



**ХИДРАУЛИЧКИ ПРОРАЧУН И ИЗБОР ОПРЕМЕ У РАСХЛАДНОЈ СТАНИЦИ
ИНДУСТРИЈСКОГ ОБЈЕКТА ЗА ПОТРЕБЕ ПРОЦЕСНОГ ХЛАЂЕЊА
ПРОИЗВОДНИХ МАШИНА**

**HYDRAULIC CALCULATION AND EQUIPMENT SELECTION IN COOLING STATION
OF INDUSTRIAL FACILITY FOR THE NEEDS OF PROCESS COOLING OF
PRODUCTION MACHINES**

Јован Косановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област- МАШИНСТВО - ЕНЕРГЕТИКА И
ПРОЦЕСНА ТЕХНИКА**

Кратак садржај – Тема рада јесте хидраулички прорачун и избор опреме у расхладној станици индустријског објекта за потребе процесног хлађења производних машина. Детаљно је описана усвојена опрема за припрему расхладног флуида који се користи за хлађење производних машина у погону. На основу усвојених вредности расхладног капацитета и других полазних величина урађен је хидраулички прорачун за два одвојена система хлађења – процесно хлађење машина за брушење и процесно хлађење пећница.

Кључне речи: Пумпе, цевоводи, хидраулички прорачун, расхладни агрегат, процесно хлађење

Abstract – The subject of the paper is the hydraulic calculation for defining proper equipment of the industrial building cooling station used for the cooling process of production machines. The required equipment for the coolant preparation is considered, which is used for the cooling process of production facility machines. The hydraulic calculation is shown for two different cooling systems (process cooling of grinding machines and process colling of industrial ovens) according to the cooling capacity and other input values needed for the calculation.

Keywords: Pumps, pipeline, hydraulic calculation, process cooling

1. УВОД

Висок степен иновативних технологија и капиталних инвестиција модерне индустрије подразумева све већу потребу за оптимизованим и економски одрживим расхладним процесима. Имајући у виду обим распростањености и важност правилног, ефикасног и еколошки прихватљивог рада, расхладни системи захтевају висок степен оптимизације, резултујући мање трошкове у оперативном смислу. Да би расхладни систем могао да обезбеди жељене параметре, поред адекватног термичког прорачуна, односно прорачуна топлотних добитака, неопходно је и правилно димензионисати опрему на основу хидрауличног прорачуна.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Слободан Ташин.

У раду је представљено концептуално решење, као и хидраулички прорачун и одабир одговарајуће опреме уз предефинисани расхладни капацитет.

**2. ПРОЈЕКТНО РЕШЕЊЕ СИСТЕМА ЗА
ХЛАЂЕЊЕ ПРОИЗВОДНИХ МАШИНА**

2.1 Опис објекта индустријске производње

Објекат у којем се обавља процес производње делова за аутоиндустрију сачињен је из два дела:

- Производног погона – који чине машине за брушење, пећнице у којима се материјал термички обрађује и цевни развод инсталације технолошког хлађења производних машина у погону,
- Расхладне станице – у којој се налази опрема, односно уређаји који чине системе за технолошко хлађење производних машина. Из расхладне станице, преко цевног развода, производне машине се снабдевају расхладним флуидом.

Инсталација технолошког хлађења производног погона је подељена је на два независна система:

- Систем процесног хлађења машина за брушење,
- Систем процесног хлађења пећница.

У складу са технолошким потребама погона изведена је инсталација за технолошко хлађење машина за брушење, коју сачињавају:

Водом хлађени расхладни агрегат („chiller“), ваздушни хладњак („dry cooler“) монтиран у спољашњем простору, поред расхладне станице, растављиви плочасти измењивач топлоте за природно хлађење расхладног флуида („free cooling“), акумулациони резервоар расхладне воде запремине 2 м³, мембранске експанзионе посуде и пратећа арматура.

У складу са технолошким потребама погона изведена је инсталација за технолошко хлађење пећница као други одвојен систем хлађења којег чине:

Адијабатски хладњак монтиран у спољашњем простору, мембранска експанзиона посуда и пратећа арматура.

2.2 Технолошко хлађење машина за брушење током зимског и летњег периода

Рад постројења током зимског периода:

Концентрирана смеша воде и гликола се потисним водом води од ваздушног хладњака до плочастог измењивача топлоте у којем долази до размене топлоте између концентроване смеше воде и гликола са примарне стране и воде са секундарне стране. Охлађена вода излази из плочастог измењивача топлоте и челичним цевоводом се води до расхладног агрегата. Охлађена вода циркулише кроз расхладни агрегат у коме не долази до размене топлоте и преко циркулационих пумпи се води у акумулациони резервоар.

У акумулационом резервоару долази до мешања воде са стране потиса и поврата, али је промена температуре незнатна. Хладна вода се даље преко циркулационих пумпи води кроз челични, а затим на уласку у производни погон, кроз пластични цеводод до крајњег корисника односно машина за брушење.

Хладна вода циркулише кроз хладњак машине, долази до размене топлоте између расхладне техници машине и воде, машина се хлади, а расхладна вода, чија је температура после размене топлоте сада већа, враћа се повратним цевоводом назад у расхладну станицу где се процес хлађења понавља.

Рад постројења током летњег периода:

Концентрирана смеша воде и гликола се потисним водом води од ваздушног хладњака ка расхладном агрегату, у овом случају троктаки вентил се отвара и пушта проток воде директно ка примарном делу расхладног агрегата, тиме затварајући трасу тока ка плочастом измењивачу топлоте. Расхладни агрегат смањује температуру воде на страни секундара на задату вредност.

Охлађена вода се преко циркулационих пумпи води у акумулациони резервоар где се меша са водом са стране поврата, али је промена температуре незнатна. Хладна вода се даље преко циркулационих пумпи води кроз челични, а затим на уласку у производни погон, кроз пластични цеводод до крајњег корисника - машина брушење.

Хладна вода циркулише кроз хладњак машине, долази до размене топлоте између расхладне техници машине и воде, машина се хлади, а расхладна вода, чија је температура после размене топлоте сада већа, враћа се повратним цевоводом назад у расхладну станицу где се процес хлађења понавља.

2.3 Технолошко хлађење пећница

Адијабатски хладњак обезбеђује потребну температуру концентроване смеше воде и етилен-гликола који се користи за хлађење пећница. За разлику од ваздушног хладњака („dry cooler“), адијабатски хладњак поред својих вентилатора који хладе расхладни флуид, испод свог саћа измењивача има изведен цевни развод прскалица кроз које се под високим притиском избацује омекшана вода по саћу измењивача и додатно расхлађује смешу.

3. ХИДРАУЛИЧКИ ПРОРАЧУН

3.1 Дефинисање расхладних капацитета и општи прорачун

У табели 1 приказане су полазне величине неопходне за хидраулички прорачун свих расхладних кругова:

Табела 1: Полазне величине

Величине/круг	1	2	3	4
W [kW]	374	294	294	120
t_1/t_2 [°C/°C]	45/40	16/12	16/12	40/30
d_u [mm]	131,7	131,7	131,7	70,3
L [m]	40	15	140	160
$\Sigma\zeta$	6	6	6	8
ν [m ² /s]	$2 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
ε [mm]	0,2	0,15	0,15	0,2
c_p [kJ/kgK]	3,9	4,2	4,2	3,9

при чему је:

W [kW] – расхладни капацитет,
 t_1/t_2 [°C/°C] – температурни режим,
 d_u [mm] – унутрашњи пречник цеви,
L [m] – укупна дужина цевовода,
 $\Sigma\zeta$ – сума локалних отпора,
 ν [m²/s] – кинематска вискозност,
 ε [mm] – апсолутна храпавост,
 c_p [kJ/kgK] – специфична топлота,

док су расхладни кругови означени на следећи начин:

- 1 – технолошко хлађење машина за брушење – кондензаторски круг,
- 2 – технолошко хлађење машина за брушење – примарни испаривачки круг,
- 3 – технолошко хлађење машина за брушење – секундарни испаривачки круг,
- 4 – технолошко хлађење пећница.

На основу полазних вредности добија се масени проток:

$$\dot{m} = \frac{W}{c_p \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Брзина концентроване смеше кроз цевни развод износи:

$$v = \frac{\dot{m}}{(\rho \cdot d^2 \cdot \pi) \cdot 4} \quad (2)$$

Релативна храпавост износи:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{d} \quad (3)$$

где је:

ε – апсолутна храпавост,
 d – унутрашњи пречник цеви.

Рејнолдсов број:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4)$$

где је:

ν – кинематска вискозност.

Коефицијент трења се израчунава:

$$\lambda = \frac{1,325}{\ln\left(\frac{e_r}{3,7} + \left(\frac{5,74}{R_c}\right)^{0,9}\right)^2} \quad (5)$$

,па је јединични пад притиска услед трења:

$$\Delta P_i = \frac{\lambda}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (6)$$

Пад притиска услед линијског отпора добија се:

$$\zeta_i = L \cdot \Delta P_i \quad (7)$$

где је:

L – дужина трасе ценовода.

Пад притиска услед локалних отпора рачуна се:

$$\zeta_i = \sum \zeta_i \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (8)$$

Укупан пад притиска у ценоводу износи:

$$\Delta P = \zeta_i + \zeta_i \quad (9)$$

док је потребан проток:

$$Q = \frac{m}{\rho} \quad (10)$$

На основу протока и укупног пада притиска добија се радна тачка пумпе, на основу које се димензионише пумпа. [1][2][3]

3.2 Резултати прорачуна

На основу усвојених вредности из табела 1 и релација [1]-[10] добијене су вредности за укупан пад притиска у ценој мрежи и потребан проток кроз сваки од наведених расхладних кругова.

Табела 2: Укупни пад притиска у кондензаторском кругу

Δр притиска у ценој мрежи	12.506 Pa
Δр на хватачу нечистоће DN125	12.000 Pa
Δр у измењивачу топлоте сувог хладњака	35.000 Pa
Δр у размењивачу топлоте расхладног агрегата	65.000 Pa
Δр у неповратној клапни DN125	15.000 Pa
УКУПНО	139.506 Pa

На основу добијених вредности потребног напора (табела 2) и протока у кондензаторском кругу у оквиру технолошког хлађења машина за брушење, усвајају се две пумпе (радна + резервна) следећих карактеристика:

Произвођач: „Grundfos“

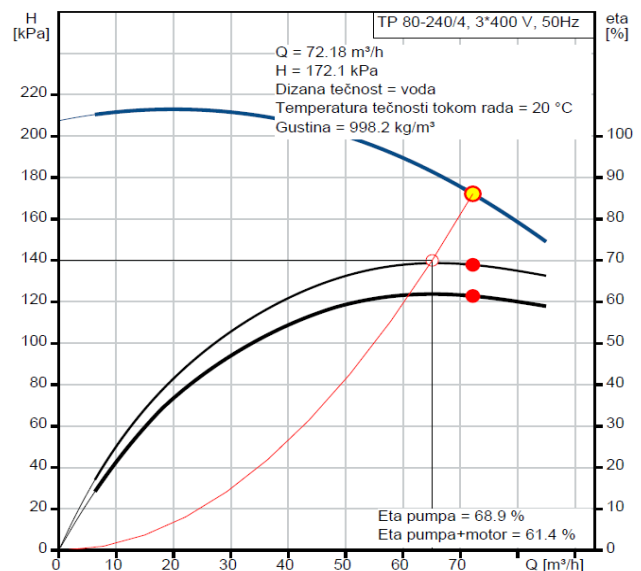
Тип: TP 80-240/4,

Радна тачка:

- проток: **65,1 m³/h**

- напор: **140 kPa**

Крива пумпе Grundfos TP 80-240/4 приказана је на слици 1.



Слика 1: Крива пумпе Grundfos TP 80-240/4

Табела 3: Укупни пад притиска у примарном испаривачком кругу

Δр у ценој мрежи	7.105 Pa
Δр на хватачу нечистоће DN125	12.000 Pa
Δр у измењивачу топлоте расхладног агрегата	40.000 Pa
Δр у неповратној клапни DN125	15.000 Pa
УКУПНО	74.105 Pa

На основу добијених вредности потребног напора (табела 3) и протока у примарном испаривачком кругу у оквиру технолошког хлађења машина за брушење, усвајају се две пумпе (радна + резервна) следећих карактеристика:

Произвођач: „Grundfos“

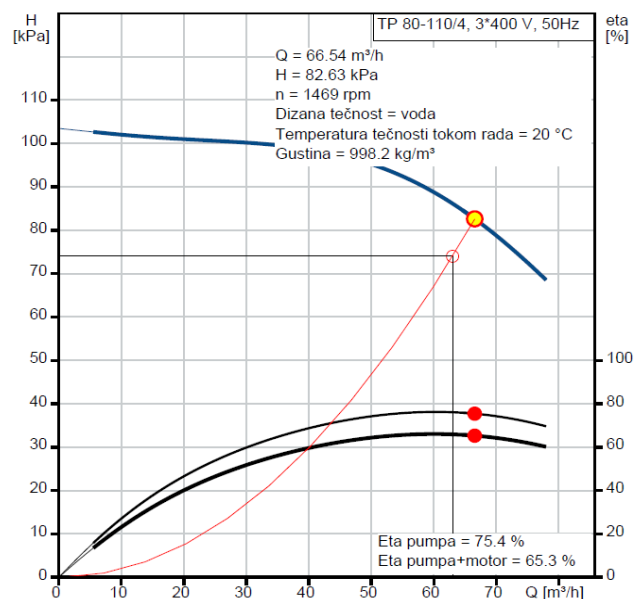
Тип: TP 80-110/4,

Радна тачка:

- проток: **63 m³/h**

- напор: **74 kPa**

Крива пумпе Grundfos TP 80-110/4 приказана је на слици 2.



Слика 2: Крива пумпе Grundfos TP 80-110/4

Табела 4: Укупни пад притиска у секундарном испаривачком кругу

Δр у цевној мрежи	24.081 Pa
Δр на хватачу нечистоће DN125	12.000 Pa
Δр у измењивачу топлоте машине за брушење	65.000 Pa
Δр у неповратној клапни DN125	15.000 Pa
УКУПНО	116.081 Pa

На основу добијених вредности потребног напора (табела 4) и протока у секундарном испаривачком кругу у оквиру технолошког хлађења машина за брушење, усвајају се две пумпе (радна + резервна) следећих карактеристика:

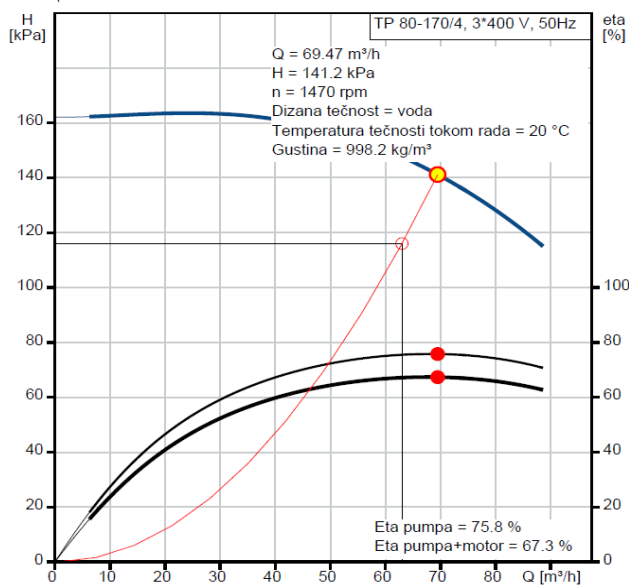
Произвођач: „Grundfos“

Тип: **TP 80-170/4**,

Радна тачка:

- проток: **63 m³/h**
- напор: **116 kPa**

Крива пумпе Grundfos TP 80-170/4 приказана је на слици 3.



Слика 3: Крива пумпе Grundfos TP 80-170/4

Табела 5: Укупни пад притиска у расхладном кругу за технолошко хлађење пећница

Δр у цевној мрежи	22.972 Pa
Δр на хватачу нечистоће DN65	12.000 Pa
Δр у измењивачу топлоте адијабатског хладњака	42.000 Pa
Δр у измењивачу топлоте пећнице	55.000 Pa
Δр у неповратној клапни DN100	15.000 Pa
УКУПНО	146.972 Pa

На основу добијених вредности потребног напора (табела 5) и протока у расхладном кругу за технолошко хлађење пећница, усвајају се две пумпе (радна + резервна) следећих карактеристика:

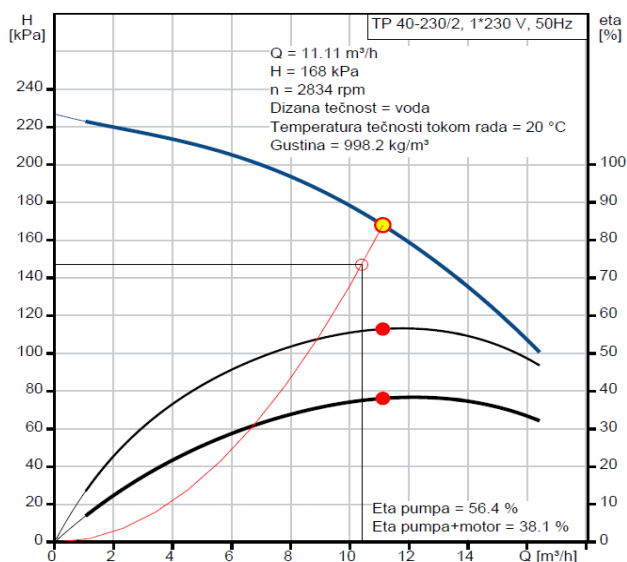
Произвођач: „Grundfos“

Тип: **TP 40-230/2**,

Радна тачка:

- проток: **10,4 m³/h**
- напор: **147 kPa**

Крива пумпе Grundfos TP 40-230/2 приказана је на слици 4 [4].



Слика 4: Крива пумпе Grundfos TP 40-230/2

4. ЗАКЉУЧАК

Инсталација за технолошко хлађење машина у производном погону подељена је у два независна система: Један је технолошко хлађење машина за брушење, а други технолошко хлађење пећница. Из хидрауличког прорачуна кондензаторског круга система технолошког хлађења машина за брушење добијен је проток од 65,1 m³/h, као и укупни пад притиска од 140 kPa, те је усвојена пумпа Grundfos TP 80-240/4.

Из хидрауличког прорачуна испаривачког круга - примар за систем технолошког хлађења машина за брушење, добијене су вредности потребног протока и напора од 63 m³/h и 74 kPa, па је усвојена пумпа Grundfos TP 80-110/4. За испаривачки круг - секундар система технолошког хлађења машина за брушење, добијене су вредности потребног протока и напора од 63 m³/h и 116 kPa и усвојена је пумпа Grundfos TP 80-170/4. За систем технолошког хлађења пећница, добијене су вредности потребног протока и напора од 10,4 m³/h и 147 kPa, па је усвојена пумпа Grundfos TP 40-230/2.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Расхладни уређаји, Миле Маркоски, Универзитет у Београду, Машински факултет, 2003. год.
- [2] Расхладни уређаји и инсталације – монтажа, пуштање у рад, одржавање и поправке, Стеван Шамшаловић, СМЕИТС, Београд, 2012. год.
- [3] Грејање и климатизација, Recknagel, Sprenger, Schramek, Чеперковић, АГМ књига, 2012. год.
- [4] Grundfos website, <https://www.grundfos.com/rs>

Кратка биографија:



Јован Косановић рођен је у Руми 1992. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Енергетика и процесна техника одбранио је 2022. год.
Контакт: j.kosanovic@outlook.com