



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií



# TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍZENÍ

---

*Oddělení řízení procesů*

*Lukáš Hubka, Petr Školník, Jaroslav Hlava*





# 5. CVIČENÍ

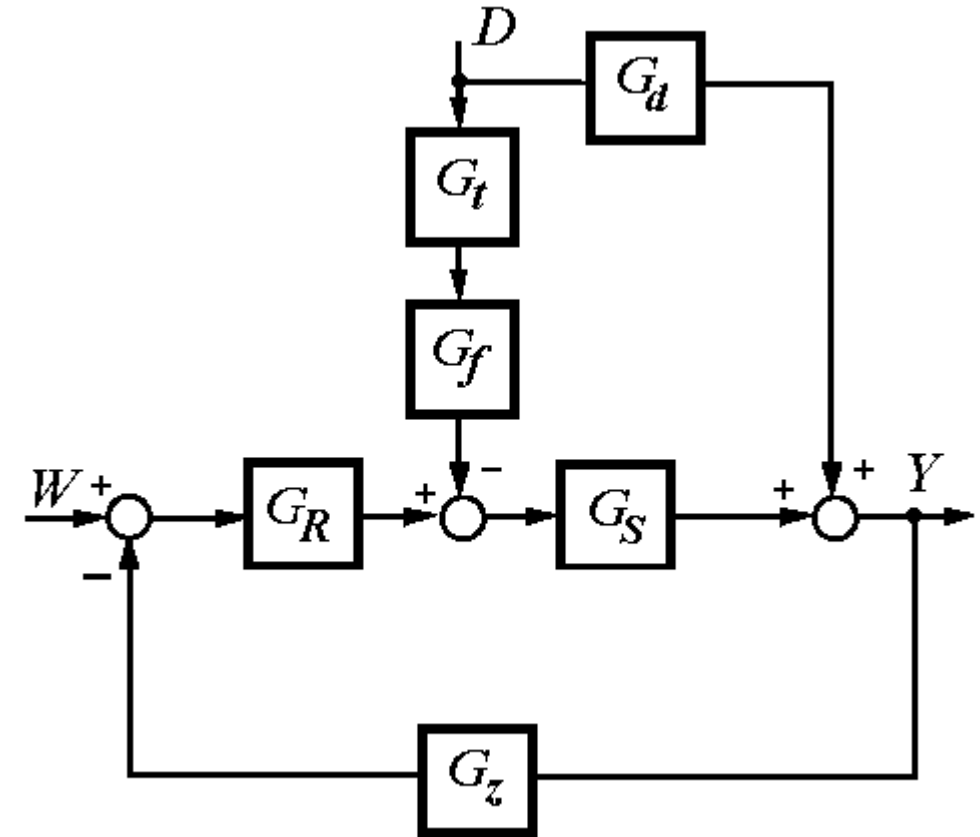
*Dopředná kompenzace*

## Dopředná kompenzace poruchy

- ❑ Návrh (výpočet) kompenzačního regulátoru (filtru) je založen na myšlence nulového přenosu účinků poruchy  $d$  na výstup  $y$ .

$$Y = \frac{G_R G_S}{1 + G_R G_S G_Z} W + \frac{G_d - G_t G_f G_S}{1 + G_R G_S G_Z} D$$

- ❑ Nulový účinek poruchy, tedy  $G_d - G_t G_f G_S = 0$ , z toho kompenzační filtr  $G_f = \frac{G_d}{G_t G_S}$ .
- ❑ Regulátor je nerealizovatelný, pokud dopravní zpoždění v  $G_S$  je větší než v  $G_d$ .
- ❑ Jeho realizovatelnost může být omezená, pokud je dynamika odezvy  $G_S$  výrazně pomalejší než je dynamika odezvy  $G_d$  (přenos  $G_f$  má výrazně derivační charakter).

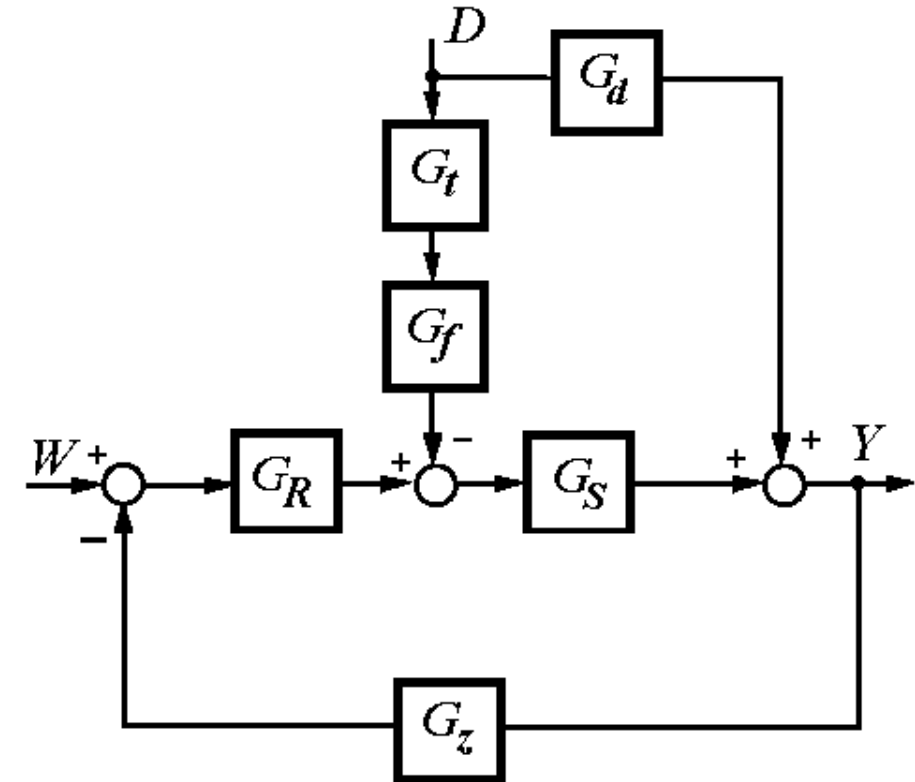


## Problém #1 – „školní“ příklad

- ❑ Uvažujme strukturu řízeného procesu dle obrázku.
- ❑ Navrhněte řízení výstupní veličiny, které bude optimální při sledování změn žádané hodnoty a zároveň se pomocí dopředné vazby vypořádá s měřenou poruchou.
- ❑ Přenosy jsou:

$$G_S = \frac{0,6}{15s + 1} e^{-2s}, G_d = -\frac{0,2}{10s + 1} e^{-2s}$$
$$G_t = G_z = 1$$

- ❑ Nalezněte vhodný regulátor  $G_R$  a kompenzační filtr  $G_f$  a nasimulujte odezvy na skokové změny  $w$  a  $d$ .
  1. Nalezněte regulátor  $G_R$  pomocí SIMC, CH-H-R a vyberte ten lepší, případně ručně doladte. Simulujte sledování skokové změny žádané hodnoty v čase  $t = 0$  s a poruchy v čase  $t = 100$  s.
  2. Proveďte úplnou kompenzaci ( $G_f$  je filtr).
  3. Proveďte statickou kompenzaci ( $G_f$  je konstanta).
  4. Jak se změní výstup při (úplné) kompenzaci měřené poruchy, pokud  $G_t = \frac{1}{0,8s+1}$ ?



- ❑ Uvažujme problém #2 ohřevu tvářecí formy z cvičení 3.
- ❑ Teplota granulátu na vstupu je cca 25 °C. Výrobní cyklus má
  - část ohřevu – teplota komory 230 °C, plast je tlačěn do formy,
  - část relaxace – teplota komory 190 °C, plast je pouze ohříván do tekutého stavu, šetření energií.
- ❑ Ohřev je realizován odporovým drátem uvnitř šnekového podavače. Přenos energie lze popsat přenosem

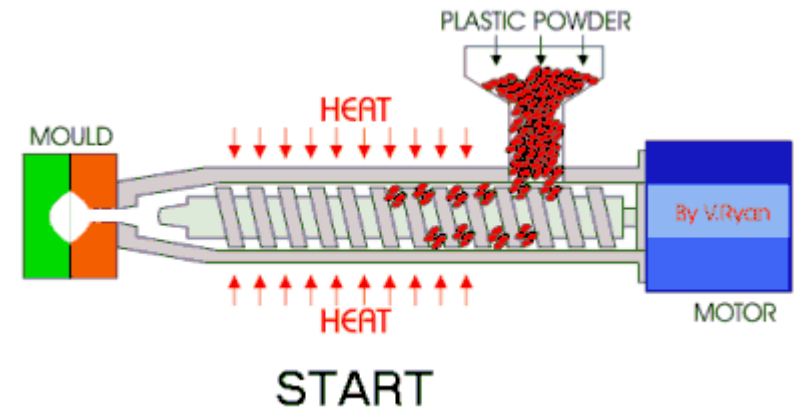
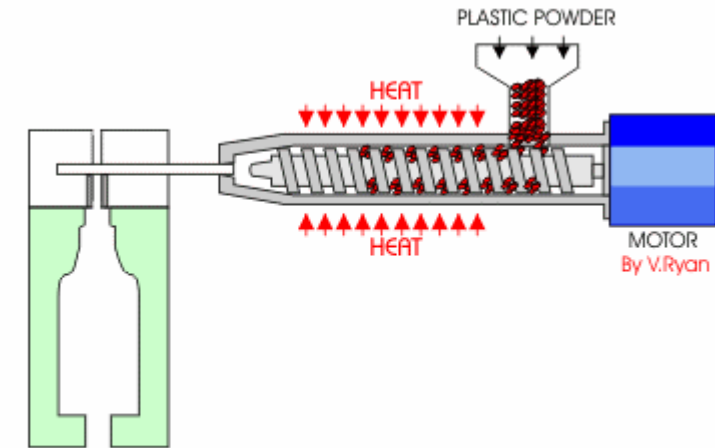
$$G = \frac{80}{(1,4s + 1)^4}.$$

- ❑ Granulát vstupující do procesu může mít různou teplotu, která ovlivňuje proces přenosem na výstup

$$G_d = \frac{s + 0,5}{(1,4s + 1)^4}$$

- ❑ Nechť je teplota granulátu měřená čidlem.
- 1. **Vylepšete řízení teploty plastu vstřikovaného do formy – dosažení teploty 230 °C po relaxaci (např. metodou SIMC) přidáním vhodného kompenzačního členu pro minimalizaci vlivu poruchy!**
- 2. **Testujte chování regulátoru pro proměnnou teplotu granulátu (10 °C – granulát skladován vně haly, případně např. změna v podobě sin funkce).**
- 3. **Porovnejte výsledek regulace s a bez dopředného kompenzačního členu.**

## Problém #2 – Ohřev tvářecí formy



- ❑ Sušení materiálu (dřevo, potraviny, barva, ...) je standardním technologickým úkolem se striktními požadavky. Sušení probíhá v sušících pískách, které mají obvykle externí technologii předzpracování – vysušení – vstupujícího vzduchu. Pro ohřev vzduchu je využíváno tepelné čerpadlo nebo elektrická spirála.
- ❑ Předpokládejme, že chceme dlouhodobě udržet konstantní (žádanou) teplotu uvnitř pisky po vložení materiálu i během sušícího procesu.
- ❑ Navíc chceme urychlit výrobní cyklus a po otevření vrat (vždy 3 minuty) umožnit dosáhnout požadovaného teplotního intervalu (odchylka pod 1 %) v co nejkratším čase.
- ❑ Přenos mezi el. příkonem topného tělesa a teplotou komory je

$$G = \frac{100}{(35,7s + 1)^2}.$$

- ❑ Otevření vrat je rozpoznatelné pomocí logického signálu (log0, log1). Vliv otevření vrat můžeme popsat přenosem

$$G_d = -\frac{0,5s + 86}{(24,9s + 1)^2}.$$

- ❑ Předpokládejme, že přenos  $G_d$  při návrhu přesně neznáme.
1. **Navrhněte regulátor pro udržení žádané teploty 200 °C (ustálení po skoku reference do 200 s, překmit pod 1 %)!**
  2. **Navrhněte dopřednou kompenzaci poruchy a otestujte!**
  3. **Porovnejte výsledek regulace s a bez dopředného kompenzačního členu.**

## Problém #3 – Vyhřívání sušící pisky



## Problém #4 – Regulace koncentrace krmné směsi

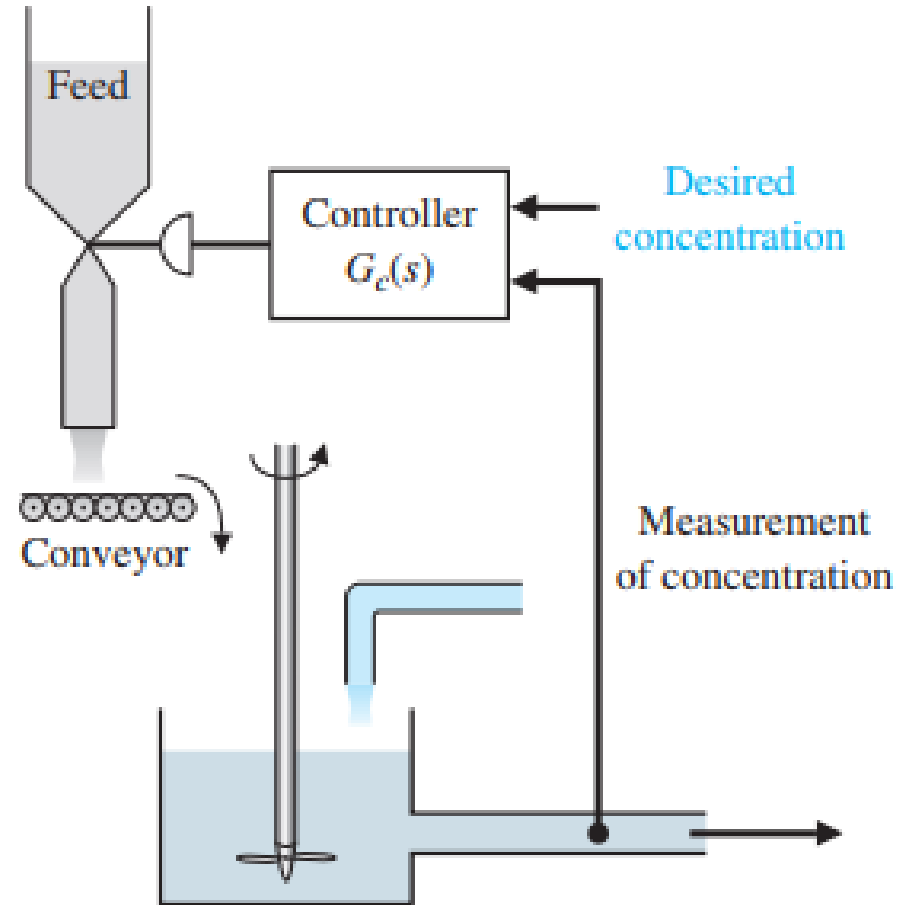
- ❑ Systém přijímá granulované krmivo s různým složením a je ředěno tekutinou. Úpravou polohy ventilu přísunu granulí chceme udržovat konstantní složení výstupní směsi. Přeprava krmiva po dopravníku potřebuje čas 1,5 s.
- ❑ Reakci změny rychlosti průtoku granulí na polohu ventilu lze popsat přenosovou funkcí  $G_v$ . Samotná dynamika procesu „výroby“ (směšování) krmiva v nádrži je pospaná přenosovou funkcí  $G_n$ . Senzor na měření koncentrace má vlastní dynamiku  $G_s$ .

$$G_v = \frac{1}{6s + 1}, G_n = \frac{5}{(5s + 1)^3}, G_s = \frac{1}{0,3s + 1}$$

1. **Sestavte blokové schéma problému. Systém může být ovlivněn poruchou na vstupu  $d_1$  - změna kvality krmiva a poruchou v podobě změny „kvality či kvantity“ dodávané tekutiny do nádrže  $d_2$ . Vliv této poruchy na kvalitu je popsán přenosem**

$$G_d = \frac{1}{(5s + 1)^2(15s + 1)}$$

2. **Navrhněte řízení koncentrace výstupní krmné směsi! Zaměřte se zejména na minimalizaci vlivu poruch.**

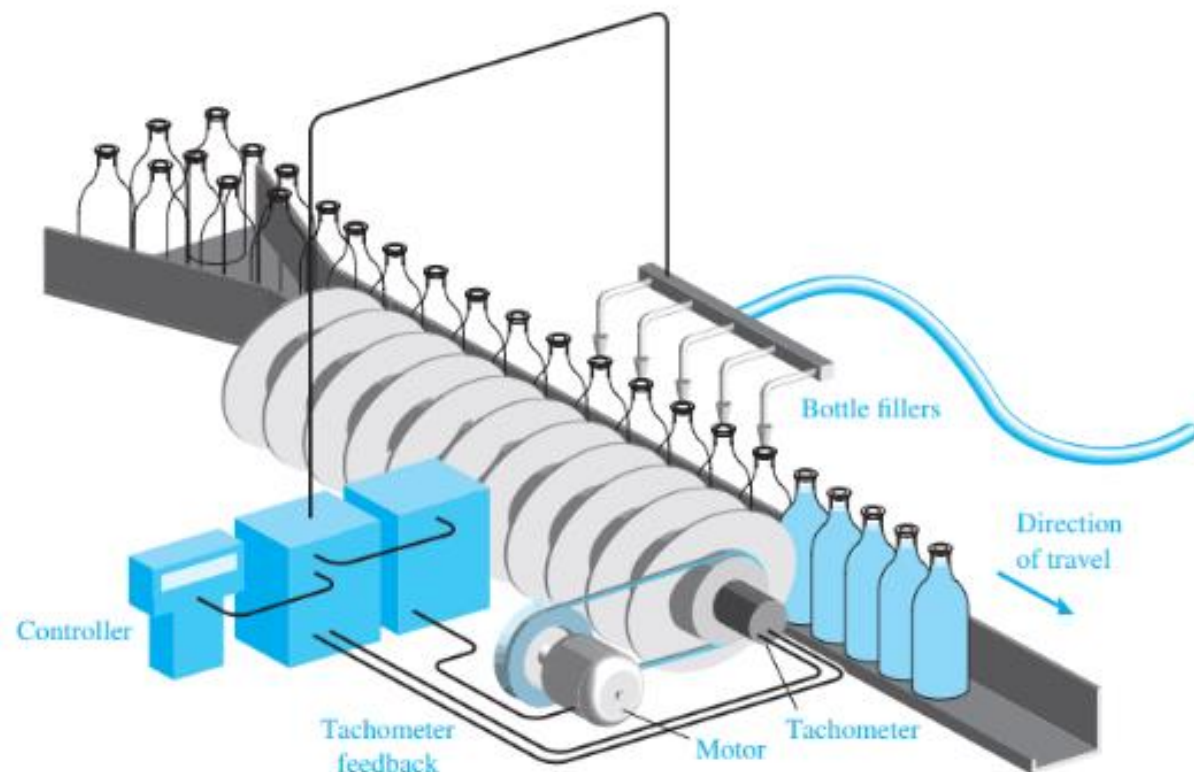


## Problém #5 – Rychlost pásu plniče lahví

- ❑ Plnicí linka na lahve používá šnekový mechanismus podavače, jak je znázorněno na obrázku. K udržení přesné požadované rychlosti pásu se používá zpětná vazba od otáčkoměru.
- ❑ Dynamika motoru je popsána přenosovou funkcí  $G_m$ ,  $G_s$  pak odpovídá dynamice šneku. Otáčkoměr konstrukčně odpovídá motoru a jeho dynamika je popsána funkcí  $G_o$ . Plnění lahví má vliv na rychlost pohybu pásu, což popisuje funkce  $G_d$ .

$$G_m = \frac{1}{(0,2s + 1)(2s + 1)},$$
$$G_s = \frac{1}{20s + 1}, G_o = \frac{1}{1,8s + 1}, G_d = \frac{-0,05}{20s + 1}$$

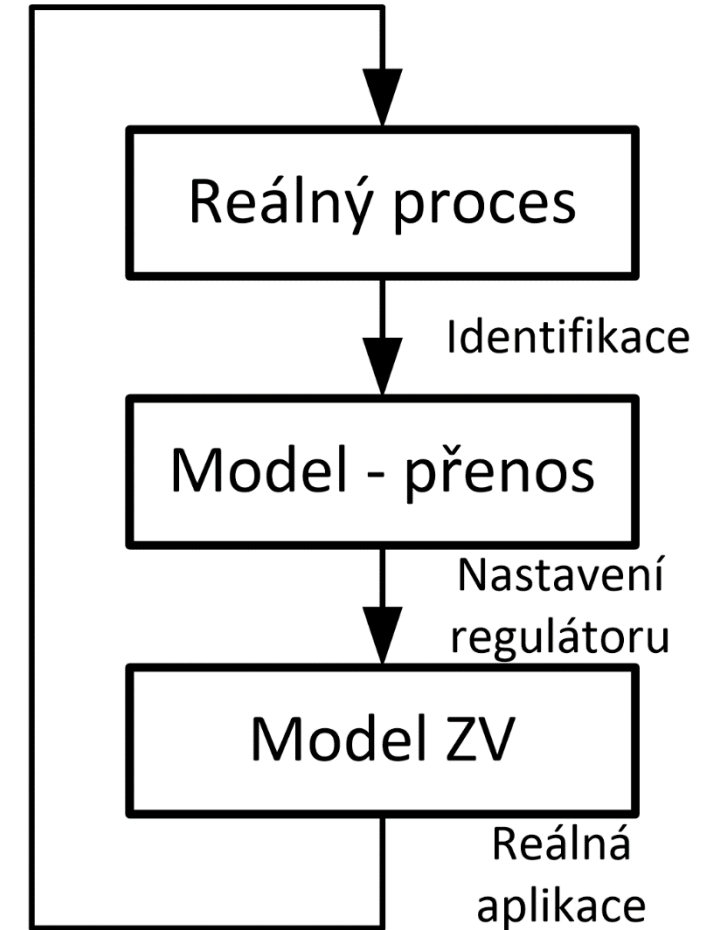
1. **Sestavte blokové schéma problému.**
2. **Nalezněte vhodný regulátor pro udržení konstantní rychlosti pohybu pásu, když buzení funkce  $G_d$  odpovídá pilovému signálu s periodou  $T = 2$  s!**





## Princip nastavení regulátoru v praxi

1. Pracujeme s reálným procesem
2. Aproximujeme chování reálného systému pomocí vhodného přenosu – model reálného systému
3. Zvolíme (dostaneme) požadavky na regulaci
4. Nalezneme parametry regulátoru (pomocí modelu)
5. Pokud máme možnost, simulačně otestujeme nastavení regulátoru na modelu
6. Aplikujeme parametry regulátoru na reálném procesu



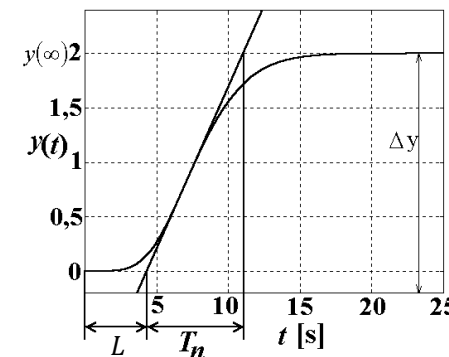
## Metoda Ziegler-Nichols

1. **varianta:** metoda ustálených kmitů – při vypnuté I a D složce je postupně zvětšováno proporcionální zesílení až do okamžiku, kdy se celý obvod dostane na mez stability a objeví se netlumené kmity s konstantní amplitudou. Frekvence těchto kmitů je rovna kritické frekvenci  $f_k = 1/T_k$  a zesílení P regulátoru (tzv. kritické zesílení)  $r_k$  je převrácenou hodnotou zesílení regulované soustavy na této frekvenci.

Regulátor	$r_0$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5r_k$		
PI	$0,45r_k$	$0,85T_k$	
PID	$0,6r_k$	$0,5T_k$	$0,125T_k$

2. **varianta:** vyhodnocení přechodové charakteristiky. Na základě doby průtahu  $T_u$ , doby náběhu  $T_n$  a statického zesílení  $K$  pak lze nastavit regulátor podle pravidel v tabulce.

$$u(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) e(s)$$



Regulátor	$r_0$	$T_i$	$T_d$
P	$T_n/(KL)$		
PI	$0,9T_n/(KL)$	$1,2L$	
PID	$1,2T_n/(KL)$	$2L$	$0,5L$

# Metoda Chiens, Hrones, Reswick

$G(s) = K \frac{e^{-Ls}}{Ts + 1}$ Regulátor	Aperiodický regulační pochod		Překmit max. 20%	
	Sledování skokových změn žádané hodnoty	Potlačení poruchových veličin	Sledování skokových změn žádané hodnoty	Potlačení poruchových veličin
<b>P</b>	$r_0 = 0,3 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,3 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$
<b>PI</b>	$r_0 = 0,35 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 1,2T$	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 4L$	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = T$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2,3L$
<b>PID</b>	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = T$ $T_d = 0,5L$	$r_0 = 0,95 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2,4L$ $T_d = 0,42L$	$r_0 = 0,95 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 1,35T$ $T_d = 0,47L$	$r_0 = 1,2 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2L$ $T_d = 0,42L$