

**Zadanie RMS č.2 :**  
**Rýchlostný dvojmotorový systém s pružným členom**

## Zadanie:

Navrhňte regulačné obvody pre riadenie rýchlosti dvojmotorového pružného systému, ktorý vznikne

spojením: generátor momentu+motorM+prevodovka+pružný element (pás)+motorZ+IRC snímač.

Simulačne overte vlastnosti navrhnutého riešenia. Vypracujte písomný referát, ktorý má obsahovať:

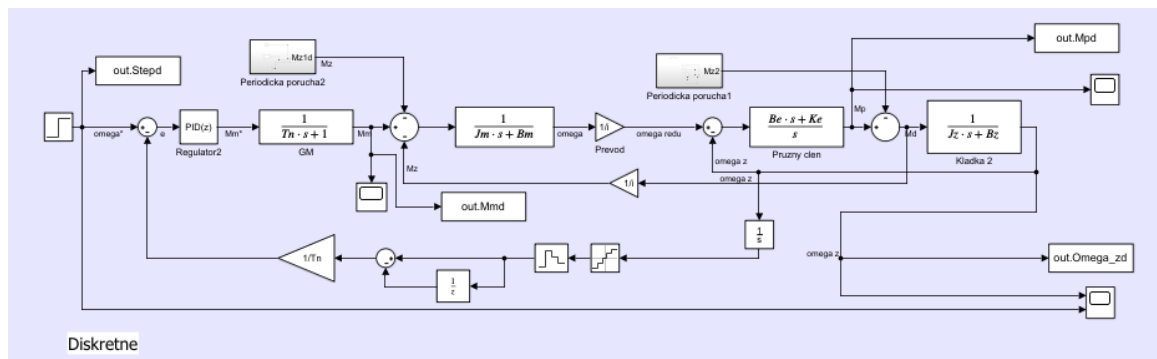
Úlohy:

1. Vytvorte spojitý model pružne sústavy, kde je motor spojený so záťažou prostredníctvom pružného pásu (detailne popíšte kompletný model, jednotlivé bloky, konštanty, signály ).
2. Navrhňte vhodný rýchlostný regulačný obvod tejto sústavy.
3. Opíšte regulačnú štruktúru (detailne popíšte jednotlivé bloky, konštanty, signály).
4. Realizujte syntézu parametrov regulátora rýchlosti hriadeľa. Návrh zdôvodnite.
5. Vyšetrite vplyv zmeny prevodového čísla  $i$  na kvalitu navrhnutého riadenia na vybranej riadiacej štruktúre.
6. Vyšetrite vplyv zmeny  $B_e$ ,  $K_e$  (koeficient tlmenia , koeficient tuhosti pružného člena) na kvalitu navrhnutého riadenia na vybranej riadiacej štruktúre.
7. Zaveďte periodickú poruchu od Mz.
8. Vykreslite priebehy nasledovných veličín pri experimentoch: moment motora (akčný zásah), uhlová rýchlosť motora a záťaže. Prípadne aj iné, ktoré uznáte za vhodné.
9. Pre tabuľkové parametre realizujte simulácie pre rôzne zmeny rýchlosti na vašom navrhnutom riadení. Navrhnite také úpravy schémy, ktoré by zamedzili saturácií akčného člena (motora).
10. Vyhodnoťte dosiahnuté výsledky, vypracujte protokol.
11. Uveďte aj literatúru, z ktorej ste čerpali.

## Zadane parameter:

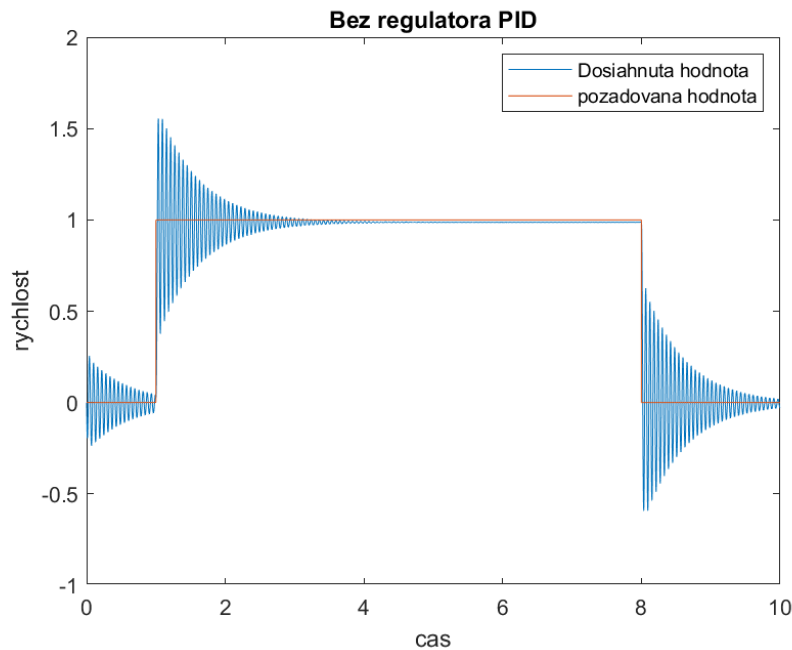
Označenie	Hodnota		Názov
$M_m$	0,108	Nm	Nominálny moment motora
$T_n$	1	ms	Náhradná časová konštanta generátora momentu
$J_m$	0,00009	kg.m <sup>2</sup>	Moment zotrvačnosti (motor)
$J_z$	0,00024943	kg.m <sup>2</sup>	Moment zotrvačnosti (zaťaž)
$M_{z0m}$	0,0052000	Nm	Suché trenie (motor)
$M_{z0z}$	0,0078000	Nm	Suché trenie (zaťaž)
$B'_m$	0,000080292	Nm/rad/s	Koeficient viskózneho trenia (motor)
$B'_z$	0,00020000	Nm/rad/s	Koeficient viskózneho trenia (zaťaž)
$N_{el}$	10 000	imp/ot	Počet impulzov IRC na jednu otáčku po štvornásobení
$i$	Voliteľný	param.	Prevodové číslo
$K_e, B_e$	Voliteľné	param.	Konštanty pružného člena (tuhosti, tlmenia)
$T_{vz}$	1	ms	Periódá vzorkovania

## 1. Popis riešenia



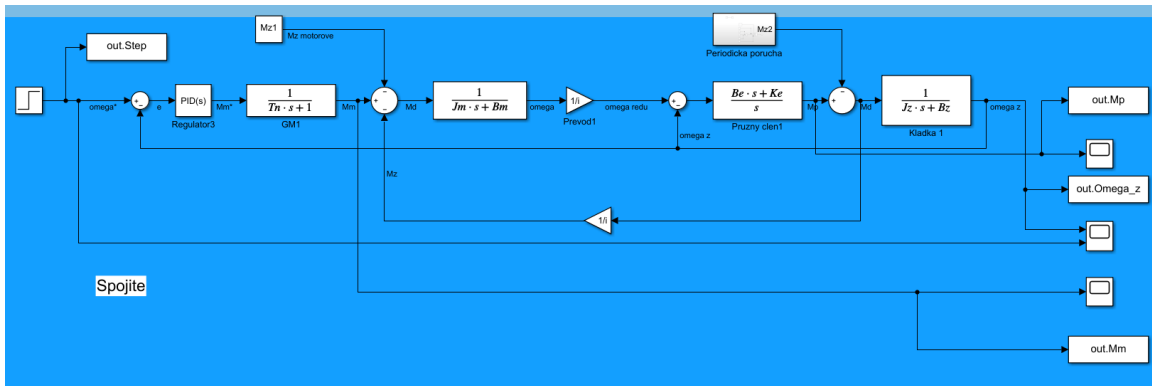
Cieľom riešenia bolo navrhnuť vhodný regulátor rýchlosti pre systém s pružnou zložkou. Taktiež sa zvolili hodnoty **Be**, **Ke**, **i** a experimentálne sa overil ich vplyv na reguláciu systému. Ako záťaž sa použila periodicky sa opakujúca porucha na pružnom člene  $M_p$ . Porovnali sa poruchy impulzového charakteru (resp. určitú dobu pôsobiacu a opakujúca porucha) s periodicky opakovanou záťažou vyvolanou skokovou zmenou poruchy.

Porovnanie uhlovej rýchlosti požadovanej s nameranou bez použitia regulácie PID je na Obr. 1



**Obr. 1: Neregulovaná sústava**

## 2. Spojite



Pri spojitom riadení sa získavala spätná väzba priamo z výstupu  $\omega_z$ . Tato hodnota sa porovnávala s požadovanou hodnotou skoku rýchlosti. Poruchy sa nachádzali dve a to  $Mz1$  a  $Mz2$ .  $Mz1$  bola porucha konštantného charakteru na motore.  $Mz2$  bola periodicky sa opakujúca porucha na pružnom člene. Boli porovnané dva typy porúch  $Mz2$  a to impulzová a skoková periodicky sa opakujúca. Cieľom je minimalizovať prechod uhlovej rýchlosti záťaže  $\omega_z$ .

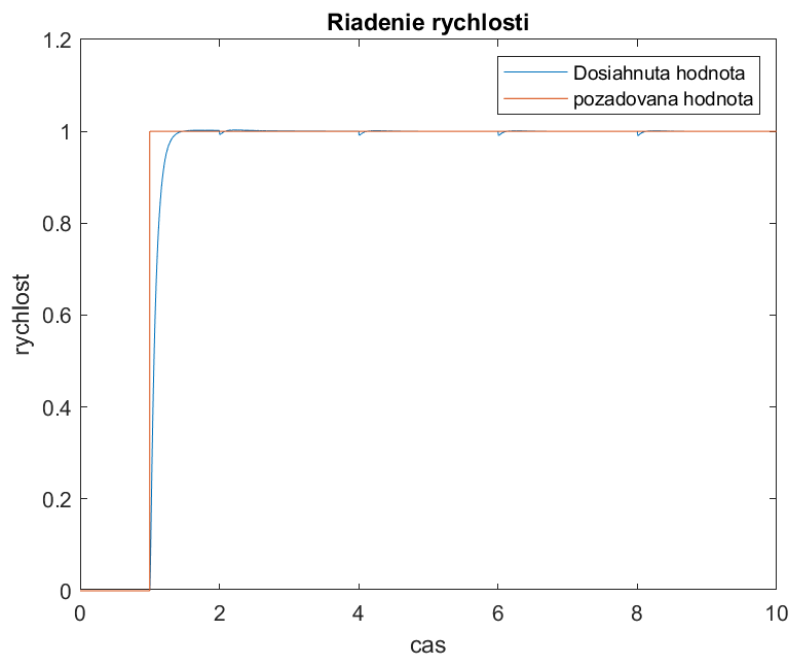
### Štruktúra systému

Systém by sa mohol rozdeliť na motor a pružný člen. Tieto dve štruktúry sú prepojené s prevodovkou. Do bloku motora vstupuje súčet momentu zaťaženia a moment motora vygenerovaný generátorom

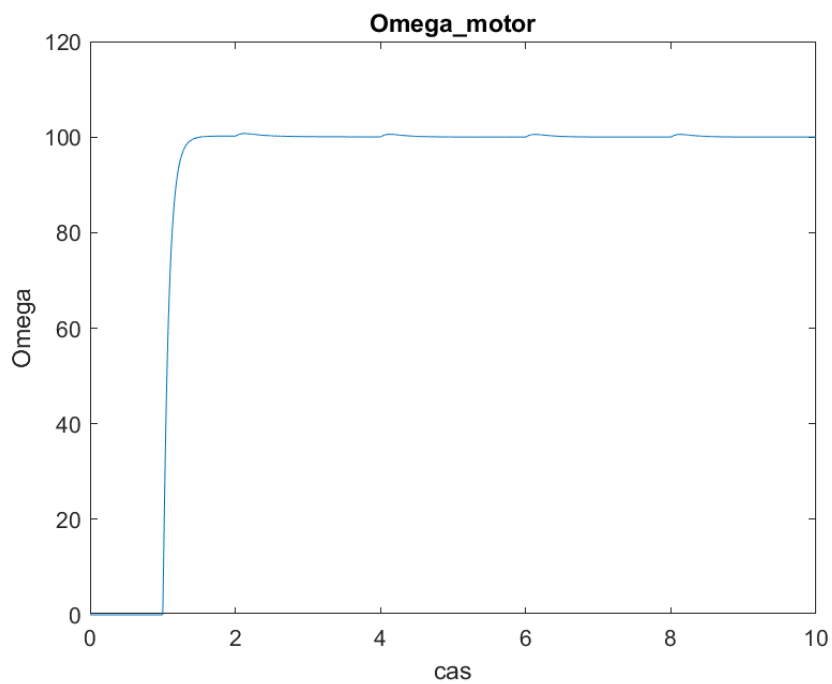
momentu. Vstupom do GM je akčný zásah, ktorý sa generuje regulačnou zložkou. Regulačná zložka reguluje rýchlosť pomocou regulačnej odchýlky (rýchlosť želaná mínus rýchlosť meraná). Výstupná uhlová rýchlosť z motora prechádza cez prevodovku do pružného člena. Rýchlosť sa redukuje. Pružný člen je definovaný pomocou koeficientu tlmenia a tuhosti. Moment pružný prechádza z pružného člena do kladky

## 2.1. Spojíte s optimálne zvolenou hodnotou $B_e$ , $K_i$ , $i$

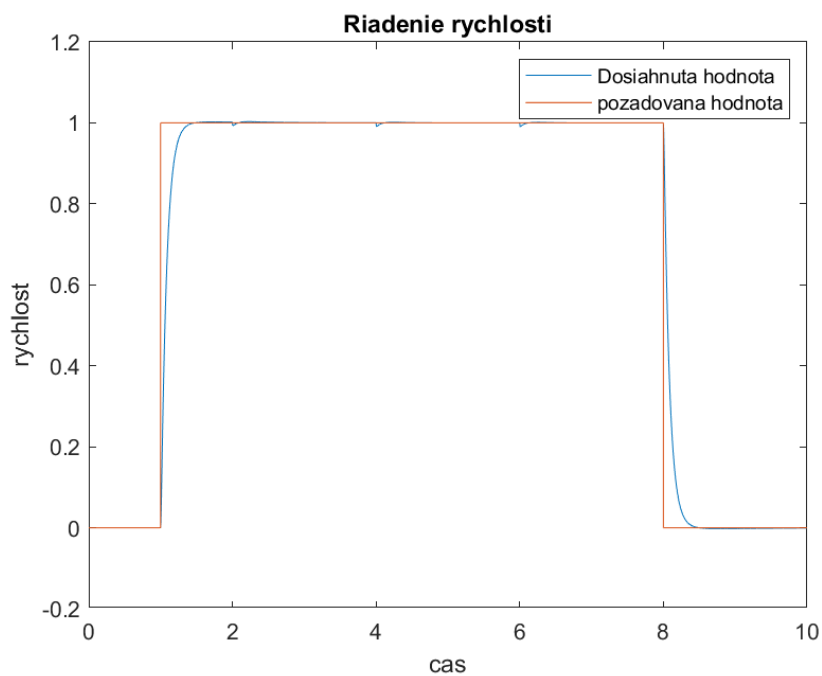
Ako najvhodnejšie parametre boli zvolené hodnoty  $B_e=0.04$ (koeficient tlmenia),  $K_e=0.55$ (koeficient tuhosti) a  $i=100$ (redukovaná prevodovka). Zvolený regulátor rýchlosti bol typu PID. Zátťaž ovplyvňuje moment a rýchlosť systému. Ak moment zátáže dosiahne hodnotu momentu motora tak by sa motor mohol aj zastaviť.



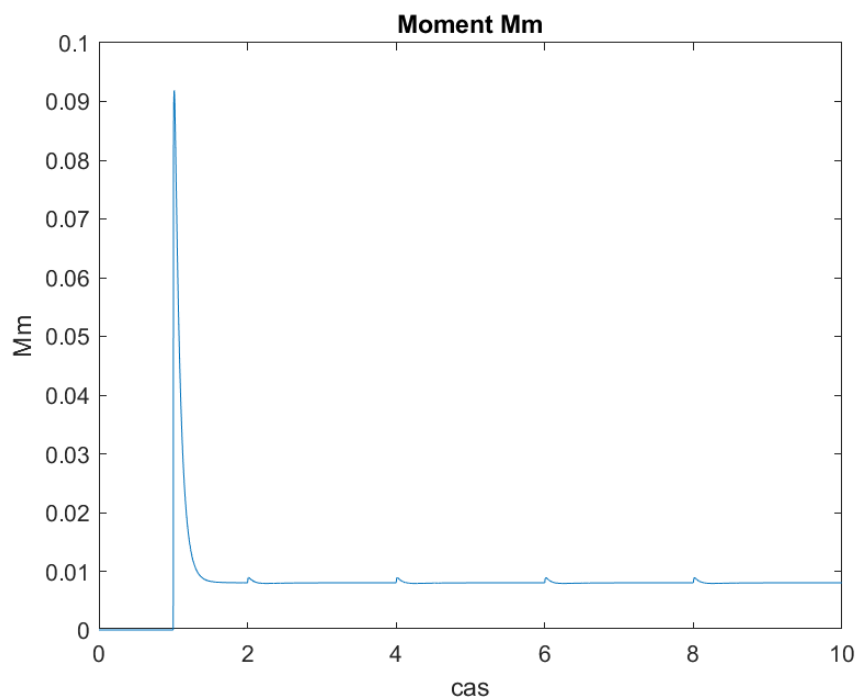
Obr. 2: Spojité omega zátáže na výstupe



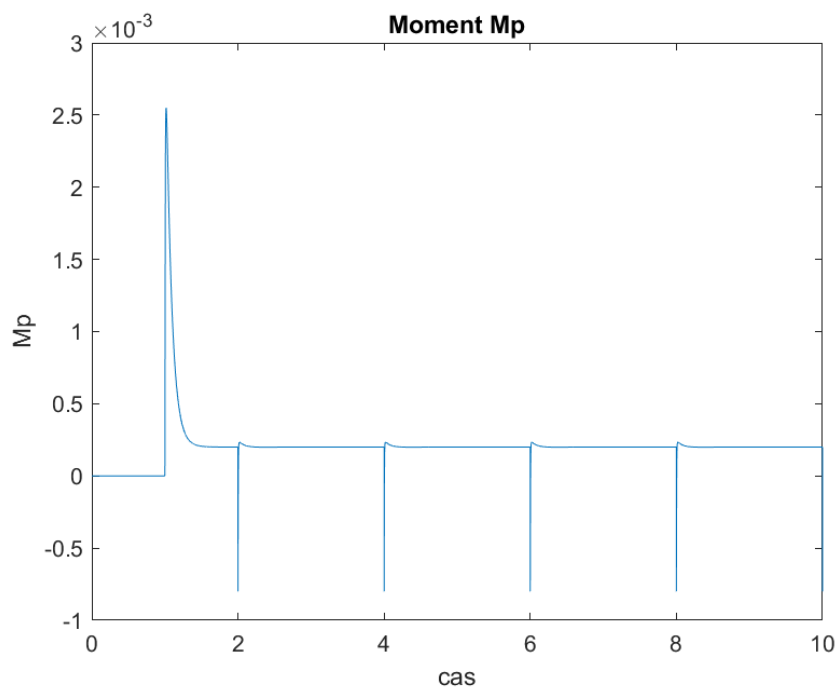
**Obr. 3: Omega motora spojitě**



**Obr. 4: Pribeh regulácie rýchlosti z 0 na 1 a na 0**



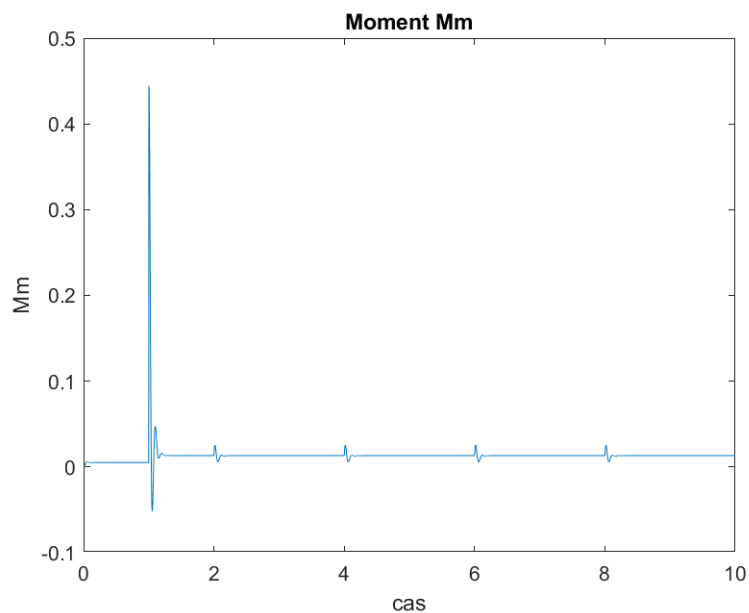
**Obr. 5: Mm spojite**



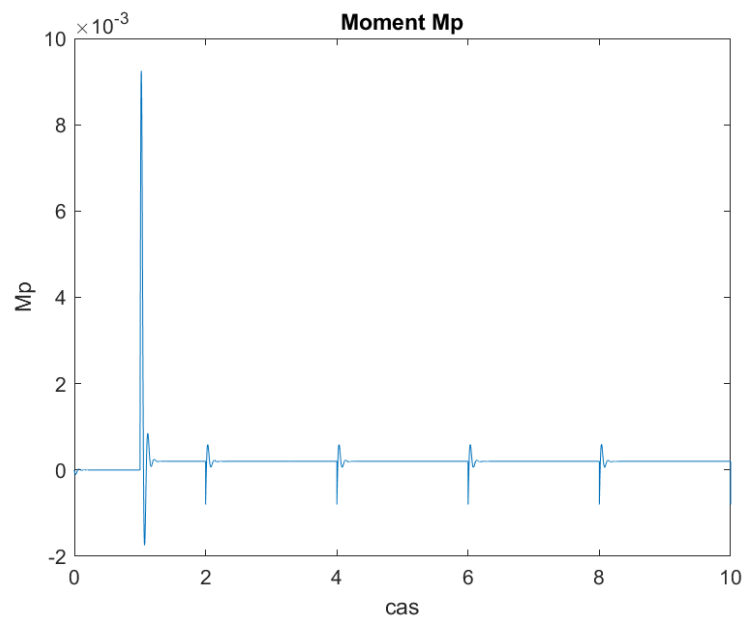
**Obr. 6: Mp spojité**

## 2.2. Malá hodnota koeficientu tlmenia Be

Čím menšia hodnota Be tým viac sú výrazné oscilácie meraných hodnôt. Na dobre riadenie systému je vhodné mať vyššiu hodnotu tlmenia.

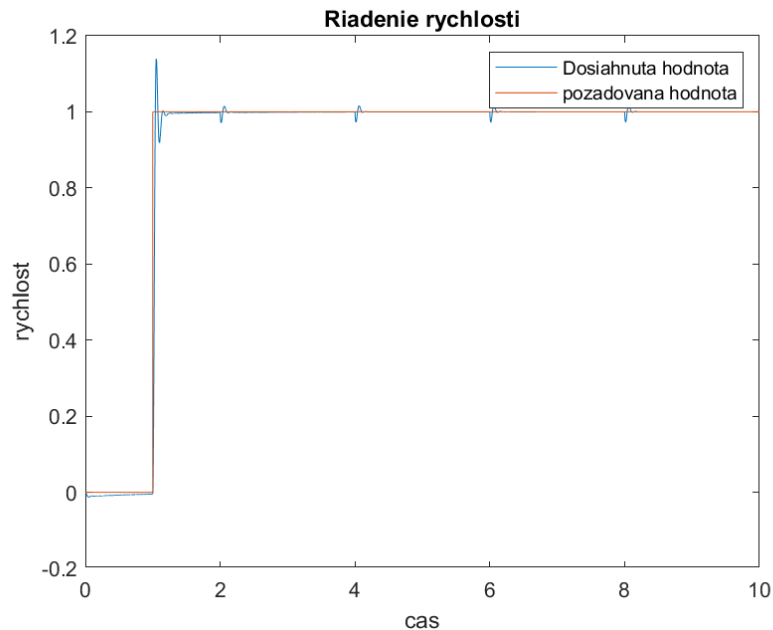


Obr. 7:  $M_m$  pri zmene Be na malú hodnotu



Obr. 8:  $M_p$  pri zmene Be na malú hodnotu

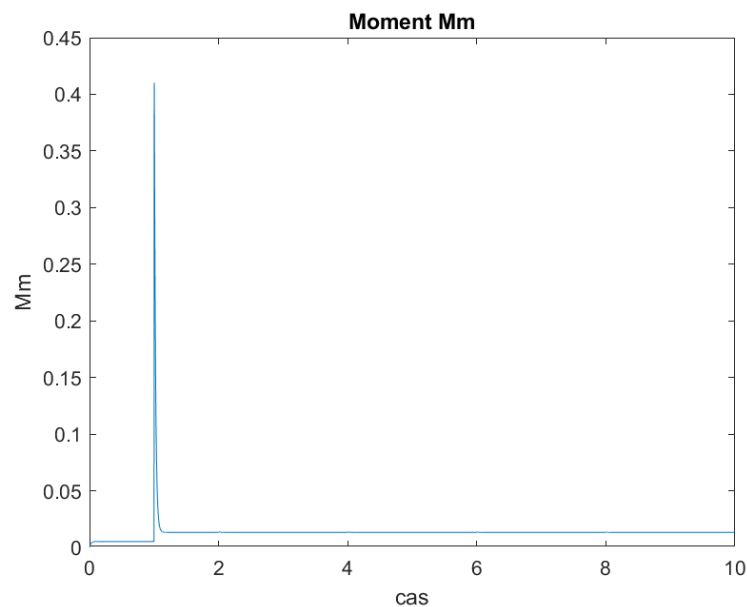




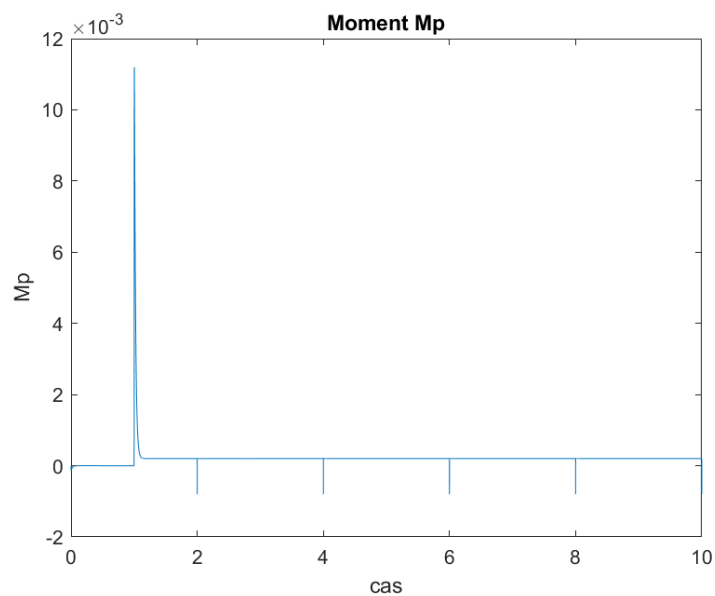
**Obr. 9: Omega pri zmene Be na malé**

### 2.3. Veľká hodnota koeficientu tlmenia Be

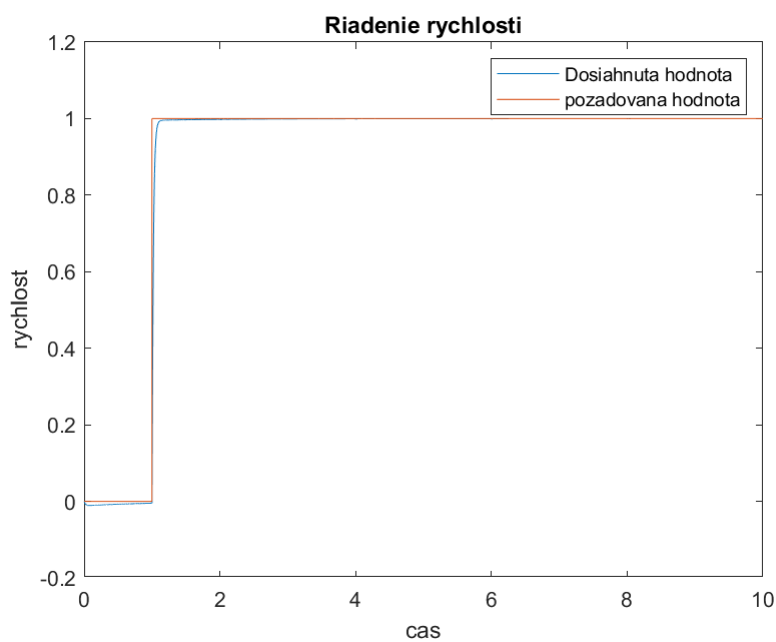
Zvolenou hodnotou bola hodnota  $Be=1,1$ . Jedná sa o extrémnu hodnotu vhodnú na posúdenie vplyvu daného prvku. Inak je vhodnejšie meniť danú hodnotu o cca 10 %. Systém je stabilnejší s menšími prekmitmi uhlovej rýchlosti. Na grafe Obr. 12 takmer nie je vidieť žiadnu osciláciu vyvolanú poruchou.



**Obr. 10: Mm pri zmene Be na veľké**



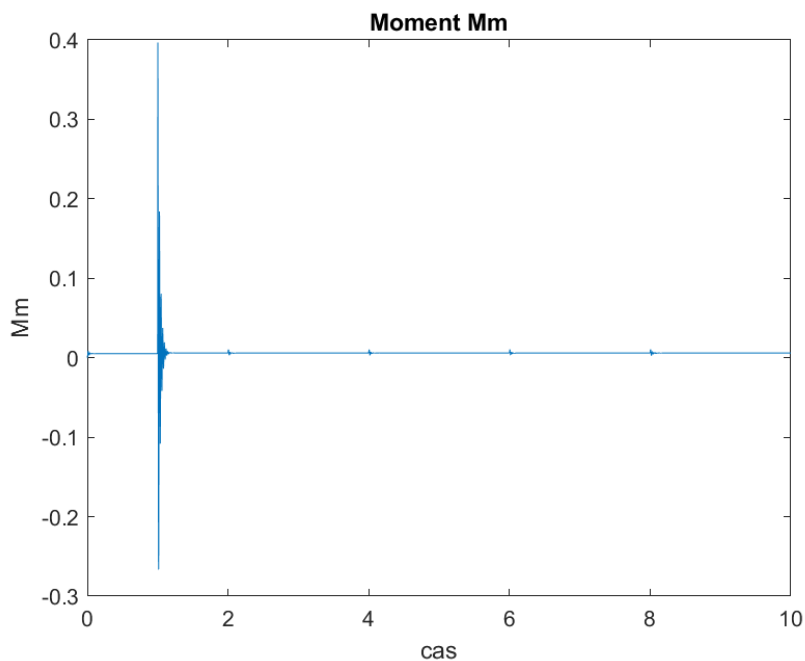
**Obr. 11:  $M_p$  pri zmene Be na veľké**



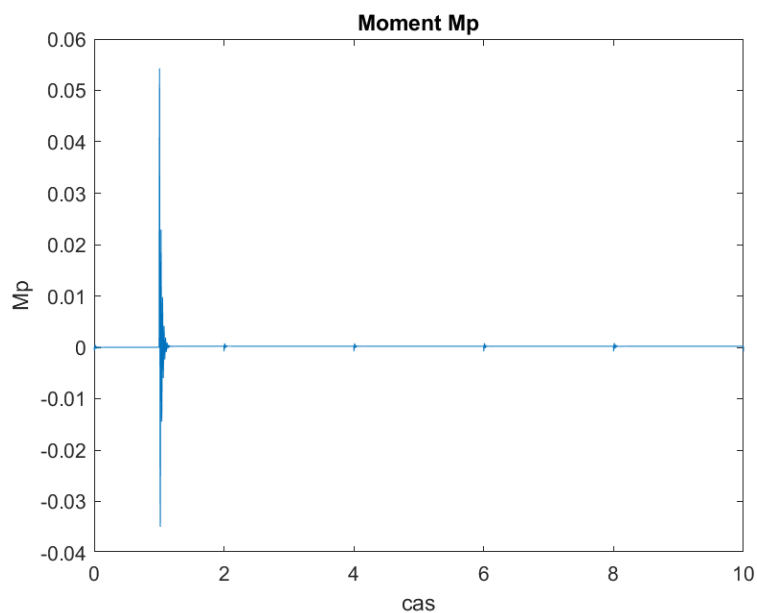
**Obr. 12: Omega zát'aže pri zmene Be na veľké**

## 2.4. Malá hodnota prevodu

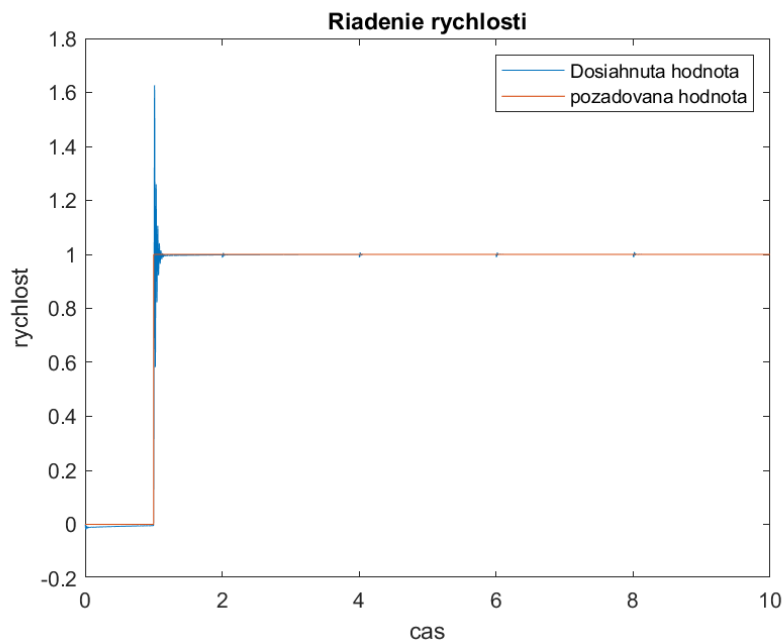
Pri malej hodnote prevodu je veľký prechyt ale regulácia je rýchla



Obr. 13:  $M_m$  pri zmene  $i$  na male



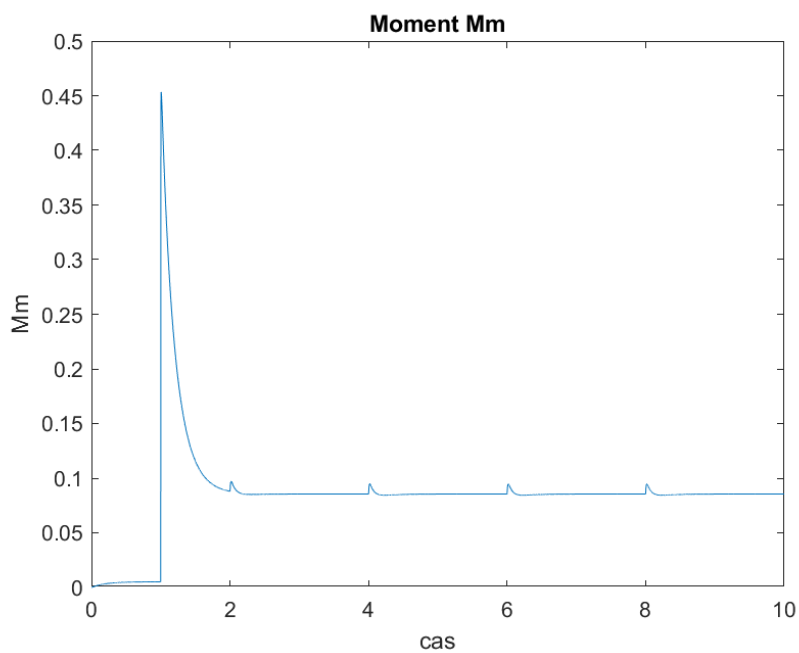
Obr. 14:  $M_p$  pri zmene  $i$  na male



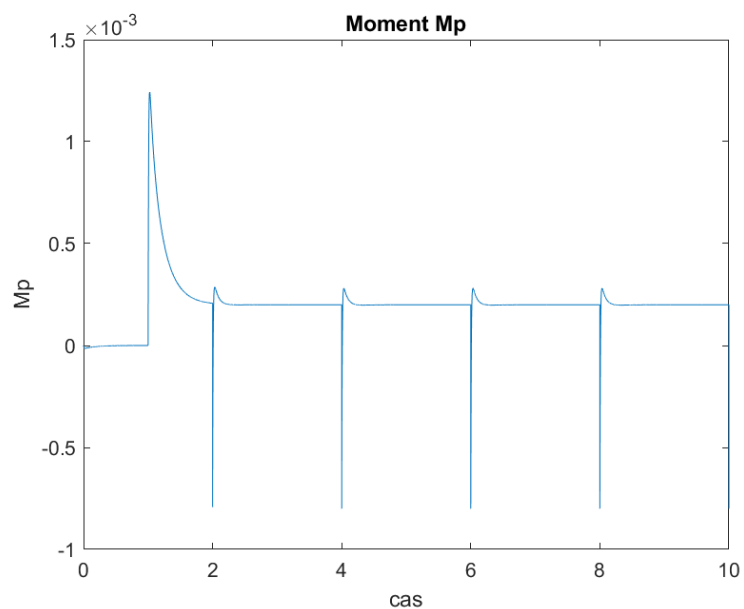
**Obr. 15: Omega pri zmene i na malé**

## 2.5. Veľká hodnota prevodu

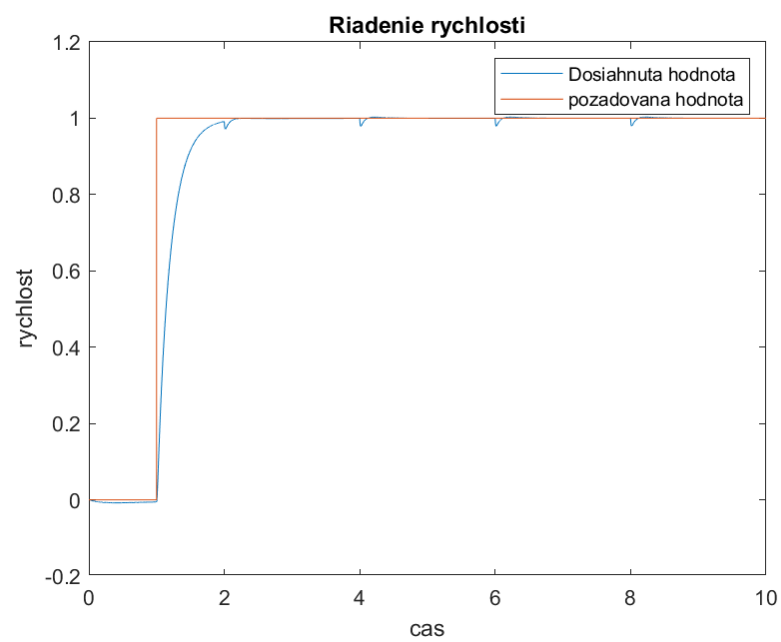
Pri použití veľkého prevodu vznikne oneskorenie regulácie rýchlosti. Regulácia je pomalá. Výhodou je predchádzanie prekmitom regulovanej rýchlosti.



**Obr. 16: Mm pri zmene i na veľké**

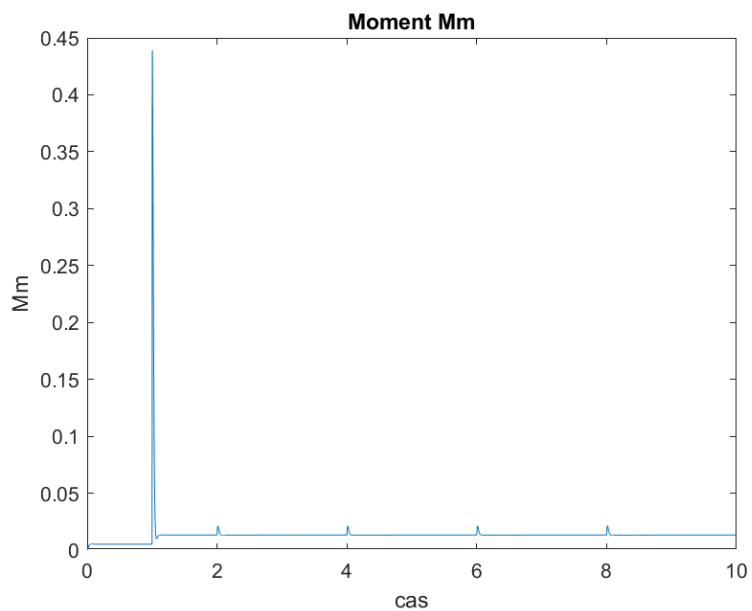


**Obr. 17:  $M_p$  pri zmene  $i$  na veľké**

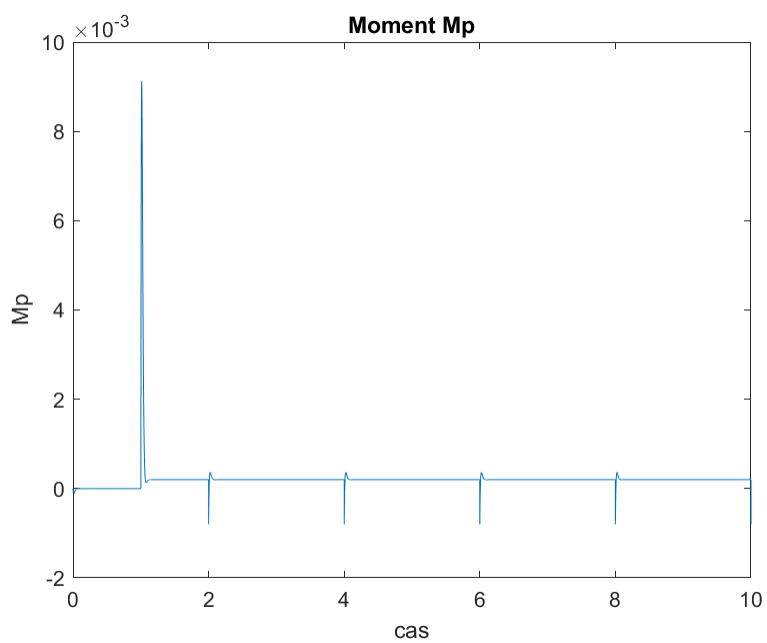


**Obr. 18: Omega zát'aže pri zmene  $i$  na veľké**

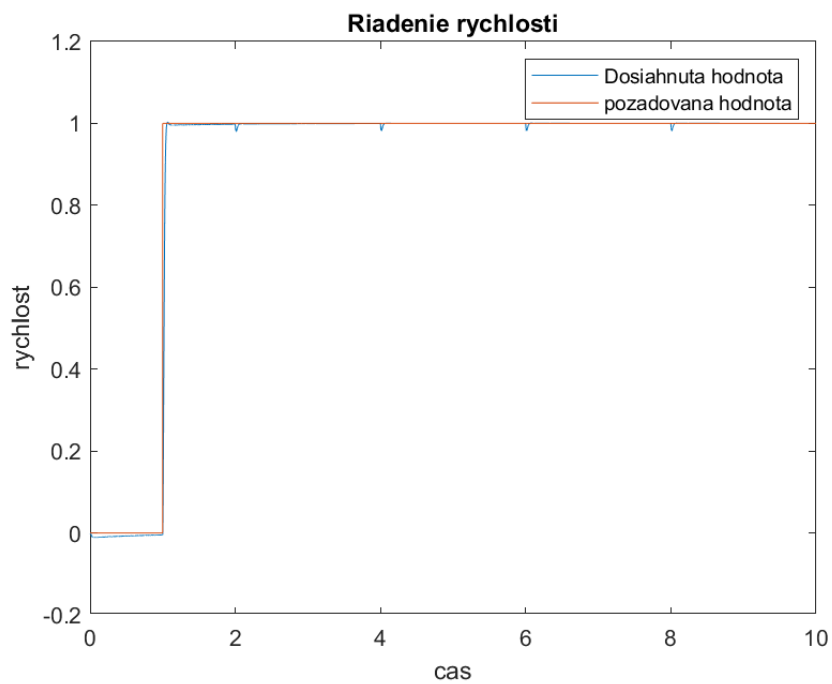
## 2.6. Malá hodnota koeficientu tuhosti $K_e$



Obr. 19:  $M_m$  pri zmene  $K_e$  na malé

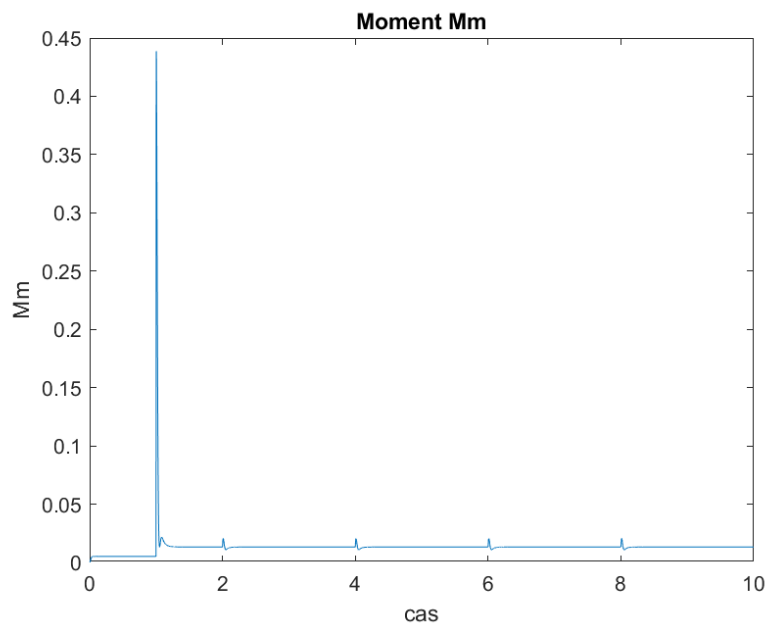


Obr. 20:  $M_p$  pri zmene  $K_e$  na malé

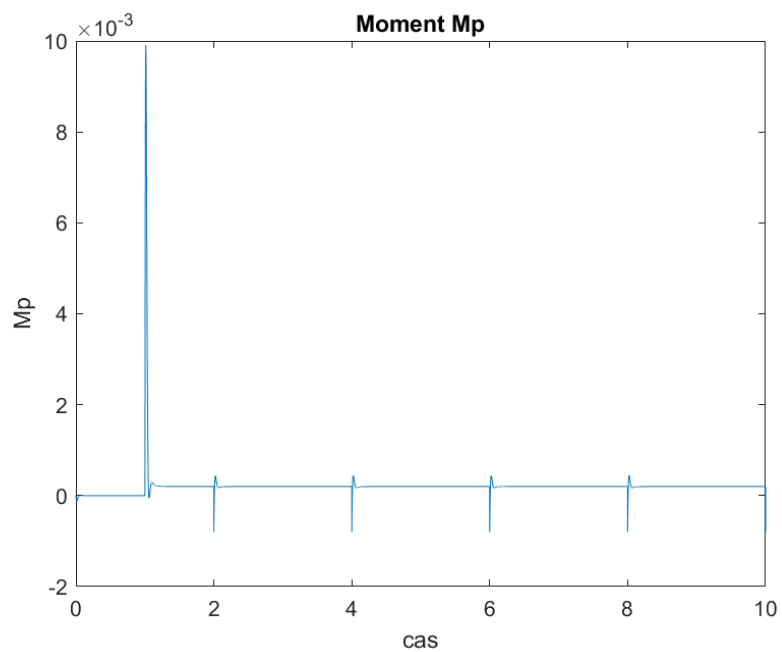


**Obr. 21: Omega pri zmene  $K_e$  na malé**

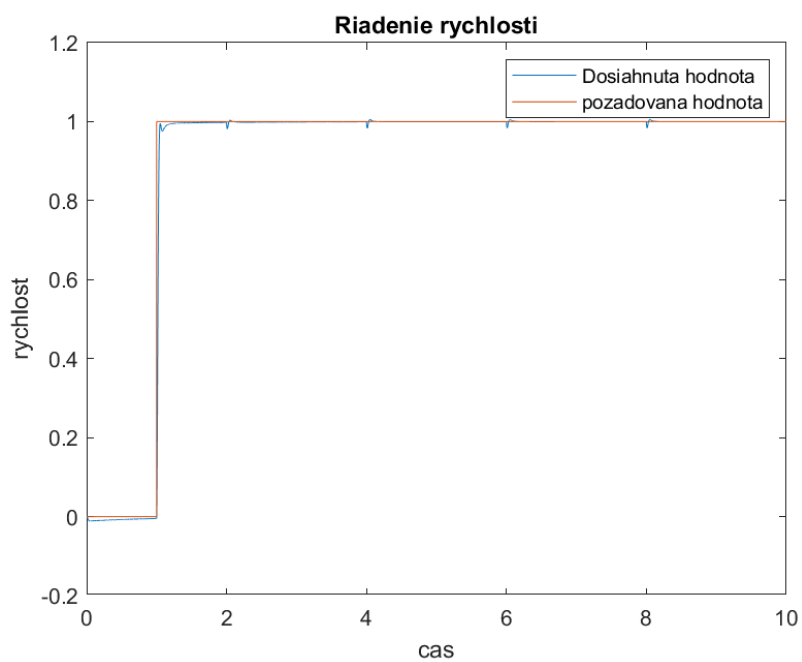
## 2.7. Veľká hodnota koeficientu tuhosti $K_e$



**Obr. 22: Mm pri zmene  $K_e$  na veľke**



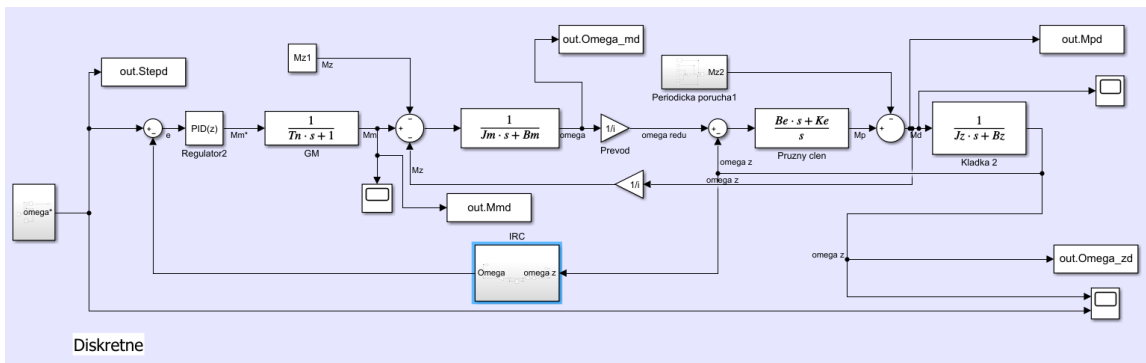
Obr. 23:  $M_p$  pri zmene  $K_e$  na veľké



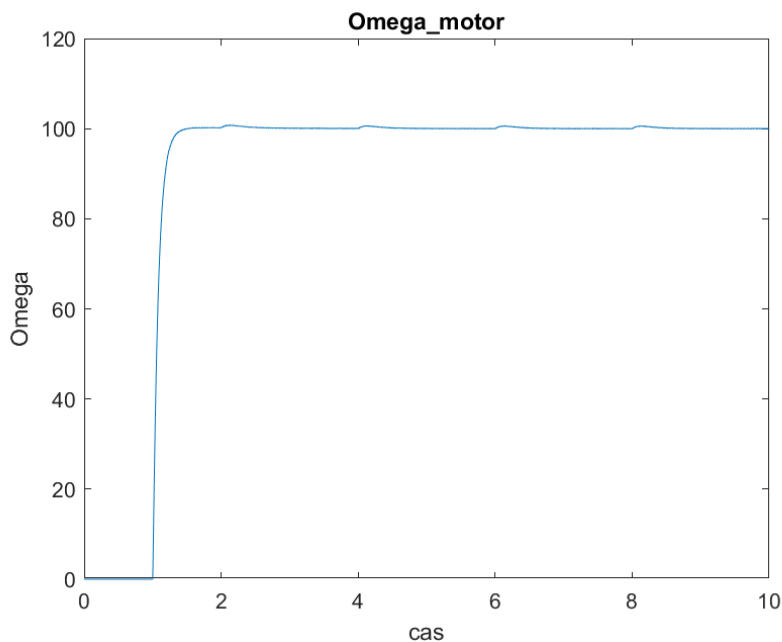
Obr. 24: Omega pri zmene  $K_e$  na veľké



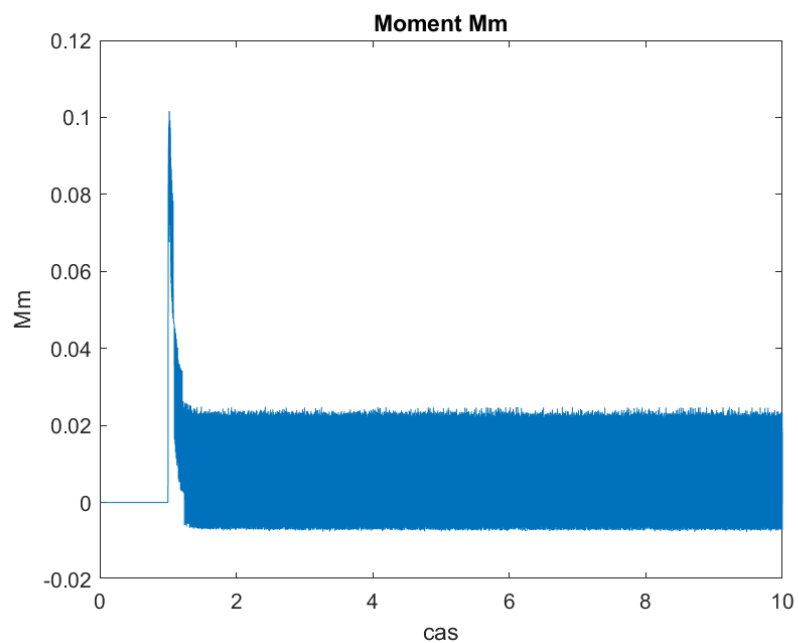
### 3. Diskrétné riadenie



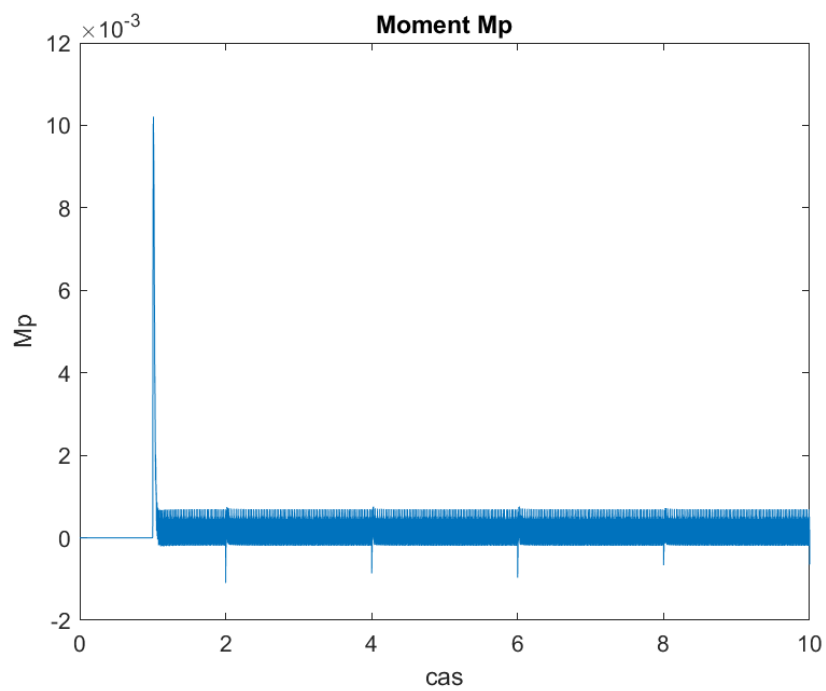
Diskrétné riadenie uhlovej rýchlosti záťaže. Meraná hodnota uhlovej rýchlosti je vykonaná prostredníctvom IRC snímača. Taktiež PID regulátor je diskrétného typu. V systéme sú prítomné dve záťaže a to na vstupe do motora a vstupe do kladky. Prvá záťaž je konštantného typu a druhá záťaž má periodický charakter v závislosti na čase.



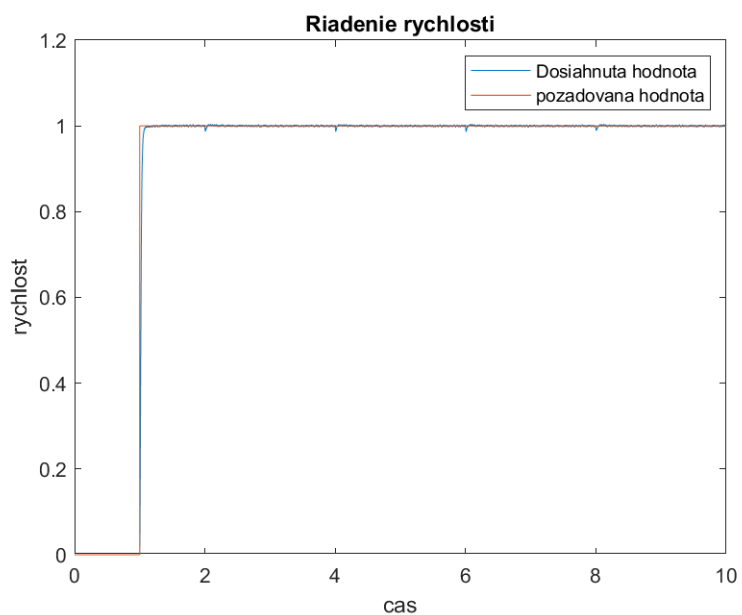
Obr. 25: Diskrétné Omega záťaže



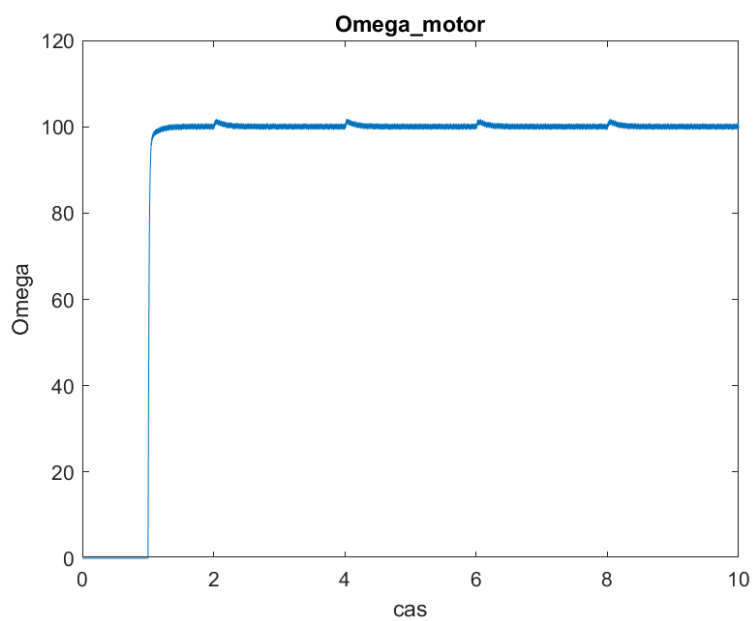
**Obr. 26: Diskrétné Mm**



**Obr. 27: Diskrétné Mp**



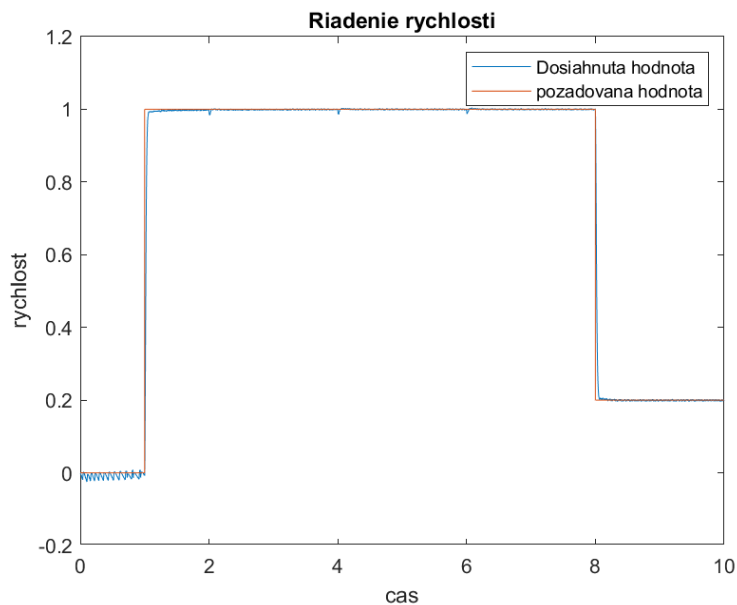
**Obr. 28: Diskrétné omega záťaže**



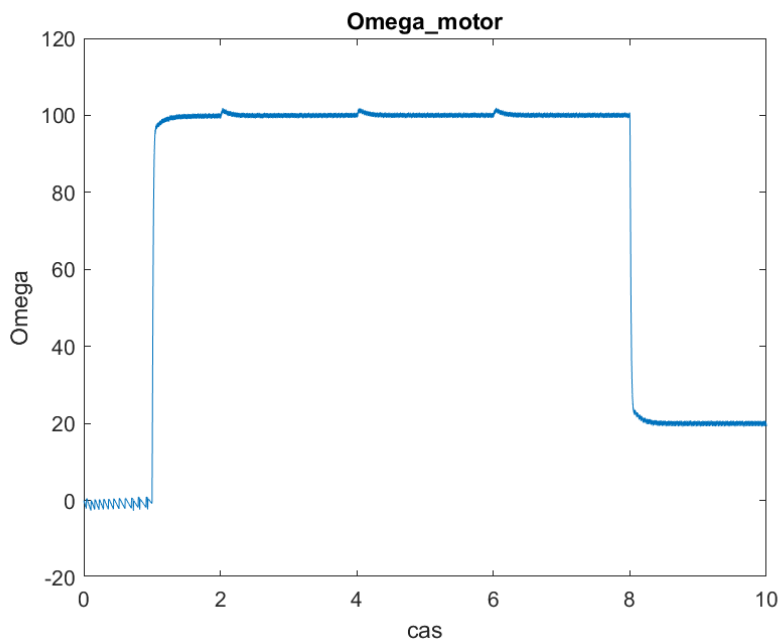
### 3.1. Diskrétné riadenie na dve hodnoty rýchlosti

V prípade ak sa daný systém použije na diskkrétne riadenie z 1 rad/s na 0 rad/s tak vzniknú výrazné oscilácie meranej hodnoty uhlovej rýchlosti zo záťaže. Riešením je zvýšiť prevod na 200. V prípade ak sa hodnota požadovanej rýchlosti nerovná 0 tak oscilácie pri diskrétnom riadení nevznikajú ako to je ukázane na Obr. 29.

#### Skok na inú hodnotu omega

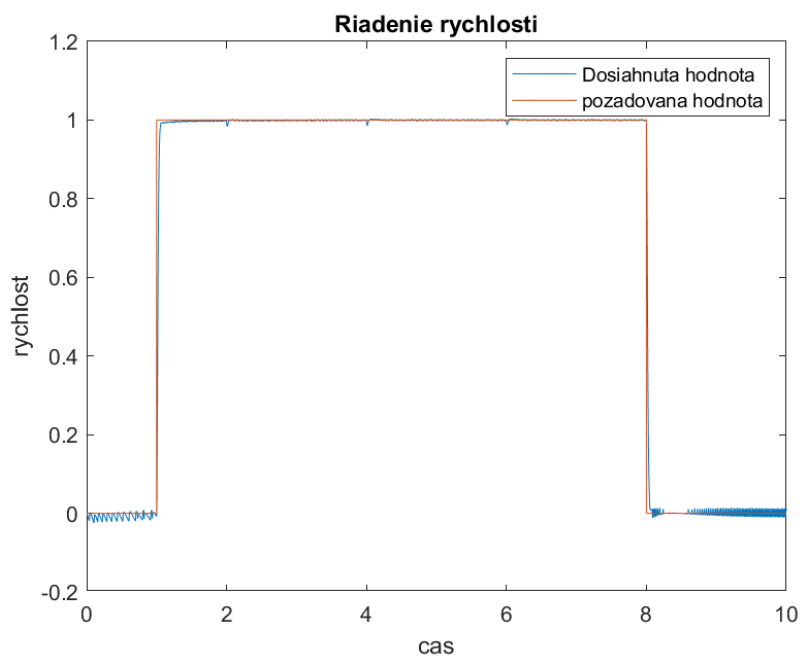


Obr. 29: skok na hodnotu 0.2

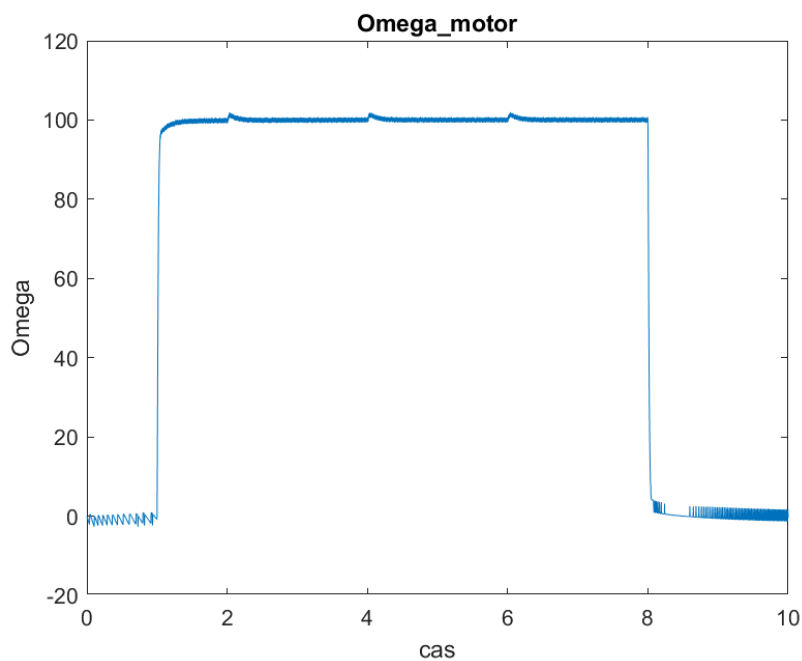


Obr. 30: Skok na hodnotu 0.2 pre omega motora

Bez upravy

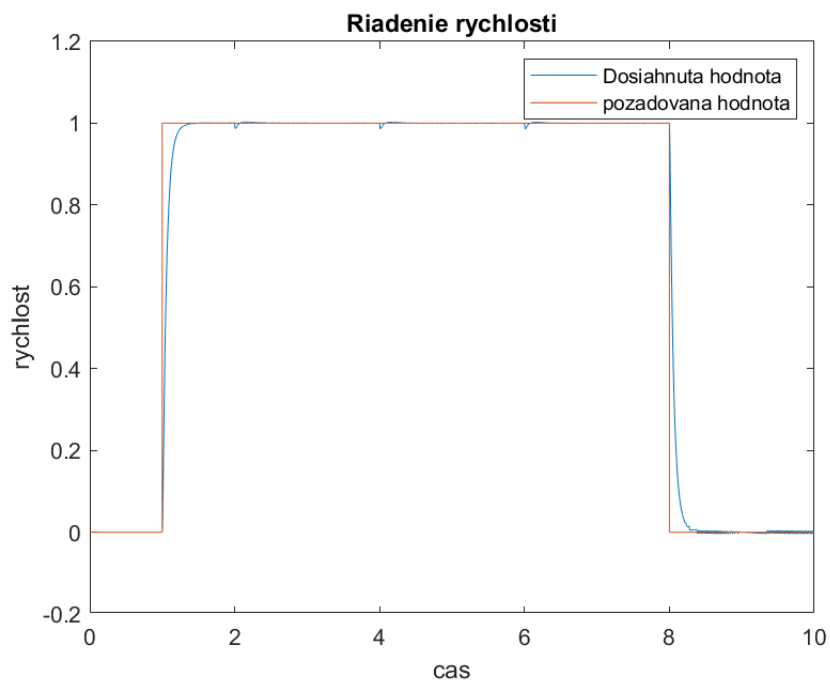


**Obr. 31: Skok na hodnotu omega 0**

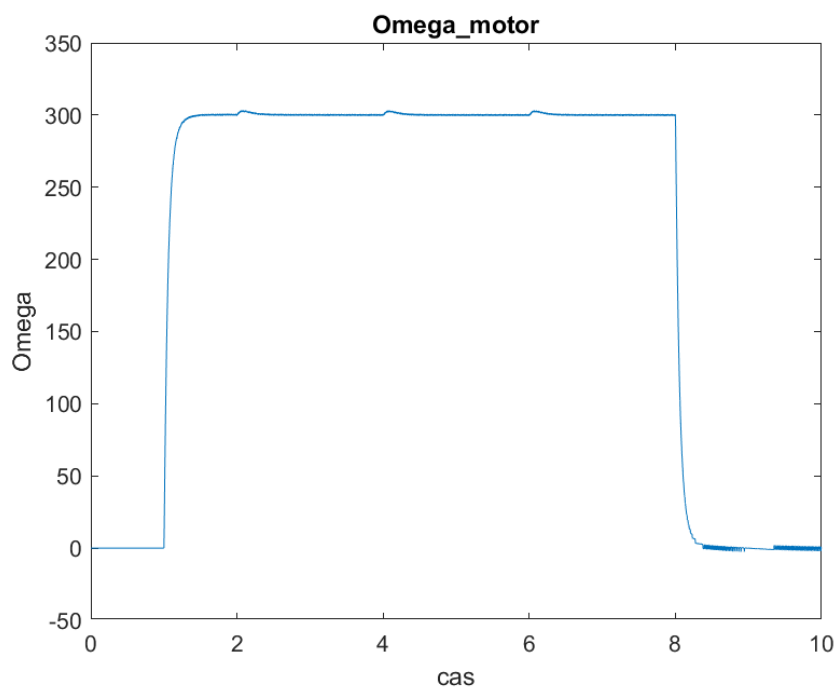


**Obr. 32: Skok na hodnotu 0 omega motora**

### Zväčšenie prevodu na $i=200$



**Obr. 33: Omega zát'aže po úprave prevodu**



**Obr. 34: Omega motora po úprave prevodu**

#### 4. Záver:

Riešenie pozostávalo z riešenia spojitého riadenia a diskretného riadenia. Experimenty s hodnotami  $K_e$ ,  $B_e$  a  $I$  boli vykonané na spojitom modeli. Riadenie pozostávalo v prvej časti len z jedného skoku z hodnoty uhlovej rýchlosti 0 na 1 rad/s. Následne bol model overený aj pre ďalší skok a to späť na 0 rad/s. Z experimentu vyplýva, že najväčší vplyv na reguláciu rýchlosti má koeficient tlmenia a prevod. V prípade koeficienta tlmenia sa preukázalo, že so zvyšujúcou hodnotou rastie stabilita systém. Nedochádza k prekmitom rýchlosti. Podobný vplyv má aj prevod. Použitý prevod bol 1/100. Prevod zvyšuje celkovú stabilitu ale aj spomaľuje reguláciu. V prípade diskretného riadenia bolo zistené, že hodnota pri danom prevode 1/100 osciluje pri spätnom poklese na nulu. V prípade zvolenia inej hodnoty ako 0 sa táto udalosť ďalej nevyskytla. Ďalším riešením bolo zvýšiť prevod na 1/200.