

**Matemaatilise  
modelleerimise alused  
Programmi Stella  
võimalused**

**MTMM.00.250**

**3 EAP**

**Ella Puman**

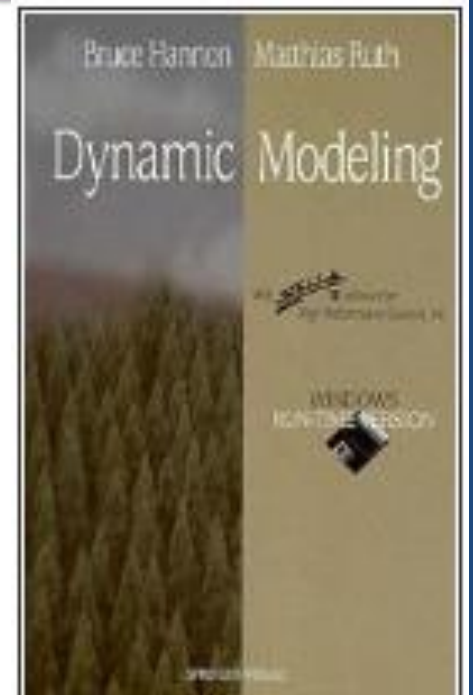
# Kirjandus Stella õppimiseks

➤ „Dynamic modelling“, 1994

**Bruce Hannon, Matthias Ruth**

On saadaval TÜ Raamatukogus

[http://tartu.ester.ee/record=b1014371~S1\\*est](http://tartu.ester.ee/record=b1014371~S1*est)



Kursuse materjalid **Moodle** keskkonnas

<https://moodle.ut.ee> (ligipääs ka ÕIS kaudu)

# Stella kättesaadavus

➔ Programm asub võrgukettal math serveris

<\\math.ut.ee\programs>

Kaust **Stella7b** fail **Stella7b.exe**

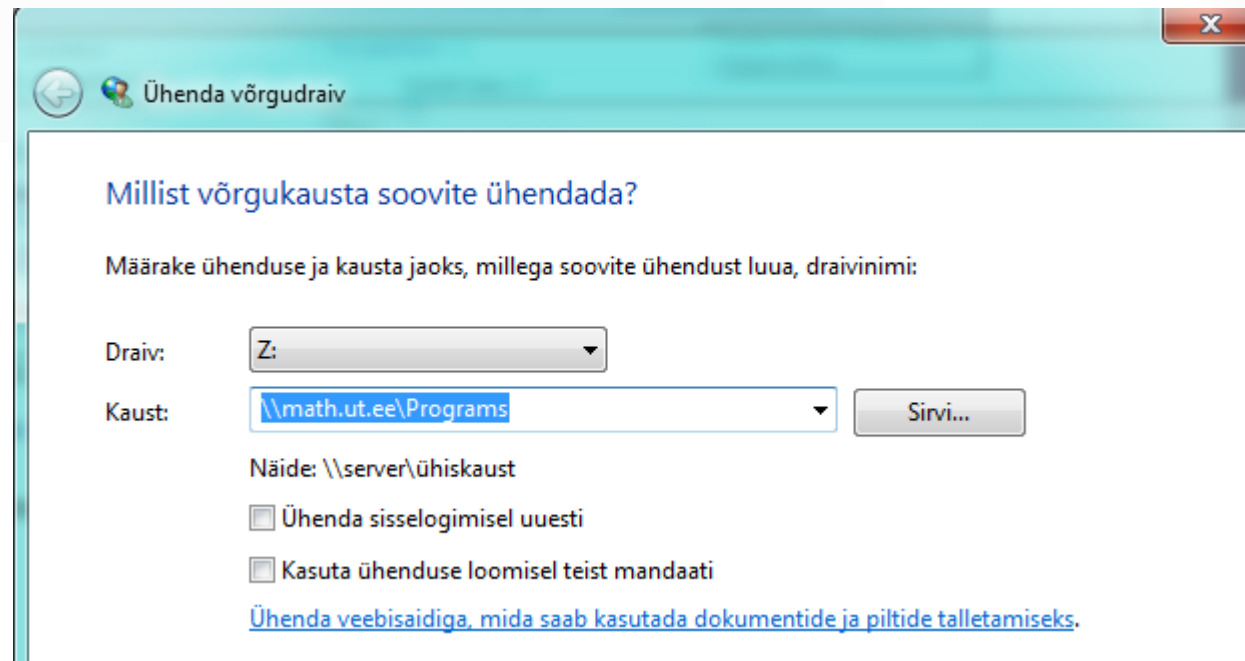
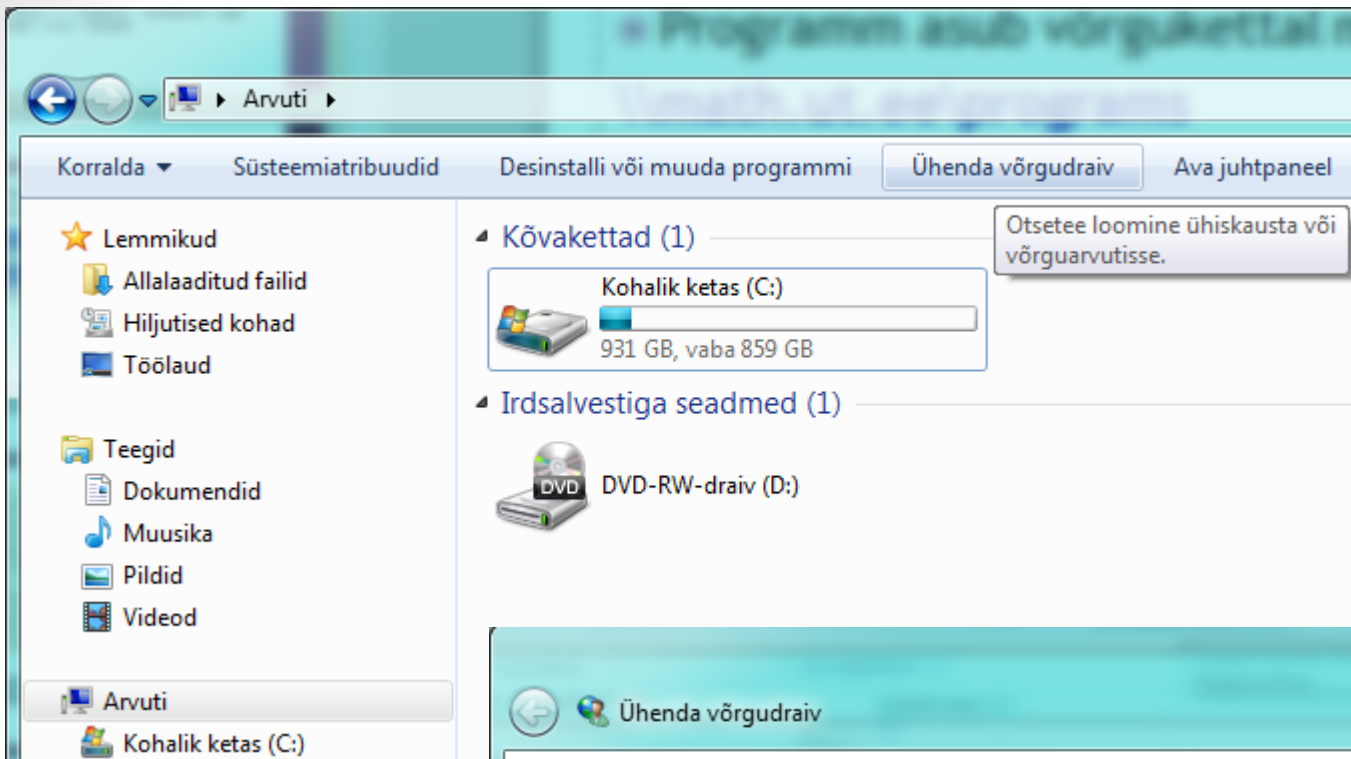
➔ Kasutades **arvutiklassi arvuteid**, on võrguketas kättesaadav kohe programmiga **Windows Explorer**

➔ **Sülearvutiga** programmis Windows Explorer

**Tools (Tööriistad) – Map Network Drive (Ühenda võrgudraiv)**

➔ **Wifi** peab olema **eduroam** (mitte ut-public)

➔ Windows 7 – võrgudraivi ühendamise **nupp** saadav **Arvuti** jaotusest



# IT info ja juhendid TÜ kasutajale

- ➔ Tartu Ülikooli kodulehel
- ➔ Ülikoolist alajaotuses
- ➔ IT-info

<http://www.ut.ee/et/ulikoolist/it-info/juhendid>

WiFi ja eduroam juhendid traadita interneti kasutamiseks ja seadistamiseks erinevate operatsioonisüsteemide korral

Muud juhendid ülikooli arvutivõrgu kasutamise ja infosüsteemide kohta

# Stella 7.0.3

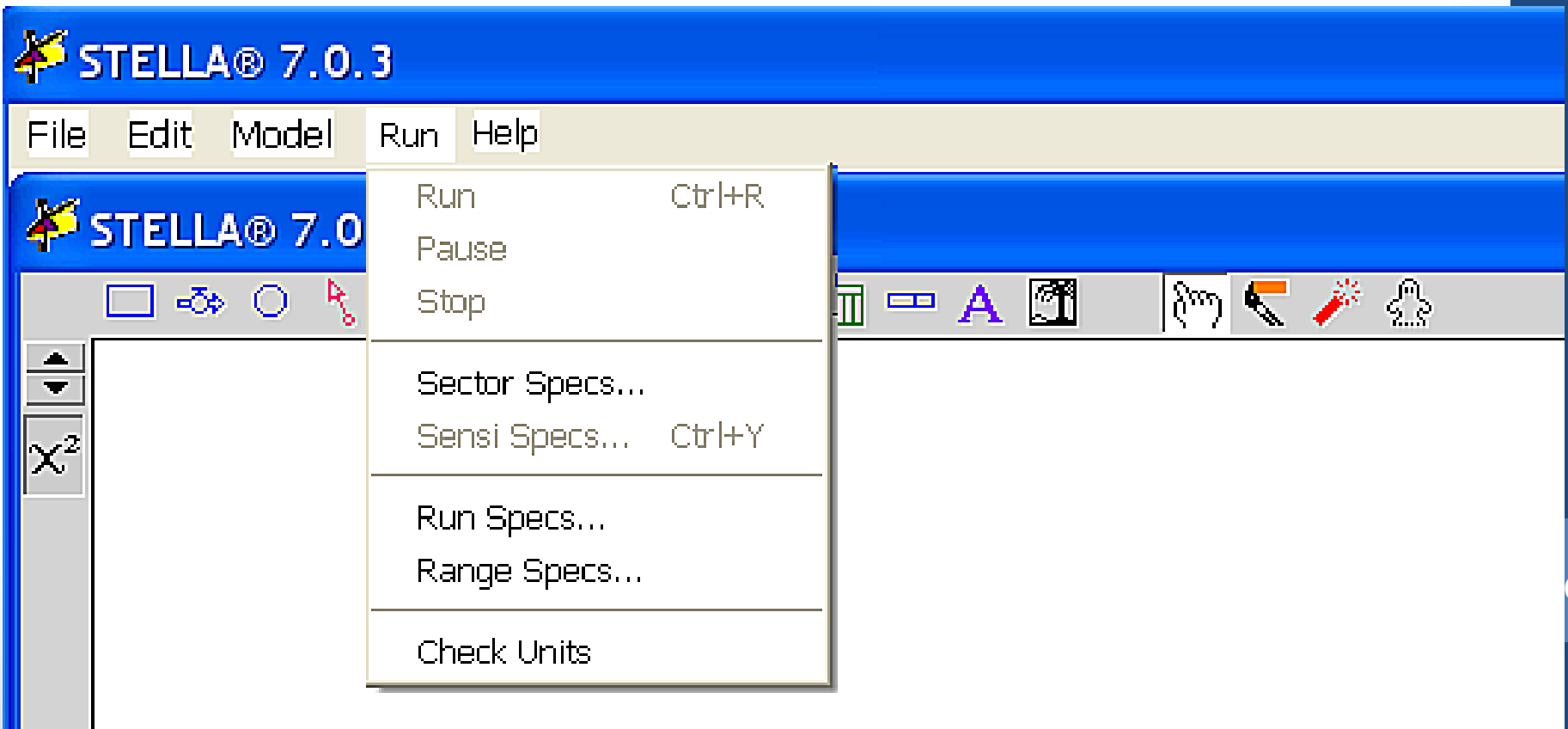
➔ Stock

➔ Flow



Converter

Action connector



# VÄRVIDE VALIMINE, teksti lisamine

➔ Paintbrush

pintsel

Graafikul muutuja

nimel muudab joone värvi

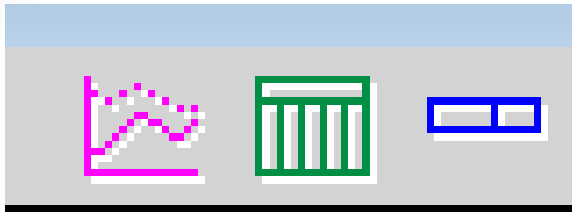
➔ **A** tekstipiirkonna

lisamiseks



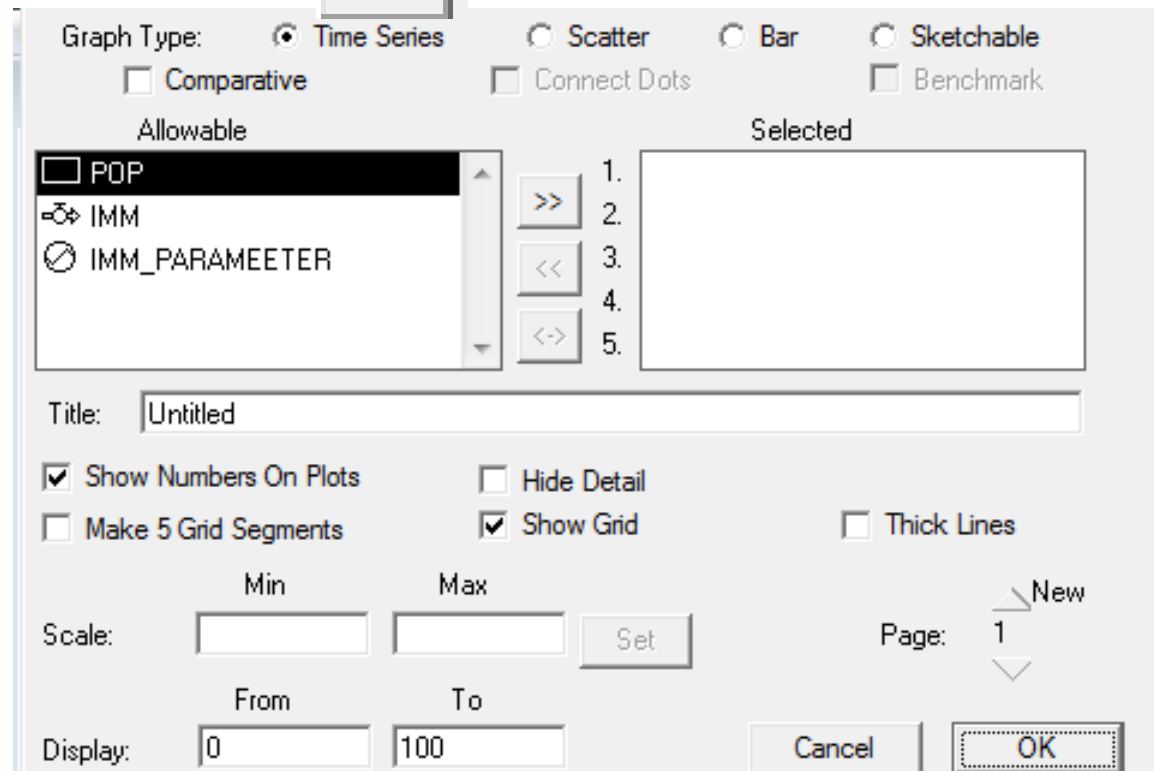
The screenshot shows the STELLA 7.0.3 software interface. The main window is titled '2praks1\_tyyp.STM' and contains a diagram of a 'STIMULUS-RESPONSE MÕJUTUSE-VASTAVUSE MUDEL'. The diagram shows a flow from 'IMM' to 'POP'. A red arrow points to the 'IMM' node, labeled 'IMM PARAMEETER'. A red box highlights the title '1. PÕHITÜÜP STIMULUS-RESPONSE MÕJUTUSE-VASTAVUSE MUDEL'. A color palette is visible on the right, labeled 'Table 1'. Below the main window, a smaller window titled 'STIMULUS-RESPONSE' shows a graph with a red line and the text '1: POP' and '1: 100,'.

# Graafikute, tabelite lisamine



➤ Graafik tabel muutuja väärtus

➤ Topeltklõps graafikul avab dialoogiboksi, kust võimalik valida kuni 5 muutujat topeltklõpsu või nupu  abil



# Graafikute tüübid

- ➔ Time series ajast sõltuv (x teljel aeg Time, kuni 5 joont graafikule)
- ➔ Scatter punktid (xy teljestikus) (Connect Dots ühendada punktid)
- ➔ Bar tulp
- ➔ Sketchable

joonistatav

**Display:** From To

Ajavahemiku valik  
mudeli tööaja Time  
väärtuste hulgast

**Page:** New uus graafik

Lehekülgede vahetus  
Ühele graafikule on  
võimalik lisada uusi lehti  
Nooltega lehtede vahetus

Graph Type:  Time Series  Scatter  Bar  Sketchable  
 Comparative  Connect Dots  Benchmark

Allowable Selected

POP  
 IMM  
 IMM\_PARAMEETER

1.  
2.  
3.  
4.  
5.

Title: Untitled

Show Numbers On Plots  Hide Detail  
 Make 5 Grid Segments  Show Grid  Thick Lines

Scale: Min Max Set

Display: From To  
0 100

Page: 1 New

Cancel OK

# Graafikul skaalade ühtlustamine

**Scale:** Min Max

Tavaliselt automaatne

Saab vajadusel muuta

**Skaala muutmine**

Märgistada muutuja nimi

Muutuja kõrval oleval noolel

vajutades mitmekordselt

Graph Type:  Time Series  Scatter  Bar  Sketchable  
 Comparative  Connect Dots  Benchmark

Allowable Selected

KIRI  
 KULL  
 LISA\_KIRI  
 LISA\_KULL  
 JUHUSLIK\_SUURUS

1.  KIRJADE\_OSAKAAL  
2.  KULLIDE\_OSAKAAL  
3.  
4.  
5.

Title: Kullide ja kirjade osakaalud mündi viskamise mudelis

Show Numbers On Plots  Hide Detail  
 Make 5 Grid Segments  Show Grid  Thick Lines

Scale: Min Max  
0.000 1.000 Set

From To  
Display: 0 1000

Page: 1 New

Cancel OK



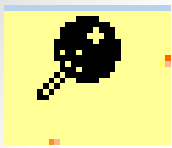
automaatne skaala



käesoleva graafiku jaoks määratud skaala



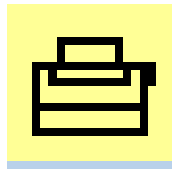
globaalselt (kõigi graafikute jaoks) määratud skaala



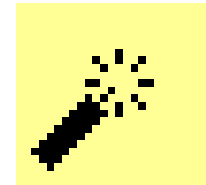
Graafik mudelisse

Lehekülgede vahetus (mitme graafiku korral)

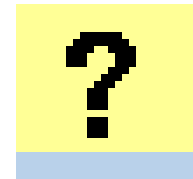
Graafiku lukustamine (ei tehta ümber mudeli uuel käivitamisel)



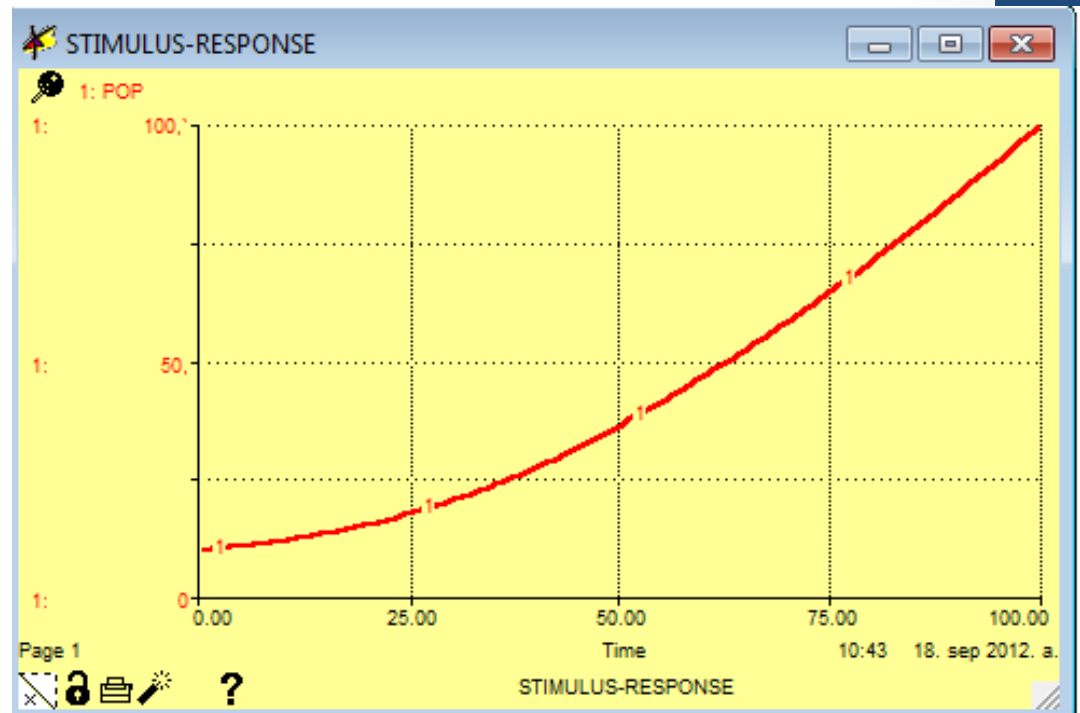
Graafiku trükkimine



Joonte kustutamine



Märkmete lisamine



# Tabeli lisamine



➔ Võimalus lisada muutujate nimed, uued leheküljed

➔ **Report interval:**

Iga 50 ajaühiku järel

➔ **Every DT** igal ajasammul

➔ **Title** tabeli pealkiri

## Muutujatele komakohtade lisamine

Tabelis muutuja nimel topeltklõps

➔ **Precision**

➔ **Units**

**Unspecified** eraldaja puudub  
**Delimit 000's** eraldatakse tuhandikud sümbooliga

# Model - MODEL PREFS

## ➔ Animate

Animeeritud

muutujad

Mudeli käivitamisel

muutujate tähised

täituvad värviga/tühjenevad

vastavalt muutuja väärtustele

## ➔ Fondi ja suuruse

määramiseks

kogu mudelis

Model Preferences

Diagram Size: Width:  page(s) Height:  page(s) Total Pages: 1

Page Sequence: 

1	2
3	4

1	3
2	4

Diagram Grid: Width:  pixels Height:  pixels

Options:  Show pages  Disable Posters

Converters:  Large  Medium  Small

Division by Zero Alert  Hide Poster Titles  Enforce Unit Consistency  Show Numerical Values on Hover  Save Run Output to File  Update Displays Once per Time Period

Animate:

Name Font:  Name Size:

Cancel OK

# Run Specs

➔ Aja muutumise vahemik **Length of simulation**

**From 0 To 100** (lõppaeg)

➔ **DT** ajasamm (mida väiksem, seda täpsem)

➔ **Unit** ajaühiku

määramine

**Integration Method:**

numbrilise meetodi

valik

Runge-Kutta 4.j kõige

täpsem

**Sim Speed:**

Animeerib graafiku

joonistamist

**N: 0.05 real secs**

RUN

Length of simulation:

From:

To:

DT:

DT as fraction

Unit of time:

Hours

Days

Weeks

Months

Quarters

Years

Other

Interaction Mode:

Normal

Flight Sim

Pause interval:

Time

Integration Method:

Euler's Method

Runge-Kutta 2

Runge-Kutta 4

Sim Speed:

real secs = 1 unit time

Min run length:  secs

Analyze Mode: stores run results in memory ( 0.0 MB required )

Cancel OK

# Button – nupu lisamine



- ➔ Vajutades nuppu **Button**, paigutades kohale
- ➔ Topelklõps nupul avab infoakna tekstiga
- ➔ Võib valida menüü osa: näiteks **Run**

Button Purpose:

Info  Edit Text...

Navigate 

Menu Item:  Button Sound:

Tracing  Use clicking sound

Storytelling 

Play Movie 

Button Appearance:

Opaque

Transparent  Use Button Title

From File  Size To Button

From Clipboard

# Button – tekstinupu lisamine

- ➔ Vajutades nuppu Button, paigutades kohale
- ➔ Topeltklõps nupul avab infoakna tekstiga
- ➔ Valitud on **Info Text**
- ➔ **Edit Text** nupp avab teksti sisestamise jaoks akna
- ➔ **Use Button Title** nupule pealkiri



Mudeli kirjeldus

Button Purpose:

- Info
- Navigate
- Menu
- Tracing
- Storytelling
- Play Movie

Text

Edit Text...

Define Navigation...

Fit:

Assign List...

Create Story...

Assign Movie...

Button Sound:

Use clicking sound

Import Sound...

Button Appearance:

- Opaque
- Transparent

Import Picture

- Use Button Title
- From File
- From Clipboard

Delete Picture

Size To Button

Cancel

OK

Info Box Text:

Tegemist on kulli ja kirja viskamise mudeliga.  
Kumb visati, oleneb juhusliku suuruse väärtusest.  
Kull ja kiri on eraldi põhimuutujad.

Font Size:

- Small
- Medium
- Large

Cancel

OK

# Mudeli elementide põhitüübid



## ➔ 1. Põhimuutujad (STOCK)

energia, populatsioon, hind, temperatuur

## ➔ 2. Juhtimised (FLOW) – elemendid, mis kirjeldavad põhimuutujate muutumist.

Kui mudel töötab ajas, siis nad muudavad põhimuutujaid iga ajasammu järel.

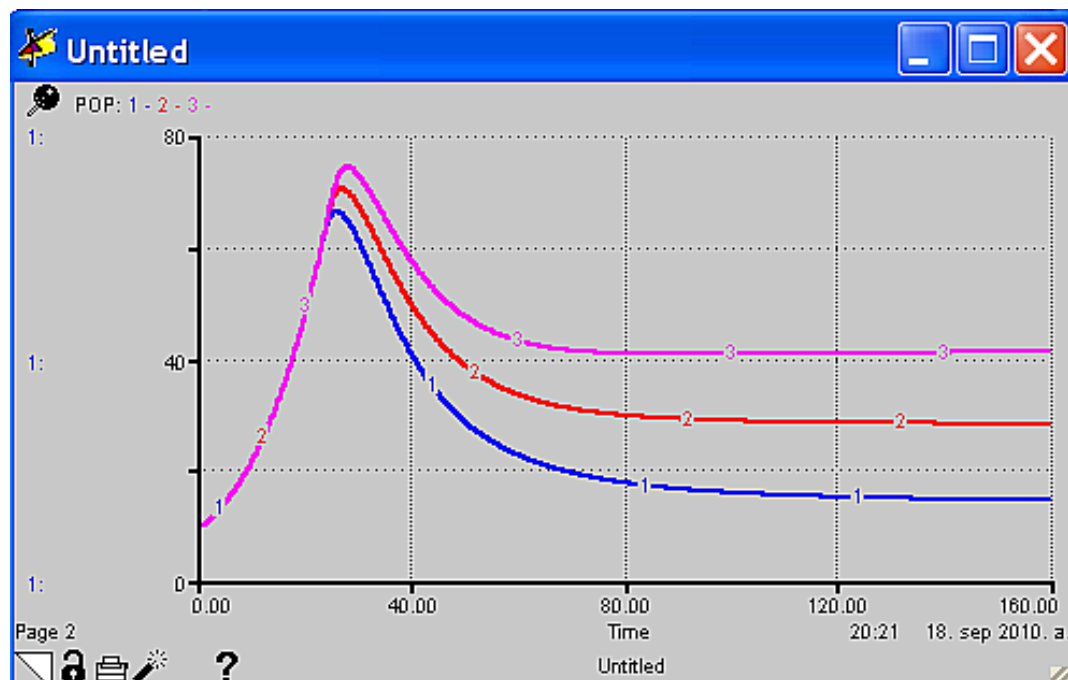
## ➔ 3. Juhtimismuutujad (CONVERTER)

## ➔ 4. Viitmuutujad (ACTION CONNECTOR)

# Mudeli tundlikkuse analüüs

Mudeli tundlikkuse uurimine muutes parameetrite väärtusi

- Run, Sensi Spects
- Võimalik ühe mudelis oleva muutuja väärtuste varieerimine ja tulemuste väljastamine graafikul või tabelis ühe põhimuutuja väärtuste jaoks



# Run Sensi-Specs

## # of Runs:

mitu erinevat väärtust

## Variation Type:

- **Incremental:**

Väärtused jagatud

ühtlaselt Start ja End

väärtuste vahel,

## Set

määrab vastavad suurused

Allowable

- POP
- TOIT
- TÖÖRIISTAD
- PAR\_A
- PAR\_ALFA

Selected (Value)

- PAR\_B (0.1)

Variation Type:

- Incremental
- Distribution
- Ad hoc
- Import data

# of Runs: 3

Define:

Graph

Table

Start: 0.05

End: 0.15

Set

Run#	Value
1	0.05
2	0.1
3	0.15

Sensitivity On

Print Setups

Cancel OK

- **Ad hoc:** Väärtuste sisestamine ühekaupa, iga sisestuse järel nupp Set
- **Graph** graafiku lisamine tundlikkuse analüüsi tulemustele
- **Run, S-Run:** tundlikkuse analüüsi käivitamine, **Run asemel S-Run** kuni väljalülitamiseni
- **Väljalülitamiseks** vajutada märkeruut **Sensitivity On** märkimata olekusse

# Stellas kasutatavad funktsioonid

- ➔ **TIME** mudeli jooksev tööaeg (väärtused Run-Specs, From ja To vahelt)
- ➔ **DT** mudeli ajasamm (Run-Specs, DT)
- ➔ **Trigonomeetrilised funktsioonid SIN(x), COS(x), TAN(x), ARCTAN(x)**
- ➔ **ABS(x)** absoluutväärtus arvust x
- ➔ **RANDOM(x,y)** väljastab juhusliku arvu arvude x ja y vahel
- ➔ **PI** arv  $\pi = 3,14159 \dots$
- ➔ Funktsioone **IF, THEN, ELSE, AND, OR, NOT** kasutatakse avaldiste moodustamiseks, mille väärtused sõltuvad sellest, kas antud tingimus osutub tõeseks või on väär (TRUE, FALSE)
  - Mitme tingimuse jaoks kasutada ümarsulge
  - Jälgida, et oleksid tühikud erinevate sõnade/numbrite vahel
- ➔ **IF tingimus THEN avaldis1 ELSE avaldis 2**
  - Kui tingimus on täidetud, võetakse avaldis1, kui ei ole, siis avaldis2
- ➔ **AND** mitme tingimuse korruga täitmine (tingimused sulgudes)
- ➔ **OR** peab ketima üks tingimustest (tingimused sulgudes)

**näiteks:** IF (x>0 ) AND (y<0) THEN 1 ELSE 0

# FUNKTSIOON STEP

**STEP(<SUURUS>,<AEG>)**

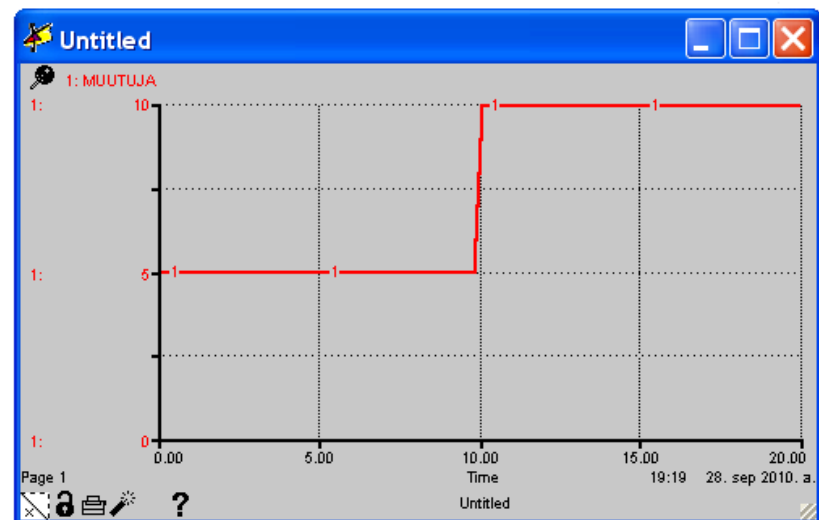
Funktsioon STEP genereerib ühekordse funktsiooni muutuse etteantud suurusega (SUURUS), mis toimub etteantud ajamomendil (AEG)

Suurus ja aeg võivad olla muutujad või konstandid

**Näiteks:**

**MUUTUJA = 5 + STEP(5,10)**

○  
MUUTUJA



# FUNKTSIOON PULSE

**PULSE(<SUURUS> [,<ESIMENE KORD>,<INTERVALL >])**

Funktsioon tekitab ühe või mitu hüpet antud suuruse võrra.

- ➔ **SUURUS** määrab hüppe kõrguse =  $SUURUS/DT$
- ➔ **ESIMENE KORD** määrab esimese hüppe aja (vaikimisi esimesel sammul)
- ➔ **INTERVALL** määrab järjestikuste hüpete vaheaja (vaikimisi igal ajasammul, kui  $INTERVALL=0$ , siis üks hüpe)

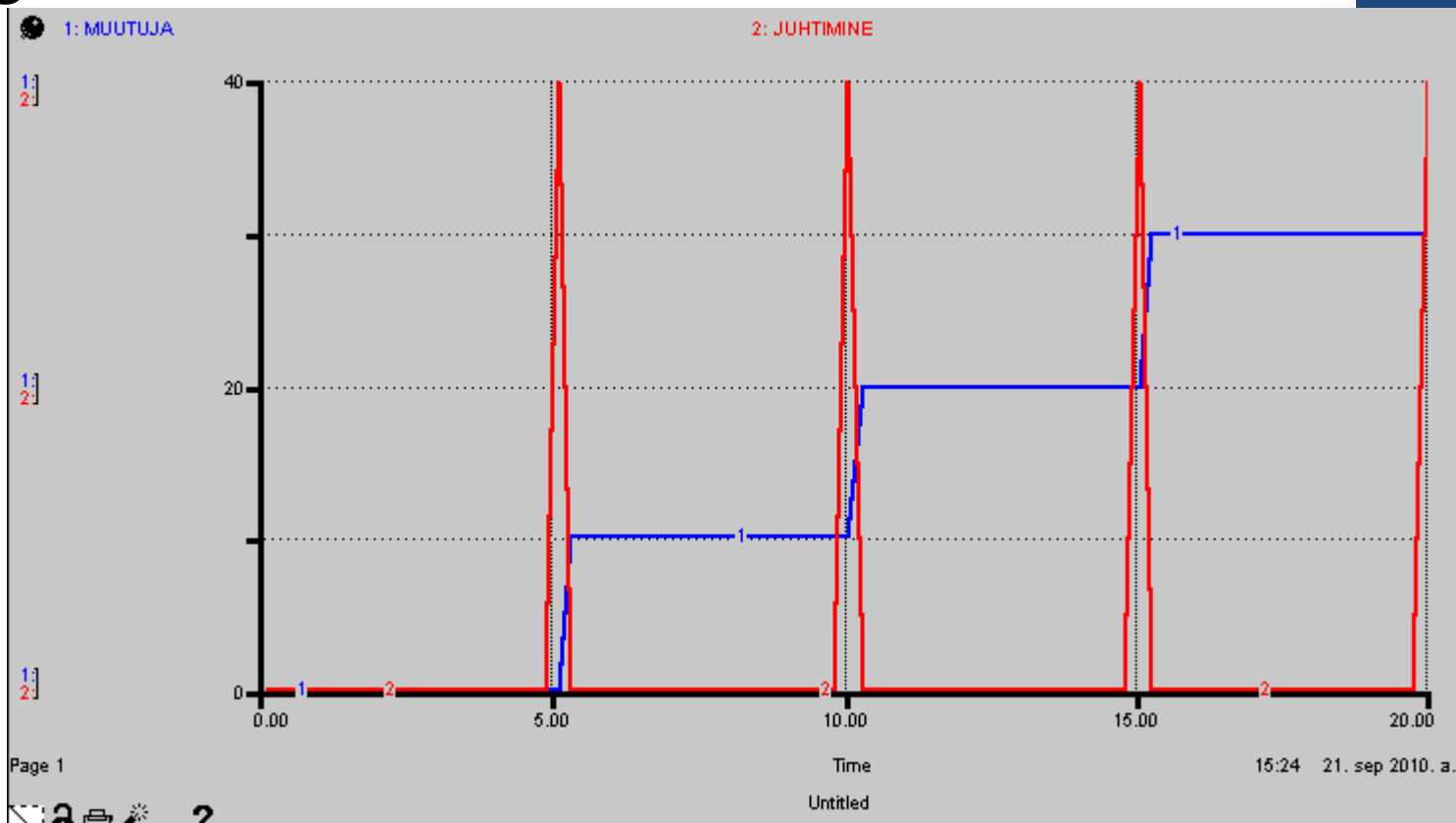
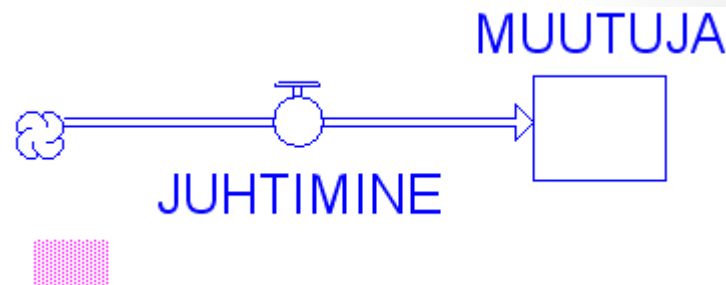
# Pulse näide

Näiteks

MUUTUJA = 0

JUHTIMINE = PULSE (10,5,5)

DT = 0.25



# FUNKTSIOON Pause

## ➔ PAUSE

- ➔ Mudeli käivitamise **Run** menüüst järel antud funktsiooni kasutamisel töö peatatakse ja minnakse **Run - Pause** olekusse
- ➔ Edasise mudeli käivitamise jaoks vaja valida **Run Resume**
- ➔ Kasutatakse koos **IF** tingimusega, mis annab tingimuse mudeli töö peatamiseks

## ➔ Näiteks:

Joobes liikumise mudelis sihtkohale küllalt lähedale jõudes peatatakse mudeli töö

```
IF (ABS(X)<0.5) AND (ABS(100-y)<0.25) THEN PAUSE ELSE 0
```

# Näide

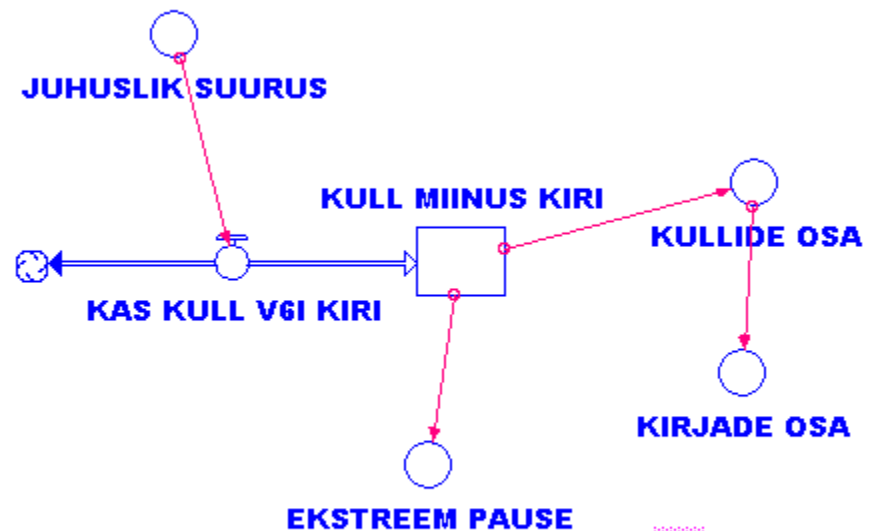
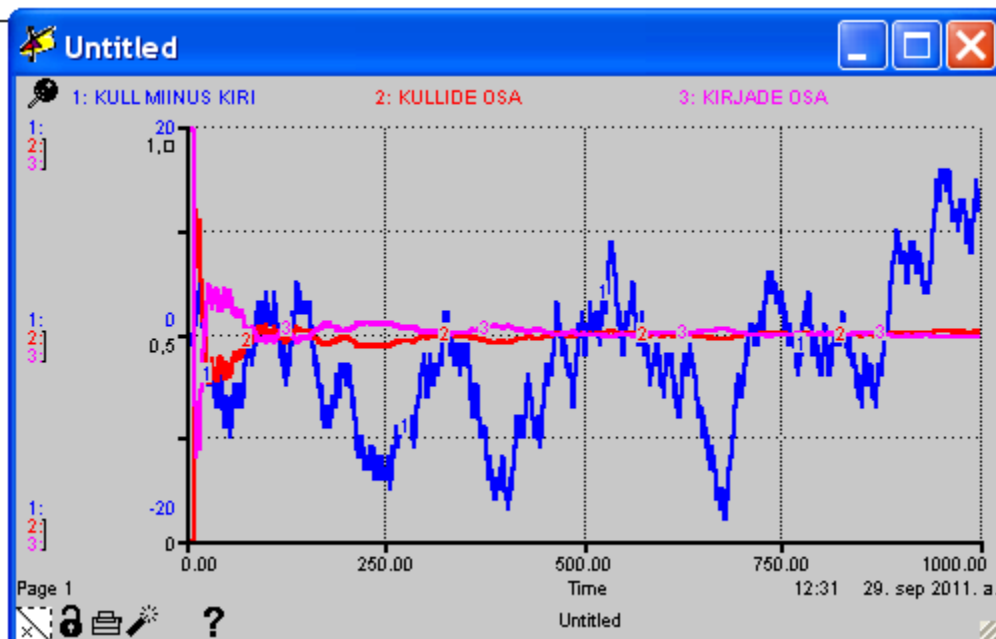
## funktsiooni PAUSE kasutamisest

➔ Mündi viskamise mudelis



EKSTREEM PAUSE=

$\text{IF ABS(KULL MIINUS KIRI)} > 40 \text{ THEN PAUSE ELSE } 0$



Graph 1

# Funktsioon NORMAL

➔ **NORMAL**(keskväärtus, standardhälve)

➔ **Normaaljaotus (Gaussi jaotus)** on pideva juhusliku suuruse jaotus, mille korral tihedusfunktsioon defineeritakse valemiga

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

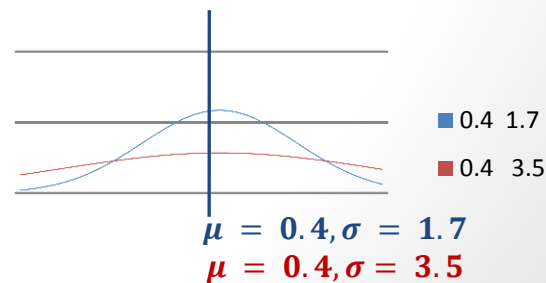
➔ Jaotusfunktsioon avaldub

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

Parameetrid on **keskväärtus  $\mu$**  ja **standardhälve  $\sigma$**

$$\mu = EX = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx, \quad DX = \int_{-\infty}^{\infty} (x - EX)^2 f(x)dx \quad \sigma = \sqrt{DX}$$

➔ Funktsioon on sümmeetriline  $x = \mu$  suhtes ja laieneb suurema  $\sigma$  korral



# Derivn - tuletis

Tuletise leidmiseks võib kasutada Stella funktsiooni

**DERIVN(<SISEND>,< JÄRK>)**

- ➔ Funktsioon DERIVN arvutab n-järku (JÄRK) tuletise aja järgi antud funktsioonist (SISEND)
- ➔ SISEND võib olla konstant ja muutuja
- ➔ JÄRK peab olema positiivne täisarv

$$\frac{dx}{dt} = \frac{x_t - x_{t-dt}}{dt}$$

$t$  on simulatsiooni jooksev aeg, samm on DT

Näited:

DERIVN(1,0) =1 (0-järku tuletis)

DERIVN(1,1) = 0 (1.-järku tuletis)

DERIVN(SINWAVE(1,1),3) 3. järku tuletis siinuslainest perioodiga 1 ja amplituudiga 1.

# DELAY - viivitus

Tuletise leidmise **teine võimalus** on lahutada funktsiooni väärtus antud ajahetkel, väärtusest eelmisel ajahetkel ja see jagada DT-ga  
**DELAY(<SISEND>,<KESTVUS>[,<ALGVÄÄRTUS>])**

- ➔ Funktsioon DELAY tagastab funktsiooni SISEND eelmised väärtused KESTVUSE ajahetkedel ja ALGVÄÄRTUSE viivituse algusajaks
- ➔ Kui algväärtust ei sisestata, võetakse SISEND funktsiooni väärtus algväärtuseks
- ➔ Muutujana antud KESTVUS fikseerib selle muutuja väärtuse viivituse kestvuse ajaks
- ➔ **DT**
- ➔ DT on ajasamm mudeli arvutuste tegemiseks. DT väärtused antakse menüü Run osas Run Specs
- ➔ Tema väärtust saab kasutada DELAY funktsioonis kestvuse määramiseks

Näide:

**Viivitus = DELAY(INTEGRAAL,DT)**

Annab viivituse väärtuseks integraali väärtuse ajahetkel DT (eelmisel sammul)