

Návrh a simulace zkušební stolice olejového čerpadla

Autor:

Vedoucí diplomové práce:

Martin Krajíček

Prof. Michael Valášek

Cíle práce



1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

1. Vytvoření specifikace zařízení

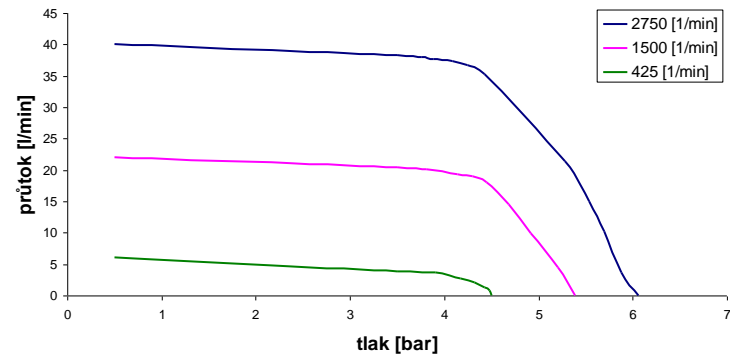
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

1. Specifikace zařízení

- ❑ Měřenými veličinami jsou tlak na výstupu z čerpadla, průtok oleje měřícím okruhem, teplota oleje v rezervoáru, ze kterého olej vstupuje přímo do čerpadla. Otáčky motoru a mechanický příkon čerpadla během zkoušky.

- ❑ První měřenou charakteristikou je závislost průtoku na tlaku

$$Q = Q.(p)_n$$



- ❑ Zároveň s touto charakteristikou je měřena i závislost mechanického příkonu na diferenciálním tlaku

$$P = P.(p)_n$$

- ❑ Z obou těchto průběhů, je spočítána průtoková a celková účinnost.

$$\eta_Q = \frac{Q}{Q_t}$$

- Druhou měřenou charakteristikou je závislost průtoku na otáčkách

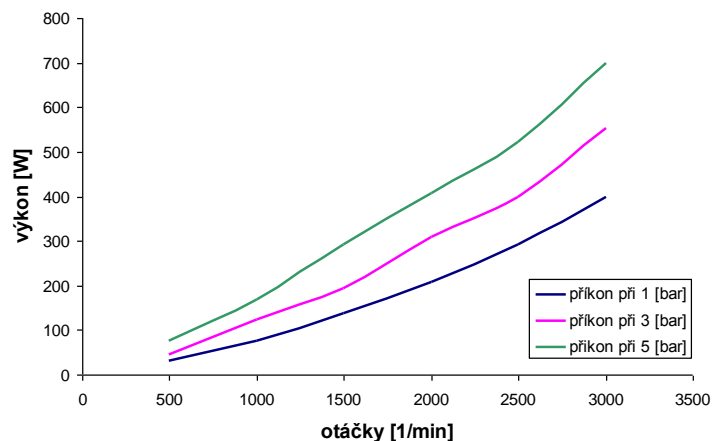
$$Q = Q.(n)_p$$

- Zároveň je měřena závislost výkonu a účinnosti přeměny mechanické energie na hydraulickou, při rostoucích otáčkách

$$P = P.(n)_p$$

$$P_h = Q.\Delta p$$

$$\eta_c = \frac{Q\Delta p}{M\omega}$$



- Požadované rozsahy měřených veličin, které musí být zařízení schopno měřit a regulovat:

- otáčky čerpadla 0 – 4000 min⁻¹
- teplota oleje 40 – 120 °C
- tlak oleje 0,5 – 5 bar
- průtok oleje 5 – 60 l.min⁻¹

1. Vytvoření specifikace zařízení

2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu

3. Vytvoření simulačního modelu zařízení

4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení

5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení

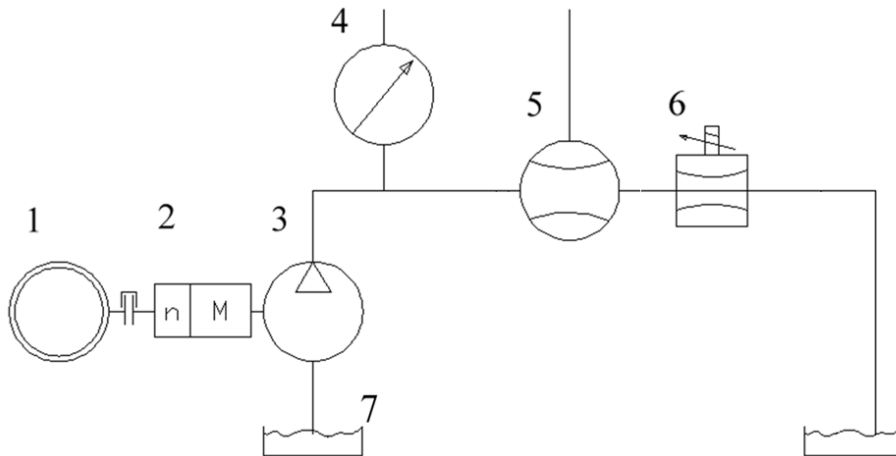
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení

7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu

8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

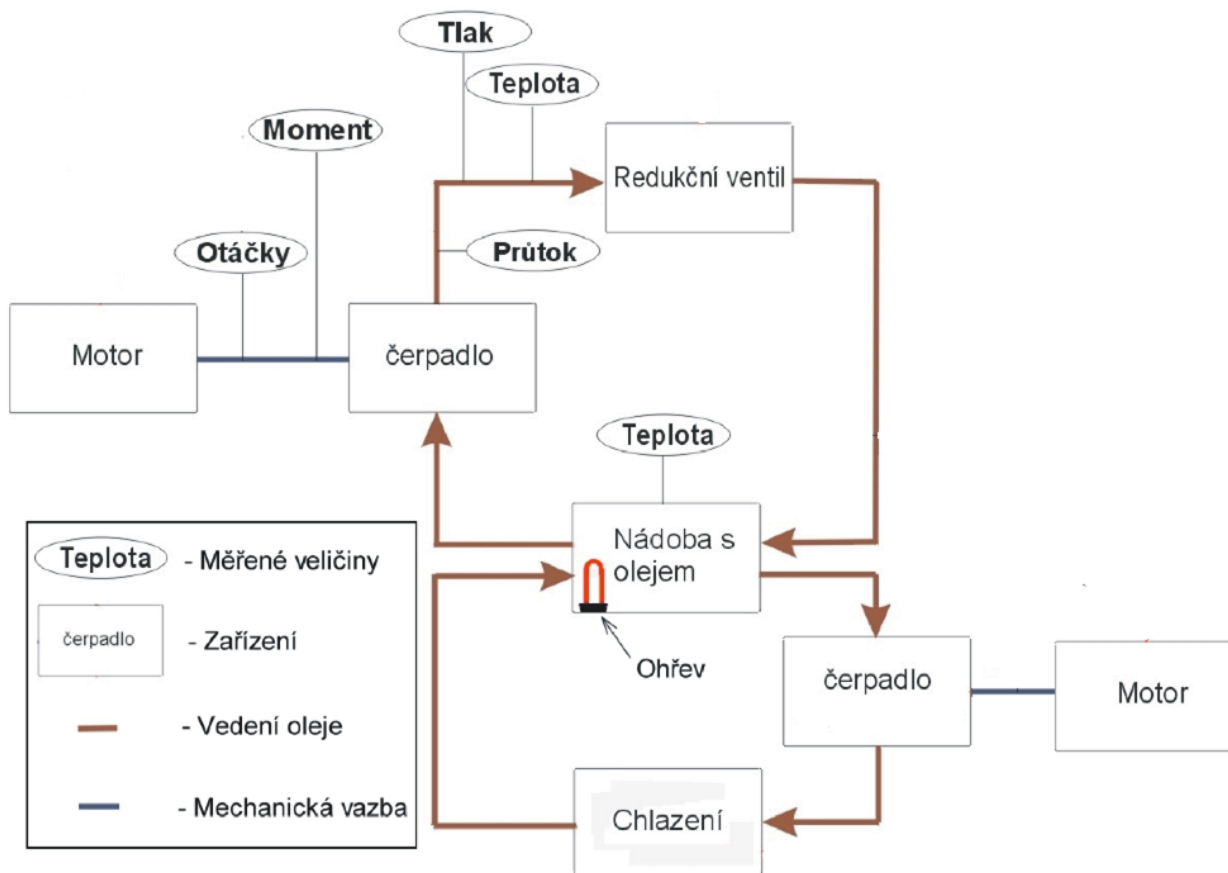
2. Návrh zařízení

- Snahou bylo navrhnout zařízení tak, aby bylo schopno vytvořit požadované podmínky zkoušky a dodržet požadované rozsahy veličin, bez nutnosti jakéhokoli zásahu do konfigurace při změně typu měřené zkoušky.



- 1 – mechanický pohon
- 2 – tenzometrický snímač tlaku kombinovaný s bezdotykovým snímačem otáček
- 3 – měřený hydrogenerátor
- 4 – snímač tlaku
- 5 – snímač průtoku
- 6 – regulační ventil
- 7 – rezervoár s olejem s konstantní teplotou

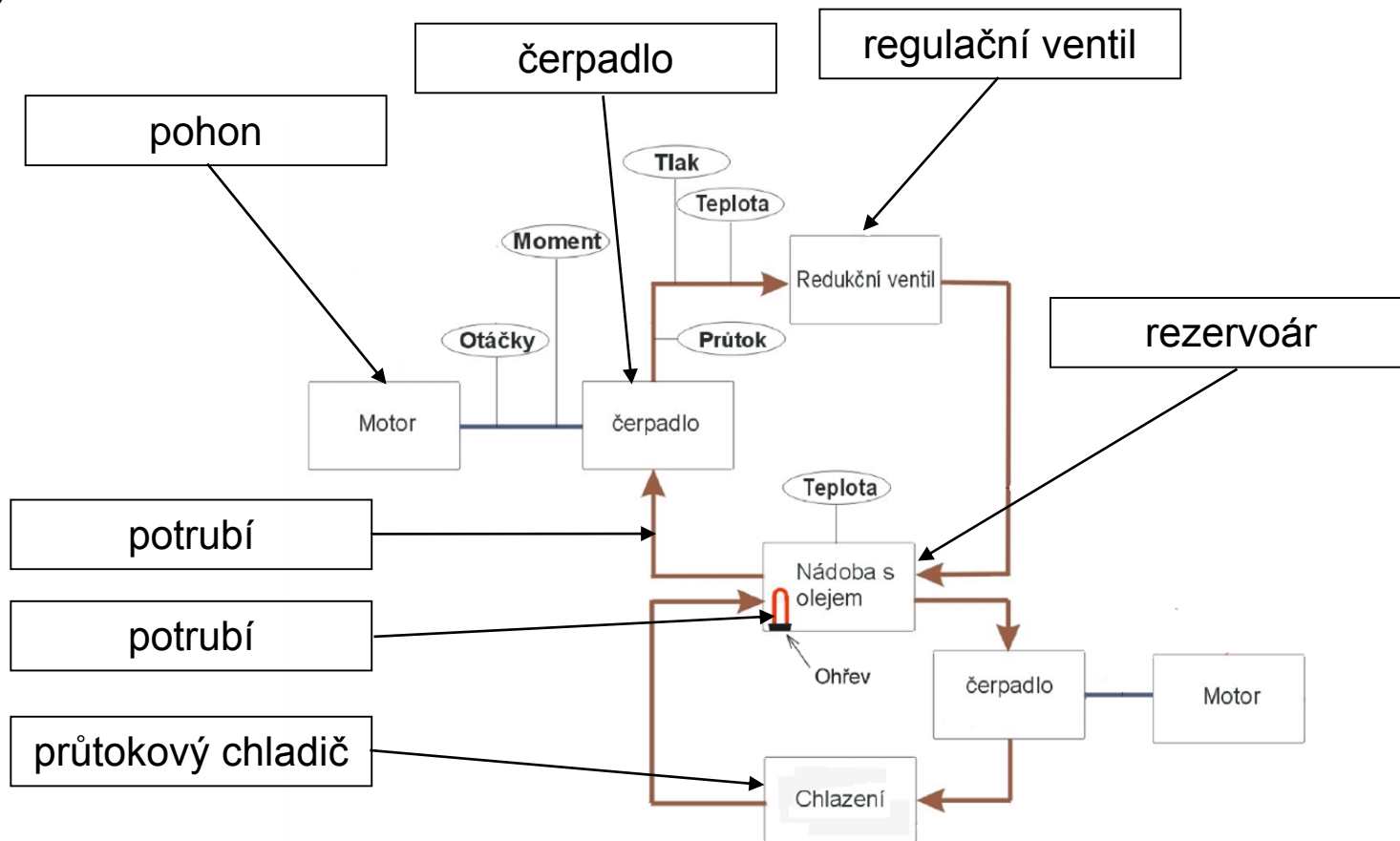
- Pro zajištění konstantní teploty byl navržen paralelní okruh, jehož hlavní funkcí je chlazení oleje v rezervoáru a zlepšení promíchávání oleje v rezervoáru.



1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
- 3. Vytvoření simulačního modelu zařízení**
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

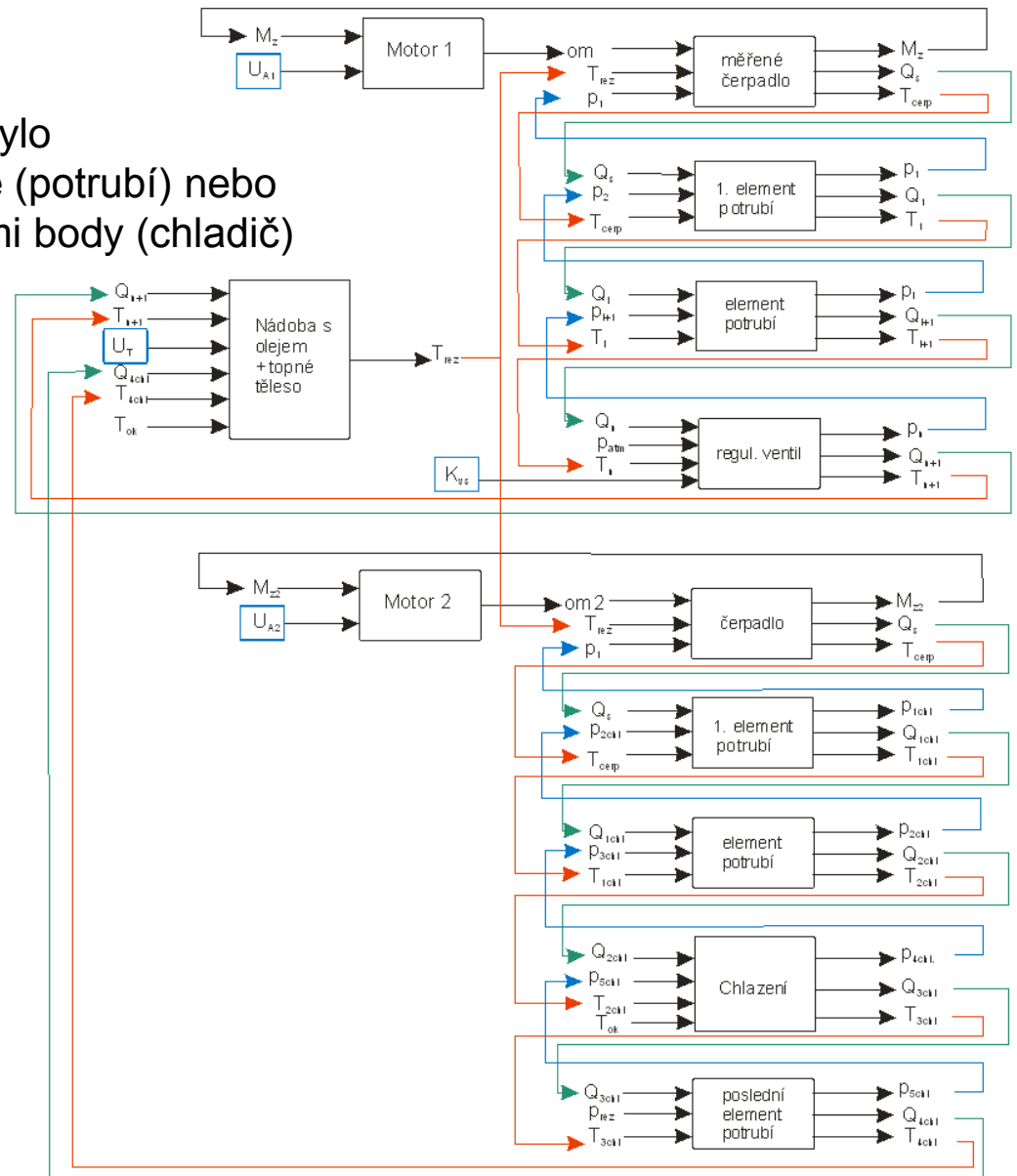
3. Simulační model

- Pro vytvoření celkového simulačního modelu, bylo třeba vytvořit matematické modely těchto zařízení:



- Každý model byl testován jednotlivě a teprve potom zahrnut do celkového modelu

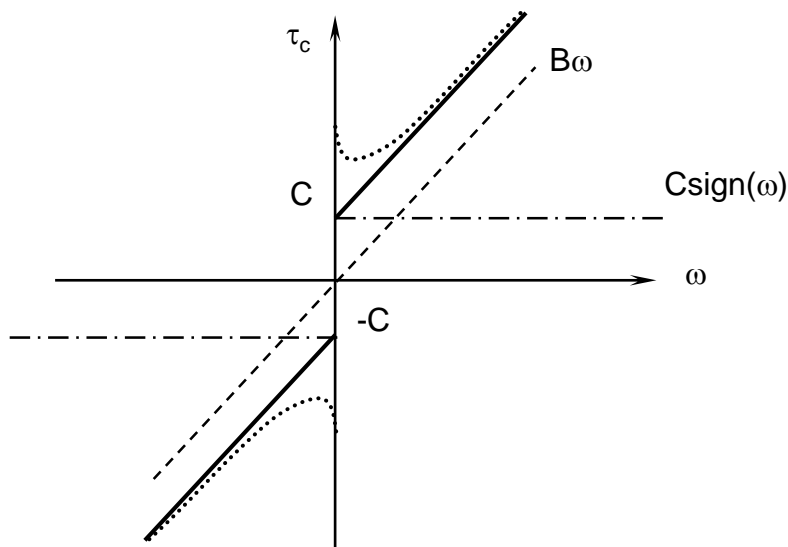
- Pro vytváření modelů jejichž přesné diferenciální rovnice nebyly známy bylo použito kombinace fyzikální analogie (potrubí) nebo interpolace mezi známými pracovními body (chladič)



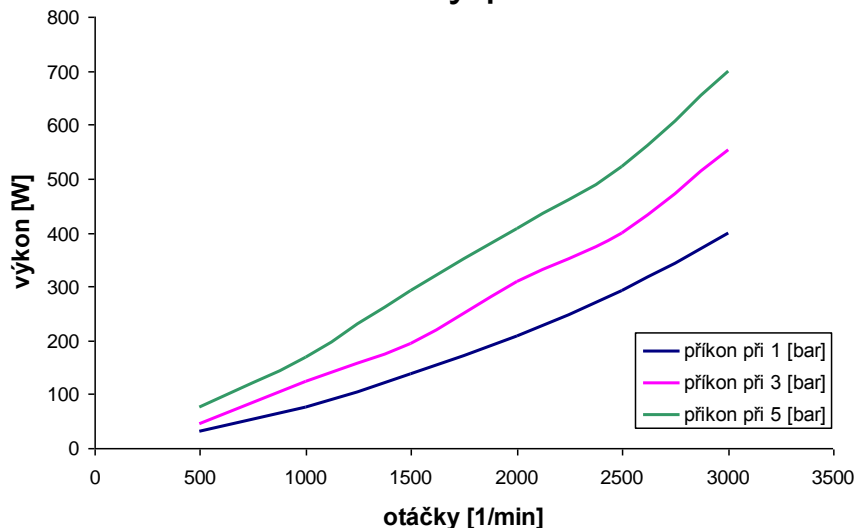
1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
- 4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení**
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

4. Upřesnění parametrů a identifikace zařízení

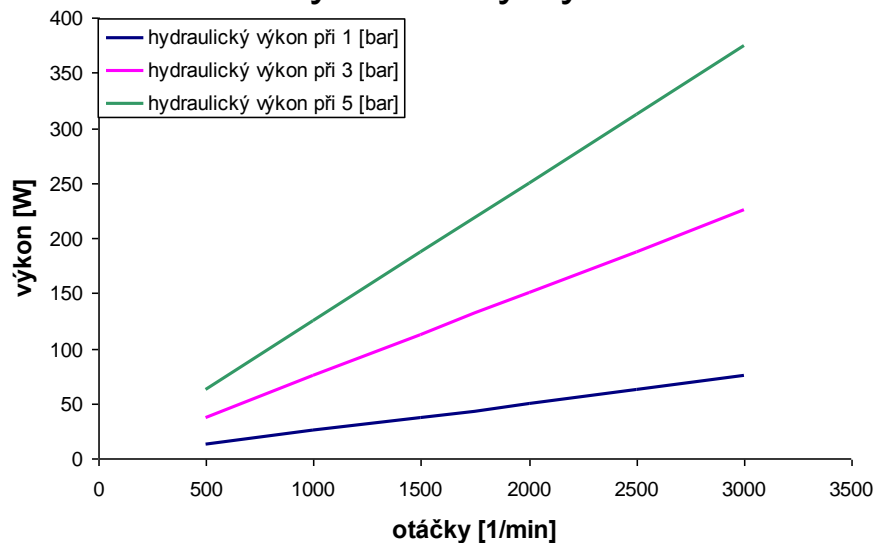
- K upřesnění parametrů jednotlivých akčních členů byly použity většinou údaje výrobce
- Některé koeficienty (např. stlačitelnosti oleje, tepelné kapacita oceli, tepelná vodivost) byly nalezeny v literatuře, jiné koeficienty (např. součinitele konvekce) byly odhadnuty
- K určení koeficientů tření uvnitř čerpadla, bylo použito identifikace koeficientů Coulombova a vazkého tření z naměřených dat



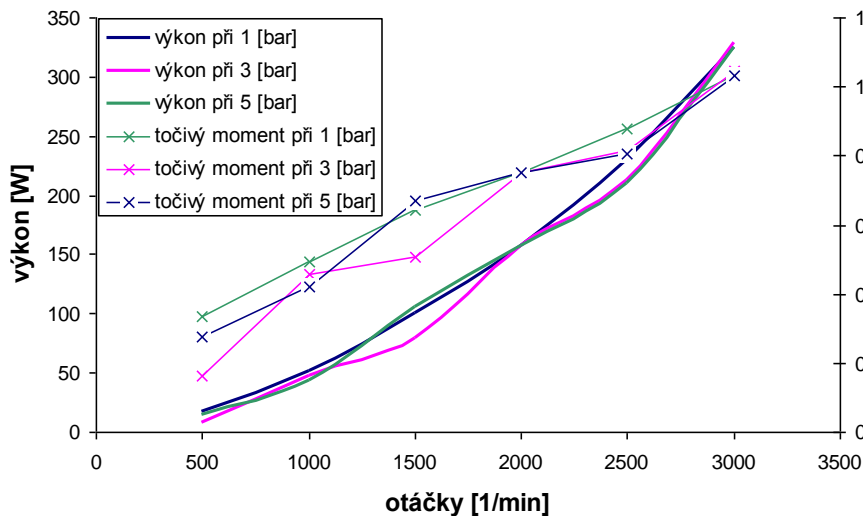
Naměřený příkon



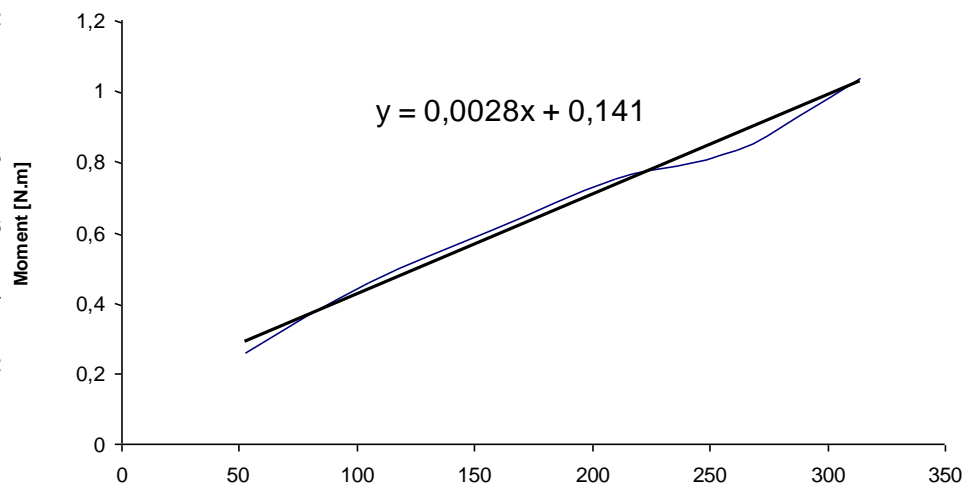
Hydraulický výkon



Zmařený výkon a moment



Směrnice charakteristiky momentu

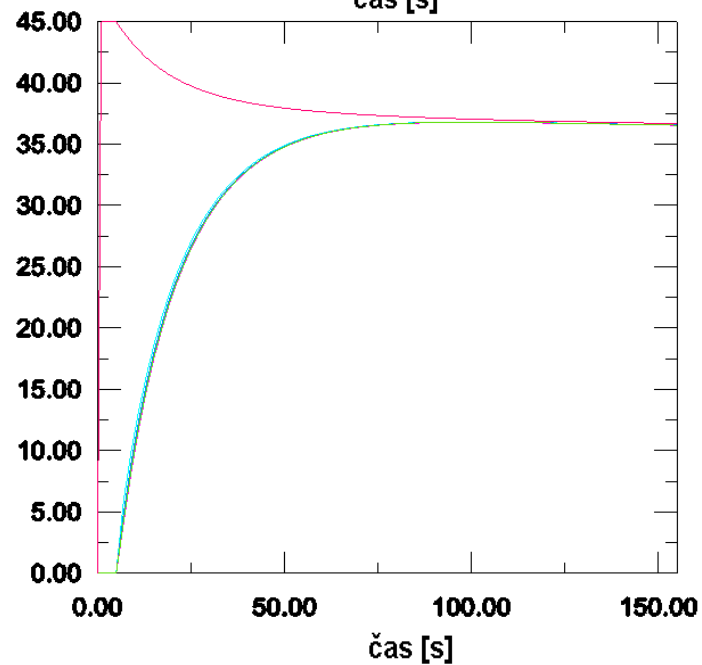
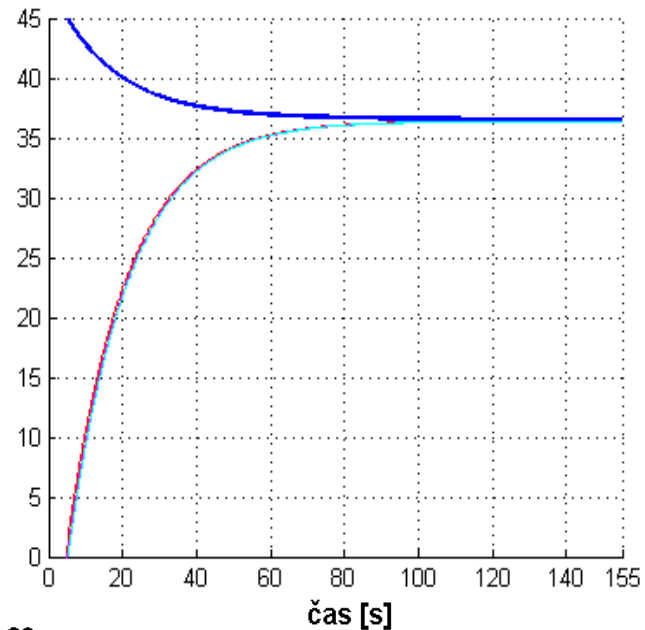
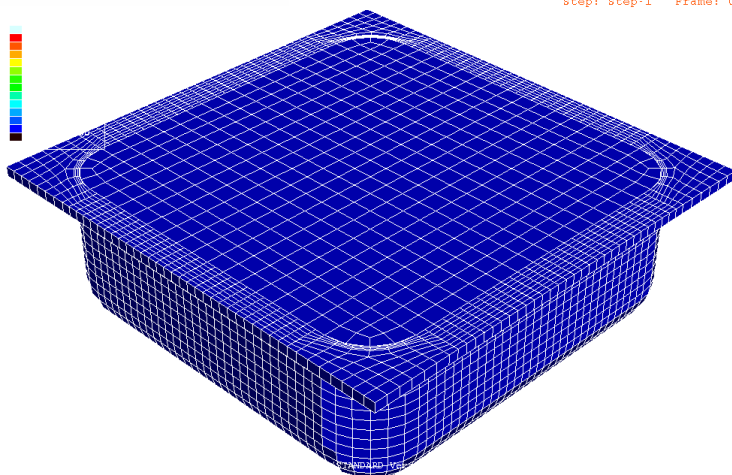
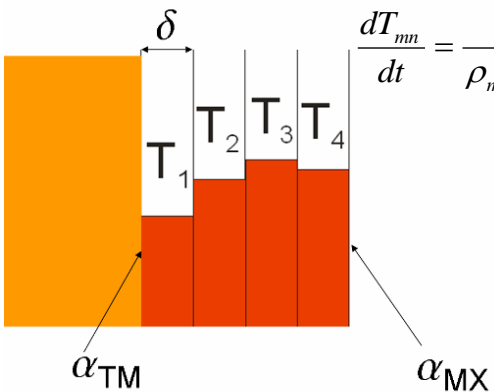


- Pro zpřesnění modelu rezervoáru oleje byla provedena simulace transientního jevu pomocí MKP software

$$\frac{dT_{m1}}{dt} = \frac{1}{\rho_m \cdot c_{Poc} \cdot V_m} \left[\alpha_{TM} \cdot S_{TM} \cdot (T_{rez} - T_{m1}) - \frac{\lambda}{\delta} S_{TM} \cdot (T_{m1} - T_{m2}) \right]$$

$$\frac{dT_{mi}}{dt} = \frac{1}{\rho_m \cdot c_{Poc} \cdot V_m} \left[\frac{\lambda}{\delta} S_{TM} \cdot (T_{mi-1} - T_{mi}) - \frac{\lambda}{\delta} S_{TM} \cdot (T_{mi} - T_{mi+1}) \right]$$

$$\frac{dT_{mn}}{dt} = \frac{1}{\rho_m \cdot c_{Pon} \cdot V_m} \left[\frac{\lambda}{\delta} S_{TM} \cdot (T_{m(n-1)} - T_{mn}) - \alpha_{MX} \cdot S_{MX} \cdot (T_{mn} - T_x) \right]$$

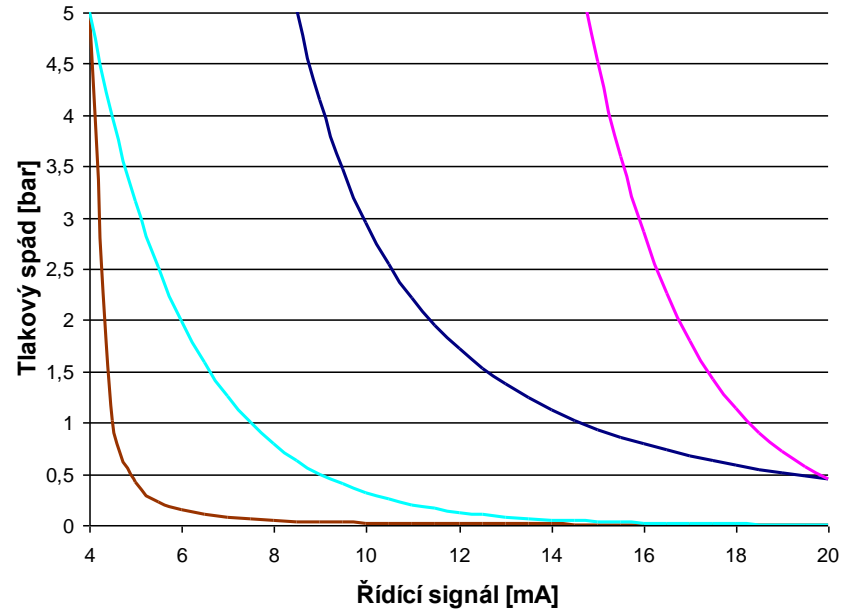
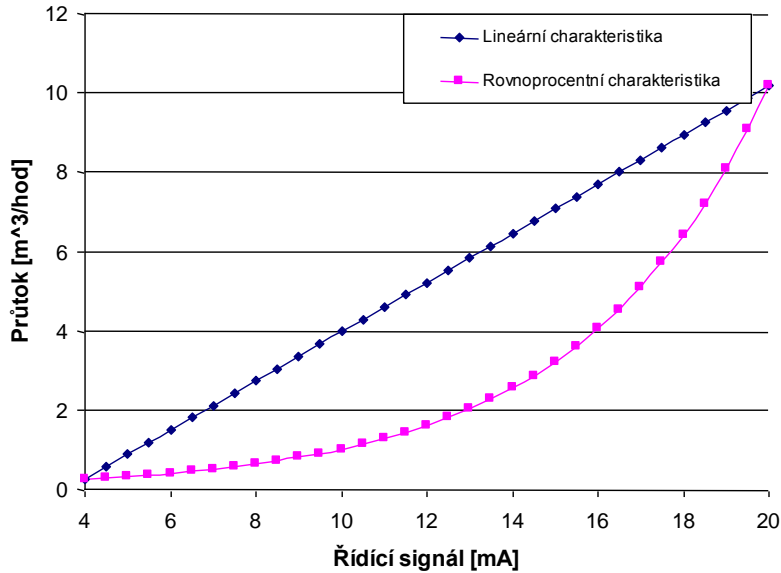


1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
- 5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení**
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

5. Návrh regulačních obvodů

Regulace tlaku:

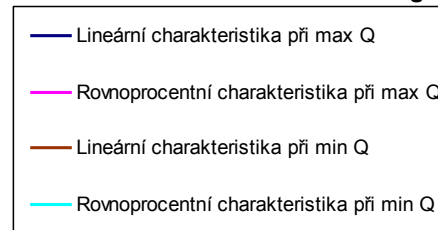
- ❑ Akční veličinou zdvih šoupátka ventilu, který je ovládán proudovým signálem 4 – 20 mA
- ❑ Ventil nabízí volbu mezi lineární a rovnoprocentní charakteristikou



$$\Delta p = \frac{Q^2 \cdot \rho}{kv^2 \cdot 1000}$$

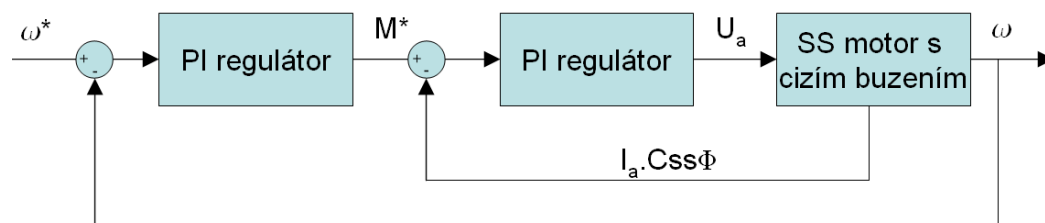
$$kv = kv_{\min} \cdot e^{\left(m \frac{h}{h_{100}}\right)}$$

$$kv = kv_{\min} + \frac{kv_{\max}}{kv_{\min}} \cdot \frac{h}{h_{100}}$$

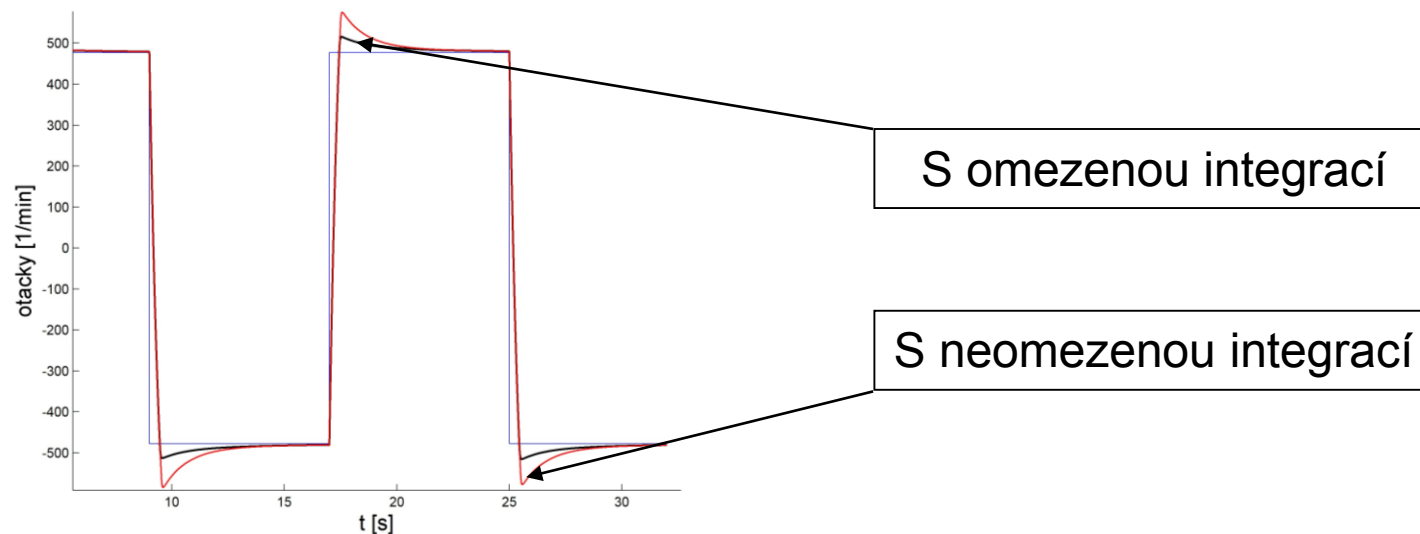


Regulace otáček:

- Motor bude provozován ve všech otáčkách se sníženým, konstantním budícím tokem pro dosažení požadovaných otáček a konstantního statického zesílení

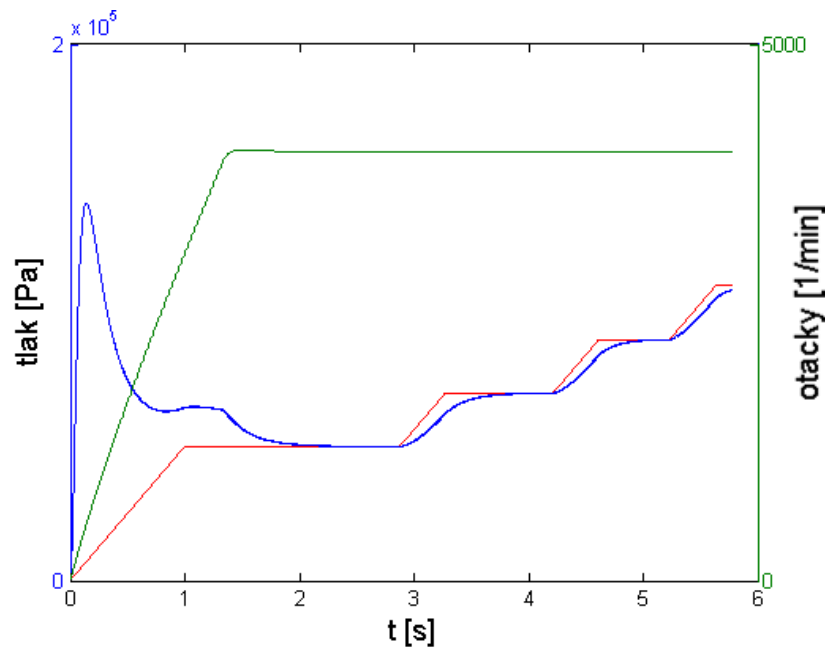
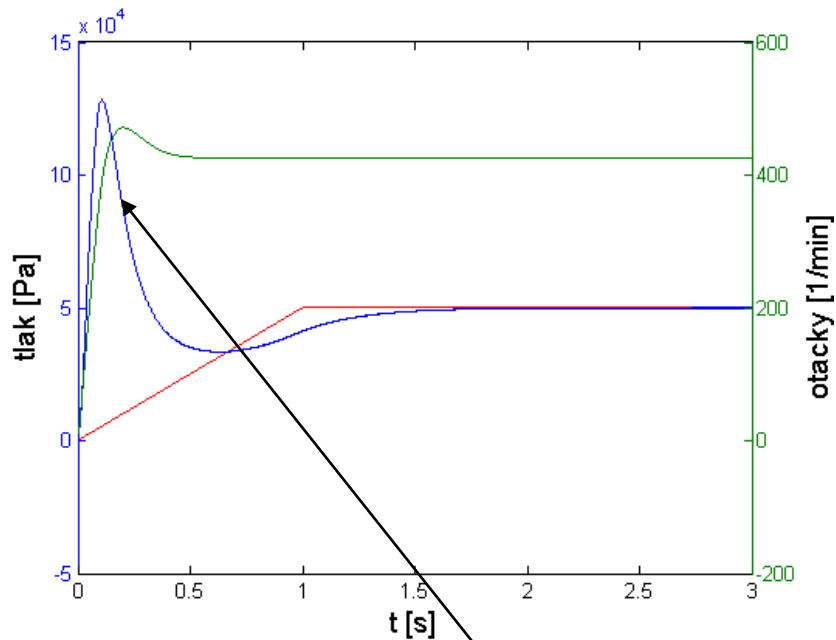


- Pro modelování integrační složky PI regulátorů v prostředí Matlab Simulink bylo použito integrátorů s dynamicky omezenou integrací



- Možná komplikací je interakce dvou regulačních obvodů

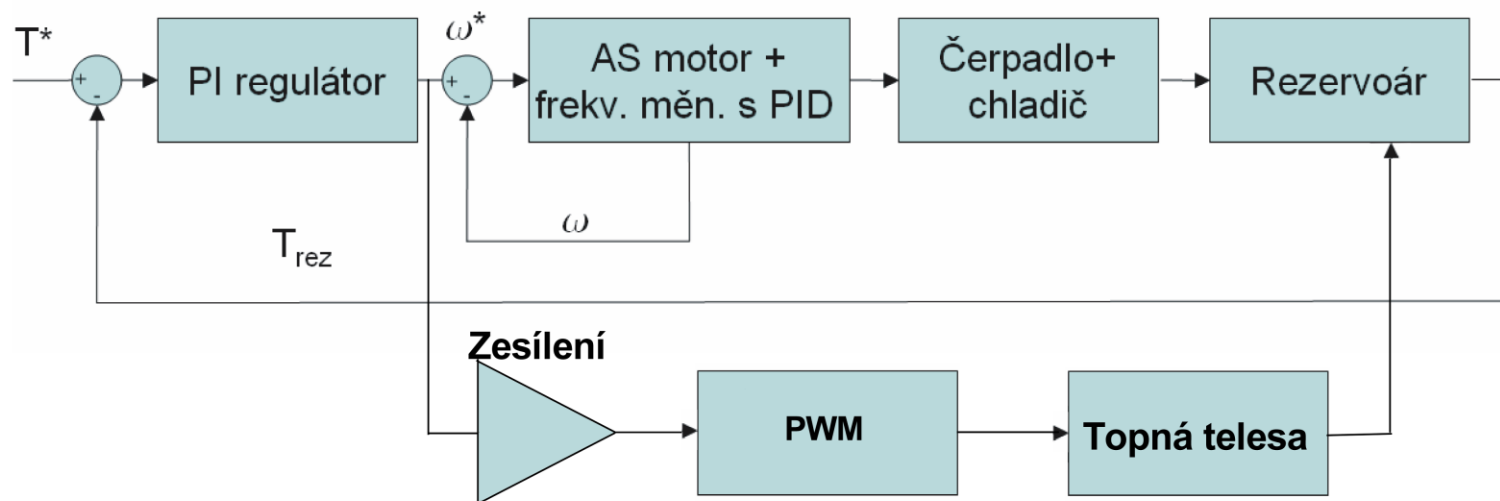
Možná komplikací je interakce dvou regulačních obvodů



Velký překmit

Regulace teploty:

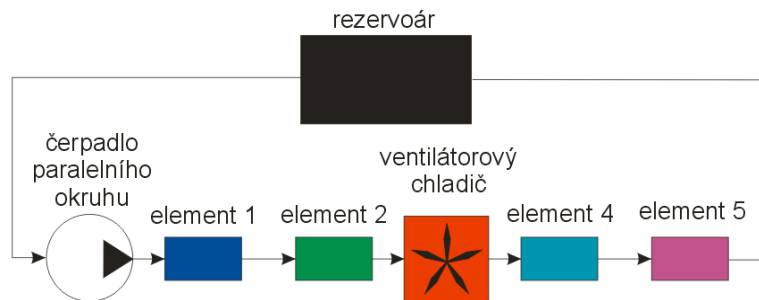
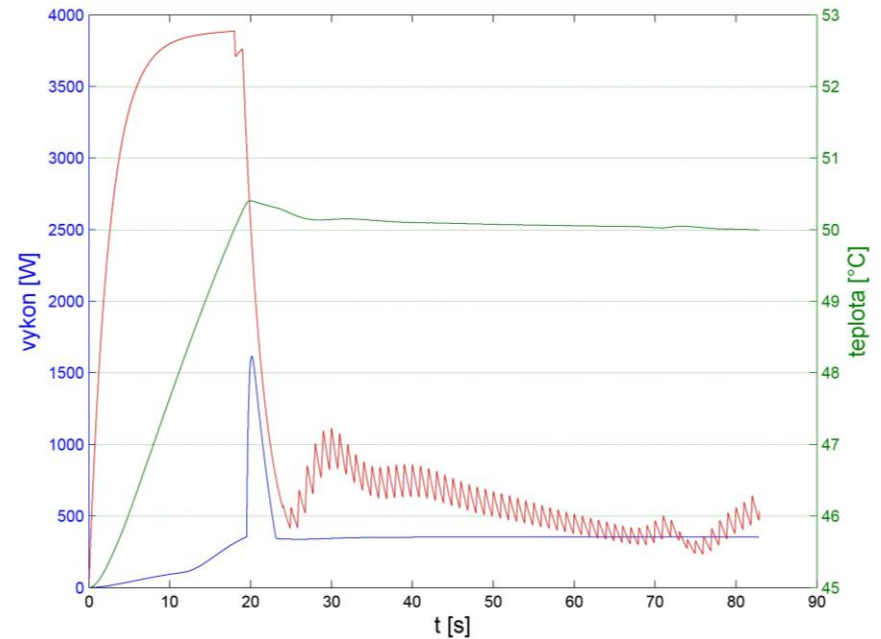
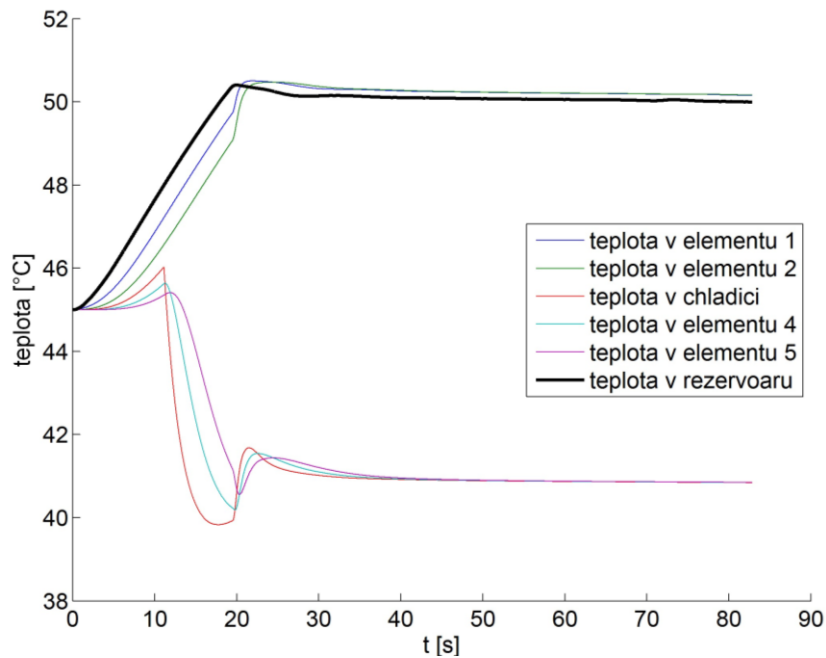
- Pro regulaci teploty bylo použito zpětnovazební řízení s rozděleným rozsahem
- Ohřev je realizován topnými odporovými tělesy na dně rezervoáru
- Akčním členem chlazení je ventilátorový chladič



1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
- 6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení**
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

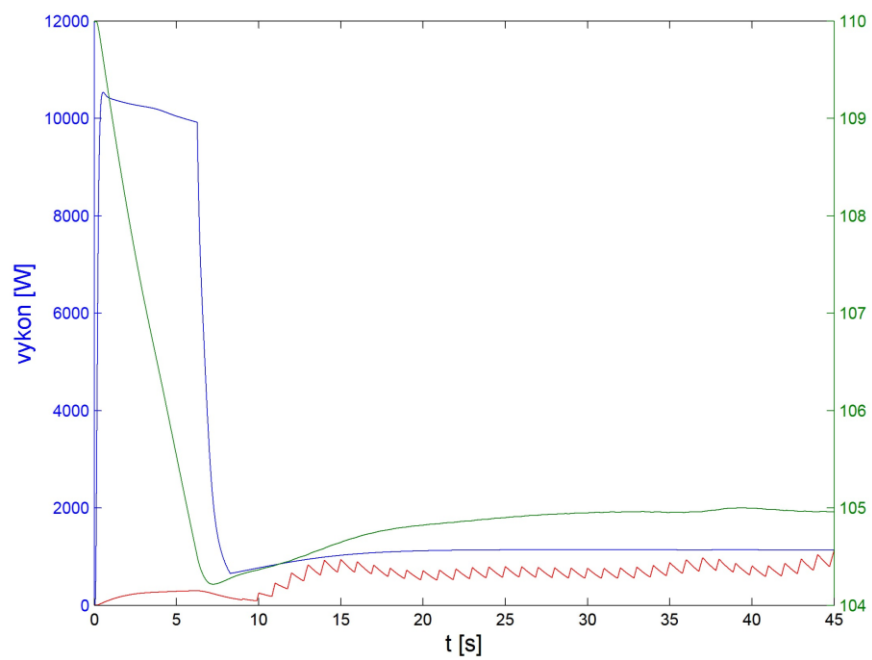
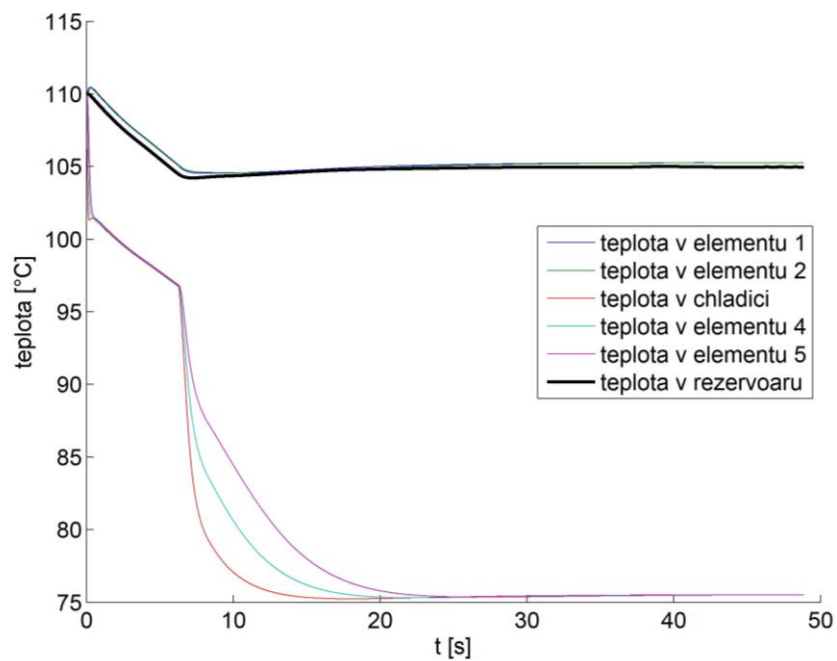
6. Simulace režimů činnosti zařízení

Zvyšování teploty:

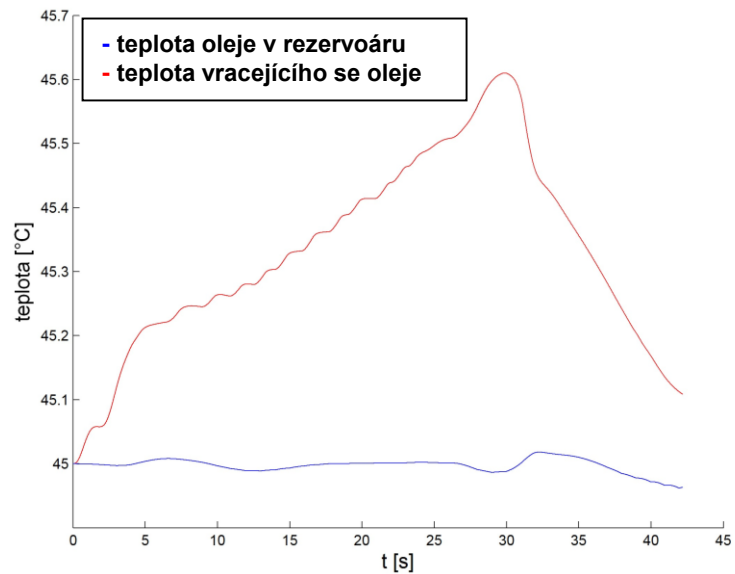
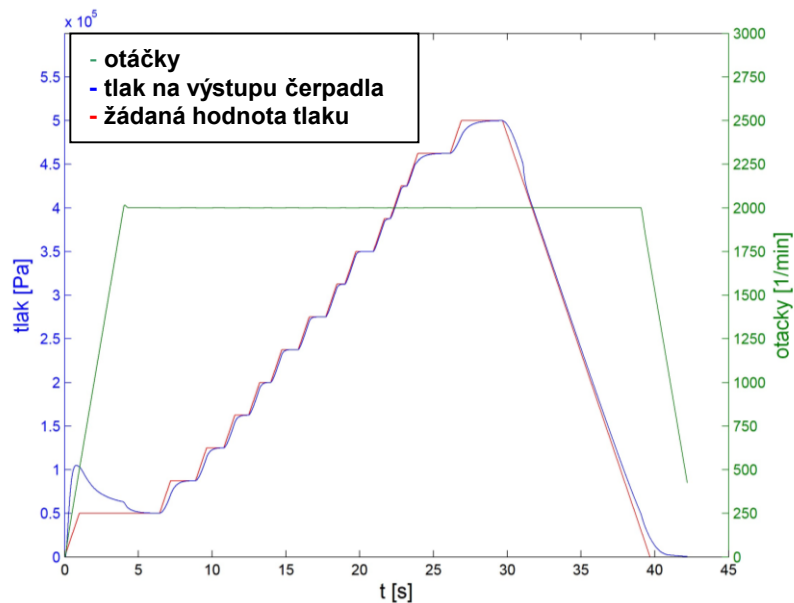
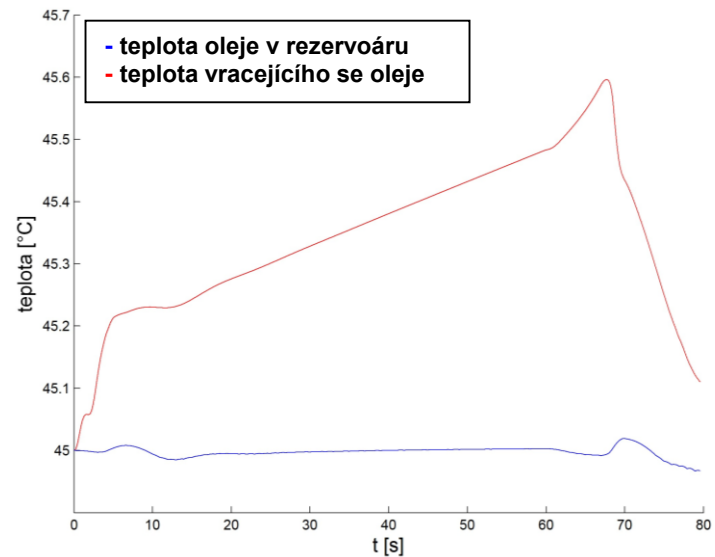
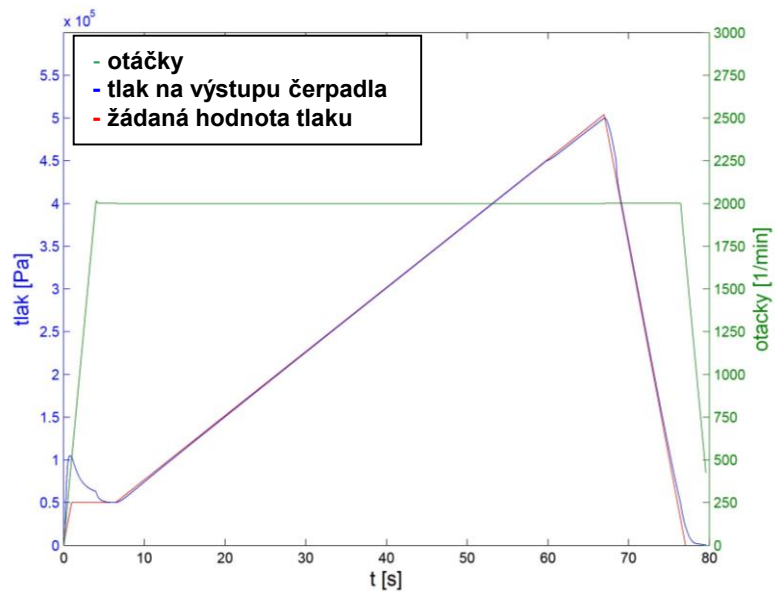


Snižování teploty:

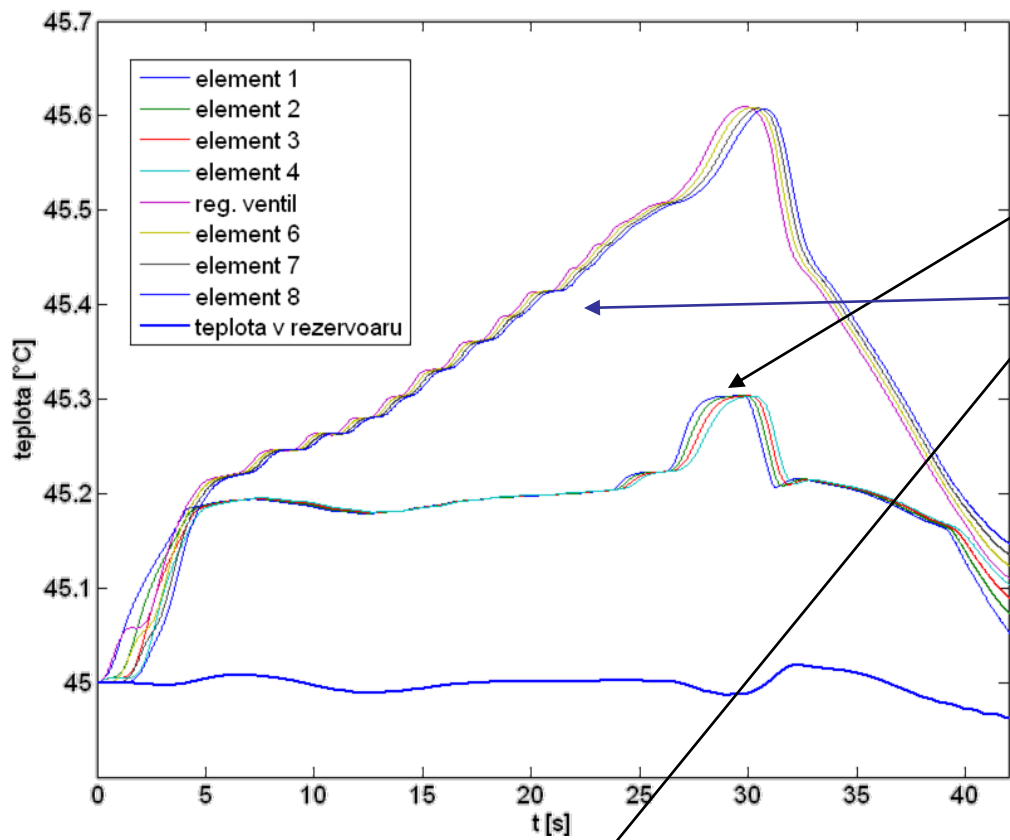
- Pro regulaci teploty bylo použito zpětnovazební řízení s rozděleným rozsahem



Změna tlaku při konstantních otáčkách:

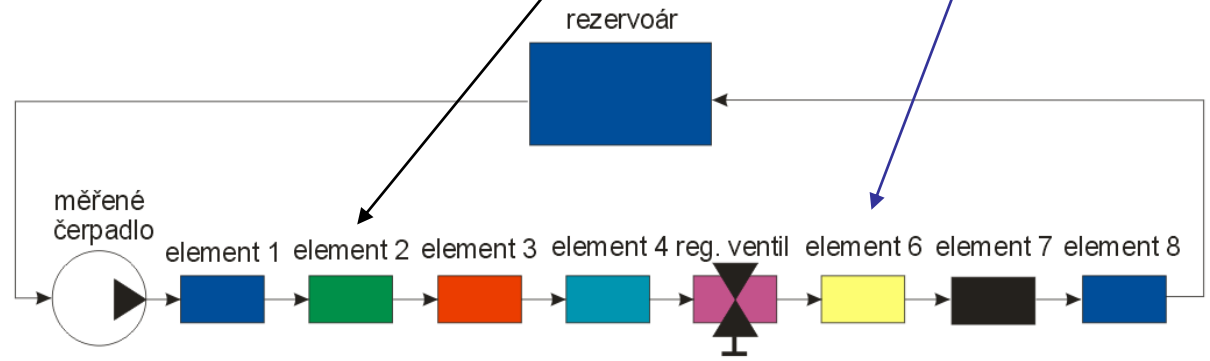


Průběh teplot v měřícím okruhu



Potrubí před ventilem

Potrubí za ventilem



1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
- 7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu**
8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice

7. Návrh implementace řídicího procesu

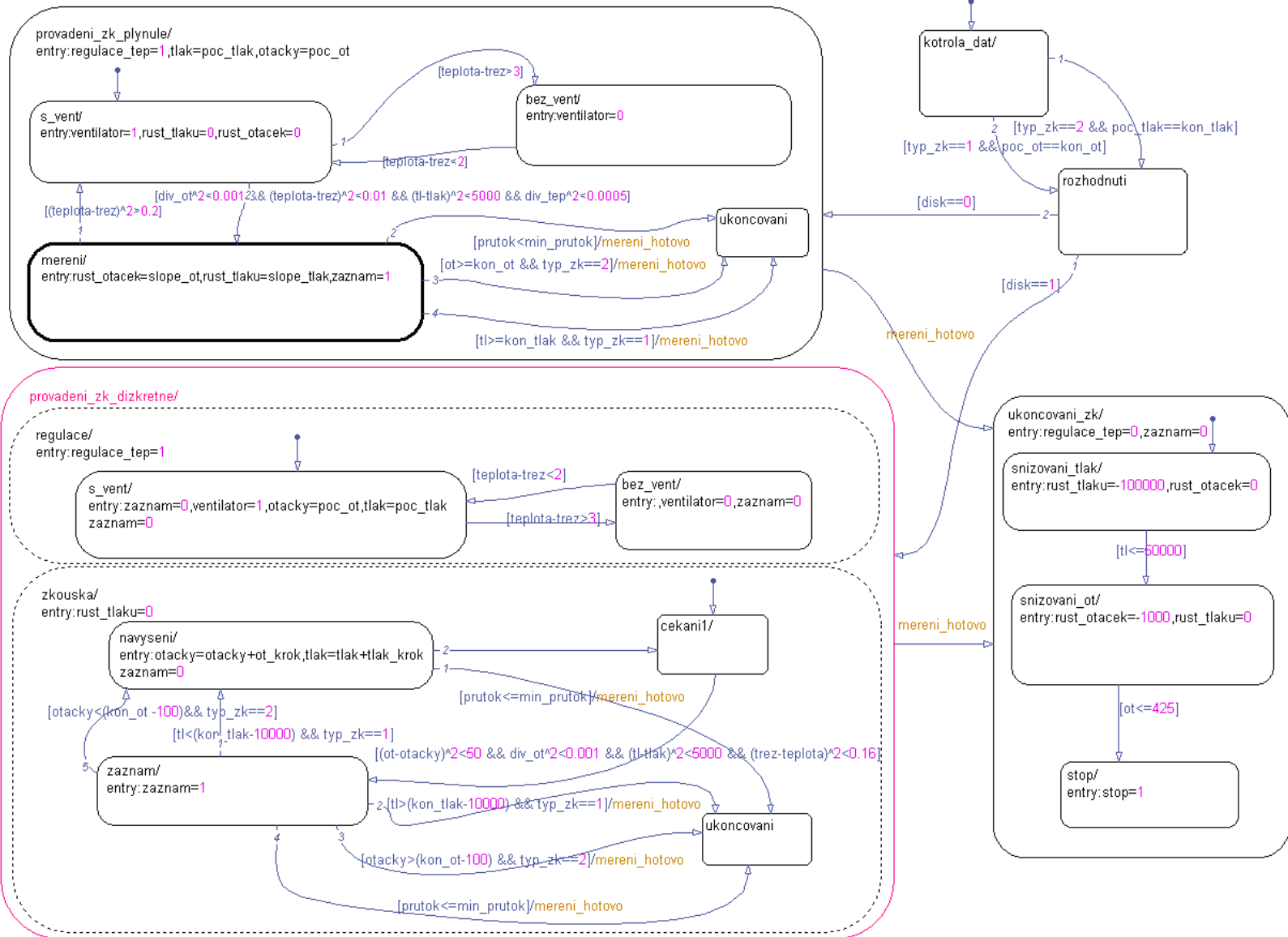
- ❑ Hlavním cílem návrhu bylo navrhnout algoritmus schopný řídit zařízení v každém režimu jeho činnosti
- ❑ Systém bude řídit z pohledu měnících se hodnot dva typy zkoušek

Zadávaná data:

1. **typ zkoušky**
2. **způsob provedení** (diskrétní, plynulá)
3. **žádaná teplota media**
4. **počáteční tlak**
5. **konečný tlak**
6. **počáteční otáčky**
7. **konečné otáčky motoru**
8. **doba provádění zkoušky**
9. **počet kroků**

- ❑ Pro popis řídicího algoritmu byl zvolen „Stavový stroj“

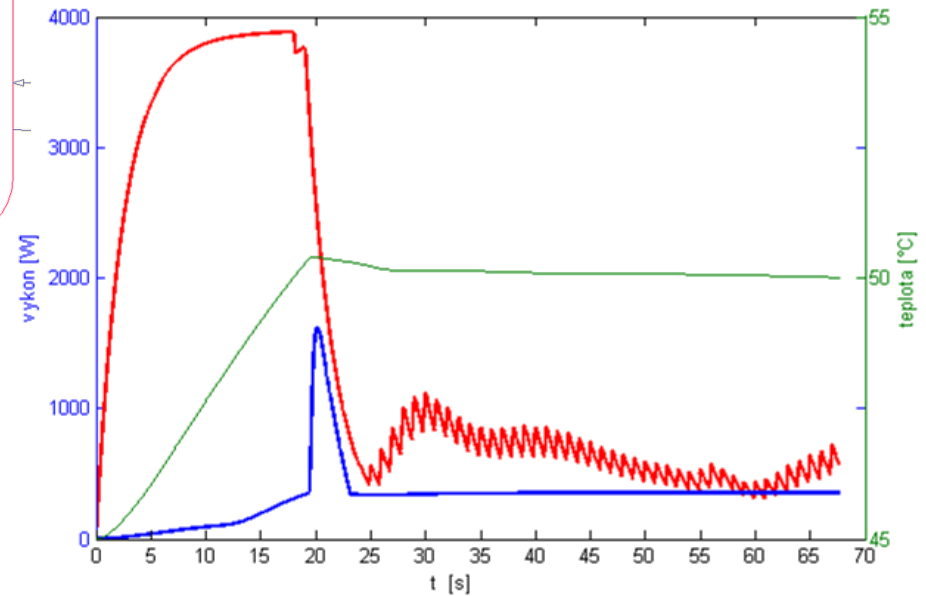
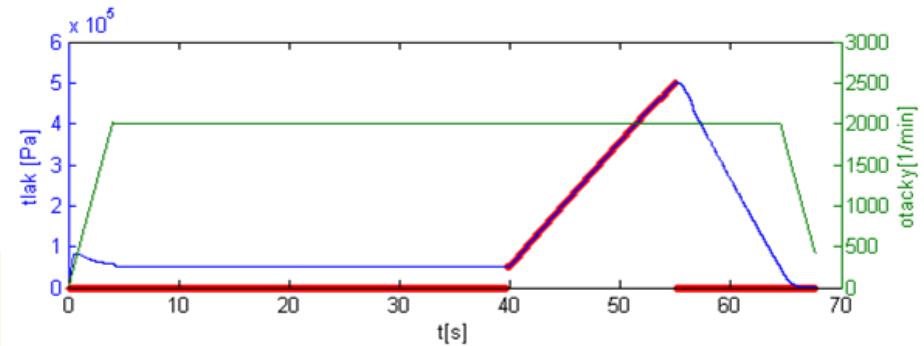
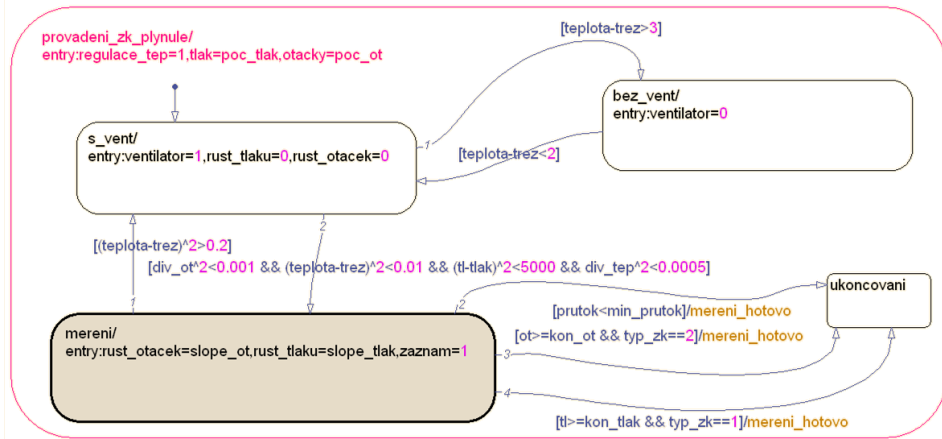
Stavový stroj:



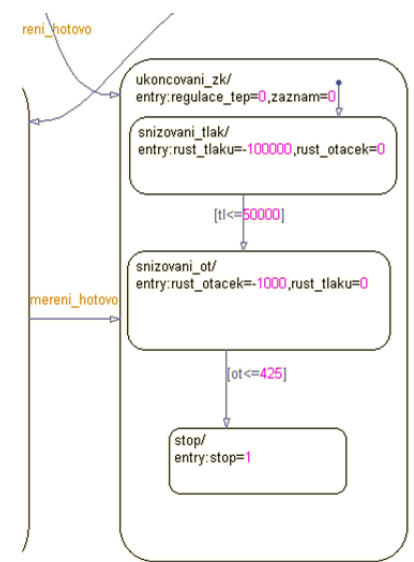
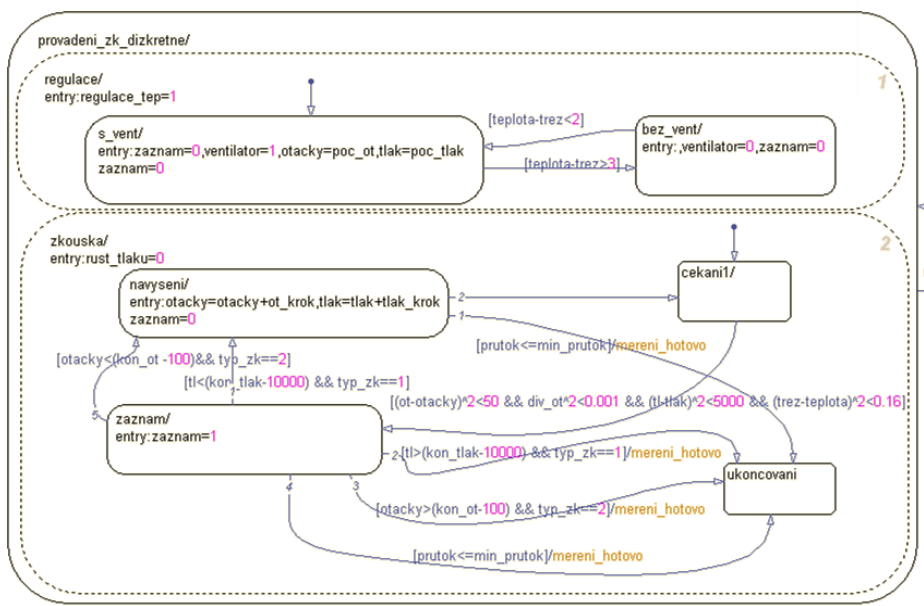
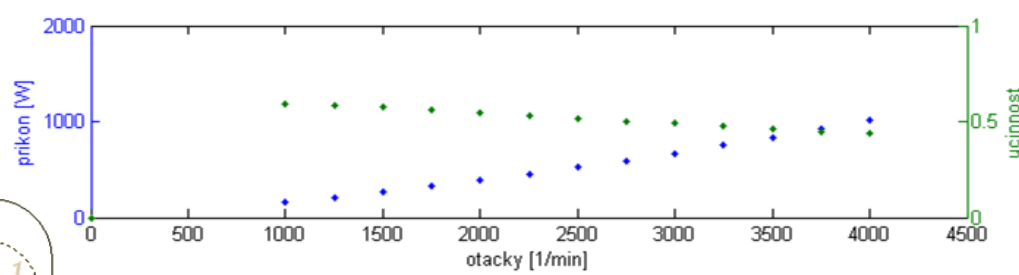
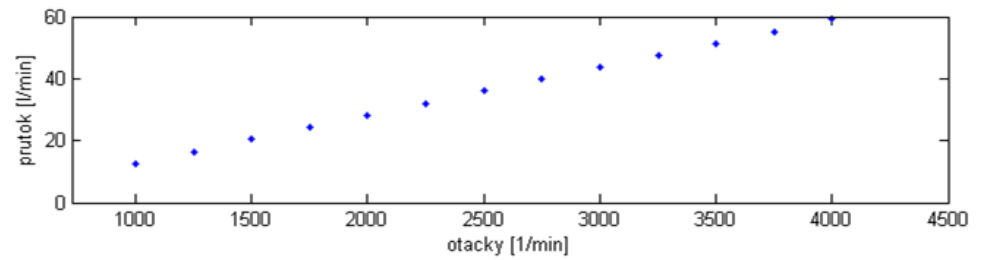
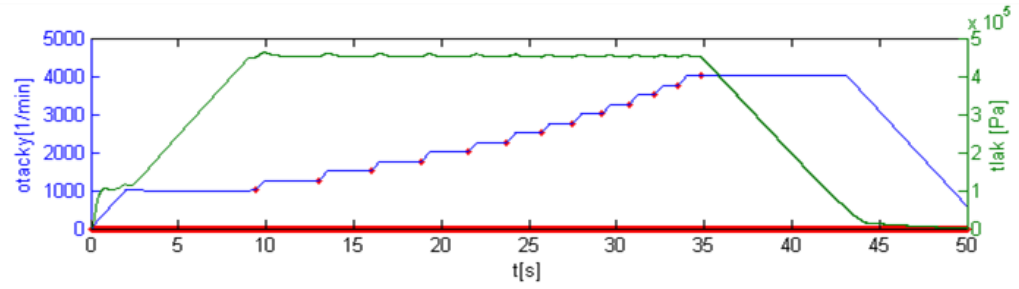
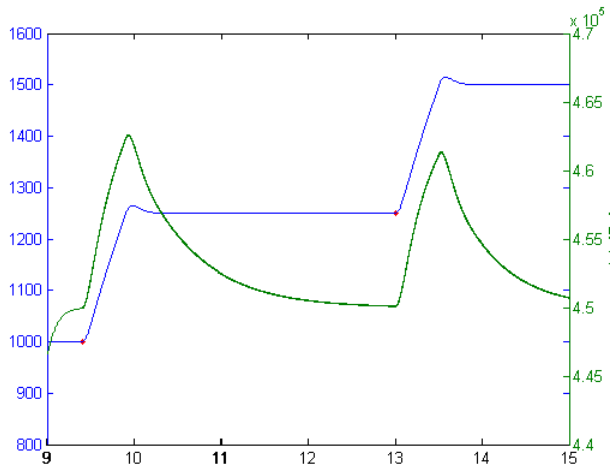
1. Vytvoření specifikace zařízení
2. Návrh zařízení včetně hydraulického okruhu
3. Vytvoření simulačního modelu zařízení
4. Upřesnění parametrů komponent a celého zařízení
5. Navržení jednotlivých regulačních obvodů zařízení
6. Provedení simulací dílčích režimů celého zařízení
7. Provedení návrhu implementace řídicího procesu
- 8. Simulace implementace řídicího procesu zkušební stolice**

8. Simulace implementace řídicího procesu

- ❑ Simulace byla provedena pomocí Matlab toolboxu Stateflow
- ❑ Simulace byla provedena pomocí Matlab toolboxu Stateflow



Simulace řízení zařízení



Závěr

- ❑ Pro konstrukci samotného zařízení je třeba zpřesnit specifikaci – na požadovaných rozsazích a přesnosti bude záviset volba zařízení a cena celého zkušebního zařízení
- ❑ Pro návrh velikosti rezervoáru by bylo přínosné provést CFD simulaci