Симулација ПМ

Верификација и валидација модела

Два корака у процени модела у односу на моделирани систем:

1. Верификација модела – да ли модел исправно извршава постављене претпоставке.
2. Валидација модела – да ли постављене претпоставке одговарају моделираном систему.

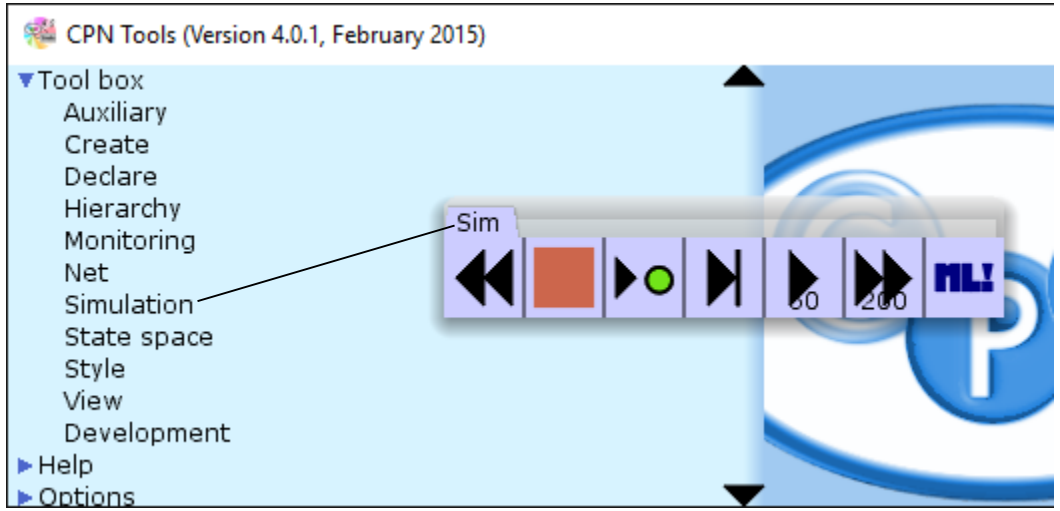
Анализа Петријевих мрежа

Методе за анализу:

- Матрица инциденције и једначина стања (верификација и валидација)
- Инваријанте (верификација и валидација)
- Стабло досежљивости (верификација и валидација).

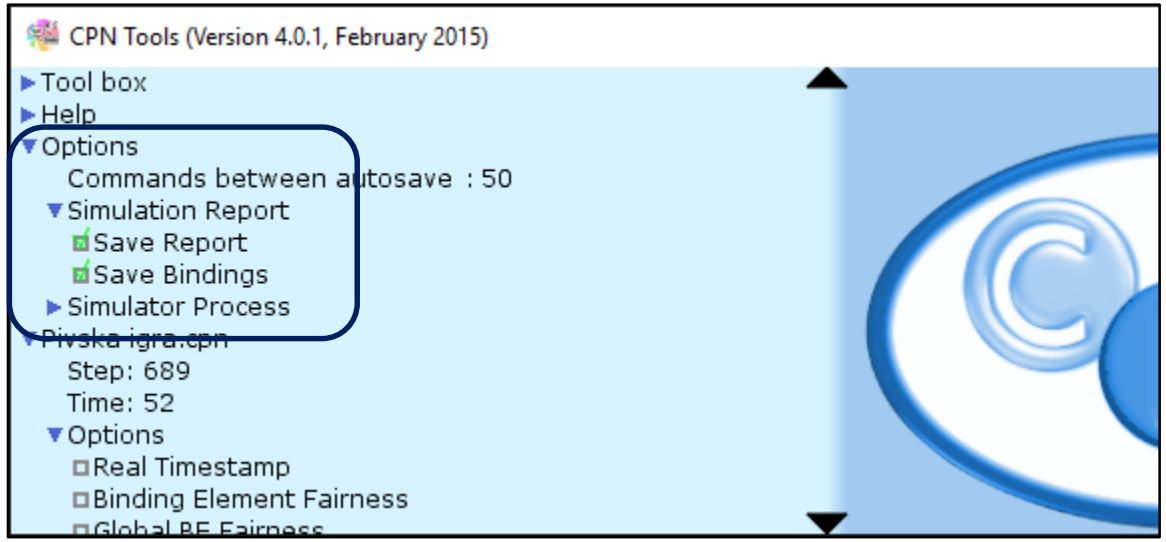
- Симулација омогућава валидацију али не омогућава директну верификацију исправности модела.
- Симулација омогућава мерење перформанси моделираног система.
- Предност у односу на остале технике у анализи стохастичких система.

CPN Tools: алат за симулацију



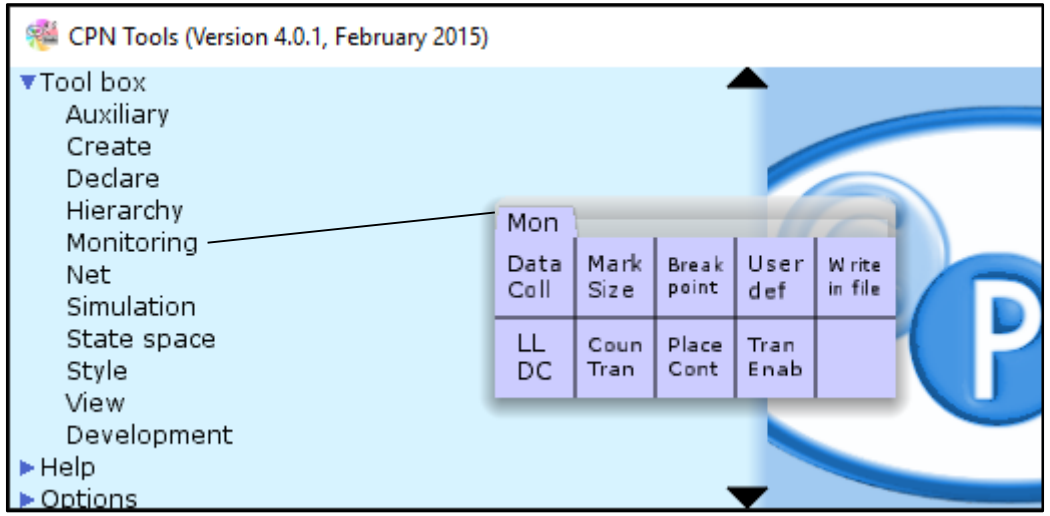
CPN Tools: алат за симулацију

Да би резултати симулације били упамћени, потребно је укључити следеће опције:



CPN Tools: мерење перформанси

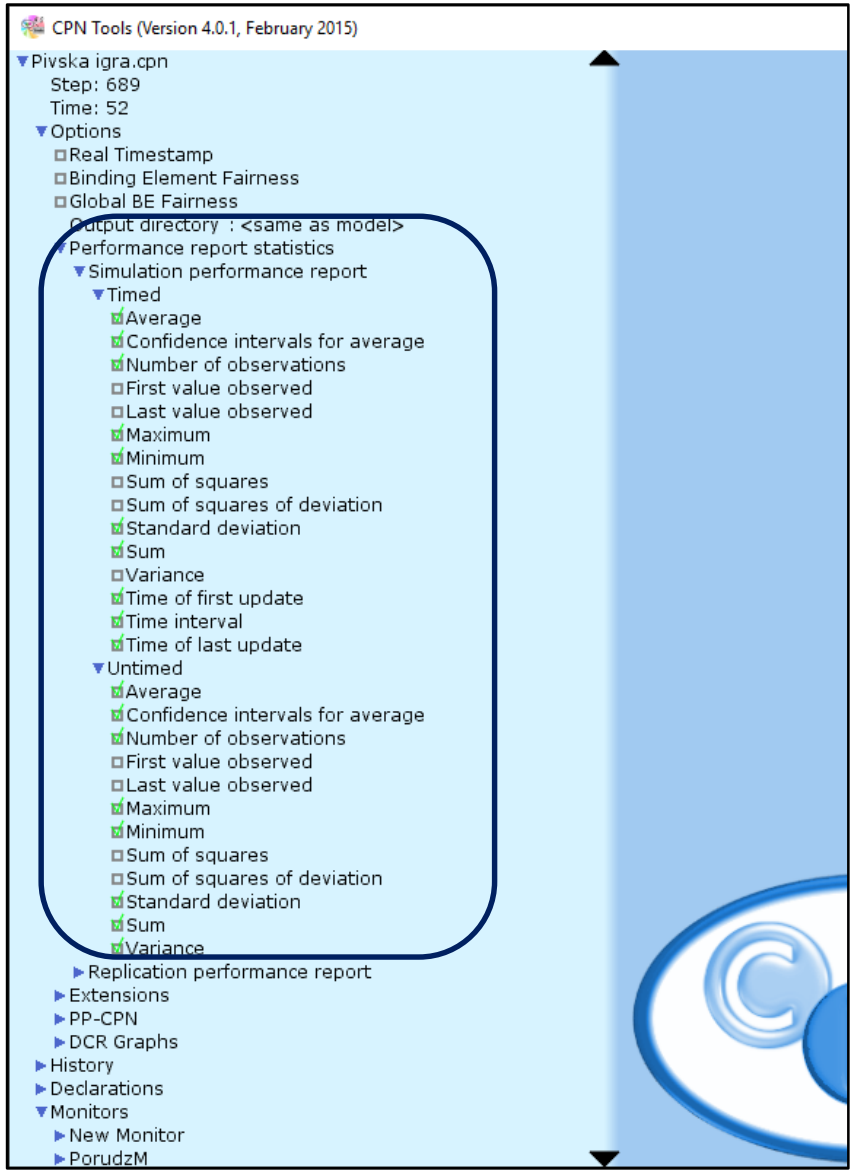
Мерење перформанси врши се помоћу монитора.



Мониторима се могу мерити временски и невременски подаци.

CPN Tools: мерење перформанси

Претходно је потребно дефинисати садржај извештаја о перформансама.



CPN Tools: монитор *Data collector*

Type: дефинише се да ли је податак који се мери временски или невременски и да ли ће се памтити и log фајлови симулације.

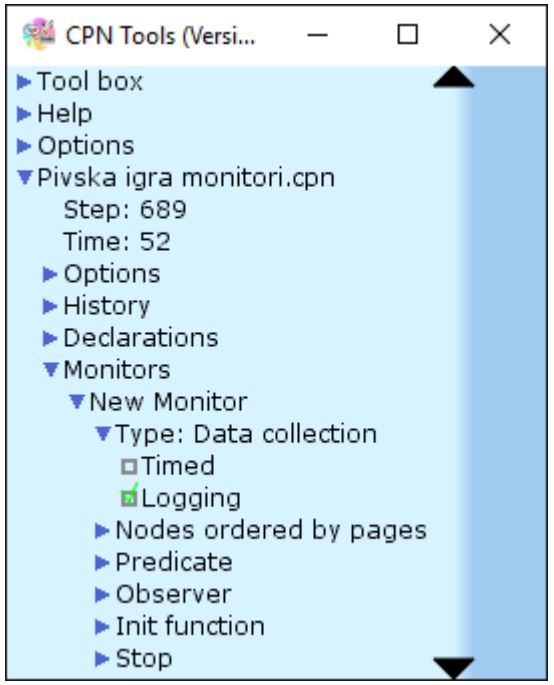
Nodes ordered by pages: приказује чворове којима је придружен монитор.

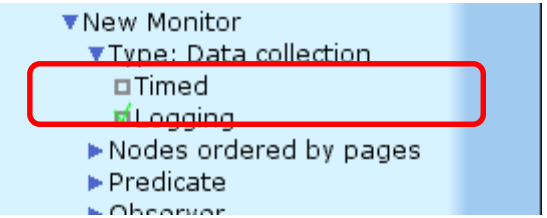
Predicate function: дефинише кораке симулације у којима се памти жељена вредност.

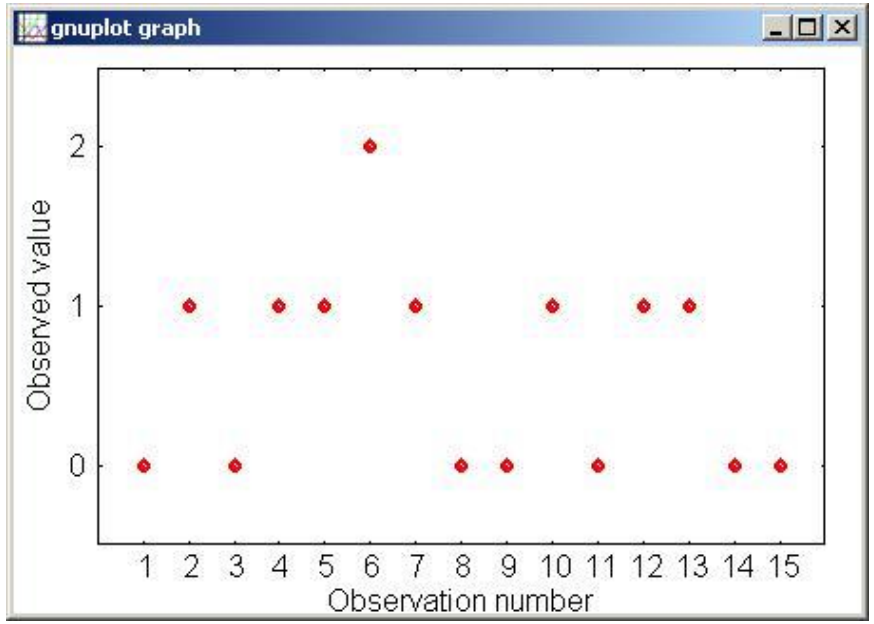
Observation function: дефинише нумеричку вредност коју треба памтити.

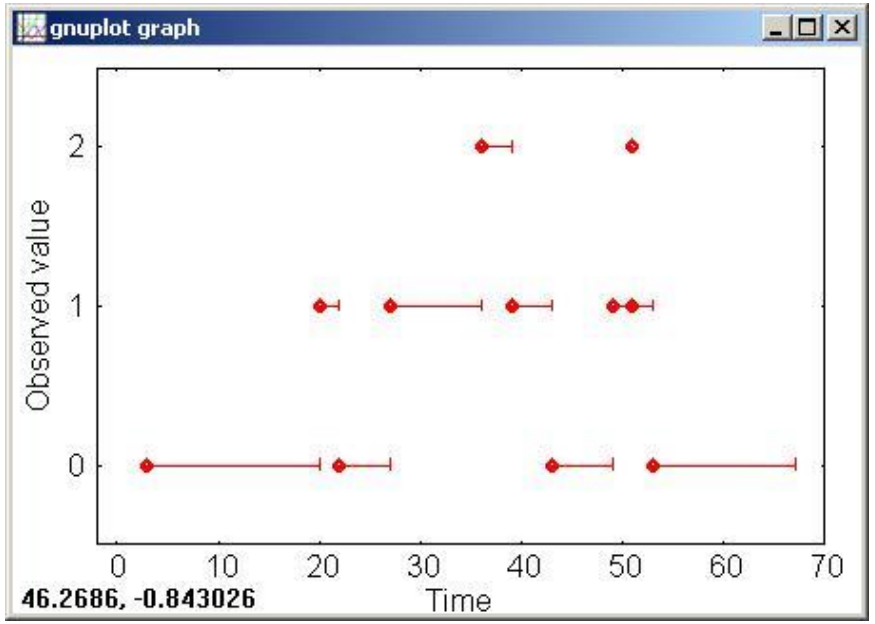
Initialization function: дефинише податак који је потребно издвојити из мреже пре првог корака симулације.

Stop function: дефинише податак који је потребно издвојити из мреже након последњег корака симулације.




New Monitor
Type: Data collection
Timed
Logging
Nodes ordered by pages
Predicate

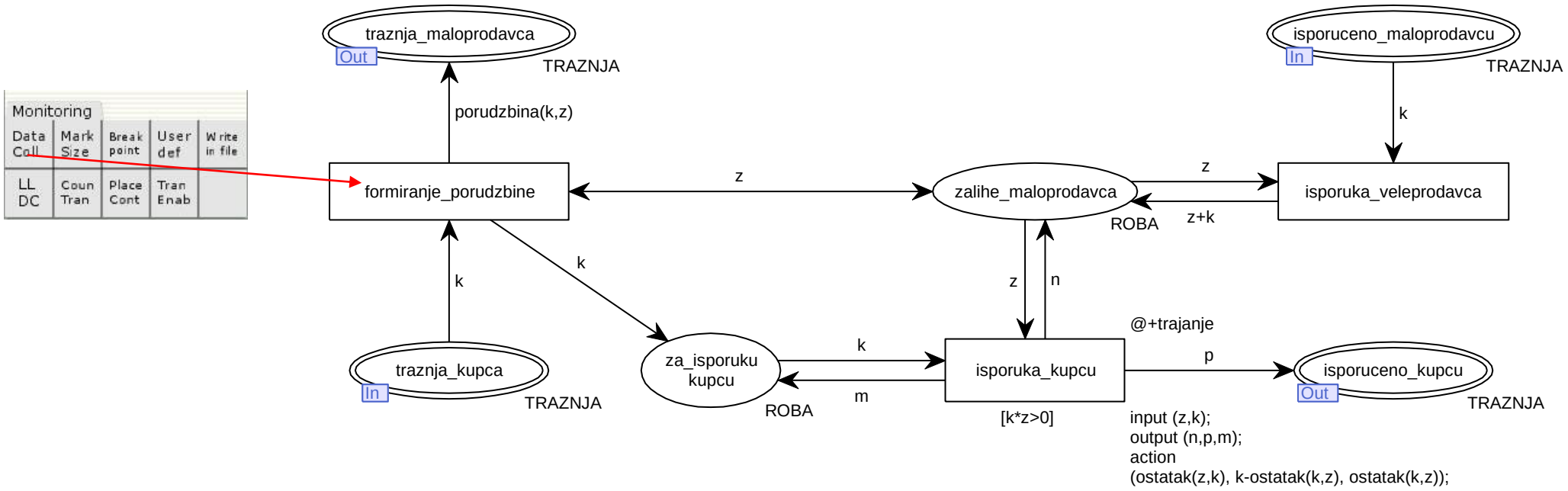

gnuplot graph
Observed value
0
1
2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Observation number


gnuplot graph
Observed value
0
1
2
0 10 20 30 40 50 60 70
46.2686, -0.843026
Time

CPN Tools: монитор *Data collector*

Нека је у мрежи Pivska igra потребно пратити тражњу малопродавца.

Ова тражња се формира сваки пут када се запали прелаз formiranje_porudzbine а њен износ је одређен вредношћу токена porudzbina(k,z).



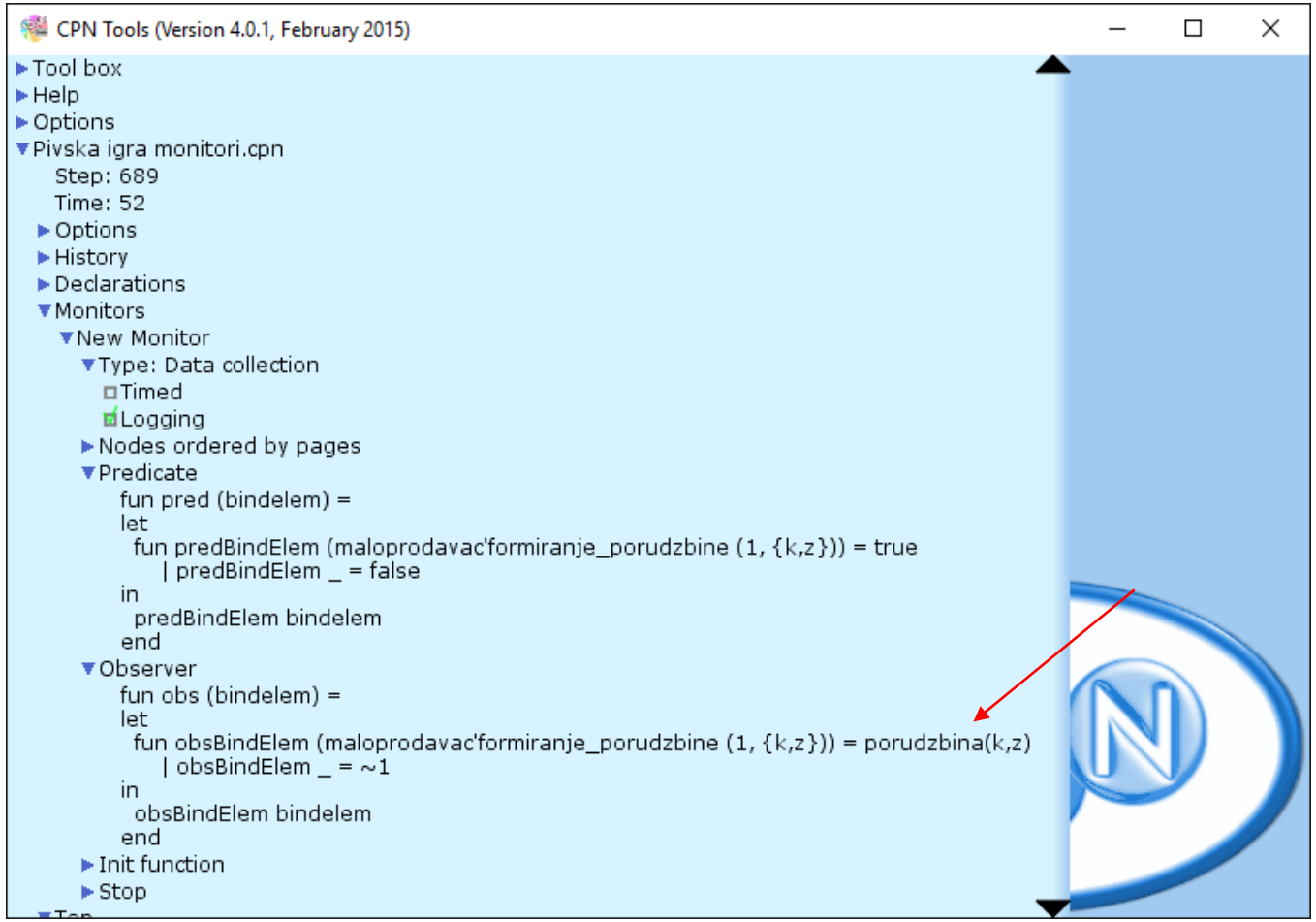
CPN Tools: монитор *Data collector*

Постављањем монитора *Data collector* на прелаз formiranje_porudzbine, добија се следећи монитор.

```
▶History
▶Declarations
▼Monitors
  ▼New Monitor
    ▼Type: Data collection
      ☐Timed
      ☑Logging
    ▼Nodes ordered by pages
      ▼maloprodavac
          formiranje_porudzbine (transition)
    ▼Predicate
      fun pred (bindelem) =
      let
        fun predBindElem (maloprodavac'formiranje_porudzbine (1, {k,z})) = true
            | predBindElem _ = false
      in
        predBindElem bindelem
      end
    ▼Observer
      fun obs (bindelem) =
      let
        fun obsBindElem (maloprodavac'formiranje_porudzbine (1, {k,z})) = 0
            | obsBindElem _ = ~1
      in
        obsBindElem bindelem
      end
    ▼Init function
      fun init () =
        NONE
    ▼Stop
      fun stop () =
        NONE
▼Top
  maloprodavac
```

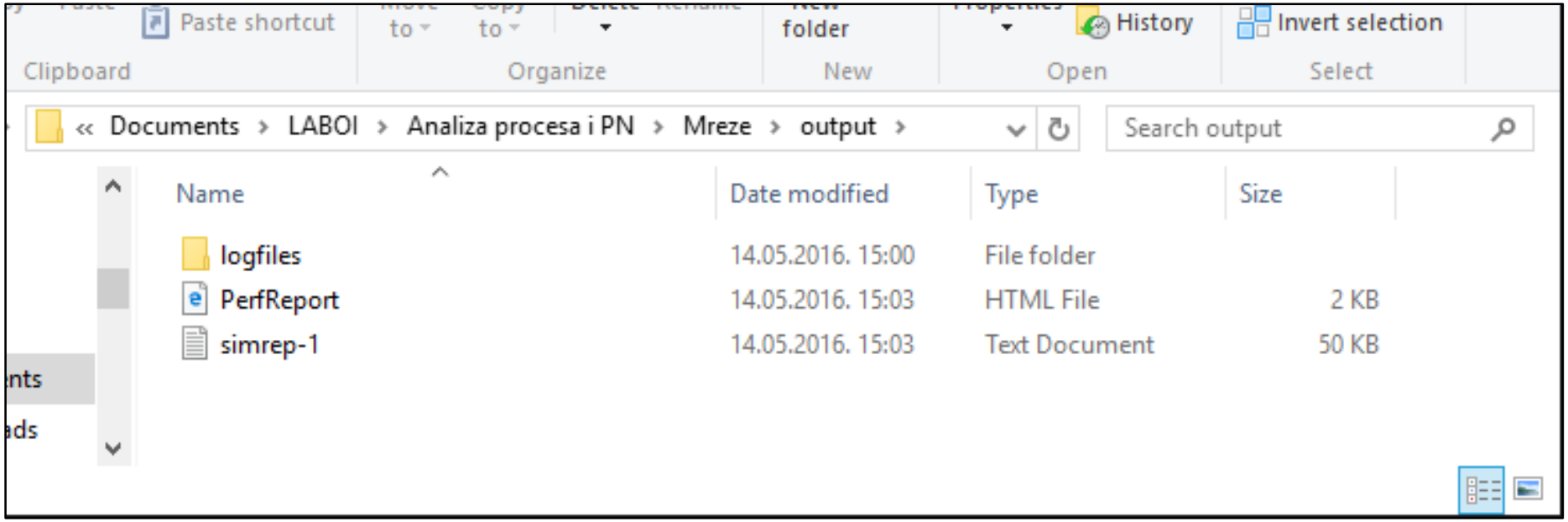
CPN Tools: монитор *Data collector*

Потребно је кориговати *Observation function.*



CPN Tools: монитор *Data collector*

Након покретања *Fast forward* симулације са палете *Simulation* у фолдеру у коме се налази cpn фајл креиран је фолдер *Output*.



CPN Tools: монитор *Data collector*

Фајл PerfReport.html садржи сумиране резултате симулације који су задати у оквиру *Performance Report Statistics* у програму CPN Tools.

CPN Tools Simulation Pe

file:///C:/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza%20procesa%20i%20F

CPN Tools Simulation Performance Report
Net: /cygdrive/C/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza procesa i PN/Mreze/Pivska igra monitori.cpn

Note that these statistics have been calculated for data that is not necessarily independent or identically distributed.

Untimed statistics										
Name	**Count**	**Sum**	**Avrg**	**90% Half Length**	**95% Half Length**	**99% Half Length**	**Variance**	**StD**	**Min**	**Max**
New_Monitor	51	394	7.725490	1.389282	1.665315	2.219867	35.043137	5.919724	3	36

Simulation steps executed: 686
Model time: 52

Generated: Sat May 14 15:03:37 2016

CPN Tools: монитор *Data collector*

У фолдеру logfiles се налазе све промене посматране вредности које је монитор убележио током симулације.

#data	counter	step	time
4	1	2	0
4	2	12	1
4	3	25	2
4	4	38	3
16	5	50	4
30	6	67	5
36	7	75	6
16	8	92	7
16	9	112	8
14	10	131	9
3	11	150	10
9	12	161	11
7	13	179	12
7	14	191	13
7	15	202	14
5	16	216	15
6	17	230	16
7	18	243	17
5	19	253	18
4	20	267	19
6	21	281	20

#data – вредност мерене величине

counter – редослед мењања вредности

step – корак симулације у коме се десила промена

time – тренутак глобалног сата у коме се десила промена

CPN Tools: монитор *Data collector*

Фајл simrep-1 садржи детаљан опис корака симулације. Овај фајл се генерише сваки пут када се покрене *Fast forward* симулација, без обзира на постојање монитора на мрежи.

simrep-1.txt

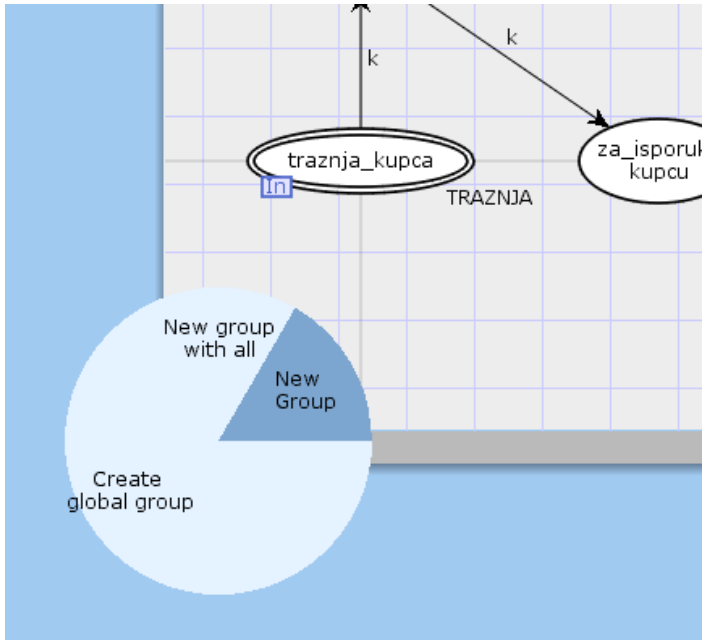
```
CPN Tools simulation report for:
/cygdrive/C/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza procesa i PN/Mreze/Pivska igra mo
Report generated: Sat May 14 15:03:37 2016

1        0       detporudzbina_kupca @ (1:traznja)
 - k = 4
2        0       formiranje_porudzbine @ (1:maloprodavac)
 - k = 4
 - z = 12
3        0       formiranje_porudzbine @ (1:veleprodavac)
 - k = 4
 - z = 12
4        0       formiranje_porudzbine @ (1:distributer)
 - k = 4
 - z = 12
5        0       isporuka_maloprodavcu @ (1:veleprodavac)
 - k = 4
 - z = 12
 - n = 8
 - p = 4
 - m = 0
6        0       formiranje_porudzbine @ (1:proizvodjac)
 - k = 4
 - z = 12
7        0       isporuka_kupcu @ (1:maloprodavac)
 - k = 4
 - z = 12
 - n = 8
 - p = 4
 - m = 0
8        0       isporuka_distributeru @ (1:proizvodjac)
```

CPN Tools: групни монитор *Data collector*

Нека је у мрежи Pivska igra потребно пратити залихе малопродавца.

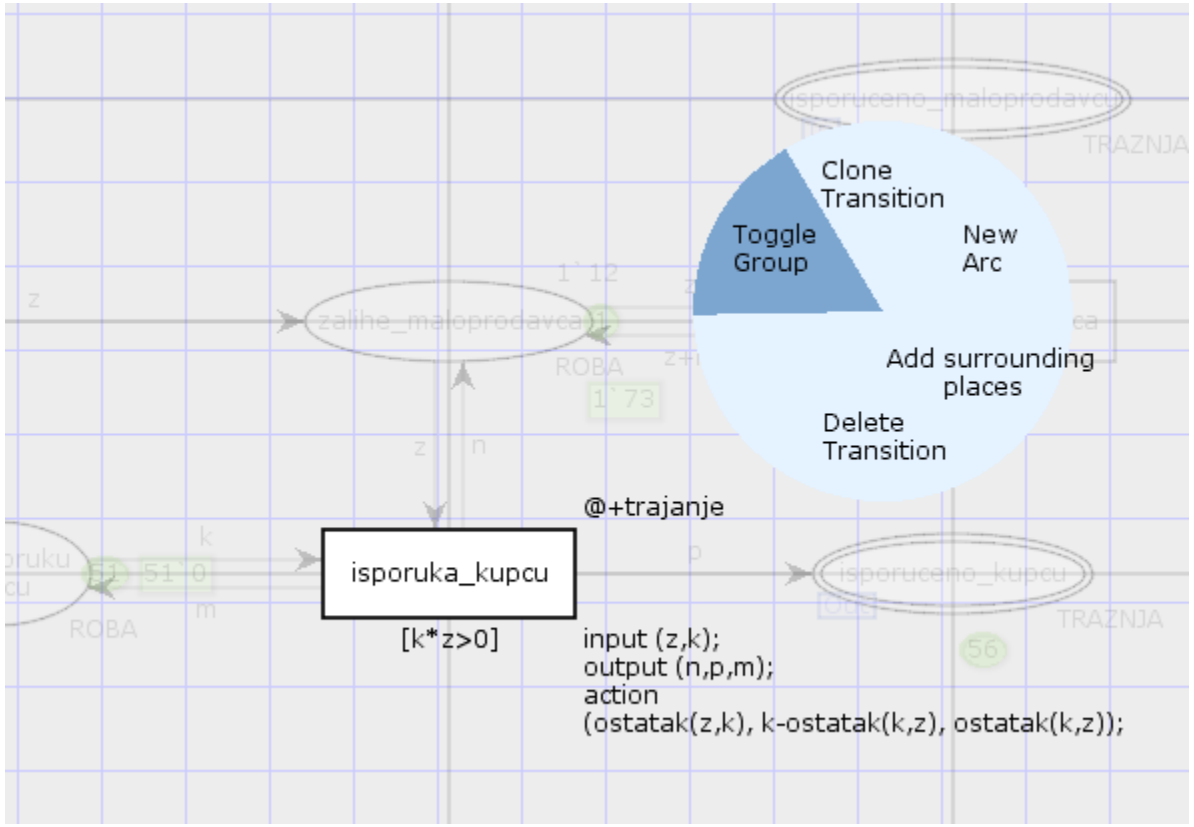
Стање на залихама се смањује (на количину *n*) сваки пут када се запали прелаз isporuka_kupcu а повећава (на количину *z*+*k*) сваки пут када се запали прелаз isporuka_veleprodavca.

Потребно је прво формирати групу чворова коју чине ова два прелаза.



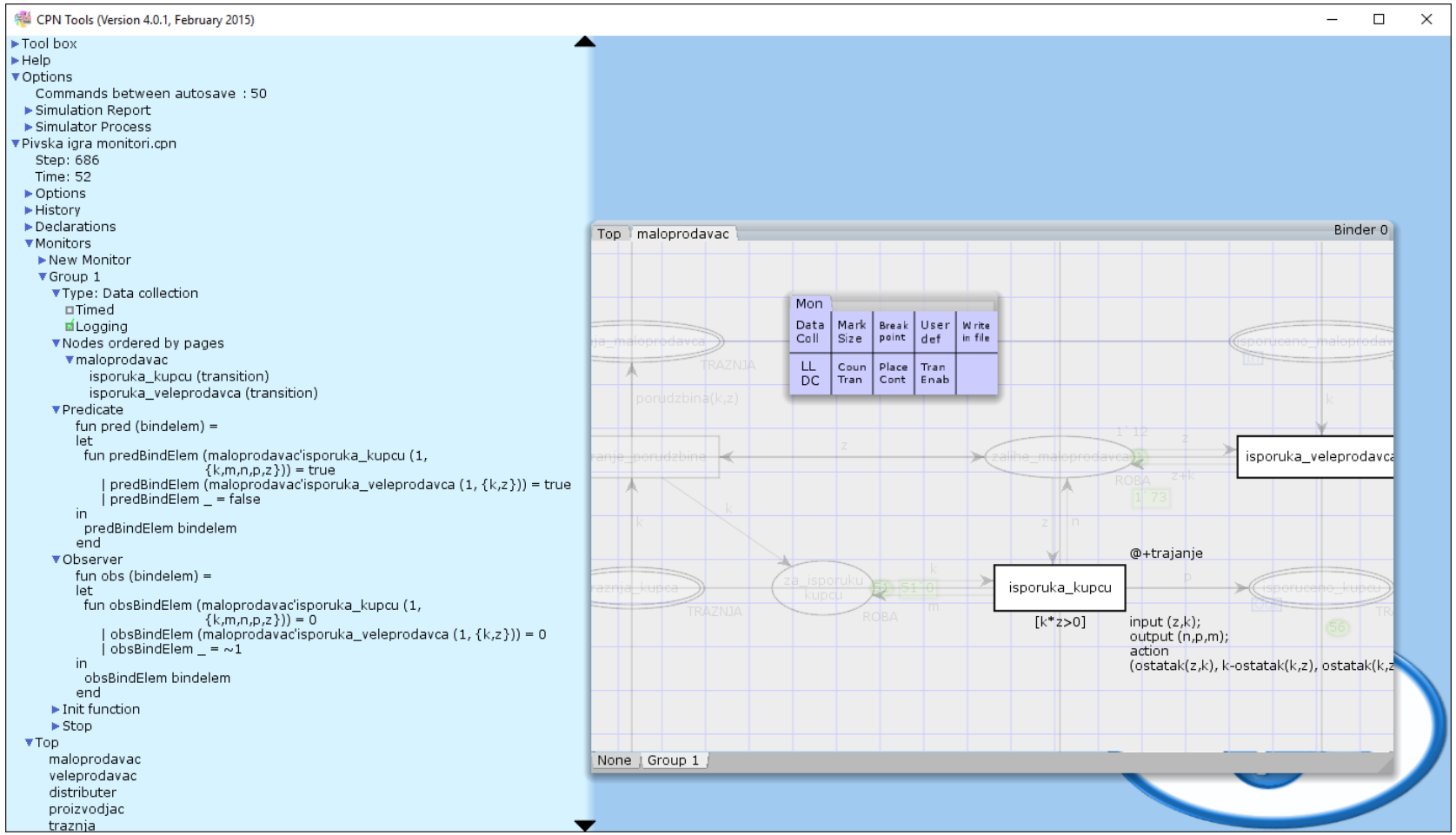
CPN Tools: групни монитор *Data collector*

Избором опције *Toggle Group* над прелазима у новоформираној страници *Group,* формира се група прелаза над којима је потребно поставити монитор.



CPN Tools: групни монитор *Data collector*

Постављањем монитора *Data collector* на било који чвор групе, добија се следећи монитор.



CPN Tools: групни монитор *Data collector*

Потребно је кориговати *Observation function.*

```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (maloprodavac'isporuka_kupcu (1, {k,m,n,p,z})) = n
      | obsBindElem (maloprodavac'isporuka_veleprodavca (1, {k,z})) = z+k
      | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
```

Поред тога, потребно је у оквиру *Type* дела монитора укључити опцију *Time.*

CPN Tools: групни монитор *Data collector*

Након покретања *Fast forward* симулације креиран је извештај PerfReport.html који, поред невременског монитора о поруџбинама (сада преименован у *Traznja_Maloprodavca*) садржи и временски монитор *Zalihe*.

CPN Tools Simulation Performance Report
Net: /cygdrive/C/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza procesa i PN/Mreze/Pivska igra monitori.cpn

Note that these statistics have been calculated for data that is not necessarily independent or identically distributed.

Timed statistics												
Name	**Count**	**Sum**	**Avrg**	**90% Half Length**	**95% Half Length**	**99% Half Length**	**StD**	**Min**	**Max**	**First Time**	**Last Time**	**Time Interval**
Zalihe	114	2664	51.230769	4.030047	4.816634	6.375243	25.921159	0	76	0	52	52

Untimed statistics										
Name	**Count**	**Sum**	**Avrg**	**90% Half Length**	**95% Half Length**	**99% Half Length**	**Variance**	**StD**	**Min**	**Max**
Traznja_Maloprodavca	51	386	7.568627	1.409885	1.690011	2.252787	36.090196	6.007512	4	36

Simulation steps executed: 693
Model time: 52

Generated: Sat May 14 17:43:07 2016

CPN Tools: групни монитор *Data collector*

Након постављања монитора на подмрежама свих учесника у ЛС и покретања *Fast forward* симулације добија се извештај PerfReport.html.

CPN Tools Simulation Performance Report
Net: /cygdrive/C/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza procesa i PN/Mreze/Pivska igra monitori.cpn

Note that these statistics have been calculated for data that is not necessarily independent or identically distributed.

Timed statistics												
Name	**Count**	**Sum**	**Avrg**	**90% Half Length**	**95% Half Length**	**99% Half Length**	**StD**	**Min**	**Max**	**First Time**	**Last Time**	**Time Interval**
Zalihe_distributera	107	6140	118.076923	8.043577	9.613528	12.724357	50.122535	0	152	0	52	52
Zalihe_maloprodavca	112	2256	43.384615	3.423186	4.091326	5.415233	21.823853	0	66	0	52	52
Zalihe_proizvodjaca	103	6816	131.076923	6.206322	7.417677	9.817953	37.944152	0	288	0	50	52
Zalihe_veleprodavca	111	3690	70.961538	5.099617	6.094963	8.067225	32.366142	0	98	0	52	52

Untimed statistics										
Name	**Count**	**Sum**	**Avrg**	**90% Half Length**	**95% Half Length**	**99% Half Length**	**Variance**	**StD**	**Min**	**Max**
Proizvodnja	51	736	14.431373	8.065075	9.667503	12.886796	1180.970196	34.365247	3	184
Traznja_distributera	51	604	11.843137	5.648573	6.770874	9.025585	579.294902	24.068546	3	144
Traznja_kupca	51	324	6.352941	0.609867	0.731040	0.974478	6.752941	2.598642	3	18
Traznja_maloprodavca	51	378	7.411765	1.337655	1.603430	2.137375	32.487059	5.699742	3	36
Traznja_veleprodavca	51	464	9.098039	2.817907	3.377790	4.502599	144.170196	12.007089	3	72

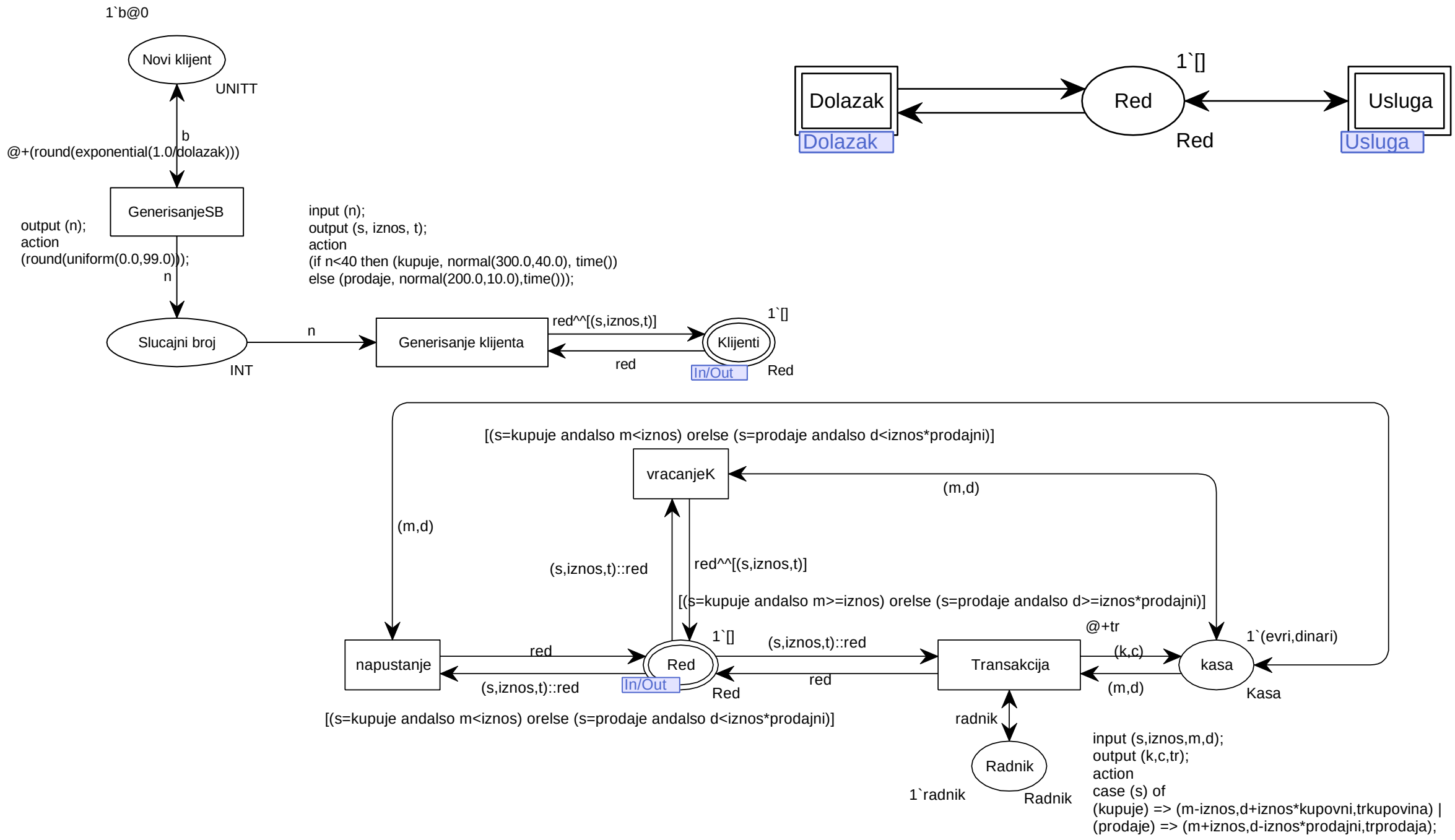
Simulation steps executed: 688
Model time: 52

Generated: Sat May 14 17:53:55 2016

CPN Tools: монитор *Data collector*

Допунити мрежу *Menjacnica8* доласком клијената као у мрежи *Generisanje klijenata* и клијентима који се на случајан начин враћају у ред или напуштају систем уколико мењачница не може да им пружи услугу у тренутку када су дошли на ред да буду услужени.

Формирати хијерархијску мрежу.


1`b@0
Novi klijent
UNITT
b
@+(round(exponential(1.0/dolazak)))
GenerisanjeSB
output (n);
action
(round(uniform(0.0,99.0)));
n
input (n);
output (s, iznos, t);
action
(if n<40 then (kupuje, normal(300.0,40.0), time())
else (prodaje, normal(200.0,10.0),time()));
Slucajni broj
INT
n
Generisanje klijenta
red^^[(s,iznos,t)]
red
1`[]
Klijenti
In/Out
Red
Dolazak
Dolazak
1`[]
Red
Red
Usluga
Usluga
[(s=kupuje andalso m<iznos) orelse (s=prodaje andalso d<iznos*prodajni)]
vracanjeK
(m,d)
(m,d)
(s,iznos,t)::red
red^^[(s,iznos,t)]
[(s=kupuje andalso m>=iznos) orelse (s=prodaje andalso d>=iznos*prodajni)]
napustanje
red
(s,iznos,t)::red
1`[]
Red
In/Out
Red
(s,iznos,t)::red
red
Transakcija
@+tr
(k,c)
(m,d)
kasa
1`(evri,dinari)
Kasa
[(s=kupuje andalso m<iznos) orelse (s=prodaje andalso d<iznos*prodajni)]
radnik
Radnik
1`radnik
Radnik
input (s,iznos,m,d);
output (k,c,tr);
action
case (s) of
(kupuje) => (m-iznos,d+iznos*kupovni,trkupovina) |
(prodaje) => (m+iznos,d-iznos*prodajni,trprodaja);

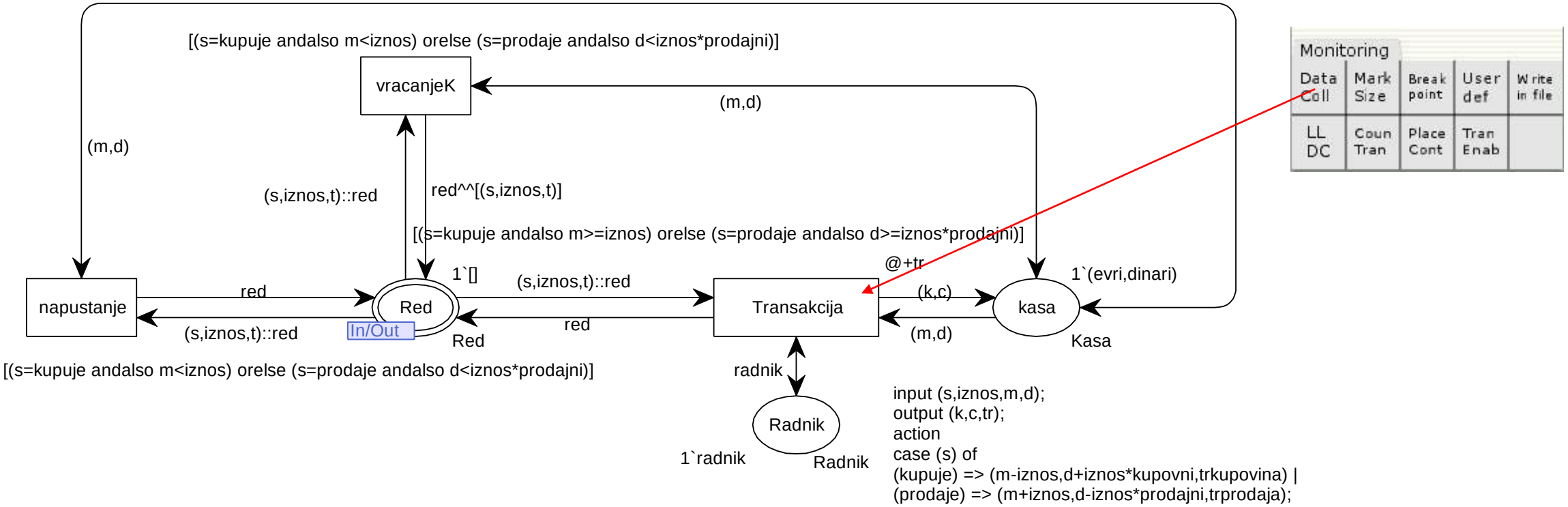
```
(* Standard declarations *)
    colset UNIT = unit;
    colset UNITT = unit with b timed;
    colset INT = int;
    colset TIME = time;
    colset EVRI=int;
    colset DINARI=int;
    colset Kasa = product EVRI * DINARI;
    colset Svrha= with kupuje|prodaje timed;
    colset Klijent = product Svrha * EVRI * TIME timed;
    colset Red= list Klijent;
    colset Radnik = unit with radnik timed;
    var n: INT;
    var s:Svrha;
    var iznos,m,k: EVRI;
    var red: Red;
    var t: TIME;
    var d, c: DINARI;
    var tr: INT;
    val evri = 500;
    val dinari = 70000;
    val kupovni = 123;
    val prodajni = 122;
    val trkupovina = 3;
    val trprodaja = 4;
    val dolazak=4.0;
```

CPN Tools: монитор *Data collector*

Нека је у мењачници потребно пратити стање у каси.

Стање у каси се мења сваки пут када се запали прелаз Transakcija а њен износ је одређен вредношћу токена (k,c).

С обзиром да стање у каси одређују две величине (еври и динари) за сваку од њих треба генерисати посебан монитор. То се постиже подешавањем *Observation function.*



CPN Tools: монитор *Data collector*

CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

- Tool box
- Help
- Options
- Menjacnica9.cpn
  - Step: 2000
  - Time: 2458
  - Options
  - History
  - Declarations
    - Standard priorities
    - Standard declarations
  - Monitors
    - Evri u kasi
      - Type: Data collection
      - Nodes ordered by pages
      - Predicate
      - Observer

```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                        {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = k
      | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
```

      - Init function
      - Stop
    - Dinari u kasi
  - Top
    - Dolazak
    - Usluga

CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

- Tool box
- Help
- Options
- Menjacnica9.cpn
  - Step: 2000
  - Time: 2458
  - Options
  - History
  - Declarations
    - Standard priorities
    - Standard declarations
  - Monitors
    - Evri u kasi
    - Dinari u kasi
      - Type: Data collection
      - Nodes ordered by pages
      - Predicate
      - Observer

```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                        {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = c
      | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
```

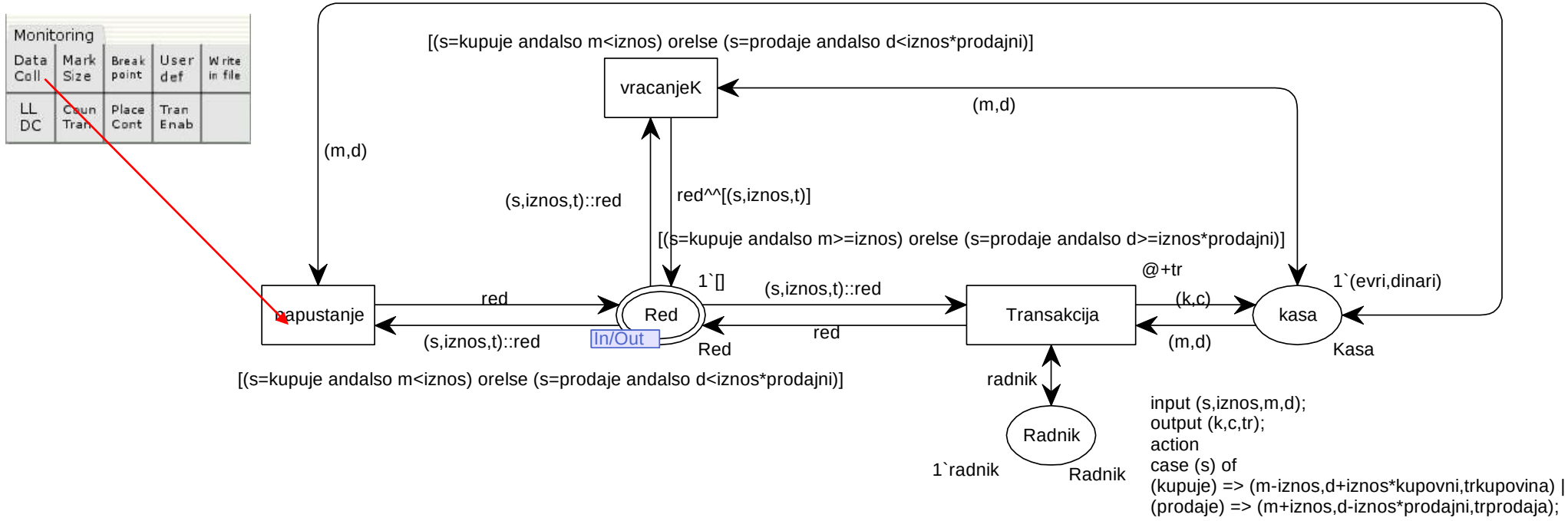
      - Init function
      - Stop
  - Top
    - Dolazak
    - Usluga

CPN Tools: монитор *Data collector*

Колики је просечан износ новца који је мењачница изгубила јер су клијенти одустали?

Клијент напушта систем када се запали прелаз napuštanje. Мењачница је изгубила евре када је s=prodaje а динаре када је s=kupuje. У првом случају износ је одређен вредношћу токена iznos а у другом iznos*prodajni.

За сваки од ова два случаја треба генерисати посебан монитор у коме се подешавају параметри *Predicate function* и *Observation function.*



CPN Tools: монитор *Data collector*

CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

```
▶ Standard priorities
▶ Standard declarations
▼ Monitors
  ▶ Evri u kasi
  ▶ Dinari u kasi
  ▼ Izgubljeni evri
    ▶ Type: Data collection
    ▶ Nodes ordered by pages
    ▼ Predicate
        fun pred (bindelem) =
        let
          fun predBindElem (Usluga'napustanje (1,
                                {d,iznos,m,red,s=kupuje,t})) = true
            | predBindElem _ = false
        in
          predBindElem bindelem
        end
    ▼ Observer
        fun obs (bindelem) =
        let
          fun obsBindElem (Usluga'napustanje (1,
                                {d,iznos,m,red,s,t})) = iznos
            | obsBindElem _ = ~1
        in
          obsBindElem bindelem
        end
    ▶ Init function
    ▶ Stop
▼ Top
    Dolazak
    Usluga
```

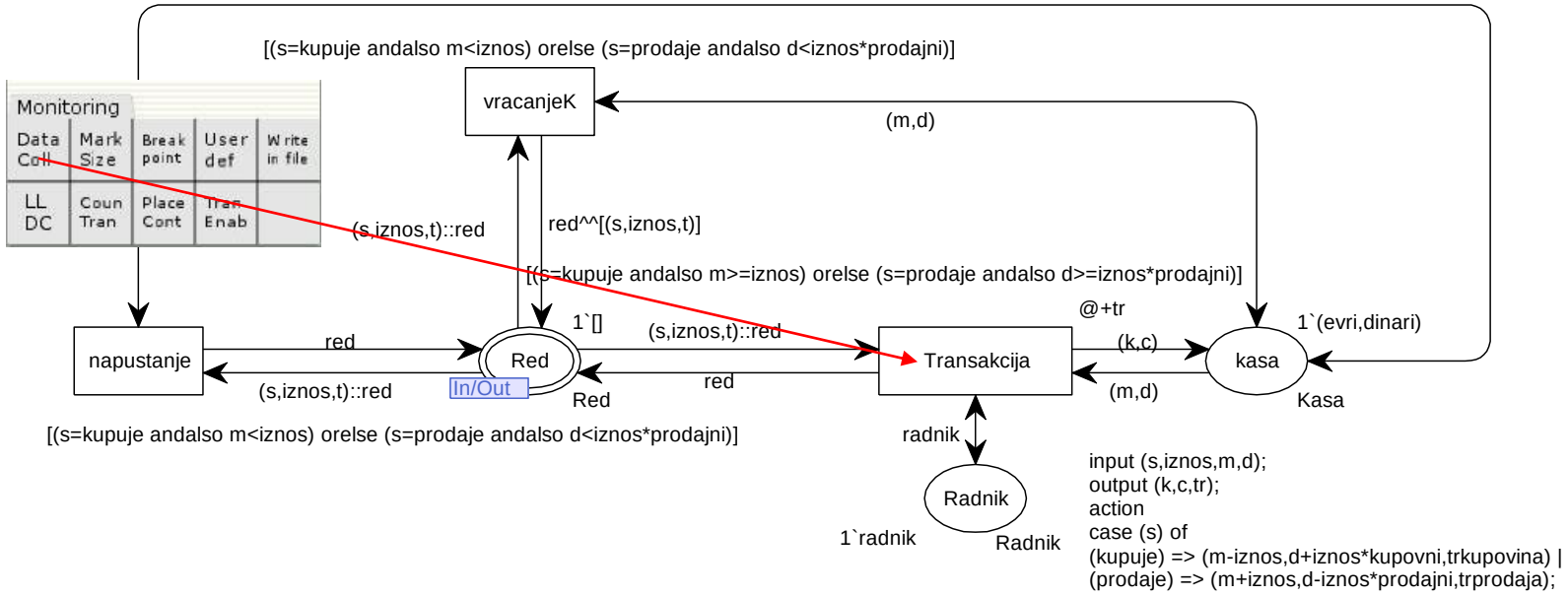
CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

```
▶ Standard priorities
▶ Standard declarations
▼ Monitors
  ▶ Evri u kasi
  ▶ Dinari u kasi
  ▶ Izgubljeni evri
  ▼ Izgubljeni dinari
    ▶ Type: Data collection
    ▶ Nodes ordered by pages
    ▼ Predicate
        fun pred (bindelem) =
        let
          fun predBindElem (Usluga'napustanje (1,
                                {d,iznos,m,red,s=prodaje,t})) = true
            | predBindElem _ = false
        in
          predBindElem bindelem
        end
    ▼ Observer
        fun obs (bindelem) =
        let
          fun obsBindElem (Usluga'napustanje (1,
                                {d,iznos,m,red,s,t})) = iznos*prodajni
            | obsBindElem _ = ~1
        in
          obsBindElem bindelem
        end
    ▶ Init function
    ▶ Stop
▼ Top
    Dolazak
    Usluga
```

CPN Tools: монитор *Data collector*

Колико времена су клијенти просечно провели у реду? Колико су чекали клијенти који купују а колико клијенти који продају евре?

Време чекања клијента се добија када се од тренутног времена глобалног сата одузме вредност променљиве *t* која представља тренутак доласка у систем.



CPN Tools: монитор *Data collector*

CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

- Standard priorities
- Standard declarations
- Monitors
  - Evri u kasi
  - Dinari u kasi
  - Izgubljeni evri
  - Izgubljeni dinari
  - Cekanje klijenata
    - Type: Data collection
    - Nodes ordered by pages
    - Predicate

```
fun pred (bindelem) =
let
  fun predBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = true
      | predBindElem _ = false
in
  predBindElem bindelem
end
```

    - Observer

```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = time()-t
      | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
```

    - Init function
    - Stop
- Top
  - Dolazak
  - Usluga

CPN Tools: монитор *Data collector*

CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

- Declarations
  - Standard priorities
  - Standard declarations
- Monitors
  - Evri u kasi
  - Dinari u kasi
  - Izgubljeni evri
  - Izgubljeni dinari
  - Cekanje klijenata
  - Cekanje kupovina
    - Type: Data collection
    - Nodes ordered by pages
    - Predicate

```
fun pred (bindelem) =
let
  fun predBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s=kupuje,t,tr})) = true
    | predBindElem _ = false
in
  predBindElem bindelem
end
```

    - Observer

```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = time()-t
    | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
```

    - Init function
    - Stop

CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)

- Standard priorities
- Standard declarations
- Monitors
  - Evri u kasi
  - Dinari u kasi
  - Izgubljeni evri
  - Izgubljeni dinari
  - Cekanje klijenata
  - Cekanje kupovina
  - Cekanje prodaja
    - Type: Data collection
    - Nodes ordered by pages
    - Predicate

```
fun pred (bindelem) =
let
  fun predBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s=prodaje,t,tr})) = true
    | predBindElem _ = false
in
  predBindElem bindelem
end
```

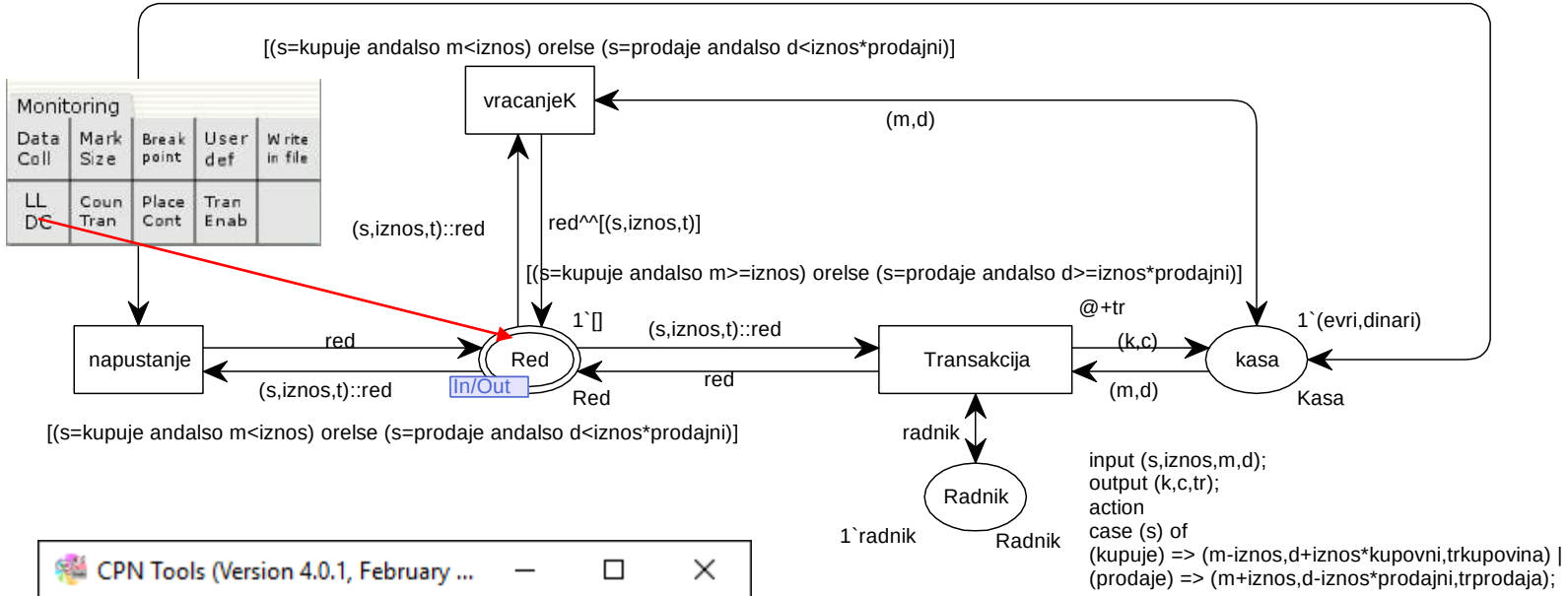
    - Observer

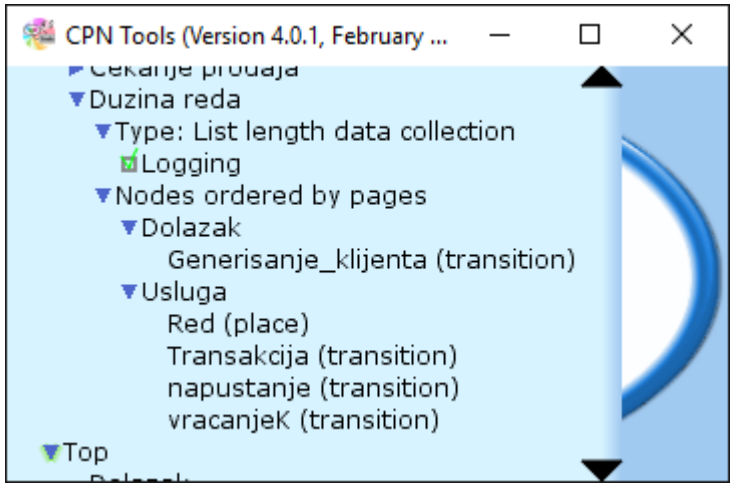
```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = time()-t
    | obsBindElem _ = ~1
in
  obsBindElem bindelem
end
```

    - Init function
    - Stop
- Top

CPN Tools: монитор *List length*

Колико је просечна дужина реда?





Након покретања *Fast forward* симулације добија се извештај PerfReport.html.

CPN Tools Simulation Performance Report
Net: /cygdrive/C/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza procesa i PN/Mreze/Menjacnica9.cpn

---

Note that these statistics have been calculated for data that is not necessarily independent or identically distributed.

Timed statistics				
Name	**Count**	**Avrg**	**Min**	**Max**
Dinari_u_kasi	500	79022.480151	462	185508
Duzina_reda	1379	1.332325	0	12
Evri_u_kasi	500	657.336484	0	1355

Untimed statistics					
Name	**Count**	**Sum**	**Avrg**	**Min**	**Max**
Cekanje_klijenata	500	3074	6.148000	0	43
Cekanje_kupovina	201	1339	6.661692	0	43
Cekanje_prodaja	299	1735	5.802676	0	32
Izgubljeni_dinari	70	1713246	24474.942857	23668	25376
Izgubljeni_evri	52	15570	299.423077	286	311

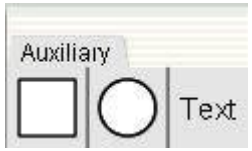
Simulation steps executed: 2000
Model time: 2645

CPN Tools: *Simulation replications*

Над стохастичким моделима је неопходно извршити серију симулација.

То се постиже комадом: CPN’Replications.nreplications *n*, где *n* представља број понављања симулације.

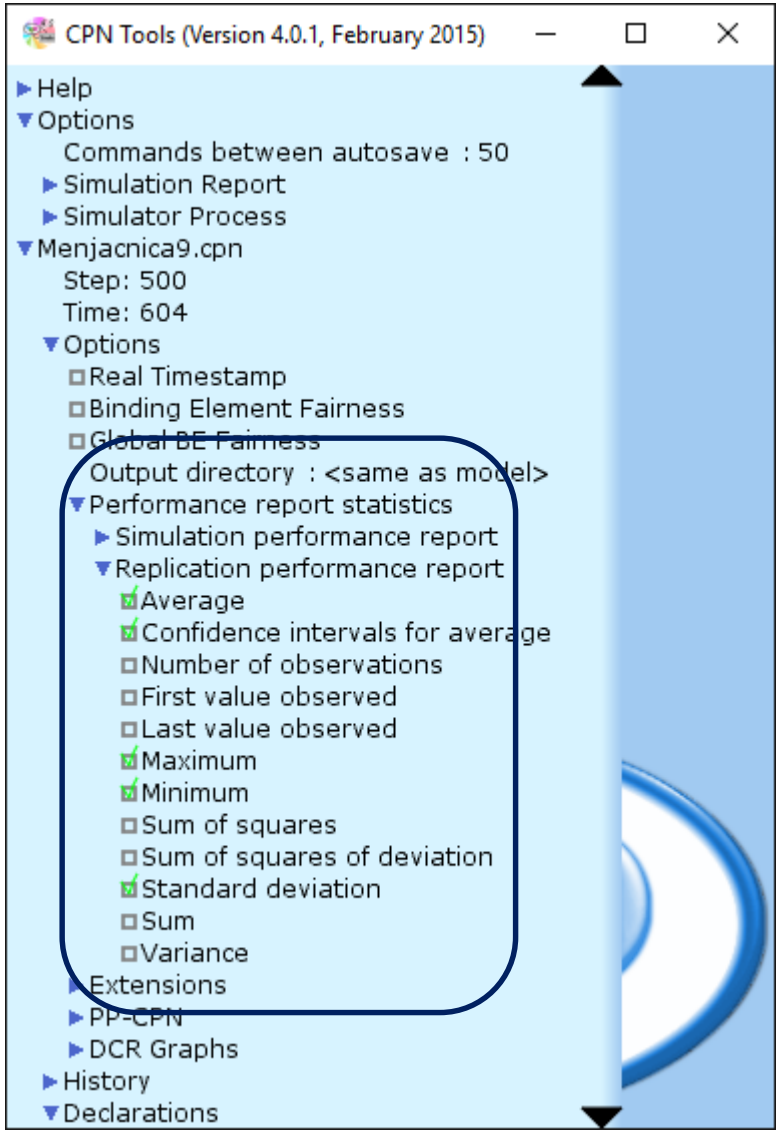
Команда се уноси као текст из палете *Auxiliary tools*



а покреће командом ML! Из палете *Simulation tools*.

CPN Tools: мерење перформанси

Претходно је потребно дефинисати садржај извештаја о поновљеним симулацијама.



Након покретања серије симулација добија се извештај PerfReportIID.html.

CPN Tools Performance Report
Net: /cygdrive/C/Users/gaga/Documents/1Gaga/GagaAsus/Documents/LABOI/Analiza procesa i PN/Mreze/Menjacnica9.cpn
Number of replications: 10

Statistics							
Name	**Avrg**	**90% Half Length**	**95% Half Length**	**99% Half Length**	**StD**	**Min**	**Max**
Cekanje_klijenata							
count_iid	119.800000	8.456558	10.435752	14.993897	14.589189	88	142
max_iid	37.300000	9.837100	12.139400	17.441667	16.970890	12	69
min_iid	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0	0
sum_iid	833.400000	230.332932	284.240639	408.391723	397.368623	221	1380
avrg_iid	6.737058	1.683159	2.077090	2.984324	2.903773	2.511364	11.219512
Cekanje_kupovina							
count_iid	47.500000	3.533778	4.360833	6.265564	6.096447	34	56
max_iid	32.600000	10.565884	13.038751	18.733837	18.228183	8	69
min_iid	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0	0
sum_iid	326.700000	91.883532	113.388189	162.914064	158.516771	84	508
avrg_iid	6.646878	1.689116	2.084441	2.994887	2.914050	2.186047	10.583333
Cekanje_prodaja							
count_iid	72.300000	4.956637	6.116702	8.788364	8.551153	54	86
max_iid	33.100000	7.445430	9.187978	13.201118	12.844800	12	50
min_iid	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0	0
sum_iid	506.700000	140.082207	172.867405	248.372708	241.668759	137	872