TECHNICKÁ UNIVERZITA KOŠICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA KYBERNETIKY A UMELEJ INTELIGENCIE

Inovácia elektronických výukových materiálov o nové fyzikálne modely pre predmet Simulačné systémy

Autor: Nadiia Bezerova
Školiteľ: doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.
Konzultant: Ing. Lukáš Koska
Rok: 2018

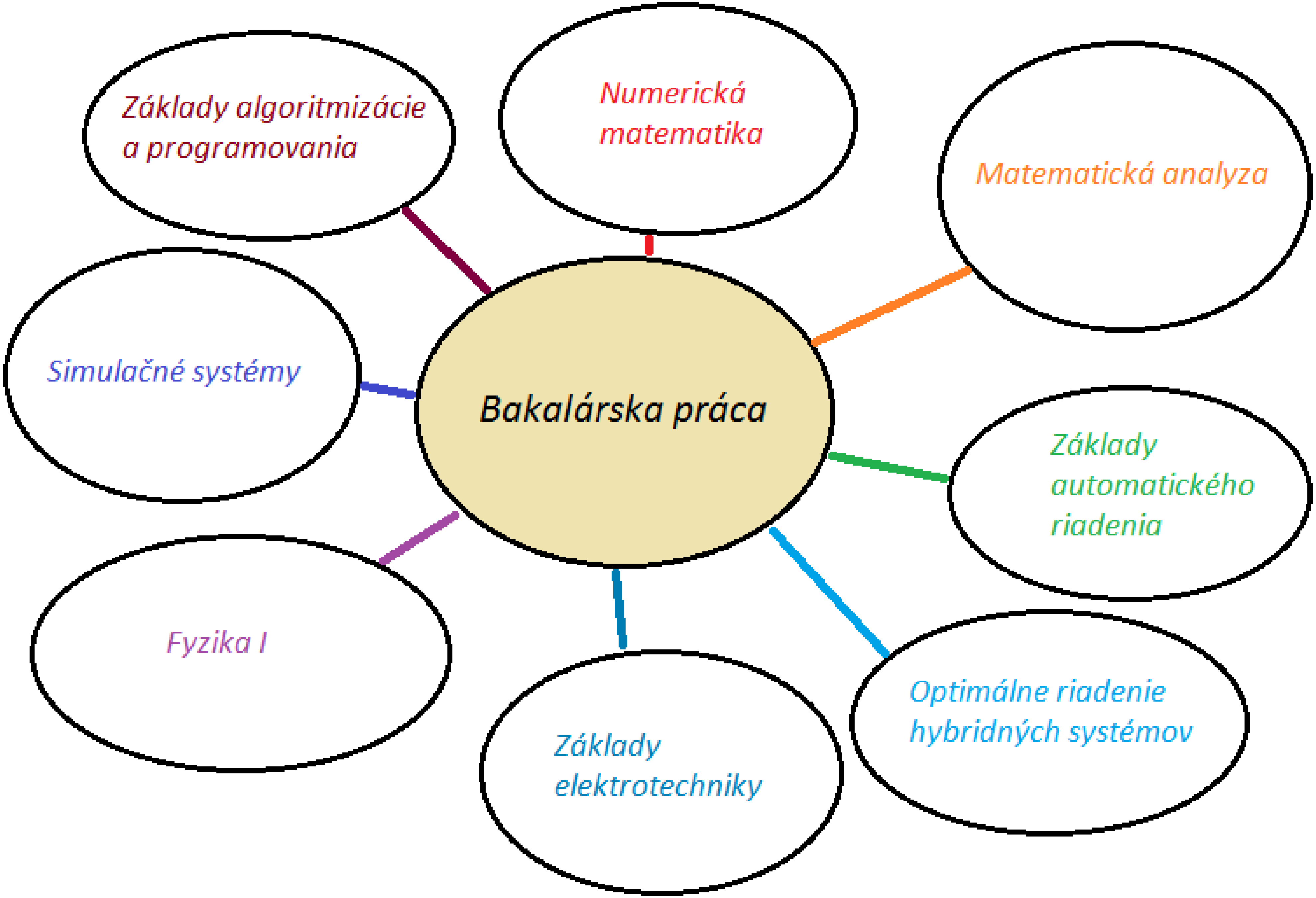
Ciele práce

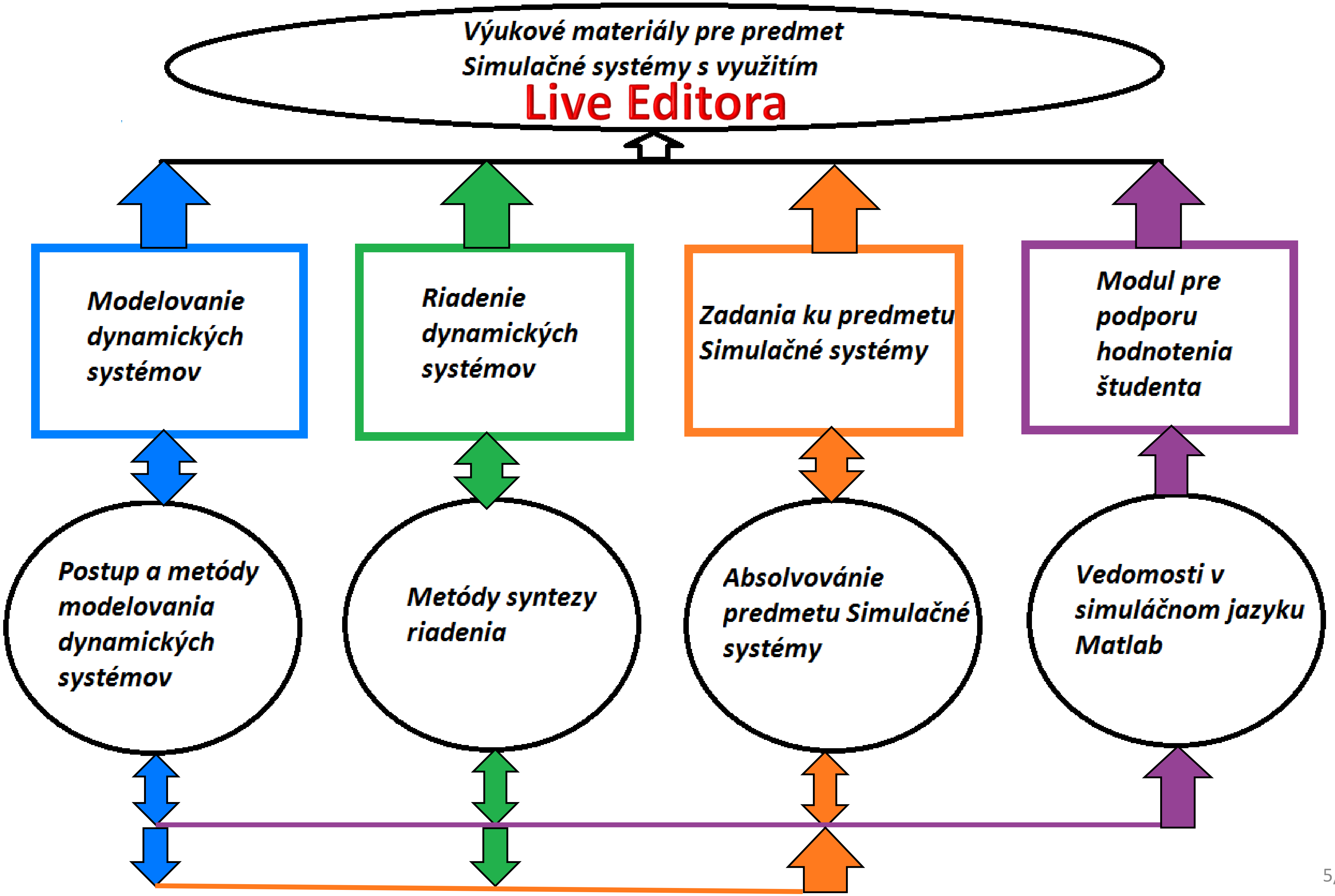
- Odvodenie matematických modelov fyzikálnych systémov a ich vhodné spracovanie.

- Navrhnuť a simulačne overiť algoritmy riadenia pre príklady modelov fyzikálnych systémov s cieľom inovovať výukové materiály pre predmety Simulačné systémy a Základy automatického riadenia s využitím nových funkcionalít programového prostredia *Matlab/Simulink* a iných simulačných nástrojov.

- Naprogramovať automatické podporné moduly, ktoré umožnia hodnotenie znalostí nadobudnutých na predmetoch modelovania, riadenia a simulácie dynamických systémov.

OBSAH


Základy algoritmizácie a programovania
Numerická matematika
Matematická analyza
Simulačné systémy
Bakalárska práca
Základy automatického riadenia
Fyzika I
Základy elektrotechniky
Optimálne riadenie hybridných systémov

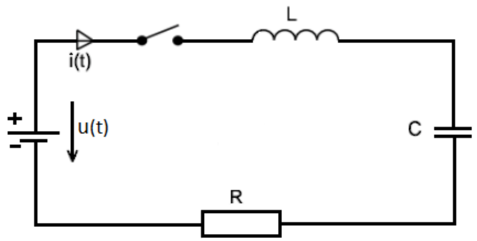

Výukové materiály pre predmet
Simulačné systémy s využitím
Live Editora
Modelovanie dynamických systémov
Riadenie dynamických systémov
Zadania ku predmetu Simulačné systémy
Modul pre podporu hodnotenia študenta
Postup a metódy modelovania dynamických systémov
Metódy syntezy riadenia
Absolvovánie predmetu Simulačné systémy
Vedomosti v simuláčnom jazyku Matlab

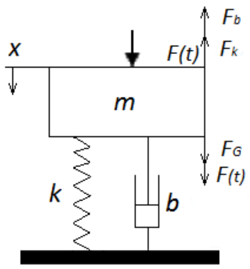
1. Modelovanie, analýza a simulácia fyzikálnych dynamických systémov

Odvodené matematické rovnice fyzikálnych systémov:

RLC obvod (LDR)

$$CL.\ddot{u_C}(t) + CR.\dot{u_C}(t) + u_C(t) = u(t)$$





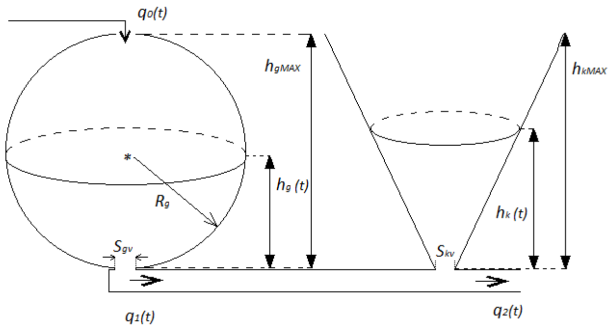
pružina-tlmič (LDR)

$$m.\ddot{y}(t) + b.\dot{y}(t) + k.y(t) = F$$

hydraulický systém dvoch nádob v interakcii (NDR)

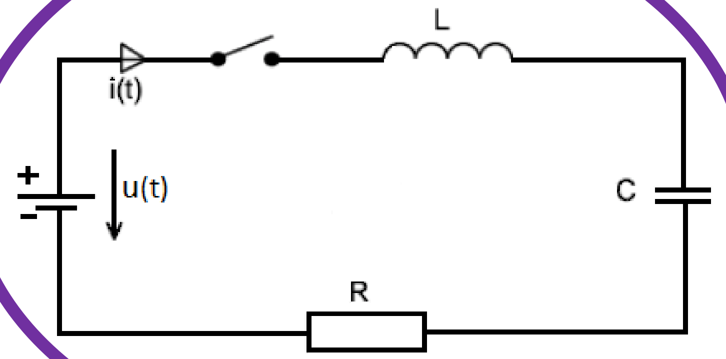
1. nádoba: $\dot{x}_1(t) = \frac{q_0 - S_{gv}.\sqrt{2.g.|x_1(t) - x_2(t)|}}{S_g} = \frac{q_0 - S_{gv}.\sqrt{2.g.|x_1(t) - x_2(t)|}}{\pi.\left(2.R_g.x_1(t) - {x_1}^2(t)\right)}$

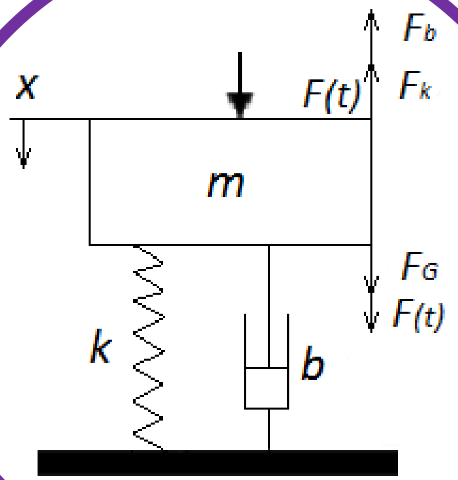
2. nádoba: $\dot{x}_2(t) = \frac{S_{gv}.\sqrt{2.g.|x_1(t) - x_2(t)|} - S_{kv}.\sqrt{2.g.x_2(t)}}{S_k} = \frac{S_{gv}.\sqrt{2.g.|x_1(t) - x_2(t)|} - S_{kv}.\sqrt{2.g.x_2(t)}}{\pi(tan\,\alpha)^2 {x_2}^2(t)}$

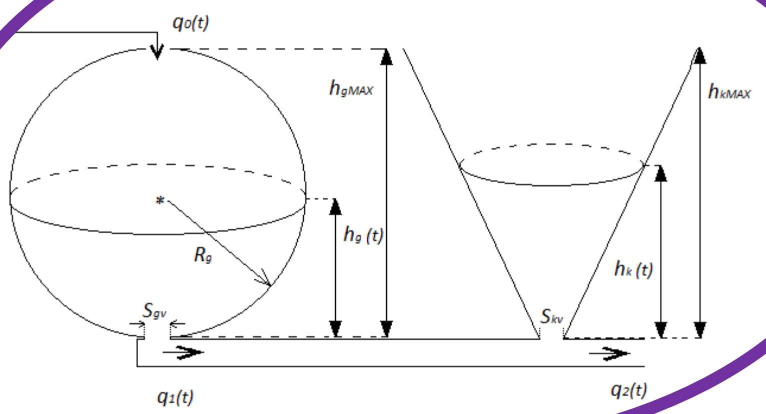


1. Modelovanie, analýza a simulácia fyzikálnych dynamických systémov

Postup pre získanie modelov *RLC obvod*, *pružina – tlmič* a *hydraulický systém dvoch nádob v interakcii*:





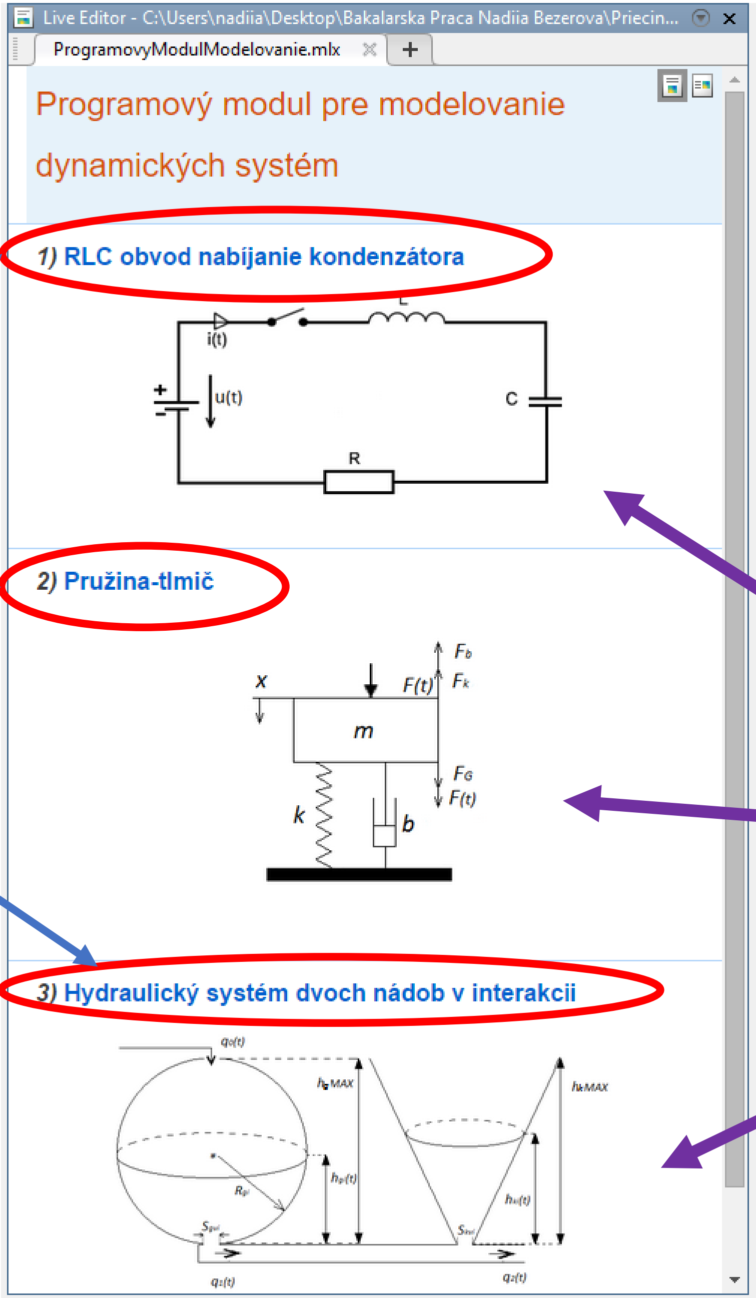


Zostavenie bilančných rovníc dynamických systémov

Prevod rovníc do substitučného kanonického tvaru

Simulácia systému

2. Programový modul pre modelovanie dynamických systémov

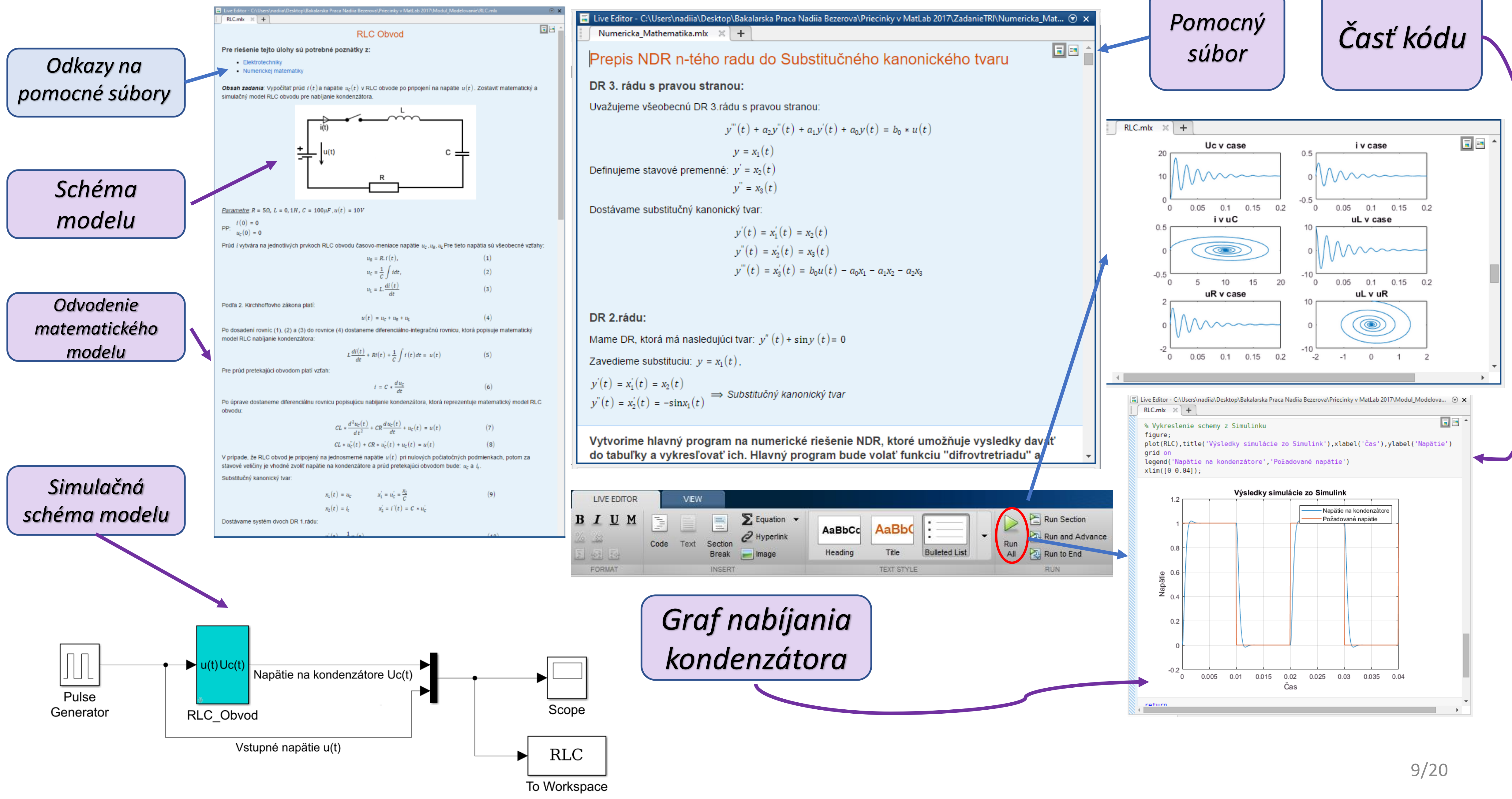


Hlavné okno programového modulu

Odkazy na súbory fyzikálnych modelov

Schémy modelov

Odkaz na súbor fyzikálneho modelu - RLC obvod



3. Riadenie matematických modelov fyzikálnych systémov

Základné metódy riadenia fyzikálnych systémov, ktoré som si vybrala:

- Naslin
- Ziegler – Nichols
- voľby pólov

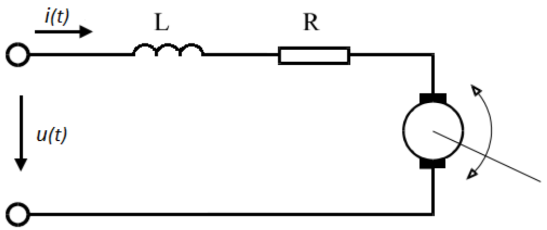
Vychádzaju z charakteristického polynómu uzavretého regulačného obvodu (URO):

$$1 + F_S(s)F_R(s) = 0$$

Naslin

-analytický

$$F_p(s) = \frac{1}{s^3 + 8s^2 + 12s + 6}$$



Ziegler – Nichols

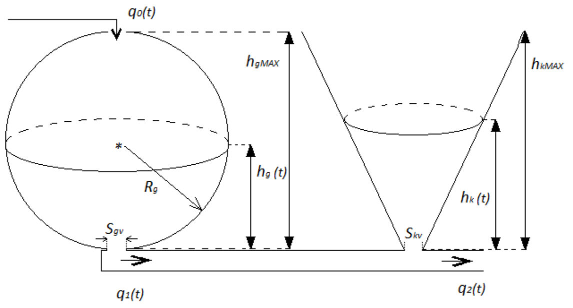
-analytický

$$F_p(s) = \frac{1}{s^3 + 8s^2 + 12s + 6}$$

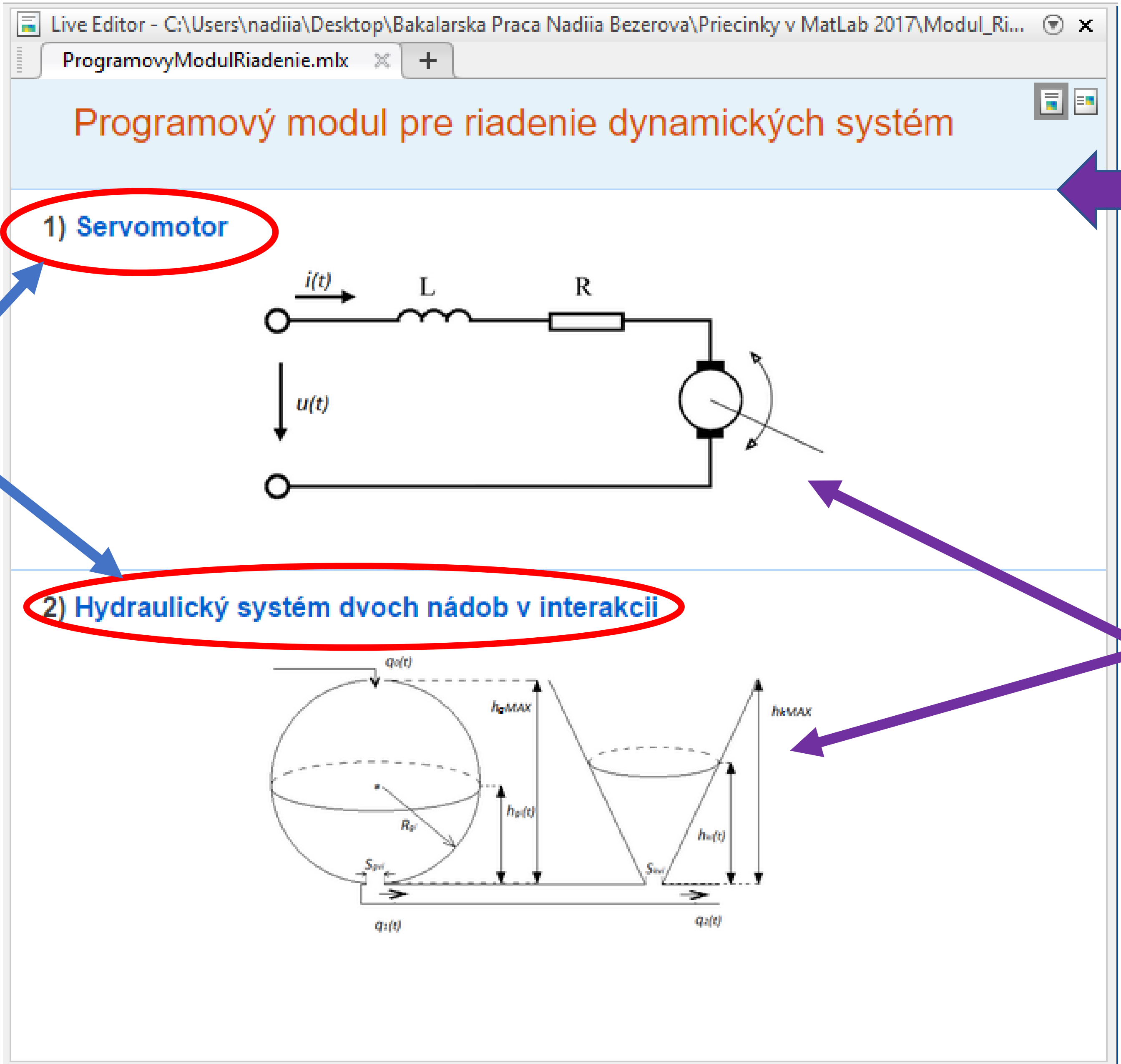
voľby pólov

-analytický

$$F_p(s) = \frac{1}{s^3 + 8s^2 + 12s + 6}$$



4. Programový modul pre riadenie dynamických systémov



Hlavné okno programového modulu

Odkazy na súbory fyzikálnych modelov

Schémy fyzikálnych modelov

Odkaz na súbor fyzikálneho modelu hydraulického systému

Odkaz na súbor pre modelovanie modelu

Súbor pre modelovanie modelu

Zadefinovanie úlohy a schéma modelu

Návrh parametrov PID regulátora

Live Editor - C:\Users\nadiia\Desktop\Bakalarska Praca Nadiia Bezerova\Priecinky v MatLab 2017\Modul_R...

HydraulikaModulRiadenie.mlx

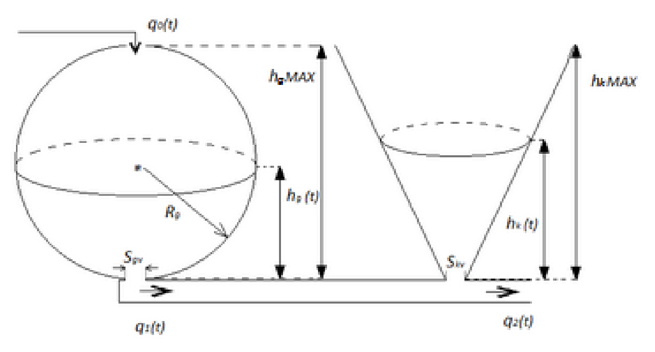
Riadenie modelu "Hydraulický systém dvoch nádob v interakcii"

Parametre a odvodenie diferenciálnych rovníc je možné vidieť v odkaze:

- Odvodenie matematického modelu "Hydraulický systém dvoch nádob v interakcii"

Úlohou je:

Výpočitať parametre PID regulátora pre daný systém.



Použijeme metódu voľby polov.

Prenosová funkcia modelu: $F_p(s) = \dfrac{5.2246}{s^2 + 4.7611s + 0.2076}$

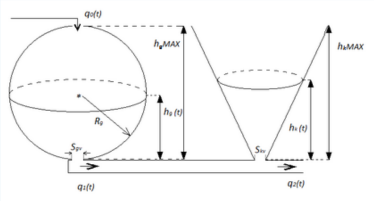
Zostavíme charakteristickú rovnicu PID regulátora:

$$F_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$$

Live Editor - C:\Users\nadiia\Desktop\Bakalarska Praca Nadiia Bezerova\Priecinky v MatLab 2017\Modul_Modelovanie\HydraulikaModelovanie.mlx

HydraulikaModelovanie.mlx

Modelovanie a simulácia modelu hydraulického systému dve nádoby v interakcii



Popis veličín a parametrov:

$q_0(t)$ – hlavný prítok do guľovej nádrže

$q_1(t)$ – voľný odtok z 1. nádrže

$q_2(t)$ – voľný odtok z 2. nádrže

h_g – výška hladiny v guľovej nádrži

h_k – výška hladiny v kužeľovej nádrži

S_g – plocha hladiny v guľovej nádrži

S_k – plocha hladiny v kužeľovej nádrži

R_k – polomer kužeľovej nádrži

v – rýchlosť prúdenia kvapaliny

R_g – polomer guľovej nádrži

α – uhol sklonu

S_{gv} – plocha výtoku z guľovej nádrži

S_{kv} – plocha výtoku z kužeľovej nádrži

h_{1MAX} – maximálna výška v guľovej nádrži

h_{2MAX} – maximálnavýškavkužeľovejnádrži

ρ – hustota kvapaliny

g – gravitačné zrýchlenie

v_g – rýchlosť poklesu hladiny

Hodnoty parametrov:

$$S_{gv} = 0.01,\ g = 9.81,\ R_g = 0.4,\ R_k = 0.3,\ \alpha = 0.3,\ h_k = 0.2517$$

Matematický popis uvažovaného hydraulického systému získame využitím rovnice kontinuity (1), ktorá vyjadruje, že pri ustálenom prúdení je hmotnostný tok tekutiny so stálou hustotou ρ rovnaký v každom priereze prúdovej trubice.

$$Q = \rho . v . S = konšt, \qquad (1)$$

pričom platí Torricelliho vzorec pre výpočet výtokovej rýchlosti ideálnej kvapaliny, kde pre daný model platí: $h_1 = h_g$ a $h_2 = h_k$.

$$v = \sqrt{2.g.|h_1 - h_2|} \qquad (2)$$

Tato rovnica platí pre rýchlosť odtoku v nádobách. Pre zmenu objemu kvapaliny $\frac{dh_g(t)}{dt}$ pri ploche hladiny 1. nádrži platí, že je rovná rozdielu prítoku a odtoku z nádrži:

$$S_g . \frac{dh_g(t)}{dt} = q_0(t) - q_1(t) \qquad (3)$$

Výtok z 1.násrži je rovný súčinu plochy výtoku z guľovej nádrži a gravitačnej rýchlosti prúdenia. Teda rovnicu (3) môžeme prepísať do tvaru:

$$S_g . \dot{h}_g(t) = q_0(t) - S_{gv} . v_g \qquad (4)$$

Po dosadení vzťahov (2) a (4) výsledná diferenciálna rovnica je:

$$S_g . \dot{h}_g(t) = q_0 - S_{gv} . \sqrt{2.g.|h_g(t) - h_k(t)|} \qquad (5)$$

Pre S_g platí:

$$S_g(h_g) = \pi . (2 . R_g . h_g(t) - h_g^2(t)) \qquad (6)$$

Zo vzťahov (2) a (4) pre zmenu objemu kvapaliny v druhej nádrži platí:

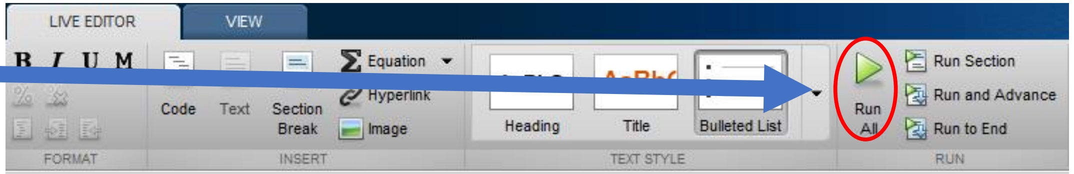
$$S_k . \dot{h}_g(t) = S_{gv} . \sqrt{2.g.|h_g(t) - h_k(t)|} - S_{kv} . \sqrt{2.g.h_k(t)} \qquad (7)$$

Pre plochu hladiny kužeľa platí:

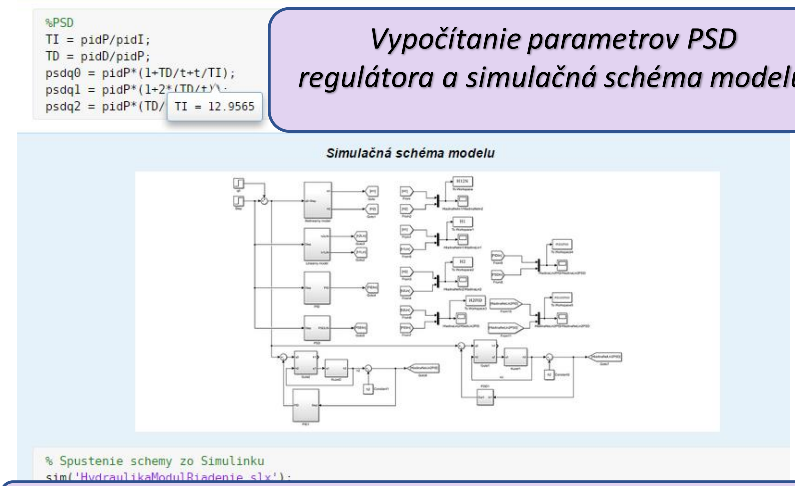
$$S_k(t) = \pi\ (\tan\alpha)^2 h_k^2(t) \qquad (8)$$

$$h_k = \frac{h_g * S_{gv}^2 + h_g + S_{kv}^2}{S^2} \qquad (9)$$

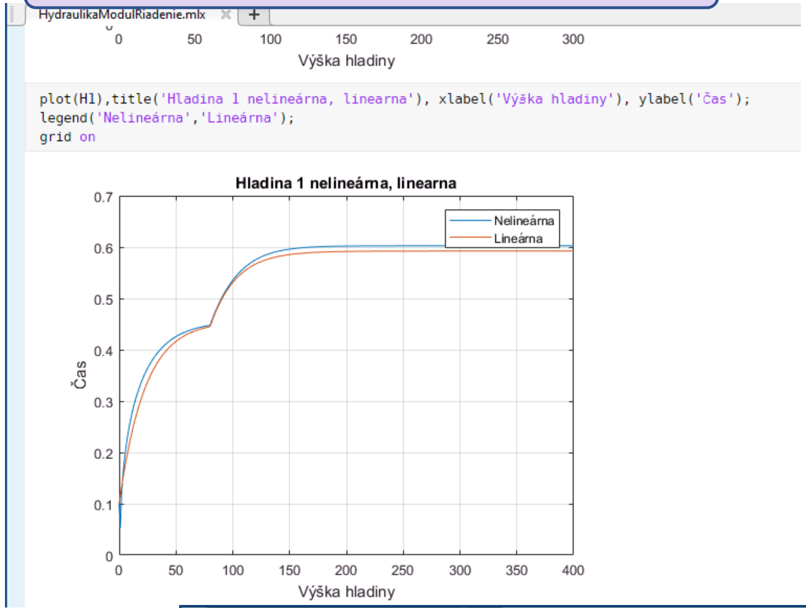
Spúšťanie programu



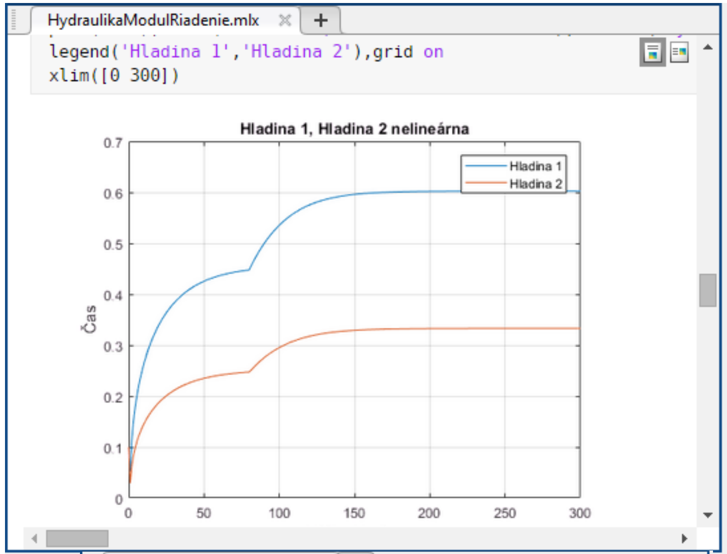
Vypočítanie parametrov PSD regulátora a simulačná schéma modelu



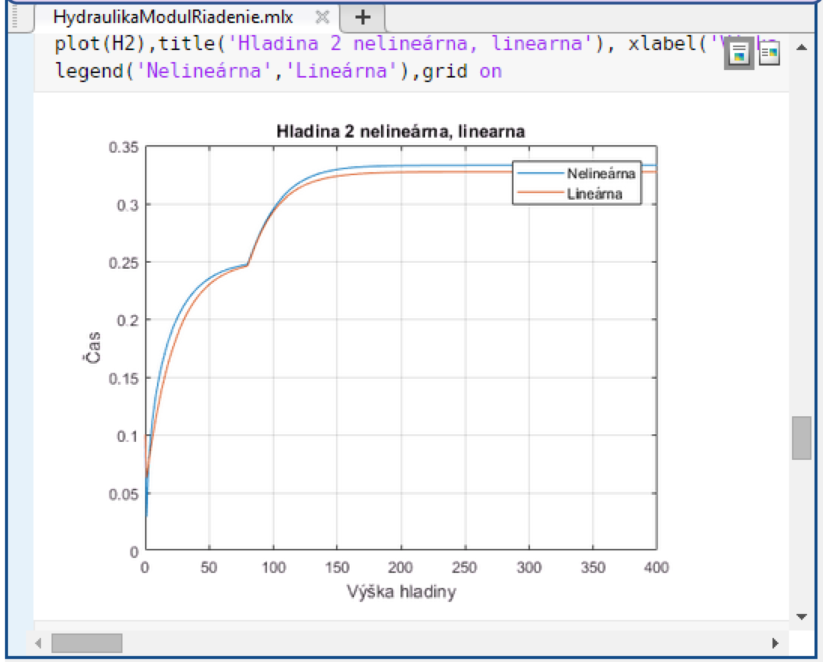
Výška h1 NDS a LDS



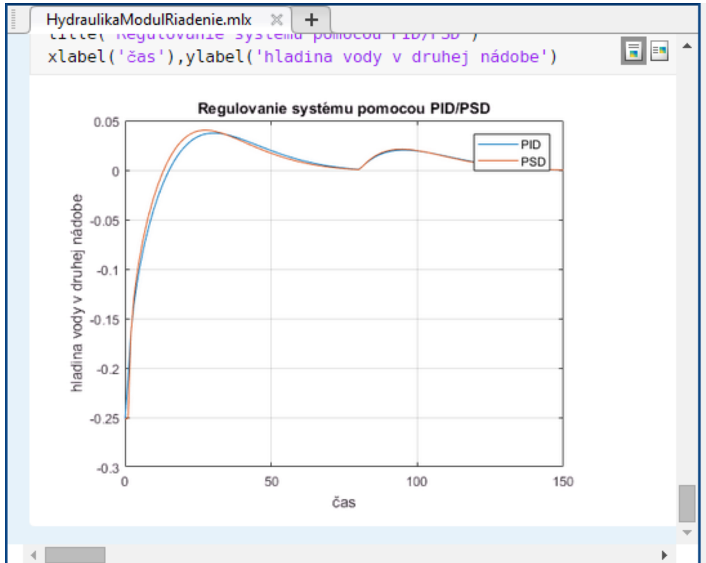
Výška h1 a h2 NDS

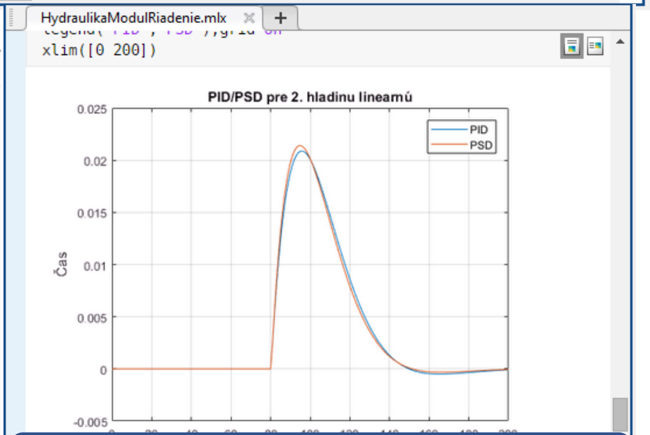


Výška h2 NDS a LDS



Porovnávanie PID a PSD regulátorov NDS



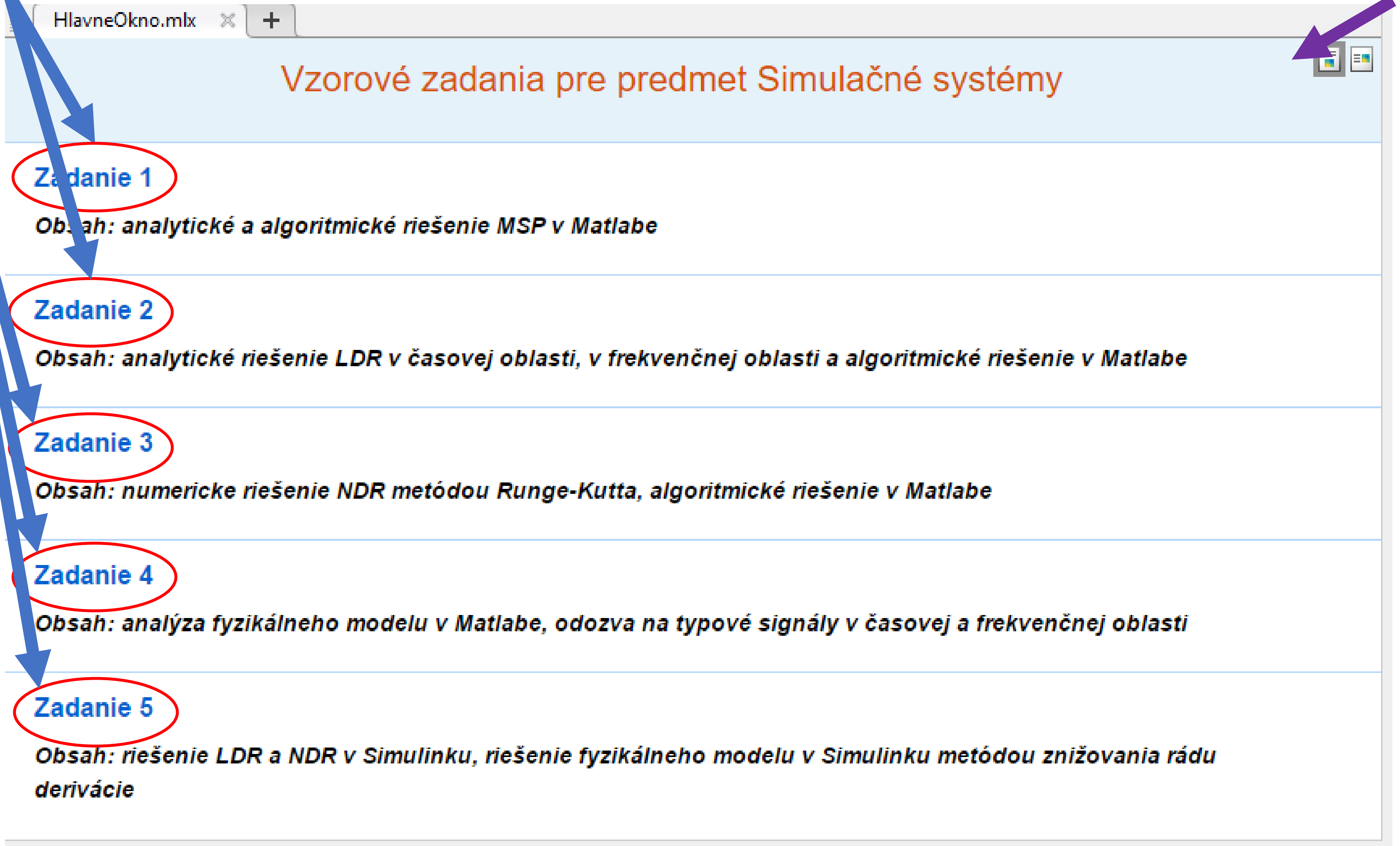


Porovnávanie PID a PSD regulátorov LDS

5. Programový modul pre zadania pre predmet Simulačné systémy

Odkazy na zadania

Hlavné okno programového modulu



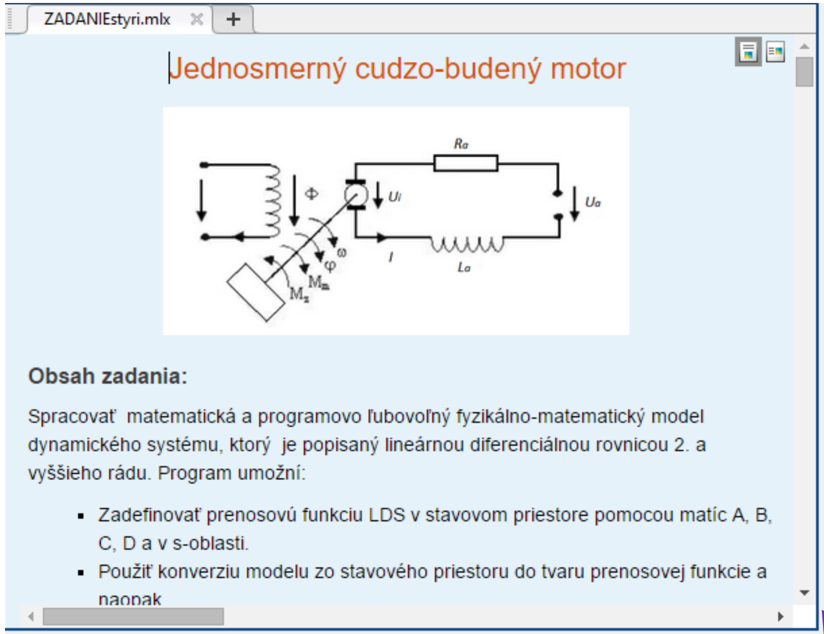
Odkaz na zadanie 4

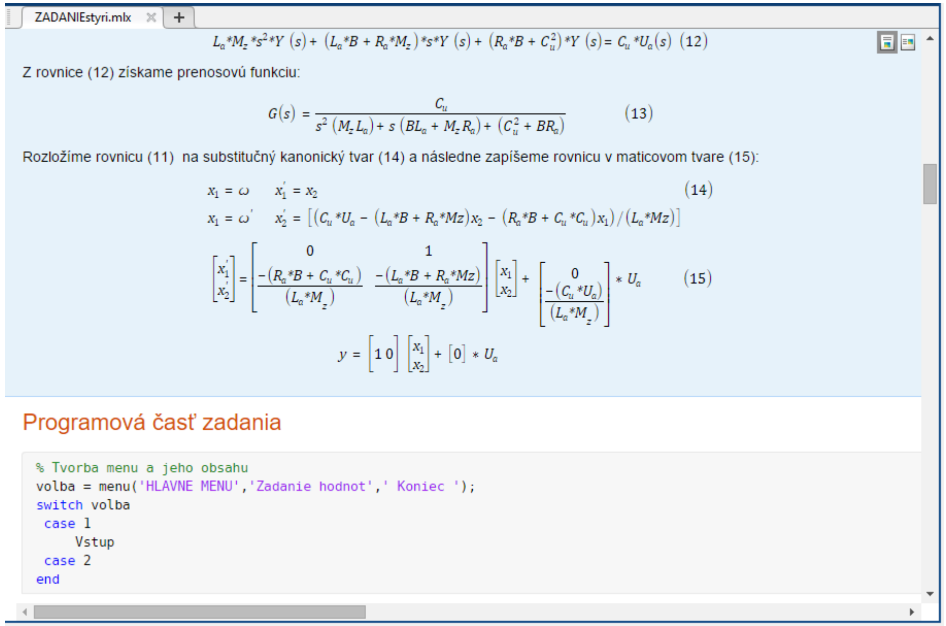
Okno „Menu“

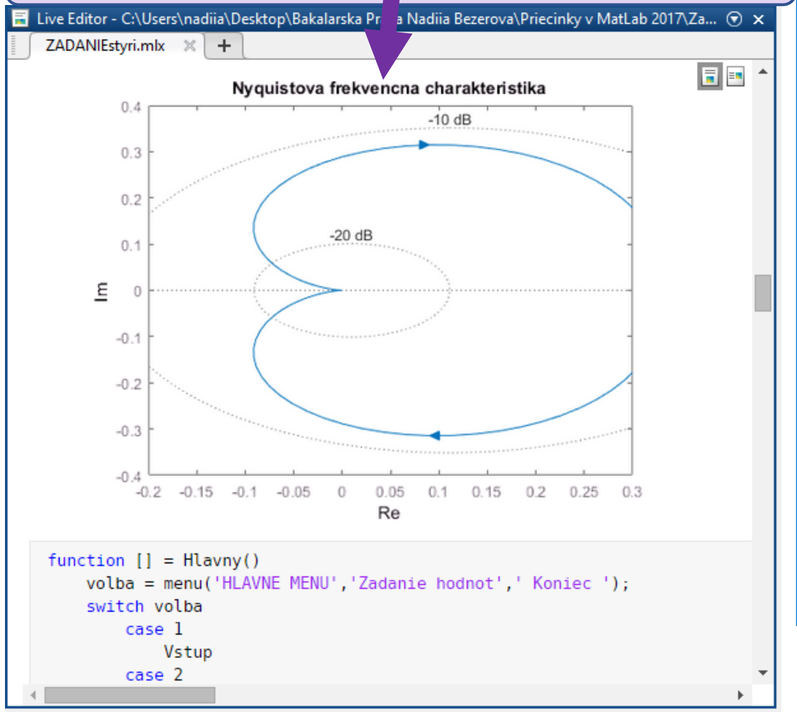
Odvodenie modelu a prepojenie s programom

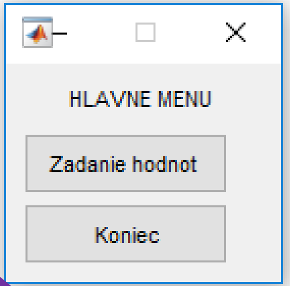
Prechodová charakteristika

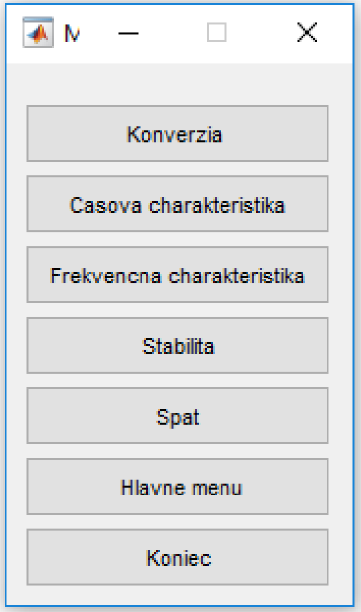
Nyquistova charakteristika modelu

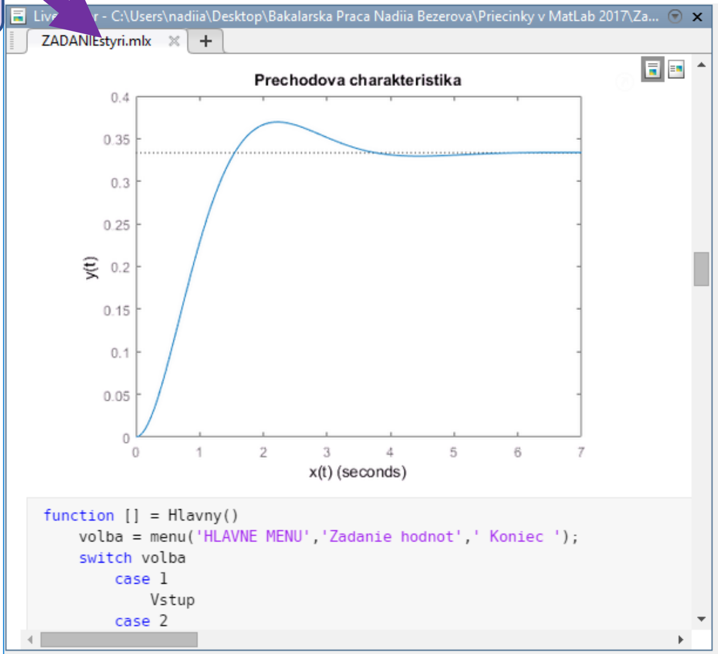












6. Programový modul pre podporu znalosti študenta

Okno programového modulu

Pouzivatelsky_subor_preStudentov.mlx

Matematika

Základy elektrotechniky

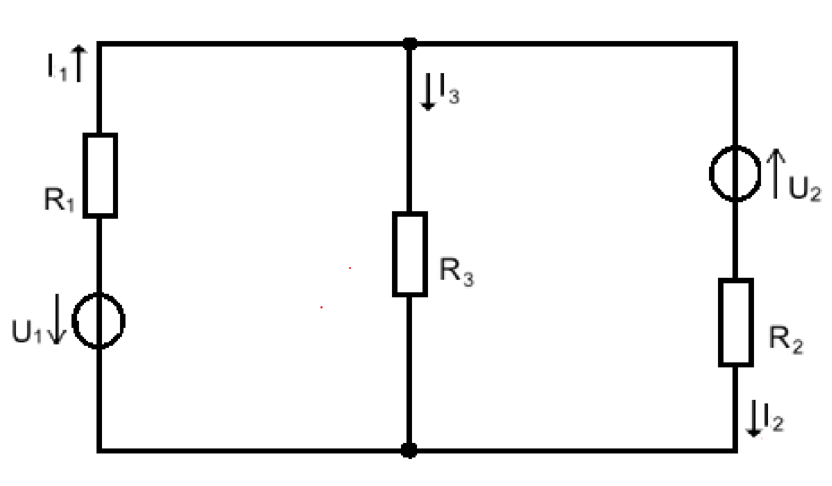
Základy automatického riadenia

Simulačné systémy

Programové moduly

Testovaci súbor pre podporu hodnotenia studenta

Priklady ku zadaniu cislo 1: MSP



*1) Máš schemu elektrického obvodu. Parametry sú: U1=20V, U2=30V, R1=5Ω, R2=10Ω, R3=2Ω. Zadaj maticu **U** vstupov napätí a maticu **R** vstupov odporov.*

```
%%% Tu napíš kód
U = [20 30];
R = [5 10 2];
%%%
vstupy(U,R)
```

```
tf = logical
   1
tff = logical
```

Príprava súborov pre používanie

Zadefinovanie úlohy

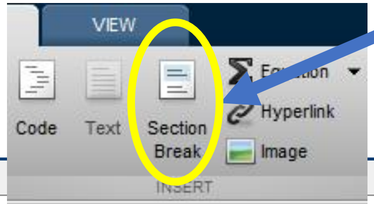
Volanie funkcie

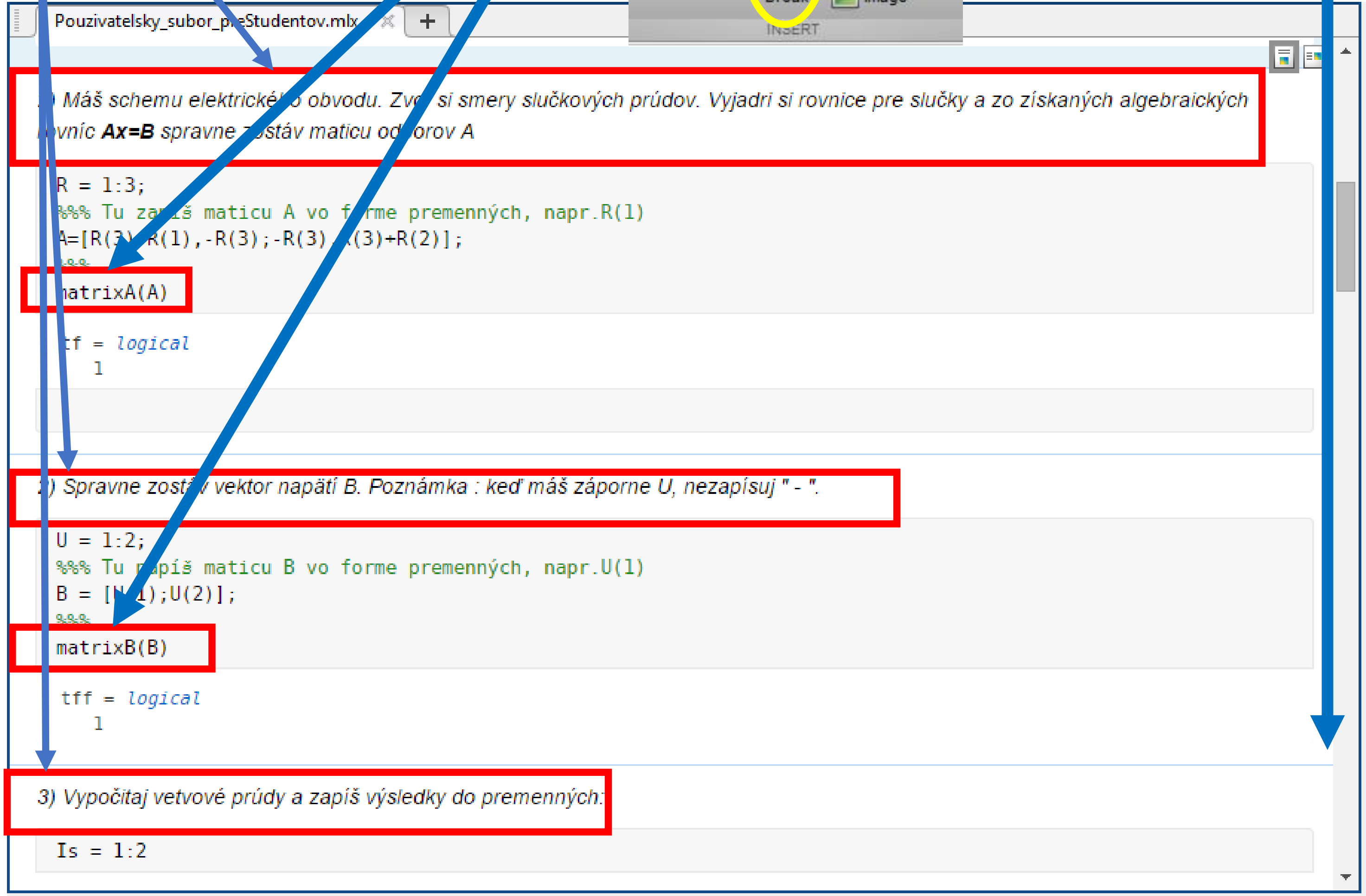
Rozdelenie častí zadaní pomocou tlačidla „Section Break“

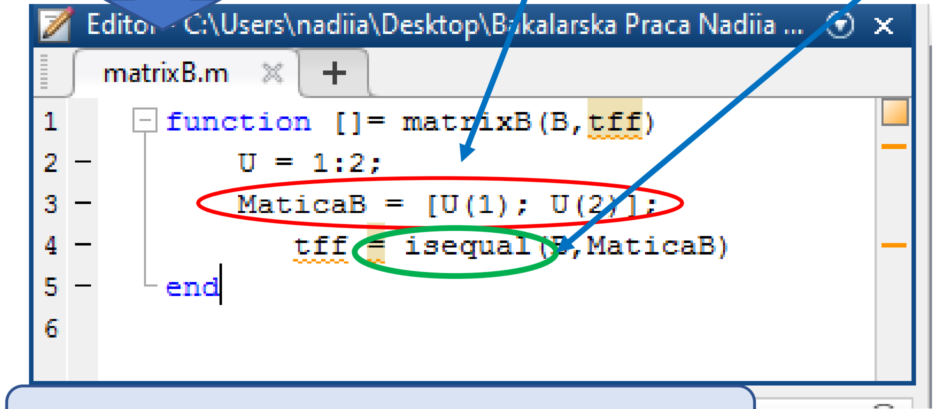
Funkcia pre overenie správnosti kódu študenta

Premenna zo spravným vysledkom zadania

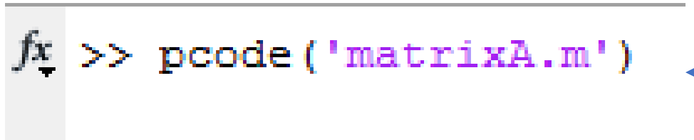
Funkcia „iseqal“



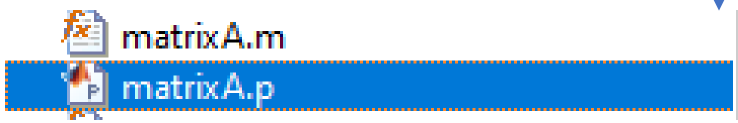




Príkaz pre vytvorenie súboru „.p“

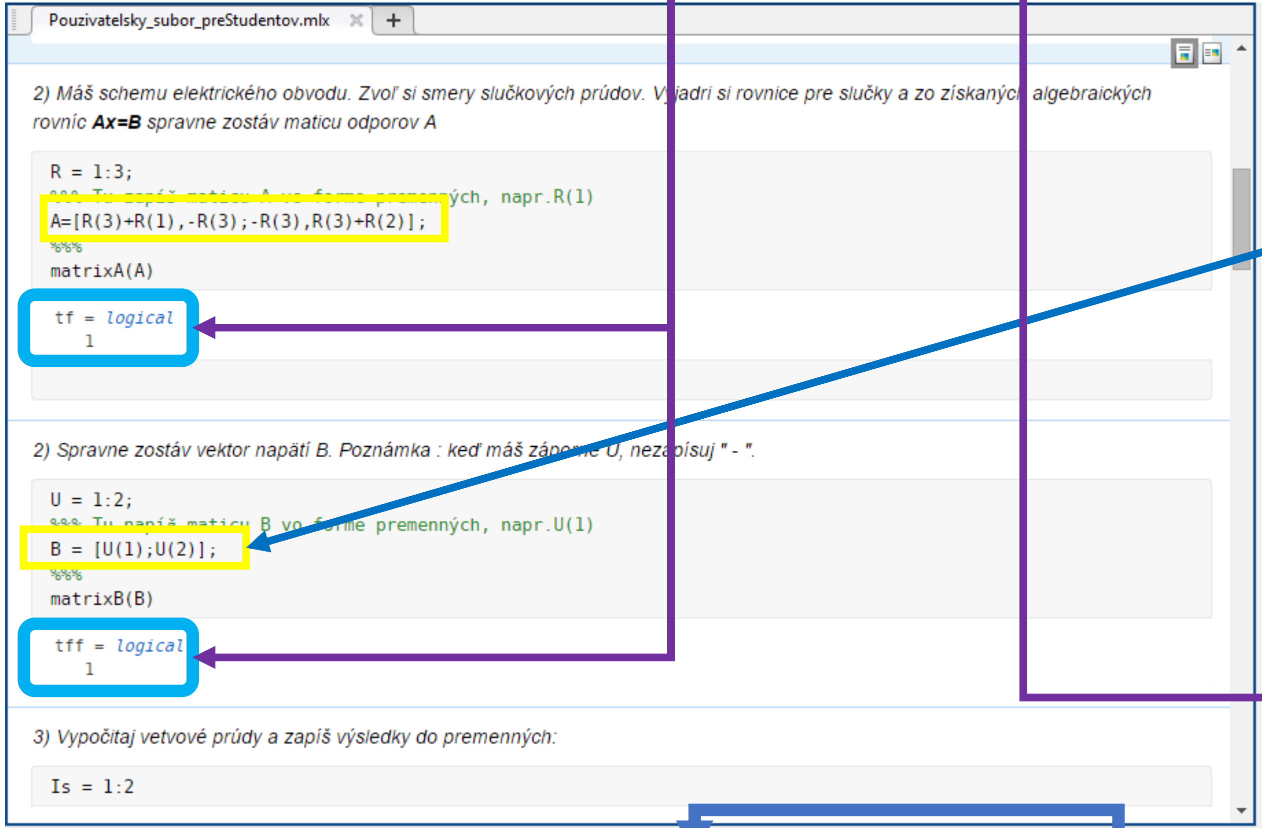


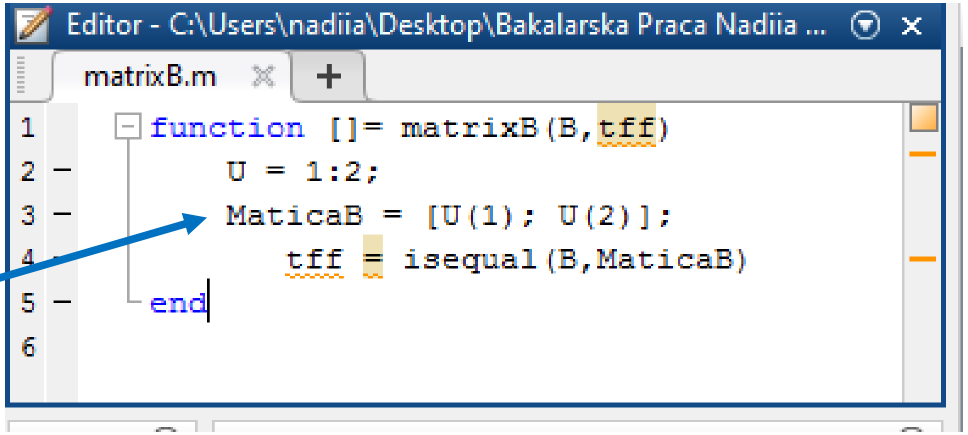
Vytvorený súbor „.p“

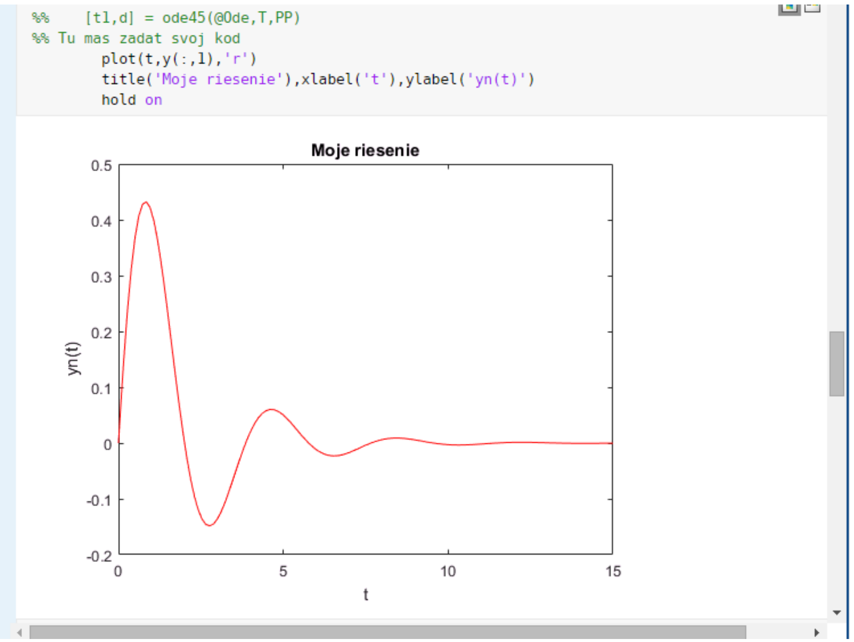


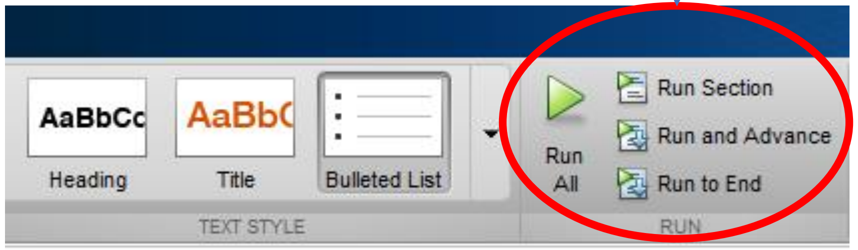
Testovanie v Live Scripte

Vyhodnotenie zadania









Možnosti spúšťania súboru

Zhodnotenie výsledkov

Vytvorila som štyri programové moduly: pre modelovanie a simuláciu dynamických systémov,

pre riadenie a simuláciu dynamických systémov, pre zadania pre predmet Simulačné systémy, pre podporu hodnotenia znalosti študenta.

Programové moduly umožňujú pomocou interaktívnej simulácie overiť odvodené matematičke modely, ich riadenie, ukázať vhodný a jednoduchý postup spracovania zadaní a overenie nadobudnutých poznatkov študentov z modelovania a simulácie.

Prínos: programové moduly pomocou svojej interaktivity robia výukové materiály predmetu Simulačné systémy, dynamickými vedia oživiť výuku predmetov.

Programové moduly sú doplnené na web stránkach predmetov Simulačné systémy a Základy automatického riadenia v rozdiele „Aplikácie“: http://matlab.fei.tuke.sk/ss/aplikacie.aspx, http://matlab.fei.tuke.sk/zar/aplikacie.html

Modul pre modelovanie dynamických systémov
Modul pre modelovanie dynamických systémov
(Bezerova, N.: Inovácia elektronických výukových materiálov o nové fyzikálne modely pre predmet Simulačné systémy - súčasť BP, 2018)

Modul pre riadenie dynamických systémov
Modul pre riadenie dynamických systémov
(Bezerova, N.: Inovácia elektronických výukových materiálov o nové fyzikálne modely pre predmet Simulačné systémy - súčasť BP, 2018)

Modul pre testovanie študentov
Modul pre testovanie študentov
(Bezerova, N.: Inovácia elektronických výukových materiálov o nové fyzikálne modely pre predmet Simulačné systémy - súčasť BP, 2018)

Modul pre zadanie z predmetu
Modul pre zadanie z predmetu Simulačné systémy
(Bezerova, N.: Inovácia elektronických výukových materiálov o nové fyzikálne modely pre predmet Simulačné systémy - súčasť BP, 2018)

Ďakujem za pozornosť

1. otázka od oponenta

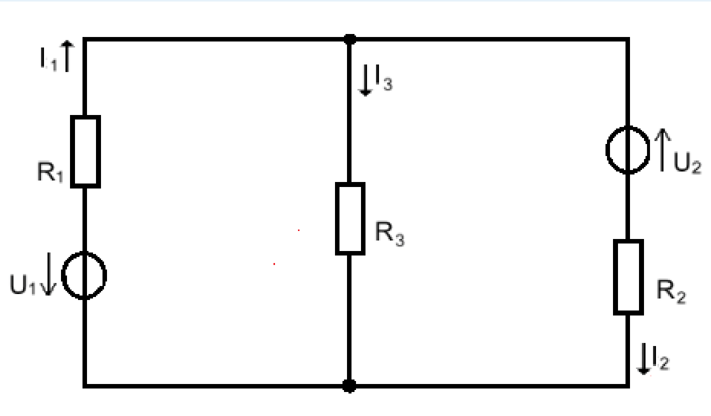
Ako by ste si ešte vedeli predstaviť rozšírenie testovacieho modulu pre overenie znalosti študentov v rámci vybraných predmetov?

Súčasný testovací modul

Pouzivatelsky_subor_preStudentov.mlx

Testovaci súbor pre podporu hodnotenia studenta

Priklady ku zadaniu cislo 1: MSP



1) Máš schemu elektrického obvodu. Parametry sú: U1=20V, U2=30V, R1=5Ω, R2=10Ω, R3=2Ω. Zadaj maticu ***U*** *vstupov napätí a maticu* ***R*** *vstupov odporov.*

```
%%% Tu napíš kód
U = [20 30];
R = [5 10 2];
%%%
vstupy(U,R)
```

```
tf = logical
   1
tff = logical
```

Čo sa dá zlepšiť

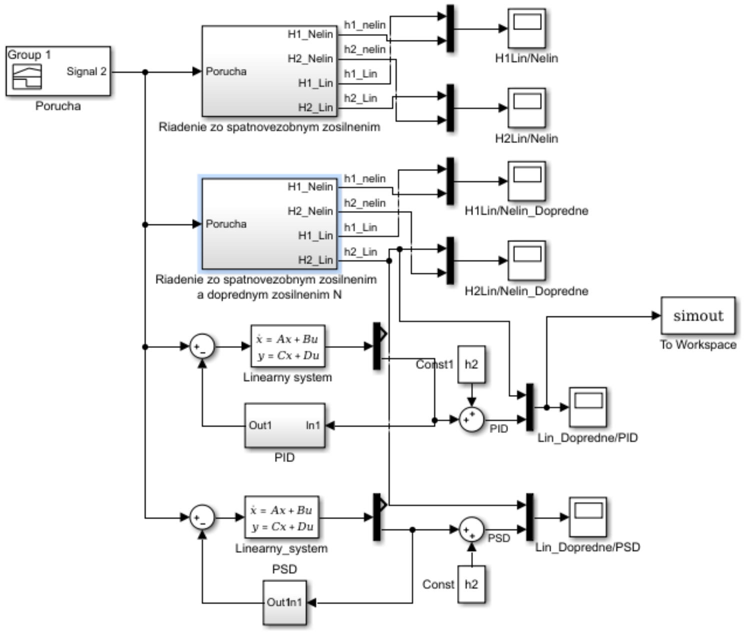
- Hlavné okno
- Počet a rôznorodosť úloh
- Automatické vyhodnotenie
- Pre iné predmety
- Server a databáza

2. otázka od oponenta

V práci uvádzate riadenie pomocou PID zákonov riadenia, vedeli by ste aplikovať na niektorý zo systémov optimálne stavové riadenie a porovnať výstupy?

Model - hydraulický systém dvoch nádob v interakcii

Schéma modelu s LQR riadením



Časť kódu v Live Editore

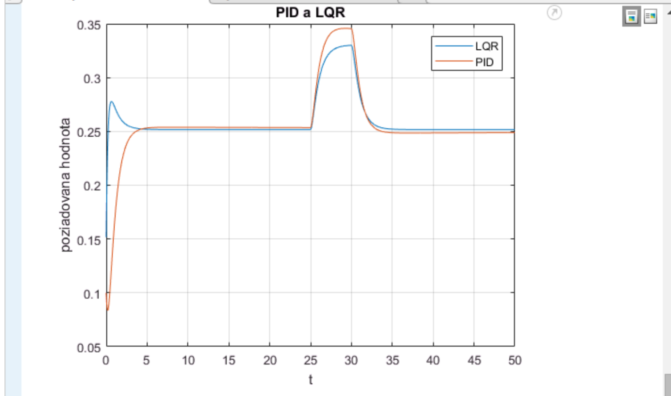
HodnotyPreStvrteHotove.mlx

```
Q = [1 0;0 1];
R = 1;
[FD,K,E] = lqr(A,B,Q,R);


FDOld = FD;
Cc = [0 1];

% DOPREDNE ZOSILNENIE N
FD = [FD(1) FD(2)];
N = -1/(Cc/(A-B*FD)*B);
```

```
function K = ricatti(var) % FUNKCIA RICCATI
        global Q;
        global A;
        global B;
        global R;

        K(1)=-2*A(1,1)*var(1)-2*A(2,1)*var(2)+((B(1)*var(1)).^2)/R-Q(1,1);%k11
        K(2)=-A(2,2)*var(2)-A(1,1)*var(2)-A(2,1)*var(3)+(B(1).^2*var(1)*var(2))/R; %k12
        K(3)=-2*A(2,2)*var(3)+((B(1)*var(2)).^2)/R-Q(2,2); %k22
    end
```

Porovnanie PID a LQR

HodnotyPreStvrteHotove.mlx | HydraulikaModulRiadenie.mlx




```
function K = ricatti(var) % FUNKCIA RICCATI
        global Q;
        global A;
        global B;
        global R;
```