



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Обновљиви извори енергије 1

Број индекса: 2017/2015

Иван А. Млакар

**Повећање еколошке ефикасности парних котлова
у термоелектрани “Костолац Б” применом система
за одсумпоравање димних гасова**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Вања Шуштершич -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да прикаже поделу и принцип рада парних котлова и систем одсумпоравања, прикаже систем одсумпоравања, да технички опис и неопходне прорачуне. Основни циљ изградње система за одсумпоравање димних гасова је смањење емисије сумпор диоксида и њено довођење на максимално дозвољене вредности прописане домаћом и регулативом Европске Уније. Потребно је посебно истаћи еколошку компоненту изградње једног оваквог постројења.

Препоручена литература:

- [1] Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине, "Службени гласник РС", бр. 135/2004
- [2] Ђурић В., Парни котлови – свеска 1, Грађевинска књига, Београд, 1969.
- [3] С. Ковачевић, З. Мићевић, Радови на реконструкцији котловског постројења Блока 2 ТЕ „Костолац Б“, Енергија, екологија, економија, стр.283- 290, 2014

Крагујевац, 2016. год.

ментор:

др Вања Шуштершич, редовни професор

РЕЗИМЕ

Одсумпоровање димних гасова као продуката сагоревања фосилних горива у парним котловима, представља један од начина за повећање еколошке ефикасности термоелектрана. Обзиром на зависност нашег електроенергетског система од оваквог начина производње електричне енергије, изградња оваквих постројења се намеће као неопходност, првенствено због заштите здравља људи, а затим и као резултат усклађивања домаћег са законодавством Европске уније. Поред елемената и подсистема као саставних делова система за одсумпоровање димних гасова, као и основних принципа реализације ових процеса у њима, у раду су приказани и прорачуни одређених параметара неких елемената система.

Кључне речи: одсумпоровање, термоелектрана, екологија, котло, Европска унија

ABSTRACT

Desulfurization of smoke gases as product of fossil fuels burning in steam boiler, represent way of thermoelectric power plant ecological efficiency increasing. Considering dependence of our electro energetic system on that kind of electric energy producing, building this kind of installation became necessary, basically because of our people health and as a result of our and European union law harmonization. Beside descriptions of elements and subsystems as parts of smoke gases desulfurization systems, this paper contains basic principles of their operation and certain parameters calculation relating to some elements.

Key words: desulfurization, thermoelectric power plant, ecology, boiler, European union

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
2. ПАРНИ КОТЛОВИ И СИСТЕМИ ОДСУМПОВАЊА	2
2.1 Парни котлови	2
2.1.1 Основни елементи парног котла	4
Ложиште ..	4
Испаривач	5
Прегрејач паре	6
Загрејач воде – економијзер	6
Загрејач ваздуха	6
Помоћни елементи парног котла	7
2.2 Принцип рада парних котлова	7
2.3 Подела парних котлова	9
2.4 Парни котлови термоелектране “Костолац Б”	10
2.4.1 О термоелектрани “Костолац Б”	10
2.4.2 Парни котло термоелектране “Костолац Б”	10
2.4.2.1 Техничке карактеристике	12
2.4.2.2 Принцип рада	12
2.5 Системи одсумповања	18
2.5.1 Смањење емисије сумпорних оксида пре процеса сагоревања	19
2.5.2 Смањење емисије сумпорних оксида у току процеса сагоревања	20
2.5.3 Смањење емисије сумпорних оксида после процеса сагоревања	20
2.5.3.1 Мокри поступци одсумповања димних гасова	21
2.5.3.1.1 Одсумповање додатко гашеног креча $\text{Ca}(\text{OH})_2$	23
2.5.3.1.2 Одсумповање додатком кречњака	23
2.5.3.2 Суви поступак одсумповања димних гасова	24
2.5.3.3 Комбиновани суви поступци одсумповања димних гасова	26
3. ЦИЉ ИЗРАДЕ СИСТЕМА ОДСУМПОВАЊА	29
4. ТЕХНИЧКИ ОПИС	34
4.1 Опис технолошког процеса одсумповања димних гасова	34
4.2 Хемијске реакције током процеса одсумповања димних гасова	35
4.3 Пројектни параметри постројења за одсумповање димних гасова	37

4.4 Конфигурација постројења за одсумпоровање димних гасова	39
4.4.1 Систем димних гасова	39
4.4.2 Систем за пријем и складиштење кречњака	41
4.4.2.1 Допрема и складиштење кречњака	41
4.4.2.2 Допрема и складиштење кречњака	41
4.4.2.3 Систем за одпрашивање	41
4.4.3 Систем за припрему суспензије кречњака	42
4.4.4 Процесна зграда комплекса за одсумпоровање димних гасова	44
4.4.4.1 Систем за угушћење/одводњавање суспензије гипса	45
4.4.4.2 Хидроциклони за примарно угушћење суспензије гипса	45
4.4.4.3 Вакуум филтери за секундарно угушћење гипса	46
4.4.5 Системи дренаже	46
4.4.5.1 Нетехнолошке отпадне воде	46
4.4.6 Помоћни системи у оквиру постројења за одсумпоровање димних гасова	47
4.4.6.1 Систем за снабдевање свежом (процесном) водом	47
4.4.6.2 Систем компримованог ваздуха	46
4.4.7 Систем за транспорт и одлагање гипса	47
4.4.8 Технички опис формирања касете	49
4.4.9 Заштита депонија од подземних и површинских вода	51
5. ПРОРАЧУНИ	57
5.1 Прорачун електричних параметара	57
5.2 Прорачун кратког споја	60
5.3 Прорачун топлотне измене и топлотног оптерећења измењивачке станице	61
6. СКЛАДИШТЕ КРЕЧЊАКА	65
6.1 Кречњак	65
6.2 Елементи система	65
6.3 Опис	67
6.4 Складиште кречњака	69
6.5 Силоси за складиштење кречњака	70
6.6 Млинови са куглама	71
6.7 Складишни резервоар суспензије кречњака	72
7. АПСОРБЕР	73
7.1 Елементи система за апсорпцију	72

7.2	Анализа састава процесне воде	74
7.3	Технички опис	76
7.4	Цевоводи у области апсорбера	79
7.5	Прорачун димензија апсорбера	79
8.	СИСТЕМ ЗА ХИТНО ПРАЖЊЕЊЕ	81
8.1	Опис система за хитно пражњење	81
8.2	Прорачун система за хитно пражњење	82
9.	ЦЕВНИ МОСТОВИ КОД СИСТЕМА ЗА ОДСУМПОВАЊЕ ДИМНИХ ГАСОВА	83
9.1	Технички опис	83
9.2	Статички прорачун цевне конструкције	84
9.3	Прорачун типске везе	86
9.3.1	Веза попречног носача са стубом	86
9.3.2	Веза подужног носача са стубом	90
10.	ЗАКЉУЧАК	94
	ЛИТЕРАТУРА	96
	ЦРТЕЖИ	97

УВОД

Нарастајуће потребе за енергијом на глобалном нивоу, уз чињеницу која говори о ограничениости постојећих извора енергије, инжењерима који се широм света баве овом проблематиком, као примарни задатак намећу проналажење нових извора енергије. Поред карактеристика које се односе на количину енергије које могу да обезбеде, новопронађени и откривени извори енергије морају да задовоље и одређене, веома строге захтеве везане за екологију. До сада коришћени извори енергије углавном фосилног карактера баш се и не могу похвалити том еколошком компонентом. Намера међународних институција, као што је Европска унија нпр. је да успостави енергетске системе својих земаља чланица, а самим тим и свој, који ће се у великом степену ослањати на обновљиве изворе чисте енергије. Тиме би у великој мери били смањени енергетски трошкови, али и еколошка угроженост. Оно што је исто тако чињеница је да се на овом нивоу технолошког развоја енергетских постројења, коришћењем обновљивих извора енергије (Сунце, вода, ветар) не може обезбедити довољна количина енергије. Исто тако је чињеница да због ниског степена економског развоја многе земље нису у могућности да масовно реализују пројекте везане за енергетска постројења овог типа. Као компромисно решење се намеће даље коришћење фосилних горива, као још увек главних извора енергије, али уз допуну постојећих постројења постројењима за пречишћавање издувних тј. димних гасова. Врло строги захтеви везани за хемијски састав димних гасова су дефинисани како домаћом тако и регулативом Европске уније и њу морају поштовати како земље чланице, тако и земље које се налазе на путу прикључења Европској унији. Постојење за одсумпоравање је једно од таквих постројења у оквиру кога се применом одређених поступака смањује ниво сумпора у димним гасовима који након оваквог третмана постају еколошки прихватљиви с аспекта регулативе, што их чини безбедним за испуштање у атмосферу.

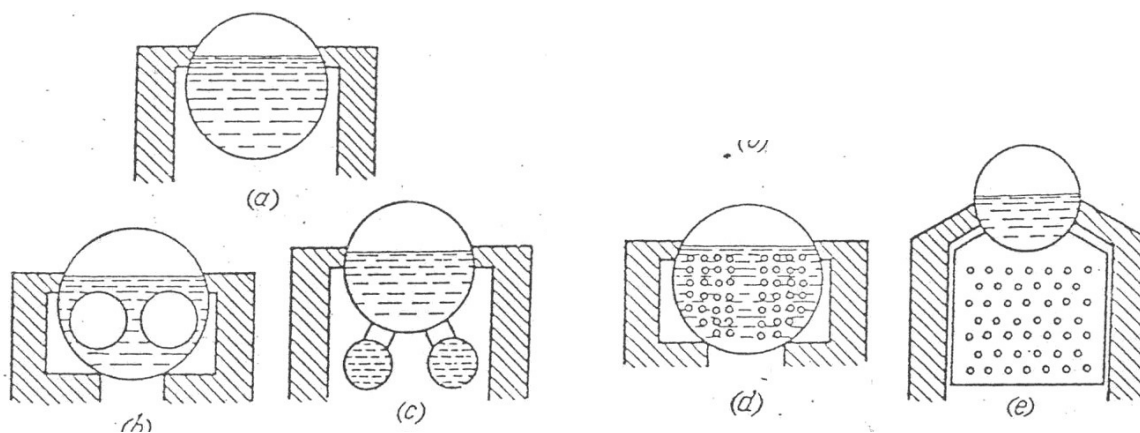
2. ПАРНИ КОТЛОВИ И СИСТЕМИ ОДСУМПОВАЊА

2.1 Парни котлови

Парни котло или генератор паре је уређај у коме се добија пара притиска већег од атмосферског. Овај назив је у употреби још од краја 18. века. Први парни котло је производио пару притиска 0,5-0,6 МПа у количини од неколико стотина килограма на сат.

Сликом 1. је приказан развој парних котлова. У сврху производње паресе може користити:

- хемијска енергија фосилних горива,
- нуклеарна енергија (природни изотоп U235, и вештачки U233 и Pu239)
- електрична енергија и
- топлота која се може окарактерисати као отпадна топлота настала током индустријско-технолошких процеса.



Слика 1. - Шематски приказ развоја парних котлова [1]

а – добошни котло, б – котло са две пламене цеви, ц – батеријски котло, д – котло са димним цевима, е – котло са водогрејним цевима

Обзиром на намену, даљи развој парних котлова је ишао у смеру повећања капацитета и побољшања параметара паре, што је остварено побољшањем система сагоревања, ефикаснијом разменом топлоте, применом разноврсних грејних површина и побољшањем система у оквиру самог постројења.

За погон парних котлова се најчешће користе фосилна горива, која се могу наћи у чврстом, течном или гасовитом стању. Поменута горива ступају у реакцију са кисеоником из ваздуха. Један од продуката ових реакција је велика количина топлоте, која се преко система грејних површина предаје пријемнику топлоте тј. радном флуиду. Као радни флуид се најчешће користи вода која се након добијања топлоте преко поменутог система грејних површина загрева, испарава и прегрева. Као резултат одвијања ових процеса, на излазу из парног котла, као крајњи производ имамо сувозасићену и прегрејану пару.

Заједничка карактеристика свих котлова је да се у радном простору котла одвија предаја топлоте са примарног носиоца енергије (продукти сагоревања горива, електрична енергија, димни гасови из пећи) на секундарног носиоца топлоте (радни медијум). Задатак котла је да произведе одређену количину радног медијума захтеваних карактеристика, односно да се секундарном носиоцу топлоте преда одређена количина енергије, а да се при томе максимално искористи енергија примарног извора, било да је то гориво, електрична енергија или топлота димних гасова из неког процеса. Парни котлоу представља отворени термодинамички систем у који се доводе гориво, ваздух и напојна вода, а из кога излазе продукти сагоревања и водена пара. Са термодинамичке тачке гледишта парни котлоу је размењивач топлоте који поседује систем грејних површина са продуктима сагоревања као носиоцима топлоте и топлом водом, врелом водом, сувозасићеном паром, прегрејаном паром и ваздухом као пријемницима топлоте.

Парни котлоу је основни уређај у постројењима каква су енергетска, индустријска и топлотна. У њима се сагоревањем углавном фосилних горива добија пара одређеног притиска и температуре. Произведена пара, као један од производа парног котла има широку примену. Неке од области у којима се она примењује су:

- производња електричне енергије, као радни флуид,
- комбинована производња електричне и топлотне енергије,
- различити индустријски процеси, као технолошка пара,
- системи грејања, као носилац топлоте и
- санитарни системи и др.

Савремени парни котлови се умногоме разликују од оних првобитних. Најмањи су капацитета довољног за грејање кућа, док су они највећи у могућности да испоруче 1100

kg/s паре, притиска 25 МПа и температуре 570°C. Савремени парни котлови подразумевају следеће карактеристике:

- аутоматски системи за одржавање капацитета и параметара паре при свим радним режимима,
- дуг век трајања,
- безбедан и економичан рад и
- минимално загађење околине

2.1.1 Основни елементи парног котла

Основни елементи парног котла су делови у којима се одвија процес трансформације хемијске енергије горива у топлотну енергију продуката сагоревања и пренос топлотне енергије пријемнику топлоте. У ове елементе спадају следећи елементи парног котла:

- ложиште и
- грејне површине (загрејач воде, испаривач, прегрејач паре и загрејач ваздуха).

Ложиште

Ложиште је простор у коме се одвијају сложени физичко-хемијски процеси сагоревања горива. Ови процеси подразумевају следеће:

- ослобађање хемијске енергије горива,
- трансформацију ослобођене хемијске енергије горива у топлоту продуката сагоревања и
- преношење дела топлотне енергије површинама које окружују ложиште.

Као саставни део парног котла, ложиште има два основна задатка:

- правилно и потпуно сагоревање горива са минималним вишком ваздуха и
- хлађење продуката сагоревања до температуре потребне за одвођење до конвективних површина.

Предуслов за адекватан рад парног котла је брзо и ефикасно сагоревање горива. У том циљу потребно је обезбедити следеће:

- континуално довођење горива и ваздуха потребних за сагоревање,

- њихово ефикасно мешање и
- одржавање температуре гасова на нивоу који обезбеђује загревање смеше горива и ваздуха до температуре паљења горива.

Конструкција, величина и друге карактеристике ложишта зависе од врсте, квалитета и састава коришћеног горива, капацитета самог котла, уређаја за сагоревање горива и параметара пријемника топлоте.

Испаривач

Испаривач је део парног котла у коме се врши испаравање воде. Испаривач у ствари представља цевни зид коме је једна страна у додиру са продуктима сагоревања, а друга са водом која испарава (смеша воде и паре). Најчешће је лоциран уз зидове ложишта, а предаја топлоте од пламена и продуката сагоревања се врши зрачењем. Код парних котлова ниског и средњег притиска могу се срести и испаривачке грејне површине у конвективном каналу. Количина апсорбоване топлоте у испаривачима је обрнуто пропорционална притиску који постоји у њему. У зависности од начина циркулације воде у испаривачу, разликујемо следеће парне котлове:

- парни котлови са природном циркулацијом,
- парни котлови са принудном циркулацијом и
- проточне парне котлове.

Код природне циркулације погонска сила настаје услед разлике густина између кључале воде и мешавине кључале воде и паре, док код принудне циркулације погонску силу ствара циркулациона или напојна пумпа. Максимална граница примене природне циркулације код стационарних котлова је до радног притиска од 160 бар. Принудна циркулација се усваја када се помоћу природне циркулације не може са сигурношћу обезбедити потребна узгонска сила у свим погонским условима. Узрок усвајању принудне циркулације су или високи радни притисци или посебни захтеви у погледу димензије ложишта и начин постављања цеви код котлова великих капацитета.

Један од главних делова испаривача је котловски добош, намењен смештају радног флуида. Конструисан је тако да има водени и парни простор, који су међусобно одвојени воденим огледалом, намењеним да обезбеди резерву воде у котлу. На тај начин је могуће

одржавати минималан и максималан ниво воде. Минималан ниво воде произилази из услова сигурног протока воде у спусним цевима, док максимални произилази из услова спречавања одласка воде у парне цеви.

Прегрејач паре

Прегрејач паре је грејна површина парног котла која производи прегрејану пару. Служи за прегревање паре тј. њену трансформацију од сувозасићене до прегрејане. Том приликом се врши и њено сушење. Грејна површина прегрејача паре се састоји од система глатких цеви, змијасто савијених и смештених у ложиште или гасни канал иза ложишта. Савремени већи парни котлови имају прегрејаче паре који се састоје од већег броја степена. У зависности од начина предаје топлоте, прегрејачи паре могу бити озрачени, полуозрачени и конвективни. Због високог притиска и температуре паре и гасова у каналу, прегрејачи паре спадају у најоптерећеније грејне површине, што правилан избор материјала цеви чини веома значајним.

Загрејач воде – економајзер

Загрејач воде или економајзер је размењивачка површина код које се топлота продуката сагоревања користи за загревање напојне воде. Напојна вода се у њима загрева до температуре која је 25-50°C нижа од температуре кључања у добошу. Код савремених решења ових елемената парних котлова, осим загревања, у њима се дешава и испаравање, обзиром да испари и до 15% воде, па се стога могу назвати и предиспаривачима. Грејна површина загрејача се израђује од челичних глатких цеви савијених у форму змије или од ливених ребрастих цеви. Грејне површине загрејача воде, испаривача и прегрејача паре су спојене колекторима и цевима и чине једну целину која се зове водено-парни тракт котла.

Загрејач ваздуха

Загрејач ваздуха је елемент парног котла у коме се загрева ваздух потребан за сагоревање горива. Грејна површина је постављена у зони најниже температуре продуката сагоревања, што значи на крају котла и не налази се под притиском. У употреби су два облика загрејача и то:

- рекуперативни и

- регенеративни.

Рекуперативни су израђени од челичних глатких цеви и плоча и од ливених оребрених цеви, док су регенеративни израђени од профилисаних лимова. Загрејани ваздух се у зависности од система доводи испод решетке у ложишту, у систем за сушење угља или у само ложиште. При сагоревању чврстих горива у лету температура ваздуха износи 400°C, док при сагоревању гаса и мазута износи 300°C. При сагоревању на решетки температура зависи од термичких услова рада решетки.

Помоћни елементи парног котла

Поред наведених основних елемената једног парног котла, од значаја су и неки помоћни, који омогућавају његов нормалан рад. Неки од таквих елемената су:

- арматура, груба и фина,
- носећа челична конструкција и
- преградни зидови.

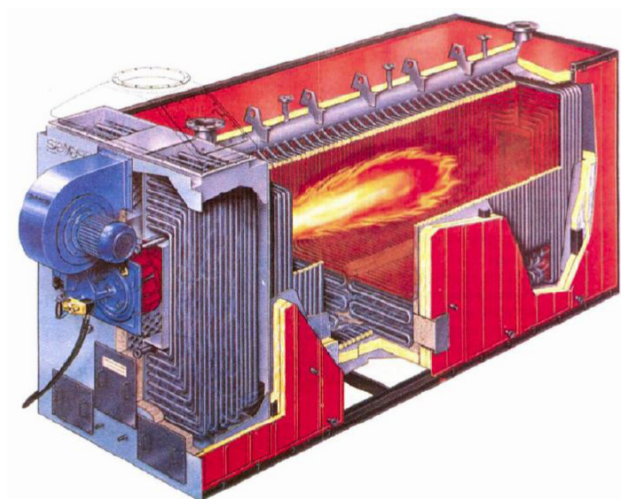
Арматуру представљају уређаји постављени на цевоводима воде и паре, на добошу, колекторима, гасним и ваздушним каналима, као и на линији горива. Арматура има следеће функције:

- запорна - укључивање и искључивање протока,
- регулациона –промена протока,
- сигурносна заштита – спречавање прекорачења притиска и
- контролна –мерење притиска и показивање нивоа.

2.2 Принцип рада парних котлова

Токови свих материја који учествују у производњи паре у котловима називају се трактовима. Делови појединих трактова зависе од врсте горива, система сагоревања и организације струјања воде при њеном испаравању. Начин довођења горива у котла зависи од врсте горива и примењеног система сагоревања. Код котлова који сагоревају угаљ, гориво у спрашеном стању се са загрејаним ваздухом доводи у ложиште у коме та смеша сагорева. Ложиште парног котла представља простор у коме се хемијска енергија

фосилног горива претвара у топлотну енергију димних гасова (гасовитих продуката сагоревања). Димни гасови струје кроз гасни тракт котла, кога чине ложиште, хоризонтални међуканал и конективни канал, па се кроз димни канал помоћу вентилатора посредством димњака избацују у атмосферу. Испред вентилатора за димне гасове поставља се отпрашивач (електрофилтер) за издвајање летећег пепела из струје гасова.



Слика 2. – Парни котло [1]

У гасним каналима постављени су размењивачи топлоте у којима се одвијају процеси загревања и испаравања воде, као и прегревања паре и који се код парног котла називају грејним површинама.

Прва грејна површина у водено-парном тракту је за грејач воде у кога се вода доводи напојном пумпом преко улазног колектора. Размена топлоте између димних гасова и воде врши се принудном конвекцијом, тако што димни гасови струје између, а вода кроз цеви загрејача. Вода се у загрејачу загрева приближно до стања кључања, а затим одводи у испаривач парног котла. Испаривачи парног котла се разликују по систему струјања мешавине воде и паре у њима. Испаривачи у којима вода кружи називају се испаривачи са циркулацијом, која може бити природна и принудна, док су испаривачи у којима вода испарава у једном пролазу проточни.

Ваздух за сагоревање може да се доводи непосредно из околине (незагрејан), али се много чешће загрева. Вентилатором за свеж ваздух он се потискује кроз загрејач ваздуха у коме се загрева до одређене температуре, а затим одводи у ложиште. Чврсти остаци сагоревања, који потичу од минералних материја из горива деле се на два дела. Један у

облику шљаке остаје у ложишту и преко система одшљакивања се избацује из њега, а други као летећи пепео напушта ложиште са гасовима и одваја се у електрофилтеру.

2.3 Подела парних котлова

Котлови се према извору енергије деле на:

- котлове који користе гориво,
- електричне котлове и
- котлове утилизаторе.

Електрични котлови су обично веома малих снага и користе се или као топоводни котлови за грејање или као котлови за производњу паре специјалне намене.

Према радном медијуму или секундарном носиоцу топлоте, котлови се деле на:

- парне котлове,
- вреловодне котлове,
- топоводне котлове и
- котлове за термално уље.

Вреловодни котлови се користе за системе даљинског грејања. Врела вода на излазу из котла може да има температуру од 130 до 200°C и притисак до 25 bar. Топлотни капацитети ових котлова су различити, чија се снага креће од неколико мегавата до преко 100 MW. Присутне су ниже вредности температура за директне системе грејања, а више за индиректне системе грејања.

Котлови на термоално уље нису често у употреби. Термално уље се као секундарни носилац користи у случајевима када је потребна процесна топлота виших температура, а није могуће или је мање економски исплативо користити водену пару.

Према облику радног простора у коме се налази радни медијум и ложишта деле се на:

- котлове са водогрејним цевима и
- коморне котлове.

Велики парни котлови се користе у термоелектранама за производњу прегрејане паре која експандира у парној турбини, која је спрегнута са генератором за производњу електричне енергије. У нашим термоелектранама користе се котлови снаге до 2000 MW и користе спршени угаљ као гориво. Притисци и температуре прегрејане паре се крећу и до 180 bar и 540°C.

Парни котлови средњих снага користе се у енерганама-топланама где се истовремено производи електрична енергија и топлота за технолошке потребе или за грејање. Снаге ових котлова су од неколико мегавата до неколико стотина мегавата, а карактеристике прегрејане паре су веома различите, махом зависне од специфичних захтева сваког конкретног индустријског комплекса. Уколико се користи спрегнута производња, бирају се виши параметри паре на излазу из котла, зато што су у том случају и степени корисности комбиноване производње електричне енергије и топлоте виши.

Парни котлови мањих снага, обично производе сувозасићену водену пару чије карактеристике зависе од индустријских потрошача који користе пару, а намењени су за потребе мањих индустријских предузећа.

2.4 Парни котлови термоелектране „Костолац Б”

2.4.1 О термоелектрани „Костолац Б”

Термоелектрана „Костолац Б” налази се на десној обали Дунава (удаљена око 5 km од обале) у области Градске Општине Костолац која броји око 14.000 становника и на чијој територији се налази и термоелектрана „Костолац А”. Удаљена око 100 km од Београда у правцу исток-североисток, локација термоелектране припада територији града Пожареваца, који је са 50.000 становника највеће насељено место у околини. Слика 3. је приказана термоелектрана „Костолац Б”, као и простор предвиђен за изградњу постројења за одсумпоравање димних гасова.

2.4.2 Парни котао термоелектране „Костолац Б”

Парни котао у термоелектрани „Костолац Б” је једноканални, једнопромајни са принудном циркулацијом радног флуида, са мешовитим протоком, конструисан тако да може да ради како са фиксним, тако и са клизним притиском. Произвођач котла је SES из

Тлмачка, Словачка по лиценци "SULCER"-а из Швајцарске који је највећи произвођач котлова у Европи [4].

Котао је мембранско-скранисани са ложиштем у доњем делу котла и конвективним горњим делом. Испаривачки зидови изведени су од вертикално постављених цеви које су међусобно заварене у виду мембране, а највећи део топлоте у ложишном делу прима зрачењем. Доњи део котла до коте 49,5 m чини ложиште – позиција 4 (слика 4.), у које је смештен део испаривача и зидни прегрејач, (предгрејач 1). У горњи део котла (конвективни гасни канал), позиција 6, који се наставља на ложиште смештене су следеће грејне површине поређане једна иза друге у правцу струјања димних гасова: излазни прегрејач (прегрејач 3), међупрегрејач 2, прегрејач 2, међупрегрејач 1 и загрејач напојне воде - ЕКО. Са врха котла димни гасови се воде, заједничким каналом кружног пресека, позиција 24, до ротационог загрејача ваздуха Љунгстром.



Слика 3. – Термоелектрана „Костолац Б” и простор предвиђен за изградњу постројења за одсумпоравање димних гасова [2]

Добрим распоредом грејних површина постигнуто је да средња брзина димних гасова у струјном тракту котла не прелази вредност од 9 m/s чиме је знатно смањена могућност ерозије пепела грејних површина као последица струјања димних гасова.

Котао је једнопромајни (једноканални) са једним међупрегрејањем торањског типа. Једноканални је, јер се тиме смањује могућност таложења пепела на грејним површинама, а истовремено је знатно олакшано чишћење (дување паром) свих конвективних грејних површина које се налазе у струји димног гаса.

2.4.2.1 Техничке карактеристике

Термоелектрана "Костолац Б", инсталисане снаге 2 x 348,5 MW је кондензациона термоелектрана са проточним хлађењем. Парни котао карактерише принудни проток и мешовита циркулација. Основни подаци парног котла су:

• номинална продукција свеже паре	$D = 1000 \text{ t/h}$
• масени проток накнадно прегрејане паре на излазу из котла	$D_r = 895,6 \text{ t/h}$
• температура свеже прегрејане паре на излазу из котла	$t_s = 540^\circ\text{C}$
• притисак свеже прегрејане паре на излазу из котла	$p_s = 186 \text{ bar}$
• температура паре за накнадно прегревање	$t_r = 334^\circ\text{C}$
• притисак паре за накнадно прегревање	$p_r = 46.1 \text{ bar}$
• температура накнадно прегрејане паре	$t_{rs} = 540^\circ\text{C}$
• притисак накнадно прегрејане паре	$p_{rs} = 43,75 \text{ bar}$
• температура напојне воде	$t_{nv} = 255^\circ\text{C}$
• притисак напојне воде	$p_{nv} = 205 \text{ bar}$

2.4.2.2 Принцип рада

Као гориво се користи угљена прашина, добијен од косточлачког лигнита као пројектованог горива. За добијање угљене прашине за сагоревање користи се вентилаторски млин. У вентилаторском млину, позиција 12, истовремено се врши процес млевења и процес сушења угља. Као сушећи агенс се користе врели гасови који настају као продукти сагоревања одузети са краја ложишта кроз главу рециркулационог канала, позиција 14. Ово одузимање се врши кроз рециркулациони канал, позиција 13, у који се из бункера, помоћу ланчастих и тракастих додавача, на одређеној висини убацује угаљ, кроз прикључке за довођење угља, позиција 23. Извесна количина влаге испари из угља још приликом његовог пада кроз рециркулациони канал у млин. Регулисање температуре у млину врши се примарним ваздухом који се у главу рециркулационог канала, позиција 14, доводи кроз прикључак, позиција 15, и хладним рециркулисаним гасовима са краја котла који се доводе кроз прикључак, позиција 16. Након што угаљ прође кроз млин добија се угљени прах који пролази кроз инерцијални сепаратор у којем се издвајају крупније честице угља које се враћају у млин на поновно млевење. На тај начин се постиже потребна финоћа мељаве. Добијена угљена прашина заједно са транспортним флуидом

пролази кроз центрифугални раздвајач аеросмеше, позиција 17, и канал за аеросмешу, позиција 18, након чега се удувава кроз три горионика постављена по висини у ложиште котла, позиција 4. Постоје доњи односно главни горионик, позиција 19, који је подељен на два одвојена горионика, горњи односно помоћни горионик, позиција 20, и трећи горионик за отпарке, позиција 21. Котао је опремљен са осам млинова и сваки млин снабдева угљеном прашином три горионика који су постављени по висини један изнад другог. На сваком зиду котла постављена су по два млина и то тангенцијално, како би горионици тангирали замишљени круг у ложишту и стварали вртлог. У циљу кретања и стабилизације ватре, котао је опремљен мазутним горионцима који су постављени у испаривачке зидове котла у висини доњег горионика угљене прашине тако да оса пламена мазутног горионика сече смешу угљене прашине и ваздуха што обезбеђује сигурну потпалу уз стабилан пламен и потпуно сагоревање.

Из напојних резервоара напојна вода се помоћу напојних пумпи одводи кроз цевовод, преко загрејача воде високог притиска у улазни колектор загрејача воде, затим пролази кроз цевни систем загрејача воде, где се загрева до одређене температуре димним гасовима, струјећи одозго на доле, супротно од смера струјања димних гасова. Загрејач напојне воде, позиција 1, изведен је као хоризонтални и састоји се из два пакета двоструких цевних змија у коридорном поретку ЕКО 1 и ЕКО 2. На улазном колектору прикључен је цевовод за одзрачивање ЕКО-а, док је на излазном колектору прикључен цевовод за пражњење загрејача напојне воде, као и одзрака која је изведена у виду сифона. Загрејач воде је смештен у струјном тракту котла као последња грејна површина, а обешен је о носеће цеви испаривача. Загрејана вода се из излазног колектора, преко цевовода води до „Т“ рачве, а одатле цевоводом до мешача. Загрејана вода из загрејача воде се у мешачу меша са водом из сепаратора паре, позиција 2, и одводи кроз филтер ка циркулационим пумпама.

Са потисног колектора циркулационих пумпи, вода се преко цевовода одводи у кружни колектор, позиција 3, из кога се преко цевовода са уграђеним пригушницама одводи у разделне колекторе. Пригушнице омогућују расподелу потребне количине на појединим колекторима на начин који осигурава такав проток маса кроз испаривачке цеви који поништава различите губитке притиска као последице различите геометрије цеви. Пригушнице такође обезбеђују и стабилност протока. Цео процес испаравања одвија се у испаривачким цевима које се не прекидају, односно у цевним, међусобно завареним огранцима, што обезбеђује заптивеност и што чине зидове ложишта у зидове за усмеравање промаје. Величина протока која би била у функцији топлотног оптерећења

ложишта, била би недовољна да осигура задовољавајуће хлађење материјала цеви и стабилност протока. Због тога се протоку, преко циркулационих пумпи додаје извесна количина воде из циркулације. Као последица повећања протока, на изласку из испаривача се јавља смеша воде и паре. Додатном водом се постиже таква густина масе протока кроз испаривачке цеви, тако да се при било којем термичком оптерећењу постиже задовољавајуће хлађење материјала цеви испаривача. Кроз све испаривачке цеви протиче мешавина воде и паре у засићеном стању тј. температура метала испаривачких цеви је свуда равномерна. Тиме се избегавају термички напони у мембранским зидовима котла. На крају ложишта котла, део испаривачких цеви са предње и задње стране котла изведене су у шест редова цеви које чине носећу конструкцију, позиција 5, за грејне површине смештене у струјном тракту котла.

У висини плафона котла, све цеви испаривача, како зидне тако и носеће, уводе се у одговарајући колектор. Мешавина воде и паре у засићеном стању се из колектора одводи у сепаратор паре (флашу), позиција 2. Спојне цеви су на сепаратор прикључене тангенцијално, ради лакшег раздвајања мешавине.

У сепаратору паре (флаши) врши се раздвајање мешавине, издвојена засићена пара се из сепаратора, кроз паровод и разделни паровод, одводи у вертикалне улазне колекторе прегрејача паре 1 са температуром од 365°C, пролази кроз цевни систем прегрејача паре 1 где се прегрева и на излазном колектору прегрејача паре 1 излази са температуром од 374°C. На пароводима од сепаратора до улазног колектора прегрејача паре 1 налази се хладњак („0“ - нулто) ручно регулисано убризгавање, које се користи у фази кретања котла. За ово убризгавање се користи вода из цевовода који спаја сепаратор паре (флашу) са вентилским групама. Прегрејач паре 1, позиција 7, постављен је у ложишту котла испред мембранских зидова испаривача, ради заштите испаривачких цеви од високих температура које постоје у том делу ложишта котла. Из излазног колектора прегрејача паре 1 пара се пароводом одводи у улазни колектор прегрејача паре 2. На овом пароводу, који спајају излазни колектор прегрејача паре 1 са улазним колектором прегрејача паре 2, налази се хладњак („1“ - прво) регулисано убризгавање. Вода за ово убризгавање узима се са потиса циркулационих пумпи.

Прегрејач паре 2, позиција 8, смештен је у струјном тракту котла и обешен је о носеће цеви испаривача. Смер струјања паре је супротан смеру струјања димних гасова. Температура паре на улазу у прегрејач паре 2 износи 369°C, док на излазу из прегрејача паре 2 износи 474°C. Пара се из излазног колектора прегрејача паре 2 пароводом одводи у улазни колектор прегрејача паре 3. Прегрејач паре 3, позиција 9, смештен је у струјном

тракту котла и обешен је о носеће цеви испаривача. Смер струјања паре у овом прегрејачу је истоветан са смером струјања димних гасова. Температура паре на улазу у прегрејач паре 3 износи 464°C , а на излазу из прегрејача паре 540°C . Пароводи који спајају излазне колекторе прегрејача паре 2 са улазним колекторима прегрејача паре 3 се међусобно укрштају, а у свакоме од њих уграђен је хладњак („2" - друго) регулисано убризгавање. Вода за убризгавање узима се са потиса напојних пумпи. На излазу из прегрејача паре 3 добијамо пару потребних параметра, притиска и температуре. Добијена свежа пара се пароводом свеже паре одводи ка турбини високог притиска где врши рад. Пара која је извршила рад се пароводом хладне паре враћа на догревање у котао.

Хладна пара се одводи до улазног колектора међупрегрејача паре 1. Међупрегрејач паре 1, позиција 10 је хоризонталне изведбе, смештен је у струјном тракту котла и обешен о носеће цеви испаривача. Смер струјања паре у овом међупрегрејачу је супротан смеру струјања димних гасова. Температура паре на улазу у међупрегрејач 1 је 334°C , а на излазу из међупрегрејача 469°C . Пароводи који спајају излазне колекторе међупрегрејача паре 1 са улазним колекторима међупрегрејача паре 2 се међусобно укрштају, а у сваком од њих је уграђено регулисано убризгавање. Вода се за ово убризгавање узима са међустепене напојне пумпе. Из излазних колектора међупрегрејача 1 пароводом пара се одводи у улазне колекторе међупрегрејача паре 2. Међупрегрејач паре 2, позиција 11, смештен је такође, као и све грејне површине у струјном тракту котла и обешен је о носеће цеви испаривача. Смер струјања паре поклапа се са смером струјања димних гасова. Температура паре на улазу у међупрегрејач 2 износи 474°C , а на излазу из међупрегрејача 540°C . Пароводи који спајају излазне колекторе међупрегрејача паре 2 са топлом линијом међупрегрејања се међусобно укрштају ради изједначења температуре међупрегрејане паре. Овако добијена пара се помоћу паровода накнадно прегрејане паре одводи у турбину средњег притиска, а из турбине средњег притиска у турбину ниског притиска, где експандира до коначног притиска, након чега се одводи у кондензатор где се пара кондензује.

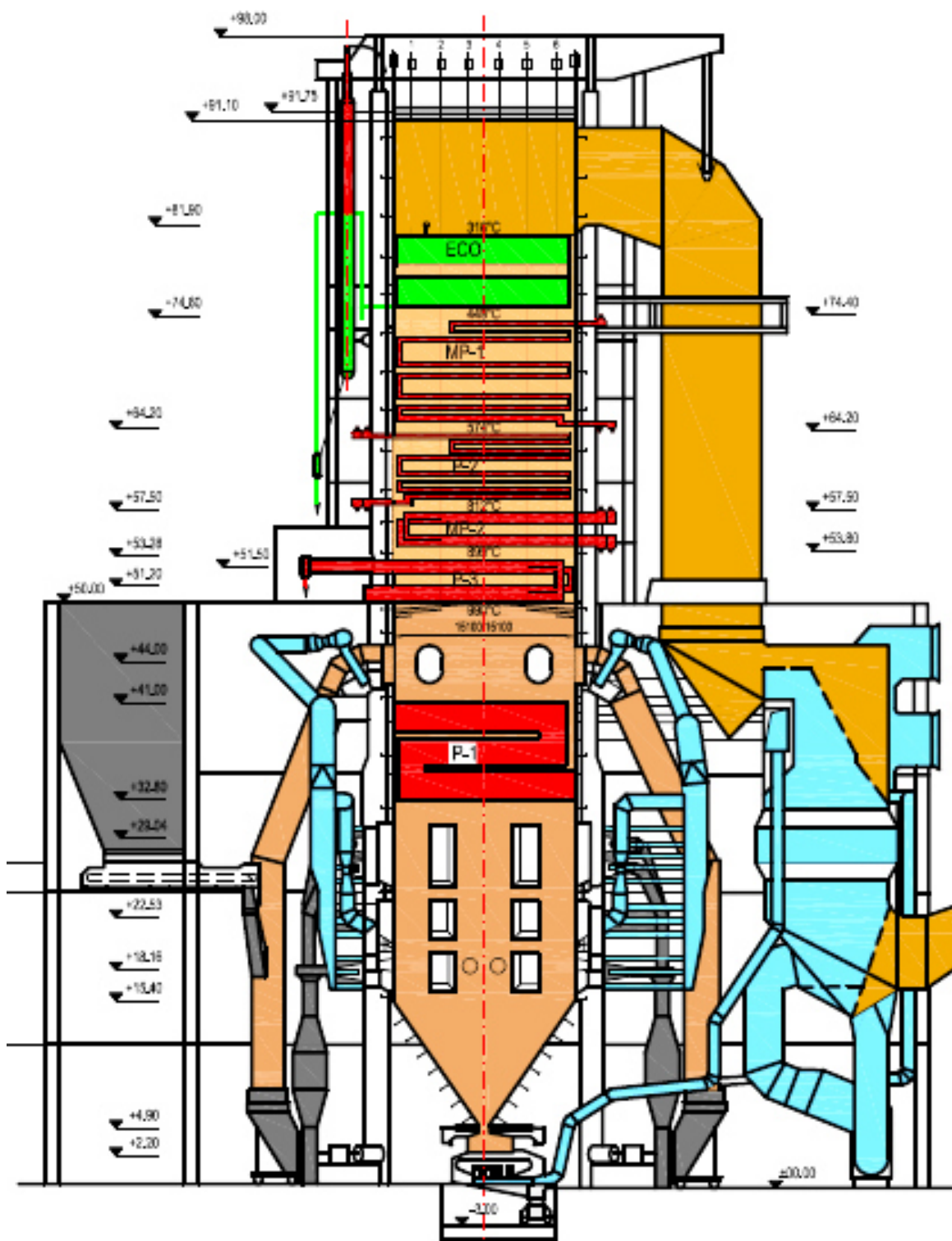
Ваздух који се користи у процесу сагоревања усисава се вентилаторима за свеж ваздух, преко усисних отвора и то као спољашни ваздух или ваздух из котларнице, односно околни ваздух. Усисани спољашни ваздух може да пролази преко парног предгрејача ваздуха или директно кроз вентилатор, ваздух се предгрева како би се температура метала почетних елемената ротационог загрејача ваздуха одржавала изнад температуре тачке росе димног гаса, што се постиже рецикулацијом загрејаног ваздуха иза ротационог загрејача ваздуха на усис вентилатора свежег ваздуха. Ваздух се у парном

предгрејачу предгрева до максималних 50°C, након чега предгрејани ваздух пролази кроз вентилатор за ваздух. Предгрејани ваздух се даље транспортује вентилатором кроз ротациони загрејач ваздуха, где се загрева до температуре од 290°C. Овако загрејани ваздух се раздељује и користи за одређене процесе. Загрејани ваздух се користи за процес сагоревања, односно ваздух за горионике угљене прашине, ваздух за мазутне горионике, ваздух за заптивање млина и ваздух за рецикулацију. Један део ваздуха се доводи и испод решетке за догоревање односно испод „рост“-а, позиција 25

Димни гасови који настају приликом сагоревања у ложишту и након проласка преко грејних површина кроз гасни тракт котла где предају топлоту радном флуиду, односно пријемнику топлоте, воде се са врха котла каналом кружног пресека, позиција 24, који се касније грана до ротационих загрејача ваздуха. Након што прођу кроз загрејач ваздуха, димни гасови се одводе до електрофилтера у којима се ослобађају највећег дела пепела. Помоћу уисних вентилатора, димни гасови се из електрофилтера транспортују до димњака преко кога се избацују у атмосферу. Један део димног гаса се враћа вентилаторима хладног димног гаса у рецикулационе канале у циљу регулације температура врелих рецикулационих гасова, односно да би се добила одговарајућа температура за сушење угља. На месту гранања, где се димни гасови усмеравају ка ротационим загрејачима ваздуха, а испод цилиндричног канала, налази се левак за пепео.

Основу носеће конструкције котла чини торањ који се састоји од четири главна носећа стуба, који су, ради потребне чврстине, међусобно повезани гредама и дијагоналама. На носеће стубове ослањају се два главна носача који служе као ослонци носеће решетке конструкције. О носећу решетку конструкције обешени су котловски зидови, грејне површине у струјном тракту котла и сепаратор паре (флаша).

Цевни зидови котла изоловани су са више слојева изолационих плоча. Посебна пажња поклоњена је изолацији „мртвих" простора на предњем и задњем зиду, у зони комора. Да би се спречила интерна циркулација, ови простори су међусобно раздвојени преградама. Топлотна изолација састоји се од унутрашњег лименог омотача, више слојева изолације и спољашњег зида који је начињен од профилисаног лима. Озид се углавном своди на озид рецикулационих канала димних гасова и млинских врата. Слика 4. је приказана диспозиција парног котла термоелектране „Костолац Б”.



Слика 4. – Диспозиција парног котла термоелектране „Костолац Б” [3]

Саставни делови котла су:

1. Загрејач воде
2. Сепаратор
3. Доњи колектори ложишних екрана
4. Ложиште
5. Носеће цеви
6. Конвективни гасни канал
7. Озрачени прегрејач
8. Конвективни прегрејач
9. Полуозрачени прегрејач
10. Први ступањ накнадног прегрејача
11. Други (излазни) ступањ накнадног прегрејача
12. Млин за угаљ
13. Рециркулациони канал
14. Глава рециркулационог канала
15. Прикључак за довођење примарног ваздуха
16. Прикључак за довођење хладних рециркулисаних димних гасова
17. Раздвајач аеросмеше
18. Канал за аеросмешу
19. Доња етажа главног горионика
20. Горња етажа главног горионика
21. Горионик за отпарке
22. Прикључак за довођење хладног ваздуха
23. Прикључак за довођење угља
24. Лимени гасни канал
25. Решетка за догоревање – раст

2.5 Системи одсумпоравања

Смањење емисије сумпор диоксида који постоји у димним гасовима насталим сагоревањем чврстог горива у парним котловима термоелектрана могуће је постићи на четири начина:

- пре процеса сагоревања тако што се сумпор и његова једињења уклањају из горива одговарајућим поступком прераде или пречишћавања,

- у току процеса сагоревања убацивањем активне материје у сам процес при чему долази да реакције SO_2 са том материјом и стварања сулфида и сулфата који се из продуката сагоревања одстрањују заједно са чврстим честицама,
- после процеса сагоревања пречишћавањем димног гаса различитим поступцима одсумпоравања димних гасова и
- заменом горива оним са мање сумпора - овај начин је врло ограничен због великог броја техничких потешкоћа.

2.5.1 Смањење емисије сумпорних оксида пре процеса сагоревања

Сумпорни оксиди се пре процеса сагоревања могу одстранити на два начина:

- пречишћавањем горива у сва три агрегатна стања и
- превођењем горива из једног у други облик у погледу агрегатног стања и хемијског састава, што је примењиво на сва чврста горива.

Пречишћавањем горива се применом различитих поступака из сировог горива одстрањује сумпор и његова једињења. Применом данас доступних технологија економски је исплативо једино пречишћавање гасовитих горива тако што се нпр. водоник сулфид одстрањује из гаса на свим налазиштима пре транспорта гасоводом. Поступци пречишћавања течних горива су доступни, али се због високе цене масовно примењују само на средње дестилате, као што су дизел горива и екстра лако лож уље за ложење. Полако се уводи у примену и код тежих фракција. Пречишћавање угља је могуће механичким и хемијским поступцима, али су цене појединих поступака изузетно високе.

Претварањем горива се од изворног горива са релативно високим садржајем сумпора добија гориво у којима је садржај сумпора знатно мањи или га уопште нема. Поступак претварања угља у течна или гасовита горива интензивно је примењиван у Немачкој за време Другог светског рата, за потребе ратне индустрије. Првобитни циљ је био добијање синтетичких течних горива, као што су уља за ложење и дизел горива, док је касније потреба за нискосумпорним горивима довеле до развоја поступака за прераду угља у течна и гасовита горива. Технолошки су освојени процеси гасификације угља и они се данас комерцијално користе, али за сада на глобалном нивоу.

2.5.2 Смањење емисије сумпорних оксида у току процеса сагоревања

Смањење емисије сумпорних оксида у току процеса се у зависности од начина додавања активне материје може се остварити на два начина:

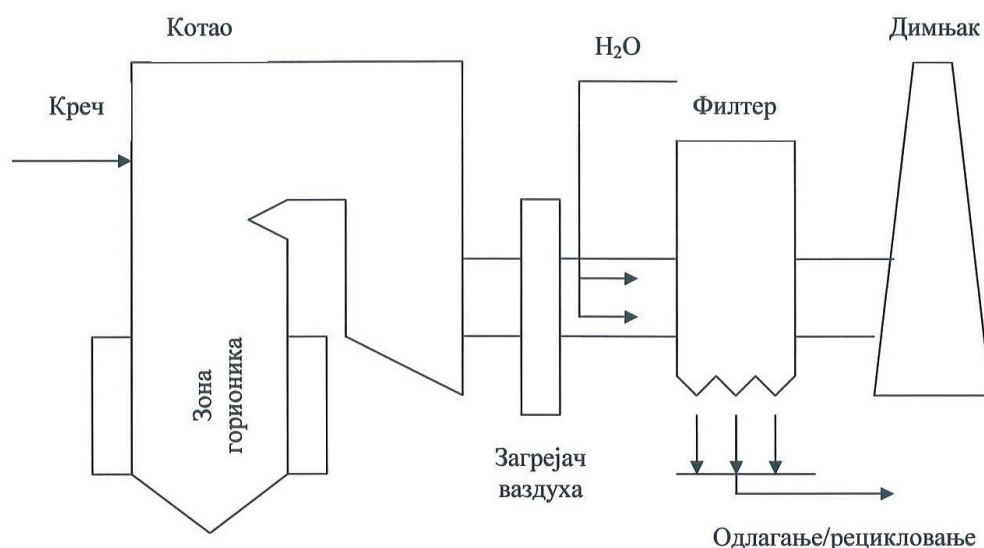
- додавањем активне материје гориву пре уласка у ложиште као што су нпр. адитиви за течна горива и
- убацивањем активне материје директно у ложиште помоћу посебне опреме, као што су нпр. дуваљке и бризгаљке.

Адитиви су различита хемијска једињења и њихов састав је пословна тајна произвођача. Активне материје (сорбенти) који се убацују у ложиште могу се наћи у облику праха што их чини погодним за удување дуваљкама или течности када се убризгавају бризгаљкама. Сорбенти су углавном једињења калцијума, магнезијума или натријума. У различитим хемијским реакцијама са сумпором из горива настају сулфати и сулфиди који се одвајају из димног гаса у тзв. одвајачима чврстих честица - електростатички или врећасти филтери. Ови поступци су познати као LIMB поступци (енг. Limestone Injection Multistage Burners). Сорбент се убацује у ложиште изнад зоне горионика и ступа у реакцију са SO_2 и SO_3 при температури од 980 до 1230°C. Овим поступком могуће је постићи степен одсумпоравања од 50 до 60%. Највећа предност овог поступка у односу на поступак смањења сумпорних оксида пре сагоревања, огледа се у знатно мањим инвестиционим трошковима при приближно истим експлоатационим условима. LIMB поступак је могуће применити на различите врсте горива и на котлове свих величина. Мана поступка је та што његовом применом није могуће остварити захтеве одсумпоравања са степеном већим од 90%. Услед повећаног оптерећења одвајача чврстих честица у неким случајевима је потребна надоградња постојећих филтера. Слика 5. је приказана општа шема LIMB поступка смањења емисије SO_2 .

2.5.3 Смањење емисије сумпорних оксида после процеса сагоревања

Одсумпоравање димних гасова као поступак за смањење емисије SO_2 је најстарији. Од двадесетих година 20. века, које се сматрају почетком примене овог поступка па до данас развијено је више од 200 различитих поступака. Поступци се разликују како по примењеним техничким решењима тако и по сорбентима који су у употреби. Од свих примењених сорбената, најекономичнијим су се показали они на бази калцијума. Међу

поменути једињењима најефикаснијим су се показали креч и кречњак. Вредност ових процеса огледа се и у могућностима коришћења производа апсорпције као грађевинског материјала.



Слика 5. - Шема LIMB система за смањење емисије SO_2 [4]

Сви поступци одсумпоровања димних гасова могу се поделити у две основне групе: мокре и суве. Подела је извршена по агрегатном стању производа реакције сорбента и сумпор диоксида из димног гаса. Поред ове поделе, процеси одсумпоровања димних гасова се у зависности од обновљивости сорбента могу поделити на регенеративне и нерегенеративне. Сликаом 6. је приказана подела поступака одсумпоровања димних гасова према првом критеријуму.

2.5.3.1 Мокри поступци одсумпоровања димних гасова

Мокри поступци одсумпоровања се одвијају у одговарајућем реактору, при чему је доминантан процес реакција између гасне фазе, коју представља димни гас и течне фазе, коју представља раствор или суспензија сорбента у виду ситних капи. Већина мокрих поступака сагоревања користи алкалну суспензију као сорбент, најчешће на бази кречњака и гашеног креча. Приликом распршивања сорбента у димном гасу, долази до стварања влажне смеше калцијум сулфида и сулфата. Обзиром да је у димним гасовима доминантан SO_2 , у смеши доминира калцијум сулфид, па је неопходно извршити оксидацију како би се

добео гипс. Оксидација се може извршити било на лицу места или касније у посебном реактору.



Слика 6. - Графички приказ поделе поступка за одсумпоровања димних гасова према критеријуму агрегатног стања производа реакције одсумпоровања [4]

Кречњак је најповољнији сорбент због своје широке доступности и економске исплативости. Гипс који настаје као споредни производ реакције може се користити као грађевински материјал. Поред поступака који користе кречњак, развијени су и поступци који користе морску воду као сорбент. Ови процеси постижу степен одсумпоровања димних гасова од скоро 90% захваљујући чему се не настају споредни производи.

Постројења за мокро одсумпоровање димних гасова чине преко 80% укупно инсталираних постројења са овом наменом у свету. Од тога се у 50% постројења примењују поступци са кречом или кречњаком као сорбентом. Мокри поступци одсумпоровања димних гасова примењљиви су на све врсте угља. Главни недостатак ових поступака је потреба за веома гломазним постројењима, као и потреба за великом количином свеже воде. Мокри поступци се могу поделити у две групе:

- поступци који се спроводе додатком гашеног креча Ca(OH)_2 и
- поступци који се спроводе додатком Fino самлевог кречњака CaCO_3 .

Као обе врсте поступака, као споредни производ настаје гипс који се касније може употребити у грађевинарству и цементној индустрији.

2.5.3.1.1 Одсумпоровање додатком гашеног креча $\text{Ca}(\text{OH})_2$

У зависности од рН вредности апсорпцијске течности која се користе током овог поступка одсумпоровања димних гасова, разликујемо два поступка:

- за рН вредност у интервалу 3,7 - 5,4 имамо кисели поступак и
- за рН вредност у интервалу 6 - 6,2 имамо неутрални поступак.

Кисели поступак одсумпоровања димних гасова је развијен као замена неутралном поступку. Разлог лежи у потешкоћама које се јављају због неконтролисаног таложења гипса у постројењу. Степен одсумпоровања димних гасова од приближно 90% није увек задовољавајући. Главне разлике у односу на неутрални поступак су:

- апсорпцијска течност, на излазу из торња има рН вредност 3,7, која се креће до вредности од 5,4 на улазу у торањ,
- мала концентрација гипса у апсорпцијској отопини, што је услов за мању опасност од стварања инкрустација гипса и
- оксидација SO_2 у SO_3 бржа је у киселој средини због већег садржаја кисеоника.

Неке од предности киселог поступка су:

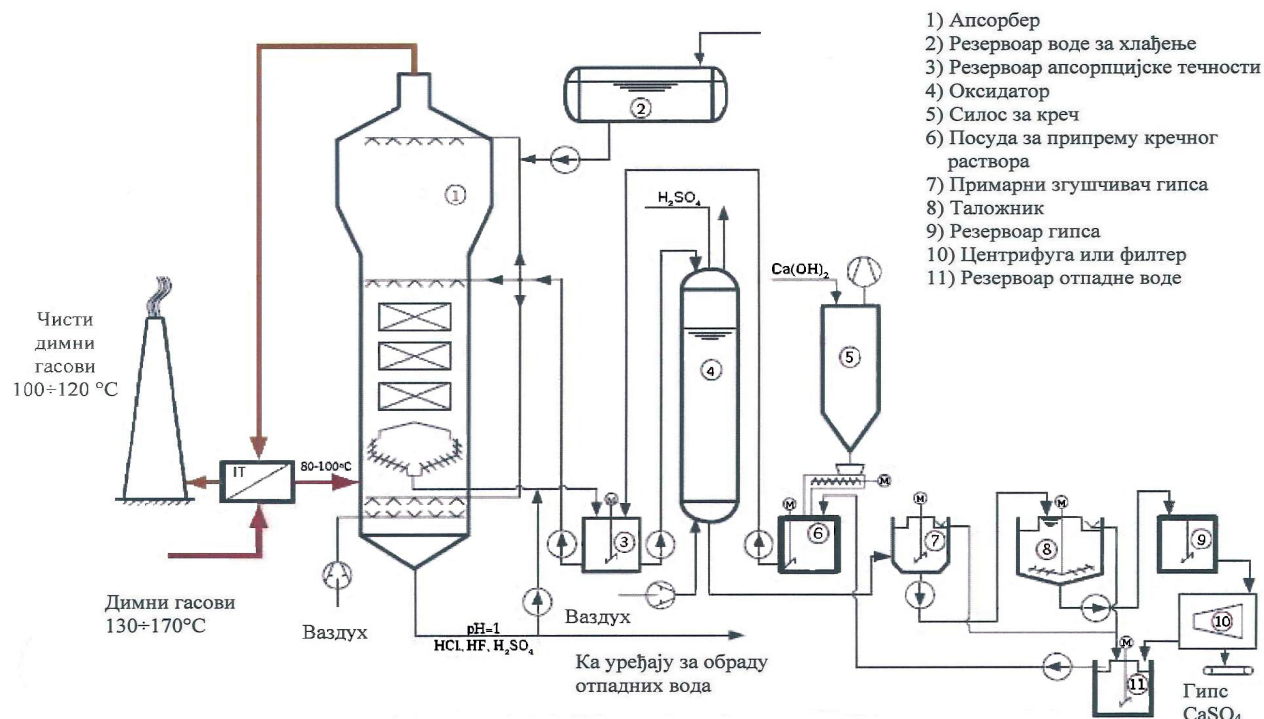
- није потребан посебан оксидатор,
- степен одсумпоровања је већи од 95%,
- стехијометријска потрошња креча је минимална и
- добијена зрна гипса имају мање воде и нечистоћа.

Избор поступка одсумпоровања димних гасова који ће бити примењен зависи од врсте горива и врсте ложишта. Неутрални поступак се користи код сагоревања са мањим коефицијентом вишка ваздуха када има и мање преосталог кисеоника у димним гасовима. Сликом 7. је приказан неутрални поступак одсумпоровања димних гасова.

2.5.3.1.2 Одсумпоровање додатком кречњака CaCO_3

Поступак одсумпоровања димних гасова додатком кречњака се разликује од претходног по томе што се уместо креча користи самлевени кречњак CaCO_3 . Сликом 8. је

приказана шема постројења мокрог поступка одсумпоровања димних гасова додатком CaCO_3



Слика 7. - Шема мокрог неутралног поступка одсумпоровања димних гасова додатком $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [4]

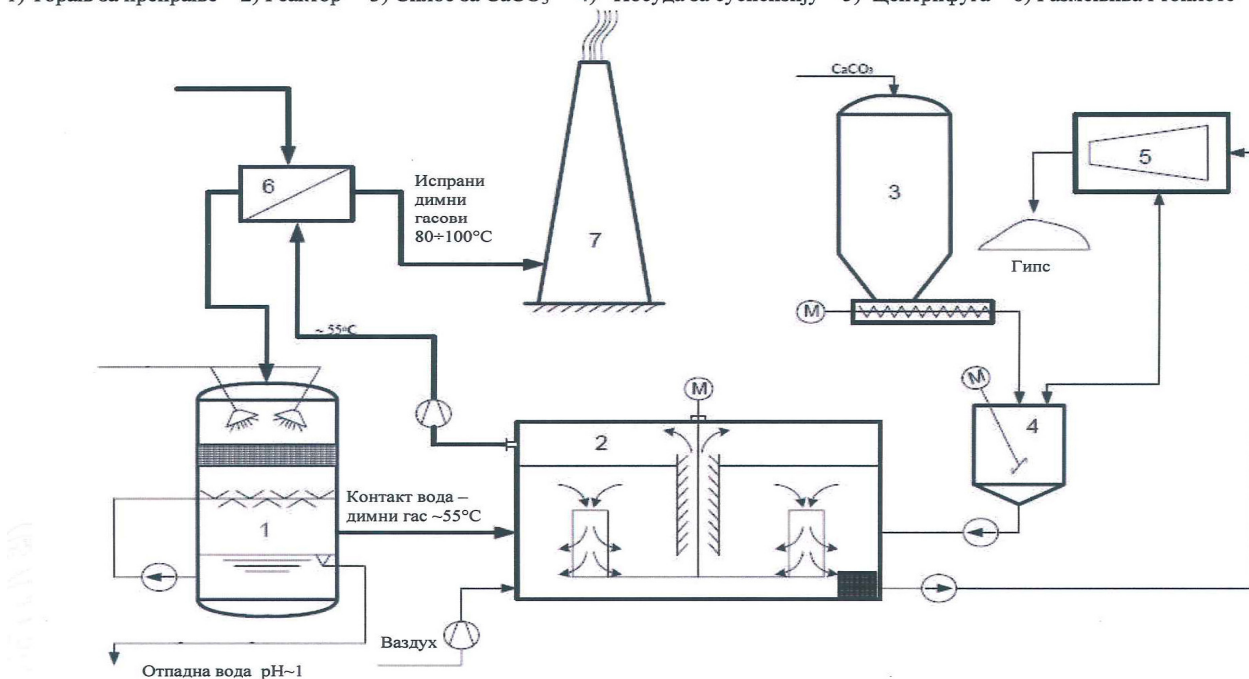
2.5.3.2 Суви поступак одсумпоровања димних гасова

Суви поступци одсумпоровања димних гасова се могу поделити у две групе: процеси који се одвијају у посебном реактору (енг. spray dry subber processes) и процеси који се одвијају у неком од делова класичног котловског постројења (енг. sorbent injection processes).

Спреј апсорбери код сувог поступка одсумпоровања димних гасова су конструкцијски врло слични апсорберима који се користе код мокрих поступака. Слика 9. је дат приказ токова у сувом скрубери. Ови процеси се заснивају на реакцији гасне и течне фазе у посебном реактору. Гасну фазу представља димни гас као предмет пречишћавања, док је течна фаза алкална суспензија или раствор који се распршује у ситне капи на врху апсорбера. Суспензија током реакције испарава, соли се таложе, а чврсти остатак суши. Чврсте честице и летећи пепео које се налазе у димном гасу одлазе у струју димног гаса до одвајача честица електростатичког или врећастог филтера. Са

гlediшта додатног одсумпоравања врећасти филтери су повољнији. У Европи се обично уграђује предодвајач летећег пепела, што даје могућност његовог коришћења у друге сврхе уместо што се измешан са сорбентом одлаже на депонију. Као сорбент се углавном користи гашени креч, а развијени су и процеси који као сорбент користе натријум карбонатом. Просечни степен одсумпоравања се креће у интервалу 80 - 90%.

1) Торањ за препраће 2) Реактор 3) Силос за CaCO_3 4) Посуда за суспензију 5) Центрифуга 6) Размењивач топлоте

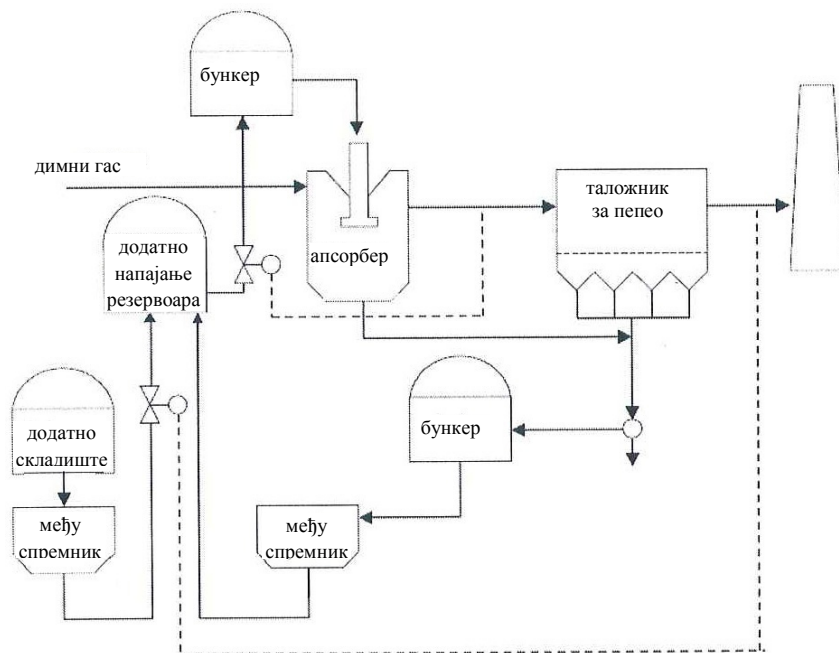


Слика 8. - Шема постројења мокрог поступка одсумпоравања додатком CaCO_3 [4]

Предности сувих апсорбера су одсуство отпадних вода, ниски губици енергије у односу на мокре системе и мањи инвестициони трошкови, једноставније пројектовање и експлоатација. Недостаци се огледају у томе што је споредни производ неупотребљив, док је цена коришћеног сорбента већа у односу на кречњак који се користи код мокрих поступака. Суви апсорбери учествују са око 8% укупних постројења за одсумпоравање димних гасова у свету. Поступци са убризгавањем сорбента у делове котловског постројења у принципу су мање ефикасни него претходно наведени мокри и суви поступци. Степен одсумпоравања код њих је око 50%. Према месту убризгавања сорбента разликујемо следеће поступке:

- убризгавање сорбента у конвективни део димног канала,
- убризгавање сорбенат у димни канал и

- убризгавање сорбента у прву секцију електрофилтера.



Слика 9. - Приказ токова у сувом спреј скрубери [4]

2.5.3.3 Комбиновани суви поступци одсумпоровања димних гасова

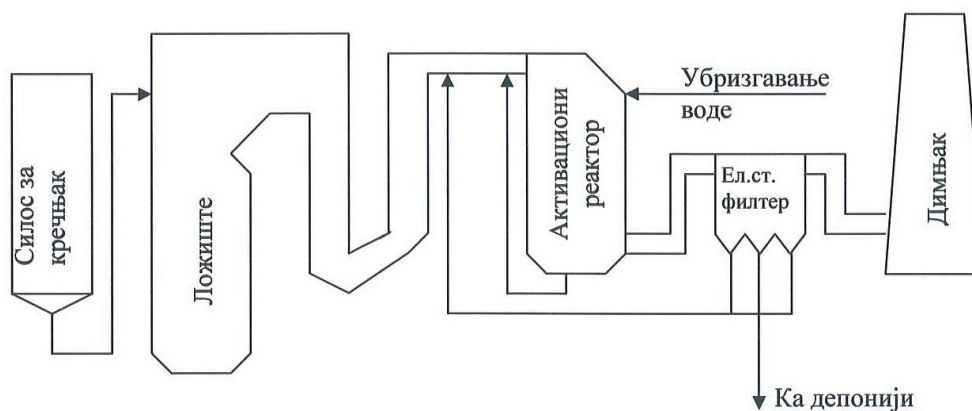
Поступци из ове групе поступака за одсумпоровање димних гасова се могу поделити у две основне групе:

- LIFAC – енг. Lime Injection into the Furnace and Activation of Calcium) и
- LIDC – енг. Limestone Injection with dry Scrubbing.

Основни принципи LIFAC поступка је удување спрашеног сорбента нпр. кречњака у ложиште и касније овлаживање димног гаса у посебном, активационом реактору који се уграђује као обилазни вод главног димног канала. Слика 10. је приказана шема овог поступка. Поступак је применљив за све котлове који користе угаљ или уље за ложење. Постројења LIFAC поступка не заузимају велики простор и лако се дограђују у постојеће котловско постројење. Степен одсумпоровања димних гасова овим поступком креће се до 90%. Његова највећа предност у односу на остале поступке је прилагодљивост различитим условима рада или захтевима за емисију. Оптимизација процеса могућа је подешавањем количине удуваног кречњака у ложиште и променом места удувавања у зависности од

садржаја сумпора у коришћеном гориву, као и подешавањем количине воде убризгане у секцију за овлаживање активационог реактора.

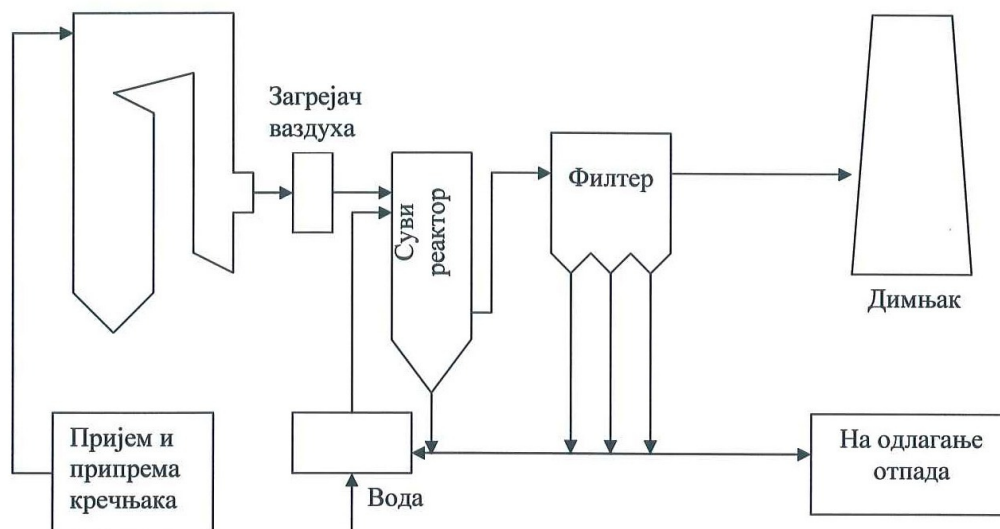
Процес је подељен у две фазе. У првој фази спрашени кречњак CaCO_3 се пнеуматским системом транспортује до дуваљки кроз које се удубава у горњи део ложишта котла у коме се температура креће у интервалу од 1000 до 1100°C, при чему долази до тренутног термичког разлагања калцијум карбоната на калцијум оксид CaO и угљен диоксид CO_2 . Део SO_2 и целокупан SO_3 из димног гаса реагују са CaO и образују калцијум сулфат CaSO_4 који заједно са преосталим SO_2 и летећим пепелом у струји димног гаса одлази у димни канал. Друга фаза процеса је практично одсумпоровање, као поступак после процеса сагоревања и одвија се у посебном реактору у који се кроз двофлуидне млазнице убризгава вода. Гас за распршивање је компримовани ваздух при чему долази до хлађења димног гаса, приближно до тачке росе, претварањем дела CaO који није хемијски реаговао у калцијум хидроксид Ca(OH)_2 који реагује са преосталим SO_2 у димном гасу при чему се ствара калцијум сулфит CaSO_3 који се даље оксидише у CaSO_4 . Крајњи производ реакције је суви прах који се лако издваја из димног гаса заједно са летећим пепелом у постојећем или по потреби повећаном електростатичком или врећастом филтеру.



Слика 10. - Шема LIFAC поступка одсумпоровања димних гасова [4]

LIDC поступак је настао као последица даљег развоја LIMB поступка, комбинујући технологије убризгавања сорбента у ложиште и спреј апсорпције. Шема поступка дата је Слика 11. Кречњак у праху се удубава у делове ложишта на високој температури тако да долази до разлагања CaCO_3 на CaO и CO_2 , што представља процес калцинације. У самом ложишту и касније дуж димног канала долази до реакције CaO и SO_x , а настали производи бивају однешени заједно са кречом који није хемијски реаговао и летећим пепелом до

одвајача честица где се издвајају из димног гаса. Издвојене чврсте честице које садрже креч у праху који није хемијски реаговао, летећи пепео и материјали који је учествовао у реакцији користе се за припрему суспензије која се затим распршава у ситне капи у посебном спреј апсорберу постављеном непосредно испред одвајача честица, филтера. У току лабораторијских испитивања постигнути су степени одсумпоровања од 80 до 90% и више када је као одвајач чврстих честица коришћен врећасти филтер. Производ реакције код овог система је суви прах као и код сувих спреј апсорбера, али се као сорбент користи јефтинији кречњак, у односу на гашени креч.



Слика 11. - Шема LIDC поступка одсумпоровања димних гасова [4]

3. ЦИЉ ИЗРАДЕ СИСТЕМА ОДСУМПОВАЊА

Основни циљ изградње система за одсумповање димних гасова је смањење емисије сумпор диоксида и њено довођење на максимално дозвољене вредности прописане домаћом и регулативом Европске Уније.

Без обзира на значај и тежину који су евидентни, примарни циљ током реализације припрема за израду једног оваквог постројења није анализа његове профитабилности, већ се сагледава његова друштвена корисност која се огледа у значајном побољшању које се очекује на пољу утицаја на животну средину. Поред тога, његова реализација омогућава напредак и развој домаће индустрије обзиром да подразумева ангажовање домаћих фирми које се баве производњом опреме, као и фирми које се баве извођењем грађевинских радова.

Економска корист која произилази из постојања једног оваквог система се може посматрати кроз следеће елементе:

- запошљавања радника који ће произвести, изградити и управљати радом постројења за одсумповање димних гасова, а која представља додатну корист у односу на горе поменути друштвену корист,
- директна економска корист као резултат производње и испоруке значајне количине опреме од стране локалних произвођача и
- разматрано постројење за одсумповање димних гасова ће као споредни производ производити гипс комерцијалог квалитета, спреман за непосредну употребу, чијим ће пласирањем на тржиште бити остварена додатна финансијска корист.

Као што је на почетку већ речено основни циљ и сврха изградње једног оваквог постројења има еколошку компоненту, па се у том смислу може истаћи рад Народне Скупштине Републике Србије у склопу евро интеграција Републике Србије. Дана 14.10.2004. године усвојена је Резолуција о приступању Европској Унији, која за Србију, као и за друге европске земље које су или чланице или теже да то постану, представља атрактивну средину за развој и мирну будућност. Канцеларија за прикључење Европској Унији Републике Србије и представници Европског покрета били су укључени у рад

Европског комитета за интеграције, учествујући у формирању текста резолуције. Заједнички рад Владе и Скупштине Републике Србије, као и представника цивилног друштва на припреми овог документа представља пример успешне сарадње свих страна у процесу европских интеграција, а која је неопходна за остваривање социјалног и политичког консензуса по питању прикључења Европској Унији.

У октобру 2005. године Европска Унија је са Србијом започела разговоре о потписивању Споразума о стабилизацији и придруживању, као документа који представља први корак ка прикључењу Европској Унији. Након кратког прекида који је уследио током 2006. године, поменути разговори су настављени у другој половини 2007. године.

Као кључни аспект Националне стратегије прикључења Европској Унији Републике Србије, издате у јуну 2005. године, наводи се усклађивање регулативе Републике Србије са регулативом ЕУ, што подразумева и законе који се односе на заштиту животне средине. Усклађивање законске регулативе Републике Србије започето је након усвајања Закона о заштити животне средине Републике Србије. Један од најважнијих сегмената овог процеса односи се на мере заштите квалитета ваздуха путем смањења емисија на самим изворима загађења. Имајући у виду да убедљиво највећи допринос укупним емисијама дају управо термоелектране, очекује се да ће први захтеви Европске Уније у разматраној области бити усмерени на објекте ЕПС-а овог типа. У будућем периоду приоритет ће бити дат активностима на смањењу емисија сумпорних оксида из постојећих термоелектрана, што имплементацији постројења овог типа даје посебан значај.

Без обзира на све претходно речено, а што је везано за усклађивање националног са законодавством Европске уније, већ постојећим Законом о интегрисаном спречавању и контроли загађења, члан 7., објављеном у Сл. гласнику РС бр. 135/04, прописано је да оператери имају обавезу да од надлежног тела добију тзв. еколошку дозволу за управљање инсталацијама и спровођење одређених активности. У поменутој дозволи дефинисани су и услови рада инсталација и спровођења активности, као и обавезе оператора, у зависности од природе активности и њиховог утицаја на животну средину. Међу наведеним обавезама су и оне везане за ограничење емисија загађујућих материја за које је утврђено да су емитоване из оваквих постројења.

На основу свих изнетих чињеница и услова јасно је да је изградња постројења за одсумпоравање гасова, чија је сврха постојања смањење емисија оксида сумпора, неопходна и неизбежна за добијање дозволе за будући рад термоелектране „Костолац Б”.

Термоелектрана “Костолац Б” учествује са 9% у укупно расположивим електроенергетским капацитетима Републике Србије, а истовремено представља и највећег емитера сумпорних оксида. Из тог разлога је било планирано да прво постројење за одсумпоравање димних гасова буде изграђено баш на термоелектрани “Костолац Б”, а потом редом на термоелектранама “Никола Тесла Б”, “Костолац А” и “Никола Тесла А”. Као прво постројење у низу истих, а такође и као прво овог типа у Србији уопште, постројење за одсумпоравање гасова на термоелектрани “Костолац Б” ће свакако послужити као модел постројењима овог типа чија ће изградња тек уследити. У том смислу разматрано постројење треба посматрати као кључну компоненту Плана заштите животне средине Републике Србије, али и њене стратегије прикључења Европској Унији уопште и када је заштита животне средине у питању.

Термоелектрана “Костолац Б” на годишњем нивоу обезбеђује преко 15% укупно произведене електричне енергије у термоелектранама у Републици Србији, са просечном испоруком енергије мрежи од преко 3.400 GWh годишње. Табелом 1. су приказани главни подаци везани за удео производње термоелектране “Костолац Б” у укупној нето производњи енергије из термоелектрана ЕПС-а, као и допринос укупним емисијама CO₂. Као поређење, у табели су такође приказани и подаци који се односе на рад термоелектране “Никола Тесла А”.

Табела 1. – Удео производње термоелектране “Костолац Б” у укупној производњи термоелектрана ЕПС

	јединица	блок бр. 1	блок бр. 2	Термоелектрана „Костолац Б” -укупно-	Термоелектрана „Никола Тесла А” -укупно-
просечно произведена електрична енергија	GWh	1.756	1.691	3.447	8.622
удео у нето производњи електричне енергије из ТЕ	%	7,9	7,6	15,5	38,7
просечна емисија SO ₂	t/god	51.55	49.47	100.815	112.794
просечан допринос укупним емисијама SO ₂	%	13,9	13,4	27,3	30,5
специфична емисија SO ₂	g/kWh	29,3	29,3	29,3	13,1

Поред тога што реализација једног оваквог пројекта представља трајни допринос поступку имплементације међународне регулативе у области смањења емисија CO₂, појавиће се и ефекти које ће изградња постројења за одсумпоровање димних гасова имати на регион у коме се налази сама термоелектрана. Неки од њих су:

- побољшање стања животне средине,
- смањење прекограничног транспорта загађења на што мању меру и
- смањење могућности појаве болести респираторних органа код становништва које насељава област у околини термоелектране.

Термоелектрана “Костолац Б” се састоји од два блока, блок бр. 1 и блок бр. 2, инсталисане снаге по 348,5 MW. Блокови су пуштени у рад 1988. и 1991. године. Примарно гориво које се користи у термоелектрани је лигнит са површинског копа Дрмно који се налази на удаљености од 1 km источно од термоелектране. Лигнит као гориво карактерише ниска топлотна моћ, релативно висок садржај влаге и пепела, као и укупан садржај сумпора од око 1,3%. У оквиру постојеће термоелектране налазе се и електрофилтери чија је функција контрола емисије честица. Ипак, термоелектрана не садржи постројење које би омогућило контролу тј. смањење емисија сумпор диоксида. Када у термоелектрани сагорева примарно гориво, већ поменути лигнит концентрације CO₂ у излазним гасовима крећу се у опсегу 5.000-7.000 mg/Nm³, са специфичним емисијама сумпора које износе око 30 kg/MWh. Наведене вредности увелико премашују максимално дозвољене вредности прописане како домаћом, тако и законском регулативом Европске Уније.

Циљ изградње постројења за одсумпоровање димних гасова је контрола емисија сумпор диоксида из термоелектране “Костолац Б” кроз примену влажног кречњачког поступка. На тај начин ће бити осигурано да ова термоелектрана емитује емисије сумпор диоксида у вредностима које су ниже од регулативом Европске уније максимално дозвољених. На тај начин би био омогућен несметан рад ове термоелектране до краја њеног радног века. Планирано постројење за одсумпоровање димних гасова ће у себи имплементирати на тржишту тренутно најбоље расположиве технике и технологије, које су истовремено адекватно примењиве на услове рада и положај термоелектране “Костолац Б”. Постројење за одсумпоровање гасова ће имати висок степен поузданости и расположивости на свим нивоима, уз примену пројектних решења која ће бити на нивоу

савремених решења у овој области, уз истовремено смањење времена изградње и оперативних трошкова, као и са нижим степеном ризика.

4. ТЕХНИЧКИ ОПИС

4.1 Опис технолошког процеса одсумпоравања димних гасова

Технологија одсумпоравања димних гасова влажним поступком, уз коришћење кречњака као реагенса и тзв. влажно третирање димног гаса, представља у свету најчешће примењивану технику смањења садржаја сумпор диоксида (CO_2) у димним гасовима емитованим из термоенергетских постројења са котловима снага веће од 300 MW [2]. Поменута технологија се у свету примењује дуги низ година, што само по себи подразумева континуално побољшање перформанси постројења. Стога се поступак влажног одсумпоравања димних гасова сматра комерцијално зрелом технологијом, што представља услов да се данас на тржишту може наћи велики број испоручилаца потребне опреме. Посматрано са аспекта технолошког процеса, одсумпоравање димних гасова се врши после пречишћавања у електрофилтерском постројењу, који из димног гаса одстрањује прашину. Отпрашени димни гас усмерава се ка вентилаторима димног гаса и бустер вентилаторима, а потом и у апсорбере у којима се одвија његово пречишћавање. Након пречишћавања, димни гас задовољава прописане вредности када је његов хемијски састав у питању, што је довољан услов да пречишћени димни гас кроз димњак постројења буде испуштен у атмосферу. Пречишћавање димног гаса се врши у контакту димног гаса са суспензијом кречњака, који се одвија у апсорберу система за одсумпоравање.

Струјање димног гаса и суспензије у апсорберу је супротносмерно: гас се уводи у апсорбер у доњем делу и струји нагоре, долазећи у контакт са распршеном суспензијом кречњака, која пада наниже са неколико нивоа за распршивање. Број нивоа распршивања зависи од захтеване ефикасности одсумпоравања, као и задатог опсега улазних концентрација сумпор диоксида. Суспензија која циркулише у апсорберу се рецикулационим пумпама усмерава у млазнице за распршивање суспензије, распоређене на конзолним носачима у апсорберу, где се распршује до финих капљица и доводи у равномеран контакт са струјом димног гаса. Капљице суспензије апсорбују CO_2 из димног гаса путем реакције која се одвија између CO_2 и реагенса тј. сорбента из суспензије кречњака. Хлороводоник (HCl), који се налази у димном гасу, такође бива апсорбован и неутрализован реагујући са кречњаком, чиме бивају формиране растворљиве соли, што

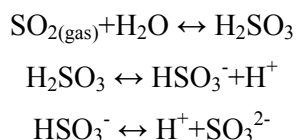
доводи до акумулације јона хлорида у процесној суспензији. Пречишћени димни гас пролази кроз елиминатор капи како би се из њега уклониле капљице воде пре уласка у димњак. Како се по уласку у апсорбер димни гас нагло хлади у контакту са водом, одређена количина воде испарава тако да је димни гас на излазу из апсорбера засићен влагом. Температура димног гаса на излазу из апсорбера креће се у интервалу 64-66°C.

4.2 Хемијске реакције током процеса одсумпоравања димних гасова

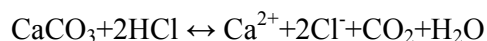
У влажном кречњак/гипс поступку одсумпоравања димних гасова одвија се серија сложених и контролисаних реакција које се одвијају у гасној, течној и чврстој фази у неколико корака: апсорпција, неутрализација, оксидација и таложење. Укупна једначина која приказује посматрани процес у целини, даје приказ основних материја које учествују у поступку и из њега резултују и гласи:



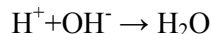
Први корак у поступку одстрањивања сумпор-диоксида из димног гаса је његова апсорпција од стране апсорпционе суспензије. Када једном доспе у суспензију, сумпор-диоксид производи сулфидне и бисулфидне јоне. Природни резултат процеса апсорпције сумпор-диоксида је повећање концентрације јона водоника (H⁺) или смањење pH вредности суспензије, у складу са следећим хемијским реакцијама:



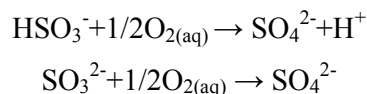
Претходно наведене једначине равнотежног стања јасно показују да ниска pH вредност (висока концентрација водоничних јона) утиче на смањење апсорпције CO₂. Неутрализација, која ће у наставку бити детаљније објашњена, због тога представља кључни део влажног поступка одсумпоравања димних гасова. Процес апсорпције CO₂ који се одвија у апсорберу је процес превођења гасовитог CO₂ у течну фазу. Истовремено са одвијањем апсорпције CO₂ долази и до апсорпције халогенида, у првом реду хлороводоника. Садржај хлороводоника у димном гасу зависи од садржаја хлора у гориву. Главна реакција се може приказати следећом једначином:



Реакција неутрализације у влажном поступку одсумпоровања димних гасова може поједностављено бити приказана следећом једначином:

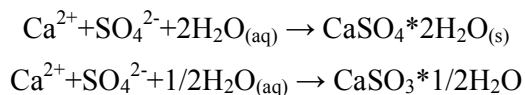


, где је H^+ продукт апсорпције киселог гаса, а OH^- продукт реакције растварања кречњака. Секундарном реакцијом апсорпције у реакционом базену апсорбера од сулфида и бисулфида добијају се сулфати:



До приказане реакције оксидације може доћи природним путем, као последица присуства кисеоника у димном гасу, али може бити изазвана и контактом са компримованим ваздухом у суспензији реакционог базена апсорбера.

Сулфатни јони у суспензији сједињаваће се са јонима калцијума и таложити у виду формираног гипса (калцијум сулфат дихидрат). На сличан начин, сулфидни јони ће се сједињавати са јонима калцијума и таложити као калцијум сулфит хемихидрат. Молски удео калцијум сулфат дихидрата у укупној количини калцијум сулфат дихидрата и калцијум сулфид хемихидрата дефинисан је као степен оксидације у систему одсумпоровања димних гасова.



Реакције приказане у сваком горе наведеном кораку процеса могу бити груписане у три опште категорије, у складу са агрегатним стањима која се у њима појављују: реакције гас-течно, реакције течност-течно и реакције течност-чврсто. Степен одстрањивања сумпор-диоксида у процесу одсумпоровања може се контролисати или бити ограничен степеном одвијања било које од претходно приказаних реакција.

4.3 Пројектни параметри постројења за одсумпоровање димних гасова

Параметри на основу којих ће бити спроведено пројектовање блокова постројења за одсумпоровање односе се на димне гасове на улазу и излазу из постројења, као и на нус-производ тј. гипс. Поменути параметри су приказани Табелом 2. која приказује пројектне параметре улазног димног гаса по блоку и Табелом 3. која приказује пројектне параметре излазног димног гаса по блоку.

Табела 2. – Пројектни параметри улазног димног гаса по блоку

процесни параметри	јединица	блок Б1/Б2
температура димног гаса	°C	175
проток димног гаса (STP, суви гас)	m ³ /h	1.469.000
проток димног гаса (STP, влажни гас)	m ³ /h	1.830.530
проток димног гаса (реални 170°C)	m ³ /h	2.970.000
H ₂ O (STP, влажна база, кисеоник)	запремински %	19,75
O ₂ (STP, суви гас)	запремински %	8,0
CO ₂ (STP, суви гас)	запремински %	11,46
концентрација SO ₂ (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	7.661
концентрација пепела (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	50
концентрација SO ₃ (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	50
концентрација HCl (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	50
концентрација HF (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	50

Табела 3. – Пројектни параметри излазног димног гаса по блоку

процесни параметри	јединица	блок Б1/Б2
концентрација SO ₂ (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	<200
концентрација пепела (STP, суви гас, 6% O ₂)	mg/Nm ³	<30
концентрација капљица у димном гасу на излазу из елиминатора капљица	mg/Nm ³	<75
температура димног гаса на улазу у димњак	°C	~66.2

Као резултат реакције димних гасова и суспензије кречњака формира се калцијум сулфид, који као тежи пада на дно реакционог базена, који је смештен у доњем делу апсорбера. Део суспензије одстрањује се из процеса у циљу уклањања нагомиланог гипса који се

одводи на процес примарног угушћења и затим на систем вакуум филтера, ради добијања сувог гипса, који се испоручује на тржиште или се отпрема на депонију гипса. Табелама 4. и 5. су приказане основне карактеристике гипса из процеса одсумпоровања и геотехничке особине гипса после двостепеног одводњавања.

Табела 4. – Основне карактеристике гипса

карактеристика/параметар	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или гипс
d50	35 – 55 μm
d95	100 – 185 μm
d85	60 – 90 μm
специфична густина	2,3 – 2,6 t/m^3
насипна маса	0,7 – 1,0 t/m^3
запреминска маса	0,9 – 1,2 t/m^3

Табела 5. – Геотехничке особине гипса после двостепеног одводњавања

карактеристика/параметар	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или гипс
водопропусност	$1,0 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$
притисна чврстоћа	0,2 – 0,4 МПа
кохезија	0 – 0,06 МПа
унутрашњи угао трења	32 – 42 °
угао насипања	38 – 46 °
пластичност	0

Основни пројектни билансни параметри процеса одсумпоровања приказани су Табелом 6.

Табела 6. – Основни пројектни билансни параметри процеса одсумпоровања

процесни параметри	јединица	величина
уклоњени сумпор-диоксид	t/h	10.960
потрошња процесне воде	m^3/h	max 144,4
потрошња кречњака	t/dan	max 432
суспензија гипса на излазу из апсорбера (~20% концентрације чврсте материје)	m^3/h	135,0
повратна вода из хидроциклона суспензије гипса (~4% концентрације чврсте материје)	m^3/h	95,0
количина суспензије гипса	m^3/h	~47,8

(~50% концентрације чврсте материје		
количина гипса (влага до 10%)	t/h	~29,3
количина отпадних вода	m ³ /h	~7
концентрација хлорида у сувом гипсу	ppm	335
концентрација хлорида у отпадној води	ppm	8.000

4.4 Конфигурација постројења за одсумпоравање димних гасова

Постројење за одсумпоравање димних гасова представља комплексан систем који се састоји од следећих подсистема:

- систем апсорбера,
- систем димног гаса,
- систем за пријем и складиштење кречњака,
- система за припрему кречњачке суспензије, укључујући:
 - систем за припрему кречњачке суспензије и
 - систем за допрему и складиштење кречњачке суспензије.
- систем за одводњавање суспензије гипса,
- системи дренаже,
- помоћни системи (систем технолошке воде, систем за напајање електричном енергијом, систем управљања, систем компримованог ваздуха, термотехничке и хидротехничке инсталације) и
- систем за транспорт и одлагање гипса.

4.4.1 Систем димног гаса

Димни гас је продукт сагоревања горива и представља смешу гасова и то ваздуха, сумпорних, азотних и угљених оксида, флуорида и хлорида. Њихова концентрација зависи од карактеристика самог горива тј. угља у овом случају и процеса сагоревања. Осим гасовите компоненте, димни гас садржи и чврсте честице минералних компоненти у гориву у облику пепела. Сумпорни оксиди настају у процесу сагоревања када долази до оксидације сумпора присутног у гориву и формирања сумпор диоксида CO₂ и сумпор триоксида CO₃, при чему више од 97% сумпорних оксида у димном гасу чини CO₂.

Оба блока термоелектране “Костолац Б” имају посебан систем димног гаса. Елементи који га сачињавају су:

- бустер вентилатор, који се налази пре улаза димног гаса у апсорбер и
- систем канала система димног гаса који се састоји од излазног канала из вентилатора димног гаса који води до бустер вентилатора, канала који спаја бустер вентилатор и апсорбер, канал између апсорбера и новог димњака, као и by-pass канал.

Бустер вентилатор се налази испред апсорбера и својом активношћу димном гасу даје потребну брзину, која у условима максималног трајног капацитета котла износи око 17 m/s. Топли димни гас из котла улази у апсорбер иза бустер вентилатора. Захваљујући енергији коју поседује након изласка из бустер вентилатора, димни гас се креће навише кроз слој распршивача, а као последица тога хлади се до температуре засићења. Кречна суспензија у апсорберу апсорбује CO₂ из димног гаса. Тако пречишћени димни гас се испушта у атмосферу кроз нови димњак. У систему димног гаса поставља се систем клапни у циљу омогућавања нормалног рада система за њихово одсумпоравање. Поред ове, систем клапни има и функцију пребацивања протока димних гасова на by-pass канал у случају ванредних ситуација. Клапне се налазе на улазу и излазу из канала, као и на улазу у by-pass канал. Режим рада система клапни је такав да су током нормалног рада постројења клапне на улазу и излазу из димног канала отворене, док су при ванредним условима рада ове клапне затворене, а димни гас се преусмерава на by-pass канал и преко димњака испушта директно у атмосферу. Положај димњака одређен је у складу са функционалним и технолошким захтевима система у целости. Предвиђено је да саставни делови димњака буду спољашњи армиранобетонски плашт висине 177 m и две унутрашње челичне димоводне цеви, које су за 3 m више од плашта тј. висине су 180 m. Излаз из сваког апсорбера је везан за једну цев. Армиранобетонски плашт димњака је у основи кружног облика променљивог пречника који се смањује са висином, па тако у подножју износи 25 m, а на врху 17,5 m. Челичне цеви су пречника 6,7 m и у циљу обезбеђивања крутости и стабилности димњака спојене су са плаштом димњака.

4.4.2 Систем за пријем и складиштење кречњака

4.4.2.1 Допрема и складиштење кречњака

Транспорт кречњака до термоелектране “Костолац Б” се врши камионима, с тим што је пројектом предвиђена и могућност допреме кречњака железницом. Пројектом је предвиђена изградња складишта кречњака дужине 75 m, ширине 26 m и висине 9 m, које би било смештено у близини постројења за припрему кречњачке суспензије. Складиште би било зидано од армираног бетона до висине од 1 m, а од висине 4,5 m затворено једноструким таласатим лимом и надстрешницом од једноструког челичног таласастог лима. Предвиђени капацитет складишта је 5.040 тона, што је довољно за седмодневни рад оба блока. Кречњак се допрема у гранулама величине до 19 mm.

4.4.2.2 Транспорт кречњака од складишта до силоса

Из складишта које је надземне конфигурације, кречњак се утоваривачем допрема до подземних истоварних бункера. Из истоварних бункера кречњак пада на вибрационе додаваче, који уситњавају допремљени кречњак, чиме је омогућено одвајања метала из пристиглог кречњака, помоћу магнетних одвајача који се налазе изнад вибрационих додавача. Сваки вибрациони додавач усмерава материјал на припадајући елеватор који кофицама подиже кречњак до врха силоса кречњака. Елеватори се налазе уз силос кречњака и потпуно су затворени. Силос кречњака има ефективну запремину од $\sim 2200 \text{ m}^3$ и два излазна отвора кроз које материјал у одређеним количинама прелази на тракасте додаваче. Ови додавачи су фреквентно регулисани чиме се омогућава дозирање кречњака у опсегу 0-38 t/h. Сваки тракасти додавач опслужује по један млин за влажно млевење кречњака.

4.4.2.3 Систем за одпрашивање

Као последица присуства ситних фракција у маси приспелог кречњака, у оквиру система за прихват, транспорт и манипулацију кречњаком може доћи до запрашивања околног радног простора. Ради елиминације могућности настанка ове појаве односно сузбијања прашине предвиђени су следећи системи за отпрашивање:

- систем за отпрашивање истоварних бункера, који подразумева постојање два филтера који ће купити сву прашину која настане при испуштању кречњака кроз истоварне бункере; овај суви систем поседује и издувне вентилаторе и
- систем за отпрашивање силоса, изведен као суви систем отпрашивања са врећастим филтером смештеним на самом силосу; сврха овог отпрашивача је сакупљање прашине која лебди у улазном делу силоса.

Прашкасте материје прикупљене у врећастом филтеру се каналом на месту претовара, деловањем гравитације одводе у елеватор, који је потпуно затворен и даље у дневни силос за кречњак. Прашкасте материје прикупљене у врећастом филтеру на силосу одводе се у силос. Отпрашени ваздух се помоћу вентилатора, који се налазе на сваком филтру емитује у ваздух.

4.4.3 Систем за припрему суспензије кречњачке

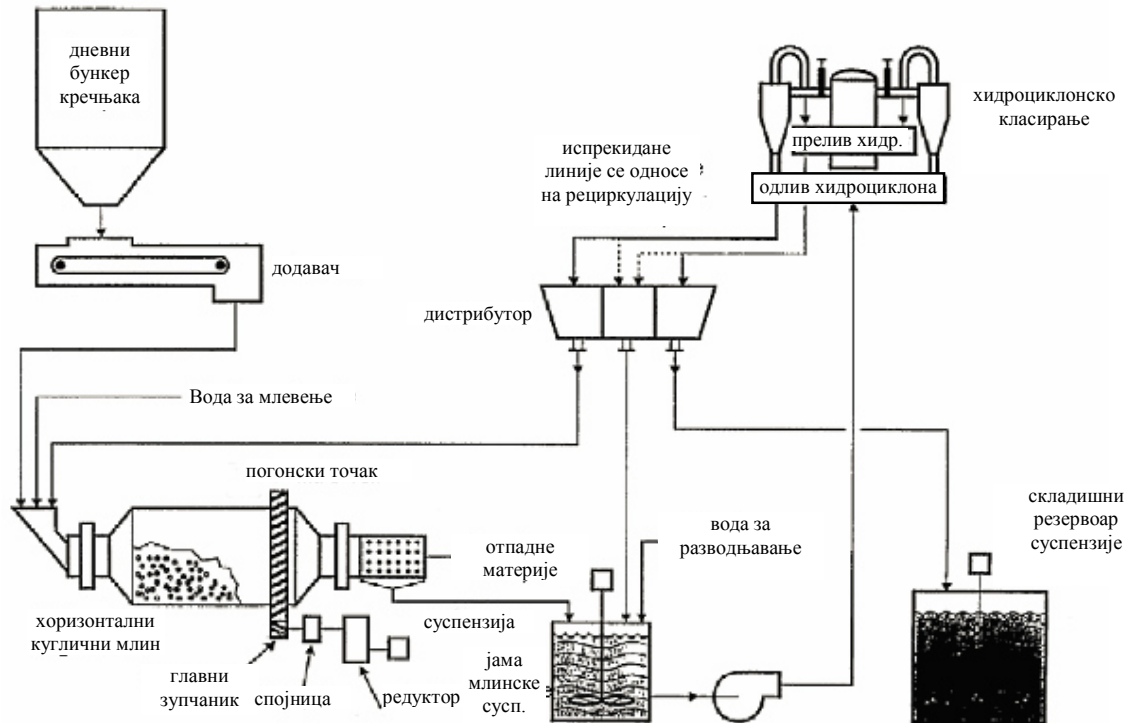
Систем за припрему кречњачке суспензије је тако пројектован да својим радом опслужује оба блока термоелектране “Костолац Б”. Његови саставни елементи су:

- систем за истовар и складиштење кречњака састављен од два транспортера, два вибрациона дозера, два елеватора и једног дневног силоса са системом за отпрашивање,
- два млина са куглама за мокро млевење и два циркулациона резервоара намењена складиштењу суспензије,
- два хидроциклоне, по један за сваки млин у којима се издваја суспензија кречњака жељене гранулације честица, док се талог враћа у млин на поновно млевење и
- систем за складиштење и отпрему суспензије, који чине пуфер резервоар суспензије кречњака, пумпе за транспорт суспензије, транспортни цевоводи и резервоар суспензије кречњака.

Дробљени кречњак гранулације до 19 mm, камионом се транспортује до приручног складишта одакле багером бива истоваран у подземни транспортер. Помоћу вибрационог дозера и елеватора кречњак се убацује у дневни силос. Запремина силоса је 2.232 m³. Количина кречњака смештена у силос је довољна за рад оба апсорбера у периоду од 72 h. На дну силоса се налазе две конусне корпе, а на врху два отпрашивача који раде на

принципу вибрационог врећастог филтера. На тај начин се смањује емисија честица у атмосферу. Кречњак се из дневног силоса помоћу висећег тракастог транспортера преноси до млина са влажним куглама. Пројектом су предвиђена два куглична млина, капацитета по 29 t/h, од којих један ради без прекида, а други са прекидима. Млинови су тако димензионисани да укупан капацитет оба млина обезбеђује млевење око 150% кречњака потребног за третман димног гаса из оба блока при пројектним условима. На основу количине обезбеђеног кречњака јасно је да је пројектом предвиђен нормалан рад постројења за одсумпоравање димних гасова и при застоју на млиновима. Суспензија кречњака произведена у кугличном млину одводи се заједно са водом за разблаживање (сервисна вода) у базен суспензије кречњака за млевење опремљен мешачима. Након тога, коришћењем пумпи, суспензија кречњака бива транспортована ка млинском систему за класирање.

У оквиру сваког млина постоји хидроциклон за класирање у који се помоћу пумпи доводи суспензија кречњака из млинског резервоара. Систем за класирање раздваја кречњак на излазу из млина на две фракцијске групе: једну која садржи честице захтеване величине и другу са честицама димензија већим од захтеваних. Честице захтеване величине су спремне за коришћење у процесу и деловањем гравитације бивају одведене до пуфер резервоара суспензије кречњака са мешачима. Преостале честице већих димензија бивају враћене у куглични млин, како би њихова величина била сведена на захтевану. Пројектом је предвиђен један пуфер резервоар за привремено складиштење кречњачке суспензије, лоциран између система за припрему и резервоара за складиштење готове кречњачке суспензије. Саставни део резервоара је мешалица чија је функција спречавање таложења честица у суспензији кречњака. Резервоар за суспензију и три пумпе, од којих су две радне, а једна резервна, смештени су поред система за припрему кречњачке суспензије. Пројектом је предвиђено да пуфер резервоар има капацитета од 90 m³, што је капацитет довољан за смештај суспензије кречњака која обезбеђује 1 h рада оба апсорбера при пројектним радним условима. Пројектом је исто тако предвиђен један резервоар за суспензију кречњака запремине 530 m³ и по две пумпе за сваки апсорбер. Резервоар је смештен у процесној згради постројења за одсумпоравање димних гасова. Напајање апсорбера свежеом суспензијом концентрације 30% остварује се кроз цевну петљу кроз коју непрекидно циркулише суспензија кречњака, а дозирање потребне количине суспензије се врши контролом параметара процеса, као што су pH вредност рецикулационе суспензије у апсорберу или однос улазне и излазне концентрације CO₂. Процес влажног млевења кречњака у млину са куглама приказан је Сликаом 12.



Потребна количина суспензије кречњака зависи од количине CO_2 коју треба уклонити, што зависи од садржаја сумпора у угљу и режима рада блока. То би значило да би у случајевима када систем потражује малу количину суспензије кречњака, због мале брзине суспензије у цевоводима могло доћи до њиховог зачепљења. У циљу спречавања ове појаве, предвиђен је затворени систем, тј. петља са сталном циркулацијом суспензије кречњака. Овај систем започиње и завршава се у резервоару суспензије кречњака и ради са скоро константним протоком.

4.4.4 Процесна зграда комплекса за одсумпоравање димних гасова

Процесна зграда је саставни део комплекса за одсумпоравање димних гасова насталих током сагоревања угља у термоелектрани „Костолац Б”. У њој су смештени следећи системи:

- систем за угушћење/одводњавање суспензије гипса,
- резервоар и пумпе процесне воде,
- систем компримованог ваздуха и

- резервоар кречњачке суспензије.

4.4.4.1 Систем за угушћење/одводњавање суспензије гипса

Систем за угушћење/одводњавање суспензије гипса смештен је у згради комплекса. Сам процес угушћења гипса састоји се од две фазе при чему се прва фаза одвија у хидроциклону за гипсану суспензију, а друга у тракастом вакуум филтеру.

4.4.4.2 Хидроциклони за примарно угушћење суспензије гипса

Суспензија гипса се одводи из апсорбера у масеној концентрацији од око 20%. Да би се постигла захтевана концентрација на улазу у вакуум филтере за коначно добијање гипса влажности 10%, потребно је извршити њено угушћење тј. повећање густине. Ова операција се обавља одводњавањем суспензије у хидроциклонима, у којима се суспензија гипса раздваја на два дела и то:

- концентровани део који се издваја на излазу из хидроциклона (тзв „песак циклона“) и
- разређени део који се издваја као прелив хидроциклона.

Песак циклона је у ствари суспензија гипса, угушћена до концентрације од 47,77%. Цевоводима се слива у резервоаре угушћене суспензије, из којих се суспензија пумпама транспортује на вакуум филтере. Прелив хидроциклона, концентрације 4,6%, се већим делом усмерава ка резервоару филтрата одакле се рециркулише у апсорбере, док се мањи део одваја као отпадна вода, чије се угушћење одвија у хидроциклону отпадне воде у оквиру система за одсумпоровање димних гасова, тако да се добија прелив хидроциклона отпадне воде концентрације 3%, и одлив концентрације 18%. Прелив, који се трајно одстрањује из процеса одсумпоровања димних гасова, бива транспортован до резервоара отпадне воде, док се одлив враћа у резервоар филтрата. Из резервоара отпадне воде, запремине 15 m³, отпадна вода се пумпама транспортује до постројења за третман отпадних вода. У резервоар филтрата каналима се допремају преливне вода из хидроциклона примарне фазе угушћења суспензије гипса, као и воде из вакуум филтрације и одлив из хидроциклона отпадних вода, као и све дренажне воде сакупљене у дренажним јамама у оквиру постројења за одсумпоровање димних гасова. Филтрат се

пумпама делом враћа у апсорбер, а делом се користи у систему за припрему кречњачке суспензије.

4.4.4.3 Вакуум филтери за секундарно угушћење гипса

За потребе производње гипсане масе, која се може искористити као секундарна сировина, предвиђена је уградња система хоризонталних тракастих вакуум филтера, заједно са одговарајућим резервоарима и пумпама. Постројење вакуум филтера пројектовано је да задовољи потребе блокова бр.1 и бр.2. Пројектом су предвиђена два вакуум филтера, при чему капацитет сваког задовољава одводњавање 75% суспензије гипса која настаје у току рада оба котла при нормалним условима рада. Суспензија гипса, концентрације 47,8%, равномерно се распоређује по целој ширини филтера. Након проласка кроз зону одводњавања, путујућа филтерска маса улази у зону испирања, како би били задовољени захтеви у погледу квалитета добијеног гипса. Издвојена течност (филтрат) се заједно са уисаним ваздухом провлачи кроз колекторски резервоар у коме се филтрат одваја од ваздуха и испумпава у резервоаре намењене смештању филтрата. Путујућа филтерска маса, из зоне испирања улази у зону исушивања и коначно се пресипа на траку за транспорт осушеног гипса према складишту. Осушени гипс, који у себи садржи 10% влаге бива транспортован према складишту гипса, одакле се отпрема спољним корисницима или на депонију.

4.4.5 Системи дренаже

Пројектом је предвиђено постављање система дренаже у зонама апсорбера, резервоара за удесно пражњење, система за припрему суспензије кречњака и система за одводњавање суспензије гипса. Вода сакупљена у овим зонама се каналима одводи у резервоар филтрата и назад у процес. Сваки дренажни систем у свом саставу има дренажне канале, јаму за сакупљање течности и дренажне пумпе намењене потискивању течности до резервоара филтрата.

4.4.5.1 Нетехнолошке отпадне воде

Атмосферске и санитарне воде биће усмерене на заједничку канализациону мрежу и даље у будуће постројење за пречишћавање отпадних вода термоелектране “Костолац Б”.

4.4.6 Помоћни системи у оквиру постројења за одсумпоровање димних гасова

4.4.6.1 Систем за снабдевање свежом (процесном) водом

Постројење за одсумпоровање димних гасова снабдеваће се свежом водом из базена спирне воде који се налази у багер станици. У процесној згради комплекса за одсумпоровање налази се и напојни резервоар пречника 6,5 m и висине 10,0 m, из којег се вода помоћу пумпи транспортује до система за испирање елиминатора капљица, затим до резервоара воде за интервентно хлађење и других потрошача.

4.4.6.2 Систем компримованог ваздуха

У процесној згради су смештена два компресора за ваздух која квалитетним ваздухом снабдевају систем за одсумпоровање димних гасова.

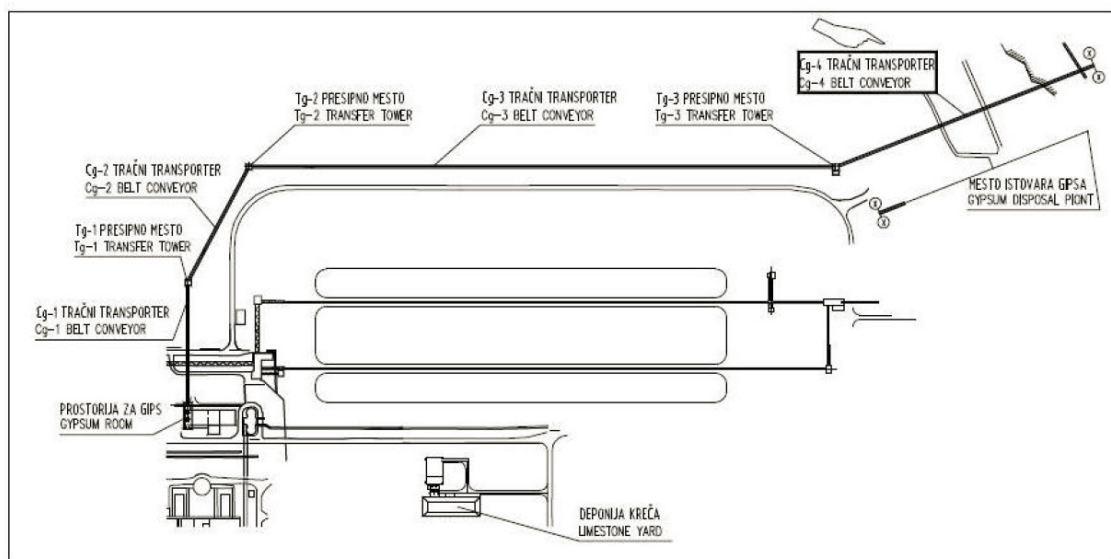
4.4.7 Систем за транспорт и одлагање гипса

Систем за транспорт, складиштење и отпрему гипса је један од помоћних система који представља саставни део комплекса за одсумпоровање димних гасова и у свом саставу има следеће елементе:

- тракасте транспортере са плужастим скидачима, који воде од вакуум филтера до складишта гипса,
- складиште гипса, у оквиру зграде комплекса за одсумпоровање димних гасова са свом потребном механизацијом и
- систем за отпрему гипса до депоније површинског копа “Дрмно”.

Места на којима улазе гумени тракасти транспортери налазе се тачно испод излаза вакуумских тракастих филтера. Сваки тракасти транспортер у свом саставу има три плужна избацивача. Капацитет сваког транспортера износи 60 t/h, при чему ширина траке износи 1000 mm. Тракасти транспортери излазе на затворено складиште гипса. Складиште гипса је затвореног типа, капацитета 2400 m³, што обезбеђује пројектовану резерву за рад постројења од 2 дана при пројектованој продукцији гипса. Транспорт сувог гипса до депоније врши се тракастим транспортерима, који га одвозе на део депоније предвиђен за

његово складиштење. Систем за транспорт гипса састоји се од четири тракаста транспортера, C1, C2, C3 и C4 и три пресипне куле, T1, T2 и T3. Слика 13. је приказана диспозиција транспортера, постављених уз источну ограду постројења. У циљу спречавања развејавања и квашења гипса услед атмосферских прилика, предвиђено је да транспортери буду у затвореним мостовима.



Слика 13. – Диспозиција система за транспорт гипса [2]

Простор за одлагање гипса као нус продукта процеса одсумпорувања димних гасова је дефинисан претходно урађеном техничком документацијом која се односи на начин експлоатације површинског копа Дрмно и оквирно је означен на унутрашњем одлагалишту површинског копа Дрмно. Депонија тј. простор за одлагање гипса треба да обезбеди простор за смештај 490.000 t/год са максималним садржајем влаге од 15%. При том су дефинисане следеће основне карактеристике депонованог материјала:

- d85 90 μm ,
- специфична густина 2,45 t/m³,
- насипна маса 1,0 t/m³ и
- запреминска маса 1,2 t/m³.

Временски период током којег је у плану коришћење касете за депоновање гипса је годину дана.

Одлагање гипса се врши на посебној, одвојеној депонији која, подразумева се, испуњава све техничке, технолошке и друге захтеве важеће домаће и ЕУ регулативе која се односи на ову област. Један од захтева је да депонија гипса насталог у процесу одсумпоравања димних гасова мора да буде тако грађевински изведена да на дну и косинама буде прекривена заштитним геолошким и дренажним слојем, а све у циљу задржавања и сакупљања настале слободне и атмосферске воде. Геолошки слој се састоји од минералних наслага тј. глине, које мора да задовољи захтеве по питањима пропусности и дебљине. Поред тога мора да обезбеди заштиту земљишта, подземних и површинских вода. У том смислу минимална вредност коефицијента пропустљивости (филтрације) k не сме бити мања од 10^{-9} m/s, док минимална дебљина заштитног слоја може да износи 1 m. У случају не испуњавања ових услова, неопходно је облагање дна и косина депоније природним минералним тампоном или синтетичким материјалом. Захтевана минимална дебљина вештачки постављене баријере је 0,5 m.

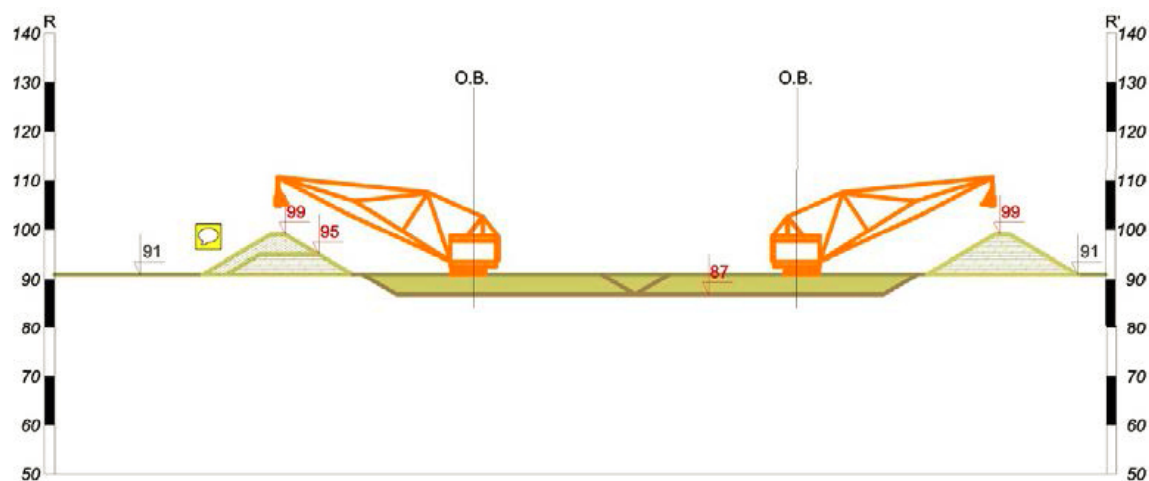
По истеку рока експлоатације сваке касете мора се извршити њено трајно затварање и рекултивација у циљу избегавања разношења материјала. Овај поступак обухвата припремне радове који се састоје од насипања и нивелације подлоге од депонованог гипса у пројектованом паду, на коме ће се формирати прекривни слој од непропусног минералног слоја дебљине 0,5 m, а преко њега и завршни горњи слој за рекултивацију дебљине 0,5 m. Радови овог типа нису једини када је трајно затварање касете у питању. Наиме регулатива захтева и њено стално посматрање и праћење. Одлагање гипса треба вршити на начин који осигурава стабилност и структуру одложеног материјала, а посебно када постоји могућност настајања клизишта.

4.4.8 Технички опис формирања касете

Депонија за смештај гипса, у основи заузима простор површине 26.161 m^2 , дубока је 12 m са угловима нагиба косина касета од 30° . Пројектом је предвиђен смештај годишње производње гипса оба блока термоелектране “Костолац Б” која износи 408.334 m^3 .

На дефинисаном простору ће откопавани материјал, који у ствари представља коповску јаловину бити одлаган по странама касете, чиме ће бити формиран ободни насип којег сачињавају ободне стране касете висине 8 m. Предвиђено је да откопани материјал буде одлаган 2 m од косине пројектоване фигуре, као што је приказано Сликаом 14. Само у области радне зоне одлагача биће формиран нижи насип који омогућава несметан рад

одлагача. За потребе заштите подземних вода, пре формирања касете биће изграђен ископ дубине 5 m.



Слика 14. – Формирање касете за одлагање гипса [2]

Након формирања, на дно касете ће бити постављена фолија, као и по изграђеном насипу. За прикључпање воде из депоније предвиђен је водосабирник, који ће бити ограђен заштитном оградом у циљу обезбеђења приступа за пролаз запослених и механизације.

Прорачунате вредности смештајног простора за депоновање гипса, као и масе за билансирање касете (откопавање и уградња) приказани су Табелом 7.

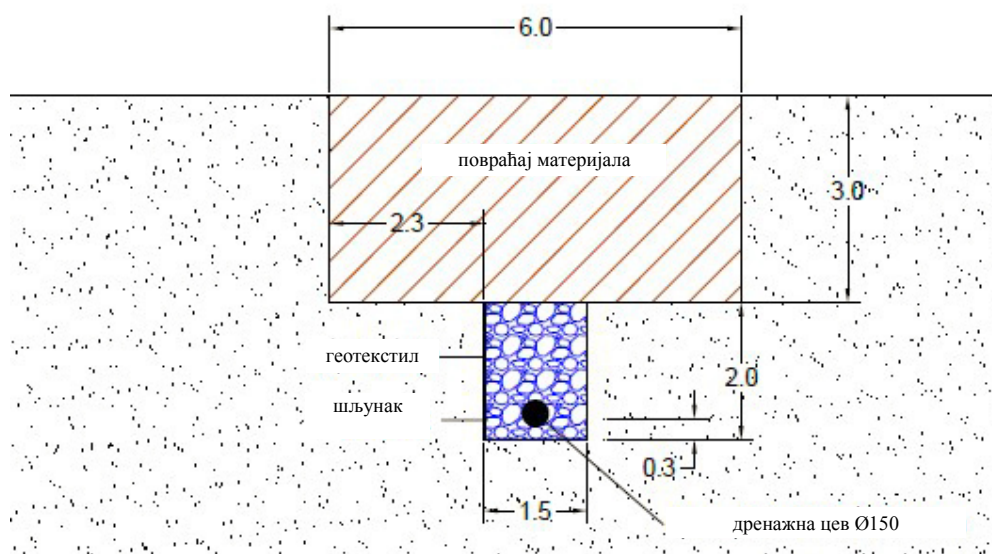
Табела 7. – Прорачунате вредности смештајног простора

параметар	вредност
потребна запремина за смештај гипса (V_g)	412.374 m ³
потребна запремина за изградњу насипа (V_1)	105.435 m ³
потребна запремина за изградњу насипа (V_2)	7.448 m ³
потребна запремина за надвишење насипа ($V_{2'}$)	5.782 m ³
укупна потребна запремина за изградњу насипа (ΣV_N)	118.665 m³
запремина материјала за изградњу насипа (V87 - 91)	114.800 m ³
запремина материјала за надвишење насипа (V90 - 91)	4.000 m ³
укупна запремина материјала за изградњу насипа (V87 - 91)	118.800 m³

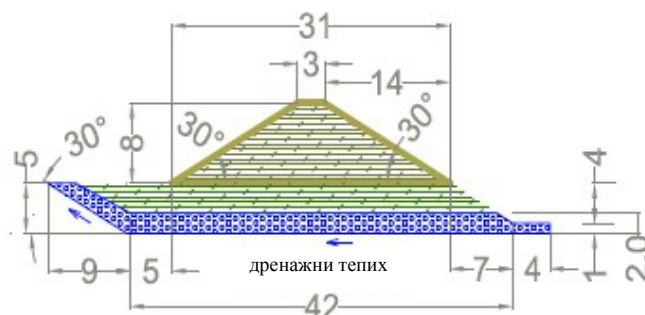
4.4.9 Заштита депоније од подземних и површинских вода

За заштиту депоније гипса насталог током процеса одсумпоравања димних гасова од подземних и површинских вода предвиђено је постављање дренажног тепиха и канала и ободног канала.

Први изграђени објекта намењен одводњавању на локацији предвиђеној за изградњу депоније је дренажни тепих. Изградња дренажног тепиха је започета пре изградње депоније гипса, односно пре изградње ободног заштитног појаса око депоније. Обухвата ископ дубине 5 m и дужине 57 m. Ископ материјала вршиће се у две кампаде: прва кампада биће дубине 3 m и ширине 6 m, док ће друга кампада бити дубине 2 m и ширине 1,5 m. Обзиром да ће се ископ радити у растреситом јаловинском материјалу састављеном од ситнозрног и прашинастог песка, радови на ископу би морали бити извођени коришћењем подграда у циљу спречавања одроњавања јаловине и обезбеђивања безбедности ангажованих радника. Прво ће на дну изграђеног ископа бити постављен геотекстил преко кога се насипа 30 cm ситнозрног шљунака након чега се поставља перфорирана дренажна цев Ø 150. Након постављања цеви се преко ње пажљиво насипа дренажни шљунак све до постизања његове дебљина од 2 m. Попречни профил дренажног тепиха приказан је Сликаом 15.



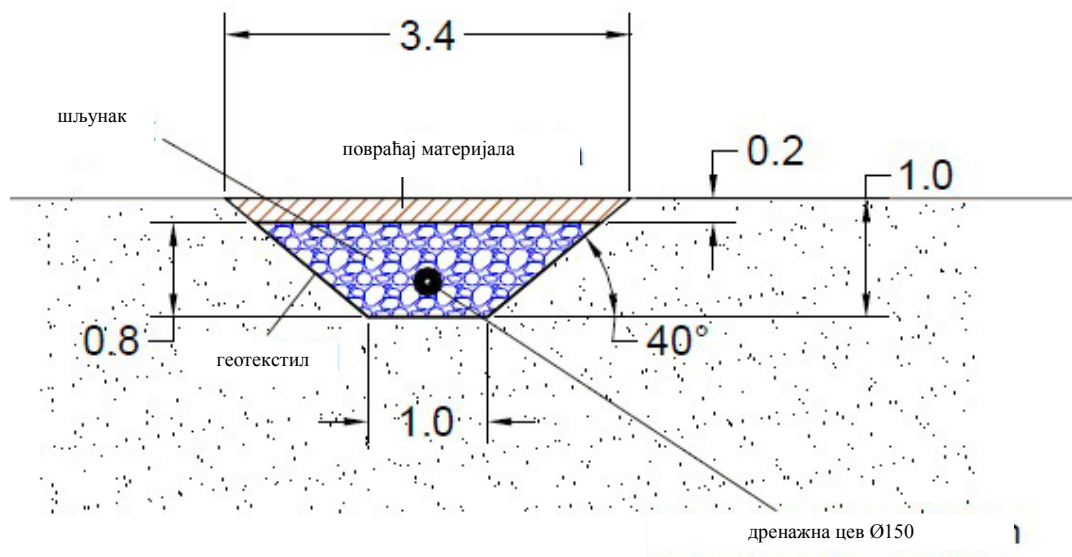
Слика 15. – Попречни профил дренажног тепиха [2]



Слика 16. – Уздужни профил дренажног тепиха [2]

За израду дренажног канала потребни су следећи материјали у дефинисаним количинама: 440 m² геотекстила - површина увећана за 10% због преклопа, 57 m перфориране дренажне цеви пречника Ø150 од HDPE материјала (полиетилен високе густине) и 190 m³ ситнозрног шљунка - запремина увећана за 10% због растура. Количина ископаног материјала са подградом износи 1.000 m³, а количина враћеног материјала до површине околног терена је 910 m³.

Дренажни канали се израђују након завршетка радова на ископу касете, а пре постављања заштитне фолије. Укупна дужина дренажних канала је 750 m. Дренажни канали су трапезног попречног пресека дубине 1 m, ширине доње основе 1 m и са падом бочних страна од 40°. После радова на ископу дренажног канала, по дну и странама канала се поставља геотекстил до висине од 0,8 m, а затим се сипа ситнозрни шљунак до висине од 0,3 m. Након изведених радова поставља се перфорирана дренажна цев пречника Ø 150 од HDPE материјала (полиетилен високе густине) и пажљиво се насипа дренажни шљунак до постизања његове дебљине од 0,8 m. Након тога следи ушивање геотекстила и повраћај ископаног материјала све до површине околног терена. Дренажни канали су повезани са дренажним тепихом. Попречни профил дренажног канала приказан је Сликаом 17.



Слика 17. – Попречни профил дренажног канала [2]

За израду дренажних канала потребни су следећи материјали у дефинисаним количинама: 5.250 m^2 геотекстила - површина увећана за 10% због преклопа, 750 m перфориране дренажне цеви пречника $\text{Ø}150$ од HDPE материјала и 1.320 m^3 ситнозрног шљунка - запремина увећана за 10% због растура. Количина ископаног материјала износи 1.650 m^3 , а количина повраћаја материјала до површине терена је 330 m^3 .

Све подземне воде издрениране из подлоге депоније гипса преко дренажних канала и дренажног тепиха биће одводене у ободни канал ОК-1.

Ободни канал ОК-1 биће изграђен око депоније гипса с наменом њене заштите од површинских вода, као и за прихватање воде која ће бити издренирана из дренажних канала и дренажног тепиха. Све прикупљене воде ће падом бити одводене до главног водосабирника (ГВС) који је постављен на најнижој коти у копу. Предвиђено је да ободни канал буде ојачан дрвеном подградом, обзиром да ће бити изведен на терену састављеном од растреситог неvezаног материјала изграђеног од мешавине ситнозрног песка, прашине, леса и глине. Ободни канал ОК-1 је прописно обележен и ноћу осветљен.

Изградња свих објеката намењених одводњавању на депонији изведена је у складу са важећим одредбама Закона о заштити на раду и упутствима о правилном коришћењу рудничке и грађевинске механизације. Сликаом 18. су приказани објекти намењени одводњавању.



Слика 18. - Предвиђени објекти одводњавања за депонију гипса [2]

Воде из главног водосабирника представљају сакупљене слободне атмосферске воде које су процеђене кроз тело депоније гипса. Ове воде се користе за влажење сувих површина депоније. Прорачуном биланса вода на депонији (падавине, испаравање са површине депоније, дренажна вода) утврђено је да прикупљена вода није довољна за квашење површине депоније, што значи да је потребно обезбедити додатне количине воде. Недостајућа количина воде ће бити надомештена додатном свежем водом којом ће се пунити цистерне. У кишном период се може јавити вишак воде, која ће цистернама бити отпремана у систем за транспорт пепела и шљаке, за формирање густе хидромешавине.

Предвиђено је да у оквиру изградње постројења за одсумпоравање димних гасова буду изграђени следећи објекти:

- две зграде намењене смештају кућишта бустер вентилатора, дужине око 22 m, ширине 12-17 m и висине 14 m,
- пумпне станице за смештај циркулационих пумпи апсорбера и постројења за оксидациони ваздух, дужине 34 m, ширине око 11 m и висине око 11 m,
- два апсорбера пречника основе око 17 m и висине 42 m,
- две зграде (пумпне станице) у којима су смештене пумпе за одвод суспензије гипса из апсорбера дужине 12 m и ширине 5 m,
- складишни резервоар за хитно пражњење пречника 16 m и висине 17,5 m,

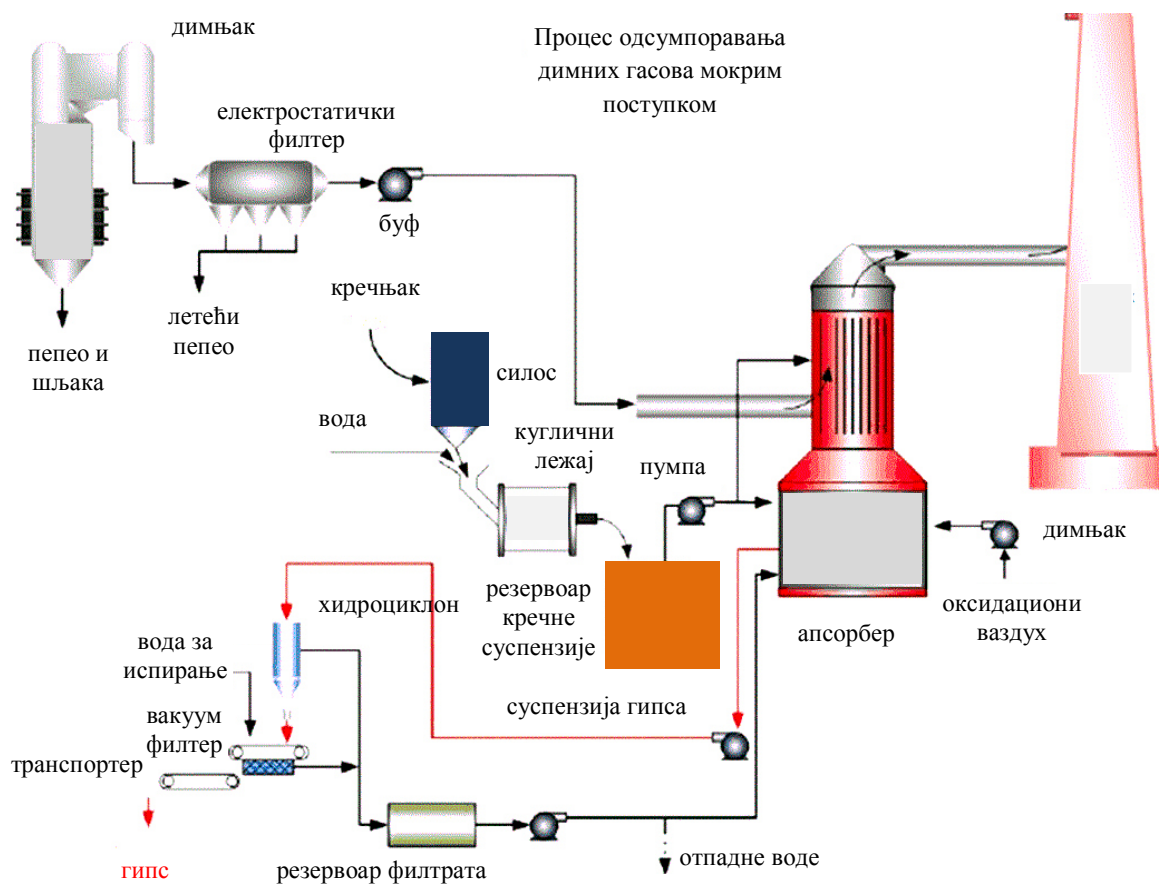
- зграда комплекса постројења за одсумпоровање димних гасова дужине око 66,5 m, ширине 22-32 m и висине око 26-32 m,
- зграда за припрему кречне суспензије дужине 46,4 m, ширине 22 m и висине од 7,5-29,8 m,
- наткривено и делимично затворено складиште кречњака,
- транспортни систем гипса од зграде комплекса постројења за одсумпоровање димних гасова до депоније гипса у површинском копу Дрмно, који се састоји од транспортних трака и пресипних кула, где се врши пресипање гипса са једне трасе на другу и
- нови димњака висине 180 m, са две челичне цеви пречника 6,7 m.

Апсорбер система за одсумпоровање димних гасова пројектован је за рад при максималном трајном оптерећењу блокова, уз сагоревање пројектног горива.

Складиште кречњака и системи за манипулацију кречњаком, као и врећасти филтер са пулсирајућим системом отресања, пројектовани су са резервом који обезбеђује 7 дана рада постројења за одсумпоровање димних гасова при максималном трајном оптерећењу блокова.

Локација постројења за одсумпоровање димних гасова лоцирана је источно од старог димњака, а северно од трака за транспорт угља. Постројење за припрему кречне суспензије и складиште кречњака биће смештени југоисточно од електране, на крају простора предвиђеног за изградњу друге фазе електране. Слика 19. је приказана технологија одсумпоровања димних гасова влажним поступком.

Пројектом је предвиђено да се у току процеса одсумпоровања емисија CO_2 смањи за 97,5%, постижући на тај начин излазне концентрације CO_2 од 200 mg/Nm^3 (6% O_2 , суви гас) и то при пројектним карактеристикама димног гаса. Пројектована расположивост постројења за одсумпоровање димних гасова система не може бити мања од 98,4%, а његов радни век је 15 година.



Слика 19. - Приказ технологије одсумпоровања димних гасова влажним поступком [2]

5. ПРОРАЧУНИ

5.1 Прорачун електричних параметара

Прорачун напојних каблова извршен је на основу максималних једновремених снага потрошача [5]. Струја у трофазном воду се израчунава коришћењем следећег обрасца:

$$I = \frac{P_j}{\sqrt{3} * U_l * \cos \varphi}, \text{ где је: } I \quad - \text{ струја у трофазном воду, A}$$

P_j - једновременно оптерећење, W

U_l - линијски напон, V

$\cos \varphi$ - фактор снаге

Струја у монофазном воду се израчунава коришћењем следећег обрасца:

$$I = \frac{P_j}{U_f * \cos \varphi}, \text{ где је: } U_f \quad - \text{ фазни напон, V}$$

У комплексу постоје две разводне табле, РТС10 и РТС12. На прву је везано 18 светилки у два струјна круга, док је на другу везано 9 светилки у једном струјном кругу. За потребе прорачуна узето је да снага једне светилке износи 300 VA. Једновремене снаге, као и оптерећење сваког круга износе:

$$P_{RTS10_j} = 5.4kVA \text{ и } P_{RTS12_j} = 2.7kVA \text{ и } 1800VA / 230V = 7.8A$$

На основу добијених струја врши се избор осигурача и проводника тј. њиховог пресека. Избор осигурача/аутоматског прекидача врши се тако што се усваја прва већа номинална струја I_0 у односу на израчунату струју I тако да важи $I < I_0$.

Наведени прорачун важи у случају да се вод полаже при одређеној, прописаној температури. У случају да се полаже при повећаној температури средине или се вод полаже заједно са више других водова, што поставља отежане услове хлађења, на дозвољене вредности струја у кабловима треба применити одређене коефицијенте и то:

K_t - фактор смањења пропусне моћи кабла због повећане температуре средине

K_n - фактор смањења пропусне моћи кабла због паралелног полагања више каблова

K - фактор смањења пропусне моћи кабла због услова полагања, $K = K_n * K_t$

Пресек кабла се усваја у складу са табличним вредностима тако да буде испуњен услов:

$$K * I_d \geq I_0$$

Релативни пад напона за трофазни вод се израчунава помоћу следећег обрасца:

$$u = 100 \frac{\sum (l * P_j)}{\gamma * S * U_l^2}, \text{ где је: } u - \text{ релативни пад напона, \%}$$

l - дужина вода, m

S - пресек шроводника, mm²

U_l - линијски напон, V

P_j - једновремено оптерећење, kW

Релативни пад напона се за монофазни вод рачуна по следећем обрасцу:

$$u = 100 \frac{2 \sum (l * P_j)}{\gamma * S * U_l^2}$$

Овако добијени пад напона, од тачке напајања електричне инсталације до потрошача треба да се налази у оквиру дозвољених вредности датих Таблицом 8.

Табела 8. – Дозвољене вредности пада напона

врста напајања	осветљење	остало
нисконапонска мрежа	3%	5%
трансформаторска станица	5%	8%

За електричне инсталације дужине од 100 m, дозвољени пад напона повећава се за 0.005% по дужном метру преко 100 m, при чему тај пад не може бити већи од 0.5%.

Заштита од индиректног додира је ефикасна ако су карактеристика заштитног уређаја и импеданса струјног кола такве да у случају настанка квара занемарљиве

импедансе између фазног и заштитног проводника или изолованог проводног дела, било где у инсталацији, наступа аутоматско искључење напајања у утврђеном времену. Овај захтев је задовољен ако је испуњен следећи услов:

$Z_s * I_a \leq U_0$, где је: Z_s - импеданса петље квара која обухвата извор, проводник под напоном до тачке квара и заштитни проводник између тачке квара и извора, Ω

U_0 - називни напон према земљи, V

I_a - струја, A, која обезбеђује деловање заштитног уређаја за аутоматско искључење напајања у времену утврђеном у Таблици 9.

Табела 9. – Време деловања заштитног уређаја

U_0 (V)	t_d (s)
$50V < U_0 \leq 120$	0.8
$120V < U_0 \leq 230$	0.4
$230V < U_0 \leq 400$	0.2
> 400	0.1

Највећа времена искључења дата у табlici задовољавају за крајња струјна кола која напајају прикључнице или директно без прикључнице ручне апарате класе 1. Дуже време искључења, које не прелази 5 секунди, дозвољено је за напојна струјна кола и за струјна кола која не захтевају времена искључења дата у табlici.

Импеданса петље квара израчунава се коришћењем обрасца:

$Z_s = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$, где је: R_p - омски отпор петље, Ω

X_p - индуктивни отпор петље, Ω

За израчунату вредност струје грешке I_a , са карактеристике заштитног уређаја (осигурач, прекидач) може се очитати време његовог искључења квара t_i . Заштитни уређај је добро изабран уколико је испуњен услов $t_i < t_d$.

Уколико је напајање мреже реализовано преко трансформатора, величине у горњем изразу можемо израчунати коришћењем следећих израза:

$$R_p = R_t + \sum_{n=1}^{n=n} R_n, \quad X_p = X_t + \sum_{n=1}^{n=n} X_n$$

где је: R_t - омски отпор фазног намотаја трансформатора на страни ниског напона, Ω

X_t -индуктивни отпор фазног намотаја трансформатора на страни ниског напона,
 Ω

R_n - омски отпор појединих деоница водова, Ω

X_n - индуктивни отпор појединих деоница водова, Ω

Омски и индуктивни електрични отпори каблова израчунавају се по општим обрасцима:

$$R = \frac{l * (r_F + r_N)}{n}, \quad X = \frac{l * (x_F + x_N)}{n}$$

где је: l - дужина каблова, km

r_N - омски отпор нулте жиле кабла, Ω/km

r_F - омски отпор фазне жиле кабла, Ω/km

x_N - индуктивни отпор нулте жиле кабла, Ω/km

x_F - индуктивни отпор фазне жиле кабла, Ω/km

n - број паралелно положених каблова за напајање једног нисконапонског ормара

5.2 Прорачун кратког споја

Основу за прорачун кратког споја представља тзв. отпор петље кратког споја који се може израчунати коришћењем израза:

$$Z_{pk} = \sqrt{R_{pk}^2 + X_{pk}^2}, \quad \text{где је: } Z_{pk} - \text{импеданса петље кратког споја, } \Omega$$

R_{pk} - активни отпор петље кратког споја, Ω

X_{pk} - реактивни отпор петље кратког споја, Ω

Активни и реактивни отпор петље кратког споја се могу израчунати коришћењем следећих образаца:

$$R_{pk} = R_m + R_t + \sum_{n=1}^{n=n} R_n, \quad X_{pk} = X_m + X_t + \sum_{n=1}^{n=n} X_n$$

где је: R_m - активни отпор високонапонске мреже, Ω

X_m - реактивни отпор високонапонске мреже, Ω

R_t - активни отпор фазног намотаја трансформатора на страни ниског напона, Ω

X_t - реактивни отпор фазног намотаја трансформатора на страни ниског напона, Ω

R_n - активни отпор појединих деоница водова, Ω

X_n - реактивни отпор појединих деоница водова, Ω

Реактивни и активни отпор високонапонске мреже рачунамо помоћ следећих израза:

$$X_m = \frac{1.1 * U_l^2}{S_k''}, \quad R_m = 0.1 * X_m, \quad \text{где је: } S_k'' - \text{снага кратког споја на страни } 10 \text{ kV}$$

На основу израчунате вредности импедансе кратког споја, можемо израчунати струју трополног кратког споја и ударну струју кратког споја помоћу израза:

$$I_{k3pol} = \frac{U_l}{\sqrt{3} * Z_{pk}}, \quad I_n = \chi * \sqrt{2} * I_{k3pol}$$

где је: χ - фактор који зависи од односа R_{pk}/X_{pk} , који се креће у границама 1.2-1.6

5.3 Прорачун топлотне измене и топлотног оптерећења измењивачке станице

G1 Измењивачка станица/станица измењивача топлоте

G1.1 Проток воде у примарном кругу. Рачуна се коришћењем следећег израза:

$$G_1 = 0.86 * \frac{Q}{T_1 - T_2}, \quad \text{где је: } G_1 - \text{проток воде у примарном кругу, m}^3/\text{h}$$

T_1 - температура доводне воде у примарном кругу, $^{\circ}\text{C}$

T_2 - температура повратне воде у примарном кругу, $^{\circ}\text{C}$

Q - количина топлоте, kW

$$G_1 = 0.86 * \frac{873}{130 - 80} = 15.1 m^3 / h$$

G1.2 Проток воде у секундарном кругу. Рачуна се коришћењем следећег израза:

$$G_2 = 0.86 * \frac{Q}{t_1 - t_2}, \text{ где је: } G_2 - \text{ проток воде у секундарном кругу, } m^3/h$$

t_1 - температура напојне воде у секундарном кругу, °C

t_2 - температура повратне воде у секундарном кругу, °C

Q - количина топлоте, kW

$$G_2 = 0.86 * \frac{873}{90 - 70} = 37.5 m^3 / h$$

Циркулациона пумпа за воду има проток $G = 1.15 * G_2 = 1.15 * 37.5 = 43.1 m^3/h$, па ће стога, обзиром на потребе, бити обезбеђена $2 \times 100\%$ циркулациона пумпа за воду, а пумпа ће имати карактеристику $2 m^3/h * 32 m * 2980 \text{ o/min} * 7.5 kW$. Укупан проток воде је $G = 4 * G_2 = 0.04 * 37.5 = 1.5 m^3/h$. Обзиром на потребе, биће обезбеђена $2 \times 100\%$ пумпа за допуну система водом, а пумпа ће имати карактеристику $2 m^3/h * 32 m * 2980 \text{ o/min} * 7.5 kW$.

G1.3 Површина измењивача топлоте. Рачуна се коришћењем следећег израза:

$$F = \frac{Q}{K} * B * \Delta t_{pj}, \text{ где је: } F - \text{ површина измењивача топлоте, } m^2$$

Q - пренос топлоте, kW

K - коефицијент преноса топлоте, $W/(m^2 * ^\circ C)$

B - коефицијент увећања, 0.8-0.9

Δt_{pj} - логаритам средње вредности разлике температуре, °C

$$\Delta t_{pj} = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}}, \text{ где је: } \Delta t_a, \Delta t_b - \text{ максимална и минимална температурна разлика на}$$

улазу и излазу грејног медија, °C

$$\Delta t_{pj} = \frac{(130 - 90) - (90 - 70)}{\ln \frac{(130 - 90)}{(90 - 70)}} = 21.64, F = \frac{873000}{3000} * 0.85 * 21.64 = 15.82 m^2$$

Биће обезбеђени 2x75% плочасти размењивачи топлоте, површина преноса топлоте за једну јединицу износи:

$$0.75 * F = 0.75 * 15.82m^2 = 11.86m^2$$

На основу израчунатог усваја се измењивач топлоте модел BRO.2-1.0-12-E-I чија површина преноса топлоте износи 12m².

G2 Прорачун топлотног оптерећења за измењивачку станицу у зимској сезони

Прорачун топлотног оптерећења измењивачке станице спроводи се у складу са процедуром приказаном Табелом 10.

Табела 10. – Прорачун топлотног оптерећења измењивачке станице – 1. део

назив	ознака	Категорија	Омотач зграде			коэф. преноса топлоте	корекција темп. разлике	Основна потрошња топлоте
			димензија		површ.	K	α	Q'
			дужина	ширина/ висина	m ²	W/m ² °C		W
ИЗМЕЊИВАЧКА СТАНИЦА	1.	спољња температура	-14,10	унутр. темп	5,00	ΔT	19,10	
	2.	северни зид	7,40	3,80	28,12	2,00	1,00	1074,18
	3.	јужни зид	7,40	3,80	23,62	2,00	1,00	902,28
	4.	јужни прозор	1,50	1,50	4,50	3,49	1,00	299,97
	5.	западни зид	6,00	3,80	15,75	2,00	1,00	601,65
	6.	западни зид	1,50	1,50	2,25	3,49	1,00	149,98
	7.	западна врата	2,00	2,40	4,80	4,65	1,00	2131,56
	8.	источни зид	6,00	3,80	18,30	2,00	1,00	699,06
	9.	источни прозор	1,50	1,50	4,50	3,49	1,00	299,97
	10.	кров	6,00	7,40	44,40	0,86	1,00	729,31
	11.	тло	6,00	7,40	44,40	0,47	1,00	398,58

Табела 10. – Прорачун топлотног оптерећења измењивачке станице – 2. део

назив	Ознака	потрошња топлоте после корекције				кофицијент висине	збир основног топлотног оптерећења зграде	губитак топлоте услед хладног ваздуха	топлотно оптерећење
		правац	правац ветра		Потрошња топлоте после корекције				
		Xch	Xf	1+ Xch+ Xf	$Q'' = Q' \cdot (1 + Xch + Xf)$				
					W		W	W	W
ИЗМЕЊИВАЧКА СТАНИЦА	1.								
	2.	0,10	0,00	1,10	1181,60				
	3.	-0,15	0,00	0,85	766,94				
	4.	-0,15	0,00	0,85	254,97				
	5.	-0,05	0,00	0,95	571,57				
	6.	-0,05	0,00	0,95	142,48				
	7.	-0,05	0,00	0,95	2024,98				
	8.	-0,05	0,00	0,95	664,11				
	9.	-0,05	0,00	0,95	284,97				
	10.	0,00	0,00	1,00	729,31				
	11.	0,00	0,00	1,00	398,58	0,0	7019,52	1754,88	8774

6. СКЛАДИШТЕ КРЕЧЊАКА

6.1 Кречњак

Кречњак (калцијум карбонат) спада у групу седиментних стена са примесама минерала калцита и арагонита. Сиве је или беле боје и нема мириса. Није запаљив нити токсичан и слабо се раствара у води. Пројектне карактеристике кречњака које су коришћене за димензионисање постројења за одсумпоровање димних гасова приказане су Табелом 11.

Пројектована потрошња кречњака износи 18 t/h и дефинисана је захтеваним нивоом одсумпоровања димних гасова и будућим ангажовањем термоелектране “Костолац Б”.

Кречњак ће бити складиштен у наткривеном складишту у близини зграде система за припрему кречне суспензије.

Табела 11. – Пројектне карактеристике кречњака

параметар	јединица мере	гипс који се одлаже
слободна влага	масени %, радна маса	$\leq 5,0$
калцијум карбонат, укупни као CaCO_3	масени %, сува маса	$\geq 94,0$
магнезијум карбонат, укупни као MgCO_3	масени %, сува маса	$\leq 3,0$
силицијум диоксид као SiO_2	масени %, сува маса	$\leq 3,0$
оксиди гвожђа као Fe_2O_3	масени %, сува маса	$\leq 0,8$
дистрибуција величине честица	mm, сува маса	$\leq 19,0$

6.2 Елементи система

У оквиру система за складиштење и припрему суспензије налазе се следећи елементи:

- нови друмски пут,
- станица за истовар камиона за допрему кречњака,
- једна пресипна сипка за истовар камиона са отвором са клизном преградом,
- један тракасти додавач за пријем кречњака,

- транспортер кречњака до складишта,
- канал за образовање складишне гомиле са телескопским навођењем,
- складишна гомила кречњака,
- једна пресипна сипка кречњака са отвором са клизном преградом,
- један додавач кречњака са каишним дозатором,
- једна коса дизалица са скипом, магнетним сепаратором и посудом за прикупљање издвојених металних елемената,
- један пресипни транспортер кречњака са главним каналом,
- један реверзибилни транспортер силоса кречњака,
- два силоса за складиштење кречњака, капацитета 462 t сваки, са вентилационим отворима, пулсационо-млазним филтерима, инфрацрвеним грејачима, отворима за надзор и вибрационим експлоатационим испустима,
- два дозирна тракаста додавача са моторима,
- два реверзибилна хоризонтална транспортера са моторима,
- три траке за довод кречњака у млинове,
- три хоризонтална млина са куглама, капацитета 19,3 t/h сваки, са помоћном опремом—ваздушна склопка са компресором, подсистем за подмазивање млинског система, систем за подмазивање зупчаника, главни погонски мотор и импулсни мотор,
- три резервоара за производе млевења, по један за сваки млин, радне запремине око 21 m³, са мешалицама, вратима за улаз/чишћење и преливним и дренажним цевоводима,
- шест пумпи млинске суспензије, по две за сваки млин, радна и резервна са V каишним погонима,
- три сепаратора суспензије кречњака, по један за сваки млин, са главним разводним цевоводом, каналима за одвод прелива и излаза хидроциклона, батеријом хидроциклона са 33% резерве и ручни зауставни вентил,
- претоварна дизалица носивости 15 t за опслуживање млинова са куглама, помоћне дизалице за опслуживање хидроциклона и силоса,
- један резервоар суспензије кречњака, пречника 9 m и висине 14 m, радне запремине око 830 m³, са мешачима, вратима за улаз/чишћење, преливним и дренажним цевоводима,
- две пумпе суспензије кречњака, једна радна и једна резервна,

- један лифт зграде постројења за припрему суспензије,
- везни цевоводи млинова са куглама, резервоар за производе млевења, пумпе млинске суспензије, сепаратор и улаз у резервоар суспензије кречњака,
- везни цевоводи између излаза резервоара суспензије кречњака и транспортних пумпи суспензије кречњака,
- носеће челичне конструкције, платформе, стазе за приступ особља, рукохвати, газишта и ограђене мердевине за прилаз мешалицама резервоара суспензије кречњака, дозирни каишни додавачи, хидроциклонски сепаратори, мешалице резервоара продукта млевења, силоси суспензије кречњака, вентилацијски филтери и транспортер,
- доводни и одводни цевовод за транспорт суспензије кречњака од пумпи за транспорт суспензије кречњака до аспорбера 1 и 2,
- цевовод за дистрибуцију процесне воде од главне разводне цеви процесне воде до улазних канала млинова са куглама (за потребе млевења кречњака) до резервоара млинске суспензије (за потребе разблажавања) и до пумпи суспензије кречњака и пумпи за производе млевења (за потребе њиховог испирања) и
- систем за прихват и манипулацију просутом течносту, укључујући пријемну јаму са пумпама и мешалицама која ће опслуживати резервоаре суспензије кречњака, укључујући силосе и пумпе суспензије кречњака.

6.3 Опис

Улога система за транспорт кречњака и припрему суспензије јесте да обезбеди пријем, складиштење, транспорт и млевење кречњака, као и прављење суспензије која ће се користити као реагес у процесу одсумпоравања [2]. Систем је пројектован да задовољи потребе процеса одсумпоравања димних гасова оба блока термоелектране “Костолац Б”.

Суви, издробљени кречњак ће на локацију термоелектране бити испоручиван камионима. Максимална дневна потрошња кречњака оба блока износи око 924 t, при сагоревању пројектног угља лошијег квалитета. Како би били задовољени захтеви постројења за одсумпоравање димних гасова за кречњаком, 52 камиона дневно довозиће кречњак на локацију термоелектране, на којој ће бити изгађена нова путна инфраструктура у циљу обезбеђења наведене динамике испоруке. Камиони ће бити

истоваривани на пресипну сипку у истоварној станици, одакле ће се нагнутим тракастим транспортером слати на отворено складиште и то преко нагнутог транспортера са конзолним испустом који омогућава формирање коничне складишне гомиле. Испуст овог транспортера биће израђен у виду телескопски навођеног испусног канала који ће обезбеђивати дизање испуста у складу са образовањем складишне гомиле, смањујући растојање за слободан пад кречњака. Капацитет транспортера износи 270 t/h. Складиште кречњака димензионисано је за прихват четрнаестодневне резерве кречњака, што износи ~12900 t.

Кречњак ће са складишта бити узиман у складу са захтевима система, помоћу утоваривача точкаша одакле ће се водити у два затворена силоса. Систем за транспорт кречњака обухвата пресипну сипку која кречњак испушта на тракасти додавач, чији је испуст даље повезан на косу дизалицу са скипом, одакле се кречњак тракастим транспортером шаље до области у којој се налазе силоси. Са тракастог транспортера кречњак пада на реверзибилни обилазни транспортер, који снабдева било који од два силоса. Коса дизалица опремљена је магнетним сепаратором на горњем крају. Преносни капацитет дизалице износи 270 t/h.

Сваки од силоса намењен је да опслужује један млин са куглама и његов капацитет довољан је за једнодневно потраживање млина. У силосима треба да буде само оно количина кречњака потребна за један дан. Вишак кречњака може довести до зачепљења. Сваки силос опремљен је вибрационим експлоатационим испустима који потпомажу кретање кречњака, као и филтером смештеним на врху и намењеним одвајању прашине. Силос може да снабдева било који од радних млинова.

Ток кречњака у процесу млевења може се описати на следећи начин. Кречњак се испушта из силоса помоћу активатора, преко отвора канала дозатора, и пада на дозирни тракасти додавач. На отвору канала дозатора налази се ручно подесива нивелациона преграда која служи за образовање уједначног слоја кречњака на додавачу. Транспорт кречњака од силоса до одговарајућег кугличног млина, преко реверзибилних транспортера, контролише се помоћу гравиметријских дозирних тракастих додавача. Дозирни тракасти додавачи врше мерење протока кречњака на улазу у реверзибилни транспортер. Сваки додавач покреће мотор са променљивим бројем обртаја. Реверзибилни транспортер води кречњак до улазног канала одговарајућег кугличног млина. Улазна секција млина обухвата цевовод за довод додатне количине воде за млевење из система сервисне воде. Кречњак и вода одлазе потом у куглични млин. Самлевени кречњак се из млина испушта у виду суспензије са око 70% садржаја чврсте материје, преко преливне

цеви са повратном спиралом и сигурносним прстеном, у циљу спречавања губитка елемената за млевење. Суспензија из пресипне цеви прелази на решетку ротационог сита. Решетка сита задржава честице веће од 12 mm и одваја их у посебну посуду на даље млевење. Остатак суспензије пролази кроз решетку и пада у резервоар млинске суспензије. У ову суспензију се из система свеже/сервисне воде додаје додатна количина воде за разблаживање, чиме се суспензија разблажује до око 50-55% садржаја чврсте материје.

Транспортна пумпа млинске суспензије шаље суспензију из резервоара до хидроциклонског сепаратора суспензије кречњака. Хидроциклони деле струју суспензије на преливну струју и излаз хидроциклона који се рециркулише. Преливи појединачних хидроциклона скупљају се у преливно корито, док се доњи токови скупљају у корито излаза хидроциклона. Преливна струја хидроциклона садржи честице чија величина задовољава услов да 95% честица пролази кроз сито отвора 44 μm . Ова суспензија садржи око 30% чврсте материје. Преливна струја хидроциклона гравитационо отиче из сабирног корита прелива хидроциклона до резервоара суспензије кречњака.

Рециркулациона струја излаза из хидроциклона садржи честице чија је величина већа од тражене величине честица суспензије, тако да гравитационо отиче из сабирног корита излаза хидроциклона до улазног млинског канала.

Резервоар за складиштење суспензије кречњака обезбеђује осам сати радне резерве при пројектним условима рада. Резервоар, пречника 9 m и висине 14 m, направљен је од угљеничног челика и обложен гуменим облогама. Капацитет резервоара износи 830 m³. Суспензија се ка апсорберима транспортује помоћу две центрифугалне пумпе, крећући се од резервоара, поред сваког од апсорбера и поново назад у резервоар. Пумпе су капацитета који обезбеђује одржавање брзине струјања суспензије у дефинисаним границама, без обзира да ли се суспензија води у апсорбере. Кућишта пумпи израђена су од угљеничног челика и обложена гуменим облогама, док су њихова радна кола изливена од нерђајућег челика.

6.4 Складиштење кречњака

При пуном оптерећењу блокова термоелектране и сагоревању пројектног угља лошијег квалитета, потрошња кречњака постројења за одсумпоравање димних гасова износи приближно 38490 kg/h. Планирано спољашње складиште кречњака има капацитет који задовољава четрнаестодневни рад постројења при пројектованом режиму рада.

Кречњак се складишти на гомили која се образује испуштањем кречњака из канала пријемног транспортера са телескопским навођењем. Запремина коничне складишне гомиле V_p може се израчунати на следећи начин:

$$V_p = 24 * \rho_b * M_c * C_s, \text{ где је: } \rho_b - \text{густина кречњака, kg/m}^3$$

$$M_c - \text{потрошња кречњака, kg/h}$$

$$C_s - \text{складишни капацитет, дана}$$

Потребна запремина складишног простора по овом изразу износи $V_p = 9150 \text{ m}^3$.

Пречник коничне складишне гомиле кречњака може се израчунати коришћењем израза:

$$D = 2 * \left(\frac{3 * V_p}{\pi * \tan \theta} \right)^{1/3}, \text{ где је } \theta \text{ угао унутрашњег трења пријемних гранула кречњака.}$$

Висина складишне гомиле H може се израчунати коришћењем израза:

$$H = \frac{D * \tan \theta}{2}$$

Применом наведених израза добијамо димензије складишне гомиле:

$$D = 45m \text{ и } H = 19m$$

6.5 Силоси за складиштење кречњака

Постоје два складишна силоса кречњака. Сваки силос је димензионисан за складиштење једнодневне потрошње кречњака једног блока, при максималној потрошњи од $M_c = 1924 \text{ kg/h}$. Потребна запремина сваког силоса V_s израчунава се коришћењем израза:

$$V_s = \rho_b * M_c * C_s, \text{ где је: } \rho_b - \text{густина кречњака, kg/m}^3$$

$$M_c - \text{потрошња кречњака, kg/h}$$

$$C_s - \text{складишни капацитет, дана}$$

Потребна запремина силоса по овом изразу износи $V_s = 340 \text{ m}^3$.

Потребна корисна висина цилиндричног силоса је функција потребне запремине V_s , радијуса силоса r и угла унутрашњег трења материјала θ , а израчунава се по изразу:

$$H = (V_s - 1/3 * \pi * r^3 * \tan \theta) / \pi * r^2 + r * \tan \theta$$

Применом наведених израза добијамо за разматрани силос добијамо:

$$r = 3.5m \text{ и } H = 10.8m$$

Укупна висина силоса од 12 m обезбеђује додатни складиштени простор висине 1.2 m.

6.6 Млинови са куглама

Млинови са куглама димензионисани су за млевење 1924 kg/h кречњака и производњу 30% суспензије кречњака за потребе одвијања процеса одсумпоравања у апсорберима. Потрошња електричне енергије млинова зависи од радног индекса кречњака, пропусних капацитета млинова, величине комада кречњака који се доводи у млин и величине честица самлевоног кречњака. За затворени циклус влажног млевења, потрошња електричне енергије млинова може се израчунати на основу једначине:

$$P_m = 1.34 * M * W_i * \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right), \text{ где је: } P_m - \text{потрошња електричне енергије млина, kW}$$

M - пропусни капацитет млина, t/h

W_i - радни индекс кречњака, kW/t

F_{80} - величина отвора сита код ког ће 80% зрна кречњака проћи кроз отвор сита, μm

P_{80} - величина отвора сита код ког ће 80% производа млевења проћи кроз отвор сита, μm

Вредности наведених параметара при пуном оптерећењу износе: $M=19,3$, $W_i=10,8$, $F_{80}=11214 \mu m$ за величину улазних гранула $>20 \text{ mm}$, $P_{80}=24 \mu m$ за производ млевења код којег је 95% честица $<44 \mu m$, па коришћењем наведеног израза добијамо потрошњу електричне енергије од $P_m=545 \text{ kW}$.

6.7 Складишни резервоар суспензије кречњака

Складишни резервоар суспензије кречњака димензионисан је да обезбеди 8 часова активног времена застоја T_p , при максималним пројектним условима рада. Максимална потрошња суспензије кречњака износи $Q = 51,8 \text{ m}^3/\text{h}$ за сваки блок. Потребна складишна запремина резервоара V се може израчунати коришћењем израза:

$$V = 2 * Q * T_r = 830 \text{ m}^3$$

Радна висина је функција запремине резервоара и израчунава се коришћењем израза

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2}$$

За пречник резервоара од $d=9 \text{ m}$, радна запремина износи $H=13 \text{ m}$. Укупна висина од 14 m обезбеђује додатни складишни простор и потапање пумпи.

7. АПСОРБЕР

7.1 Елементи система за апсорпцију

Систем за апсорпцију сумпор диоксида из димног гаса као саставни део постројења обухвата следеће елементе:

- два челична, отворена, апсорберска торња, са супротнострујним распршивањем процесне суспензије у односу на смер струјања димног гаса, израђена од St37-2 и изнутра обложена гуменим облогама, са интегрисаним реакционим базенима,
- Унутрашње делове сваког од апсорбера у које спадају:
 - систем воде за интервентно хлађење, израђен од нерђајућег челика,
 - системи цевовода за распршивање процесне суспензије, израђених од специјалне пластике ојачане стакленим влакнима (енгл. glass fiber reinforced plastic) отпорне на корозију, као и носеће греде од угљеничног челика, такође обложене гуменим облогама,
 - двостепени елиминатор капи (један степен за грубо уклањање капљица и један степен за фино), са системом за испирање и носећом конструкцијом од угљеничног челика, обложене гуменим облогама и
 - четири усмеривача.
- по пет рецикулационих пумпи суспензије кречњака за сваки од апсорбера,
- по четири мешалице за сваки од апсорбера,
- три дувача ваздуха за оксидацију (по један за сваки од апсорбера и један који представља заједничку резерву),
- два базена апсорбера (по један за сваки апсорбер),
- две мешалице суспензије у базену апсорбера (по једна за сваки базен),
- четири пумпе базена апсорбера (по две за сваки базен),
- један резервоар за прихват суспензије у случају удесног или ремонтног пражњења апсорбера,
- три (3) мешалице суспензије у резервоару за удесно и ремонтно пражњење апсорбера,
- две пумпе резервоара за удесно и ремонтно пражњење апсорбера,

- врата за прилаз и инспекцију апсорберског суда, укључујући и врата за чишћење реакционог базена,
- прилазне платформе и стазе око апсорберског суда,
- ослонци мешалице апсорбера,
- цевоводи у зони апсорбера, укључујући:
 - напојни цевовод система воде за интервентно хлађење,
 - рецикулациони цевовод,
 - цевовод система за испирање елиминатора капи,
 - цевовод свеже воде,
 - цевовод повратне филтратске воде,
 - цевовод за транспорт суспензије,
 - дренажни цевовод димњака,
 - цевовод за транспорт воде за испирање,
 - дренажни цевовод транспортне линије суспензије,
 - цевовод суспензије кречњака и
 - цевовод ваздуха за оксидацију.
- постројење и услужни објекти у области апсорбера, укључујући:
 - цевовод за развод процесног ваздуха,
 - цевовод за развод инструменталног ваздуха,
 - цевовод за развод процесне воде,
 - станице за интервентно туширање/испирање очију питком водом и
 - систем за повезивање канала воде за интервентно хлађење са прихватним резервоарима у области апсорбера.
- изолација и облоге мањих цевовода за транспорт воде.

7.2 Анализа састава процесне воде

Као што јој и само име каже, процесна вода је неопходна за реализацију процеса одсумпоравања димних гасова. Обзиром на локацију термоелектране “Костолац Б”, самим тим и постројења за одсумпоравање гасова, процесна вода ће путем канала расхладне воде бити довођена из реке Дунав и увођена у процес. Пројектовани квалитет напојне воде у постројењу за одсумпоравање димних гасова је приказан Табелом 12. Наведени параметри

су дефинисани на основу података о карактеристикама воде реке Дунав. Пројектована потрошња процесне воде по блоку за угаљ средњег квалитета износи $143 \text{ m}^3/\text{h}$.

Табела 12. – Пројектовани квалитет напојне воде

параметар	јединица	вредност
pH		7,9
електропроводљивост	$\mu\text{S}/\text{m}$	7,9
НРК	mg/l	3,6
растворене чврсте материје	mg/l	12
укупна тврдоћа	mg/l	207
Cl	mg/l	16,5
Ca_2^+	mg/l	54
SO_4^{2-}	mg/l	21,4
SiO_2	mg/l	7
Na^+	mg/l	11,19
K^+	mg/l	1,81
Mg^{2+}	mg/l	17
гвожђе	mg/l	0,18

Након смештања у напојни резервоар, процесна вода ће бити пребацивана до постројења за влажно млевење кречњака, док ће други део бити усмераван ка апсорберу. Губици који су неизбежни, а који се односе на испаравање, губитке слободне воде и воде из финалног нус производа тј. гипса, биће надокнађивани сервисном водом, која ће бити убацивана у апсорбер преко испирања елиминатора капљица и у систем припреме суспензије кречњака. Одузимање воде, прелив хидроциклона и филтратска вода круже у систему одсумпоровања димних гасова и не утичу на укупни биланс воде. Разређена суспензија гипса из реакционог базена сваког од апсорбера помоћу пумпи бива усмеравана ка хидроциклонској групи у којој се врши првостепено одводњавање суспензије. Предвиђено је постављање три хидроциклонске групе, од којих је једна резервна. Један део воде се из хидроциклонске групе враћа у апсорбере, док се други део одваја од главне струје и пумпа ка хидроциклону отпадних вода. Прелив са хидроциклона отпадних вода даље рециркулише у систему. Талог са дна се усмерава ка централном

постројењу за третман отпадних вода. Процесна вода ће се у постројењу за влажно одсумпоровање димних гасова трошити на:

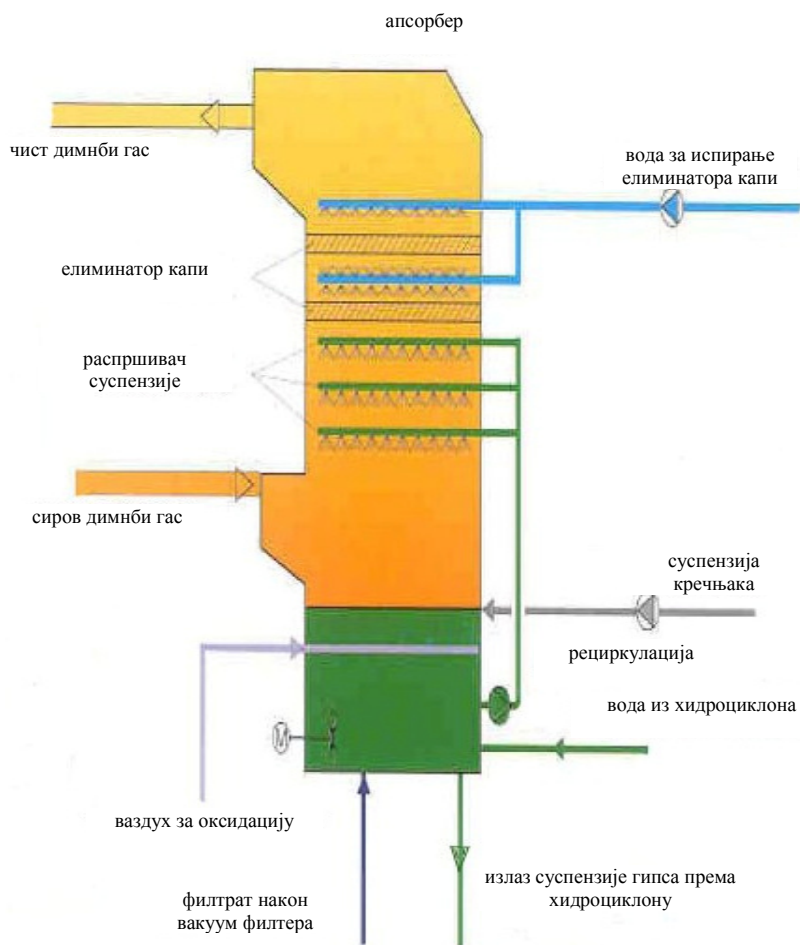
- процес испаравања воде која се уводи у апсорбер у току хлађења димног гаса у апсорберу,
- слободну влагу у добијеном гипсу и
- издвајање отпадне воде.

Вода која се неповратно губи из система надокнађује се сервисном водом која се убацује у апсорбер, преко испирања елиминатора капљица и у систем за припрему суспензије кречњака.

7.3 Технички опис

Након проласка кроз електрофилтере, вентилаторе димног гаса и бустер вентилаторе, струја димног гаса из сваког од блокова термоелектране “Костолац Б” улази у апсорбер и то непосредно изнад нивоа течне фазе у реакционом базену. Апсорбер приказан Сликаом 20. је најважнији део система за одсумпоровање димних гасова. Након уласка, струја димног гаса се креће ка врху апсорбера, при чему долази у контакт са финим капљицама рецикулационе суспензије кречњака које апсорбују CO_2 из димног гаса. Пречишћен димни гас након тога пролази кроз двостепени елиминатор капљица чија је функција уклањање капљица суспензије и воде, да би након тога, кроз димни канал на врху апсорбера био усмерен у нови димњак и испуштен у атмосферу. Пречник апсорпционе колоне је 15,3 m, док је пречник реакционог базена 16,9 m. Апсорбери су укупне висине 41,8 m. Пројектована брзина димног гаса у апсорберу је 3,8 m/s. Пројектоване карактеристике апсорбера и опреме обезбеђују захтевану ефикасност постројења за одсумпоровање димних гасова, као и концентрацију CO_2 у димном гасу на излазу од 200 mg/m^3 . У горњем делу апсорбера налази се 5 нивоа распршивања. Сваки ниво се састоји од магистрале са цевним рачвама и млазницом. Компоненте за распршивање и распоред млазница су пројектовани тако да покрију цео попречни пресек апсорбера и обезбеде равномерно распршивање по запремини апсорпционе колоне. Деловањем рецикулационих пумпи капацитета $10.500 \text{ m}^3/\text{h}$, суспензија кречњака која циркулише у апсорберу бива пропуштана кроз млазнице за распршивање суспензије, где

се распршује до финих капљица и тако доводи у равномеран контакт са струјом димног гаса.



Слика 20. – Структура апсорбера [4]

Капљице суспензије кречњака апсорбују CO_2 из димног гаса путем реакције која се одвија између CO_2 и реагенса тј. сорбента из суспензије. Хлороводоник (HCl), који се налази у димном гасу, такође бива апсорбован и неутрализован реагујући са кречњаком. Том приликом формира растворљиве соли, што доводи до акумулације јона хлорида у процесној суспензији.

Као резултат реакције димног гаса и суспензије кречњака формира се калцијум сулфит који као тежи пада на дно реакционог базена, смештеног у доњем делу апсорбера. У циљу спречавања његовог таложења, суспензија се стално меша помоћу мешалица. Мешалице обезбеђују и равномерну расподелу кисеоника који се додаје у циљу формирања стабилног једињења калцијум сулфата, тј. гипса. На тај начин део HCO_3 који није оксидирао са кисеоником из димног гаса у зони распршивања, у целости оксидише са

кисеоником из ваздуха који се удувава у реакциони базен. Пројектом је предвиђено да реакциони базен апсорбера обезбеди време довољно за одвијање свих процесних реакција у оквиру поступка одсумпоровања димних гасова. Релативно ниска рН вредност суспензије у реакционом базену апсорбера резултује малом количином вишка кречњака и високом чистоћом добијеног гипса. То је свакако повољна околност спровођења овог процеса, а како би била одржавана константном, суспензија кречњака бива континуално увођена у реакциони базен, замењујући кречњак употребљен за апсорпцију CO_2 . Осим рН вредности, важне процесне параметре представљају и садржај чврсте материје и концентрација хлорида. Одводом дела суспензије из апсорбера на угушћење, садржај чврсте материје у суспензији кречњака одржава се на 20%. Чистоћу гипса би требало одржавати изнад 95%, док се ниво хлорида у суспензији одржава на вредности око 8.000 ppm. У циљу одржавања захтеваних карактеристика рецикулационе суспензије (рН вредност, садржај честица), део прелива хидроциклона се одваја из процеса у виду отпадне воде. Пречишћени димни гас пролази кроз елиминатор капљица, како би се из њега уклониле капљице воде (садржај капљица у димном гасу на излазу не сме бити већи од 75 mg/Nm³). Двостепени елиминатори капљица се чисте технолошким водом, а сам процес прања је аутоматски. Пројектом је предвиђена и дренажна јама, са мешалицом и пумпом за одводњавање, за прикупљање воде од испирања и пражњења апсорбера, опреме и цевовода. Сакупљена течност се транспортује или у апсорбер или у резервоар за суспензију у случају нужде.

Систем сигурносне воде, који користи процесну воду, је нека врста безбедоносног механизма инсталиран у улазном каналу димног гаса с функцијом да спречи оштећења унутрашње облоге апсорбера у случају скока температуре улазног гаса или отказа рецикулационих пумпи апсорбера. За потребе рада овог система вода се узима директно из резервоара напојне воде. Систем садржи две пумпе са 100% капацитета, зауставних вентила и система за распршивање. Вентили се активирају када температура на улазу у апсорбер премаши одређену вредност или када су у апсорберу активна мање од два нивоа распршивања. У сваком апсорберу присутне су следеће зоне, гледано од дна ка врху:

- реакциони базен,
- улаз у апсорбер,
- зона распршивања,
- елиминатор капи и
- излаз из апсорбера.

7.4 Цевоводи у области апсорбера

Сви цевоводи пројектовани су за брзине струјања суспензије или воде које не доводе до абразије или пада притиска у цевима, нити до таложења чврстих материја. Цевоводи и вентили пројектовани су у складу са DIN стандардом. Цевоводи процесне воде и заптивног, процесног и оксидационог ваздуха израђени су од угљеничног челика. Главни дистрибутивни прстен ваздуха за мерне уређаје израђен је од нерђајућег челика у складу са DIN 1.4571 или 1.4436. Цевоводи филтратске воде, суспензије кречњака и суспензије гипса израђени су од пластике ојачане стакленим влакнима. Уколико примена овог материјала није адекватна због малих пречника, материјал израде биће нерђајући челик. Рециркулациони цевни водови апсорбера биће израђени од угљеничног челика или пластике ојачане стакленим влакнима.

7.5 Прорачун димензија апсорбера

Брзину струјања димног гаса кроз апсорбер одређује испоручилац система за одсумпоравање димних гасова на основу сопственог модела процеса одсумпоравања димних гасова примењеног на разматрани случај. Максимална брзина ограничена је способношћу елиминатора капи да уклони или спречи продирање капљица течности у струју димног гаса која из апсорбера иде у излазни канал димног гаса. Познајући пројектну брзину и проток димног гаса, пречник апсорбера може се израчунати коришћењем следећег израза [2]:

$$D_a = \sqrt{\frac{4 * F_{tg}}{3600 * \omega_{tg} * \pi}}, \text{ где је: } F_{tg} - \text{ проток третираног гаса који напушта апсорбер, m}^3/\text{h}$$

ω_{tg} - брзина третираног гаса који напушта зону распршивања суспензије у апсорберу, m/s

За пројектно решење термоелектране „Костолац Б” вредност ових параметара су $F_{tg}=2938700 \text{ m}^3/\text{h}$ и $\omega_{tg}=4,44 \text{ m/s}$, па коришћењем наведеног израза добијамо пречник апсорбера од $D_a=15,3 \text{ m}$.

Висина активног дела апсорбера H_a усваја се према препоруци:

$$\frac{H_a}{D_a} = 1.5 \div 3$$

За усвојени однос активне висине и пречника апсорбера, коришћењем наведеног израза добијамо вредност активне висине апсорбера:

$$\frac{H_a}{D_a} = 2 \rightarrow H_a = 2 * D_a = 2 * 15.3 = 30.6m$$

У сабирнику или доњем делу апсорбера усваја се да је ниво течности $H_1=1m$, па укупна висина апсорбера износи:

$$H_u = H_a + H_1 = 30.6 + 1 = 31.6m$$

8. СИСТЕМ ЗА ХИТНО ПРАЖЊЕЊЕ

8.1 Опис система за хитно пражњење

Апсорбери су укључујући и припадајуће реакционе базене, израђени од угљеничног челика и обложени гуменим облогама. Квалитет њиховог рада, као и поузданост у великој мери зависе од стање облога, због чега оно мора бити континуално контролисано и по потреби поправљано. Исправна инспекција облога реакционог базена суспензије захтева испуштање целокупне количине процесне суспензије из базена и њено смештање у други резервоар. За потребе спровођења описаних контролних активности, пројектом је предвиђена изградња резервоара за хитно односно удесно и ремонтно пражњење апсорбера.

Резервоар за хитно пражњење апсорбера предвиђен је за привремено складиштење садржаја једног реакционог базена уз постојање могућности враћања суспензије у апсорбер након завршене инспекције и/или поправке реакционог базена. За транспорт суспензије до резервоара користе се пумпе за одвод суспензије гипса из апсорбера. Количина суспензије која након њеног враћања у апсорбер остане у реакционом базену испод минималног нивоа чији се транспорт може реализовати коришћењем наведених пумпи, дренажа се у локалну дренажну јаму апсорбера и даље, помоћу дренажних пумпи, шаље ка резервоару за прихват суспензије.

Резервоар за хитно пражњење апсорбера, капацитета 3200 m^3 , пречника $15,3 \text{ m}$ и висине 18 m , израђен је од угљеничног челика и обложен облогама са љуспичастом испуном. Планирано је постављање три мешача у резервоар којима се спречава таложења чврстих материја у суспензији. За потребе враћања суспензије из резервоара у апсорбер предвиђена је инсталација две центрифугалне пумпе, једне радне и једне резервне. Пумпе су димензионисане тако да обезбеде враћање целокупне количине суспензије у апсорбер у току периода од осам сати. Кућишта пумпи израђена су од угљеничног челика и обложена гуменим облогама, док су лопатице пумпи израђене од ливеног нерђајућег челика. Количина суспензије која заостане у резервоару испод минималног нивоа чији се транспорт може реализовати коришћењем наведених пумпи резервоара за прихват

суспензије, дренира се у локалну дренажну јаму апсорбера, одакле се дренажним пумпама шаље у апсорбер.

8.2 Прорачун система за хитно пражњење

Резервоар за хитно пражњење апсорбера димензионисан је тако да може да прихвати целокупну количину суспензије из реакционог базена апсорбера. То значи да запремина резервоара за прихват суспензије износи $V_{\pi}=2720 \text{ m}^3$. За израчунати пречник резервоара од $d=15,3 \text{ m}$, корисна висина резервоара за хитно пражњење износи:

$$H = \frac{4 * V_{\pi}}{\pi * d} = 14.8m$$

Један од предлога, када је висина резервоара у питању претпоставља висину резервоара од 18 m, што обзиром на израчунату обезбеђује и одређени додатни складишни простор у резервоару.

9. ЦЕВНИ МОСТОВИ КОД СИСТЕМА ЗА ОДСУМПОВАЊЕ ДИМНИХ ГАСОВА

9.1 Технички опис

Димензије вентила, експанзионих судова, спојница, мерача протока и других саставних делова цевних мостова морају бити одређени пре наручивања. Потребно је водити рачуна о њиховим стварним димензијама и према њима се треба равнати приликом уградње и подешавања. Све цеви које се повезују на апсорбер, пумпе, вентиле, цевну арматуру, као и прирубнице које се повезују спојницама биће урађене у складу са одговарајућим стандардима. Прво ће бити постављене посебно обложене цеви, ради обезбеђивања њиховог правилног положаја, да би након њих биле монтиране и цеви од угљеничног и нерђајућег челика. Када је пречник у питању, прво ће бити монтиране цеви већег, а потом и оне мањег пречника. Уградња носача који су укопани у грађевинске потпорне стубове захтева сарадњу са грађевинским тимом, како би правилно био подешен нагиб потпорних плоча и потпорне плоче чврсто заварене за арматуру темеља. Након инсталације све спољне површине опреме, сви цевоводи, платформе, лестве, носачи, куке и остала опрема која нема изолацију, мора бити заштићена од корозије. Превенције ради, пре уградње потребно је проверити величине прирубница. Приликом монтаже вретена вентила водоравних цеви треба поштовати редослед по коме се прво монтирају водоравни па они под углом од 45° навише и на крају они под углом од 45° наниже. Приликом отварања, вретено вентила не сме да омета проток. За мале цеви које по пројекту немају носаче и куке потребно је поставити носаче и куке на лицу места, у складу са околностима на терену. Цевовод мора да стоји под нагибом од 0.3%, уколико не постоји други услов. Цевоводи у каналима морају да буду обложени двоструком гуменом изолацијом. Након завршетка монтаже потребно је спровести поступак испитивања под притиском. Цевовод мора да буде одвојен од опреме за време испитивања. Испитивања овог типа морају да буду спроведена за цевоводе од угљеничног челика, при чему је хидростатички притисак испитивања за 50% већи од пројектованог, за цевоводе обложене гумом, при чему је хидростатички притисак испитивања једнак пројектованом и за цевоводе од нерђајућег челика. Хидростатички притисак током њиховог испитивања је, као и у случају цевовода

од угљеничног челика, за 50% већи од пројектованог. Вода која се користи за испитивање цевовода не сме да садржи више од 25 mg/l Cl⁻. За цевоводе од угљеничног или нерђајућег челика пречника већег од 65 који се монтирају на самом градилишту, а за које не постоје цртежи распореда, усвајају се највећи распони ослонца који зависе од пречника цеви. Цеви пречника мањег или једнаког 65 морају да буду монтиране на лицу места, у складу са пројектном документацијом уз дозвољена подешавања. У случају потребе замене материјала на самом градилишту, потребно је остварити увид у карактеристике предложеног, алтернативног материјала. Замена мора бити одобрена од стране пројектанта, односно његовог представника и то у писаном облику [6].

9.2 Статички прорачун цевне конструкције

Прописи ко којима је спроведен прорачун, а који показује стабилност конструкције, заснивају се на полупробабистичком концепту прорачуна, односно на концепту граничних стања. Гранична стања су стања конструкције чијим достизањем или прекорачењем конструкција губи своја основна својства, па више није у стању да одговори пројектним захтевима тј. губи функцију за коју је намењена. По примењеним прописима, гранична стања се односе на носивост и употребљивост. Поузданост конструкције се доказује применом методе парцијалних коефицијената сигурности за оптерећење и материјал. Референтни период века трајања конструкције је 50 година. Конструкција носи статичко оптерећење које потиче од самих цевовода, укључујући и сопствено оптерећење али и активно оптерећење. Сопствено оптерећење треба да обухвати тежину компоненти цеви и материјала топлотне изолације, као и других сталних оптерећења које носи цевовод. Активна оптерећења обухватају оптерећење које генеришу процесне и течности за тестирање, снег и лед, као и друга привремена активна оптерећења.

За хоризонталне цеви пречника мањег од 350 mm са или без топлотне изолације, које не носе централно оптерећење, оптерећење на носачима и овешењима се може одредити у складу са подацима датим у Табели 13.

Табела 13. – Оптерећење на носачима и овешењима за цеви без и са изолацијом

број	номинални пречник	маса цеви и медија (kg/m)	пројектована маса (kg/m)	распон носача и овешења	радно оптерећење	структурно оптерећење
1	DN 20	1.55/4.87	2.16/6.82	2.22/1.72	100.00/150.00	150.00/225.00
2	DN 25	2.51/6.08	3.51/8.51	2.51/2.01	150.00/200.00	225.00/300.00
3	DN 32	3.22/7.00	4.50/9.80	2.71/2.23	150.00/250.00	225.00/375.00
4	DN 40	4.13/8.17	5.78/11.44	2.91/2.45	200.00/300.00	300.00/450.00
5	DN 50	6.45/10.92	9.03/15.29	3.26/2.86	350.00/500.00	525.00/750.00
6	DN 65	11.46/16.61	16.04/23.25	3.77/3.43	650.00/850.00	975.00/1275.00
7	DN 80	14.56/20.19	20.38/28.27	4.02/3.70	850.00/1050.00	1275.00/1575.00
8	DN 110	19.68/25.98	27.55/36.37	4.34/4.04	1200.00/ 1500.00	1800.00/2250.00
9	DN 125	27.45/34.65	38.43/48.51	4.69/4.42	1800.00/ 2150.00	2700.00/3225.00
10	DN 150	38.35/46.48	53.68/65.07	5.09/4.85	2750.00/ 3150.00	4125.00/4725.00
11	DN 200	71.88/82.19	100.64/115.07	5.94/5.75	5900.00/ 6550.00	8850.00/9825.00
12	DN 250	109.11/121.36	152.75/169.90	6.57/6.40	9900.00/ 10700.00	14850.00/ 16050.00
13	DN 300	152.48/166.32	213.48/233.27	7.13/6.97	14950.00/ 16000.00	22425.00/ 24000.00

Оптерећење које носи конструкција се састоји од сопствене тежине, додатног сталног оптерећења и оптерећења од снега које и износи $s=1.0 \text{ kN/m}^2$. Ова оптерећења заједно чине вертикално оптерећење. Хоризонтално оптерећење представља ветар, чија максимална брзина у крају у коме се налази термоелектрана “Костолац Б” износи 26 m/s.

Свођење осредњене брзине ветра на $V_{m,50,10}$ по СРПС У.Ц7.110 [8]

Фактор експозиције терена се рачуна уз помоћ формуле:

$$K_z = \sqrt{b} * \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha = 1, \text{ за инжењерске објекте и за } z=10$$

Параметри храпавости за класу терена Б су:

$$a = 0.030, b = 1.0, \alpha = 0.14, \text{ за } z = 10 \text{ } K_z = 1 \text{ и } K_z^2 = 1$$

Осредњена брзина ветра са повратним периодом T (god) и у тачки на висини 10 m:

$$V_{m,t_a,10} = V_{m,t_a,z} / K_z * S_z = 26 m/s, S_z = 1$$

Фактор временског интервала осредњавања (за класу храпавости терена Б) је:

$$k_t^B = 1.6509 * t_s^{-0.0643}, t_s = 3 \text{ min} = 180 s, k_t^B = 1.181$$

$$k_t = \frac{V_{m,ta,10}}{V_{m,3600,10}} \rightarrow V_{m,3600,10} = \frac{V_{m,ta,10}}{k_t} = 22.01 m/s$$

Повратни период осредњавања брзине ветра од T=50 година:

$$K_T = \frac{1}{1.507} \left(1 - 0.13 * \ln \left(- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right)$$

за $T = 50 \text{ год}$ и $K_T = 1.000$

$$k_t = \frac{V_{m,T,z}}{V_{m,50,z}} \rightarrow V_{m,50,10} = \frac{V_{m,T,10}}{k_t} = 22.01 m/s$$

Основни притисак ветра са повратним периодом T=50 година и у тачки на висини 10 m:

$$q_{m,50,10} = 0.5 * \rho * (V_{m,50,10} * k_t * K_T)^2 * 10^{-3} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

густина ваздуха: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

за временски период осредњавања од 1 h: $k_t = 1$

са повратни ход од T=50 година: $K_T = 1$

$$q_{m,50,10} = 0.297 kN/m^2$$

9.3 Прорачун типске везе

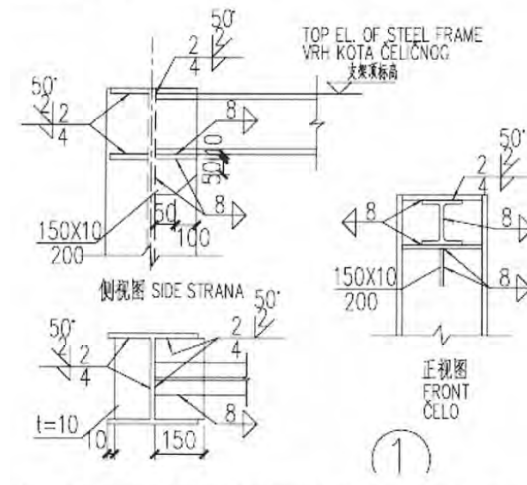
9.3.1 Веза попречног носача са стубом

Веза је остварена преко симетричних угаоних шавова и челичних лимова представљених Сликаом 21. Утицаји који су узети у обзир при провери везе, максимални су утицаји који се јављају дуж зоне одсумпоравања димних гасова [5].

Геометријске карактеристике пресека НМ 200х150 су:

$$h = 19.4cm, b_f = 15cm, t_f = 0.9cm, t_w = 0.6cm, r = 2.5cm$$

За ножице је заварен лим 210х150х10 и веза је остварена преко угаоних варова и столице – испод доње ножице је заварен вертикални лим 150х200х10.



Слика 21. – Веза попречног носача са стубом [6]

Шав на фланшама: $a_{w1} = \text{round}\left(\frac{0.7t_f}{mm}, 0\right)mm = 6mm$

Шав на ребру: $a_{w2} = \text{round}\left(\frac{0.7t_w}{mm}, 0\right)mm = 4mm$

$$a_{w3} = \text{round}\left(\frac{0.7t_w}{mm}, 0\right)mm = 4mm$$

$$b_1 = 210mm - 2cm = 190mm$$

$$h_1 = \text{round}(h - 2 * t_f - 2 * r - 2cm, 1cm) = 110mm$$

$$h_0 = \text{round}(150mm - 2cm, 10mm) = 130mm$$

$$A_1 = b_1 * a_{w1} = 11.4cm^2$$

$$A_2 = h_1 * a_{w2} = 4.4cm^2$$

$$A_3 = h_0 * a_{w3} = 42cm^2$$

$$A = (A_1 + A_2 + A_3) * 2 = 42cm^2$$

$$I_y = \left[A_1 * \frac{h^2}{4} + \frac{1}{12} * h_1^3 * aw_2 + \frac{1}{12} * h_o^3 * aw_3 + A_3 * \left(\frac{h_{o2}}{2} + h \right)^2 \right] * 2 = 9356.88 cm^4$$

$$I_z = (b_1^3 * aw_1) * \frac{1}{12} * 2 = 685.9 cm^4$$

$$A_{vy} = 2 * A_2 + 2 * A_3 = 19.2 cm^2 \text{ и } A_{vz} = 2 * A_1 = 22.8 cm^2$$

Карактеристике материјала и парцијални коефицијент сигурности:

$$E = 210 GPa, G = 8100 \frac{kN}{cm^2}, f_y = 275 MPa, \varepsilon = \sqrt{\frac{235 MPa}{f_y}} = 0.92, f_u = 360 MPa$$

$$\gamma_{M0} = 1.1, \gamma_{M1} = 1.1, \gamma_{M2} = 1.25, \beta_w = 0.8$$

Геометрија шава:

$$\text{Површина шава:} \quad A = 42 cm^2$$

$$\text{Момент инерције око јаче осе:} \quad I_y = 9356.88 cm^4$$

$$\text{Момент инерције око слабије осе:} \quad I_z = 685.9 cm^4$$

$$\text{Површина смицања:} \quad A_{vz} = 22.8 cm^2, A_{vy} = 19.2 cm^2$$

$$\sigma_{ndop} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 259.2 MPa, \sigma_{udop} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 360 MPa$$

Прорачунска носивост шава смицања:

$$F_{vwd} = \frac{f_u * \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 623.54 MPa$$

Утицај у попречном пресеку-максимални утицај у главном правцу:

$$\text{Прорачунска нормална сила:} \quad N = 13.17 kN$$

$$\text{Трансверзална сила у у правцу:} \quad V_y = 43.14 kN$$

$$\text{Момент савијања око у осе:} \quad M_y = 11.43 kNm$$

Провера у тачки 1:

$$n_1 : \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} * \frac{h}{2} = 14.98 MPa < \sigma_{w.dop} = 120 MPa$$

Провера у тачки 2:

$$V_{II2} = \frac{V_y}{A_{vy}} = 22.4 MPa < \sigma_{w.dop} = 120 MPa$$

Провера у тачки 3:

$$n_3 : \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} * \frac{h_1}{2} = 9.85 MPa$$

$$V_{II3} = \frac{V_y}{A_{vy}} = 22.4 MPa$$

$$\sigma_{u1} = \sqrt{n_3^2 + V_{II3}^2} = 24.53 MPa < \sigma_{w.dop} = 120 MPa$$

Утицај у попречном пресеку-косо напрезање у носачу

Прорачунска нормална сила: $N = 13.17 kN$

Трансверзална сила у у правцу: $V_y = 43.14 kN$

Трансверзална сила у z правцу: $V_z = 4.73 kN$

Момент савијања око у осе: $M_y = 11.43 kNm$

Момент савијања око z осе: $M_z = 5.19 kNm$

$$\sigma_{w1} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} * \frac{h}{2} + \frac{M_z}{I_z} * \frac{b_f}{2} = 71.74 MPa$$

$$\sigma_{n1} = \frac{\sigma_{w1}}{\sqrt{2}} = 50.72 MPa, \tau_{n1} = \frac{\sigma_{w1}}{\sqrt{2}} = 50.72 MPa$$

$$\tau_{II1} = \frac{V_y}{A_{vy}} = 22.47 MPa$$

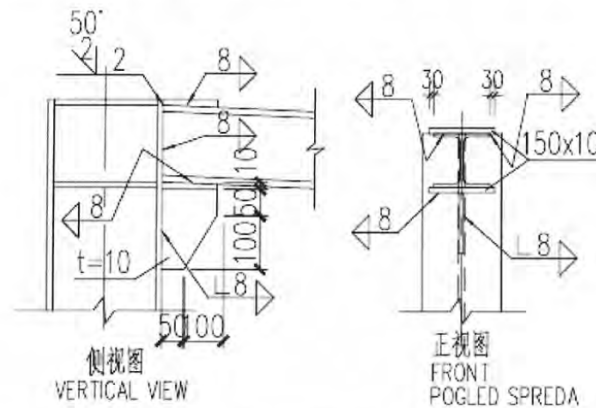
$$\sigma_{u1} = \sqrt{\sigma_{n1}^2 + 3 * (\tau_{n1}^2 + \tau_{II1}^2)} = 108.66 MPa$$

$$\frac{\sigma_{n1}}{\sigma_{ndop}} = 0.2 < 1, \frac{\sigma_{u1}}{\sigma_{udop}} = 0.3 < 1$$

9.3.2 Веза подужног носача са стубом

Геометријске карактеристике пресека НМ 300х200 [5].

$$h = 29.4\text{cm}, b_f = 20\text{cm}, t_f = 1.2\text{cm}, t_w = 0.8\text{cm}, r = 2.5\text{cm}$$



Слика 22. – Веза подужног носача са стубом [6]

За ножице је заварен лим 260х150х10 и веза је остварена преко угаоних шавова и вертикалног лима испод самог носача-столице.

$$\text{Шав на фланшама: } a_{w1} = \text{round}\left(\frac{0.7t_f}{\text{mm}}, 0\right) \text{mm} = 8\text{mm}$$

$$\text{Шав на ребру: } a_{w2} = \text{round}\left(\frac{0.7t_w}{\text{mm}}, 0\right) \text{mm} = 6\text{mm}$$

$$a_{w3} = \text{round}\left(\frac{0.7t_w}{\text{mm}}, 0\right) \text{mm} = 6\text{mm}$$

$$b_1 = 260\text{mm} - 2\text{cm} = 240\text{mm}$$

$$h_1 = \text{round}(h - 2 * t_f - 2 * r - 2\text{cm}, 1\text{cm}) = 200\text{mm}$$

$$h_0 = \text{round}(150\text{mm} - 2\text{cm}, 10\text{mm}) = 130\text{mm}$$

$$A_1 = b_1 * a_{w1} = 19.2\text{cm}^2$$

$$A_2 = h_1 * a_{w2} = 12\text{cm}^2$$

$$A_3 = h_0 * a_{w3} = 7.8cm^2$$

$$A = (A_1 + A_2 + A_3) * 2 = 78cm^2$$

$$I_y = \left[A_1 * \frac{h^2}{4} + \frac{1}{12} * h_1^3 * aw_2 + \frac{1}{12} * h_o^3 * aw_3 + A_3 * \left(\frac{h_{02}}{2} + h \right)^2 \right] * 2 = 29422.99cm^4$$

$$I_z = (b_1^3 * aw_1) * \frac{1}{12} * 2 = 1843.2cm^4$$

$$A_{vy} = 2 * A_2 + 2 * A_3 = 39.6cm^2 \text{ и } A_{vz} = 2 * A_1 = 38.4cm^2$$

Карактеристике материјала и парцијални коефицијент сигурности:

$$E = 210GPa, G = 8100 \frac{kN}{cm^2}, f_y = 275MPa, \varepsilon = \sqrt{\frac{235MPa}{f_y}} = 0.92, f_u = 360MPa$$

$$\gamma_{M0} = 1.1, \gamma_{M1} = 1.1, \gamma_{M2} = 1.25, \beta_w = 0.8$$

Геометрија шава:

Површина шава: $A = 78cm^2$

Момент инерције око јаче осе: $I_y = 29422.99cm^4$

Момент инерције око слабије осе: $I_z = 1843.2cm^4$

Површина смицања: $A_{vz} = 38.4cm^2, A_{vy} = 39.6cm^2$

$$\sigma_{ndop} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 259.2MPa, \sigma_{udop} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 360MPa$$

Прорачунска носивост шава смицања:

$$F_{vwd} = \frac{f_u * \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} = 623.54MPa$$

Утицај у попречном пресеку-максимални утицај у главном правцу:

Прорачунска нормална сила: $N = 38.5kN$

Трансверзална сила у у правцу: $V_y = 45kN$

Момент савијања око у осе: $M_y = 65.56kNm$

Провера у тачки 1:

$$n_1 : \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} * \frac{h}{2} = 37.69MPa < \sigma_{W.dop} = 120MPa$$

Провера у тачки 2:

$$V_{II2} = \frac{V_y}{A_{vy}} = 11.36MPa < \sigma_{W.dop} = 120MPa$$

Провера у тачки 3:

$$n_3 : \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} * \frac{h_1}{2} = 27.22MPa$$

$$V_{II3} = \frac{V_y}{A_{vy}} = 11.36MPa$$

$$\sigma_{u1} = \sqrt{n_3^2 + V_{II3}^2} = 29.49MPa < \sigma_{W.dop} = 120MPa$$

Утицај у попречном пресеку-косо напрезање у носачу

Прорачунска нормална сила: $N = 13.17kN$

Трансверзална сила у у правцу: $V_y = 43.14kN$

Трансверзална сила у z правцу: $V_z = 4.73kN$

Момент савијања око у осе: $M_y = 11.43kNm$

Момент савијања око z осе: $M_z = 5.19kNm$

$$\sigma_{W1} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} * \frac{h}{2} + \frac{M_z}{I_z} * \frac{b_f}{2} = 67.53MPa$$

$$\sigma_{n1} = \frac{\sigma_{W1}}{\sqrt{2}} = 47.75MPa, \tau_{n1} = \frac{\sigma_{W1}}{\sqrt{2}} = 47.75MPa$$

$$\tau_{II1} = \frac{V_y}{A_{vy}} = 11.36 MPa$$

$$\sigma_{u1} = \sqrt{\sigma_{n1}^2 + 3 * (\tau_{n1}^2 + \tau_{II1}^2)} = 97.51 MPa$$

$$\frac{\sigma_{n1}}{\sigma_{ndop}} = 0.18 < 1, \frac{\sigma_{u1}}{\sigma_{udop}} = 0.27 < 1$$

10. ЗАКЉУЧАК

Као продукт сагоревања фосилних горива која су још доминантна погонска горива настаје сумпор диоксид, као загађујућа компонента. Лигнит који се користи у термоелектрани “Костолац Б” има релативно велики удео пепела и сумпора због чега се примена одговарајућег поступка одсумпоравања димних гасова, у циљу заштите ваздуха од загађења, намеће као обавеза. Емисија сумпор диоксида ограничена је прописима о заштити ваздуха, што је имало утицаја на то да се данас развије велики број модела за смањење емисије сумпор диоксида.

Усвајањем Резолуције о приступању Европској Унији, Република Србија се обавезала да изврши хармонизацију законских регулатива Републике Србије са регулативама Европске Уније. Један од најважнијих сегмената овог процеса односи се на мере заштите квалитета ваздуха путем смањења емисије на самим изворима загађења.

Горива која се користе у нашој индустрији представљају знатне изворе емисије сумпор диоксида. Потрошња горива је велика, а највећи потрошачи лигнита у нашој земљи су термоелектране. Принцип рада термоелектрана представља пример прљаве технологије, па је зато заштита животне средине један од главних задатака термоенергетских постројења.

Термоелектрана Костолац Б је највећи загађивач сумпорним оксидима које емитује у количинама од 5000 – 7000 mg/m³N). Разлог томе је стара технологија која није предвиђала одсумпоравање димних гасова, али и коришћење угља као погонског горива који у себи садржи од 1,1 до 1,35% сумпора.

Полазећи од основних техно-економских критеријума за избор технологије одсумпоравања димних гасова, закључено је да је примена влажног поступка одсумпоравања димних гасова типа кречњак – гипс најповољније решење проблема смањења емисије оксида сумпора у термоенергетским постројењима. Овај процес представља савремени процес високе ефикасности, што је у пракси потврђено на великом броју термоенергетских постројења широм света.

Након увода у првом поглављу, у другом поглављу су описани парни котлови уопште, као и парни котлови инсталирани у термоелектрани „Костолац Б”. У овом поглављу су укратко описане и технике и системи одсумпоравања.

У трећем поглављу је са више аспеката анализиран циљ израде система одсумпоровања, као и наше обавезе дефинисане домаћом и регулативом Европске уније.

У четвртом поглављу је детаљније анализиран систем одсумпоровања димних гасова. Поред хемијских реакција на којима се заснива овај процес, објашњени су и подсистеми овог система.

У петом поглављу су објашњени прорачуни одређених електричних и топлотних параметара.

У шестом поглављу је детаљно описано складиште кречњака. Поред описа објашњени су и прорачуни величина везаних за складиште кречњака.

У седмом поглављу је описан апсорбер као најзначанији део система за одсумпоровање димних гасова. Поред описа рада дата је анализа састава процесне воде, као и прорачун димензија апсорбера.

У осмом поглављу је описан систем за хитно пражњење, као систем који се користи у одређеним ситуацијама које се не појављују баш често, а то су хаварне ситуације и ремонти.

У деветом поглављу су описани цевни мостови код система за одсумпоровање димних гасова, опис њиховог рада и одређени прорачуни.

Након закључка је приказан списак коришћене литературе, а затим су додати одређени цртежи.

ЛИТЕРАТУРА

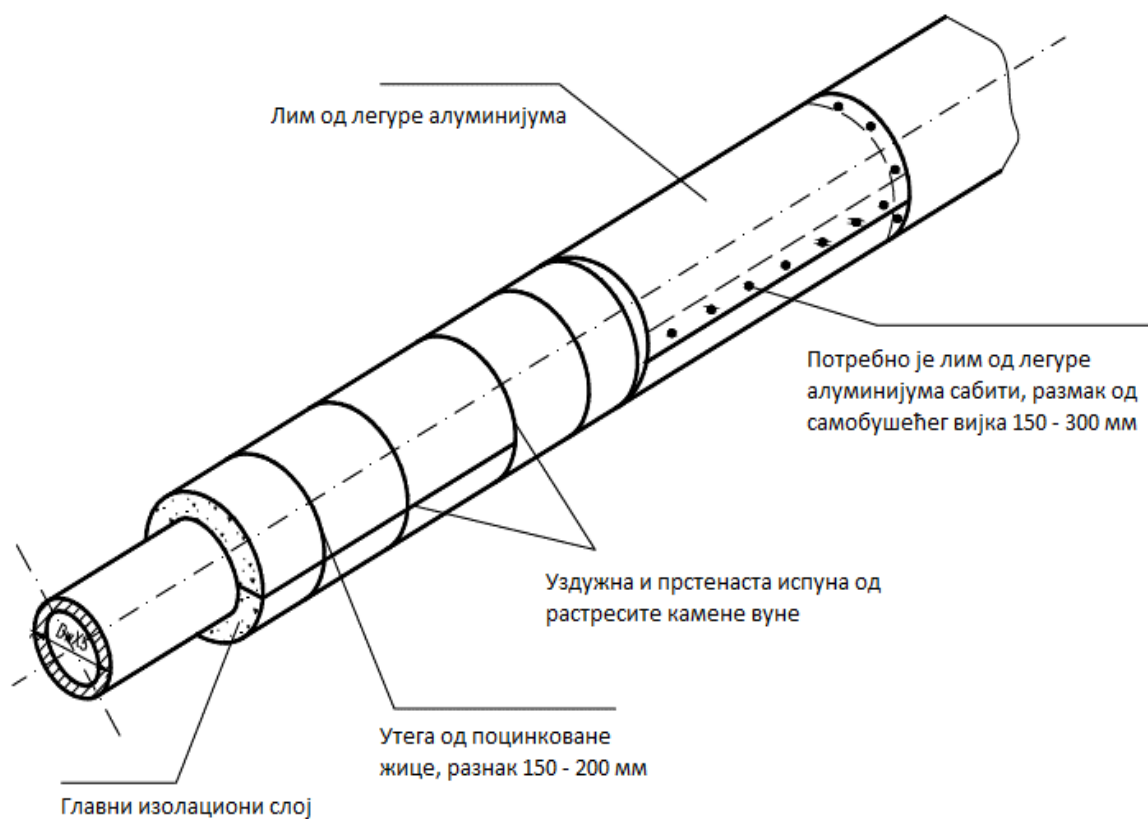
- [1] <http://sr.wikipedia.org/sr> (приступљено 02.11.2016. године)
- [2] Постројење за одсумпоравање димних гасова - Ажурирана студија о процени утицаја на животну средину, Јавно предузеће „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”, јули 2015. године, Београд
- [3] Технолошка шема, блок Б1 и Б2 – 350 MW, Енергопројект, 1990. године
- [4] Студија оправданости са идејним пројектом одсумпоравања димних гасова у ТЕ Костолц Б, Енергопројект-ЕНТЕЛ, Машински факултет у Београду, Рударско-геолошки Факултет у Београду, WorleyParsons, Београд, 2008.
- [5] Систем за одсумпоравање димних гасова, Главни пројекат, књига 01 – Увод и општи део, Јавно предузеће „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”, 2014. године, Београд
- [6] Систем за одсумпоравање димних гасова, Главни пројекат, књига 11 – Цевни мостови дуж ОДГ зоне, Јавно предузеће „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ”, 2014. године, Београд
- [7] Ђурић В., Парни котлови – свеска 1, Грађевинска књига, Београд, 1969.
- [8] СРПС У.Ц7.110 – Основе прорачуна грађевинских конструкција-Оптерећење ветром-Основни принципи и осредњени аеродинамички притисак ветра

ДОДАТАК 1

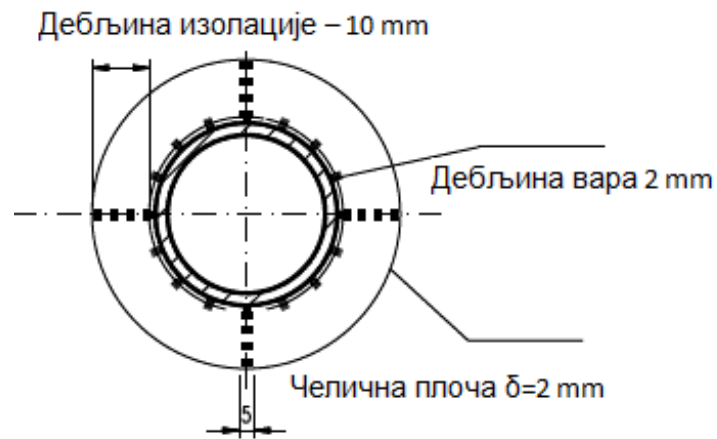
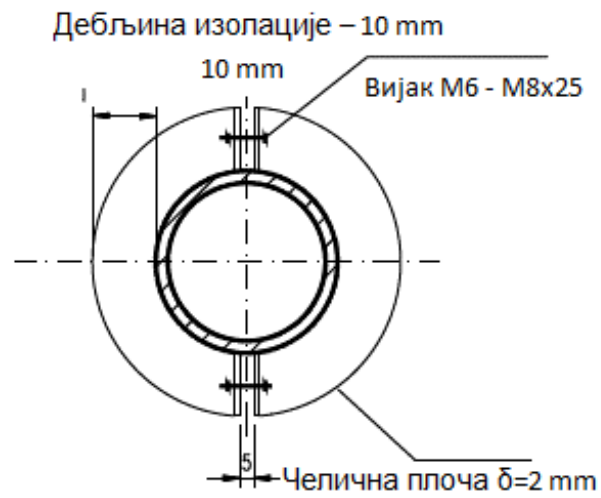
ЦРТЕЖИ

СПИСАК ЦРТЕЖА

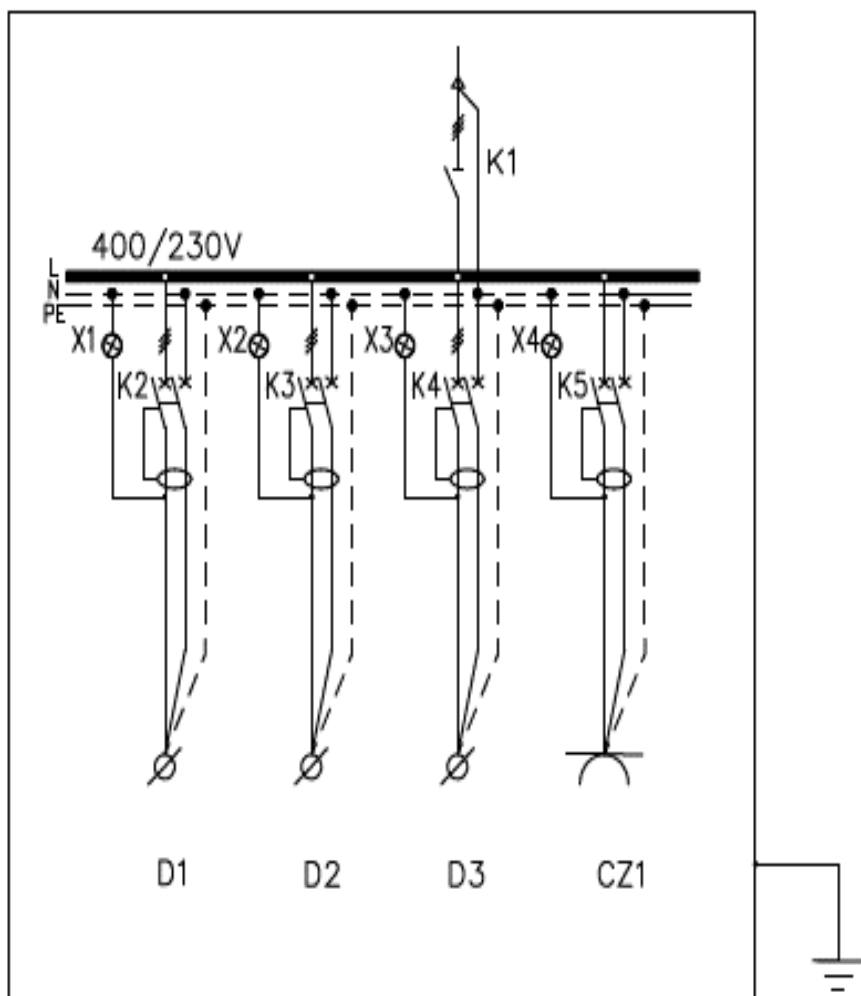
- 1. Конструкција једнослојне изолације за цев**
- 2. Носећи прстен конструкције топлотне изолације**
- 3. Шема деловања развода осветљења**
- 4. Систем димног гаса цртеж попречног пресека**
- 5. Цртеж монтаже дренажне млазнице**
- 6. Попречни пресек вешалке и носача**
- 7. Систем димног гаса цртеж попречног пресека**
- 8. Цртеж попречног пресека канала**



цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Конструкција
оверио	Иван Млакар	једнослојне
датум	22.11.2016	изолације за
Размера	Назив	цев
Без размере	Цевни мостови код система за одсумпоравање димних гасова	Број цртежа 1

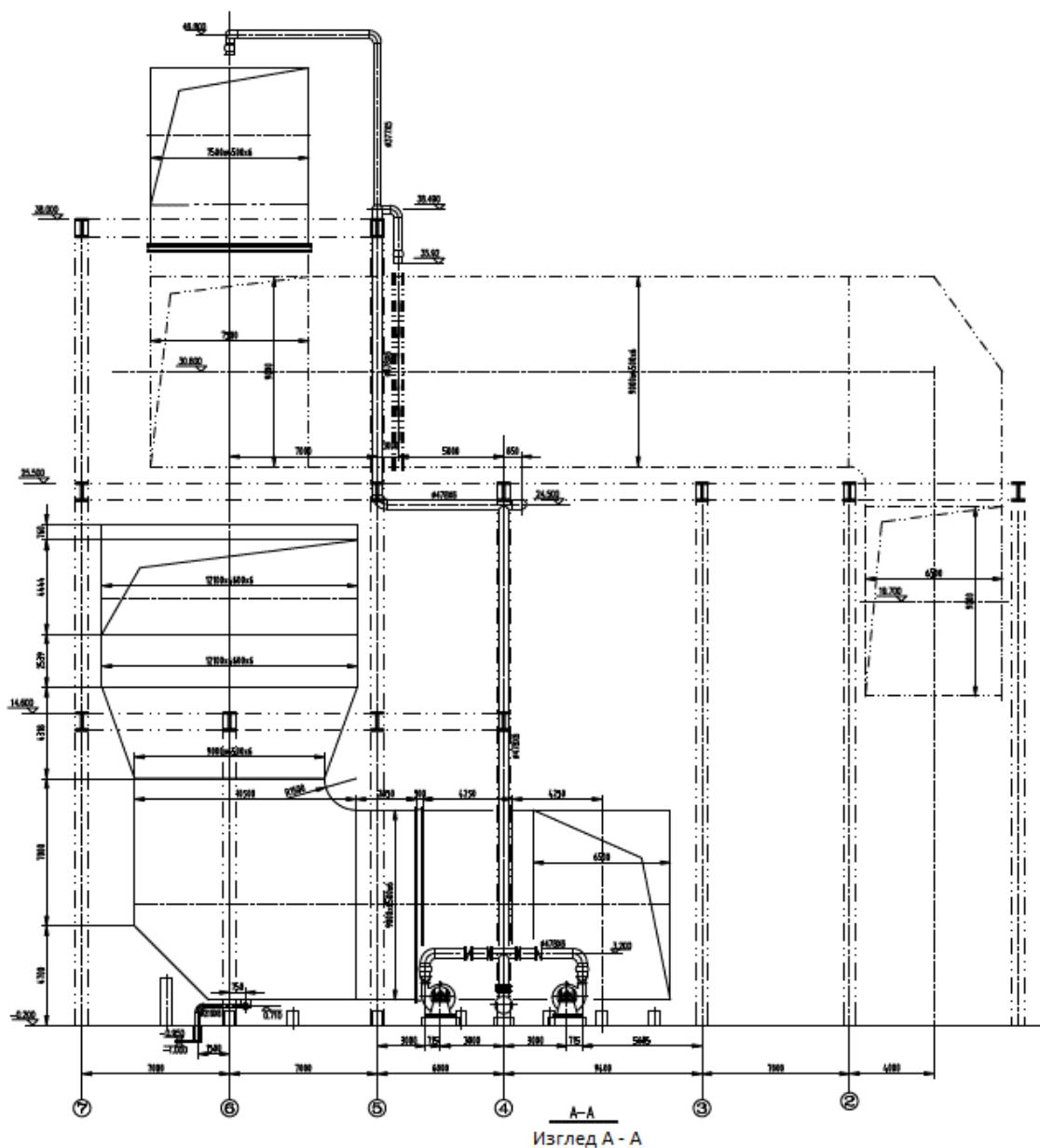


цртао		Иван Млакар	назив
конструисао		Иван Млакар	Носећи прстен конструкције топлотне изолације
оверио		Иван Млакар	
датум		22.11.2016	
Размера	Назив		
Без размере	Цевни мостови код система за одсумпоравање димних гасова		Број цртежа 2

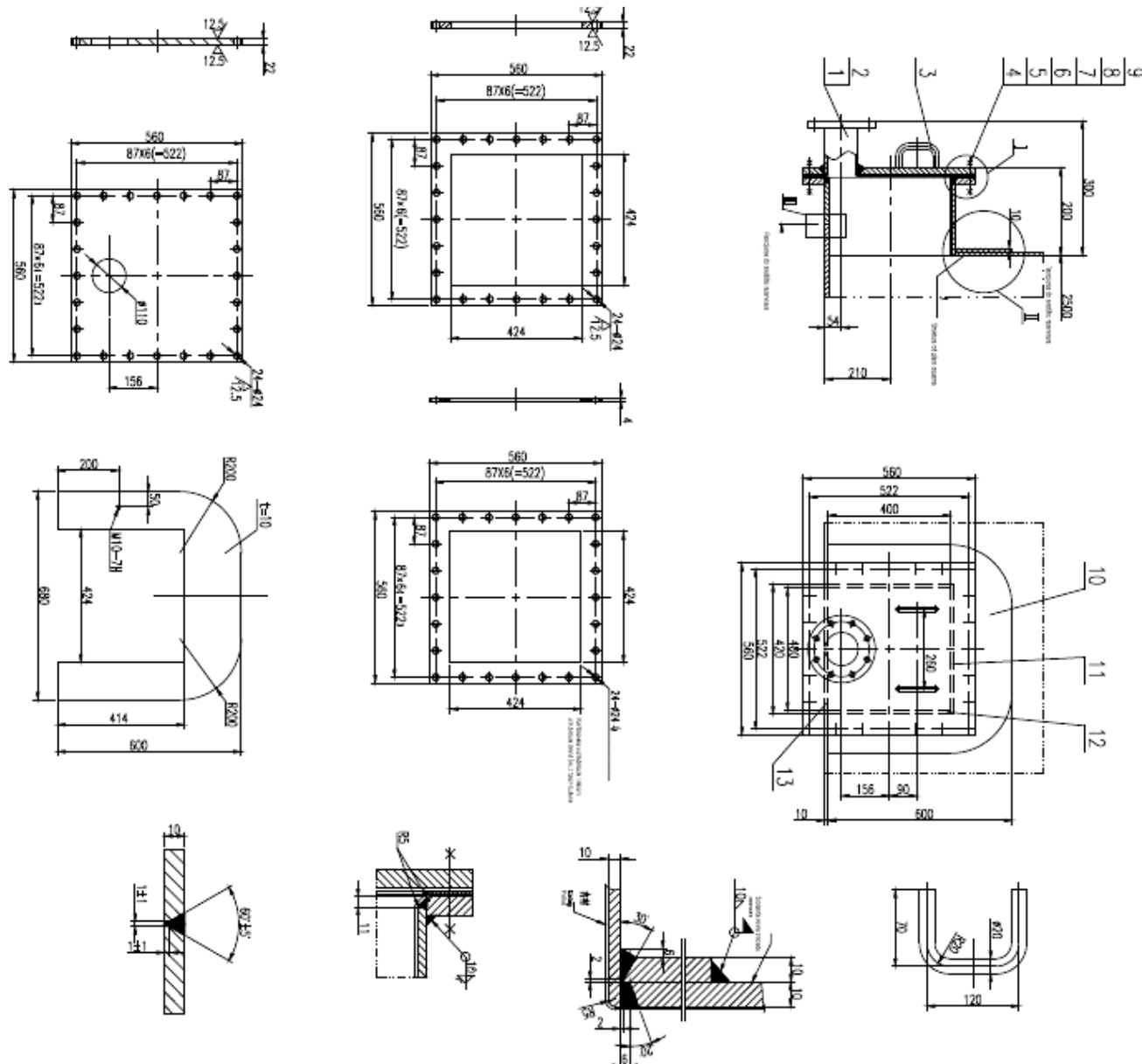


Разводна табла у згради IP43; спољашња разводна табла IP55; ОСТАЛЕ: IP54

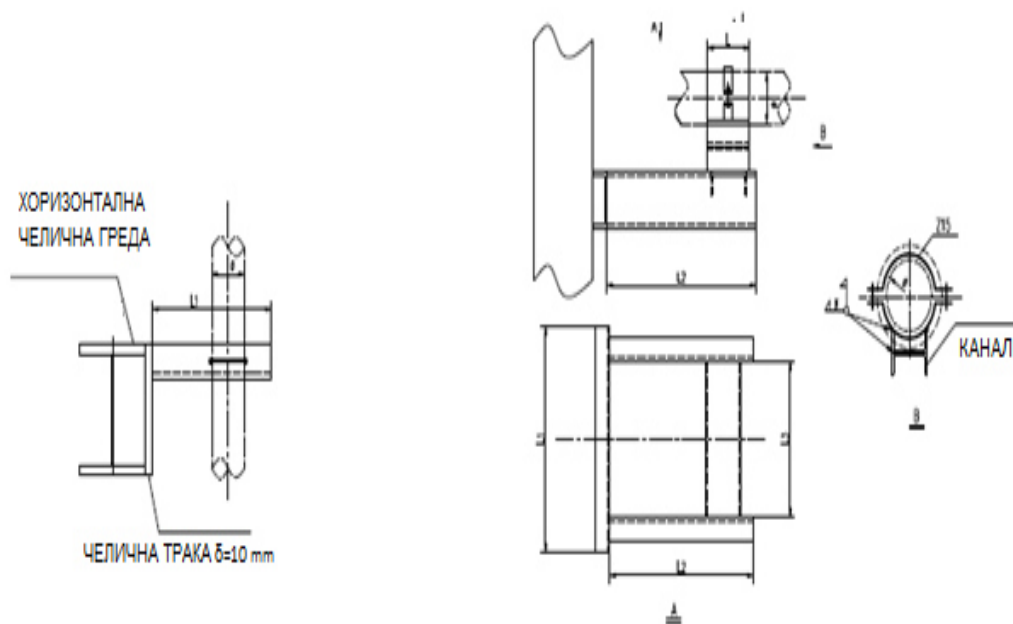
цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Шема деловања развода осветљења
оверио	Иван Млакар	
датум	22.11.2016	
Размера	Назив	
Без размере	Процесна зграда комплекса за одсумпновање димних гасова	Број цртежа 3



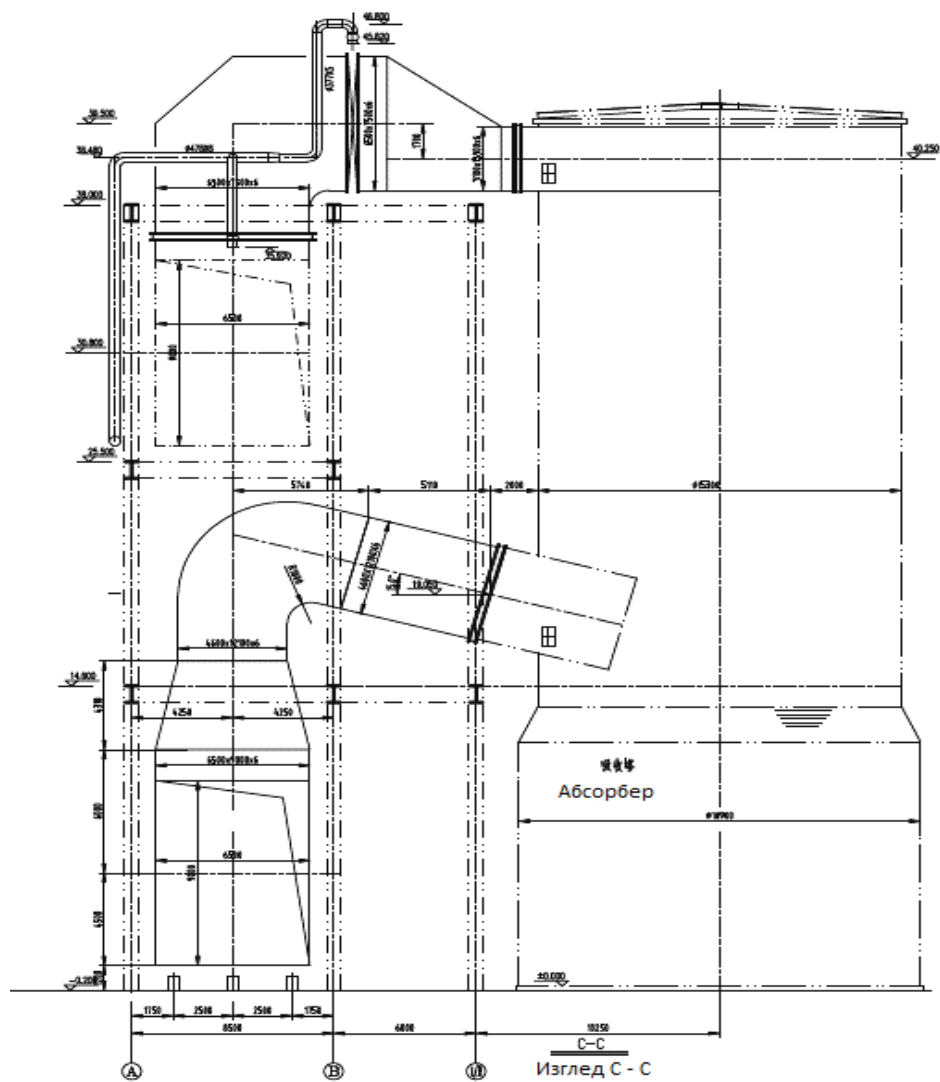
цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Систем димног гаса цртеж попречног пресека
оверио	Иван Млакар	
датум	22.11.2016	
Размера	Назив	
1:100	Систем димних гасова	
		Број цртежа 4



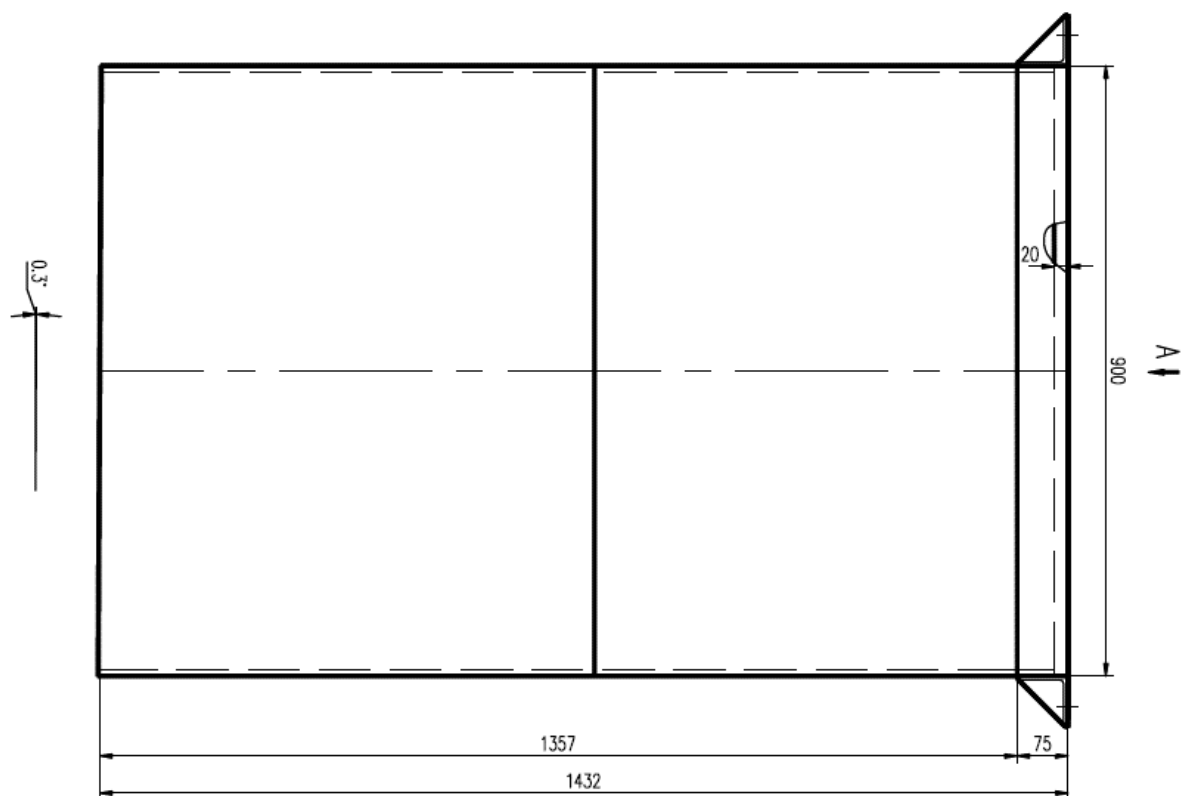
цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Цртеж монтаже дренажне млазнице
оверио	Иван Млакар	
датум	22.11.2016	
	Назив	
Размера	Хидроциклони за примарно угушћење суспензије гипса	Број цртежа 5
1:10		



цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Попречни пресек вешалке и носача
оверио	Иван Млакар	
датум	22.11.2016	
Размера	Назив	
Без размере	Систем компримованог ваздуха	Број цртежа 6



цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Систем димног
оверио	Иван Млакар	гаса цртеж
датум	22.11.2016	попречног
Размера	Назив	пресека
1:100	Систем димних гасова	Број цртежа 7



цртао	Иван Млакар	назив
конструисао	Иван Млакар	Цртеж попречног пресека канала
оверио	Иван Млакар	
датум	22.11.2016	
Размера	Назив	
1:100	Систем димних гасова	Број цртежа 8