

ÚVOD DO SEMINÁŘE

ČESKÁ STROJNICKÁ SPOLEČNOST

Česká asociace pro hydrauliku a pneumatiku (CAHP)

Prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

ZÁKLADNÍ PŘÍSTUPY K VÝPOČTU

PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ

úterý 4. 9. 2012

Praha 1, Novotného lávka 5

Hlavní body informativního vystoupení

ZÁKLADNÍ PŘÍSTUPY K VÝPOČTU PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ

1. Přenos energie tekutinových obvodech
2. Modelování pneumatických systémů
3. Software k výpočtu pneumatických systémů užívaný ve firmách
4. Ukázka výpočtu obvodu s hydraulicko-pneumatickými akumulátory
5. Ukázky aplikací - spolupráce univerzitní a průmyslové sféry

1. PŘENOS ENERGIE V TEKUTINOVÝCH OBVODECH

Pneumatické systémy dnes a zítra

Pneumatické systémy - pneumatické prvky

Rozvoj všemi směry – navrhování, výroba, řízení

Symbióza s jinými obory – elektronika, mechatronika

CAD, animace, simulace pneumatických systémů

Soutěž s jinými druhy pohonů – ekonomika provozu

Přenos energie tekutinových obvodech

Při přenosu energie v pneumatických a hydraulických mechanismech mohou být přenášeny současně energie tlaková, kinetická, polohová, deformační a tepelná.

Tlaková energie

obsažená v objemu V při statickém tlaku p je určena vztahem

$$W_p = V \cdot p = \frac{m \cdot p}{\rho}$$

Kinetická (pohybová) energie je pro hmotnost tekutiny, rychlost v a hustotu ρ určena rovnicí

$$W_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot V \cdot \rho \cdot v^2$$

Přenos energie tekutinových obvodech

Polohová energie je pro tíhové zrychlení g a polohovou výšku h určena vztahem

$$W_h = m \cdot g \cdot h$$

Deformační energie je pro tuhost k , délkovou deformaci Δl a modul pružnosti E dána vztahem

$$W_d = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta l^2 = \frac{V}{2 \cdot E} \cdot \Delta p^2 = \frac{m \cdot \Delta p^2}{2 \cdot E \cdot \rho}$$

Tepelná energie je dána vnitřní energií kapaliny a pro střední měrnou tepelnou kapacitu c_v a teplotu T je určena vztahem

$$W_T = m \cdot c_v \cdot T = V \cdot \rho \cdot c_v \cdot T$$

Přenos energie tekutinových obvodech

Stavová rovnice pro ideální plyn

Vzájemný vztah stavových veličin v případě ideálního plynu je dán rovnicí

$$p \cdot v = R \cdot T \qquad p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

kde $R = 287,1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je plynová konstanta

”Experimentální” rovnice

Zde se jedná o rovnice, získané analýzou experimentálních dat nebo na základě intuitivních představ o stavech plynu.

Typickým představitelem této skupiny rovnic je van der Waalsova rovnice

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = R \cdot T$$

Přesnější formy stavové rovnice

Zdokonalit van der Waalsovu rovnici se jako první pokusil Dieterici vztahem

$$p \cdot v = \frac{R \cdot T}{v - b} \cdot e^{-\left(\frac{a}{R \cdot T \cdot v}\right)}$$

Jiným pokusem o zdokonalení van der Waalsovy je rovnice Berthelotova

$$p \cdot v = R \cdot T + \left(C - \frac{D}{T^2}\right) \cdot p$$

Rovnicí, která vyhovuje prakticky v celém běžně užívaném rozsahu stavových veličin, je rovnice Vukalovičova

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v - b) = R \cdot T \cdot (1 - B \cdot \psi \cdot (1 - C \cdot \psi \cdot (1 - D \cdot \psi)))$$

R. Planck navrhl další zpřesnění

$$p = \frac{A}{v - b} + \frac{B}{(v - b)^2} + \frac{C}{(v - b)^3} + \frac{D}{(v - b)^4} + \frac{E}{(v - b)^5}$$

Zákonitosti proudění vzduchu potrubím

Tlakové ztráty při proudění vzduchu potrubím a místními odpory

Laminární proudění v potrubí

Tlaková ztráta (zákon Hagen-Poiseuilleův:

$$\Delta p = \frac{128 \cdot Q \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot d^4} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \cdot \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d^2} = \frac{32 \cdot \eta \cdot L \cdot w_s}{d^2}$$

•Turbulentní proudění v potrubí

Tlaková ztráta (Weisbachův vztah

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

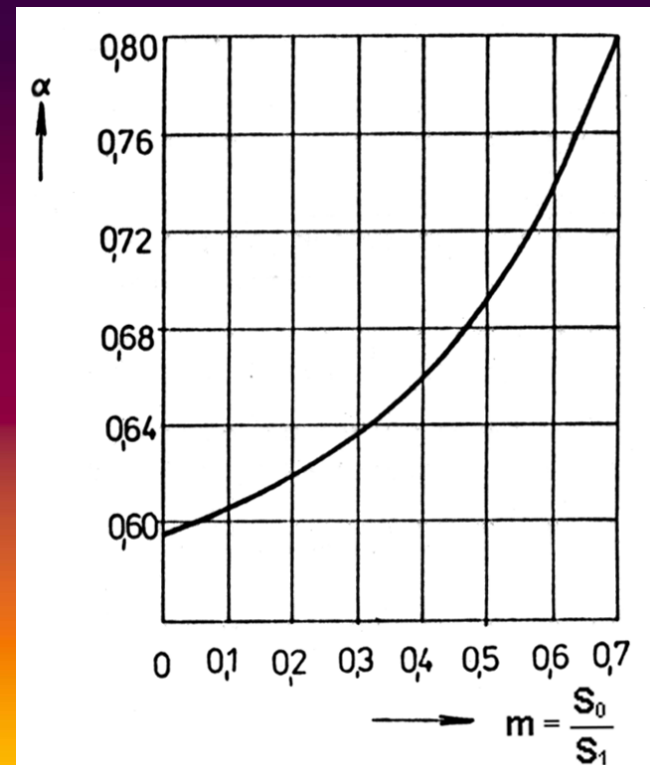
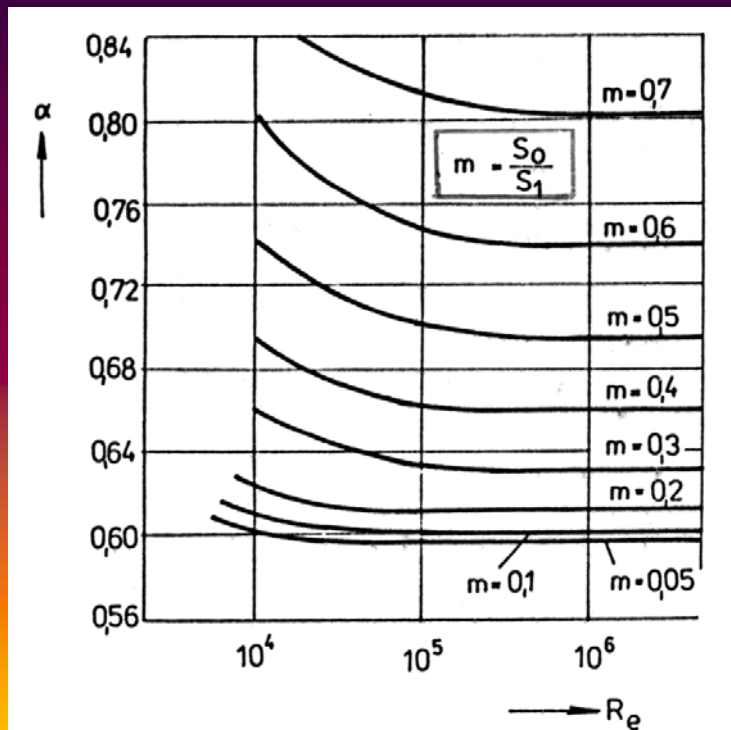
•Tlaková ztráta v místních odporech

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

Průtok vzduchu zúženým průřezem

Průtok škrticím průřezem je dán vztahem

$$Q = \alpha \cdot \varepsilon \cdot S_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (p_1 - p_2)}$$

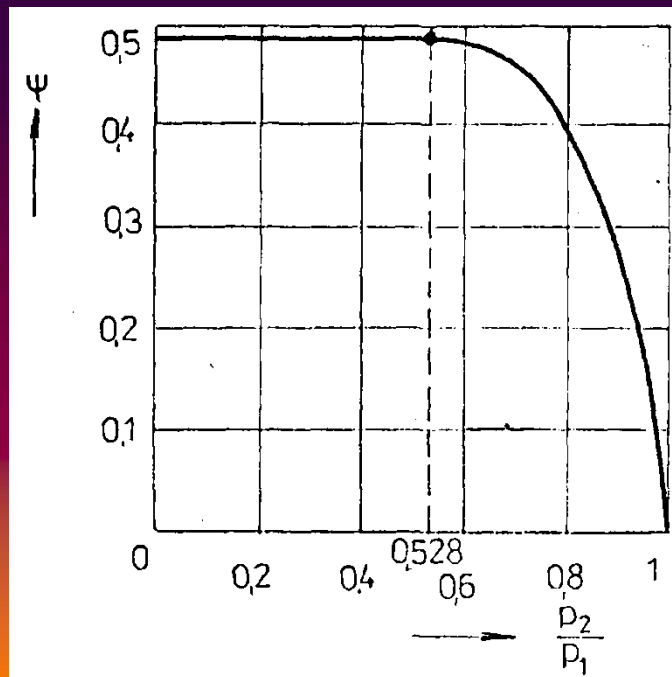


Průtok vzduchu zúženým průřezem

Průtok

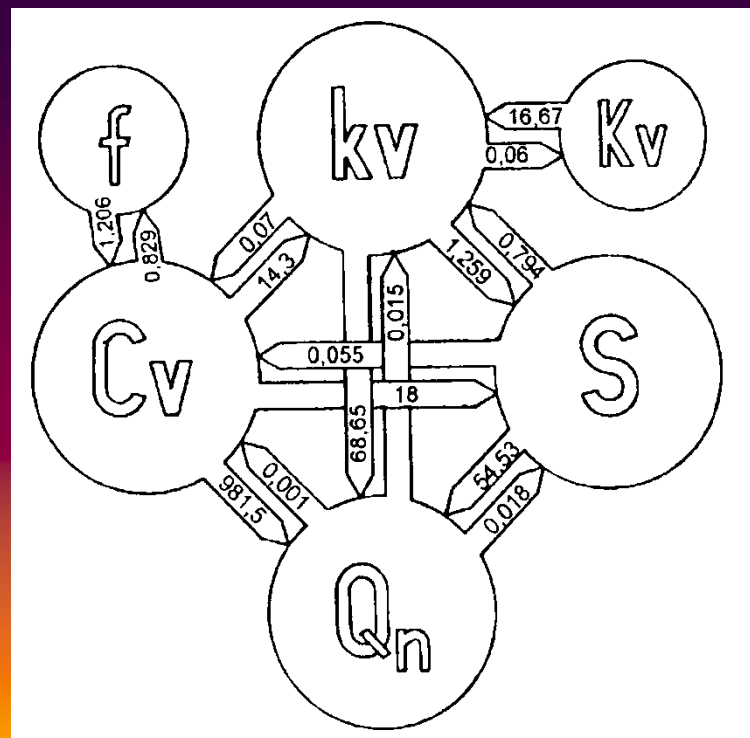
$$Q = \alpha \cdot \psi \cdot S_0 \cdot \frac{p_1}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{2}{R \cdot T}}$$

Výtokový součinitel ψ je funkcí poměru p_2/p_1



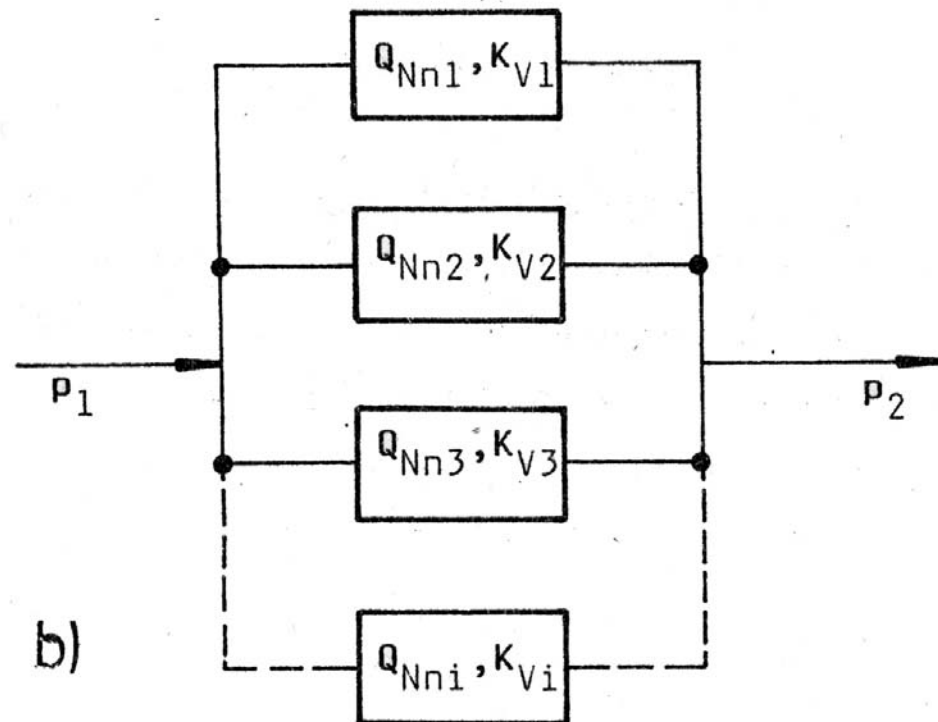
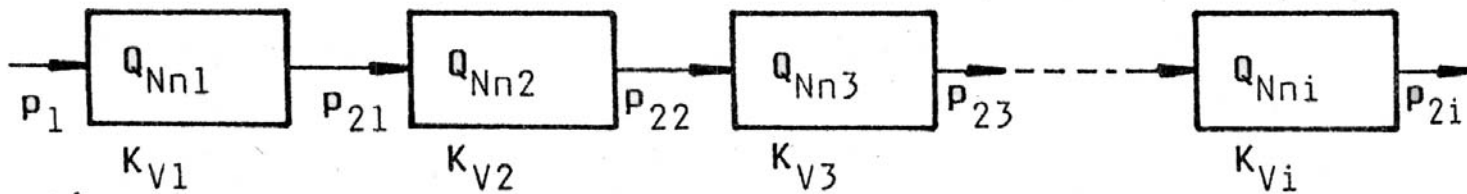
Výpočet průtoku pomocí jiných parametrů

Vedle výpočtu jmenovitého průtoku pomocí parametrů b (tj. b_k) a C jsou v literatuře uváděny mnohé jiné. Na následujícím obrázku je uveden přehled některých z nich, jakož i jejich vzájemný přepoččet.



Řazení pneumatických odporů

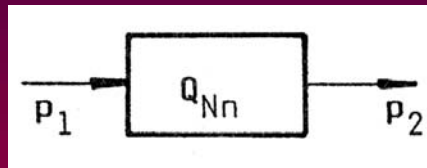
Typy řazení pneumatických prvků
a - sériové, b – paralelní



Metoda ekvivalentního průtoku

Pro kterékoliv místo pneumatického obvodu při podkritickém proudění (nejčastější případ), platí rovnice

$$Q_{Nn} = 2,52 \cdot 10^2 \cdot K_v \cdot \sqrt{\Delta p \cdot p_2} \quad \left[\text{m}^3 \text{ h}^{-1} \right]$$



Sériové řazení prvků

$$Q_{N_{ekv}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{Q_{N_{ni}}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{N_{n1}}^2} + \frac{1}{Q_{N_{n2}}^2} + \dots + \frac{1}{Q_{N_{ns}}^2}}}$$

$$K_{v_{ekv}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{K_{vi}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{K_{v1}^2} + \frac{1}{K_{v2}^2} + \dots + \frac{1}{K_{vs}^2}}}$$

•Paralelní řazení prvků

$$Q_{Nn ekv} = \sum_{i=1}^s Q_{Nni} = Q_{Nn1} + Q_{Nn2} + \dots + Q_{Nns}$$

$$K_{v ekv} = \sum_{i=1}^s K_{vi} = K_{v1} + K_{vs} + \dots + K_{vs}$$

Příklad

Vypočtete odpory a časové konstanty přenosu informace v pneumatickém systému podle obrázku pro rozběh přímočarého pneomotoru při vysouvání s těmito parametry:

průměr pístu $D_M = 60 \text{ mm}$

zdvih $h_M = 200 \text{ mm}$

silové zatížení $F_z = 1000 \text{ N}$

tuhost pružiny $k_p = 7,1 \cdot 10^3 \text{ N.m}^{-1}$

průměr vedení $d_T = 6 \text{ mm}$

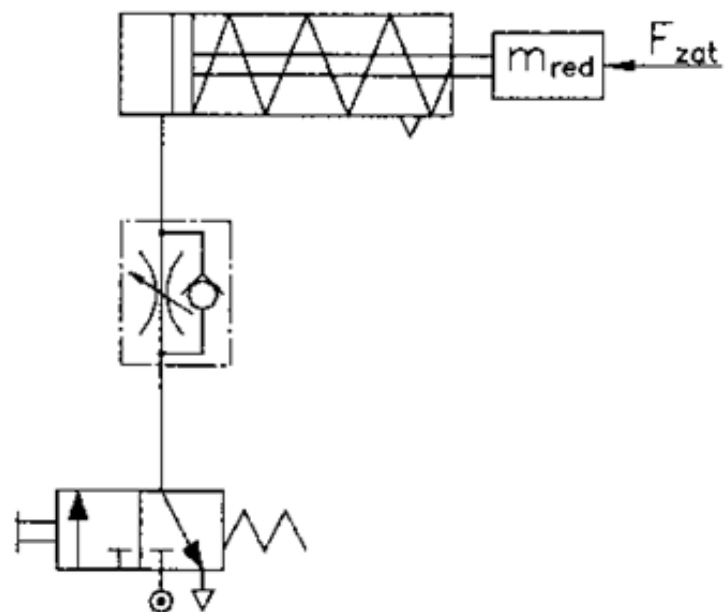
celková délka vedení $l = 2,8 \text{ m}$

rychlost ve vedení $v_T = 45 \text{ m.s}^{-1}$

pracovní tlak $p = 0,5 \text{ MPa}$

redukované hmotové zatížení $m_{red} = 20 \text{ kg}$

Příklad



Příklad

Řešení

Nm/s

odpor proti pohybu: vedení + škrticí ventil + pneumotor

vedení:

$$R_{IT} = 2R_Q = 2 \cdot 0,811 \cdot \frac{\lambda}{d_T^5} \cdot l \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot v_T = 1,27 \cdot \frac{\lambda}{d_T^3} \cdot l \cdot \rho \cdot v_T$$

škrticí ventil:

$$R_{IT} = 2 \cdot 0,811 \cdot \xi \cdot \frac{\rho}{d_T^4} \cdot \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot v_T$$

pneumotor:

$$R_{IN} = 1,622 \cdot \frac{F_N}{D_N^4} \cdot \frac{1}{v_N} = 1,622 \cdot \frac{F_N \cdot (1 - \eta_N)}{D_N^2 \cdot d_T^2 \cdot v_T}$$

Příklad

Nm^5s^2
celkový odpor proti pohybu

$$R_c = \sum_{i=1}^z R_i = R_{IT} + R_{IR} + R_{IM} = 1,27 \frac{\rho}{d_T^3} v_T \left(\frac{\lambda l}{d_T} + \xi \right) + 1,622 \frac{F_z(1 - \eta_{IM})}{D_{IM}^3 d_T^3 v_T}$$

celkový odpor proti zrychlení

$$H_c = \sum_{i=1}^z H_i = H_T + H_w = 7,1 \cdot 10^5 + 25 \cdot 10^5 = 32,1 \cdot 10^5$$

celkový odpor proti deformaci

sériové řazení odporů

$$D_c = \sum_{i=1}^n D_i = D_T + D_{mot} + D_{pr} = 9,8 \cdot 10^9 + 1,38 \cdot 10^{10} + 8,8 \cdot 10^8 = 24,48 \cdot 10^9 \text{ Nm}^5$$

Příklad

časové konstanty

$$T_1 = \frac{H_c}{R_c} = \frac{32,1 \cdot 10^5}{3,28 \cdot 10^8} = 9,8 \cdot 10^{-3}$$

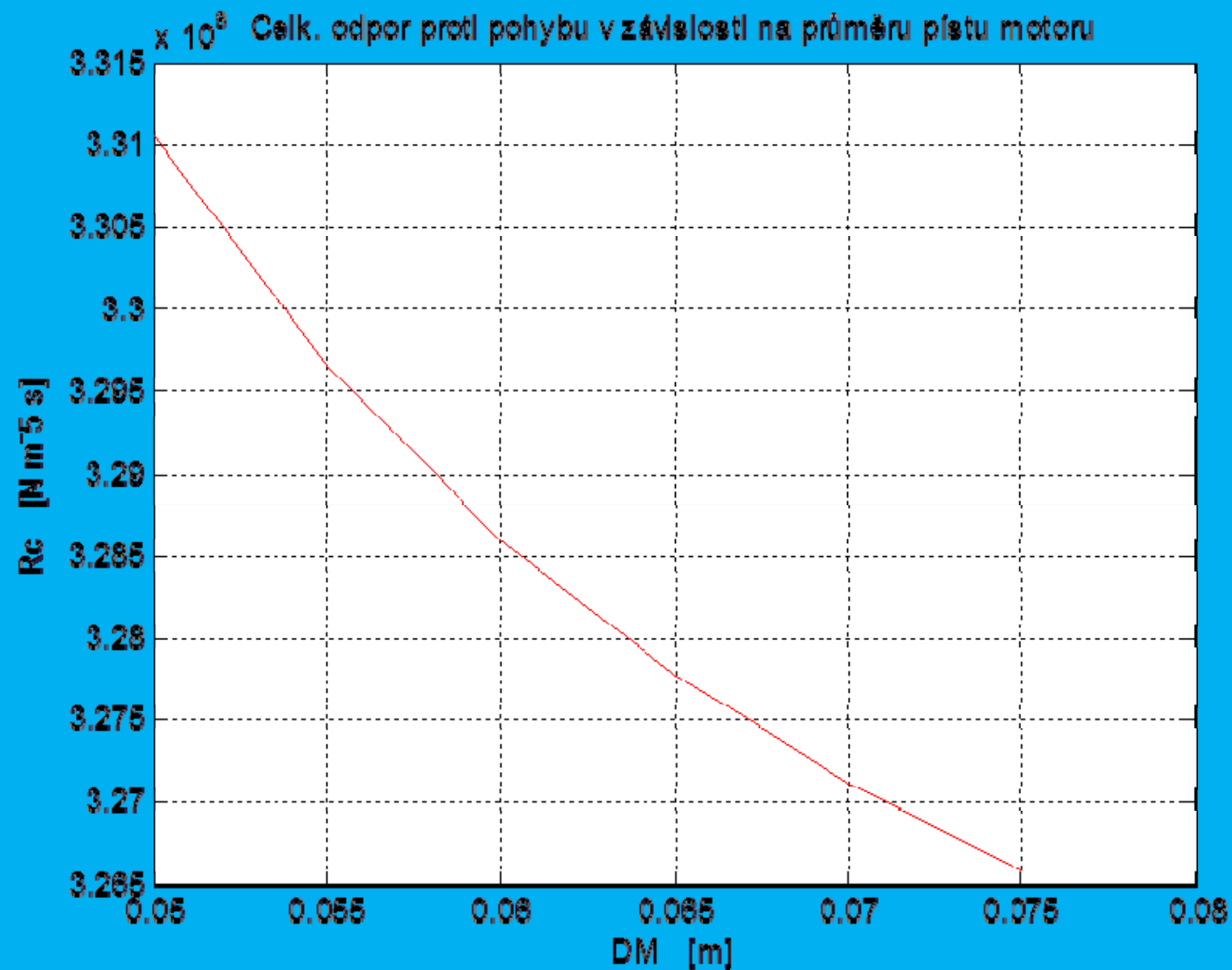
$$T_2 = \frac{R_c}{D_c} = \frac{3,28 \cdot 10^5}{24,48 \cdot 10^7} = 1,3 \cdot 10^{-2}$$

Příklad

Program pro výpočet

```
%Celk. odpor proti pohybu
clc
%Vstupní veličiny
DM=0.06;hM=0.2;Fz=1000;kp=7.1e3;dT=0.006;l=2.8;vT=45;p=0.5e6;
mred=20;n=1.3;ro=7.14;ksi=17.3;etaM=0.98;lambda=0.024;
%Výpočet a výstup jednotlivých hledaných hodnot
%v základních jednotkách
pabs=p+1e5;
Rc=1.27*ro*vT*(lambda*l/dT+ksi)/dT^2+1.622*Fz*(1-
etaM)/(DM^2*dT^2*vT)
HT=1.28*l*ro/dT^2;Hm=1.62*mred/DM^4;Hc=HT+Hm
DT=4*n*pabs/(pi*dT^2*l);Dmot=4*n*pabs/(pi*DM^2*0.1*hM);Dpr=1.6
2*kp/DM^4;
Dc=DT+Dmot+Dpr
Dcpar=DT*Dmot*Dpr/(DT*Dmot+DT*Dpr+Dmot*Dpr)
T1=Hc/Rc
T2par=Rc/Dcpar
T3par=(Hc/Dcpar)^0.5
```

Příklad



2. MODELOVÁNÍ PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ

Modelování pneumatických systémů

Nevrlý J.: Modelování pneumatických systémů. ISBN 80-7204-300-5. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2003)

(uvedeny názvy hlavních kapitol knihy)

2.FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI VZDUŠIN, VEDENÍ VZDUŠIN

- 2.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI VZDUCHU**
- 2.2 ZÁKONITOSTI PROUDĚNÍ VZDUCHU POTRUBÍM**
- 2.3 VÝPOČET SVĚTLOSTI POTRUBÍ**
- 2.4 PRŮTOK VZDUCHU ZÚŽENÝM PRŮŘEZEM (ŠKRCENÍ VZDUCHU)**
- 2.5 VÝTOK PLYNU OTVOREM**
- 2.6 VLHKÝ VZDUCH**

Modelování pneumatických systémů

3. ZÁKLADNÍ PŘÍSTUP K PNEUMATICKÝM VÝPOČTŮM STACIONÁRNÍCH STAVŮ

- 3.1 PRVKY PNEUMATICKÝCH OBVODŮ JAKO PNEUMATICKÉ ODPORY
- 3.2 ZÁKLADNÍ TERMODYNAMICKÉ POJMY V PNEUMATICE
- 3.3 POUŽITÍ PRVNÍ HLAVNÍ VĚTY TERMODYNAMIKY
- 3.4 VENTILY A ŠKRTICÍ PRŮŘEZY
- 3.5 VÝPOČET PRŮTOKU POMOCÍ JINÝCH PARAMETRŮ
- 3.6 ŘAZENÍ PNEUMATICKÝCH ODPORŮ

Modelování pneumatických systémů

4. DYNAMIKA PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ VE VYBRANÝCH ZÁKLADNÍCH REŽIMECH

4.1 ODPORY PROTI PŘENOSU ENERGIE

4.2 POHYBOVÉ ROVNICE PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ

4.4 PRACOVNÍ CYKLY PNEUMATICKÉHO MOTORU

4.5 VÝPOČET ÚSTROJÍ S PRACOVNÍMI PROSTORAMI KONSTANTNÍCH A PROMĚNNÝCH OBJEMŮ

Modelování pneumatických systémů

5. MODELOVÁNÍ PNEUMATICKÝCH MOTORŮ

5.1 PNEUMATICKÉ PŘÍMOČARÉ MOTORY

5.2 ZJEDNODUŠENÝ VÝPOČET BEZ ZAHRNUTÍ TERMODYNAMICKÝCH JEVŮ

5.3 VÝPOČET PŘÍMOČARÉHO PNEUMOTORU SE ZAHRNUTÍM TERMODYNAMICKÝCH JEVŮ

5.4 VÝPOČET ROTAČNÍCH PNEUMATICKÝCH MOTORŮ

Modelování pneumatických systémů

6. MODELOVÁNÍ VYBRANÝCH ŘÍDICÍCH PRVKŮ

6.1 PNEUMATICKÉ ROZVÁDĚČE A VENTILY

6.2 EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ VÝTOKOVÝCH CHARAKTERISTIK DVOJICE TRYSKA KRUHOVÉHO PRŮŘEZU – KLAPKA

6.3 PROUDĚNÍ VE ŠTĚRBINÁCH

Modelování pneumatických systémů

7. TŘECÍ SÍLY V PŘÍMOČARÝCH PNEUMOTORECH

7.1 JEV TŘENÍ

7.2 NELINEARITY TŘENÍ

7.3 MĚŘENÍ TŘECÍCH SIL PŮSOBÍCÍCH V PŘÍMOČARÝCH MOTORECH

Modelování pneumatických systémů

8. MODELOVÁNÍ TŘECÍCH SIL PŘÍMOČARÝCH PNEUMOTORŮ

8.1 ZJEDNODUŠENÝ VÝPOČET TŘECÍCH ODPORŮ

8.2 MATEMATICKÉ MODEL Y TŘECÍCH ODPORŮ

Modelování pneumatických systémů

9. SIMULAČNÍ SOFTWARE A JEHO APLIKACE

9.1 SSP – SIMULAČNÍ PROGRAM PRO PNEUMATIKU

9.2. SIMULAČNÍ SYSTÉM MATLAB – SIMULINK

9.2.1 Simulační modely pneumatických prvků v programu SIMULINK

9.2.2 Programový soubor Simpneu

9.3 SIMULAČNÍ PROGRAM BGSP PRO PNEUMATIKU ZALOŽENÝ NA POUŽITÍ VAZEBNÝCH GRAFŮ

9.4 SIMULAČNÍ SYSTÉM DYNAST

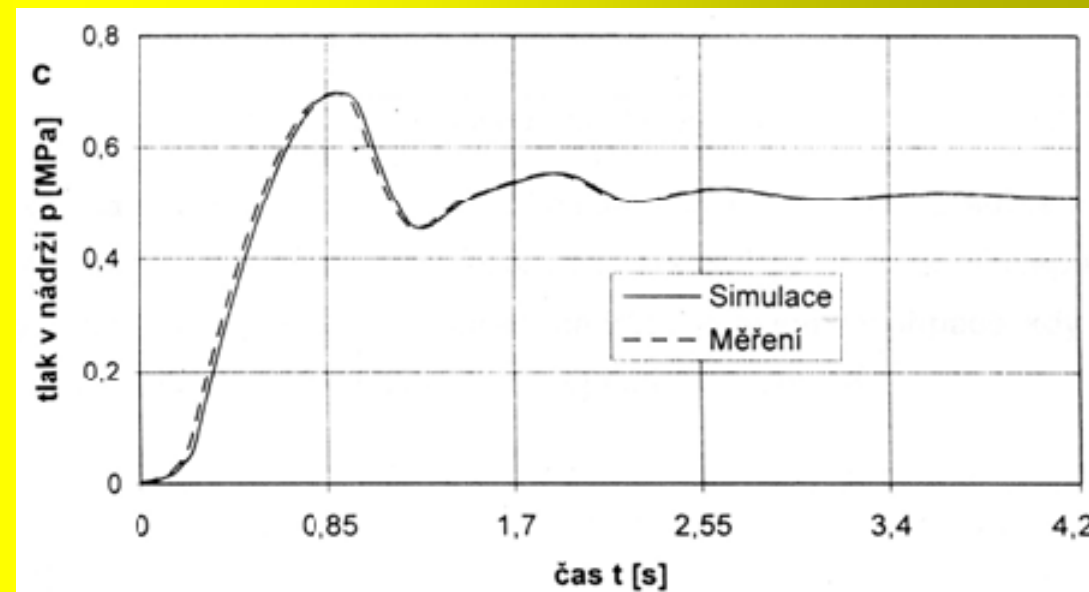
9.5 DYNAMICKÁ ANALÝZA PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ POMOCÍ PROGRAMOVÉHO SOUBORU HYPNEU

9.2.2 Programový soubor Simpneu

Programový soubor simulací pneumatických systému Simpneu byl sestaven na základě softwaru pro simulaci dynamických systémů MATLAB - SIMULINK na Katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení strojní fakulty VŠB - TU Ostrava.

Obsahuje modely např. následujících pneumatických prvků:

- rozváděče 2/2, 3/2, 4/2, 5/3**
- škrticí ventil, kombinovaný škrticí ventil, jednosměrný ventil**
- tlakové regulační ventily**
- kapacit: - nádrž se dvěma vstupy**
- vedení**
- zdroj konstantního tlaku**
- výstup do atmosféry**



Modelování pneumatických systémů

10. ANIMAČNÍ A KONTROLNÍ SOFTWARE

10.1 PNEUSIM

10.2 FLUIDSIM-P

10.3 AUTOMATION STUDIO

Animační a kontrolní software

10.1 PNEUSIM

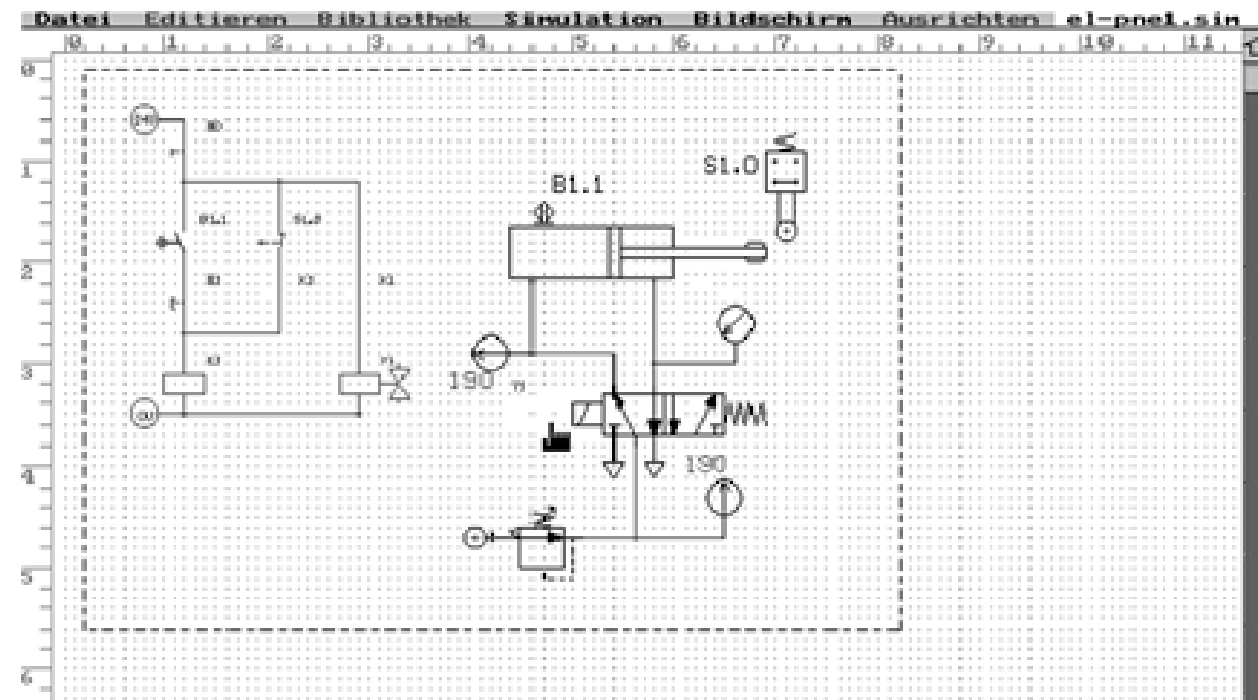
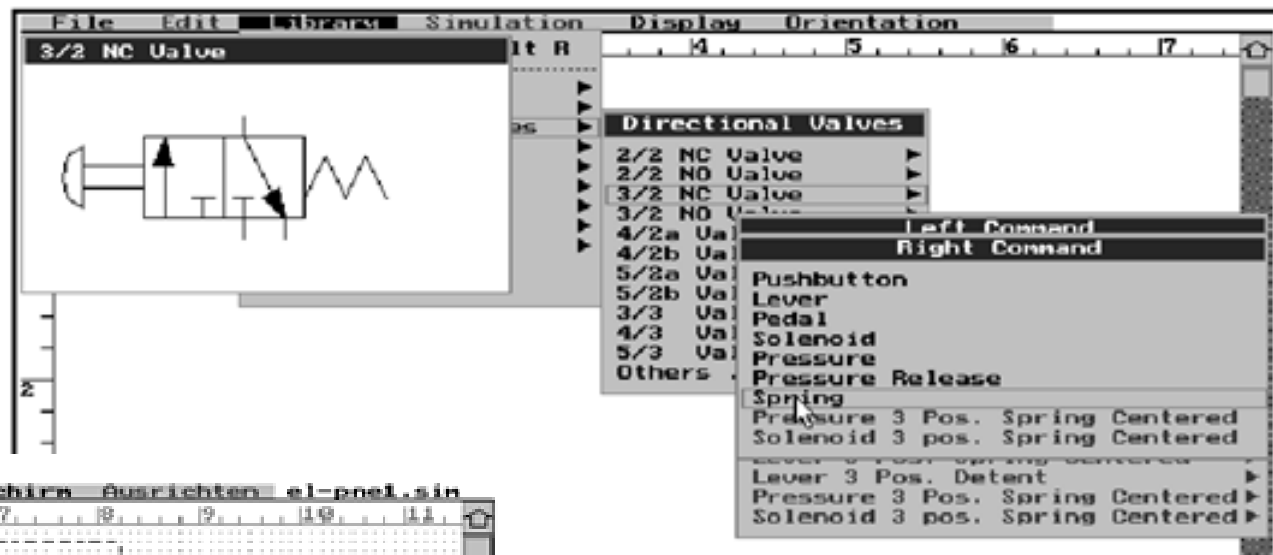
Tento program, šířený firmou **Norgren-Martonair**, byl vytvořen na FAMIC v Kanadě.

Funkce:

- pro tvorbu schémat pneumatických obvodů s pneumatickým, nebo elektro-pneumatickým řízením
- umožňuje pohybovou animaci navržených obvodů, včetně animace spínání pneumatické, případně elektrické řídicí části
- ověření správnosti zapojení navržených obvodů

Animační a kontrolní software

10.1 PNEUSIM



Animační a kontrolní software

10.2 FLUIDSIM-P

Program FluidSIM-P je produktem firmy Festo, který obsahuje množství příkladů z pneumatiky a elektro-pneu-matiky.

Tento program umožňuje:

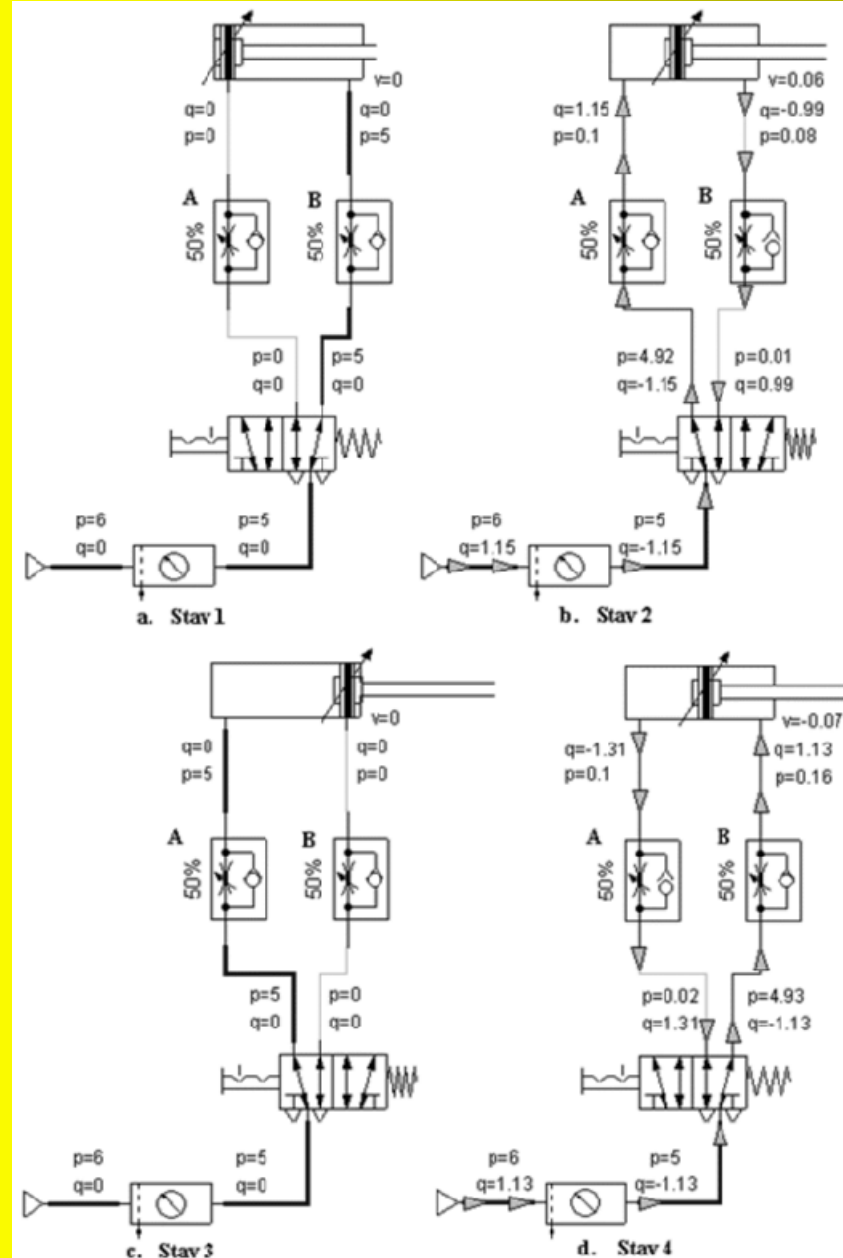
- vytvořit schéma pneumatického nebo elektrického obvodu, včetně kombinace těchto obvodů, přičemž taková schémata lze kreslit pouze do společného obrázku
- provádět zpětnou kontrolu funkčnosti navrženého obvodu
- zadat rozměry a vlastnosti prvků
- přečíst popis u každého prvku, přičemž u některých prvků je možné si prohlédnout i jejich fotografii a popis funkce
- uložit a vytisknout schéma vlastního navrženého obvodu

Animační a kontrolní software

10.2 FLUIDSIM-P

Simulace řízení dvojčinného pneumatického motoru

- a. Stav 1 - dvojčinný motor v poč. poloze
- b. Stav 2 – dvojčinn. motor se pohybuje doprava
- c. Stav 3 – dvojčinn. motor v koncové poloze
- d. Stav 4 – dvojčinný motor se vrací do původní polohy



Animační a kontrolní software

10.3 AUTOMATION STUDIO

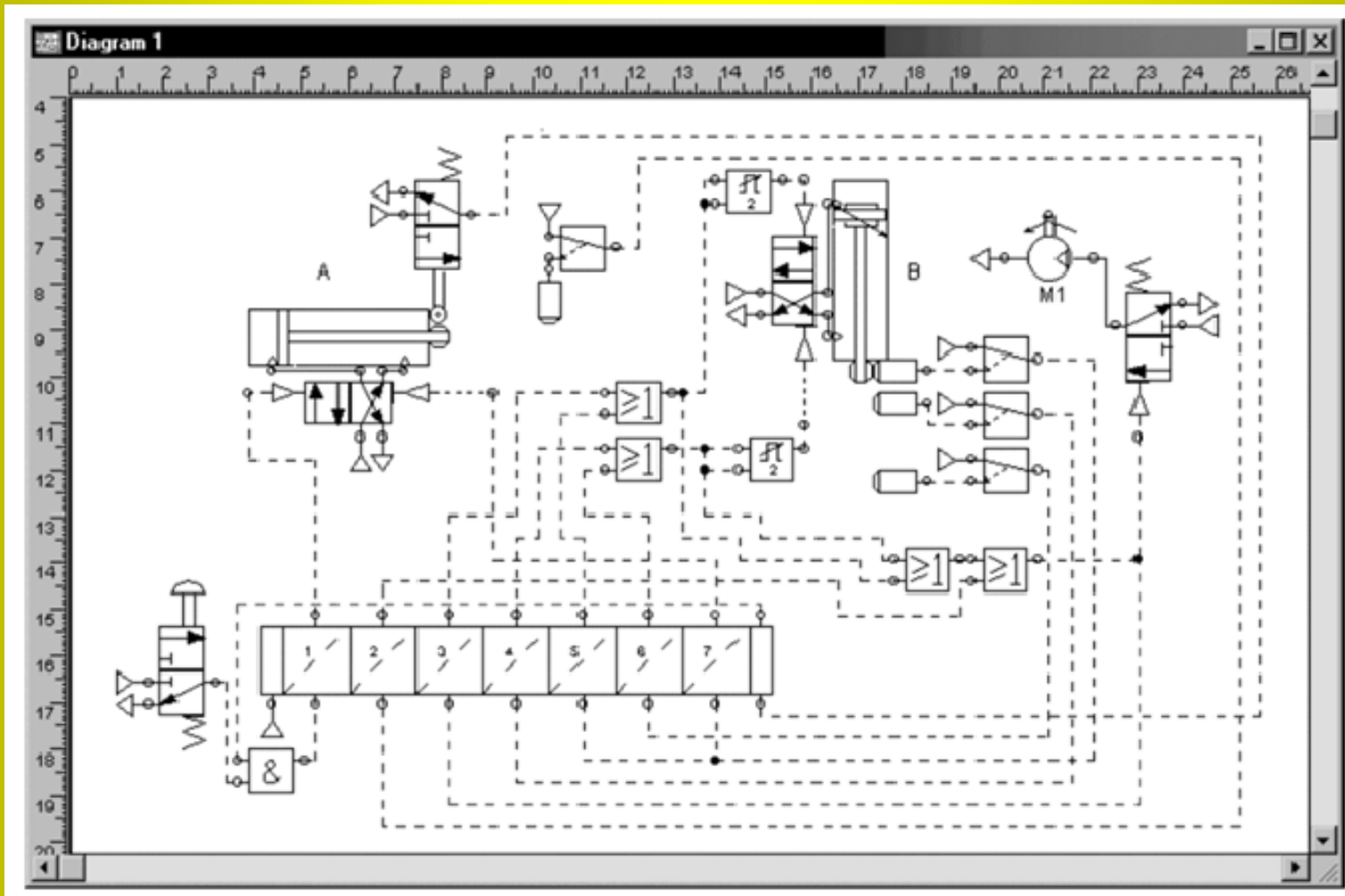
Jedná se o programový produkt firmy BOSCH.

Zejména umožňuje:

- vytvořit schéma pneumatického, hydraulického i elektrického obvodu i jejich kombinaci (tato schémata lze kreslit zvlášť do samostatných diagramů nebo pospolu do jednoho diagramu)
- zpětnou kontrolu funkčnosti navrženého obvodu
- zadat rozměry zvolených prvků a provést animaci pohybu
- u rozdělovačů zvolit jejich ovládání
- přečíst si u každého obsaženého prvku popis tohoto prvku, u některých prvků je možné si prohlédnout i fotografii dotyčného prvku
- doplnit do diagramu samostatný popis formou textového pole
- seznámit se s příklady z hydrauliky, pneumatiky, elektrohydrauliky a elektro-pneu-matiky, které program obsahuje
- aplikovat hydraulické, pneumatické a elektrické prvky, které obsahuje knihovna

Animační a kontrolní software

10.3 AUTOMATION STUDIO



**Ukázka sestaveného
elektropneumatického obvodu**

3. SOFTWARE K VÝPOČTU PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ UŽÍVANÝ VE FIRMÁCH

Výpočetní programy firmy Bosch Rexroth

Jedná se o software (např. Automation Studio), který umožňuje zejména dimenzovat velikosti akčních pneumatických prvků, jako jsou:

přímočaré motory, bezpístnicové pohony, pohony s přídavným vedením, otočné pohony, uchopovače, vakuové aplikace a tlumiče dorazu.

Výpočetní programy firmy Bosch Rexroth

Kromě velikosti daného prvku jsou k dispozici i další informace, jako minimální požadovaný průtok vzduchu pro nadimenzování ovládacího ventilu apod.

Výpočetní programy firmy Bosch Rexroth

Výpočetní programy firmy Bosch Rexroth

jsou určeny pro nejširší veřejnost na webových stránkách a tomu odpovídá co nejjednodušší intuitivní ovládání.

Jsou umístěny na firemních stránkách: www.boschrexroth.cz/pneumatika v pravé části je odkaz "Výpočtové programy", nebo přímý odkaz:

<http://www.boschrexroth.com/computation?&language=cs>

Výpočetní programy firmy Parker

- Předmětem zájmu je software "Automation Studio", sloužící pro návrh schémat a následnou simulaci.

Výpočetní programy firmy Parker

Pro kreslení pneumatických schémat používají software Autocad, pro modelování a výkresovou dokumentaci software Inventor.

Odkaz pro představu funkce:

http://divapps.parker.com/divapps/pde/animations/PDE_CAD_eConfigurator_User_Guide.html

Výpočetní programy firmy Parker

Automation Studio can be used in programs such as:

- **Automation**
- **Industrial Mechanics**
- **Industrial Maintenance**
- **Industrial Automation**
- **Instrumentation**
- **Electromechanical Technologies**
- **Agriculture Mechanics**
- **Mechatronics**
- **Electrical Engineering Technology**
- **Mechanical Engineering Technology and many more**

Výpočetní programy firmy Parker

The Pneumatic Library includes all the symbols necessary to create pneumatic, electropneumatic and moving part logic systems.

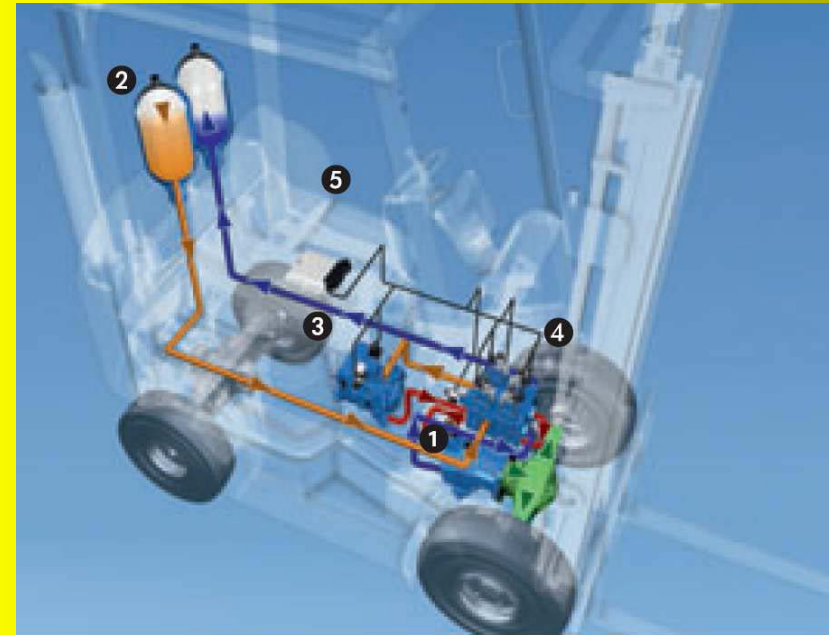
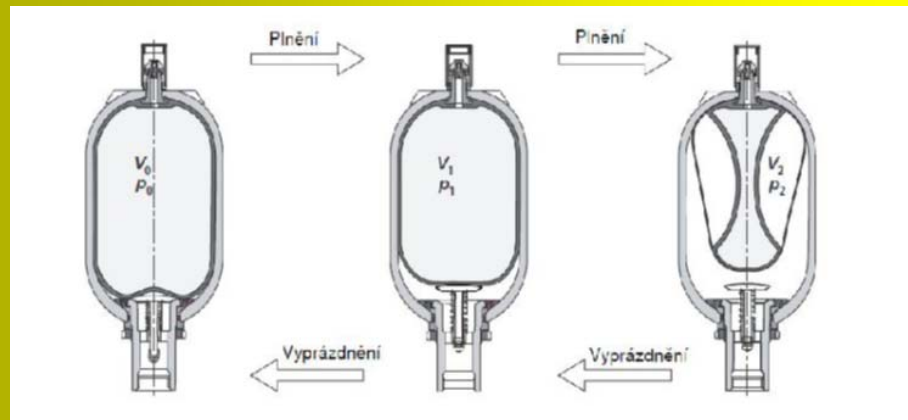
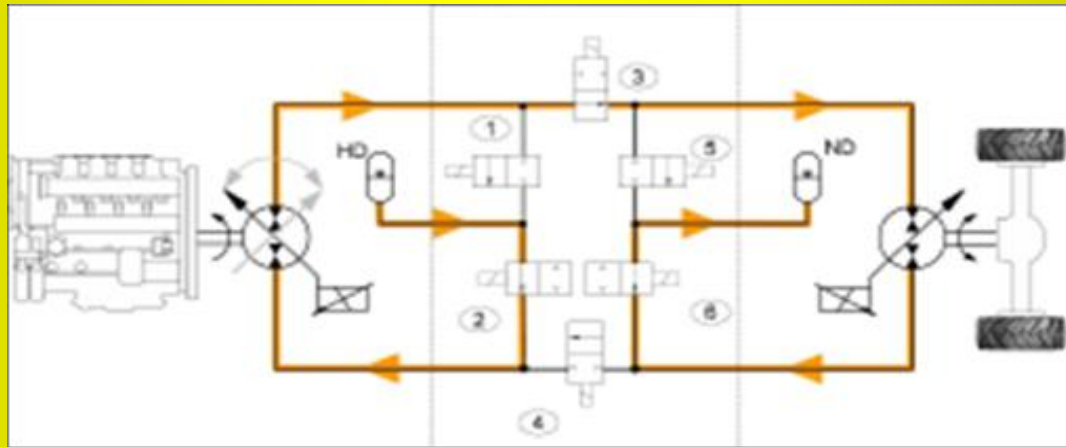
The parameters of pneumatic components can be configured so as to show a realistic behavior.

4. UKÁZKA VÝPOČTU OBVODU S HYDRAULICKO - PNEUMATICKÝMI AKUMULÁTORY

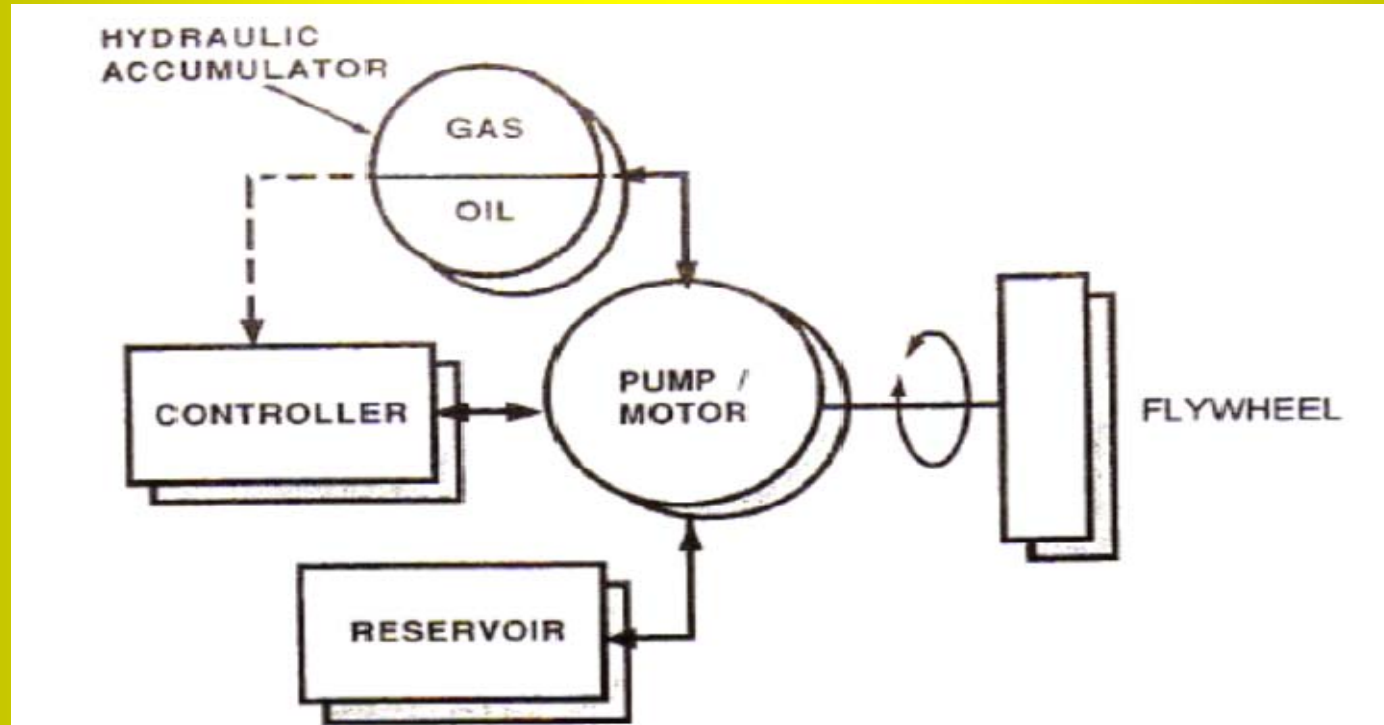
AMMANN AP 240 H



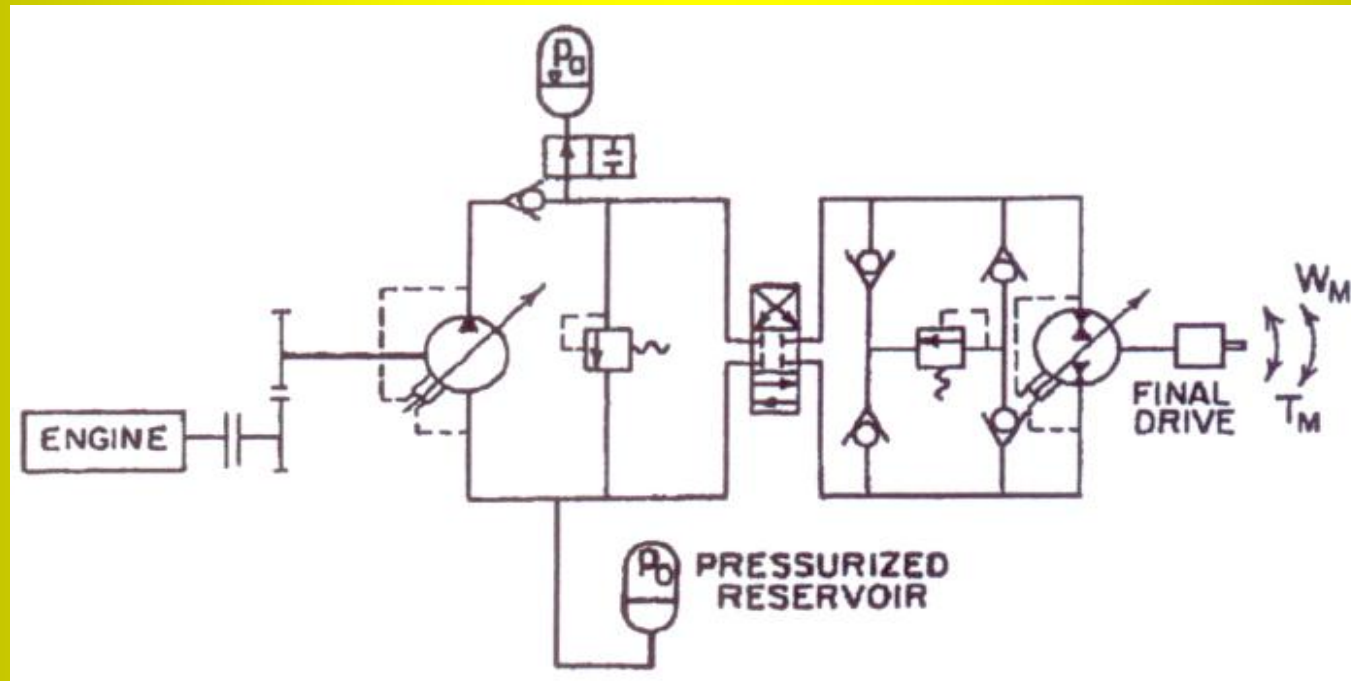
Starting of a vehicle



Schematic diagram of the hydraulic energy recovery system



Hydraulic energy recovery system of a vehicle



The Accumulator

An energy balance has been done on the gas by means of the equation

$$m_g \frac{du}{dt} = -p_g \frac{dV}{dt} - m_f c_f \frac{dT}{dt} - hA_w (T - T_w)$$

The internal energy per unit mass has been given by

$$du = c_v dT + \left[T \left(\frac{\delta p_g}{\delta T} \right)_v - p_g \right] dv$$

- The relation between the gas pressure, the gas temperature and specific volume has been in the model expressed by the Benedict-Webb-Rubin equation of state

$$p_g = \frac{RT}{v} + \frac{B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2}}{v^2} + \frac{(bRT - a)}{v^3} + \frac{a\alpha}{v^6} + (C(1 + \gamma/v^2)e^{-\gamma/v^2})/v^3T$$

c) The Pump/Motor Unit

- Wilson's theory has been modified to relax many limiting assumptions.
- The hydrodynamic torque loss of a pump can be e. g. expressed as

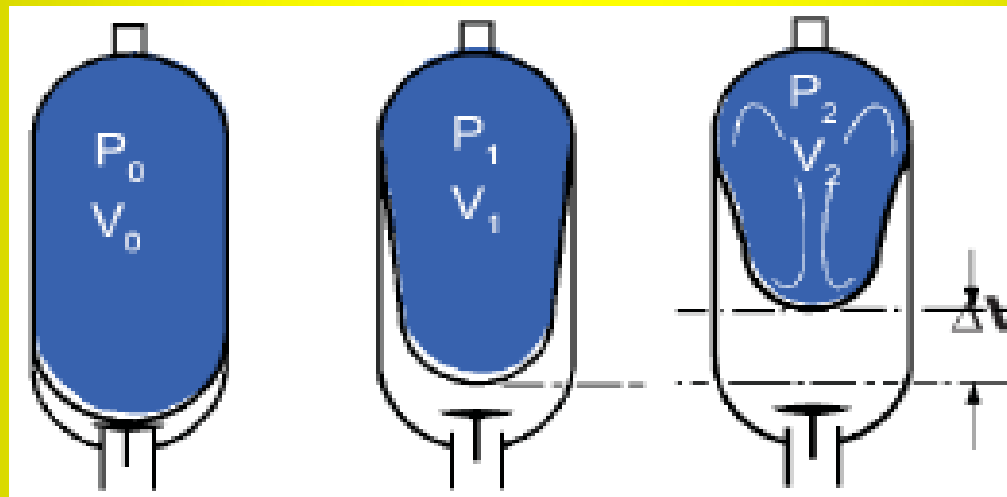
$$\eta_t = \frac{1}{1 + \frac{C_v S}{\chi} + \frac{C_f}{\chi} + C_h \chi^2 \sigma^2}$$

- The similar equation for motors is

$$\eta_v = \frac{1}{1 + \frac{C_s}{\chi S} + \frac{\Delta p}{\beta} + \frac{C_{st}}{\chi \sigma}}$$

The Reservoir

A low-pressure precharged accumulator (tank) has been used to avoid cavitation of the pump. The gas in the accumulator has been treated as ideal without sacrificing accuracy: $p_g V^n = \text{const.}$, where $n = 1, 4$.



Simulation software

ADVISOR – a Tool for Advanced Vehicle Modeling

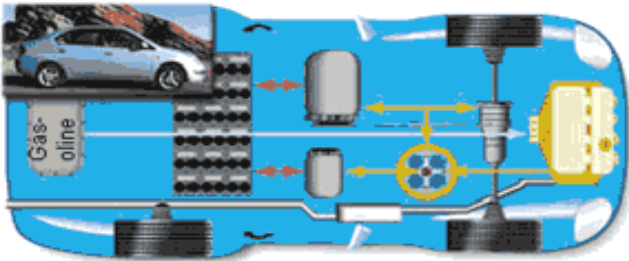
- A model of the hybrid diesel hydraulic automotive powertrain can be developed in the MATLAB/Simulink environment and then implemented into the automotive simulator ADVISOR.

- Advanced Vehicle Simulator ADVISOR was first developed in at the National Renewable Energy Laboratory (USA) and it was designed as analysis tool to assist the US Department of Energy in developing technologies for hybrid electric vehicles.

Input window for ADVISOR

Vehicle Input-ADVISOR 3.0
File Edit Units Model Help

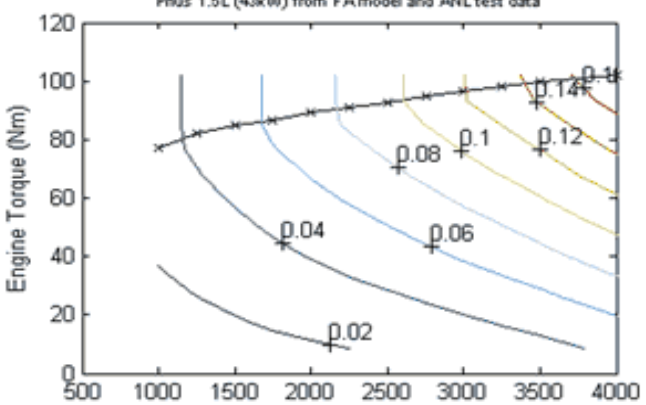
Vehicle Input



Motor1 Position: Motor2 Position:

fc_emissions_CO:

Engine Out CO Emissions Map (g/s) - Prius 1.5L (43kW) from FA model and ANL test data



Engine Torque (Nm)

Engine Speed (rpm)

Load File:

Drivetrain Config:

	version	type		max pwr (kW)	peak eff	mass (kg)
☒ Vehicle			VEH_PRIUS			918
☒ Fuel Converter	v01	si	FC_PRIUS	43	0.39	137
☒ Exhaust Aftertreat			EX_SI	#of mod	V nom	11
☒ Energy Storage	v01	ninh	ESS_Prius_pack	40	311	76
Energy Storage 2			ess 2 options			
☒ Motor			MC_PRIUS	31	0.91	57
Motor 2			motor 2 options			
Starter			starter options			
☒ Generator			GC_PRIUS	15	0.84	33
☒ Transmission	v04	pgcvt	TX_PRIUS_CVT		0	0
Transmission 2			trans 2 options			
Clutch/Torq. Conv.			clutch/torque converter optio			
☐ Torque Coupling			TC_DUMMY			
☒ Wheel/Axle			WH_PRIUS			0
☒ Accessory			ACC_PRIUS			
Acc Electrical			acc elec options			
☒ Powertrain Control	v05	pg	PTC_PRIUS			

of wheels driving: ☒ 2 wheels ☐ 4 wheels

Cargo Mass:

Calculated Mass:

☒ override mass:

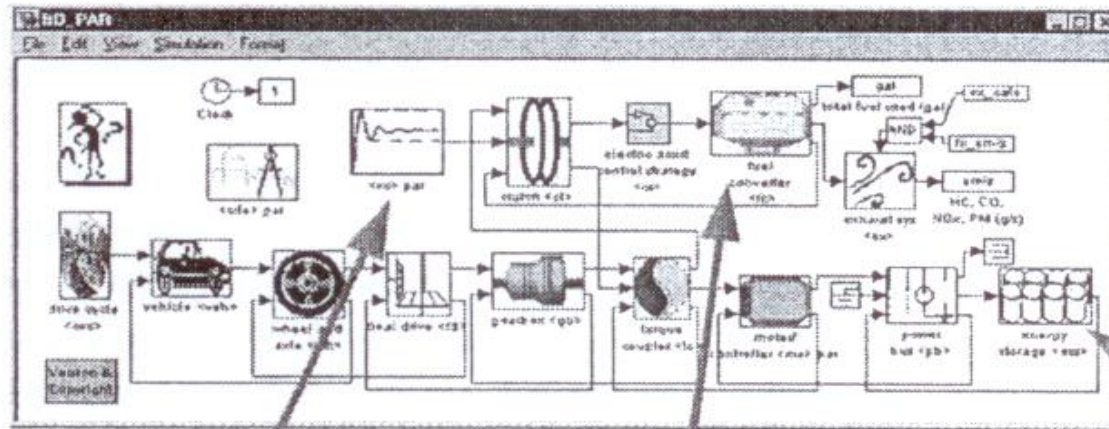
Save Help

Back Continue

Variable List Current Value

Edit Var.

Interaction between data files and the block diagram of the model

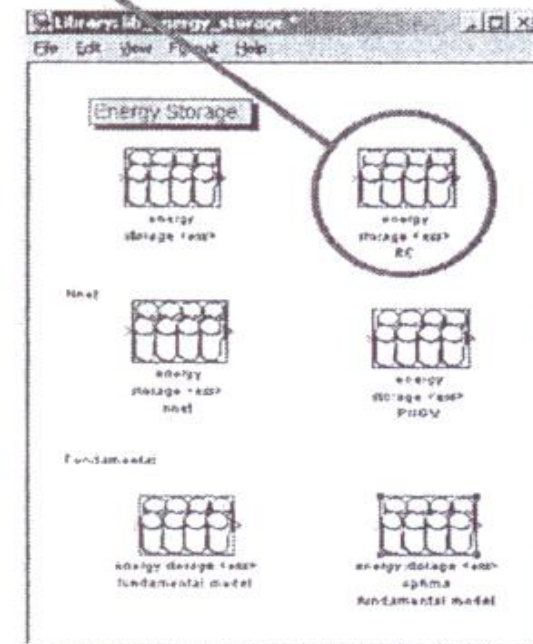


Block Diagram

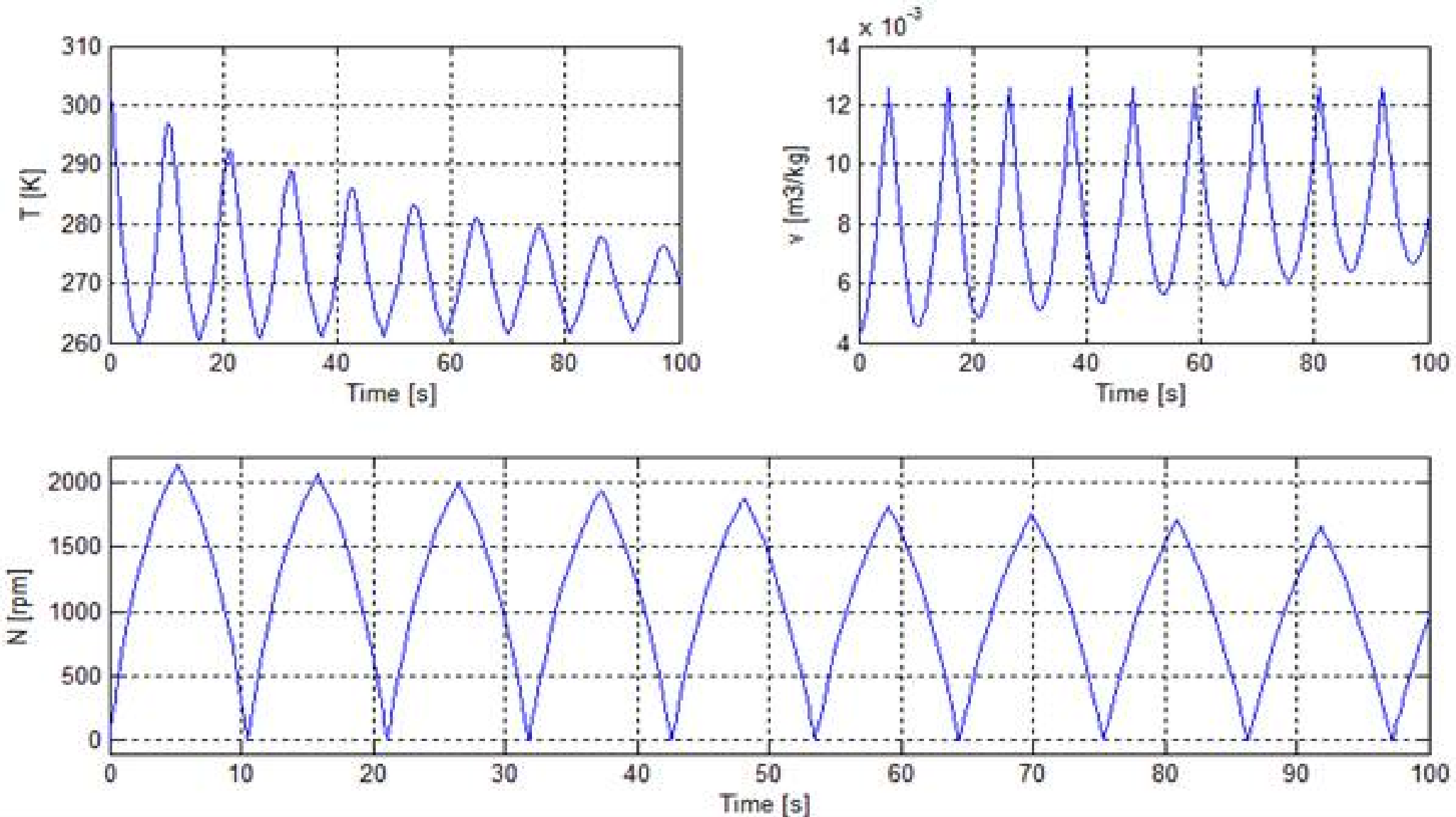
Battery



Libraries

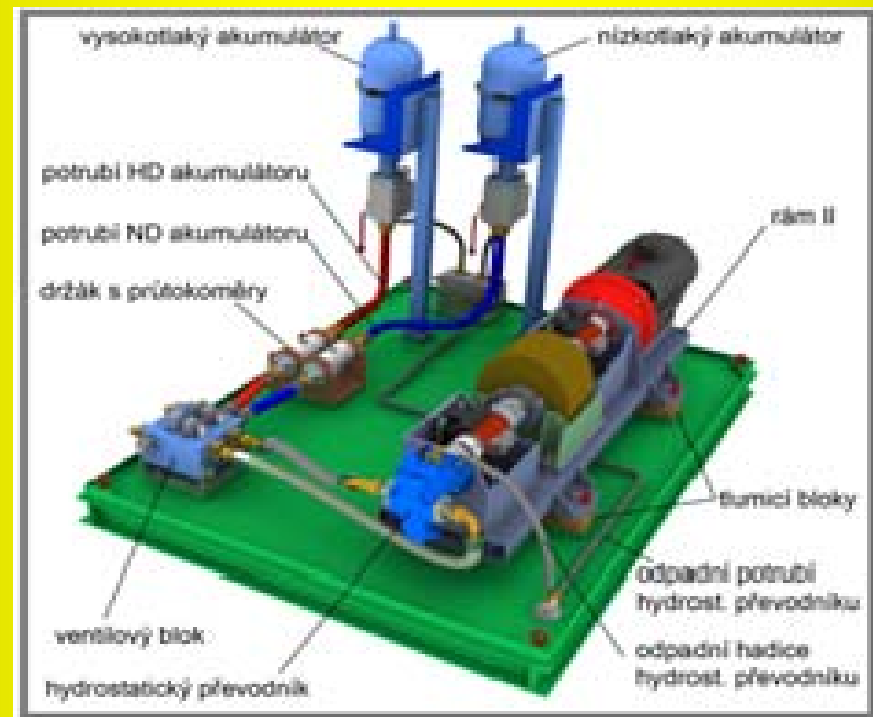


Pulsation of energy flow in recuperation MATLAB model

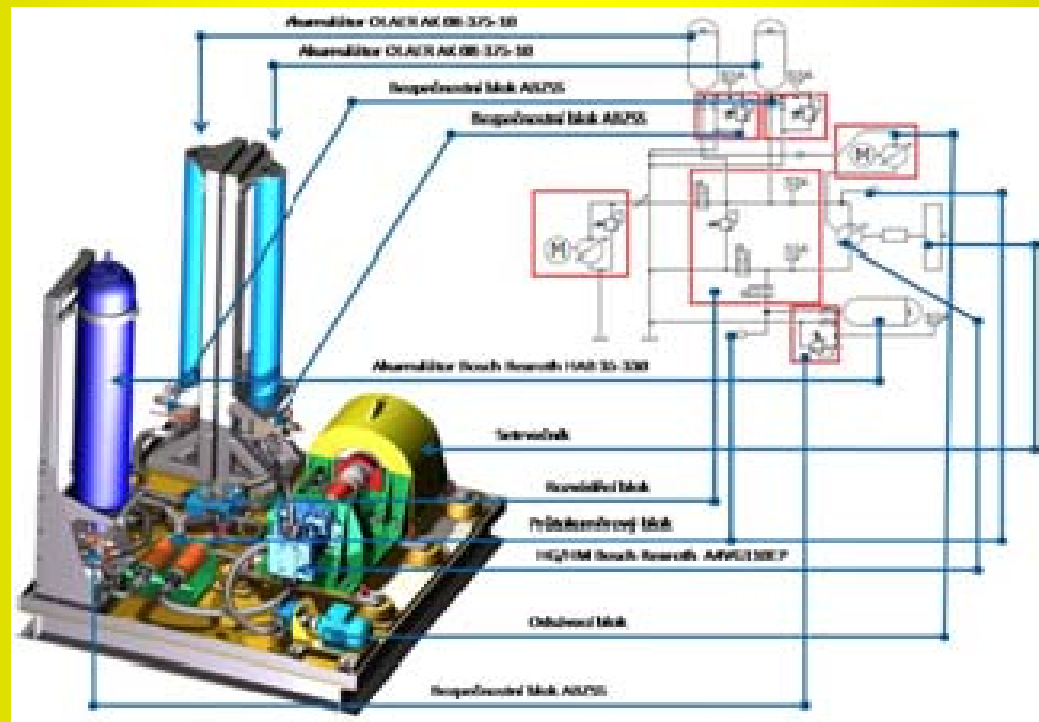


5. UKÁZKY APLIKACÍ - SPOLUPRÁCE UNIVERZITNÍ A PRŮMYSLOVÉ SFÉRY

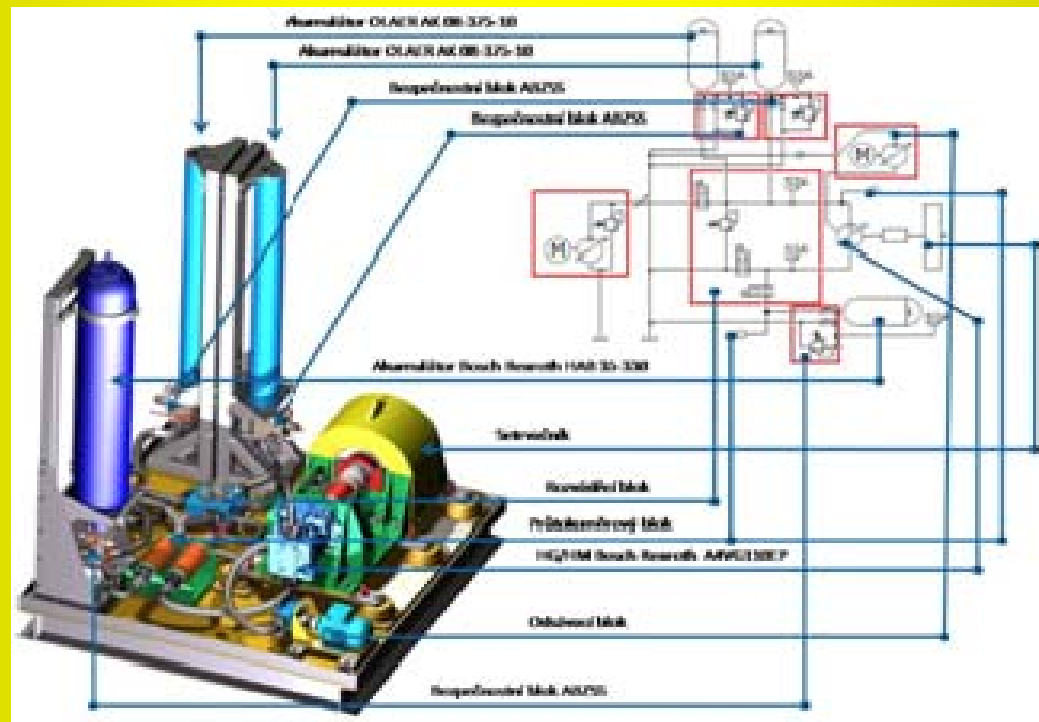
The experimental test bench for recovery energy



Equipment to vehicles energy recovery measurement



Equipment to vehicles energy recovery measurement



Hydromobil at the MVB 2011



The inner part of the hydromobil



Hydromobil

1:27:95

- <http://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/1181680258-tyden-v-regionech-brno/311281381891022-tyden-v-regionech/#t=16m47s>

PRVNÍ ČESKÉ PNEUMOBILY

Dva pneumobily – malé studentské pneumaticky poháněné „automobily“ – byly předváděny při své jízdě na Mezinárodním strojírenském veletrhu Brno 2010 na volné ploše u pavilonu Z diplomanty Ústavu konstruování FSI VUT.

Pohon:
přímočaré pneumotory



054.AVI

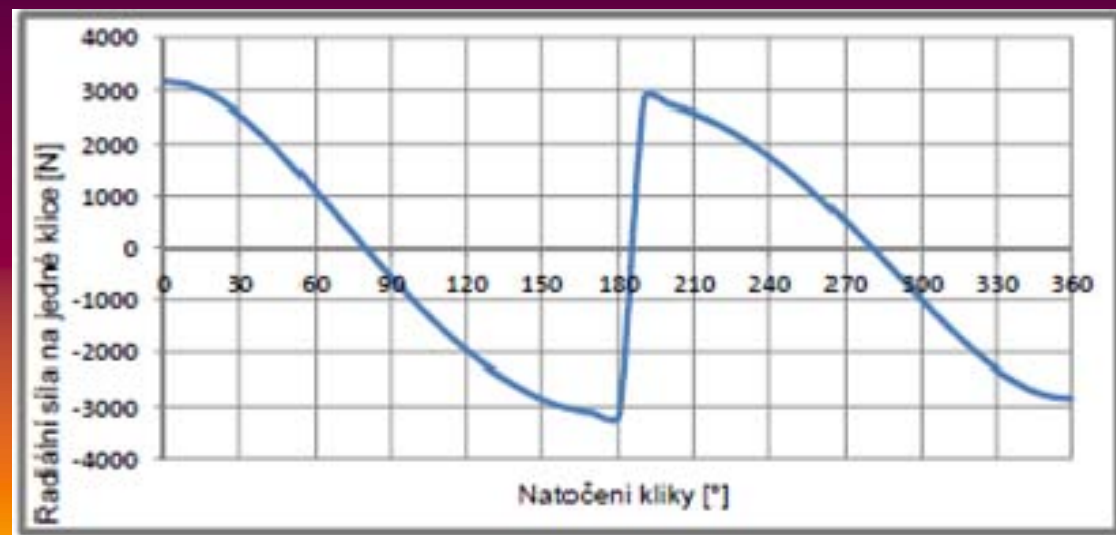
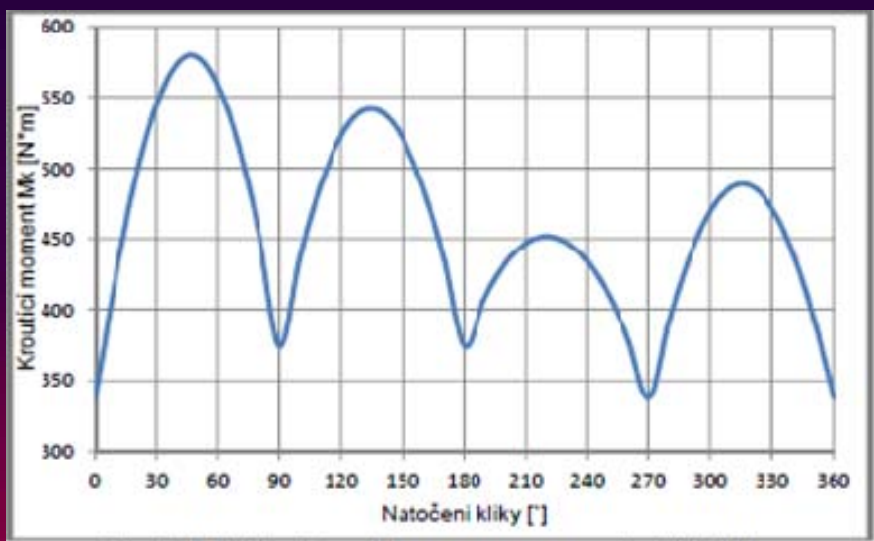


050.AVI



Z výpočtu pneumobilů

Výsledek výpočtu krouticího momentu a radiální síly v závislosti na úhlu natočení kliky



Technické parametry pneumobilů

Maximální rychlost pneumobilů je 35 km/h,

při šetrné jízdě lze jimi na jednu láhev stlačeného vzduchu o tlaku

18 MPa ujet 4 km,

při jízdě na plný výkon 2 km.

Z rychlosti 0 km/h na rychlost 20 km/h se pneumobil urychlí za 6 s.

NÁVRH LETADLOVÉ ENERGETICKÉ JEDNOTKY

Diplomová práce, 2010

Vypracoval: Bc. Martin Poledno

Vedoucí práce: prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

Spolupráce s Katedrou letecké a raketové techniky Univerzity obrany v Brně a leteckou divizí První brněnské strojírny ve Velké Bíteši

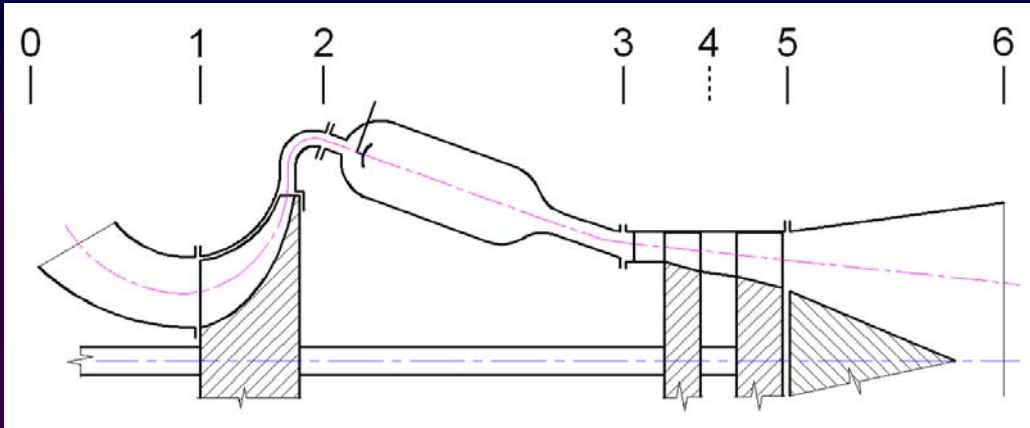
Cíl práce

Vytvořit základní návrh LPEJ dodávající 100 kW elektrického výkonu do palubní sítě letadla

a pomocí matematického modelování analyzovat její činnost v řadě mimonávrhových režimů práce



Popis turbohřídelového motoru



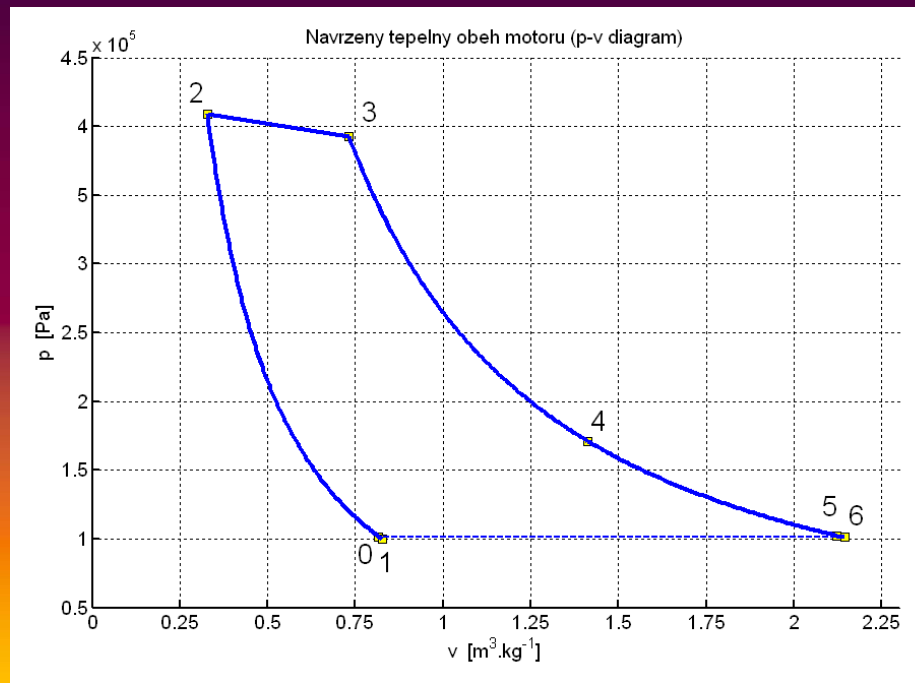
0-1) vstupní soustava

1-2) odstředivý kompresor

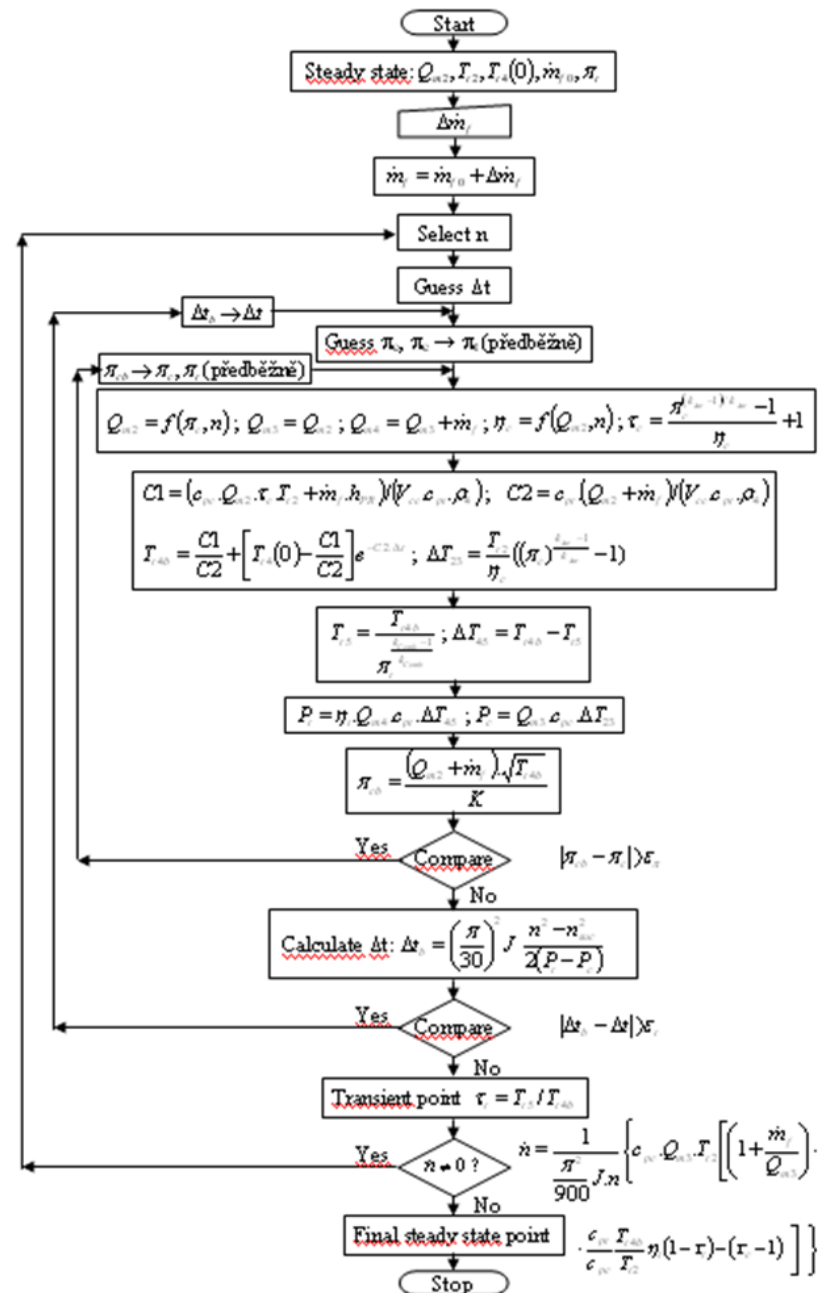
2-3) spalovací komor

3-5) turbína

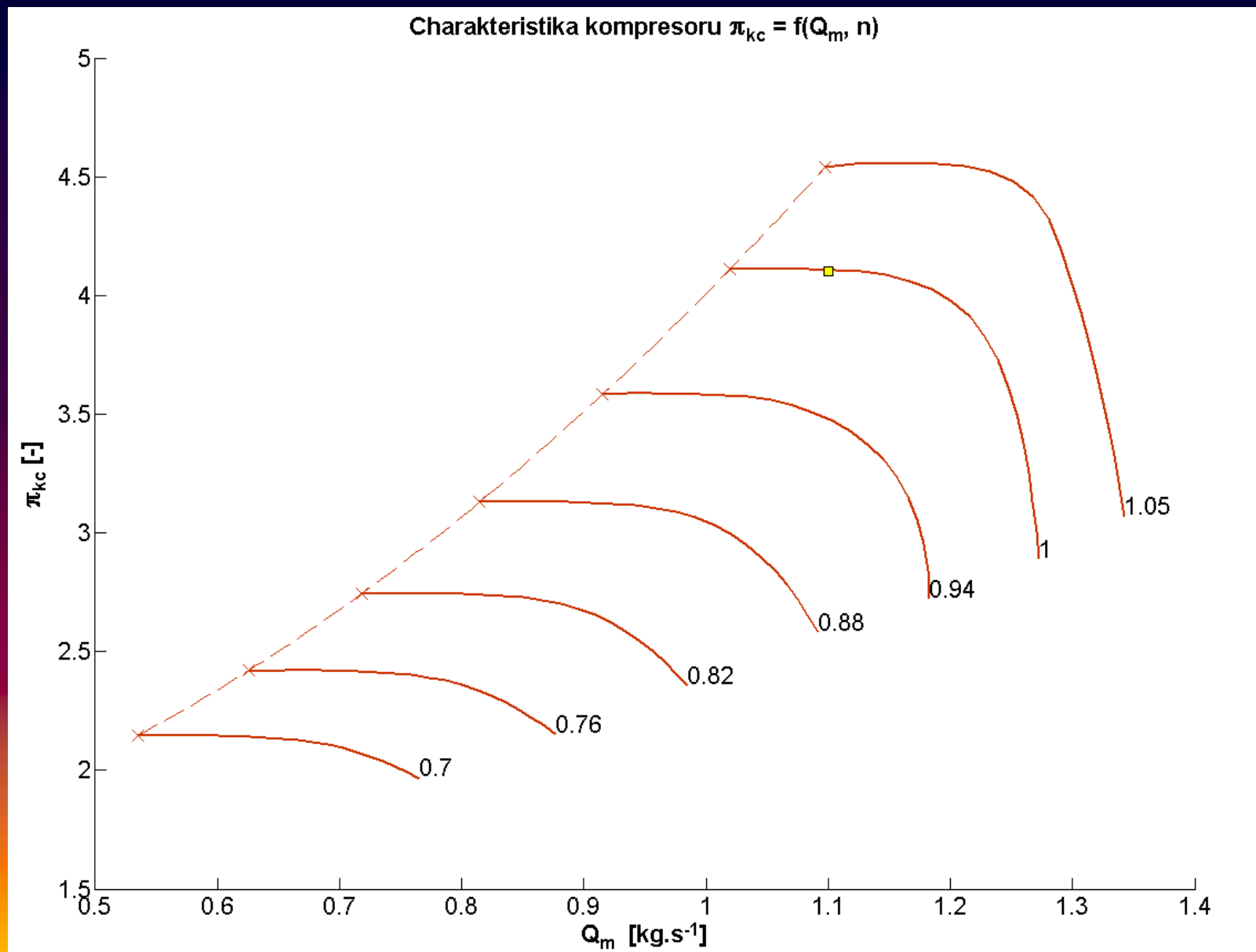
5-6) výstupní soustava



Výpočet charakteristik rotačního kompresoru



Charakteristika kompresoru



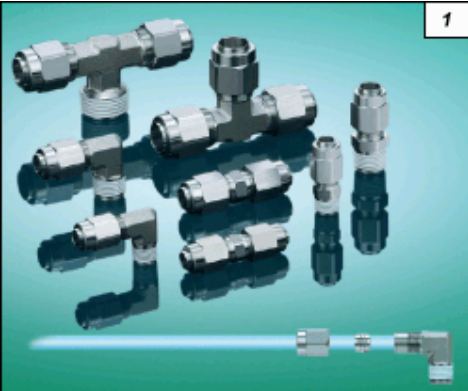
Povzbuzení pro mladé pracovníky - pneumatiky

Diplomantu Bc. Martinu Polednovi byla (jako jedinému diplomantovi z Fakulty strojního inženýrství

a současně jednomu ze čtyř diplomantů z celého VUT) v r. 2010

udělena cena Nadace Preciosa za jeho diplomovou práci.





Děkuji za Vaši pozornost

