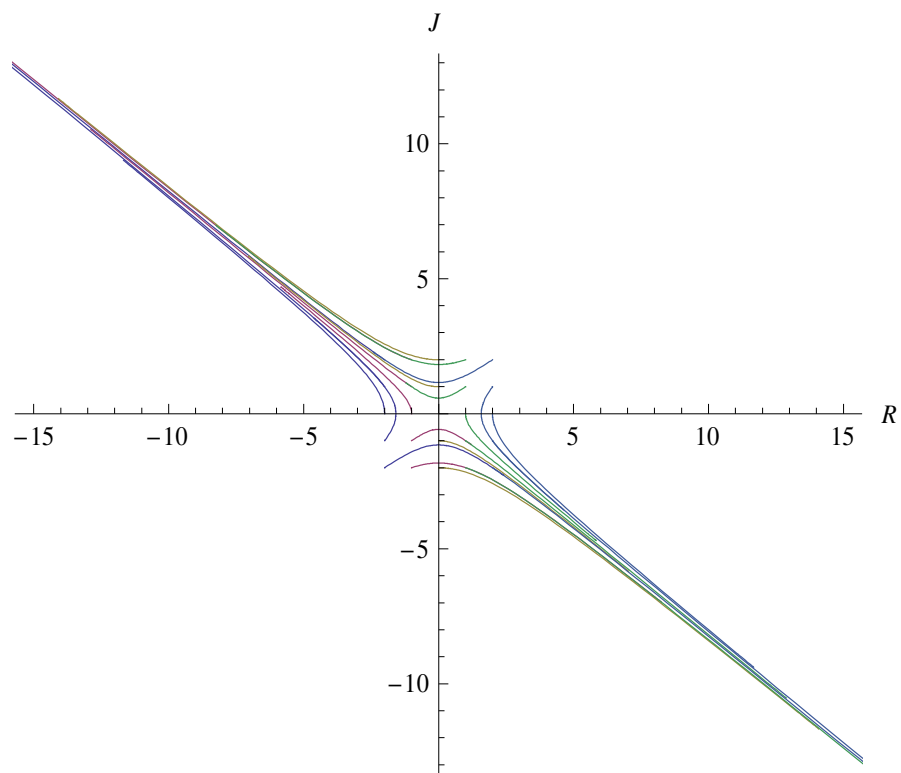
Romeo i Julija su ohrabreni vlastitim osjećajima, kao i osjećajima onog drugog. Bez obzira na omjer intenziteta osjećaja, ovaj odnos će uvijek završiti tako da se ili oboje beskonačno vole (I kvadrant) ili beskonačno mrze (III kvadrant), a to ovisi isključivo o početnim uvjetima, tj. kakav je bio njihov odnos na početku promatranja (slika 1).



Slika 1.

## Primjer 2: narcis + narcis

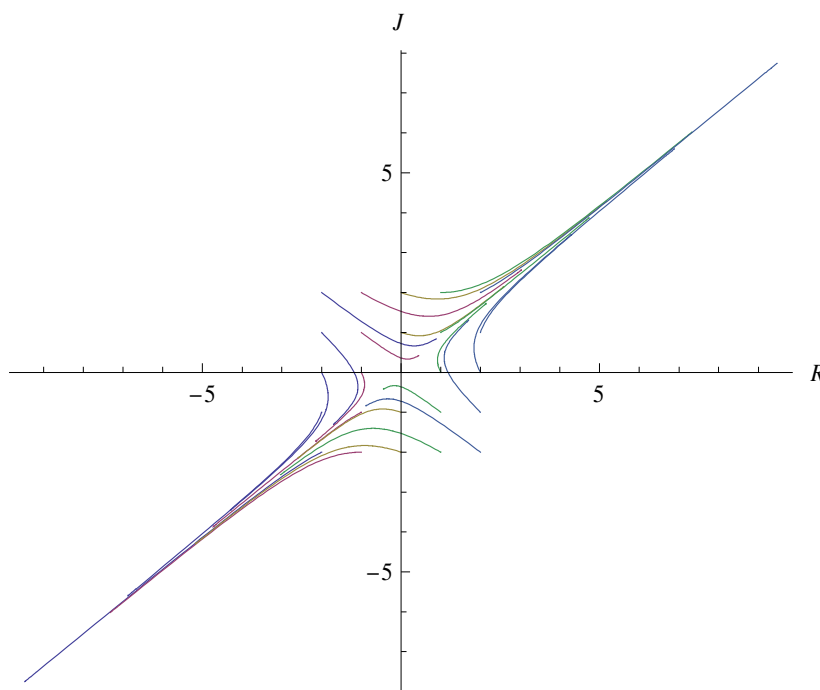
Romeo i Julija su ohrabreni vlastitim osjećajima, ali što Julija više ohrabruje Romea (II kvadrant) on je sve manje voli, odnosno što se više Romeo udvara Juliji ona je sve manje zainteresirana za njega (IV kvadrant). Ovakav odnos će uvijek rezultirati situacijom u kojoj jedno od njih bude beskonačno zaljubljeno, a drugo beskonačno mrzi (slika 2).



Slika 2..

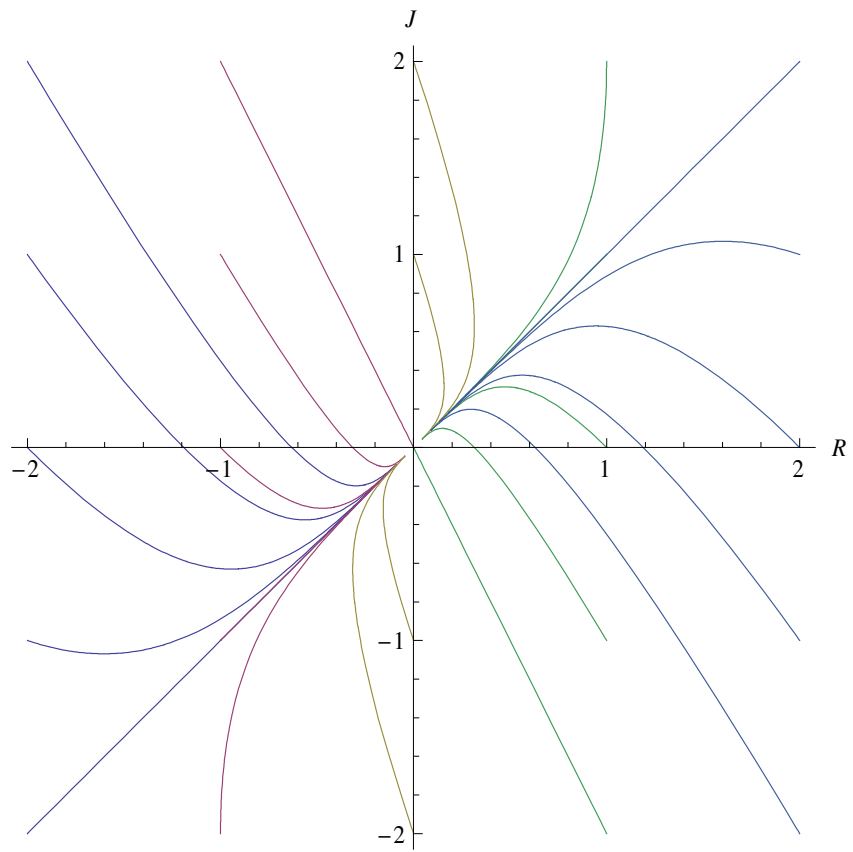
### Primjer 3: oprezni ljubavnik + oprezni ljubavnik

I Romeo i Julija su ohrabreni osjećajima onog drugog, ali se ne žele ozbiljno vezati te se zbog toga udaljavaju od vlastitih osjećaja. Rezultat ovakvoga odnosa ovisi o tome odgovaraju li Romeo i Julija više na osjećaje onog drugoga,  $|a| < |b|$ , ili su im pak važniji njihovi vlastiti osjećaji,  $|a| > |b|$ . Prvi slučaj rezultira beskonačnom ljubavlju (I kvadrant) ili mržnjom (III kvadrant), što ovisi o početnim uvjetima, jer Romeo i Julija ipak odgovaraju na osjećaje onog drugog (slika 3). U drugom slučaju će doći do međusobne apatije u kojoj ni Romeo ni Julija neće imati nikakve osjećaje prema onom drugo (slika 4). Ukoliko Romeo i Julija jednako odgovaraju na vlastite osjećaje kao i osjećaje onog drugog,  $|a| = |b|$ , tada će njihov odnos rezultirati jednim nepromjenjivim stanjem u kojem se Romeo i Julija ili vole ili mrže (slika 5). Isto će se dogoditi ukoliko vrijedi da je  $|a| = |c|$  i  $|b| = |d|$ .

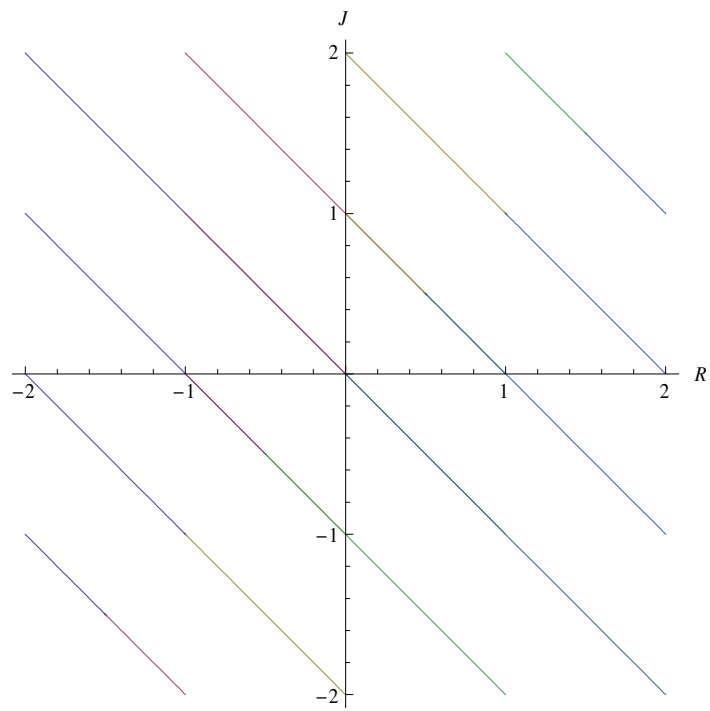


Slika 3.





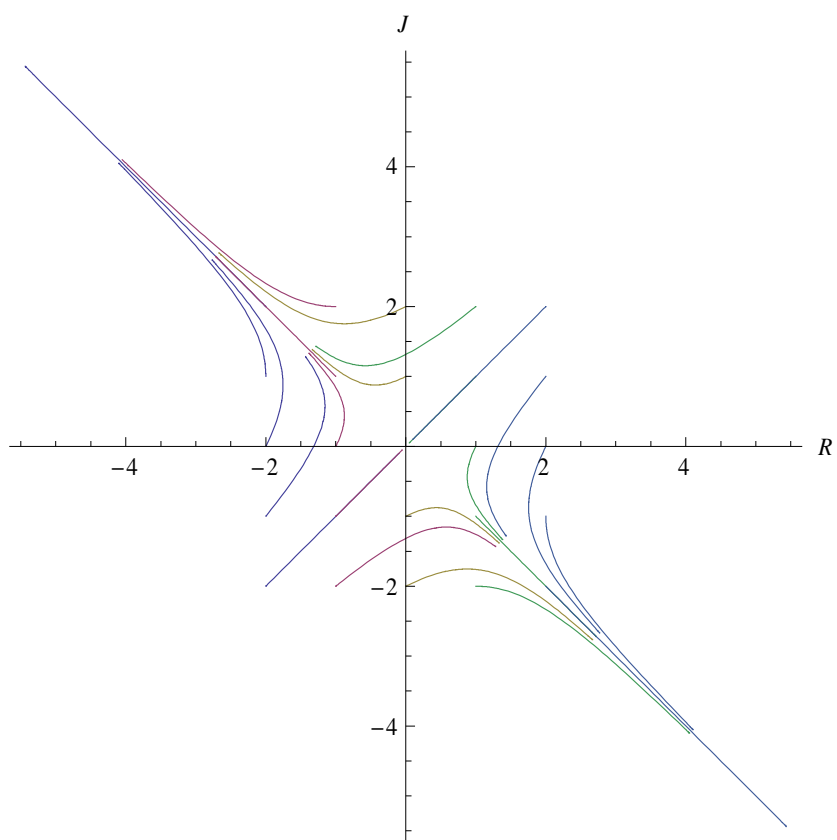
*Slika 4..*



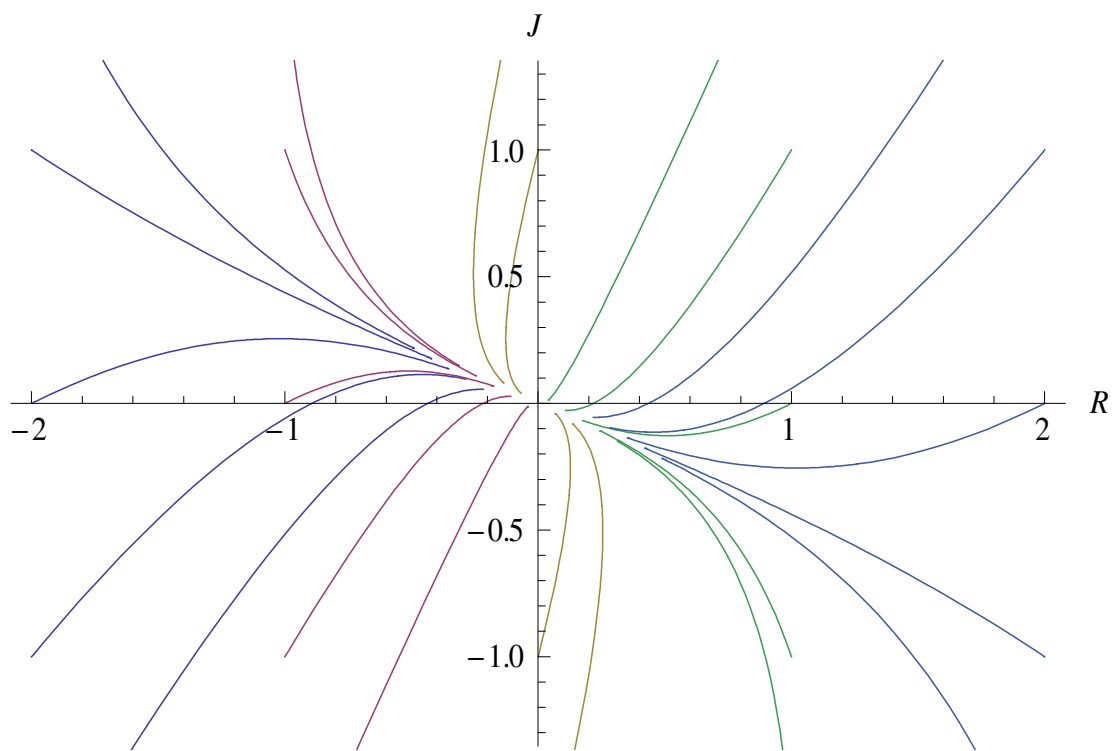
*Slika 5.*

#### Primjer 4 : pustinjak + pustinjak

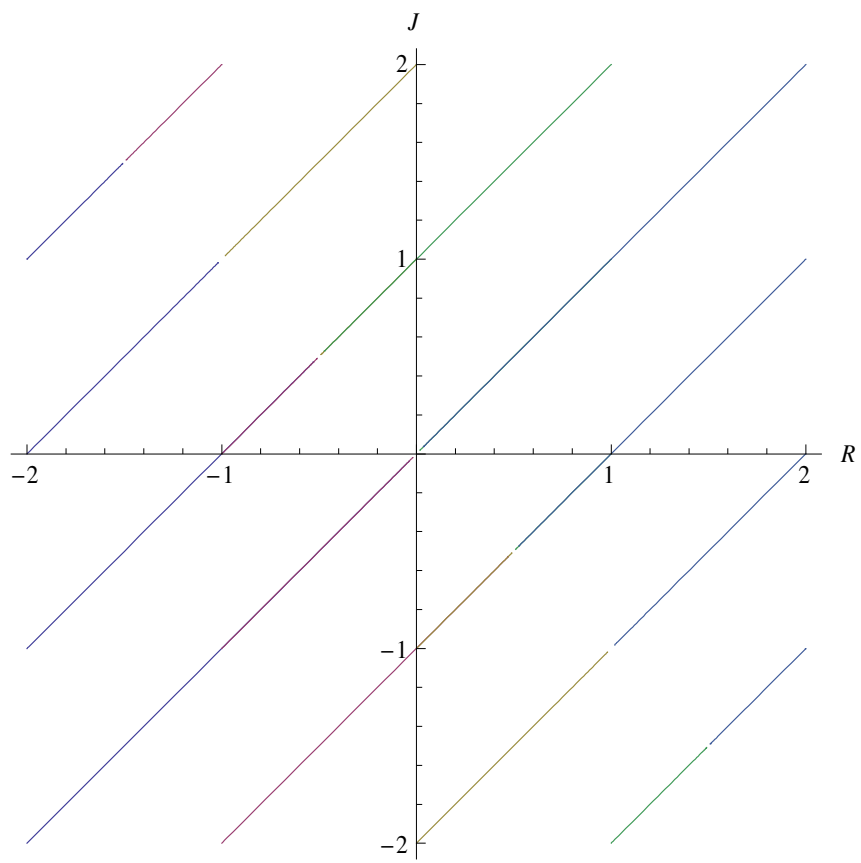
Ako su Romeo i Julija oboje pustinjaci tada će njihov odnos rezultirati tako da je jedno od njih beskonačno zaljubljeno dok ga ono drugo beskonačno mrzi ukoliko Romeo i Julija više odgovaraju na osjećaje onog drugog nego na svoje osjećanje,  $|a| < |b|$  (slika 6). U suprotnom, kada je  $|a| > |b|$ , dolazi do međusobne apatije (slika 7). Ukoliko Romeo i Julija jednako odgovaraju na vlastite osjećaje kao i osjećaje onog drugog,  $|a| = |b|$ , tada će njihov odnos rezultirati jednim nepromjenjivim stanjem u kojem je jedno od njih zaljubljeno, a drugo mrzi (slika 8). Isto će se dogoditi ukoliko vrijedi da je  $|a| = |c|$  i  $|b| = |d|$ .



Slika 6.



Slika 7.



Slika 8.

Za navedene tipove "romantičnih stilova" (pohlepnik, narcis, oprezni ljubavnik, pustinjač) mogu se pojaviti različite situacije. U daljnjem tekstu opisat ćemo neke od njih:

## 6. SLUČAJ KADA NEMA UTJECAJA VLASTITIH OSJEĆAJA

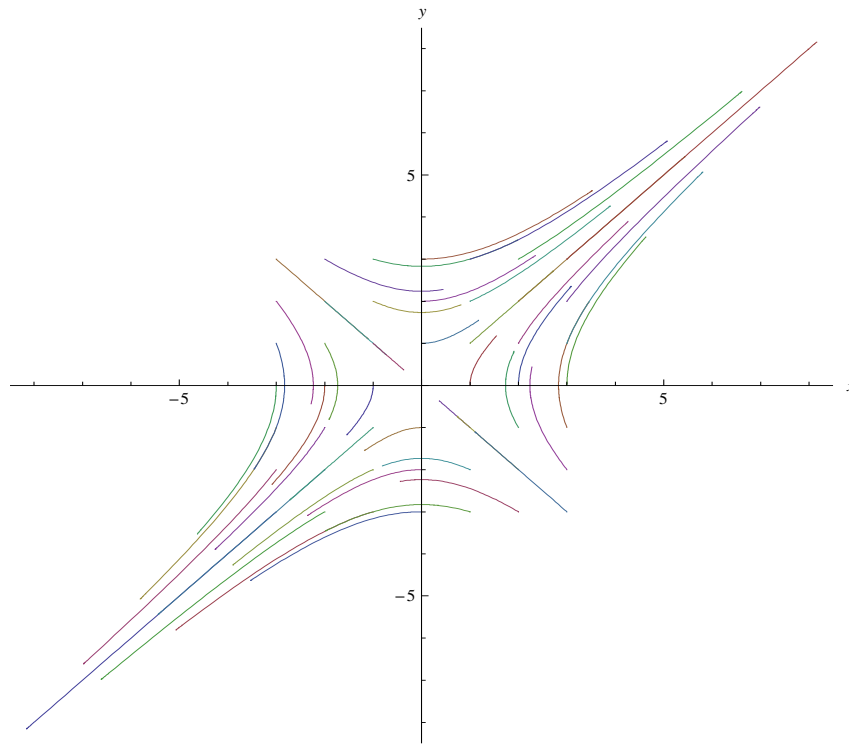
Pretpostavimo da na Romea i Juliju ne utječu njihovi vlastiti osjećaji, ali da svaki do njih reagira na osjećaje onog drugog ( $a = d = 0$ ). Dinamika u ovom slučaju ovisi o parametrima  $b$  i  $c$ , za koje postoje 3 kombinacije s navedenim rezultatima:

- 1) dva ljubavnika:  $b > 0, c > 0$  (uzajamna ljubav ili uzajamna mržnja)
- 2) dva narcisa:  $b < 0, c < 0$  (jedan voli, a drugi mrzi)
- 3) narcis + ljubavnik:  $bc < 0$  (beskrajni ciklus ljubavi i mržnje).

Također, postoje i slučajevi kada je  $b$  ili  $c$  jednako nuli, međutim takve rubne slučajeve nećemo razmatrati.

### **Primjer 5: Dva ljubavnika ( $b > 0, c > 0$ )**

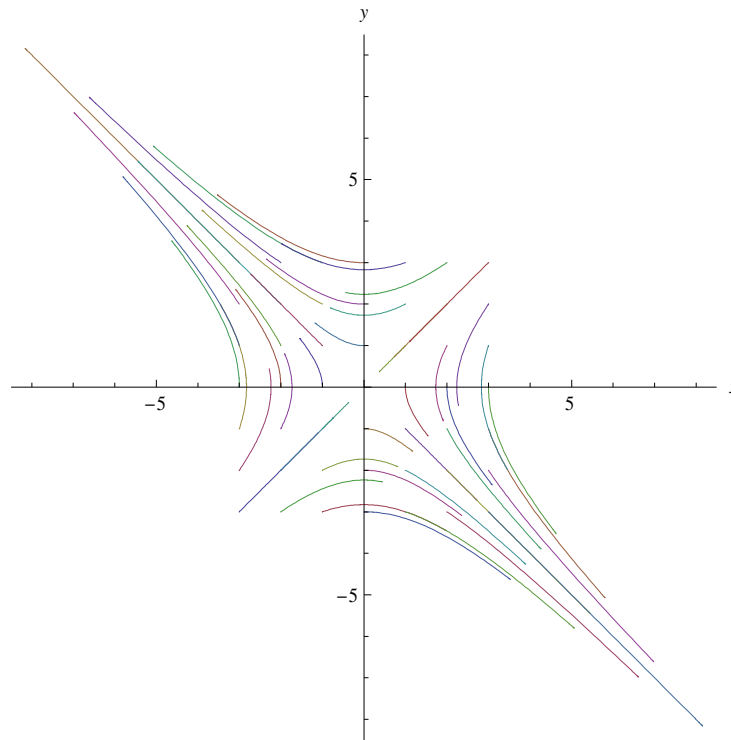
U ovom slučaju Romeo i Julija se beskonačno vole (I kvadrant), odnosno Romeo je ohrabren Julijinim osjećajima i njegova ljubav prema Juliji sve više raste. S druge strane i Julija sve više voli Romea ohrabrena njegovim osjećajima. U tom slučaju uzeli smo parametre  $a=0, b=1, c=1, d=0$ , a slučaj je prikazan na slici 9.



*Slika 9.*

**Primjer 6: Dva narcisa:  $b < 0, c < 0$**

Ovo je slučaj u kojem jedno voli, a drugo ne. Konkretno, što je Julijina ljubav prema Romeu veća, Romeova ljubav prema njoj se smanjuje (II kvadrant), odnosno kada Romeova ljubav prema Juliji raste, ona postaje manje zainteresirana za njega (IV kvadrant). Za taj slučaj uzeti su sljedeći parametri:  $a=0, b=-1, c=-1, d=0$ , a slučaj je prikazan na slici 10.

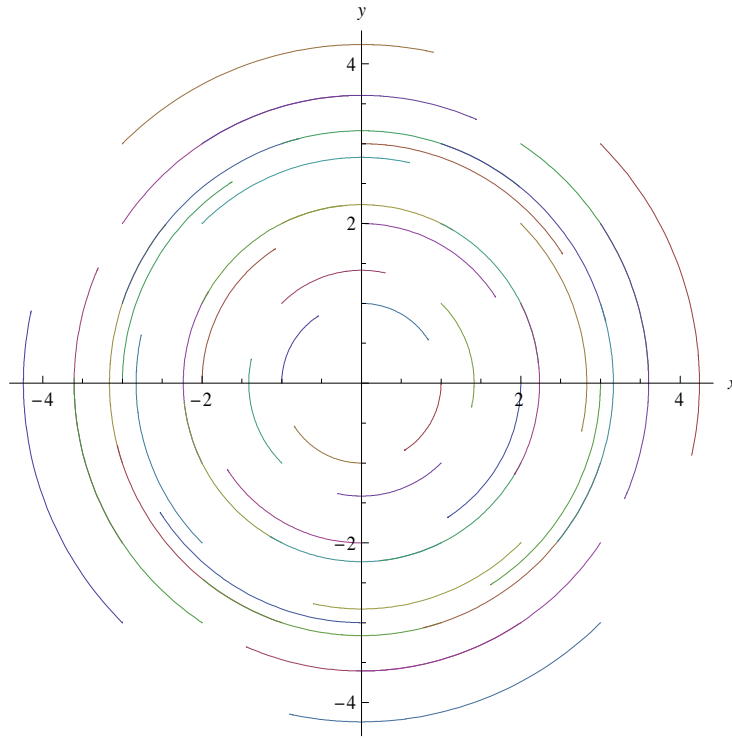


Slika 10.

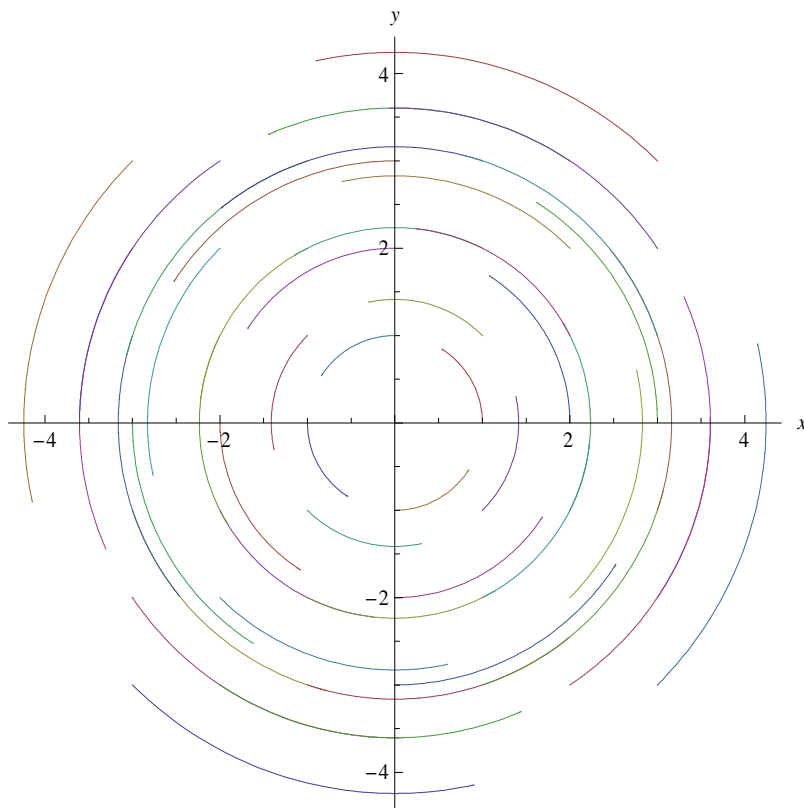
**Primjer 7: Narcis i ljubavnik:  $bc < 0$**

Ako vrijedi  $bc < 0$  dobije se kružnica, odnosno intenzitet njihovih osjećaja (pozitivnih ili negativnih), koji se javljaju zbog ohrabrivanja onog drugog, je jednak. U prvom kvadrantu, iako ohrabren Julijinim osjećajima Romeo je sve manje zaljubljen (drugi kvadrant) i Julijini osjećaji počinju slabjeti, tako da se sve manje vole. U trećem kvadrantu Romeovi osjećaji počinju se ponovno buditi, ali je sada Julija sve manje zainteresirana, dok u četvrtom kvadrantu i njegovi i njeni osjećaji postaju sve snažniji. Dakle razvija se beskonačan ciklus ljubavi i mržnje. Ako vrijedi da je  $b > 0$  i  $c < 0$ , uzimamo vrijednost parametara  $a=0$ ,  $b=1$  i  $c=-1$ ,  $d=0$ , tada je orijentacija krivulje u smjeru kazaljki na satu, a slučaj prikazuje slika 11.

Za  $b < 0$  i  $c > 0$  uzimamo vrijednost parametara  $a=0$ ,  $b=-1$ ,  $c=1$ ,  $d=0$ , tada je orijentacija krivulje u smjeru suprotnom od kazaljki na satu a slučaj prikazuje slika 12.



slika 11.



Slika 12.

U daljnjem tekstu napuštamo dio rada od Kralik/Volarević i razmatrat ćemo neke druge zanimljive slučajeve, ali samo neke od njih.

## 7. VATRA I LED

Model privlačnosti prikazujemo pomoću već ranije spomenutih jednažbi:

$$\begin{aligned}\frac{dR}{dt} &= aR + bJ \\ \frac{dJ}{dt} &= cR + dJ\end{aligned}$$

Sada pretpostavimo slučaj u kojem su dvoje ljubavnika potpune suprotnosti ( $c = -b$  i  $d = -a$ ).

1) pohlepnik + pustinjač:  $ab > 0$ .

2) narcis + ljubavnik:  $ab < 0$

Parametri  $a$  i  $b$  mogu biti jednaki nuli, no takve rubne slučajeve nećemo razmatrati.

Ishod navedenog slučaja ovisi o tome hoće li pojedinci više reagirati na sebe ( $|a| > |b|$ ) ili na druge ( $|a| < |b|$ ). Prvi slučaj vodi do toga da su pohlepnik i pustinjač u sukobu, a narcisoidni štreber i oprezni ljubavnik su u ljubavi ili u mržnji. U drugom slučaju sve je obrnuto.

Prema tome trajektorije mogu završiti u bilo kojem kvadrantu (sve 4 kombinacije ljubavi i mržnje) ili u beskonačnom ciklusu.

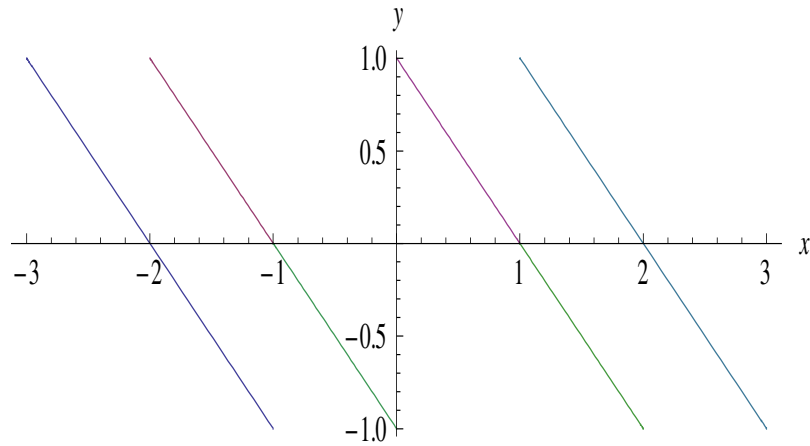
### Primjer 8. Pohlepnik + pustinjač

U ovom slučaju  $ab > 0$ , a parametri koje smo izabrali za razmatranje definiramo kao  $a=1$  i  $b=1$ , i vrijedi da je  $c=-b$ ,  $d=-a$ , a slučaj prikazuje slika 13. U drugom slučaju uzeli smo vrijednost parametara  $a=-1$ ,  $b=-1$ , te također vrijedi da je  $c=-b$ ,  $d=-a$ , a slučaj je prikazan na slici 14. Iz slika 13. i 14. vidimo da ukoliko Romeova ljubav prema Juliji raste, tada se Julijina ljubav prema Romeu smanjuje. Odnosno, ukoliko Julija sve manje voli Romea, tada je i Romeova ljubav prema njoj sve veća. Slike su slične iako se odnose na dvije

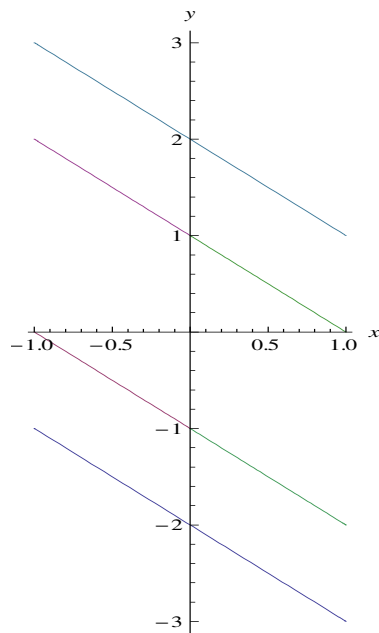


različite situacije zbog toga što uzimamo različite vrijednosti parametara  $a$  i  $b$  za oba slučaja ali ostajemo pri tome da je  $ab > 0$ .

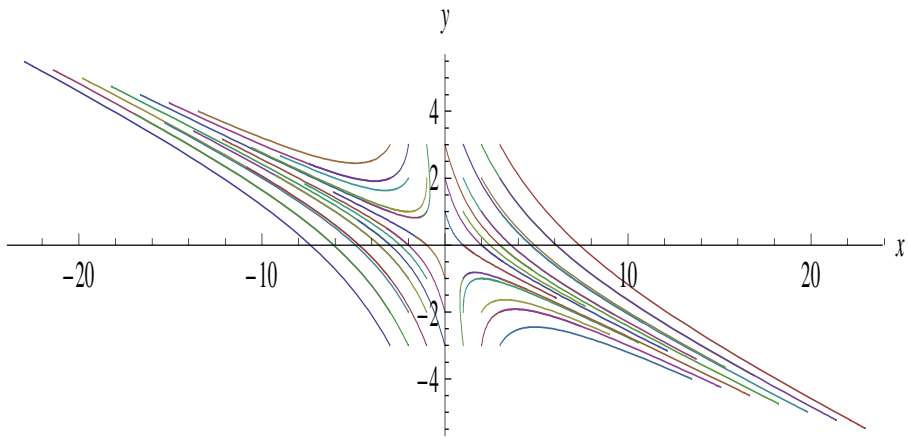
Za slike 13a uzeli smo vrijednost parametara  $a=2$ ,  $b=1$  te također vrijedi uvjet  $c=-b$ ,  $d=-a$ , dok smo za primjer 14a uzeli vrijednost parametara  $a=-2$ ,  $b=-1$  za iste uvjete. Iz tih slika također vidimo da kada se Romeoova ljubav prema Juliji povećava, tada se Julijina ljubav prema njemu smanjuje i obrnuto, ovisno o počenim uvjetima.



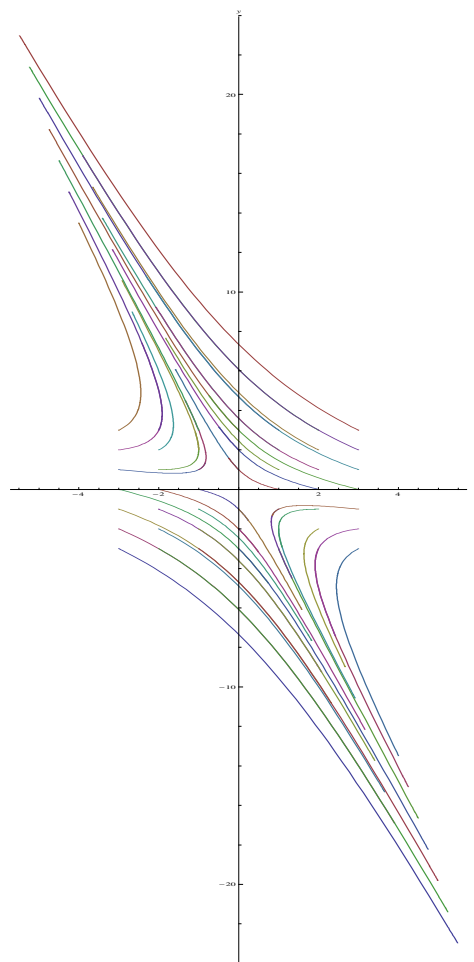
slika 13.



Slika 14.



Slika 13a

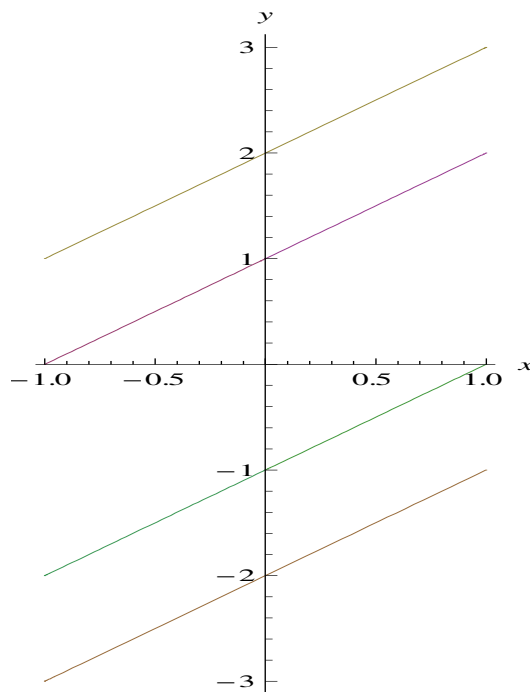


Slika 14a

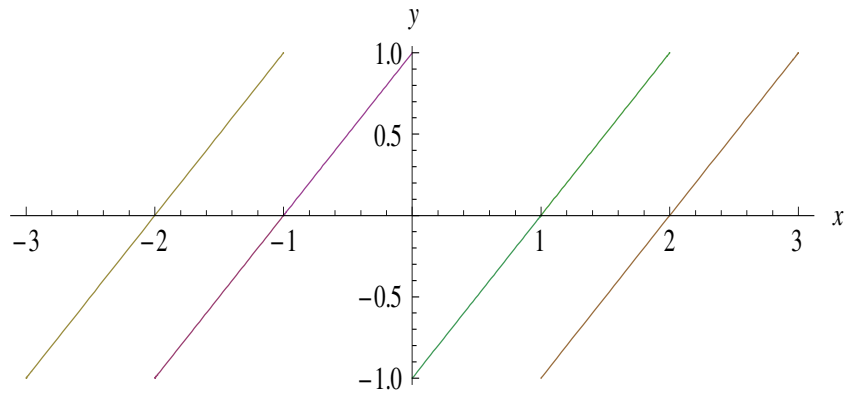
### Primjer 9. narcis i ljubavnik

U ovom slučaju  $ab < 0$ , a parametri su  $a = -1$  i  $b = 1$ , i vrijedi da je  $c = -b$ ,  $d = -a$ , a slučaj prikazuje slika 15. U drugom slučaju uzeli smo vrijednost parametara  $a = 1$ ,  $b = -1$ , te također vrijedi da je  $c = -b$ ,  $d = -a$ , a slučaj je prikazan na slici 16. Iz slika 15. i 16. vidimo da ukoliko Romeova ljubav prema Juliji raste, tada raste i Julijina ljubav prema Romeu. S druge strane, kada Julija sve više voli Romea, tada i Romeovi njoj uzvraća istim osjećajima. Slike su slične iako se odnose na dvije različite situacije zbog toga što uzimamo različite vrijednosti parametara  $a$  i  $b$  za oba slučaja ali ostajemo pri uvjetu da je  $ab < 0$ .

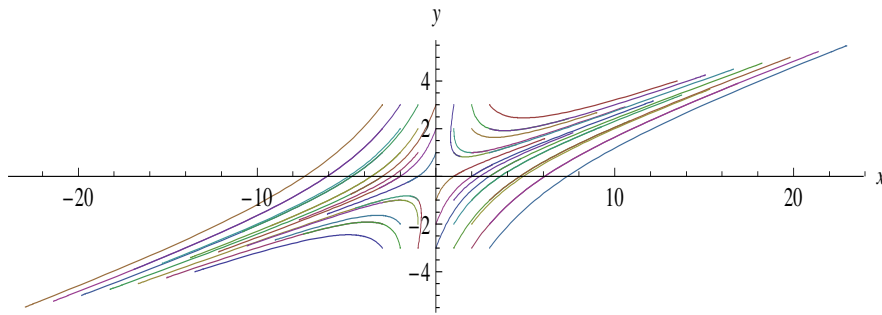
Za slike 15a i 16a radi se o istom odnosu Romea i Julije, međutim uzeti su različiti parametri (za 15a uzeli smo da je  $a = 2$ ,  $b = -1$ , a za sliku 16a uzeli smo da je  $a = -2$ ,  $b = 1$ ).



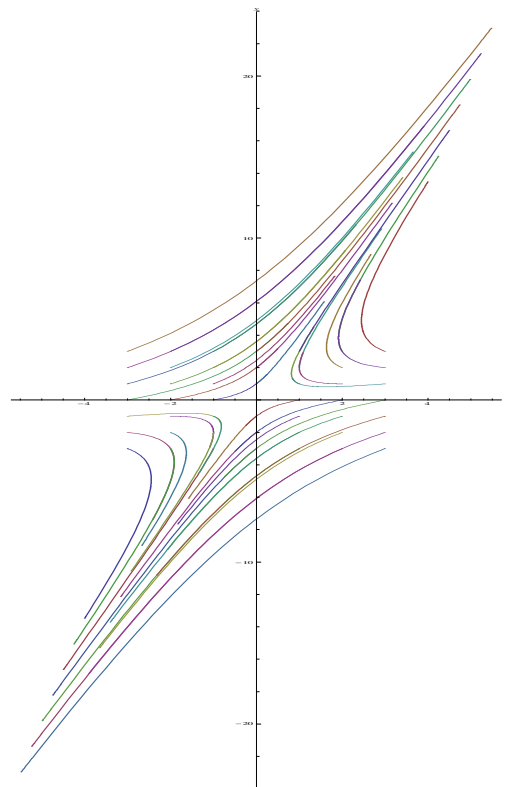
Slika 15.



Slika 16.



Slika 15a



Slika 16a

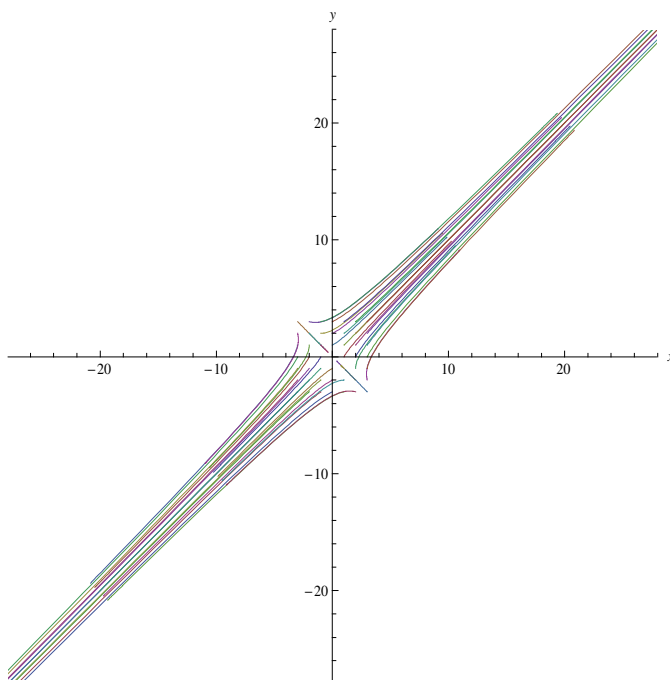
## 8. GRAŠAK U LJUSCI

U ovom slučaju radi se o dva romantična klona i vrijedi da je  $c=b$  i  $d=a$ . Oprezni ljubavnici s  $l_a < l_b$  i pohlepnik završe ili u ljubavi ili u mržnji, ovisno o početnim uvjetima. Pustinjaci s  $l_a < l_b$  i narcisoidni štreberi završe tako da jedan voli, a drugi mrzi. Oprezni ljubavnici i pustinjaci s  $l_a > l_b$  završe u stanju uzajamne ravnodušnosti. Također, postoji i slučaj kada je  $l_a = l_b$ , ali takav slučaj nećemo razmatrati.

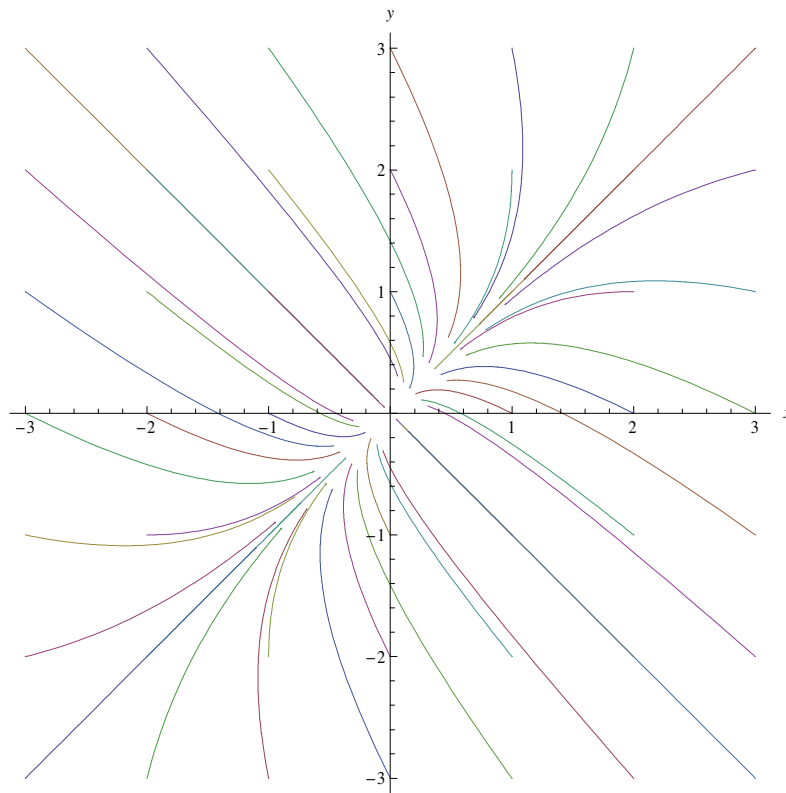
### Primjer 10. Ljubavnik i pohlepnik

Ako je  $l_a < l_b$  tada govorimo o ljubavi ili o ratu, te također postoji više slučajeva ovisno o početnim uvjetima. Uzimamo slučaj u kojemu definiramo parametre  $l_a = 1$  i  $l_b = 2$ , te vrijedi  $c=b$  i  $d=a$ , takav slučaj je prikazan na slici 17. Slika pokazuje da kada Romeova ljubav prema Juliji raste, tada raste i Julijina ljubav prema njemu, odnosno kada Julija mrzi Romea, i on osjeća isto prema njoj.

Ako je  $l_a > l_b$ , uzimamo slučaj u kojemu definiramo parametre  $l_a = -2$  i  $l_b = 1$  (slika 18) i vidimo da u tome slučaju dolazi do apatije između Romea i Julije, odnosno trajektorije se približavaju nuli što govori da između njih dvoje nema nikakvih osjećaja.



Slika 17.

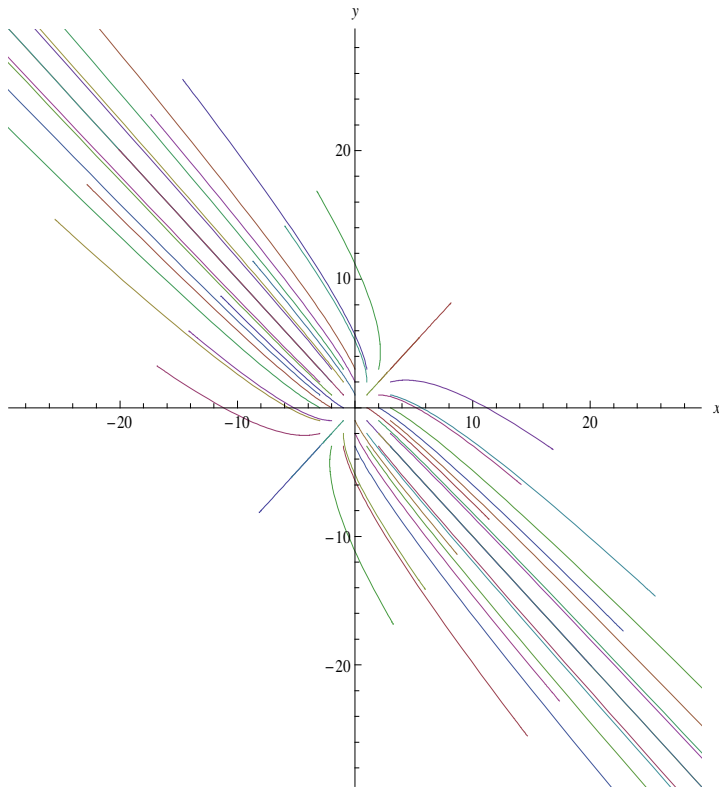


Slika 18.

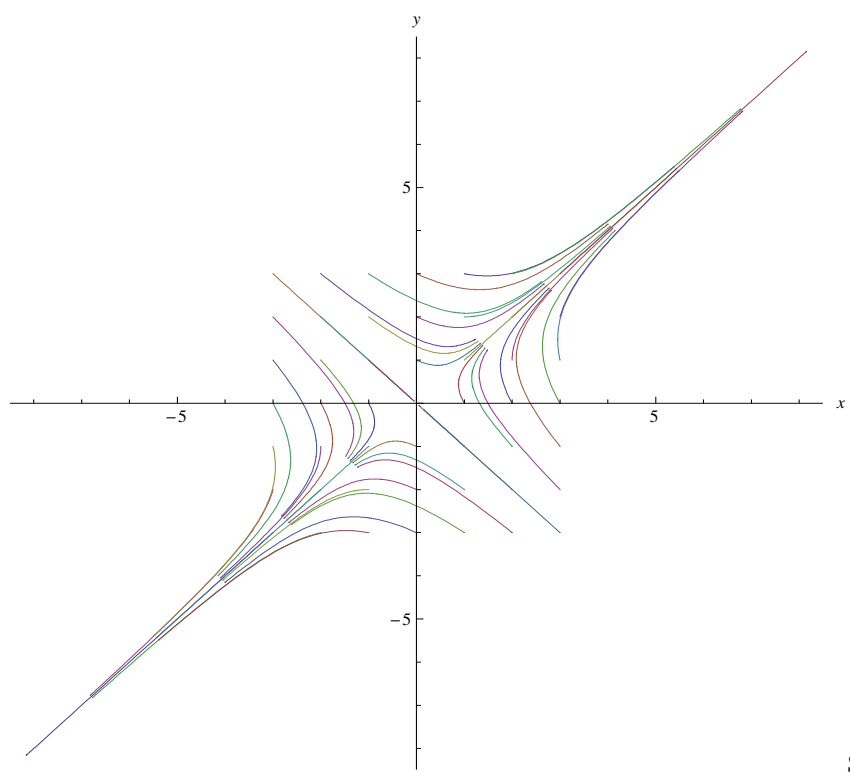
### Primjer 11. Ljubavnik i pustinjač

Ako je  $|a| > |b|$  tada nastupa stanje uzajamne ravnodušnosti. Uzimamo slučaj u kojemu definiramo parametre  $|a|= 2$  i  $|b|= -1$  te vrijedi  $c=b$  i  $d=a$ , takav slučaj je prikazan na slici 19. Iz slike vidimo da kada se Romeova ljubav prema Juliji povećava, tada se Julijina ljubav prema njemu smanjuje i obrnuto, ovisno o početnim uvjetima.

U slučaju ako je  $|a| < |b|$ , uzeli smo vrijednost parametara  $a=-1$ ,  $b=2$  (slika 20.) i u tome slučaju vidimo da ukoliko Romeova ljubav prema Juliji raste, tada raste i Julijina ljubav prema Romeu. S druge strane, kada Julija sve više voli Romea, tada i Romeovi njoj uzvraća istim osjećajima.



Slika 19.



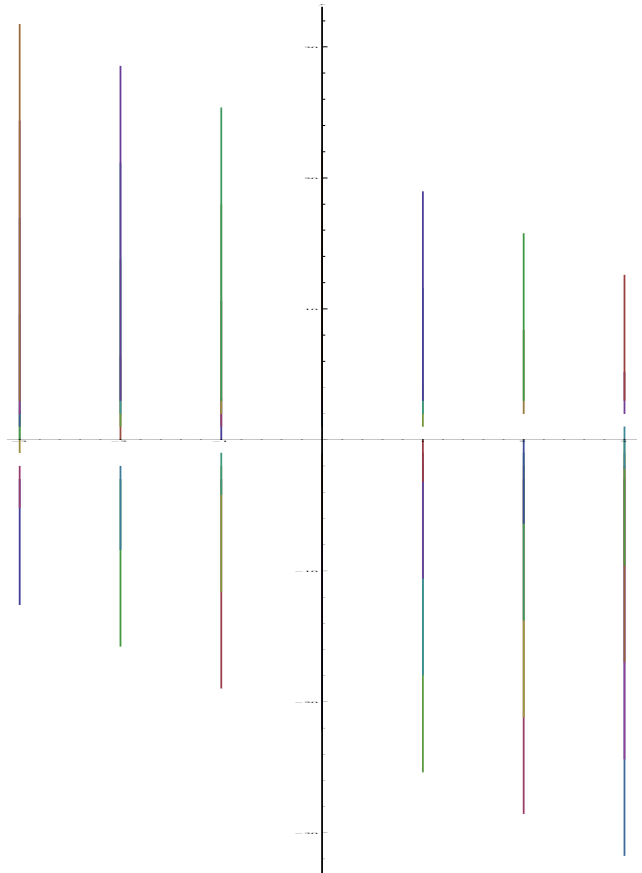
Slika 20

## 8. ROMEO ROBOT

Ako pretpostavimo da na Romea ne utječu ni vlastiti osjećaji ( $a=0$ ), niti osjećaji koje prima od Julije ( $b=0$ ), tada je  $R$  konstanta, odnosno Romeova ljubav (ili mržnja) se ne mijenja. Izgled grafa će isključivo ovisiti o Julijinim osjećajima ako su njeni osjećaji prema Romeu snažniji od Romeovih osjećaja prema njoj (situacije prikazane na slikama 21. i 22.).

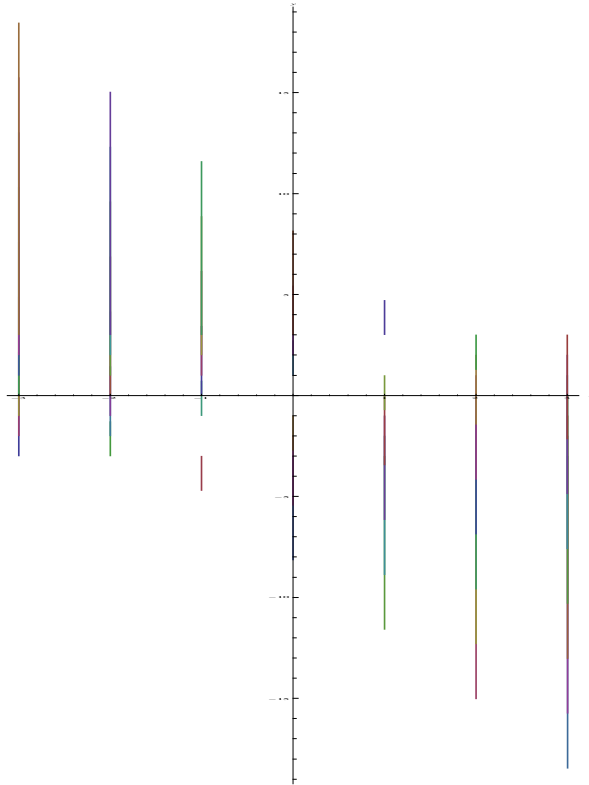
Ako je  $|c| < |d|$  (slika 21) uzeti su parametri  $c=-1$ ,  $d=2$ .

Za drugi slučaj (slika 22) kada je  $|c| > |d|$  uzeli smo parametre  $c=-2$ ,  $d=1$



Slika 21.





Slika 22.

## 9. LJUBAVNI TROKUT

Navest ćemo primjer kada se u odnosu Romea i Julije pojavi treća osoba. Pretpostavimo da Romeo ima ljubavnicu, Guinevere. Tada se umjesto dvodimenzionalnog problema, pojavljuje šestdimenzionalni problem, jer svaka osoba ima osjećaje za druge dvije osobe, pa se zbog toga pojavljuje dvanaest parametara.

U najjednostavnijem slučaju, Julija i Guinevere ne znaju jedna za drugu ((2) i (4)) a Romeo želi biti u romantičnoj vezi sa obje. Pretpostavimo da Guineverini osjećaji prema Romeu utječu na njegove osjećaje prema njoj, i a na isti način i Julijini osjećaji utječu na njega. Drugim riječima, Romeovi osjećaji prema Juliji umanjeni su za iznos osjećaja koje Romeo osjeća prema Guinevere (1), te također, Romeovi osjećaji prema Guinevere umanjeni su za iznos Romeovih osjećaja prema Juliji (3). Tada model izgleda ovako

$$dR_J/dt = aR_J + b(J-G) \quad (1)$$

$$dJ/dt = cR_J + dJ \quad (2)$$

$$dR_G/dt = aR_G + b(G-J) \quad (3)$$

$$dG/dt = eR_G + fG \quad (4)$$

$R_J(t)$  = Romeova ljubav prema Juliji u vremenu  $t$

$R_G$  = Romeova ljubav prema Guinevere

$J(t)$  = Julijina ljubav u vremenu  $t$

$G(t)$  = Guinevereina ljubav u vremenu  $t$

$e$  = parametar koji opisuje kako Romeovi osjećaji utječu na Guinevere

$f$  = Guinevererini vlastiti osjećaji

U ovom modelu Romeova ukupna ljubav  $R_J + R_G$  ili se povećava (ako je  $a > 0$ ) ili umire (ako je  $a < 0$ ), neovisno o ostalim parametrima, iako on može imati različite osjećaje prema svojim ljubavnicama u procesu ( $R_J \neq R_G$ ), neovisno o njihovim karakteristikama. To proizlazi iz toga što zbrajanjem (1) i (3) dobijemo  $d(R_J+R_G)/dt=a(R_J+R_G)$ .

## 10. ZAKLJUČAK

U radu smo opisivali različite odnose Romea i Julije pomoću matematičkog sustava od dvije linearne jednadžbe.

$$\frac{dR}{dt} = aR + bJ$$
$$\frac{dJ}{dt} = cR + dJ$$

Iako jednostavan, linearan model ljubavi pokazao je iznimno složenu dinamiku. Svakom promjenom parametara dobiva se nekakva nova situacija u odnosu Romea i Julije. U radu smo grafički prikazali različite kombinacije "ljubavnih stilova" pomoću modela u programskom paketu *Wolfram Mathematica 7*. te smo promatrali promjene Romeovih i Julijinih osjećaja u vremenu, ovisno o početnim uvjetima.

## 11. LITERATURA

1. Sprott, J.C.: Dynamical Models of Love; Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences, Vol. **8**, No.3, July, 2004.
2. Sprott, J.C.: Dynamical Models of Happiness; Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences, Vol. **9**, No.1, January, 2005.
3. [www.science.smith.edu](http://www.science.smith.edu)
4. Interna skripta: Uvod u matematičke metode u inženjerstvu