

PROWELD spol. s. r.o. Rajčianska 26, 821 07 Bratislava

TECHNICKÁ SPRÁVA

Stavba : PRESTAVBA TEPELNÝCH ZDROJOV MPBH V ŠAMORÍNE
 S VYUŽITÍM KOMBINOVANEJ VÝROBY TEPLA
 A ELEKTRICKEJ ENERGIE

Objekt: SO 301-02 Technické úpravy v kotolni K1- Strojná časť

Objednávateľ: MPBH Šamorín s.r.o. Veterná 23/D, Šamorín

Vypracoval: Ing. Július Kováč

príloha č.: 1
súprava č.:

V Bratislave 11.2021

SO 301-02 Kotelňa K1 – Strojná časť

Stávajúci stav

Strojné zariadenia v kotolni K1 sú inštalované v dvoch objektoch.

Kotelňa bola postavená v 70-ich rokoch minulého storočia na spaľovanie hnedého uhlia. V letnom období prevádzkovanie uholných kotlov na ohrev vody bola krajne nehospodárna, okrem toho uholné kotly boli poruchové.

Pri pôvodnej budove kotolne v r.1989 bola postavená nová budova, v ktorej boli osadené dva plynové kotly, protiprúdové výmenníky tepla na ohrev vody a regulačná stanica plynu. Týmito kotlami bol zabezpečený ohrev vody celoročne, a čiastočne aj vykurovanie v prechodnom období.

V roku 1995 uholné kotly v starej budove boli demontované a nahradené dvomi plynovými dvojtáhovými kotlami na spaľovanie plynu s menovitým výkonom po 2500 kW, spolu 5000kW. Týmito kotlami je zabezpečená výroba tepla aj v súčasnosti. Zemný plyn je privádzaný do horákov kotlov z regulačnej stanice plynu. Spaliny sú odvádzané do samonosného oceľového komína výšky 30m, ktorý je opatrený dvomi prieduchmi z nerezových dielov, samostatne pre každý kotol.

Teplá voda na vykurovanie z kotlov je privádzaná do dvoch čerpacích skupín s trojcestnými ventilmi na ekvitermickú reguláciu vykurovania pre objekty pripojené na K1. Prívodná teplá voda na vykurovanie z čerpacích skupín je privádzaná do rozdeľovačov, z ktorých sú pripojené vonkajšie rozvody tepla, spolu päť okruhov.

Vykurovací systém je zabezpečený expanzným automatom, a doplňovaný upravenou vodou z chemickej úpravne.

Nový stav

V starej budove budú demontované kotly a časť rozvodných potrubí. Následne budú vyhotovené nové základy pre nové kotly, tepelné čerpadlo, výmenníky tepla a cirkulačné čerpadlá.

V halovej časti novej budovy technologické zariadenia budú kompletne demontované, budova bude využívaná ako strojovňa pre kogeneračné jednotky, a zariadenia pre vyvedenie elektrického a tepelného výkonu.

Po rekonštrukcii kotelňa K1 bude slúžiť ako centrálny zdroj tepla. Na K1 budú pripojené ďalšie dve kotolne v správe MPBH, K2 a K4. Do kotolní K2 a K4 bude privádzaná primárna voda s teplotným spádom 85/60°C. Tieto dve kotolne ďalej budú slúžiť ako odovzdávacie stanice tepla, kotly budú odstavené z prevádzky.

Tepelná bilancia

Tepelná bilancia K1:

Potrebný tepelný výkon na vykurovanie:	2 690 kW
Potrebný tepelný výkon na ohrev vody (krátkodobý max. výkon) :	700 kW

Tepelná bilancia K2:

Potrebný tepelný výkon na vykurovanie:	1 198 kW
--	----------

Potrebný tepelný výkon na ohrev vody (krátkodobý max. výkon) : 450 kW

Tepelná bilancia K4:

Potrebný tepelný výkon na vykurovanie: 1 835 kW

Potrebný tepelný výkon na ohrev vody (krátkodobý max. výkon) : 610 kW

Spolu:

Potrebný tepelný výkon na vykurovanie: 5 723 kW

Potrebný tepelný výkon na ohrev vody (krátkodobý max. výkon) : 1 760 kW

Celkom: 7 483 kW

Súčasný max. výkon: 5 986 kW

Základné parametre kotolne K1

Menovitý teplotný spád vykurovacej vody v kotlovom (zdrojovom) okruhu bude 85/60°C.

Menovitý tlak vykurovacieho systému PN6

Otvárací tlak poistných ventilov 500 kPa

Rozsah tlakomerov 0-600 kPa

Rozsah teplomerov 0-120°C

Teplota ohriatej pitnej vody 55°C

Menovitý tlak v rozvodoch studenej a ohriatej pitnej vody PN10

Rozsah tlakomerov 0-1 MPa

Rozsah teplomerov 0-100°C

Plynové kotly

V kotolni budú osadené dve dvojice kondenzačných kotlov s menovitým tepelným výkonom á 3,1 MWt, spolu 6,2 MWt, s modulovanou reguláciou výkonu. Kotly budú v prevádzke iba v zimnom období pri nízkych teplotách. Na zabezpečenie dodávky tepla do systému bude prednostne využívané odpadové teplo z kogeneračných jednotiek a tepelné čerpadlo.

Zemný plyn bude privádzaný do kotlov zo stávajúceho akumuláčného potrubia vyvedeného z regulačnej stanice plynu. Spaliny budú odvádzané do stávajúcich komínových prieduchov samostatne pre každú dvojicu kotlov. Každá dvojica kotlov bude dodaná s neutralizačným boxom.

Kondenzát z kotlov a z komína bude po neutralizácii odvádzaný do kanalizácie.

Kotly budú zabezpečené poistnými ventilmi s otváracím tlakom 0,5 MPa, výpočet ventilov je v prílohe správy.

Kotly budú dodané s hydraulickými prepojovacími súpravami, súčasťou ktorých budú uzatváracie klapky so servopohonom.

Teplá voda z kotlov bude privádzaná do prírodného zberného potrubia. Z vratného zberného potrubia vratná voda bude privádzaná do kotlov cez regulačné ventily so servopohonom, pomocou ktorých bude regulovaný potrebný prietok vykurovacej vody cez kotly. Prívodné a vratné zberné potrubie bude slúžiť ako rozdeľovač-zberač, do ktorého budú pripojené zdroje tepla ako aj spotrebiče.

Tepelné čerpadlo

Pri plynových kotloch bude umiestnené absorpčné plynové tepelné čerpadlo, pomocou ktorého bude využité odpadové teplo z kogenerečných jednotiek. Tepelný výkon tepelného čerpadla bude 573 kWt. Tepelné čerpadlo bude dodané s plynovým horákom.

Teplo z chladenia technologického okruhu (z chladenia palivovej zmesi) a teplo z druhého spalínového výmenníka bude využité ako zdroj nízkotepelnej energie pre tepelné čerpadlo. Teplotný spád v nízkotepelnom okruhu bude 27/37°C, tepelný výkon 238 kW. Cirkulácia v okruhu bude zabezpečená cirkulačným čerpadlom s frekvenčným meničom.

Voda z vysokotepelnej strany tepelného čerpadla bude privádzaná do prívodného zberného potrubia vykurovacej vody. Teplotný spád na vysokotepelnej strane bude 50/80 °C, tepelný výkon 573kW. Konštantný teplotný spád vo vysokotepelnom okruhu tepelného čerpadla je riešené trojcestným ventilom, cirkulácia čerpadlom s frekvenčným meničom. Vo vratnom potrubí pred tepelným čerpadlom bude namontovaný merač tepla.

Tepelné čerpadlo na studenej ako aj teplej strane bude zabezpečené poistnými ventilmi a expanznými nádobami. Otvárací tlak poistných ventilov bude 0,5MPa. Zemný plyn bude privádzaný do horáku tepelného čerpadla zo stávajúceho rozvodu z kotolne. Spaliny z TČ budú odvádzané do nového komína z nerezových tepelne izolovaných dielov DN 250, výšky 12m.

Ohrev pitnej vody

Pitná voda pre objekty pripojené na K1 bude ohrievaná dvomi novými doskovými výmenníkmi tepla.

Teplá voda z prívodného zberného potrubia bude privádzaná cez trojcestný ventil s el. servopohonom do rozdeľovača, z ktorého pomocou dvoch čerpadiel s frekvenčným meničom bude prečerpávaná do primárnej strany výmenníkov tepla. prevádzku zabezpečuje jedno čerpadlo, druhé je rezervné. Vratná voda z výmenníkov bude privádzaná do zberného vratného potrubia. Vo vratnom potrubí za výmenníkmi tepla bude namontovaný merač tepla.

Rozvod studenej pitnej vody

Studená voda na ohrev bude privádzaná do výmenníkov tepla zo stávajúceho rozvodu kotolne. Zo stávajúceho rozvodu vedeného pod stropom bude vysadená odbočka na pripojenie výmenníkov tepla. Pred výmenníkmi bude namontovaná nová uzatváracia armatúra, filter spätný ventil a ScaleBuster na úpravu vody. Spotreba studenej vody bude meraná stávajúcim vodomermom.

Pred vstupom do výmenníkov tepla budú namontované uzatváracie armatúry, filtre, a poistné ventily s otváracím tlakom 800kPa.

Rozvod teplej pitnej vody a cirkulácia teplej vody

Teplá voda z výmenníkov bude privádzaná do stávajúceho rozdeľovača pre objekty na Školskej ul., Veternej ul. a Mestský majer, a do nového rozdeľovača pre objekty na Cintorínskej a Čilistovskej ul.

Zo stávajúceho a nového zberača cirkulovaná voda bude privádzaná do dvoch stávajúcich čerpadiel, ktoré budú premiestnené z pôvodného miesta na nové základy pri výmenníkoch tepla. Cirkulácia bude zabezpečená jedným čerpadlom, druhé slúži ako záložné.

Vykurovanie pripojených objektov

Stávajúce dve čerpadlové skupiny pre zabezpečenia vykurovania objektov pripojených na K1 budú ponechané. Primárna voda bude privádzaná do týchto čerpadlových skupín z prírodného zberného potrubia čiastočne novým, čiastočne stávajúcim potrubím. Ekvitermická regulácia a meranie spotreby tepla v týchto dvoch vetvách bude zachovaná.

Budú inštalované dve nové čerpadlové skupiny s trojcestnými ventilmi, na ktoré budú pripojené kotolne K2 a K4.

Cirkulácia v oboch vetvách bude riešená dvojicami čerpadiel, z ktorých jedno bude rezervné. Pred čerpadlami budú namontované trojcestné ventily so servopohonmi na predreguláciu teploty prírodnej primárnej vody, podľa ekvitermickej krivky $+5^{\circ}\text{C}$. Spotreba tepla v oboch vetvách bude meraná meračmi tepla.

Akumulácia tepla

V kotolni budú inštalované aj dve akumulčné nádoby o obsahu po 10000l, spolu 20000l. V nádobách hlavne v letnom období pri malom odbere tepla bude akumulované vyprodukované odpadové teplo z motorgenerátorov. Pri zvýšenom odbere tepla v nádobách naakumulované teplo bude prednostne využité na vykurovanie a ohrev vody.

Odpadové teplo z chladenia motorov KGJ a z prvého stupňa chladenia splín bude privádzané do zberného potrubia DN 250 rozvodom DN 150, z ktorého bude vysadená odbočka DN100 na pripojenie akumulčných nádob.

Expanzný systém

Stávajúci expanzný automat Reflex Variomat bude ponechaný, len k stávajúcej expanznej nádobe o obsahu 4000 l bude pridaná ďalšia nádoba rovnakého objemu.

Úprava vody na dopĺňovanie vykurovacieho systému

Dopĺňovanie vykurovacieho systému upravenou vodou bude naďalej riešené zo stávajúcej úpravne vody ER100.

Rozvodné potrubia

Rozvodné potrubia ÚK budú pozvárané z oceľových bezošvých rúr so zaručenou zveriteľnosťou. Rozvodné potrubia budú uložené na oceľové nosné konštrukcie pod spádom 3‰. V najvyšších bodoch rozvodov budú namontované odvzdušňovacie nádoby s odvzdušňovacími ventilmi, prípadne automatické odvzdušňovacie ventily. V najnižších bodoch budú namontované vypúšťacie ventily.

Rozvodné potrubia studenej a ohriatej pitnej vody budú pospájané tvrdou spájkou, prípadne závitovými spojkami z oceľových pozinkovaných rúr.

Nátery

Rozvodné potrubia, rozdeľovač a zberač ÚK, a oceľové doplnkové konštrukcie po montáži a odskúšaní sa nastriekajú syntetickými nátermi dvojnásobne.

Tepelné izolácie

Potrubia ÚK budú tepelne izolované rohožami z minerálnej vlny, hrúbka izolácie pre potrubia do DN65 a DN80 4cm, DN100 ~ DN200 3+3=6cm, pre potrubie DN 250 4+4=8cm.

Povrch tepelnej izolácie potrubí ÚK sa upraví hliníkovou fóliou. Povrch tepelnej izolácie potrubí medzi budovami (medzi starou a novou budovou) sa upraví hliníkovým plechom hr. 0,8mm.

Armatúry s menovitou svetlosťou nad DN 50 budú tepelne izolované snímateľne, spôsobom Ferrotex, puzdrá z pozinkovaného plechu s patentnými uzávermi.

Rozvodné potrubia ohriatej pitnej vody a cirkulácie teplej vody budú izolované rohožami z minerálnej plsti hrúbky 3 cm, povrch izolácie sa upraví hliníkovými fóliami.

Vykurovacia skúška

Po montáži a tlakových skúškach bude vykonaná vykurovacia skúška v zmysle STN 060310 v trvaní 72 h.

Ľahkovybúrateľná plocha

Pri objeme kotolne 1036 m³ potrebná veľkosť ľahkovybúrateľnej plochy je 72,5 m².

Ľahkovybúrateľnú stenu tvoria:

Stávajúca zasklená juhozápadná fasáda o ploche:	63,8 m ²
Vetracie otvory:	3,2 m ²
Montážny otvor pre tepelné čerpadlo (pozri stavebnú časť):	<u>7,6 m²</u>
Spolu:	74,6 m ²

Skúšky

Po montáži a tlakových skúškach potrubných úsekov bude vykonaná vykurovacia skúška v trvaní 72h.

Technické zariadenia tlakové:

A.b Expanzná nádoba Reflex N200, obsah 200l, PN6, prevádzková teplota 85°C, Max. prevádzkový tlak: 0,5MPa, V.p = 100	4 ks
B.a, Teplovodný kotol HOVAL ULTRAGAS UG 2D 3100 kW Prevádzková teplota 85°C, PN6, max. prevádzkový tlak 5 bar (500 kPa)	2 ks
B.a, Absorpčné tepelné čerpadlo Thermax THP G1 N1, 573 kW Prevádzková teplota 85°C, PN6, max. prevádzkový tlak 5 bar (500 kPa)	1 ks
B.f, Poistné ventily: PV50/16, otvárací tlak 5,0bar (500kPa)	4 ks
B.f, Poistný ventil: PV15/16, otvárací tlak 8bar (800kPa) 2ks, 5 bar – 1ks	3 ks

Obsluha kotolne a bezpečnosť práce

Plynová kotolňa je navrhnutá v zmysle príslušných noriem a vyhlášok. Kotolňa bude obsluhovaná osobami staršími ako 18 rokov, ktorí sú vyškolení na túto činnosť a ovládajú prevádzkový poriadok kotolne.

V kotolni bude zriadený dispečing so stálou obsluhou. Bežnú prevádzku kotolne zabezpečuje jeden zaučený kurič-strojník. Pri opravách, hlavne pri zásahoch do elektrickej alebo tlakovej časti zariadení, musia byť prítomní min. dvaja, z ktorých min. jeden má oprávnenie na vykonávanie potrebných opráv.

Vetranie kotolne

Vetranie kotolne je prirodzené, stávajúce vetracie otvory na prívod a odvod vzduchu vyhovujú, kontrolný výpočet je v prílohe správy.

Prílohy:**1. Vetranie kotolne – kontrolný výpočet množstva vetracieho vzduchu**

Tepelný výkon plynových kotlov spolu: $2 \times 3100 = 6\,200 \text{ kW}$

Spotreba spaľovacieho vzduchu spolu : $2 \times 3660 = 7\,320 \text{ m}^3/\text{h}$

Tepelný výkon plynového horáka tepelného čerpadla: 335 kW

Spotreba spaľovacieho vzduchu: $376 \text{ m}^3/\text{h}$

Kotolňa I. kategórie zabezpečená ľahkovybúrateľnou stenou a čidlami na únik plynu, výmena vzduchu $3 \times/\text{h}$

Výškový rozdiel medzi otvormi na prívod a odvod vzduchu 7.2 m

Výpočet otvorov na prívod a odvod vzduchu:

Vzduchový objem kotolne : 1036 m^3

Trojnásobná výmena vzduchu: $3 \times 1036 = 3108 \text{ m}^3/\text{h}$, **$V_v = 0,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$**

Množstvo spaľovacieho vzduchu spolu: $7320 + 376 = 7696 \text{ m}^3/\text{h}$ **$V_s = 2,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$**

Množstvo vzduchu na spaľovanie a vetranie spolu: **$V_{\text{celk}} = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$**

Kontrolný výpočet plochy otvorov na prívod a odvod vzduchu:

Merná hmotnosť vzduchu pri $+2^\circ\text{C}$ $\rho_e = 1,287 \text{ kg/m}^3$

Merná hmotnosť vzduchu pri $+12^\circ\text{C}$ $\rho_i = 1,198 \text{ kg/m}^3$

Prietokový súčiniteľ: $\mu = 0,65$

Dispozičný tlak pre výmenu vzduchu: $\Delta p = h \cdot g (\rho_e - \rho_i) = 7,2 \cdot 9,81 (1,287 - 1,198) = 6,28 \text{ Pa}$

Plocha otvorov na prívod vzduchu $S = 3,2 \text{ m}^2$ ($5 \times 0,8 \times 0,8 \text{ m}^2$)

Rýchlosť prúdenia vzduchu v otvoroch na prívod vzduchu:

$$c = \frac{V_{\text{celk}}}{S_p} = \frac{3,0}{3,2} = 0,93 \text{ m/s}$$

Tlaková strata v prírodných otvoroch:

$$\Delta P_p = \frac{c^2}{2} \rho_e \left(\frac{1}{\mu^2} \right) = \frac{0,93^2}{2} 1,287 \left(\frac{1}{0,65^2} \right) = 1,31 \text{ Pa}$$

Plocha otvorov pre odvod vzduchu $2 \times 0,8 \times 0,8 = 1,28 \text{ m}^2$

Rýchlosť prúdenia vzduchu v v otvoroch na odvod vzduchu:

$$c = \frac{V_v}{S_o} = \frac{0,860}{1,28} = 0,67 \text{ m/s}$$

Tlaková strata v otvoroch na odvod vzduchu:

$$\Delta P_o = \frac{c^2}{2} \rho_e \left(\frac{1}{\mu^2} \right) = \frac{0,67^2}{2} 1,198 \left(\frac{1}{0,65^2} \right) = 0,63 \text{ Pa}$$

$\Delta p > \Delta P_p + \Delta P_o$ t.j. $6,28 \text{ Pa} > (1,31 + 0,63) = 1,94 \text{ Pa}$ - stávajúce vetracie otvory vyhovujú .

2. Kontrolný výpočet komína podľa STN 734212

Kotol UG 3000D

Účinná výška komína $h_u = 31$ m

Priemer nerezovej vložky $D = 0,55$ m

Celková dĺžka spalínovodu $L = 41,5$ m

Výkon kotla $P = 2882$ kW

Max. dovolený podtlak za kotlom: -50 Pa

Max. dovolený pretlak za kotlom: 60 Pa

Teplota spalín $t_{vsp} = 67$ °C

Hmotnostný tok spalín $G_{sp} = 4450$ kg.h⁻¹

Objemový prietok spalín $V_h = 3560$ m³.h⁻¹

Súčiniteľ charakterizujúci tepelno-technické vlastnosti komína

$$a = \frac{kPo}{G_{sp} \cdot cp} = \frac{1,9 \cdot (\pi \cdot 0,55 \cdot 31,5)}{4450 \cdot 0,319} = 0,072$$

Hodnoty výrazov

$$\left(1 - \frac{e^a - 1}{a \cdot e^a}\right) = 0,0345, \quad \left(\frac{e^a - 1}{e^a}\right) = 0,0695$$

Stredná teplota spalín pri teplote vzduchu $+10$ °C

$$ts = t_{vsp} - \left(1 - \frac{e^a - 1}{a \cdot e^a}\right) \cdot (t_{vsp} - tv) = 67 - 0,0345 \cdot (67 - 10) = 65,03^\circ\text{C}$$

Statický ťah komína

$$hs = h_v \cdot \frac{b}{760} \left(\frac{273}{273 + tv} \cdot \gamma_v - \gamma_{sp} \frac{273}{273 + ts} \right) \cdot 10 =$$

$$= 31 \cdot \frac{735}{760} \left(\frac{273}{273 + 10} \cdot 1,242 - 1,28 \frac{273}{273 + 65,03} \right) \cdot 10 = 49,2 \text{ Pa}$$

Stredná rýchlosť prúdenia

$$vs = \frac{V_h \cdot (273 + ts)}{3600 \cdot 273 \cdot S} = \frac{3560(273 + 65,03)}{3600 \cdot 273 \cdot \frac{\pi \cdot 0,55^2}{4}} = 5,15 \text{ m/s}$$

Ťahová strata výtokovou rýchlosťou - rozšírenie

$$h_v = \gamma_{sp} \frac{vs^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{273}{273 + ts} \cdot \frac{b}{760} \cdot \xi_v = 1,28 \frac{5,15^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{273}{273 + 65,03} \cdot \frac{735}{760} \cdot 1,10 = 13,5 \text{ Pa}$$

Ťahová strata zmenou smeru prúdu

$$h_o = \gamma_{sp} \frac{vs^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{273}{273 + ts} \cdot \frac{b}{760} \cdot \xi_v = 1,28 \frac{5,15^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{273}{273 + 65,03} \cdot \frac{735}{760} \cdot 3 \cdot 10 = 40,5 \text{ Pa}$$

$$\xi_o = 1,5 \cdot 2 = 3$$

Ťahová strata trením

$$\xi_t = L \frac{O}{F} \cdot \rho = L \frac{\pi D}{\pi \frac{D^2}{4}} \cdot \rho = 41,5 \frac{\pi \cdot 0,55}{\pi \frac{0,55^2}{4}} \cdot 0,01 = 3,01$$

$$ht = \gamma_{sp} \frac{vs^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{273}{273 + ts} \cdot \frac{b}{760} \cdot \xi_v = 1,28 \frac{5,15^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{273}{273 + 65,03} \cdot \frac{735}{760} \cdot 3,01 \cdot 10 = 40,63 Pa$$

Celková strata

$$h_t = h_v + h_o + h_i = 13,5 + 40,5 + 40,63 = 94,63 Pa$$

Účinný ťah komína

$$H_u = h_s - h_t = -49,2 - 94,63 = 45,43 Pa$$

Tlaková strata komína $-50 Pa < 45,43 Pa < 60 Pa$ komínová vložka DN550, $h_u = 31 m$ vyhovuje.

3. Kontrolný výpočet poistných ventilov

Poistný ventil pre zabezpečenie kotla UG3000D

Tepelný výkon kotla UG3000D:

2 x 1441 kW

Poistný ventil ARI plnozdvižný:

2 x DN50/80

Otvárací tlak poistného ventilu:

$p_o = 0,5 MPa$

Vypúšťací výkon ventilu vrátane 10% nárastu tlaku:

$Q_z = 4000 kg/hod$

Výparné teplo:

$r = 2121 kJ \cdot kg^{-1}$

Potrebný vypúšťací výkon:

$$G_e = \frac{1441 \times 3600}{2121} = 2446 kg/h$$

$Q_z > G_e \rightarrow PV DN50/80$ vyhovuje

Poistný ventil pre zabezpečenie výmenníka tepla na ohrev pitnej vody

Max tepelný výkon výmenníka:

350 kW

Poistný ventil Meibes DUCO pre výmenník:

DN15

Výtokový súčiniteľ poistného ventilu:

$\alpha_w = 0,444$

Otvárací tlak poistného ventilu:

$p_o = 800 kPa$

Prietokový prierez poistného ventilu:

$A_0 = 113 mm^2$

Minimálny prierez sedla poistného ventilu:

$$S_o = \frac{2 \times 350}{0,444 \sqrt{800}} = 55,74 mm^2$$

$A_0 > S_o \rightarrow$ poistný ventil DN15 vyhovuje