

Nekonvenčný progresívny princíp premeny tepla na chlad termokompresiou

prof. Ing. Vladimír Hlavňa, PhD.

Seminár ku projektu: „Rozvoj spolupráce medzi VEC a KET so zameraním na
odborný rast doktorandov a výskumných pracovníkov“ ITMS 22410320106
Demänovská dolina, 13.03. – 14.03.2014



**PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁCE**
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

OBSAH

- ✓ 1. TUŽ, TUEZ.
- ✓ 2. Podstata.
- ✓ 3. Požadované energie.
- ✓ 4. Nekonvenčný energetický systém.
- ✓ 5. Termokompresia - chladiaci motor.
- ✓ 6. Záver

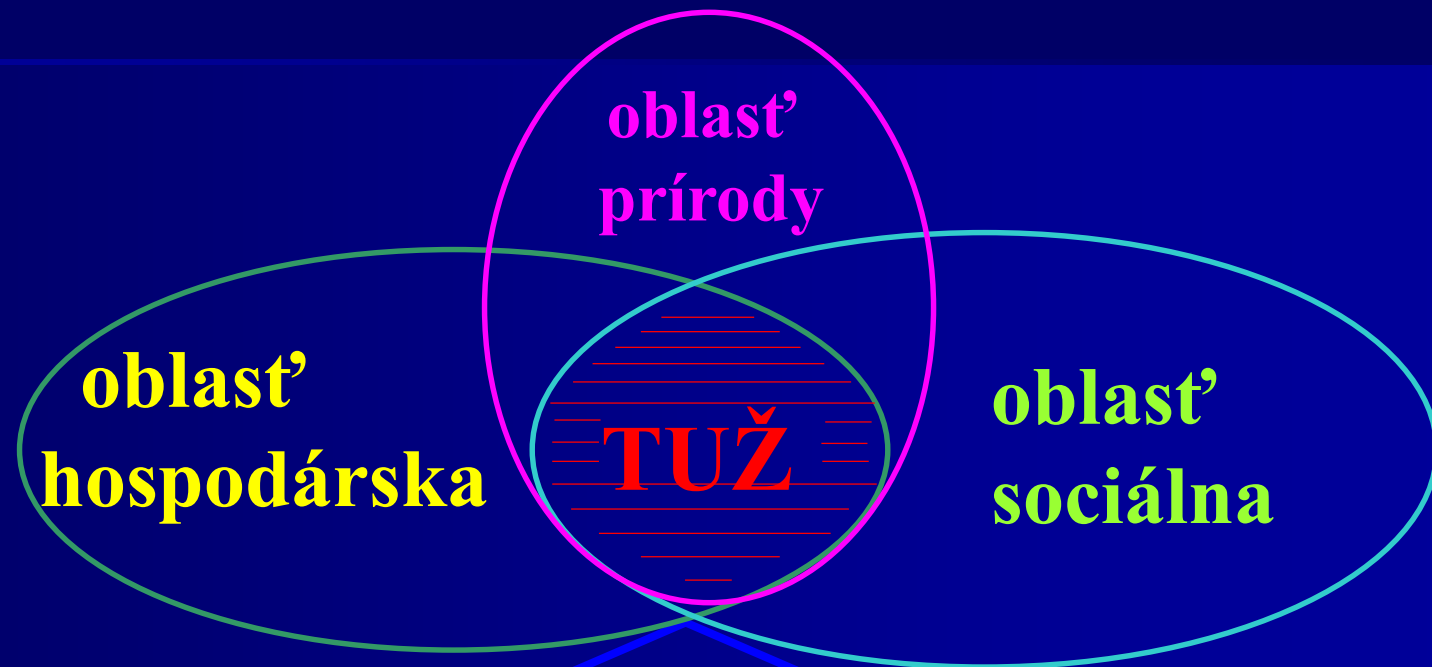
Trvale Udržitelný Život

Trvale Udržitelný Energetický Zdroj

Podstata

TRVALOUDRŽATEĽNÝ ŽIVOT

Vytvorenie trvale udržateľného systému zabezpečenia dostatku energie v budúcnosti.

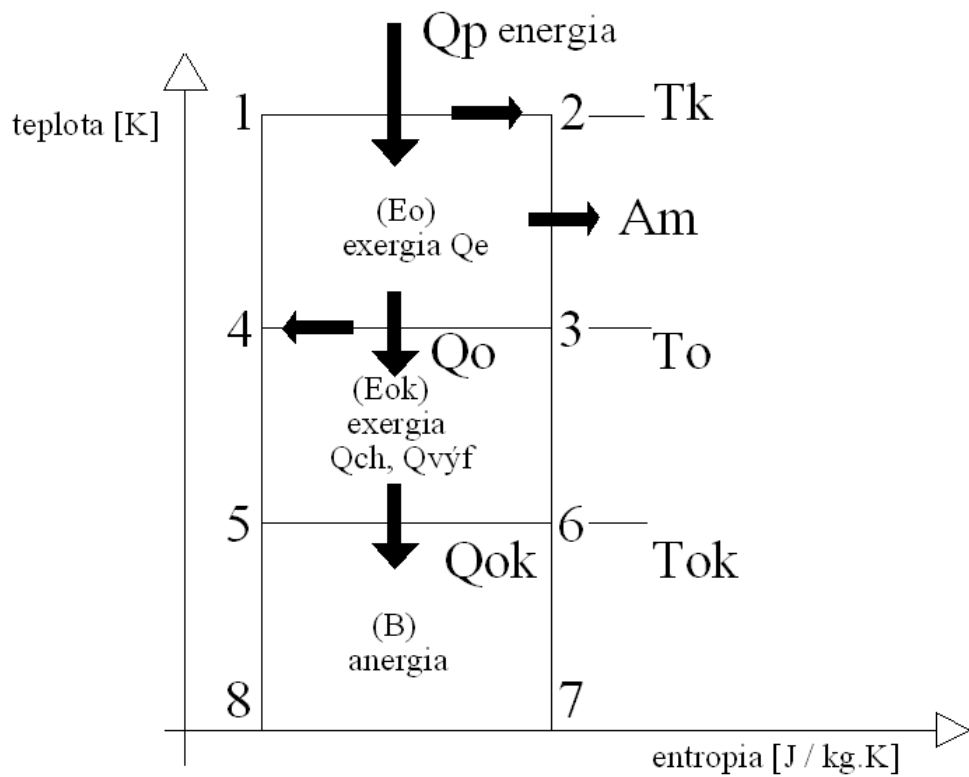


TUES

KKZE

chladiaci SM

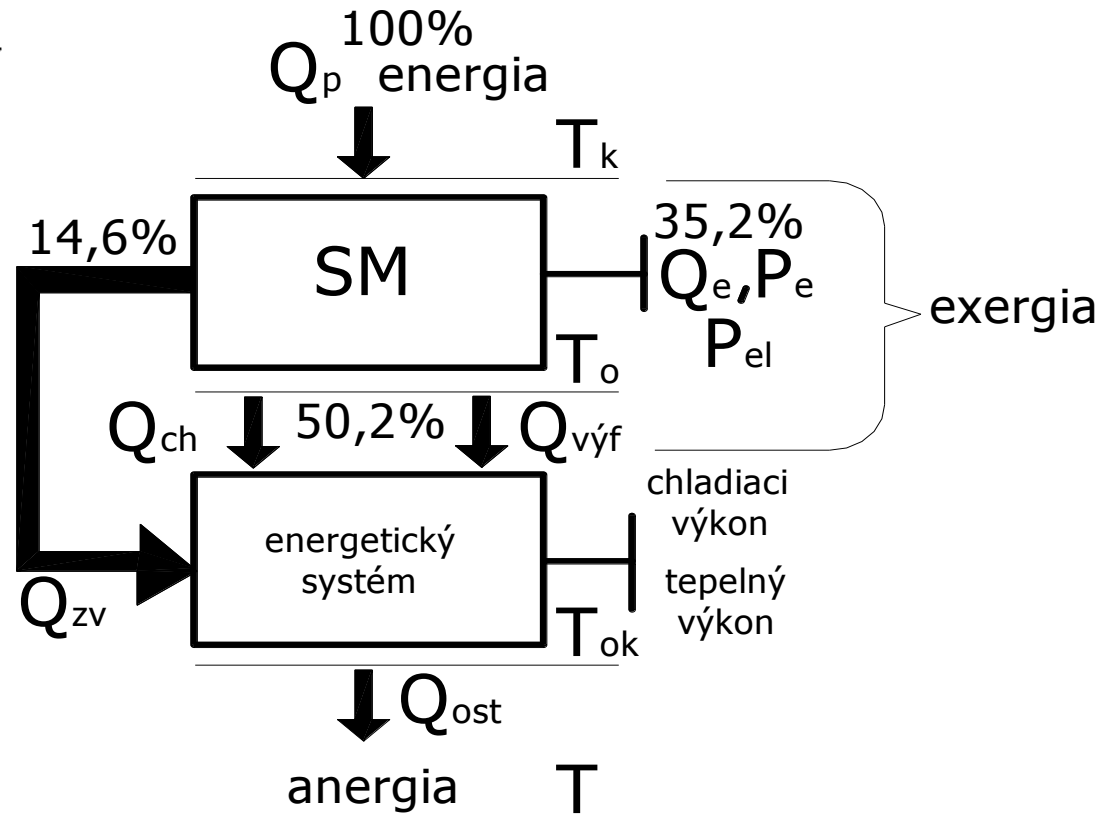
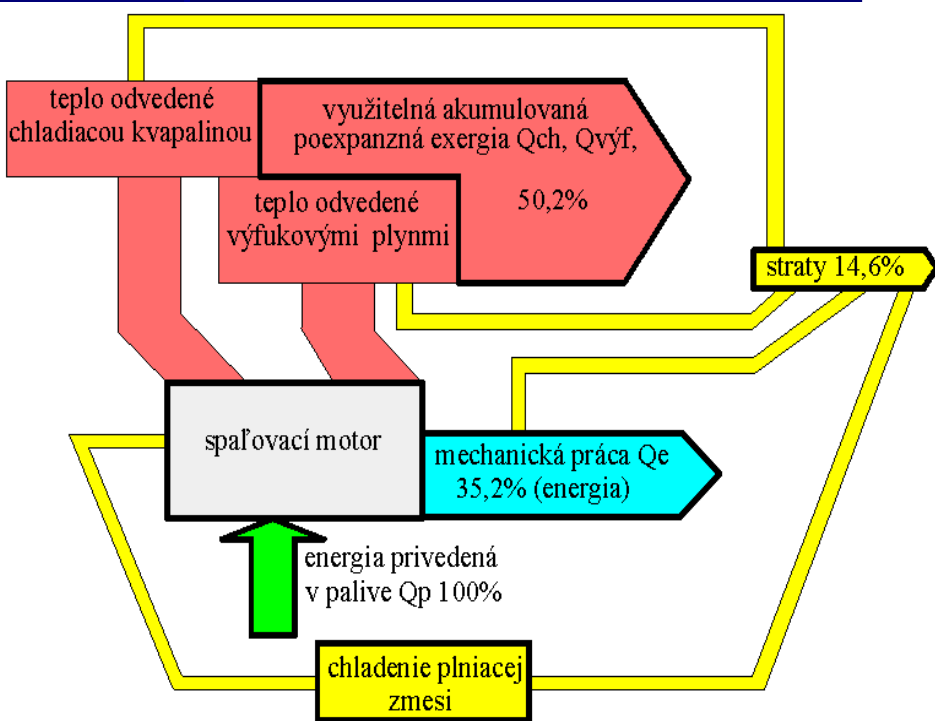
SPALOVACÍ MOTOR
ako jeho (energetický)
PRVOK



$$E = Q_p \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \approx Q_e$$

$$E = Q_p \left(1 - \frac{T_{0k}}{T_k} \right) \approx Q_c$$

$$COP = \frac{Q_{VYF} \eta_{TE} + Q_{CH} \eta_{CH} + Q_E \eta_{EL}}{Q_P}$$



Požadované energie

Požadované energie

odber v rôznych kombináciách druhu i veľkosti –
podľa požiadavky technológie

- mechanická, elektrická,
- vysokopotenciálové teplo (*ohriata kúrenárska voda do 100°C*),
- strednopotenciálové teplo (*ohriata voda 40/55 °C z TČ a 29/36°C z ACH*),
- teplo nízkeho potenciálu (*7 až 16°C*),
- vysálané teplo – nevyužitú.

Využitie tepelného toku energie.

Vysokopotenciálové
teplo



vykurovanie
technologický proces
absorbčné chladenie

Strednopotenciálové
teplo



z absorbčného chladenia
na ohrev TUV

Nízkopotenciálové
teplo

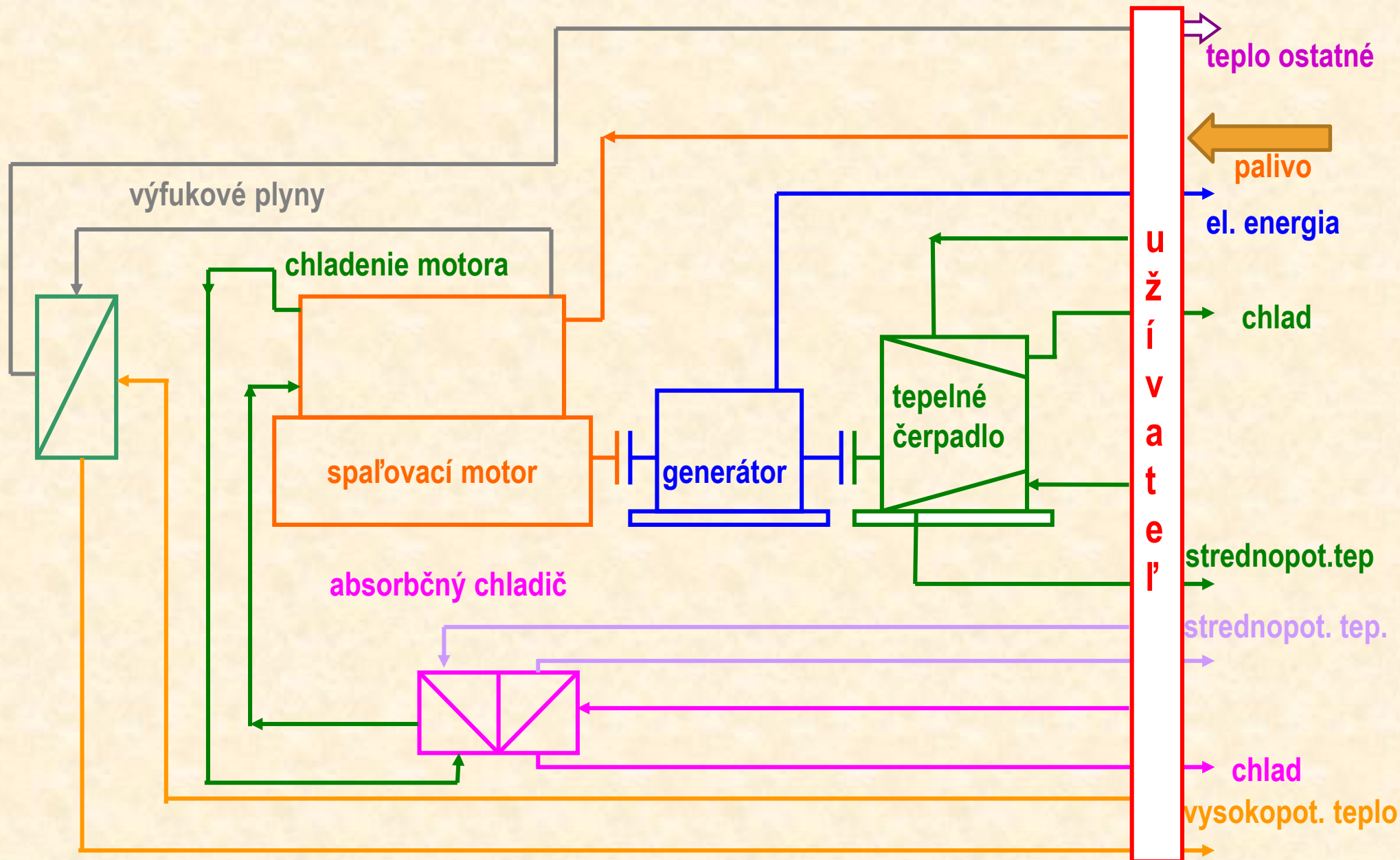


z tepelného čerpadla
napojené na
chladiarenský
systém,
administratívne
budovy

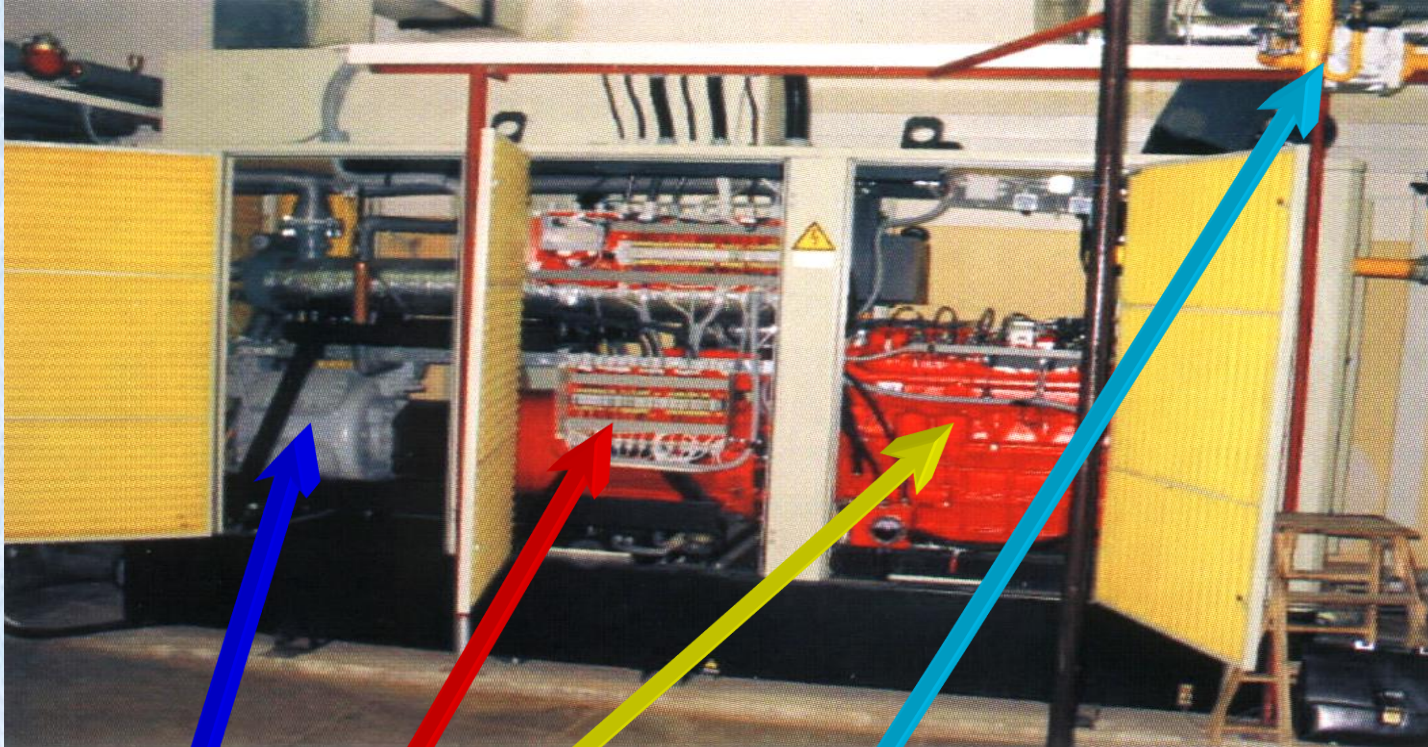
Samotný systém môže rozhodovať o prioritách využitia energie.

Nekonvenční energetický systém

Realizovaný nekonvenčný energetický systém - kombinovaná výroba elektriny tepla a chladu



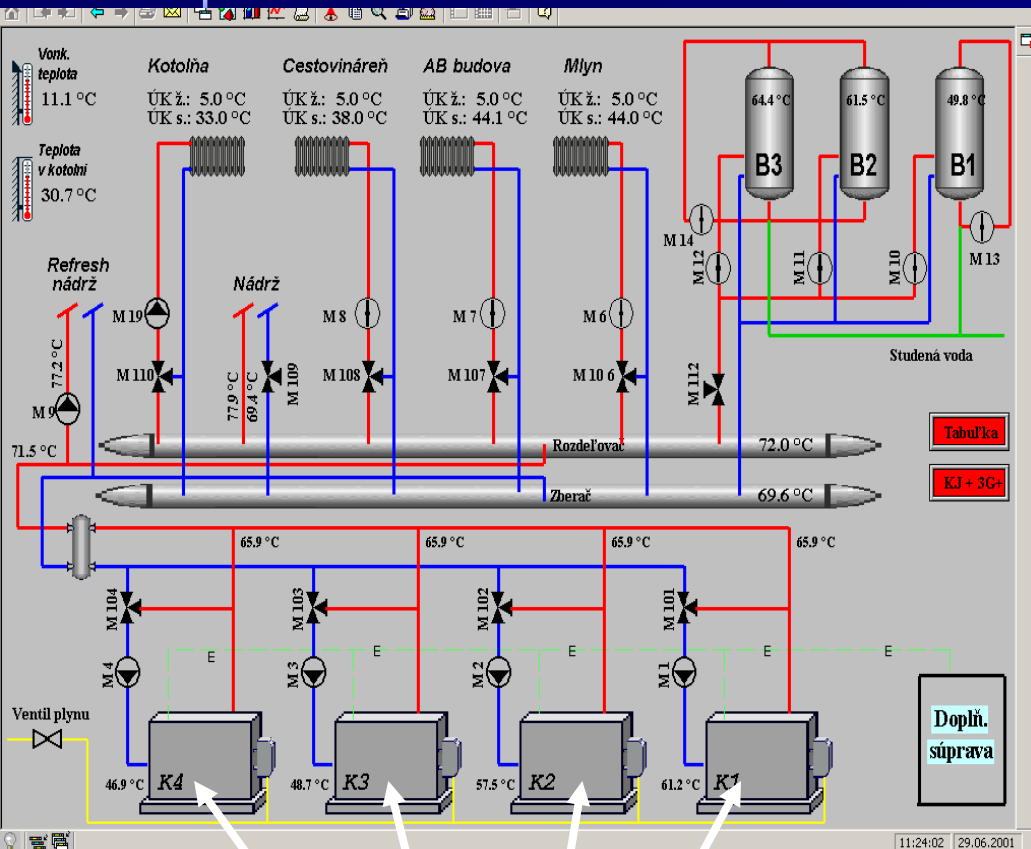
NEKONVENČNÝ ENERGETICKÝ CELOK



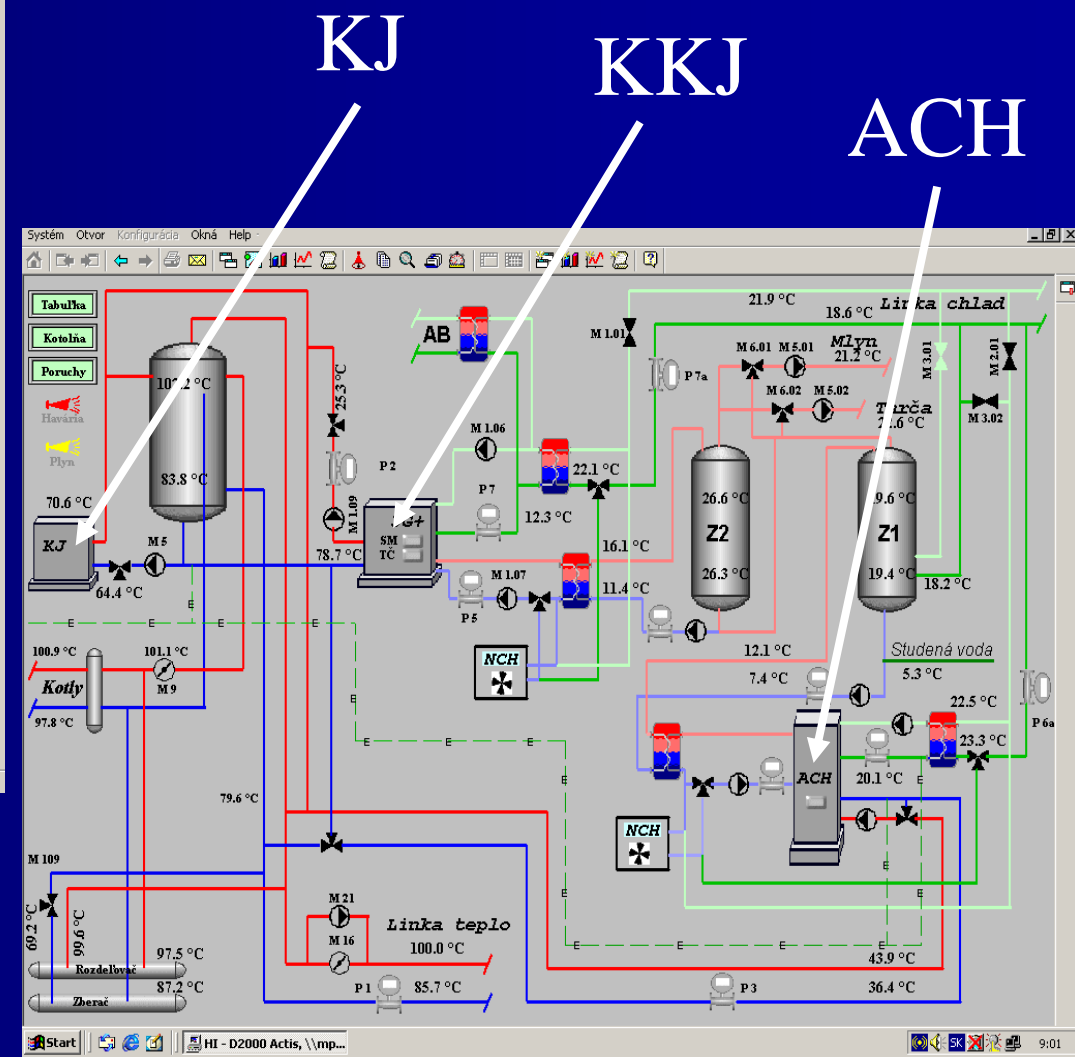
- spaľovací motor k absorpčnému chladiču
- asynchrónny motor - generátorom
- tepelné čerpadlo
- výmenníky tepla a rozvádzač

Zabezpečenie energie v rôznych kombináciách

Nekonvenční energetický systém



KOTLE



KJ

KKJ

ACH

RIADENIE

- **technologické zariadenia** – *vlastné,*
- **procesné kotolne** – *riadiaci systém DIRAS Paufex:*
teplota: vykurovacia voda a chladu do technológie, kotlový okruh, vykurovanie a príprava TÚV, KJ a teplota vykurovacej vody v zásobníku, KKJ a nízkoteplotná TÚV,
- **dispečerské s monitorovaním kotolne.**



ich kombinácia = komplexné riadenie ES

Procesné riadenie: - riadiaca funkcia, čo môže byť; požadovaná teplota vykurovacej vody s dodržaním sprievodných funkcií, - max. využitie el. energie a chladu.

Dispečerské riadenie: - zabezpečiť: systém alarmov, zber a spracovanie dát, zobrazenie technologického procesu, umožniť: získať informácie užívateľovi v požadovanom čase

Riadenie energetického celku
v troch úrovniach

Sledovanie parametrov
v minulom i reálnom čase

1. úroveň

Riadenie technologických
zariadení s vlastnou
reguláciou

2. úroveň

Procesné riadenie
celého systému

3. úroveň

Dispečerské riadenie
a monitorovanie
systému

Riadenie nekonvenčného energetického celku ako
podsystemu riadenia celého energetického celku.

RIADENIE zabezpečí:

- technológiou požadované vlastnosti chovania celého energetického celku,
- dispečerský a monitorovací systém sprehľadní obsluhu riadenia,
- archivovať veličiny a prevádzkové stavy .

Hodnotenie systému

Energetické, ekonomické, ekologické

- z určenia množstva usporenej energie a financií voči inému napr. existujúcemu energetickému zariadeniu,
- zo stanovenia investičných nákladov,
- zo zistenia ekonomickej návratnosti.

Ekonomickému hodnoteniu musí predchádzať hodnotenie energetické.

Energetické hodnotenie nekonvenčného energetického celku je postavené na porovnaní s klasickou oddelenou výrobou jednotlivých energií.

MESAČNÉ EKONOMICKÉ VYHODNOTENIE

ÚDAJE ZAZNAMENANÉ D 2000

Hodnoty sú za **únor** **2003**

Teplota z chladenia SM - 3GJ T_{SM} **157,9** [GJ]

Teplota pre vykurovanie ACH T_{vykACH} **39,2** [GJ]

Teplota z chladenia kompresora TČ T_{nK} **18,0** [GJ]

Koeficient využitia tohto tepla **0,80** **Nastavte**

Využitá teplota z chladenia kompr. T T_{nK} **14,4** [GJ]

Teplota z chladenia ACH T_{nACH} **77,9** [GJ]

Koeficient využitia tohto tepla **0,70** **Nastavte**

Využitá teplota z chladenia ACH T_{nACH} **54,5** [GJ]

Chlad z TČ CH_K **12,0** [GJ]

Chlad z ACH CH_{ACH} **26,1** [GJ]

Elektrická energia vyrobená v AG E_{vyr} **25 901,0** [kWh]

Elektrická energia dodaná pre TČ E_{spotr} **38,4** [kWh]

Motohodiny spalovacieho motora Mh_{SM} **568,00** [hod]

Motohodiny tepelného čerpadla $Mh_{TČ}$ **137,94** [hod]

Motohodiny absorpčného chladiča Mh_{ACH} **334,17** [hod]

Spotreba plynu **10 005,1** [nm³]

VÝNOSY

ELEKTRINA	
$E_{vyr} - E_{spotr}$	25 862,6 [kWh]
Jednotková cena	2,66 [Sk / kWh]
Výnos z elektriny	68 835,9 [Sk]

TEPLO	
$T_{SM} - T_{vykACH} + T_{nK} + T_{nACH} =$	118,7 + 68,9 [GJ]
Jednotková cena	425,7 [Sk / GJ]
Výnos z tepla	79 874,0 [Sk]

CHLAD	
$CH_K + CH_{ACH}$	38,0 [GJ]
Jednotková cena	540,9 [Sk / GJ]
Výnos z chladu	20 565,0 [Sk]

VÝNOSY SPOLU **169 274,9** [Sk]

NÁKLADY

SPOTREBA PLYNU	
Spotreba	10 005,1 [nm ³]
Jednotková cena	7,86 [Sk / nm ³]
Náklady na plyn	78 655,1 [Sk]

SERVISNÉ NÁKLADY	
$S_{KGJ} \cdot Mh_{SM} + S_{TČ} \cdot Mh_{TČ} + N_{ACH}$	18 463,0 + 2 487,6 + 3 091,9
Servisné náklady	24 042,5 [Sk]

ODPISY	
Odpis zariadenia	28 222,0 [Sk]
Odpis inštalácie	16 933,0 [Sk]
Odpisy spolu	45 155,0 [Sk]

NÁKLADY SPOLU **147 852,6** [Sk]

MESAČNÁ ÚSPORA = VÝNOSY - NÁKLADY **21 422,3** [Sk]

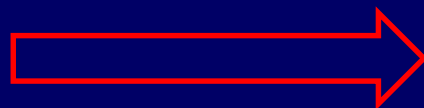
Cena ZP = 7,8615 Sk/m³; Cena EL = 2,6616 Sk/kWh; Teplota KOTLE = 425,6 Sk/GJ; Chlad KOMP = 540,8 Sk/GJ

Dátum: 27. február 2014

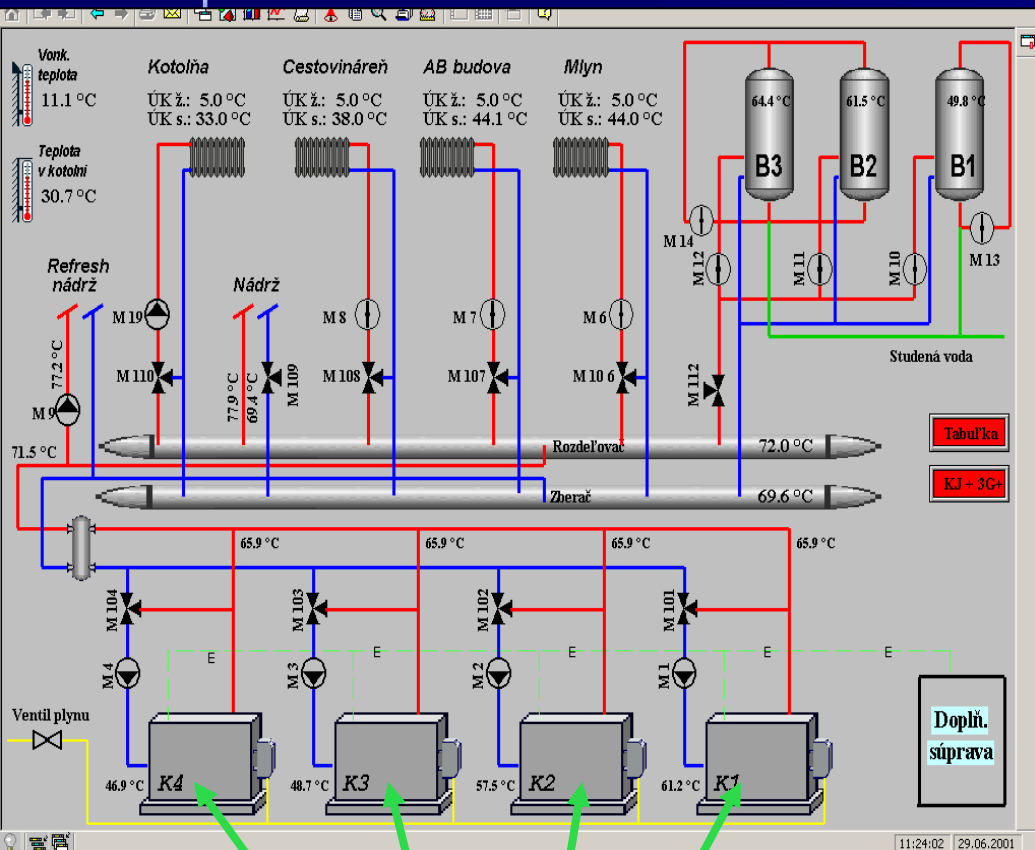
verzia 1.03

Termokompresia - chladiaci motor.

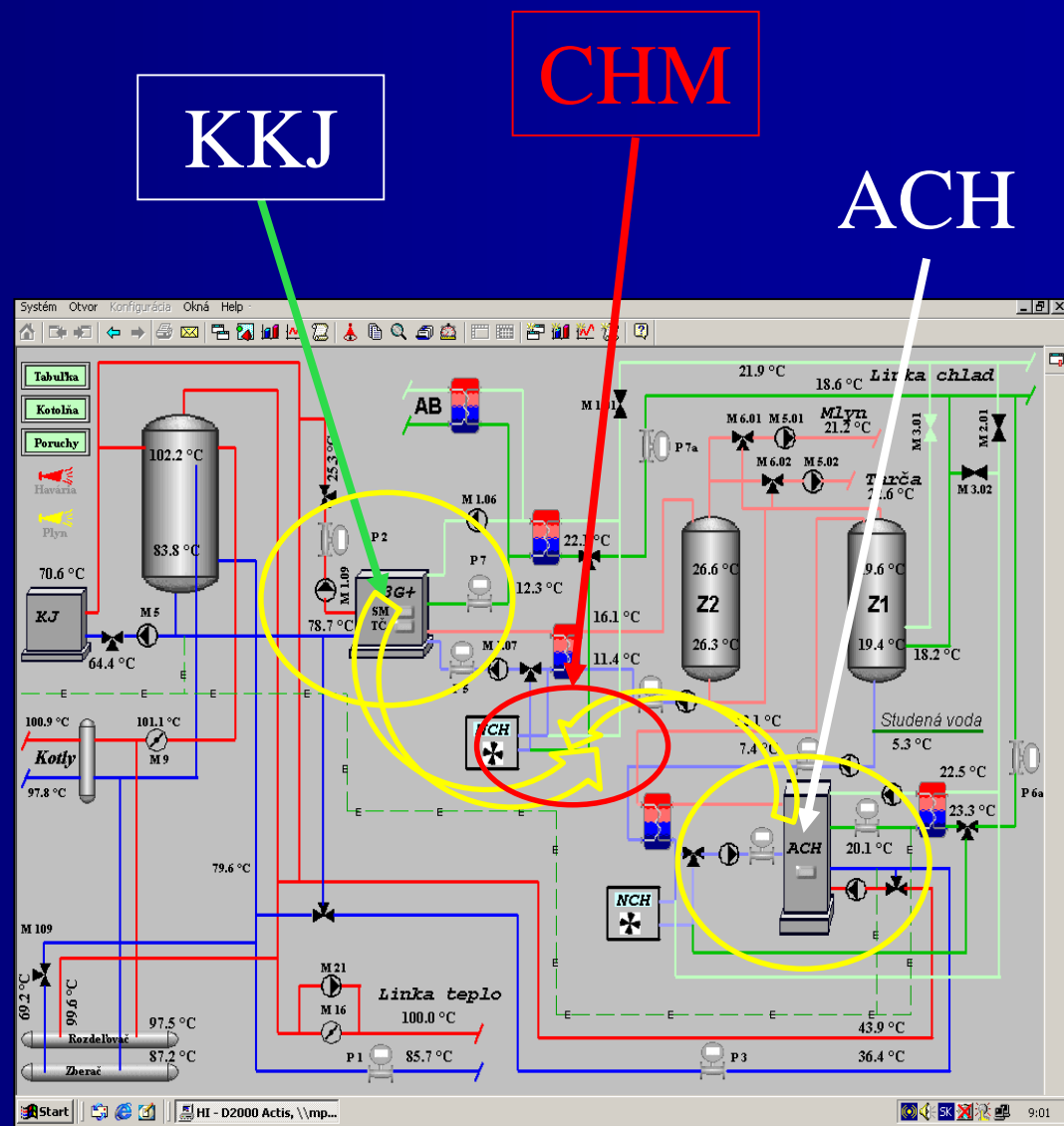
Nekonvenčný energetický okruh



chladiaci motor



KOTLE



Využitie termokompresie



chladiaci motor

Kondenzátor C, dochádza ku skvapalneniu pár chladiva. -3-

Odparná nádoba, dochádza tu k oddeleniu chladiva od absorbentu. -2-

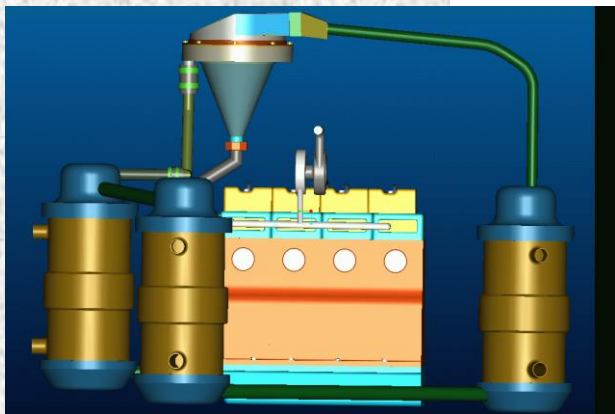
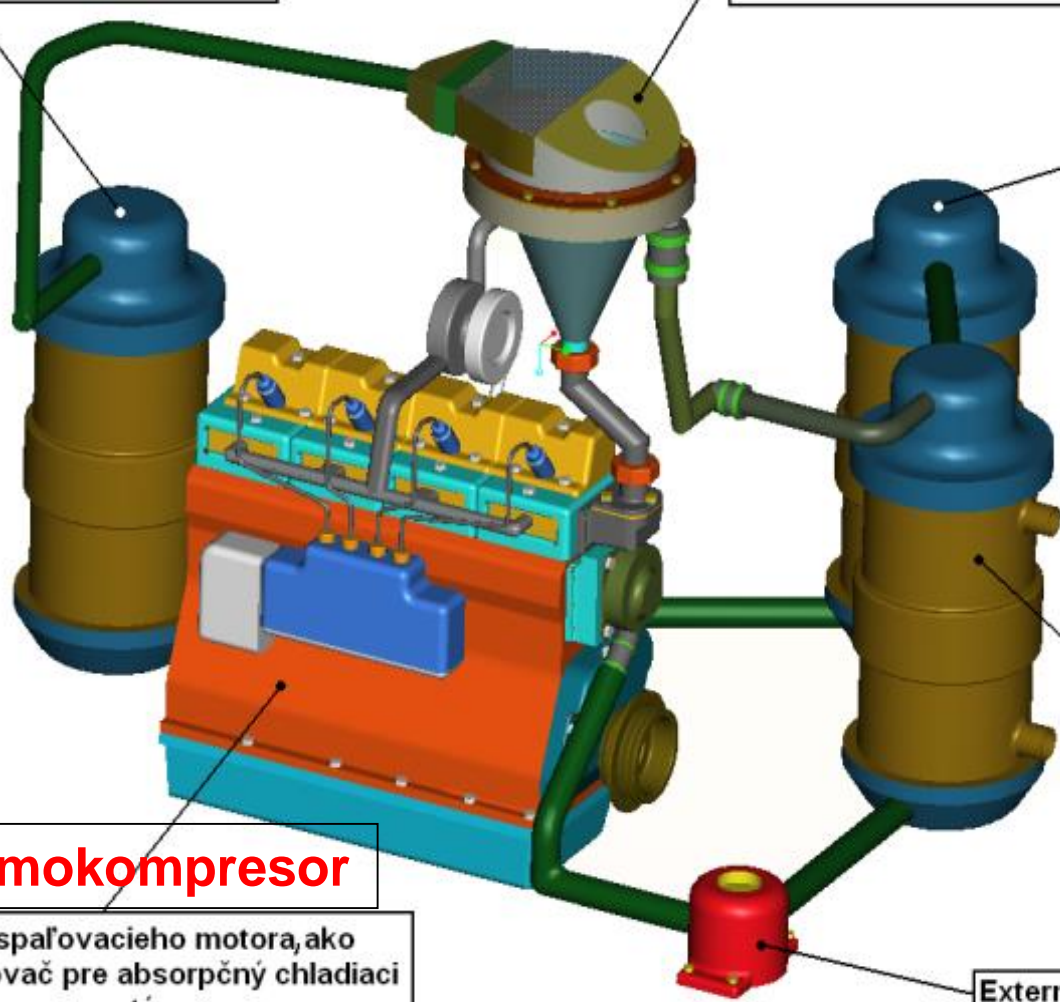
Výparník V, privodom tepla z chladenej látky sa chladivo vyparuje -4-

Absorbér A, para chladiva sa pohlcuje absorbentom. -5-

termokompresor

Blok spaľovacieho motora, ako vypudzovač pre absorpčný chladiaci systém. -1-

Externé čerpadlo -6-



Teoretická analýza a matematické modelovanie

Dvojica: čpavok - voda

voda (chladiivo) a LiBr (absorbent); -

spotreba pracovnej pary (cca 2,5 kg sýtej pary pri 0,185 MPa na 1kW výkonu pri chladení vody z 12,5°C na 7°C);

- možnosť vytvoriť kompaktné zariadenie s plnou automatizáciou;

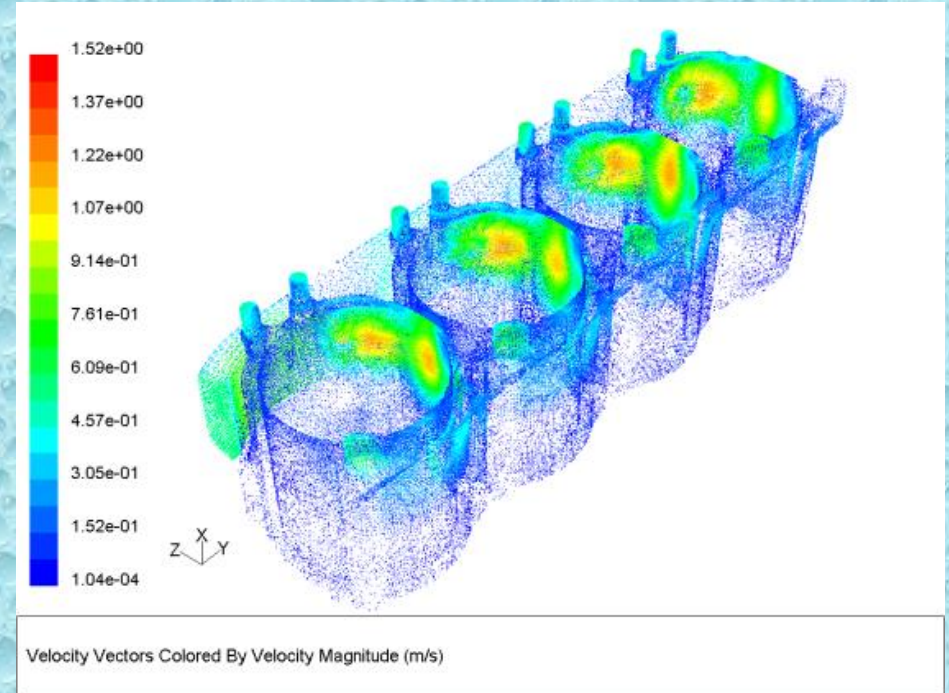
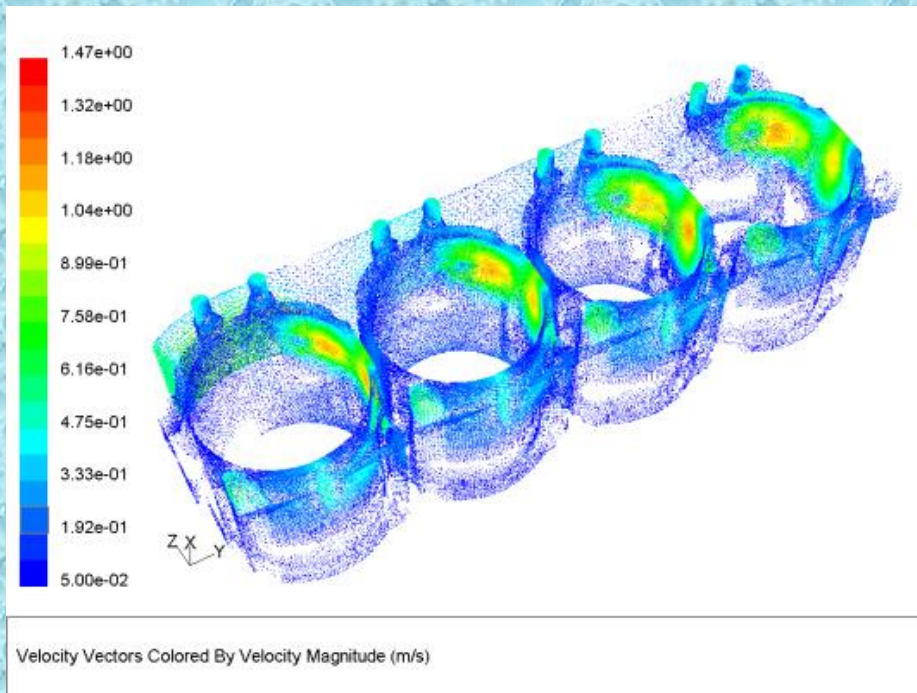
- **konštrukčné problémy** (tesnosť, chemické pôsobenie roztoku, ..);

- **obtekanie valcov motora chladiacim médiom pre dve rôzne chladiace kvapaliny pôvodnú a vyselektovanú;**

- **teoretický diagram obehu;**

- **fyzikálne – chemické vlastnosti LiBr-H₂O.**

Obtekanie valcov motora

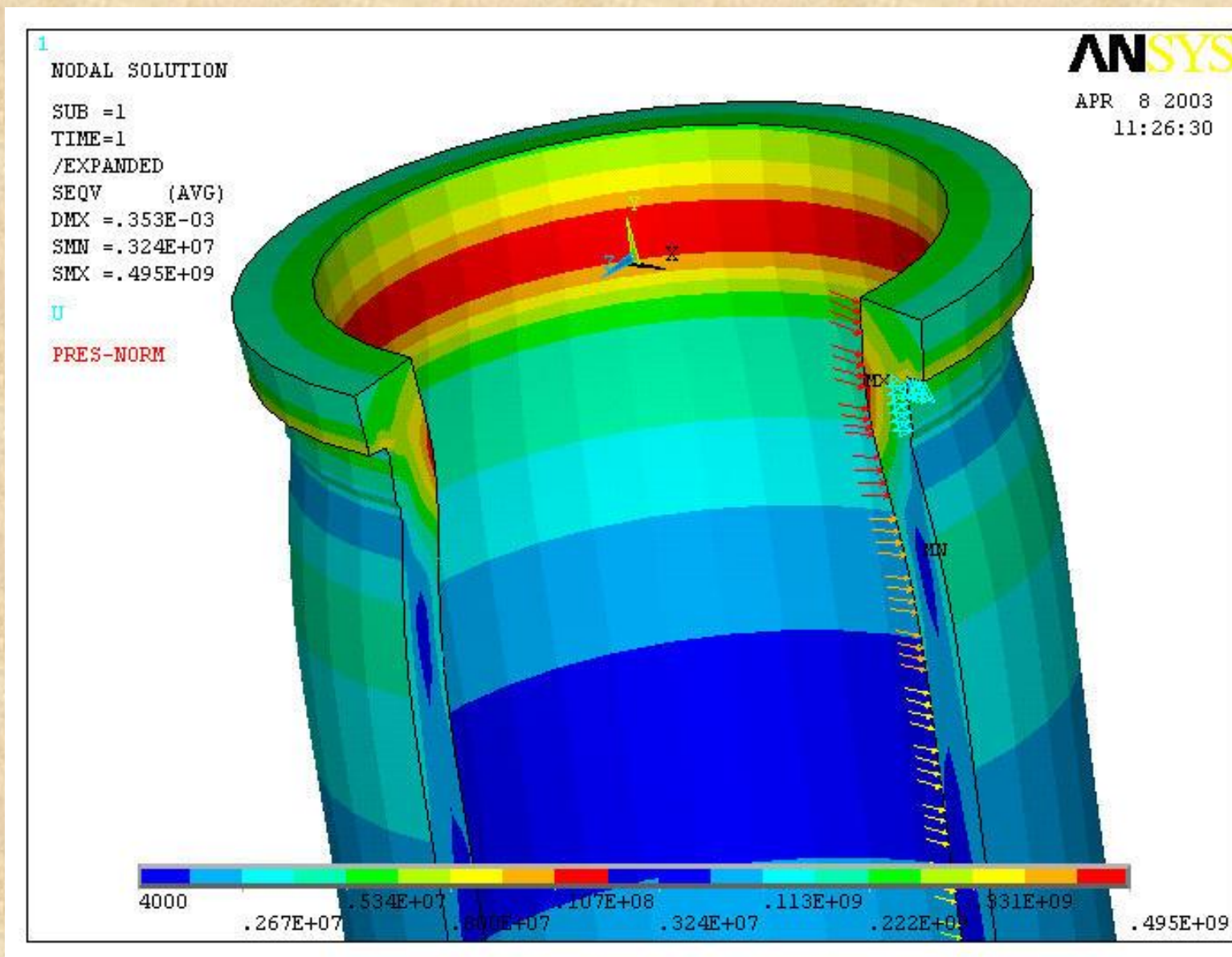


Rýchlostné polia prúdenia (pre vodu vľavo, pre alternatívne chladivo vpravo)

hmotnostný prietok okolo valca	[kg.s ⁻¹] pôvodné chladivo	[kg.s ⁻¹] alternatívne chladivo
valec 1	$m_{w1} = 0,233$	$m_{w1} = 0,424$
valec 2	$m_{w2} = 0,237$	$m_{w2} = 0,441$
valec 3	$m_{w3} = 0,260$	$m_{w3} = 0,473$
valec 4	$m_{w4} = 0,279$	$m_{w4} = 0,530$

Deformácia vloženého valca (tlakom a teplotou)

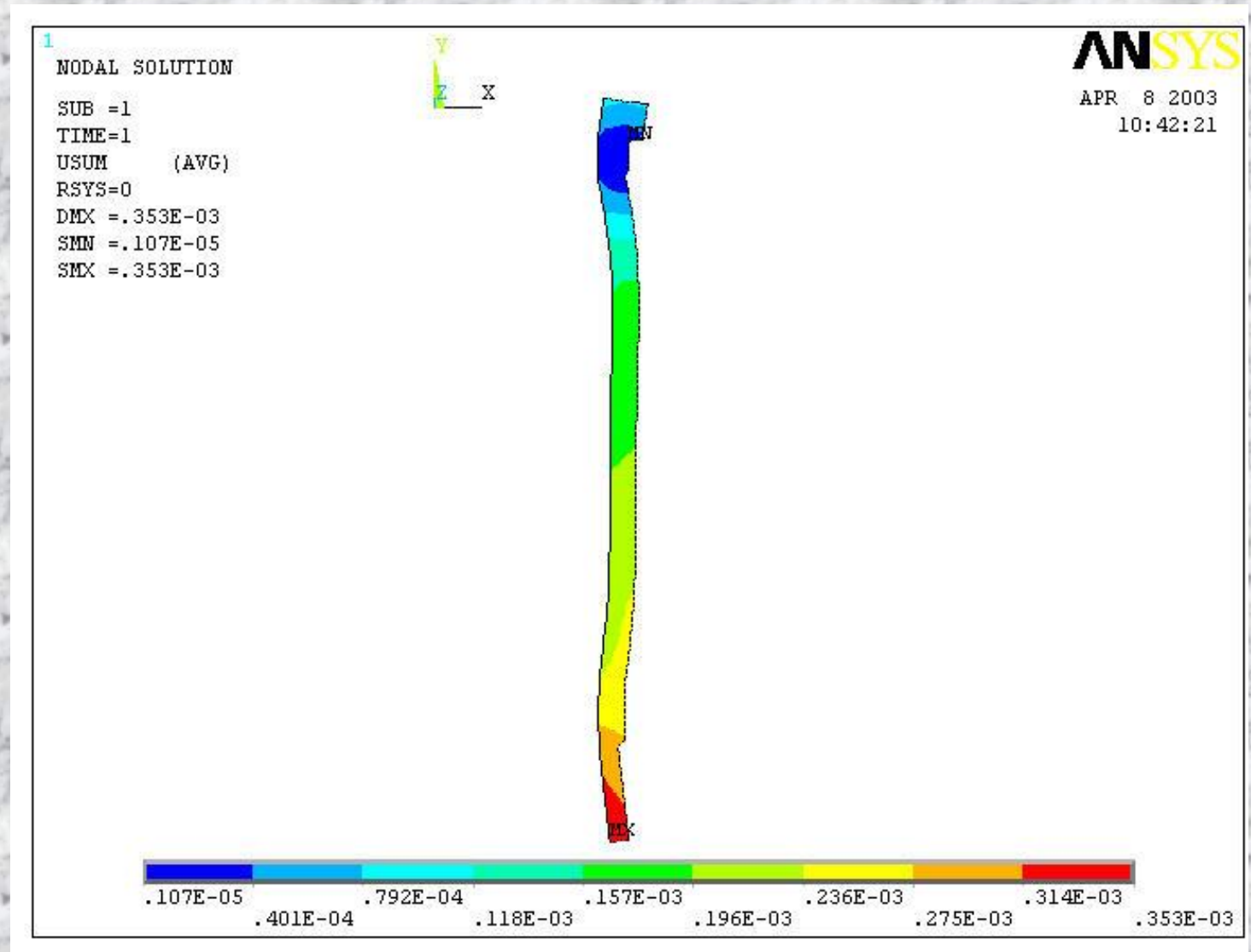
Tvorba bublín na povrchu vloženého valca



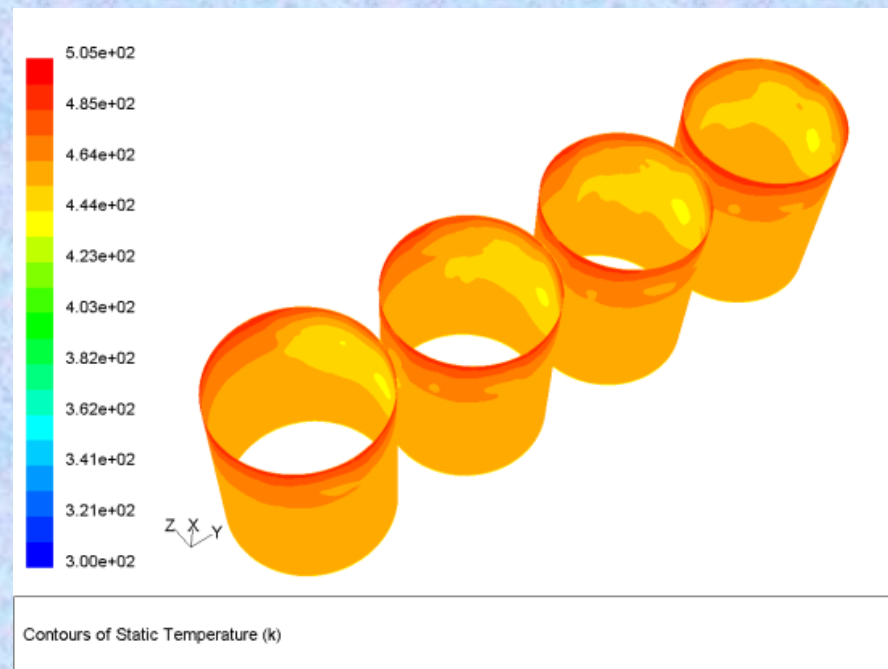
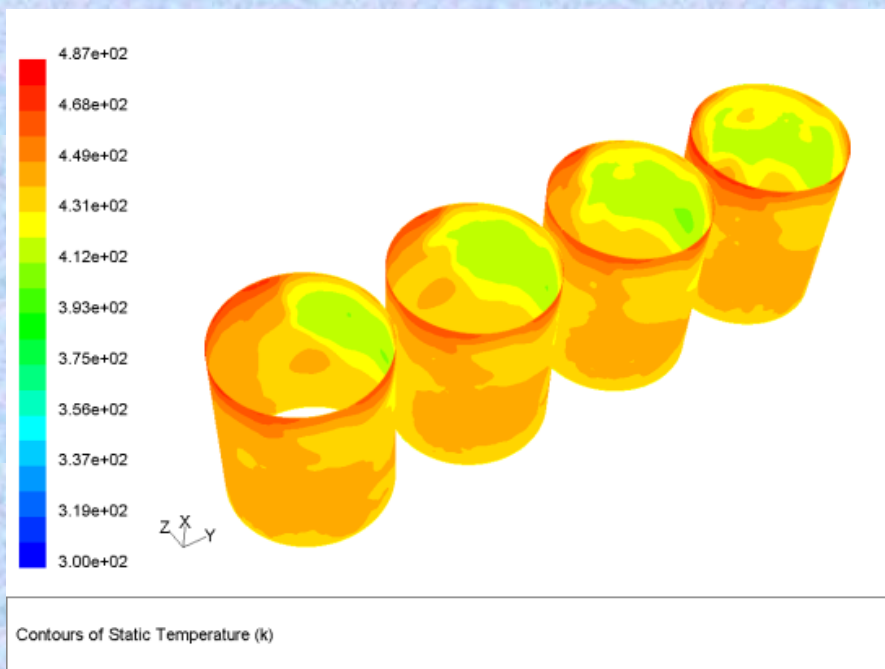
Priebeh napätí na vloženom valci (Pa)

Celkové posunutie

(maximálne posunutie 0,353 mm)



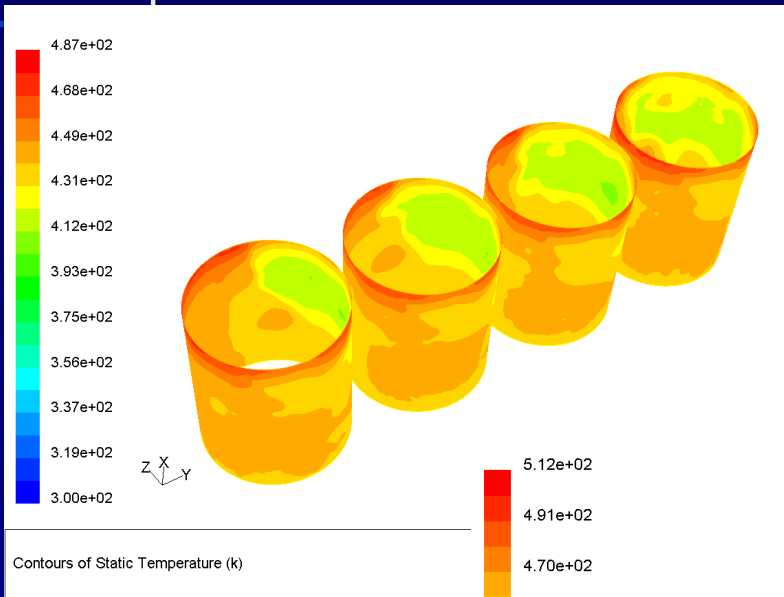
Merné tepelné toky od jednotlivých vložiek valcov



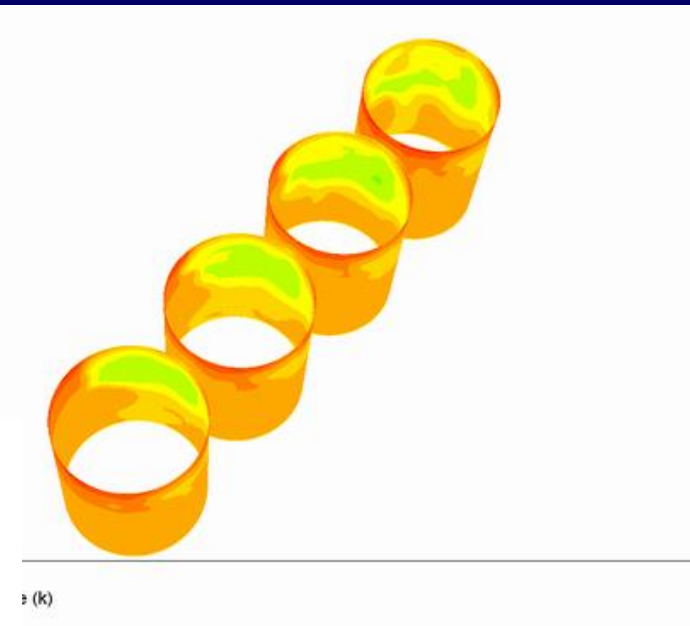
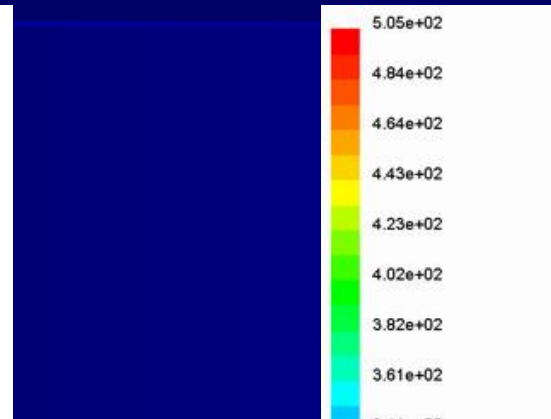
Teplotný profil (pre vodu vľavo, pre alternatívne chladivo vpravo)

valec 1	165,986	112,160
valec 2	167,472	115,637
valec 3	159,522	118,000
valec 4	145,259	116,695
[kW.m ⁻²]	voda	alternatívne chladivo

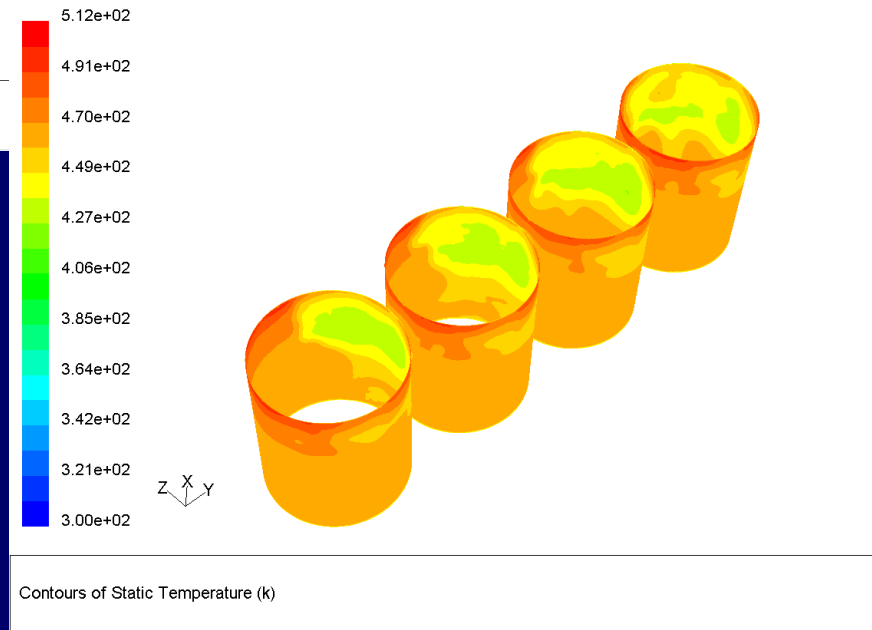
BOD SPOLUPRÁCE SM S ABSORBČNÝM CHLADIACIM SYSTÉMOM



pôvodné
chladio



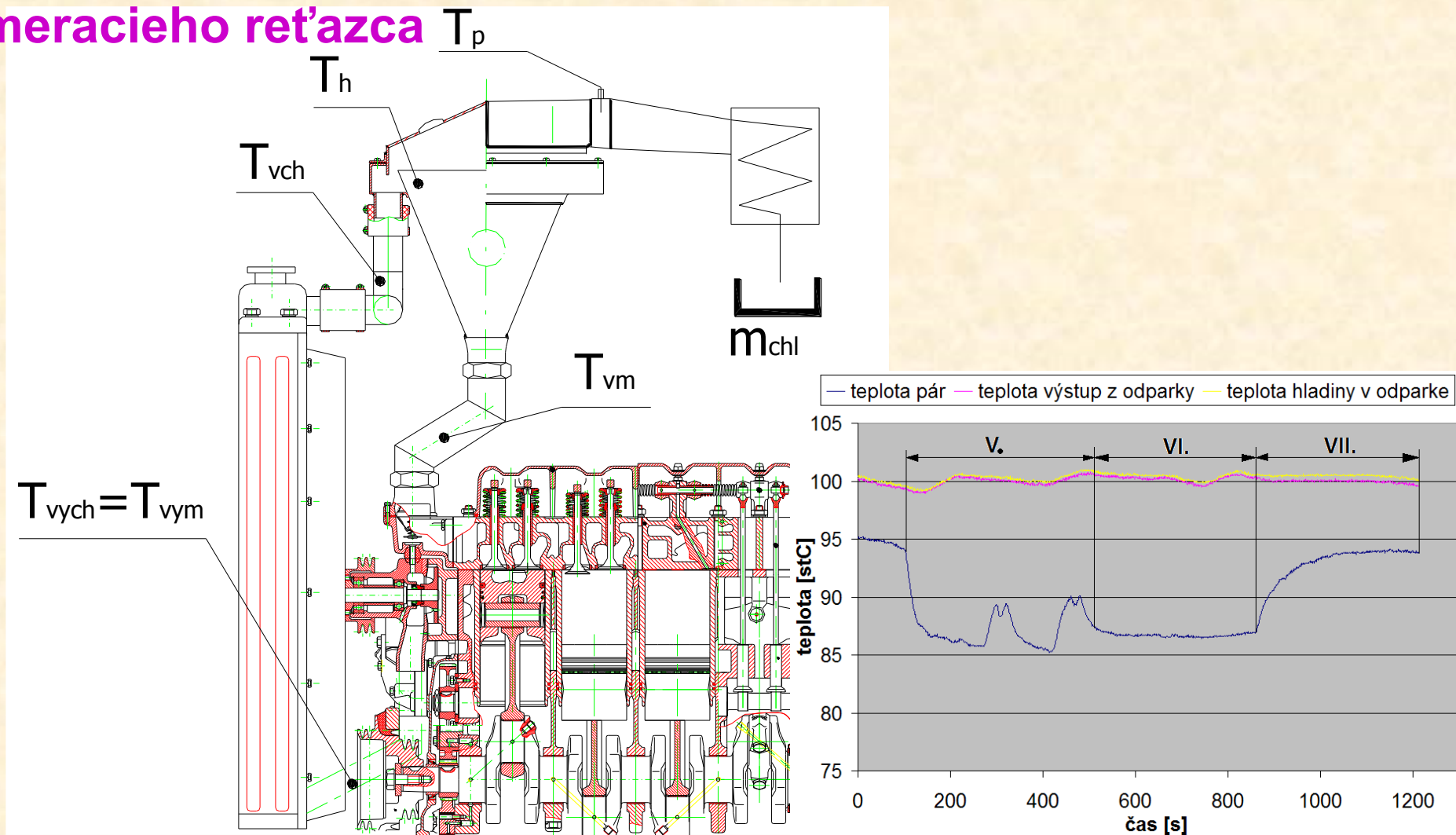
alternatívne
chladio



rekonštrukcia I

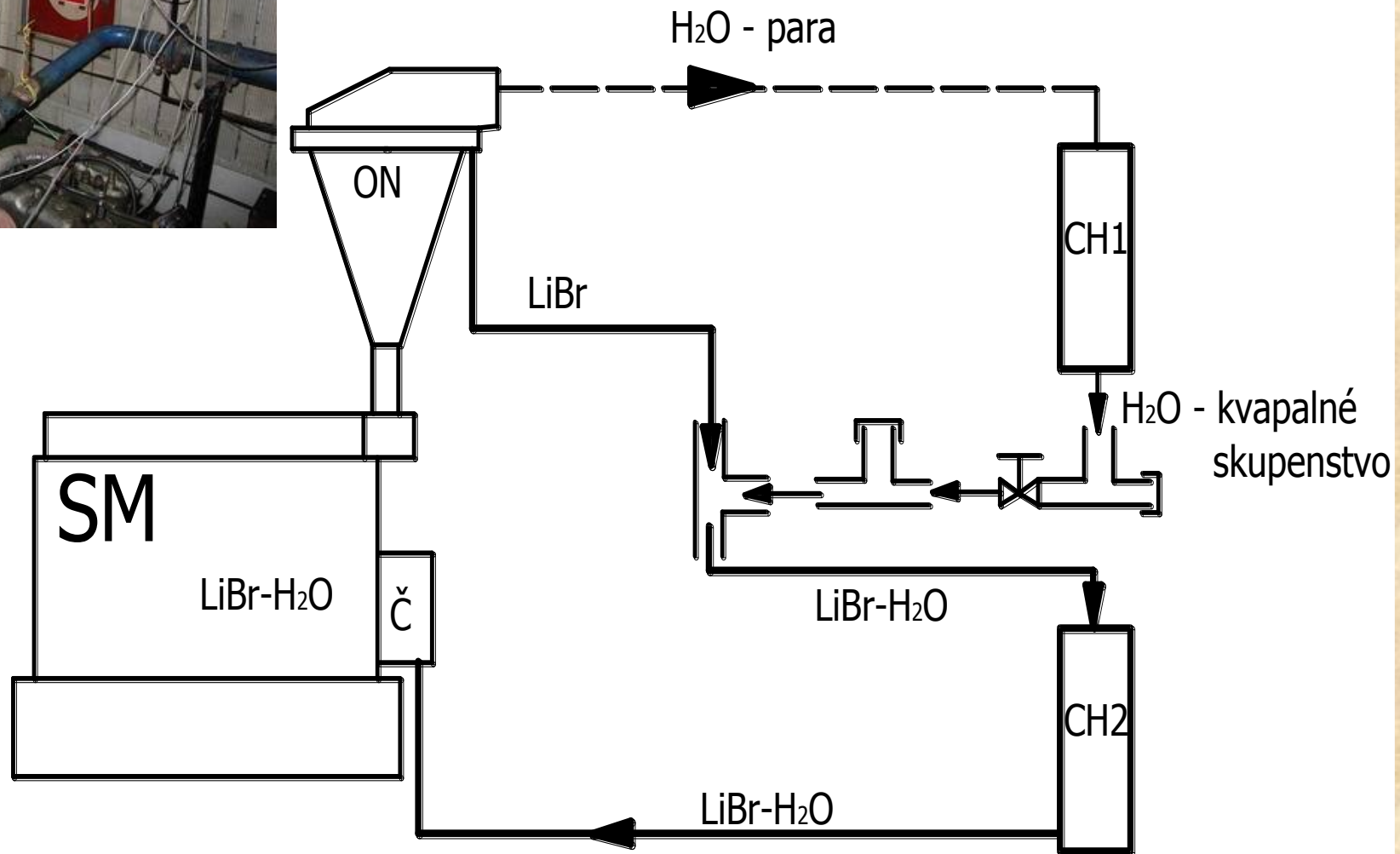
Špecifikácia meracích miest

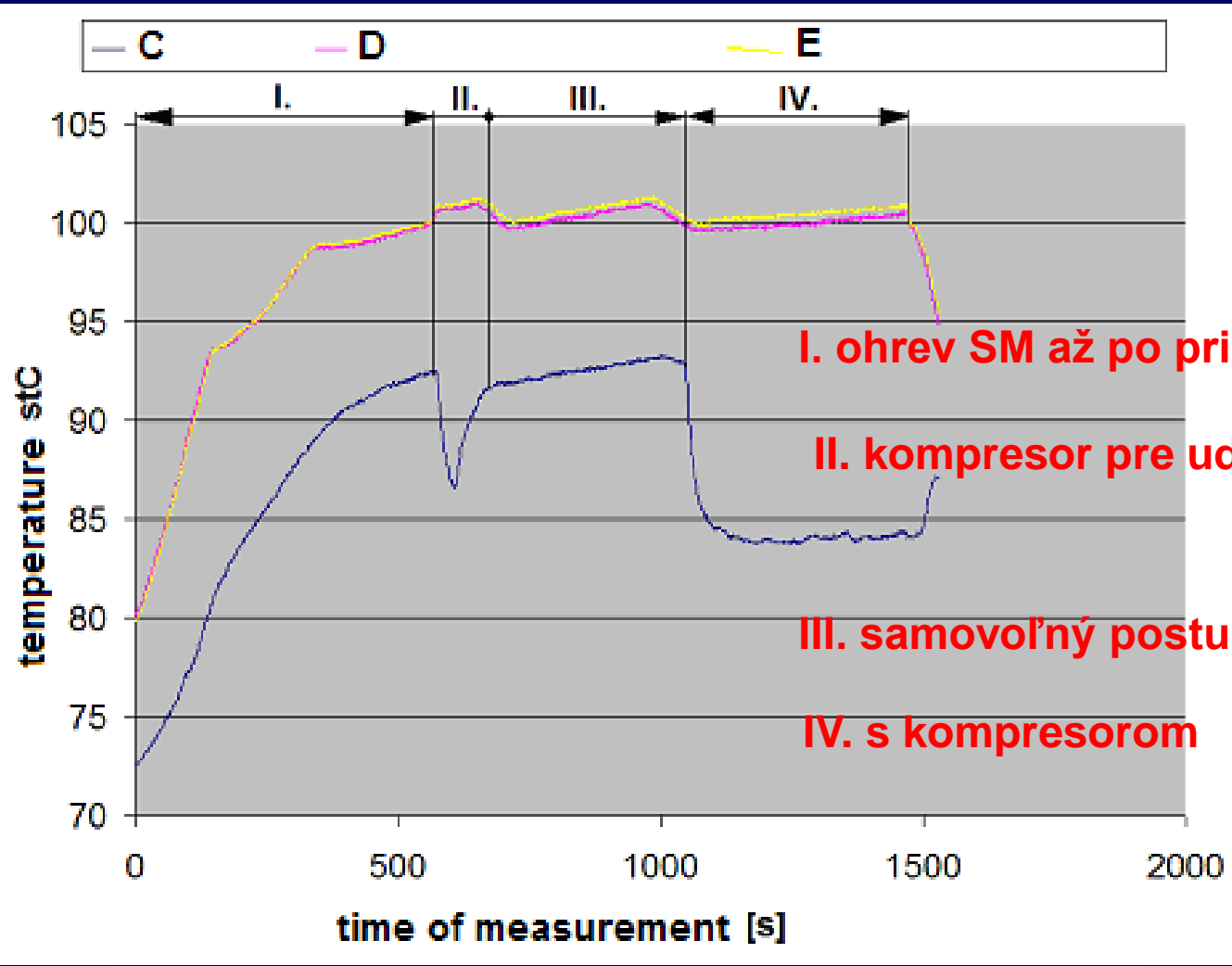
Návrh meracieho reťazca



m_{chl} – hmotnostný prietok chladiva, T_{vm} – teplota na výstupe zo SM,
 T_p – teplota pár, T_h – teplota hladiny v odparke,
 T_{vch} – teplota chudobného roztoku z odparky vchádzajúceho do chladiča,
 T_{vych} a T_{vym} – teplota vchádzajúca do SM.

Usporiadanie atmosférického skúšobného okruhu

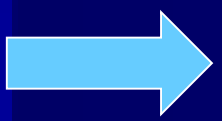




I. ohrev SM až po priblíženie sa bodu varu
 II. kompresor pre udelenie dynamickosti pár
 III. samovoľný postup pár do medenej špirály
 IV. s kompresorom

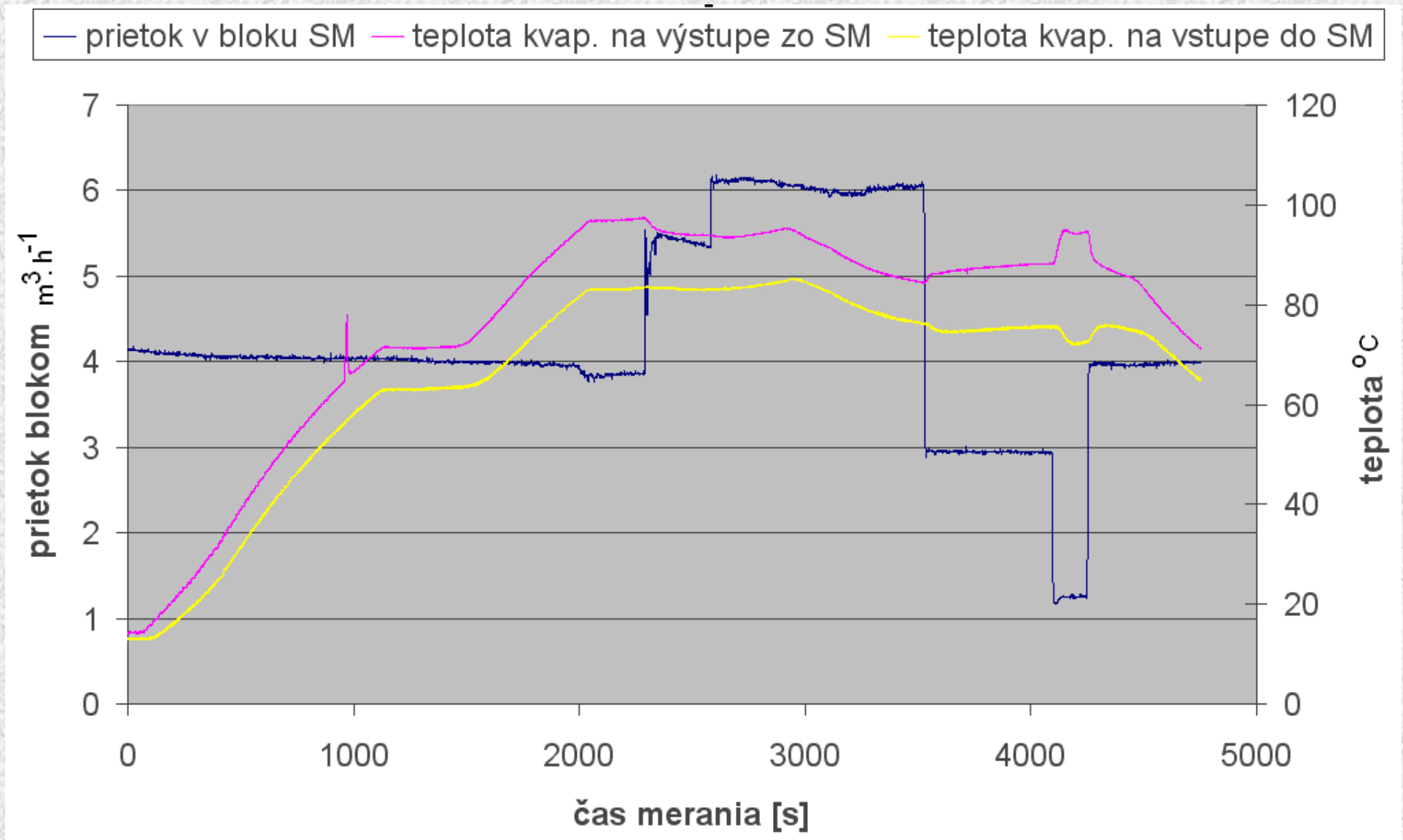
C – teplota pár,
 D – teplota výstupu z odparky,
 E – teplota hladiny v odparke.

výparná účinnosť :
 v III 14%, prietok kondenzátu $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$
 v IV 16%, prietok kondenzátu $0,12 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

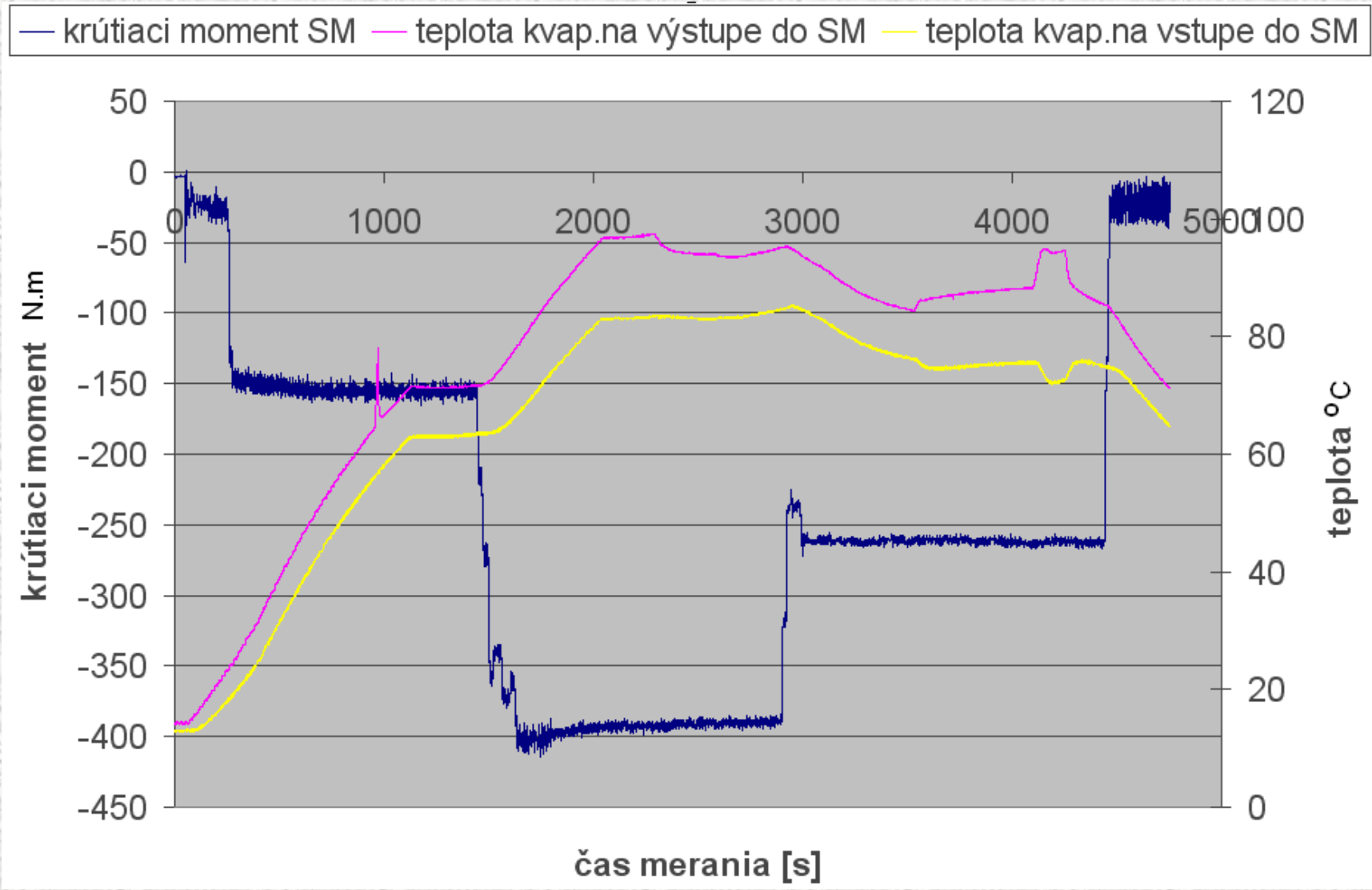


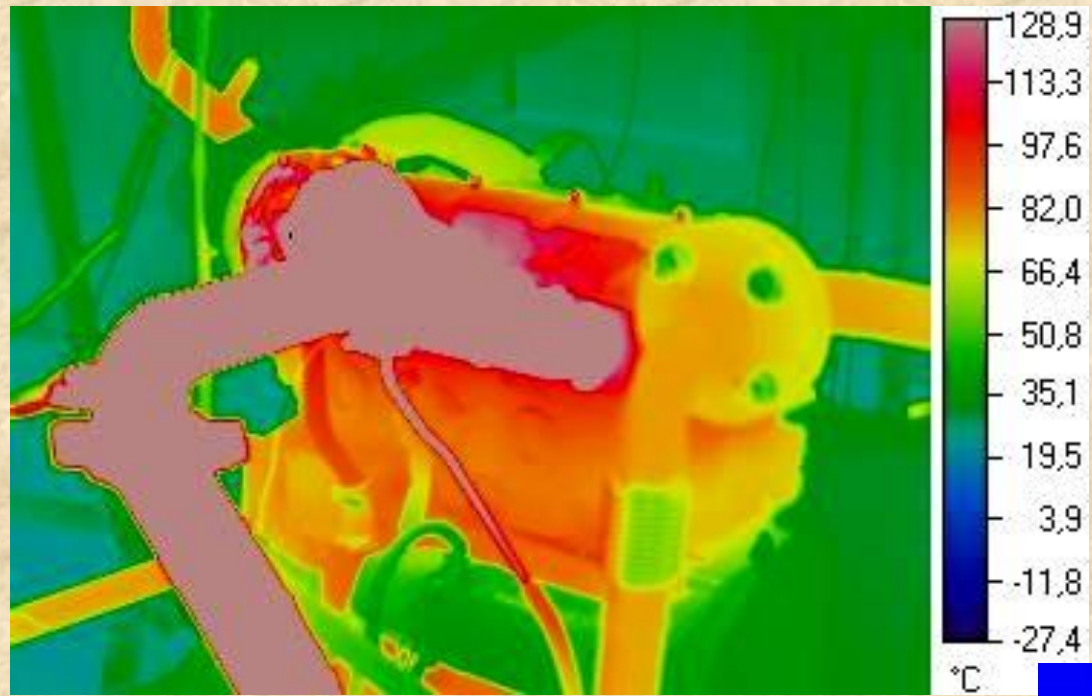
možno využiť 5% energie akumulovanej v chladiacej kvapaline

Zmeny teplôt vo vzťahu k zmene prietoku chladiva



Zmeny teplôt vo vzťahu k točivého momentu





Podtlakový skúšobný okruh

- využitie danosti chladiaceho média LiBr

SM – vo funkcii vypudzovača chladiaca kvapalina 55 % LiBr (LiBr – absorbent, H₂O chladio),

- požiadavka SM teplota chladiacej kvapaliny **85 - 95 °C**
- chladiaca kvapalina sa odparuje pri teplotách **100 - 130 °C**



aby došlo k odparovaniu chladiwa:

- **znížiť tlak nad hladinou pracovnej kvapaliny v odparnej nádobe,**
- **dohrev pracovnej kvapaliny elektrickým ohrievačom alebo teplom spalín spaľovacieho motora.**

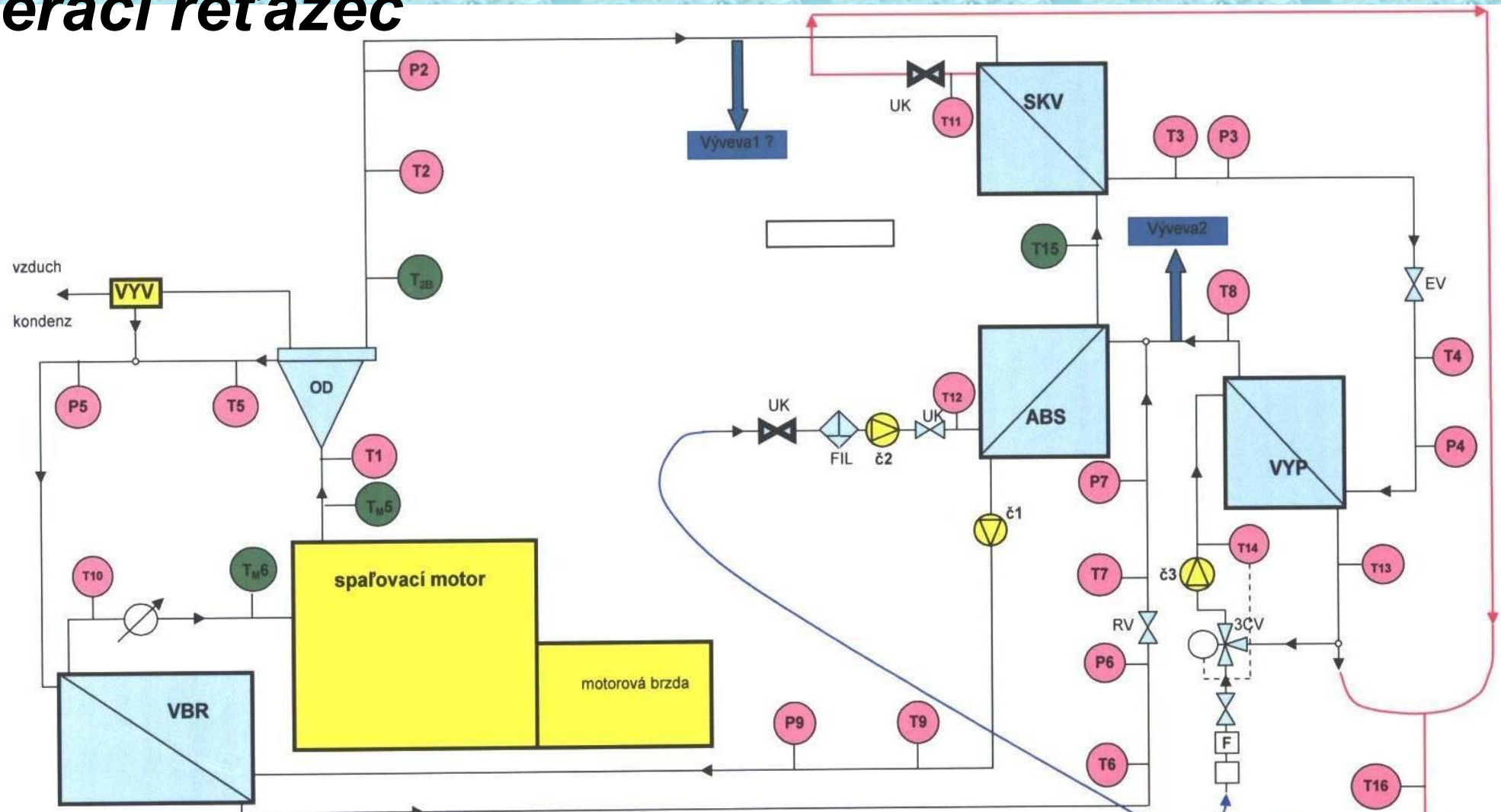
Podtlakový skúšobný okruh

- využitie danosti chladiaceho média LiBr

Modelovaním:

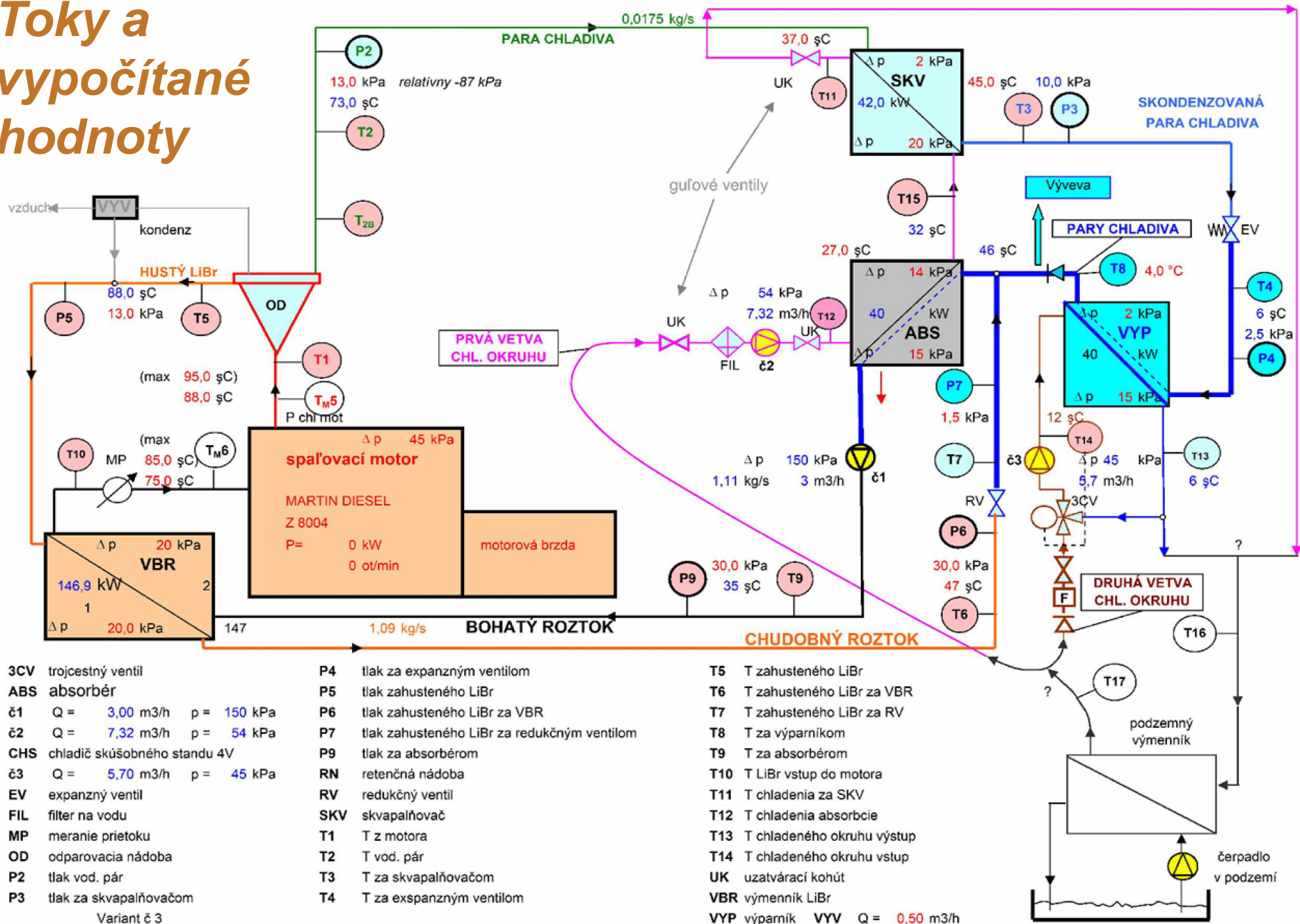
- **rýchlosti sú pre vodu vyššie ako pri použití LiBr** (vyššia turbulentná intenzita pri použití vody ako pri LiBr),
- **pre vodu je väčšia teplotná nerovnomernosť na vložke** zo strany zmáčanej kvapalinou,
- **nie je rozdiel medzi tlakovým poľom** pri použití vody a LiBr,
- navrhnutou konštrukčnou úpravou bloku motora možno doceliť vhodnejšie deformácie resp. vodnejšie rozloženie napätí,
- predpokladanému teplotnému kritériu pre prietok $0,233 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ H₂O ako chladio vyhovuje, avšak roztok LiBr nie,
- **system je veľmi chýlostivý na dodržanie** predpokladaných vnútorných tlakových pomerov.

Merací reťazec



- | | | |
|--|---|---|
| 3CV trojcestný ventil | P4 meranie - tlak za expanzným ventilom | T5 meranie - T zahusteného LiBr |
| ABS absorbér | P5 meranie - tlak zahusteného LiBr | T6 meranie - T zahusteného LiBr za VBR |
| č1 Q = 0,00 m3/h p = 0 kPa | P6 meranie - tlak zahusteného LiBr za VBR | T7 meranie - T zahusteného LiBr za RV |
| č2 Q = 0,00 m3/h p = 0 kPa | P7 meranie - tlak zahusteného LiBr za redukčným ventilom | T8 meranie - T za výparníkom |
| CHS chladič skúšobného standu 4V | P9 meranie - tlak za absorbéróm | T9 meranie - T za absorbéróm |
| č3 Q = 0,00 m3/h p = 0 kPa | RN retenčná nádobá | T10 meranie - T LiBr vstup do motora |
| EV expanzný ventil | RV redukčný ventil | T11 meranie - T chladenia za SKV |
| FIL filter na vodu | SKV skvapalňovač | T12 meranie - T chladenia absorbcie |
| MP meranie prietoku | T1 meranie - T z motora | T13 meranie - T chladeného okruhu výstup |
| OD odparovacia nádobá | T2 meranie - T vod. pár | T14 meranie - T chladeného okruhu vstup |
| P2 meranie - tlak vod. pár | T3 meranie - T za skvapalňovačóm | UK uzatvárací kohút |
| P3 meranie - tlak za skvapalňovačóm | T4 meranie - T za expanzným ventilom | VBR výmenník LiBr |
| | | VYP výparník |
- Variant č 3
- VYV Q = 0,50 m3/h
- č2 v podzemí

Toky a vypočítané hodnoty

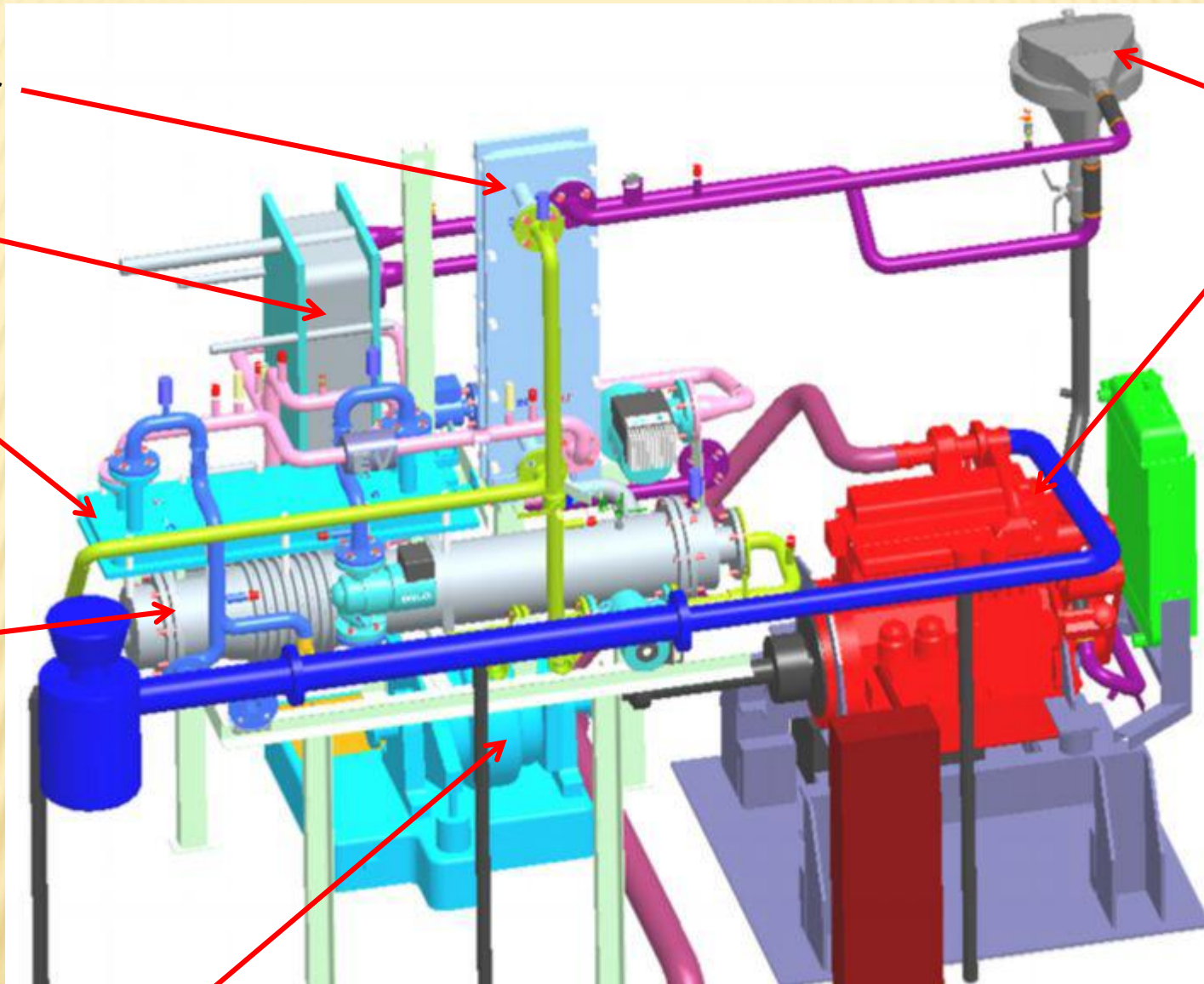


- 3CV trojcestný ventil
- ABS absorbér
- č1 $Q = 3,00$ m³/h $p = 150$ kPa
- č2 $Q = 7,32$ m³/h $p = 54$ kPa
- CHS chladič skúšobného standu 4V
- č3 $Q = 5,70$ m³/h $p = 45$ kPa
- EV expanzný ventil
- FIL filter na vodu
- MP meranie prietoku
- OD odparovacia nádob
- P2 tlak vod. pár
- P3 tlak za skvapalňovačom
- Variant č 3

- P4 tlak za expanzným ventilom
- P5 tlak zahusteného LiBr
- P6 tlak zahusteného LiBr za VBR
- P7 tlak zahusteného LiBr za redukčným ventilom
- P9 tlak za absorbércom
- RN retenčná nádob
- RV redukčný ventil
- SKV skvapalňovač
- T1 T z motora
- T2 T vod. pár
- T3 T za skvapalňovačom
- T4 T za expanzným ventilom

- T5 T zahusteného LiBr
- T6 T zahusteného LiBr za VBR
- T7 T zahusteného LiBr za RV
- T8 T za výparníkom
- T9 T za absorbércom
- T10 T LiBr vstup do motora
- T11 T chladenia za SKV
- T12 T chladenia absorbcie
- T13 T chladeného okruhu výstup
- T14 T chladeného okruhu vstup
- UK uzatvárací kohút
- VBR výmenník LiBr
- VYP výparník
- VV $Q = 0,50$ m³/h

Virtuálny model



Kondenzátor

Výmenník
tepla LiBr

Výparník

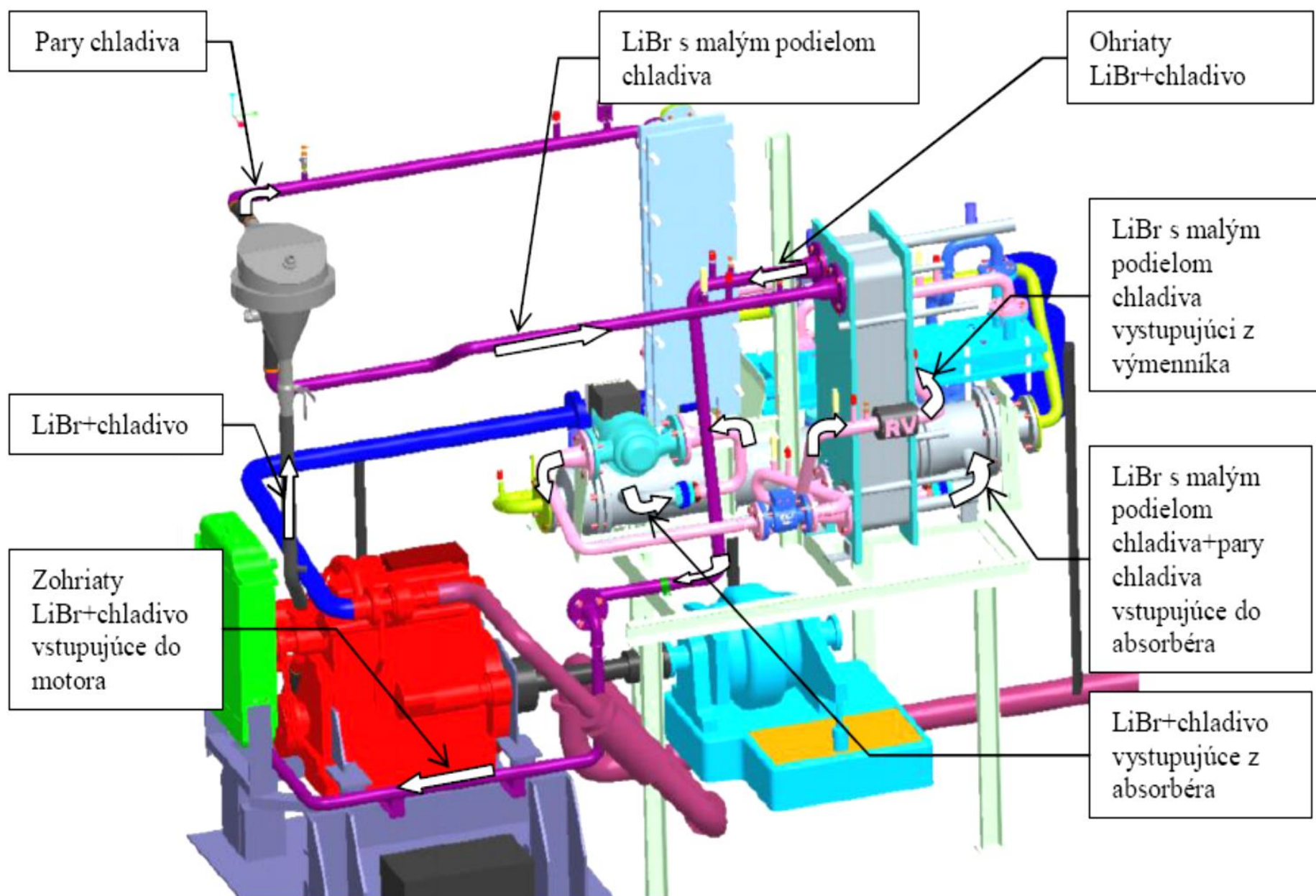
Absorbér

Odparka

Spaľovací
motor

Dynamometer

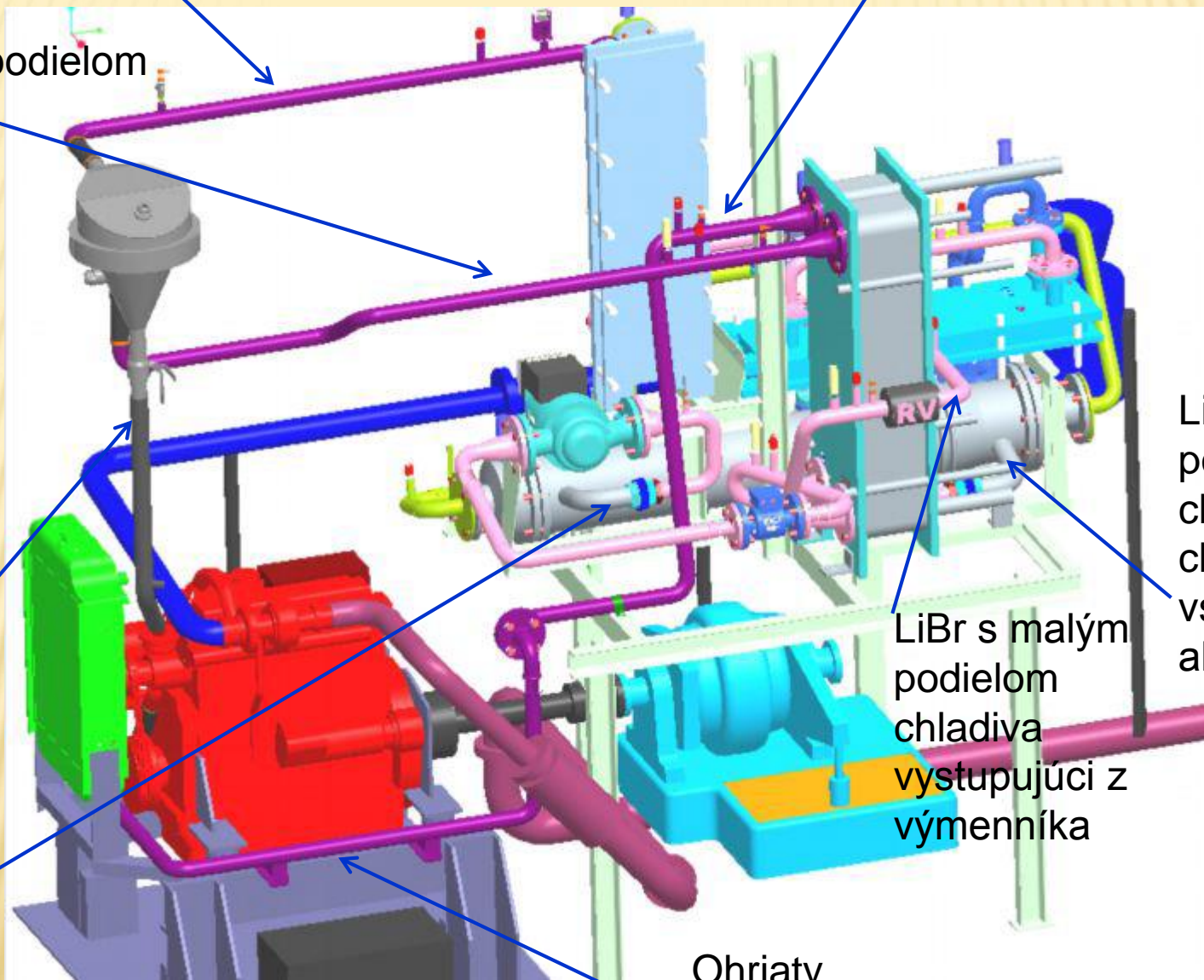
Tok pracovného média v energetického celku



Pary chladiva

Ohriaty
LiBr+chladivo

LiBr s malým podielom
chladiva



LiBr s malým
podielom
chladiva+pary
chladiva
vstupujúce do
absorbéra

LiBr s malým
podielom
chladiva
vystupujúci z
výmenníka

LiBr+chladivo

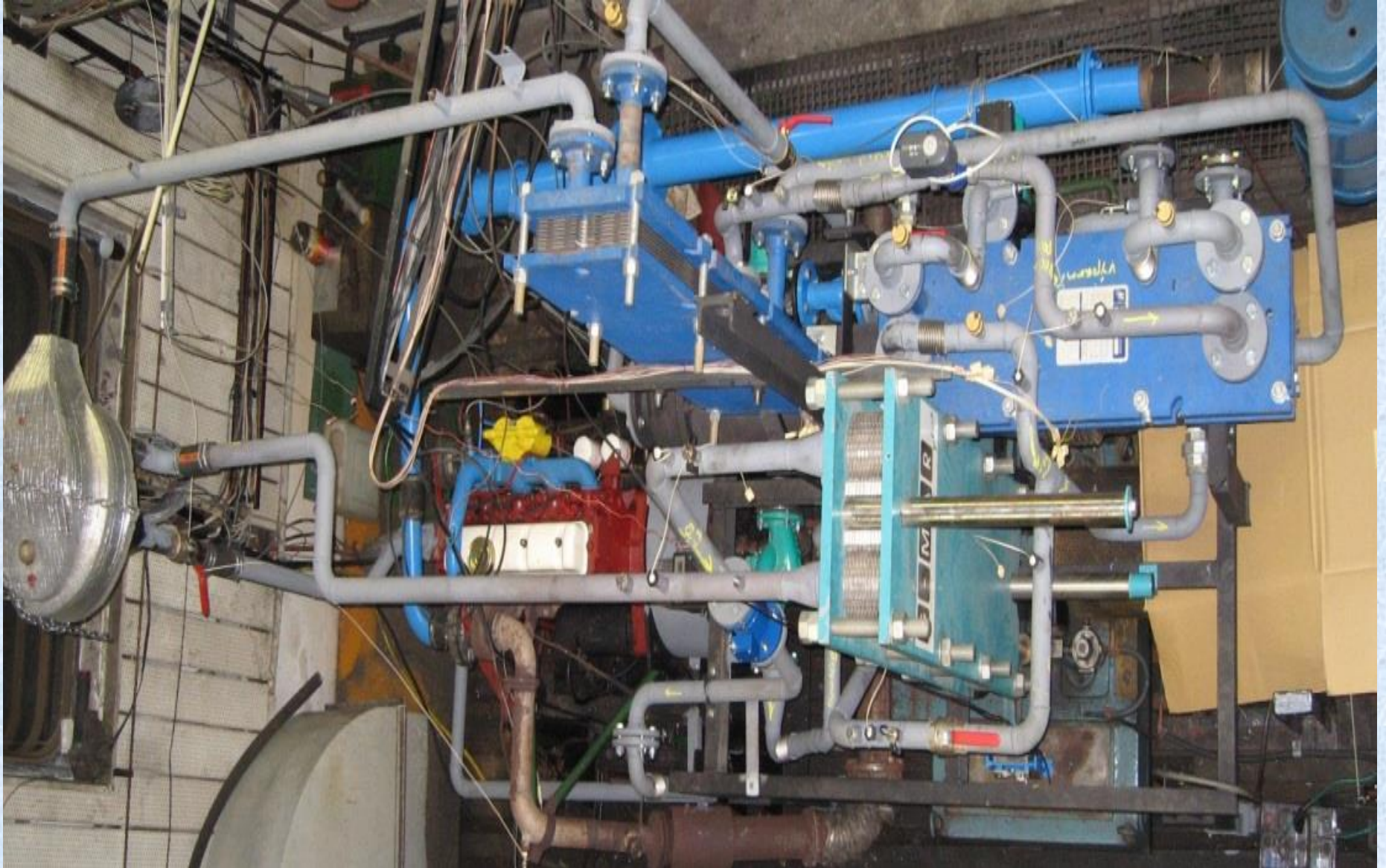
LiBr+chladivo
vystupujúce z
absorbéra

Ohriaty
LiBr+chladivo
do motora

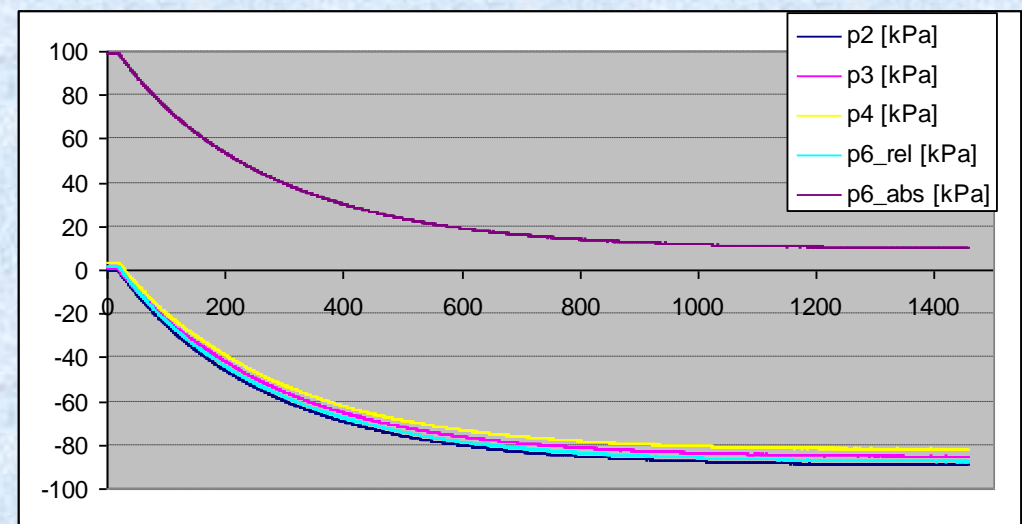
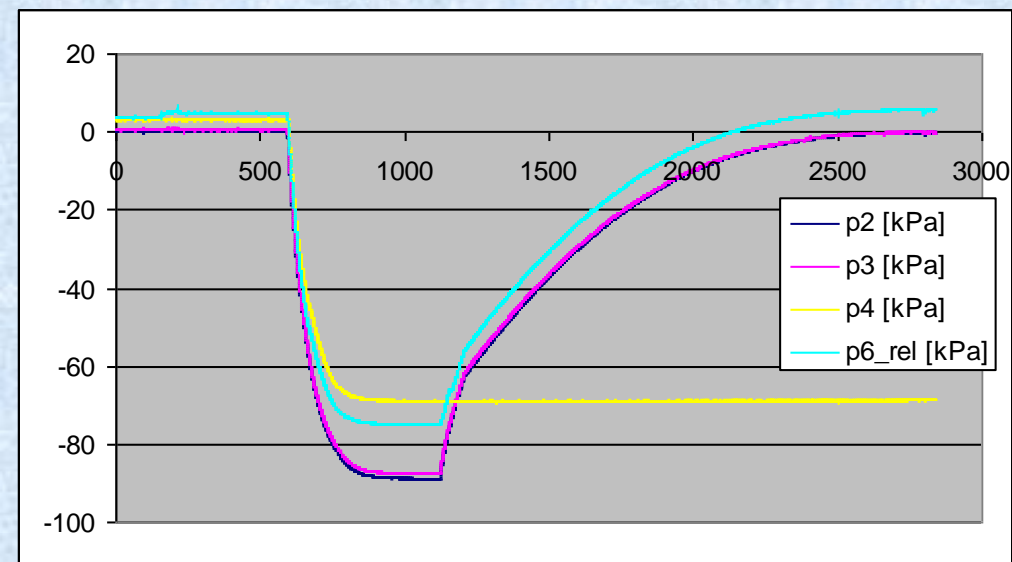
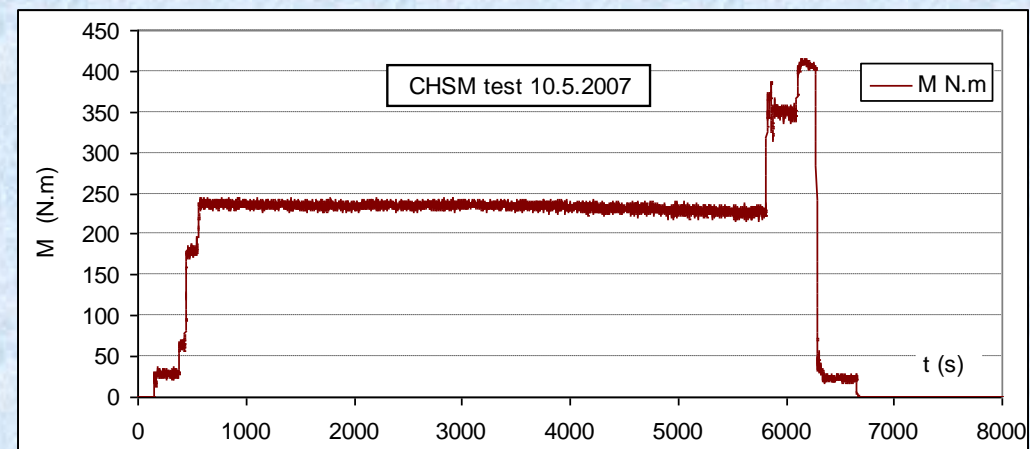
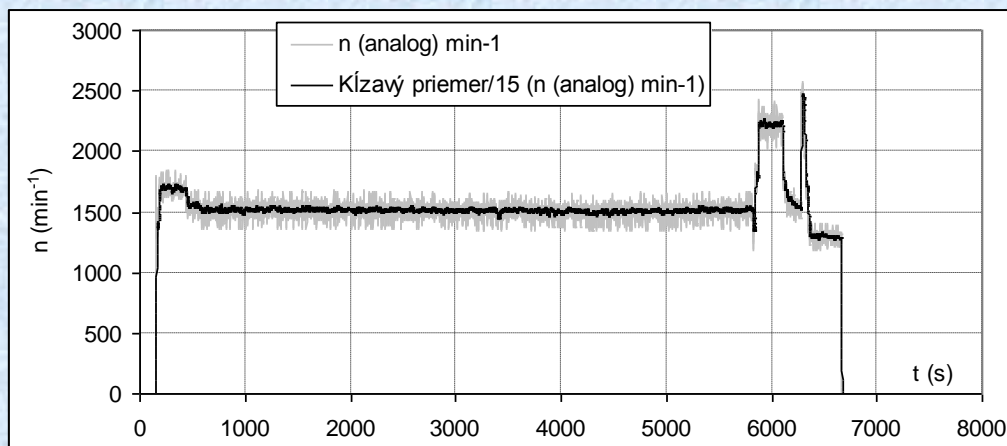
Reálny skúšobný okruh



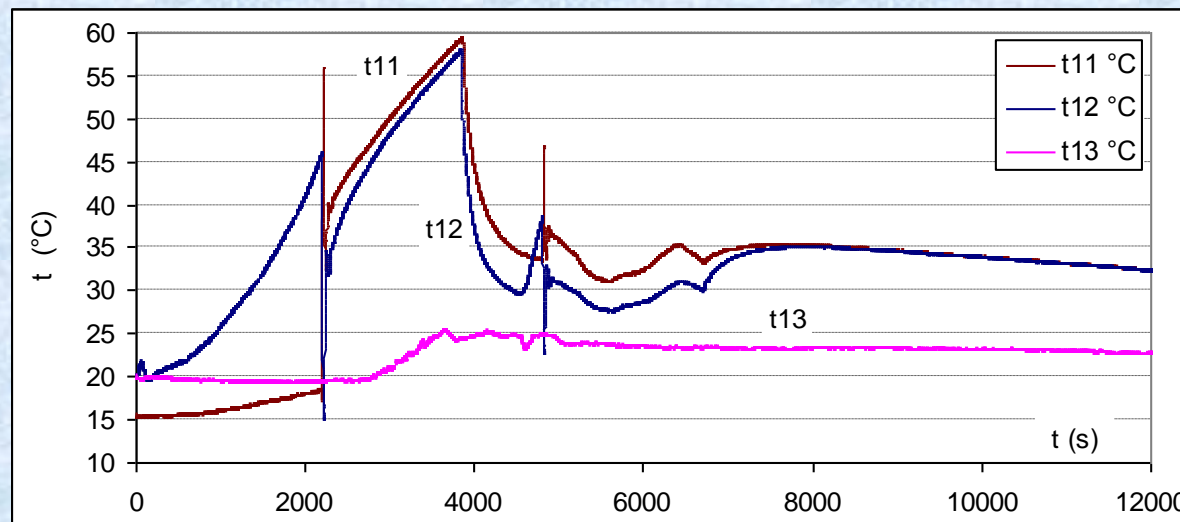
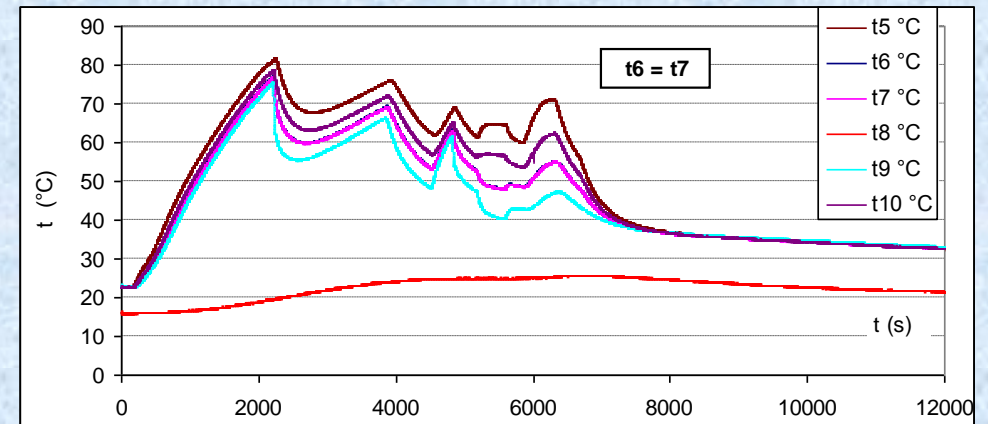
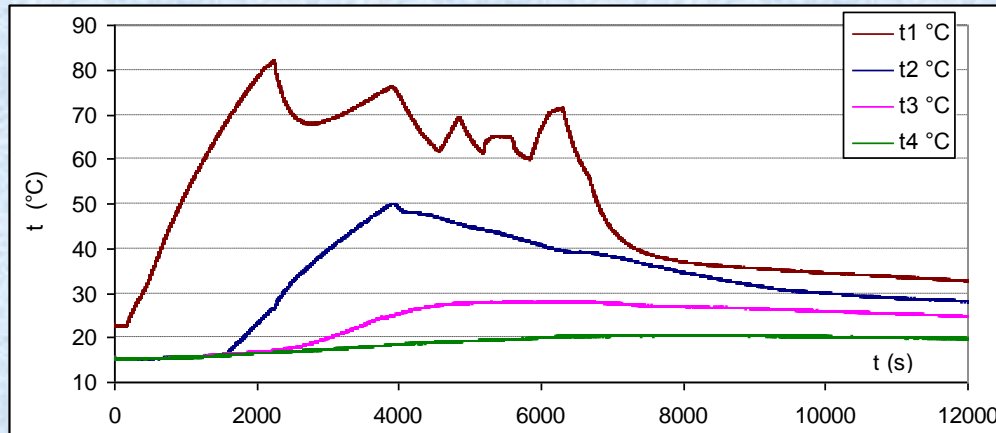
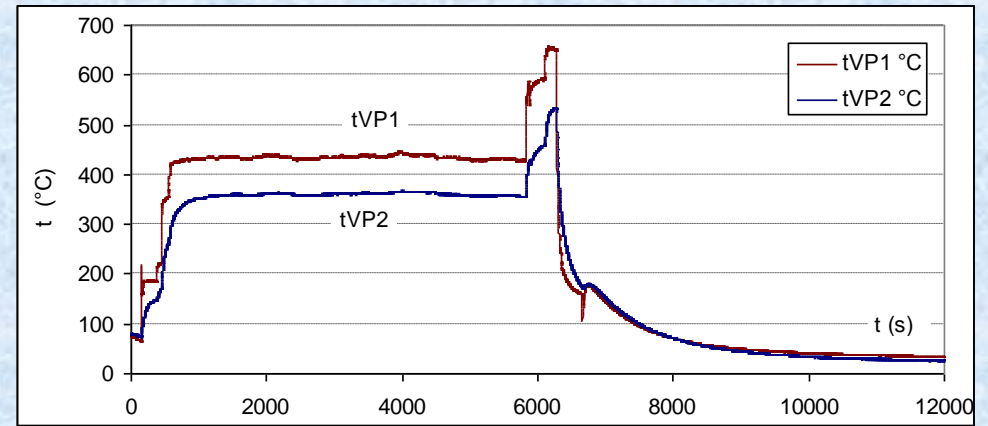
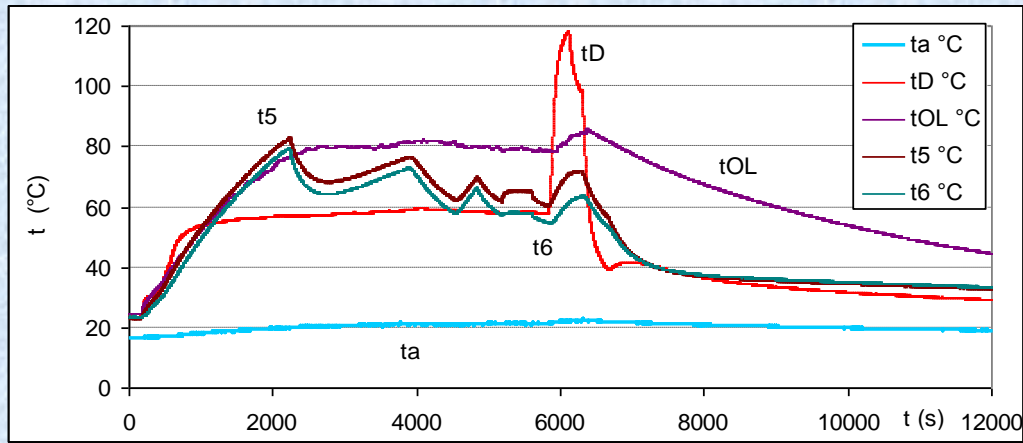
Reálny skúšobný okruh



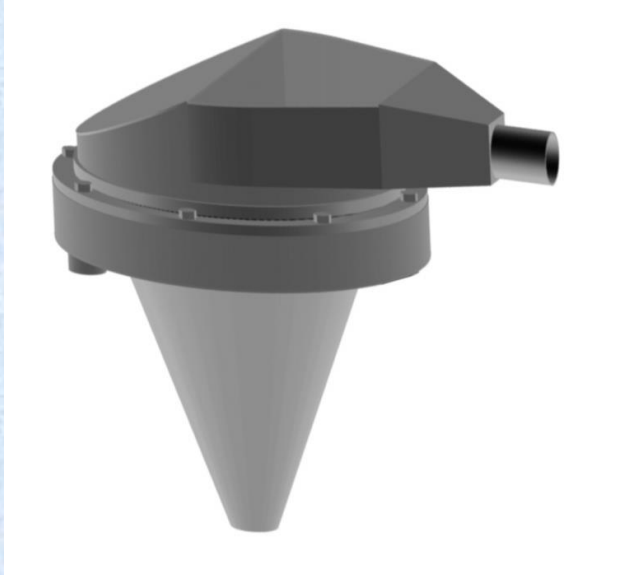
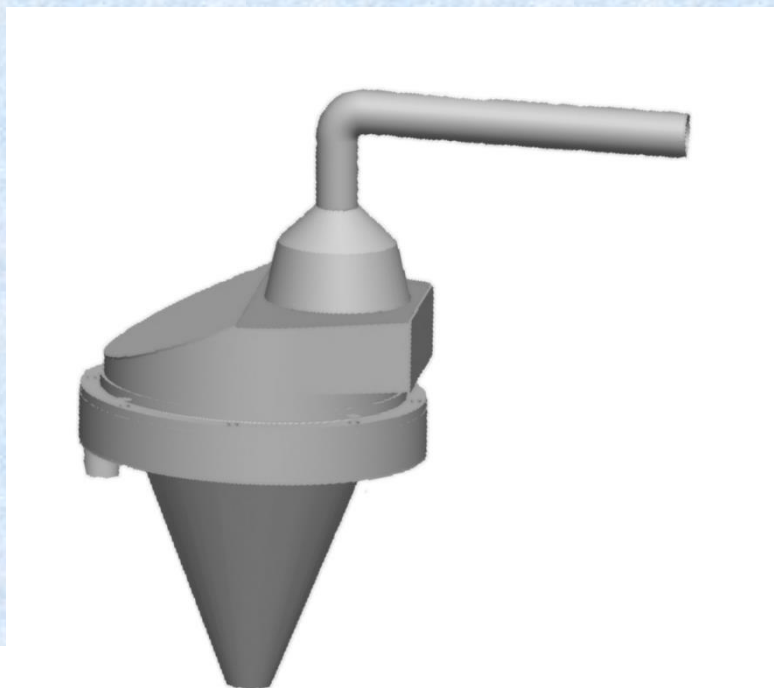
Časové charakteristiky meraných veličín



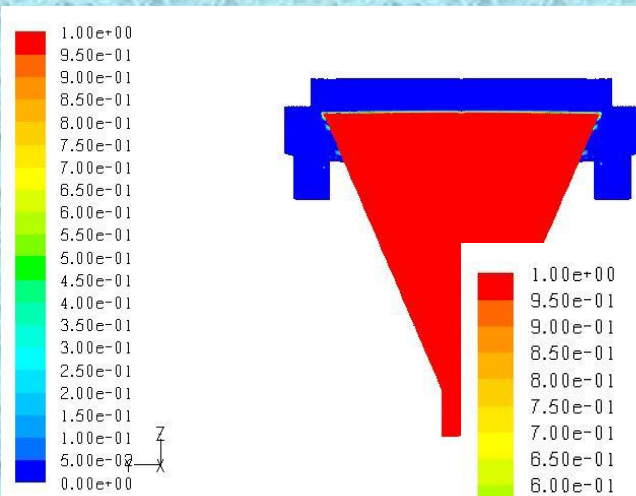
Časové charakteristiky meraných veličin - teploty



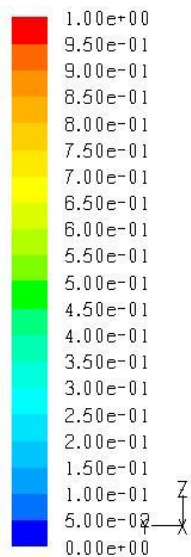
Optimalizácia tvaru odparky



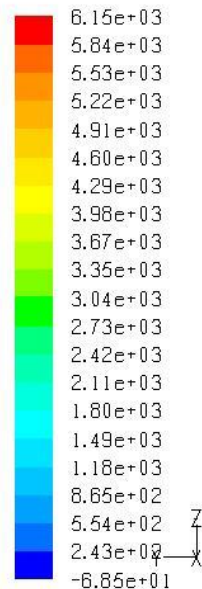
Prúdenie a tlak roztoku v odparke



Contours of Volume fraction (libr) (Time=1.0000e+01)
FLUENT 6.3

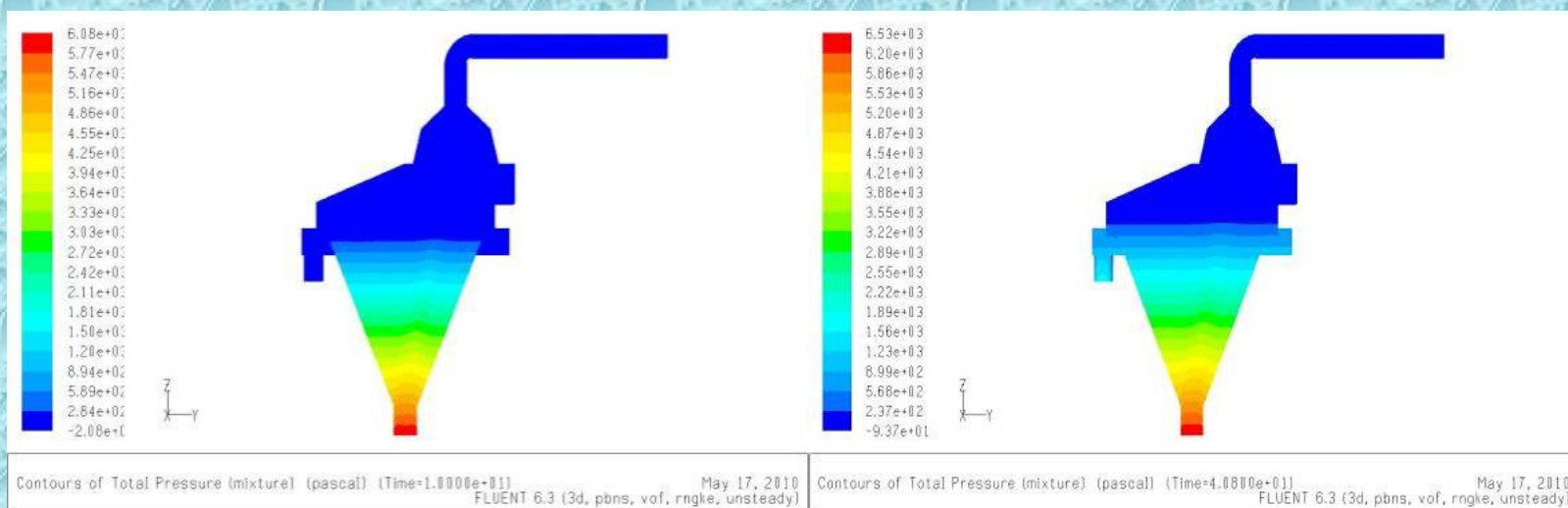
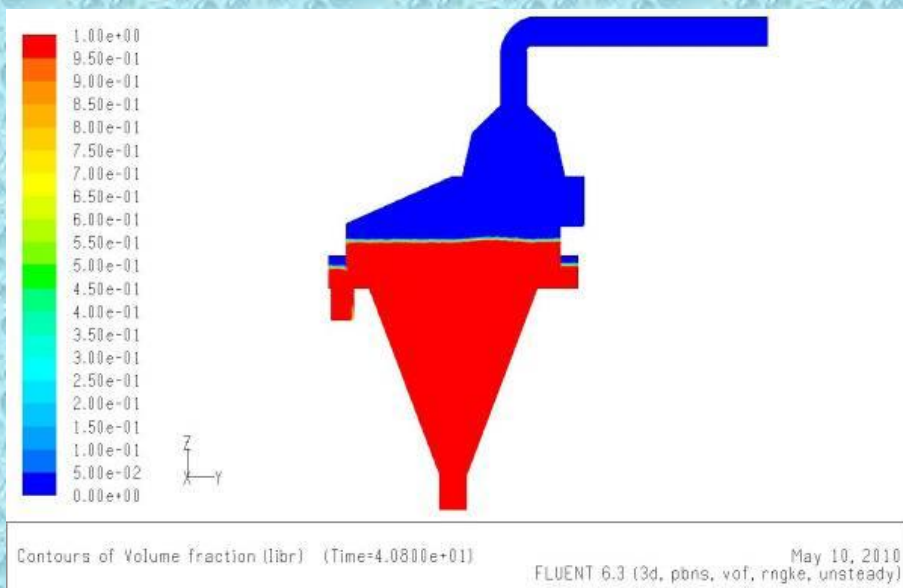


Contours of Volume fraction (libr) (Time=3.5000e+01)
FLUENT 6.3



Contours of Total Pressure (mixture) (pascal) (Time=2.5000e+01) Jan 13, 2010
FLUENT 6.3 (3d, dp, pbns, vof, rngke, unsteady)

Prúdenie a tlak roztoku v odparke



Záver

Z výsledkov vyplýva:

základná **nosná myšlienka** - premena tepla na chlad termokompresiou je **realizovateľná**,

tesnosť pre podtlakovú verziu vnútornej časti chladiaceho okruhu motora je problémom.

Možnosti použitia:

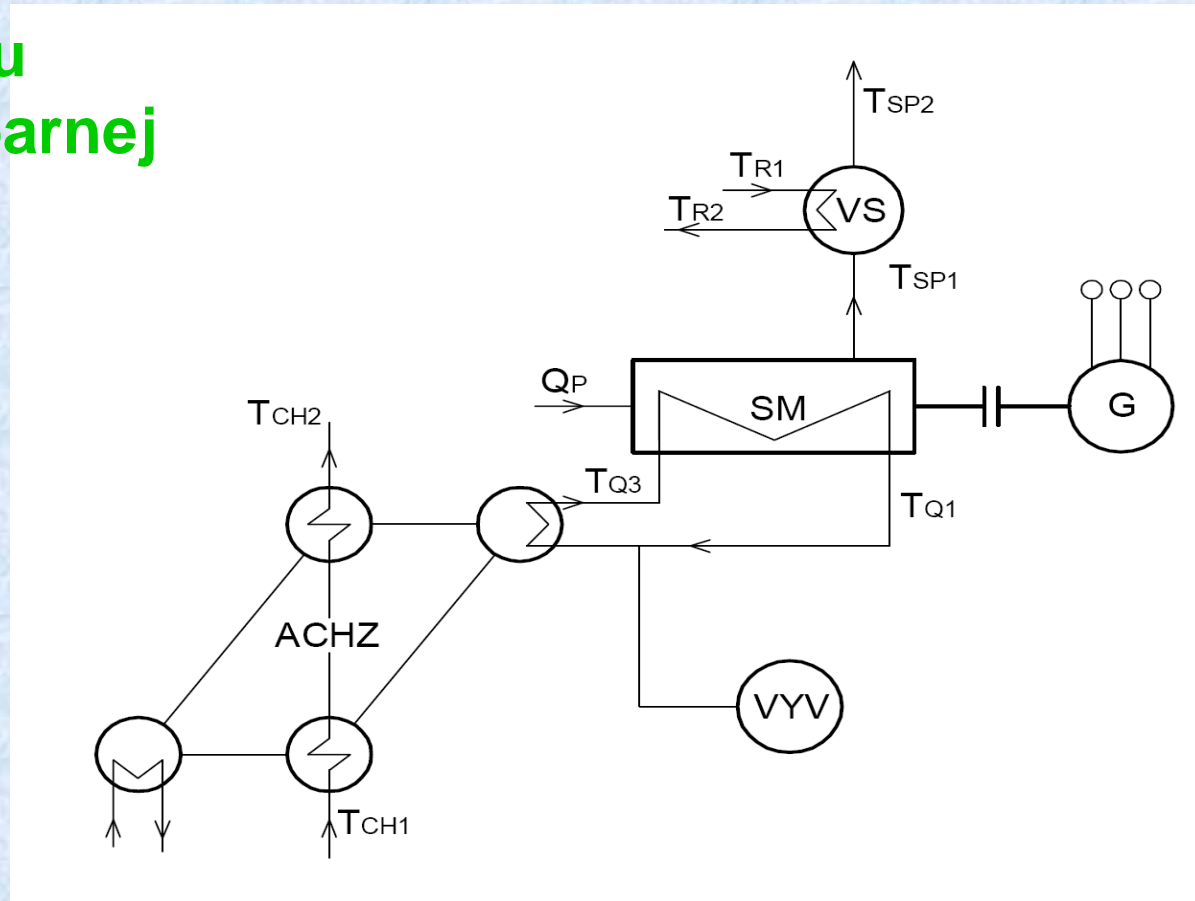
pre dopravný prostriedok (klimatizácia, plnenie motora),
nekonvenčný trigeneračný systém.

Riešenie problému:

- **znížiť tlak nad hladinou pracovnej kvapaliny v odparnej nádobe s vyriešením tesnosti chladiaceho okruhu motora na podtlak,**
- **dohrev pracovnej kvapaliny elektrickým ohrevom alebo teplom spalín SM.**

Bloková schéma energetického zariadenia DP

zníženie tlaku nad hladinou
chladiacej kvapaliny v odparnej
nádobe



Výhody:

Vyrobená elektrická energia sa nespotrebováva na dohrev pracovnej kvapaliny energetickej jednotky, menší počet výmenníkov tepla ako vo variantoch č.2 a č.3.

Nevýhody:

Možné poškodenie spaľovacieho motora pri vytváraní podtlaku na hladine odparovacej nádoby, určitý stupeň podtlaku je aj v spaľovacom motore, nutnosť použitia výkonnejšej vývevy, lebo podtlak je vytváraný v dvoch vetvách.

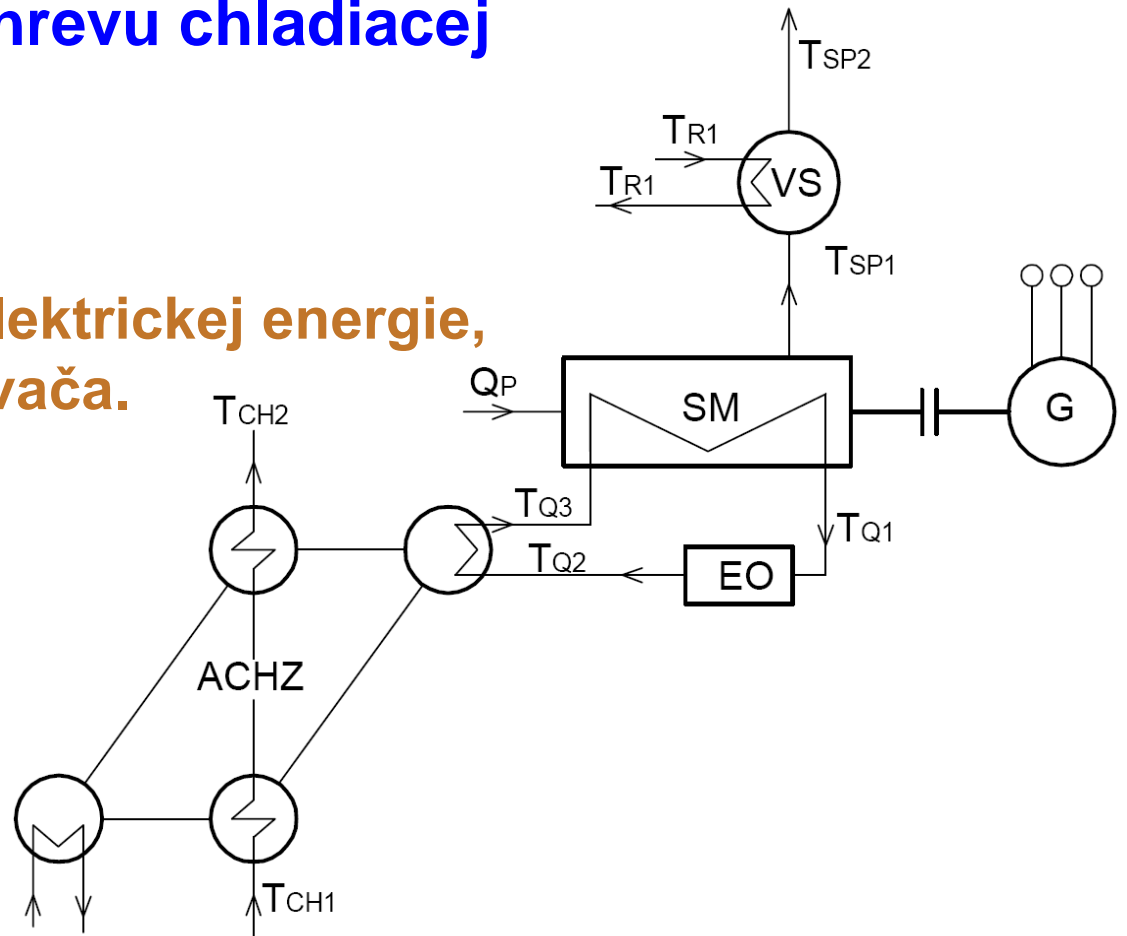
Bloková schéma elektrický dohrev

Výhody:

- motor pracuje v pretlakových podmienkach,
- absencia výroby podtlaku v chladiacom okruhu,
- tepelná energia spalín na technologické účely,
- jednoduchá regulácia dohrevu chladiacej kvapaliny.

Nevýhody:

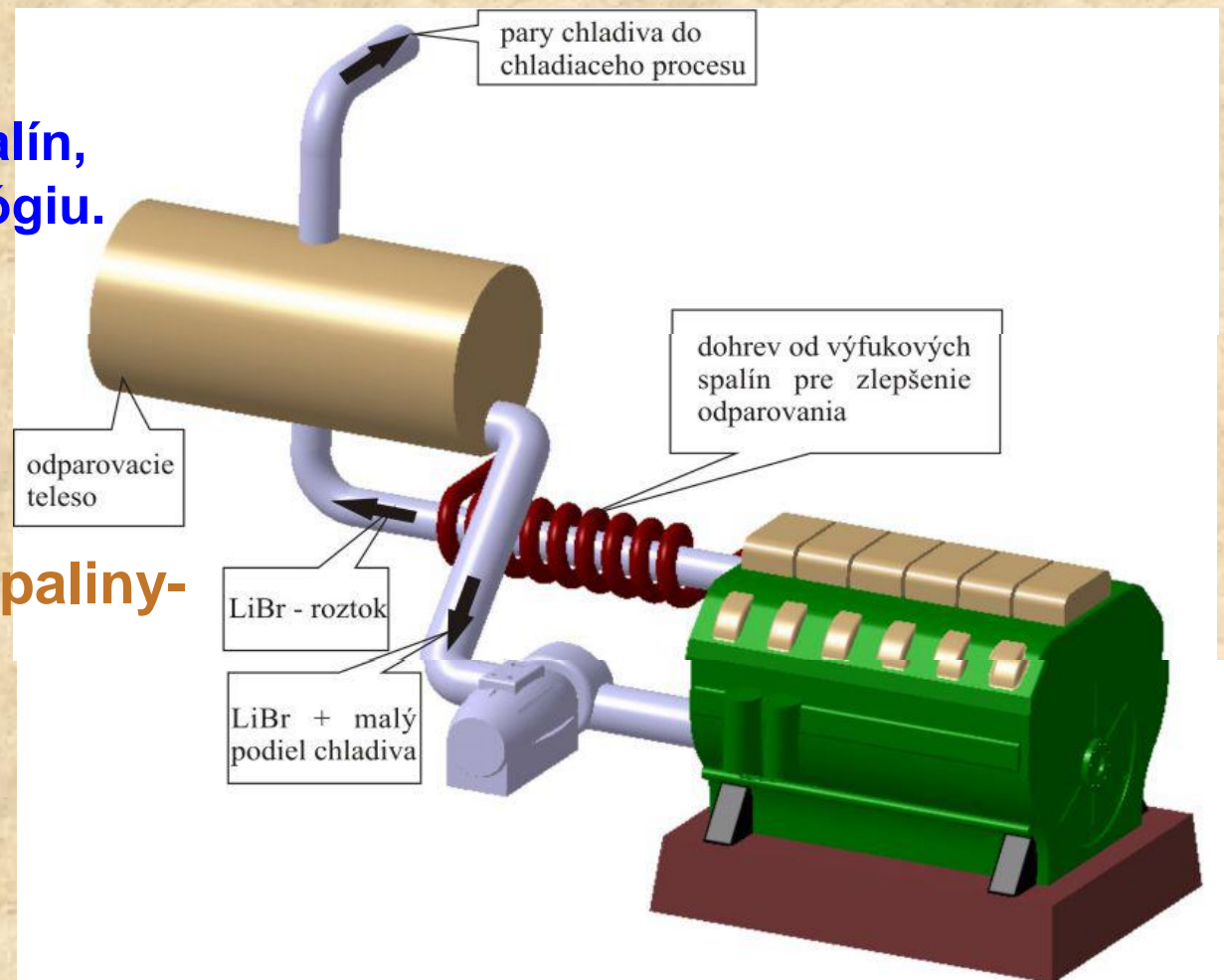
- spotreba časti vyrobenej elektrickej energie,
- potreba elektrického ohrievača.



Virtuálny model dohrev teplom výfukových plynov

Výhody:

- motor pracuje v pretlakových podmienkach,
- absencia výroby podtlaku v chladiacom okruhu,
- využitie tepelnej energie spalín,
- el. energia plne pre technológiu.



Nevýhody:

- potreba výmenníka tepla spaliny-chl. kvapalina,
- komplikovaná regulácia dohrevu.

Zdroje:

Hlavňa, V. a kol.: *A non-conventional energetic unit with a cooling combustion engine*, monografia, EDIS vydavateľstvo ŽU v Žiline, 2008

Kovalčík, A.: *Chladiaci spaľovací motor ako nekonvenčný energetický celok*, doktorandská dizertačná práca, EDIS vydavateľstvo ŽU v Žiline, 2010

Tučník, P.: *Možnosti nasadenia nekonvenčného spaľovacieho motora ako zdroja energií pre lod'*, doktorandská dizertačná práca, EDIS vydavateľstvo ŽU v Žiline, 2012

Ďakujem za pozornosť

*Príspevok bol spracovaný v rámci projektu s názvom
„Rozvoj spolupráce medzi VEC a KET so zameraním na odborný rast
doktorandov a výskumných pracovníkov“
ITMS 22410320106*