



Zařízení k odstraňování sirných sloučenin z odpadního vzduchu

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Matěj Filip**
Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2302T010 – Machine and Equipment Systems
Author: **Bc. Matěj Filip**
Supervisor: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

Tato diplomová práce s názvem "Zařízení k odstraňování sirných sloučenin z odpadního vzduchu" obsahuje informace o výrobě kordového vlákna, následný vznik sirných škodlivin a jejich následné zpracování. Cílem této diplomové práce je energeticky zbilancovat stávající zařízení na zpracování sirných sloučenin nazývaném jako Sulfox ve firmě Glanzstoff Bohemia. Následně vytvořit nové zařízení s pomocí spalovacího motoru na zemní plyn. Na závěr obě varianty porovnat.

Klíčová slova

zemní plyn, CNG, sirné sloučeniny, sirouhlík, sirovodík, stacionární spalovací motor, zpracování sirných sloučenin, kyselina sírová, vodní pára, větrací vzduch, spalování zemního plynu, Matlab, Simulink

Annotation

This diploma thesis entitled "Devices for removing sulfur compounds from exhaust air" contains information on the production of cord fiber, the subsequent formation of sulfur pollutants and their subsequent processing. The aim of this diploma thesis is to energetically neutralize existing equipment for the processing of sulfur compounds called Sulfox in Glanzstoff Bohemia. Then create a new device with the help of a combustion engine for natural gas. Finally, compare the two variants.

Keywords

Natural gas, CNG, sulfur compounds, carbon dioxide, hydrogen sulphide, stationary combustion engine, processing of sulfur compounds, sulfuric acid, water vapor, ventilation air, natural gas combustion, Matlab, Simulink

Poděkování

Velice rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Josefovi Laurinovi CSc., za odborné konzultace a rady. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Jaroslavě Chlupáčové Filipové za jazykovou korekci, Janě Levé za přepisování indexových vzorců, Ing. Radimu Stáněmu za kontrolu výpočtů a pomoc v chemicko-technologické problematice, jednateli firmy Ing. Milanovi Grmelovi za umožnění a podporu, Ing. Jiřímu Štochlovi za konzultaci a poskytnutí dokumentace pro spalovací motor a generátor, dále zaměstnancům firmy Glanzstoff Bohemia Lubošovi Oszwaldovi, Josefu Zahnovi, Milanu Latislavovi, Karlovi Veselému a Ing. Jaroslavovi Kubátovi za dokumentaci, cenné rady a přístup do řídicích systémů. V neposlední řadě bych poděkoval mým rodičům a přítelkyni za podporu.

Obsah

Úvod.....	35
1 Tvorba sirných sloučenin	36
1.1 Výroba kordové příze.....	36
1.2 Zdroj sirných sloučenin.....	37
1.3 Ekologické a hygienické požadavky	37
2 Větrací vzduch	38
2.1 Definice větracího vzduchu.....	38
2.2 Složení větracího vzduchu	38
3 Způsoby odstraňování sirných sloučenin ze vzduchu	39
3.1 Oxidační katalytická reakce a redukce.....	39
3.2 Výplňové absorbéry - absorbční věže	40
3.3 Adsorbéry.....	40
4 Způsob výpočtu a značení hodnot.....	41
5 Současné zařízení	42
5.1 Popis současného stavu	42
5.2 Schéma současného stavu	45
5.3 Provozní vlastnosti	46
5.4 Ekonomické vlastnosti	47
5.5 Energetická bilance současného stavu	48
5.5.1 Bilanční model reaktoru.....	49
5.5.2 Bilance solného výměníku W510.....	51
5.5.3 Bilance hořákové kolony B500	53
5.5.4 Bilance reaktoru C600.....	56
5.5.5 Bilance solného výměníku W630.....	58
5.5.6 Bilance kolony B400 a výměníku W401	60
5.5.7 Bilance chlazení soli W850.....	66
5.6 Závěry a zhodnocení současného zařízení	67
6 Nové zařízení	70

6.1 Požadavky navrhovaného zařízení	70
6.1.1 Výroba elektrické energie	70
6.1.2 Zvýšení kapacity zpracování škodlivin	70
6.1.3 Výroba kyseliny sírové.....	70
6.1.4 Výroba vodní páry.....	71
6.1.5 Ekonomická výhodnost	71
6.1.6 Ekologičnost.....	71
6.2 Návrh nového zařízení	71
6.2.1 Schéma nového zařízení.....	72
6.2.2 Popis nového zařízení.....	73
6.2.3 Volba pístového spalovacího motoru	74
6.2.4 Volba elektrického generátoru	75
6.3 Výpočet energetické bilance nového zařízení	75
6.3.1 Okrajové podmínky	75
6.3.2 Bilance pístového spalovacího motoru M100	77
6.3.3 Bilance výměníku WM100, výroba páry a kompresor K100.....	79
6.3.4 Bilance výměníku W101	83
6.3.5. Bilance katalytického reaktoru C100	86
6.3.6. Bilance výměníku W102 a výroba páry	88
6.3.7 Bilance kyselinové kolony a výměníku W100.....	93
6.3.8 Bilance přehříváku W103.....	101
6.3.9 Bilance celkového zařízení.....	103
7 Porovnání současného a navrhovaného zařízení	106
7.1 Technické porovnání.....	106
7.2 Ekologické porovnání	107
7.3 Ekonomické porovnání	107
7.4 Shrnutí výhod a nevýhod.....	109
Závěr	110
Zdroje	111

Seznam tabulek	113
Seznam obrázků	114
Seznam příloh.....	115

Seznam symbolů a jednotek

c_{CNG}	měrná tepelná kapacita zemního plynu	J/kg/K
c_{CO2}	měrná tepelná kapacita oxidu uhličitého	J/kg/K
c_{CS2}	měrná tepelná kapacita sirouhlíku	J/kg/K
c_{H2O}	měrná tepelná kapacita vody	J/kg/K
c_{H2S}	měrná tepelná kapacita sirovodíku	J/kg/K
c_{H2SO4}	měrná tepelná kapacita kyseliny sírové	J/kg/K
$c_{m100spalin}$	měrná tepelná kapacita spalin z motoru	J/kg/K
c_{skod}	měrná tepelná kapacita škodlivin	J/kg/K
c_{SO2}	měrná tepelná kapacita oxidu siřičitého	J/kg/K
c_{SO3}	měrná tepelná kapacita oxidu sírového	J/kg/K
c_{spal}	měrná tepelná kapacita spalin	J/kg/K
c_{sul}	měrná tepelná kapacita soli	J/kg/K
c_{vzd}	měrná tepelná kapacita vzduchu	J/kg/K
$cena_{CNG_{GJ_{kc}}}$	cena 1 GJ zemního plynu	Kč
$cena_{CNG_{m3}}$	cena 1 m ³ zemního plynu	Kč
$cena_{ele_{kwh}}$	cena 1 kWh elektřiny	Kč
$cena_{H2SO4_{kg}}$	cena 1 kg kyseliny sírové	Kč
$cena_{MWh_{CNG_{ele_{kc}}}}$	cena za 1 MWh elektrického proudu při spalování zemního plynu	Kč

$cena_{para_{1MWh}}$	cena 1MWh páry	Kč
$cena_{para_{lovochemieGJkc}}$	cena 1 GJ páry od distributora	Kč
$cena_{para_{tone}}$	cena 1 tuny páry	Kč
ΔH_{CNG}	střední spalná entalpie zemního plynu	J/kg
ΔH_{CS2}	střední spalná entalpie sirouhlíku	kJ/mol
ΔH_{H2S}	střední spalná entalpie sirovodíku	kJ/mol
Δh_{k100}	dodávaná entalpie vodní páry kompresorem K100	J/kg
ΔH_{SO2}	střední spalná entalpie oxidu siřičitého na oxid sírový	kJ/mol
ΔH_{SO3}	střední spalná entalpie oxidu sírového na kyselinu sírovou	kJ/mol
$\Delta \dot{Q}_{b400w401}$	sdílený tepelný výkon mezi kolonou B400 a výměníkem W401	W
$\Delta \dot{Q}_{inout_{b500}}$	rozdíl tepelných výkonů v hořákové koloně B500	W
$\Delta \dot{Q}_{inout_{w510}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W510 pro větrací vzduch	W
$\Delta \dot{Q}_{spalin_{w101}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W101	W
$\Delta \dot{Q}_{sul_{w510}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W510 pro sůl	W
$\Delta \dot{Q}_{sul_{w630}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W630 pro sůl	W
$\Delta \dot{Q}_{sul_{w850inout}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W630 pro větrací vzduch	W
$\Delta \dot{Q}_{w100outin}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W100 pro větrací vzduch	W
$\Delta \dot{Q}_{w101outin}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W101 pro větrací vzduch	W

$\Delta\dot{Q}_{w102_{inout}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W102 pro větrací vzduch	W
$\Delta\dot{Q}_{w103_{inout}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W103 pro větrací vzduch	W
$\Delta\dot{Q}_{w401_{outin}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W401 pro větrací vzduch	W
$\Delta\dot{Q}_{w630_{inout}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku W630 pro větrací vzduch	W
$\Delta\dot{Q}_{wm100_{inout}}$	rozdíl tepelných výkonů na výměníku WM100 pro větrací vzduch	W
η_{c100}	účinnost reaktoru C100	-
η_{c600}	účinnost reaktoru C600	-
$\eta_{m100_{gene}}$	účinnost generátoru M100	-
η_{PSM_c}	celková účinnost spalovacího motoru	-
φ_{vzduch}	relativní vlhkost vzduchu	-
h	obecná proměnná entalpie	J/kg
$h_{H_2O_{b100_{in}}}$	entalpie vodní páry vstupující do kolony B100	J/kg
$h_{H_2O_{b100_{out}}}$	entalpie vodní páry vystupující z kolony B100	J/kg
$h_{H_2O_{b400_{in}}}$	entalpie vodní páry vstupující do kolony B400	J/kg
$h_{H_2O_{b500_{in}}}$	entalpie vodní páry vstupující do kolony B500	J/kg
$h_{H_2O_{b500_{out}}}$	entalpie vodní páry vystupující z kolony B500	J/kg
$h_{H_2O_{c100_{in}}}$	entalpie vodní páry vstupující do kompresoru C100	J/kg
$h_{H_2O_{c100_{out}}}$	entalpie vodní páry vystupující z kompresoru C100	J/kg

$h_{H_2O_{C600in}}$	entalpie vodní páry vstupující do kompresoru C600	J/kg
$h_{H_2O_{C600out}}$	entalpie vodní páry vystupující z kompresoru C600	J/kg
$h_{H_2O_{var110W102}}$	entalpie vody pro výměník W102	J/kg
$h_{H_2O_{W100in}}$	entalpie vodní páry vstupující do výměníku W100	J/kg
$h_{H_2O_{W100out}}$	entalpie vodní páry vystupující z výměníku W100	J/kg
$h_{H_2O_{W101in}}$	entalpie vodní páry vstupující do výměníku W101	J/kg
$h_{H_2O_{W101out}}$	entalpie vodní páry vystupující z výměníku W101	J/kg
$h_{H_2O_{W102in}}$	entalpie vodní páry vstupující do výměníku W102	J/kg
$h_{H_2O_{W102out}}$	entalpie vodní páry vystupující z výměníku W102	J/kg
$h_{H_2O_{W401in}}$	entalpie vodní páry vstupující do výměníku W401	J/kg
$h_{H_2O_{W401out}}$	entalpie vodní páry vystupující z výměníku W401	J/kg
$h_{H_2O_{W510in}}$	entalpie vodní páry vstupující do výměníku W510	J/kg
$h_{H_2O_{W510out}}$	entalpie vodní páry vystupující z výměníku W510	J/kg
$h_{H_2O_{W630in}}$	entalpie vodní páry vstupující do výměníku W630	J/kg
$h_{H_2O_{W630out}}$	entalpie vodní páry vystupující z W630	J/kg
$h_{H_2O_{chlW103in}}$	entalpie chladící vodní páry vstupující do W103	J/kg
$h_{H_2O_{chlW103out}}$	entalpie chladící vodní páry vystupující z W103	J/kg
h_{100}	obecná proměnná pro výpočet entalpie	J/kg

$interpola_h$	interpolační proměnná Ah - entalpie	J/kg
$interpola_{Am100h}$	interpolační proměnná AM - entalpie	J/kg
$interpola_{Am100T}$	interpolační proměnná AM - teplota	°C
$interpola_{AT}$	interpolační proměnná AT - teplota	°C
$interpola_{Aw103h}$	interpolační proměnná AW - entalpie	J/kg
$interpola_{Aw103T}$	interpolační proměnná AW - teplota	°C
$interpola_{Bh}$	interpolační proměnná IB - entalpie	J/kg
$interpola_{Bm100h}$	interpolační proměnná IBM - entalpie	J/kg
$interpola_{Bm100T}$	interpolační proměnná IBM - teplota	°C
$interpola_{BT}$	interpolační proměnná IBT - teplota	°C
$interpola_{Bw103h}$	interpolační proměnná IBW - entalpie	J/kg
$interpola_{Bw103T}$	interpolační proměnná IBW - teplota	°C
k_{CS_2}	koncentrace sirouhlíku ve větracím vzduchu	mg/m ³
k_{H_2S}	koncentrace sirovodíku ve větracím vzduchu	mg/m ³
λ_{m100}	bohatost směsi pro spalovací motor	-
L_{vt}	teoretické množství vzduchu pro spalování zemního plynu	kg
m	pomocná proměnná pro výpočet	kg/s
M_{CNG}	molární hmotnost zemního plynu	kmol/kg
$\dot{m}_{CNG_{b500in}}$	hmotnostní tok zemního plynu vstupující do hořákové kolony B500	kg/s

m_{CNGGJ}	hmotnost GJ zemního plynu	kg/s
$\dot{m}_{CNG_{m100in}}$	hmotnostní tok zemního plynu do spalovacího motoru M100	kg/s
M_{CO2}	molární hmotnost oxidu uhličitého	kmol/kg
$\dot{m}_{CO2_{b100in}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vstupující do kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{b100out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{b400in}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vstupující do kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{b400out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{b500out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{c100out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z katalyzátoru C100	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{c600in}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vstupující do kolony C600	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{c600out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z katalyzátoru C600	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{w102in}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vstupují do výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{w102out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{w630in}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vstupující do výměníku W630	kg/s
$\dot{m}_{CO2_{w630out}}$	hmotnostní tok oxidu uhličitého vystupující z výměníku W630	kg/s
M_{CS2}	molární hmotnost sirouhlíku	kmol/kg
\dot{m}_{CS2}	hmotnostní tok sirouhlíku	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{b500in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vstupující do kolony B500	kg/s

$\dot{m}_{CS2_{b500out}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vystupující z kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{c100in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vstupující do katalyzátoru C100	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{c600in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vystupující z katalyzátoru C100	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w100in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vstupující do výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w100out}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vystupující z výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w101in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vstupující do výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w101out}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vystupující z výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w401in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vstupující do výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w401out}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vystupující z výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w510in}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vstupující do výměníku W510	kg/s
$\dot{m}_{CS2_{w510out}}$	hmotnostní tok sirouhlíku vystupující z výměníku W510	kg/s
M_{H2O}	molární hmotnost vody	kmol/kg
\dot{m}_{H2O}	hmotnostní tok vody	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{b100in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{b100outup}}$	hmotnostní tok vody vystupující z kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{b100reac}}$	potřebný hmotnostní tok vody pro reakci na kyselinu sírovou	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{b400outup}}$	hmotnostní tok vody vystupující z kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{b400reac}}$	potřebný hmotnostní tok vody pro reakci na kyselinu sírovou	kg/s

$\dot{m}_{H_2O_{b500in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{b500out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{c100in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do reaktoru C100	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{c100out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z reaktoru C100	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{c600in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do reaktoru C600	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{c600out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z reaktoru C600	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in}}}$	hmotnostní tok vody natékající do sprchy před zředěním	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in2}}}$	hmotnostní tok ředící vody	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in}}}$	hmotnostní tok vody natékající do sprchy před zředěním	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in2}}}$	hmotnostní tok ředící vody	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w100in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w100out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w101in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w101out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w102in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w102out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w401in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do výměníku W401	kg/s

$\dot{m}_{H_2O_{W401out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{W510in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do výměníku W510	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{W510out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z výměníku W510	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{W630in}}$	hmotnostní tok vody vstupující do výměníku W630	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{W630out}}$	hmotnostní tok vody vystupující z výměníku W630	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{g_{B400in}}}$	hmotnostní tok vody vstupující do kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{K100in}}}$	hmotnostní tok vodní páry do kompresoru K100	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{W102in}}}$	hmotnostní tok vody natékající do výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{W102in}hourtone}}$	hmotnostní tok vody natékající do kolony W102 v tunách	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{W102out}}}$	hmotnostní tok vody vytékající z výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{W103in}}}$	hmotnostní tok vody natékající do výměníku W103	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{Wm100in}}}$	hmotnostní tok vody natékající do výměníku WM100	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{chl_{Wm100in}hourtone}}$	hmotnostní tok vody natékající do výměníku WM100 v tunách	kg/s
\dot{m}_{H_2S}	hmotnostní tok sirovodíku	kg/s
M_{H_2S}	molární hmotnost sirovodíku	kmol/kg
$\dot{m}_{H_2S_{B500in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{B500out}}$	hmotnostní tok sirovodíku vystupující z kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{C100in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do reaktoru C100	kg/s

$\dot{m}_{H_2S_{C600in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do reaktoru C600	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W100in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W100out}}$	hmotnostní tok sirovodíku vystupující z výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W101in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W101out}}$	hmotnostní tok sirovodíku vystupující z výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W401in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W401out}}$	hmotnostní tok sirovodíku vystupující z výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W510in}}$	hmotnostní tok sirovodíku vstupující do výměníku W510	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{W510out}}$	hmotnostní tok sirovodíku vystupující z výměníku W510	kg/s
$M_{H_2SO_4}$	molární hmotnost kyseliny sírové	kmol/kg
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100outdown}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové opouštějící kyselinovou komoru B100	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100outup}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové opouštějící kolonu B100 ve formě aerosolu	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100reac}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové vytvořené chemickou reakcí v koloně B100	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400outdown}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové opouštějící kyselinovou komoru B400	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400outup}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové opouštějící kolonu B400 ve formě aerosolu	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400reac}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové vytvořené chemickou reakcí v koloně B400	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b100in}}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové do sprchy B100	kg/s

$\dot{m}_{H_2SO_4\text{sprcha}_{b400in}}$	hmotnostní tok kyseliny sírové do sprchy B400	kg/s
M_{O_2}	molární hmotnost kyslíku	kmol/kg
$\dot{m}_{para\text{hourtone}}$	hmotnostní tok páry za hodinu v tunách	kg/s
\dot{m}_{skod}	hmotnostní tok škodlivin	kg/s
M_{SO_2}	molární hmotnost oxidu siřičitého	kmol/kg
$\dot{m}_{SO_2\text{c100out}}$	hmotnostní tok oxidu siřičitého vystupující z reaktoru C100	kg/s
$\dot{m}_{SO_2\text{c600out}}$	hmotnostní tok oxidu siřičitého vystupující z reaktoru C600	kg/s
M_{SO_3}	molární hmotnost oxidu sírového	kmol/kg
$\dot{m}_{SO_3\text{b100in}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vstupující do kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{b400in}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vstupující do kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{c100out}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vystupující z reaktoru C100	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{c600out}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vystupující z reaktoru C600	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{w102in}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vstupující do výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{w102out}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vystupující z výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{w630in}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vstupující do výměníku W630	kg/s
$\dot{m}_{SO_3\text{w630out}}$	hmotnostní tok oxidu sírového vystupující z výměníku W630	kg/s
\dot{m}_{spalin}	hmotnostní tok spalin	kg/s
$\dot{m}_{spalin\text{w103in}}$	hmotnostní tok spalin vstupující do výměníku W103	kg/s

$\dot{m}_{spalin_{w103out}}$	hmotnostní tok spalin vystupující z výměníku W103	kg/s
\dot{m}_{sul}	hmotnostní tok soli	kg/s
\dot{m}_{vzd}	hmotnostní tok vzduchu	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b100in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b100out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z kolony B100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b400in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b400out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z kolony B400	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b500in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b500out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z kolony B500	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c100in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do reaktoru C100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c100out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z reaktoru C100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c600in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do reaktoru C600	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c600out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z reaktoru C600	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{m100in}}$	hmotnostní tok vzduchu do spalovacího motoru M100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w100in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w100out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z výměníku W100	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w101in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do výměníku W101	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w101out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z výměníku W101	kg/s

$\dot{m}_{vzd_{w102in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w102out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z výměníku W102	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w401in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w401out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z výměníku W401	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w510in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do výměníku W510	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w510out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z výměníku W510	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w630in}}$	hmotnostní tok vzduchu vstupující do výměníku W630	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w630out}}$	hmotnostní tok vzduchu vystupující z výměníku W630	kg/s
$oV_{H2OH2SO4}$	objemový podíl vody v kyselině sírové	-
p	čítač pro numerické výpočty	-
$P_{k100mech}$	mechanický výkon kompresoru K100	W
$P_{m100ele}$	mechanický výkon generátoru	W
$P_{m100mechout}$	mechanický výkon produkovaný spalovacím motorem M100	W
$pocitadlo_{b100A}$	počítadlo	-
$pocitadlo_{b100B}$	počítadlo	-
$podilH2O_{vzduchkgkg}$	hmotnostní podíl vodní páry ve vzduchu	kgvp/kgvz
\dot{Q}_{b100in}	tepelný výkon vstupující do kolony B100	W
$\dot{Q}_{b100outdown}$	tepelný výkon odváděný z kolony B100 spodem	W

$\dot{Q}_{b100outup}$	tepelný výkon odváděný z kolony B100 vrchem	W
\dot{Q}_{b400in}	tepelný výkon vstupující do kolony B400	W
$\dot{Q}_{b400in_{down}}$	tepelný výkon přiváděný z kolony B400 spodem	W
$\dot{Q}_{b400out_{down}}$	tepelný výkon odváděný z kolony B400 spodem	W
$\dot{Q}_{b400outup}$	tepelný výkon odváděný z kolony B400 vrchem	W
\dot{Q}_{b500in}	tepelný výkon vstupující do kolony B500	W
$\dot{Q}_{b500out}$	tepelný výkon vystupující z kolony B500	W
\dot{Q}_{c100in}	tepelný výkon vstupující do reaktoru C100	W
$\dot{Q}_{c100out}$	tepelný výkon vystupující z reaktoru C100	W
\dot{Q}_{c600in}	tepelný výkon vstupující do reaktoru C600	W
$\dot{Q}_{c600out}$	tepelný výkon vystupující z reaktoru C600	W
$\dot{Q}_{CNG_{m100in}}$	tepelný výkon zemního plynu přiváděného do spalovacího motoru M100	W
$\dot{Q}_{H2Ochl_{k100out}}$	tepelný výkon vodní páry vystupující z kompresoru K100	W
$\dot{Q}_{H2Ochl_{w102in}}$	tepelný výkon vodní páry vstupující do výměníku W102	W
$\dot{Q}_{H2Ochl_{w102inmer}}$	měrný tepelný výkon vodní páry vstupující do výměníku W102	W/kg
$\dot{Q}_{H2Ochl_{w102outmer}}$	měrný tepelný výkon vodní páry vystupující z výměníku W102	W/kg
$\dot{Q}_{H2Ochl_{w103in}}$	tepelný výkon vodní páry vstupující do výměníku W103	W

$\dot{Q}_{H_2Ochl_{w103out}}$	tepelný výkon vodní páry vystupující z výměníku W103	W
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100in}}$	tepelný výkon vodní páry vstupující do výměníku WM103	W
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100out}}$	tepelný výkon vodní páry vystupující z výměníku WM103	W
$Q_{H_2Ochl_{wm100outmer}}$	měrný tepelný výkon vodná páry vystupující z výměníku WM103	W/kg
$\dot{Q}_{H_2Oto_{gasb100}}$	potřebný tepelný výkon na změnu fáze vody v koloně B100	W
$\dot{Q}_{H_2Oto_{gasb400}}$	potřebný tepelný výkon na změnu fáze vody v koloně B400	W
$\dot{Q}_{m100chlazout}$	tepelný výkon, který je potřeba odebrat chlazením motoru M100	W
$\dot{Q}_{m100ICout}$	tepelný výkon odvedený mezi chladičem stlačeného vzduchu v motoru M100	W
$\dot{Q}_{m100IRout}$	tepelný výkon odvedený radiací motoru M100	W
$\dot{Q}_{m100olejout}$	tepelný výkon odvedený oleje motoru M100	W
$\dot{Q}_{m100vyfukout}$	tepelný výkon obsažený ve výfukových plynech motoru M100	W
$\dot{Q}_{reac_{b100}}$	reakční tepelný výkon v koloně B100	W
$\dot{Q}_{reac_{b400}}$	reakční tepelný výkon v koloně B400	W
$\dot{Q}_{reac_{b500}}$	reakční tepelný výkon v koloně B500	W
$\dot{Q}_{reac_{c100}}$	reakční tepelný výkon v reaktoru C100	W
$\dot{Q}_{reac_{c600}}$	reakční tepelný výkon v reaktoru C600	W
$\dot{Q}_{reac_{c600inout}}$	reakční skutečný tepelný výkon v reaktoru C600	W
$\dot{Q}_{spalin_{w101out}}$	tepelný výkon spalin vystupující z výměníku W101	W

$\dot{Q}_{spalin_{w103in}}$	tepelný výkon spalin vstupující do výměníku W103	W
$\dot{Q}_{spalin_{w103out}}$	tepelný výkon spalin vystupující z výměníku W103	W
$\dot{Q}_{sprcha_{in}}$	tepelný výkon vstupující do sprchy	W
$\dot{Q}_{sul_{w850in}}$	tepelný výkon soli vstupující do výměníku W850	W
$\dot{Q}_{sul_{w850out}}$	tepelný výkon soli vystupující z výměníku W850	W
\dot{Q}_{w100in}	tepelný výkon vstupující do výměníku W100	W
$\dot{Q}_{w100out}$	tepelný výkon vystupující z výměníku W100	W
\dot{Q}_{w101in}	tepelný výkon vstupující do výměníku W101	W
$\dot{Q}_{w101out}$	tepelný výkon vystupující z výměníku W101	W
\dot{Q}_{w102in}	tepelný výkon vstupující do výměníku W102	W
$\dot{Q}_{w102out}$	tepelný výkon vystupující z výměníku W102	W
\dot{Q}_{w401in}	tepelný výkon vstupující do výměníku W401	W
$\dot{Q}_{w401out}$	tepelný výkon vystupující z výměníku W401	W
\dot{Q}_{w510in}	tepelný výkon vstupující do výměníku W510	W
$\dot{Q}_{w510out}$	tepelný výkon vystupující z výměníku W510	W
\dot{Q}_{w630in}	tepelný výkon vstupující do výměníku W630	W
$\dot{Q}_{w630out}$	tepelný výkon vystupující z výměníku W630	W
r_{oCNG}	hustota zemního plynu	kg/m ³

$r_{O_{CNG_{m100}}}$	hustota zemního plynu vstupující do motoru M100	kg/m ³
$r_{O_{CS2}}$	hustota sirouhlíku	kg/m ³
$r_{O_{H2O}}$	hustota vody	kg/m ³
$r_{O_{H2S}}$	hustota sirovodíku	kg/m ³
$r_{O_{H2SO4}}$	hustota kyseliny sírové	kg/m ³
$r_{O_{skod}}$	hustota škodlivin	kg/m ³
$r_{O_{sul}}$	hustota soli	kg/m ³
r_{o_vzd}	hustota vzduchu	kg/m ³
T	proměnná teplota pro numerické výpočty	°C
T_{b100in}	teplota na vstupu do kolony B100	°C
$T_{b100outdown}$	teplota na výstupu kolony B100 spodem	°C
$T_{b100outup}$	teplota na výstupu kolony B100 vrchem	°C
T_{b400in}	teplota na vstupu do kolony B400	°C
$T_{b400outdown}$	teplota na výstupu kolony B400 spodem	°C
$T_{b400outup}$	teplota na výstupu kolony B400 vrchem	°C
T_{b500in}	teplota na vstupu do kolony B500	°C
$T_{b500out}$	teplota na výstupu z kolony B500	°C
T_{c100in}	teplota na vstupu do reaktoru C100	°C
$T_{c100out}$	teplota na výstupu z reaktoru C100	°C

T_{C600in}	teplota na vstupu do reaktoru C600	°C
$T_{C600out}$	teplota na výstupu z reaktoru C600	°C
$T_{CNG_{B500}in}$	teplota zemního plynu na vstupu do kolony B500	°C
$T_{H2Ochl_{K100}in}$	teplota vody na vstupu do kompresoru K100	°C
$T_{H2Ochl_{K100}out}$	teplota vody na výstupu z kompresoru K100	°C
$T_{H2Ochl_{W102}in}$	teplota vody na vstupu do výměníku W102	°C
$T_{H2Ochl_{W102}out}$	teplota na výstupu z výměníku W102 spodem	°C
$T_{H2Ochl_{W102}out_{poz}}$	požadované teplota na výstupu z výměníku W102	°C
$T_{H2Ochl_{W103}in}$	teplota vody na vstupu do výměníku W103	°C
$T_{H2Ochl_{W103}out}$	teplota vody na výstupu z výměníku W103	°C
$T_{H2Ochl_{WM100}out}$	teplota vody na výstupu z výměníku WM100	°C
$T_{H2Ochl_{WM100}out_{poz}}$	požadované teplota na výstupu z výměníku WM100	°C
$T_{M100out}$	teplota vystupující ze spalovacího motoru M100	°C
T_{skod}	teplota škodlivin	°C
$T_{spalin_{W101}in}$	teplota spalin na vstupu do výměníku W101	°C
$T_{spalin_{W101}out}$	teplota spalin na výstupu z výměníku W101	°C
$T_{spalin_{W103}in}$	teplota spalin na vstupu do výměníku W103	°C
$T_{spalin_{W103}out}$	teplota spalin na výstupu z výměníku W103	°C

$T_{sprcha_{b100in}}$	teplota na vstupu do sprch na výměníku B100	°C
$T_{sprcha_{b400in}}$	teplota na vstupu do sprch na výměníku B400	°C
$T_{sul_{w510in}}$	teplota soli na vstupu do výměníku W510	°C
$T_{sul_{w510out}}$	teplota soli na výstupu z výměníku W510	°C
$T_{sul_{w630in}}$	teplota soli na vstupu do výměníku W630	°C
$T_{sul_{w630out}}$	teplota soli na výstupu z výměníku W630	°C
$T_{sul_{w850in}}$	teplota soli na vstupu do výměníku W850	°C
$T_{sul_{w850out}}$	teplota soli na výstupu z výměníku W850	°C
T_{w100in}	teplota na vstupu do výměníku W100	°C
$T_{w100out}$	teplota na výstupu z výměníku W100	°C
T_{w101in}	teplota na vstupu do výměníku W101	°C
$T_{w101out}$	teplota na výstupu z výměníku W101	°C
T_{w102in}	teplota na vstupu do výměníku W102	°C
$T_{w102out}$	teplota na výstupu z výměníku W102	°C
T_{w401in}	teplota na vstupu do výměníku W401	°C
$T_{w401out}$	teplota na výstupu z výměníku W401	°C
T_{w510in}	teplota na vstupu do výměníku W510	°C
$T_{w510out}$	teplota na výstupu z výměníku W510	°C

T_{w630in}	teplota na vstupu do výměníku W630	°C
$T_{w630out}$	teplota na výstupu z výměníku W630	°C
$T_{wm100in}$	teplota na vstupu do výměníku W100	°C
t_{out}	čas pro numerické výpočty	s
$\dot{V}_{CNGm100in}$	objemový průtok zemního plynu motorem M100	m ³ /s
$\dot{V}_{CNGm100inhour}$	objemový průtok zemního plynu motorem M100 za hodinu	m ³ /s
\dot{V}_{CNGSX}	objemový průtok zemního plynu pro Sulfox	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{b100in}}$	objemový průtok vody vstupující do kolony B100	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{b100outup}}$	objemový průtok vody vystupující z kolony B100 vrchem	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{b100reac}}$	potřebný objemový průtok vody pro reakci v koloně B100	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{B400in}}$	objemový průtok vody vstupující do kolony B400	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{B400outup}}$	objemový průtok vody vystupující z kolony B400 vrchem	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{B400reac}}$	potřebný objemový průtok vody pro reakci v koloně B400	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{sprcha_{b100in_2}}$	objemový průtok osmózní vody ředící sprchový tok v koloně B100	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2O_{sprcha_{b400in_2}}$	objemový průtok osmózní vody ředící sprchový tok v koloně B400	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2OH_2SO_4_{sprcha_{b100in}}$	objemový průtok zředěné kyseliny sírové směřující do sprchy v koloně B100	m ³ /s
$\dot{V}_{H_2OH_2SO_4_{sprcha_{b400in}}$	objemový průtok zředěné kyseliny sírové směřující do sprchy v koloně B400	m ³ /s

$\dot{V}_{H_2Ochl_{W102in}}$	objemový průtok vody vstupující do výměníku W102	m3/s
$\dot{V}_{H_2Ochl_{Wm100in}}$	objemový průtok vody vstupující do výměníku WM100	m3/s
$\dot{V}_{H_2SO_4_{B100out}}$	objemový průtok vody vystupující z kolony B100	m3/s
$\dot{V}_{H_2SO_4_{B400out}}$	objemový průtok vody vystupující z kolony B400	m3/s
$\dot{V}_{H_2SO_4_{SX1out}}$	objemový průtok kyseliny sírové ze Sulfox 1	m3/s
$\dot{V}_{H_2SO_4_{SX2out}}$	objemový průtok kyseliny sírové ze Sulfox 2	m3/s
V_{PSMzd}	zdvihový objem spalovacího motoru	m3/s
\dot{V}_{skod}	objemový průtok škodlivin	m3/s
\dot{V}_{sul}	objemový průtok soli	m3/s
\dot{V}_{vzd}	objemový průtok vzduchu	m3/s
$vyrobaSX1_{H_2SO_4_{kc}}$	zisk z výroby kyseliny sírové v Sulfox 1 za rok v korunách	Kč
$vyrobaSX1_{H_2SO_4_{m3}}$	zisk z výroby kyseliny sírové v Sulfox 1 za rok v m3	m3
$vyrobaSX2_{H_2SO_4_{kc}}$	zisk z výroby kyseliny sírové v Sulfox 2 za rok v korunách	Kč
$vyrobaSX2_{H_2SO_4_{m3}}$	zisk z výroby kyseliny sírové v Sulfox 2 za rok v m3	m3
$zisk_{celkem_{4years_{kc}}}$	zisk celkem za čtyři roky v korunách	Kč
$zisk_{celkem_{5years_{kc}}}$	zisk celkem za pět let v korunách	Kč
$zisk_{celkem_{year_{kc}}}$	zisk celkem za jeden rok v korunách	Kč
$zisk_{ele_{year_{kc}}}$	zisk za elektřinu za rok v korunách	Kč

$zisk_{para_{year_{kc}}}$	zisk za páry za rok v korunách	Kč
$ztrata_{CNG_{year_{kc}}}$	ztráta zemního plynu za rok v korunách	Kč

Seznam konstant a jejich hodnoty

c_{CNG}	1725	J/kg/K
c_{CO2}	843,7855	J/kg/K
c_{CS2}	994,6282	J/kg/K
c_{H2O}	4200	J/kg/K
c_{H2S}	1003	J/kg/K
c_{H2SO4}	1020	J/kg/K
$c_{m100spalin}$	1067	J/kg/K
c_{skod}	1600	J/kg/K
c_{SO2}	640	J/kg/K
c_{SO3}	811,9	J/kg/K
c_{spal}	900	J/kg/K
c_{sul}	1500	J/kg/K
c_{vzd}	1034	J/kg/K
ΔH_{CNG}	49 000 000	J/kg
ΔH_{CS2}	1 080	kJ/mol
ΔH_{H2S}	518	kJ/mol
Δh_{k100}	220 000	J/kg
ΔH_{SO2}	196	kJ/mol
ΔH_{SO3}	132,4	kJ/mol
φ_{vzduch}	0,9	-
$h_{H2O_{b100in}}$	3 280 000	J/kg
$h_{H2O_{b100out}}$	2 608 000	J/kg

$h_{H_2O_{b400in}}$	3 000 000	J/kg
$h_{H_2O_{b500in}}$	3 100 000	J/kg
$h_{H_2O_{b500out}}$	3 300 000	J/kg
$h_{H_2O_{c100in}}$	3 300 000	J/kg
$h_{H_2O_{c100out}}$	3 330 000	J/kg
$h_{H_2O_{c600in}}$	3 300 000	J/kg
$h_{H_2O_{c600out}}$	3 330 000	J/kg
$h_{H_2O_{var110w102}}$	461 000	J/kg
$h_{H_2O_{vyparna_w102}}$	2 239 000	J/kg
$h_{H_2O_{w100in}}$	2 564 370	J/kg
$h_{H_2O_{w100out}}$	2 801 000	J/kg
$h_{H_2O_{w101in}}$	2 801 000	J/kg
$h_{H_2O_{w101out}}$	3 300 000	J/kg
$h_{H_2O_{w102in}}$	3 330 000	J/kg
$h_{H_2O_{w102out}}$	3 280 000	J/kg
$h_{H_2O_{w401in}}$	2 564 370	J/kg
$h_{H_2O_{w401out}}$	2 915 000	J/kg
$h_{H_2O_{w510in}}$	2 915 000	J/kg
$h_{H_2O_{w510out}}$	3 100 000	J/kg
$h_{H_2O_{w630in}}$	3 330 000	J/kg
$h_{H_2O_{w630out}}$	3 000 000	J/kg

$h_{H_2Ochl_{w103in}}$	2 750 000	J/kg
$h_{H_2Ochl_{w103out}}$	2 890 000	J/kg
M_{CNG}	0,0161	kmol/kg
M_{CO_2}	0,044	kmol/kg
M_{CS_2}	0,0761	kmol/kg
M_{H_2O}	0,018	kmol/kg
M_{H_2S}	0,0341	kmol/kg
$M_{H_2SO_4}$	0,0981	kmol/kg
M_{O_2}	0,032	kmol/kg
M_{SO_2}	0,0641	kmol/kg
M_{SO_3}	0,0801	kmol/kg
$podil_{H_2O_{vzduch}} kg/kg$	0,02	kgvp/kgvz
$r_{O_{CNG}}$	0,9	kg/m ³
$r_{O_{CNG_{m100}}}$	0,9	kg/m ³
$r_{O_{CS_2}}$	1,2	kg/m ³
$r_{O_{H_2O}}$	1 000	kg/m ³
$r_{O_{H_2S}}$	1,36	kg/m ³
$r_{O_{H_2SO_4}}$	1 840	kg/m ³
$r_{O_{skod}}$	1,3	kg/m ³
$r_{O_{sul}}$	1 800	kg/m ³
$r_{O_{vzd}}$	1,15	kg/m ³

Úvod

Ekologie a zákony o ochraně ovzduší nutí podniky, které svojí výrobou vytváří emise, k omezování množství těchto nebezpečných látek vypuštěných do atmosféry. Z tohoto důvodu se v mnoha podnicích musela vytvořit opatření, která omezují množství vypuštěných látek do přírody. Tato opatření byla pro některé firmy likvidační, což vedlo k omezení výroby případně její zastavení z důvodu vysoké investice a téměř žádné návratnosti. V některých případech byly uděleny výjimky v důsledku nerealizovatelnosti.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou zpracování znečištěného větracího vzduchu vzniklého při výrobě kordového vlákna. Hlavními znečišťujícími látkami jsou sírné sloučeniny zejména sirouhlík a sirovodík. Tyto látky se z emitovaného místa v minulosti odsávaly a následně se vypouštěly komínem do atmosféry. Po zavedení či zpřísnění ekologických limitů si firma pořídila zařízení na částečné zpracování sírných sloučenin z důvodu omezení hmotnostních toků směřujících na komín. Na trhu bylo mnoho technologií, ale pouze jedna byla vyhovující pro dané koncentrace a požadavky na přeměnu ze sírných sloučenin na kyselinu sírovou, která se ve výrobě značně využívá. Cílem bylo zacyklit cestu síry ve výrobě a tím i snížit výrobní náklady. Tato technologie se jmenuje Sulfox a pracuje na bázi oxidační reakce.

Z důvodu zvýšení výroby kordového vlákna a zpřísnění zákona o ochraně ovzduší se po pořízení prvního zařízení za krátkou dobu muselo pořídit druhé. Nyní se obě zařízení provozují na nominální výkon a v plánu je opět zvyšování kapacity výroby. Obě zařízení mají značnou spotřebu zemního plynu, která se nevysvětlitelně zvyšuje.

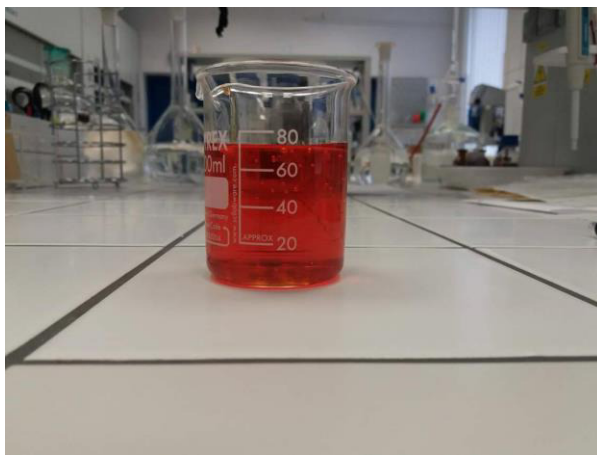
Cílem této diplomové práce je zbilancovat současné zařízení, najít případné problémy či nesrovnalosti funkce a navrhnout řešení. Dalším cílem je návrh komplexnějšího nového zařízení z důvodu vyšší kapacity zpracovaného větracího vzduchu za použití pístového spalovacího motoru na zemní plyn. Dále porovnat současné a nové zařízení z pohledu technického, ekologického a ekonomického.

1 Tvorba sirných sloučenin

V této kapitole stručně vysvětlím výrobu kordového vlákna.

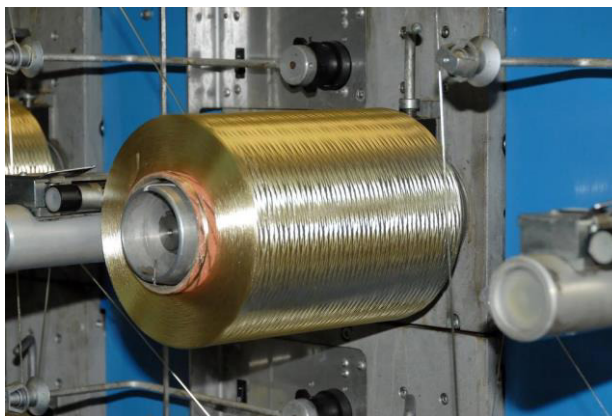
1.1 Výroba kordové příze

Výroba kordové příze je kontinuální výroba, kde finálním produktem je viskózní kordové vlákno. Kordové vlákno má hlavní uplatnění ve výrobě pneumatik, kde tvoří důležitou součást vrstvy pneumatiky. Hlavní surovinou je celulóza, která se namáčí do louhu sodného, kde se z ní stane alkaliceleulóza. Alkaliceleulóza dále prochází zráním, aby se docílilo lepší struktury. V dalším kroku je alkaliceleulóza sulfidována sirouhlíkem CS_2 na xantogenát celulózy. Následně se xantogenát rozpustí ve zředěném roztoku louhu sodného a vzniká potřebný provozní produkt viskóza. Viskóza je vizuálně podobná včelímu medu.



Obrázek 1 Baňka s viskózou

Viskóza musí projít důkladným několikanásobným čištěním a odvzdušněním pomocí vakuových zařízení. Dále musí projít zracím procesem a temperací na určitou teplotu. Nyní je viskóza připravena na další etapu výroby.



Obrázek 2 Vlákno na dutince

Další důležitou etapou je spřádání na kontinuálním spřádacím stroji. Do trysky, která se skládá z několika stovek či tisíců otvorů v řádech o velikosti mikrometrů se pod tlakem dopravuje viskóza. V trysce vznikají filameny, které se ihned po opuštění trysky namáčí do spřádací lázně a viskóza začne za přítomnosti kyseliny sírové ve spřádací lázni koagulovat, vzniká kordové vlákno. Takové vlákno nemá požadované fyzikální vlastnosti, proto musí projít dalšími technologickými procesy jako je plastifikace v plastifikační lázni, mechanické namáhání, kontrakce, ždímání, praní, máčení v aviváži, sušení a navíjení na dutinku. Nyní by se dalo říci, že vlákno je vyrobeno. V některých případech se vlákno zpracovává v dalších technologiích přepracování.

1.2 Zdroj sirných sloučenin

Samotný vznik sirných sloučenin bych rozdělil do tří kategorií. Hlavním zdrojem je spřádání vlákna.

Při spřádání vlákna tedy koagulaci vzniká chemická reakce, při které se produkuje sirouhlík CS_2 . Ve spřádacím stroji se uvolňuje téměř po celou dobu cesty vlákna strojem. Největší produkce je samozřejmě na začátku, kdy vlákno prochází spřádací a plastifikační lázni. Ve stroji je snaha odsát sirouhlík u zdroje do odsávacího potrubí na jeho zpracování, bohužel konstrukce stroje nedovoluje tak dobré zkoncentrování proudu, takže se velké množství zředí s větracím vzduchem, který pak pokračuje do komína a do atmosféry.

Dalším zdrojem sirných sloučenin zejména sirouhlíku a sirovodíku jsou další technologie, kde se vyrábí a zpracovává spřádací lázeň a výroba xantogenátu. Všechny tyto technologické celky jsou odsávány potrubím, které vede k zařízení, kde se zpracovávají sirné sloučeniny a vyrábí se z nich kyselina sírová.

1.3 Ekologické a hygienické požadavky

V této kapitole bych chtěl shrnout zákony, které výroba kordového vlákna musí plnit.

Každý výrobce se musí řídit zákonem o ochraně ovzduší 201/2012 sb., který stanovuje obecné limity. Dále je zde vyhláška 412/2012 sb., která definuje specifické limity dle charakteru výroby a znečištění.

Pro výrobu kordového vlákna platí vyjmenovaný zdroj II. 5.1.5. (Obrázek 1), kde jsou definovány emisní limity přímo pro sirovodík a sirouhlík. Dále je zde poznámka, že je nutné zařízení pro zpracování těchto sloučenin.

5.1.5. Výroba a zpracování viskózy (kód 6.6. dle přílohy č. 2 zákona)

Emisní limity [mg/m ³]			Vztažné podmínky
H ₂ S	CS ₂	H ₂ S a CS ₂ celkem	
10 50 ¹⁾	100 400 ¹⁾	200 ²⁾	C

Vysvětlivky:

- 1) Platí pro výrobu kordového hedvábí.
- 2) Platí pro výrobu stříže a textilního hedvábí.

Technické podmínky provozu:

- a) Měrná výrobní emise sirouhlíku ve výrobě stříže a textilního hedvábí je 200000 g/t.
- b) Odvádění odpadních plynů z výroby viskózy, přípravy zvláknovacích lázní a podle technických možností i z ostatních operací do zařízení k omezení emisí, uzavření zvláknovacích strojů při kontinuálním způsobu zvláknování, odsávání vznikajících plynů a jejich odvedení do zařízení k omezení emisí, např. do katalytické spalovací jednotky.

Obrázek 3 Ukázka vyhlášky o ochraně ovzduší

Dle specifické vyhlášky se může komínem vypouštět 400 mg sirouhlíku a 50 mg sirovodíku na metr krychlový větracího vzduchu. Při této podmínce je nutné, aby bylo v provozu zařízení na zpracování těchto sloučenin.

Je třeba i splňovat integrované povolení, které vydává Krajský úřad v Ústí nad Labem. Toto povolení má stejné limity, které jsou totožné jako u vyhlášky o specifických limitech. Dále je zde podmínka kontinuálního měření sirných sloučenin na komíně. Jednou za tři roky je povinnost odebrat vzorky i ze zařízení na zpracování sirných sloučenin.

2 Větrací vzduch

V této kapitole bych chtěl definovat, co je myšleno větracím vzduchem, co obsahuje větrací vzduch a jaké jsou přibližné objemové toky větracího vzduchu.

2.1 Definice větracího vzduchu

Větrací vzduch je v této práci definován jako distributor přenosu hmoty škodlivých látek z místa, kde by ohrožoval zdraví či bezpečí personálu do místa, kde se škodlivé látky zpracovávají nebo odvádějí do komína.

2.2 Složení větracího vzduchu

Větrací vzduch se skládá z atmosférického vzduchu, vody (vodní páry) a sirných sloučenin. Hlavními sirnými sloučeninami je sirouhlík CS₂, sirovodík H₂S a aerosol kyseliny sírové H₂SO₄.

Sirovodík je bezbarvý plyn, který velmi zapáchá. Zápach připomíná zkažené vejce. Je extrémně hořlavý, vysoce toxický. Při vyšších koncentracích může paralyzovat dýchací soustavu.

Sirouhlík je bezbarvá těžká kapalina, jeho nízký bod varu okolo 46 °C zapříčiňuje, že za normálních teplot se může vyskytovat jako plyn navázaný na vzduch. Je velmi toxický a při vyšších koncentracích ovlivňuje nervový systém. Je to nervový plyn.

Koncentrace ve větracím vzduchu se pohybují od 0 mg do 10 000 mg sirných sloučenin na metr krychlový větracího vzduchu. Nevýhodou vysokých koncentrací je spodní výbušná mez, která se nesmí překročit. U sirovodíku je hmotnostní koncentrace přibližně 5-50 % a sirouhlíku 2-50 %. Při překročení těchto hodnot by mohlo dojít k požáru popřípadě výbuchu. Všechny odsávací proudy do přibližně 500 mg na metr krychlový jsou svedeny do komínového odsávacího kanálu, kde pokračují do komína a do atmosféry. Vyšší koncentrace se odsávají speciálním potrubím na zpracování.

Bezpečné koncentrace se tedy pohybují přibližně do 4 000 až 8 000 mg sirovodíku či sirouhlíku na metr krychlový větracího vzduchu.

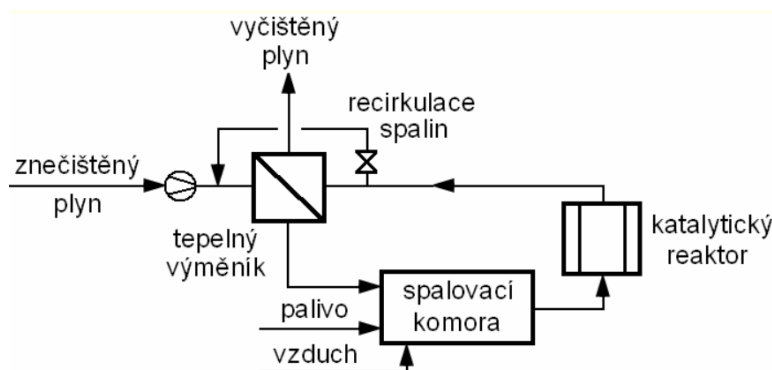
Komínový ventilátor má objemový průtok přibližně 900 000 metrů krychlových za hodinu. Zařízení na odstraňování sirných sloučenin mají kapacitu pouze 50 000 metrů krychlových za hodinu, proto je důležité odsávat zkoncentrované škodliviny, aby se nedostaly do komína.

3 Způsoby odstraňování sirných sloučenin ze vzduchu

V této kapitole stručně vysvětlím, jaké jsou hlavní technologie odstraňování sirných sloučenin ze vzdušiny použitelné pro dané koncentrace.

3.1 Oxidační katalytická reakce a redukce

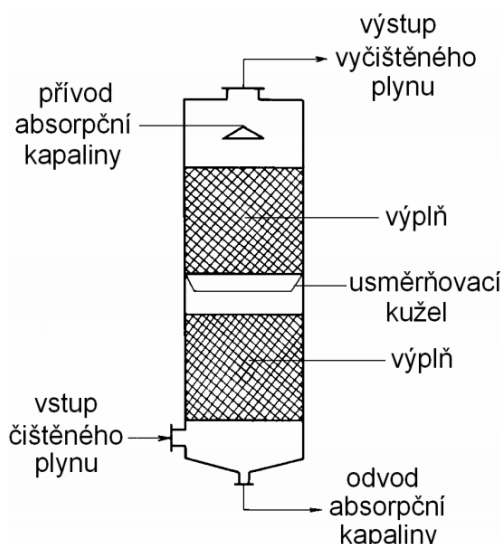
Znečištěný plyn vstupuje do systému, kde se ohřeje, následuje spalovací komora, ve které se spaluje palivo a vzniká teplo. Směs ohřátých plynů následuje do reaktoru, kde proběhne potřebná reakce a ze sirných sloučenin se stane oxid sírový. Následuje sprchování vzdušiny vodou a vzniká kyselina sírová, která je produktem této technologie zpracování.



Obrázek 4 Schéma oxidací katalytické reakce a redukce

3.2 Výplňové absorbéry - absorbční věže

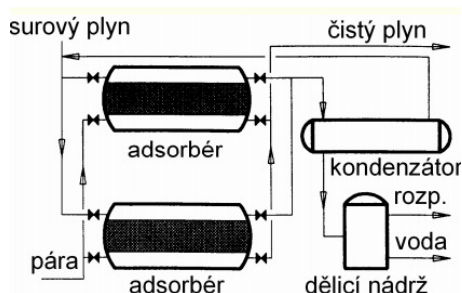
Technologií absorpce je mnoho, nejvhodnější je systém absorbčních věží, kde dochází k difúzi. Sirné sloučeniny se naváží na absorpční kapalinu (rozpuští se), stékající po výplňových tělískách. Nasorbovaná kapalina musí dále pokračovat na regeneraci, kde se z ní sirné sloučeniny musí odstranit.



Obrázek 5 Schéma absorbční věže

3.3 Adsorbéry

Adsorbéry jsou velice podobné absorbčním věžím, pouze s tím rozdílem, že ve válcové nádobě je nasypán pórovitý adsorbční materiál, který je vytvořen z oxidů různých kovů. Sirné sloučeniny se naváží v plynném skupenství na povrch adsorbčního materiálu. Nyní existují dvě cesty jak sirné sloučeniny zachytit a udržet na povrchu. První cesta je fyzikální adsorbce, kde se plyn udrží pomocí Van der Waalsových přitažlivých sil. Druhý způsob je chemisorbce, ve které vznikají přitažlivé síly pomocí chemických vazeb. Chemisorbce má mnohonásobně větší přitažlivé síly než fyzikální adsorbce. Nevýhodou této technologie je regenerace výplně. Z tohoto důvodu musí být dvě nádrže, které se střídají. V jedné z nich dochází k adsorbaci a ve druhé k regeneraci. Adsorbční materiál nemá neomezenou životnost a výměna je nákladná.



Obrázek 6 Schéma adsorbace

4 Způsob výpočtu a značení hodnot

Celý výpočet je postaven na zákonu zachování energie a hmoty. Energie je vyjádřena formou entalpie systému s referenční teplotou 0 °C. Energie je dále převedena na výkon, jelikož se jedná o hmotnostní, či objemové toky za čas. Výpočet je rozdělen do uzlů (částí zařízení), ve kterých dochází k fyzikálním či chemickým jevům.

Složitější výpočty ohledně vodní páry jsou dopočítávány pomocí tabulek a numerických výpočtů. Všechny hodnoty a rovnice jsou vypočteny v softwarech Matlab, Excel popřípadě Simulink. Výhoda Matlabu je naprogramování skriptu, kde jsou uvedeny všechny rovnice, algoritmus a proměnné. Následná kontrola vztahů a konzistence výpočtu. Ve výpočtech jsem se musel několikrát vrátit na počátek. Systém zápisu Matlabu je v tomto aspektu optimální. Během krátkého času, pokud jsou hodnoty označeny pravidlem označování, se výpočet dá relativně jednoduše měnit a optimalizovat některé hodnoty, které přirozeně neodpovídají realitě. Výsledky jsou vždy během krátkého času vypočteny. V důsledku toho optimalizace hodnot není tak časově náročná jako v softwaru Excel.

Po prvních výpočtech jsem přišel na to, že počet vypočtených hodnot je velký. Z tohoto důvodu jsem musel zavést systém označování hodnot, aby z označení bylo jasně definovatelné, kde se hodnota nachází, jaká to je veličina, kam či odkud směřuje a o jaké médium se jedná. Další potřebnou vlastností označování bylo potřeba filtrovat hodnoty dle zadaných parametrů, které se dají naprogramovat a následně zpracovávat. Zejména se jedná o export dat ze softwaru Matlab do softwaru Excel, kde jsem si vytvořil propojení. V označování jsem narazil na pár problémů, kde jsem musel zavést výjimky.

Pro porozumění označování vysvětlím problematiku na obecném názvu.

$$\dot{A}_{XXXYYYZZZ} = A_{XXX_YYY_ZZZ}$$

***A** definuje druh veličiny (teplota T, hmotnostní tok m atd.)*

***XXX** definuje druh média (sloučeniny)*

***YYY** definuje umístění*

***ZZZ** definuje směr hodnoty, pořípadě diferenci*

V některých případech je označení složitější, ale stále je snaha plnit tento způsob značení. Pokud u názvu chybí druh média, jedná se o větrací vzduch.

5 Současné zařízení

V této kapitole chci seznámit čtenáře s problematikou současného stavu. Zjistit všechna potřebná data pro výpočet bilance a sdělit důležité informace o zařízení.

5.1 Popis současného stavu

V současném stavu zpracovávají sírné sloučeniny dvě zařízení, která jsou označena jako Sulfox 1 a Sulfox 2.

Sulfox 1 má za úkol zpracovávat sírné sloučeniny obsažené ve větracím vzduchu z budovy, kde se spřádá viskóza a vyrábí se vlákno, interně označeno jako přádelna kordů. V přádelně kordů jsou umístěny spřádací stroje KVKH. Tyto stroje jsou řazeny v řadách označených A až D. V každé řadě je 14 strojů. Každý stroj má 36 výrobních míst, která jsou odsávána šterbinou. Odsávání je umístěno co nejbližší k emitovaným škodlivinám, aby nedocházelo k ředění či velkému úniku ze stroje. Každý stroj je tedy odsáván potrubím o rozměru DN125, které je napojeno na páteřové potrubí řady o rozměru DN600. Páteřová potrubí řady jsou napojena do centrálního potrubí, které dopravuje vzdušinu do zařízení Sulfox 1. Do centrálního potrubí jsou napojeny další proudy jako provzdušnění prací vody, odplynění plastifikační lázně a odplynění z rozbíječek pěny spřádací lázně. Celkové množství větracího vzduchu, které zpracuje Sulfox 1 je přibližně 30 000 metrů krychlových za hodinu. Vstupní koncentrace do Sulfox 1 jsou přibližně 2 200 mg sirouhlíku CS₂ na metr krychlový větracího vzduchu a 200 mg sirovodíku H₂S na metr krychlový větracího vzduchu.

Sulfox 2 zpracovává sírné sloučeniny obsažené ve větracím vzduchu z jiných technologií a budov. Nejdříve popíšu odsávání z technologie výroby xantogenátu, kde se alkaliceleulóza sytí sirovodíkem v zařízení, které se nazývá SIXA aparát. Zde se odsává přebytečné množství sirovodíku, které je vedeno jedním potrubím do Sulfoxu 1. Dále je na řadě budova spřádací lázně, ve které se odsávají stékací nádrže spřádací lázně, prací voda, rozbíječky pěny spřádací lázně, vakuová jednostupňová odparka, 12-ti stupňové odparky, tři linky vakuové krystalizace a odstředivky. Tyto odtahy jsou svedeny do páteřního potrubí, které je napojeno na hlavní potrubí Sulfox 2. Celkové množství větracího vzduchu, které zpracovává Sulfox 2 je přibližně 20 000 metrů krychlových za hodinu. Vstupní koncentrace jsou 5 000 mg sirouhlíku na metr krychlový větracího vzduchu a 4 000 mg sirovodíku na metr krychlový větracího vzduchu.

Vstupy do obou zařízení Sulfox jsou propojeny pomocí klapek. Při výpadku jednoho zařízení dojde k propojení všech proudů a větrací vzduch se zpracovává v omezeném množství v jednom zařízení. Pokud dojde k poruše obou zařízení zároveň, komplex potrubí dopravující větrací vzduch má rezervní okruh, který je napojen na komín. Komín je osazen ventilátorem o nominálním výkonu 900 000 metrů krychlových za hodinu.

Všechny ostatní proudy větracího vzduchu, které nesou nízkou koncentraci, obvykle do 400 mg na metr krychlový větracího vzduchu jsou napojeny na komín. Velkou část objemového toku tvoří odsávání přádelny kordů, kde se odsává horním a spodním odsáváním sprádací stroj. Koncentrace sirných sloučenin na komíně nesmí překonat určitou hranici stanovenou hygienickou normou.

Zařízení Sulfox pracuje na principu katalytické oxidace. Cílem je odstranit z větracího vzduchu sloučeniny sirovodíku a sirouhlíku. Jedním z hlavních používaných médií celé továrny je kyselina sírová, která byla hlavním požadavkem přeměny škodlivin na kyselinu. Aby mohla vzniknout kyselina sírová je k tomu potřeba voda H_2O a oxid sírový SO_3 . Oxid sírový vznikne oxidací oxidu siřičitého SO_2 a oxid siřičitý vznikne oxidací sirouhlíku CS_2 a sirovodíku H_2S . Výhodou těchto reakcí je, že všechny jsou exotermní. Aby došlo ke katalytické oxidaci, je bohužel potřeba relativně vysoká teplota větracího vzduchu. Při velkých objemových tocích větracího vzduchu je nutné dodat velký tepelný výkon v řádech megawatt.

Větrací vzduch, který vstupuje do zařízení Sulfox 1 o teplotě $35^\circ C$ se nejdříve vyfiltruje pomocí hrubých kapsových filtrů. Dále pokračuje přes ventilátor, který vytváří potřebný tlakový spád do skleněného výměníku W401, kde se ohřeje přibližně na $200^\circ C$ od zpracovaného vzduchu. Následně se větrací vzduch ohřeje od solného výměníku W510, který napomáhá k přenosu tepla v zařízení. Následuje plynový hořák, umístěný v koloně B500, který dodá další teplo, aby se dosáhlo určité zvolené reakční technologické teploty $430^\circ C$. Spálením zemního plynu se do systému dostane vodní pára $H_2O(g)$ a oxid uhličitý CO_2 . Takto ohřátý větrací vzduch pokračuje do kolony reaktoru C600, který se skládá ze dvou oxidačních reaktorů. Na prvním reaktoru sirné sloučeniny oxidují na oxid siřičitý, tím vzniká teplo a další molekuly oxidu uhličitého a vody. Médium dále pokračuje do druhého reaktoru, kde oxiduje oxid siřičitý na oxid sírový. Při této reakci opět vzniká teplo. Velmi ohřátý vzduch vstupuje do výměníku W630, kde se sdílí teplo do solného okruhu. Ochlazený větrací vzduch o teplotě přibližně $240^\circ C$ pokračuje do již zmíněného skleněného výměníku W401 a teplo předává vstupujícímu vzduchu. Výměník je umístěn v koloně B400. Při sdílení tepla se nastříkuje pomocí sprch zředěná kyselina sírová H_2SO_4 a na výměníku vzniká za přítomnosti oxidu sírového ostrá kyselina sírová. Při této reakci (hydrataci) vzniká teplo. Tato kyselina stéká na dno kolony a odčerpává se do výroby, kde se ředí a následně používá. Větrací vzduch je nyní teoreticky vyčištěn od sirných sloučenin. Bohužel při sprchování vzniká aerosol kyseliny sírové, který je unášen větracím vzduchem a musí se odstranit. Proto následuje další kolona F700, kde je umístěn vysokonapěťový elektrofiltr, který při vstupu větracího vzduchu odstraňuje aerosol kyseliny sírové. Kapičky se shlukují za přítomnosti vysokého napětí a vzniklá kapalina stéká na dno kolony a čerpá se zpět do předchozího zařízení, kde vstupuje do sprch. Z elektrofiltru vychází čistý větrací vzduch, který je napojen na komínový kanál.

Solný okruh, který má za úkol přemísťovat teplo v rámci zařízení, cirkuluje přes zmíněné výměníky. Pokud dojde k přehřátí soli, výměník W850 s ventilátorem přebytečné teplo vysdílí do okolního (atmosférického) vzduchu. Solný okruh má zásobník, kde se udržuje konstantní teplota.

Sulfox 2 je velmi podobný Sulfoxu 1. Rozdíl je pouze v médiu, které přemísťuje teplo v zařízení. Sulfox 1 používá sůl, přesněji Durferrit, který lépe odolává vysokým teplotám. Nevýhoda této soli je krystalizační teplota. Pokud okruh soli vychladne, sůl zkrystalizuje a celý okruh se zaplní zkrystalizovanou solí, která za normálních teplot je velice tvrdá a potrubí se špatně čistí. Celý okruh musí být velice dobře izolovaný. Plášť okruhu je vyhříváný, aby nedocházelo k lokální krystalizaci. Sulfox 2 používá místo soli olej, který má menší tepelnou kapacitu, ale provozní vlastnosti jsou lepší.

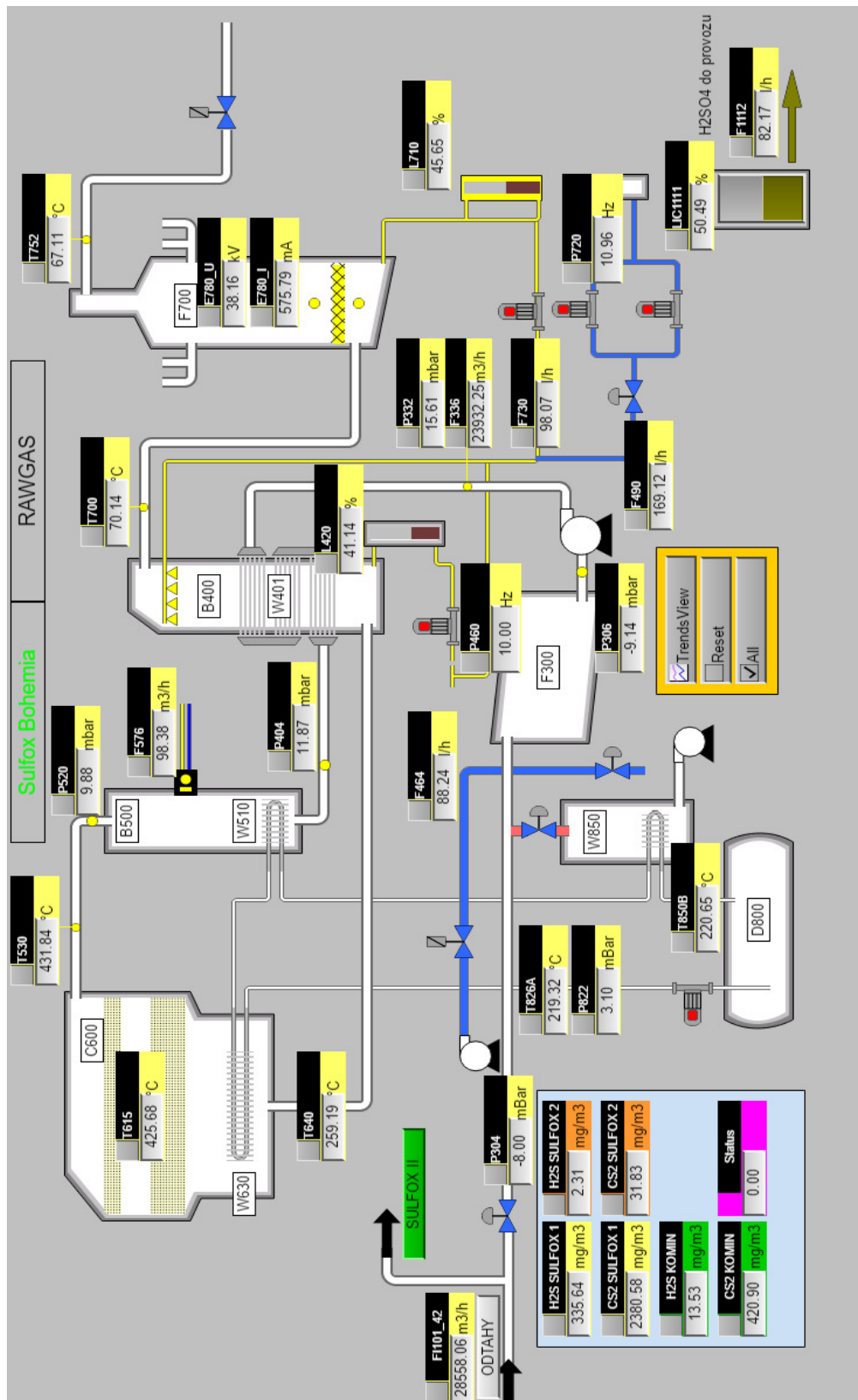


Obrázek 7 Sulfox 1



Obrázek 8 Sulfox 2

5.2 Schéma současného stavu



Obrázek 9 Schéma Sulfox 1 z řídicího systému

5.3 Provozní vlastnosti

Zařízení Sulfox je velmi sofistikované zařízení, které pro svoji činnost potřebuje řídicí systém. V této kapitole bych chtěl shrnout důležité poznatky a hodnoty potřebné pro bilanční výpočet popřípadě návrh nového zařízení.

Pro bilanční výpočet jsem si vybral Sulfox 1, který zpracovává přibližně 30 000 metrů krychlových za hodinu, jeho vstupní koncentrace jsou 2 100 mg sirouhlíku a 200 mg sirovodíku na metr krychlový vzduchu. Provoz je bezobslužný, řídicí systém reguluje hmotnostní toky zemního plynu a vody dle naprogramovaných hodnot teplot.

Zkratka	Název	Jednotka	Hodnota
k_{CS_2}	Vstupní koncentrace sirouhlíku CS_2	mg/m ³	2 100
k_{H_2S}	Vstupní koncentrace sirovodíku H_2S	mg/m ³	200
\dot{V}_{skod}	Objemový tok škodlivin se vzduchem	m ³ /h	30 000
\dot{V}_{sul}	Objemový tok soli	m ³ /h	24
\dot{V}_{CNGSX_h}	Objemový tok zemního plynu vstupující do Sulfox 1	m ³ /h	100
$\dot{V}_{H_2OH_2SO_4_{sprcha_{b400in}}}$	Objemový tok zředěné kyseliny sírové vstupující do sprchy	dm ³ /h	63
$\dot{V}_{H_2O_{sprcha_{b400in_2}}}$	Objemový tok vody, který ředí objemový tok zředěné kyseliny sírové vstupující do sprchy	dm ³ /h	4
$\dot{V}_{H_2SO_4_{SX1out}}$	Objemový tok H_2SO_4 vystupující ze Sulfox 1	dm ³ /h	95
φ_{vzduch}	Vlhkost větracího vzduchu	-	0,9

Tabulka 1 Vstupní data z řídicího systému

Pro bilanci je potřeba připravit základní hmotnostní toky popřípadě objemové toky za vteřinu.

$$\dot{m}_{CS_2} = k_{CS_2} \cdot \frac{\dot{V}_{skod}}{3600 \cdot 1000000}$$

$$\dot{m}_{H_2S} = k_{H_2S} \cdot \frac{\dot{V}_{skod}}{1000000}$$

$$\dot{V}_{vzd} = \dot{V}_{skod} - \frac{\dot{m}_{H_2S}}{\rho_{H_2S}} - \frac{\dot{m}_{CS_2}}{\rho_{CS_2}}$$

$$\dot{m}_{vzd} = \frac{\dot{V}_{vzd}}{3600} \cdot \rho_{vzd}$$

Pro vlhký vzduch o teplotě 25 °C platí pro danou relativní vlhkost:

$$podil_{H_2O_{vzduch}}_{kg/kg} = 0,02$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{m}_{\text{vzd}} \cdot \text{podilH}_2\text{O}_{\text{vzduchkgkg}}$$

$$\dot{V}_{\text{CNG}_{\text{SX}}} = \dot{V}_{\text{CNG}_{\text{SX}_h}} \cdot \frac{1}{3600}$$

5.4 Ekonomické vlastnosti

Ačkoliv zařízení Sulfox 1 a 2 vyrábějí kyselinu sírovou, tak jsou z ekonomického hlediska ztrátové. Největším odběratelem financí je spotřeba zemního plynu, která v posledních letech prudce stoupla. Dále je to běžná údržba, rekonstrukce a spotřeba elektrické energie.

Spotřeba zemního plynu pro Sulfox 1 je přibližně 100 krychlových metrů za hodinu. Sulfox 2 pracuje s vyššími koncentracemi, kde je spotřeba okolo 50 krychlových metrů za hodinu. Průměrná cena zemního plynu je 8 Kč za jeden metr krychlový při atmosférickém tlaku a dané teplotě.

Výroba kyseliny sírové je při běžných standardních koncentracích přibližně 90 litrů za hodinu pro Sulfox 1 a pro Sulfox 2 160 litrů za hodinu. Cena za jednu tunu kyseliny sírové je přibližně 1327 Kč.

Pro přehlednost jsem vytvořil tabulku spotřeby a výroby i s příslušnými cenami.

	Sulfox 1	Sulfox 2	Sulfox 1 + 2
Spotřeba plynu (m ³ /h)	100	50	150
Spotřeba plynu za den (m ³ /den)	2 400	1 200	3 600
Spotřeba plynu za měsíc (m ³ /měsíc)	72 000	36 000	108 000
Spotřeba plynu za rok (m ³ /rok)	876 000	432 000	1 308 000
Cena plynu v korunách za rok (Kč/rok)	7.008.000	3.456.000	10.464.000
Výroba kyseliny sírové za hodinu (dm ³ /h)	90	160	250
Výroba kyseliny sírové za rok (m ³ /rok)	855	1 402	2 257
Cena kyseliny v korunách za rok (Kč/rok)	-2.087.400	-3.422.300	-5.509.700
Energie (elektrický výkon) (Kč/rok)	1.000.000	900.000	1.900.000
Celková cena v korunách za rok (Kč/rok)	5.920.600	933.700	6.854.300

Tabulka 2 Ekonomika provozu

Z tabulky je patrné, že spotřeba zemního plynu je přibližně 1,3 Mm³ za rok, což při ceně 8 Kč za metr kubický činí až 10.464.000 korun za rok. Výroba kyseliny sírové je značná, Sulfox 2 je téměř neztrátový díky značné zpracovávané koncentraci. Surovinové náklady na provoz obou

zařízení vyjdou přibližně na 6.854.300 Kč za rok. V ekonomii není zahrnuta údržba zařízení, která je velice finančně náročná.

5.5 Energetická bilance současného stavu

Zpočátku se zdálo, že bilance nebude tak složitá. Bohužel po porozumění všem dějům se výpočet ztížil. Pro bilanci jsem vybral Sulfox 1, protože má více měřících míst. Sulfox 1 zpracovává menší koncentraci sirných sloučenin obsažených ve větracím vzduchu. Bilanční model samozřejmě půjde aplikovat i na Sulfox 2. Celý model jsem vytvářel v softwaru Excel, přibližně v polovině jsem celý výpočet přesunul do softwaru Matlab. Výpočet v Excelu přestal být přehledný v důsledku velkého počtu proměnných. Ke každému úseku výpočtu přiložím naprogramovaný kód pro Matlab.

Většina konstant potřebných pro výpočet je závislá na teplotě. Všechny konstanty jsem prošel a kontroloval jejich změnu v závislosti na teplotě. Z prozkoumání všech konstant, hlavně měrných tepelných kapacit jsem zjistil, že změna hodnoty v rozpětí daných teplot není tak velká, tak jsem zavedl střední tepelné kapacity. Pokud bych toto nezavedl, výpočet by se velice ztížil a přínos přesnosti výpočtu by nebyl tak výhodný. U konstant jako je entalpie vodní páry jsem nemohl centralizovat tuto hodnotu a v každé bilanci je závislá na teplotě. Hustoty také odpovídají teplotě a tlaku.

Do výpočtových vztahů nebudu dosazovat, jelikož jsou dosti obsáhlé. V každém úseku bilance uvedu tabulku, kde budou vstupní a výstupní data. Vypočtená data budou zvýrazněná. Označování všech toků bude splňovat již zmíněná pravidla označování. Pokud neuvedu název nějaké hodnoty, tak je umístěn v seznamu hodnot a veličin. Střední tepelné kapacity jsou uvedeny v seznamu, nebudu je uvádět do tabulek.

Dále v bilancích neuvažuji při chemických reakcích změny energie v závislosti na objemu. Tyto energie popř. výkony jsou tak malé, že je zanedbávám.

Referenční teplota pro výpočet bilancí je 273,15 K nebo-li 0 °C. Celý výpočet je počítán ve °C.

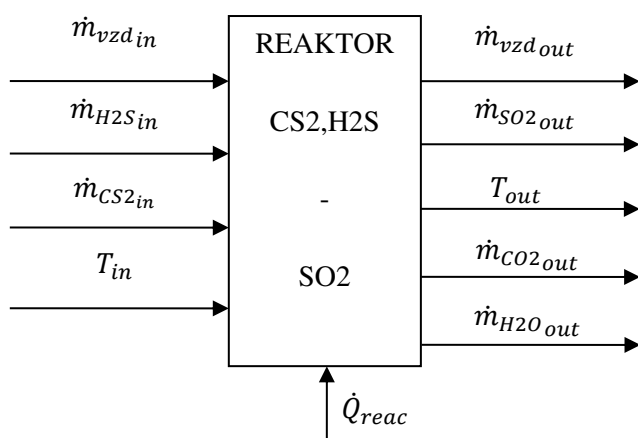
Veškeré reakční výpočty uvažuji jako izoentropické.

5.5.1 Bilanční model reaktoru

Před zahájením celkové bilance nejdříve připravím obecný model pro výpočet oxidačních reaktorů. Bilanční model reaktoru jsem musel rozdělit na dvě samostatné bilance.

a) Bilance oxidační katalytické reakce CS₂ a H₂S na SO₂

V matematickém modelu do reaktoru bude vstupovat hmotnostní tok vzduchu, sirouhlíku, sirovodíku a vstupní teplota. Výstupem z reaktoru budou hmotnostní toky vzduchu, oxidu siřičitého, oxidu uhličitého, vody (vodní páry) a výstupní teplota.



Obrázek 10 Bilanční schéma reaktoru SO₂

Pro bilanci můžeme psát:

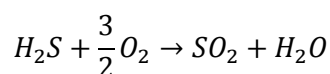
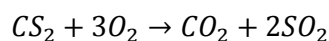
$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{reac} + \dot{Q}_{in}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{vzd_{in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{in} + \dot{m}_{H_2S_{in}} \cdot c_{H_2S} \cdot T_{in} + \dot{m}_{CS_2_{in}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{in}$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_{vzd_{out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{out} + \dot{m}_{SO_2_{out}} \cdot c_{SO_2} \cdot T_{out} + \dot{m}_{CO_2_{out}} \cdot c_{CO_2} \cdot T_{out} + \dot{m}_{H_2O_{out}} \cdot h_{H_2O_{out}}$$

$$\dot{Q}_{reac} = \frac{\Delta h_{H_2S} \cdot \dot{m}_{H_2S_{in}}}{M_{H_2S}} + \frac{\Delta h_{CS_2} \cdot \dot{m}_{CS_2_{in}}}{M_{CS_2}}$$

Dle chemických rovnic oxidace lze vypočítat neznáme výstupní hmotnostní toky:



Pro výpočet hmotnosti vzduchu je nutné odečíst hmotnostní tok kyslíku, který je potřebný pro reakci:

$$\dot{m}_{vzd_{out}} = \dot{m}_{vzd_{in}} - \frac{3}{2} \cdot \dot{m}_{H_2S_{in}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{H_2S}} - 3 \cdot \dot{m}_{CS_2_{in}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{CS_2}}$$

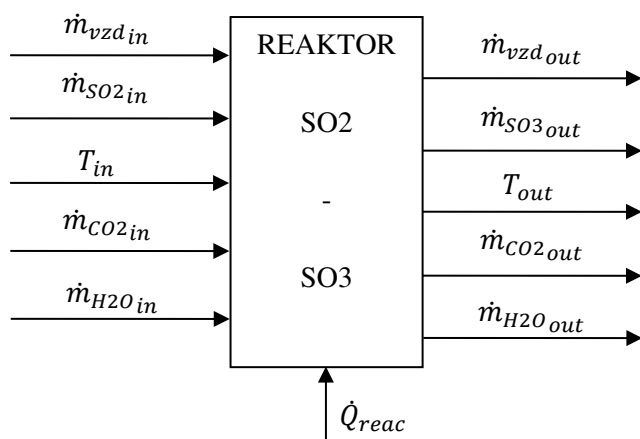
$$\dot{m}_{CO_2_{out}} = M_{CO_2} \cdot \frac{\dot{m}_{CS_2_{in}}}{M_{CS_2}}$$

$$\dot{m}_{SO_2_{out}} = \dot{m}_{H_2S_{in}} \cdot \frac{M_{SO_2}}{M_{H_2S}} + 2 \cdot \frac{M_{SO_2}}{M_{CS_2}} \cdot \dot{m}_{CS_2_{in}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{out}} = M_{H_2O} \cdot \frac{\dot{m}_{H_2S_{in}}}{M_{H_2O}}$$

b) Bilance oxidační katalytické reakce SO₂ na SO₃

Vstupní hodnoty do reaktoru odpovídají výstupním hodnotám z předchozího výpočtu.



Obrázek 11 Bilanční schéma reaktoru SO₃

Pro bilanci mohou psát:

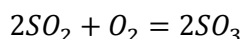
$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{reac} + \dot{Q}_{in}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{vzd_{in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{in} + \dot{m}_{SO_2_{in}} \cdot c_{SO_2} \cdot T_{in} + \dot{m}_{CO_2_{in}} \cdot c_{CO_2} \cdot T_{in} + \dot{m}_{H_2O_{in}} \cdot h_{H_2O_{in}}$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_{vzd_{out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{out} + \dot{m}_{SO_2_{out}} \cdot c_{SO_2} \cdot T_{out} + \dot{m}_{CO_2_{out}} \cdot c_{CO_2} \cdot T_{out} + \dot{m}_{H_2O_{out}} \cdot h_{H_2O_{out}}$$

$$\dot{Q}_{reac} = \frac{\Delta h_{SO_2} \cdot \dot{m}_{SO_2_{in}}}{M_{SO_2}}$$

Po zavedení reakční rovnice, opět vyjádřím hmotnostní toky na výstupu:



Při výpočtu hmotnosti vzduchu opět musím odečíst kyslík, který je potřebný pro reakci:

$$\dot{m}_{vzd_{out}} = \dot{m}_{vzd_{in}} - \frac{1}{2} \cdot \dot{m}_{SO2_{in}} \cdot \frac{M_{O2}}{M_{SO2}}$$

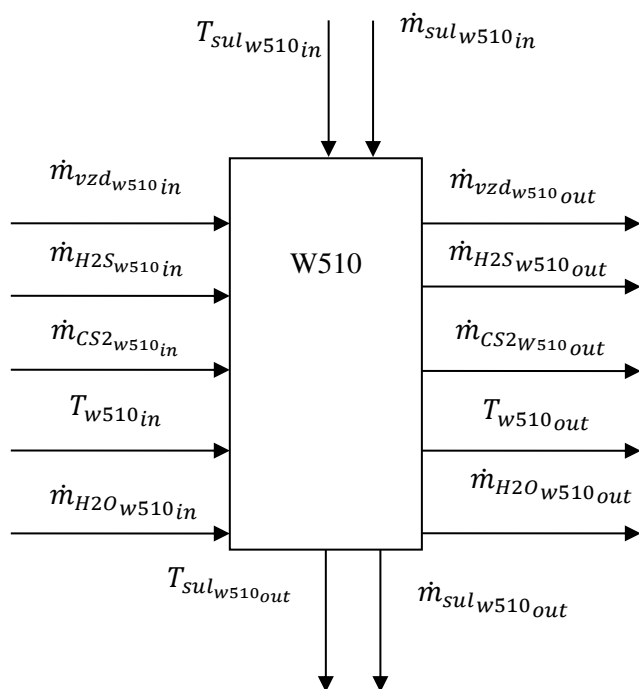
$$\dot{m}_{SO3_{out}} = \dot{m}_{SO2_{in}} \cdot \frac{M_{SO3}}{M_{SO2}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{out}} = \dot{m}_{CO2_{in}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{out}} = \dot{m}_{H2O_{in}}$$

5.5.2 Bilance solného výměníku W510

Tento výměník slouží k předání tepla ze soli do větracího vzduchu. Z řídicího systému není známá hodnota teploty na výstupu vzdušiny $T_{w510_{out}}$. Z bilančních rovnic ji vyjádřím.



Obrázek 12 Bilanční schéma solného výměníku W510

Pro bilanci platí:

$$\dot{m}_{sul_{w510_{in}}} = \dot{m}_{sul_{w510_{out}}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w510_{in}}} = \dot{m}_{vzd}$$

$$\dot{m}_{CS2_{w510_{in}}} = \dot{m}_{CS2}$$

$$\dot{m}_{H_2S_{w510in}} = \dot{m}_{H_2S}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w510out}} = \dot{m}_{vzd_{w510in}}$$

$$\dot{m}_{CS_2_{w510out}} = \dot{m}_{CS_2_{w510in}}$$

$$\dot{m}_{H_2S_{w510out}} = \dot{m}_{H_2S_{w510in}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{w510in}} = \dot{m}_{H_2O}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{w510out}} = \dot{m}_{H_2O_{w510in}}$$

Tepelné výkony tedy odpovídají:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w510in} = & \dot{m}_{vzd_{w510in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w510in} + \dot{m}_{CS_2_{w510in}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{w510in} + \dot{m}_{H_2S_{w510in}} \cdot c_{H_2S} \\ & \cdot T_{w510in} + \dot{m}_{H_2O_{w510in}} \cdot h_{H_2O_{w510in}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w510out} = & \dot{m}_{vzd_{w510out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w510out} + \dot{m}_{CS_2_{w510out}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{w510out} + \dot{m}_{H_2S_{w510out}} \\ & \cdot c_{H_2S} \cdot T_{w510out} + \dot{m}_{H_2O_{w510out}} \cdot h_{H_2O_{w510out}} \end{aligned}$$

$$\Delta \dot{Q}_{sul_{w510}} = \dot{m}_{sul_{w510in}} \cdot c_{sul} \cdot (T_{sul_{w510in}} - T_{sul_{w510out}})$$

Rozdíl výkonů na vstupu a výstupu by měl odpovídat rozdílu výkonů v soli:

$$\dot{Q}_{w510out} - \dot{Q}_{w510in} = \Delta \dot{Q}_{inout_{w510}} \approx \Delta \dot{Q}_{sul_{w510}}$$

Neznámá teplota je tedy:

$$T_{w510out} = \frac{\dot{Q}_{w510in} + \Delta \dot{Q}_{sul_{w510}} - \dot{m}_{H_2O_{w510out}} \cdot h_{H_2O_{w510out}}}{\dot{m}_{vzd_{w510out}} \cdot c_{vzd} + \dot{m}_{CS_2_{w510out}} \cdot c_{CS_2} + \dot{m}_{H_2S_{w510out}} \cdot c_{H_2S}}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta \dot{Q}_{inout_{w510}}$	$1,10 \cdot 10^6$	W
$\Delta \dot{Q}_{sul_{w510}}$	$9,94 \cdot 10^5$	W
$h_{H_2O_{w510in}}$	2 915 000	J/kg
$h_{H_2O_{w510out}}$	3 100 000	J/kg
$\dot{m}_{CS_2_{w510in}}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{CS_2_{w510out}}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w510in}}$	0,1917	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w510out}}$	0,1917	kg/s

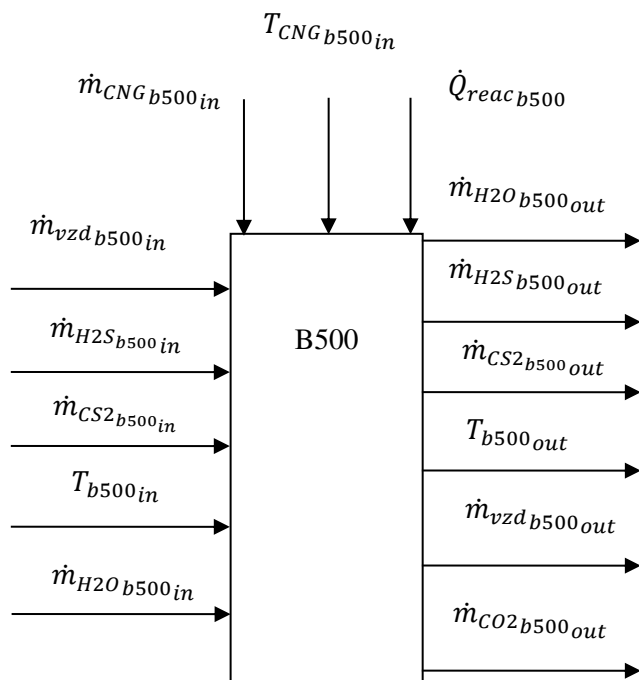
$\dot{m}_{H_2S_{w510in}}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w510out}}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w510in}}$	9,3917	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w510out}}$	9,3917	kg/s
\dot{Q}_{w510in}	$2,64 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{w510out}$	$3,74 \cdot 10^6$	W
$T_{sul_{w510in}}$	320,65	°C
$T_{sul_{w510out}}$	265,44	°C
T_{w510in}	213,78	°C
$T_{w510out}$	323	°C

Tabulka 3 Bilance W510

Pokud porovnam hodnoty tepelných výkonů sdílení, tak mohu konstatovat, že jsou relativně blízké. Je zajímavé, že výměník dokáže vysdílet až jednu megawattu při daných průtocích.

5.5.3 Bilance hořákové kolony B500

V hořákové koloně se větrací vzduch ohřeje na danou teplotu. Spálením zemního plynu vzniká vodní pára a oxid uhličitý. Ve výpočtu uvažuji, že zemní plyn je 100% metan CH₄.



Obrázek 13 Bilanční schéma hořákové kolony B500

Pro bilanci platí:

$$\dot{m}_{CNG_{b500in}} = \rho_{CNG} \cdot \dot{V}_{CNGSX}$$

$$\dot{m}_{vzd_{b500in}} = \dot{m}_{vzd_{w510out}}$$

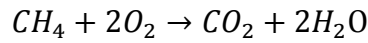
$$T_{b500in} = T_{w510out}$$

$$\dot{m}_{CS2_{b500in}} = \dot{m}_{CS2_{w510out}}$$

$$\dot{m}_{H2S_{b500in}} = \dot{m}_{H2S_{w510out}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{b500in}} = \dot{m}_{H2O_{w510out}}$$

Pro chemickou oxidační reakci metanu platí:



Pro hmotnostní toky tedy platí:

$$\dot{m}_{vzd_{b500out}} = \dot{m}_{vzd_{b500in}} - \dot{m}_{CNG_{b500in}} \cdot 2 \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{CNG}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{b500out}} = \dot{m}_{CNG_{b500in}} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CNG}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{b500out}} = 2 \cdot \dot{m}_{CNG_{b500in}} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{CNG}} + \dot{m}_{H2O_{b500in}}$$

$$\dot{m}_{CS2_{b500out}} = \dot{m}_{CS2_{b500in}}$$

$$\dot{m}_{H2S_{b500out}} = \dot{m}_{H2S_{b500in}}$$

Tepelné výkony tedy jsou:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{b500in} = & \dot{m}_{vzd_{b500in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{b500in} + \dot{m}_{CS2_{b500in}} \cdot c_{CS2} \cdot T_{b500in} + \dot{m}_{H2S_{b500in}} \cdot c_{H2S} \cdot T_{b500in} \\ & + \dot{m}_{CNG_{b500in}} \cdot c_{CNG} \cdot T_{CNG_{b500in}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{b500out} = & \dot{m}_{vzd_{b500out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{b500out} + \dot{m}_{CS2_{b500out}} \cdot c_{CS2} \cdot T_{b500out} + \dot{m}_{H2S_{b500out}} \cdot c_{H2S} \\ & \cdot T_{b500out} + \dot{m}_{H2O_{b500out}} \cdot h_{H2O_{b500out}} + \dot{m}_{CO2_{b500out}} \cdot c_{CO_2} \cdot T_{b500out} \end{aligned}$$

Oxidační tepelný výkon, který vznikne spalováním metanu:

$$\dot{Q}_{\text{reac}_{b500}} = \Delta h_{\text{CNG}} \cdot \dot{m}_{\text{CNG}_{b500in}}$$

Rozdíl tepelných výkonů na vstupu a výstupu by měl odpovídat oxidačnímu výkonu:

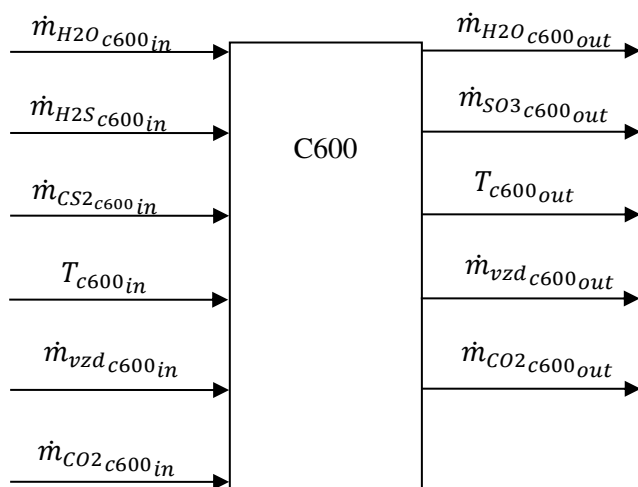
$$\Delta \dot{Q}_{\text{inout}_{b500}} = \dot{Q}_{b500out} - \dot{Q}_{b500in} \approx \dot{Q}_{\text{reac}_{b500}}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta \dot{Q}_{\text{inout}_{b500}}$	$1,27 \cdot 10^6$	W
$h_{\text{H}_2\text{O}_{b500in}}$	3 100 000	J/kg
$h_{\text{H}_2\text{O}_{b500out}}$	3 300 000	J/kg
$\dot{m}_{\text{CNG}_{b500in}}$	0,025	kg/s
$\dot{m}_{\text{CO}_2_{b500out}}$	0,0685	kg/s
$\dot{m}_{\text{CS}_2_{b500in}}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{\text{CS}_2_{b500out}}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}_{b500in}}$	0,1917	kg/s
$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}_{b500out}}$	0,2478	kg/s
$\dot{m}_{\text{H}_2\text{S}_{b500in}}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{\text{H}_2\text{S}_{b500out}}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{\text{vzd}_{b500in}}$	9,3917	kg/s
$\dot{m}_{\text{vzd}_{b500out}}$	9,292	kg/s
\dot{Q}_{b500in}	$3,74 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{b500out}$	$5,01 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{\text{reac}_{b500}}$	1 225 000	W
T_{b500in}	323	°C
$T_{b500out}$	433	°C
$T_{\text{CNG}_{b500in}}$	25	°C

Tabulka 4 bilance B500

Z vypočtených hodnot je viditelné, že tepelné výkony relativně odpovídají. Je zajímavé, že do systému je potřeba přidat až 1,225 MW tepelného výkonu, aby zařízení mohlo být provozuschopné.

5.5.4 Bilance reaktoru C600



Obrázek 14 Bilanční schéma reaktoru C600

Pro bilanci platí:

$$\dot{m}_{vzd_{c600in}} = \dot{m}_{vzd_{b500out}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{c600in}} = \dot{m}_{H2O_{b500out}}$$

$$\dot{m}_{CS2_{c600in}} = \dot{m}_{CS2_{b500out}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{c600in}} = \dot{m}_{CO2_{b500out}}$$

$$\dot{m}_{H2S_{c600in}} = \dot{m}_{H2S_{b500out}}$$

Výpočet reaktoru dle zmíněného modelu, pro hmotnostní toky platí:

$$\dot{m}_{SO2_{c600out}} = M_{SO2} \cdot \frac{\dot{m}_{H2S_{c600in}}}{M_{H2S}} + 2 \cdot \frac{M_{SO2}}{M_{CS2}} \cdot \dot{m}_{CS2_{c600in}}$$

$$\dot{m}_{SO3_{c600out}} = \frac{M_{SO3}}{M_{SO2}} \cdot \dot{m}_{SO2_{c600out}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{c600out}} = \dot{m}_{vzd_{c600in}} - \frac{3}{2} \cdot \dot{m}_{H2S_{c600in}} \cdot \frac{M_{O2}}{M_{H2S}} - 3 \cdot \dot{m}_{CS2_{c600in}} \cdot \frac{M_{O2}}{M_{CS2}} - 0.5 \cdot \dot{m}_{SO2_{c600out}} \cdot \frac{M_{O2}}{M_{SO2}}$$

$$\dot{m}_{CO_2c600out} = \dot{m}_{CO_2c600in} + M_{CO_2} \cdot \frac{\dot{m}_{CS_2c600in}}{M_{CS_2}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{c600out}} = \dot{m}_{H_2O_{c600in}} + M_{H_2O} \cdot \frac{\dot{m}_{H_2S_{c600in}}}{M_{H_2O}}$$

Tepelné výkony odpovídají:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{c600in} = & \dot{m}_{H_2O_{c600in}} \cdot h_{H_2O_{c600in}} + \dot{m}_{H_2S_{c600in}} \cdot c_{H_2S} \cdot T_{c600in} + \dot{m}_{CS_2c600in} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{c600in} \\ & + \dot{m}_{CO_2c600in} \cdot c_{CO_2} \cdot T_{c600in} + \dot{m}_{vzd_{c600in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{c600in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{c600out} = & \dot{m}_{SO_3c600out} \cdot c_{SO_3} \cdot T_{c600out} + \dot{m}_{vzd_{c600out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{c600out} + \dot{m}_{CO_2c600out} \cdot c_{CO_2} \\ & \cdot T_{c600out} + \dot{m}_{H_2O_{c600out}} \cdot h_{H_2O_{c600out}} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{reac_{c600inout}} = \dot{Q}_{c600out} - \dot{Q}_{c600in}$$

Reakční tepelný výkon je tedy:

$$\dot{Q}_{reac_{c600}} = \dot{m}_{H_2S_{c600in}} \cdot \Delta H_{H_2S} \cdot \frac{1000}{M_{H_2S}} + \dot{m}_{CS_2c600in} \cdot \Delta H_{CS_2} \cdot \frac{1000}{M_{CS_2}} + \dot{m}_{SO_2c600out} \cdot 1000 \cdot \frac{\Delta H_{SO_2}}{M_{SO_2}}$$

Pro účinnost reakce mohu psát:

$$\eta_{c600} = \frac{\dot{Q}_{reac_{c600inout}}}{\dot{Q}_{reac_{c600}}}$$

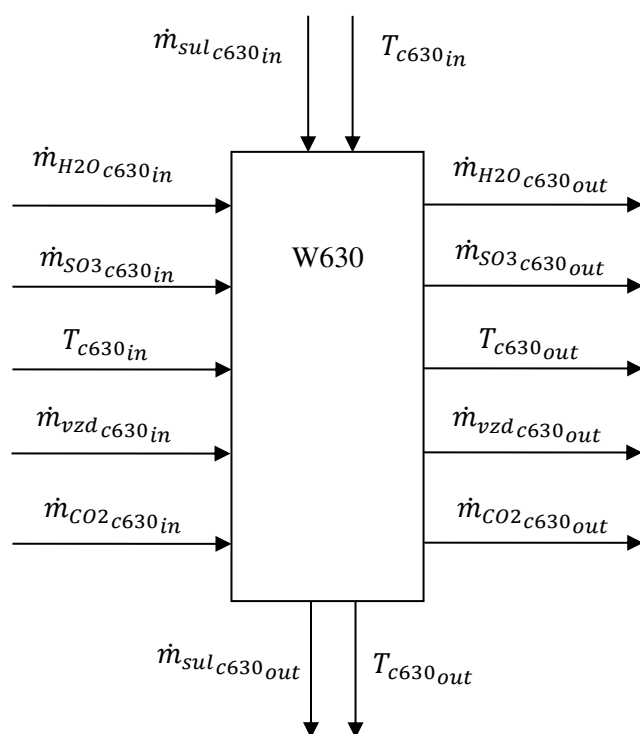
Označení	Hodnota	Jednotka
η_{c600}	0,4379	-
$h_{H_2O_{c600in}}$	3 300 000	J/kg/K
$h_{H_2O_{c600out}}$	3 330 000	J/kg/K
$\dot{m}_{CO_2c600in}$	0,0685	kg/s
$\dot{m}_{CO_2c600out}$	0,0786	kg/s
$\dot{m}_{CS_2c600in}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{c600in}}$	0,2478	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{c600out}}$	0,2494	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{c600in}}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{SO_2c600out}$	0,0326	kg/s
$\dot{m}_{SO_3c600out}$	0,0407	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c600in}}$	9,292	kg/s

$\dot{m}_{vzd_{c600out}}$	9,2595	kg/s
\dot{Q}_{c600in}	$4,83 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{c600out}$	$4,99 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{reac_{c600}}$	$3,73 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{reac_{c600inout}}$	$1,63 \cdot 10^5$	W
T_{c600in}	414	°C
$T_{c600out}$	430	°C

Tabulka 5 bilance C600

Z výpočtu je patrné, že tepelný výkon reaktoru vypočtený je téměř dvakrát větší než skutečný. Je to zřejmě způsobeno špatnými měřidly, či špatné izolaci kolony. Je možné, že reaktor je na konci své životnosti, díky tomu je snížena účinnost.

5.5.5 Bilance solného výměníku W630



Obrázek 15 Bilanční schéma solného výměníku W630

Pro hmotností toky platí:

$$\dot{m}_{vzd_{w630in}} = \dot{m}_{vzd_{c600out}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w630out}} = \dot{m}_{vzd_{w630in}}$$

$$T_{w630in} = T_{c600out}$$

$$\dot{m}_{H2O_{w630in}} = \dot{m}_{H2O_{c600out}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{w630out}} = \dot{m}_{H2O_{w630in}}$$

$$\dot{m}_{SO3_{w630in}} = \dot{m}_{SO3_{c600out}}$$

$$\dot{m}_{SO3_{w630out}} = \dot{m}_{SO3_{w630in}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{w630in}} = \dot{m}_{CO2_{c600out}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{w630out}} = \dot{m}_{CO2_{w630in}}$$

Tepelné výkony:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w630in} = & \dot{m}_{SO3_{w630in}} \cdot c_{SO3} \cdot T_{w630in} + \dot{m}_{vzd_{w630in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w630in} + \dot{m}_{CO2_{w630in}} \cdot c_{CO2} \cdot T_{w630in} \\ & + \dot{m}_{H2O_{w630in}} \cdot h_{H2O_{w630in}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w630out} = & \dot{m}_{SO3_{w630out}} \cdot c_{SO3} \cdot T_{w630out} + \dot{m}_{vzd_{w630out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w630out} + \dot{m}_{CO2_{w630out}} \cdot c_{CO2} \\ & \cdot T_{w630out} + \dot{m}_{H2O_{w630out}} \cdot h_{H2O_{w630out}} \end{aligned}$$

Tepelný výkon předaný ze strany solného okruhu:

$$\Delta \dot{Q}_{sul_{w630}} = \left| \dot{m}_{sul} \cdot c_{sul} \cdot (T_{sul_{w630in}} - T_{sul_{w630out}}) \right|$$

Tepelný výkon ze strany větracího vzduchu:

$$\Delta \dot{Q}_{w630inout} = \dot{Q}_{w630in} - \dot{Q}_{w630out}$$

Tyto výkony by měly odpovídat:

$$\Delta \dot{Q}_{sul_{w630}} \approx \Delta \dot{Q}_{w630inout}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta \dot{Q}_{sul_{w630}}$	1 710 000	W
$\Delta \dot{Q}_{w630inout}$	$1,73 \cdot 10^6$	W
$h_{H2O_{w630in}}$	3 330 000	J/kg/K
$h_{H2O_{w630out}}$	3 000 000	J/kg/K
$\dot{m}_{CO2_{w630in}}$	0,0786	kg/s

$\dot{m}_{CO2_{w630_{out}}}$	0,0786	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{w630_{in}}}$	0,2494	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{w630_{out}}}$	0,2494	kg/s
$\dot{m}_{SO3_{w630_{in}}}$	0,0407	kg/s
$\dot{m}_{SO3_{w630_{out}}}$	0,0407	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w630_{in}}}$	9,2595	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w630_{out}}}$	9,2595	kg/s
$\dot{Q}_{w630_{in}}$	$4,99 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{w630_{out}}$	$3,26 \cdot 10^6$	W
$T_{sul_{w630_{in}}}$	219	°C
$T_{sul_{w630_{out}}}$	314	°C
$T_{w630_{in}}$	430	°C
$T_{w630_{out}}$	260	°C

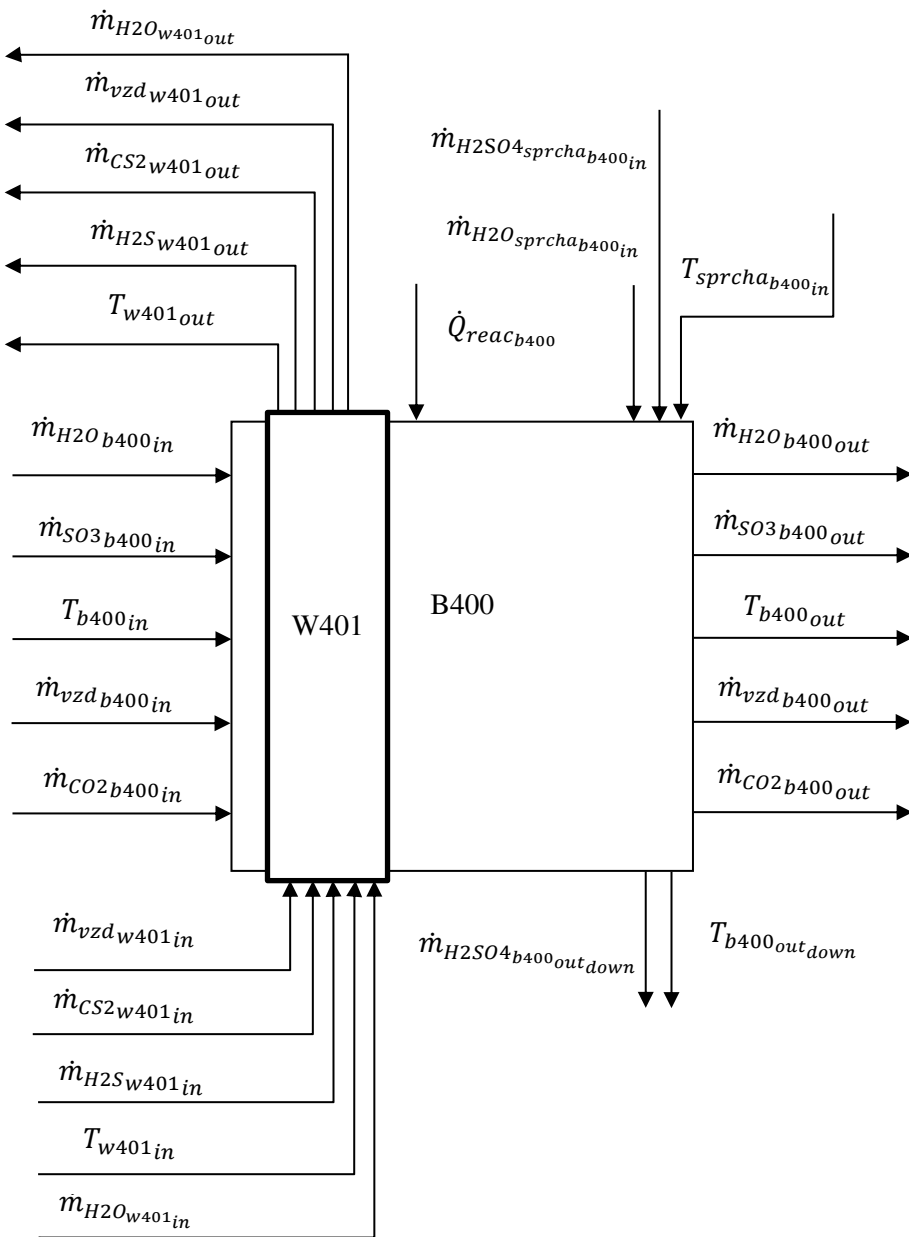
Tabulka 6 bilance W630

Z výpočtu je opět patrné, že tepelné výkony odpovídají. Výměník W630 sdílí až 1,7 MW. Okruh soli se skládá ze 3 výměníků. Pouze tento výměník slouží jako zdroj tepla pro solný okruh. Zde je vidět, že rozdíl výkonů mezi výměníkem W630 a W510 je značný. Jedná se téměř o 700 kW.

5.5.6 Bilance kolony B400 a výměníku W401

Bilance této části zařízení byla nejsložitější. Výměník W401 leží v koloně B400 a skrz něj se sdílí teplo z již zpracovaného teplého vzduchu do vstupujícího vzduchu. Dále se v prostoru kolony B400 vytváří kyselina sírová tím, že se sprchuje oxid sírový zředěnou kyselinou sírovou. Vytváření kyseliny sírové se produkuje reakční teplo. Kolona B400 má dva vstupy a dva výstupy.

Problémem je zde určení hmotnostních toků vody a kyseliny vstupujících do sprchy tedy $\dot{m}_{H2SO4_{sprcha_{b400_{in}}}}$ a $\dot{m}_{H2O_{sprcha_{b400_{in}}}}$. Hmotnostní toky vody a kyseliny, které opouští kolonu B400 se přes elektrofiltr zpět nastříkují do již zmíněné sprchy. Pokud tyto toky jsou nedostačující, tak se k nim přidává další voda a hmotnostní toky se mění. U tohoto problému jsem musel vytvořit koeficient, který definuje, jaký objemový podíl vody a kyseliny je v proudu z elektrofiltru. Koeficient je označen $\alpha V_{H2OH2SO4}$ a dle měření by měl mít přibližnou hodnotu 50 %. Do tohoto proudu se dále přidává hmotnostní tok vody $\dot{m}_{H2O_{sprcha_{b400_{in2}}}}$.



Obrázek 16 Bilanční schéma kyselinové kolony B400 a výměníku W401

Pro bilanci mohou psát:

$$h_{H_2O_{b400in}} = h_{H_2O_{w630out}}$$

$$h_{H_2O_{w401out}} = h_{H_2O_{w510in}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in}}} = \frac{100 - o_{V_{H_2O}H_2SO_4}}{100} \cdot r_{O_{H_2O}} \cdot \dot{V}_{H_2O}H_2SO_4_{sprcha_{b400in}} + \dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in2}}}$$

$$\dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b400}_{in}}} = \frac{\rho V_{H_2OH_2SO_4}}{100} \cdot r_{O_{H_2SO_4}} \cdot \dot{V}_{H_2OH_2SO_4_{sprcha_{b400}_{in}}}$$

$$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400_{outup}}} = \dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b400}_{in}}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w401}_{in}} = \dot{m}_{vzd}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w401}_{out}} = \dot{m}_{vzd_{w401}_{in}}$$

$$\dot{m}_{CS_2_{w401}_{in}} = \dot{m}_{CS_2}$$

$$\dot{m}_{CS_2_{w401}_{out}} = \dot{m}_{CS_2_{w401}_{in}}$$

$$\dot{m}_{H_2S_{w401}_{in}} = \dot{m}_{H_2S}$$

$$\dot{m}_{H_2S_{w401}_{out}} = \dot{m}_{H_2S_{w401}_{in}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{w401}_{in}} = \dot{m}_{H_2O}$$

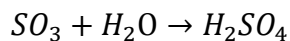
$$\dot{m}_{H_2O_{w401}_{out}} = \dot{m}_{H_2O_{w401}_{in}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{b400}_{in}} = \dot{m}_{vzd_{w630}_{out}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{b400}_{out}} = \dot{m}_{vzd_{b400}_{in}}$$

$$\dot{m}_{SO_3_{b400}_{in}} = \dot{m}_{SO_3_{w630}_{out}}$$

Hmotnostní toky dle chemické reakce:



$$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400_{reac}}} = \dot{m}_{SO_3_{b400_{in}}} \cdot \frac{M_{H_2SO_4}}{M_{SO_3}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{b400_{reac}}} = \dot{m}_{SO_3_{b400_{in}}} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{SO_3}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{g_{b400}_{in}}} = \dot{m}_{H_2O_{w630}_{out}}$$

$$\dot{m}_{CO_2_{b400}_{in}} = \dot{m}_{CO_2_{c600}_{out}}$$

$$\dot{m}_{CO_2_{b400}_{out}} = \dot{m}_{CO_2_{b400}_{in}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{b400outup}} = \dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in}}} + \dot{m}_{H_2O_{g_{b400in}}} - \dot{m}_{H_2SO_4_{b400reac}}$$

Tepelný výkon odpovídající vstupující vzdušině do výměníku W401:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{W401in} = & \dot{m}_{vzd_{w401in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{W401in} + \dot{m}_{CS_2_{w401in}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{W401in} + \dot{m}_{H_2S_{w401in}} \cdot c_{H_2S} \cdot T_{W401in} \\ & + \dot{m}_{H_2O_{w401in}} \cdot h_{H_2O_{w401in}} \end{aligned}$$

Tepelný výkon vzdušiny opouštějící výměník W401:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{W401out} = & \dot{m}_{vzd_{w401out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{W401out} + \dot{m}_{CS_2_{w401out}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{W401out} + \dot{m}_{H_2S_{w401out}} \cdot c_{H_2S} \\ & \cdot T_{W401out} + \dot{m}_{H_2O_{w401out}} \cdot h_{H_2O_{w401out}} \end{aligned}$$

Rozdíl těchto výkonů je tedy:

$$\Delta \dot{Q}_{W401outin} = |\dot{Q}_{W401in} - \dot{Q}_{W401out}|$$

Tepelný výkon přicházející do kyselinové kolony B400:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{b400in_{down}} = & \dot{m}_{vzd_{b400in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{b400in} + \dot{m}_{SO_3_{b400in}} \cdot c_{SO_3} \cdot T_{b400in} + \dot{m}_{CO_2_{b400in}} \cdot c_{CO_2} \\ & \cdot T_{b400in} + \dot{m}_{H_2O_{g_{b400in}}} \cdot h_{H_2O_{b400in}} \end{aligned}$$

Tepelný výkon obsažený v kapalině vstupující do sprchy:

$$\dot{Q}_{sprcha_{in}} = \dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in}}} \cdot c_{H_2O} \cdot T_{sprcha_{b400in}} + \dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b400in}}} \cdot c_{H_2SO_4} \cdot T_{sprcha_{b400in}}$$

Tepelný výkon odpovídající všem vstupům do kyselinové kolony B400:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{b400in} = & \dot{Q}_{b400in_{down}} + \dot{Q}_{sprcha_{in}} \\ = & \dot{m}_{vzd_{b400in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{b400in} + \dot{m}_{SO_3_{b400in}} \cdot c_{SO_3} \cdot T_{b400in} + \dot{m}_{CO_2_{b400in}} \cdot c_{CO_2} \\ & \cdot T_{b400in} + \dot{m}_{H_2O_{g_{b400in}}} \cdot h_{H_2O_{b400in}} + \dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in}}} \cdot c_{H_2O} \cdot T_{sprcha_{b400in}} \\ & + \dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b400in}}} \cdot c_{H_2SO_4} \cdot T_{sprcha_{b400in}} \end{aligned}$$

Vyčištěný větrací vzduch vystupující z kyselinové kolony obsahuje tepelný výkon:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{b400outup} = & \dot{m}_{vzd_{b400out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{b400outup} + \dot{m}_{CO_2_{b400out}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{b400outup} + \dot{m}_{H_2SO_4_{b400outup}} \\ & \cdot c_{H_2SO_4} \cdot T_{b400outup} + \dot{m}_{H_2O_{b400outup}} \cdot c_{H_2O} \cdot T_{b400outup} \end{aligned}$$

Tepelný výkon odcházející v kyselině sírové:

$$\dot{Q}_{b400outdown} = \dot{m}_{H_2SO_4b400reac} \cdot c_{H_2SO_4} \cdot T_{b400outdown}$$

Reakcí oxidu sírového s vodou se vytvoří tepelný výkon odpovídající

$$\dot{Q}_{reac_{b400}} = \frac{\dot{m}_{SO_3b400in}}{M_{SO_3}} \cdot \Delta H_{SO_3}$$

Voda v kyselinové koloně prochází změnou fáze:

$$\dot{Q}_{H_2Oto_{gas}_{b400}} = \dot{m}_{H_2O_{b400outup}} \cdot h_{H_2O_{b400in}}$$

Součet všech výkonů by se měl rovnat nule, pokud nebude, ztráty označím jako $\Delta Q_{b400w401}$

$$-\dot{Q}_{b400outup} + \dot{Q}_{b400in} - \Delta \dot{Q}_{w401outin} + \dot{Q}_{reac_{b400}} - \dot{Q}_{b400outdown} - \dot{Q}_{H_2Oto_{gas}_{b400}} \approx 0$$

$$\approx \Delta Q_{b400w401}$$

Objemové toky pro lepší přehlednost a porovnání s reálnými hodnotami:

$$\dot{V}_{H_2SO_4B400out} = \frac{\dot{m}_{H_2SO_4b400reac} \cdot 3600}{r_{O_{H_2SO_4}}} \cdot 1000$$

$$\dot{V}_{H_2O_{B400reac}} = \frac{\dot{m}_{H_2O_{b400reac}} \cdot 3600}{r_{O_{H_2O}}} \cdot 1000$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta Q_{b400w401}$	$9,41 \cdot 10^3$	W
$h_{H_2O_{b400in}}$	3 000 000	J/kg/K
$\dot{m}_{CO_2_{b400in}}$	0,0786	kg/s
$\dot{m}_{CO_2_{b400out}}$	0,0786	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{b400outup}}$	0,2504	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{b400reac}}$	0,0092	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in}}}$	0,0101	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b400in2}}}$	0,0014	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{g_{b400in}}}$	0,2494	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400outdown}}$	0,0499	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400outup}}$	0,0161	kg/s

$\dot{m}_{H_2SO_4_{b400}reac}$	0,0499	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b400}in}}$	0,0161	kg/s
$\dot{m}_{SO_3_{b400}in}$	0,0407	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b400}in}$	9,2595	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b400}out}$	9,2595	kg/s
\dot{Q}_{b400in}	$3,27 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{b400in_{down}}$	$3,26 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{b400out_{down}}$	$1,22 \cdot 10^4$	W
$\dot{Q}_{b400out_{up}}$	$7,61 \cdot 10^5$	W
$\dot{Q}_{H_2O_{toga_{s_{b400}}}}$	$7,51 \cdot 10^5$	W
$\dot{Q}_{reac_{b400}}$	$6,73 \cdot 10^4$	W
T_{b400in}	260	°C
$T_{b400out_{down}}$	240	°C
$T_{b400out_{up}}$	71	°C
$T_{sprcha_{b400}in}$	40	°C
$\dot{V}_{H_2O_{B400}in}$	897,9144	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{B400}out_{up}}$	901,4298	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{B400}reac}$	32,9845	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{sprcha_{b400}in_2}}$	5	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{H_2SO_4_{sprcha_{b400}in}}}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2SO_4_{B400}out}$	97,594	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2SO_4_{SX1}out}$	95	dm ³ /h
$\Delta \dot{Q}_{w401outin}$	$1,80 \cdot 10^6$	W
$h_{H_2O_{w401}in}$	2 564 370	
$h_{H_2O_{w401}out}$	2 915 000	
$\dot{m}_{CS_2_{w401}in}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{CS_2_{w401}out}$	0,0175	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w401}in}$	0,1917	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w401}out}$	0,1917	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w401}in}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w401}out}$	0,0017	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w401}in}$	9,3917	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w401}out}$	9,3917	kg/s
\dot{Q}_{w401in}	$8,42 \cdot 10^5$	W
$\dot{Q}_{w401out}$	$2,64 \cdot 10^6$	W

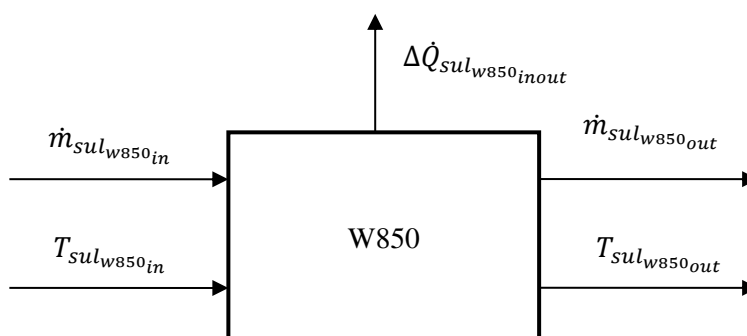
$T_{W401_{in}}$	36	°C
$T_{W401_{out}}$	214	°C

Tabulka 7 Bilance kyselinové kolony B400 a W401

Z výsledků bilance kyselinové kolony začnu nejdříve u hmotnostních toků, kde se z oxidu sírového vytváří kyselina sírová, která by podle výpočtu měla být 97,59 litrů za hodinu. Dle řídicího systému je to 95 litrů za hodinu, což souhlasí. Pokud srovnám tepelné výkony, tak sklotrubkový výměník přeneše necelých 1,8 megawatty. Při bilanci všech tepelných výkonů vyšlo, že je třeba do systému přivést ještě 40 kW. Je zřejmé, že výpočet i dané hodnoty jsou nepřesné, protože tuto kolonu ovlivňuje mnoho aspektů a samozřejmě i tepelná a hmotová setrvačnost.

5.5.7 Bilance chlazení soli W850

Chlazení soli slouží k odvedení tepla ze solného okruhu. Z výpočtů výše uvedených je jasné, že výkon odváděný chlazením bude značný. Chlazení se provádí ventilátorem, který žene vzduch přes výměník. Bilance je jednoduchá, pouze se předává teplo z jedné látky do druhé.



Pro bilanci mohu psát:

$$\Delta\dot{Q}_{sul_{w850_{inout}}} = \dot{Q}_{sul_{w850_{in}}} - \dot{Q}_{sul_{w850_{out}}}$$

$$\dot{Q}_{sul_{w850_{in}}} = \dot{m}_{sul} \cdot c_{sul} \cdot T_{sul_{w850_{in}}}$$

$$\dot{Q}_{sul_{w850_{out}}} = \dot{m}_{sul} \cdot c_{sul} \cdot T_{sul_{w850_{out}}}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$T_{sul_{w850_{in}}}$	265	°C
$T_{sul_{w850_{out}}}$	221	°C
$\dot{Q}_{sul_{w850_{in}}}$	4 770 000	W
$\dot{Q}_{sul_{w850_{out}}}$	3 978 000	W
$\Delta\dot{Q}_{sul_{w850_{inout}}}$	7 92 000	W
\dot{m}_{sul}	12	kg/s

Tabulka 8 Bilance chlazení soli W850

Z výsledků je patrné, že do vzduchu se sdílí téměř 0,8 MW tepelného výkonu. Z největší pravděpodobnosti je problém v solném okruhu, což způsobuje vysokou spotřebu zemního plynu. Je zajímavé, že v řídicím systému není upozornění na tento problém.

5.6 Závěry a zhodnocení současného zařízení

Na závěr kapitoly shrnu všechny poznatky a zjištění ve výpočtu bilance.

Ve výpočtech bilance zařízení Sulfox 1 jsem se velmi dobře seznámil se všemi toky, teplotami a tepelnými výkony v běžném provozu. Zmapoval jsem celé zařízení, tedy cestu škodlivin se všemi příslušnými chemickými reakcemi. Součástí bilance byl i solný okruh.

Dle mého názoru byl Sulfox 1 dobře koncipován a navržen. Největší problém tohoto zařízení je špatný výměník W510, který nedokáže předat teplo ze soli do vzdušiny. Stáří celého zařízení bylo ovlivněno potřebnou rekonstrukcí. Bohužel se při rekonstrukci zřejmě nedbalo na výpočet výměníku a došlo k jeho poddimenzování. Výměník je vystaven kyselému agresivnímu prostředí a provozováním ztrácí výkon. Zejména to je zanášením a zmenšením teplosměnné plochy. Výměník W510 by měl předat stejný výkon jako výměník W630, bohužel předá pouze 55% tepelného výkonu. Nevysdílené teplo musí dohnat do vzdušiny plynový hořák a odebrat ze soli ventilátor a výměník W850, kde se přebytečné teplo znehodnocuje. Při velké spotřebě se do větracího vzduchu dostává velké množství vody (vodní páry) a oxidu uhličitého, které zvyšují objemové množství a hmotu.

Dalším velkým problémem je regulace, která je závislá pouze na teplotách. Řídicí systém nemá informaci, kolik přibližně oxidu sírového vychází z reaktoru. Na toto množství je třeba dostatek vody, která vstupuje do sprch. Nátok vody je regulován pouze teplotou na výstupu z kyselinové kolony B400.

Vstupní koncentrace je také velmi závislá na oxidačním teplu vytvořeném v reaktorech. Ve výpočtu mi vyšla velmi nízká účinnost reakce. Domnívám se, že je to způsobeno nízkou vstupní koncentrací, špatnými měřidly nebo velkým únikem tepla z kolony reaktoru. Pracuji na projektech zkoncentrování proudů pro Sulfox 1.

Pokud by se zvýšila koncentrace škodlivin na dvojnásobek a vyměnil by se výměník W510, Sulfox 1 by mohl fungovat bez potřeby spalování zemního plynu. Dále bych navrhl implementovat do řídicího systému výpočet potřebného přebytku vody pro výrobu kyseliny sírové, protože se domnívám, že při vyšších koncentracích je pravděpodobné, že část oxidu sírového uniká na komín.

Výměník W401 pracuje na obou stranách pouze se vzdušinami. Přenáší neuvěřitelných 1,8MW. Po prozkoumání technických dokumentací jsem zjistil, že výměník je obrovský.



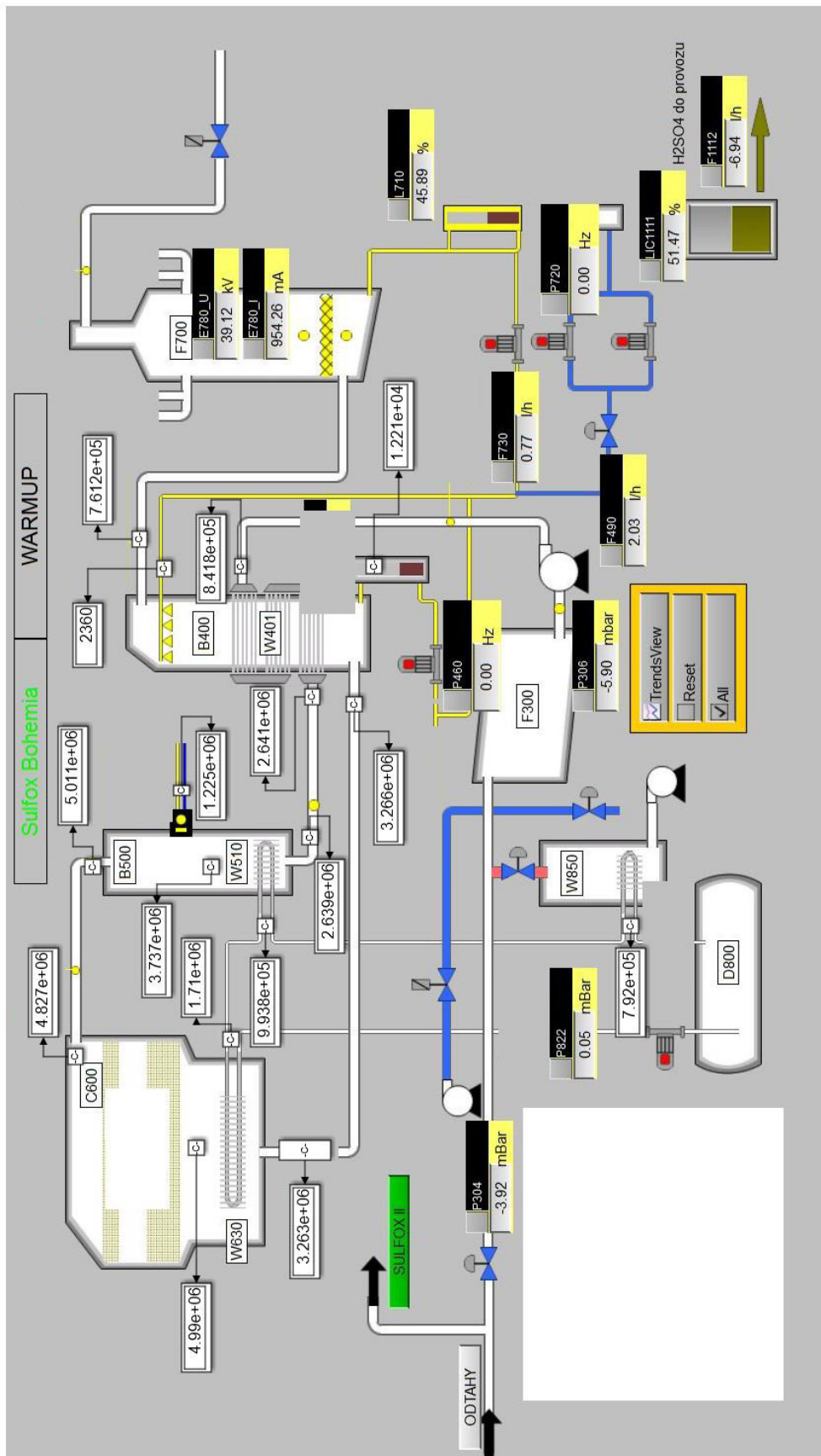
Obrázek 17 Sklotrubkový výměník W401 (1)



Obrázek 18 Sklotrubkový výměník W401 (2)

Na závěr celé bilanci jsem vytvořil do graficky znázorněného Sulfoxu 1 tepelné výkony v bodech, kde byly počítány.

Myslím si, že tato vyčerpávající kapitola dodala tolik potřebných informací, že mohu začít s návrhem nového zařízení.



Obrázek 19 Sulfox 1 bilance (výkony)

6 Nové zařízení

6.1 Požadavky navrhovaného zařízení

Nové zařízení by mělo splňovat určité požadavky potřebné pro provoz i jiných zařízení v celé továrně. Mělo by mít lepší využití tepla a zemní plyn by se mohl využít na mechanickou energii popř. elektrickou energii. Celý systém by měl pracovat jako kapacitní zařízení, které by při zvyšování výroby mělo pokrýt přebytečné množství větracího vzduchu.

6.1.1 Výroba elektrické energie

Hlavní myšlenkou tohoto projektu je výroba elektrické energie. Při prvních návrzích, kde nevystupovalo zpracování škodlivin, byla kogenerační jednotka, která využívala jako palivo zemní plyn. Od této myšlenky se upustilo z důvodu návratnosti a realizovatelnosti. Dalšími cestami je redukce páry pomocí turbíny, která je špatně realizovatelná, jelikož difference tlaků páry není dostačující.

Nové zařízení by mělo být koncipované alespoň na 2 MW elektrického výkonu, aby pokrylo část spotřeby továrny.

6.1.2 Zvýšení kapacity zpracování škodlivin

Kapacita v současné době již nestačí a při výpadku jednoho ze zařízení sirné toky, které by měly být zpracovány v zařízení, putují do komína. To má špatný vliv na životní prostředí. Odhadnout kapacitu nového zařízení není jednoduché, ale po dvouletém seznamování se s problematikou bych kapacitu navrhl mezi 15 000 až 20 000 krychlovými metry zpracovaného větracího vzduchu. Výroba vlákna se neustále zvyšuje a je dobré nové zařízení koncipovat na vyšší kapacitu.

6.1.3 Výroba kyseliny sírové

Tento požadavek je primární, jelikož cesta síry ve výrobě je velmi důležitá, aby se cyklus dodržel a síra, která vstupuje do systému továrny, pokud možno vystupovala pouze ve vlákně a v malém měřítku komínem.

6.1.4 Výroba vodní páry

Některé technologie, zejména v budově spřádací lázně, spotřebovávají velké množství tzv. "technologické páry". Jedná se o 130 °C páru na mezi sytosti. Spotřeba této páry je značná. Pára se používá na vakuové dvanáctistupňové odparky a vakuové krystalizátory. Nové zařízení by tedy mělo vyrábět páru o těchto vlastnostech. Hmotnostní tok by měl být co největší.

6.1.5 Ekonomická výhodnost

Z kapitoly ekonomické vlastnosti jsem se dozvěděl, že obě zařízení jsou ztrátová a to jsem v kalkulaci nepočítal údržbu, která je u těchto zařízení značná. Nové zařízení by tedy nemělo být ztrátové. Požadavek je takový, aby nové zařízení bylo výdělečné.

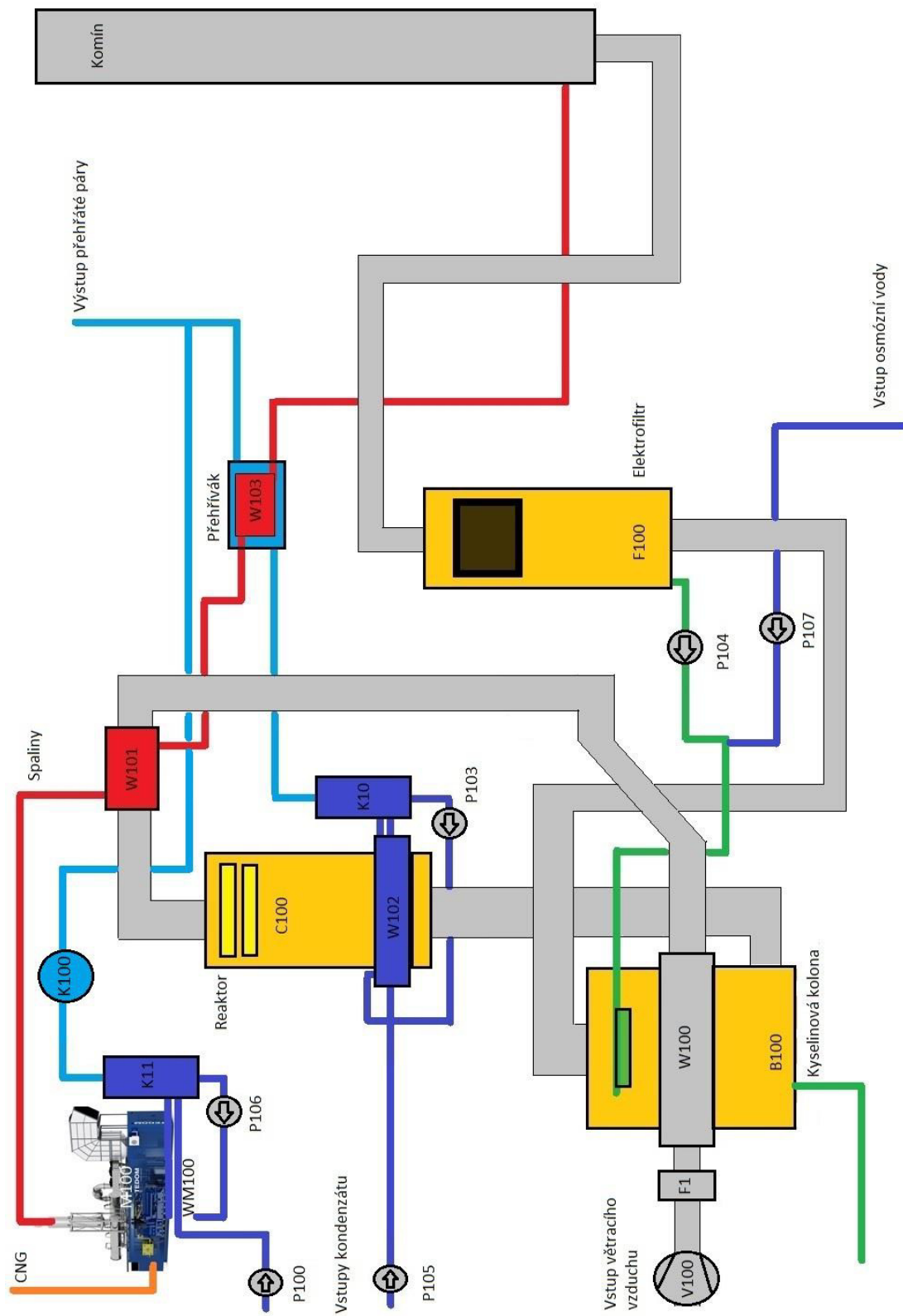
6.1.6 Ekologičnost

Celková ekologie tohoto zařízení by měla být velmi dobrá. Co se týče likvidace sirných sloučenin, je zde pozitivum nižších koncentrací na komíně. Dále je zde energetická náročnost zařízení, která by měla spotřebovávat pouze zemní plyn, který by měl být velmi dobře využit s dobrou účinností. Spotřeba elektrické energie, zejména pro ventilátor a čerpadla, bude zanedbatelná proti výrobě elektrické energie.

6.2 Návrh nového zařízení

Nové zařízení bude velmi sofistikované a složité, snahou budou využít co nejvíce tepla. Nové zařízení se bude skládat z mnoho jiných zařízení. Zbytkové teplo se budu snažit přesouvat do vody popř. vodní páry. Pro tuto práci jsem vytvořil 8 různých schémat a hledal jsem optimální řešení, kde jsem musel zohlednit mnoho faktorů. V diplomové práci uvedu pouze jedno optimální řešení, které zde podrobně vysvětlím a vypočítám.

6.2.1 Schéma nového zařízení



Obrázek 20 Schéma nového zařízení

6.2.2 Popis nového zařízení

Nové zařízení je velmi odlišné od stávajícího stavu. Pístový spalovací motor M100, který spaluje zemní plyn, vytváří mechanický výkon. Elektrický generátor transformuje tento mechanický výkon k výrobě elektrické energie. Zbytkové teplo, které se nevyužije k transformaci na mechanickou energii se využije následovně. Čerpadlo P100 dopravuje kondenzát do motoru M100 tedy do pomyslného výměníku WM100, kde se kondenzát ohřeje. Dále pokračuje do výparníku K11. Čerpadlo P106 cirkuluje kondenzát přes výměník WM100, kde se do kondenzátu dostává teplo a následně ve výparníku dochází k vypařování a vzniká sytá vodní pára. Tuto páru nasává parní kompresor a tlačí ji na požadovaný tlak. Vodní pára se při kompresi dostane do přehřáté oblasti.

Dalším zdrojem zbytkového tepla jsou spaliny o vysoké teplotě ve výfuku, které pokračují do výměníku W101, kde ohřívají větrací vzduch na příslušnou katalytickou teplotu.

Znečištěný větrací vzduch vstupuje do zařízení přes ventilátor V100 a kapsový filtr F1. Dále pokračuje do sklotrubkového výměníku W100, kde se ohřeje od zpracovaného větracího vzduchu. Dále pokračuje do již zmíněného výměníku W101, kde se ohřeje. Následuje reaktorová kolona, kde v katalytickém reaktoru dojde k oxidační reakci a vznikne oxid sírový. Při této reakci vzniká teplo. Zpracovaná vzdušina pokračuje do výměníku W102, kde se sdílí teplo do kondenzátu.

Čerpadlo P105 dopravuje kondenzát do výměníku W102 a dále do výparníku K10. Odtud čerpadlo P103 cirkuluje kondenzát přes výměník W102 a dochází jako v předchozím případě k výrobě vodní páry.

Hmotnostní tok vodní páry z výparníků K10 má špatné vlastnosti v důsledku syté páry, která je nevhodná pro následnou dopravu. Proto musí projít přehřívákem W103, který vodní páru dostane do přehřáté oblasti pomocí zbytkového tepla ve spalinách.

Hmotnostní toky přehřáté páry z přehříváku a kompresoru K100 mají stejné fyzikální vlastnosti, tedy tlak a teplota. V důsledku toho se bez problémů mohou spojit do jednoho hmotnostního toku. Zpracovaný ochlazený větrací vzduch, který vystupuje z výměníku W102, pokračuje do kyselinové kolony B100. Zde je princip stejný jako v zařízení Sulfox. Čerpadlo P104 dopravuje zředěnou kyselinu sírovou do sprchy, která je umístěna v kyselinové koloně B100. Do tohoto toku se ještě připojuje tok osmózní vody pomocí čerpadla P107. V kyselinové koloně je umístěn sklotrubkový výměník W100, kde dochází ke sdílení tepla do vstupujícího větracího vzduchu. Nástřikem zředěné kyseliny sírové do zpracované vzdušiny obsahující oxid sírový vzniká za chemické reakce hydratace kyselina sírová. Tato reakce je exotermní v důsledku toho se do systému přidává teplo.

Vzniklá kyselina sírová dopadá na dno kolony B100 a odtud se odčerpává. Předpokladem je, že opouštějící větrací vzduch z kolony B100 obsahuje (jako v případě Sulfox) aerosol kyseliny sírové a vody. Tyto sloučeniny se dále separují v elektrofiltru F100 odkud se odčerpají již zmíněným čerpadlem P104.

Čistý zpracovaný větrací vzduch pokračuje do komína. Spaliny pokračují do výměníku na ohřev užitkové vody popřípadě kondenzátu.

Nové zařízení je pouze regulováno výkonem spalovacího motoru a nátoky kondenzátu. Výhodou je, že nové zařízení neobsahuje problematický solný okruh.

6.2.3 Volba pístového spalovacího motoru

Po odborné konzultaci s vedoucím diplomové práce jsem dostal kontakt na největšího prodejce stacionárních motorů v Čechách firmu TEDOM. Po dohodnuté schůzce v sídle firmy v Hořovicích jsem se setkal s technickým ředitelem panem Jiřím Štochem. Po porozumění problematice jsme vybrali vhodný motor s generátorem. Byl vybrán motor s označením TCG2032V12. Jedná se o přeplňovaný dvanáctiválcový vidlicový motor s relativně vysokou účinností. Problémem byla nízká teplota výfukových spalin, která odpovídala pouze 450 °C. V prvních výpočtech jsem měl teplotu okolo 600 °C. Dále byl problém s chladicí vodou, která musí mít maximálně 100 °C v důsledku dilatace velmi přesně vyrobených součástí. Pan ředitel mi sdělil, že se vyrábí motor od firmy CAT, který má na výstupu až 135 °C, díky vysoké teplotě je snižena celková účinnost motoru a cena je poněkud vyšší.

Životnost motoru je velmi vysoká. Generální oprava, přichází až po 80 000 až 100 000 provozních hodinách. V průběhu provozování je třeba brát v potaz běžnou údržbu a výměny některých komponentů, např. turbodmychadla, které má asi pětinou životnost.

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Mechanický výkon	$P_{m100mech}$	3 387 000	W
Otáčky motoru	n_{m100}	1 000	ot/min
Počet válců	i_{m100}	12	-
Vrtání	D_{m100}	260	mm
Zdvih	h_{m100}	320	mm
Zdvihový objem	$V_{m100zdvih}$	204	dm ³
Kompresní poměr	ϵ_{m100}	12	-
Spotřeba zemního plynu	$\dot{V}_{CNG_{m100}}$	624	m ³ /h

Bohatost směsi	λ_{m100}	1,72	-
Celková účinnost motoru	η_{m100c}	0,44	-
Výkon odvedený chlazením	$\dot{Q}_{m100chlazout}$	1 120 000	W
Výkon odvedený olejem	$\dot{Q}_{m100olejout}$	381 000	W
Výkon odvedený mezichladičem	$\dot{Q}_{m100ICout}$	297 000	W
Výkon odvedený radiací	$\dot{Q}_{m100IRout}$	171 000	W
Teplota výfukových spalin	$T_{m100out}$	450	°C

Tabulka 9 Atributy motoru

6.2.4 Volba elektrického generátoru

Dle výrobce celého soustrojí patří k vybranému motoru generátor s označením Marelli MJH 800 MB6. Jmenovitý výkon odpovídá 3 333 kW o napětí 10 500 V. Generátor má velmi vysokou účinnost, dle výrobce až 98 %. Je to zřejmě vysokým napětím. Pokud bych vybral motor o výkonu dvakrát menším, bylo by možné zvolit generátor na 6 300 V popřípadě 400 V.

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Elektrický výkon	$P_{g100ele}$	3 333 000	W
Otáčky generátoru	n_{m100}	1 000	ot/min
Účinnost generátoru	$\eta_{g100ele}$	0,98	-
Frekvence sítě	f_{g100}	50	Hz

Tabulka 10 Atributy generátoru

6.3 Výpočet energetické bilance nového zařízení

V této kapitole seznámím čtenáře s výpočtem celého zařízení. Některé výpočty jsou standardní a podobné jako v bilanci zařízení Sulfox, ovšem některé jsou složitější a do výpočtu jsem musel zahrnout numerickou matematiku s naprogramovaným kódem. Budu se snažit vysvětlit, jak daný algoritmus výpočtu pracuje pomocí algoritmů.

6.3.1 Okrajové podmínky

Problémem tohoto zařízení je volba objemového toku větracího vzduchu vstupujícího do zařízení. Tato hodnota musí korespondovat s nominálním výkonem spalovacího motoru, tedy s tepelným výkonem obsaženým ve výfukových plynech. V prvních variantách jsem volil objemový

tok 15 000 metrů krychlových větracího vzduchu za hodinu. V důsledku vysoké teploty na výstupu z výměníku W102 jsem postupně volil větší objemový tok, který se ustálil na hodnotě 17 500 metrů krychlových za hodinu. Tímto chci říci, že některé hodnoty zvolit "optimálně" je problematické v tak složitém zařízení. Ve výpočtu jsem se musel několikrát vrátit na počátek a upravovat hodnoty.

Okrajové podmínky ve formě teplot volím podobně jako v zařízení Sulfox, jelikož z reálného provozu vím, že s těmito hodnotami je zařízení funkční.

Zkratka	Název	Jednotka	Hodnota
k_{CS2}	Vstupní koncentrace sirouhlíku CS ₂	mg/m ³	2 100
k_{H2S}	Vstupní koncentrace sirovodíku H ₂ S	mg/m ³	200
\dot{V}_{skod}	Objemový tok škodlivin se vzduchem	m ³ /h	17 500
$\dot{V}_{CNG_{m100in}}$	Objemový tok zemního plynu do motoru M100	m ³ /h	624
$T_{wm100in}$	Teplota kondenzátu vstupující do výměníku WM100	°C	85
$T_{b100outdown}$	Teplota kyseliny sírové vystupující z kyselinové kolony B100	°C	230
$T_{b100outup}$	Maximální dovolená teplota vzdušiny na výstupu z kyselinové kolony B100 horem	°C	70
$T_{H2Ochl_{w102in}}$	Teplota kondenzátu vstupující do výměníku W102	°C	85
$T_{H2Ochl_{w102outpoz}}$	Požadovaná teplota vodní páry na výstupu z výparníku K11,K12	°C	140
$T_{H2Ochl_{w103out}}$	Požadovaná teplota vodní páry na výstupu z přehříváku W103	°C	200
$T_{sprcha_{b100in}}$	Teplota zředěné kyseliny sírové vstupující do sprchy v kyselinové koloně B100	°C	50
T_{w100in}	Teplota větracího vzduchu vstupující do výměníku W100	°C	30
$T_{w100out}$	Teplota větracího vzduchu vystupující z výměníku W100	°C	220
$T_{w101out}$	Teplota větracího vzduchu vystupující z výměníku W101	°C	410
$T_{w102out}$	Teplota zpracovaného větracího vzduchu vystupující z výměníku W102	°C	250
φ_{vzduch}	Vlhkost větracího vzduchu	-	0,9

Tabulka 11 Okrajové podmínky

Pro bilanci je potřeba připravit základní hmotnostní toky, popřípadě objemové toky za vteřinu.

$$\dot{m}_{CS2} = k_{CS2} \cdot \frac{\dot{V}_{skod}}{3600 \cdot 1000000}$$

$$\dot{m}_{H_2S} = k_{H_2S} \cdot \frac{\dot{V}_{skod}}{1000000}$$

$$\dot{V}_{vzd} = \dot{V}_{skod} - \frac{\dot{m}_{H_2S}}{\rho_{H_2S}} - \frac{\dot{m}_{CS_2}}{\rho_{CS_2}}$$

$$\dot{m}_{vzd} = \frac{\dot{V}_{vzd}}{3600} \cdot \rho_{vzd}$$

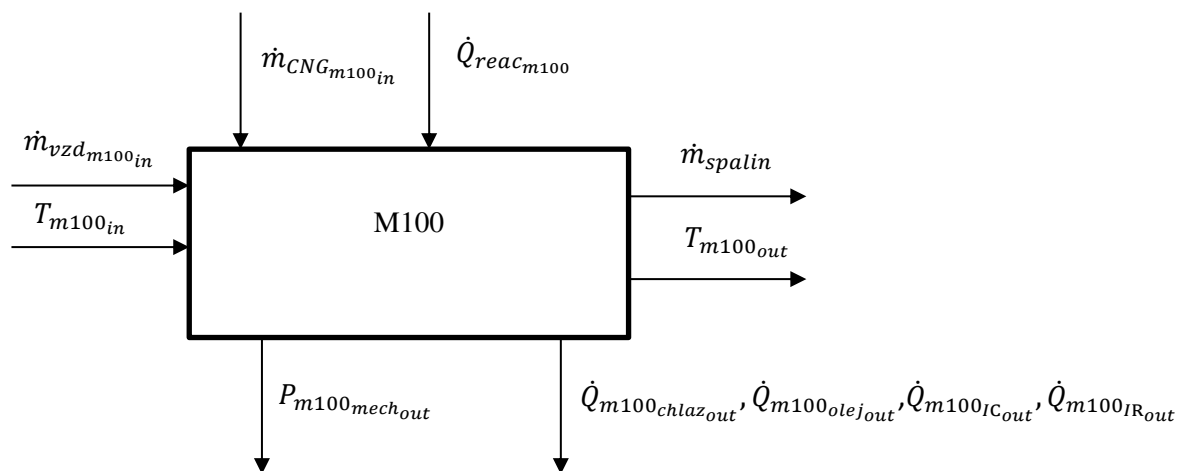
Pro vlhký vzduch o teplotě 25°C platí pro danou relativní vlhkost:

$$podilH_2O_{vzduchkgkg} = 0,02$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_{vzd} \cdot podilH_2O_{vzduchkgkg}$$

6.3.2 Bilance pístového spalovacího motoru M100

Dle volby motoru musím vytvořit energetickou bilanci paliva. Potřebuji parazitní tepelné výkony, které budu využívat na ohřev kondenzátu a ohřev vzdušiny.



Obrázek 21 Bilanční schéma spalovacího motoru M100

Pro výpočet bilance je třeba nejdříve vypočítat množství vzduchu, které bude potřebovat motor.

Z hodinové spotřeby zjistím hmotnostní tok za vteřinu:

$$\dot{m}_{CNG_{m100in}} = \dot{V}_{CNG_{m100in}} \cdot \frac{\rho_{CNG_{m100}}}{3600}$$

Pro hmotnostní tok vzduchu mohu psát:

$$\dot{m}_{vzd_{m100, in}} = \dot{m}_{CNG_{m100, in}} \cdot \lambda_{m100} \cdot Lvt$$

Hmotnost spalin tedy odpovídá:

$$\dot{m}_{spalin} = \dot{m}_{vzd_{m100, in}} + \dot{m}_{CNG_{m100, in}}$$

Hmotnostní tok paliva do motoru odpovídá výkonu při spálení:

$$\dot{Q}_{m100_{all, in}} = \dot{m}_{CNG_{m100, in}} \cdot \Delta H_{CNG}$$

Mechanický výkon je tedy:

$$P_{m100_{mech, out}} = \eta_{m100, c} \cdot \dot{Q}_{m100_{all, in}}$$

Z bilance všech výkonu si vyjádřím výkon odpovídající výfuku:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{m100_{vyfuk, out}} = & \dot{Q}_{m100_{all, in}} - \dot{Q}_{m100_{chlaz, out}} - \dot{Q}_{m100_{olej, out}} - \dot{Q}_{m100_{IC, out}} - \dot{Q}_{m100_{IR, out}} \\ & - P_{m100_{mech}} \end{aligned}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\eta_{m100, c}$	0,44	-
λ_{m100}	1,72	-
Lvt	17,2	-
$\dot{m}_{CNG_{m100, in}}$	0,1561	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{m100, in}}$	4,6194	kg/s
n_{m100}	1000	ot/min
$P_{m100_{mech, out}}$	3 390 000	W
$\dot{Q}_{m100_{all, in}}$	7 650 000	W
$\dot{Q}_{m100_{chlaz, out}}$	1 120 000	W
$\dot{Q}_{m100_{IC, out}}$	297 000	W
$\dot{Q}_{m100_{IR, out}}$	171 000	W
$\dot{Q}_{m100_{olej, out}}$	381 000	W
$\dot{Q}_{m100_{vyfuk, out}}$	2 293 500	W
$T_{m100, out}$	450	°C
$V_{CNG_{m100, in}}$	624,5	m ³ /h

Tabulka 12 Bilance motoru M100

Na vybraném motoru je zajímavé, že odváděný výkon potřebný pro chlazení vodou je pouze 1,12 MW. Tepelný výkon ve výfukových plynech je téměř dvakrát větší. Odpovídá hodnotě 2,3 MW. Chlazení oleje odebírá přibližně 0,4 MW. Tento výkon by se mohl využít na předehřev kondenzátu, popřípadě užitkové vody. Spotřeba motoru je tedy přibližně 624,5 metrů krychlových za hodinu zemního plynu.

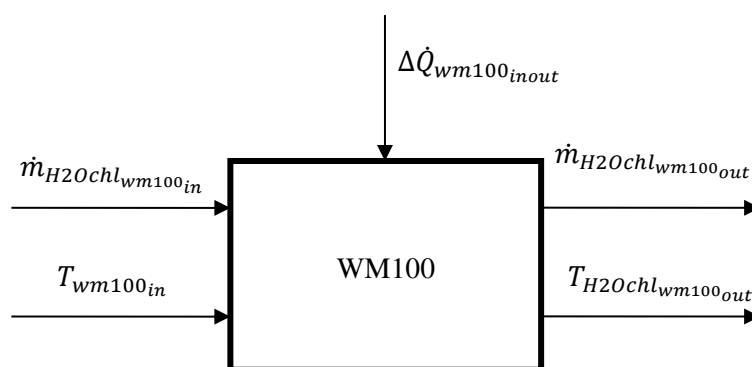
6.3.3 Bilance výměníku WM100, výroba páry a kompresor K100

Pomyslný výměník slouží ke sdílení tepla potřebného k ochlazení motoru do vodního kondenzátu. Celé je to koncipováno tak, že na chladicí okruh motoru je nainstalován výparník vodní páry. Do výparníku se dopravuje kondenzát. Čerpadlo P100 má za úkol v okruhu držet požadovaný tlak a hladinu ve výparníku. Čerpadlo P106 má za úkol cirkulovat kondenzát přes pomyslný výměník WM100 a pomocí něho regulovat tepelný tok sdílený z motoru. Výhodou je, že kondenzát neobsahuje ethylenglykol a má tedy lepší fyzikální vlastnosti pro přenos tepla. Výparník s výměníkem budou pracovat podobně jako klasická výroba páry ve spalovacím kotli. Ve výparníku páry dojde k expanzi a odebrání tepla z okruhu.

Tato problematika byla konzultována s odborníky zabývající se párou a stacionárními motory.

Pro tento výpočet jsem musel použít jednoduchý algoritmus, který dopočítává teploty a entalpie v přehřáté páře. Požadovaná teplota je přibližně 100 °C a neznámá je hmotnostní tok kondenzátu. Celé je to navrženo tak, že pokud se zvýší nebo sníží tepelný tok potřebný na chlazení, program dopočítá hmotnostní tok tak, aby byla dodržena požadovaná teplota.

Pro bilanci tedy platí:



Obrázek 22 Bilanční schéma výměníku WM100

Dodaný tepelný výkon do okruhu odpovídá:

$$\Delta \dot{Q}_{wm100inout} = \dot{Q}_{m100chlazout}$$

Tepelný výkon na vstupu:

$$\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100in}} = \dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}} \cdot c_{H_2O} \cdot T_{wm100in}$$

Tepelný výkon na výstupu:

$$\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100out}} = \dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100in}} + \Delta\dot{Q}_{wm100inout}$$

Nyní je potřeba vypočítat měrnou entalpii v kJ/kg:

$$Q_{H_2Ochl_{wm100outmer}} = \frac{\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100in}} + \Delta\dot{Q}_{wm100inout}}{1000 \cdot \dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}}}$$

Počáteční hmotnostní tok kondenzátu volím na:

$$\dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}} = 0,2 \text{ kg/s}$$

V tuto chvíli přichází na řadu algoritmus, který bude měnit hmotnostní tok kondenzátu, tak aby na výstupu byla požadovaná teplota. Program se skládá ze základních podmínek a cyklů. Tabulky přehřáté páry jsou ve formě matice a pomocí lineární interpolace se dopočítává skutečná hodnota.


```

1 m100 = [2676 2716 2756 2796 2835 2875 2915 2954 5000000; %tabulky pary s teplotamy*
pro tlak 0,1MPa
2 100 120 140 160 180 200 220 240 600]
3 % m100 = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; %tabulky pary s*
teplotamy pro tlak 0,3MPa
4 % 140 160 180 200 220 240 260 280 600]
5 m100=transpose(m100)
6
7 h100=Q_H2Ochl_wm100_out_mer
8
9 p=1
10 while h100>=m100(p,1)
11     p=p+1
12 end
13
14 interpolAm100h=m100(p,1)
15 interpolAm100T=m100(p,2)
16 interpolBm100h=m100(p-1,1)
17 interpolBm100T=m100(p-1,2)
18 T_H2Ochl_wm100_out=interpolBm100T+(h100-interpolBm100h)*((interpolAm100T-
interpolBm100T)/(interpolAm100h-interpolBm100h))
19
20 while T_H2Ochl_wm100_out>=T_H2Ochl_wm100_out_poz
21 Q_H2Ochl_wm100_out_mer=(Q_H2Ochl_wm100_in+deltaQ_wm100_inout)*
/m_H2Ochl_wm100_in/1000
22
23 m = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; %tabulky pary s teplotamy*
pro tlak 0,3MPa
24 140 160 180 200 220 240 260 280 600]
25
26 m=transpose(m)
27 h=Q_H2Ochl_wm100_out_mer
28
29 p=1
30 while h>=m(p,1)
31     p=p+1
32 end
33
34 if p==1
35     T_H2Ochl_wm100_out=m(1,2)
36 else
37 interpolAm100h=m100(p,1)
38 interpolAm100T=m100(p,2)
39 interpolBm100h=m100(p-1,1)
40 interpolBm100T=m100(p-1,2)
41 end
42
43 T_H2Ochl_wm100_out=interpolBm100T+(h-interpolBm100h)*((interpolAm100T-
interpolBm100T)/(interpolAm100h-interpolBm100h))
44 m_H2Ochl_wm100_in=m_H2Ochl_wm100_in+0.0001
45
46 end

```

Obrázek 23 Algoritmus programu výpočtu množství páry výměník WM100

Program vypočetl, že při zmíněném výkonu a požadované teplotě musí být hmotnostní tok kondenzátu, nebo-li hmotnostní tok vyrobené vodní páry:

$$\dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}} = 0,4454 \text{ kg/s}$$

Hodinová výroba páry je tedy:

$$\dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}} \cdot 3,6 = 1,6034 \text{ t/h}$$

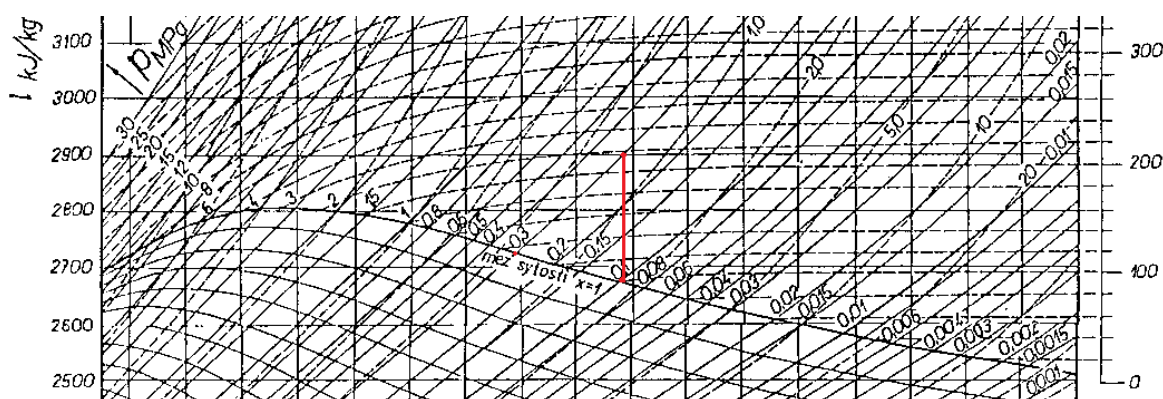
Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta \dot{Q}_{wm100inout}$	1 120 000	W
$\dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}}$	0,4454	kg/s
$\dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}} \cdot 3,6$	1,6034	t/h
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100in}}$	159 000	W
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{wm100out}}$	1 279 000	W
$T_{H_2Ochl_{wm100out}}$	99,7498	°C
$T_{wm100in}$	85	°C

Tabulka 13 Bilance výměníku WM100

Výkon na chlazení motoru může vyrobit až 1,6 tuny vodní páry za hodinu. Odborníci zabývající se neshledali problém, který by mohl ohrozit funkčnost a nevidí ani velký problém v realizaci. Bohužel v žádné literatuře, popřípadě internetu, jsem nenalezl tento způsob výroby páry. Na některých stránkách jsem našel průmyslové uplatnění této koncepce i s bilančními výpočty, ale s žádnými praktickými zkušenostmi. Je možné, že objemový tok cirkulace kondenzátu bude muset být značný v důsledku nízkého teplotního spádu. Dále komplikovanost a členitost chladících kanálů by mohly způsobit problémy.

Po konzultaci s panem Štochlem jsem se dozvěděl, že se vyrábí motor od společnosti CAT, který využívá vysokou výstupní teplotu chladiva a následně používá pro výrobu páry přes výměník.

Následuje kompresor K100, který vodní páru stlačí na požadovaný tlak 0,3 MPa. Pro výpočet potřebného výkonu na stlačení jsem využil i-s diagram vodní páry.



Obrázek 24 Výpočet výkonu kompresoru K100

Dle diagramu je potřeba vodní páru dostat na měrnou entalpii odpovídající 2900 kJ/kg. Jedná se o přehřátou oblast, kde teplota odpovídá přibližně 217 °C. Sytá vodní pára vystupující z výparníku K11 má měrnou entalpii odpovídající 2680 kJ/kg.

Pro rozdíl entalpií mohu psát:

$$\Delta h_{k100} = 2900 - 2680 = 220 \text{ kJ/kg}$$

Hmotnostní tok vodní páry odpovídá:

$$\dot{m}_{H_2Ochl_{k100in}} = \dot{m}_{H_2Ochl_{wm100in}}$$

Potřebný výkon pro kompresor je tedy:

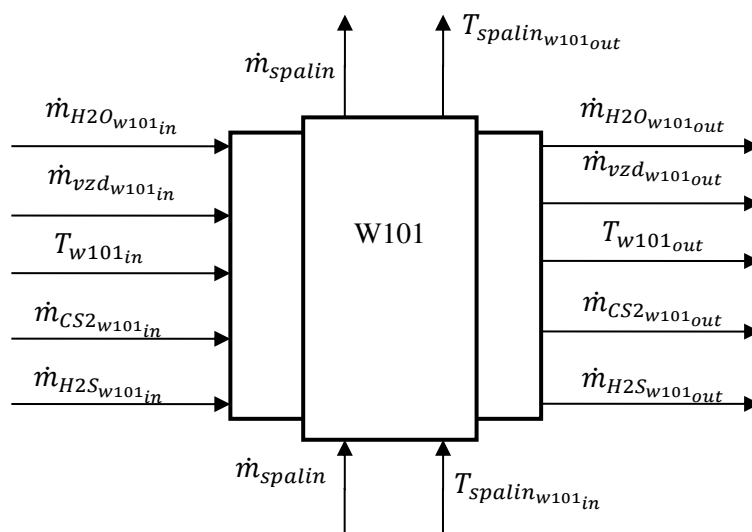
$$P_{k100mech} = \dot{m}_{H_2Ochl_{k100in}} \cdot \Delta h_{k100} \cdot 1000$$

Označení	Hodnota	Jednotka
Δh_{k100}	220	kJ/kg
$\dot{m}_{H_2Ochl_{k100in}}$	0,4454	kg/s
$P_{k100mech}$	97 988	W
$T_{H_2Ochl_{k100in}}$	99,75	°C
$T_{H_2Ochl_{k100out}}$	217	°C

Tabulka 14 Bilance kompresoru K100

6.3.4 Bilance výměníku W101

Výměník W101 slouží k přenosu tepla ze spalin do nezpracovaného větracího vzduchu. V tomto výměníku se ohřívá na požadovanou reakční teplotu, která se pohybuje okolo 410°C.



Obrázek 25 Bilanční schéma výměníku W101

Pro hmotnostní toky platí:

$$\dot{m}_{vzd_{w101in}} = \dot{m}_{vzd}$$

$$\dot{m}_{CS2_{w101in}} = \dot{m}_{CS2}$$

$$\dot{m}_{CS2_{w101out}} = \dot{m}_{CS2_{w101in}}$$

$$\dot{m}_{H2S_{w101in}} = \dot{m}_{H2S}$$

$$\dot{m}_{H2S_{w101out}} = \dot{m}_{H2S_{w101in}}$$

$$T_{spalin_{w101in}} = T_{m100out}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w101out}} = \dot{m}_{vzd_{w101in}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{w101in}} = \dot{m}_{H2O}$$

$$\dot{m}_{H2O_{w101out}} = \dot{m}_{H2O_{w101in}}$$

Tepelný výkon přivedený ve větracím vzduchu na vstupu do výměníku:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w101in} = & \dot{m}_{vzd_{w101in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w101in} + \dot{m}_{CS2_{w101in}} \cdot c_{CS2} \cdot T_{w101in} + \dot{m}_{H2S_{w101in}} \cdot c_{H2S} \cdot T_{w101in} \\ & + \dot{m}_{H2O_{w101in}} \cdot h_{H2O_{w101in}} \end{aligned}$$

Tepelný výkon ve větracím vzduchu na výstupu z výměníku:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w101out} = & \dot{m}_{vzd_{w101out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w101out} + \dot{m}_{CS2_{w101out}} \cdot c_{CS2} \cdot T_{w101out} + \dot{m}_{H2S_{w101out}} \cdot c_{H2S} \\ & \cdot T_{w101out} + \dot{m}_{H2O_{w101out}} \cdot h_{H2O_{w101out}} \end{aligned}$$

Diference výkonů vstup - výstup:

$$\Delta \dot{Q}_{w101outin} = \dot{Q}_{w101out} - \dot{Q}_{w101in}$$

Tato diference odpovídá předanému výkonu ze spalin:

$$\Delta \dot{Q}_{spalin_{w101}} = \Delta \dot{Q}_{w101outin}$$

Teplota spalin tedy odpovídá:

$$T_{spalin_{w101out}} = T_{spalin_{w101in}} - \frac{\Delta\dot{Q}_{spalin_{w101}}}{\dot{m}_{spalin} \cdot c_{m100spalin}}$$

Tepelný výkon na výstupu z výměníku pro spalinu:

$$\dot{Q}_{spalin_{w101out}} = T_{spalin_{w101out}} \cdot \dot{m}_{spalin} \cdot c_{m100spalin}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta\dot{Q}_{spalin_{w101}}$	$1,13 \cdot 10^6$	W
$\Delta\dot{Q}_{w101outin}$	$1,13 \cdot 10^6$	W
$h_{H_2O_{w101in}}$	2 801 000	J/kg
$h_{H_2O_{w101out}}$	3 300 000	J/kg
$\dot{m}_{CS_2_{w101in}}$	0,0102	kg/s
$\dot{m}_{CS_2_{w101out}}$	0,0102	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w101in}}$	0,1118	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w101out}}$	0,1118	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w101in}}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w101out}}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w101in}}$	5,4785	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w101out}}$	5,4785	kg/s
$\dot{Q}_{spalin_{w101out}}$	$1,16 \cdot 10^6$	W
\dot{Q}_{w101in}	$1,56 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{w101out}$	$2,70 \cdot 10^6$	W
$T_{spalin_{w101in}}$	450	°C
$T_{spalin_{w101out}}$	227,4111	°C
T_{w101in}	220	°C
$T_{w101out}$	410	°C

Tabulka 15 Bilance výměníku W101

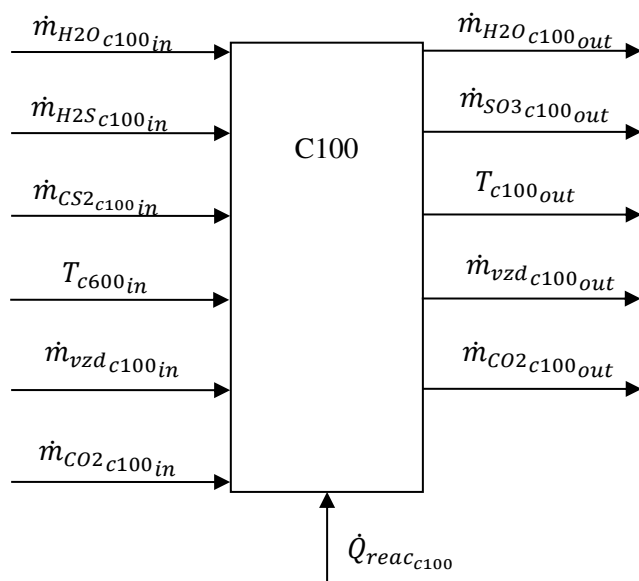
Výměník W101 by měl přenést přibližně 1,13 megawatty tepelného výkonu. Teplota spalin za výměníkem je stále relativně vysoká a bude použitelná pro přehřívák vodní páry W103. Tento výměník by měl být regulovatelný z důvodu nájezdu zařízení a dále při vzniku poruchy na zařízení větracího vzduchu by spalovací motor mohl dále vyrábět elektrický proud a přebytečné teplo by šlo přes přehřívák rovnou do komína.

Reakční teplota je dosažena a větrací vzduch je připraven na další proces.

6.3.5. Bilance katalytického reaktoru C100

Reaktor pracuje koncepčně stejně jako v zařízení Sulfox. Sírné sloučeniny zoxidují a změní se na oxid sírový SO_3 . V reaktorové koloně jsou umístěny dva reaktory, kde první provede oxidaci na SO_2 a druhý na SO_3 . Tyto reakce jsou exotermní což má za následek vznik tepla.

Bilanci provedu opět společně jako v zařízení Sulfox dle modelu, který jsem již popsal. Účinnost reaktoru volím dle zkušeností na 80%.



Obrázek 26 Bilanční schéma katalytického reaktoru C100

Hmotnostní bilance je tedy:

$$\dot{m}_{vzd_{c100in}} = \dot{m}_{vzd_{w101out}}$$

$$\dot{m}_{CS2_{c100in}} = \dot{m}_{CS2_{w101out}}$$

$$\dot{m}_{H2S_{c100in}} = \dot{m}_{H2S_{w101out}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{c100in}} = \dot{m}_{H2O_{w101out}}$$

$$\dot{m}_{SO2_{c100out}} = M_{SO2} \cdot \frac{\dot{m}_{H2S_{c100in}}}{M_{H2S}} + 2 \cdot \frac{M_{SO2}}{M_{CS2}} \cdot \dot{m}_{CS2_{c100in}}$$

$$\dot{m}_{SO3_{c100out}} = \frac{M_{SO3}}{M_{SO2}} \cdot \dot{m}_{SO2_{c100out}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{c100out}} = \dot{m}_{vzd_{c100in}} - \frac{3}{2} \cdot \dot{m}_{H_2S_{c100in}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{H_2S}} - 3 \cdot \dot{m}_{CS_2_{c100in}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{CS_2}} - 0.5 \cdot \dot{m}_{SO_2_{c100out}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{SO_2}}$$

$$\dot{m}_{CO_2_{c100out}} = M_{CO_2} \cdot \frac{\dot{m}_{CS_2_{c100in}}}{M_{CS_2}}$$

$$\dot{m}_{H_2O_{c100out}} = M_{H_2O} \cdot \frac{\dot{m}_{H_2S_{c100in}}}{M_{H_2O}} + \dot{m}_{H_2O_{c100in}}$$

Tepelný výkon vstupující do reaktoru:

$$\dot{Q}_{c100in} = \dot{m}_{H_2S_{c100in}} \cdot c_{H_2S} \cdot T_{c100in} + \dot{m}_{CS_2_{c100in}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{c100in} + \dot{m}_{vzd_{c100in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{c100in} + \dot{m}_{H_2O_{c100in}} \cdot h_{H_2O_{c100in}}$$

Reakční tepelný výkon by tedy měl být:

$$\dot{Q}_{reac_{c100}} = \eta_{c100} \cdot \left(\dot{m}_{H_2S_{c100in}} \cdot \Delta H_{H_2S} \cdot \frac{1000}{M_{H_2S}} + \dot{m}_{CS_2_{c100in}} \cdot \Delta H_{CS_2} \cdot \frac{1000}{M_{CS_2}} + \dot{m}_{SO_2_{c100out}} \cdot 1000 \cdot \frac{\Delta H_{SO_2}}{M_{SO_2}} \right)$$

Tepelný výkon na výstupu z reaktoru by měl odpovídat součtu zmíněných výkonů:

$$\dot{Q}_{c100out} = \dot{Q}_{c100in} + \dot{Q}_{reac_{c100}}$$

Dále už jen výpočet teploty na výstupu z reaktoru:

$$T_{c100out} = \frac{\dot{Q}_{c100out} - \dot{m}_{H_2O_{c100out}} \cdot h_{H_2O_{c100out}}}{\dot{m}_{SO_3_{c100out}} \cdot c_{SO_3} + \dot{m}_{vzd_{c100out}} \cdot c_{vzd} + \dot{m}_{CO_2_{c100out}} \cdot c_{CO_2}}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
η_{c100}	0,8	-
$h_{H_2O_{c100in}}$	3 300 000	J/kg
$h_{H_2O_{c100out}}$	3 330 000	J/kg
$\dot{m}_{CO_2_{c100out}}$	0,0059	kg/s

$\dot{m}_{CS2_{c100in}}$	0,0102	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{c100in}}$	0,1118	kg/s
$\dot{m}_{H2O_{c100out}}$	0,1128	kg/s
$\dot{m}_{H2S_{c100in}}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	kg/s
$\dot{m}_{SO2_{c100out}}$	0,019	kg/s
$\dot{m}_{SO3_{c100out}}$	0,0238	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c100in}}$	5,4785	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{c100out}}$	5,4595	kg/s
\dot{Q}_{c100in}	$2,70 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{c100out}$	$2,87 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{reac_{c100}}$	$1,74 \cdot 10^5$	W
T_{c100in}	410	°C
$T_{c100out}$	439,97	°C

Tabulka 16 Bilance katalytického reaktoru C100

Dle výpočtů při dané koncentraci a volené účinnosti vznikne oxidační reakcí přibližně 174 kilowatt tepelného výkonu. Při vyšších koncentracích, o které se v současné době snažíme, by mohlo vzniknout 2 krát více reakčního tepla, což by se mohlo blížit k hranici 400 kW tepelného výkonu. Vzniklé teplo využijeme v následujícím výměníku na výrobu páry. Čím větší koncentrace, tím více vodní páry. Výsledná teplota na výstupu z reaktoru je 440 °C. Hmotnostní tok produkce oxidu sírového je 23,8 g/s.

6.3.6. Bilance výměníku W102 a výroba páry

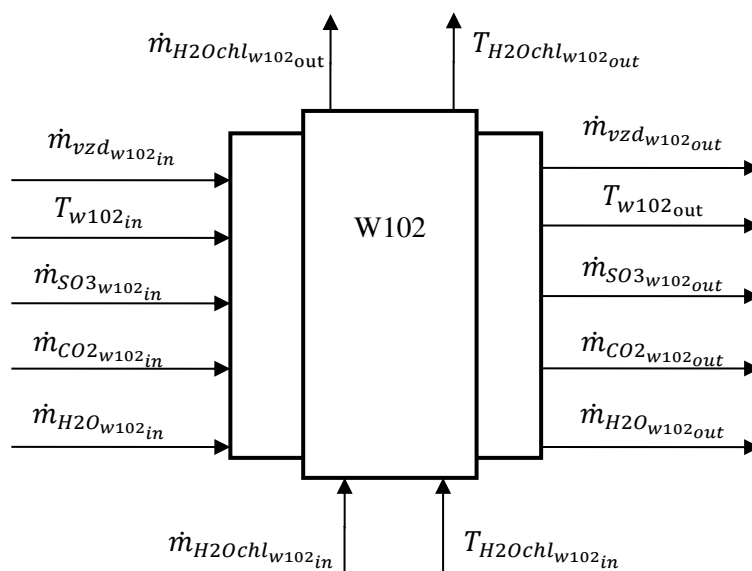
Tento výměník slouží ke sdílení tepla ze zpracovaného vzduchu do vodního kondenzátu. Na tento výměník je připojen výparník K10 a cirkulační čerpadlo P103. Celá sestava tvoří zařízení k výrobě vodní páry. Celý koncept je velmi podobný, jako již zmíněný výměník WM100 pro spalovací motor. Zde by nemělo docházet k žádným problémům. Čerpadlo P103 reguluje sdílený tepelný výkon a čerpadlo P105 udržuje tlak v systému a požadovanou hladinu ve výparníku K10. Výměník musí být dimenzován i na větší výkony v závislosti na cirkulačním hmotnostním toku v důsledku vyšších koncentracích ve větracím vzduchu a získání většího reakčního tepla a vyšší vstupní teploty do výměníku.

Dalším úkolem tohoto výměníku je určitá teplota na výstupu, která musí být nižší než je 250 °C. Tuto teplotu jsem zvolil z důvodu teploty bodu varu kyseliny sírové, který je 273 °C. Pokud by byla tato teplota překročena, docházelo by v dalším stupni zpracování, tedy kyselinové koloně B100, k nežádoucímu vypařování a nedefinovatelným chemickým reakcím.

Výpočet je opět naprogramován pomocí podmínek a cyklů. Výstupem z výparníku je vodní pára, která je špatně matematicky popsitelná. Entalpie vodní páry při daném tlaku jsou uvedeny do matice a program pomocí nich lineárně interpoluje zvolenou hodnotu. Řídícím atributem je zde výsledná teplota vodní páry, kde program k ní dopočítává hmotnostní tok cirkulační okruhu vodního kondenzátu v závislosti na předávném teplu ve výměníku. Program opakuje výpočet a zvyšuje hmotnostní tok kondenzátu. Díky tomu se mění hodnoty na výstupu vodní páry při daném tepelném toku z výměníku. Program porovnává tyto hodnoty s požadovanými, pokud hodnota nesouhlasí, celý proces se opakuje. Iterační krok jsem zvolil po 0,001 kg/s hmotnostního toku vodního kondenzátu.

Hodnoty vodní páry na výstupu z výparníku K10 musí být stejné jako z výparníku K11, aby se později mohly spojit do jednoho toku. Pokud by byly jiné, působily by negativně v celém systému. Pokud dojde k poklesu tlaku v jednom z výparníků, přirozené dojde k poklesu i ve druhém. Absolutní tlak ve výparníku by měl být 300 kPa a teplota okolo 140 °C.

Do výpočtu volím teplotu vodního kondenzátu vstupující do výměníku 85 °C, dále zkušební cirkulační hmotnostní tok vodního kondenzátu na 0,2 kg/s.



Obrázek 27 Bilanční schéma výměníku W102

Pro hmotnostní bilanci platí:

$$\dot{m}_{SO3_{w102in}} = \dot{m}_{SO3_{c100out}}$$

$$\dot{m}_{SO3_{w102out}} = \dot{m}_{SO3_{w102in}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w102in}} = \dot{m}_{vzd_{c100out}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w102out}} = \dot{m}_{vzd_{w102in}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{w102in}} = \dot{m}_{CO2_{c100out}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{w102out}} = \dot{m}_{CO2_{w102in}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{w102in}} = \dot{m}_{H2O_{c100out}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{w102out}} = \dot{m}_{H2O_{w102in}}$$

Pro entalpii vodní páry ve zpracovaném větracím vzduchu platí:

$$h_{H2O_{w102in}} = h_{H2O_{c100out}}$$

Vstupní teplota větracího vzduchu odpovídá teplotě na výstupu z reaktoru:

$$T_{w102in} = T_{c100out}$$

Tepelný výkon odpovídající nátoky vodního kondenzátu do zařízení:

$$\dot{Q}_{H2Ochl_{w102in}} = \dot{m}_{H2Ochl_{w102in}} \cdot c_{H2O} \cdot T_{H2Ochl_{w102in}}$$

Měrný výkon nebo-li entalpie pro program je tedy:

$$Q_{H2Ochl_{w102inmer}} = \frac{\dot{Q}_{H2Ochl_{w102in}}}{\dot{m}_{H2Ochl_{w102in}}}$$

Tepelný výkon vstupujícího větracího vzduchu do výměníku odpovídá:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{w102in} = & \dot{m}_{H2O_{w102in}} \cdot h_{H2O_{w102in}} + \dot{m}_{SO3_{w102in}} \cdot c_{SO3} \cdot T_{w102in} + \dot{m}_{vzd_{w102in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w102in} \\ & + \dot{m}_{CO2_{w102in}} \cdot c_{CO2} \cdot T_{w102in} \end{aligned}$$

```

1 m = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; $tabulky pary s teplotamy
pro tlak 0,3MPa
2     140 160 180 200 220 240 260 280 600]
3
4 m=transpose(m)
5
6
7 h=Q_H2Ochl_w102_out_mer
8
9 p=1
10 while h>=m(p,1)
11     p=p+1
12 end
13
14 interpolAh=m(p,1)
15 interpolAT=m(p,2)
16 interpolBh=m(p-1,1)
17 interpolBT=m(p-1,2)
18
19 T_H2Ochl_w102_out=interpolBT+(h-interpolBh)*((interpolAT-interpolBT)/(interpolAh-
interpolBh))
20
21
22
23 while T_H2Ochl_w102_out>=T_H2Ochl_w102_out_poz
24 Q_H2Ochl_w102_out_mer=(Q_H2Ochl_w102_in+deltaQ_w102_inout)/m_H2Ochl_w102_in/1000
25
26 m = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; $tabulky pary s teplotamy
pro tlak 0,3MPa
27     140 160 180 200 220 240 260 280 600]
28
29 m=transpose(m)
30
31
32 h=Q_H2Ochl_w102_out_mer
33
34 p=1
35 while h>=m(p,1)
36     p=p+1
37 end
38
39 if p==1
40     T_H2Ochl_w102_out=m(1,2)
41 else
42 interpolAh=m(p,1)
43 interpolAT=m(p,2)
44 interpolBh=m(p-1,1)
45 interpolBT=m(p-1,2)
46 end
47
48 T_H2Ochl_w102_out=interpolBT+(h-interpolBh)*((interpolAT-interpolBT)/(interpolAh-
interpolBh))
49 m_H2Ochl_w102_in=m_H2Ochl_w102_in+0.0001
50
51 end

```

Obrázek 28 Algoritmus výpočtu výměníku W102

Tepelný výkon vystupujícího větracího vzduchu z výměníku je tedy:

$$\dot{Q}_{w102out} = \dot{m}_{H2O_{w102out}} \cdot h_{H2O_{w102out}} + \dot{m}_{SO3_{w102out}} \cdot c_{SO3} \cdot T_{w102out} + \dot{m}_{vzd_{w102out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w102out} + \dot{m}_{CO2_{w102out}} \cdot c_{CO2} \cdot T_{w102out}$$

Rozdíl zmíněných výkonů odpovídá předanému tepelnému výkonu do vodního kondenzátu:

$$\Delta\dot{Q}_{w102inout} = \dot{Q}_{w102in} - \dot{Q}_{w102out}$$

Měrný výkon vodní páry nebo-li entalpie:

$$Q_{H_2Ochl_{w102outmer}} = 1000 \cdot \frac{\dot{Q}_{H_2Ochl_{w102in}} + \Delta\dot{Q}_{w102inout}}{\dot{m}_{H_2Ochl_{w102in}}}$$

Na základě těchto vztahů následně pracuje program dle algoritmu (Obrázek 13).

Program vypočetl, že pro daný sdílený výkon, požadovanou teplotu a tlak je potřeba, aby cirkulační hmotnostní tok byl:

$$\dot{m}_{H_2Ochl_{w102in}} = \dot{m}_{H_2Ochl_{w102out}} = 0,4345 \text{ kg/s}$$

Hodinová výroba páry je tedy:

$$\dot{m}_{H_2Ochl_{w102inhourtone}} = \dot{m}_{H_2Ochl_{w102in}} \cdot 3,6 = 1,5642 \text{ t/h}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta\dot{Q}_{w102inout}$	$1,08 \cdot 10^6$	W
$h_{H_2O_{w102in}}$	3 330 000	J/kg
$h_{H_2O_{w102out}}$	3 280 000	kg/s
$\dot{m}_{CO_2_{w102in}}$	0,0059	kg/s
$\dot{m}_{CO_2_{c100out}}$	0,0059	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w102in}}$	0,1128	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w102out}}$	0,1128	kg/s
$\dot{m}_{H_2Ochl_{w102in}}$	0,4345	kg/s
$\dot{m}_{H_2Ochl_{w102inhourtone}}$	1,5642	t/h
$\dot{m}_{H_2Ochl_{w102out}}$	0,4345	W
$\dot{m}_{SO_3_{w102in}}$	0,0238	kg/s
$\dot{m}_{SO_3_{w102out}}$	0,0238	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w102in}}$	5,4595	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w102out}}$	5,4595	kg/s
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{w102in}}$	107 100	W
$Q_{H_2Ochl_{w102inmer}}$	357 000	J/kg

$Q_{H_2Ochl_{w102outmer}}$	$2,74 \cdot 10^6$	kJ/kg
\dot{Q}_{w102in}	$2,87 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{w102out}$	$1,79 \cdot 10^6$	W
$T_{H_2Ochl_{w102in}}$	85	°C
$T_{H_2Ochl_{w102out}}$	139,77	°C
$T_{H_2Ochl_{w102outpoz}}$	140	°C
T_{w102in}	439,97	°C
$T_{w102out}$	250	°C

Tabulka 17 Bilance výměníku W102

Z výsledků je patrná potřeba předat 1,08 megawattu ze zpracovaného větracího vzduchu do vodního kondenzátu. Při tomto výkonu by se dalo vyrobit přibližně 1,5 tuny vodní páry za hodinu. Na výstupu z výměníku je požadovaná teplota 250 °C.

6.3.7 Bilance kyselinové kolony a výměníku W100

Kyselinová kolona je stejná jako v zařízení Sulfox. Jeden z hlavních úkolů je sdílení tepla ze zpracovaného do nezpracovaného vstupního větracího vzduchu. Dalším důležitým úkolem je výroba kyseliny sírové sprchováním zpracovaného vzduchu zředěnou kyselinou sírovou. Ve spodní části se drží hladina 100% kyseliny, která se dále odpouští. Pro bilanci jsem použil stejný výpočet, pouze jsem do něj přidal regulaci nátoky vody do sprchy, která je řízena vyrobeným oxidem sírovým. Je důležité, aby v zařízení byl přebytek vody k potřebné reakci s oxidem sírovým. Dále je v algoritmu podmínka pro kontrolu výstupní teploty zpracovaného větracího vzduchu, která by neměla přesáhnout hodnotu 70°C. Při překročení hodnoty se navýší hmotnostní tok osmózní vody do sprchy a teplota poklesne. Algoritmus má tedy dvě podmínky, které současně kontroluje v závislosti na porovnání mění hmotnostní tok osmózní vody. Podíly kyseliny sírové a další hodnoty jsou podobné se zařízením Sulfox. Z praktických zkušeností je zařízení funkční, proto není důvod některé hodnoty významně měnit.

Pro hmotnostní toky platí:

$$\dot{m}_{vzd_{w100in}} = \dot{m}_{vzd}$$

$$\dot{m}_{CS2_{w100in}} = \dot{m}_{CS2}$$

$$\dot{m}_{CS2_{w100out}} = \dot{m}_{CS2_{w100in}}$$

$$\dot{m}_{H_2S_{w100in}} = \dot{m}_{H_2S}$$

$$\dot{m}_{H_2S_{w100out}} = \dot{m}_{H_2S_{w100in}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{w100out}} = \dot{m}_{vzd_{w100in}}$$

$$\dot{m}_{SO3_{b100in}} = \dot{m}_{SO3_{w102out}}$$

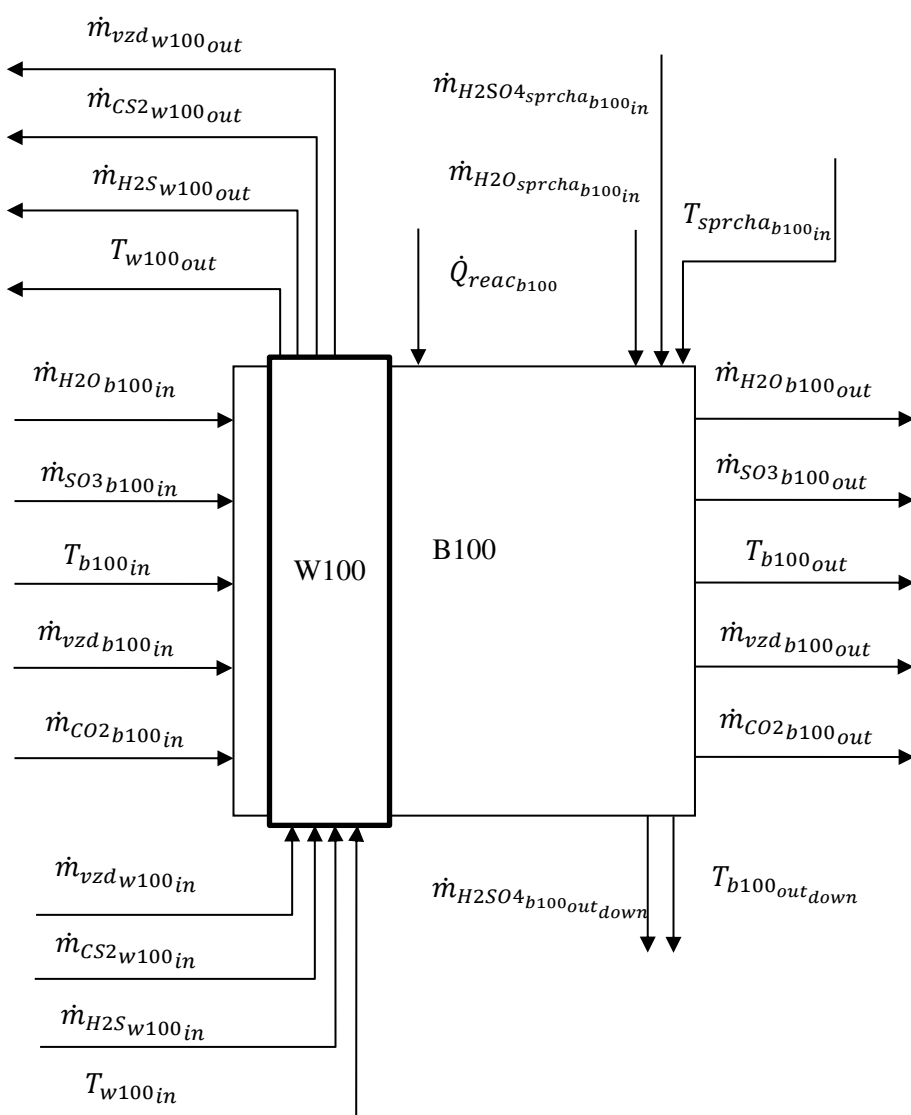
$$\dot{m}_{vzd_{b100in}} = \dot{m}_{vzd_{w102out}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{b100in}} = \dot{m}_{CO2_{w102out}}$$

$$\dot{m}_{H2O_{b100in}} = \dot{m}_{H2O_{w102out}}$$

$$\dot{m}_{vzd_{b100out}} = \dot{m}_{vzd_{b100in}}$$

$$\dot{m}_{CO2_{b100out}} = \dot{m}_{CO2_{b100in}}$$



Obrázek 29 Bilance kyselinové kolony B100 a výměníku W100

Hmotnostní tok vody vstupující do sprchy je tedy:

$$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in}}} = \frac{100 - oV_{H_2OH_2SO_4}}{100} \cdot r_{O_{H_2O}} \cdot \dot{V}_{H_2OH_2SO_4_{sprcha_{b100in}}} + \dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in2}}}$$

Hmotnostní tok 100% kyseliny sírové do sprchy je:

$$\dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b100in}}} = \frac{oV_{H_2OH_2SO_4}}{100} \cdot r_{O_{H_2SO_4}} \cdot \dot{V}_{H_2OH_2SO_4_{sprcha_{b100in}}}$$

Z elektrofiltru se odčerpává separovaná zředěná kyselina sírová, kde její hmotnostní tok musí být stejný jako hmotnostní tok vystupující z kyselinové kolony ve formě aerosolu.

$$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100outup}} = \dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b100in}}}$$

Teoretické množství vyrobené kyseliny sírové:

$$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100reac}} = \dot{m}_{SO_3_{b100in}} \cdot \frac{M_{H_2SO_4}}{M_{SO_3}}$$

Teoretické množství vody potřebné k chemické reakci hydratace oxidu sírového za vzniku kyseliny sírové:

$$\dot{m}_{H_2O_{b100reac}} = \dot{m}_{SO_3_{b100in}} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{SO_3}}$$

Odčerpávaný hmotnostní tok kyseliny sírové z kyselinové kolony by měl odpovídat vzniklé kyseliny sírové:

$$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100outdown}} = \dot{m}_{H_2SO_4_{b100reac}}$$

Pro entalpii vodní páry ve zpracovaném větracím vzduchu platí:

$$h_{H_2O_{b100in}} = h_{H_2O_{w102out}}$$

Teploty by měly odpovídat:

$$T_{b100in} = T_{w102out}$$

Tepelný výkon větracího vzduchu z provozu vstupujícího do výměníku W100:

$$\dot{Q}_{w100in} = \dot{m}_{vzd_{w100in}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{w100in} + \dot{m}_{CS_2_{w100in}} \cdot c_{CS_2} \cdot T_{w100in} + \dot{m}_{H_2S_{w100in}} \cdot c_{H_2S} \cdot T_{w100in} + \dot{m}_{H_2O_{w100in}} \cdot h_{H_2O_{w100in}}$$

Stejný větrací vzduch, který vystupuje z výměníku W100 má tepelný výkon odpovídající:

$$\dot{Q}_{W100out} = \dot{m}_{vzd_{W100out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{W100out} + \dot{m}_{CS2_{W100out}} \cdot c_{CS2} \cdot T_{W100out} + \dot{m}_{H2S_{W100out}} \cdot c_{H2S} \cdot T_{W100out} + \dot{m}_{H2O_{W100out}} \cdot h_{H2O_{W100out}}$$

Rozdíl výkonů na výměníku W100:

$$\Delta\dot{Q}_{W100outin} = \dot{Q}_{W100out} - \dot{Q}_{W100in}$$

Tepelný výkon zpracovaného větracího vzduchu vstupujícího do kyselinové kolony B100:

$$\dot{Q}_{b100in} = \left(\dot{m}_{SO3_{b100in}} \cdot c_{SO3} + \dot{m}_{vzd_{b100in}} \cdot c_{vzd} + \dot{m}_{CO2_{b100in}} \cdot c_{CO2} \right) \cdot T_{b100in} + \dot{m}_{H2O_{b100in}} \cdot h_{H2O_{b100in}}$$

Tepelný výkon, který se ze zařízení odčerpává ve formě 100% kyseliny sírové:

$$\dot{Q}_{b100outdown} = \dot{m}_{H2SO4_{b100reac}} \cdot c_{H2SO4} \cdot T_{b100outdown}$$

Vystupující zpracovaný vzduch z kyselinové kolony by měl tepelný výkon:

$$\dot{Q}_{b100outup} = \dot{m}_{vzd_{b100out}} \cdot c_{vzd} \cdot T_{b100outup} + \dot{m}_{CO2_{b100out}} \cdot c_{CS2} \cdot T_{b100outup} + \dot{m}_{H2SO4_{b100outup}} \cdot c_{H2SO4} \cdot T_{b100outup} + \dot{m}_{H2O_{b100outup}} \cdot h_{H2O_{b100outup}}$$

Tepelný výkon odpovídající hmotnostnímu toku směsi vody a kyseliny sírové:

$$\dot{Q}_{sprcha_{in}} = \dot{m}_{H2O_{sprcha_{b100in}}} \cdot c_{H2O} \cdot T_{sprcha_{b100in}} + \dot{m}_{H2SO4_{sprcha_{b100in}}} \cdot c_{H2SO4} \cdot T_{sprcha_{b100in}}$$

Reakční teplo odpovídající hydrataci oxidu sírového za vzniku kyseliny sírové:

$$\dot{Q}_{reac_{b100}} = \frac{\dot{m}_{SO3_{b100in}}}{M_{SO3}} \cdot \Delta H_{SO3} \cdot 1000$$

Tepelný výkon potřebný k odpaření přebytečné vody z kyselinové kolony by měl odpovídat:

$$\dot{Q}_{H2Otogas_{b100}} = \left(\dot{m}_{H2O_{b100outup}} - \dot{m}_{H2O_{b100in}} \right) \cdot h_{H2O_{b100in}}$$

Výkonová bilance celého systému by měla odpovídat této rovnici, vyjadřují tepelný výkon na výstupu větracího vzduchu z kyselinové kolony:

$$\dot{Q}_{b100outup} = \dot{Q}_{b100in} - \Delta\dot{Q}_{W100outin} + \dot{Q}_{reac_{b100}} - \dot{Q}_{b100outdown} - \dot{Q}_{H2Otogas_{b100}}$$

Nyní mohu vyjádřit výstupní teplotu vzdušiny, která se následně podle programu zkontroluje, zda není nad povolenou hodnotu:

$$T_{b100outup} = \frac{\dot{Q}_{b100outup} - \dot{m}_{H_2O_{b100outup}} \cdot h_{H_2O_{b100outup}}}{\dot{m}_{vzd_{b100out}} \cdot c_{vzd} + \dot{m}_{CO_2_{b100out}} \cdot c_{CO_2} + \dot{m}_{H_2SO_4_{b100outup}} \cdot c_{H_2SO_4}}$$

Nyní už jen zbývá objemové toky vztažené na metry krychlové za hodinu pro lepší přehlednost:

$$\dot{V}_{H_2SO_4_{b100out}} = \frac{\dot{m}_{H_2SO_4_{b100reac}} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho_{H_2SO_4}}$$

$$\dot{V}_{H_2O_{b100reac}} = \frac{\dot{m}_{H_2O_{b100reac}} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho_{H_2O}}$$

$$\dot{V}_{H_2O_{b100in}} = \frac{\dot{m}_{H_2O_{b100in}} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho_{H_2O}}$$

$$\dot{V}_{H_2O_{b100outup}} = \frac{\dot{m}_{H_2O_{b100outup}} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho_{H_2O}}$$

Tyto vztahy využívá algoritmus pro výpočet hmotnostního toku vody, který se připojuje hlavního hmotnostního toku směřující do sprchy.

```

43 m_H2O_b100_reac=m_SO3_b100_in*M_H2O/M_SO3
44 Q_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac*c_H2SO4*T_b100_out_down
45 m_H2O_b100_out_up=m_H2O_sprcha_b100_in
46
47 §✓
Q_b100_out_up=m_vzd_b100_out*c_vzd*T_b100_out_up+m_CO2_b100_out*c_CS2*T_b100_out_up+m_
H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4*T_b100_out_up+m_H2O_b100_out_up*c_H2O*T_b100_out_up
48✓
Q_sprcha_in=m_H2O_sprcha_b100_in*c_H2O*T_sprcha_b100_in+m_H2SO4_sprcha_b100_in*c_H2SO4
*T_sprcha_b100_in
49 Q_reac_b100=m_SO3_b100_in/M_SO3*deltaH_SO3*1000
50 Q_H2Otogas_b100=(m_H2O_b100_out_up-m_H2O_b100_in)*h_H2O_b100_in
51 m_H2SO4_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac
52
53 Q_b100_out_up=Q_b100_in-deltaQ_w100_outin+Q_reac_b100-Q_b100_out_down-✓
Q_H2Otogas_b100
54
55 T_b100_out_up=Q_b100_out_up/✓
(m_vzd_b100_out*c_vzd+m_CO2_b100_out*c_CO2+m_H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4+m_H2O_b100_out_
up*c_H2O)
56
57 pocitadlo_b100B=pocitadlo_b100B+1
58
59 end
60

```

Obrázek 30 Algoritmus výpočtu kyselinové kolony B100 (2)

```

1 T_b100_out_up=Q_b100_out_up/
(m_vzd_b100_out*c_vzd+m_CO2_b100_out*c_CO2+m_H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4+m_H2O_b100_out_
up*c_H2O)
2 pocitadlo_b100A=0
3
4 while T_b100_out_up>=70
5     V_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2+0.1
6
7
8 m_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2/1000/3600*ro_H2O %kg/s RIZENA HODNOTA
V ZAVISLOSTI NA TEPLOTE
9 oV_H2OH2SO4=50 %objemové procenta kolika % je kyselina vystupující z elektrofiltru
10 m_H2O_sprcha_b100_in=(100-oV_H2OH2SO4)
/100*ro_H2O*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in+m_H2O_sprcha_b100_in_2
11 m_H2SO4_sprcha_b100_in=oV_H2OH2SO4/100*ro_H2SO4*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in
12 m_H2SO4_b100_out_up=m_H2SO4_sprcha_b100_in
13
14 m_H2O_b100_reac=m_SO3_b100_in*M_H2O/M_SO3
15 Q_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac*c_H2SO4*T_b100_out_down
16 m_H2O_b100_out_up=m_H2O_sprcha_b100_in
17
18 %
Q_b100_out_up=m_vzd_b100_out*c_vzd*T_b100_out_up+m_CO2_b100_out*c_CS2*T_b100_out_up+m_
H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4*T_b100_out_up+m_H2O_b100_out_up*c_H2O*T_b100_out_up
19
Q_sprcha_in=m_H2O_sprcha_b100_in*c_H2O*T_sprcha_b100_in+m_H2SO4_sprcha_b100_in*c_H2SO4
*T_sprcha_b100_in
20 Q_reac_b100=m_SO3_b100_in/M_SO3*deltaH_SO3*1000
21 Q_H2Otogas_b100=(m_H2O_b100_out_up-m_H2O_b100_in)*h_H2O_b100_in
22 m_H2SO4_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac
23
24 Q_b100_out_up=Q_b100_in-deltaQ_w100_outin+Q_reac_b100-Q_b100_out_down-
Q_H2Otogas_b100
25
26 T_b100_out_up=Q_b100_out_up/
(m_vzd_b100_out*c_vzd+m_CO2_b100_out*c_CO2+m_H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4+m_H2O_b100_out_
up*c_H2O)
27
28 pocitadlo_b100A=pocitadlo_b100A+1
29
30 end
31
32 pocitadlo_b100B=0
33 while 4*m_H2O_b100_reac>=m_H2O_sprcha_b100_in
34     V_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2+0.1
35
36
37 m_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2/1000/3600*ro_H2O %kg/s RIZENA HODNOTA
V ZAVISLOSTI NA TEPLOTE
38 oV_H2OH2SO4=50 %objemové procenta kolika % je kyselina vystupující z elektrofiltru
39 m_H2O_sprcha_b100_in=(100-oV_H2OH2SO4)
/100*ro_H2O*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in+m_H2O_sprcha_b100_in_2
40 m_H2SO4_sprcha_b100_in=oV_H2OH2SO4/100*ro_H2SO4*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in
41 m_H2SO4_b100_out_up=m_H2SO4_sprcha_b100_in
42

```

Obrázek 31 Algoritmus výpočtu kyselinové kolony B100 (1)

Po proběhnutí programu se dá určit, jaká podmínka nebyla splněna díky počítadlům v daných cyklech. Hodnota označená pocitadlo_b100A určuje kolikrát se musel zvýšit hmotnostní tok vody do sprchy, aby výsledná teplota nepřekročila 70°C. Další hodnotou je pocitadlo_b100B, které určuje, kolikrát se musel navýšit hmotnostní tok vody do sprchy, aby v kyselinové koloně bylo dostatek přebytku vody pro chemickou reakci hydratace. Obě podmínky regulují hodnotu

$$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in_2}}}$$

Označení	Hodnota	Jednotka
$h_{H_2O_{b100in}}$	3 280 000	J/kg
$h_{H_2O_{b100out}}$	2 608 000	J/kg
$\dot{m}_{CO_2_{b100in}}$	0,0059	kg/s
$\dot{m}_{CO_2_{b100out}}$	0,0059	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{b100in}}$	0,1129	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{b100outup}}$	0,1254	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{b100reac}}$	0,0054	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in}}}$	0,0162	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{sprcha_{b100in2}}}$	0,0081	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100outdown}}$	0,0291	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100outup}}$	0,0148	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{b100reac}}$	0,0294	kg/s
$\dot{m}_{H_2SO_4_{sprcha_{b100in}}}$	0,0148	kg/s
$\dot{m}_{SO_3_{b100in}}$	0,0238	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b100in}}$	5,4595	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{b100out}}$	5,4595	kg/s
$pocitadlo_{b100A}$	0	-
$pocitadlo_{b100B}$	293	-
\dot{Q}_{b100in}	$1,79 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{b100outdown}$	$6,89 \cdot 10^3$	W
$\dot{Q}_{b100outup}$	$6,74 \cdot 10^5$	W
$\dot{Q}_{H_2O_{togas_{b100}}}$	$4,1 \cdot 10^4$	W
$\dot{Q}_{reac_{b100}}$	$3,97 \cdot 10^4$	W
T_{b100in}	250	°C
$T_{b100outdown}$	230	°C
$T_{b100outup}$	61	°C
$T_{sprcha_{b100in}}$	50	°C
$\dot{V}_{H_2O_{b100in}}$	406	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{b100outup}}$	451	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{b100reac}}$	19,4	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{sprcha_{b100in2}}}$	29,3	dm ³ /h
$\dot{V}_{H_2O_{H_2SO_4_{sprcha_{b100in}}}}$	$1,61 \cdot 10^{-5}$	m ³ /h
$\dot{V}_{H_2SO_4_{b100out}}$	57,4	dm ³ /h
$\Delta \dot{Q}_{w100inout}$	$1,10 \cdot 10^6$	W

$h_{H_2O_{w100in}}$	2 564 370	J/kg
$h_{H_2O_{w100out}}$	2 801 000	J/kg
$\dot{m}_{CS_2_{w100in}}$	0,0102	kg/s
$\dot{m}_{CS_2_{w100out}}$	0,0102	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w100in}}$	0,1118	kg/s
$\dot{m}_{H_2O_{w100out}}$	0,1118	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w100in}}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	kg/s
$\dot{m}_{H_2S_{w100out}}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w100in}}$	5,4785	kg/s
$\dot{m}_{vzd_{w100out}}$	5,4785	kg/s
\dot{Q}_{w100in}	$4,57 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{w100out}$	$1,56 \cdot 10^6$	W
T_{w100in}	30	°C
$T_{w100out}$	220	°C

Tabulka 18 Bilance kyselinové kolony B100 a výměníku W100

V bilanci kyselinové kolony je značné množství hodnot a výpočtů. Při daných podmínkách mohou říci, že podle hodnoty pocitadlo_b100A algoritmus programu nenarazil na problém s vysokou teplotou. Dle hodnoty pocitadlo_b100B, které počítá počet iterací neodpovídalo množství vody a 480 krát se musel navýšit přírůstek hmotnostního toku od referenční hodnoty. Aby se splnily podmínky, hmotnostní tok vody, která se připojuje do hlavního toku sprchy je tedy 0,0133 kg/s.

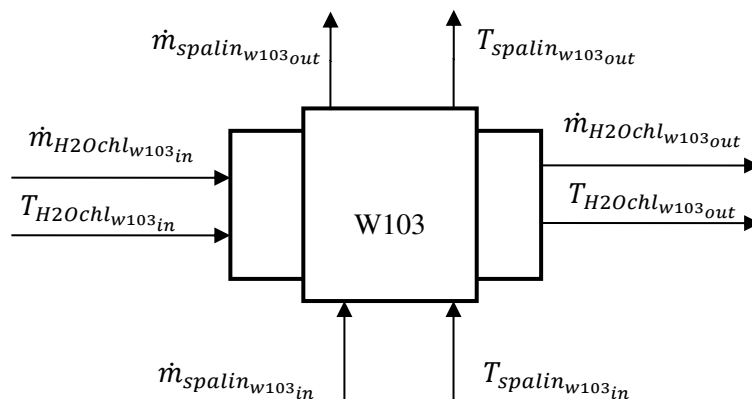
Sklotrubkový výměník by měl přenést 1,1 megawatty. Výstupní teplota zpracovaného vzduchu je necelých 56°C. Tato teplota reprezentuje složitou bilanci celé kolony, z toho důvodu nemusí být přesná. V zařízení Sulfox bilance kyselinové kolony neodpovídala dle skutečných hodnot o přibližně 45 kW. Dále je třeba si uvědomit, zda protiproudý výměník dokáže snížit teplotu na tak nízkou hodnotu. Vstupní teplota nezpracovaného větracího vzduchu je 35°C, diference je tedy přibližně 20 °C .

V kyselinové koloně se při vstupních koncentracích vyrobí 57 litrů kyseliny sírové za hodinu. Při výrobě vzniká reakční tepelný výkon odpovídající 39 kW.

Tepelný výkon opouštějícího větracího vzduchu odpovídá 656 kW. Vstupní výkon větracího vzduchu na počátku je 457 kW. Při odečtení těchto hodnot získáme hodnotu, která reprezentuje zmařený výkon. Hodnota odpovídá přibližně 200 kW.

6.3.8 Bilance přehříváku W103

V přehříváku se sytá vodní pára vystupující z výparníku K10 přehřívá pomocí zbytkového tepla ve spalinách.



Obrázek 32 Bilanční schéma přehříváku W103

Pro teploty a hmotnostní toky platí:

$$T_{H2Ochl_{w103in}} = T_{H2Ochl_{w102out}}$$

$$T_{spalin_{w103in}} = T_{spalin_{w101out}}$$

$$\dot{m}_{H2Ochl_{w103in}} = \dot{m}_{H2Ochl_{w102in}}$$

$$\dot{m}_{spalin_{w103in}} = \dot{m}_{spalin}$$

$$\dot{m}_{spalin_{w103out}} = \dot{m}_{spalin_{w103in}}$$

Výpočet je zde komplikovanější z důvodu vodní páry, která je přehřívána. Výsledkem je výsledná teplota spalin na výstupu z přehříváku. Výpočet je proveden pomocí algoritmu podobnému z již provedených výpočtů přehřáté páry. Vstupem je zde požadovaná teplota vodní páry na výstupu, z které se vypočítává potřebný výkon a v závislosti na výkonu teplota spalin. V programu se využívají tyto rovnice:

Pro diferenci výkonů páry platí:

$$\Delta\dot{Q}_{w103inout} = (h_{H2Ochl_{w103out}} - h_{H2Ochl_{w103in}}) \cdot \dot{m}_{H2Ochl_{w103in}}$$

Pro výpočet teploty spalin:

$$T_{spalin_{w103out}} = T_{spalin_{w103in}} - \left(\frac{\Delta \dot{Q}_{w103inout}}{\dot{m}_{spalin_{w103in}} \cdot c_{spal}} \right)$$

Tepelné výkony odpovídají tedy:

$$\dot{Q}_{spalin_{w103in}} = \dot{Q}_{spalin_{w101out}}$$

$$\dot{Q}_{spalin_{w103out}} = \dot{m}_{spalin_{w103out}} \cdot c_{spal} \cdot T_{spalin_{w103out}}$$

$$\dot{Q}_{H2Ochl_{w103out}} = \dot{Q}_{H2Ochl_{w103in}} + \Delta \dot{Q}_{w103inout}$$

Dle programu při daných podmínkách teplota spalin poklesne na 218 °C. Požadovaná teplota vodní páry je 210 °C. Další využití zbytkového tepla ze spalin je pro ohřev užitkové vody a chladného vodního kondenzátu, které jsem zde již nepočítal.

```

1 mw103 = [130 140 160 180 200 220 240 260;%tabulky pary s teplotamy pro tlak 0,3MPa
2         2720 2748 2789 2830 2870 2910 2951 2991]
3
4 mw103=transpose(mw103)
5 T=T_H2Ochl_w103_in
6
7 p=1
8 while T>=mw103(p,1)
9     p=p+1
10 end
11 interpolAw103T=mw103(p,1)
12 interpolAw103h=mw103(p,2)
13 interpolBw103T=mw103(p-1,1)
14 interpolBw103h=mw103(p-1,2)
15 h_H2Ochl_w103_in=(interpolBw103h+(T-interpolBw103T)*((interpolAw103h-
interpolBw103h)/(interpolAw103T-interpolBw103T)))*1000
16 Q_H2Ochl_w103_in=m_H2Ochl_w103_in*h_H2Ochl_w103_in
17 T=T_H2Ochl_w103_out
18 p=1
19 while T>=mw103(p,1)
20     p=p+1
21 end
22 interpolAw103T=mw103(p,1)
23 interpolAw103h=mw103(p,2)
24 interpolBw103T=mw103(p-1,1)
25 interpolBw103h=mw103(p-1,2)
26
27 h_H2Ochl_w103_out=(interpolBw103h+(T-interpolBw103T)*((interpolAw103h-
interpolBw103h)/(interpolAw103T-interpolBw103T)))*1000
28 deltaQ_w103_inout=(h_H2Ochl_w103_out-h_H2Ochl_w103_in)*m_H2Ochl_w103_in

```

Obrázek 33 Algoritmus výpočtu přehříváku W103

Označení	Hodnota	Jednotka
$\Delta\dot{Q}_{w103inout}$	$6,18 \cdot 10^4$	W
$h_{H_2Ochl_{w103in}}$	$2,75 \cdot 10^6$	J/kg
$h_{H_2Ochl_{w103out}}$	2 890 000	J/kg
$\dot{m}_{H_2Ochl_{w103in}}$	0,4345	kg/s
$\dot{m}_{spalin_{w103in}}$	4,7756	kg/s
$\dot{m}_{spalin_{w103out}}$	4,7756	kg/s
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{w103in}}$	$1,19 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{H_2Ochl_{w103out}}$	$1,26 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{spalin_{w103in}}$	$1,16 \cdot 10^6$	W
$\dot{Q}_{spalin_{w103out}}$	$1,46 \cdot 10^6$	W
$T_{H_2Ochl_{w103in}}$	139,93	°C
$T_{H_2Ochl_{w103out}}$	210	°C
$T_{spalin_{w103in}}$	227,41	°C
$T_{spalin_{w103out}}$	218,17	°C

Tabulka 19 Bilance přehříváku W103

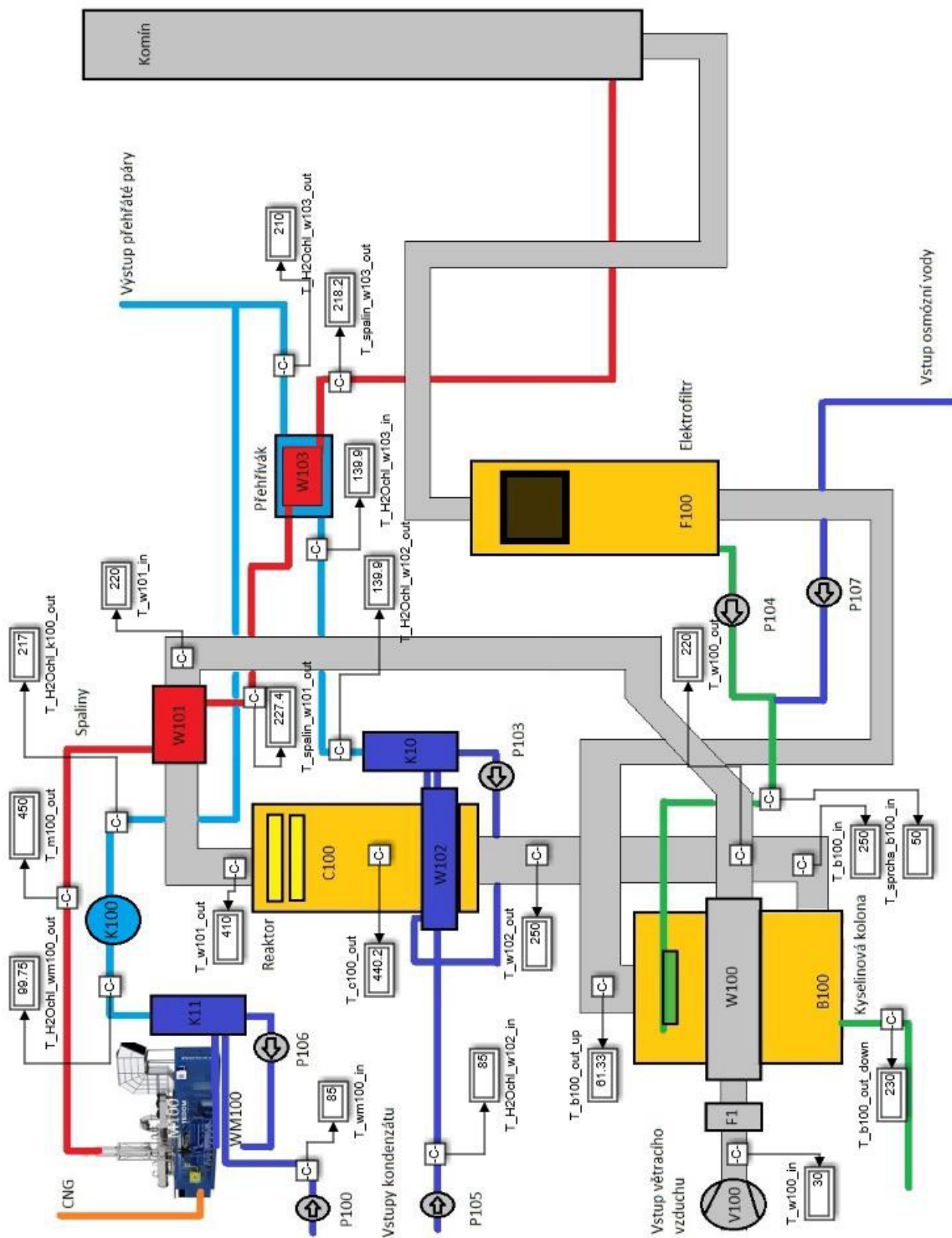
Výpočet odhalil potřebný výkon, který se vysdílí přes výměník. Výkon odpovídá pouze 61 kW. Zde je vidět, že vodní pára má malou tepelnou kapacitu a pro ohřívání není potřeba takový výkon. Výkon, který je obsažený ve spalínách, odpovídá ještě 1,46 MW, které jak jsem popsal výše se využijí na ohřev užitkové vody a chladného kondenzátu. Využitelnost je samozřejmě jen omezená v důsledku nízké teploty.

6.3.9 Bilance celkového zařízení

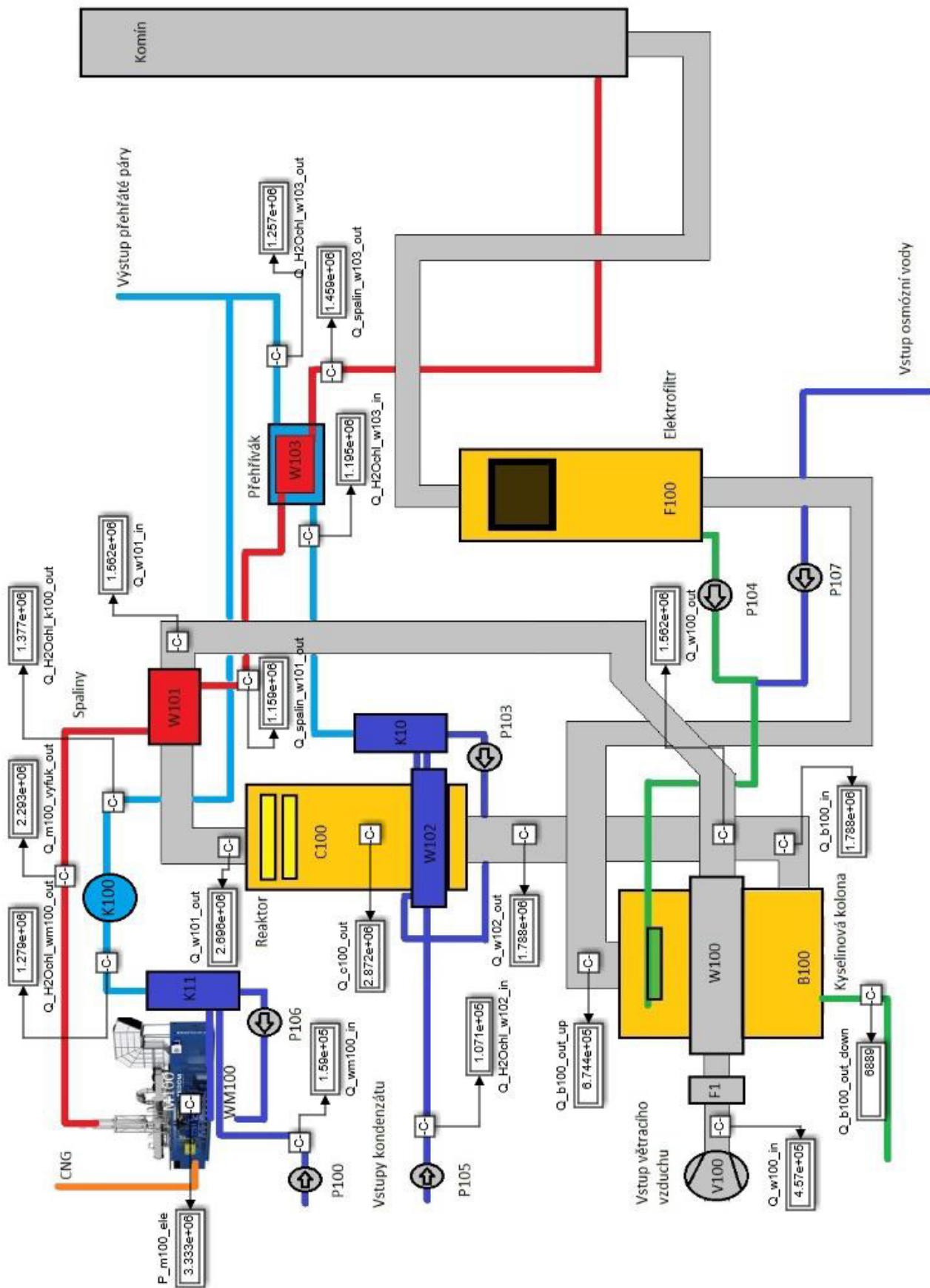
V této kapitole uvedu shrnutá data do schémat, která jsem vytvořil. Grafické výstupy jsem vytvořil v softwaru Matlab v balíčku Simulink, kde jsem se později pokoušel i o dynamický model.

První schéma obsahuje provozní teploty (Obrázek 33). Druhé schéma reprezentuje absolutní tepelné výkony a difference výkonů (Obrázek 34).

Součástí příloh jsou tabulky z celého zařízení, naprogramovaný zdrojový kód pro libovolné koncentrace, schémata s teplotami, energiemi a hmotnostními toky pro různé koncentrace škodlivin obsažených ve větracím vzduchu na formátu A3.



Obrázek 34 Celková bilance nového zařízení - teploty



Obrázek 35 Celková bilance nového zařízení - výkony

7 Porovnání současného a navrhovaného zařízení

V této kapitole porovnávám staré a nové zařízení a reprezentuji důležité poznatky a myšlenky.

7.1 Technické porovnání

Nové zařízení je koncepčně odlišné od zařízení Sulfox. Je ovlivněno požadavky firmy především na výrobu elektrického proudu a vodní páry. Výsledkem je kombinace různých zařízení. Porovnání je tedy dosti komplikované. Jedním z hlavních problémů zařízení Sulfox je ohřívací solný výměník před hořákovou komorou, kde se nesdílí takové množství tepla, jaké by bylo potřeba. Je zřejmé, že tento výměník je poddimenzován. Otázkou je regulace v tak složitém zařízení. Pokud by se výměník optimalizoval, mohlo by dojít k přehřátí vzdušiny při vyšších koncentracích sirných sloučenin větracího vzduchu. Přebytečné teplo se bez využití vypouští do atmosféry. Regulace je zde velice obtížná.

Nové zařízení jsem chtěl koncepčně změnit, zejména již zmíněný solný okruh, který je velice problematický i z pohledu údržby a provozu. Solný okruh a hořáková komora v novém zařízení chybí, jejich funkci nahradily výměník W101 za použití výfukových plynů z pístového spalovacího motoru a výměníku W102 na výrobu vodní páry. V systému je zřejmé, že u výměníku W101, který ohřívá nezpracovaný větrací vzduch na požadovanou teplotu, není potřeba měnit významně výkon, který sdílí při odlišných koncentracích. V případě reaktoru a následného výměníku W102, kde má velmi velký vliv koncentrace sirných sloučenin v důsledku chemické reakce a vzniku tepla se rozdílné teplo velmi dobře reguluje již zmíněným výměníkem W102, který vždy sníží teplotu na požadovanou hodnotu. Vedlejším jevem je zvýšená výroba vodní páry. V zařízení Sulfox se teplo přidávané spálením zemního plynu po zpracování vypustí do atmosféry.

Koncepčně podobná u obou zařízení je kyselinová kolona, která se řídí pouze nátokem osmózní vody. V praxi ověřený způsob regulace je bez větších problémů.

Při návrhu nového zařízení jsem musel neustále myslet na provozuschopnost jednotlivých částí zařízení při poruše jednoho z nich. Při výpadku kyselinové kolony, či reaktoru dojde k zastavení výroby vodní páry z výparníku K10, ale neustále bude pracovat spalovací motor s generátorem a výroba elektrického proudu a vodní páry z výparníku K11. Při poruše spalovacího motoru je nutné dodat teplo do systému, které by se dalo realizovat spalováním zemního plynu hořákem ve výfukovém potrubí před výměníkem W101. Jednalo by se o nouzové řešení pro běh zpracování sirných sloučenin. Dále by se tedy produkovala vodní pára a kyselina sírová.

7.2 Ekologické porovnání

Z ekologického hlediska je nové zařízení velice podobné stávajícímu zařízení Sulfox. Při snaze zvýšit kapacitu zpracovaného větracího vzduchu se na komíně zákonitě sníží koncentrace a do atmosféry se nebude vypouštět takové množství sirných sloučenin. Další výhodou spojenou s koncentracemi je přírůstek zachování síry ve výrobě, která se zpět vrací ve formě kyseliny sírové. Nevýhodou je výrazné zvýšení spotřeby zemního plynu, který při spálení produkuje oxid uhličitý a v malém množství oxidy dusíku, které musí plnit již zmíněný zákon o ochraně ovzduší. Výrobce motoru deklaruje splnění tohoto zákona.

Výhodou nového systému je, že spálením zemního plynu se lépe využije teplo. U zařízení Sulfox se spalné teplo bez využití předá do atmosféry.

7.3 Ekonomické porovnání

V této kapitole shrnuji a porovnávám ekonomii ročního a víceletého provozu zařízení. Do ekonomické bilance je potřeba zahrnout spotřebu zemního plynu, výrobu vodní páry, výrobu kyseliny sírové a v neposlední řadě výrobu elektrické energie.

Nejdříve zavedu přepočtové koeficienty pro různé druhy energie, které budou pro lepší přehlednost vztaženy na jednu megawattu.

Druh energie	Počet watthodin	Cena (Kč)
Elektrická energie	1 MWh	2.000
Vodní pára	1 MWh	828
Elektrická energie pomocí PSM (bez využití zbytkového tepla)	1 MWh	1.474
Energie ve formě spalování CNG	1 MWh	653

Tabulka 20 Ceny za 1MWh

Z tabulky je patrné, že nejlevnější druh energie je ve spalování zemního plynu. Nejdražší je elektrická energie odebíraná ze sítě. Kompromis tvoří spalovací motor s generátorem. Jako druhý nejlevnější zdroj energie je vodní pára. Zde bych chtěl upozornit, že zařízení využívá ještě zbytkové teplo ve spalinách a reakční teplo. Z tohoto důvodu nelze surově s těmito cenami počítat.

Nové zařízení má velkou výhodu v tom, že při vysokých koncentracích stoupá výroba páry, u zařízení Sulfox nikoliv. Pro demonstraci jsem matematický model podrobil různým koncentracím a výstupy jsem vložil do tabulky.

Název	Sulfox 1	Nové zařízení (koncentrace 2100 CS ₂ ,230 H ₂ S)	Nové zařízení (koncentrace 3000 CS ₂ ,1000 H ₂ S)	Nové zařízení (koncentrace 5000 CS ₂ ,2500 H ₂ S)
Spotřeba plynu (m ³ /h)	100	624	624	624
Spotřeba plynu za rok (m ³ /rok)	8 76 000	5 466 240	5 466 240	5 466 240
Cena plynu v korunách za rok (Kč/rok)	7.008.000	43.729.920	43.729.920	43.729.920
Výroba kyseliny sírové za hodinu (dm ³ /h)	90	57	101	191
Výroba kyseliny sírové za rok (m ³ /rok)	855	499,32	884,76	1 673
Cena kyseliny v korunách za rok (Kč/rok)	-2.087.400	-1.219.041	-2.160.056	-4.084.858
Energie - elektrický výkon (Kč/rok)	1.000.000	-55.394.160	-55.394.160	-55.394.160
Energie - vodní pára (Kč/rok)	0	-16.649.000	-17.499.000	-19.255.000
Celková cena v korunách za rok (Kč/rok)	5.920.600	-29.532.282	-31.323.296	-35.004.098
Celková cena v korunách za 4 roky (Kč)	23.682.400	-118.129.126	-125.293.185	-140.016.395
Celková cena v korunách za 5 let (Kč)	29.603.000	-147.661.408	-156.616.481	-175.020.493

Tabulka 21 Ekonomická bilance

Z výpočtů je patrné, že nové zařízení není ztrátové. Zařízení Sulfox 1 vyjde za pět let na přibližně třicet milionů korun. Nové zařízení se stejnými koncentracemi vytvoří zisk okolo 147 milionů korun za pět let. Zkoncentrování sirmých sloučenin by mělo významný vliv na celkový zisk celého zařízení, které by se dostalo na přibližně 175 milionů korun, při podmínkách jako má Sulfox 2.

Otázkou je zde cena zemního plynu, která by mohla být ještě nižší v důsledku vyššího odběru od poskytovatele pro spalovací motor.

V této bilanci jsou obsaženy spotřeby elektrického proudu, ale údržby a odstávky nikoliv. Tento výpočet je čistě orientační, jelikož se ceny komodit na trhu velmi mění a zařízení se nemůže provozovat celý rok 24 hodin denně.

Důležitou otázkou je pořizovací cena celého zařízení. Výslednou cenu nedokážu odhadnout, ale myslím si, že by mohla být nižší než sto milionů korun. Z toho lze usoudit, že návratnost by mohla být přibližně 4 roky při nízké koncentraci sirných sloučenin obsažených ve větracím vzduchu a 3 roky při vysokých koncentracích.

7.4 Shrnutí výhod a nevýhod

Nové zařízení je velmi komplexní a složité. Složitost systému udává i náročnou údržbu a regulaci. Velkou výhodou bych viděl v dobře využitém teple a velmi dobré reakci systému na změnu koncentrací složení ve větracím vzduchu.

Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a velké objemové toky energií. Otázkou je výhled do budoucna ohledně cen komodit, které nejsou stabilní.

Závěr

Po seznámení se s technologiemi odstraňování sirných sloučenin mohu říci, že současné zařízení je vhodně použito pro provozní podmínky. Vyčerpávající kapitola, kde jsem celé současné zařízení musel pochopit a zbilancovat byla velmi časově náročná, ale velmi prospěšná. Dozvěděl jsem se velmi důležité technologické a provozní informace. V zařízení jsem našel mnoho nesrovnalostí ohledně špatného hospodaření s teplem. To způsobuje vysoké spotřeby zemního plynu a špatné řízení v kyselinové komoře. Na tyto nedostatky jsem upozornil a navrhl vylepšení.

Dalším cílem diplomové práce bylo vytvořit úplně nové zařízení, které by plnilo požadavky podniku. Největším problémem bylo vytvoření správného uspořádání, aby využití tepla bylo optimální. Tato problematika byla nejvíce časově náročná v důsledku velkého množství dat a následného porovnávání. Dalším problémem bylo určení kapacity celého zařízení, které bylo závislé na mnoha faktorech. V novém zařízení jsem musel vybrat vhodný spalovací motor s generátorem, který by splňoval dané požadavky. Většina zbytkového tepla se využívá k výrobě vodní páry, která je pro podnik velmi potřebná. Výhodou tohoto řešení je velmi dobré řízení a velmi dobrý přestup tepla do vodního kondenzátu. Nové zařízení pracuje na principu katalytické oxidace podobně jako staré zařízení. Výhodou nové koncepce je kombinace různých technologií a lepší využití energií. Bilanční výpočty byly vypočteny pomocí softwaru Matlab, Excel a Simulink.

Dalším úkolem bylo celkové porovnání, kde se zejména ověřovala ekonomie provozu. Dle hlavního požadavku a výpočtu není nové zařízení ztrátové. Za pět let provozu nového zařízení by úspory mohly dosáhnout až 175 milionu korun.

Výsledkem práce jsou bilanční schémata s tepelnými výkony a teplotami pro různé koncentrace, tabulky s hodnotami a zdrojový kód nového i starého zařízení s nastavitelnými koncentracemi.

Tato práce poskytuje důležité informace, které povedou k následným rozhodnutím firmy. Diplomová práce je pro podnik podnětem k rekonstrukci současných zařízení a navrhuje nové optimalizované zařízení s lepšími ekonomickými a ekologickými výsledky.

Zdroje

Monografie:

- [1] ALAN E. COMYNS. *Encyclopedic dictionary of named processes in chemical technology*. Fourth edition. S.l.: Crc Press, 2014. ISBN 1466567767.
- [2] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [3] EDITED BY EMILSON PEREIRA LEITE. *MATLAB :modelling, programming and simulations*. Rijeka: Sciyo, 2010. ISBN 9533071257.
- [4] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 8024734753.
- [5] KRUTIL, Jaroslav a Milada KOZUBKOVÁ. *Modelování přestupu tepla ve výměnících - sbírka příkladů: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011. ISBN 978-80-248-2712-4.
- [6] MORAVEC, Jan. *Návrh kogenerační jednotky pro průmyslový areál*. Diplomová práce. Praha 2016. ČVUT Praha. Fakulta elektrotechnická. Dostupné na: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65314/F3-DP-2016-Moravec-Jan-00-Navrh_kogeneracni_jednotky_pro_prumyslovy_areal_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [7] PERRY, Robert H. a Don W. GREEN. *Perry's chemical engineers' handbook*. 8th ed. 1. New York: McGraw-Hill, c2008. ISBN 978-0071422949.
- [8] PETŘÍKOVÁ, Markéta a Pavel KRYŠTŮFEK. *Tabulky a diagramy pro termodynamiku*. Vyd. 5. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-7372-945-5.
- [9] SCHREIBEROVÁ, Lenka. *Chemické inženýrství I*. Vyd. 3., rozš. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 978-80-7080-778-1.

- [10] STEVEN T. KARRIS. *Signals and systems with MATLAB computing and simulink modeling*. 3rd ed. Norwood Mass: Books24x7.com, 2007. ISBN 0974423998.
- [11] TEDOM, a.s. Kogenerační jednotky. Firemní technická dokumentace.
- [12] VDI heat atlas. 2nd ed. New York: Springer, 2010. ISBN 3540778764.
- [13] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. 1. 9. 2012.

www stránky:

- [13] H2S and SO2 removal and possible valorization. *Slideshare.net* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/SergeVigneron/h2-s-and-so2-removal-and-possible-valorization>
- [14] 6. Balance energie v reagujících soustavách. Modely homogenních reaktorů v neisotermním režimu. *Vscht.cz* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: https://web.vscht.cz/~bernauem/vyuka/Kapitola_6.pdf

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vstupní data z řídicího systému	46
Tabulka 2 Ekonomika provozu	47
Tabulka 3 Bilance W510.....	53
Tabulka 4 bilance B500.....	55
Tabulka 5 bilance C600.....	58
Tabulka 6 bilance W630	60
Tabulka 7 Bilance kyselinové kolony B400 a W401	66
Tabulka 8 Bilance chlazení soli W850.....	66
Tabulka 9 Atributy motoru.....	75
Tabulka 10 Atributy generátoru	75
Tabulka 11 Okrajové podmínky.....	76
Tabulka 12 Bilance motoru M100	78
Tabulka 13 Bilance výměníku WM100	82
Tabulka 14 Bilance kompresoru K100.....	83
Tabulka 15 Bilance výměníku W101	85
Tabulka 16 Bilance katalytického reaktoru C100	88
Tabulka 17 Bilance výměníku W102.....	93
Tabulka 18 Bilance kyselinové kolony B100 a výměníku W100.....	100
Tabulka 19 Bilance přehříváku W103	103
Tabulka 20 Ceny za 1MWh	107
Tabulka 21 Ekonomická bilance	108

Seznam obrázků

Obrázek 1 Baňka s viskózou	36
Obrázek 2 Vlákno na dutince	36
Obrázek 3 Ukázka vyhlášky o ochraně ovzduší.....	38
Obrázek 4 Schéma oxidační katalytické reakce a redukce.....	39
Obrázek 5 Schéma absorpční věže.....	40
Obrázek 6 Schéma adsorbace.....	40
Obrázek 7 Sulfox 1.....	44
Obrázek 8 Sulfox 2.....	44
Obrázek 9 Schéma Sulfox 1 z řídicího systému.....	45
Obrázek 10 Bilanční schéma reaktoru SO ₂	49
Obrázek 11 Bilanční schéma reaktoru SO ₃	50
Obrázek 12 Bilanční schéma soleného výměníku W510.....	51
Obrázek 13 Bilanční schéma hořákové kolony B500	53
Obrázek 14 Bilanční schéma reaktoru C600.....	56
Obrázek 15 Bilanční schéma solného výměníku W630.....	58
Obrázek 16 Bilanční schéma kyselinové kolony B400 a výměníku W401	61
Obrázek 17 Sklotrubkový výměník W401 (1)	68
Obrázek 18 Sklotrubkový výměník W401 (2)	68
Obrázek 19 Sulfox 1 bilance (výkony)	69
Obrázek 20 Schéma nového zařízení	72
Obrázek 21 Bilanční schéma spalovacího motoru M100.....	77
Obrázek 22 Bilanční schéma výměníku WM100.....	79
Obrázek 23 Algoritmus programu výpočtu množství páry výměník WM100.....	81
Obrázek 24 Výpočet výkonu kompresoru K100.....	82
Obrázek 25 Bilanční schéma výměníku W101	83
Obrázek 26 Bilanční schéma katalytického reaktoru C100	86
Obrázek 27 Bilanční schéma výměníku W102	89
Obrázek 28 Algoritmus výpočtu výměníku W102.....	91
Obrázek 29 Bilance kyselinové kolony B100 a výměníku W100.....	94
Obrázek 30 Algoritmus výpočtu kyselinové kolony B100 (2).....	97
Obrázek 31 Algoritmus výpočtu kyselinové kolony B100 (1).....	98
Obrázek 32 Bilanční schéma přehříváku W103.....	101
Obrázek 33 Algoritmus výpočtu přehříváku W103	102
Obrázek 34 Celková bilance nového zařízení - teploty.....	104
Obrázek 35 Celková bilance nového zařízení - výkony.....	105

Seznam příloh

1. Vytisknutá schémata nového zařízení pro různé koncentrace
2. Vytisknutý seznam dat pro různé koncentrace
3. Vytisknuté zdrojové kódy zařízení Sulfox a nového zařízení
4. Technický list kogenerační jednotky firmy TEDOM
5. DVD, kde se nachází bakalářská práce v PDF souboru, schémata v PDF souboru, excelové soubory se seznamy dat, zdrojové kódy, technický list kogenerační jednotky firmy TEDOM.
 - a. Diplomova_prace_2017_Matej_Filip.pdf
 - b. nove_zarizeni.m
 - c. novezarizeni_tploty_zvetseno.slx
 - d. novezarizeni_vykony_zvetseno.slx
 - e. seznam_s_daty.xlsx
 - f. sulfox_1.m
 - g. sulfox_1_energie.slx
 - h. Tploty_nizke_koncentrace.svg
 - i. Tploty_stredni_koncentrace.svg
 - j. Tploty_vysoka_koncentrace.svg
 - k. Vykony_nizke_koncentrace.svg
 - l. Vykony_stredni_koncentrace.svg
 - m. Vykony_vysoka_koncentrace.svg
 - n. zdrojovy_kod_nove_zarizeni.m.pdf
 - o. zdrojovy_kod_Sulfox_1.m.pdf
 - p. technicky_list_TEDOM.jpg

TCG2032V12_10500V_MZ80



Technical data

3333 kWel; 10500 V, 50 Hz; Natural gas, MN = 80

Design conditions

Comb. air temperature / rel. Humidity:	[°C] / [%]	25 / 60
Altitude:	[m]	100
Exhaust temp. after heat exchanger:	[°C]	120
NO _x Emission (tolerance - 8%):	[mg/Nm ³ @5%O ₂]	500

Fuel gas data: ²⁾

Methane number:	[-]	80
Lower calorific value:	[kWh/Nm ³]	10,17
Gas density:	[kg/Nm ³]	0,79
Standard gas:	Natural gas, MN = 80	

Genset:

Engine:	TCG2032V12	
Speed:	[1/min]	1000
Configuration / number of cylinders:	[-]	V / 12
Bore / Stroke / Displacement:	[mm]/[mm]/[dm ³]	260 / 320 / 204
Compression ratio:	[-]	12,0
Mean piston speed:	[m/s]	10,7
Mean lube oil consumption at full load:	[g/kWh]	0,3
Engine-management-system:	[-]	TEM EVO

Generator:	Marelli MJH 800 MB6	
Voltage / voltage range / cos Phi:	[V] / [%] / [-]	10500 / ±10 / 1
Speed / frequency:	[1/min] / [Hz]	1000 / 50

Energy balance

Load:	[%]	100	75	50
Electrical power COP acc. ISO 8528-1:	[kW]	3333	2500	1666
Engine jacket water heat:	[kW ±8%]	1120	818	577
Intercooler LT heat:	[kW ±8%]	297	204	149
Lube oil heat:	[kW ±8%]	381	312	279
Exhaust heat with temp. after heat exchanger:	[kW ±8%]	1779	1481	1148
Exhaust temperature:	[°C]	447	476	503
Exhaust mass flow, wet:	[kg/h]	17789	13531	9707
Combustion mass air flow:	[kg/h]	17192	13069	9371
Radiation heat engine / generator:	[kW ±8%]	171 / 80	165 / 70	164 / 64
Fuel consumption:	[kW+5%]	7650	5921	4315
Electrical / thermal efficiency:	[%]	43,6 / 42,9	42,2 / 44,1	38,6 / 46,5
Total efficiency:	[%]	86,5	86,3	85,1

System parameters ¹⁾

Ventilation air flow (comb. air incl.) with ΔT = 15K	[kg/h]	93900
Combustion air temperature minimum / design:	[°C]	5 / 25
Exhaust back pressure from / to:	[mbar]	30 / 50
Maximum pressure loss in front of air cleaner:	[mbar]	5
Zero-pressure gas control unit selectable from / to: ²⁾	[mbar]	20 / 200
Pre-pressure gas control unit selectable from / to: ²⁾	[bar]	0,5 / 10
Air bottle, volume / pressure	[dm ³] / [bar]	2000 / 30
Starter motor:	[dm ³ /s] / [bar]	800 / 16
Lube oil content engine / base frame:	[dm ³]	1450 / -
Dry weight engine / genset:	[kg]	18667 / 43100

Cooling system

Glycol content engine jacket water / intercooler:	[% Vol.]	0 / 35
Water volume engine jacket / intercooler:	[dm ³]	430 / 51
KVS / Cv value engine jacket water / intercooler:	[m ³ /h]	89 / 57
Jacket water coolant temperature in / out:	[°C]	78 / 90
Intercooler coolant temperature in / out:	[°C]	40 / 45
Engine jacket water flow rate from / to:	[m ³ /h]	74 / 95
Water flow rate engine jacket water / intercooler:	[m ³ /h]	82 / 55
Water pressure loss engine jacket water / intercooler:	[bar]	0,8 / 1,0
Lube oil temp. engine inlet max. / lube oil flow rate:	[°C] / [m ³ /h]	80 / 110

3332552EC

Frequency band	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	12.5k	16k	L _{WA} [dB(A)]	S [m ²]
Air-borne noise ³⁾	103	111	111	113	115	111	119	117	121	115	115	114	113	110	110	111	111	111	112	116	111	112	116	113	117	107	105	113	102	125	201
Exhaust noise ⁴⁾					139		140			137		135		130		128		126		117									137	16,9	

³⁾ DIN EN ISO 3746 ⁴⁾ DIN 45635-11 Appendix A (±3 dB) L_w: Sound power level S: Area of measurement surface (S₀=1m²)

Nove_zarizeni_nizke_koncentrace

Název	Hodnota
c_CNG	1725
c_CO2	843,7855
c_CO2_cat1_out	843,7855
c_CS2	994,6282
c_CS2_cat_1_in	994,6282
c_H2O	4200
c_H2S	1003
c_H2S_cat1_in	1003
c_H2SO4	1,02E+03
c_m100_spalin	1067
c_SO2	640
c_SO2_cat1_out	640
c_SO3	811,9
c_spal	1400
c_sul	1500
c_vzd	1034
cena_CNG_GJ_kc	181,4059
cena_CNG_m3	8
cena_ele_kwh	2
cena_MWh_CNG_ele_kc	1,47E+03
cena_para_1MWh	828
cena_para_lovochemie_GJ_kc	230
cena_para_tone	600
deltaH_CNG	49000000
deltaH_CS2	1,08E+03
deltaH_H2S	518
deltah_k100	220000
deltaH_SO2	196
deltaH_SO3	132,4
deltaQ_spalin_w101	1,13E+06
deltaQ_w100_outin	1,10E+06
deltaQ_w101_outin	1,13E+06
deltaQ_w102_inout	1,08E+06
deltaQ_w103_inout	6,19E+04
deltaQ_wm100_inout	1120000
eta_c100	0,8
eta_m100_gene	0,9839
fi_vzduch	0,9
h	2,74E+03
h_H2O_b100_in	3280000
h_H2O_b100_out	2608000
h_H2O_c100_in	3300000
h_H2O_c100_out	3330000
h_H2O_cat1_out	3300000
h_H2O_var110_w102	461000
h_H2O_vyparna_w102	2239000
h_H2O_w100_in	2564370
h_H2O_w100_out	2801000
h_H2O_w101_in	2801000

Nove_zarizeni_nizke_koncentrace

h_H2O_w101_out	3300000
h_H2O_w102_in	3330000
h_H2O_w102_out	3280000
h_H2Ochl_w103_in	2,75E+06
h_H2Ochl_w103_out	2890000
h100	5957
interpolAh	2782
interpolAm100h	2716
interpolAm100T	120
interpolAT	160
interpolAw103h	2910
interpolAw103T	220
interpolBh	2739
interpolBm100h	2676
interpolBm100T	100
interpolBT	140
interpolBw103h	2870
interpolBw103T	200
k_CS2	2100
k_H2S	220
lambda_m100	1,7203
Lvt	17,2
m	1,0e+06 *
M_CNG	0,0161
m_CNG_GJ	20,4082
m_CNG_m100_in	0,1561
M_CO2	0,044
m_CO2_b100_in	0,0059
m_CO2_b100_out	0,0059
m_CO2_c100_out	0,0059
m_CO2_w102_in	0,0059
m_CO2_w102_out	0,0059
m_CS2	0,0102
M_CS2	0,0761
m_CS2_c100_in	0,0102
m_CS2_w100_in	0,0102
m_CS2_w100_out	0,0102
m_CS2_w101_in	0,0102
m_CS2_w101_out	0,0102
m_H2O	0,1118
M_H2O	0,018
m_H2O_b100_in	0,1129
m_H2O_b100_out_up	0,1254
m_H2O_b100_reac	0,0054
m_H2O_c100_in	0,1118
m_H2O_c100_out	0,1129
m_H2O_sprcha_b100_in	0,0162
m_H2O_sprcha_b100_in_2	0,0081
m_H2O_w100_in	0,1118
m_H2O_w100_out	0,1118

Nove_zarizeni_nizke_koncentrace

m_H2O_w101_in	0,1118
m_H2O_w101_out	0,1118
m_H2O_w102_in	0,1129
m_H2O_w102_out	0,1129
m_H2Ochl_k100_in	0,4454
m_H2Ochl_w102_in	0,435
m_H2Ochl_w102_in_hour_tone	1,566
m_H2Ochl_w102_out	0,435
m_H2Ochl_w103_in	0,435
m_H2Ochl_wm100_in	0,4454
m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone	1,6034
m_H2S	0,0011
M_H2S	0,0341
m_H2S_c100_in	0,0011
m_H2S_w100_in	0,0011
m_H2S_w100_out	0,0011
m_H2S_w101_in	0,0011
m_H2S_w101_out	0,0011
M_H2SO4	0,0981
m_H2SO4_b100_out_down	0,0294
m_H2SO4_b100_out_up	0,0148
m_H2SO4_b100_reac	0,0294
m_H2SO4_sprcha_b100_in	0,0148
M_O2	0,032
m_para_hour_tone	3,1694
M_SO2	0,0641
m_SO2_c100_out	0,0192
M_SO3	0,0801
m_SO3_b100_in	0,024
m_SO3_c100_out	0,024
m_SO3_w102_in	0,024
m_SO3_w102_out	0,024
m_spalin	4,7756
m_spalin_w103_in	4,7756
m_spalin_w103_out	4,7756
m_vzd	5,4785
m_vzd_b100_in	5,4593
m_vzd_b100_out	5,4593
m_vzd_c100_in	5,4785
m_vzd_c100_out	5,4593
m_vzd_m100_in	4,6194
m_vzd_w100_in	5,4785
m_vzd_w100_out	5,4785
m_vzd_w101_in	5,4785
m_vzd_w101_out	5,4785
m_vzd_w102_in	5,4593
m_vzd_w102_out	5,4593
m100	2676 100
mw103	130 2720
oV_H2OH2SO4	50

Nove_zarizeni_nizke_koncentrace

p	6
P_k100_mech	9,80E+04
P_m100_ele	3333000
P_m100_mech_out	3,39E+06
pocitadlo_b100A	0
pocitadlo_b100B	293
podilH2O_vzduchkg_kg	0,02
Q_b100_in	1,79E+06
Q_b100_out_down	6,89E+03
Q_b100_out_up	6,74E+05
Q_c100_in	2,70E+06
Q_c100_out	2,87E+06
Q_CNG_m100_in	7650000
Q_H2Ochl_k100_out	1,38E+06
Q_H2Ochl_w102_in	107100
Q_H2Ochl_w102_in_mer	357000
Q_H2Ochl_w102_out_mer	2,74E+03
Q_H2Ochl_w103_in	1,20E+06
Q_H2Ochl_w103_out	1,26E+06
Q_H2Ochl_wm100_in	1,59E+05
Q_H2Ochl_wm100_out	1,28E+06
Q_H2Ochl_wm100_out_mer	2,68E+03
Q_H2Otogas_b100	4,10E+04
Q_m100_chlaz_out	1120000
Q_m100_IC_out	297000
Q_m100_IR_out	171000
Q_m100_olej_out	381000
Q_m100_vyfuk_out	2,29E+06
Q_m101_chlaz_out	1120000
Q_reac_b100	3,97E+04
Q_reac_c100	1,75E+05
Q_spalin_w101_out	1,16E+06
Q_spalin_w103_in	1,16E+06
Q_spalin_w103_out	1,46E+06
Q_sprcha_in	4,16E+03
Q_w100_in	4,57E+05
Q_w100_out	1,56E+06
Q_w101_in	1,56E+06
Q_w101_out	2,70E+06
Q_w102_in	2,87E+06
Q_w102_out	1,79E+06
ro_CNG	0,9
ro_CNG_m100	0,9
ro_CS2	1,2
ro_H2O	1000
ro_H2S	1,36
ro_H2SO4	1840
ro_sul	1800
ro_vzd	1,15
T	210

Nove_zarizeni_nizke_koncentrace

T_b100_in	250
T_b100_out_down	230
T_b100_out_up	61,3309
T_c100_in	410
T_c100_out	440,2094
T_H2Ochl_k100_in	99,7498
T_H2Ochl_k100_out	217
T_H2Ochl_w102_in	85
T_H2Ochl_w102_out	139,9136
T_H2Ochl_w102_out_poz	140
T_H2Ochl_w103_in	139,9136
T_H2Ochl_w103_out	210
T_H2Ochl_wm100_out	99,7498
T_H2Ochl_wm100_out_poz	100
T_m100_out	450
T_spalin_w101_in	450
T_spalin_w101_out	227,4075
T_spalin_w103_in	227,4075
T_spalin_w103_out	218,1528
T_sprcha_b100_in	50
T_w100_in	30
T_w100_out	220
T_w101_in	220
T_w101_out	410
T_w102_in	440,2094
T_w102_out	250
T_wm100_in	85
V_CNG_m100_in	0,1735
V_CNG_m100_in_hour	624,4898
V_H2O_b100_in	406,3498
V_H2O_b100_out_up	451,3696
V_H2O_b100_reac	19,426
V_H2O_sprcha_b100_in_2	29,3
V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in	1,61E-05
V_H2Ochl_w102_in	1,08
V_H2Ochl_wm100_in	1,6034
V_H2SO4_b100_out	57,4772
V_skod	17500
V_vzd	1,75E+04
zisk_celkem_4years_kc	2,77E+08
zisk_celkem_5years_kc	3,46E+08
zisk_celkem_year_kc	6,92E+07
zisk_ele_year_kc	52560000
zisk_para_year_kc	1,67E+07
ztrata_CNG_year_kc	1,22E+04

Nove_zarizeni_stred_koncentrace

Název	Hodnota
c_CNG	1725
c_CO2	843,7855
c_CO2_cat1_out	843,7855
c_CS2	994,6282
c_CS2_cat_1_in	994,6282
c_H2O	4200
c_H2S	1003
c_H2S_cat1_in	1003
c_H2SO4	1,02E+03
c_m100_spalin	1067
c_SO2	640
c_SO2_cat1_out	640
c_SO3	811,9
c_spal	1400
c_sul	1500
c_vzd	1034
cena_CNG_GJ_kc	181,4059
cena_CNG_m3	8
cena_ele_kwh	2
cena_MWh_CNG_ele_kc	1,47E+03
cena_para_1MWh	828
cena_para_lovochemie_GJ_kc	230
cena_para_tone	600
deltaH_CNG	49000000
deltaH_CS2	1,08E+03
deltaH_H2S	518
deltah_k100	220000
deltaH_SO2	196
deltaH_SO3	132,4
deltaQ_spalin_w101	1,14E+06
deltaQ_w100_outin	1,11E+06
deltaQ_w101_outin	1,14E+06
deltaQ_w102_inout	1,21E+06
deltaQ_w103_inout	6,83E+04
deltaQ_wm100_inout	1120000
eta_c100	0,8
eta_m100_gene	0,9839
fi_vzduch	0,9
h	2,74E+03
h_H2O_b100_in	3280000
h_H2O_b100_out	2608000
h_H2O_c100_in	3300000
h_H2O_c100_out	3330000
h_H2O_cat1_out	3300000
h_H2O_var110_w102	461000
h_H2O_vyparna_w102	2239000
h_H2O_w100_in	2564370
h_H2O_w100_out	2801000
h_H2O_w101_in	2801000

h_H2O_w101_out	3300000
h_H2O_w102_in	3330000
h_H2O_w102_out	3280000
h_H2Ochl_w103_in	2,75E+06
h_H2Ochl_w103_out	2890000
h100	5957
interpolAh	2782
interpolAm100h	2716
interpolAm100T	120
interpolAT	160
interpolAw103h	2910
interpolAw103T	220
interpolBh	2739
interpolBm100h	2676
interpolBm100T	100
interpolBT	140
interpolBw103h	2870
interpolBw103T	200
k_CS2	3000
k_H2S	1000
lambda_m100	1,7203
Lvt	17,2
m	1,0e+06 *
M_CNG	0,0161
m_CNG_GJ	20,4082
m_CNG_m100_in	0,1561
M_CO2	0,044
m_CO2_b100_in	0,0084
m_CO2_b100_out	0,0084
m_CO2_c100_out	0,0084
m_CO2_w102_in	0,0084
m_CO2_w102_out	0,0084
m_CS2	0,0146
M_CS2	0,0761
m_CS2_c100_in	0,0146
m_CS2_w100_in	0,0146
m_CS2_w100_out	0,0146
m_CS2_w101_in	0,0146
m_CS2_w101_out	0,0146
m_H2O	0,1118
M_H2O	0,018
m_H2O_b100_in	0,1167
m_H2O_b100_out_up	0,1373
m_H2O_b100_reac	0,0095
m_H2O_c100_in	0,1118
m_H2O_c100_out	0,1167
m_H2O_sprcha_b100_in	0,0284
m_H2O_sprcha_b100_in_2	0,0204
m_H2O_w100_in	0,1118
m_H2O_w100_out	0,1118

Nove_zarizeni_stred_koncentrace

m_H2O_w101_in	0,1118
m_H2O_w101_out	0,1118
m_H2O_w102_in	0,1167
m_H2O_w102_out	0,1167
m_H2Ochl_k100_in	0,4454
m_H2Ochl_w102_in	0,4794
m_H2Ochl_w102_in_hour_tone	1,7258
m_H2Ochl_w102_out	0,4794
m_H2Ochl_w103_in	0,4794
m_H2Ochl_wm100_in	0,4454
m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone	1,6034
m_H2S	0,0049
M_H2S	0,0341
m_H2S_c100_in	0,0049
m_H2S_w100_in	0,0049
m_H2S_w100_out	0,0049
m_H2S_w101_in	0,0049
m_H2S_w101_out	0,0049
M_H2SO4	0,0981
m_H2SO4_b100_out_down	0,0516
m_H2SO4_b100_out_up	0,0148
m_H2SO4_b100_reac	0,0516
m_H2SO4_sprcha_b100_in	0,0148
M_O2	0,032
m_para_hour_tone	3,3293
M_SO2	0,0641
m_SO2_c100_out	0,0337
M_SO3	0,0801
m_SO3_b100_in	0,0421
m_SO3_c100_out	0,0421
m_SO3_w102_in	0,0421
m_SO3_w102_out	0,0421
m_spalin	4,7756
m_spalin_w103_in	4,7756
m_spalin_w103_out	4,7756
m_vzd	5,4785
m_vzd_b100_in	5,4448
m_vzd_b100_out	5,4448
m_vzd_c100_in	5,4785
m_vzd_c100_out	5,4448
m_vzd_m100_in	4,6194
m_vzd_w100_in	5,4785
m_vzd_w100_out	5,4785
m_vzd_w101_in	5,4785
m_vzd_w101_out	5,4785
m_vzd_w102_in	5,4448
m_vzd_w102_out	5,4448
m100	2676 100
mw103	130 2720
oV_H2OH2SO4	50

Nove_zarizeni_stred_koncentrace

p	6
P_k100_mech	9,80E+04
P_m100_ele	3333000
P_m100_mech_out	3,39E+06
pocitadlo_b100A	306
pocitadlo_b100B	427
podilH2O_vzduchkg_kg	0,02
Q_b100_in	1,80E+06
Q_b100_out_down	1,21E+04
Q_b100_out_up	6,84E+05
Q_c100_in	2,70E+06
Q_c100_out	3,01E+06
Q_CNG_m100_in	7650000
Q_H2Ochl_k100_out	1,38E+06
Q_H2Ochl_w102_in	107100
Q_H2Ochl_w102_in_mer	357000
Q_H2Ochl_w102_out_mer	2,74E+03
Q_H2Ochl_w103_in	1,32E+06
Q_H2Ochl_w103_out	1,39E+06
Q_H2Ochl_wm100_in	1,59E+05
Q_H2Ochl_wm100_out	1,28E+06
Q_H2Ochl_wm100_out_mer	2,68E+03
Q_H2Otogas_b100	6,77E+04
Q_m100_chlaz_out	1120000
Q_m100_IC_out	297000
Q_m100_IR_out	171000
Q_m100_olej_out	381000
Q_m100_vyfuk_out	2,29E+06
Q_m101_chlaz_out	1120000
Q_reac_b100	6,96E+04
Q_reac_c100	3,07E+05
Q_spalin_w101_out	1,16E+06
Q_spalin_w103_in	1,16E+06
Q_spalin_w103_out	1,45E+06
Q_sprcha_in	6,72E+03
Q_w100_in	4,57E+05
Q_w100_out	1,56E+06
Q_w101_in	1,56E+06
Q_w101_out	2,70E+06
Q_w102_in	3,01E+06
Q_w102_out	1,80E+06
ro_CNG	0,9
ro_CNG_m100	0,9
ro_CS2	1,2
ro_H2O	1000
ro_H2S	1,36
ro_H2SO4	1840
ro_sul	1800
ro_vzd	1,15
T	210

Nove_zarizeni_stred_koncentrace

T_b100_in	250
T_b100_out_down	230
T_b100_out_up	57,6265
T_c100_in	410
T_c100_out	461,5393
T_H2Ochl_k100_in	99,7498
T_H2Ochl_k100_out	217
T_H2Ochl_w102_in	85
T_H2Ochl_w102_out	139,8242
T_H2Ochl_w102_out_poz	140
T_H2Ochl_w103_in	139,8242
T_H2Ochl_w103_out	210
T_H2Ochl_wm100_out	99,7498
T_H2Ochl_wm100_out_poz	100
T_m100_out	450
T_spalin_w101_in	450
T_spalin_w101_out	227,1035
T_spalin_w103_in	227,1035
T_spalin_w103_out	216,8862
T_sprcha_b100_in	50
T_w100_in	30
T_w100_out	220
T_w101_in	220
T_w101_out	410
T_w102_in	461,5393
T_w102_out	250
T_wm100_in	85
V_CNG_m100_in	0,1735
V_CNG_m100_in_hour	624,4898
V_H2O_b100_in	419,9996
V_H2O_b100_out_up	494,3272
V_H2O_b100_reac	34,0947
V_H2O_sprcha_b100_in_2	73,3
V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in	1,61E-05
V_H2Ochl_w102_in	1,08
V_H2Ochl_wm100_in	1,6034
V_H2SO4_b100_out	100,8786
V_skod	17500
V_vzd	1,75E+04
zisk_celkem_4years_kc	2,80E+08
zisk_celkem_5years_kc	3,50E+08
zisk_celkem_year_kc	7,00E+07
zisk_ele_year_kc	52560000
zisk_para_year_kc	1,75E+07
ztrata_CNG_year_kc	1,22E+04

Název	Hodnota
c_CNG	1725
c_CO2	843,7855
c_CO2_cat1_out	843,7855
c_CS2	994,6282
c_CS2_cat_1_in	994,6282
c_H2O	4200
c_H2S	1003
c_H2S_cat1_in	1003
c_H2SO4	1019,6
c_m100_spalin	1067
c_SO2	640
c_SO2_cat1_out	640
c_SO3	811,9
c_spal	1400
c_sul	1500
c_vzd	1034
cena_CNG_GJ_kc	181,4059
cena_CNG_m3	8
cena_ele_kwh	2
cena_MWh_CNG_ele_kc	1474,8
cena_para_1MWh	828
cena_para_lovochemie_GJ_kc	230
cena_para_tone	600
deltaH_CNG	49000000
deltaH_CS2	1076,9
deltaH_H2S	518
deltah_k100	220000
deltaH_SO2	196
deltaH_SO3	132,4
deltaQ_spalin_w101	1139000
deltaQ_w100_outin	1109700
deltaQ_w101_outin	1139000
deltaQ_w102_inout	1459800
deltaQ_w103_inout	81385
deltaQ_wm100_inout	1120000
eta_c100	0,8
eta_m100_gene	0,9839
fi_vzduch	0,9
h	2738,8
h_H2O_b100_in	3280000
h_H2O_b100_out	2608000
h_H2O_c100_in	3300000
h_H2O_c100_out	3330000
h_H2O_cat1_out	3300000
h_H2O_var110_w102	461000
h_H2O_vyparna_w102	2239000
h_H2O_w100_in	2564370
h_H2O_w100_out	2801000
h_H2O_w101_in	2801000

h_H2O_w101_out	3300000
h_H2O_w102_in	3330000
h_H2O_w102_out	3280000
h_H2Ochl_w103_in	2747800
h_H2Ochl_w103_out	2890000
h100	5957
interpolAh	2782
interpolAm100h	2716
interpolAm100T	120
interpolAT	160
interpolAw103h	2910
interpolAw103T	220
interpolBh	2739
interpolBm100h	2676
interpolBm100T	100
interpolBT	140
interpolBw103h	2870
interpolBw103T	200
k_CS2	5000
k_H2S	2500
lambda_m100	1,7203
Lvt	17,2
m	1,0e+06 *
M_CNG	0,0161
m_CNG_GJ	20,4082
m_CNG_m100_in	0,1561
M_CO2	0,044
m_CO2_b100_in	0,014
m_CO2_b100_out	0,014
m_CO2_c100_out	0,014
m_CO2_w102_in	0,014
m_CO2_w102_out	0,014
m_CS2	0,0243
M_CS2	0,0761
m_CS2_c100_in	0,0243
m_CS2_w100_in	0,0243
m_CS2_w100_out	0,0243
m_CS2_w101_in	0,0243
m_CS2_w101_out	0,0243
m_H2O	0,1118
M_H2O	0,018
m_H2O_b100_in	0,124
m_H2O_b100_out_up	0,1621
m_H2O_b100_reac	0,0179
m_H2O_c100_in	0,1118
m_H2O_c100_out	0,124
m_H2O_sprcha_b100_in	0,0538
m_H2O_sprcha_b100_in_2	0,0457
m_H2O_w100_in	0,1118
m_H2O_w100_out	0,1118

m_H2O_w101_in	0,1118
m_H2O_w101_out	0,1118
m_H2O_w102_in	0,124
m_H2O_w102_out	0,124
m_H2Ochl_k100_in	0,4454
m_H2Ochl_w102_in	0,5722
m_H2Ochl_w102_in_hour_tone	2,0599
m_H2Ochl_w102_out	0,5722
m_H2Ochl_w103_in	0,5722
m_H2Ochl_wm100_in	0,4454
m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone	1,6034
m_H2S	0,0122
M_H2S	0,0341
m_H2S_c100_in	0,0122
m_H2S_w100_in	0,0122
m_H2S_w100_out	0,0122
m_H2S_w101_in	0,0122
m_H2S_w101_out	0,0122
M_H2SO4	0,0981
m_H2SO4_b100_out_down	0,0976
m_H2SO4_b100_out_up	0,0148
m_H2SO4_b100_reac	0,0976
m_H2SO4_sprcha_b100_in	0,0148
M_O2	0,032
m_para_hour_tone	3,6634
M_SO2	0,0641
m_SO2_c100_out	0,0637
M_SO3	0,0801
m_SO3_b100_in	0,0797
m_SO3_c100_out	0,0797
m_SO3_w102_in	0,0797
m_SO3_w102_out	0,0797
m_spalin	4,7756
m_spalin_w103_in	4,7756
m_spalin_w103_out	4,7756
m_vzd	5,4785
m_vzd_b100_in	5,4148
m_vzd_b100_out	5,4148
m_vzd_c100_in	5,4785
m_vzd_c100_out	5,4148
m_vzd_m100_in	4,6194
m_vzd_w100_in	5,4785
m_vzd_w100_out	5,4785
m_vzd_w101_in	5,4785
m_vzd_w101_out	5,4785
m_vzd_w102_in	5,4148
m_vzd_w102_out	5,4148
m100	2676 100
mw103	130 2720
oV_H2OH2SO4	50

p	6
P_k100_mech	97988
P_m100_ele	3333000
P_m100_mech_out	3387500
pocitadlo_b100A	932
pocitadlo_b100B	714
podilH2O_vzduchkg_kg	0,02
Q_b100_in	1825400
Q_b100_out_down	22886
Q_b100_out_up	699610
Q_c100_in	2706400
Q_c100_out	3285200
Q_CNG_m100_in	7650000
Q_H2Ochl_k100_out	1377000
Q_H2Ochl_w102_in	107100
Q_H2Ochl_w102_in_mer	357000
Q_H2Ochl_w102_out_mer	2738,8
Q_H2Ochl_w103_in	1572300
Q_H2Ochl_w103_out	1653700
Q_H2Ochl_wm100_in	159010
Q_H2Ochl_wm100_out	1279000
Q_H2Ochl_wm100_out_mer	2675,5
Q_H2Otogas_b100	125020
Q_m100_chlaz_out	1120000
Q_m100_IC_out	297000
Q_m100_IR_out	171000
Q_m100_olej_out	381000
Q_m100_vyfuk_out	2293500
Q_m101_chlaz_out	1120000
Q_reac_b100	131740
Q_reac_c100	578810
Q_spalin_w101_out	1154000
Q_spalin_w103_in	1154000
Q_spalin_w103_out	1432700
Q_sprcha_in	12049
Q_w100_in	457740
Q_w100_out	1567400
Q_w101_in	1567400
Q_w101_out	2706400
Q_w102_in	3285200
Q_w102_out	1825400
ro_CNG	0,9
ro_CNG_m100	0,9
ro_CS2	1,2
ro_H2O	1000
ro_H2S	1,36
ro_H2SO4	1840
ro_sul	1800
ro_vzd	1,15
T	210

T_b100_in	250
T_b100_out_down	230
T_b100_out_up	49,2236
T_c100_in	410
T_c100_out	506,119
T_H2Ochl_k100_in	99,7498
T_H2Ochl_k100_out	217
T_H2Ochl_w102_in	85
T_H2Ochl_w102_out	139,9174
T_H2Ochl_w102_out_poz	140
T_H2Ochl_w103_in	139,9174
T_H2Ochl_w103_out	210
T_H2Ochl_wm100_out	99,7498
T_H2Ochl_wm100_out_poz	100
T_m100_out	450
T_spalin_w101_in	450
T_spalin_w101_out	226,4704
T_spalin_w103_in	226,4704
T_spalin_w103_out	214,2976
T_sprcha_b100_in	50
T_w100_in	30
T_w100_out	220
T_w101_in	220
T_w101_out	410
T_w102_in	506,119
T_w102_out	250
T_wm100_in	85
V_CNG_m100_in	0,1735
V_CNG_m100_in_hour	624,4898
V_H2O_b100_in	446,2493
V_H2O_b100_out_up	583,4642
V_H2O_b100_reac	64,5332
V_H2O_sprcha_b100_in_2	164,6
V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in	0,000016111
V_H2Ochl_w102_in	1,08
V_H2Ochl_wm100_in	1,6034
V_H2SO4_b100_out	190,9396
V_skod	17500
V_vzd	17500
zisk_celkem_4years_kc	287210000
zisk_celkem_5years_kc	359010000
zisk_celkem_year_kc	71802000
zisk_ele_year_kc	52560000
zisk_para_year_kc	19255000
ztrata_CNG_year_kc	12157

Název	Hodnota
alfa01	100
alfa02	100
ans	5,51E+06
c_CNG	1725
c_CO2	843,7855
c_CO2_cat1_out	843,7855
c_CS2	994,6282
c_CS2_cat_1_in	994,6282
c_H2O	4200
c_H2S	1003
c_H2S_cat1_in	1003
c_H2SO4	1,02E+03
c_PSM_spalin	1700
c_skod	1600
c_SO2	640
c_SO2_cat1_out	640
c_SO3	811,9
c_spal	900
c_sul	1500
c_vzd	1034
cena_H2SO4_kg	1,327
deltah_CNG	49000000
deltaH_CS2	1,08E+03
deltaH_H2S	518
deltaH_SO2	196
deltaH_SO3	132,4
deltaQ_b400w401	9,41E+03
deltaQ_inout_b500	1,27E+06
deltaQ_inout_w510	1,10E+06
deltaQ_sul_w510	9,94E+05
deltaQ_sul_w630	1710000
deltaQ_sul_w850_inout	792000
deltaQ_w401_outin	1,80E+06
deltaQ_w630_inout	1,73E+06
eta_c600	0,4379
eta_PSM_c	0,45
eta_PSM_dop	0,9
eta_PSM_teplo	0,5
fi_vzduch	0,9
h_H2O_b400_in	3000000
h_H2O_b500_in	3100000
h_H2O_b500_out	3300000
h_H2O_c600_in	3300000
h_H2O_c600_out	3330000
h_H2O_cat1_out	3300000
h_H2O_w401_in	2564370
h_H2O_w401_out	2915000
h_H2O_w510_in	2915000
h_H2O_w510_out	3100000

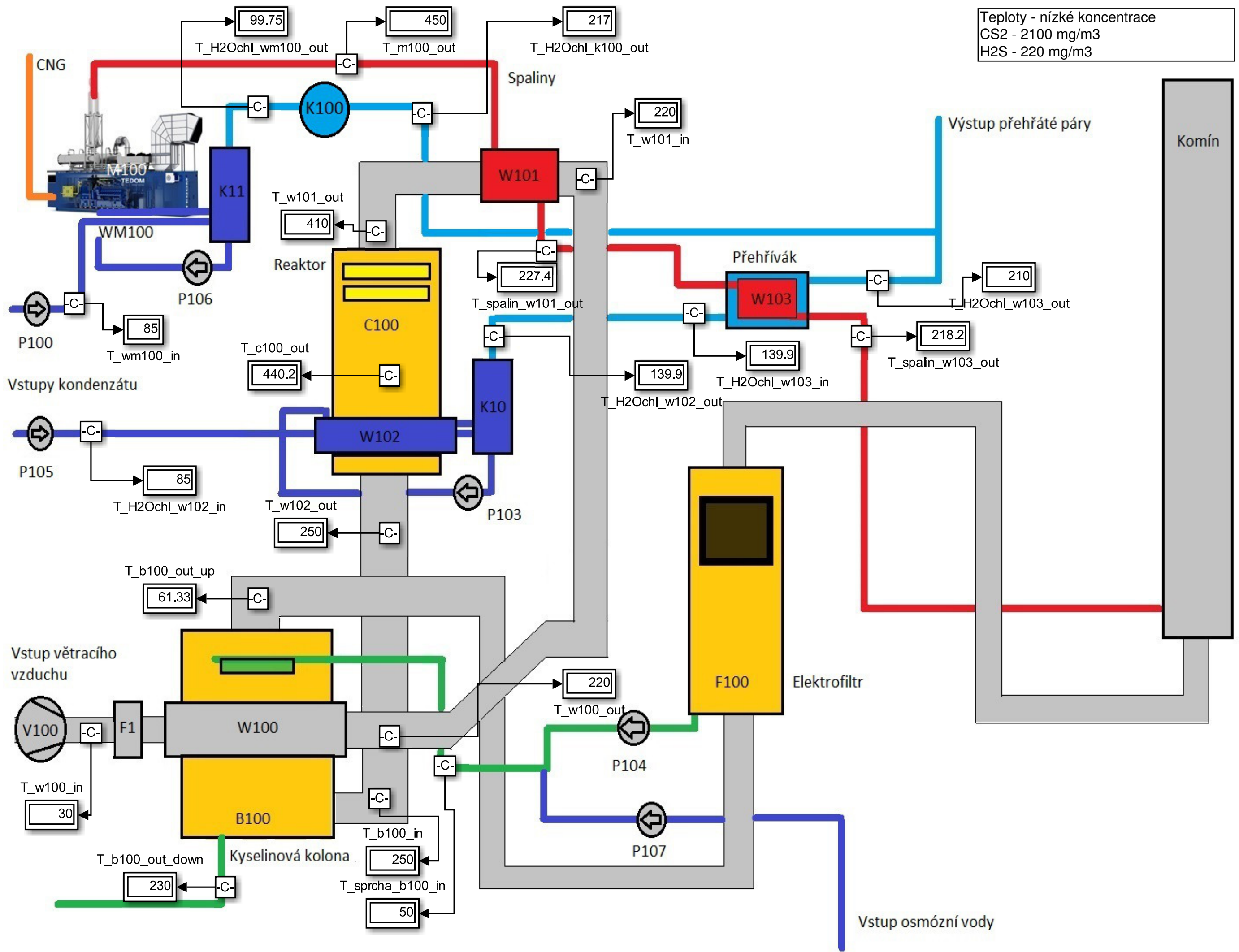
h_H2O_w630_in	3330000
h_H2O_w630_out	3000000
Hu	49000000
k_CS2	2100
k_H2S	200
lambda_PSM	15
M_CNG	0,0161
m_CNG_b500_in	0,025
M_CO2	0,044
m_CO2_b400_in	0,0786
m_CO2_b400_out	0,0786
m_CO2_b500_out	0,0685
m_CO2_c600_in	0,0685
m_CO2_c600_out	0,0786
m_CO2_w630_in	0,0786
m_CO2_w630_out	0,0786
m_CS2	0,0175
M_CS2	0,0761
m_CS2_b500_in	0,0175
m_CS2_b500_out	0,0175
m_CS2_c600_in	0,0175
m_CS2_w401_in	0,0175
m_CS2_w401_out	0,0175
m_CS2_w510_in	0,0175
m_CS2_w510_out	0,0175
m_H2O	0,1917
M_H2O	0,018
m_H2O_b400_out_up	0,2504
m_H2O_b400_reac	0,0092
m_H2O_b500_in	0,1917
m_H2O_b500_out	0,2478
m_H2O_c600_in	0,2478
m_H2O_c600_out	0,2494
m_H2O_sprcha_b400_in	0,0101
m_H2O_sprcha_b400_in_2	0,0014
m_H2O_w401_in	0,1917
m_H2O_w401_out	0,1917
m_H2O_w510_in	0,1917
m_H2O_w510_out	0,1917
m_H2O_w630_in	0,2494
m_H2O_w630_out	0,2494
m_H2Og_b400_in	0,2494
m_H2S	0,0017
M_H2S	0,0341
m_H2S_b500_in	0,0017
m_H2S_b500_out	0,0017
m_H2S_c600_in	0,0017
m_H2S_w401_in	0,0017
m_H2S_w401_out	0,0017
m_H2S_w510_in	0,0017

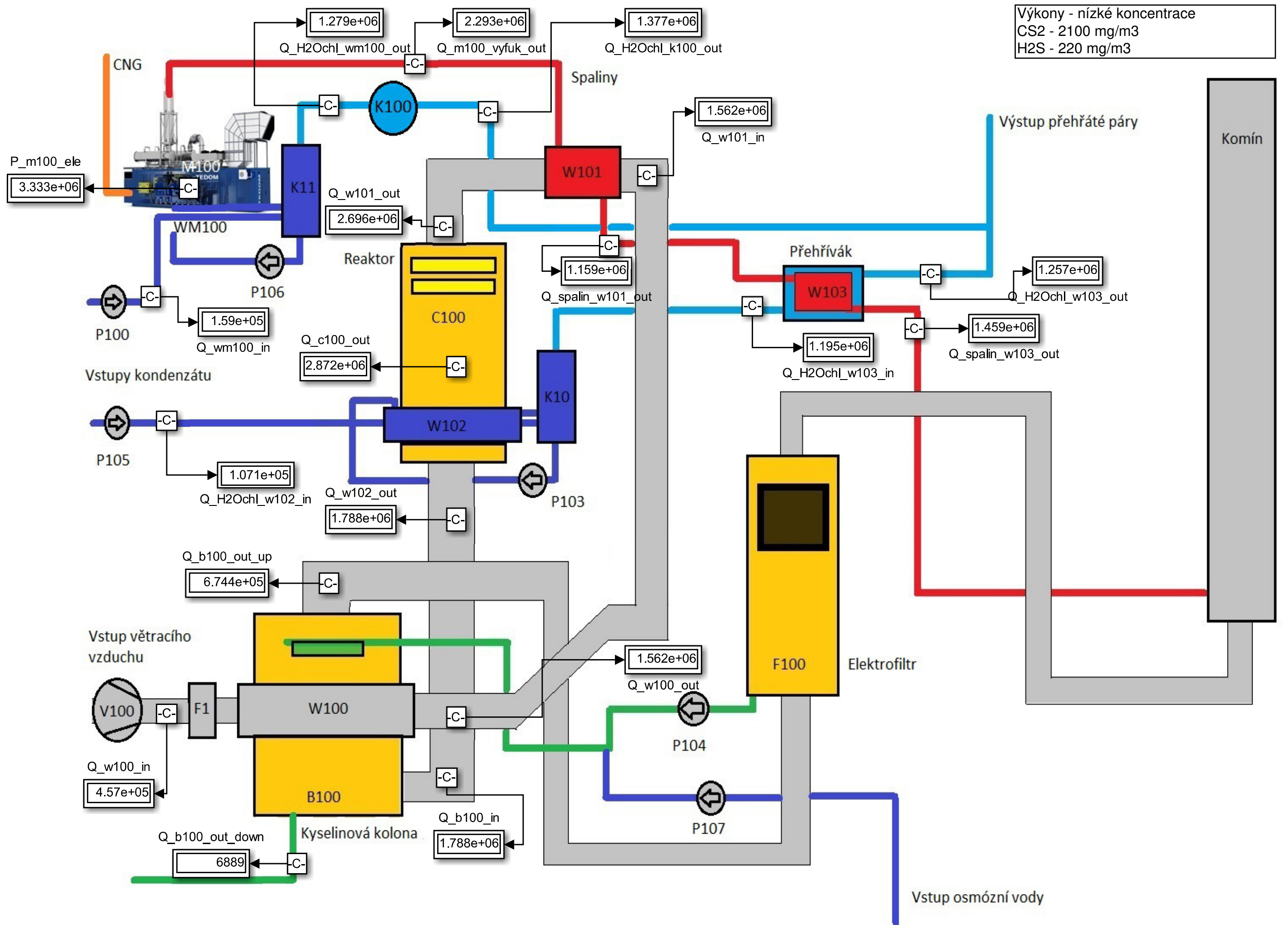
m_H2S_w510_out	0,0017
M_H2SO4	0,0981
m_H2SO4_b400_out_down	0,0499
m_H2SO4_b400_out_up	0,0161
m_H2SO4_b400_reac	0,0499
m_H2SO4_sprcha_b400_in	0,0161
M_O2	0,032
m_skod	10,8333
M_SO2	0,0641
m_SO2_c600_out	0,0326
M_SO3	0,0801
m_SO3_b400_in	0,0407
m_SO3_c600_out	0,0407
m_SO3_w630_in	0,0407
m_SO3_w630_out	0,0407
m_sul	12
m_vzd	9,3917
m_vzd_b400_in	9,2595
m_vzd_b400_out	9,2595
m_vzd_b500_in	9,3917
m_vzd_b500_out	9,292
m_vzd_c600_in	9,292
m_vzd_c600_out	9,2595
m_vzd_w401_in	9,3917
m_vzd_w401_out	9,3917
m_vzd_w510_in	9,3917
m_vzd_w510_out	9,3917
m_vzd_w630_in	9,2595
m_vzd_w630_out	9,2595
oV_H2OH2SO4	50
podilH2O_vzduchkg_kg	0,02
Q_b400_in	3,27E+06
Q_b400_in_down	3,26E+06
Q_b400_out_down	1,22E+04
Q_b400_out_up	7,61E+05
Q_b500_in	3,74E+06
Q_b500_out	5,01E+06
Q_c600_in	4,83E+06
Q_c600_out	4,99E+06
Q_H2Otogas_b400	7,51E+05
Q_reac_b400	6,73E+04
Q_reac_b500	1225000
Q_reac_c600	3,73E+05
Q_reac_c600_inout	1,63E+05
Q_sprcha_in	2,36E+03
Q_sul_w850_in	4770000
Q_sul_w850_out	3978000
Q_w401_in	8,42E+05
Q_w401_out	2,64E+06
Q_w510_in	2,64E+06

Q_w510_out	3,74E+06
Q_w630_in	4,99E+06
Q_w630_out	3,26E+06
ro_CNG	0,9
ro_CS2	1,2
ro_H2O	1000
ro_H2S	1,36
ro_H2SO4	1840
ro_PSM_spalin	1,5
ro_PSM_vzd	1,15
ro_skod	1,3
ro_sul	1800
ro_vzd	1,15
S01	35
S02	80
T1_cat1_in	390
T_b400_in	260
T_b400_out_down	240
T_b400_out_up	71
T_b500_in	323
T_b500_out	433
T_c600_in	414
T_c600_out	430
T_CNG_b500_in	25
T_PSM_vyfuk	650
T_skod	35
T_sprcha_b400_in	40
T_sul_w510_in	320,65
T_sul_w510_out	265,44
T_sul_w630_in	219
T_sul_w630_out	314
T_sul_w850_in	265
T_sul_w850_out	221
T_w401_in	36
T_w401_out	214
T_w510_in	213,78
T_w510_out	323
T_w630_in	430
T_w630_out	260
V01	1
V01C	5
V02	3
V02C	7
V_CNG_SX	0,0278
V_H2O_B400_in	897,9144
V_H2O_B400_out_up	901,4298
V_H2O_B400_reac	32,9845
V_H2O_sprcha_b400_in_2	5
V_H2OH2SO4_sprcha_b400_in	1,75E-05
V_H2SO4_B400_out	97,594

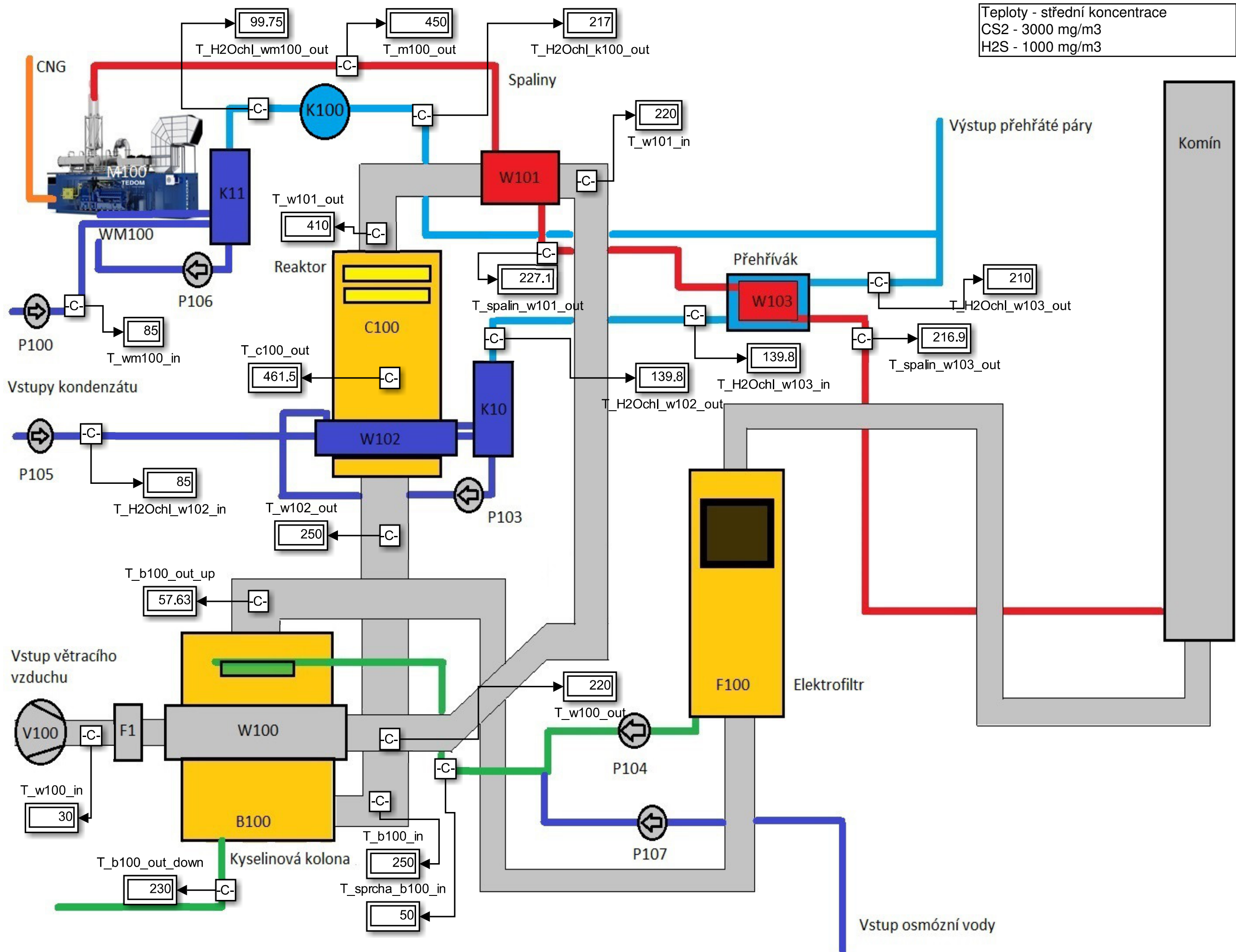
V_H2SO4_SX1_out	2,64E-05
V_H2SO4_SX2_out	160
V_PSM_zd	0,1052
V_skod	30000
V_sul	0,0067
V_vzd	3,00E+04
vyrobaSX1_H2SO4_kc	2,09E+06
vyrobaSX1_H2SO4_m3	854,9234
vyrobaSX2_H2SO4_kc	3,42E+06
vyrobaSX2_H2SO4_m3	1,40E+03

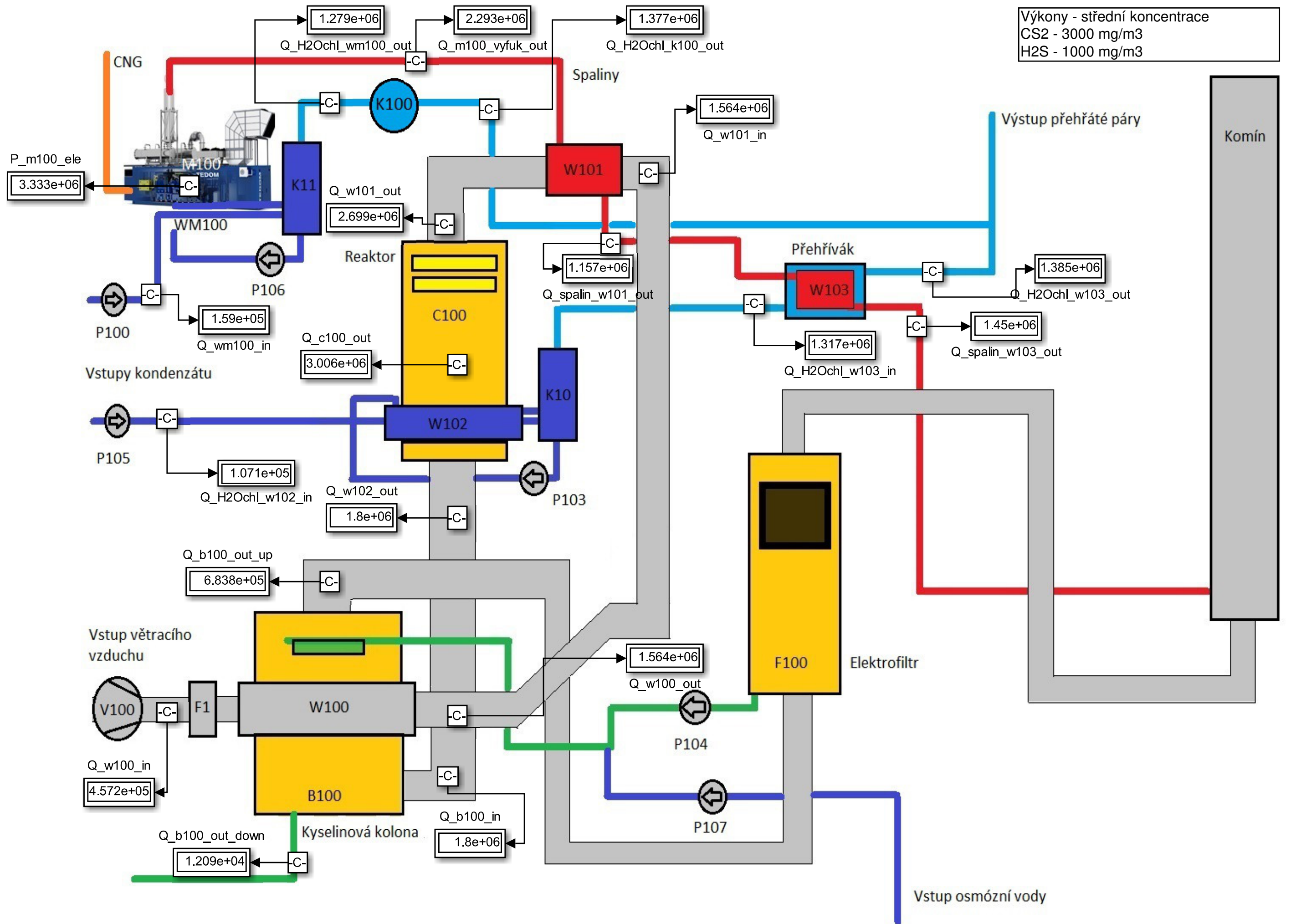
Teploty - nízké koncentrace
 CS₂ - 2100 mg/m³
 H₂S - 220 mg/m³



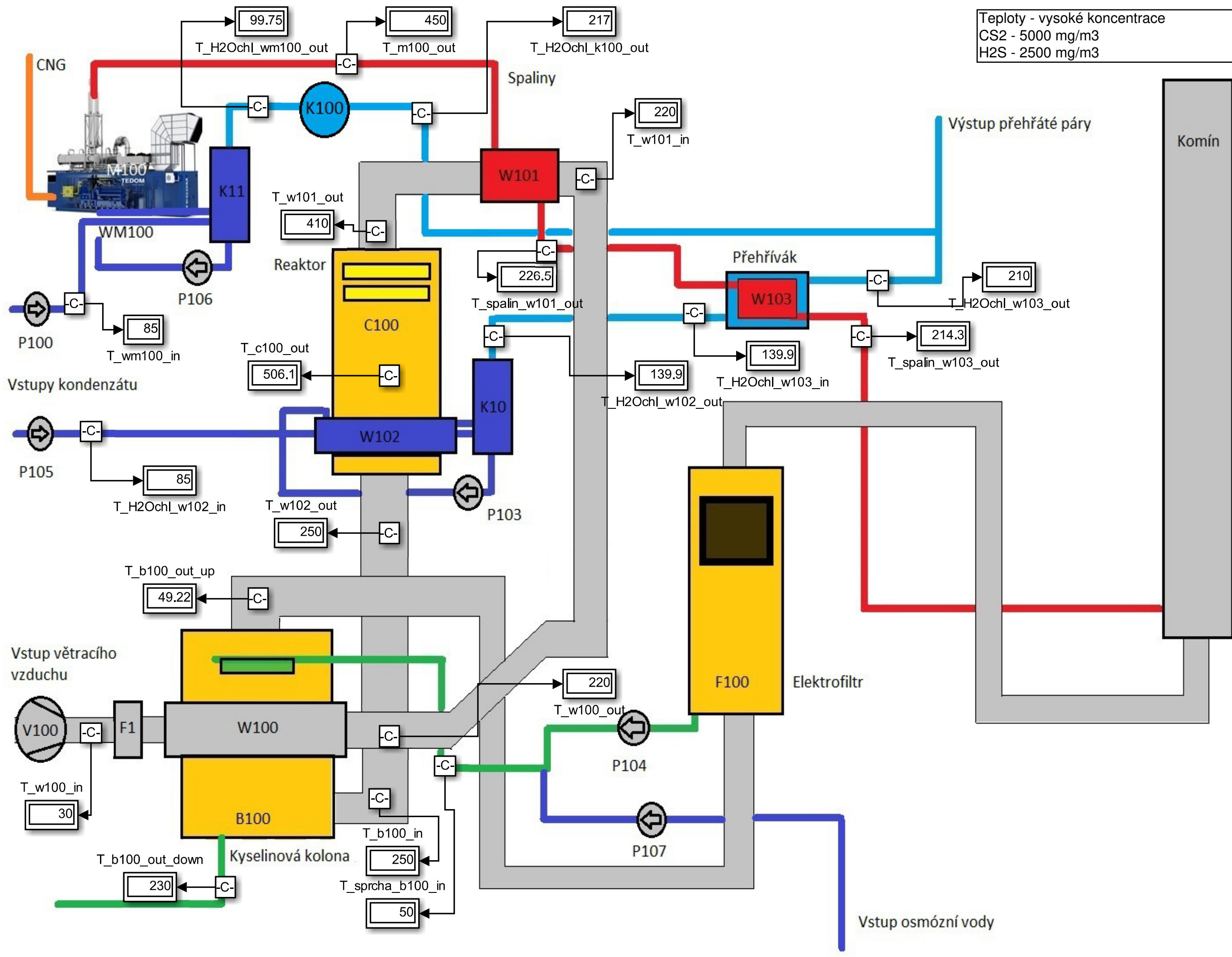


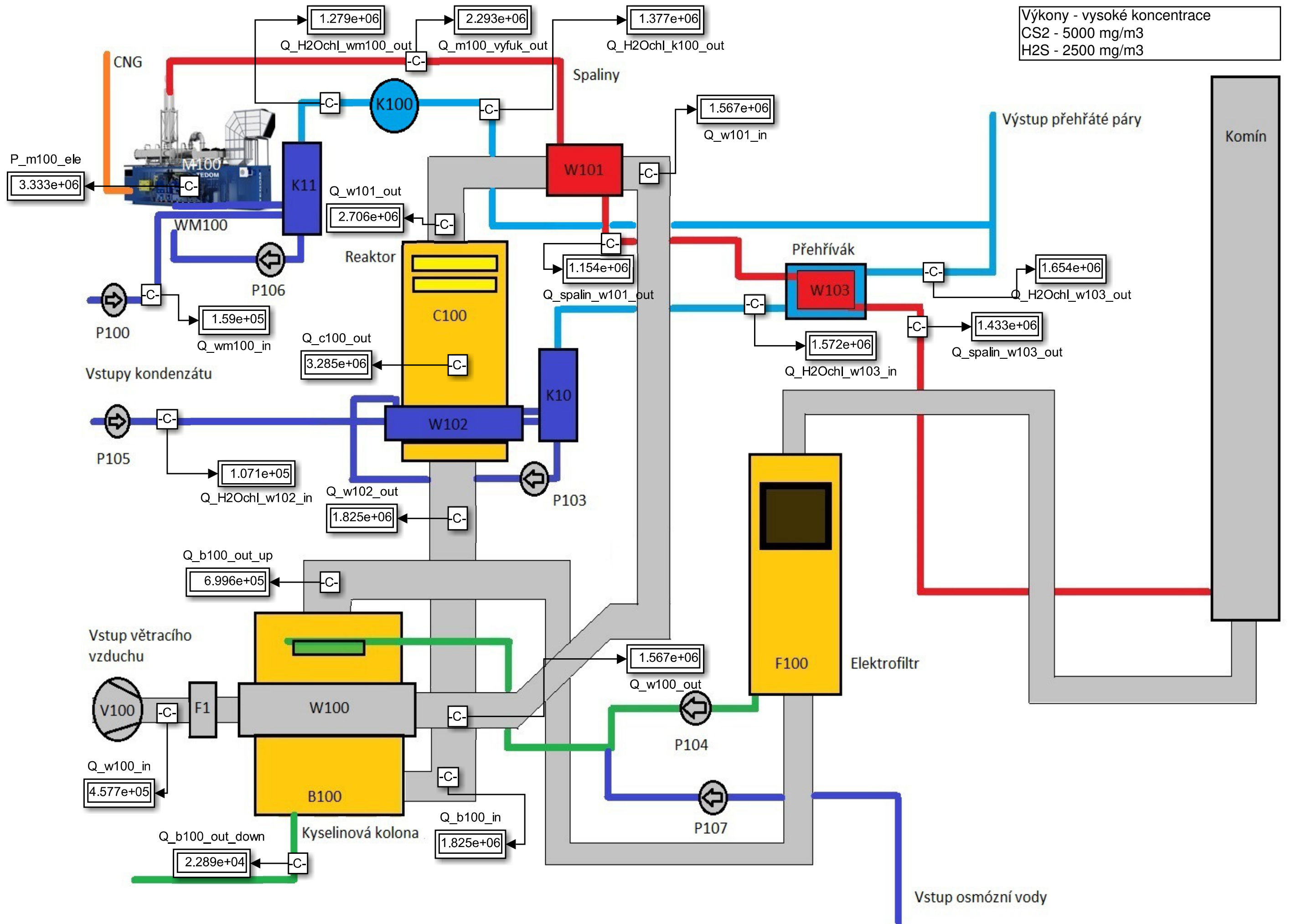
Teploty - střední koncentrace
CS₂ - 3000 mg/m³
H₂S - 1000 mg/m³





Teploty - vysoké koncentrace
 CS₂ - 5000 mg/m³
 H₂S - 2500 mg/m³





Výkony - vysoké koncentrace
CS2 - 5000 mg/m3
H2S - 2500 mg/m3

```
1 clear all
2
3 %pocatecni podminky z provozu
4 k_CS2=5000 %mg/m3
5 k_H2S=2500 %mg/m3
6 V_skod=17500 %m3/h
7 m_CS2=k_CS2*V_skod/3600/1000000
8 m_H2S=k_H2S*V_skod/3600/1000000
9 c_H2S=1003
10 c_CS2=9.946282457000000e+02
11 c_SO2=640
12 c_CO2=8.437855033000000e+02
13 c_SO3=8.119000000000000e+02
14 c_CNG=1725
15 c_H2O=4200
16 c_spal=1400
17 c_sul=1500
18 c_vzd=1034
19 c_H2S_cat1_in=1003
20 c_CS2_cat_1_in=994.6282457
21 c_SO2_cat1_out=640
22 c_CO2_cat1_out=843.7855033
23 h_H2O_cat1_out=3300000
24 M_H2S=0.0340809
25 M_CS2=0.076139
26 M_O2=0.032
27 M_SO2=0.064066
28 M_CO2=0.04401
29 M_H2O=0.01801528
30 ro_CS2=1.200
31 ro_H2S=1.360
32 ro_vzd=1.15
33 deltaH_H2S=518 %kJ/mol
34 deltaH_CS2=1076.9 %kJ/mol
35 deltaH_SO3=132.4 %kJ/mol
36 V_vzd=V_skod-m_H2S/ro_H2S-m_CS2/ro_CS2
37 m_vzd=V_vzd/3600*ro_vzd
38
39 fi_vzduch=0.9
40 podilH2O_vzduchkg_kg=20/1000
41 m_H2O=m_vzd*podilH2O_vzduchkg_kg
42 m_vzd=m_vzd-m_H2O
43
44 M_SO3=0.0800632
45 deltaH_SO2=196 %kJ/mol
46 ro_sul=1800
47 ro_CNG=0.9
48 ro_CNG_m100=0.9
49 ro_H2O=1000
50 ro_H2SO4=1840
51 M_CNG=16.06/1000 %kg/mol
52 M_H2SO4=98.078/1000 %kg/mol
53
54 c_H2SO4=100/M_H2SO4
55
```

```
56
57
58
59 %M100
60 % eta_m100_c=0.45
61 % eta_m100_dop=0.9
62 % eta_m100_teplo=0.5
63 % ro_m100_vzd=ro_vzd
64 % ro_m100_spalin=1.5
65 % n_m100=1500/60
66 % deltaH_CNG=49000000
67 % V_m100_zd=0.105159*1.8 %m3
68 % lambda_m100=1
69 % Lvt=17.2
70 % T_m100_out=650
71 % c_m100_spalin=1400 %http://www.tzb-info.cz/2120-tepelne-technicke-parametry-
plynovych-spotrebicu-i
72 % m_vzd_m100_in=eta_m100_dop*V_m100_zd/2*n_m100*ro_vzd
73 % m_CNG_m100_in=m_vzd_m100_in/(lambda_m100*Lvt)
74 % V_CNG_m100_in=m_CNG_m100_in*3600/ro_CNG_m100
75 % Q_m100_all_in=m_CNG_m100_in*deltaH_CNG
76 % P_m100_mech_out=eta_m100_c*Q_m100_all_in
77 % Q_m100_chlaz_out=0.43*(Q_m100_all_in-P_m100_mech_out)
78 % Q_m100_vyfuk_out=2464000
79 % Q_m100_vyfuk_out_vypocetCP=(m_vzd_m100_in+m_CNG_m100_in)
*c_m100_spalin*T_m100_out
80 % T_m100_outCP=Q_m100_vyfuk_out/((m_vzd_m100_in+m_CNG_m100_in)*c_m100_spalin)
81 % T_m100_out=T_m100_outCP
82 % m_spalin=m_vzd_m100_in+m_CNG_m100_in
83
84
85 %M100 tedom 3333kWe
86 deltaH_CNG=49000000
87 P_m100_ele=3333000
88 eta_m100_gene=0.9839
89 Q_CNG_m100_in=7650000
90 Q_m101_chlaz_out=1120000
91 lambda_m100=1.720263127
92 Lvt=17.2
93 m_CNG_m100_in=Q_CNG_m100_in/deltaH_CNG
94 V_CNG_m100_in=m_CNG_m100_in/ro_CNG
95 V_CNG_m100_in_hour=m_CNG_m100_in/ro_CNG*3600
96
97 P_m100_mech_out=P_m100_ele/eta_m100_gene
98 Q_m100_chlaz_out=1120000
99 Q_m100_olej_out=381000
100 Q_m100_IC_out=297000
101 Q_m100_IR_out=171000
102 T_m100_out=450
103
104 m_vzd_m100_in=m_CNG_m100_in*lambda_m100*Lvt
105 m_spalin=m_vzd_m100_in+m_CNG_m100_in
106 c_m100_spalin=1067
107 Q_m100_vyfuk_out=Q_CNG_m100_in-Q_m100_chlaz_out-Q_m100_olej_out-P_m100_mech_out-
Q_m100_IC_out-Q_m100_IR_out
```



```
108
109 %WM100
110 T_wm100_in=85
111 T_H2Ochl_wm100_out_poz=100
112 deltaQ_wm100_inout=Q_m100_chlaz_out
113 m_H2Ochl_wm100_in=0.2
114 V_H2Ochl_wm100_in=3600/ro_H2O*m_H2Ochl_wm100_in
115 m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone=m_H2Ochl_wm100_in*3.600
116 Q_H2Ochl_wm100_in=m_H2Ochl_wm100_in*c_H2O*T_wm100_in
117 Q_H2Ochl_wm100_out=Q_H2Ochl_wm100_in+deltaQ_wm100_inout
118 Q_H2Ochl_wm100_out_mer=(Q_H2Ochl_wm100_in+deltaQ_wm100_inout) ✓
/m_H2Ochl_wm100_in/1000
119
120 m100 = [2676 2716 2756 2796 2835 2875 2915 2954 5000000; %tabulky pary s ✓
teplotamy pro tlak 0,1MPa
121 100 120 140 160 180 200 220 240 600]
122
123 % m100 = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; %tabulky pary s ✓
teplotamy pro tlak 0,3MPa
124 %      140 160 180 200 220 240 260 280 600]
125
126 m100=transpose(m100)
127
128 h100=Q_H2Ochl_wm100_out_mer
129
130 p=1
131 while h100>=m100(p,1)
132     p=p+1
133 end
134
135 interpolAm100h=m100(p,1)
136 interpolAm100T=m100(p,2)
137 interpolBm100h=m100(p-1,1)
138 interpolBm100T=m100(p-1,2)
139
140 T_H2Ochl_wm100_out=interpolBm100T+(h100-interpolBm100h)*((interpolAm100T- ✓
interpolBm100T)/(interpolAm100h-interpolBm100h))
141
142
143 while T_H2Ochl_wm100_out>=T_H2Ochl_wm100_out_poz
144 Q_H2Ochl_wm100_out_mer=(Q_H2Ochl_wm100_in+deltaQ_wm100_inout) ✓
/m_H2Ochl_wm100_in/1000
145
146 m = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; %tabulky pary s teplotamy ✓
pro tlak 0,3MPa
147      140 160 180 200 220 240 260 280 600]
148
149 m=transpose(m)
150
151
152 h=Q_H2Ochl_wm100_out_mer
153
154 p=1
155 while h>=m(p,1)
156     p=p+1
```

```
157 end
158
159 if p==1
160     T_H2Ochl_wm100_out=m(1,2)
161 else
162     interpolAm100h=m100(p,1)
163     interpolAm100T=m100(p,2)
164     interpolBm100h=m100(p-1,1)
165     interpolBm100T=m100(p-1,2)
166 end
167
168 T_H2Ochl_wm100_out=interpolBm100T+(h-interpolBm100h)*((interpolAm100T-
interpolBm100T)/(interpolAm100h-interpolBm100h))
169 m_H2Ochl_wm100_in=m_H2Ochl_wm100_in+0.0001
170
171 end
172
173 V_H2Ochl_wm100_in=3600/ro_H2O*m_H2Ochl_wm100_in
174 m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone=m_H2Ochl_wm100_in*3.600
175 Q_H2Ochl_wm100_in=m_H2Ochl_wm100_in*c_H2O*T_wm100_in
176 Q_H2Ochl_wm100_out=Q_H2Ochl_wm100_in+deltaQ_wm100_inout
177
178
179
180 %K100 kompresor
181 m_H2Ochl_k100_in=m_H2Ochl_wm100_in
182 T_H2Ochl_k100_in=T_H2Ochl_wm100_out
183 %zvysuji tlak z 0,1MPa na 0,3MPa jedná se o izoentropickou změnu a z i-s
184 %diagramu vychází potřebná energie na 220kJ/kg
185 deltah_k100=220000
186 T_H2Ochl_k100_out=217
187 P_k100_mech=m_H2Ochl_k100_in*deltah_k100
188 Q_H2Ochl_k100_out=Q_H2Ochl_wm100_out+P_k100_mech
189
190
191 %W101
192 m_vzd_w101_in=m_vzd
193 m_H2O_w101_in=m_H2O
194 m_H2O_w101_out=m_H2O_w101_in
195 h_H2O_w101_in=2801000
196 h_H2O_w101_out=3300000
197 T_w101_in=220
198 m_CS2_w101_in=m_CS2
199 m_CS2_w101_out=m_CS2_w101_in
200 m_H2S_w101_in=m_H2S
201 m_H2S_w101_out=m_H2S_w101_in
202 T_spalin_w101_in=T_m100_out
203 m_vzd_w101_out=m_vzd_w101_in
204 T_w101_out=410
205
206
207
Q_w101_in=m_vzd_w101_in*c_vzd*T_w101_in+m_CS2_w101_in*c_CS2*T_w101_in+m_H2S_w101_in*c_
H2S*T_w101_in+m_H2O_w101_in*h_H2O_w101_in
208
```

```
Q_w101_out=m_vzd_w101_out*c_vzd*T_w101_out+m_CS2_w101_out*c_CS2*T_w101_out+m_H2S_w101_
out*c_H2S*T_w101_out+m_H2O_w101_out*h_H2O_w101_out
209 deltaQ_w101_outin=Q_w101_out-Q_w101_in
210 deltaQ_spalin_w101=deltaQ_w101_outin
211 T_spalin_w101_out=T_spalin_w101_in-deltaQ_spalin_w101/(m_spalin*c_m100_spalin)
212 Q_spalin_w101_out=T_spalin_w101_out*m_spalin*c_m100_spalin
213
214 %C100
215 eta_c100=0.8
216 h_H2O_c100_in=h_H2O_w101_out
217 h_H2O_c100_out=3330*1000
218 T_c100_in=410
219 m_H2O_c100_in=m_H2O_w101_out
220 m_vzd_c100_in=m_vzd_w101_out
221 m_CS2_c100_in=m_CS2_w101_out
222 m_H2S_c100_in=m_H2S_w101_out
223 m_SO2_c100_out=M_SO2*m_H2S_c100_in/M_H2S+2*M_SO2/M_CS2*m_CS2_c100_in
224 m_SO3_c100_out=M_SO3/M_SO2*m_SO2_c100_out
225 m_vzd_c100_out=m_vzd_c100_in-3/2*m_H2S_c100_in*M_O2/M_H2S-
3*m_CS2_c100_in*M_O2/M_CS2-0.5*m_SO2_c100_out*M_O2/M_SO2
226 m_CO2_c100_out=M_CO2*m_CS2_c100_in/M_CS2
227 m_H2O_c100_out=M_H2O*m_H2S_c100_in/M_H2O+m_H2O_c100_in
228
Q_c100_in=m_H2S_c100_in*c_H2S*T_c100_in+m_CS2_c100_in*c_CS2*T_c100_in+m_vzd_c100_in*c_
vzd*T_c100_in+m_H2O_c100_in*h_H2O_c100_in
229 Q_reac_c100=eta_c100*
(m_H2S_c100_in*deltaH_H2S*1000/M_H2S+m_CS2_c100_in*deltaH_CS2*1000/M_CS2+m_SO2_c100_ou
t*1000*deltaH_SO2/M_SO2)
230 Q_c100_out=Q_c100_in+Q_reac_c100
231 T_c100_out=(Q_c100_out-m_H2O_c100_out*h_H2O_c100_out)/
(m_SO3_c100_out*c_SO3+m_vzd_c100_out*c_vzd+m_CO2_c100_out*c_CO2)
232
233 %W102
234 h_H2O_vyparna_w102=2239000 %vyparana entalpie musim vytvorit podminku pro zmenu
faze
235 h_H2O_var110_w102=461000
236 h_H2O_w102_in=h_H2O_c100_out
237 h_H2O_w102_out=3280*1000
238 m_SO3_w102_in=m_SO3_c100_out
239 m_SO3_w102_out=m_SO3_w102_in
240 m_vzd_w102_in=m_vzd_c100_out
241 m_vzd_w102_out=m_vzd_w102_in
242 m_CO2_w102_in=m_CO2_c100_out
243 m_CO2_w102_out=m_CO2_w102_in
244 m_H2O_w102_in=m_H2O_c100_out
245 m_H2O_w102_out=m_H2O_w102_in
246 m_H2Ochl_w102_in=m_H2Ochl_wm100_in
247 m_H2Ochl_w102_out=m_H2Ochl_w102_in
248 T_w102_in=T_c100_out
249 T_w102_out=250
250 T_H2Ochl_w102_in=85
251 T_H2Ochl_w102_out_poz=140
252
253 m_H2Ochl_w102_in=0.3 %zkouska prutoku
254 V_H2Ochl_w102_in=3600/ro_H2O*m_H2Ochl_w102_in
```

```
255
256
257
258 Q_H2Ochl_w102_in=m_H2Ochl_w102_in*c_H2O*T_H2Ochl_w102_in
259 Q_H2Ochl_w102_in_mer=Q_H2Ochl_w102_in/m_H2Ochl_w102_in
260
261 ✓
Q_w102_in=m_H2O_w102_in*h_H2O_w102_in+m_SO3_w102_in*c_SO3*T_w102_in+m_vzd_w102_in*c_vz ✓
d*T_w102_in+m_CO2_w102_in*c_CO2*T_w102_in
262 ✓
Q_w102_out=m_H2O_w102_out*h_H2O_w102_out+m_SO3_w102_out*c_SO3*T_w102_out+m_vzd_w102_ou ✓
t*c_vzd*T_w102_out+m_CO2_w102_out*c_CO2*T_w102_out
263 deltaQ_w102_inout=Q_w102_in-Q_w102_out
264 Q_H2Ochl_w102_out_mer=(Q_H2Ochl_w102_in+deltaQ_w102_inout)/m_H2Ochl_w102_in/1000
265
266 m = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; %tabulky pary s teplotamy ✓
pro tlak 0,3MPa
267     140 160 180 200 220 240 260 280 600]
268
269 m=transpose(m)
270
271
272 h=Q_H2Ochl_w102_out_mer
273
274 p=1
275 while h>=m(p,1)
276     p=p+1
277 end
278
279 interpolAh=m(p,1)
280 interpolAT=m(p,2)
281 interpolBh=m(p-1,1)
282 interpolBT=m(p-1,2)
283
284 T_H2Ochl_w102_out=interpolBT+(h-interpolBh)*((interpolAT-interpolBT)/(interpolAh- ✓
interpolBh))
285
286
287
288 while T_H2Ochl_w102_out>=T_H2Ochl_w102_out_poz
289 Q_H2Ochl_w102_out_mer=(Q_H2Ochl_w102_in+deltaQ_w102_inout)/m_H2Ochl_w102_in/1000
290
291 m = [2739 2782 2824 2866 2907 2947.6 2988 3029 5000000; %tabulky pary s teplotamy ✓
pro tlak 0,3MPa
292     140 160 180 200 220 240 260 280 600]
293
294 m=transpose(m)
295
296
297 h=Q_H2Ochl_w102_out_mer
298
299 p=1
300 while h>=m(p,1)
301     p=p+1
302 end
```

```
303
304 if p==1
305     T_H2Ochl_w102_out=m(1,2)
306 else
307     interpolAh=m(p,1)
308     interpolAT=m(p,2)
309     interpolBh=m(p-1,1)
310     interpolBT=m(p-1,2)
311 end
312
313 T_H2Ochl_w102_out=interpolBT+(h-interpolBh)*((interpolAT-interpolBT)/(interpolAh-
interpolBh))
314 m_H2Ochl_w102_in=m_H2Ochl_w102_in+0.0001
315
316 end
317 % T_H2Ochl_w102_out=deltaQ_w102_inout/(c_H2O*m_H2Ochl_w102_out)+T_H2Ochl_w102_in
318 m_H2Ochl_w102_out=m_H2Ochl_w102_in
319 m_H2Ochl_w102_in_hour_tone=m_H2Ochl_w102_in*3.600
320
321 %w100
322 % m_vzd_w100_in=m_vzd
323 % m_vzd_w100_out=m_vzd_w100_in
324 % m_CS2_w100_in=m_CS2
325 % m_CS2_w100_out=m_CS2_w100_in
326 % m_H2S_w100_in=m_H2S
327 % m_H2S_w100_out=m_H2S_w100_in
328 % T_w100_in=30
329 % T_w100_out=T_w101_in
330 %
Q_w100_in=m_vzd_w100_in*c_vzd*T_w100_in+m_CS2_w100_in*c_CS2*T_w100_in+m_H2S_w100_in*c_
H2S*T_w100_in
331 %
Q_w100_out=m_vzd_w100_out*c_vzd*T_w100_out+m_CS2_w100_out*c_CS2*T_w100_out+m_H2S_w100_
out*c_H2S*T_w100_out
332 % deltaQ_w100_inout=Q_w100_out-Q_w100_in
333
334
335 %ekonomie
336 m_para_hour_tone=m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone+m_H2Ochl_w102_in_hour_tone
337 cena_para_tone=600
338 cena_CNG_m3=8
339 cena_ele_kwh=2
340 cena_para_lovochemie_GJ_kc=230
341 m_CNG_GJ=1/deltaH_CNG*1000000000
342 cena_CNG_GJ_kc=m_CNG_GJ/ro_CNG*cena_CNG_m3
343
cena_MWh_CNG_ele_kc=m_CNG_m100_in/ro_CNG*3600*cena_CNG_m3/P_m100_mech_out*1000*1000
344 cena_para_1MWh=cena_para_lovochemie_GJ_kc/1000*3600
345 zisk_ele_year_kc=365*24*cena_ele_kwh*3000
346 zisk_para_year_kc=365*24*cena_para_tone*m_para_hour_tone
347 ztrata_CNG_year_kc=V_CNG_m100_in*365*24*cena_CNG_m3
348
349 zisk_celkem_year_kc=zisk_ele_year_kc+zisk_para_year_kc-ztrata_CNG_year_kc
350 zisk_celkem_4years_kc=4*zisk_celkem_year_kc
351 zisk_celkem_5years_kc=5*zisk_celkem_year_kc
```

```
352
353
354 %w103
355 % T_H2Ochl_w103_in=(T_H2Ochl_wm100_out+T_H2Ochl_w102_out)/2
356 T_H2Ochl_w103_in=T_H2Ochl_w102_out
357 T_spalin_w103_in=T_spalin_w101_out
358 T_H2Ochl_w103_out=210 %volim si teploty jelikoz jsme v prehrate pare, musim opet
pres tabulkove hodnoty prehrate pary
359 % m_H2Ochl_w103_in=m_H2Ochl_w102_in+m_H2Ochl_wm100_in
360 m_H2Ochl_w103_in=m_H2Ochl_w102_in
361 m_spalin_w103_in=m_spalin
362 m_spalin_w103_out=m_spalin_w103_in
363 mw103 = [130 140 160 180 200 220 240 260;%tabulky pary s teplotamy pro tlak 0,3MPa
364           2720 2748 2789 2830 2870 2910 2951 2991]
365
366 mw103=transpose(mw103)
367
368
369 T=T_H2Ochl_w103_in
370
371 p=1
372 while T>=mw103(p,1)
373     p=p+1
374 end
375
376 interpolAw103T=mw103(p,1)
377 interpolAw103h=mw103(p,2)
378 interpolBw103T=mw103(p-1,1)
379 interpolBw103h=mw103(p-1,2)
380
381 h_H2Ochl_w103_in=(interpolBw103h+(T-interpolBw103T)*((interpolAw103h-
interpolBw103h)/(interpolAw103T-interpolBw103T)))*1000
382
383 Q_H2Ochl_w103_in=m_H2Ochl_w103_in*h_H2Ochl_w103_in
384
385
386 T=T_H2Ochl_w103_out
387
388 p=1
389 while T>=mw103(p,1)
390     p=p+1
391 end
392
393 interpolAw103T=mw103(p,1)
394 interpolAw103h=mw103(p,2)
395 interpolBw103T=mw103(p-1,1)
396 interpolBw103h=mw103(p-1,2)
397
398 h_H2Ochl_w103_out=(interpolBw103h+(T-interpolBw103T)*((interpolAw103h-
interpolBw103h)/(interpolAw103T-interpolBw103T)))*1000
399 deltaQ_w103_inout=(h_H2Ochl_w103_out-h_H2Ochl_w103_in)*m_H2Ochl_w103_in
400
401 T_spalin_w103_out=T_spalin_w103_in-(deltaQ_w103_inout/(m_spalin_w103_in*c_spal))
402 Q_spalin_w103_in=Q_spalin_w101_out
403 Q_spalin_w103_out=m_spalin_w103_out*c_spal*T_spalin_w103_out
```

```
404 Q_H2Ochl_w103_out=Q_H2Ochl_w103_in+deltaQ_w103_inout
405
406
407 %w100,b100
408 %T_b100_out_up=70 (chtjena teplota)
409 T_b100_in=T_w102_out
410
411
412 %%w100
413 T_w100_in=30
414 T_w100_out=220
415 m_vzd_w100_in=m_vzd
416 m_CS2_w100_in=m_CS2
417 m_CS2_w100_out=m_CS2_w100_in
418 m_H2S_w100_in=m_H2S
419 m_H2S_w100_out=m_H2S_w100_in
420 m_vzd_w100_out=m_vzd_w100_in
421 m_H2O_w100_in=m_H2O
422 m_H2O_w100_out=m_H2O_w100_in
423 h_H2O_w100_in=2564370
424 h_H2O_w100_out=h_H2O_w101_in
425
426 ↙
Q_w100_in=m_vzd_w100_in*c_vzd*T_w100_in+m_CS2_w100_in*c_CS2*T_w100_in+m_H2S_w100_in*c_
H2S*T_w100_in+m_H2O_w100_in*h_H2O_w100_in
427 ↙
Q_w100_out=m_vzd_w100_out*c_vzd*T_w100_out+m_CS2_w100_out*c_CS2*T_w100_out+m_H2S_w100_
out*c_H2S*T_w100_out+m_H2O_w100_out*h_H2O_w100_out
428 deltaQ_w100_outin=Q_w100_out-Q_w100_in
429
430 %%b100
431
432
433 m_SO3_b100_in=m_SO3_w102_out
434 m_vzd_b100_in=m_vzd_w102_out
435 m_CO2_b100_in=m_CO2_w102_out
436 m_H2O_b100_in=m_H2O_w102_out
437 h_H2O_b100_in=h_H2O_w102_out
438 m_vzd_b100_out=m_vzd_b100_in
439 m_CO2_b100_out=m_CO2_b100_in
440 T_b100_out_down=230
441 T_sprcha_b100_in=50
442 h_H2O_b100_out=2608000
443 Q_b100_in=(m_SO3_b100_in*c_SO3+m_vzd_b100_in*c_vzd+m_CO2_b100_in*c_CO2) ↙
*T_b100_in+m_H2O_b100_in*h_H2O_b100_in
444
445
446 V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in=58/3600/1000 %m3/s
447 V_H2O_sprcha_b100_in_2=0 %dm/h
448 m_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2/1000/3600*ro_H2O %kg/s RIZENA ↙
HODNOTA V ZAVISLOSTI NA TEPLOTE
449 oV_H2OH2SO4=50 %objemové procenta kolika % je kyselina vystupující z elektrofiltru
450 m_H2O_sprcha_b100_in=(100-oV_H2OH2SO4) ↙
/100*ro_H2O*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in+m_H2O_sprcha_b100_in_2
451 m_H2SO4_sprcha_b100_in=oV_H2OH2SO4/100*ro_H2SO4*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in
```

```
452 m_H2SO4_b100_out_up=m_H2SO4_sprcha_b100_in
453
454 m_H2SO4_b100_reac=m_SO3_b100_in*M_H2SO4/M_SO3
455 m_H2O_b100_reac=m_SO3_b100_in*M_H2O/M_SO3
456 Q_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac*c_H2SO4*T_b100_out_down
457 m_H2O_b100_out_up=m_H2O_sprcha_b100_in+m_vzd_b100_in*podilH2O_vzduchkg_kg
458
459
460 %
Q_b100_out_up=m_vzd_b100_out*c_vzd*T_b100_out_up+m_CO2_b100_out*c_CS2*T_b100_out_up+m_
H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4*T_b100_out_up+m_H2O_b100_out_up*c_H2O*T_b100_out_up
461
Q_sprcha_in=m_H2O_sprcha_b100_in*c_H2O*T_sprcha_b100_in+m_H2SO4_sprcha_b100_in*c_H2SO4
*T_sprcha_b100_in
462 Q_reac_b100=m_SO3_b100_in/M_SO3*deltaH_SO3*1000
463 Q_H2Otogas_b100=(m_H2O_b100_out_up-m_H2O_b100_in)*h_H2O_b100_in
464 m_H2SO4_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac
465
466 Q_b100_out_up=Q_b100_in-deltaQ_w100_outin+Q_reac_b100-Q_b100_out_down-
Q_H2Otogas_b100
467
468 T_b100_out_up=(Q_b100_out_up-m_H2O_b100_out_up*h_H2O_b100_out)/
(m_vzd_b100_out*c_vzd+m_CO2_b100_out*c_CO2+m_H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4)
469 pocitadlo_b100A=0
470
471 while T_b100_out_up>=70
472     V_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2+0.1
473
474
475 m_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2/1000/3600*ro_H2O %kg/s RIZENA
HODNOTA V ZAVISLOSTI NA TEPLOTE
476 oV_H2OH2SO4=50 %objemové procenta kolika % je kyselina vystupující z elektrofiltru
477 m_H2O_sprcha_b100_in=(100-oV_H2OH2SO4)
/100*ro_H2O*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in+m_H2O_sprcha_b100_in_2
478 m_H2SO4_sprcha_b100_in=oV_H2OH2SO4/100*ro_H2SO4*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in
479 m_H2SO4_b100_out_up=m_H2SO4_sprcha_b100_in
480
481 m_H2O_b100_reac=m_SO3_b100_in*M_H2O/M_SO3
482 Q_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac*c_H2SO4*T_b100_out_down
483 m_H2O_b100_out_up=m_H2O_sprcha_b100_in+m_vzd_b100_in*podilH2O_vzduchkg_kg
484
485 %
Q_b100_out_up=m_vzd_b100_out*c_vzd*T_b100_out_up+m_CO2_b100_out*c_CS2*T_b100_out_up+m_
H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4*T_b100_out_up+m_H2O_b100_out_up*c_H2O*T_b100_out_up
486
Q_sprcha_in=m_H2O_sprcha_b100_in*c_H2O*T_sprcha_b100_in+m_H2SO4_sprcha_b100_in*c_H2SO4
*T_sprcha_b100_in
487 Q_reac_b100=m_SO3_b100_in/M_SO3*deltaH_SO3*1000
488 Q_H2Otogas_b100=(m_H2O_b100_out_up-m_H2O_b100_in)*h_H2O_b100_in
489 m_H2SO4_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac
490
491 Q_b100_out_up=Q_b100_in-deltaQ_w100_outin+Q_reac_b100-Q_b100_out_down-
Q_H2Otogas_b100
492
493 T_b100_out_up=(Q_b100_out_up-m_H2O_b100_out_up*h_H2O_b100_out)/
```



```

(m_vzd_b100_out*c_vzd+m_CO2_b100_out*c_CO2+m_H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4)
494
495 pocitadlo_b100A=pocitadlo_b100A+1
496
497 end
498
499 pocitadlo_b100B=0
500 while 4*m_H2O_b100_reac>=m_H2O_sprcha_b100_in
501     V_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2+0.1
502
503
504 m_H2O_sprcha_b100_in_2=V_H2O_sprcha_b100_in_2/1000/3600*ro_H2O %kg/s RIZENA ✓
HODNOTA V ZAVISLOSTI NA TEPLOTE
505 oV_H2OH2SO4=50 %objemové procenta kolika % je kyselina vystupující z elektrofiltru
506 m_H2O_sprcha_b100_in=(100-oV_H2OH2SO4) ✓
/100*ro_H2O*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in+m_H2O_sprcha_b100_in_2
507 m_H2SO4_sprcha_b100_in=oV_H2OH2SO4/100*ro_H2SO4*V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in
508 m_H2SO4_b100_out_up=m_H2SO4_sprcha_b100_in
509
510 m_H2O_b100_reac=m_SO3_b100_in*M_H2O/M_SO3
511 Q_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac*c_H2SO4*T_b100_out_down
512 m_H2O_b100_out_up=m_H2O_sprcha_b100_in+m_vzd_b100_in*podilH2O_vzduchkg_kg
513
514 % ✓
Q_b100_out_up=m_vzd_b100_out*c_vzd*T_b100_out_up+m_CO2_b100_out*c_CS2*T_b100_out_up+m_
H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4*T_b100_out_up+m_H2O_b100_out_up*c_H2O*T_b100_out_up
515 ✓
Q_sprcha_in=m_H2O_sprcha_b100_in*c_H2O*T_sprcha_b100_in+m_H2SO4_sprcha_b100_in*c_H2SO4
*T_sprcha_b100_in
516 Q_reac_b100=m_SO3_b100_in/M_SO3*deltaH_SO3*1000
517 Q_H2Otogas_b100=(m_H2O_b100_out_up-m_H2O_b100_in)*h_H2O_b100_in
518 m_H2SO4_b100_out_down=m_H2SO4_b100_reac
519
520 Q_b100_out_up=Q_b100_in-deltaQ_w100_outin+Q_reac_b100-Q_b100_out_down-
Q_H2Otogas_b100
521
522 T_b100_out_up=(Q_b100_out_up-m_H2O_b100_out_up*h_H2O_b100_out)/
(m_vzd_b100_out*c_vzd+m_CO2_b100_out*c_CO2+m_H2SO4_b100_out_up*c_H2SO4)
523
524 pocitadlo_b100B=pocitadlo_b100B+1
525
526 end
527
528
529 V_H2SO4_b100_out=m_H2SO4_b100_reac*3600/ro_H2SO4*1000
530 V_H2O_b100_reac=m_H2O_b100_reac/ro_H2O*3600*1000
531 V_H2O_b100_in=m_H2O_b100_in/ro_H2O*3600*1000
532 V_H2O_b100_out_up=m_H2O_b100_out_up/ro_H2O*3600*1000
533
534 % m=1
535 % T1=[c_CNG c_CO2 c_CO2_cat1_out c_CS2 c_CS2_cat1_in c_H2O c_H2S c_H2S_cat1_in ✓
c_H2SO4 c_m100_spalin c_SO2 c_SO2_cat1_out c_SO3 c_spal c_sul c_vzd cena_CNG_GJ_kc ✓
cena_CNG_m3 cena_ele_kwh cena_MWh_CNG_ele_kc cena_para_lovochemie_GJ_kc cena_para_tone ✓
deltaH_CNG deltaH_CS2 deltaH_H2S deltaH_SO2 deltaH_SO3 deltaQ_spalin_w101 ✓
deltaQ_w100_inout deltaQ_w100_outin deltaQ_w101_outin deltaQ_w102_inout ✓

```

```
deltaQ_w103_inout deltaQ_wm100_inout eta_c100 eta_m100_c eta_m100_dop eta_m100_teplo h
h100 h_H2O_b100_in h_H2O_c100_in h_H2O_c100_out h_H2O_cat1_out h_H2O_var110_w102
h_H2O_vyparna_w102 h_H2O_w102_in h_H2O_w102_out h_H2Ochl_w103_in h_H2Ochl_w103_out
interpolAh interpolAm100h interpolAm100T interpolAT interpolAw103h interpolAw103T
interpolBh interpolBm100h interpolBm100T interpolBT interpolBw103h interpolBw103T
k_CS2 k_H2S lambda_m100 m m100 M_CNG m_CNG_GJ m_CNG_m100_in M_CO2 m_CO2_b100_in
m_CO2_b100_out m_CO2_c100_out m_CO2_w102_in m_CO2_w102_out m_CS2 M_CS2 m_CS2_c100_in
m_CS2_w100_in m_CS2_w100_out m_CS2_w101_in m_CS2_w101_out M_H2O m_H2O_b100_in
m_H2O_b100_out_up m_H2O_b100_reac m_H2O_c100_out m_H2O_sprcha_b100_in
m_H2O_sprcha_b100_in_2 m_H2O_w102_in m_H2O_w102_out m_H2Ochl_w102_in
m_H2Ochl_w102_in_hour_tone m_H2Ochl_w102_out m_H2Ochl_w103_in m_H2Ochl_wm100_in
m_H2Ochl_wm100_in_hour_tone m_H2S M_H2S m_H2S_c100_in m_H2S_w100_in m_H2S_w100_out
m_H2S_w101_in m_H2S_w101_out M_H2SO4 m_H2SO4_b100_out_down m_H2SO4_b100_out_up
m_H2SO4_b100_reac m_H2SO4_sprcha_b100_in M_O2 m_para_hour_tone M_SO2 m_SO2_c100_out
M_SO3 m_SO3_b100_in m_SO3_c100_out m_SO3_w102_in m_SO3_w102_out m_spalin
m_spalin_w103_in m_spalin_w103_out m_vzd m_vzd_b100_in m_vzd_b100_out m_vzd_c100_in
m_vzd_c100_out m_vzd_m100_in m_vzd_w100_in m_vzd_w100_out m_vzd_w101_in m_vzd_w101_out
m_vzd_w102_in m_vzd_w102_out mw103 n_m100 oV_H2OH2SO4 p P_m100_mech_out
pocitadlo_b100A pocitadlo_b100B Q_b100_in Q_b100_out_down Q_b100_out_up Q_c100_in
Q_c100_out Q_H2Ochl_w102_in Q_H2Ochl_w102_in_mer Q_H2Ochl_w102_out_mer
Q_H2Ochl_w103_in Q_H2Ochl_wm100_in Q_H2Ochl_wm100_out_mer Q_H2Otogas_b100
Q_m100_all_in Q_m100_chlaz_out Q_m100_vyfuk_out Q_m100_vyfuk_out_vypocetCP Q_reac_b100
Q_reac_c100 Q_spalin_w101_out Q_spalin_w103_in Q_spalin_w103_out Q_sprcha_in Q_w100_in
Q_w100_out Q_w101_in Q_w101_out Q_w102_in Q_w102_out ro_CNG ro_CNG_m100 ro_CS2 ro_H2O
ro_H2S ro_H2SO4 ro_m100_spalin ro_m100_vzd ro_sul ro_vzd T T_b100_in T_b100_out_down
T_b100_out_up T_c100_in T_c100_out T_H2Ochl_w102_in T_H2Ochl_w102_out
T_H2Ochl_w102_out_poz T_H2Ochl_w103_in T_H2Ochl_w103_out T_H2Ochl_wm100_out T_m100_out
T_spalin_w101_in T_spalin_w101_out T_spalin_w103_in T_spalin_w103_out T_sprcha_b100_in
T_w100_in T_w100_out T_w101_in T_w101_out T_w102_in T_w102_out T_wm100_in
V_CNG_m100_in V_H2O_b100_in V_H2O_b100_out_up V_H2O_b100_reac V_H2O_sprcha_b100_in_2
V_H2Ochl_w102_in V_H2Ochl_wm100_in V_H2OH2SO4_sprcha_b100_in V_H2SO4_b100_out
V_m100_zd V_skod V_vzd zisk_celkem_4years_kc zisk_celkem_5years_kc zisk_celkem_year_kc
zisk_ele_year_kc zisk_para_year_kc ztrata_CNG_year_kc];
536 % lol=length(T1)
537 % for j=1:1:lol;
538 %     D(m,j)=T1(j);
539 % end
540 % xlswrite('F:\col',D);
541
542
```

```
1 clear all
2
3 %pocatecni podminky z provozu
4 k_CS2=2100 %mg/m3
5 k_H2S=200 %mg/m3
6 V_skod=30000 %m3/h
7 m_CS2=k_CS2*V_skod/3600/1000000
8 m_H2S=k_H2S*V_skod/3600/1000000
9 c_H2S=1003
10 fi_vzduch=0.9
11 podilH2O_vzduchkg_kg=20/1000
12 c_CS2=9.946282457000000e+02
13 c_SO2=640
14 c_CO2=8.437855033000000e+02
15 c_SO3=8.119000000000000e+02
16 c_CNG=1725
17 c_H2O=4200
18 c_spal=900
19 c_sul=1500
20 c_vzd=1034
21 c_H2S_cat1_in=1003
22 c_CS2_cat_1_in=994.6282457
23 c_SO2_cat1_out=640
24 c_CO2_cat1_out=843.7855033
25 h_H2O_cat1_out=3300000
26 M_H2S=0.0340809
27 M_CS2=0.076139
28 M_O2=0.032
29 M_SO2=0.064066
30 M_CO2=0.04401
31 M_H2O=0.01801528
32 ro_CS2=1.200
33 ro_H2S=1.360
34 ro_vzd=1.15
35 deltaH_H2S=518 %kJ/mol
36 deltaH_CS2=1076.9 %kJ/mol
37 deltaH_SO3=132.4 %kJ/mol
38 V_vzd=V_skod-m_H2S/ro_H2S-m_CS2/ro_CS2
39 m_vzd=V_vzd/3600*ro_vzd
40 m_H2O=m_vzd*podilH2O_vzduchkg_kg
41 m_vzd=m_vzd-m_H2O
42 M_SO3=0.0800632
43 deltaH_SO2=196 %kJ/mol
44 ro_sul=1800
45 ro_CNG=0.9
46 ro_H2O=1000
47 ro_H2SO4=1840
48 M_CNG=16.06/1000 %kg/mol
49 M_H2SO4=98.078/1000 %kg/mol
50 V_sul=24/3600
51 V_CNG_SX=100/3600
52 c_H2SO4=100/M_H2SO4
53
54 T1_cat1_in=390
55
```

```
56
57 eta_PSM_c=0.45
58 eta_PSM_dop=0.9
59 eta_PSM_teplo=0.5
60 ro_PSM_vzd=1.15
61 ro_PSM_spalin=1.5
62 Hu=49000000
63 V_PSM_zd=0.105159
64 lambda_PSM=15
65 T_PSM_vyfuk=650
66 c_PSM_spalin=1700 %http://www.tzb-info.cz/2120-tepelne-technicke-parametry-
plynovych-spotrebicu-i
67 ro_skod=1.3
68 m_skod=V_skod*ro_skod/3600
69
70
71
72
73 %vymenik01
74 V01=1
75 S01=35
76 alfa01=100
77 V01C=5
78 T_skod=35
79 c_skod=1600
80
81 %vymenik02
82 V02=3
83 S02=80
84 alfa02=100
85 V02C=7
86
87
88 % %cat01
89 %
90 %
91 % m_CS2_cat1_in=k_CS2*V_skod/3600/1000000
92 % m_H2S_cat1_in=k_H2S*V_skod/3600/1000000
93 % m_CO2_cat1_out=M_CO2*m_CS2_cat1_in/M_CS2
94 % m_SO2_cat1_out=M_SO2*m_H2S_cat1_in/M_H2S+2*M_SO2/M_CS2*m_CS2_cat1_in
95 % m_H2O_cat1_out=M_H2O*m_H2S_cat1_in/M_H2O
96 % V_vzd=V_skod-m_H2S_cat1_in/ro_H2S-m_CS2_cat1_in/ro_CS2
97 % m_vzd=V_vzd/3600*ro_vzd
98 % m_vzd_cat1_in=m_vzd
99 % m_vzd_cat1_out=m_vzd_cat1_in-3/2*m_H2S_cat1_in*M_O2/M_H2S-
3*m_CS2_cat1_in*M_O2/M_CS2
100 %
Q_cat1_reac=m_H2S_cat1_in*deltaH_H2S*1000/M_H2S+m_CS2_cat1_in*deltaH_CS2*1000/M_CS2
101 % Q_cat1_in=T1_cat1_in*
(c_vzd*m_vzd_cat1_in+m_H2S_cat1_in*c_H2S_cat1_in+m_CS2_cat1_in*c_CS2_cat1_in)
102 % T1_cat1_out=(Q_cat1_in+Q_cat1_reac-m_H2O_cat1_out*h_H2O_cat1_out)/
(c_vzd*m_vzd_cat1_out+c_SO2_cat1_out*m_SO2_cat1_out+m_CO2_cat1_out*c_CO2_cat1_out)
103 % deltaT1_cat1=T1_cat1_out-T1_cat1_in
104 % Q_cat1_out=Q_cat1_in+Q_cat1_reac
105 %
```

```
106 % %cat02
107 %
108 % deltaH_SO2=196 %kJ/mol
109 % h_H2O_cat2_out=3450000
110 % c_SO3_cat2_out=811.9
111 % m_SO2_cat2_in=m_SO2_cat1_out
112 % m_CO2_cat2_out=m_CO2_cat1_out
113 % m_H2O_cat2_out=m_H2O_cat1_out
114 % m_vzd_cat2_in=m_vzd_cat1_out
115 % m_SO3_cat2_out=M_SO3/M_SO2*m_SO2_cat2_in
116 % m_vzd_cat2_out=m_vzd_cat2_in-0.5*m_SO2_cat2_in*M_O2/M_SO2
117 % Q_cat2_reac=m_SO2_cat2_in*1000*deltaH_SO2/M_SO2
118 % Q_cat2_in=Q_cat1_out
119 % T1_cat2_in=T1_cat1_out
120 % c_CO2_cat2_out=c_CO2_cat1_out
121 % T1_cat2_out=(Q_cat2_in+Q_cat2_reac-m_H2O_cat2_out*h_H2O_cat2_out)/
(m_vzd_cat2_out*c_vzd+m_SO3_cat2_out*c_SO3_cat2_out+m_CO2_cat2_out*c_CO2_cat2_out)
122 % deltaT1_cat2=T1_cat2_out-T1_cat1_out
123 % Q_cat2_out=Q_cat2_reac+Q_cat2_in
124 % deltaT1_cat1
125 % deltaT1=deltaT1_cat1+deltaT1_cat2
126
127
128
129 %SULOFOX1
130 m_sul=V_sul*ro_sul
131
132
133
134 %W510
135 h_H2O_w510_in=2915000
136 h_H2O_w510_out=3100000
137 m_vzd_w510_in=m_vzd
138 m_H2O_w510_in=m_H2O
139 m_H2O_w510_out=m_H2O_w510_in
140 T_w510_in=213.78
141 m_CS2_w510_in=m_CS2
142 m_H2S_w510_in=m_H2S
143 T_sul_w510_in=320.65
144 T_sul_w510_out=265.44
145 m_vzd_w510_out=m_vzd_w510_in
146 T_w510_out=0
147 m_CS2_w510_out=m_CS2_w510_in
148 m_H2S_w510_out=m_H2S_w510_in
149
Q_w510_in=m_H2O_w510_in*h_H2O_w510_in+m_vzd_w510_in*c_vzd*T_w510_in+m_CS2_w510_in*c_CS
2*T_w510_in+m_H2S_w510_in*c_H2S*T_w510_in
150 deltaQ_sul_w510=m_sul*c_sul*(T_sul_w510_in-T_sul_w510_out)
151 T_w510_out=(deltaQ_sul_w510+Q_w510_in-m_H2O_w510_out*h_H2O_w510_out)/
(m_vzd_w510_out*c_vzd+m_CS2_w510_out*c_CS2+m_H2S_w510_out*c_H2S) %pocitam kontrolne
152 T_w510_out=323 %vlozeno z promoticu
153
Q_w510_out=m_vzd_w510_out*c_vzd*T_w510_out+m_CS2_w510_out*c_CS2*T_w510_out+m_H2S_w510_
out*c_H2S*T_w510_out+m_H2O_w510_out*h_H2O_w510_out
154
```

```
155 deltaQ_inout_w510=Q_w510_out-Q_w510_in
156 deltaQ_sul_w510-deltaQ_inout_w510
157
158 %B500
159 T_CNG_b500_in=25
160 deltax_CNG=49e06
161 h_H2O_b500_out=3300*1000
162 h_H2O_b500_in=h_H2O_w510_out
163 T_b500_out=433
164 m_H2O_b500_in=m_H2O_w510_out
165 m_CNG_b500_in=ro_CNG*V_CNG_SX
166 m_vzd_b500_in=m_vzd_w510_in
167 T_b500_in=T_w510_out
168 m_CS2_b500_in=m_CS2_w510_out
169 m_H2S_b500_in=m_H2S_w510_out
170 m_vzd_b500_out=m_vzd_b500_in-m_CNG_b500_in*2*M_O2/M_CNG
171 m_CO2_b500_out=m_CNG_b500_in*M_CO2/M_CNG
172 m_H2O_b500_out=2*m_CNG_b500_in*M_H2O/M_CNG+m_H2O_b500_in
173 m_CS2_b500_out=m_CS2_b500_in
174 m_H2S_b500_out=m_H2S_b500_in
175 ↙
Q_b500_in=m_H2O_b500_in*h_H2O_b500_in+m_vzd_b500_in*c_vzd*T_b500_in+m_CS2_b500_in*c_CS2↙
2*T_b500_in+m_H2S_b500_in*c_H2S*T_b500_in+m_CNG_b500_in*c_CNG*T_CNG_b500_in
176 ↙
Q_b500_out=m_vzd_b500_out*c_vzd*T_b500_out+m_CS2_b500_out*c_CS2*T_b500_out+m_H2S_b500_↙
out*c_H2S*T_b500_out+m_H2O_b500_out*h_H2O_b500_out+m_CO2_b500_out*c_CO2*T_b500_out
177 Q_reac_b500=deltax_CNG*m_CNG_b500_in
178 deltaQ_inout_b500=Q_b500_out-Q_b500_in
179 Q_b500_out-Q_b500_in-Q_reac_b500
180
181
182 %C600
183 h_H2O_c600_in=3300*1000
184 h_H2O_c600_out=3330*1000
185 T_c600_in=414
186 m_vzd_c600_in=m_vzd_b500_out
187 T_c600_out=430
188 m_H2O_c600_in=m_H2O_b500_out
189 m_CS2_c600_in=m_CS2_b500_out
190 m_CO2_c600_in=m_CO2_b500_out
191 m_H2S_c600_in=m_H2S_b500_out
192 m_SO2_c600_out=M_SO2*m_H2S_c600_in/M_H2S+2*M_SO2/M_CS2*m_CS2_c600_in
193 m_SO3_c600_out=M_SO3/M_SO2*m_SO2_c600_out
194 m_vzd_c600_out=m_vzd_c600_in-3/2*m_H2S_c600_in*M_O2/M_H2S-↙
3*m_CS2_c600_in*M_O2/M_CS2-0.5*m_SO2_c600_out*M_O2/M_SO2
195 m_CO2_c600_out=m_CO2_c600_in+M_CO2*m_CS2_c600_in/M_CS2
196 m_H2O_c600_out=m_H2O_c600_in+M_H2O*m_H2S_c600_in/M_H2O
197 ↙
Q_c600_in=m_H2O_c600_in*h_H2O_c600_in+m_H2S_c600_in*c_H2S*T_c600_in+m_CS2_c600_in*c_CS2↙
2*T_c600_in+m_CO2_c600_in*c_CO2*T_c600_in+m_vzd_c600_in*c_vzd*T_c600_in
198 ↙
Q_c600_out=m_SO3_c600_out*c_SO3*T_c600_out+m_vzd_c600_out*c_vzd*T_c600_out+m_CO2_c600_↙
out*c_CO2*T_c600_out+m_H2O_c600_out*h_H2O_c600_out
199 Q_reac_c600_inout=Q_c600_out-Q_c600_in
200 ↙
```

```
Q_reac_c600=m_H2S_c600_in*deltaH_H2S*1000/M_H2S+m_CS2_c600_in*deltaH_CS2*1000/M_CS2+m_
SO2_c600_out*1000*deltaH_SO2/M_SO2
201 eta_c600=Q_reac_c600_inout/Q_reac_c600
202
203
204 %W630
205 h_H2O_w630_out=3000*1000
206 h_H2O_w630_in=3330*1000
207 m_vzd_w630_in=m_vzd_c600_out
208 m_vzd_w630_out=m_vzd_w630_in
209 T_w630_in=T_c600_out
210 T_w630_out=260
211 T_sul_w630_in=219
212 T_sul_w630_out=314
213 m_H2O_w630_in=m_H2O_c600_out
214 m_H2O_w630_out=m_H2O_w630_in
215 m_SO3_w630_in=m_SO3_c600_out
216 m_SO3_w630_out=m_SO3_w630_in
217 m_CO2_w630_in=m_CO2_c600_out
218 m_CO2_w630_out=m_CO2_w630_in
219
220
Q_w630_in=m_SO3_w630_in*c_SO3*T_w630_in+m_vzd_w630_in*c_vzd*T_w630_in+m_CO2_w630_in*c_
CO2*T_w630_in+m_H2O_w630_in*h_H2O_w630_in
221
Q_w630_out=m_SO3_w630_out*c_SO3*T_w630_out+m_vzd_w630_out*c_vzd*T_w630_out+m_CO2_w630_
out*c_CO2*T_w630_out+m_H2O_w630_out*h_H2O_w630_out
222
223 deltaQ_sul_w630=m_sul*c_sul*(T_sul_w630_in-T_sul_w630_out)*(-1)
224 deltaQ_w630_inout=Q_w630_in-Q_w630_out
225
226 deltaQ_sul_w630-deltaQ_w630_inout
227
228
229 %B400 and W401
230 h_H2O_b400_in=h_H2O_w630_out
231 h_H2O_w401_in=2564370
232 h_H2O_w401_out=h_H2O_w510_in
233 V_H2OH2SO4_sprcha_b400_in=63/3600/1000 %m3/s
234 V_H2O_sprcha_b400_in_2=5 %dm/h
235 m_H2O_sprcha_b400_in_2=V_H2O_sprcha_b400_in_2/1000/3600*ro_H2O %kg/s
236 oV_H2OH2SO4=50 %objemové procenta kolika % je kyselina vystupující z elektrofiltru
237 m_H2O_sprcha_b400_in=(100-oV_H2OH2SO4)
/100*ro_H2O*V_H2OH2SO4_sprcha_b400_in+m_H2O_sprcha_b400_in_2
238 m_H2SO4_sprcha_b400_in=oV_H2OH2SO4/100*ro_H2SO4*V_H2OH2SO4_sprcha_b400_in
239 m_H2SO4_b400_out_up=m_H2SO4_sprcha_b400_in
240 m_vzd_w401_in=m_vzd
241 m_vzd_w401_out=m_vzd_w401_in
242 m_CS2_w401_in=m_CS2
243 m_CS2_w401_out=m_CS2_w401_in
244 m_H2S_w401_in=m_H2S
245 m_H2S_w401_out=m_H2S_w401_in
246 m_H2O_w401_in=m_H2O
247 m_H2O_w401_out=m_H2O_w401_in
248 T_sprcha_b400_in=40
```

```
249 T_b400_out_up=71
250 m_vzd_b400_in=m_vzd_w630_out
251 m_vzd_b400_out=m_vzd_b400_in
252 m_SO3_b400_in=m_SO3_w630_out
253 m_H2SO4_b400_reac=m_SO3_b400_in*M_H2SO4/M_SO3
254 m_H2O_b400_reac=m_SO3_b400_in*M_H2O/M_SO3
255 m_H2Og_b400_in=m_H2O_w630_out
256 m_CO2_b400_in=m_CO2_c600_out
257 m_CO2_b400_out=m_CO2_b400_in
258 T_b400_in=260
259 T_b400_out_down=240
260 T_w401_out=214
261 T_w401_in=36
262 m_H2O_b400_out_up=m_H2O_sprcha_b400_in+m_H2Og_b400_in-m_H2O_b400_reac
263 ✓
Q_w401_in=m_vzd_w401_in*c_vzd*T_w401_in+m_CS2_w401_in*c_CS2*T_w401_in+m_H2S_w401_in*c_
H2S*T_w401_in+m_H2O_w401_in*h_H2O_w401_in
264 ✓
Q_w401_out=m_vzd_w401_out*c_vzd*T_w401_out+m_CS2_w401_out*c_CS2*T_w401_out+m_H2S_w401_
out*c_H2S*T_w401_out+m_H2O_w401_out*h_H2O_w401_out
265 deltaQ_w401_outin=(Q_w401_in-Q_w401_out)*(-1)
266 ✓
Q_b400_in_down=m_vzd_b400_in*c_vzd*T_b400_in+m_SO3_b400_in*c_SO3*T_b400_in+m_CO2_b400_
in*c_CO2*T_b400_in+m_H2Og_b400_in*h_H2O_b400_in
267 ✓
Q_b400_in=m_vzd_b400_in*c_vzd*T_b400_in+m_SO3_b400_in*c_SO3*T_b400_in+m_CO2_b400_in*c_
CO2*T_b400_in+m_H2Og_b400_in*h_H2O_b400_in+m_H2O_sprcha_b400_in*c_H2O*T_sprcha_b400_in
+m_H2SO4_sprcha_b400_in*c_H2SO4*T_sprcha_b400_in
268 ✓
Q_b400_out_up=m_vzd_b400_out*c_vzd*T_b400_out_up+m_CO2_b400_out*c_CS2*T_b400_out_up+m_
H2SO4_b400_out_up*c_H2SO4*T_b400_out_up+m_H2O_b400_out_up*c_H2O*T_b400_out_up
269 Q_b400_out_down=m_H2SO4_b400_reac*c_H2SO4*T_b400_out_down
270 ✓
Q_sprcha_in=m_H2O_sprcha_b400_in*c_H2O*T_sprcha_b400_in+m_H2SO4_sprcha_b400_in*c_H2SO4_
*T_sprcha_b400_in
271 Q_reac_b400=m_SO3_b400_in/M_SO3*deltaH_SO3*1000
272 Q_H2Otogas_b400=m_H2O_b400_out_up*h_H2O_b400_in
273 m_H2SO4_b400_out_down=m_H2SO4_b400_reac
274
275 deltaQ_b400w401=-Q_b400_out_up+Q_b400_in-deltaQ_w401_outin+Q_reac_b400-
Q_b400_out_down-Q_H2Otogas_b400
276 V_H2SO4_B400_out=m_H2SO4_b400_reac*3600/ro_H2SO4*1000
277 V_H2O_B400_reac=m_H2O_b400_reac/ro_H2O*3600*1000
278 V_H2O_B400_in=m_H2Og_b400_in/ro_H2O*3600*1000
279 V_H2O_B400_out_up=m_H2O_b400_out_up/ro_H2O*3600*1000
280 V_H2SO4_SX1_out=95/3600/1000
281
282
283
284
285
286
287 %W850
288 T_sul_w850_in=265
289 T_sul_w850_out=221
```



```
290 Q_sul_w850_in=m_sul*c_sul*T_sul_w850_in
291 Q_sul_w850_out=m_sul*c_sul*T_sul_w850_out
292 deltaQ_sul_w850_inout=Q_sul_w850_in-Q_sul_w850_out
293
294
295
296
297 %ekonomie
298 cena_H2SO4_kg=1.327
299 vyrobaSX1_H2SO4_m3=V_H2SO4_B400_out*365*24/1000
300 vyrobaSX1_H2SO4_kc=V_H2SO4_B400_out*ro_H2SO4/1000*cena_H2SO4_kg*365*24
301
302 V_H2SO4_SX2_out=160
303 vyrobaSX2_H2SO4_m3=V_H2SO4_SX2_out*365*24/1000
304 vyrobaSX2_H2SO4_kc=V_H2SO4_SX2_out*ro_H2SO4/1000*cena_H2SO4_kg*365*24
305
306 vyrobaSX1_H2SO4_m3+vyrobaSX2_H2SO4_m3
307 vyrobaSX2_H2SO4_kc+vyrobaSX1_H2SO4_kc
308
```