

## УВОД

Вентилаторски млинови се још од половине тридесетих година примењују за млевење угљева са великим садржајем влаге. У Србији они почињу да се користе за енергетске и веће индустријске котлове почетком педесетих година и то претежно за млевење лигнита.

Сличност ових млинова са радијалним вентилаторима обезбеђује високу вентилациону способност и омогућује рад са високим температурама транспортног флуида, чиме се ствара могућност за интензивно сушење угљеног праха у млинском постројењу. Сушење се врши мешавином врелих продуката сагоревања који се одузимају са врха ложишта и загрејаног ваздуха. Тиме се спречава могућност појаве експлозије у млинском тракту чак и при високим температурама аеросмеше, које омогућавају добро сушење угљеног праха. На тај начин се смањује могућност пулсације пламена у ложишту и спречава се повећање губитака насталих приликом процеса сагоревања, а у неким случајевима се спречава процес убрзаног прљања и зашљакивања грејних површина у ложишту.

У вентилаторском млину се сва маса угља, укључујући и недовољно самлевени угаљ који се из сепаратора враћа поново на млевење, судара са ударним лопатицама и клизи по њима, чиме се у знатној мери повећава њихова ерозија и специфична потрошња електричне енергије за млевење угља. Осим тога, у рециркулисаним продуктима сагоревања се налазе честице пепела који је обично абразивнији од сировог угља, односно минералних материја које се налазе у њему.

Интензивна рецикулација охлађеног транспортног флуида који је обogaћен минералним материјама веће густоће између сепаратора и улаза у млинско ударно коло осетно смањује вентилационо дејство млина и повећава потрошњу енергије за млевење угља. Поред тога, убрзава се и хабање ударних плоча и тиме се скраћује радни век ударног кола.

Одређивање карактеристика постројења за припрему угљеног праха је веома компликовано јер оне зависе од низа фактора и специфичности везаних за врсту и тип млина, од концепције самог млинског тракта и његове међусобне везе како са ложиштем тако и са парним котлом у целини.

У циљу анализирања могућности за повећање капацитета млина N 80.75 у овом раду су извршени прорачуни капацитета млевења, прорачун капацитета сушења, аеродинамички прорачун који обухвата прорачун пада притиска у млинском тракту и одређивања напора млина и прорачун снаге погонског електромотора. Прорачун је вршен за оптерећење котла 100% и за гарантни угаљ. Извршена је симулација помоћу рачунарског програма за прорачун млинског постројења и самог млина који је израђен тако да се за све величине које се добијају прорачуном могу анализирати при промени једног или више утицајних параметара, како би се рад млинског постројења и повећање његовог капацитета млевења могли анализирати у реалним границама. Алгоритам прорачуна је обрађен у *Microsoft Visual Basic 2008* програму и резултати анализе, као и прорачунски софтвер су дати у прилогу овог рада. Израђен је и 3D модел ударног кола млина у програму *CATIA V5R18*.

## 1. ТЕХНИЧКИ ОПИС ПАРНОГ КОТЛА БКЗ 200-100

Парни котао представља отворени тј. проточни систем за трансформисање енергије. Са термодинамичке тачке гледишта парни котао, тј. његове грејне површине представља размењивач топлоте. Основна намена парног котла је производња паре притиска вишег од атмосферског која се може користити за добијање механичког рада, за грејање и за индустријске процесе или за комбиновану производњу механичког рада и топлоте. Са конструктивног становишта најчешћи основни елементи парног котла су: котловско ложиште, котао у ужем смислу, прегрејачи паре и накнадне грејне површине. Ложиште треба да омогући ослобађање хемијски везане енергије горива која се сагоревањем горива претвара у топлоту.

Сви остали наведени елементи котла су измењивачи топлоте. Као и у сваком размењивачу топлоте и код парног котла постоји предајник и пријемник топлоте. Предајник топлоте су продукти сагоревања, а пријемник топлоте је топла, врела и кључала вода, засићена, прегрејана пара, хладан и загрејан ваздух.

Парни котлови блока 2 ТЕ „Костолац“ А пројектовани су за косточлачки лигнит доње топлотне моћи 7600 kJ/kg са садржајем влаге  $W^r = 38,5\%$  и садржајем пепела  $A^r = 27\%$ . Котлови су руске (совјетске) производње типа БКЗ 200-100 са природном циркулацијом и једним бубњем. Изведени су по П систему. Карактеристике једног котла су:

|                                   |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| ➤ Номинална продукција свеже паре | $D = 55,556 \text{ kg/s}$             |
| ➤ Притисак прегрејане паре        | $p_s = 99 \text{ bar}$                |
| ➤ Температура прегрејане паре     | $t_s = 540 \text{ }^\circ\text{C}$    |
| ➤ Радни притисак                  | $p_k = 109,8 \text{ bar}$             |
| ➤ Притисак напојне воде           | $p_{nv} = 114,7 \text{ bar}$          |
| ➤ Температура напојне воде        | $t_{nv} = 215 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| ➤ Водени простор котла            | $V_v = 79,5 \text{ m}^3$              |
| ➤ Парни простор котла             | $V_p = 44,3 \text{ m}^3$              |

Поједностављена диспозиција парног котла приказана је на слици 1.1[2].

За сагоревање овог горива котао је опремљен са четири вентилаторска млина са правопроточним горионичима угљене прашине, смештених на угловима ложишта. Ложиште је постављено у првом пењућем делу димних гасова. У другом спуштајућем делу димних гасова смештен је економајзер воде и загрејач ваздуха, који су инсталирани у такозваном „раздељеном“ облику. У горњем хоризонталном делу гасовода, смештен је прегрејач паре.

Напојна вода се доводи у загрејач који је изведен у два степена: први (1) и други (2) између којих је, по току гасова, смештен други степен загрејача ваздуха. Оба степена загрејача су

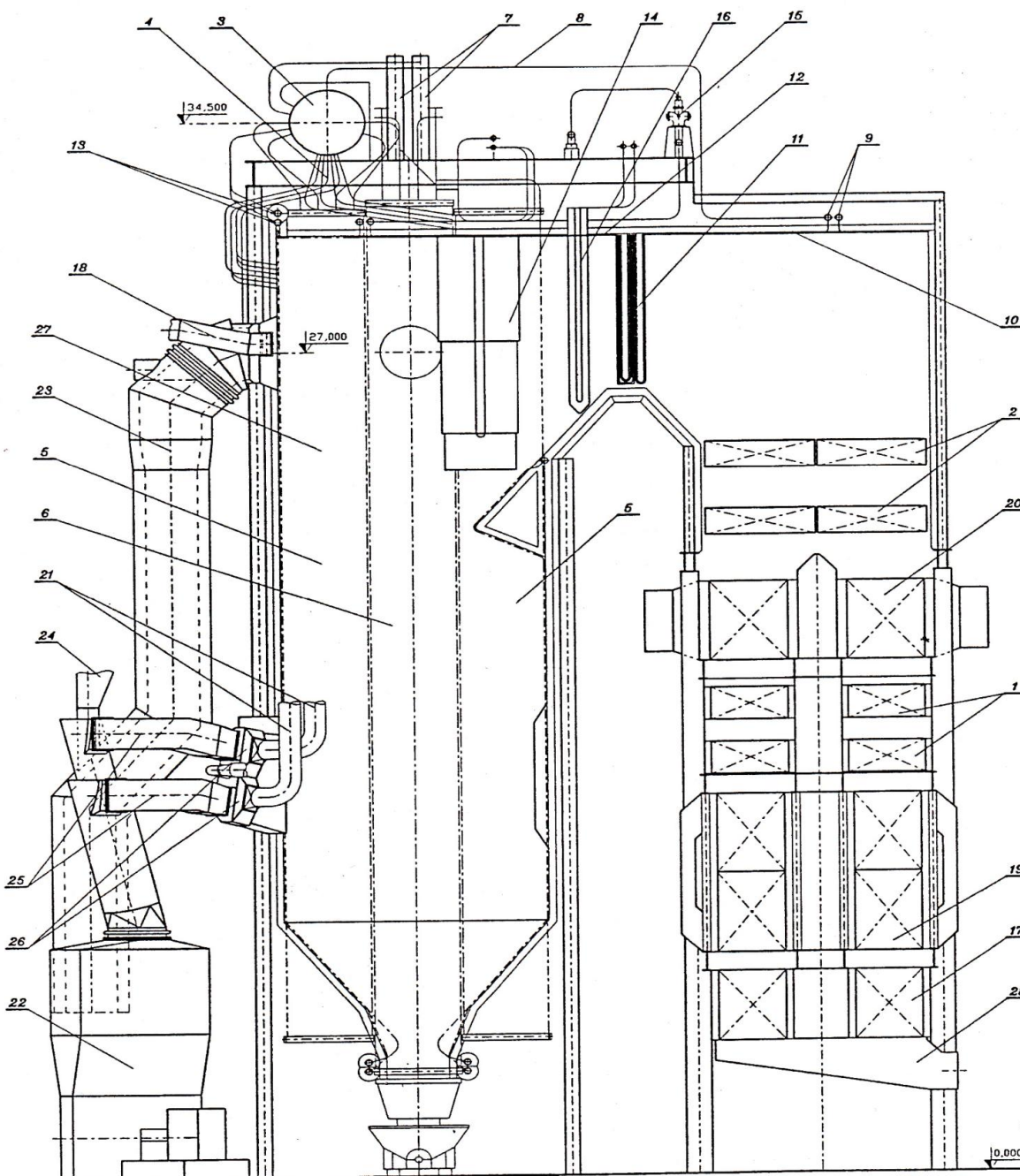
изведена са по четири пакета. Димензије цеви су  $\phi$  32,5 mm у шаховском поретку са уздужним кораком 90 mm и попречним кораком 55 mm. Наструјавање димних гасова и воде је супротносмерно попречно.

Из другог степена загрејача вода се одводи у котловски добош (3) из кога се системом спусних цеви (4) вода доводи у доње сабирнике екранских цеви ложишта. Екрански зидови израђени су од цеви  $\phi$  60x5 mm са кораком од 80 mm. На сва четири зида цеви су по току воде подељене на по три секције. Бочне секције предњег и задњег зида ложишта имају по 33 цеви, а средње по 31. Све секције предњег и задњег зида ложишта су, посредством горњих колектора и преструјних цеви прикључене на котловски добош. Све секције бочних зидова ложишта имају по 31 цев, с тим што су крајње (5) прикључене на добош, док док су у циркулационо коло коме припадају средње секције (6) укључени такозвани спољашњи циклони.

Сувозасићена пара се преструјним цевима (8) доводи у троделни сабирник (9) из кога су по плафону хоризонталног гасног канала распоређене 172 цеви  $\phi$  38x4 mm које представљају претпрегрејач паре (10). Од ових цеви се формира конвективни прегрејач паре (11) који се састоји од 86 двоструких цевних змија са цевима  $\phi$  38x4 mm. Цевне змије су у коридорном поретку, а наструјавање је комбиновано (истосмерно и супротосмерно попречно).

По изласку из конвективног прегрејача, цеви (172 комада  $\phi$  38x4 mm) се воде по плафону хоризонталног гасног канала и ложишта, па представљају плафонски прегрејач паре (12). Цеви плафонског прегрејача уводе се у троделни улазни колектор полуозраченог прегрејача паре (13). Полуозрачени прегрејач паре (14) састоји се од 12 цевних завеса са попречним кораком 630 mm и уздужним кораком 55 mm. Пара из сабирника (13) се одводи у по три бочне цевне завесе израђене од цеви  $\phi$  38x4 mm, а затим у хладњак са убризгавањем број 1. Из хладњака број 1 пара се одводи у шест средњих цевних завеса са цевима  $\phi$  38x5 mm, а из њих у дводелни улазни колектор излазног прегрејача паре. Излазни прегрејач паре (16) израђен од цеви  $\phi$  38x5 mm подељен је на 12 блокова цевних змија. Пара из улазног колектора одводи се у три бочна блока, а из њих у хладњак са убризгавањем број 2. Из хладњака број 2 пара се одводи у шест средњих блокова, а затим у потрошњу.

Ваздух за сагоревање се помоћу два радијална вентилатора доводи у први пакет првог степена загрејача (17), после кога се дели на две струје: примарни ваздух који се кроз прикључке (18) уводи у главу рецикулационог канала и секундарни и терцијални који се најпре одводе у други пакет првог степена (19) и други степен загрејача (20). После загревања до коначне температуре секундарни ваздух се кроз прикључке (21) одводи у горионике, а терцијални служи за догоревање и убада се у катао одмах изнад хладног левка.



Слика 1.1. Диспозиција парног котла БКЗ 200-100 у ТЕ „Костолац А“ [2]. 1. Први степен загрејача воде; 2. Други степен загрејача воде; 3. Котловски добош; 4. Спусне цеви; 5. Крајње секције бочних зидова; 6. Средње секције бочних зидова; 7. Спољашњи циклони; 8. Преструјне цеви; 9. Троделни сабирник; 10. Претпрегрејач паре; 11. Конвективни прегрејач паре; 12. Плафонски прегрејач паре; 13. Троделни улазни колектор полуозраченог прегрејача паре; 14. Полуозрачени прегрејач паре; 15. Дводелни улазни колектор излазног прегрејача паре; 16. Излазни прегрејач паре; 17. Први пакет првог степена загрејача ваздуха; 18. Прикључак за увођење примарног ваздуха у главу рециркулационог канала; 19. Други пакет првог степена загрејача ваздуха; 20. Други степен загрејача ваздуха; 21. Прикључци за увођење секундарног ваздуха у горионице; 22. Вентилаторски млин; 23. Рециркулациони канал; 24. Прикључак за довод угља; 25. Канали за аеросмешу; 26. Горионици; 27. Ложиште; 28. Прикључак за димни канал.

Угаљ се меље и суши у четири млина (22). Сушење се врши мешавином рециркулационих гасова и примарног ваздуха који се рециркулационим каналом (23) доводи у млин. Угаљ се доводи кроз прикључак за угаљ (24). Аеросмеша се каналима (25) доводи у горионике (26) кроз које се удубава у ложиште (27). Димни гасови струје преко полуозраченог прегрејача (14), излазног прегрејача (16), конвективног прегрејача (11), другог степена загрејача воде (2), другог степена загрејача ваздуха (20), првог степена загрејача воде (1) и првог степена загрејача ваздуха (17 и 19), па кроз прикључак (28) напуштају котао.

Карактеристике лигнита са површинског копа „Дрмно“ дате су у табели 1[3].

| Карактеристике                    | Лошији угаљ | Гарантни угаљ | Бољи угаљ |
|-----------------------------------|-------------|---------------|-----------|
| Садржај воде, %                   | 37,8        | 38,5          | 40        |
| Садржај пепела, %                 | 31,7        | 27,5          | 24        |
| Садржај сагоривих материја, %     | 30,5        | 34            | 36        |
| Садржај $C_{fix}$ , %             | 11,5        | 13,4          | 14,1      |
| Садржај испарљивих материја, %    | 19          | 20,6          | 21,9      |
| Садржај сумпора, %                | 1,25        | 1,3           | 1,35      |
| Доња топлотна моћ, KJ/kg          | 6600        | 7600          | 8000      |
| Коефицијент мељивости по Хардгроу | 40          | 40            | 40        |

Табела 1. Карактеристике лигнита „Дрмно“

## 2. ДЕТАЉАН ОПИС ПОСТОЈЕЋЕГ МЛИНА ЗА СНАБДЕВАЊЕ УГЉЕНИМ ПРАХОМ КОТЛОВСКОГ ПОСТРОЈЕЊА ИЗ ТАЧКЕ 1.

Припрема угљеног праха врши се изван котла у посебним постројењима. Склоп процеса и уређаја за спрашивање угља назива се системом за припрему угљеног праха одвија се читав низ процеса који се не могу посматрати независно један од другог. Основни процеси су млевење и сушење угљева, као и хабање радних елемената постројења. Поред тога, од посебног значаја су аеродинамични процеси у млину, заколу и сепаратору угљеног праха, као и процеси везани за транспорт аеросмеше до горионика.

Постројења за припрему угљеног праха котлова блока 2 ТЕ „Костолац“ А састоје се од четири вентилаторска млина типа N 80.75 производње „Минел-Котлоградња“ по лиценци EVT ( немачки произвођач млинских постројења). У оквиру ранијих реконструкција ових млинова, у циљу повећања капацитета млевења и њихове расположивости, повећан је пречник радног кола за 90 mm и износи 2,09 m. Ови млинови сада имају следеће карактеристике [3]:

- Тип млина EVT - N 80.75
- Број млинова по котлу 4

|                                                 |                                    |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|
| ➤ Пречник радног кола                           | 2090 mm                            |
| ➤ Светла ширина ударних плоча                   | 580 mm                             |
| ➤ Висина ударних плоча                          | 345 mm                             |
| ➤ Број ударних плоча                            | 10                                 |
| ➤ Број обртаја радног кола млина                | $12,33 \text{ s}^{-1}$ (740 o/min) |
| ➤ Капацитет млевења                             | 5,64 kg/s (20,3 t/h)               |
| ➤ Температура аеросмеше                         | 190 – 210 °C                       |
| ➤ Садржај влаге у угљеном праху                 | 6 %                                |
| ➤ Остатак на сити од $R=90 \text{ }\mu\text{m}$ | 55 %                               |

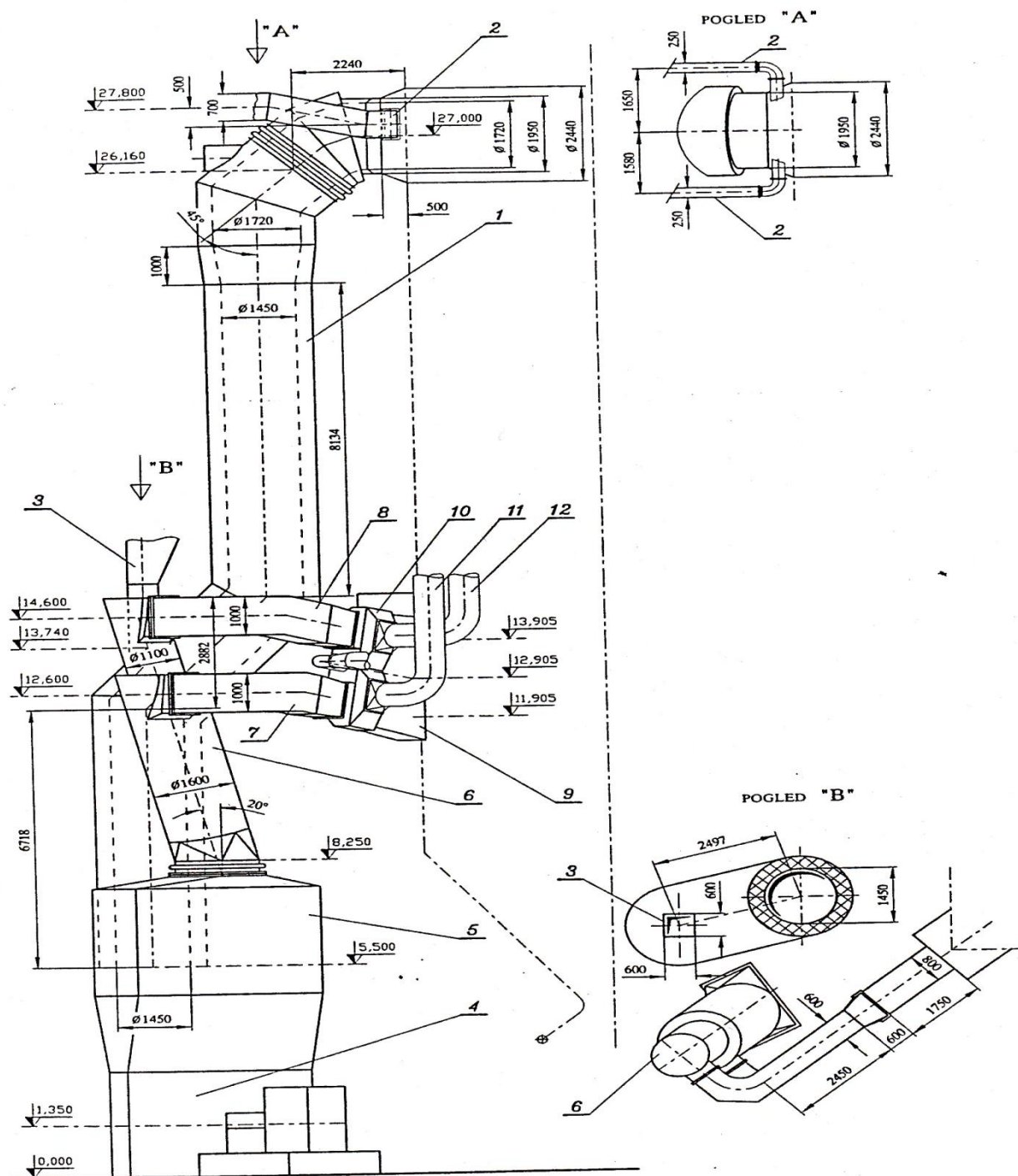
Основне карактеристике погонског електромотора су:

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| ➤ Тип                  | ZKN 6190 A/8 |
| ➤ Снага                | 450 kW       |
| ➤ Називни број обртаја | 740 o/min    |
| ➤ Напон                | 6000 V       |
| ➤ Јачина струје        | 58 A         |

Диспозиција једног млинског постројења приказана је на слици број 2.1[3], где су приказане све потребне димензије, коте и позиције. Врели димни гасови се одузимају са врха ложишта температуре око 950 °C и рециркулационим каналом (1) доводе се у млин (4). На глави рециркулационог канала прикључени су канали за примарни ваздух (2), а на косом делу канала изведен је прикључак за довођење угља (3). Угаљ и мешавина врелих рециркулационих гасова и примарног ваздуха се доводе у млин (4) у коме се врши симултано млевење и сушење угља. После издвајања недомлевених честица у инерцијалном сепаратору (5) аеросмеша доспева у раздвајач аеросмеше (6) из кога се каналом (7) одводи у доњу етажу горионика(9). Секундарна струја, мање концентрације угљеног праха, се каналом (8) одводи у горњу етажу (10) горионика. Секундарни ваздух се у доњу и горњу етажу горионика доводи каналима (11) и (12).

Инерцијални сепаратор се најчешће користи код брзоходних млинова, код којих се остатак на сити од 90  $\mu\text{m}$  креће у границама  $R_{90}= 40\text{-}60\%$ . Овај сепаратор представља вертикални канал са мањим или већим скретањем на крају, које се регулише подесивим клапнама. После скретања струја аеросмеше се дели на два дела. Највећи део транспортног флуида са финим угљеним прахом струји навише ка горионику, док се грубље честице, због дејства силе инерције, одводе натраг у млин на поновно млевење.

У раздвајачу се угљени прах дели тако да је степен његовог издвајања  $g = 0,75$ , а степен дељења отпарака  $I = 0,5$ . С обзиром да се у млиновима врши припрема угљеног праха различитог квалитета, аеросмеша на излазу из сепаратора је подељена на два гориника, ради постизања већег капацитета котла или успешног сагоревања горива лошијег квалитета.



Слика 2.1. Диспозиција постојећег млинског постројења 1[2]. Рецикулациони канал; 2. Канал за примарни ваздух; 3. Прикључак за угаљ; 4. Вентилаторски млин; 5. Млински (инерцијални) сепаратор; 6. Раздвајач аеросмеше; 7. Канал за аеросмешу ка доњој етажи горионика; 8. Канал за аеросмешу ка горњој етажи горионика; 9. Доња етажа горионика; 10. Горња етажа горионика; 11. Канал за секундарни ваздух ка доњој етажи горионика; 12. Канал за секундарни ваздух ка горњој етажи горионика.

За припрему угљеног праха користе се различити млинови који се у основи разликују по механизму млевења. Постоји више могућности да се угљеној маси која се меље доведе енергија. Разликују се неколико основних могућности дејства силе на честицу: гњечење, сечење, трење, туцање и удар. Енергија која се у млиновима користи за ситњење угљене масе доводи се истовремено на неколико начина, од којих је један обично доминантан. У млиновима који се користе за млевење домаћих угљева доминантан је удар и, делимично, трење.

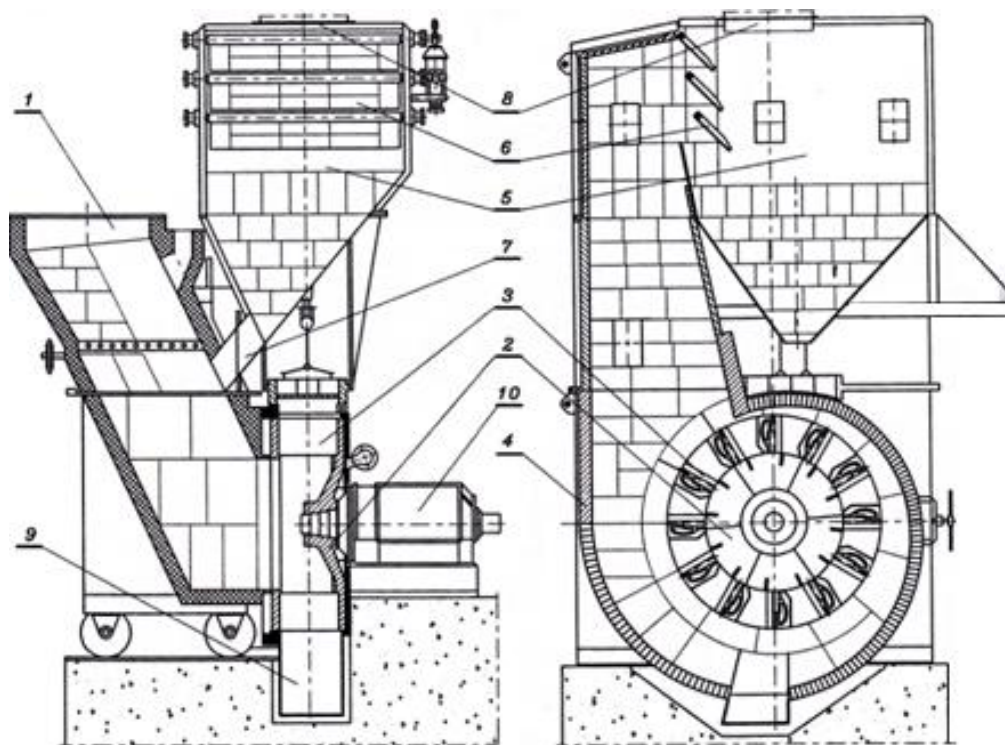
Пошто су млинови ротационе машине, начин млевења је у првом реду дефинисан њиховим бројем обртаја, па се они најчешће према њему и деле на:

- спороходе (број обртаја мањи од 75 o/min) чији је представник добошасти млин
- средњеходе (број обртаја од 75 ÷ 225 o/min) у које спадају млинови са чашом, млинови са клатном, млинови са диском и млинови са куглама.
- брзоходи млинови (број обртаја већи од 225 o/min) чији су преставници млинови чекићари и вентилаторски млинови.

У нашим термоенергетским објектима примењују се брзоходи млинови. За њих је карактеристично да се процес млевења одвија углавном сударом и трењем, а код млинова чекићара делимично и гњечењем. Због обимности материје овде ће детаљније бити описан најчешће примењен млин у термоблоковима у Србији тј. вентилаторски млин.

Вентилаторски млинови су погодни за влажних угљева какви су, на пример, лигнити, па се због тога најчешће користе у домаћим постројењима. Слични су радијалним вентилаторима, с тим што су им елементи који учествују у процесу млевења ојачани због присуства абразивних материјала у гориву.

Конструкција вентилаторског млина приказана је на слици 2.2 [1]. Кроз улазно грло (1) у млин се доводи сирови угаљ заједно са продуктима сагоревања рециркулисаним са врха ложишта. Приликом проласка кроз ударно коло (2) угаљ се меље сударом са масивним ударним лопатицама (3) постављеним као код радијалног вентилатора. Приликом млевења долази до наглог хлађења сушећег флуида, проузрокованог интензивним сушењем које се одвија симултано са процесом млевења. Аеросмеша се из млина преко регулационих клапни (6) уводи у инерциони сепаратор (5) у коме, због силе инерције, при скретању струје долази до издвајања крупнијих, недовољно самлевених честица. Ове честице се преко левка (7) враћају у улазно грло и поново се мељу како би се постигла задовољавајућа финоћа угљеног праха на излазу из сепаратора (8). Заједно са недомлевеним честицама, из сепаратора се у млин враћа знатна количина охлађених продуката сушења, због чега се смањује вентилационо дејство млина и повећава енергија за млевење. Осим тога, како су рецикулационе честице обogaћене абразивним минералним материјама, које имају већу густину од угљене масе, као и металним честицама насталим хабањем радних елемената млина, знатно се повећава и убрзава њихово даље хабање, чиме се смањује радни век млина.



Слика 2.2. Вентилаторски млин N 80.75 1. Улаз угља и сушећег флуида; 2. Ударно коло; 3. Ударне плоче; 4. Кућиште млина; 5. Млински сепаратор; 6. Регулационе клапне; 7. Повратак грубо млевених честица; 8. Излаз аеросмеше; 9. Шахт млина; 10. Дупли лежај

### 3. ОСВРТ НА УОБИЧАЈЕНУ МЕТОДОЛОГИЈУ ИЗБОРА МЛИНА ЗА ДАТО КОТЛОВСКО ПОСТРОЈЕЊЕ

Одређивање карактеристика постројења за припрему угљеног праха зависи од низа фактора и специфичности везаних за врсту и тип млина, од концепције целокупног млинског тракта и његове међусобне везе како са ложиштем, тако и са парним котлом у целини.

При пројектовању млинског постројења или његовој реконструкцији потребно је изградити већи број прорачуна који су међусобно зависни и обично се врше по одређеном редоследу: прорачун капацитета млевења, топлотни и материјални биланс, аеродинамички прорачун млина и прорачун потребне снаге снаге за млевење тј. снаге погонског електромотора.

### 3.1 ПРОРАЧУН КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА

Термоенергетски блок Костолац А2 се састоји од два котла пројектоване снаге по 50 MW. Сваки котло има по четири млина типа N 80.75, а сваки од њих има капацитет млевења од 20,3 t/h. Укупни капацитет млевења свих млинова једног котла је 81,2 t/h. Са том количином лигнита гарантоване топлотне моћи од 7600 KJ/kg који сагорева у котлу типа БКЗ 200-100 номиналне снаге од 50 MW, са степеном искоришћења котла  $\eta=0,85$  и степеном конверзије топлотне енергије горива у електричну од 0,32 помоћу следећег израза се може израчунати количина произведене електричне енергије.

$$B_m \cdot 4 \cdot H_g \cdot \eta_k \cdot i = 20300 \text{ kg/h} \cdot 4 \cdot 2,11 \text{ kW/kg} \cdot 0,85 \cdot 0,32 = 46.602 \text{ kWh} = 46,6 \text{ MWh}$$

Приметно је да са лигнитом гарантне топлотне моћи од 7600 KJ/kg није могуће постићи номиналну снагу блока, те је за исту потребно повећати количину угља за сагоревање, који се преко горионика удувава у котло. Постоје и други начини за то као што су повећање степена искоришћења котла, степена искоришћења турбине итд., који нису предмет овог рада.

### 3.2 ПРОРАЧУН КАПАЦИТЕТА МЛИНА

Максимални капацитет млевења млина се може одредити по емпиријском обрасцу:

$$B_{max} = k_1 k_2 \frac{n_1^2 D_1^3 b (0,0034 k_H^{1,25} + 0,61)}{1000 \left( \frac{R_{5000}}{20} \right)^m \left( \ln \frac{100}{R_{90}} \right)^{0,5}} k_3 k_4 \quad [\text{kg/s}] \quad (3.1)$$

где су:

- $k_1$  [-] - коефицијент процеса млевења (зависи од врсте, састава, и структуре угља, количине минералних материја и других фактора, а креће се у границама  $k_1 = 4,5 \div 5,5$ ),
- $k_2$  [-] - степен похабаности ударних тела (обично се усваја  $k_2 = 0,8-0,9$ ),
- $n_1$  [ $s^{-1}$ ] - број обртаја ударног кола,
- $D_1$  [m] - спољашњи пречник ударног кола,
- $b$  [m] - ширина ударне плоче,
- $k_H$  [-] - коефицијент мељивости одређен по методи Хардгроув,
- $R_{5000}$  [%] - остатак на сити од 5000  $\mu\text{m}$  за угаљ на улазу у млин, 29%

- $m$  [-] - експонент врсте угља (усваја се за мрке угљеве  $m = 0,06$  а за лигните  $m = 0,114$ ) и
- $R_{90}$  [%] - остатак на сити од  $90 \mu\text{m}$  за угљени прах на излазу из млина.

Коефицијент влажности угља  $k_3$  одређује се по једначини

$$k_3 = \frac{(1+1,07 W^r)^2}{(1+1,07 W^r)^2 - W_h^2} - \frac{(0,14 W'_m + 0,86 W^p)^2}{(1+1,07 W^r)^2 - W_h^2}, \quad (3.2)$$

а коефицијент влажности угљеног праха  $k_4$  по једначини

$$k_4 = \frac{100 - 0,14 W'_m - 0,86 W^p}{100 - W'_m} \quad (3.3)$$

У једначинама (3.2) и (3.3) су:

- $W^r$  [%] - садржај воде у радном гориву,
- $W'_m$  [%] - садржај воде у угљу на улазу у млин,
- $W^p$  [%] - влажност угљеног праха на излазу из млина и
- $W_h$  [%] - садржај хидроскопске воде.

Угаљ се из котларничког бункера, дозатором и додавачем, дозира и доводи до рецикулационог канала, одакле заједно са сушећим флуидом доспева у улазно грло млина. Садржај воде у угљу приликом његовог уласка у млин мањи је од влажности сировог угља, због тога што се на том путу угаљ суши. Садржај воде на улазу у млин може се одредити по обрасцу:

$$W'_m = \frac{W^r (100 - W^p) - 45 (W^r - W^p)}{(100 - W^p) - 0,45 (W^r - W^p)} \quad [\%] \quad (3.4)$$

Садржај воде у угљеном праху на излазу из млина  $W^p$  се рачуна по обрасцу

$$W^p = \frac{100 \cdot (1 - \eta)}{100 - W^r \cdot \eta} \cdot W^r \quad [\%] \quad (3.5)$$

при чему је степен ефикасности сушења дат изразом

$$\eta = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{W^r}{W_h} \right)^\alpha \cdot \left( \frac{T_2 - T_G}{T_2} \right)^\beta \cdot \left( \ln \frac{100}{R_{90}} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot D_1^\gamma \right] \quad (3.6)$$

где су:

|                         |     |                                                                              |
|-------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------|
| $W_h$                   | [%] | - хидроскопска влага,                                                        |
| $T_2$                   | [K] | - апсолутна температура аеросмеше,                                           |
| $T_G$                   | [K] | - апсолутна температура угља у бункеру,                                      |
| $R_{90}$                | [%] | - остатак на сити од 90 $\mu\text{m}$ ,                                      |
| $n$                     | [-] | - константа унутрашње структуре млива,                                       |
| $D_1$                   | [m] | - спољашњи пречник ударног кола и                                            |
| $\alpha, \beta, \gamma$ | [-] | - експоненти ( $\alpha = 1,4; \beta = 0,5; \gamma = \pm 0,15$ ) <sup>1</sup> |

На основу израза (3.5) и (3.6) може се закључити да процес сушења угљеног праха зависи од почетне влажности радног горива и да ће бити ефикаснији у већим млиновима, као и при већој финоћи млевења. Резултати прорачуна максималног капацитета млевења дати су у табели 1 прилога.

### 3.3 ТОПЛОТНИ БИЛАНС МЛИНСКОГ СУШЕЊА

Сушење угљеног праха у млиновима спроводи се у циљу постизања његове оптималне влажности, која зависи од почетне влажности радног горива, типа млинског постројења, флуида за сушење, као и од квалитета угљеног праха, а у циљу његовог лакшег паљења и потпуног сагоревања у ложишним условима. Као флуид за сушење примењује се загрејани ваздух, продукти сагоревања рециркулисани из гасног тракта котла и њихова мешавина. Ради постизања жељене температуре флуида за сушење испред млина користи се још хладан ваздух. Мешавина охлађеног флуида за сушење и испарене влаге из угљеног праха, у процесу његовог млевења, представља транспортни флуид који се иза млина налази на температури аеросмеше  $t_2$  и користи се за транспорт угљеног праха до горионика.

Основни циљ топлотног прорачуна постројења за припрему угљеног праха је одређивање количине топлоте која је потребна за сушење радног горива од почетне влажности  $W^r$  до коначне влажности  $W^p$  на излазу система за припрему.

Количина флуида који служи за сушење и транспорт угља у млинском постројењу треба да се одреди тако да:

- омогући ефикасно сушење угљеног праха,
- омогући беспрекоран пнеуматски транспорт угљеног праха од млина до горионика и обезбеди усисавање рециркулисаних продуката сагоревања са краја ложишта,
- спречи експлозију у млинском тракту,
- обезбеди константну температуру аеросмеше на излазу из млина односно сепаратора угљеног праха у радном подручју и
- Омогући довод довољне количине секундарног ваздуха у радном подручју млина.

Постављањем топлотног биланса млинског сушења изједначавају се количина топлоте која се у млин доводи рециркулисаним продуктима сагоревања ( $Q_{rc}$ ), загрејаним ваздухом ( $Q_I$ ), хладним рециркулисаним продуктима сагоревања са краја котла ( $Q_{hg}$ ), околним (штетним) ваздухом који продире у млинско постројење ( $Q_{sv}$ ), и трећем између угља и радних елемената млина ( $Q_{tr}$ ), и топлота која се користи за загревање и испаравање воде из угља ( $Q_1$ ), загревање воде преостале у угљеном праху ( $Q_2$ ), загревање суве масе угља ( $Q_3$ ), загревање штетног ваздуха ( $Q_4$ ), и губитак у околину ( $Q_5$ ). Према томе, топлотни биланс млина може се написати као

$$Q_u = Q_{rc} + Q_I + Q_{hg} + Q_{sv} + Q_{tr} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad [ \text{kW} ] \quad (3.7)$$

### 3.3.1 КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ ДОВЕДЕНА У МЛИН - ( $Q_{rc}$ )

Количина топлоте која се у млин доводи рециркулисаним врелим продуктима сагоревања одређује се по обрасцу

$$Q_{rc} = r_I \cdot \gamma \cdot B_m \cdot (I_{rc} - I_{tc}) = \frac{\dot{V}_{rc}}{V_{rc}} \cdot (I_{rc} - I_{rc2}) = Q_u - (Q_I + Q_{hg} + Q_{sv} + Q_{tr}) \quad [ \text{kW} ] \quad (3.8)$$

где су:

- $r_I$  [-] - степен рецикулације врелих гасова,
- $\gamma$  [-] - однос количине сагорелог и унетог горива,
- $B_m$  [kg/s] - радни капацитет млина, који представља однос потрошње горива парног котла В и броја млинова у раду m ( $B_m = B/m$ ),
- $I_{rc}$  [kJ/kg] - енталпија врелих рециркулисаних продуката сагоревања на месту одузимања, на крају ложишта,
- $I_{rc2}$  [kJ/kg] - енталпија врелих рециркулисаних продуката сагоревања на излазу из млина, на температури аеросмеше,

$\dot{V}_{rc}$  [m<sup>3</sup>/s] - запремински проток врелих рециркуласаних гасова и  
 $V_{rc}$  [m<sup>3</sup>/s] - Запремина врелих рециркулисаних гасова сведена на 1 кг горива

### 3.3.2 КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ ДОВЕДЕНА У МЛИН ЗАГРЕЈАНИМ ВАЗДУХОМ - ( $Q_I$ )

Количина топлоте која се доводи у млин загрејаним ваздухом износи

$$Q_I = \Delta\beta \cdot B_m \cdot (I_{zv}^o - I_{zv2}^o) \quad [kW] \quad (3.9)$$

где су:

$\Delta\beta$  [-] - однос количине примарног ваздуха и теоријске количине ваздуха  
 $\Delta\beta = V_I / V^o$ , усваја се од 0,06 – 0,1  
 $I_{zv}^o$  [kJ/kg] - енталпија теоријске количине загрејаног ваздуха и  
 $I_{zv2}^o$  [kJ/kg] - енталпија теоријске количине ваздуха на излазу из млина при температури аеросмеше  $t_2$

### 3.3.3 ТОПЛОТА КОЈА СЕ У МЛИН ДОВОДИ ХЛАДНИМ ПРОДУКТИМА САГОРЕВАЊА СА КРАЈА КОТЛА - ( $Q_{hg}$ )

Одређује се једначином

$$Q_{hg} = r_2 \cdot \gamma \cdot B_m \cdot (I_{hg} - I_{hg2}) \quad [kW] \quad (3.10)$$

где су:

$r_2$  [-] - степен рецикулације хладних гасова,  
 $I_{hg}$  [kJ/kg] - енталпија хладних рециркулисаних продуката сагоревања на месту одузимања и  
 $I_{hg2}$  [kJ/kg] - енталпија рециркулисаних продуката сагоревања на излазу из млина

### 3.3.4 ФИЗИЧКА ТОПЛОТА ВАЗДУХА ПРИСИСАНОГ У МЛИНСКО ПОСТРОЈЕЊЕ (ШТЕТНИ ВАЗДУХ) - ( $Q_{sv}$ )

Израчунава се по обрасцу

$$Q_{sv} = \Delta\alpha_m \cdot B_m \cdot I_{hv}^o \quad [kW] \quad (3.11)$$

где су:

$r_2$  [-] - однос количине ваздуха која продире у млинско постројење и теоријске количине ваздуха и  
 $I_{hv}^o$  [kJ/kg] - енталпија теоријске количине ваздуха која продире у млин.

### 3.3.5 КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ КОЈА СЕ ОСЛОБОДИ ТРЕЊЕМ ИЗМЕЂУ РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА МЛИНА И УГЉА - ( $Q_{tr}$ )

Израчунава се по обрасцу

$$Q_{tr} = q_{tr} \cdot B_m \quad [kW] \quad (3.12)$$

где  $q_{tr}$  [kJ/kg] представља количину топлоте која се ослободи трењем по 1 kg горива ( за вентилаторске млинове је  $q_{tr} = 20$  kJ/kg).

### 3.3.6 КОЛИЧИНА ТОПЛОТЕ УТРОШЕНА У МЛИНУ

#### 3.3.6.1 Количина топлоте која се у млину троши за загревање и испаравање влаге из горива – ( $Q_1$ )

износи

$$Q_1 = B_m \cdot \Delta W \cdot q_i \quad [kW] \quad (3.13)$$

где су:

$\Delta W$  [kg /kg] - маса влаге која испари из једног килограма угља и  
 $q_i$  [kJ/kg] - количина топлоте која се троши за загревање и испаравање једног килограма влаге из горива.

Маса влаге која испари из једног килограма горива одређује се по обрасцу

$$\Delta W = \frac{W^r - W^p}{100 - W^p} \quad [\text{kg/kg}] \quad (3.14)$$

где су:

- $W^r$       %      - садржај влаге у радном гориву и  
 $W^p$       %      - садржај влаге у угљеном праху на излазу из млина.

Количина топлоте  $q_i$  састоји се из количине топлоте потребне за загревање воде, њено испаравање и за прегревање отпарака до температуре аеросмеше  $t_2$  и може се одредити по обрасцу

$$q_i = i_2 - i_G \quad [\text{kJ/kg}] \quad (3.15)$$

у коме су:

- $i_2$       [kJ/kg]      - енталпија прегрејане паре на температури аеросмеше иза млина при атмосферском притиску ( табела 3.1) и  
 $i_G$       [kJ/kg]      - енталпија водене паре у радном гориву за температуру коју гориво има на улазу у млин ( $i_G = 4,19 \cdot t_G$ )[1].

|       |                    |      |      |      |      |      |      |
|-------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| $t_2$ | $^{\circ}\text{C}$ | 110  | 120  | 130  | 140  | 150  | 160  |
| $i_2$ | $\text{kJ/kg}$     | 2697 | 2717 | 2737 | 2757 | 2776 | 2796 |
| $t_2$ | $^{\circ}\text{C}$ | 170  | 180  | 190  | 200  | 210  | 220  |
| $i_2$ | $\text{kJ/kg}$     | 2816 | 2835 | 2855 | 2875 | 2894 | 2914 |

Табела 3.1[1] Енталпија прегрејане паре на температури аеросмеше

### 3.3.6.2 Количина топлоте која се троши за загревање воде преостале у угљу - ( $Q_2$ )

Може да се израчуна по једначини

$$Q_2 = B_m \cdot \frac{W^p \cdot (100 - W^r)}{100 \cdot (100 - W^p)} \cdot c_{pH_2O} \cdot (t_2 - t_G) \quad [\text{kW}] \quad (3.16)$$

где су:

$c_{p_{H_2O}}$  [kJ/kgK] - средњи специфични топлотни капацитет воде при константном притиску (може се усвојити  $c_{p_{H_2O}} = 4,19$  kJ/kgK)[7] ,

$t_2$  °C - температура аеросмеше и

$t_G$  °C - температура горива на улазу у млин (30°C)

### 3.3.6.3 Количина топлоте потребна за загревање суве масе угља - ( $Q_3$ )

износи

$$Q_3 = B_m \cdot \frac{100 - W^r}{100} \cdot c_{pG} \cdot (t_2 - t_G) \quad [kW] \quad (3.17)$$

где је  $c_{pG}$  [kJ/kgK] преставља средњи специфични топлотни капацитет суве масе угља (табела 3.2) и за 280°C је  $c_{pG} = 1,141$  kJ/kgK

| Гориво             | Температура [°C] |      |      |      |
|--------------------|------------------|------|------|------|
|                    | 0                | 100  | 200  | 300  |
| Камени угаљ        | 0,96             | 1,09 | 1,26 | 1,43 |
| Мрки угаљ и лигнит | 1,09             | 1,26 | 1,46 | -    |
| Уљни шкриљци       | 1,05             | 1,13 | 1,30 | -    |

Табела 3.2.[1] Средњи специфични топлотни капацитет суве масе угља  $c_{pG}$  [kJ/kgK]

### 3.3.6.4 Количина топлоте потребна за загревање ваздуха који продире у млинско постројење - ( $Q_4$ )

Израчунава се по обрасцу

$$Q_4 = \Delta\alpha_m \cdot \gamma \cdot B_m \cdot (I_{hv2}^o - I_{hv}^o) \quad [kW] \quad (3.18)$$

где је  $I_{hv2}^o$  [kJ/kg] – енталпија теоријске количине ваздуха на излазу из млина

### 3.3.6.5 Количина топлоте која се губи у околину - ( $Q_5$ )

Износи

$$Q_5 = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \cdot \frac{q_{5m}}{100 - q} \quad [\text{kW}] \quad (3.19)$$

где је  $q_{5m} = 5 \div 8\%$  и представља губитак топлоте услед спољашњег хлађења млинског постројења (веће вредности се усвајају за млинове мањег капацитета).

### 3.3.7 ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ СУШЕЊЕГ ФЛУИДА ИСПРЕД МЛИНА И АЕРОСМЕШЕ

У постројењима за припрему угљеног праха са вентилаторским млиновима процес сушења угља се може поделити у два дела. У првом делу, сушење се одвија у спусном каналу, односно, у вертикалном делу рецикулационог вода (слика 1) где се врши испаравање дела влаге са површине угљених комада, њихово делимично љуспање и прскање и дифузија влаге из унутрашњих делова угљене масе ка његовој површини. У другом делу, сушење се одвија у самом млину истовремено са процесом млевења угља.

После процеса сушења у првом делу постројења постиже се, испред вентилаторског млина, температура за сушење  $t'_m$ , која зависи од почетне температуре рециркулисаних продуката сагоревања са врха ложишта, температуре горива, садржаја влаге у радном гориву, његовог сортимана, времена трајања сушења итд.

Обрадом резултата већег броја испитивања разноврсних угљева, на различитим типовима вентилаторских млинова, добијена је задовољавајућа емпиријска зависност температуре флуида за сушење на улазу у млин од већег броја променљивих, које дефинишу сушење угља у његовом првом делу.

$$t'_m = 0,01 \cdot t_{rc} \cdot \frac{w_G^2}{\sqrt{w'_m}} \cdot \left( \frac{W^r}{W^r - W'_m} \right)^{0,25} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.20)$$

где су;

- $t_{rc}$   $[^\circ\text{C}]$  - температура гасовитих продуката сагоревања на крају ложишта који се рециркулишу у млин,
- $w_G$   $[\text{m/s}]$  - брзина којом гориво доспева у млин,

- $w_m$  [m/s] - брзина флуида за сушење на улазу у млин,  
 $W^r$  [%] - садржај влаге у радном гориву,  
 $W_m$  [%] - садржај влаге у угљу испред млина, која се одређује помоћу обрасца  
 (3.4)

Уколико се регулација вентилаторског млина врши примарним ваздухом или хладним димним гасовима са краја котла треба у једначину (3.20) уместо температуре рециркулисаних гасова са врха ложишта, уврстити температуру сушећег флуида  $t_{sf}$  која представља мешавину рециркулисаних гасова са врха ложишта и примарног ваздуха или мешавину рециркулисаних гасова са врха ложишта, примарног ваздуха и рециркулисаних хладних димних гасова са краја котла.

Брзина са којом угљена маса већег сортимана, слободним падом, доспева у млин дата је изразом [1]

$$W_G = \sqrt{2gH} \quad [\text{m/s}] \quad (3.21)$$

где је  $g$  [m/s<sup>2</sup>] – убрзање земљине теже,

$H = H_B + H_C + D_2 / 2$  [m] - висина са које угаљ пада у млин, односно растојање по вертикали од места уласка угља у рецикулациони вод до места његовог уласка у радно коло вентилаторског млина.

За израчунавање температуре  $t_m$  у једначини (3.20), која се касније користи за прорачуне везане за топлотни биланс млинског сушења, брзина флуида за сушење на улазу у млин усваја се у границама  $W_G = 25 \div 30$  m/s. Температура  $t_m$  врло мало зависи од висине  $H$  са које угаљ пада у млин, пошто се сушење горива у падном шахту постројења за припрему угљеног праха завршава након кратког времена.

За други део сушења који се одвија у самом млину истовремено са процесом млевења угља, поред температуре флуида за сушење испред млина значајни су и други параметри; геометрија радног кола млина, карактеристике горива и карактеристике угљеног праха.

После завршеног процеса сушења посиже се температура аеросмеше  $t_2$  (температура мешавине транспортног флуида иза млина и угљеног праха) која зависи од поменуте улазне температуре флуида за сушење, садржаја влаге у угљу испред млина, почетне влажности угља, склоности угља ка млевењу, финоће млевења угљеног праха и влажности угљеног праха која, поред осталог, зависи и од спољашњег пречника ударног кола.

На основу испитивања већег броја различитих угљева, у процесу млевења на различитим типовима вентилаторских млинова, добијена је емпиријска зависност температуре аеросмеше која се може одредити по обрасцу [1]

$$t_2 = \frac{80 \cdot t_m^{0,1}}{(0,0034 \cdot k_H^{1,25} + 0,61) \cdot \sqrt[4]{\ln 100 / R_{90}}} \cdot \left( \frac{W_m}{W_m - W^p} \right)^{0,33} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.22)$$

где су:

|          |     |                                                        |
|----------|-----|--------------------------------------------------------|
| $k_H$    | [-] | - коефицијент мељивости одређен по методи Хардгроув ,  |
| $R_{90}$ | [%] | - остатак на сити од 90 $\mu\text{m}$ за угљени прах и |
| $W^p$    | [%] | - влажност угљеног праха на излазу из млина.           |

Израчунате вредности температуре аеросмеше по овом обрасцу показују задовољавајућу сагласност са резултатима испитивања.

### 3.3.8 МАТЕРИЈАЛНИ БИЛАНС МЛИНА

Количина флуида који служи за сушење и транспорт угљеног праха у млинском постројењу треба одредити тако да се обезбеди ефикасно сушење угља, беспрекоран пнеуматски транспорт угљеног праха од млина до горионика, несметано усисавање врелих рециркулисаних гасова, константна температура аеросмеше на излазу из млинског постројења, као и да се спречи евентуална могућност експлозије угљеног праха у постројењу.

При одређивању потребног протока транспортног флуида треба тежити да он буде што мањи, ради уштеде енергије за погон млина и постизање што више температуре у ложишту. Минимум протока потребан је за остваривање несметаног пнеуматског транспорта угљеног праха до ложишта [5].

Пнеуматски транспорт може да се обезбеди са релативно малом концентрацијом угљеног праха у аеросмеси ( $\mu \leq 0,8 \text{ kg/kg}$ ) [5] . При млевењу угљева са великим садржајем влаге какви су, на пример, домаћи лигнити, ова концентрација је због повећаног протока сушећег агенса знатно мања и креће се све до вредности  $\mu = 0,3 \text{ kg/kg}$ . Запремински проток флуида кроз млинско постројење при максималном, као и при смањеном капацитету млина износи

$$\dot{V} = \dot{V}_{rc} + \dot{V}_I + \dot{V}_W + \dot{V}_{hg} + \dot{V}_{sv} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.23)$$

Протоци појединих компонената мешавине која представља транспортни флуид су:

- *проток гасовитих продуката сагоревања рециркулисаних са краја ложишта, одређен на основу обрасца (3.8)*

$$\dot{V}_{rc} = \frac{Q_{rc} \cdot V_{rc}}{I_{rc} - I_{rc2}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.24)$$

- *проток загрејаног ваздуха*

$$\dot{V}_I = \Delta\beta \cdot B_m \cdot V^o \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.25)$$

где је  $V^o$  [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ] – теоријска количина ваздуха потребна за потпуно сагоревање 1 kg горива;

- *проток водене паре настале испаравањем влаге из горива*

$$\dot{V}_w = B_m \cdot \frac{\Delta W}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.26)$$

- *проток хладних рециркулисаних гасова*

$$\dot{V}_{hg} = r_2 \cdot \gamma \cdot B_m \cdot V_{hg} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.27)$$

где је  $V_{hg}$  [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ] – запремина рециркулисаних продуката сагоревања са краја котла сведена на 1 kg горива;

- *проток ваздуха који продире у млинско постројење (штетни ваздух) услед незаптивености*

$$\dot{V}_{sv} = \Delta\alpha_m \cdot B_m \cdot V^o \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.28)$$

Степен рецикулације врелих продуката сагоревања са краја ложишта представља однос између запремине рециркулисаних гасова и запремине гасова иза места одузимања. У зависности од оптерећења парног котла и радног капацитета млина, за постизање одређене температуре

аеросмеше, као и садржаја влаге у угљеном праху потребно је познавати количину топлоте доведене рециркулисаним гасовима (3.8), па је степен рецикулације врелих гасова

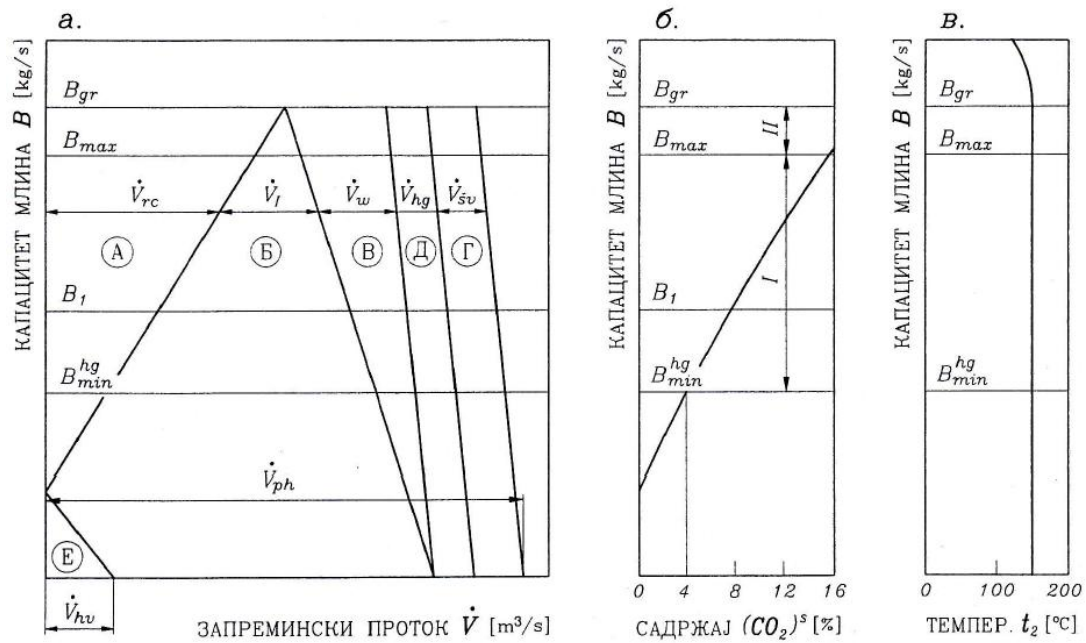
$$r_1 = \frac{Q_{rc}}{\gamma \cdot B_m \cdot (I_{rc} - I_{rc2})} \quad (3.29)$$

Сушење у млинском постројењу, осим продуктима сагоревања, врши се загрејаним ваздухом, тако да се на излазу из млина одржава температура која се најчешће креће у границама  $t_2 = 80 \div 200^\circ \text{C}$  у зависности од врсте угља и типа млина.

### 3.3.9 РЕГУЛАЦИОНИ ДИЈАГРАМ МЛИНА

При промени капацитета млина долази до промене протока сушећег агенса и количине топлоте која се користи за сушење угљеног праха. Због тога је потребно да се при промењеном капацитету млина одреде односи компонената транспортног флуида. У том циљу се узрађује такозвани регулациони дијаграм млина, под претпоставком да се при промени његовог капацитета не мењају количина ваздуха која продире у млинско постројење, температура загрејаног ваздуха и температура врелих рециркулисаних гасова, температура аеросмеше као и садржај влаге у угљеном праху на излазу из млина.

Регулациони дијаграм се ради тако што се за максимални капацитет млина  $B_{\max}$  (капацитет млевења) одреди материјални биланс по обрасцу (3.23), па се одређене вредности протока нанесу у координатни систем  $\dot{V} - B$  (слика 3.1a)[1]



Слика 3.1. Регулациони дијаграм млина

а) Регулациони дијаграм; б) Садржај угљен-диоксида у аеросмешу; в) Температура аеросмеше; А. Врели продукти сагоревања; Б. Примарни ваздух; В. Водена пара; Г. Штетан ваздух; Д. Хладни димни гасови; Е. Хладан ваздух; I. Радно подручје млина; II. Сигурносно подручје млина;

При смањеном капацитету млина долази до повећања укупног протока транспортног флуида, као последица снижених падова притиска у млинском тракту због мање концентрације угљеног праха у аеросмешу. Проток транспортног флуида је при празном ходу млина највећи и може се израчунати по обрасцу

$$\dot{V}_{ph} = \sqrt{\dot{V}_{max} \left( \dot{V}_{max} + \frac{B_{max}}{1,3} \right)} \quad [m^3/s] \quad (3.30)$$

где су:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{max} & \quad [m^3/s] \quad - \text{запремински проток транспортног флуида при максималном капацитету,} \\ B_{max} & \quad [kg/s] \quad - \text{максимални капацитет млина.} \end{aligned}$$

За смањени капацитет млевења који се обично усваја да је  $B_I \cong 0,6B_{max}$ , укупни проток транспортног флуида износи

$$\dot{V}_l = \dot{V}_{\max} + \left(1 - \frac{B_l}{B_{\max}}\right) \cdot (\dot{V}_{ph} - \dot{V}_{\max}) \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.31)$$

Такође се и количине топлоте из топлотног биланса млина мењају при снижењу капацитета млина и могу се одредити по једначини

$$Q_{il} = \frac{B_l}{B_{\max}} \cdot Q_i \quad [\text{kW}] \quad (3.32)$$

а на основу једначина (3.7) и (3.23) може се поставити систем једначина

$$Q_{u1} = \frac{\dot{V}_{rc1}}{V_{rc}} \cdot (I_{rc} - I_{rc2}) + \frac{\dot{V}_{l1}}{V^o} \cdot (I_{zv}^o - I_{zv2}^o) + Q_{hg} + Q_{\dot{s}v} + Q_{tr1} \quad [\text{kW}] \quad (3.33a)$$

$$\dot{V}_l = \dot{V}_{rc1} + \dot{V}_{l1} + \dot{V}_{w1} + \dot{V}_{hg} + \dot{V}_{\dot{s}v} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.33b)$$

за израчунавање запреминског протока врелих рециркулисаних гасова  $\dot{V}_{rc1}$  и загрејаног ваздуха  $\dot{V}_{l1}$  при капацитету млина  $B_l$ , ако је проток водене паре за смањени капацитет одређен као

$$\dot{V}_{w1} = \frac{B_l}{B_{\max}} \cdot \dot{V}_w \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.34)$$

Под претпоставком да је промена појединих протока линеарно зависна од капацитета, могу се истоимене тачке спојити правим линијама, тако да се у дијаграму добијају поља која одговарају врелим рецикулационим гасовима, загрејаном ваздуху, воденој пари, хладним рецикулационим гасовима и штетном ваздуху.

Хладан ваздух  $\dot{V}_{hv}$  се у млин уводи при малим капацитетима да би се температура аеросмеше  $t_2$  одржала константном све до празног хода млина. Максимална количина хладног ваздуха при  $B = 0$ , одређује се из топлотног и материјалног биланса на основу једначина

$$\frac{\dot{V}_{hv0}}{V^o} \cdot (I_{hv2}^o - I_{hv}^o) + \frac{\dot{V}_{\dot{s}v}}{V^o} \cdot (I_{hv2}^o - I_{hv}^o) = \frac{\dot{V}_{l0}}{V^o} \cdot (I_{zv}^o - I_{zv2}^o) + \frac{\dot{V}_{hg}}{V_{hg}} \cdot (I_{hg} - I_{hg2}) \quad [\text{kW}] \quad (3.35a)$$

$$\dot{V}_{ph} = \dot{V}_{hv0} + \dot{V}_{I0} + \dot{V}_{hg} + \dot{V}_{sv} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.35б)$$

Смањивањем капацитета млина смањује се количина топлоте потребна за сушење, па се смањује и количина топлоте врелих рециркулисаних гасова. Због тога ће се смањивати концентрација угљен-диоксида у сувој аеросмеси ( $\text{CO}_2$ )<sup>s</sup>. Садржај ( $\text{CO}_2$ )<sup>s</sup>=4% представља границу опасности од експлозије угљеног праха, па ова вредност дефинише минимални капацитет млина (слика 3.1б). Садржај  $\text{CO}_2$  у сувом транспортном флуиду одређује се по обрасцу

$$(\text{CO}_2)^s = \frac{100 \cdot (\dot{V}_{rc} \cdot r_{\text{RO}_2}^{rc} + \dot{V}_{hg} \cdot r_{\text{RO}_2}^{hg})}{\dot{V} - \dot{V}_{vp}} \quad [\%] \quad (3.36)$$

где је запремински проток водене паре дат изразом

$$\dot{V}_{vp} = \dot{V}_{rc} \cdot r_{\text{H}_2\text{O}}^{rc} + \dot{V}_{hg} \cdot r_{\text{H}_2\text{O}}^{hg} + \dot{V}_w + 0,0124 \cdot (\dot{V}_I + \dot{V}_{sv}) \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.36а)$$

$r_{\text{RO}_2}^{rc}$  и  $r_{\text{RO}_2}^{hg}$  - запремински удео сувих атомских гасова ( $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ ) у врелим рециркулисаним гасовима и хладним рециркулисаним гасовима са краја котла и

$r_{\text{H}_2\text{O}}^{rc}$  и  $r_{\text{H}_2\text{O}}^{hg}$  - запремински удео водене паре у врелим и хладним рециркулисаним гасовима.

Гранични капацитет млевења дефинисан је константном вредношћу температуре аеросмеше на излазу из млина. Уколико се млин преоптерети снизиће се температура иза млина (слика 3.1в). Подручје рада млина између максималног и граничног капацитета представља сигурносно подручје.

При сагоревању у лету мрких угљева, као иза постизање капацитета млевења нижих од минималног, уз услов безбедности рада постројења, у млин се доводе хладни продукти сагоревања која се рециркулишу са стране котла. Увођењем хладних рециркулисаних димних гасова, за исто оптерећење млина, повећава се проценат садржаја  $\text{CO}_2$  у сувој аеросмеси. Регулациони дијаграм млина израђен при рецикулацији врелих и хладних гасова представља општи случај овог дијаграма и приказан је на слици 3.1.

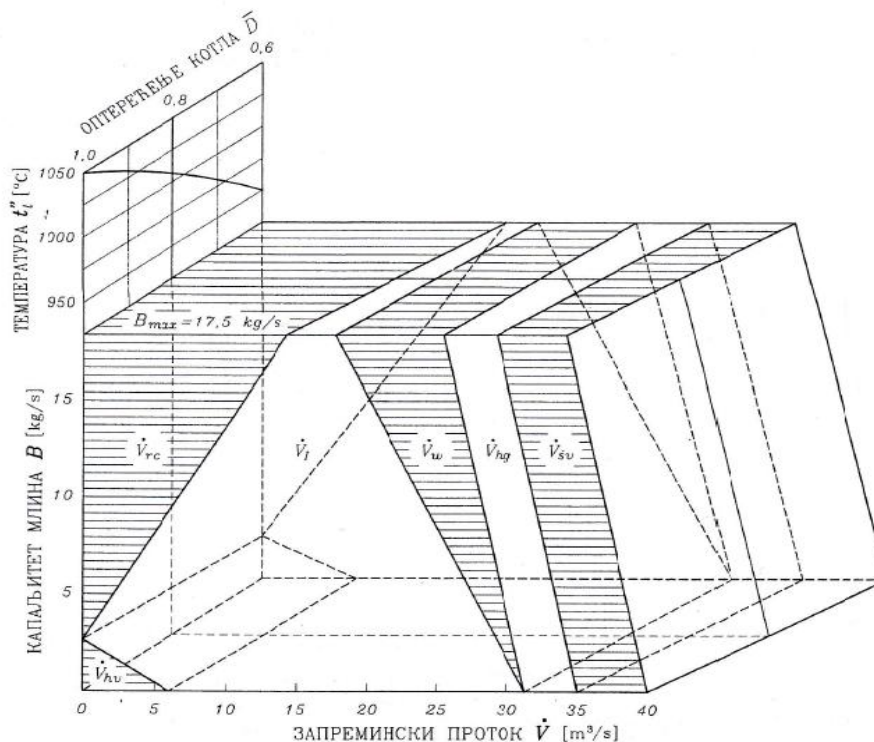
Хладни димни гасови могу да се уводе у млин почев од његовог максималног капацитета или од неког сниженог капацитета већег од минималног. Количина хладних рециркулисаних гасова може се одредити рачунски од зависности од жељеног радног капацитета млина. На овај начин се повећава радно подручје регулације млина за дијапазон  $B_{\min} \div B_{\min}^{hg}$ . Такође се због

инертизације аеросмеше хладним димним гасовима и одржавање њене температуре константном повећава запремински проток врелих рециркулисаних продуката сагоревања.

Код млевења влажних угљева могу се усвојити више температуре аеросмеше што доприноси бољем млевењу и лакшем паљењу угљеног праха у ложишту. Угаљ се у млину лакше меље на вишим температурама због повећаног напона водене паре у честицама угља. Влажност угљеног праха  $W^p$ , која углавном зависи од врсте угља и флуида за сушење, треба што више смањити да би се убрзало његово паљење у ложишту и да би се спречило лепљење праха на елементима постројења за његову припрему, али то смањење влажности има ограничење са доње стране с обзиром на опасност од експлозије.

Основни недостатак регулационог дијаграма млина приказаном на слици 3.1 је тај што је израђен само за једну одређену продукцију парног котла. Уколико се продукција парног котла промени, потребно је израдити нови регулациони дијаграм.

При промени оптерећења парног котла, па самим тим и капацитета млевења мења се и температура хладних рециркулисаних гасова са краја котла, температура загрејаног ваздуха, температура врелих рециркулисаних гасова са врха ложишта, садржај воде у угљеном праху. Просторни регулациони дијаграм (сл.3.2) израђен за везу млин-ложиште, обухвата промену оптерећења парног котла у целини, чиме се исправља овај недостатак и омогућава праћење млинског постројења у свим фазама рада у току експлоатације.



Слика 3.2. Просторни регулациони дијаграм млина

### 3.4 АЕРОДИНАМИЧКИ ПРОРАЧУН МЛИНСКОГ ПОСТРОЈЕЊА

Да би се у млинском постројењу омогућило континуално одвијање процеса припреме угљеног праха одговарајућег квалитета, потребно је, поред удубљавања аеросмеше кроз горионике у ложиште потребном брзином у циљу несметаног сагоревања, у млин доводити вреле и хладне рециркулисане продукте сагоревања, загрејан ваздух, као и угаљ који се у њему меље и припрема. У том смислу, морају се ускладити напор млина и пад притиска у постројењу за припрему угљеног праха, односно, пронаћи радне тачке постројења при различитим оптерећењима.

#### 3.4.1 ПРОРАЧУН НАПОРА МЛИНА

Отпоре у млинском тракту млин савлађује својим вентилаторским дејством. Да би се одредила радна тачка система, поред карактеристике млинског тракта, потребно је познавати и карактеристику вентилаторског млина, тј. зависност напора од капацитета.

По својој конструкцији, вентилаторски млинови су веома слични радијалним вентилаторима. Елементи млина који учествују у процесу млевења су, због повећаног хабања, посебно ојачани. Ако се у млину не врши процес млевења, односно, када кроз млин не пролази угаљ (рад при празном ходу), приликом обртања ударног кола највећи део енергије, одређен степеном корисности млина, биће предат радном флуиду у циљу повишења његовог притиска. У том случају процеси који се одвијају у млину могу се представити, као код вентилатора, двама бездимензионим величинама: коефицијентом (значицом) напора  $\psi$  и коефицијентом (значицом) протока  $\varphi$ .

$$\psi = \frac{h_o}{\rho \cdot v_1^2} \quad ; \quad \varphi = \frac{\dot{V}_{ph}}{\pi \cdot D_1 \cdot b \cdot v_1} \quad (3.37)$$

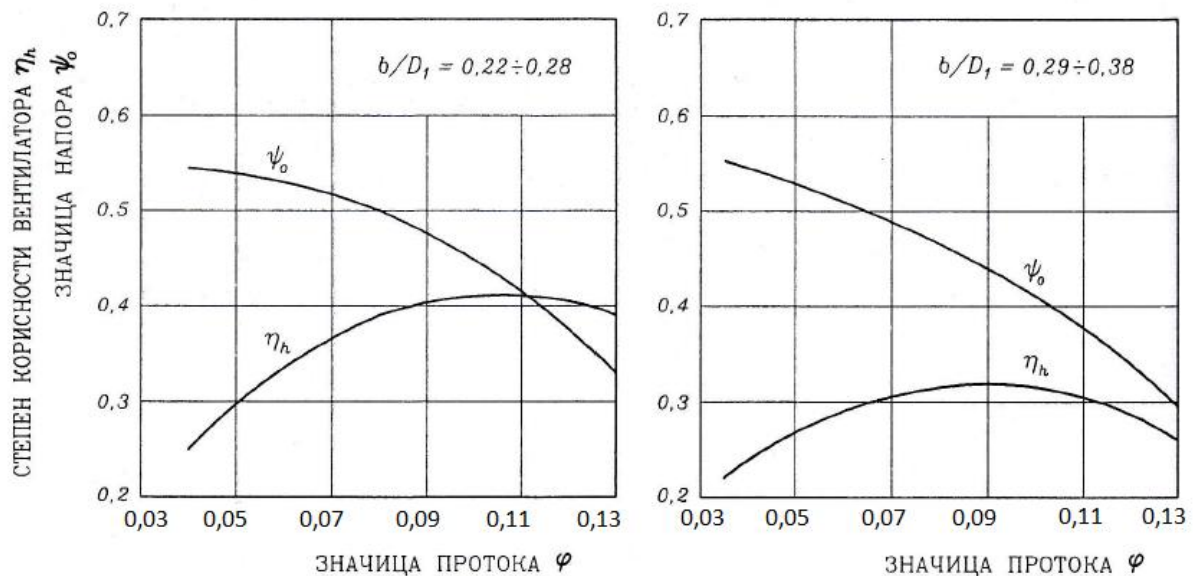
где су:

- $h_o$  [Pa] - напор при празном ходу млина,
- $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] - густина радног флуида,
- $v_1$  [m/s] - обимна брзина спољашњег пречника ударног кола,
- $\dot{V}_{ph}$  [m<sup>3</sup>/s] - запремински проток радног флуида при празном ходу,
- $D_1$  [m] - спољашњи пречник ударног кола и
- $b$  [m] - корисна ширина ударне плоче.

Због мањег броја радијално постављених плоча (лопатица) и њиховог губитка масе услед интензивног хабања у процесу млевења, што узрокује знатне вибрације млинских вратила, вредност значајце напора код вентилаторског млина сразмерно је мала и износи  $\psi = 0,3 \div 0,6$ . Значајца протока код овог млина креће се у границама  $\varphi = 0,06 \div 0,11$ . Зависност степена корисности млина као вентилатора ( $\eta_h$ ) и значајце напора од значајце протока представљена је на слици 3.3 за два подручја релативне ширине ударних плоча  $b/D_1$

У радним условима, при максималном капацитету млевења, напор млина се одређује помоћу значајце напора (3.37), према обрасцу:

$$h = \psi \cdot v_1^2 \cdot \rho_{sr} \cdot (1 - 0,15\mu) \quad [\text{Pa}] \quad (3.38)$$



Слика 3.3. Значајца степена корисности и значајце напора од значајце протока и релативне ширине ударних плоча[5]

Значајца напора  $\psi$  у радним условима одређује се тако, што се вредност значајце напора  $\psi_0$  са дијаграма на слици 3.3, одређена значајцом протока при запреминском протоку радног флуида за максимални капацитет млевења

$$\varphi = \frac{\dot{V}_{\max}}{\pi \cdot D_1 \cdot b \cdot v_1} \cdot \frac{T_2}{273} \quad [-] \quad (3.39)$$

коригује за коефицијент прозачности ударног кола  $k_p$

$$\psi = \psi_o \cdot (1 - k_p) = \psi_o \cdot \left(1 - e^{-\frac{l \cdot z}{D_1}}\right) \quad [-] \quad (3.40)$$

Имајући у виду да је средња густина радног флуида у вентилаторском млину

$$\rho_{sr} = 0,5 \cdot \left( \rho_u \frac{273}{T_m'} + \rho_i \frac{273}{T_2} \right) = 136,5 \left( \frac{\rho_u}{T_m'} + \frac{\rho_i}{T_2} \right) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.41)$$

добива се заменом израза 3.40 и 3.41 у 3.38 једначина за израчунавање напора млина у радним условима [5]

$$h = 136,5 \cdot \psi_o \left(1 - e^{-\frac{l \cdot z}{D_1}}\right) v_1^2 \left( \frac{\rho_u}{T_m'} + \frac{\rho_i}{T_2} \right) \cdot (1 - 0,15\mu) \quad [\text{Pa}] \quad (3.42)$$

где су:

- $l$  [m] - висина ударне плоче,  $l = (D_1 - D_2)/2$ ,
- $D_2$  [m] - унутрашњи пречник ударног кола,
- $z$  [-] - број уградних тела (плоча) у радном колу,
- $\rho_u$  [kg/m<sup>3</sup>] - густина сушећег флуида на улазу у млинско коло,
- $\rho_i$  [kg/m<sup>3</sup>] - густина транспортног флуида на излазу из млинског кола,
- $T_m'$  [K] - апсолутна температура сушећег флуида на улазу у млин,
- $T_2$  [K] - апсолутна температура аеросмеше и
- $\mu$  [kg/kg] - концентрација угљеног праха у аеросмешу.

Резултати прорачуна су дати у табели 3 прилога.

Густина сушећег флуида на улазу у млинско коло може се одредити, на основу топлотног и материјалног биланса млина помоћу обрасца:

$$\rho_u = \frac{\rho_{rc} \dot{V}_{rc} + \rho_v (\dot{V}_I + \dot{V}_{sv})}{\dot{V}_{\max} - \dot{V}_w + \frac{B_{\max}}{\rho_{H_2O}} \frac{W^r - W_m'}{100 - W_m'}} + \frac{B_{\max} \frac{W^r - W_m'}{100 - W_m'} + \rho_{hg} \dot{V}_{hg}}{\dot{V}_{\max} - \dot{V}_w + \frac{B_{\max}}{\rho_{H_2O}} \frac{W^r - W_m'}{100 - W_m'}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.43)$$

а густина транспортног флуида на излазу из млинског кола помоћу сличног обрасца

$$\rho_i = \frac{\rho_{rc}\dot{V}_{rc} + \rho_v(\dot{V}_I + \dot{V}_{sv}) + \rho_{H_2O}\dot{V}_w}{\dot{V}_{\max}} + \frac{\rho_{hg}\dot{V}_{hg}}{\dot{V}_{\max}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.44)$$

где запремински проток радног флуида за максимални капацитет млевења, према једначини (3.23), представља збир протока

$$\dot{V}_{\max} = \dot{V}_{rc} + \dot{V}_I + \dot{V}_w + \dot{V}_{hg} + \dot{V}_{sv} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

рециркулисаних врелих продуката сагоревања, загрејаног ваздуха, водене паре настале испаравањем влаге из горива, хладних рециркулисаних гасова са краја котла и штетног ваздуха који продире у млинско постројење.

Температура сушећег флуида која се постиже на улазу у млин може се израчунати и на основу топлотног биланса према једначини

$$t'_m = \frac{Q_u - Q_{tr}}{c_{psr}(\dot{V}_{\max} - \dot{V}_w) + c_{pH_2O} \frac{B_{\max}}{\rho_{H_2O}} \frac{W^r - W'_m}{100 - W'_m}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.45)$$

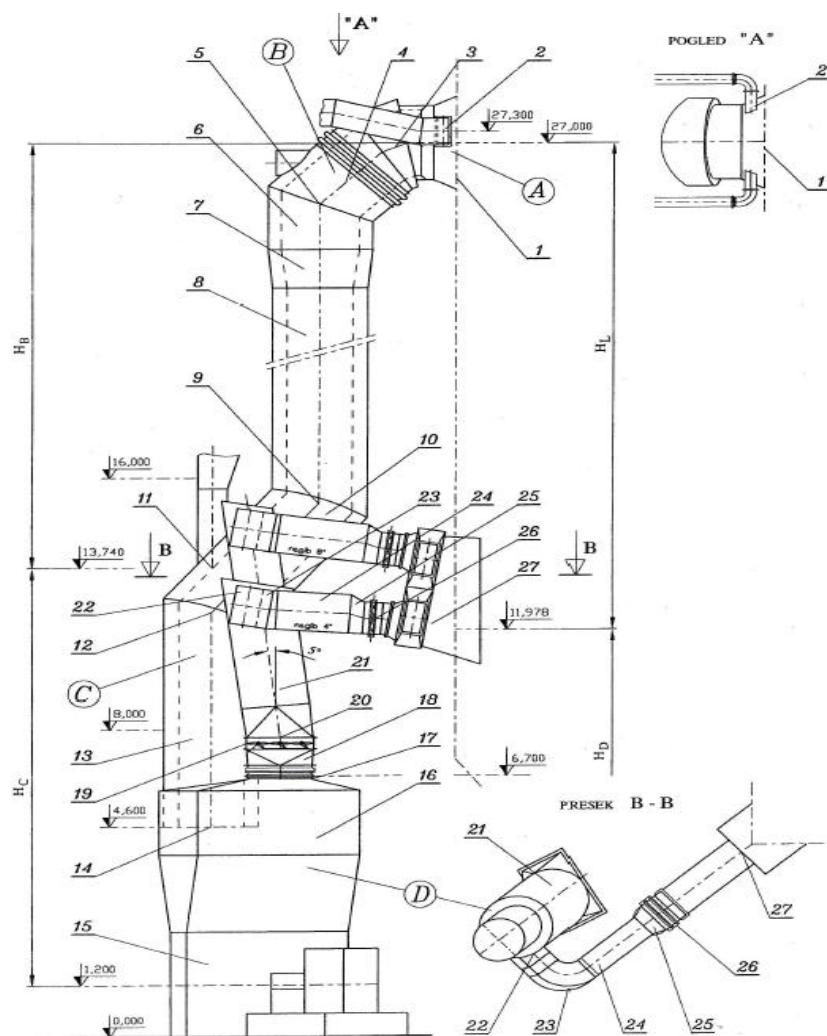
У једначинама (3.43), (3.44), и (3.45) су:

- $\rho_{rc}$   $[\text{kg/m}^3]$  - густина гасова рециркулисаних са врха ложишта ( $\rho_g = 1,32 \text{ kg/m}^3$ ) [1],
- $\rho_v$   $[\text{kg/m}^3]$  - густина ваздуха ( $\rho_v = 1,293 \text{ kg/m}^3$ ),
- $\rho_{H_2O}$   $[\text{kg/m}^3]$  - густина водене паре  $\rho_{H_2O} = 0,804 \text{ kg/m}^3$ ,
- $\rho_{hg}$   $[\text{kg/m}^3]$  - густина гасова рециркулисаних са краја котла,
- $B_{\max}$   $[\text{kg/s}]$  - максимални капацитет млевења,
- $W^r$   $[\%]$  - садржај влаге у радном гориву,
- $W'_m$   $[\%]$  - садржај влаге у угљу на улазу у млин (3.4),
- $Q_u$   $[\text{kW}]$  - количина топлоте која се доведе у млин (3.7),
- $Q_{tr}$   $[\text{kW}]$  - количина топлоте која се ослободи у млину трењем (3.12),
- $c_{psr}$   $[\text{kJ/m}^3\text{K}]$  - средњи специфични топлотни капацитет сушења флуида испред млина, усваја се да је  $c_{psr} = 1,4 \text{ kJ/m}^3\text{K}$  [7] и

$c_{pH_2O}$  [kJ/m<sup>3</sup>K] - средњи специфични топлтни капацитет водене паре, за температуру  $t_m \cong 400$  °C узима се  $c_{pH_2O} = 1,57$  kJ/m<sup>3</sup>K [7].

### 3.4.2 ПРОРАЧУН ПАДА ПРИТИСКА У МЛИНСКОМ ПОСТРОЈЕЊУ

У циљу добијања аеродинамичке карактеристике млинског тракта врши се прорачун падова притиска у њему. Пад притиска у млинском постројењу зависи од улазних параметара, посебно влажности угљеног праха ( $W^P$ ) и температуре аеросмеше ( $t_2$ ). Због тога се тек после завршеног аеродинамичког прорачуна целокупног млинског тракта може донети суд о томе да ли ће вентилаторски млин бити способан за савлађивање отпора у млинском тракту. Постројење за припрему угљеног праха парног котла приказано на слици 3.4.



Слика 3.4. Деонице и елементи млинског тракта [2]

Млински тракт је подељен на четири деонице према врсти и температури флуида, а деонице на елементе према облику и геометрији на следећи начин:

Деоница А: Глава рециркулационог канала од улаза до прикључака канала за примарни ваздух

1. Улаз у канал рециркулационих гасова

Деоница Б: Рециркулациони канал од прикључка канала за примарни ваздух до прикључака за угаљ

2. Прикључак за примарни ваздух
3. Конфузор и двоструко колено
4. Нагнути део рециркулационог канала
5. Колено од  $45^\circ$
6. Вертикални део рециркулационог канала
7. Конфузор
8. Вертикални део рециркулационог канала
9. Колено од  $40^\circ$
10. Нагнути део рециркулационог канала

Деоница Ц: Рециркулациони канал од прикључка за угаљ до млина

11. Прикључак за угаљ
12. Колено од  $50^\circ$
13. Вертикални део рециркулационог канала
14. Улаз у млин
15. Вентилаторски млин

Деоница Д: Канал од млина до излаза аеросмеше у ложиште

16. Млински сепаратор
17. Излаз из сепаратора
18. Прелаз са кружног на квадратни пресек – дифузор
19. Регулационе клапне
20. Скретање за  $15^\circ$  и прелаз са квадратног на кружни пресек
21. Раздвајач аеросмеше
22. Улаз у хоризонтални канал аеросмеше ка доњој етажи горионика
23. Колено од  $90^\circ$

24. Прелаз са правоугаоног на кружни пресек – дифузор
25. Сферни компензатор
26. Прелаз са кружног на правоугаони пресек – дифузор
27. Скретање за  $10^\circ$  - прикључак горионика
28. Горионик

Пад притиска у млинском постројењу представља збир падова притиска у појединим његовим деловима и одређује се према обрасцу:

$$\Delta p_{mp} = \Delta p_{utl} + \Delta p_{uu} + \Delta p_{pa} - \Delta p_{su} \quad [\text{Pa}] \quad (3.46)$$

где су:

$\Delta p_{utl}$  [Pa] - укупан пад притиска услед отпора трења и локалних отпора,

$\Delta p_{uu}$  [Pa] - пад притиска услед убрзавања угља,

$\Delta p_{pa}$  [Pa] - пад притиска услед подизања аеросмеше и

$\Delta p_{su}$  [Pa] - самоузгон млинског тракта.

#### 3.4.2.1 Пад притиска услед отпора трења и локалних отпора

$$\Delta p_{utl} = \Delta p_{tl} \frac{p_o}{p_e} \quad [\text{Pa}] \quad (3.47)$$

где су:

$\Delta p_{tl}$  [Pa] - пад притиска услед отпора трења и локалних отпора,

$p_o$  [Pa] - атмосферски притисак на нивоу мора ( $p_o = 101325 \text{ Pa}$ ) и

$p_e$  [Pa] - ефективни притисак.

Ефективни притисак  $p_e$  одређује се у зависности од пада притиска у млинском тракту и то:

а) при  $\Delta p_{tl} > 3000 Pa$

$$p_e = p_a + \frac{\Delta p_a}{2} \quad [Pa] \quad (3.48)$$

где су:

$\Delta p_a$  [Pa] - рачунски отпор дела млинског тракта под натпритиском,  
 $p_a$  [Pa] - атмосферски притисак на месту где је млинско постројење (за надморске  
 виине испод 200 m  $p_a = p_o$ ).

б) при  $\Delta p_{tl} \leq 3000 Pa$

$$p_e = p_a \quad [Pa] \quad (3.49)$$

Пад притиска услед отпора трења и локалних отпора састоји се од пада притиска у делу тракта од места одузимања рециркулисаних гасова из ложишта до отвора за убацивање угља у рецикулациони вод ( $\Delta p_{tl1}$  - деонице А и В на слици 3.4) и у делу тракта у коме се врши транспорт угља до млина односно, транспорт угљеног праха од млина до горионика и ложишта ( $\Delta p_{tl2}$  - деонице С и D на слици 3.4) и може се израчунати на основу једначине

$$\Delta p_{tl} = \Delta p_{tl1} (1 + \mu_{lp}) + \Delta p_{tl2} (1 + 0,8\mu) \quad [Pa] \quad (3.50)$$

где су:

$\mu_{lp}$  [kg/kg] - масена концентрација летећег пепела у димним гасовима одузетим из  
 ложишта и  
 $\mu$  [kg/kg] - масена концентрација угља у сушећем флуиду, односно, угљеног праха у  
 транспортном флуиду.

Пад притиска у млинским тракту до уласка угља у рецикулациони вод износи

$$\Delta p_{tl1} = \Delta p_{t1} + \Delta p_{l1} \quad [Pa] \quad (3.51)$$

а пад притиска од уласка угља до ложишта

$$\Delta p_{tl2} = \Delta p_{t2} + \Delta p_{l2} \quad [\text{Pa}] \quad (3.52)$$

где су:

$$\begin{aligned} \Delta p_t \quad [\text{Pa}] & \quad - \text{ укупни пад притиска услед отпора трења,} \\ \Delta p_l \quad [\text{Pa}] & \quad - \text{ укупни пад притиска услед локалних отпора.} \end{aligned}$$

Вредност  $(1 + \mu_{lp})$  у обрасцу (3.50) представља поправку због летећег пепела у димним гасовима рециркулисаних са врха . Ова поправка се уноси само у случају када је садржај летећег пепела узет у обзир при термичком прорачуну парног котла. За котлове са сагоревањем у слоју и за котлове са сагоревањем у лету (котао приказан у овом раду) када је испуњен услов

$$\frac{a_{lp} A^r 10^3}{H_d} > 1.5 \quad (3.53)$$

где су:

$$\begin{aligned} a_{lp} \quad [-] & \quad - \text{ удео летећег пепела у укупном пепелу,} \\ A^r \quad [-] & \quad - \text{ садржај пепела у радној маси горива и} \\ H_d \quad [\text{kJ/kg}] & \quad - \text{ доња топлотна моћ радне масе горива,} \end{aligned}$$

Масена концентрација летећег пепела одређује се по обрасцу

$$\mu_{lp} = \frac{a_{lp} A^r}{100 \rho_{go} V_{gl}} \quad [\text{kg/kg}] \quad (3.54)$$

где су:

$$\begin{aligned} \rho_{go} \quad [\text{kg/m}^3] & \quad - \text{ густина димних гасова при нормалним условима,} \\ V_{gl} \quad [\text{m}^3/\text{kg}] & \quad - \text{ запремина гасова при нормалним условима за коефицијент вишка} \\ & \quad \text{ваздуха на крају ложишта.} \end{aligned}$$

У делу млинског тракта , од места одузимања рецикулационих гасова из ложишта до отвора за убацивање угља, у вреле рециркулисане димне гасове најчешће се уводи примарни ваздух ради регулисања температуре у млину, као и хладни рециркулисани гасови у циљу инертизовања аеросмеше. Због тога је концентрација летећег пепела у сушећем флуиду смањена

( деонице А и В на слици 3.4 ) па се у практичним прорачунима ова поправка не узима у обзир ( $\mu_{lp} = 0$ ).

Вредност  $(1 + 0,8\mu)$  у обрасцу (3.50) представља поправку због присуства угља у сушећем флуиду, односно, угљеног праха у транспортном флуиду. Масена концентрација угља у сушећем флуиду разликује се по појединим деоницама, првенствено због промене капацитета млевења као и због промене масеног протока флуида. Највећа масена концентрација угља у сушећем флуиду биће при максималном капацитету млевења. За деоницу С, у зависности од висине рецикулационог вода на којој се уводи хладан ваздух, она износи

$$\mu_C = \frac{\frac{100 - W^r}{100 - W_m'} B_{\max}}{\rho_{rc} \dot{V}_{rc} + \rho_{hg} \dot{V}_{hg} + \rho_v (\dot{V}_I + \dot{V}_{sv}) + H_B \cdot B_{\max} \frac{W^r - W_m'}{100 - W_m'}} \quad [\text{kg/kg}] \quad (3.55)$$

а за деоницу D

$$\mu_D = \frac{100 - W^r}{100 - W_m'} \cdot \frac{B_{\max}}{\rho_{rc} \dot{V}_{rc} + \rho_{hg} \dot{V}_{hg} + \rho_v (\dot{V}_I + \dot{V}_{sv}) + \rho_{H_2O} \dot{V}_w + \rho_{hg} \dot{V}_{hg}} \quad [\text{kg/kg}] \quad (3.56)$$

где су:

- $H_B$  [m] - висина рецикулационог вода од места увођења угља до прикључка за хладан ваздух
- $\dot{V}_{hv}$  [m<sup>3</sup>/s] - проток хладног ваздуха,
- $W_p$  [%] - садржај влаге у угљеном праху.

Вредност  $(100 - W^r)/(100 - W_m')$  представља угљену масу без дела влаге који је испарио од тренутка увођења угља у рецикулациони вод па до улаза у млин, а вредност  $(100 - W^r)/(100 - W^p)$  масу угљеног праха, без дела влаге који је испарио из из радног горива приликом млевења и сушења у млину, чији садржај влаге износи  $W^p$ .

### 3.4.2.2 Пад притиска услед отпора трења

Отпор трења се јавља при струјању радног флуида кроз праве делове водова и канала млинског тракта. За одређивање пада притиска услед отпора трења у условима када нема размене топлоте, односно, када се густина и вискозитет не мењају, користи се образац

$$\Delta p_t = \lambda \frac{l}{d_e} \cdot \frac{w_g^2}{2} \rho_g \quad [\text{Pa}] \quad (3.57)$$

где су:

- $\lambda$  [-] - коефицијент отпора трења јединичне релативне дужине канала,
- $l$  [m] - дужина правога дела канала,
- $d_e$  [m] - еквивалентни пречник канала,
- $w_g$  [m/s] - средња брзина радног флуида и
- $\rho_g$  [kg/m<sup>3</sup>] - средња густина радног флуида.

Коефицијент отпора трења јединичне релативне дужине канала  $\lambda$  зависи од храпавости унутрашњег зида и Рејнолдсовог броја

$$\text{Re} = \frac{w_g d_e}{\nu_g} \quad (3.58)$$

где коефицијент кинематске вискозности  $\nu_g$  [m<sup>2</sup>/s] зависи од средње температуре флуида за поједине деонице млинског тракта.

Еквивалентни пречник канала одређује се по обрасцу

$$d_e = \frac{4F}{O} \quad [\text{m}] \quad (3.59)$$

где су:

- $F$  [m<sup>2</sup>] - попречни пресек канала канала,
- $O$  [m] - укупни обим опструјавања флуида.

За канал кружног пресека еквивалентни пречник једнак је унутрашњем пречнику цеви, а за канал правоугаоног пресека

$$d_e = \frac{2ab}{a+b} \quad [\text{m}] \quad (3.60)$$

где су  $a$  и  $b$  [m] ширина и висина попречног пресека канала.

### 3.4.2.3 Пад притиска услед локалних отпора

Локални отпори се јављају због промене облика или правца водова и канала, као и због постојања специфичних елемената млинског тракта као што су, млински сепаратор, раздвајачи аеросмеше, горионици итд. За сваки од елемената који изазива локални отпор сматра се да је сконцентрисан у једном пресеку канала, тако да се за њих отпори трења не узимају у обзир. Пад притиска услед локалних отпора одређује се по обрасцу

$$\Delta p_l = \xi \frac{w_g^2}{2} \rho_g \quad [\text{Pa}] \quad (3.61)$$

где је  $\xi$  [-] коефицијент локалног отпора

Брзина радног флуида (рециркулисаних димних гасова, загрејаног ваздуха, водене паре) одређује се као

$$w_g = \frac{\dot{V}_g}{F_g} \quad [\text{m/s}] \quad (3.62)$$

где су:

$$\begin{aligned} \dot{V}_g \quad [\text{m}^3/\text{s}] & \quad - \text{ запремински проток радног флуида,} \\ F_g \quad [\text{m}^2] & \quad - \text{ слободан пресек за струјање радног флуида.} \end{aligned}$$

Запремински проток радног флуида одређује се када се запремински проток (3.23) при нормалним условима ( $p_o = 101325 \text{ Pa}$  и  $t_o = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) помножи поправком за температуру

$$\dot{V}_g = \dot{V}_o \frac{t_g + 273}{273} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.63)$$

где је  $t_g$  [ $^\circ\text{C}$ ] средња температура радног флуида у елементу млинског тракта за који се одређује брзина.

Температура сушећег флуида у деоници А ( сл.3.4) једнака је температури димних гасова рециркулисаних са врха ложишта која је позната из термичког прорачуна [9] парног котла,

$$t_g^A = t_1'' \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.64)$$

док се температура флуида у деоници В израчунава из једначине мешања врелих рециркулисаних гасова, примарног ваздуха и хладних рециркулисаних гасова.

$$t_g^B = \frac{Q_{rc} + Q_I + Q_{hg}}{c_{prc}^{sr} \dot{V}_{rc} + c_{pzv} \dot{V}_I + c_{phg}^{sr} \dot{V}_{hg}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.65)$$

У деоници С, у којој почиње испаравање влаге из угља, температура сушећег флуида се на основу једначине мешања флуида из деонице В и паре од влаге која је испарила из угља.

$$t_g^C = \frac{Q_u - Q_{tr}}{c_{psr}(\dot{V}_{\max} - \dot{V}_w) + c_{pH_2O} \cdot H_B \frac{B_{\max}}{\rho_{H_2O}} \cdot \frac{W^r - W_m'}{100 - W_m'}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.66)$$

а температура сушећег флуида на улазу у млин (деоница D) помоћу једначине (3.45)  $t_g^D = t_m'$ .

- $t_1''$   $[^{\circ}\text{C}]$  - температура димних гасова на крају ложишта,
- $Q_{rc}$   $[\text{kW}]$  - количина топлоте врелих гасова рециркулисаних са врха ложишта (3.8),
- $Q_I$   $[\text{kW}]$  - количина топлоте загрејаног ваздуха (3.9),
- $Q_{hg}$   $[\text{kW}]$  - количина топлоте хладних рециркулисаних гасова са краја котла (3.10),
- $Q_u$   $[\text{kW}]$  - улупна количина топлоте која се доведе у млин,
- $Q_{tr}$   $[\text{kW}]$  - количина топлоте која се ослободи трењем (3.12),
- $c_{prc}^{sr}$   $[\text{kJ/m}^3\text{K}]$  - средњи специфични топлотни капацитет рециркулисаних димних гасова на температури  $t_1''$ ,
- $c_{phg}^{sr}$   $[\text{kJ/m}^3\text{K}]$  - средњи специфични топлотни капацитет рециркулисаних димних гасова на температури излазних гасова  $t_{iz}$ ,
- $\dot{V}_{rc}$   $[\text{m}^3/\text{s}]$  - запремински проток врелих рециркулисаних гасова,
- $\dot{V}_I$   $[\text{m}^3/\text{s}]$  - запремински проток загрејаног (примарног) ваздуха,
- $\dot{V}_{hg}$   $[\text{m}^3/\text{s}]$  - запремински проток хладних рециркулисаних гасова,
- $c_{pzv}$   $[\text{kJ/m}^3\text{K}]$  - средњи специфични топлотни капацитет ваздуха на температури загрејаног ваздуха  $t_{zv}$  и
- $t_2$   $[^{\circ}\text{C}]$  - температура аеосмеше.

Густина радног флуида при нормалним условима може се одредити за деонице млинског тракта (слика 3.4) у зависности од густине и запреминског протока појединих компонената гасова у сушећем и транспортном флуиду, при максималном капацитету млина. За деоницу А густина сушећег флуида једнака је густини врелих рециркулисаних гасова са врха ложишта.

$$\rho_{go}^A = \rho_{rc} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.67)$$

За деоницу В густина сушећег флуида, који представља мешавину врелих рециркулисаних гасова, примарног ваздуха и хладних рециркулисаних гасова са краја котла, може се израчунати по обрасцу:

$$\rho_{go}^B = \frac{\rho_{rc}\dot{V}_{rc} + \rho_v\dot{V}_I + \rho_{hg}\dot{V}_{hg}}{\dot{V}_{rc} + \dot{V}_I + \dot{V}_{hg}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.68)$$

За деоницу С у којој почиње испаравање влаге из угља, који кроз вертикалну деоницу рециркулисаног вода слободно пада у млин, по обрасцу

$$\rho_{go}^C = \frac{\rho_{rc}\dot{V}_{rc} + \rho_v(\dot{V}_I + \dot{V}_{sv}) + \rho_{hg}\dot{V}_{hg} + (H_B + H_C) \cdot B_{\max} \frac{W^r - W'_m}{100 - W'_m}}{\dot{V}_{\max} - \dot{V}_w + (H_B + H_C) \frac{B_{\max}}{\rho_{H_2O}} \frac{W^r - W'_m}{100 - W'_m}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.70)$$

Густина сушећег флуида на излазу из млина (деоница D) одређује се према једначини 3.44.

Густина радног флуида при стварним условима одређује се када се густина при нормалним условима помножи са поправком за средњу температуру

$$\rho_g = \rho_{go} \frac{273}{t_g + 273} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.71)$$

Сви падови притиска услед отпора трења одређени по обрасцу (3.57) се за редно везане елементе млинског тракта сабирају тако да се добије укупан пад притисак услед отпора трења у обрасцима (3.51) и (3.52). Исто се односи и на падове притиска услед локалних отпора одређених по обрасцу (3.61).

#### 3.4.2.4 Пад притиска услед убрзавања угља

За убрзавање угља, приликом његовог пада од места увођења до млина, кроз рецикулациони вод (деоница С) пад притиска се може одредити на основу једначине

$$\Delta p_{uu} = \mu_c \cdot w_g^2 \cdot \rho_g^C \quad [\text{Pa}] \quad (3.72)$$

где су:

- $\mu_C$  [kg/kg] - средња масена концентрација угља у сушећем флуиду,  
 $w_g$  [m/s] - средња брзина сушећег флуида у деоници С и  
 $\rho_g^C$  [kg/m<sup>3</sup>] - средња густина сушећег флуида у деоници С.

### 3.4.2.5 Пад притиска услед подизања аеросмеше

Приликом подизања аеросмеше, односно, мешавине угљеног праха и транспортног флуида, од најниже тачке ударног кола млина до горионика пад притиска се може одредити по обрасцу

$$\Delta p_{pa} = g \left( \frac{D_2}{2} + H_D \right) \cdot \mu_D \cdot \rho_g^D \quad [\text{Pa}] \quad (3.73)$$

где су:

- $g$  [m/s<sup>2</sup>] - убрзање земљине теже,  
 $D_2$  [m] - унутрашњи пречник радног кола,  
 $H_D$  [m] - висина канала од млина до горионика,  
 $\mu_D$  [kg/kg] - средња масена концентрација угљеног праха у транспортном флуиду и  
 $\rho_g^D$  [kg/m<sup>3</sup>] - средња густина транспортног флуида у деоници D

### 3.4.2.6 Самоузгон млинског тракта

Самоузгон појединих деоница млинског тракта може се одредити по обрасцу

$$p_{su}^i = \pm g \cdot H_i \cdot \Delta p_i \quad [\text{Pa}] \quad (3.74)$$

где су:

- $H_i$  [m] - висина деонице на којој се одрђује самоузгон (висина  $H_D$  на слици 3.4),  
 $\Delta p_i$  [kg/m<sup>3</sup>] - разлика густине околног ваздуха и густине радног флуида на делу млинског тракта.

Разлика густине околног ваздуха и радног флуида износи

$$\Delta\rho_i = \rho_{vo} \frac{273}{t_{hv} + 273} - \rho_{go} \frac{273}{t_{gi} + 273} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.75)$$

где су:

- $\rho_{vo}$  [kg/m<sup>3</sup>] - Густина ваздуха при нормалним условима ( $\rho_{vo} = 1,293 \text{ kg/m}^3$ ),  
 $t_{hv}$  [°C] - температура околног ваздуха (за прорачуне се усваја да је  $t_{hv} = 20^\circ\text{C}$  и  
 $t_{gi}$  [°C] - Средња температура радног флуида на деоници за коју се одређује самоузгон.

Код одређивања самоузгона у ложишту, на висини  $H_i$ , средња температура димних гасова одређује се као геометријска средина теоријске (адијабатске) температуре продуката сагоревања  $t_a$  и температуре димних гасова на крају ложишта  $t_i''$ .

$$t_{gi} = \sqrt{T_a \cdot T_i''} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.76)$$

При струјању радног флуида навише, самоузгон има позитиван, а при струјању наниже негативан знак. Укупан самоузгон у млинском тракту који улази у образац (3.46) одређује се сабирањем самоузгона на појединим деоницама (3.74) водећи рачуна о знаку

$$\Delta p_{su} = \sum_{i=1}^n p_{su}^i - p_i'' = \sum_{i=1}^n g \cdot H_i \cdot \Delta\rho_i - p_i'' \quad [\text{Pa}] \quad (3.77)$$

где је  $p_i''$  [Pa] – потпритисак на крају ложишта потребан због спречавања избијања димних гасова из ложишта у околину, обично се усваја да овај подпритисак износи  $p_i'' = 20 \text{ Pa}$ .

Самоузгон у млинском тракту постоји у рецикулационом воду за сушећи флуид ( слика 3.4, висине  $H_B$  и  $H_C$ ), у каналу аеросмеше ( висина  $H_D$ ) и ложишту ( висина  $H_I$  ). Позитиван смер је на деловима висине  $H_D$  и  $H_L$ , а негативан на делу  $H_B$  и  $H_C$ .

### 3.4.2.7 Рачунски пад притиска у млинском постројењу

С обзиром да пад притиска у млинском постројењу, одређен по обрасцу (3.46), зависи од низа фактора, у првом реду од квалитета радног горива, температуре сушећег флуида и аеросмеше, влажности угљеног праха, габарита и облика млинског тракта, капацитета и типа млина, продукције парног котла и друго, комплексност проблема при његовом одређивању захтева додатно повећање овог притиска. Рачунски пад притиска се може одредити по обрасцу

$$\Delta p = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \Delta p_{mp} \quad [\text{Pa}] \quad (3.78)$$

где су:

- $\beta_1$  [-] - Коефицијент резерве, усваја се да је  $\beta_1 = 1,1$  и  
 $\beta_2$  [-] - Коефицијент рецикулације млинова ( за вентилаторске млинове усваја се  $1,1 \div 1,2$ .

Коефицијент рецикулације млина обухвата повећање отпора струјања радног флуида кроз млин услед рецикулације недомлевених честица угља и дела транспортног флуида из сепаратора угљеног праха. Прорачун пада притиска у млинском постројењу треба спровести за најмање три капацитета млевења вентилаторског млина, при истој продукцији котла. Резултати прорачуна пада преитиска дати су у табели 4 прилога.

## 4. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА ПРОЦЕСА У ВЕНТИЛАТОРСКОМ МЛИНУ У ЦИЉУ ПОВЕЋАЊА КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА

Одређивање карактеристика постројења за припрему угљеног праха зависи од низа фактора и специфичности везаних за врсту и тип млина, од концепције целокупног млинског тракта и његове међусобне везе како са ложиштем тако и са парним котлом у целини.

При реконструкцији млинског постројења, у циљу повећања продукције парног котла, потребно је извршити већи број прорачуна који су међусобно зависни и обично се врше по одређеном редоследу: прорачун капацитета млевења, топлотни и материјални биланс, аеродинамички прорачун млина и прорачун снаге погонског електромотора.

За потребе повећања продукције вентилаторског млина, поред прорачуна капацитета млевења, потребно је извршити топлотни и аеродинамички прорачун и прорачун потребне снаге за млевење.

#### 4.1. ПРОРАЧУН КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА

Максимални капацитет млевења вентилаторског млина може се одредити по обрасцу

$$B_{max} = k_1 k_2 \frac{n_1^2 D_1^3 b (0,0034 k_H^{1,25} + 0,61)}{1000 \left( \frac{R_{5000}}{20} \right)^m \left( \ln \frac{100}{R_{90}} \right)^{0,5}} k_3 k_4 \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1)$$

где су:

- $k_1$  [-] - коефицијент процеса млевења (зависи од врсте, састава и структуре угља, количине минералних материја и других фактора, а креће се у границама  $k_1 = 4,5 \div 5,5$ ),
- $k_2$  [-] - степен похабаности ударних тела (обично се усваја  $k_2 = 0,8-0,9$ ),
- $n_1$  [ $\text{s}^{-1}$ ] - број обртаја ударног кола,
- $D_1$  [m] - спољашњи пречник ударног кола,
- $b$  [m] - ширина ударне плоче,
- $k_H$  [-] - коефицијент мељивости одређен по методи Хардгроув,
- $R_{5000}$  [%] - остатак на сити од 5000  $\mu\text{m}$  за угаљ на улазу у млин,
- $m$  [-] - експонент врсте угља (усваја се да је за мрке угљеве  $m = 0,06$  а за лигните  $m = 0,114$ ) и
- $R_{90}$  [%] - остатак на сити од 90  $\mu\text{m}$  за угљени на излазу из млина.

Коефицијент влажности угља  $k_3$  одређује се по једначини

$$k_3 = \frac{(1 + 1,07 W^r)^2}{(1 + 1,07 W^r)^2 - W_h^2} - \frac{(0,14 W'_m + 0,86 W^p)^2}{(1 + 1,07 W^r)^2 - W_h^2} \quad (4.2)$$

а коефицијент влажности угљеног праха  $k_4$  по једначини

$$k_4 = \frac{100 - 0,14 W'_m - 0,86 W^p}{100 - W'_m} \quad (4.3)$$

У једначини (4.2) и (4.3) су:

- $W^r$  [%] - садржај воде у радном гориву,  
 $W'_m$  [%] - садржај воде у угљу на улазу у млин,  
 $W^p$  [%] - влажност угљеног праха на излазу из млина и  
 $W_h$  [%] - садржај хигроскопске воде.

Угаљ се из котларничког бункера, дозатором и додавачем, дозира и доводи до рециркулационог канала, одакле заједно са сушећим флуидом доспева у улазно грло млина. Садржај воде у угљу приликом његовог пада у млин мањи је од влажности сировог угља, јер се на том путу угаљ краткотрајно суши. Садржај воде у угљу на улазу у млин може да се одредити по обрасцу

$$W'_m = \frac{W^r (100 - W^p) - 45 (W^r - W^p)}{(100 - W^p) - 0,45 (W^r - W^p)} \quad [\%] \quad (4.4)$$

Садржај воде у угљеном праху на излазу из млина је процењена (одељак 2.1) али се може усвојити у складу са [1].

#### 4.1.1. ПРОМЕНА КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА ВЕНТИЛАТОРСКОГ МЛИНА

Максимални капацитет млевења вентилаторског млина тип N 80.75 декларисан од стране произвођача млина, за гарантни угаљ и друге гарантоване параметре (одељак 2.1), износи:- 5,64 kg/s, односно 20,33 t/h.

Овај капацитет се може повећати променом геометријских карактеристика млина и променом броја обртаја ударног кола. На њега још утичу врста и састав угља, сортиман улазног угља, температурски режим у млину, финоћа млевења угљеног праха и тако даље.

##### 4.1.1.1. Повећање капацитета млевења повећањем спољашњег пречника ударног кола

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се, поред осталог, повећати ако се повећа спољашњи пречник ударног кола са  $D_1$  на  $D_{11}$ , па ће, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, максималан капацитет млевења млина тада износити

$$B_{max\ 1} = k'_{12} \frac{C'_o}{C'_u \cdot C'_f} k'_{34} \cdot D_{11}^3 = K'_D \cdot D_{11}^3 \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1a)$$

где су:

$k'_{12}$  [-] - коефицијент који одређује процес млевења и хабања,

$C'_o$  [-] - коефицијент који дефинише остале параметре млевења,

$C'_u$  [-] - коефицијент који одређује финоћу улазног угља,

$C'_f$  [-] - коефицијент који одређује финоћу млевења,

$k'_{34}$  [-] - коефицијент који одређује влажност угља и угљеног праха и

$K'_D$  [-] - коефицијент који не зависи од спољашњег пречника ударног кола.

Повећање максималног капацитета млевења вентилаторског млина, тип N 80.75, може да се представи као однос капацитета млевења после и пре повећања спољашњег пречника ударног

$$\text{кола } \Delta B_{\max} = \frac{B_{\max 1}}{B_{\max}} = \frac{K'_D}{K_D} \cdot \frac{D_{11}^3}{D_1^3} = \frac{D_{11}^3}{D_1^3}$$

Како се коефицијенти који дефинишу капацитет млевења за исти тип млина, материјал његових радних елемената и угаљ који се у њему меље као и коефицијент који одређује квалитет угљеног праха, мало разликују може се повећање максималног капацитета млевења изразити преко односа спољашњег пречника новог и постојећег ударног кола

$$\Delta B_{\max} = 100 \cdot \frac{D_{11}^3}{D_1^3} - 100 = 100 \cdot \left( \frac{D_{11}}{D_1} \right)^3 - 100 \quad [\%] \quad (4.16)$$

У табели 4.1 приказано је повећање капацитета млевења предметног вентилаторског млина у зависности од повећања спољашњег пречника ударног кола. Повећање спољашњег пречника прилагођено је постојећим дебљинама обвојних панцира, сл. 5.2, од којих је израђена "крагна" отвора на кућишту млина за пролаз ударног кола.

**Повећање капацитета млевења са повећањем спољашњег пречника ударног кола**

Табела 4.1

| Ред. број | Назив величине                 | Ознака            | Једин. мере | Повећање спољашњег полупречника кола, [mm] |      |       |
|-----------|--------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------------|------|-------|
|           |                                |                   |             | 15                                         | 30   | 50    |
| 1.        | Спољашњи пречник ударног кола  | $D_1$             | mm          | 2090                                       |      |       |
| 2.        | Повећани спољашњи пречник кола | $D_{11}$          | mm          | 2120                                       | 2150 | 2190  |
| 3.        | Повећање капацитета млевења    | $\Delta B_{\max}$ | %           | 4,36                                       | 8,86 | 15,05 |

|    |                                |            |      |      |       |      |
|----|--------------------------------|------------|------|------|-------|------|
| 4. | Капацитет млевења млина N80.75 | $B_{max}$  | kg/s | 5,64 |       |      |
| 5. | Максималан капацитет млевења   | $B_{max1}$ | kg/s | 5,89 | 6,16  | 6,51 |
| 6. | Максималан капацитет млевења   | $B_{max1}$ | t/h* | 21,2 | 22,17 | 23,4 |

\* Максимални капацитет млевења млина у [t/h] – јединица мере прихваћена у пракси

Повећање спољашњег пречника ударног кола захтева и одређену реконструкцију кућишта млина: поменутог улазног отвора, "нише" у задњем делу кућишта за смештај основног диска кола као и "носа" спирале, као и реконструкције отвора кућишта.

#### 4.1.1.2. Повећање капацитета млевења повећањем ширине ударне плоче

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се повећати ако се повећа светла ширина ударног кола са  $b$  на  $b_1$ , па ће, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, максимални капацитет млевења млина износити

$$B_{max1} = K'_b \cdot b_1 \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1\text{в})$$

где је , на основу сличне анализе из 4.1.1.1,  $K'_b$  - коефицијент који не зависи од светле ширине ударног кола.

Повећање максималног капацитета млевења вентилаторског млина може се представити као однос капацитета млевења после и пре повећања ширине ударног кола

$$\Delta B_{max} = \frac{B_{max1}}{B_{max}} = \frac{K'_b \cdot b_1}{K'_b \cdot b} = \frac{b_1}{b}$$

Како се коефицијенти који дефинишу капацитет млевења за исти тип млина, материјал његових радних елемената и угаљ који се у њему меље, као и коефицијент који одређује квалитет угљеног праха, мало разликују може се повећање максималног капацитета млевења изразити преко односа светле ширине новог и постојећег ударног кола

$$\Delta B_{max} = 100 \frac{b_1}{b} - 100 \quad [\%] \quad (4.1\text{г})$$

**Повећање капацитета млевења повећањем ширине ударне плоче**

Табела 4.2

| Ред. број | Назив величине                 | Ознака           | Једин. мере | Повећање ширине ударне плоче, [mm] |       |      |
|-----------|--------------------------------|------------------|-------------|------------------------------------|-------|------|
|           |                                |                  |             | 20                                 | 30    | 40   |
| 1.        | Ширина ударне плоче            | $D_1$            | mm          | 580                                |       |      |
| 2.        | Повећана ширина ударне плоче   | $D_{11}$         | mm          | 600                                | 610   | 620  |
| 3.        | Повећање капацитета млевења    | $\Delta B_{max}$ | %           | 3,44                               | 5,17  | 6,89 |
| 4.        | Капацитет млевења млина N80.75 | $B_{max}$        | kg/s        | 5,64                               |       |      |
| 5.        | Максималан капацитет млевења   | $B_{max1}$       | kg/s        | 5,83                               | 5,93  | 6,03 |
| 6.        | Максималан капацитет млевења   | $B_{max1}$       | t/h*        | 21                                 | 21,35 | 21,7 |

Максимални капацитет млевења вентилаторског млина N 80.75 би у случају повећања ширине ударног кола за 40 mm, са  $b = 580$  mm на  $b_1 = 620$  mm, износио 6,03 kg/s што представља његово повећање од 6,89 %.

**4.1.1.3. Повећање капацитета млевења повећањем броја обртаја ударног кола**

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се повећати ако се повећа стварни максимални број обртаја ударног кола са  $n_1$  на  $n_{11}$ , па ће, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, максималан капацитет млевења млина износити

$$B_{max\ 1} = k'_{12} \frac{C'_g}{C'_u \cdot C'_f} k'_{34} \cdot n_{11}^2 = K'_n \cdot n_{11}^2 \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1\text{д})$$

где су:

$k'_{12}$  [-] - коефицијент који одређује процес млевења и хабања,

$C'_g$  [-] - коефицијент који дефинише геометрију млина,

$C'_u$  [-] - коефицијент који одређује финоћу улазног угља,

$C'_f$  [-] - коефицијент који одређује финоћу млевења,

$k'_{34}$  [-] - коефицијент који одређује влажност угља и угљеног праха и

$K'_n$  [-] - коефицијент који не зависи од броја обртаја ударног кола.

Повећање максималног капацитета млевења вентилаторског млина може се представити као однос капацитета млевења после и пре повећања броја обртаја ударног кола

$$\Delta B_{max} = \frac{B_{max1}}{B_{max}} = \frac{K'_n}{K_n} \cdot \frac{n_{11}^2}{n_1^2} = \frac{n_{11}^2}{n_1^2}$$

Како се коефицијенти који дефинишу капацитет млевења за исти тип млина, материјал његових радних елемената и угаљ који се у њему меље, као и коефицијент који одређује квалитет угљеног праха, мало разликују може се повећање максималног капацитета млевења изразити преко односа повећаног и постојећег броја обртаја ударног кола

$$\Delta B_{max} = 100 \cdot \frac{n_{11}^2}{n_1^2} - 100 = 100 \cdot \left( \frac{n_{11}}{n_1} \right)^2 - 100 \quad [\%] \quad (4.1e)$$

У оквиру захтева за повећање капацитета млевења вентилаторског млина N 80.75 од 10 % разматран је захтев за променом броја обртаја ударног кола у односу на постојећи, стварни максимални број обртаја кола од 750 o/min, у смислу његовог повећања за по 10 o/min, све до 780 o/min [7].

Из наведеног, у оквиру ове студије, разматраће се повећање броја обртаја у односу на стварни, постојећи, за 10; 20 и највише 40 о/мин. У табели 4.3 приказано је повећање капацитета млевења предметног млина у зависности од поменутог повећања броја обртаја ударног кола. Повећање броја обртаја млинског вратила свакако би захтевало уградњу регулационе турбоспојнице.

#### ***Повећање капацитета млевења са повећањем броја обртаја ударног кола***

Табела 4.3

| Ред. број | Назив величине                       | Ознака    | Јединица мере | Повећање броја обртаја обртног кола, [o/min] |     |     |
|-----------|--------------------------------------|-----------|---------------|----------------------------------------------|-----|-----|
|           |                                      |           |               | 10                                           | 20  | 30  |
| 1.        | Максимални излазни број обртаја кола | $n_{max}$ | o/min         | 740                                          |     |     |
| 2.        | Стварни максимални број обртаја кола | $n_1$     | o/min         | 750                                          |     |     |
| 3.        | Повећани број обртаја ударног кола   | $n_{11}$  | o/min         | 760                                          | 770 | 780 |

|    |                                 |                  |      |       |      |       |
|----|---------------------------------|------------------|------|-------|------|-------|
| 4. | Повећање капацитета млевења     | $\Delta B_{max}$ | %    | 2,68  | 5,4  | 8,1   |
| 5. | Капацитет млевења млина N 80.75 | $B_{max}$        | kg/s | 5,64  |      |       |
| 6. | Максималан капацитет млевења    | $B_{max1}$       | kg/s | 5,95  | 6,11 | 6,27  |
| 7. | Максималан капацитет млевења    | $B_{max1}$       | t/h* | 21,42 | 22   | 22,57 |

\* Максималан капацитет млевења млина у [t/h] - јединица мере прихваћена у пракси

При повећању за највише 30 о/min број обртаја ударног кола би износио 780 о/min. Тиме би се повећао капацитет млевења за 8,1 % (табела 4.3, ред 4) и остварио масени проток млевења од 6,27 kg/s. Потребна снага за млевење наведеног масеног протока костолачког лигнита износила би 564 kW, што је више од снаге постојећег млинског електромотора која износи 450 kW.

#### 4.1.1.4. Промена капацитета млевења при промени коефицијента мељивости угља

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се значајно променити ако се погорша мељивост коришћеног лигнита, односно, погорша његов коефицијент мељивости, па ће, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, максимални капацитет млевења млина тада износити

$$B_{max1} = k'_2 \frac{C'_o \cdot C'_g}{C'_u \cdot C'_f} k'_{34} (0,0034 k_{H1}^{1,25} + 0,61) = K'_H (0,0034 k_{H1}^{1,25} + 0,61) \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1\phi)$$

где су:

$k'_2$  [-] - коефицијент који одређује процес хабања,

$C'_o$  [-] - коефицијент који дефинише остале параметре млевења,

$C'_g$  [-] - коефицијент који дефинише геометрију млина,

$C'_u$  [-] - коефицијент који одређује финоћу улазног угља,

$C'_f$  [-] - коефицијент који одређује финоћу млевења,

$k'_{34}$  [-] - коефицијент који одређује влажност угља и угљеног праха и

$K'_H$  [-] - коефицијент који не зависи од коефицијента мељивости угља.

Промена максималног капацитета млевења вентилаторског млина може се представити односом капацитета млевења после и пре промене коефицијента мељивости угља који се користи у млину

$$\Delta B_{max} = \frac{B_{max1}}{B_{max}} = \frac{K'_H}{K_H} \cdot \frac{(0,0034 k_{H1}^{1,25} + 0,61)}{(0,0034 k_H^{1,25} + 0,61)} = \frac{0,0034 k_{H1}^{1,25} + 0,61}{0,0034 k_H^{1,25} + 0,61}$$

Како се коефицијенти који дефинишу капацитет млевења за исти тип млина, материјал његових радних елемената и непромењену геометрију и брзину радног кола, као и коефицијенти који одређују квалитет угља и угљеног праха, мало разликују може се промена максималног капацитета млевења изразити преко односа погоршаног и коефицијента мељивости за гарантни лигнит

$$\Delta B_{max} = 100 \cdot \frac{0,0034 k_{H1}^{1,25} + 0,61}{0,0034 k_H^{1,25} + 0,61} - 100 \quad [\%] \quad (4.1г)$$

Вентилаторски млин N 80.75 изабран је за млевење угљева чији је гарантни коефицијент мељивости, одређен по америчкој методи Хардгроув, износио  $k_H = 56$  [1] за ћириковачки угаљ, док се данас у електрану допрема лигнит са површинског копа Дрмно код кога је вредност коефицијента мељивости погоршана и креће око 40. Просечан коефицијент мељивости, по методи Хардгроув, износи око  $k_H = 40$  а у неким приликама и мање, на пример  $k_H = 35$ .

#### Смањење капацитета млевења погоршањем коефицијента мељивости лигнита

Табела 4.4

| Ред. број | Назив величине                         | Ознака           | Једин. мере | Вредност коефицијента мељивости за коришћени лигнит |       |       |
|-----------|----------------------------------------|------------------|-------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|
|           |                                        |                  |             | 38                                                  | 35    | 33    |
| 1.        | Коефицијент мељивости за гарантни угаљ | $k_H$            | -           | 40                                                  |       |       |
| 2.        | Смањење капацитета млевења             | $\Delta B_{max}$ | %           | -2,31                                               | -5,52 | -7,67 |
| 3.        | Капацитет млевења млина N 80.75        | $B_{max}$        | kg/s        | 25,64                                               |       |       |
| 4.        | Максималан капацитет млевења           | $B_{max1}$       | kg/s        | 5,51                                                | 5,33  | 5,21  |
| 5.        | Максималан капацитет млевења           | $B_{max1}$       | t/h*        | 19,83                                               | 19,18 | 18,75 |

\* Максималан капацитет млевења млина у [т/х] - јединица мере прихваћена у пракси

У табели 4.4 приказано је смањење капацитета млевења предметног вентилаторског млина за погоршање мељивости коришћеног лигнита у односу на гарантни лигнит, за који је млин изабран.

#### 4.1.1.5. Промена капацитета млевења при промени сортимана улазног угља

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се променити ако се погорша сортиман улазног (сировог) угља, односно, повећа његов остатак на сити од 5 mm -  $R_{5000}$ . За непромењене остале величине из обрасца 4.1, максималан капацитет млевења млина се у том случају може написати као

$$B_{max\ 1} = k'_{12} \frac{C'_o \cdot C'_g}{C'_f} \frac{k'_{34}}{\left(\frac{R_{5000}^1}{20}\right)^m} = \frac{K'_{5000}}{\left(\frac{R_{5000}^1}{20}\right)^m} \quad [\text{kg/s}] \quad (4.1\text{и})$$

где су:

- $k'_{12}$  [-] - коефицијент који одређује процесе млевења и хабања,
- $C'_o$  [-] - коефицијент који дефинише остале параметре млевења,
- $C'_g$  [-] - коефицијент који дефинише геометрију млина,
- $C'_f$  [-] - коефицијент који одређује квалитет финоће млевења,
- $k'_{34}$  [-] - коефицијент који дефинише влажност угља и угљеног праха и
- $K'_{5000}$  [-] - коефицијент који не зависи од промене сортимана радног угља.

Промена максималног капацитета млевења вентилаторског млина може се представити као однос остатка на сити од 5 mm после и пре промене сортимана сировог угља

$$\Delta B_{max} = \frac{B_{max1}}{B_{max}} = \frac{K'_{5000}}{K_{5000}} \cdot \frac{\left(\frac{R_{5000}}{20}\right)^m}{\left(\frac{R_{5000}^1}{20}\right)^m} = \left(\frac{R_{5000}}{R_{5000}^1}\right)^m$$

За костолачки лигнит, код кога је експонент врсте угља  $m = 0,114$ , процентуално смањење капацитета млевења износи

$$\Delta B_{max} = 100 \cdot \left( \frac{R_{5000}}{R'_{5000}} \right)^m - 100 = 100 \cdot \left( \frac{R_{5000}}{R'_{5000}} \right)^{0,114} - 100 \quad [\%] \quad (4.1j)$$

За вентилаторски млин N 80.75 остатак на ситу од 5 mm при млевењу гарантног сировог костолачког лигнита, износи  $R_{5000} = 29 \%$  а његов почетни сортиман је окарактерисан као "орак" треба бити димензија од 20 до 40 mm.

Величина комада сировог лигнита, који се у данашње време допрема у електрану, повећала се а њихова вредност се креће у границама од 30 до 60 mm. За овакав лигнит, улазни сортиман може да се окарактерише као "коцка".

У табели 4.5 приказано је смањење капацитета млевења предметног млина због очекиваног погоршавања сортимана сировог лигнита у односу на исти сортиман гарантног угља.

За погоршани сортиман сировог угља код кога остатак на ситу од 5 mm износи, на пример,  $R_{5000} = 55 \%$  (табела 4.5), губитак капацитета млевења предметног млина износи више од 5 %, тачније 5,15 %.

#### Смањење капацитета млевења погоршавањем сортимана улазног лигнита

Tabela 4.5

| Ред. број | Назив величине                   | Ознака           | Јединица мере | Погоршан сортиман лигнита дефинисан остатком на ситу $R'_{5000}$ , [%] |       |       |
|-----------|----------------------------------|------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|           |                                  |                  |               | 45                                                                     | 55    | 65    |
| 1.        | Остатак на ситу за гарантни угаљ | $R_{5000}$       | %             | 29                                                                     |       |       |
| 2.        | Смањење капацитета млевења       | $\Delta B_{max}$ | %             | 4,88                                                                   | -7,03 | -8,79 |
| 3.        | Капацитет млевења млина N 80.75  | $B_{max}$        | kg/s          | 25,64                                                                  |       |       |
| 4.        | Максималан капацитет млевења     | $B_{max1}$       | kg/s          | 5,37                                                                   | 5,25  | 5,15  |
| 5.        | Максималан капацитет млевења     | $B_{max1}$       | t/h*          | 19,33                                                                  | 18,9  | 18,54 |

\* Максималан капацитет млевења млина у [t/h] - јединица мере прихваћена у пракси

#### 4.1.1.6. Промена капацитета млевења приликом промена финоће млевења угљеног праха

Угљени прах представља фини полидисперзни материјал са веома малим димензијама честица. Његов квалитет је представљен основним величинама као што су:

- финоћа млевења и гранулометријска карактеристика,
- специфична површина,
- густина и влажност угљеног праха,
- транспортна својства и тако даље.

Финоћа млевења угљеног праха одређује се сејањем одговарајућег узорка у уређају за сејање. Ситовна анализа се врши помоћу комплета сита чије су карактеристике дефинисане различитим националним стандардима. Резултати ситовне анализе дефинисани су остацима на појединим ситима и пропадом кроз најфиније сито.

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  промениће се ако се промени финоћа млевења угљеног праха, односно, промени његов остатак на сити од  $90 \mu m - R_{90}$ , па ће, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, максималан капацитет млевења млина у том случају износити

$$B_{max\ 1} = k'_{12} \frac{C'_o \cdot C'_g}{C'_u} \frac{k'_{34}}{\left(\ln \frac{100}{R_{90}^1}\right)^{0,5}} = \frac{K'_{90}}{\left(\ln \frac{100}{R_{90}^1}\right)^{0,5}} \quad [kg/s] \quad (4.1k)$$

где су:

- $k'_{12}$  [-] - коефицијент који одређује процесе млевења и хабања,
- $C'_o$  [-] - коефицијент који дефинише остале параметре млевења,
- $C'_g$  [-] - коефицијент који дефинише геометрију млина,
- $C'_u$  [-] - коефицијент који дефинише квалитет улазног угља,
- $k'_{34}$  [-] - коефицијент који дефинише влажност угља и угљеног праха и
- $K'_{90}$  [-] - коефицијент који не зависи од промене финоће млевења угљеног праха.

Промена максималног капацитета млевења вентилаторског млина може се представити као однос остатка на сити од  $90 \mu m$  после и пре промене финоће млевења угљеног праха

$$\Delta B_{max} = \frac{B_{max1}}{B_{max}} = \frac{K'_{90}}{K_{90}} \cdot \frac{\left(\ln \frac{100}{R_{90}}\right)^{0,5}}{\left(\ln \frac{100}{R_{90}^1}\right)^{0,5}} = \left(\frac{\ln 100 - \ln R_{90}}{\ln 100 - \ln R_{90}^1}\right)^{0,5}$$

За вентилаторски млин N 80.75 гарантован је остатак на ситу од 90  $\mu\text{m}$  у износу  $R_{90\text{gar}} = 55$  %. Међутим, често се догађа да је овај остатак већи и да износи око 68 % при максималном капацитету млевења. Уколико се жели постићи финије млевење угља, блиско гарантованом остатку на ситу од 90  $\mu\text{m}$ , потребно је пригушити клапне за регулацију млинског сепаратора и практично смањити капацитет млевења. Ово смањење, за поменуте остатке на ситу од 90  $\mu\text{m}$  (58 %), табела 4.6, износи

$$\Delta B_{max} = 100 \left( \frac{\ln 100 - \ln R_{90}}{\ln 100 - \ln R_{90}^1} \right)^{0,5} - 100 = 100 \left( \frac{\ln 100 - \ln 58}{\ln 100 - \ln 55} \right)^{0,5} - 100 = -4,33\%$$

Уколико се приликом млевења угља, пак, оствари већа финоћа млевења, на пример, када остатак на ситу од 90  $\mu\text{m}$  износи  $R_{90} = 52$  % тада је за постизање гарантованог остатка на ситу  $R_{90} = 55$  % потребно "отворити" клапне за регулацију млинског сепаратора и "покварити" мељаву што практично доводи до повећања капацитета млевења од 4,82 %.

#### Промена капацитета млевења при промени финоће млевења угљеног праха

Табела 4.6

| Ред. број | Назив величине                   | Ознака             | Јединица мере | Финоћа млевења угљеног праха дефинисана остатком на ситу $R_{90}$ , [%] |      |       |       |
|-----------|----------------------------------|--------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|
|           |                                  |                    |               | 58                                                                      | 55   | 52    | 49    |
| 1.        | Остатак на ситу за гарантни угаљ | $R_{90\text{gar}}$ | %             | 55                                                                      |      |       |       |
| 4.        | Смањење капацитета млевења       | $\Delta B_{max}$   | %             | -4,33                                                                   | 0,00 | +4,82 | +9,48 |
| 5.        | Капацитет млевења млина N 80.75  | $B_{max}$          | kg/s          | 5,64                                                                    |      |       |       |
| 6.        | Максималан капацитет млевења     | $B_{max1}$         | kg/s          | 5,39                                                                    | 5,64 | 5,91  | 6,17  |
| 7.        | Максималан капацитет млевења     | $B_{max1}$         | t/h*          | 19,42                                                                   | 20,3 | 21,27 | 22,21 |

\* Максималан капацитет млевења млина у [t/h] - јединица мере прихваћена у пракси

Ако се приликом млевења угља оствари још већа финоћа млевења угљеног праха, са остатком од  $R_{90} = 49 \%$ , тада је, за постизање гарантованог остатка на сити од  $90 \mu m$   $R_{90} = 55 \%$ , потребно још више "отворити" клапне за регулацију млинског сепаратора што ће допринети повећању капацитета млевења за  $9,48 \%$ .

#### 4.1.1.7. Промена капацитета млевења са променом влажности сировог угља

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се, такође, променити ако се промени влажност сировог угља. За коришћени лигнит, радна влага износи  $38,5 \%$ . Променом влажности сировог угља максимални капацитет млевења, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, износиће:

- за влажност сировог угља од  $W^r = 45 \%$  у односу на вредност за гарантни угаљ за котао, уз непромењену хигроскопску влагу радног горива и влажност угљеног праха, смањиће се максималан капацитет млевења за

$$\Delta B_{max} = 100 \frac{k_3^{45}}{k_3^{gar}} - 100 = 100 \frac{1,01}{1,014} - 100 = -0,39\%$$

- за влажност сировог угља од  $W^r = 52 \%$  у односу на вредност за гарантни угаљ за котао, уз непромењене остале услове, повећаће се максимални капацитет млевења за

$$\Delta B_{max} = 100 \frac{k_3^{52}}{k_3^{gar}} - 100 = 100 \frac{1,0}{1,014} - 100 = -1,38\%$$

Треба напоменути да у оваквим анализама, у стварности, влажност угљеног праха неће бити константна већ да ће њена вредност пратити промену влажности сировог угља.

На крају, може се рећи да, за инжењерске прорачуне, промена влажности сировог угља неће значајније утицати на промену капацитета млевења.

#### 4.1.1.8. Промена капацитета млевења са променом влажности угљеног праха

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  може се свакако променити и са променом влажности угљеног праха, која је за гарантни лигнит и предметни вентилаторски млин прогнозирана  $10 \%$ . Најчешће се ова вредност креће у интервалу од  $5 \%$  до  $15 \%$  па ће се, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, променити максималан капацитет млевења:

- за влажност угљеног праха  $W^P = 5\%$  у односу на гарантну  $W^P_{gar} = 10\%$ , уз непромењену влагу сировог угља, повећаће се, због промене коефицијента влажности угљеног праха  $k_4$ , максималан капацитет млевења за

$$\Delta B_{max} = 100 \frac{k_4^5}{k_4^{gar}} - 100 = 100 \frac{1,27}{1,23} - 100 = 3,35\%$$

- за влажност угљеног праха  $W^P = 15\%$  у односу на гарантну, уз непромењене остале параметре, због промене коефицијента  $k_4$ , смањиће се максималан капацитет млевења за

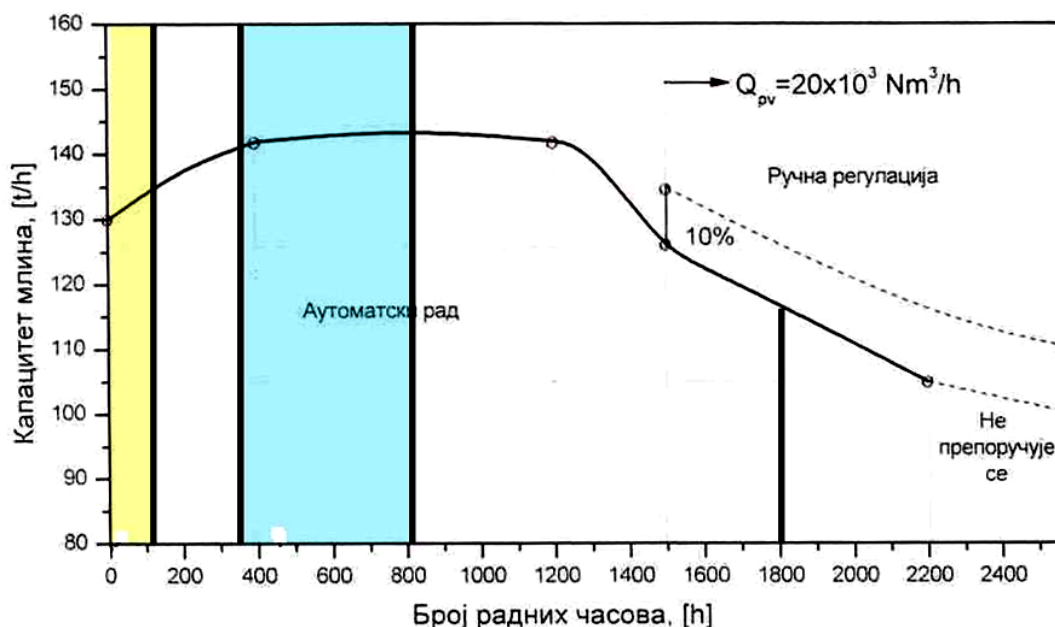
$$\Delta B_{max} = 100 \frac{k_4^{15}}{k_4^{gar}} - 100 = 100 \frac{1,152}{1,23} - 100 = -6,32\%$$

Треба још једном истаћи да влажност угљеног праха неће бити константна, већ да ће њена вредност пратити промену влажности сировог угља и температуре аеросмеше. У стварности овај проблем је комплексан и не може се посматрати парцијално већ кроз теоријске основе процеса сушења за ову врсту млинова [1].

Напомена: Тежња да се промена капацитета млевења вентилаторског млина сагледа са свих аспеката и да се прогнозира утицај појединих величина и њихов значај на промену капацитета млевења код ових млинова, захтевао је да се међусобни утицаји појединих величина искључе, односно, да се поменуте промене посматрају одвојено што у стварности, свакако, није могуће. Због тога, приказане проценте повећања или смањења капацитета млевења ових млинова, на овакав начин, не треба директно вредновати.

#### **4.1.1.9 Промена капацитета млевења са повећањем похабаности радних елемената млина**

Капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  у многеме зависи од стања материјала његових радних елемената, нарочито ударних плоча и његовог "носа". Наиме, са повећањем броја радних сати млина, његови радни елементи се интензивно хабају и губе првобитну форму - облик, без обзира на мељивост сировог угља па ће се, сходно томе, капацитет млевења млина мењати, тј. опадати. Хабањем материјала, зазор између носа и спољашњег пречника ударног кола се повећава, улазна ивица ударних плоча се нарушава због чега се смањује њихова радна површина, спирала непосредно иза носа се продубљује итд. Свакако да је код теже мељивих угљева (коефицијент Хардгроу низак) интензитет хабања млина још већи.



Слика 4.3.[8] Зависност капацитета млевења вентилаторског млина од броја радних часова и запреминског протока примарног ваздуха

Искуствено (сл. 4.3), капацитет млевења млина се, са повећањем броја сати рада, повећава до 300 h и највећи је између 400 и 800 сати рада после чега се, прво, мало смањује а затим нагло опада до 2000 - 2200 сати. Хабањем радних елемената млина смањује се напор млина и његово вентилационо дејство. Замена похабаних радних делова млина врши се после наведеног интервала а на основу броја радних сати, а најчешће после 1500 h. Тежња да се број радних сати ударног кола повећа довела је до истраживања која су показала да облагањем ударних елемената антиабразивним материјалима (Vautid, Castolin), да се број сати рада ударног кола може повећати два и више пута. Ово истраживање је вршено на млиновима N 220.50 и N 80.75 у термоелектрани „Костолац А“

Гарантована финоћа млевења угљеног праха се, због свега наведеног, током времена погоршава па млински сепаратор враћа у млин, на поновно млевење, знатно већи број крупнијих честица. На тај начин се циркулациони број угља у млину и сепаратору повећава за непромењену финоћу млевења на његовом излазу. Последица овог повећања је још интензивније хабање радних елемената млина и "губитак" капацитета млевења.

## 4.2. АЕРОДИНАМИЧКИ ПРОРАЧУН МЛИНСКОГ ПОСТРОЈЕЊА

Да би се у млинском постројењу омогућило континуално одвијање процеса припреме угљеног праха одговарајућег квалитета и касније његовог сагоревања, потребно је, поред удувавања аеросмеше потребном брзином кроз горионике у ложиште и довођења секундарног ваздуха у циљу остваривања потпуног сагоревања угљеног праха, у млин доводити, уз угаљ који се у њему припрема и меље, вреле рециркулисане продукте сагоревања као и загрејан и хладан ваздух.

У том смислу, морају се ускладити напор млина и пад притиска у постројењу за припрему угљеног праха, односно, пронаћи радна тачка у којој постројење за припрему угљеног праха несметано ради при различитим капацитетима млевења и непромењеном оптерећењу парног котла.

### 4.2.1. ПРОРАЧУН НАПОРА МЛИНА

По својој конструкцији вентилаторски млинови су слични радијалним вентилаторима док су његови радни елементи, који учествују у процесу млевења, посебно ојачани због повећаног хабања. Ако се у млину не врши процес млевења, односно, када кроз млин не пролази угаљ (рад при празном ходу), приликом обртања ударног кола највећи део енергије, одређен степеном корисности млина, биће предат радном флуиду у циљу повишења његовог притиска. У том случају процеси који се одвијају у млину могу се представити, као код вентилатора, двама бездимензионим величинама: значицом напора  $\psi$  и значицом протока  $\varphi$ .

$$\psi = \frac{h_o}{\rho v_1^2} \quad \text{и} \quad \varphi = \frac{\dot{V}_{ph}}{\pi D_1 b v_1} \quad (4.5)$$

где су:

- $h_o$  [Pa] - напор при празном ходу млина,
- $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] - густина радног флуида,
- $v_1$  [m/s] - обимна брзина спољашњег пречника ударног кола,
- $\dot{V}_{ph}$  [m<sup>3</sup>/s] - запремински проток радног флуида при празном ходу,
- $D_1$  [m] - спољашњи пречник ударног кола и

$b$  [m] - корисна ширина ударне плоче.

Због мањег броја радијално постављених лопатица (ударних плоча) и њиховог губитка масе услед интензивног хабања у процесу млевења, конструкција кола је прилагођена млевењу угља, вредност значајце напора код вентилаторског млина је мала и износи  $\psi = 0,3 \div 0,6$ . Значајца протока код овог типа млина креће се у границама  $\varphi = 0,06 \div 0,11$ .

Зависности степена корисности млина као вентилатора ( $\eta_h$ ) и значајце напора од значајце протока дате су у [1], обично за два подручја релативне ширине ударних плоча  $b/D_1$ .

У радним условима, при максималном капацитету млевења, напор млина се одређује помоћу значајце напора (4.5), према обрасцу:

$$h = \psi v_1^2 \rho_{sr} (1 - 0,15\mu) \quad [\text{Pa}] \quad (4.6)$$

Значајца напора  $\psi$  се, иначе, одређује тако, што се из одговарајућег дијаграма (сл. 3.3) прво бира вредност значајце напора  $\psi_o$ , одређена значајцом протока  $\varphi$

$$\varphi = \frac{\dot{V}_{max}}{\pi D_1 b v_1} \frac{T_2}{273} \quad [-] \quad (4.7)$$

за запремински проток радног флуида при максималном капацитету млевења, која се затим коригује коефицијентом прозрачности ударног кола  $k_p$

$$\psi = \psi_o (1 - k_p) = \psi_o (1 - e^{-\frac{l \cdot z}{D_1}}) \quad [-] \quad (4.8)$$

где су:

$\psi_o$  [-] - значајца напора чија се вредност одређује из дијаграма,

$l$  [m] - висина ударне плоче и

$z$  [ком] - број ударних плоча.

На крају се образац за одређивање напора млина може написати у облику

$$h = \psi_o (1 - e^{-\frac{l \cdot z}{D_1}}) \cdot v_1^2 \rho_{sr} (1 - 0,15\mu) \quad [\text{Pa}] \quad (4.9)$$

#### 4.2.1.1. Повећање напора млина при повећању спољашњег пречника кола

Повећањем спољашњег пречника ударног кола вентилаторског млина N 80.75 са  $D_1$  на  $D_{11}$ , поред повећања максималног капацитета млевења (табела 4.1), повећаће се и његов напор.

Максимални напор млина се у радним условима, за повећани спољашњи пречник кола  $D_{11}$ , одређује помоћу његове значајности напора и повећане обимне брзине према обрасцу

$$h_1 = \psi_1 \cdot v_{11}^2 \cdot C'_\rho \cdot C'_\mu \quad [\text{Pa}] \quad (4.10 \text{ а})$$

где су:

- $\psi_1$  [-] - значајца напора за повећани спољашњи пречник кола,
- $v_{11}$  [m/s] - обимна брзина повећаног спољашњег пречника кола,
- $C'_\rho$  [-] - коефицијент који дефинише густину радног флуида и
- $C'_\mu$  [-] - коефицијент који одређује концентрацију угљеног праха.

Повећање максималног напора предметног млина може се представити као однос напора после и пре повећања спољашњег пречника кола

$$\Delta h = \frac{h_1}{h} = \frac{\psi_1 \cdot v_{11}^2 \cdot C'_\rho \cdot C'_\mu}{\psi \cdot v_1^2 \cdot C_\rho \cdot C_\mu} = \frac{\psi_1 \cdot v_{11}^2}{\psi \cdot v_1^2}$$

Како се, за исти тип млина, коефицијенти који дефинишу напор, температурске услове који у њему владају, врсту радног флуида и сличну концентрацију угљеног праха мало разликују, може се повећање максималног напора млина изразити преко односа значајности напора и обимних брзина спољашњег пречника кола, односно, ако је број обртаја кола непромењен, преко односа значајности напора и квадрата спољашњих пречника кола после и пре повећања

$$\Delta h = \frac{\psi_1 \cdot v_{11}^2}{\psi \cdot v_1^2} = \frac{\psi_1}{\psi} \cdot \frac{(\pi \cdot D_{11} \cdot n)^2}{(\pi \cdot D_1 \cdot n)^2} = \frac{\psi_1}{\psi} \cdot \frac{D_{11}^2}{D_1^2}$$

за обимну брзину дату изразом

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad [\text{m/s}]$$

где је  $n$  [s<sup>-1</sup>] – број обртаја обртног кола, односно

$$\Delta h = 100 \cdot \frac{\psi_1}{\psi} \cdot \frac{D_{11}^2}{D_1^2} - 100 = 100 \cdot \left( \frac{\psi_1}{\psi} \right) \cdot \left( \frac{D_{11}}{D_1} \right)^2 - 100 \quad [\%] \quad (4.10 \text{ б})$$

За предметни вентилаторски млин израчунате су вредности значајца које, за постојећу геометрију млина (одељак 2), износе: значајца протока  $\varphi = 0,082$  и значајца напора  $\psi = 0,395$  (где је вредност  $\psi_o = 0,9$  из дијаграма са сл. 3.3).

**Повећање максималног напора вентилаторског млина у зависности од повећања спољашњег пречника ударног кола**

Табела 4.7

| Ред. број | Назив величине                         | Ознака     | Једин. мере | Повећање спољашњег полупречника кола, [mm] |        |        |        |
|-----------|----------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|
|           |                                        |            |             | 0                                          | 30     | 60     | 100    |
| 1         | 2                                      | 3          | 4           | 5                                          | 6      | 7      | 8      |
| 1.        | Спољашњи пречник ударног кола          | $D_1$      | mm          | 2090                                       | 2090   | 2090   | 2090   |
| 2.        | Повећани спољашњи пречник ударног кола | $D_{11}$   | mm          | 2090                                       | 2120   | 2140   | 2190   |
| 3.        | Активна дужина ударне плоче            | $b$        | m           | 0,58                                       | 0,99   | 0,99   | 0,99   |
| 4.        | Укупна ширина ударне плоче             | $l$        | m           | 0,340                                      | 0,355  | 0,370  | 0,390  |
| 5.        | Број ударних плоча                     | $z$        | ком.        | 10                                         | 10     | 10     | 10     |
| 6.        | Значајца протока                       | $\varphi$  | -           | 0,082                                      | 0,083  | 0,084  | 0,086  |
| 7.        | Значајца напора из дијаграма           | $\psi_o$   | -           | 0,490                                      | 0,4952 | 0,4961 | 0,4972 |
| 8.        | Значајца напора                        | $\psi$     | -           | 0,395                                      | 0,40   | 0,403  | 0,409  |
| 9.        | Повећање максималног напора млина      | $\Delta h$ | %           | 0,00                                       | 4,02   | 6,71   | 13,47  |

У табели 4.7 приказано је повећање максималног напора предметног вентилаторског млина у зависности од повећања спољашњег пречника ударног кола (одељак 4.1.1.1), за исти капацитет млевења  $B = 5,64 \text{ kg/s}$ .

#### 4.2.1.2. Повећање напора млина при повећању броја обртаја ударног кола

Повећање максималног напора предметног вентилаторског млина може такође да се представи као однос напора после и пре повећања броја обртаја кола.

Како се, за исти тип млина, коефицијенти који дефинишу напор, температурске услове који владају у њему, врсту радног флуида и сличну концентрацију угљеног праха мало разликују, може се повећање максималног напора млина изразити преко односа значајца напора и обимних брзина спољашњег пречника кола, односно, ако је спољашњи пречник ударног кола непромењен, преко односа значајца напора и квадрата броја обртаја после и пре повећања

$$\Delta h = \frac{\psi_1 \cdot v_{11}^2}{\psi \cdot v_1^2} = \frac{\psi_1}{\psi} \cdot \frac{(\pi \cdot D \cdot n_{11})^2}{(\pi \cdot D \cdot n_1)^2} = \frac{\psi_1}{\psi} \cdot \frac{n_{11}^2}{n_1^2}$$

односно

$$\Delta h = 100 \cdot \frac{\psi_1}{\psi} \cdot \frac{n_{11}^2}{n_1^2} - 100 = 100 \cdot \left( \frac{\psi_1}{\psi} \right) \cdot \left( \frac{n_{11}}{n_1} \right)^2 - 100 \quad [\%] \quad (4.10 \text{ ц})$$

За вентилаторски млин тип N 80.75, према подацима наведеним у одељку 2, израчунате су вредности значајца које за постојећу, непромењену геометрију и број обртаја млина износе

- значајца протока  $\phi = 0,082$  и
- значајца напора  $\psi = 0,395$ .

У табели 4.8 приказано је повећање максималног напора предметног вентилаторског млина у зависности од повећања броја обртаја ударног кола (као код одељка 4.1.1.3), за исти капацитет млевења  $B = 5,64 \text{ kg/s}$ .

#### Повећање максималног напора вентилаторског млина у зависности од повећања броја обртаја ударног кола

Табела 4.8

| Ред. број | Назив величине                       | Ознака   | Јединица мере | Повећање броја обртаја ударног кола, [o/min] |     |     |     |
|-----------|--------------------------------------|----------|---------------|----------------------------------------------|-----|-----|-----|
|           |                                      |          |               | 0                                            | 10  | 20  | 30  |
| 1.        | Максимални број обртаја ударног кола | $n_1$    | o/min         | 750                                          | 750 | 750 | 750 |
| 2.        | Повећани број обртаја ударног кола   | $n_{11}$ | o/min         | 750                                          | 760 | 770 | 780 |

|    |                                   |            |   |       |        |        |        |
|----|-----------------------------------|------------|---|-------|--------|--------|--------|
| 3. | Значица протока                   | $\varphi$  | - | 0,082 | 0,084  | 0,085  | 0,086  |
| 4. | Значица напора из дијаграма       | $\psi_o$   | - | 0,49  | 0,4952 | 0,4961 | 0,4972 |
| 5. | Значица напора                    | $\psi$     | - | 0,395 | 0,400  | 0,403  | 0,409  |
| 6. | Повећање максималног напора млина | $\Delta h$ | % | 0,00  | 5,186  | 7,53   | 11,98  |

#### 4.2.2. ПРОРАЧУН ПАДА ПРИТИСКА У МЛИНСКОМ ПОСТРОЈЕЊУ

За млевење и сушење угља у ТЕКО А1 користи се вентилаторски млин N 80.75 дефинисан системом припреме угљеног праха - индивидуални систем са директним удубљавањем и сушењем по затвореном процесу.

Цело постројење за припрему угљеног праха је иначе подељено на већи број делова – деоница. Пад притиска у млинском постројењу представља збир падова притисака у појединим његовим деоницама: пад притиска услед отпора трења и локалних отпора, пад притиска услед убрзавања угља, пад притиска услед подизања аеросмеше и самоузгон млинског тракта.

У делу млинског тракта, од места одузимања рециркулисаних гасова из ложишта до отвора за убацивање угља, у вреле рециркулисане димне гасове најчешће се уводи примарни ваздух ради регулисања температуре у млину и у каналу аеросмеше. Због тога је концентрација летећег пепела у сушећем флуиду смањена па се у практичним прорачунима ова поправка не узима у обзир.

Учешће угљене масе у овом прорачуну узима се преко поправке због присуства угља у сушећем флуиду (радном флуиду испред млина), односно, угљеног праха у транспортном флуиду (радном флуиду иза млина). Масена концентрација угља у сушећем флуиду разликује се по појединим деоницама, првенствено због промене капацитета млевења као и због промене масеног протока флуида. Највећа масена концентрација угља у сушећем флуиду, односно угљеног праха, биће при максималном капацитету млевења.

##### 4.2.2.1. Промена пада притиска у млинском постројењу повећањем капацитета млевења

С обзиром на чињеницу да пад притиска у постројењу за припрему угљеног праха практично зависи од укупног пада притиска услед отпора трења и локалних отпора, а да се они могу представити у функцији квадрата брзине  $w$  [m/s] флуида у постројењу и његове густине  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]

$$\Delta p = C_o \frac{w^2}{2} \rho \quad [\text{Pa}] \quad (4.11)$$

где је  $C_o$  [-] укупни коефицијент отпора. Брзина флуида у млинском постројењу иначе зависи од његовог запреминског протока  $\dot{V}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] и слободног пресека за његово струјање  $F$  [ $\text{m}^2$ ]

$$w = \frac{\dot{V}}{F} \quad [\text{m/s}] \quad (4.12)$$

При повећању капацитета млевења повећава се количина угља за млевење и свакако запремински проток испареле влаге али и количина сушећег флуида, како би температура у млину и аеросмеше остала непромењена. То условљава повећање брзине струјања флуида у млинском постројењу и повећање његовог укупног пада притиска.

### 4.3. ПРОРАЧУН СНАГЕ ПОГОНСКОГ ЕЛЕКТРОМОТОРА

Снага погонског електромотора користи се за добијање енергије која се троши за обављање више процеса у вентилаторском млину: уситњавање угља и његово трење о ударне плоче, убрзавање угљеног праха и увођење врелих рециркулисаних гасова у вентилаторски млин, као и транспорт аеросмеше до горионика.

Снага погонског електромотора потребна за обављање процеса у млину може се одредити као збир снага утрошених за поједине процесе:

$$N = N_m + N_t + N_u + N_v \quad [\text{kW}] \quad (4.13)$$

где су:

$N_m$  [kW] - снага потребна за млевење угља,

$N_t$  [kW] - снага потребна за савлађивање отпора трења,

$N_u$  [kW] - снага потребна за убрзавање млива и

$N_v$  [kW] - снага потребна за остваривање вентилационог дејства млина.

Снага потребна за млевење угља, савладавање отпора трења у млину и убрзавање млива зависи од максималног капацитета млевења а снага потребна за остваривање вентилационог дејства од запреминског протока радног флуида кроз млин при максималном капацитету млевења. Може се, за инжењерске прорачуне, усвојити да је поменути запремински проток сразмеран капацитету млевења.

То значи да ће потребна снага погонског електромотора зависити практично линеарно од максималног капацитета млевења

$$N = f(B_{max}) \quad [\text{kW}] \quad (4.14)$$

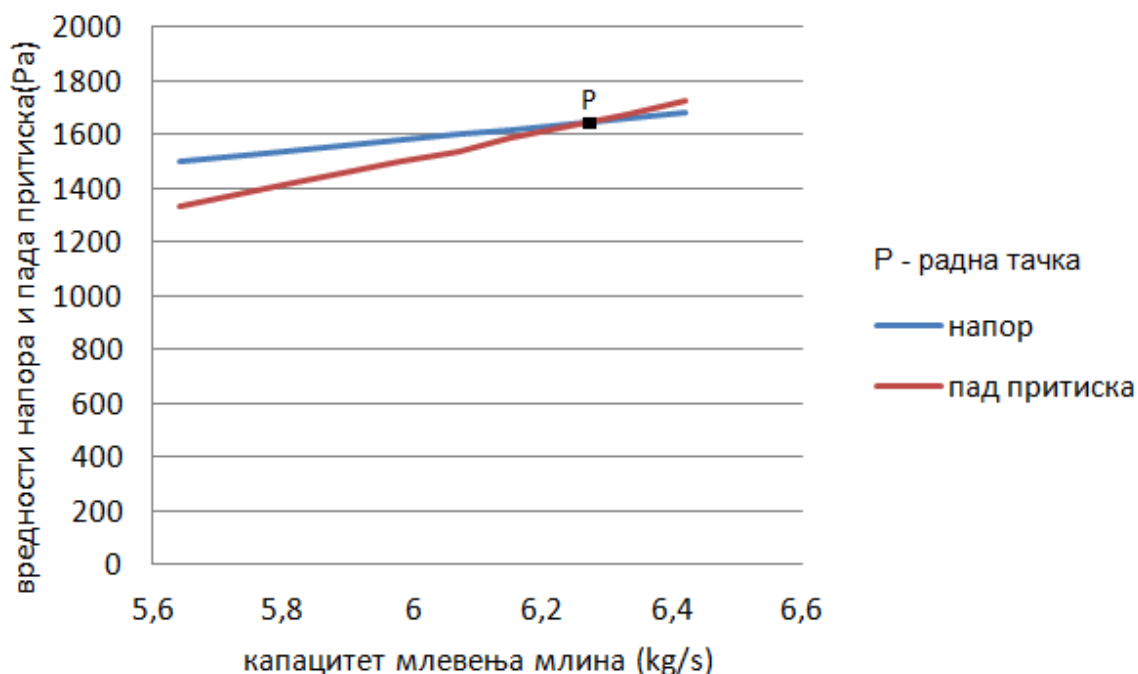
За вентилаторски млин тип N 80.75, капацитета млевења 5,64 kg/s (21,3 t/h) дрмљанског лигнита, потребна снага за процесе припреме угљеног праха и његовог транспорта до горионика и ложишта, износи 484,4 kW. Уколико се капацитет млевења овог млина повећа за око 15 % потребна снага за млевење биће око 572 kW. Због опасности од прегревања и пробијања намотаја статора и ротора, свако повећање капацитета млевења условљавало би замену постојећег електромотора електромотором веће снаге.

#### 4.4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ПРОРАЧУНА

За потребе ове студије израђен је софтвер у програму *Visual Basic 2008* за прорачун млинског постројења помоћу кога се може симулирати сваки радни режим млинског постројења. При прорачуну млинског постројења коришћени су подаци из термичког прорачуна парног котла БКЗ 200-100Ф ( температура димних гасова на његовом крају која истовремено представља и температуру врелих гасова који се рециркулишу и доводе у млин). На основу претпостављених карактеристика аеросмеше врше се прорачуни млина ( прорачун капацитета млевења, прорачун млинског сушења, прорачун пада при-тиска у млинском тракту, прорачун напора млина ), па се одређује степен рецикулације.

Млинско постројење представља аеродинамички систем у коме напор који ствара млин мора да савлада отпоре у тракту, па се једнакошћу напора и пада притиска дефинише капацитет са којим млин може да ради тј. радна тачка млинског постројења.

Напор представља карактеристику млина, а пад притиска карактеристику спроводних канала. Напори млина и падови притиска у зависности од капацитета млина за све прорачунске случајеве приказани су на дијаграму 1. Као што се са слика види, постоји резерва пада притиска, што значи да би, под истим осталим условима, клапне сепаратора могле да се још притворе чиме би се побољшала финоћа млевења.



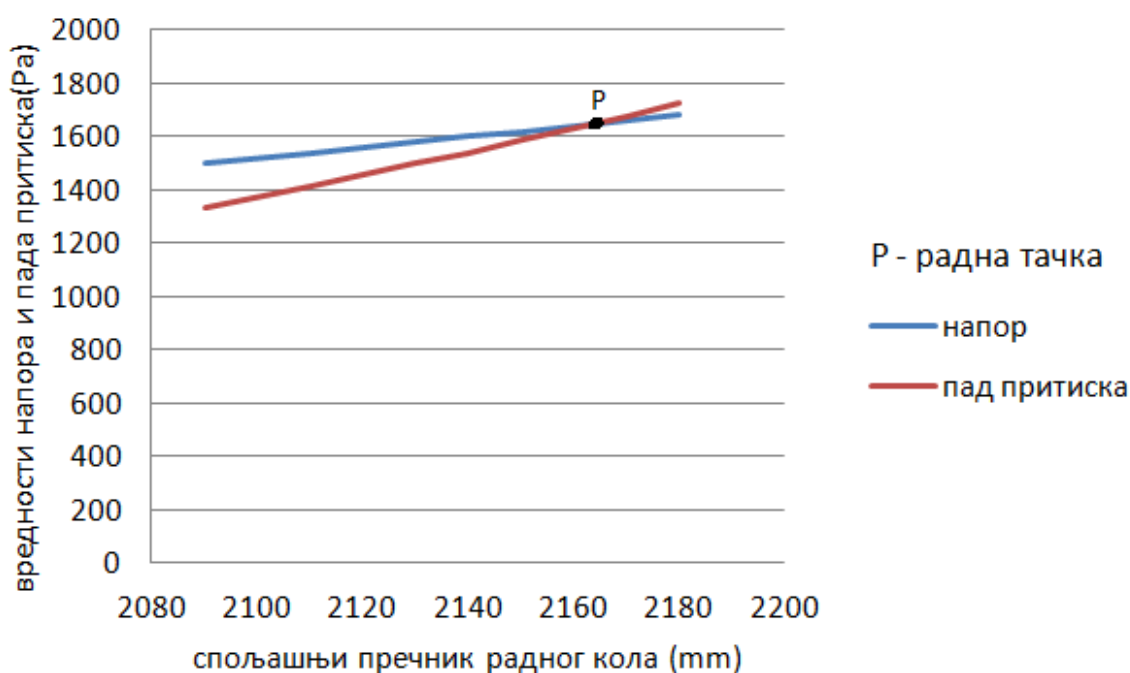
Дијаграм 1. Напор и притисак у зависности од капацитета млевења

#### 4.4.1 ПОВЕЋАЊЕ КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА ВЕНТИЛАТОРСКОГ МЛИНА

При номиналној продукцији парног котла (100 %), раду са гарантним угљем и пројектним параметрима млинског постројења (за непромењену геометрију млина и вредност остатка на сити од 90  $\mu\text{m}$ ,  $R_{90} = 55\%$  - одељак 2.1) максимални капацитет млевења износи 5,64 kg/s, односно 20,3 t/h, а напор млина 1498 Pa. Вредност коефицијента влажности угља у том случају износи  $k_3 = 1,014$  а вредност коефицијента влажности угљеног праха  $k_4 = 1,232$ . Повећање би се могло остварити, како је то већ предложено у поглављу 4, повећањем спољашњег пречника ударног кола.

##### 4.4.1.1 Повећање капацитета млина повећањем спољашњег пречника

Повећањем спољашњег пречника ударног кола са 2090 мм на 2140 мм уз исту продукцију котла, рад са гарантним угљем и пројектним параметрима млинског постројења (вредност остатка на сити од 90  $\mu\text{m}$ ,  $R_{90} = 55\%$  - одељак 2.1) максимални капацитет млевења би се повећао на 6,07 kg/s, за 7,6 %, а напор млина на 1599,32 Pa, за 6,7 %. Вредност коефицијента влажности угља била би у том случају  $k_3 = 1,015$  а вредност коефицијента влажности угљеног праха  $k_4 = 1,23$ . На дијаграму 2 приказане су вредности напора и пада притиска у зависности од пречника радног кола.



#### 4.5 ПОВЕЋАЊЕ КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА У РЕАЛНИМ УСЛОВИМА

У реалним условима, приликом сагоревања мање квалитетних угљева, доње топлотне моћи од 6600 kJ/kg до 7600 kJ/kg, за нереконструисани млин спољашњег пречника ударног кола 2090 mm и стварног максималног излазног броја обртаја 750 o/min усвојене су следеће карактеристике његовог рада при температури аеросмеше од 210 °C: остатак на сити сировог угља од 5000  $\mu$ m износи 29 % а коефицијент мељивости одређен по методи Хардгроуе  $K_H = 40$ . Остатак на сити од 90  $\mu$ m усвојен је 55 % а садржај воде у угљеном праху 8,24 %. Максимални капацитет млевења при номиналној продукцији котла, за наведене услове, приказан је у табели 4.9.

**Максимални капацитет млевења и напор млина у реалним условима рада млинског постројења**

Табела 4.9

| Ред.<br>Бр. | Назив                               | Ознака    | Јед. мере | Спољашњи пречник ударног кола<br>$D_1$ (mm) |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|             |                                     |           |           | 2090                                        | 2110 | 2130 | 2150 | 2170 | 2190 |
| 1           | 2                                   | 3         | 4         | 5                                           | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| 1.          | Остатак на сити од 90 $\mu\text{m}$ | $R_{90}$  | %         | 55                                          | 55   | 55   | 55   | 55   | 55   |
| 2.          | Коефицијент влажности угља          | $k_3$     | -         | 1,01                                        | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,05 | 1,06 |
| 3.          | Коефицијент влажности угљеног праха | $k_4$     | -         | 1,23                                        | 1,23 | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,26 |
| 4.          | Капацитет млевења                   | $B_{max}$ | kg/s      | 5,64                                        | 5,81 | 5,98 | 6,16 | 6,33 | 6,51 |
| 5.          | Број млинова у раду                 | $m$       | -         | 3,59                                        | 3,49 | 3,39 | 3,29 | 3,20 | 3,11 |
| 6.          | Број млинова у раду                 | $m$       | -         | 4                                           | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 7.          | Напор млина                         | $h$       | Pa        | 1498                                        | 1539 | 1579 | 1619 | 1660 | 1700 |

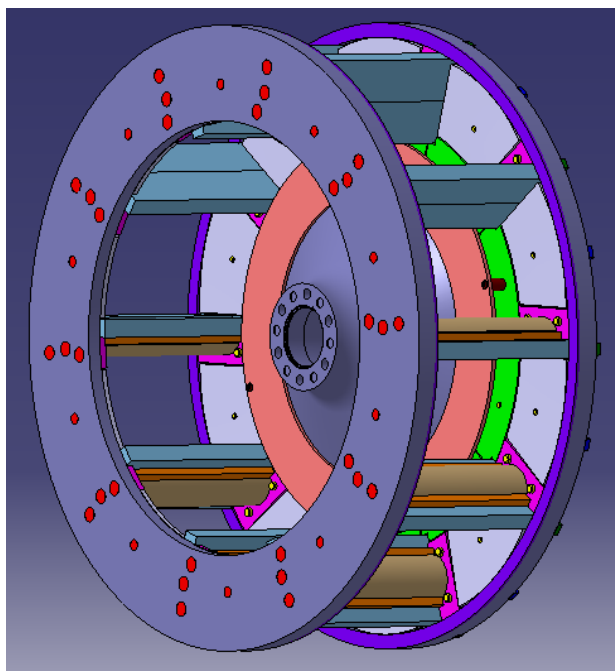
Реконструкцијом млина, повећањем спољашњег пречника ударног кола на 2170 mm, максимални капацитет млина при номиналној продукцији биће повећан за око 12,2 %, што одговара радној тачки млина када су напор и притисак приближно једнаки. Из табеле видимо да је немогуће са оптималним повећањем капацитета повећањем пречника радног кола да котао ради са три млина. Свакако да при номиналној продукцији котла млинови са повећаним пречником кола раде растеређеније.

## 5. ПРЕДЛОГ МЕРА ЗА ПОВЕЋАЊЕ КАПАЦИТЕТА МЛЕВЕЊА

Повећање капацитета млевења вентилаторског млина, тип N 80.75, може најједноставније да се оствари на два начина: повећањем спољашњег пречника ударног кола или повећањем његовог броја обртаја.

### 5.1. ПОВЕЋАЊЕ СПОЉАШЊЕГ ПРЕЧНИКА УДАРНОГ КОЛА

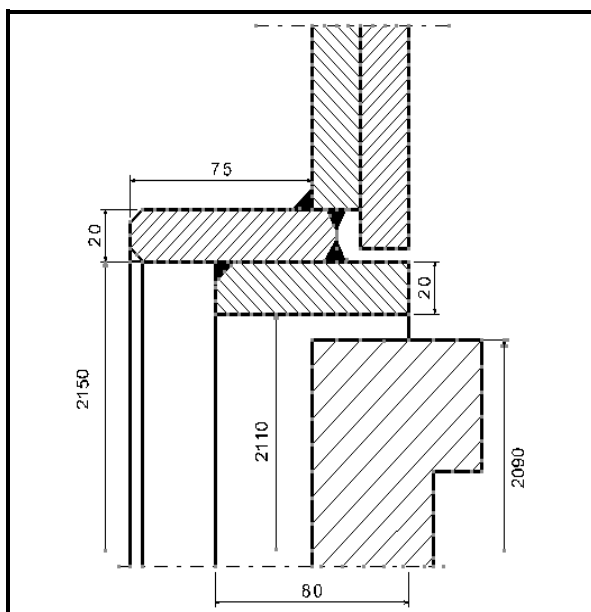
Повећање спољашњег пречника ударног кола вентилаторског млина (слика 5.1) захтева и одређене реконструкције: отвора на његовом кућишту и "нише" за смештај основног диска кола.



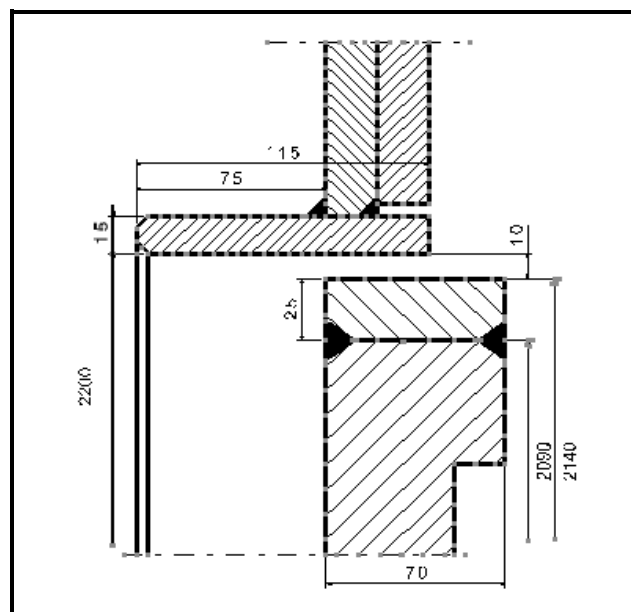
Слика 5.1. 3Д приказ ударног кола N 80.75

Реконструкција постојећег отвора кућишта није компликована и омогућава повећање пречника кола и до 2140 mm уклањањем два обвојна панцира укупне дебљине 40 mm, и један и други дебљине 20 mm (сл. 5.2). Проблематично је, код оволиког повећања спољашњег пречника кола, што обвојни панцир отвора кућишта остаје у дебљини од 15 mm (сл. 5.3).

Веће повећање пречника ударног кола за више од 50 mm захтева нешто компликованију реконструкцију отвора кућишта млина.



Слика 5.2. Постојећи отвор на кућишту за пролаз ударног кола од 2090 mm



Слика 5.3. Предлог реконструкције отвора на кућишту за пролаз реконструисаног кола

Оптимално је да се отвор на кућишту млина, за пролаз реконструисаног ударног кола, повећа за 50 mm, са пречника 2090 mm (сл. 5.2) на пречник 2140 mm (сл. 5.3) уклањањем два обвојна панцира укупне дебљине 40 mm и ширине 80 mm и постављањем новог панцира дебљине 15 mm и ширине 115 mm. Због абразивног деловања овај прстен треба изградити од материјала који има добра абразивна својста (легирани мангански челици – нпр. Хардокс, ваутид материјали, кастолин материјали). Дебљина од укупно 15 mm новог обвојног панцира повећаног отвора на кућишту млина довољна је за његово интензивно хабање услед прострујавања између два ремонта.

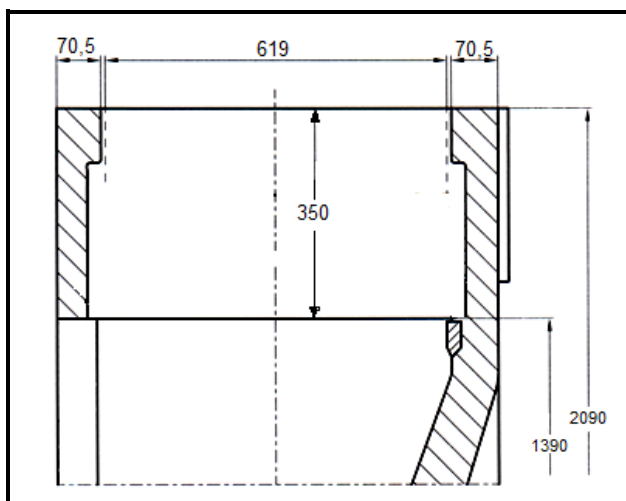
Спољашњи пречник реконструисаног ударног кола, у том случају, износио би 2140 mm (табела 4.1). Најмање процењено растојање за безбедан пролаз ударног кола кроз отвор на кућишту, приликом његове монтаже-демонтаже, остаје исти,  $2 \times 10 = 20$  mm (сл. 5.3).

Повећање спољашњег пречника ударног кола би обухватило: повећање спољашњег пречника покривајућег прстена, повећање спољашњег пречника основног диска и проширивање спољашње ударне плоче. Подразумева се, да при поменутом повећању ударног кола треба извршити прилагођавање постојећих панцирних плоча и припадајућих ножева, како на покривајућем прстену тако и на основном диску.

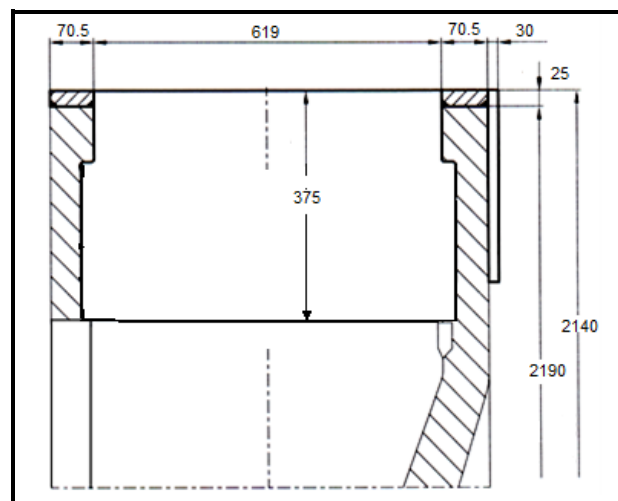
### 5.1.1 ПОВЕЋАЊЕ СПОЉАШЊЕГ ПРЕЧНИКА ПОКРИВАЈУЋЕГ ПРСТЕНА И ОСНОВНОГ ДИСКА

Постојећи спољашњи пречници покривајућег прстена и основног диска (главчине) ударног кола, оба ширине 70 mm, укупно износе 2090 mm (сл. 5.3). Светла ширина ударног кола је 600 mm а унутрашњи пречник покривајућег прстена 1390 mm.

Повећање вредности спољашњег пречника ударног кола на 2140 mm подразумева постављање, по обиму, два прстена дебљине 25 mm и ширине 70 mm (сл. 5.4).



Слика 5.4. Геометрија постојећег ударног кола вентилаторског млина N 80.75



Слика 5.5. Предложена геометрија реконструисаног ударног кола N 80.75

### 5.1.2 ПОВЕЋАЊЕ ШИРИНЕ СПОЉАШЊЕ УДАРНЕ ПЛОЧЕ

Проширивањем постојеће ударне плоче, са вредности 350 mm (сл. 5.3) на нову вредност од 375 mm, за 25 mm, (сл. 5.4) повећао би се спољашњи пречник ударног кола са 2090 mm на коначних 2140 mm.

Овако спроведена реконструкција ударног кола повећава капацитет млевења вентилаторског млина  $B_{max}$  за 7,35 % ,како је то већ приказано у одељку 4.1.1.1 (табела 4.1). Повећани спољашњи пречник постојећег ударног кола са  $D_1 = 2090$  mm на  $D_{11} = 2140$  mm, уз непромењене друге величине из обрасца 4.1, омогућава повећање максималног капацитета млевења за (4.16)

$$\Delta B_{max} = 100 \cdot \left( \frac{D_{11}}{D_1} \right)^3 - 100 = 100 \cdot \left( \frac{2140}{2090} \right)^3 - 100 = 7,35 \%$$

Максималан капацитет млевења вентилаторског млина N 80.75 у том случају износио би 6,07 kg/s (21,85 t/h) што представља повећање његовог капацитета за око 7,35 %.

## 5.2. ПОВЕЋАЊЕ БРОЈА ОБРТАЈА УДАРНОГ КОЛА

Повећањем стварног броја обртаја ударног кола вентилаторског млина N 80.75 од 30 о/мин, са 750 о/мин на 780 о/мин, повећао би се капацитет млевења овог млина за не-што више од 11 % (једначина 4.1ф, одељак 4.1.1.3).

Приликом повећања за 30 о/мин, број обртаја ударног кола износио би 780 о/мин. Тиме би се остварило повећање капацитета млевења за 11,2 % (табела 4.2, ред 4), односно, капацитет млевења млина од 22,57 t/h. Потребна снага за млевење наведеног масеног протока дрмљанског лигнита износила би 564,67 kW, што премашује максималну снагу постојећег млинског електромотора од 450 kW при 750 о/мин (одељак 2.1).

Повећањем броја обртаја вратила млина повећале би се почетне брзине судара плоча ударног кола са угљеном масом, односно, повећала би се учесталост ивичних судара. Како је хабање процес који зависи од трећег степена брзине судара честица угља са металном површином плоче свакако да ће се тиме смањити расположивост рада ударног кола, смањити број радних сати, због веће похабаности [1].

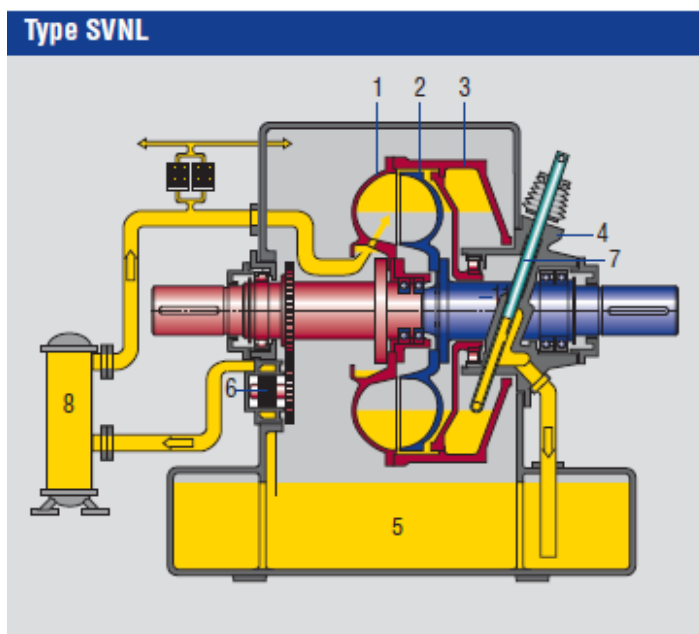
## 6. АНАЛИЗА МОГУЋНОСТИ И ЕНЕРГЕТСКО-ЕКОНОМСКИХ ПРЕДНОСТИ ПРИМЕНЕ ПОГОНА МЛИНА СА УПРАВЉИВИМ БРОЈЕМ ОБРТАЈА РАДНОГ КОЛА КОЈЕ БИ СЕ МОГЛО ОСТВАРИТИ УГРАДЊОМ РЕГУЛАЦИОНЕ ТУРБОСПОЈНИЦЕ

Рад хидрауличке спојнице је рад којим се врши претварања механичке енергије мотора у хидродинамички рад струјања радног флуида у лопатицама пумпног кола, да би се тај рад поново претворио у механички рад на турбинском вратилу кроз лопатице турбинског кола. Пренос снаге посредством радног флуида представља један савремен вид, који налази све ширу примену код стационарних и мобилних погона. Регулациона турбоспојница преноси снагу посредством флуида без чврсте механичке везе између погонске и радне машине са могућношћу континуалног регулисања броја обртаја у ширем опсегу, а да при томе не долази до непотребних губитака енергије.

Са појединачном уградњом турбоспојнице извршне машине добијају знатно повећање перформанси. Она омогућује врло фину регулацију броја обртаја што се одражава на веома стабилну извршну функцију технолошког процеса. Турбоспојница потпуно растеређује погонски мотор при упуштању погона у рад или стартовању машине и тиме штити електромотор од преоптерећења. Знатно штеди електричну енергију у виду вршне струје код самог упуштања

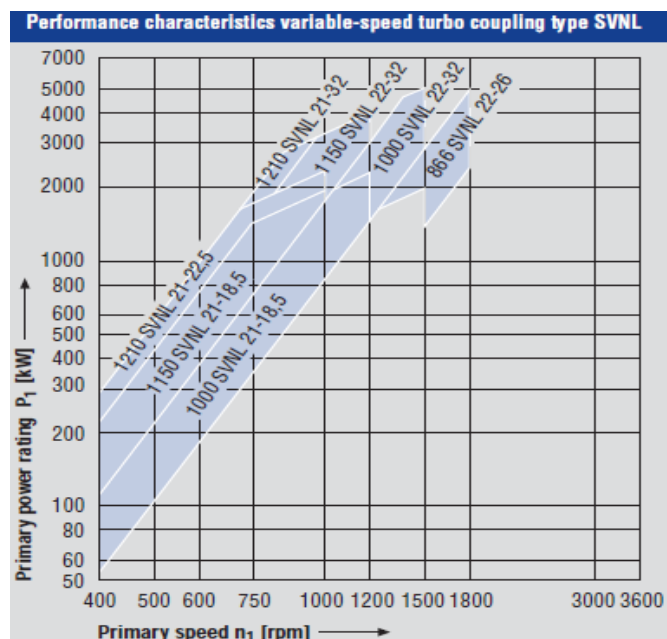
електромотора. Поред тога спојница спречава хаварије и ломове услед преоптерећења машине, као код наглог заглављивања радног комада или заривавања постројења или из било ког другог разлога.

Принцип рада Регулационе Турбоспојнице (РТС) (слика 6.1) у основи чине два радна кола (пумпно и турбинско) које претварају енергију мотора у кинетичку и потенцијалну енергију уљне струје и тиме преноси обртни момент на излазно вратило односно радну машину. Промена броја обртаја излазног вратила врши се променом количине уља у радни простор РТС спојнице. Код РТС спојнице може се спољним деловањем помоћу управљачких органа мењати количина уља која циркулише у радном простору спојнице што омогућава регулацију броја обртаја излазног вратила РТС до жељене вредности.



Слика 6.1. Поједностављен уздужни пресек; 1[10]. пумпно коло; 2.турбинско коло; 3. кућиште; 4. кућиште црпне цеви; 5. картер уља; 6. уље циркулационе пумпе; 7. носач црпне цеви; 8. хладњак радног уља

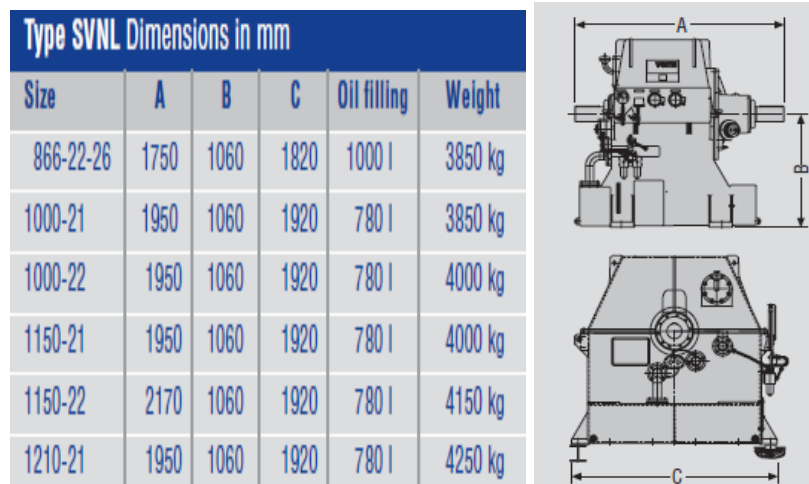
Избор хидродинамичке регулационе турбоспојнице - РТС врши се према максималној снази погонског мотора у функцији траженог броја обртаја на излазу из спојнице. На слици 6.2 приказан је извод из каталога фирме VOITH – Немачка на којој је приказана фамилија регулационих спојница типа SVNЛ са кога се може изабрати РТС.



Слика 6.2. Функционалне карактеристике регулационе турбоспојнице [10]

За млин N 80.75 чија је снага електромотора  $P = 450 \text{ kW}$ , а број обртаја  $n = 750 \text{ o/min}$  одговарају карактеристике спојнице 1000 SVNЛ 21-18,5 произвођача VOITH - Немачка.

На слици 6.3 приказане су димензије спојница типа SVNЛ.



Слика 5.3. Димензије спојница типа SVNЛ [10]

Уградњом РТС омогућио би се „мекши“ старт електромотора млина, тј. струје залетања електромотора би се драстично смањиле, а електромотор би могао да задовољи потребну снагу за млевење угља млина са повећаним капацитетом. Пошто се код регулационих турбоспојница може мењати број обртаја млинског ударног кола омогућило би се софистицираније управљање

процесом (смањење и повећање капацитета млевења млина). Опсег регулације за називни број обртаја млина  $n = 750$  o/min би се кретао од 700-800 o/min, а опсег капацитета млевења од  $B_m = 5,05 - 6,59$  kg/s.

Економски ефекат уградње регулационе турбоспојнице на годишњем нивоу за котао БКЗ 100-200ф са четири млина у раду се може приказати следећим изразом

$$(B_{m800} - B_{m750}) \cdot m \cdot H_d \cdot \eta_k \cdot i \cdot t \cdot P_r$$

$$(23.724 - 20.300) \text{ kg/h} \cdot 4 \cdot 2,11 \text{ kW/kg} \cdot 0,85 \cdot 0,32 \cdot 7500 \cdot 0,3 = 17.685,9 \text{ MWh / god}$$

Ако је цена MWh електричне енергије на прагу термоелектране 25 €/ MWh следи да је добит:  $17685,9 \text{ MWh / god} \cdot \text{€ / MWh} = 442.147 \text{ € / god}$

где су:

$B_{m800}$  [t/h] - капацитет млина при  $n = 800$  o/min ,

$B_{m750}$  [t/h] - капацитет млина при  $n = 750$  o/min,

$m$  [-] - број млинова котла,

$H_d$  [kW] - доња топлотна моћ горива ( $7600 \text{ kJ/kg} = 2,11 \text{ kW/kg}$ ),

$\eta_k$  [-] - степен искоришћења котла,

$i$  [-] - степен конверзије топлотне енергије у електричну и

$P_r$  [-] - приходи по произведеном MWh електричне енергије (око 30%)

Цена спојнице SVNЛ 1000 21-18,5 је око 200.000 €, а период повратка инвестиције је око две године.

$$\text{Трошкови / Добит} = 800.000 \text{ € / god} / 442.147 \text{ €} = 1,81 \approx 2 \text{ године}$$

Повећање капацитета млевења и економски ефекти примене РТС ограничени су могућностима осталих термоенергетских уређаја , тако да је неопходно комплетно сагледавање термоенергетског система са потребним прорачунима који нису обухваћени овим радом.

## 7. ФИНАНСИЈСКА АНАЛИЗА ПРЕДЛОЖЕНИХ РЕШЕЊА

За предложен решење у овом раду потребно је одредити инвестициона средства за реконструкцију, дефинисати трошкове и приходе у процесу изградње и експлоатације система и одредити вредности економских показатеља исплативости пројекта.

Финансијска анализа представља испитивање и оцену финансијског резултата примене предложених решења и најбитнији је фактор у процесу доношења одлуке менаџмента.

### - повећање пречника ударног кола -

Финансијска анализа је рађена на основу максималног оптерећења постројења од 100%. Уколико систем ради са смањеним оптерећењем директно се утиче на период отплате.

Трошкови:

- Реконструкција ударног кола млина :  $30.000 \text{ €} \cdot 4 = 120.000 \text{ €}$
- Реконструкција кућишта млина  $20.000 \text{ €} \cdot 4 = 80.000 \text{ €}$

Укупни трошкови 200.000 €

Добит:

$$(B_{m1} - B_m) \cdot m \cdot H_d \cdot \eta_k \cdot i \cdot t \cdot Pr$$

$$(21852 - 20300) \text{ kg/h} \cdot 4 \cdot 2,11 \text{ kW/kg} \cdot 0,85 \cdot 0,32 \cdot 7500 \cdot 0,3 = 8016514 \text{ kWh} = 8016,514 \text{ MWh / god}$$

Ако је цена MWh електричне енергије на прагу термоелектране 25 €/MWh следи да је добит  $8016,514 \text{ MWh} \cdot 25 \text{ €/MWh} = 200.412 \text{ €/god}$

На основу предходно наведеног добијамо да је период отплате:

$$\text{Трошкови} / \text{Добит} = 200.412 \text{ €/god} / 200.000 \text{ €} \approx 1 \text{ godina}$$

где су:

- $B_{m1}$  [t/h] - капацитет млина са пречником ударног кола  $D_1 = 2140$  mm ,
- $B_m$  [t/h] - капацитет млина са пречником ударног кола  $D = 2090$  mm ,
- $m$  [-] - број млинова котла,
- $H_d$  [kW] - доња топлотна моћ горива ( $7600$  kJ/kg =  $2,11$  kW/kg),
- $\eta_k$  [-] - степен искоришћења котла,
- $i$  [-] - степен конверзије топлотне енергије у електричну и
- $P_r$  [-] - приходи по произведеном MWh електричне енергије (око 30%)

## ЗАКЉУЧАК

Анализом резултата прорачуна који су спроведени у циљу истраживања могућности за повећање капацитета млевења млина N 80.75 може се закључити:

1. Капацитет млевења угља млина зависи од много фактора на које се може утицати (пречник радног кола, број обртаја ударног кола, ширина ударне плоче), и факторе који су одређени врстом горива.

2. Аеродинамичким прорачуном постојећег млинског постројења је показано да је пад притиска мањи од напора млина тако да постоји могућност повећања капацитета млевења спровођењем предложених реконструкција. Млинско постројење у тренутним условима ради са капацитетом од  $V_{\max} = 5,64 \text{ kg/s}$ , и може се повећавати све до  $V_{\max} = 6,33 \text{ kg/s}$  што одговара радној тачки млина када су напор и притисак приближно једнаки. Повећање капацитета млевења је око 12,2 %.

3. Због непостојања спојнице која би омогућила „мекши“ старт електромотора тј. смањила јачину струје при залетању ударног кола, постојећи електромотор не дозвољава могућност повећања капацитета млевења. Решење је уградња електромотора веће снаге, уградња нерегулационе турбоспојнице или регулационе турбоспојнице која би осим „мекшег“ старта омогућавала и промену броја обртаја ударног кола, а самим тим и регулисање капацитета млевења.

4. Повећање пречника ударног кола је ограничено конструкцијом кућишта млина и растојањем од пода котларнице до спољашњег обвојног панцира на устима кућишта млина. Пречник ударног кола је могуће повећати са  $D = 2090 \text{ mm}$  на  $D_1 = 2140 \text{ mm}$ , што би повећало капацитет млевења млина за 7,6 %. Уложена финансијска средства за овај обим реконструкције ударног кола и кућишта млина би се отплатила за око једну годину експлоатације.

5. Повећањем броја обртаја ударног кола уградњом регулационе турбоспојнице могуће је задржати постојећи електромотор, а опсег регулације броја обртаја је од 720 o/min до 800 o/min. Капацитет млевења би се кретао од  $V_{\max} = 5,34 \text{ kg/s}$  до  $V_{\max} = 6,59 \text{ kg/s}$ . Уложена финансијска средства би се вратила за око 2 године експлоатације.

Овај рад омогућава боље сагледавање могућности за повећање капацитета млевења млинског постројења, као једног од најважнијих ограничавајућих фактора за повећање снаге термоенергетске јединице у Костолцу и може послужити као основа за даље анализе које би резултирале практичном примени.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Прорачун постројења за припрему угљеног праха, Т.Живановић,Љ.Бркић,Д.Туцаковић, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ- Београд,2005.год.
- [2] Реконструкција канала аеросмеше у циљу повећања поузданости и расположивости рада млинског постројења блока А1,Т.Живановић,Д.Туцаковић,Љ.Бркић, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ- Београд,2008.год.
- [3] Избор млинског постројења за блок снаге 100 MW у ТЕ Костолац А,Т.Живановић,Д.Туцаковић,Љ.Бркић, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ- Београд, 2004.год.
- [4] Пројектна документација парног котла БКЗ 200-100 СССР, 1962.год.
- [5] Прорачун вентилаторских млинова , М.Гулич,Љ.Бркић,П. Перуновић, ЗЕП - Београд, 1982.год.
- [6] Термотехничар 1, М.Богнер, СМЕИТС –БЕОГРАД, 2004. год.
- [7] Приручник за термодинамику, Ђ.Козић, Б.Василијевић, В.Бекавац, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ Београд, 1990.год.
- [8] Анализа рада вентилаторског млина N 270.45 са предлогом мера за повећањекапацитета млевења за парни котао блока 6 у ТЕ „ Никола Тесла“ А, Т.Живановић,Д.Туцаковић, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ Београд, 2010.год.
- [9] Термички прорачун парних котлова, Љ.Бркић,Т.Живановић,Д.Туцаковић, МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ Београд, 2010.год.
- [10] Каталог VOITH, Variable-Speed Turbo Couplings

## ПРИЛОГ

## Прорачун капацитета млевења

Табела П-1

| Редни бр. | Назив                                         | Ознака     | Јед. мере       | Гарантни угаљ |
|-----------|-----------------------------------------------|------------|-----------------|---------------|
|           |                                               |            |                 | $\bar{D}$     |
|           |                                               |            |                 | 1,0           |
| 1         | 2                                             | 3          | 4               | 5             |
| 1.        | Доња топлотна моћ горива                      | $H_d$      | kJ/kg           | 7600          |
| 2.        | Спољашњи пречник ударног кола                 | $D_1$      | m               | 2,09          |
| 3.        | Светла ширина ударних плоча                   | $b$        | m               | 0,58          |
| 4.        | Број ударних плоча                            | $z$        | -               | 10            |
| 5.        | број обртеја ударног кола                     | $n_1$      | s <sup>-1</sup> | 12,33         |
| 6.        | Коефицијент мељивости по Хардгроуе-у          | $k_H$      | -               | 40            |
| 7.        | Садржај воде у угљу                           | $W^r$      | %               | 49,30         |
| 8.        | Садржај хидроскопске воде                     | $W_h$      | %               | 13,00         |
| 9.        | Температура аеросмеше                         | $t_2$      | °C              | 210           |
| 10.       | Температура сировог горива                    | $t_G$      | °C              | 30            |
| 11.       | Остатак на сити од 5000 $\mu\text{m}$         | $R_{5000}$ | %               | 29            |
| 12.       | Остатак на сити од 1000 $\mu\text{m}$         | $R_{1000}$ | %               | 2             |
| 13.       | Остатак на сити од 90 $\mu\text{m}$           | $R_{90}$   | %               | 55            |
| 14.       | Коефицијент структуре млина и процеса млевења | $k_1$      | -               | 5,0           |
| 15.       | Коефицијент похабаности ударних тела          | $k_2$      | -               | 0,95          |
| 16.       | Коефицијент влажности угља                    | $k_3$      | -               | 1,014         |
| 17.       | Коефицијент влажности угљеног праха           | $k_4$      | -               | 1,232         |
| 18.       | Константа унутрашње структуре млива           | $n$        | -               | 0,78          |
| 19.       | Степен ефикасности сушења                     | $\eta$     | -               | 0,856         |
| 20.       | Садржај воде у угљеном праху                  | $W^p$      | %               | 8,24          |
| 21.       | Садржај воде у угљу испред млина              | $W'_{ml}$  | %               | 37,7          |
| 22.       | експонент                                     | $m$        | -               | 0,114         |
| 23.       | Максимални капацитет млевења                  | $B_{max}$  | kg/s            | 5,64          |

## Прорачун млинског сушења

Табела II-2

| Редни бр. | Назив                                                                                   | Ознака            | Јед. мере | Гарантни угаљ |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
|           |                                                                                         |                   |           | $\bar{D}$     |
|           |                                                                                         |                   |           | 1,1           |
| 1         | 2                                                                                       | 3                 | 4         | 5             |
| 1.        | Donja toplotna моћ goriva                                                               | $H_d$             | kJ/kg     | 7600          |
| 2.        | Maksimalni kapacitet mlevenja                                                           | $B_{max}$         | kg/s      | 5,64          |
| 3.        | Sadržaj vlage u radnom uglju                                                            | $W^r$             | %         | 38,50         |
| 4.        | Sadržaj vlage u ugljenom prahu                                                          | $W^p$             | %         | 8,24          |
| 5.        | Količina vlage koja ispari iz jednog kilograma sirovog uglja                            | $\Delta W$        | kg/kg     | 0,329         |
| 6.        | Temperatura aerosmeše na izlazu iz mlina                                                | $t_2$             | °C        | 210           |
| 7.        | Temperatura sirovog uglja                                                               | $t_G$             | kJ/kg     | 30            |
| 8.        | Količina toplote koja se troši za isparavanje vlage iz uglja                            | $Q_1$             | kW        | 5152,97       |
| 9.        | Srednja specifična toplota preostale vlage                                              | $c_{pH_2O}$       | kJ/kgK    | 4,18          |
| 10.       | Količina toplote koja se troši za zagrevanje vode preostale u uglju                     | $Q_2$             | kW        | 220,86        |
| 11.       | Srednja specifična toplota suve mase uglja                                              | $c_{pG}$          | kJ/kgK    | 1,141         |
| 12.       | Količina toplote koja se troši za zagrevanje suve mase uglja                            | $Q_3$             | kW        | 713,01        |
| 13.       | Priraštaj koeficijenta viška vazduha zbog prisisa štetnog vazduha u mlinско postrojenje | $\Delta \alpha_m$ | -         | 0,25          |
| 14.       | Odnos količine sagorelog i unetog uglja                                                 | $\gamma$          | -         | 0,964         |
| 15.       | Entalpija teorijske količine vazduha na izlazu iz mlina                                 | $I_{hv2}^o$       | kJ/kg     | 615,3         |
| 16.       | Entalpija teorijske količine hladnog vazduha                                            | $I_{hv}^o$        | kJ/kg     | 87,3          |
| 17.       | Količina toplote potrebna za zagrevanje štetnog vazduha                                 | $Q_4$             | kW        | 715,33        |

Наставак табеле II-2

| 1   | 2                                                             | 3              | 4                  | 5       |
|-----|---------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|---------|
| 18. | Gubitak usled spoljašnjeg hlađenja mlinskog postrojenja       | $q_{5m}$       | %                  | 7       |
| 19. | Količina toplote koja se gubi u okolinu                       | $Q_5$          | kW                 | 511,99  |
| 20. | Ukupna potrošnja toplote u mlinu                              | $Q_\Sigma$     | kW                 | 7314,17 |
| 21. | Odnos količine primarnog vazduha i teorijske količine vazduha | $\Delta\beta$  | -                  | 0,232   |
| 22. | Temperatura zagrejanog vazduha                                | $t''_{zv}$     | °C                 | 150     |
| 23. | Teorijska entalpija zagrejanog vazduha                        | $(I^o_{zv})''$ | kJ/kg              | 438,1   |
| 24. | Teorijska entalpija zagrejanog vazduha na izlazu iz mlina     | $I^o_{zv2}$    | kJ/kg              | 615,3   |
| 25. | Količina toplote dovedena zagrejanim vazduhom                 | $Q_I$          | kW                 | -232,06 |
| 26. | Količina toplote dovedena prisis. (štetnim) vazduhom          | $Q_{\dot{sv}}$ | kW                 | 123,20  |
| 27. | Količina toplote koja se oslobodi trenjem po 1 kg uglja       | $q_{tr}$       | kJ/kg              | 20      |
| 28. | Količina toplote koja se oslobodi trenjem u mlinu             | $Q_{tr}$       | kW                 | 112,89  |
| 29. | Količina toplote dovedena vrelim recirkulisanim gasovima      | $Q_{rc}$       | kW                 | 7310,13 |
| 30. | Koeficijent viška vazduha na kraju ložišta                    | $\alpha_l$     | -                  | 1,2     |
| 31. | Temperatura vrelih recirkulisanih gasova                      | $t_{rc}$       | °C                 | 953     |
| 32. | Entalpija vrelih recirkulisanih gasova                        | $I_{rc}$       | kJ/kg              | 5215    |
| 33. | Entalpija vrelih recirkulis. gasova na izlazu iz mlina        | $I_2$          | kJ/kg              | 1039    |
| 34. | Zapremina vrelih recirkulisanih gasova                        | $V_{rc}$       | m <sup>3</sup> /kg | 3,34    |
| 35. | Stepen recirkulacije vrelih gasova pri $B_{max}$              | $r_{1max}$     | -                  | 0,326   |
| 36. | Protok vrelih recirkulisanih gasova                           | $\dot{V}_{rc}$ | m <sup>3</sup> /s  | 5,85    |
| 37. | Teorijska zapremina vazduha                                   | $V^o$          | m <sup>3</sup> /kg | 2,197   |
| 38. | Protok zagrejanog vazduha                                     | $\dot{V}_l$    | m <sup>3</sup> /s  | 2,87    |
| 39. | Protok vlage isparene iz uglja                                | $\dot{V}_w$    | m <sup>3</sup> /s  | 2,31    |

|     |                                                                                                 |                  |                   |         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|---------|
| 40. | Protok štetnog vazduha                                                                          | $\dot{V}_{sv}$   | m <sup>3</sup> /s | 3,10    |
| 41. | Protok transportnog fluida pri maks. kapacitetu mlina                                           | $\dot{V}_{max}$  | m <sup>3</sup> /s | 14,14   |
| 42. | Protok transportnog fluida pri praznom hodu mlina                                               | $\dot{V}_{ph}$   | m <sup>3</sup> /s | 15,95   |
| 43. | Protok hladnog vazduha pri praznom hodu mlina                                                   | $\dot{V}_{hv}$   | m <sup>3</sup> /s | -11,032 |
| 44. | Potrošnja uglja za kotao                                                                        | B                | kg/s              | 22,56   |
| 45. | Broj mlinova u radu                                                                             | m                | -                 | 4       |
| 46. | Radni kapacitet mlevenja                                                                        | B <sub>m</sub>   | kg/s              | 5,64    |
| 47. | Sadržaj CO <sub>2</sub> u suvom transportnom fluidu pri B <sub>m</sub>                          | CO <sub>2m</sub> | %                 | 7,147   |
| 48. | Minimalni kapacitet mlina na osnovu sadržaja CO <sub>2</sub> od 4 % u suvom transportnom fluidu | B <sub>min</sub> | kg/s              | 3,47    |

**Прорачун напора вентилаторског млина**

Табела П-3

| Редни бр. | Назив                                                  | Ознака           | Јед. мере         | Гарантни угљ |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------|
|           |                                                        |                  |                   | $\bar{D}$    |
|           |                                                        |                  |                   | 1,0          |
| 1         | 2                                                      | 3                | 4                 | 5            |
| 1.        | Доња топлотна моћ угља                                 | H <sub>d</sub>   | kJ/kg             | 7600         |
| 2.        | Максимални капацитет млевења                           | B <sub>max</sub> | kg/s              | 5,64         |
| 3.        | Пречник ударног кола млина                             | D <sub>1</sub>   | m                 | 2,09         |
| 4.        | Унутрашњи пречник ударног кола млина                   | D <sub>2</sub>   | m                 | 1,455        |
| 5.        | Светла ширина ударних плоча                            | b                | m                 | 0,58         |
| 6.        | Висина ударних плоча                                   | l                | m                 | 0,35         |
| 7.        | Број ударних плоча у колу                              | z                | -                 | 10           |
| 8.        | Број обртаја ударног кола                              | n <sub>1</sub>   | s <sup>-1</sup>   | 12,33        |
| 9.        | Проток транспортног флуида при радном капацитету млина | $\dot{V}_m$      | m <sup>3</sup> /s | 14,14        |

|     |                                                         |             |                   |         |
|-----|---------------------------------------------------------|-------------|-------------------|---------|
| 10. | Температура аеросмеше                                   | $t_2$       | °C                | 210     |
| 11. | Обимна брзина на спољашњем пречнику ударног кола        | $v_1$       | m/s               | 80,91   |
| 12. | Коефицијент (значица) протока                           | $\varphi$   | -                 | 0,081   |
| 13. | Бездимензионална ширина ударног кола                    | $\bar{b}$   | -                 | 0,278   |
| 14. | Коефицијент (значица) напора                            | $\psi$      | -                 | 0,403   |
| 15. | Коефицијент прозрачности ударног кола                   | $k_p$       | -                 | 0,192   |
| 16. | Густина транспортног флуида у ударном колу              | $\rho_{sr}$ | kg/m <sup>3</sup> | 0,597   |
| 17. | Садржај влаге у угљу на улазу у млинско коло            | $w'_m$      | %                 | 27,78   |
| 18. | Температура транспортног флуида на улазу у млинско коло | $t'_m$      | °C                | 402     |
| 19. | Концентрација угљеног праха у аеросмешу                 | $\mu$       | kg/kg             | 0,211   |
| 20. | Напор млина при максималном капацитету млевења          | $h_{max}$   | Pa                | 1498,83 |

**Прорачун пада притиска у млинском тракту**

Табела II-4

| Редни број               | Назив                        | Ознака    | Јед. мере         | Гарантни угаљ |
|--------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|---------------|
|                          |                              |           |                   | $\bar{b}$     |
|                          |                              |           |                   | 1,0           |
| 1                        | 2                            | 3         | 4                 | 5             |
| Доња топлотна моћ горива |                              | $H_d$     | kJ/kg             | 7600          |
| <b>ДЕОНИЦА А</b>         |                              |           |                   |               |
| A1.                      | Улаз у рециркулациони канал  |           |                   |               |
| 1.                       | Коефицијент отпора           | $\zeta$   | -                 | 0,5           |
| 2.                       | Попречни пресек              | $F$       | m <sup>2</sup>    | 2,896         |
| 3.                       | Проток рециркулисаних гасова | $\dot{V}$ | m <sup>3</sup> /s | 27,10         |

|                  |                                                 |              |                       |        |
|------------------|-------------------------------------------------|--------------|-----------------------|--------|
| 4.               | Температура рециркулисаних гасова               | $t$          | $^{\circ}\text{C}$    | 953    |
| 5.               | Брзина рециркулисаних гасова                    | $w$          | $\text{m/s}$          | 9,07   |
| 6.               | Густина рециркулисаних гасова                   | $\rho$       | $\text{kg/m}^3$       | 0,29   |
| 7.               | Пад притиска                                    | $\Delta p_1$ | Pa                    | 6,05   |
| <i>ДЕОНИЦА В</i> |                                                 |              |                       |        |
| B1.              | <i>Прикључак за примарни ваздух</i>             |              |                       |        |
| 1.               | Коефицијент отпора                              | $\zeta$      | -                     | 0,418  |
| 2.               | Попречни пресек                                 | $F$          | $\text{m}^2$          | 2,986  |
| 3.               | Проток рециркулисаних гасова                    | $\dot{V}$    | $\text{m}^3/\text{s}$ | 29,187 |
| 4.               | Температура рециркулисаних гасова               | $t$          | $^{\circ}\text{C}$    | 620,98 |
| 5.               | Брзина рециркулисаних гасова                    | $w$          | $\text{m/s}$          | 9,77   |
| 6.               | Густина рециркулисаних гасова                   | $\rho$       | $\text{kg/m}^3$       | 0,39   |
| 7.               | Пад притиска                                    | $\Delta p_2$ | Pa                    | 7,91   |
| B2.              | <i>КОНФУЗОР И ДВОСТРУКО КОЛЕНО (УКУПНО 45°)</i> |              |                       |        |
| 1.               | Коефицијент отпора                              | $\zeta$      | -                     | 0,25   |
| 2.               | Попречни пресек                                 | $F$          | $\text{m}^2$          | 2,324  |
| 3.               | Проток рециркулисаних гасова                    | $\dot{V}$    | $\text{m}^3/\text{s}$ | 29,187 |
| 4.               | Температура рециркулисаних гасова               | $t$          | $^{\circ}\text{C}$    | 620,98 |
| 5.               | Брзина рециркулисаних гасова                    | $w$          | $\text{m/s}$          | 12,55  |
| 6.               | Густина рециркулисаних гасова                   | $\rho$       | $\text{kg/m}^3$       | 0,39   |
| 7.               | Пад притиска                                    | $\Delta p_3$ | Pa                    | 7,81   |

Наставак табеле П-4

| 1   | 2                                            | 3            | 4                     | 5      |
|-----|----------------------------------------------|--------------|-----------------------|--------|
| В3. | <i>Нагнути део рециркулационог канала</i>    |              |                       |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                           | $\zeta$      | -                     | 0,033  |
| 2.  | Попречни пресек                              | $F$          | $\text{m}^2$          | 2,324  |
| 3.  | Проток рециркулисаних гасова                 | $\dot{V}$    | $\text{m}^3/\text{s}$ | 29,187 |
| 4.  | Температура рециркулисаних гасова            | $t$          | $^{\circ}\text{C}$    | 620,98 |
| 5.  | Брзина рециркулисаних гасова                 | $w$          | $\text{m/s}$          | 12,55  |
| 6.  | Густина рециркулисаних гасова                | $\rho$       | $\text{kg/m}^3$       | 0,396  |
| 7.  | Пад притиска                                 | $\Delta p_4$ | Pa                    | 1,03   |
| В4. | <i>Колено 45°</i>                            |              |                       |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                           | $\zeta$      | -                     | 0,477  |
| 2.  | Попречни пресек                              | $F$          | $\text{m}^2$          | 2,324  |
| 3.  | Проток рециркулисаних гасова                 | $\dot{V}$    | $\text{m}^3/\text{s}$ | 29,187 |
| 4.  | Температура рециркулисаних гасова            | $t$          | $^{\circ}\text{C}$    | 620,98 |
| 5.  | Брзина рециркулисаних гасова                 | $w$          | $\text{m/s}$          | 12,55  |
| 6.  | Густина рециркулисаних гасова                | $\rho$       | $\text{kg/m}^3$       | 0,396  |
| 7.  | Пад притиска                                 | $\Delta p_5$ | Pa                    | 14,90  |
| В5. | <i>Вертикални део рециркулационог канала</i> |              |                       |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                           | $\zeta$      | -                     | 0,021  |
| 2.  | Попречни пресек                              | $F$          | $\text{m}^2$          | 2,324  |
| 3.  | Проток рециркулисаних гасова                 | $\dot{V}$    | $\text{m}^3/\text{s}$ | 29,187 |
| 4.  | Температура рециркулисаних гасова            | $t$          | $^{\circ}\text{C}$    | 620,98 |
| 5.  | Брзина рециркулисаних гасова                 | $w$          | $\text{m/s}$          | 12,55  |
| 6.  | Густина рециркулисаних гасова                | $\rho$       | $\text{kg/m}^3$       | 0,396  |

|     |                                          |              |                   |        |
|-----|------------------------------------------|--------------|-------------------|--------|
| 7.  | Пад притиска                             | $\Delta p_6$ | Pa                | 0,656  |
| B6. | <i>Конфузор</i>                          |              |                   |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                       | $\zeta$      | -                 | 0,022  |
| 2.  | Попречни пресек                          | $F$          | m <sup>2</sup>    | 41,651 |
| 3.  | Проток рециркулисаних гасова             | $\dot{V}$    | m <sup>3</sup> /s | 29,187 |
| 4.  | Температура рециркулисаних гасова        | $t$          | °C                | 620,98 |
| 5.  | Брзина рециркулисаних гасова             | $w$          | m/s               | 17,67  |
| 6.  | Густина рециркулисаних гасова            | $\rho$       | kg/m <sup>3</sup> | 0,396  |
| 7.  | Пад притиска                             | $\Delta p_7$ | Pa                | 1,36   |
| B7. | <i>Вертикални део рец канала</i>         |              |                   |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                       | $\zeta$      | -                 | 0,168  |
| 2.  | Попречни пресек                          | $F$          | m <sup>2</sup>    | 1,651  |
| 3.  | Проток рециркулисаних гасова             | $\dot{V}$    | m <sup>3</sup> /s | 29,187 |
| 4.  | Температура рециркулисаних гасова        | $t$          | °C                | 620,98 |
| 5.  | Брзина рециркулисаних гасова             | $w$          | m/s               | 17,67  |
| 6.  | Густина рециркулисаних гасова            | $\rho$       | kg/m <sup>3</sup> | 0,396  |
| 7.  | Пад притиска                             | $\Delta p_8$ | Pa                | 10,40  |
| B8. | <i>Колено од 40°</i>                     |              |                   |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                       | $\zeta$      | -                 | 0,446  |
| 2.  | Попречни пресек                          | $F$          | m <sup>2</sup>    | 1,651  |
| 3.  | Проток рециркулисаних гасова             | $\dot{V}$    | m <sup>3</sup> /s | 29,187 |
| 4.  | Температура рециркулисаних гасова        | $t$          | °C                | 620,98 |
| 5.  | Брзина рециркулисаних гасова             | $w$          | m/s               | 17,67  |
| 6.  | Густина рециркулисаних гасова            | $\rho$       | kg/m <sup>3</sup> | 0,396  |
| 7.  | Пад притиска                             | $\Delta p_9$ | Pa                | 27,62  |
| B9. | <i>Нагнути део рецикулационог канала</i> |              |                   |        |

|    |                                   |                 |                       |        |
|----|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| 1. | Коефицијент отпора                | $\zeta$         | -                     | 0,08   |
| 2. | Попречни пресек                   | $F$             | $\text{m}^2$          | 1,651  |
| 3. | Проток рециркулисаних гасова      | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 29,187 |
| 4. | Температура рециркулисаних гасова | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 620,98 |
| 5. | Брзина рециркулисаних гасова      | $w$             | $\text{m/s}$          | 17,67  |
| 6. | Густина рециркулисаних гасова     | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,396  |
| 7. | Пад притиска                      | $\Delta p_{10}$ | Pa                    | 4,95   |

| 1                | 2                             | 3               | 4                     | 5      |
|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| <i>ДЕОНИЦА С</i> |                               |                 |                       |        |
| C1.              | <i>Прикључак за угаљ</i>      |                 |                       |        |
| 1.               | Коефицијент отпора            | $\zeta$         | -                     | -0,518 |
| 2.               | Попречни пресек               | $F$             | $\text{m}^2$          | 1,651  |
| 3.               | Проток мешавине               | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 27,78  |
| 4.               | Температура мешавине          | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 402,66 |
| 5.               | Брзина мешавине               | $w$             | $\text{m/s}$          | 16,83  |
| 6.               | Густина мешавине              | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,51   |
| 7.               | Концентрација угља у мешавини | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,294  |
| 8.               | Пад притиска                  | $\Delta p_{11}$ | Pa                    | -37,69 |
| C2.              | <i>Колено од 50°</i>          |                 |                       |        |
| 1.               | Коефицијент отпора            | $\zeta$         | -                     | 0,62   |
| 2.               | Попречни пресек               | $F$             | $\text{m}^2$          | 1,651  |
| 3.               | Проток мешавине               | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 27,78  |
| 4.               | Температура мешавине          | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 402,66 |
| 5.               | Брзина мешавине               | $w$             | $\text{m/s}$          | 16,83  |
| 6.               | Густина мешавине              | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,51   |
| 7.               | Концентрација угља у мешавини | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,294  |

|                  |                                              |                 |                   |        |
|------------------|----------------------------------------------|-----------------|-------------------|--------|
| 8.               | Пад притиска                                 | $\Delta p_{12}$ | Pa                | 44,94  |
| C3.              | <i>Вертикални део рециркулационог канала</i> |                 |                   |        |
| 1.               | Коефицијент отпора                           | $\zeta$         | -                 | 0,14   |
| 2.               | Попречни пресек                              | $F$             | m <sup>2</sup>    | 1,651  |
| 3.               | Проток мешавине                              | $\dot{V}$       | m <sup>3</sup> /s | 27,78  |
| 4.               | Температура мешавине                         | $t$             | °C                | 402,66 |
| 5.               | Брзина мешавине                              | $w$             | m/s               | 16,83  |
| 6.               | Густина мешавине                             | $\rho$          | kg/m <sup>3</sup> | 0,51   |
| 7.               | Концентрација угља у мешавини                | $\mu$           | kg/kg             | 0,294  |
| 8.               | Пад притиска                                 | $\Delta p_{13}$ | Pa                | 10,14  |
| C4.              | <i>Улаз у млин</i>                           |                 |                   |        |
| 1.               | Коефицијент отпора                           | $\zeta$         | -                 | 0,7    |
| 2.               | Попречни пресек                              | $F$             | m <sup>2</sup>    | 1,651  |
| 3.               | Проток мешавине                              | $\dot{V}$       | m <sup>3</sup> /s | 27,78  |
| 4.               | Температура мешавине                         | $t$             | °C                | 402,66 |
| 5.               | Брзина мешавине                              | $w$             | m/s               | 16,83  |
| 6.               | Густина мешавине                             | $\rho$          | kg/m <sup>3</sup> | 0,51   |
| 7.               | Концентрација угља у мешавини                | $\mu$           | kg/kg             | 0,294  |
| 8.               | Пад притиска                                 | $\Delta p_{14}$ | Pa                | 44,94  |
| C5.              | <i>Млински сепаратор</i>                     |                 |                   |        |
| 1.               | Пад притиска                                 | $\Delta p_{15}$ | Pa                | 0      |
| <i>ДЕОНИЦА D</i> |                                              |                 |                   |        |
| D1.              | <i>Млински сепаратор</i>                     |                 |                   |        |
| 1.               | Коефицијент отпора                           | $\zeta$         | -                 | 6,5    |
| 2.               | Попречни пресек                              | $F$             | m <sup>2</sup>    | 2,7    |
| 3.               | Проток мешавине                              | $\dot{V}$       | m <sup>3</sup> /s | 25,35  |
| 4.               | Температура мешавине                         | $t$             | °C                | 210    |
| 5.               | Брзина мешавине                              | $w$             | m/s               | 9,39   |

|     |                               |                 |                   |        |
|-----|-------------------------------|-----------------|-------------------|--------|
| 6.  | Густина мешавине              | $\rho$          | kg/m <sup>3</sup> | 0,707  |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини | $\mu$           | kg/kg             | 0,218  |
| 8.  | Пад притиска                  | $\Delta p_{16}$ | Pa                | 202,85 |
| Д2. | <i>Излаз из сепаратора</i>    |                 |                   |        |
| 1.  | Коефицијент отпора            | $\zeta$         | -                 | 0,38   |
| 2.  | Попречни пресек               | $F$             | m <sup>2</sup>    | 1,54   |
| 3.  | Проток мешавине               | $\dot{V}$       | m <sup>3</sup> /s | 25,35  |
| 4.  | Температура мешавине          | $t$             | °C                | 210    |
| 5.  | Брзина мешавине               | $w$             | m/s               | 16,46  |
| 6.  | Густина мешавине              | $\rho$          | kg/m <sup>3</sup> | 0,707  |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини | $\mu$           | kg/kg             | 0,218  |
| 8.  | Пад притиска                  | $\Delta p_{17}$ | Pa                | 36,45  |

| 1   | 2                                                      | 3               | 4                 | 5     |
|-----|--------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Д3. | <i>Прелаз са кружног на квадратни пресек - дифузор</i> |                 |                   |       |
| 1.  | Коефицијент отпора                                     | $\zeta$         | -                 | 0,06  |
| 2.  | Попречни пресек                                        | $F$             | m <sup>2</sup>    | 1,54  |
| 3.  | Проток мешавине                                        | $\dot{V}$       | m <sup>3</sup> /s | 25,35 |
| 4.  | Температура мешавине                                   | $t$             | °C                | 210   |
| 5.  | Брзина мешавине                                        | $w$             | m/s               | 16,46 |
| 6.  | Густина мешавине                                       | $\rho$          | kg/m <sup>3</sup> | 0,707 |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                          | $\mu$           | kg/kg             | 0,218 |
| 8.  | Пад притиска                                           | $\Delta p_{18}$ | Pa                | 5,75  |
| Д4. | <i>Регулационе клапне</i>                              |                 |                   |       |
| 1.  | Коефицијент отпора                                     | $\zeta$         | -                 | 0,1   |
| 2.  | Попречни пресек                                        | $F$             | m <sup>2</sup>    | 2,25  |
| 3.  | Проток мешавине                                        | $\dot{V}$       | m <sup>3</sup> /s | 25,35 |

|     |                                                                                   |                 |                       |        |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| 4.  | Температура мешавине                                                              | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210    |
| 5.  | Брзина мешавине                                                                   | $w$             | $\text{m/s}$          | 11,27  |
| 6.  | Густина мешавине                                                                  | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707  |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                                                     | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218  |
| 8.  | Пад притиска                                                                      | $\Delta p_{19}$ | Pa                    | 4,49   |
| Д5. | <i>Скретање за <math>5^{\circ}</math> и прелаз са квадратног на кружни пресек</i> |                 |                       |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                                                                | $\zeta$         | -                     | 0,12   |
| 2.  | Попречни пресек                                                                   | $F$             | $\text{m}^2$          | 2,01   |
| 3.  | Проток мешавине                                                                   | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 25,35  |
| 4.  | Температура мешавине                                                              | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210    |
| 5.  | Брзина мешавине                                                                   | $w$             | $\text{m/s}$          | 12,61  |
| 6.  | Густина мешавине                                                                  | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707  |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                                                     | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218  |
| 8.  | Пад притиска                                                                      | $\Delta p_{20}$ | Pa                    | 6,75   |
| Д6. | <i>Раздвајач аеросмеше</i>                                                        |                 |                       |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                                                                | $\zeta$         | -                     | 4,6    |
| 2.  | Попречни пресек                                                                   | $F$             | $\text{m}^2$          | 2,01   |
| 3.  | Проток мешавине                                                                   | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 25,35  |
| 4.  | Температура мешавине                                                              | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210    |
| 5.  | Брзина мешавине                                                                   | $w$             | $\text{m/s}$          | 12,61  |
| 6.  | Густина мешавине                                                                  | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707  |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                                                     | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218  |
| 8.  | Пад притиска                                                                      | $\Delta p_{21}$ | Pa                    | 259,03 |
| Д7. | <i>Улаз у хоризонтални канал аеросмеше ка доњој етажи горионика</i>               |                 |                       |        |
| 1.  | Коефицијент отпора                                                                | $\zeta$         | -                     | 0,5    |
| 2.  | Попречни пресек                                                                   | $F$             | $\text{m}^2$          | 0,6    |
| 3.  | Проток мешавине                                                                   | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 12,67  |

|     |                                          |                 |                       |       |
|-----|------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-------|
| 4.  | Температура мешавине                     | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210   |
| 5.  | Брзина мешавине                          | $w$             | $\text{m/s}$          | 21,12 |
| 6.  | Густина мешавине                         | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707 |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини            | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218 |
| 8.  | Пад притиска                             | $\Delta p_{22}$ | Pa                    | 7,89  |
| Д8. | <i>Колено од <math>90^{\circ}</math></i> |                 |                       |       |
| 1.  | Коефицијент отпора                       | $\zeta$         | -                     | 0,525 |
| 2.  | Попречни пресек                          | $F$             | $\text{m}^2$          | 0,6   |
| 3.  | Проток мешавине                          | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 12,67 |
| 4.  | Температура мешавине                     | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210   |
| 5.  | Брзина мешавине                          | $w$             | $\text{m/s}$          | 21,12 |
| 6.  | Густина мешавине                         | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707 |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини            | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218 |
| 8.  | Пад притиска                             | $\Delta p_{23}$ | Pa                    | 82,94 |

|     | 2                                                                 | 3               | 4                     | 5     |
|-----|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-------|
| Д9. | <i>Хоризонтални део канала аеросмеше ка доњој етажи горионика</i> |                 |                       |       |
| 1.  | Коефицијент отпора                                                | $\zeta$         | -                     | 0,5   |
| 2.  | Попречни пресек                                                   | $F$             | $\text{m}^2$          | 0,6   |
| 3.  | Проток мешавине                                                   | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 12,67 |
| 4.  | Температура мешавине                                              | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210   |
| 5.  | Брзина мешавине                                                   | $w$             | $\text{m/s}$          | 21,12 |
| 6.  | Густина мешавине                                                  | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707 |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                                     | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218 |
| 8.  | Пад притиска                                                      | $\Delta p_{24}$ | Pa                    | 7,89  |
| Д10 | <i>Промена правоугаоног пресека - дифузор</i>                     |                 |                       |       |
| 1.  | Коефицијент отпора                                                | $\zeta$         | -                     | 0,1   |

|     |                                                         |                 |                       |         |
|-----|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|---------|
| 2.  | Попречни пресек                                         | $F$             | $\text{m}^2$          | 0,6     |
| 3.  | Проток мешавине                                         | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 12,67   |
| 4.  | Температура мешавине                                    | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210     |
| 5.  | Брзина мешавине                                         | $w$             | $\text{m/s}$          | 21,12   |
| 6.  | Густина мешавине                                        | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707   |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                           | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218   |
| 8.  | Пад притиска                                            | $\Delta p_{25}$ | Pa                    | 15,79   |
| Д11 | <i>Правоугаони компензатор</i>                          |                 |                       |         |
| 1.  | Коефицијент отпора                                      | $\zeta$         | -                     | 0,01    |
| 2.  | Попречни пресек                                         | $F$             | $\text{m}^2$          | 0,706   |
| 3.  | Проток мешавине                                         | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 12,67   |
| 4.  | Температура мешавине                                    | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210     |
| 5.  | Брзина мешавине                                         | $w$             | $\text{m/s}$          | 17,95   |
| 6.  | Густина мешавине                                        | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707   |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                           | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218   |
| 8.  | Пад притиска                                            | $\Delta p_{26}$ | Pa                    | 1,14    |
| Д12 | <i>Горионик</i>                                         |                 |                       |         |
| 1.  | Коефицијент отпора                                      | $\zeta$         | -                     | 0,85    |
| 2.  | Попречни пресек                                         | $F$             | $\text{m}^2$          | 0,706   |
| 3.  | Проток мешавине                                         | $\dot{V}$       | $\text{m}^3/\text{s}$ | 12,67   |
| 4.  | Температура мешавине                                    | $t$             | $^{\circ}\text{C}$    | 210     |
| 5.  | Брзина мешавине                                         | $w$             | $\text{m/s}$          | 17,95   |
| 6.  | Густина мешавине                                        | $\rho$          | $\text{kg/m}^3$       | 0,707   |
| 7.  | Концентрација угља у мешавини                           | $\mu$           | $\text{kg/kg}$        | 0,218   |
| 8.  | Пад притиска                                            | $\Delta p_{27}$ | Pa                    | 963,99  |
| 1.  | ПАД ПРИТИСКА УСЛЕД<br>ЛОКАЛНИХ ОТПОРА И<br>ОТПОРА ТРЕЊА | $\Delta p_{lt}$ | Pa                    | 1089,81 |

|                                                                |                                         |                  |    |         |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|----|---------|
| 2.                                                             | ПАД ПРИТИСКА УСЛЕД<br>УБРЗАВАЊА УГЉА    | $\Delta p_U$     | Pa | 42,152  |
| 3.                                                             | ПАД ПРИТИСКА ЗБОГ<br>ПОДИЗАЊА АЕРОСМЕШЕ | $\Delta p_P$     | Pa | 4,702   |
| 4.                                                             | САМОУЗГОН                               | $\Delta p_S$     | Pa | -18,94  |
| <b>УКУПАН ПАД ПРИТИСКА</b>                                     |                                         | $\Delta p$       | Pa | 1155,61 |
| Коефицијент резерве пада притиска                              |                                         | $k_1$            | -  | 1,05    |
| Коефицијент утицаја рецикулације млива<br>из сепаратора у млин |                                         | $k_2$            | -  | 1,10    |
| <b>КОРИГОВАН ПАД ПРИТИСКА</b>                                  |                                         | $\Delta p_{kor}$ | Pa | 1334,73 |



