

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.

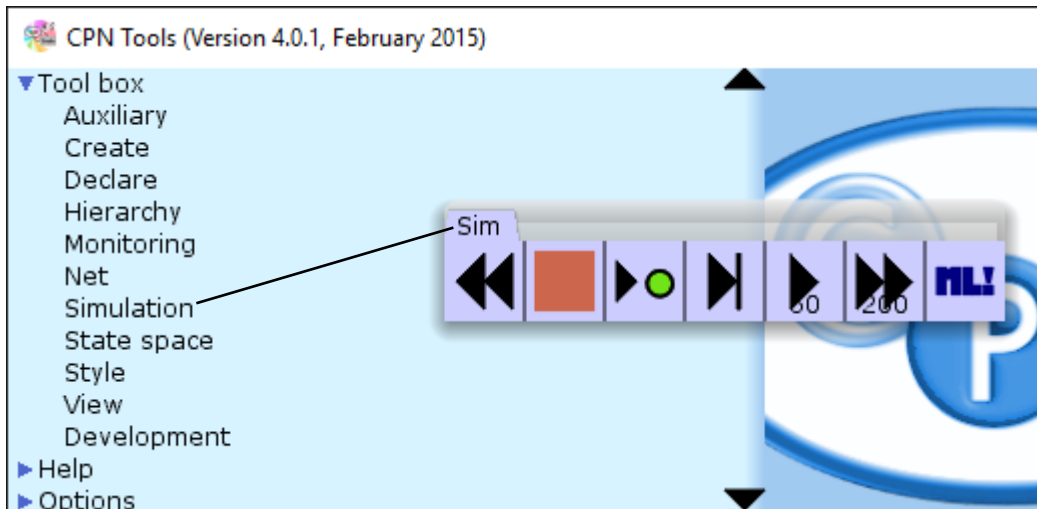
Анализа Петријевих мрежа

Методе за анализу:

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

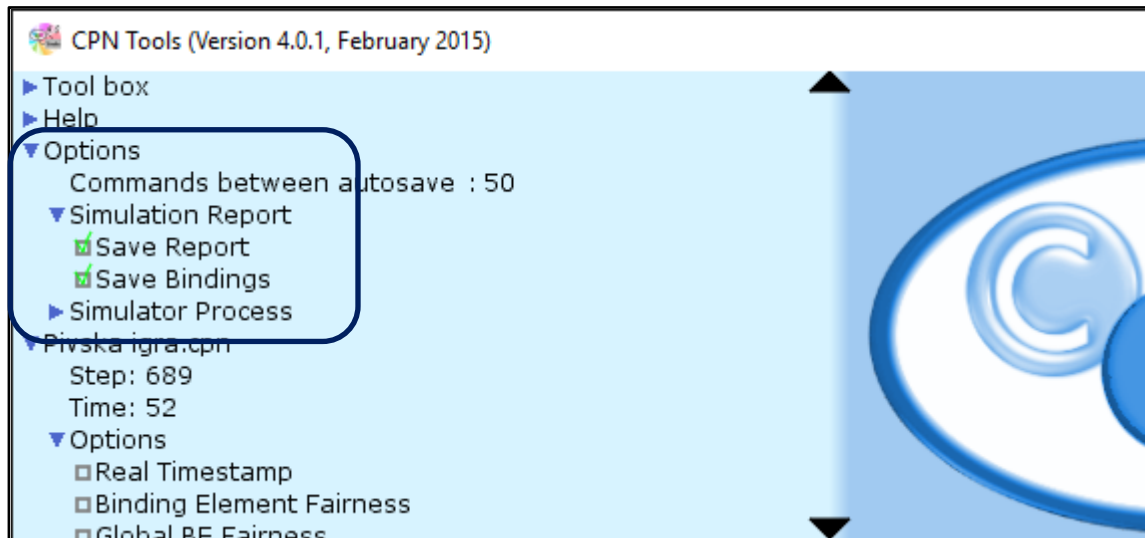
- Симулација омогућава валидацију али не омогућава директну верификацију исправности модела.
- Симулација омогућава мерење перформанси моделираног система.
- Предност у односу на остале технике у анализи стохастичких система.

CPN Tools: алат за симулацију



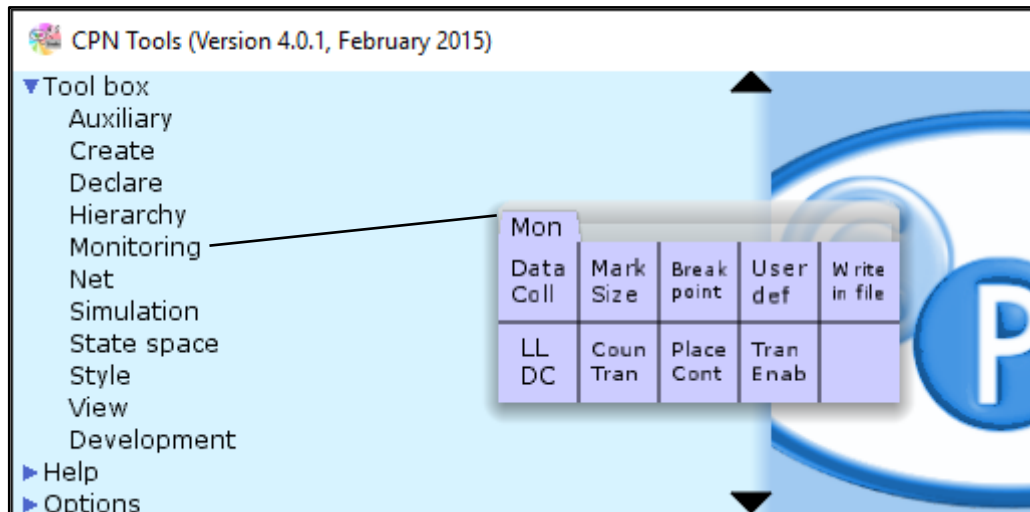
CPN Tools: алат за симулацију

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



CPN Tools: мерење перформанси

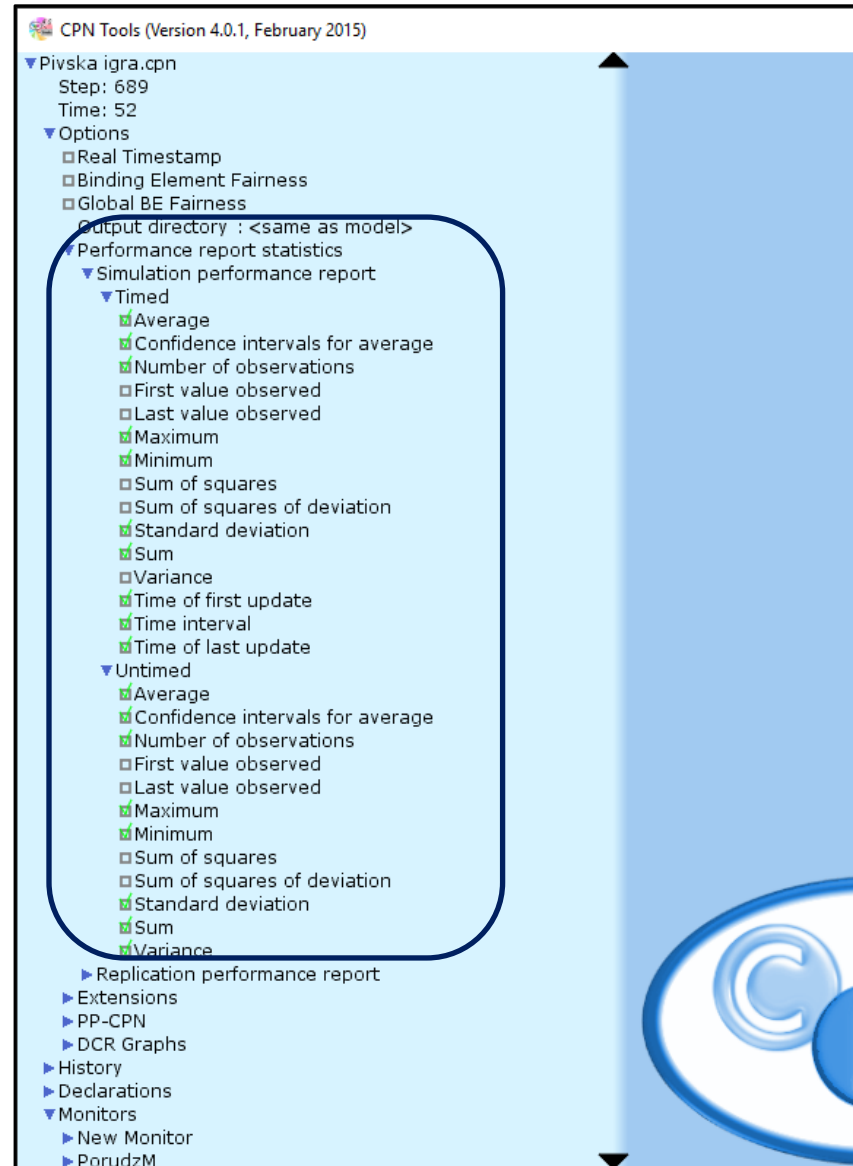
Мерење перформанси врши се помоћу монитора.



Мониторима се могу мерити временски и невременски подаци.

CPN Tools: мерење performansi

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.

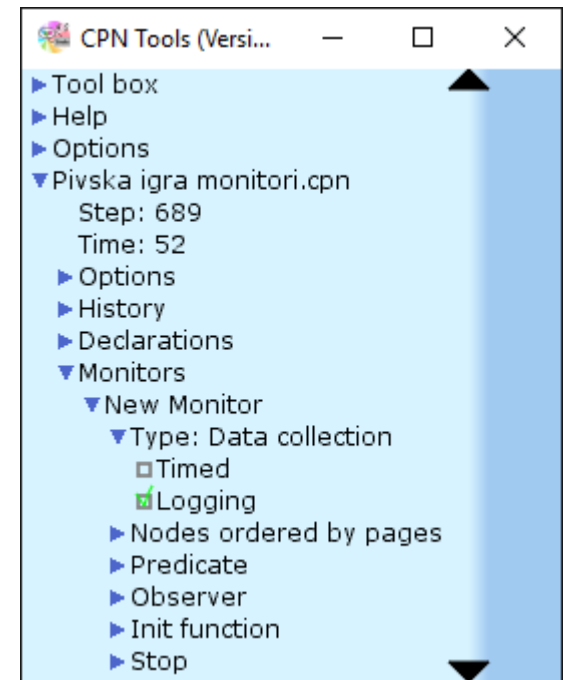
Nodes ordered by pages: приказује чворове којима је придружен монитор.

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

Observation function: дефинише нумеричку вредност коју треба памтити.

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

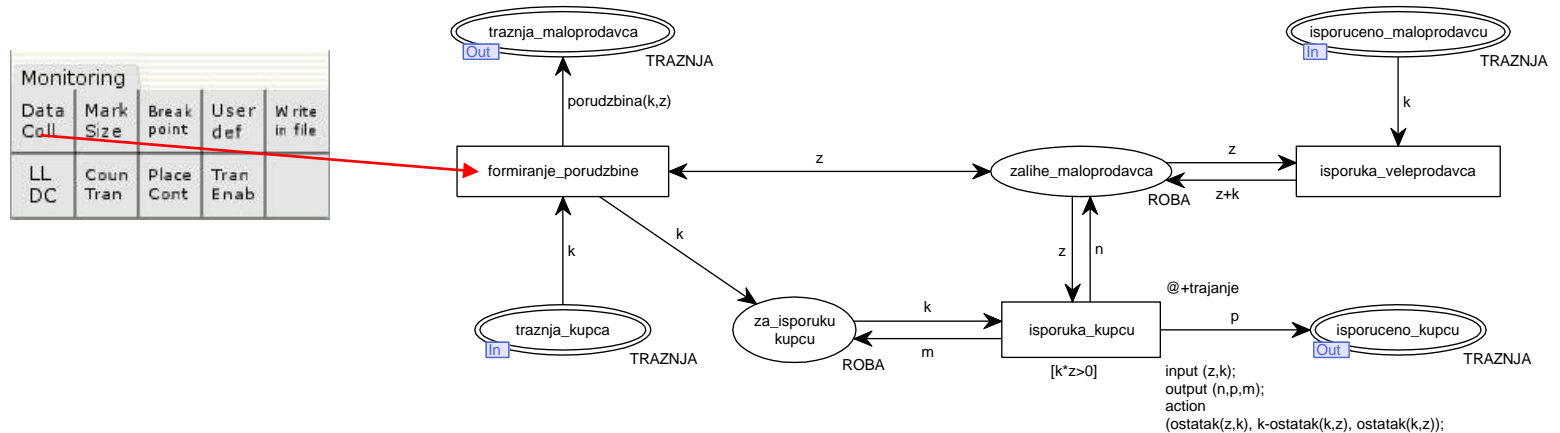
Stop function: дефинише податак који је потребно издвојити из мреже након последњег корака симулације.



CPN Tools: монитор *Data collector*

Нека је у мрежи Ривска игра 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*

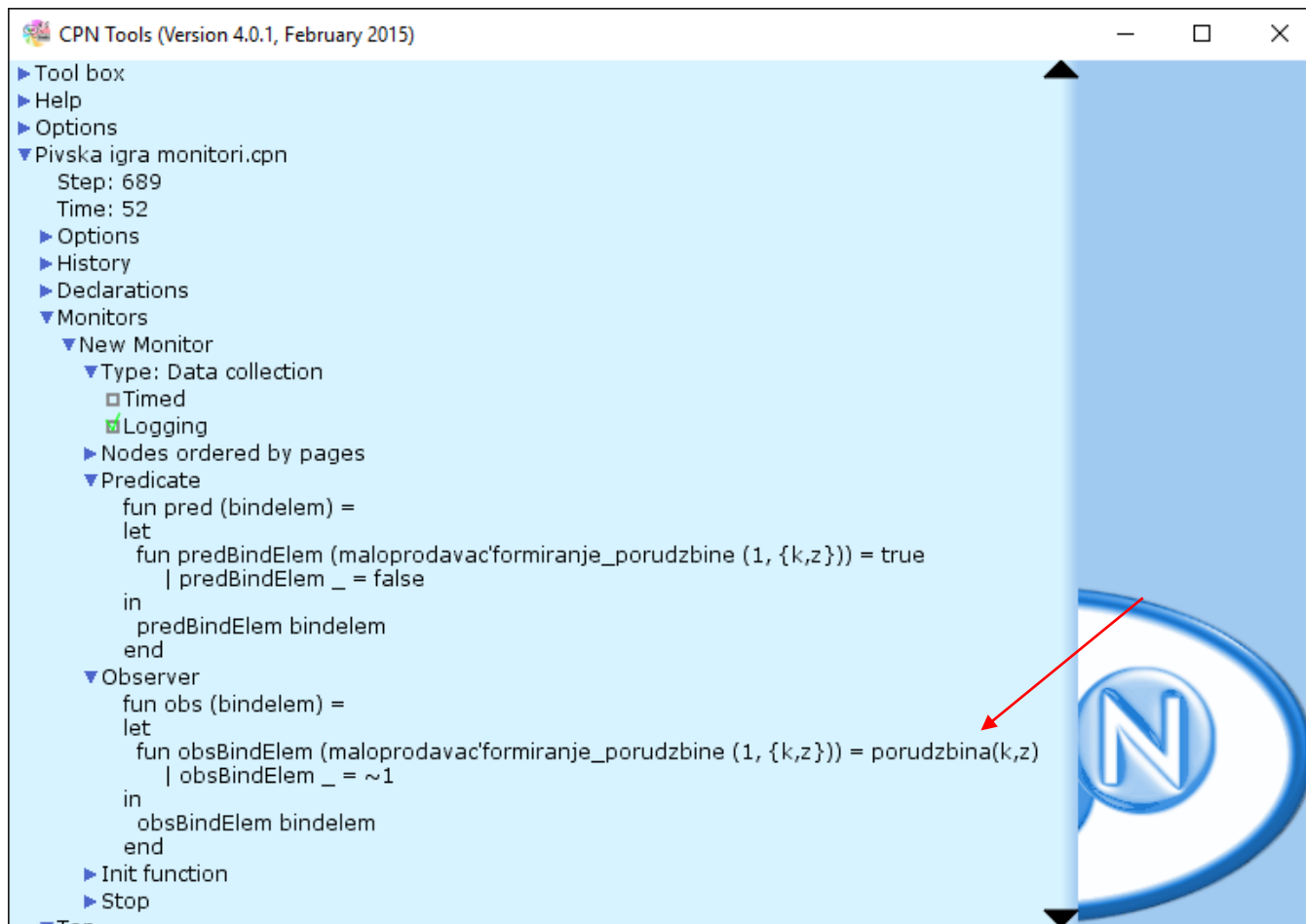
Постављањем монитора *Data collector* на прелаз *formiranje_porudzbine*, добија се следећи монитор.

```
▶ 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
```



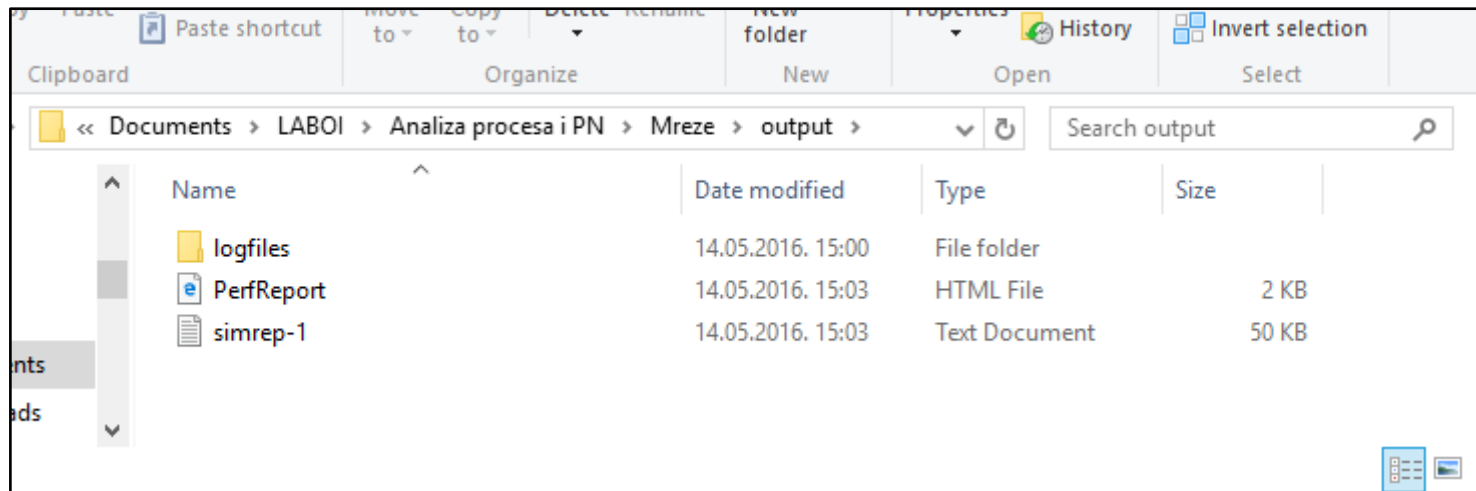
CPN Tools: монитор *Data collector*

Потребно је кориговати *Observation function*.



CPN Tools: монитор *Data collector*

Након покретања *Fast forward* симулације са палете *Simulation* у фолдеру у коме се налази срп 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 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 кда се покрене *Fast forward* симулација, без обзира на постојање монитора на мрежи.

```
simrep-1.txt x
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

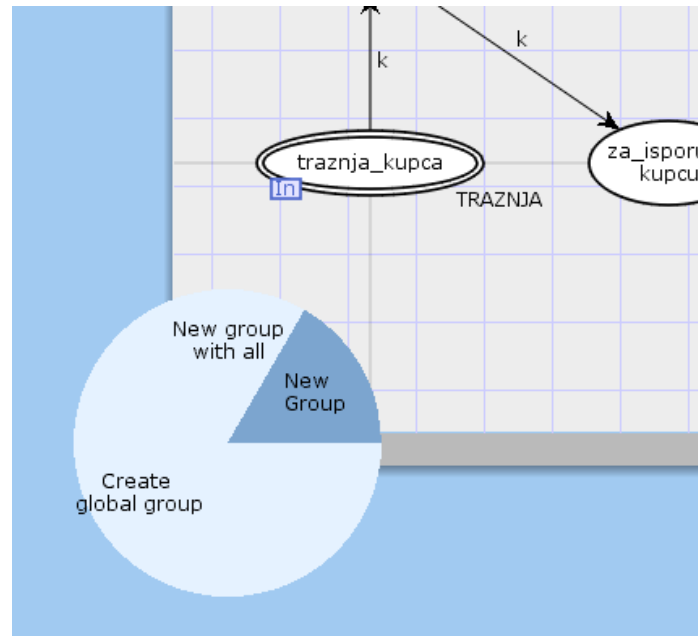
1      0      detporudzbina_kupca @ (1:traznja)
- k = 4
2      0      formiranje_porudzbine @ (1:maloprodavac)
- k = 4
- z = 12
3      0      formiranje_porudzbine @ (1:veleprodavac)
- k = 4
- z = 12
4      0      formiranje_porudzbine @ (1:distributer)
- k = 4
- z = 12
5      0      isporuka_maloprodavcu @ (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 игра потребно пратити залихе малопродавца.

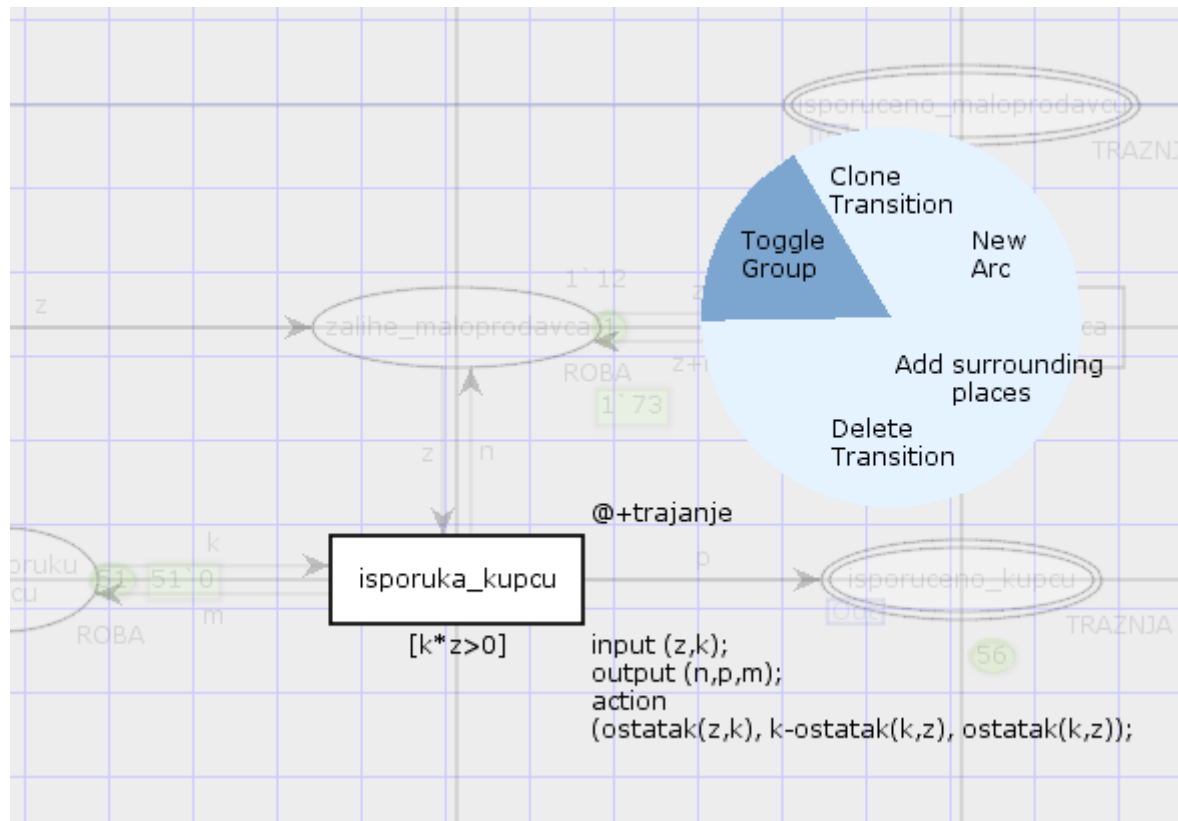
Стање на залихама се смањује (на количину n) сваки пут када се запали прелаз `isporuka_kupcu` а повећава (на количину $z+k$) сваки пут када се запали прелаз `isporuka_velerprodavca`.

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.

The screenshot displays the CPN Tools interface (Version 4.0.1, February 2015) with a Petri net simulation. The left sidebar shows the project structure, including a monitor named 'Group 1' of type 'Data collection'. The main window shows the Petri net with a monitor attached to the 'za_ishoruku_kupcu' place. The monitor's configuration is shown in a table:

Mon	Mark Size	Break point	User def	Write in file
Data Coll	Coun Tran	Place Cont		

The Petri net diagram includes places like 'za_maloprodavca', 'porudzina(k,z)', 'za_ishoruku_kupcu', and 'isporuka_kupcu'. The monitor is configured to collect data from the 'za_ishoruku_kupcu' place, with a break point set to 'Place Cont' and a user-defined condition $[k*z > 0]$. The monitor's output is shown as a list of data points, including $(1, 73)$ and $(51, 0)$.

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 *Туре 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	Avg	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	Avg	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

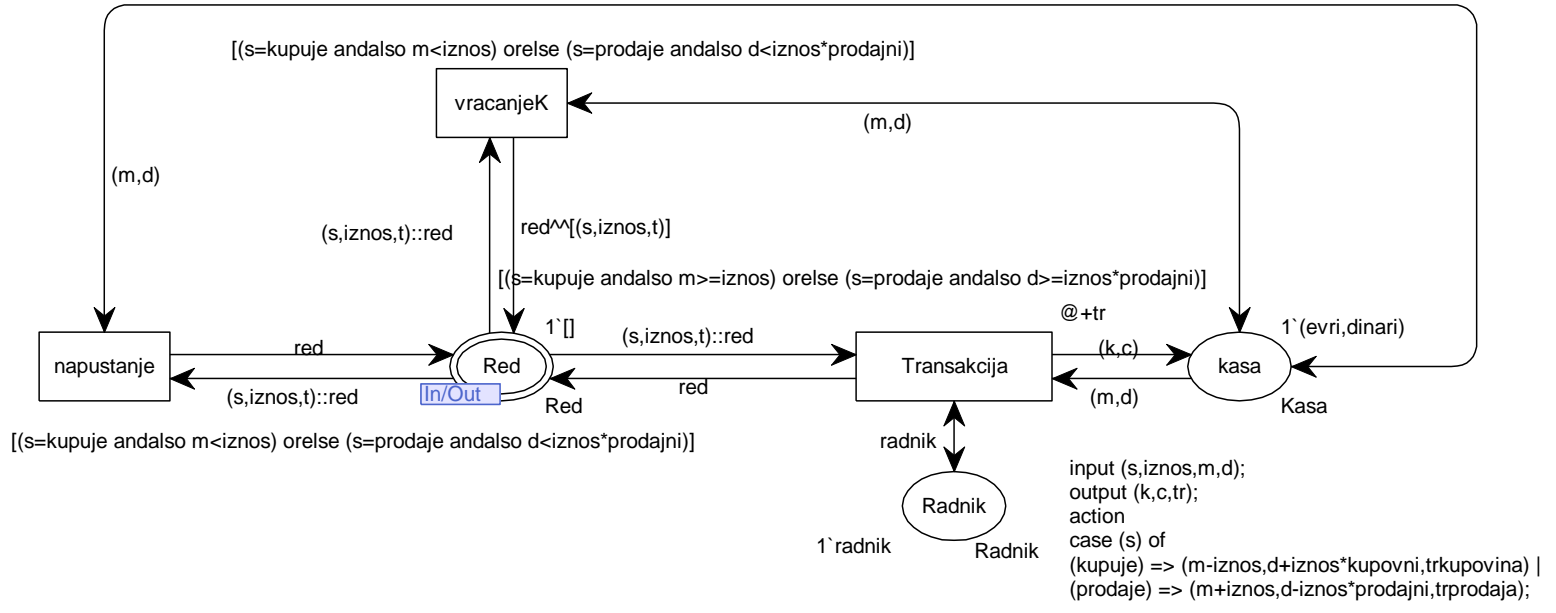
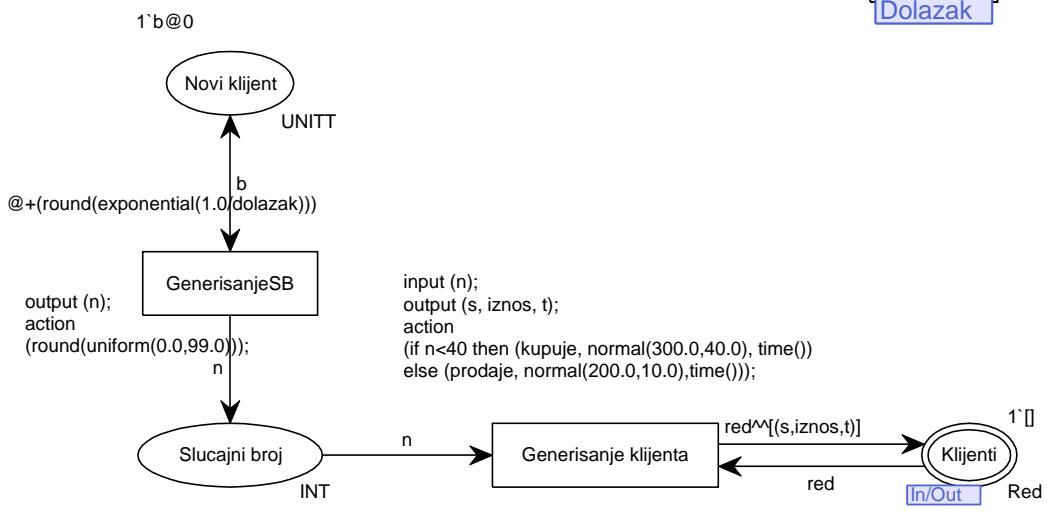
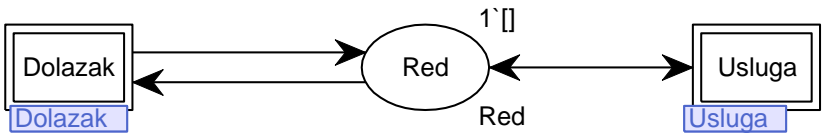
Model time: 52

Generated: Sat May 14 17:53:55 2016

CPN Tools: монитор *Data collector*

Допунити мрежу *Menjascnica8* 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.

Формулисати хијерархијску мрежу.



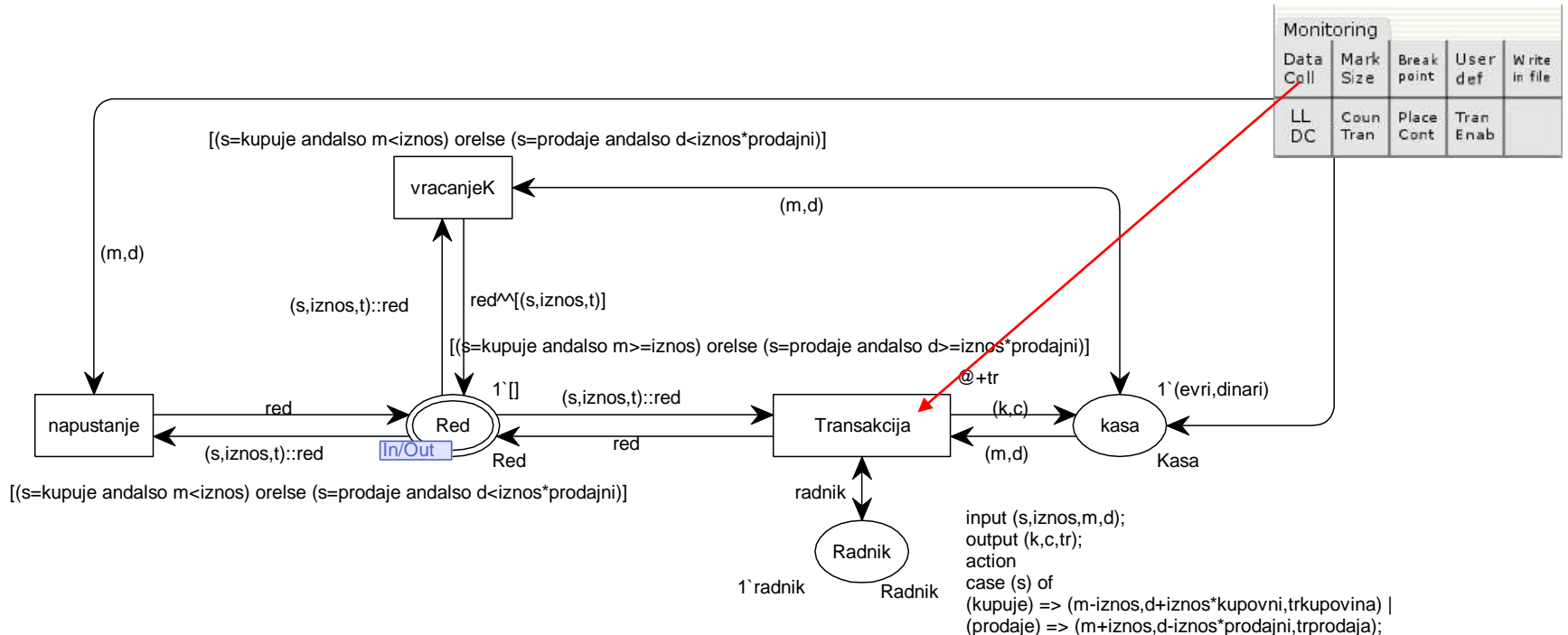
```
(* Standard declarations *)
colset UNIT = unit;
colset UNITT = unit with b timed;
colset INT = int;
colset TIME = time;
colset EVRI=int;
colset DINARI=int;
colset Kasa = product EVRI * DINARI;
colset Svrha= with kupuje|prodaje timed;
colset Klijent = product Svrha * EVRI * TIME timed;
colset Red= 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*

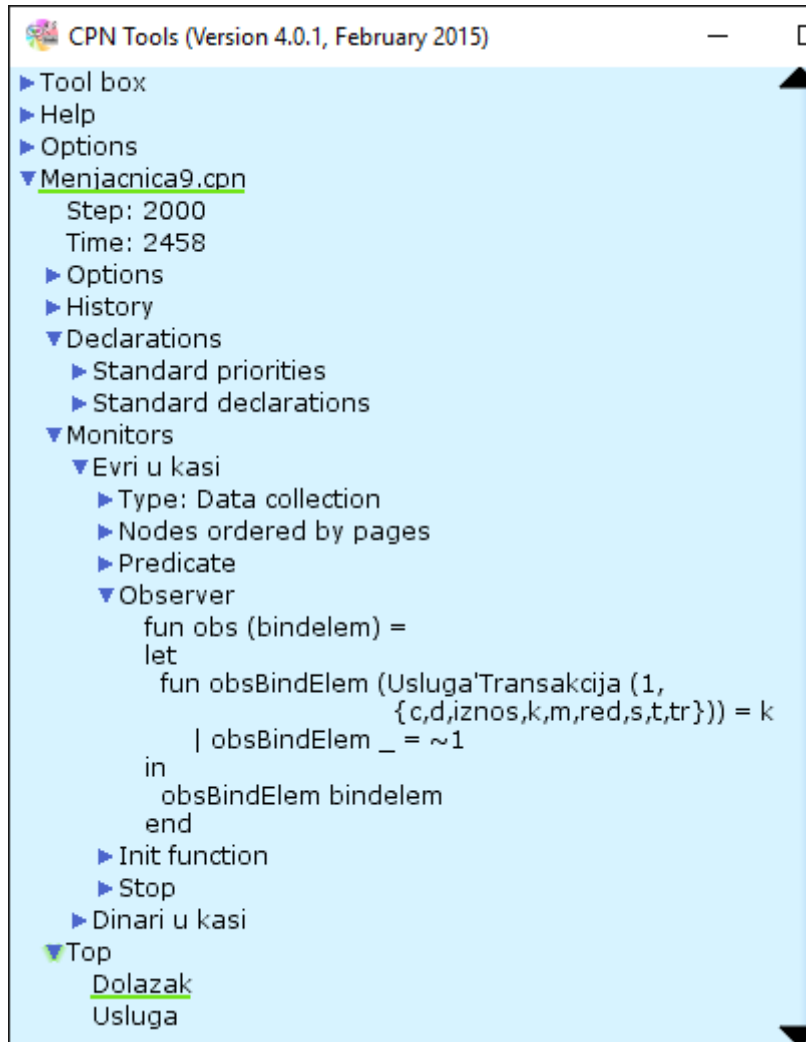
Нека је у мењачници потребно пратити стање у каси.

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

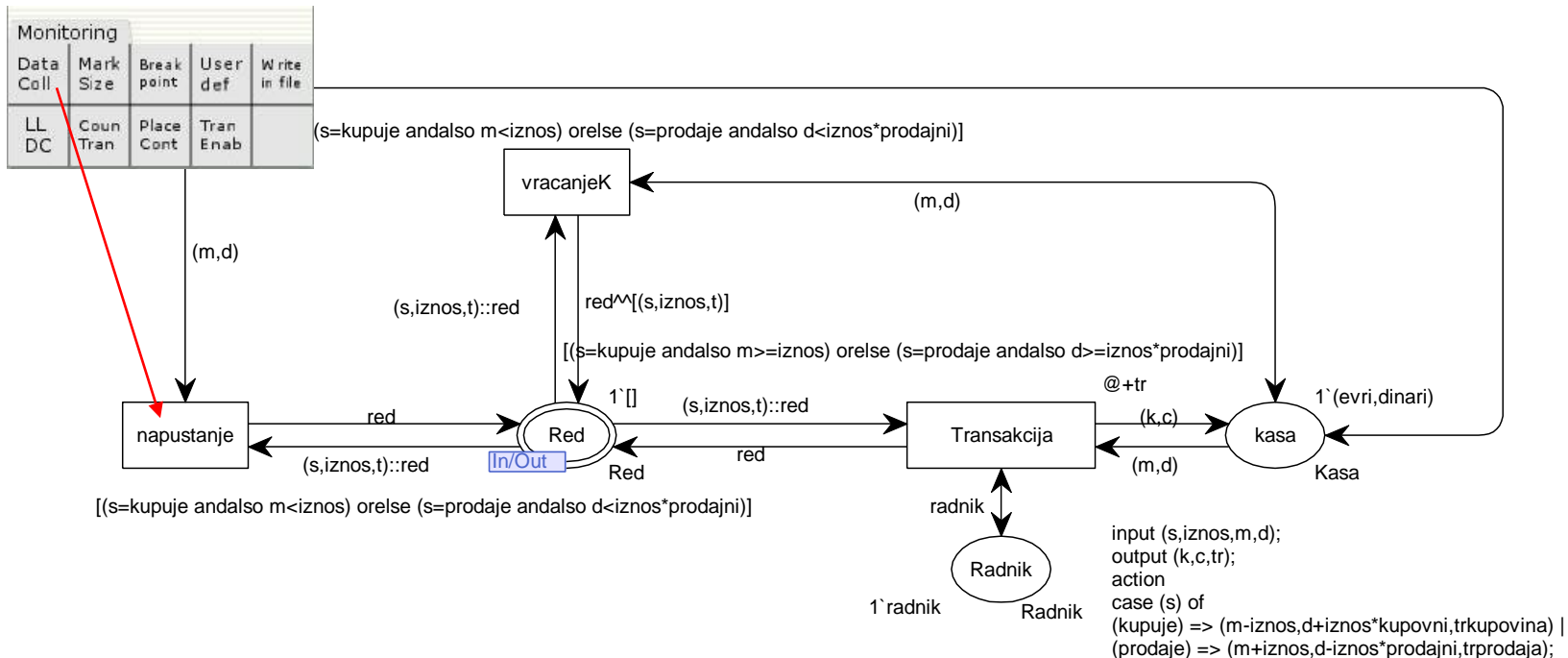
```
fun obs (bindelem) =
let
  fun obsBindElem (Usluga'Transakcija (1,
                    {c,d,iznos,k,m,red,s,t,tr})) = c
                    | obsBindElem _ = ~1
  in
    obsBindElem bindelem
  end
```
 - ▶ Init function
 - ▶ Stop
 - ▼ Top
 - Dolazak
 - Usluga

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*

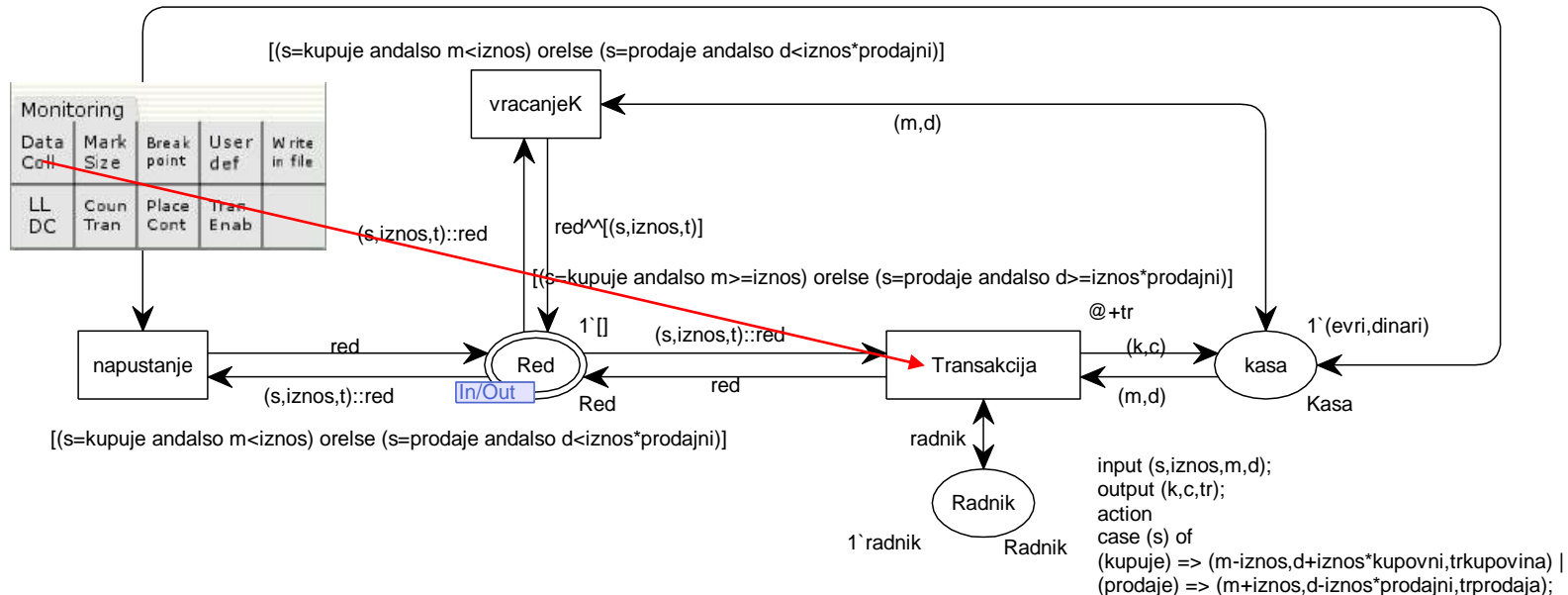
```
CPN Tools (Version 4.0.1, February 2015)
  ▶ Standard priorities
  ▶ Standard declarations
  ▼ Monitors
    ▶ Evri u kasi
    ▶ Dinari u kasi
    ▼ Izgubljeni evri
      ▶ Type: Data collection
      ▶ Nodes ordered by pages
      ▼ Predicate
        fun pred (bindelem) =
          let
            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
```

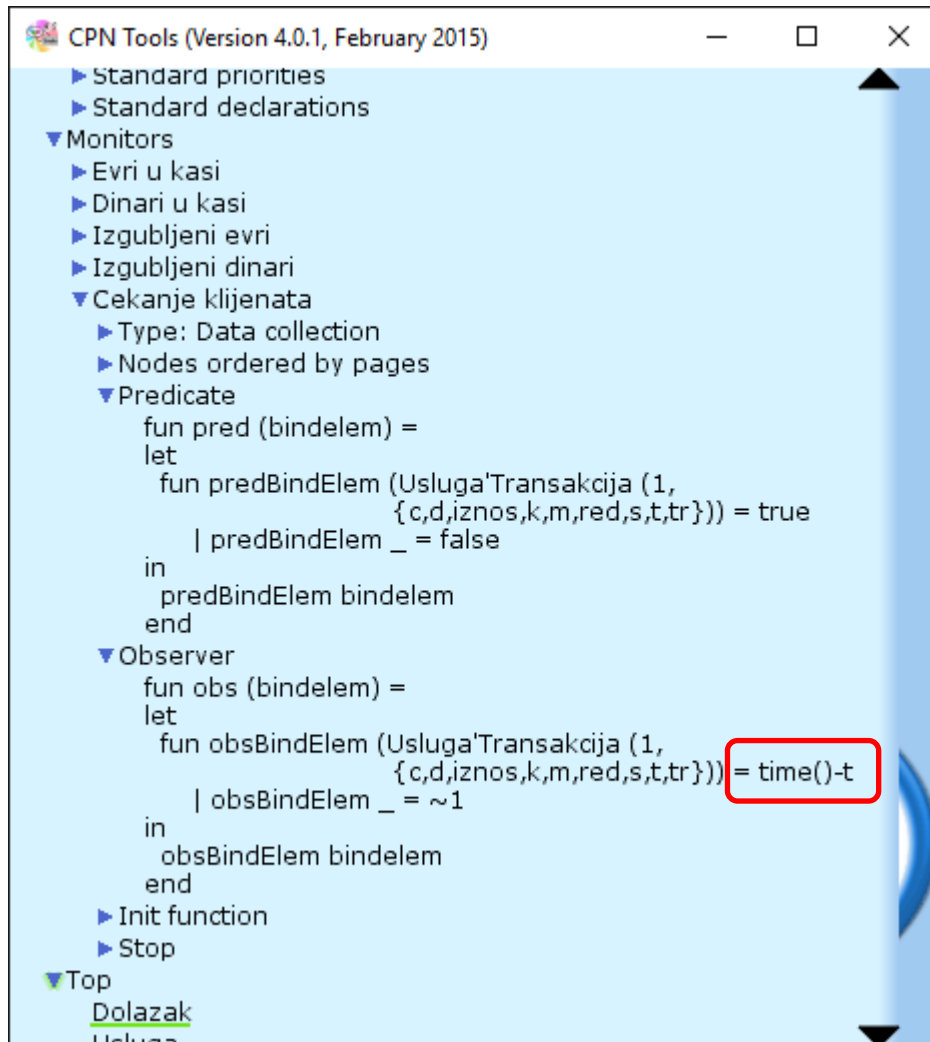
CPN Tools: монитор *Data collector*

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
```

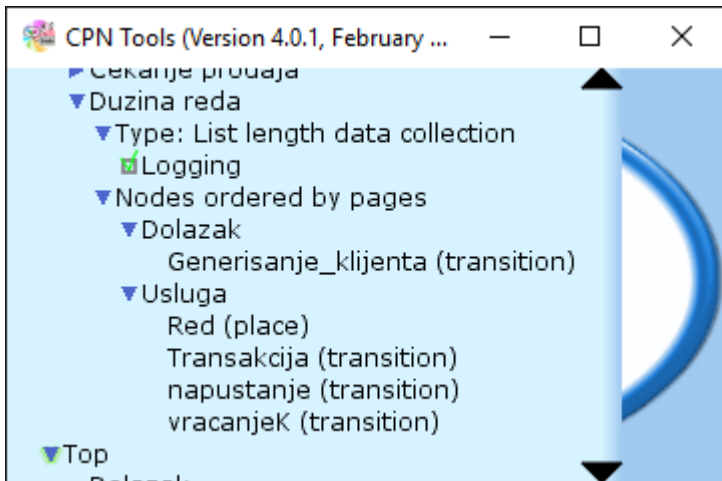
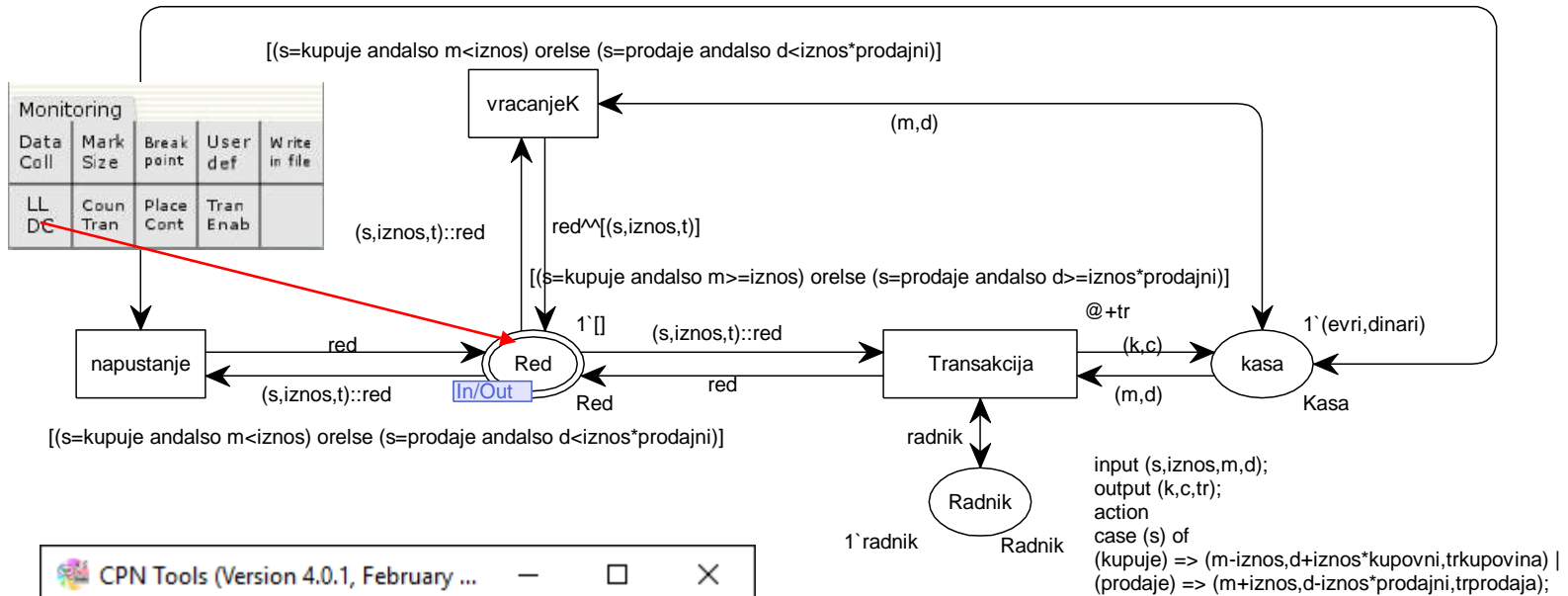
CPN Tools: монитор *Data collector*

```
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*

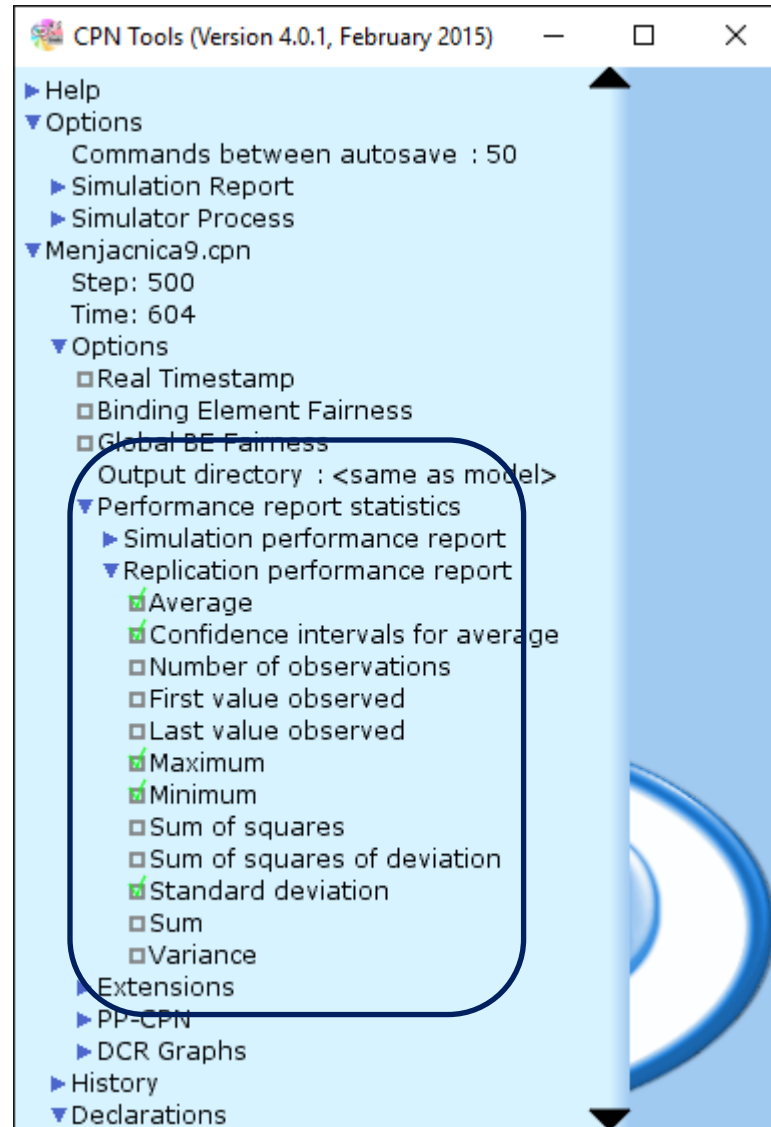


а покреће командом `ML!` Из палете *Simulation tools*.



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