

**SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
INFORMATION TECHNOLOGY**

**Bergmanov minimálny model
BIOKYBERNETIKA**

**Bratislava 2023
Fundárek**

Úlohy na cvičenie

1. Spracujte (pripravte) dáta z IVGTT (z intravenózneho glukózového tolerančného testu) tak aby ich bolo možné použiť pri implementácii metódy identifikácie parametrov Bergmanovho minimálneho modelu.
2. Graficky znázornite dáta z IVGTT.
3. Zostavte simulačnú schému (program) pre numerickú simuláciu s Bergmanovým minimálnym modelom.
4. Implementujte metódu pre identifikáciu parametrov Bergmanovho modelu na základe IVGTT dát.
5. Vyhodnoďte (aj graficky) výsledky identifikácie.

Table of contents

1	NAČÍTANIE A SPRACOVANIE DÁT	2
2	PRIEBEHY GLUKÓZY A INZULÍNU	2
3	BERGMANOV MINIMALNY MODEL	5
4	HĽADANIE NEZNÁMICH PARAMETROV	6
5	ZÁVER	10

1 Načítanie a spracovanie dát

Dáta z IVGTT štyroch subjektov sme načítali z csv súborov poskytnutých na predmete Biokybernetika do Matlabu.

```
% Read the table from the CSV file
AP = readtable('IVGTT_data/Dat_IVGTT_AP.csv');
SN = readtable('IVGTT_data/Dat_IVGTT_SN.csv');
RI = readtable('IVGTT_data/Dat_IVGTT_RI.csv');
VR = readtable('IVGTT_data/Dat_IVGTT_VanRiel.csv');
```

Obr.1: Načítavanie dát do Matlabu.

Dáta sme rozdelili do troch vektorov, glukóza, inzulín a čas merania.

```
% Extract the data you want to plot
vr_time= VR{:, 1};
vr_glucose_mg_dl = VR{:, 2};
vr_insulin_uU_l = VR{:, 3};
```

Obr.2: Rozdelenie dát

Po skontrolovaní dát sme zistili že jednotky nie sú konzistentné pri subjekte VanRiel. Priebeh glukózy v krvi pri subjekte bol v jednotkách mg/dl , ktorý sme skonvertovali na $mmol/l$ nasledovne: $vr_glucose_mmol_l = vr_glucose_mg_dl/18$.

2 Priebehy glukózy a inzulínu

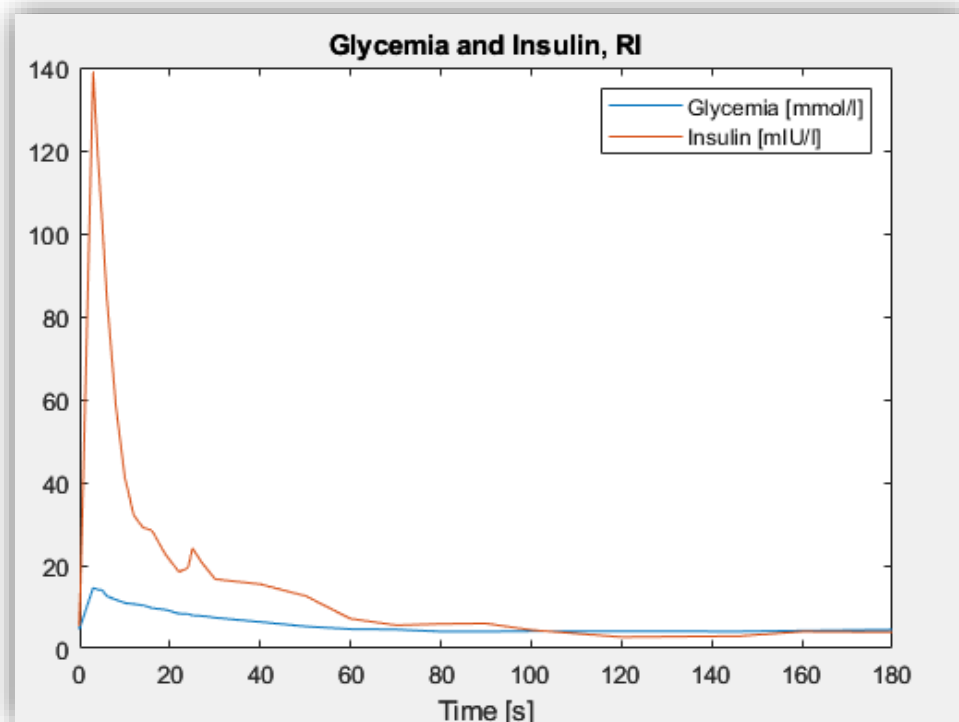
Vykreslili sme priebehy inzulínu a glukózy v krvi pre jednotlivé subjekty.

```
% Create a figure and plot the data
figure(3);
plot(ri_time,ri_glucose,ri_time,ri_insulin)

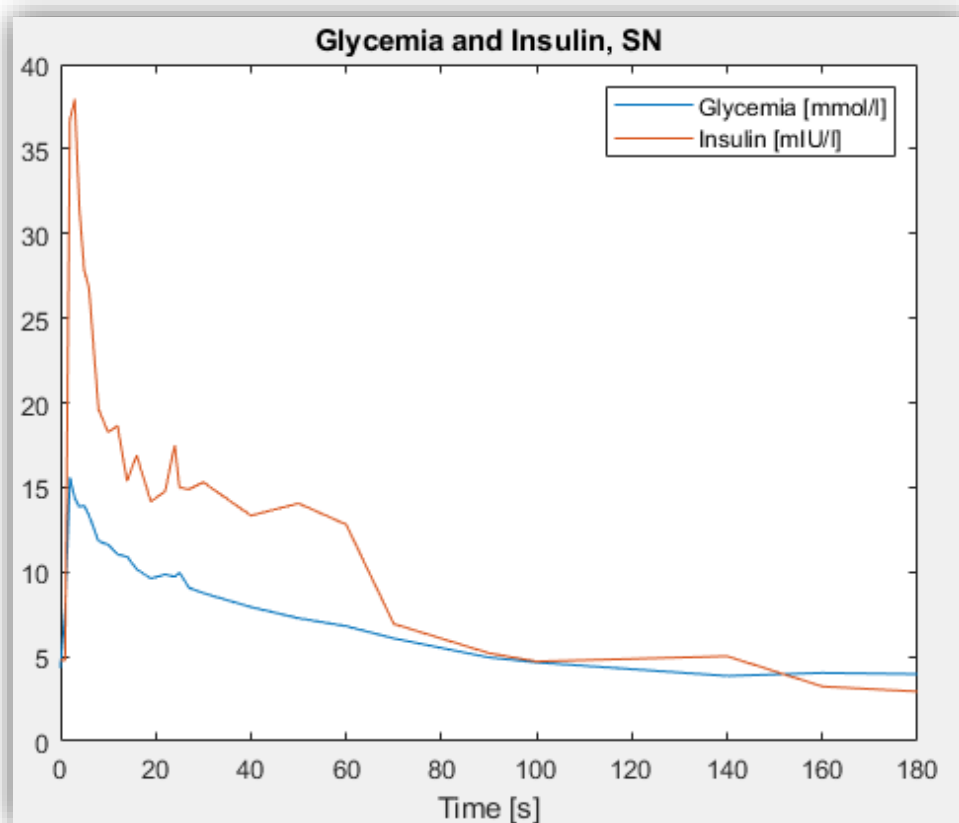
% Add labels and title if needed
xlabel('Time [s]');
title('Glycemia and Insulin graph graph, RI');
legend('Glycemia [mmol/l]', 'Insulin [mIU/l]')
```

Obr.3: Kód na vykreslenie grafu inzulínu a glukózy v krvi

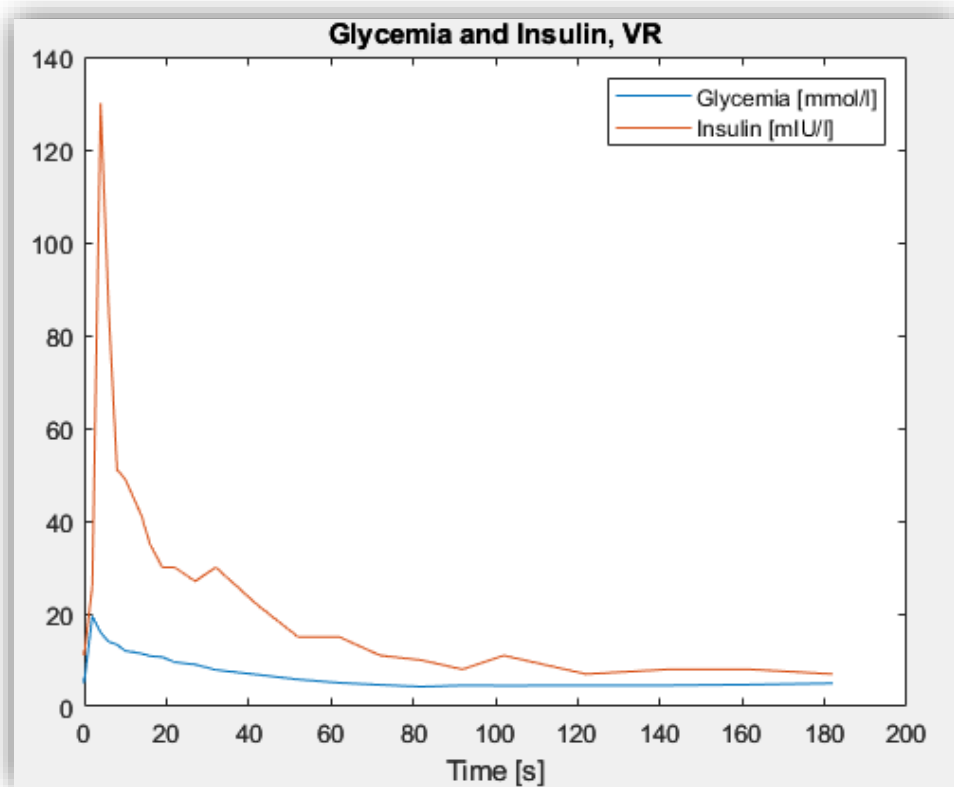
Grafy merania glukózy krvi a inzulínu subjektov:



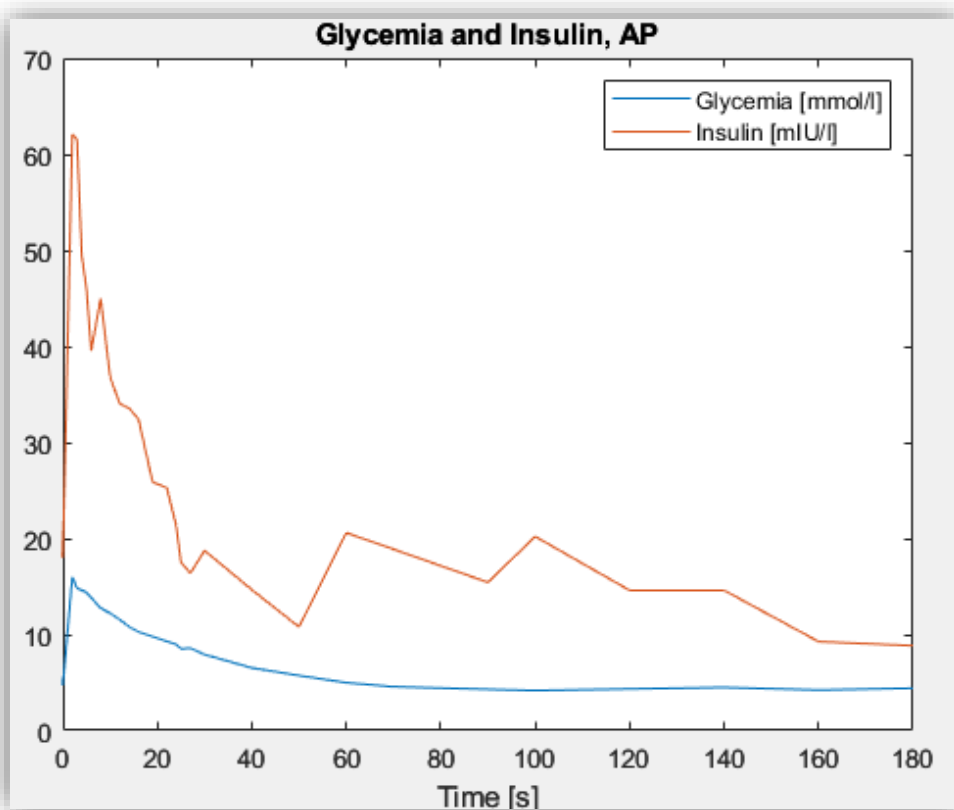
Obr.4: Graf merania glukózy a inzulínu subjektu RI



Obr.5: Graf merania glukózy a inzulínu subjektu SN



Obr.6: Graf merania glukózy a inzulínu subjektu VanRiel



Obr.7: Graf merania glukózy a inzulínu subjektu AP

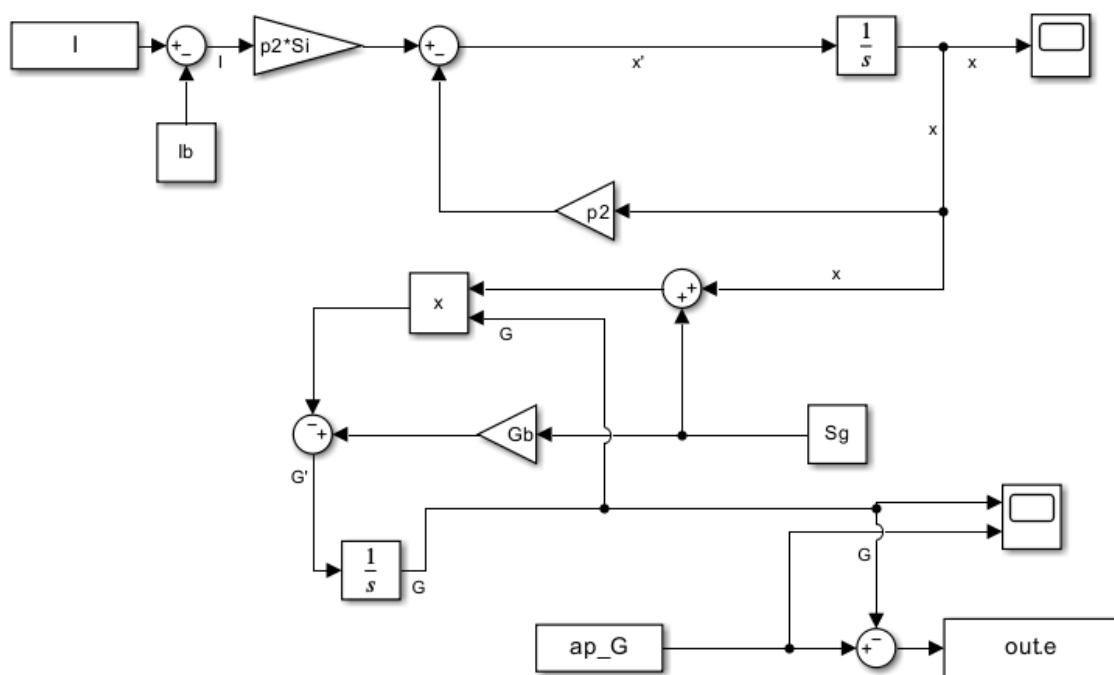
3 Bergmanov minimalny model

Bergmanov minimálny model predpokladá, že spotreba glukózy z krvi (jej odoberanie z krvi) je priamo závislá od koncentrácie inzulínu, avšak nie od koncentrácie inzulínu v krvnej plazme ale od koncentrácie v inom kompartmente. Bergmanov minimalny model tvoria nasledovne rovnice:

$$\begin{aligned}\dot{X}(t) &= -p_2 X(t) + p_2 S_I (I(t) - I_b) \\ \dot{G}(t) &= -(S_G + X(t)) G(t) + S_G G_b\end{aligned}$$

Obr.8: Rovnice Bergmanovho modelu

Simuláciu Bergmanovho modelu sme zostrojili v Simulinku



Obr.9: Bergmanov minimálny model

Pričom parametre G_b a I_b poznáme. Jedná sa o bazálne hodnoty inzulínu a glukózy. Sú to hodnoty glukózy a inzulínu v čase 0s v dátach(hodnota pred začatím experimentu).

$$\begin{aligned}G_b &= AP\{1, 2\} \\ I_b &= AP\{1, 3\}\end{aligned}$$

Obr.10: Parametre G_b a I_b

4 Hľadanie neznámich parametrov

Parametre $p2$, Sg , a Ig nepoznáme. Je nutné ich nájsť. Na hľadanie neznámych parametrov sme použili genetický algoritmus s veľkosťou jedinca 3 gény. Každý gén reprezentujúci jeden neznámy parameter. Zvolili sme populáciu o veľkosti 48 jedincov. Prehľadávací priestor sme obmedzili na hodnoty v rozmedzí 0 – 3.

```
numgen=30; % number of generations
lpop=48;   % number of chromosomes in population
lstring=3; % number of genes in a chromosome
M=3;      % maximum of the search space
```

Obr.11: Konfigurácia genetického algoritmu

Následne sme inicializovali populáciu a krok mutácií.

```
% Population initialisation

Space=[ones(1,lstring)*(0); ones(1,lstring)*M];
Delta=Space(2,:)/100; % additive mutation step
Delta1 = Space(2,:)/1000;
Pop=genrpop(lpop,Space);
evolution = zeros(1,numgen);
```

Obr.12: Inicializácia genetického algoritmu

Generovanie populácie novej generácie:

```
for gen=1:numgen
    [Fit]=fitness(Pop);
    evolution(gen)=min(Fit);
    [Best,bfit]=selbest(Pop,Fit,[1,1]);
    Old=selrand(Pop,Fit,8);
    Work1=seltourn(Pop,Fit,8);
    Work1=[Work1; selrand(Pop,Fit,8)];
    Work2=seltourn(Pop,Fit,8);
    Work2=[Work2; selsus(Pop,Fit,8)];
    Work1=mutx(Work1,0.2,Space);
    Work1=crossov(Work1,1,0);
    Work1 = muta(Work1,0.2,Delta1,Space);
    Work2=mutx(Work2,0.3,Space);
    Work2=muta(Work2,0.2,Delta,Space);
    Work3 = genrpop(6,Space);
    Pop=[Best;Old;Work1;Work2;Work3];
    gen
end; % gen
```

Obr.13: Generovanie novej generácie populácie

Pri výpočte fitness bola využitá paralelizácia Simulinkovej simulácie Bergmanovho minimálneho modelu. Účelová funkcia je zložená zo sumy absolutnej hodnoty odchylky odhadu priebehu glukózy v krvi od merania glukózy krvi subjektu AP.

```
function [fitness] = fitness(Pop)
fitness = zeros(1,length(Pop));
for i =1: length(Pop)
    p2 = Pop(i,1);
    Si = Pop(i,2);
    Sg = Pop(i,3);

    in(i) = Simulink.SimulationInput('sim_bergmanov_model');
    in(i) =
in(i).setBlockParameter('sim_bergmanov_model/Gain1','Gain',num2str(p2*Si));
    in(i) =
in(i).setBlockParameter('sim_bergmanov_model/Gain','Gain',num2str(p2));
    in(i) =
in(i).setBlockParameter('sim_bergmanov_model/Constant2','Value',num2str(Sg));
end
    out = parsim(in,'TransferBaseWorkspaceVariables','on');

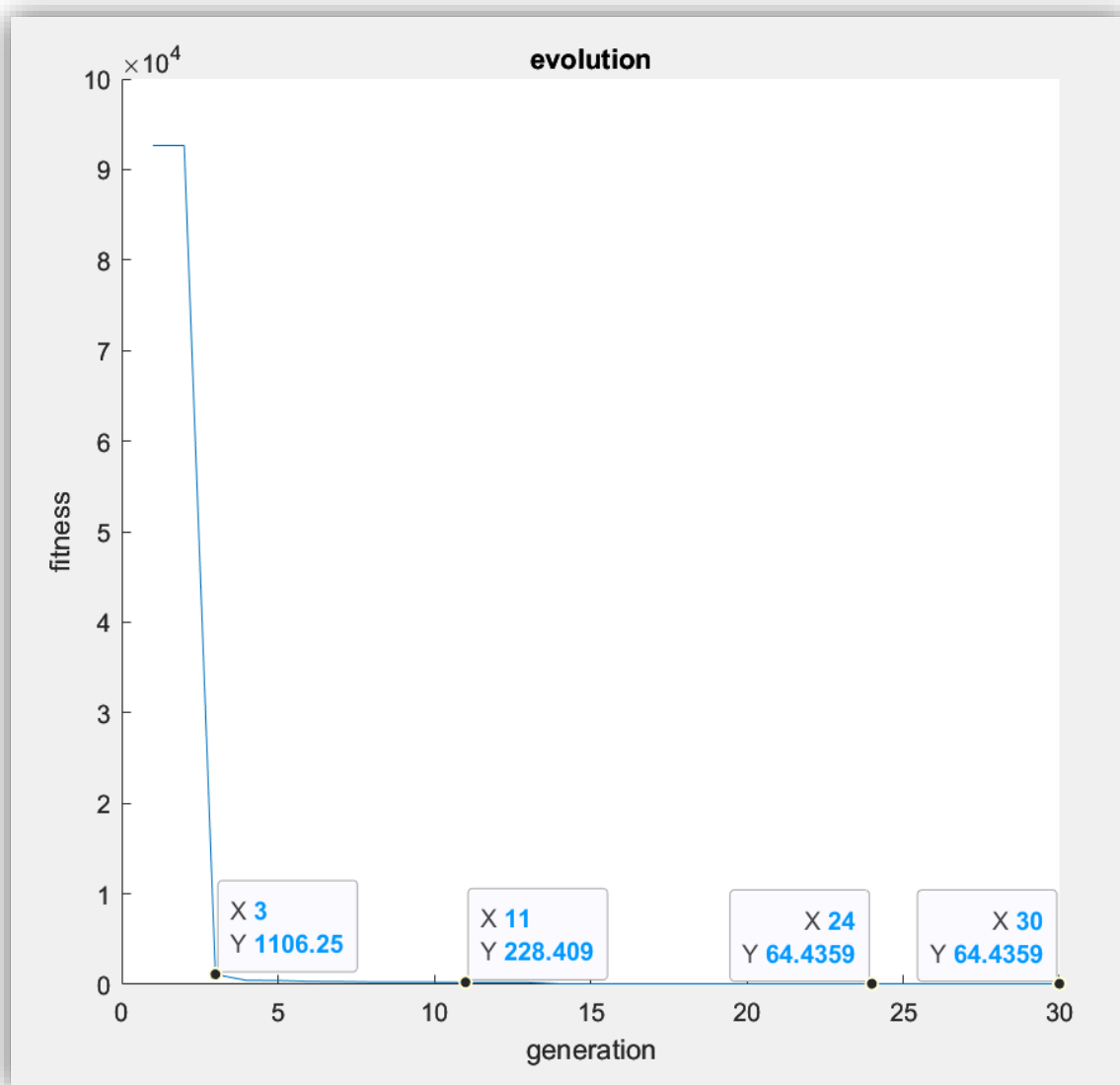
    for row = 1:length(out)
        if out(row).ErrorMessage ~= ""
            fitness(row) = 1000000000;
        end
        fitness(row) = sum(abs(out(row).e));
    end
end
```

Obr.14: Výpočet fitness

Po spustení algoritmu sme našli hľadané hodnoty parametrov $p2$, Si (index inzulínovej citlivosti), Sg (efektivita glukózy).

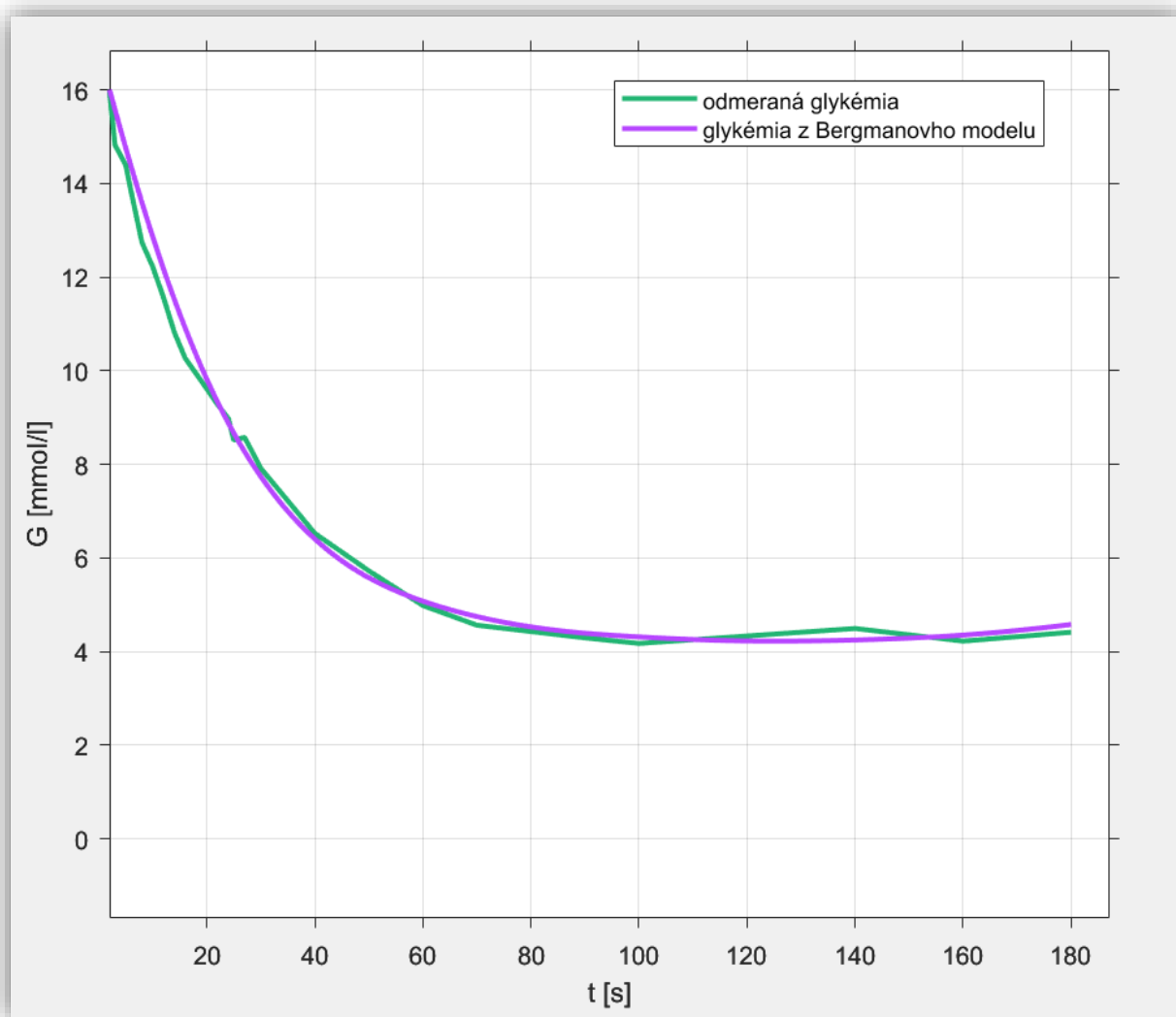
$$\begin{aligned} p2 &= 7.979e-04 \text{ [1/min]} \\ Si &= 0.022 \text{ [ml/}\mu\text{U/min]} \\ Sg &= 0.037 \text{ [1/min]} \end{aligned}$$

Na grafe evolúcie možno vidieť konvergenciu fitness pre najlepšieho jedinca populácie.



Obr.15: Graf evolúcie hodnoty fitness

Vhodnosť nájdených parametrov sme overili porovnaním vývoju glykémie subjektu a glykémie Bergmanovho minimalneho modelu s nájdenými parametrami. Parametre sú správne ak sa grafy zhodujú.



Obr.16: Priebeh glykémie

5 Záver

Podarilo sa nám zostrojiť simulačnú schému Bergmanovho minimálneho modelu. Našli sme parameter efektivity glukózy a indexu citlivosti inzulínu ako aj parameter p_2 . Odsimulovali sme vývoj glykémie s Bergmanovým minimálnym modelom a porovnali sme ho s meraním glykémie subjektu AP. Z grafu možno zhodnotiť že parametre su vhodne nájdené a výstupná glykémia z Bergmanovho minimálneho modelu sa zhoduje s meranou glykémiou.

Zdroje

[1] TÁRNIK, M. 2015. Biokybernetika diabetu