

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BIOKYBERNETIKA

SIMULÁTOR DIABETU

Bratislava 2023

Daniel Fundárek

Zadanie

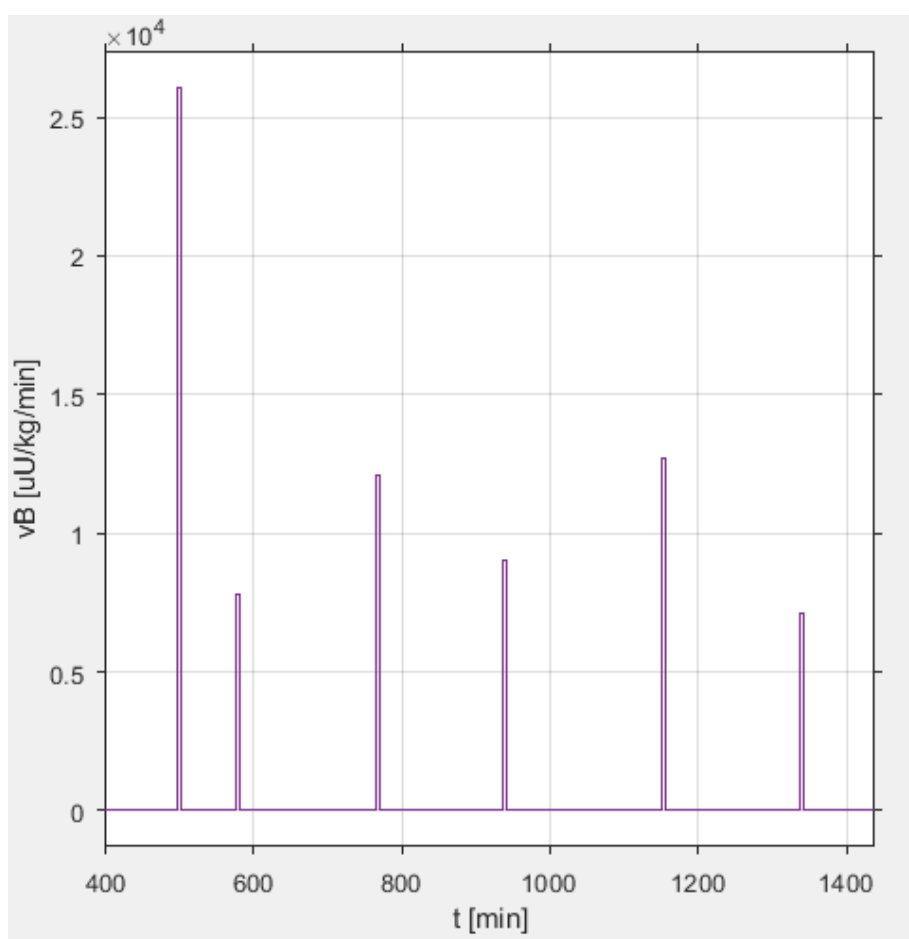
1. Pridajte k Bergmanovmu modelu podsystém pre vstrebávanie glukózy (z tráviaceho traktu) a skompletizujte tak simulátor subjektu s diabetom 1. typu.

Obsah

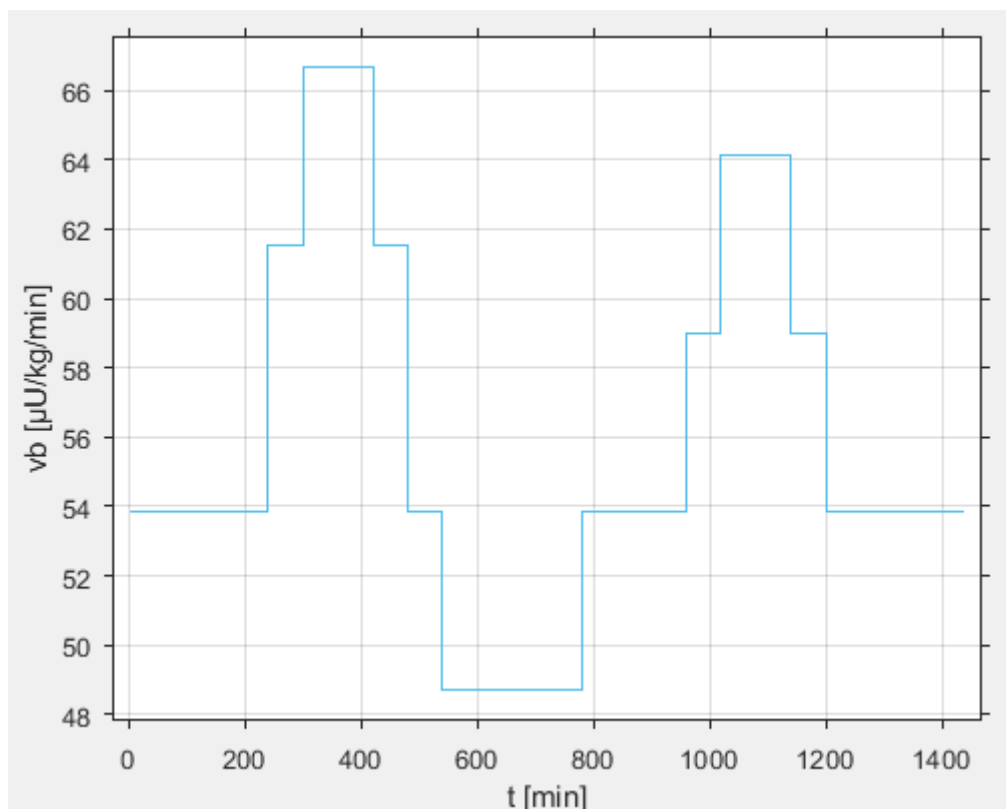
1	Dáta pod systému pre vstrebávanie inzulínu	4
1.1	Dáta rýchlosť prijímania sacharidov v čase.....	5
1.2	Podsystem vstrebávania glukózy	6
1.3	Simulačná schéma	7
1.4	Identifikácia neznámych parametrov	7

1 Dáta podsystemu pre vstrebávanie inzulínu

Dáta pre podsystem sme museli upraviť tak aby ich bolo možné použiť v podsysteme vstrebávania inzulínu zo zadania č.2. Vstupom pre tento podsystem je bazálna hodnota inzulínu a bolus podaný do podkožia subjektu. Bolus bol meraný v jednotkách [U] ktoré sme následne konvertovali nasledovným výpočtom $1 [U] = 1e6/(BW*t) [\mu U/kg/min]$, pričom BW je hmotnosť subjektu. V našom prípade je $BW = 64.4 [kg]$, t je dĺžka podávania bolusu, $t = 5 [min]$. Ekvivalentne sme konvertovali bazálnu koncentráciu inzulínu v podkoží $1 [U/hod]$ na $(1e6/(BW*t))/60 [\mu U/kg/min]$.



Obr. 1. Hodnota podaného bolusu inzulínu

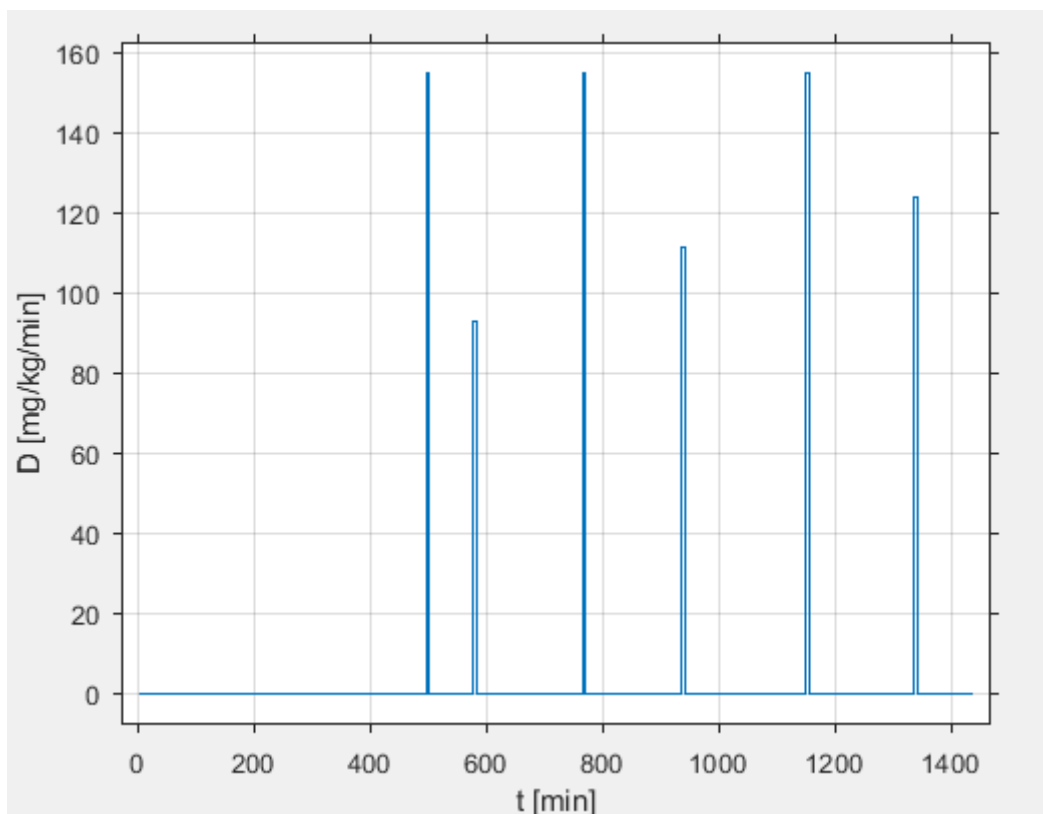


Obr. 2. Bazálna koncentrácia inzulínu v podkoží

1.1 Dáta rýchlosť prijímania sacharidov v čase

Dáta o rýchlosti prijímania sacharidov v čase sme previedli z [SJ] na [mg/kg/min], nasledovne:

$$1 \text{ [sU]} = (1e4/(BW*t)) \text{ [mg/kg/min]}.$$



Obr. 3. Príjem sacharidov v čase

2 Podsystem vstrebávania glukózy

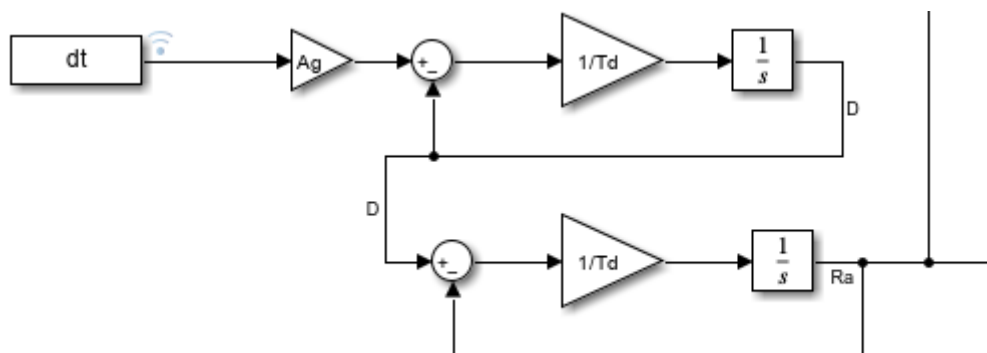
Aby bolo možné presne simulovať dynamiku vstrebávania glukózy do krvi je potrebné vytvoriť model vstrebávania glukózy, ktorý je opísaný nasledujúcimi diferenciálnymi rovnicami:

$$\begin{aligned}\dot{D}(t) &= -\left(\frac{1}{T_D}\right)D(t) + \left(\frac{1}{T_D}\right)A_G d(t) \\ \dot{Ra}(t) &= -\left(\frac{1}{T_D}\right)Ra(t) + \left(\frac{1}{T_D}\right)D(t)\end{aligned}$$

Výstupom podsystemu je signál $Ra(t)$ [mg/kg/min], $d(t)$ [mg/kg/min] je rýchlosť prijímania sacharidov v čase, presnejšie v okamihu začiatku, jedla, teda $d(t)$ je impulzom so šírkou zodpovedajúcou perióde vzorkovania a s plochou zodpovedajúcou množstvu prijatých sacharidov. Parameter T_D [min] je časová konštanta a A_G [bezrozmerné] je zlomok z prijatých sacharidov, ktoré sa efektívne vstrebú.

Zvyšnými parametrami simulátora subjektu s diabetom 1. typu, ktoré je ešte potrebné identifikovať sú SG a TD . Parameter AG [bezrozmerné] je zlomok sacharidov, ktoré sa efektívne vstrebali (z celkového množstva podaných sacharidov). Hodnota tohto parametra je zvyčajne medzi 0,8 a 0,95, [8, 11]. V tomto prípade uvažujeme $AG = 0,95$.

2.1 Simulačná schéma



Obr. 4. Simulačná schéma podsystemu vstrebávania glukózy

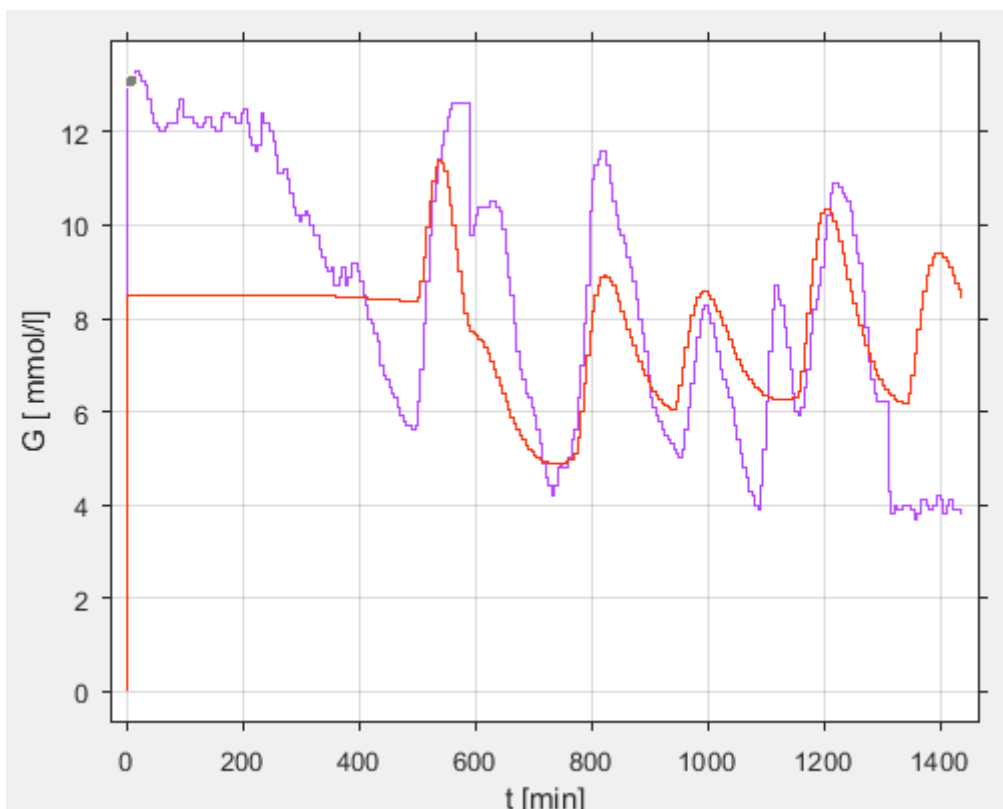
2.2 Identifikácia neznámych parametrov

Neznáme parametre SG a TD budeme musieť identifikovať tak aby simulovaná glykémia čo najpresnejšie kopírovala odmeranú glukózu pomocou senzora. Inak povedané budeme minimalizovať odchýlku medzi simulovanou a nameranou glykémiou.

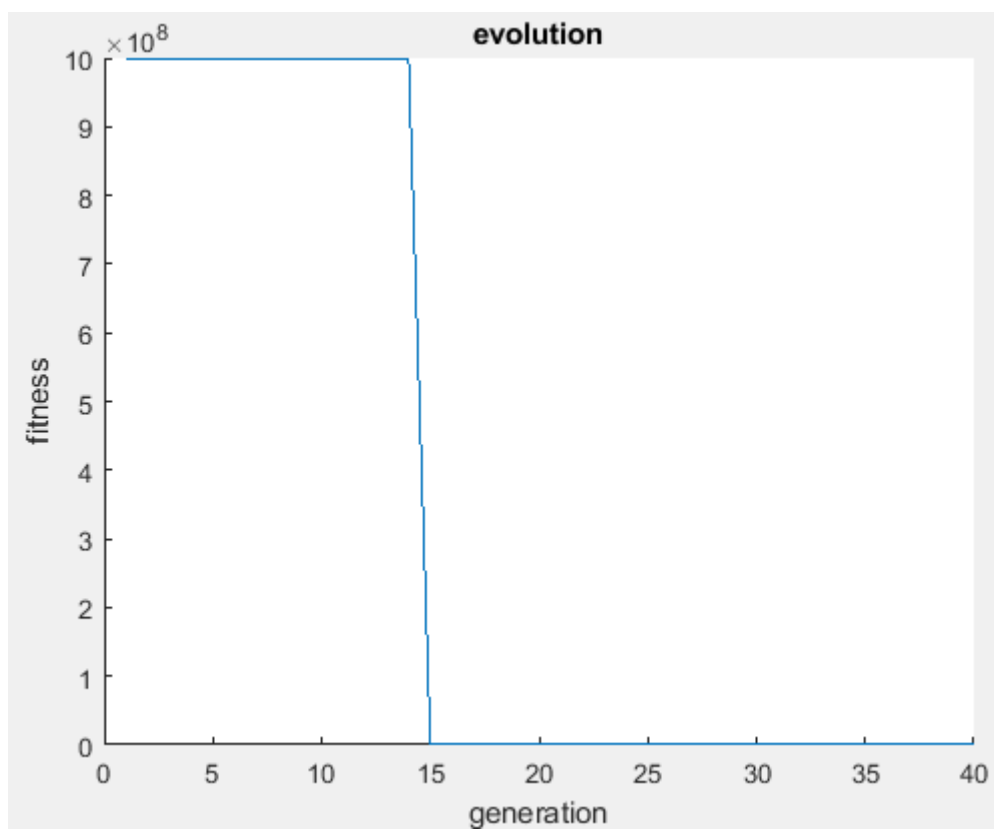
Pre identifikovanie neznámych parametrov sme použili genetický algoritmus s 56 jedincami s 40 generáciami. Zvolili sme fitness funkciu ako sumu kvadrátov odchýlky simulovanej a meranej glykémie. Simulačnú časť fitness sme paralelizovali pre zníženie časovej náročnosti identifikácie. Skripty s identifikáciou parametrov sme priložili do prílohy.

Možno pozorovať postupnú konvergenciu hodnoty fitness čo je pre nás ukazovateľ identifikácie parametrov.

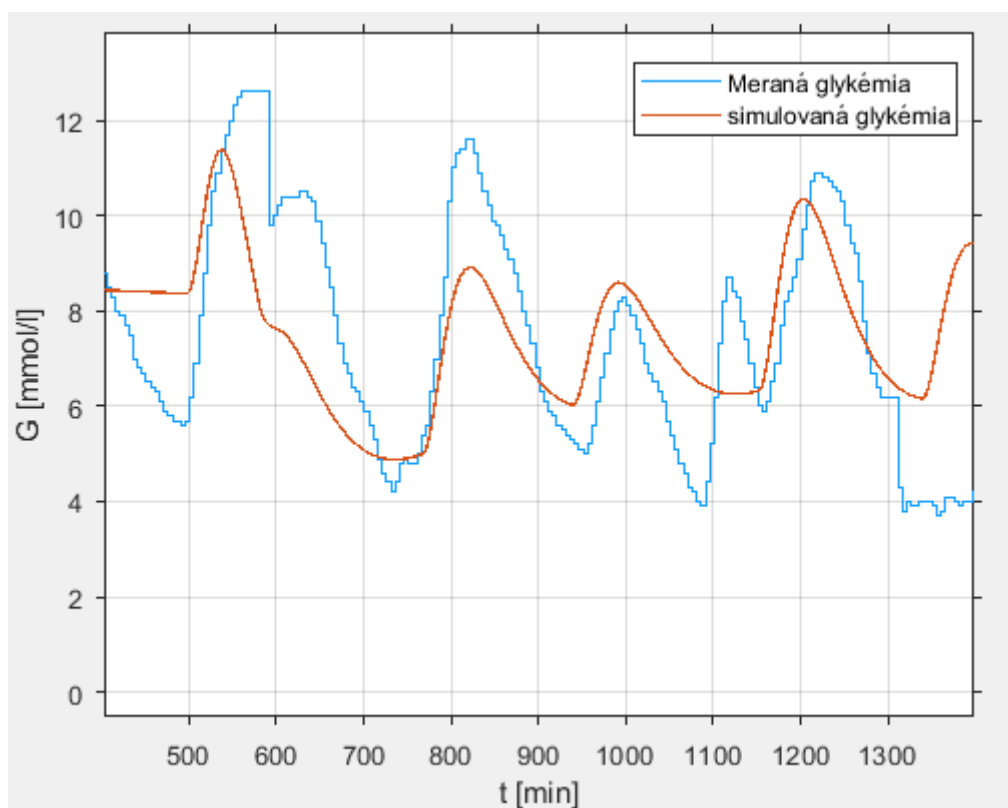
Meranú aj simulovanú glykémiu sme diskreditizovali aby ich odchýlka čo najpresnejšie reprezentovala skutočnosť. Resp. dáta ktoré máme k dispozícii.



Obr. 5. Diskreditizovaná glykémia



Obr. 6. Priebeh evolúcie



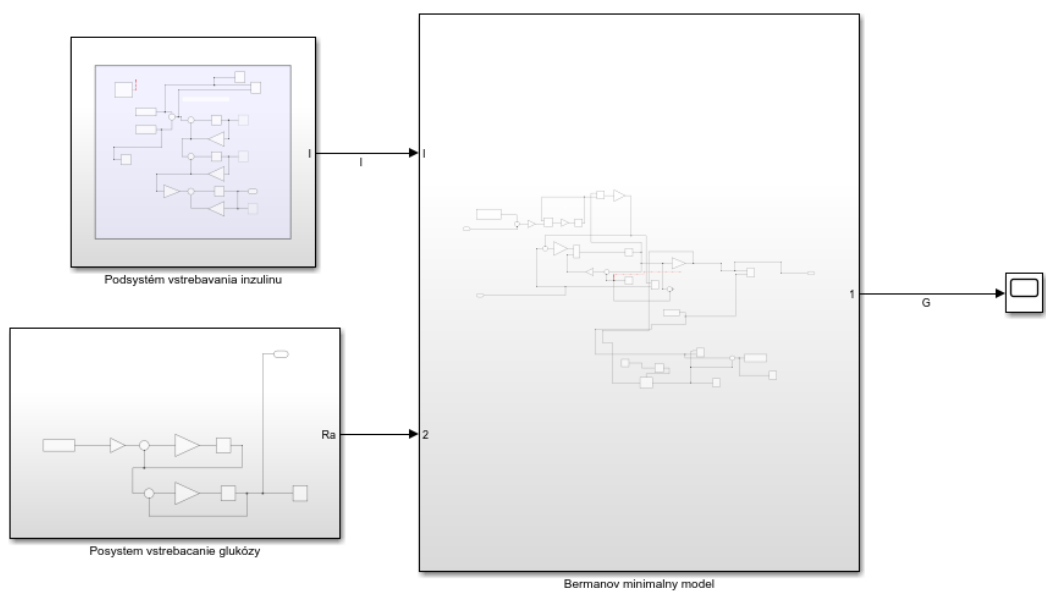
Obr. 7. Glykémia

Identifikované parametre sú $SG = 39.00 [1/min]$ a $TD = 0.0337 [min]$.

Následne sme porovnali glykémiu z odmeraných dát a z identifikovaného modelu. Usúdili sme že identifikovaný model sleduje namerané dáta dostatočne. A taktiež možno konštatovať že sme identifikovali model diabetu pre daný subjekt. Avšak nejedná sa o validovaný model.

$T_i = 45.383; [min]$
 $k_i = 0.1629; [1/min]$
 $V_i = 139.094; [min]$
 $V_g = 1.467; [dl/kg]$
 $G_b = 153; [mg/dl]$
 $S_i = 0.00156; [ml/\mu U/min]$
 $p_2 = 0.0109; [1/min]$
 $A_g = 0.95; [-]$
 $weight = 64.4; [kg]$
 $T_d = 39.00; [min]$
 $S_g = 0.03376; [1/min]$

Obr. 8. Identifikované parametre simulátora diabetu 1. typu



Obr. 9. Model diabetu

Záver

Zostavili sme simulačnú schému podsystemu pre vstrebávanie glukózy a identifikovali sme jeho parametre na základe poskytnutých dát o koncentrácií bazálneho inzulínu v podkoží a podaného Bolusu inzulínu a taktiež dát o prijme sacharidov. Identifikáciu sme vykonali na základe minimalizácie odchýlky medzi dátami s meranou glukózou v krvi a simulovanou glukózou. Pri vypracovaní tohto zadania sme vychádzali z predchádzali z predošlého zadania de sme namodelovali Bergmanov minimálny model a identifikovali jeho parametre. Pre identifikáciu parametrov sme použili genetický algoritmus. Nájdené parametre SG, TD boli správne identifikované čo sme overili na grafe Obr.7.

Možno konštatovať že simulačný model podsystemu pre vstrebávanie glukózy z identifikovanými parametrami bol dostatočný a simulovaná koncentrácia glukóza v krvi kopírovala nameranú glykémiu. Dôležité je podotknúť že by sa mal model porovnať s nameranou glukózou z iného dňa z ktorého sme neidentifikovali parametre. Takým spôsobom možno jednoducho validovať identifikovaný model. Výstupná simulácia reprezentuje model diabetu pre konkrétny subjekt.

Zdroje

Ing. Marián Tárník, PhD. [cvičenia a prednášky s predmetu BKYB]

Daniel Fundárek [Zadanie č2: Farmakokinetika a Farmakodynamika]