

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Технологије и постројења у пречишћавању воде и ваздуха

Број индекса: 321/2014

Предраг З. Тица

**Постројења за прикупљање, транспорт и депоновање
пепела и шљаке методом густе хидромешавине у
термоелектрани „Костолац“**

- 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 опише рад постројења за прикупљање, транспорт и депоновање пепела и шљаке методом густе хидромешавине у термоелектрани „Костолац“. Пепео и шљаку који настају сагоревањем угља у котловима термоелектрана, потребно је депоновати тако да се задовоље технолошки, технички, еколошки, урбанистички и економски услови. Кандидат треба да уради 3Д модел датог постројења, као и прорачун муљне пумпе која служи за транспорт хидромешавине.

Препоручена литература:

- [1] Кнежевић Д., Миковић Б., Лазић П., Миљановић И.: *Транспорт пепела и шљаке у виду густе хидромешавине*, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2001.
- [2] Грбовић М.: *Хидраулички транспорт и депоновање пепела ТЕ Гацко на постојећој депонији Дразљево*, Рударски гласник бр. 2, пп. 25-31, Београд, 1990.
- [3] Кнежевић Д., Морачић М.: *Нова технологија депоновања пепела на термоелектрани Косово-Б*, Електропривреда бр. 3, пп. 23-29, Београд, 1997.

У Крагујевцу,

20.09.2016

Проф. др Вања Шуштершич – ментор

Резиме: Нови систем транспорта пепела и шљаке, методом густе хидромешавине, садржи у основи три технолошка процеса: транспорт пепела пнеуматским путем од електрофилтера до бетонског силоса, хидротранспорт шљаке од котла до челичног силоса и хидротранспорт густе хидромешавине, у односу 1:1, од електране до депоније пепела, удаљене око 7 км. Систем је пуштен у пробни рад, са блока А1, 1. јуна. 2016. године.

Кључне речи: Пепео, шљака, транспорт, хидромешавина, пнеуматски, хидротранспорт.

Abstract: The new ash slurry transportation system, using thick slurry method, contains basically three technological processes: transportation of ash by pneumatic system from the electric precipitator to the concrete silos, bottom ash hydro transportation from the boiler to the steel silos, and a thick slurry of hydro transportation, in the ratio of 1: 1, from the power plant to the ash disposal, located about 7 km far. The system was put into trial operation, from the unit A1, the 1th of June, 2016.

Key words: ash, bottom ash, transportation, slurry, pneumatic, hydro transportation.

САДРЖАЈ:

УВОД.....	1
1.0 ОПШТЕ О ГУСТОЈ ХИДРОМЕШАВИНИ	3
1.1 Примена густе хидромешавине	4
1.2 Карактеристике хидромешавине	7
1.2.1 Утицај концентрације чврстог удела на проток.....	8
1.2.2 Утицај концентрације чврстог удела на пад притиска у цевоводу	8
2.0 ИСТРАЖИВАЊЕ И ПРИКАЗ ДНЕВНЕ И ГОДИШЊЕ ПРОДУКЦИЈЕ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У ТЕ „КОСТОЛАЦ“	10
2.1 Прикупљање и унутрашњи транспорт шљаке (1:10).....	11
2.2 Прикупљање и унутрашњи транспорт летећег пепела (1:10)	11
2.2.1 Транспорт пепела и шљаке на стару депонију.....	12
2.3 Нова депонија пепела и шљаке	18
3.0 ТРАНСПОРТ ШЉАКЕ	22
3.1 Блок А1- транспорт шљаке из крацера (1:1).....	22
3.2 Транспорт крупнозрног пепела из канала издувних гасова до спирног канала ССЦ-а	22
3.2.1 Транспорт мешавине шљаке и крупнозрног пепела из крацера до јаме А1	23
3.2.2 Транспорт пепела до багер јаме за шљаку А1	23
3.3 Блок А1- ЕСФ (Електростатички филтер): транспорт сувог пепела.....	25
3.3.1 Транспорт сувог пепела од Блока А1 до Д-пумпи.....	25
3.4 Блок А2- ЕСФ: транспорт сувог пепела.....	27
3.4.1 Транспорт сувог пепела из Блока А2 до Д-пумпи.....	27
3.5 Блок А2 -транспорт шљаке из крацера	28
3.5.1 Транспорт крупнозрног пепела из канала издувних гасова до крацера	28
3.5.2 Транспорт мешавине шљаке и крупнозрног пепела из крацера до А2 јаме	28
3.5.3 Транспорт преливне воде из крацера до резервоара процесне воде.....	29
4.0 ПРАЖЊЕЊЕ ШЉАКЕ У СИЛОС ЗА ШЉАКУ	30
4.1 Транспорт шљаке до силоса за шљаку.....	30
4.2 пражњење сувог пепела у силос сувог пепела	32
4.2.1 Транспорт сувог пепела до силоса сувог пепела	32
4.3 Пражњење силоса и припрема густе хидро-мешавине	33

4.3.1	Пражњење сувог пепела из силоса за суви пепео 1	33
4.3.2	Пражњење силоса за шљаку 1	34
4.3.3	Пражњење силоса за шљаку 2	34
4.3.4	Припрема густе хидромешавине	35
5.0	БАЗЕН ПРОЦЕСНЕ ВОДЕ	36
5.1	Пумпање процесне воде до блока А1 и А2 транспортни систем шљаке	36
5.1.1	Пумпање процесне воде у систем густе хидромешавине	36
5.1.2	Базен процесне воде.....	37
5.1.3	Миксери базена процесне воде.....	37
6.0	ТРАНСПОРТ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ И ИСТАКАЊЕ НА ДЕПОНИЈУ ЋИРИКОВАЦ ..	38
6.1	Транспорт и депоновање пепела и шљаке у виду густе хидромешавине.....	38
6.1.1	Транспорт хидромешавине пепела и шљаке до депоније.....	39
6.2	Начин депоновања густе хидромешавине у акумулациони простор	40
6.3	Депоновање пепела и шљаке и надградња депоније	41
6.4	Опис постојећег стања на депонији пепела и шљаке ПК Ћириковац.....	43
7.0	ПРОРАЧУН МУЉНЕ ПУМПЕ И 3Д МОДЕЛ ПОСТРОЈЕЊА	48
8.0	ЗАКЉУЧАК	57

УВОД

Електрична енергија се најчешће добија сагоревањем угља у ложиштима термоелектрана, што за последицу има емисију штетних материја из процеса (SO_x , NO_x , CO_2 , fine честице, итд.), као и настанак отпадних вода и отпада у облику летећег пепела и шљаке. Порастом потрошње угља у електранама долази до повећања количине свих ових материја, па се све већа пажња посвећује њиховом смањењу и одлагању, као и могућностима коришћења насталог отпада.

Потрошња угља у свету стално расте и предвиђа се да ће, у случају да не дође до битнијих промена у регулативама и стратегијама, од 2007. до 2035. године порастати за 56%. У периоду од 2007. до 2020. године предвиђа се раст од 1,1%, а затим до 2035. године повишен раст од 2,0%.

За разлику од нафте, резерве угља су не само веће, већ и равномерније распоређене широм света, што омогућава веће ослањање на угљ у дугорочним планирањима. Такође, иако се на годишњем нивоу, услед потрошње, ове резерве смањују, могуће је откривање нових поља или ребаланс постојећих резерви као последица развоја нових технологија или геолошких испитивања.

У случају достизања пост-Кјотовског споразума, као и нових државних стратегија на пољу развоја енергије и на пољу заштите животне средине, поготову Сједињених Америчких Држава и Кине, може се очекивати смањен раст потрошње угља од предвиђеног, мада ће се раст и даље наставити.

Летећим пепелом се називају fine честице које остају у суспензији са димним гасом. Ове честице се састоје највећим делом од неорганске, несагориве материје присутне у угљу, од којих се део током сагоревања трансформише у стакласту, аморфну структуру. Летећи пепео се уклања из димног гаса путем система за пречишћавање димног гаса, најчешће електрофилтера у великим термоенергетским објектима.

Крупније честице које садрже највише песка и шљунка не бивају повучене струјом димног гаса, већ падају на дно ложишта и сакупљају се као шљака. Летећи пепео и шљака бивају уклоњени и транспортовани на депонију где се, заједно или одвојено, складиште. Количина и карактеристике летећег пепела и шљаке (физичке и хемијске) најпре зависе од састава угља, а затим и од типа ложишта и технологије сагоревања као и система за одвођење пепела и шљаке на депонију. Начин одлагања и величина депоније зависе од количине и карактеристика летећег пепела и шљаке.

Депоноване било ког материјала, па и пепела и шљаке, врши се када је даља употреба тог материјала немогућа или када није довољно детаљно сагледана могућност његове даље примене, као и када се жели смањење утицаја тог отпада на животну средину и здравље људи.

У Србији се већина електричне енергије (~65%) производи у термоелектранама укупне снаге 3936 MW нето, које сагоревају лигнит. У току 2010. године је ископано и

допремљено до термоелектрана око 35 милиона тона угља. Највећи удео у експлоатацији има површински коп Колубара (око 28 милиона тона угља). Планирано је да се овај лигнит користи за производњу електричне енергије до 2050. године, што за последицу има стварање велике количине пепела и шљаке као отпада [6].

Дефинисање најповољнијих услова за транспорт хидромешавине пепела и шљаке велике густине је проблем који заокупља стручну јавност последњих 20-ак година. У том периоду изграђено је више постројења за транспорт пепела и шљаке у виду тзв. густе хидромешавине (2 постројења су изграђена и на просторима бивше СФРЈ), али су она пројектована за рад са различитим концентрацијама уз примену различитих врста муљних пумпи. Према искуству стеченом изградњом постројења за транспорт густе хидромешавине пепела и шљаке на термоелектрани „Гацко“ и „Косово Б“ примена центрифугалних муљних пумпи се показује оправданом и погодном. Пепео и шљака са термоелектране „Никола Тесла-Б“ не показују тенденцију ка спонтаном (само) очвврћавању, па је са аспекта депоновања однос чврсте и течне фазе секундаран и тиме, примарно постао везан за услове транспорта.

1.0 ОПШТЕ О ГУСТОЈ ХИДРОМЕШАВИНИ

Појам “густа хидромешавина” није једнозначно дефинисан, што обично није одлика техничких појмова. У пракси, када је запреминска концентрација чврстих честица, које се транспортују, блиска максимално дозвољеној концентрацији говори се о густој хидромешавини. Односно, као густа хидромешавина се сматра она хидромешавина код које је запреминска концентрација најмање 75% максимално могуће концентрације која се може транспортовати.

Максимално дозвољена запреминска концентрација зависи од врсте пумпе која се користи за транспорт и карактеристика минералне сировине која се транспортује.

Код најчешће коришћених центрифугалних муљних пумпи максимална концентрација чврстих честица се креће од 36% (код руда гвожђа) до 42% (код специфички лакших материјала). Дакле, хидромешавине које се транспортују центрифугалним муљним пумпама и код којих запреминска концентрација пређе 30% сматрају се густим.

Код клипних пумпи постижу се веће концентрације у зависности од карактеристика минералне сировине. Када је сировина ситнија, а у грађи (или као додатак) има везивних материјала (креч, глина, цемент) који одржавају конзистентност хидромешавине могући су транспорти са већим концентрацијама него када се транспортују крупнији и неvezани материјали. У првом случају, концентрације иду и до 80% а у другом падају на 50%. Код ових пумпи се о густим хидромешавинама говори увек када запреминска концентрација пређе 40%.

Технологија припреме транспорта и депоновања пепела и шљаке се састоји из строго контролисаног процеса припреме мешањем воде, пепела и шљаке којим се добија густа хидромешавина масене концентрације чврсте фазе¹ до 50%.

Проблем дефинисања максималне густине, која је остварљива при транспорту различитих врста пепела и шљаке, разматран је у више радова. Сиве и Лазарус су својим испитивањима у затвореној тест-петљи са различитим протоком (до 100 l/s) и при различитим брзинама (до 6,4 m/s) дошли до закључка да су центрифугалне муљне пумпе применљиве када је масена концентрација мања од 48% чврстог. Веркерк је испитивао транспортне услове за пепеле из јужноафричких термоелектрана. При том је закључио да је масена концентрација од 45% граница на којој центрифугалне муљне пумпе треба заменити клипним.

Истраживањима је утврдио да се хидромешавина при мањим концентрацијама пепела и шљаке понаша као флуид да би се повећањем концентрације почела понашати као "клизна плоча". Граница ове промене је при масеним концентрацијама од $69 \pm 1\%$ чврстог. Истраживања мађарских научника вршена су при густинама хидромешавине између 1250

¹ У даљем тексту користи се термин „чврста фаза, (удео/ла, компоненте...)“, где се мисли на процентуално учешће честица пепела и шљаке у густој хидромешавини.

и 1400 kg/m^3 , односно при масеним концентрацијама од 45 до 60% и запреминским од 27 до 43% чврстих честица. При томе је констатовано да транспорт густе хидромешавине поред економичности и веће сигурности омогућава повећање висине депоновања и смањује вероватноћу и последице евентуалних хаварија. Као закључак се истиче да је будућност транспорта пепела и шљаке у густим хидромешавинама. Аустралијски стручњаци су за пројектовање система хидрауличног транспорта густе хидромешавине на ТЕ "Vales Point" одабрали рад са масеном концентрацијом од 56% чврстог дела што даје густину од 1400 kg/m^3 . Такође су вршена даља истраживања максималне концентрације која даје пумпбилну хидромешавину и дошло се до закључка да је то концентрација од 72% чврстог дела. Пилот постројење које је монтирано на ТЕ "Gledstone" 1988. радило је са максималним концентрацијама од 66,5%, што је давало густину хидромешавине од 1600 kg/m^3 [1].

Истраживања на пепелу ТЕ „Косово-Б“ показала су да је у индустријским условима могуће обезбедити континуалан транспорт центрифугалним муљним пумпама са просечном масеном концентрацијом од 50% чврстог удела (густина хидромешавине је 1412 kg/m^3).

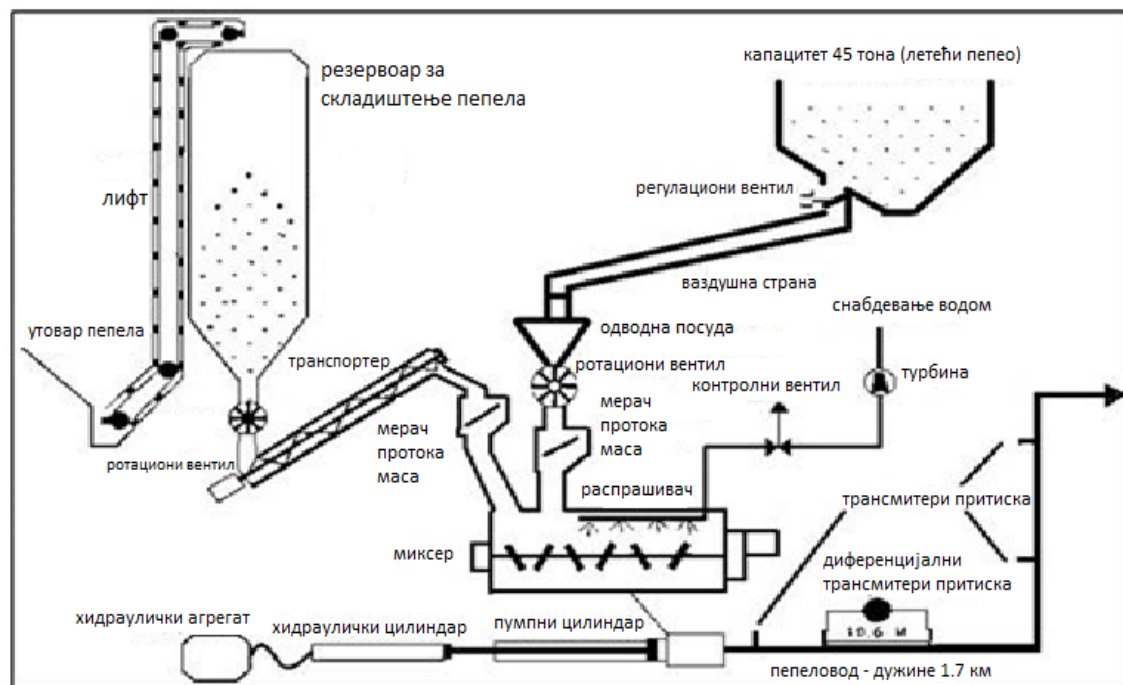
Вискозитет хидромешавине при тој концентрацији је $20 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Повећањем концентрације услови транспорта се нагло погоршавају, па вискозитет при концентрацији од 60% чврстог дела нараста на $161 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. У индустријским условима је доказано да се мешање и транспорт обављају на задовољавајући начин када је масена концентрација пепела испод 57% чврстог дела (густина 1500 kg/m^3). Свако даље повећање концентрације прети да блокира транспорт јер, монтирани, пропелерни мешач не може да прихвати сав пепео и формира хидромешавину, а усисна моћ пумпе и хидростатички притисак на улазу у пумпу су недовољни да обезбеде њено равномерно "храњење".

1.1 Примена густе хидромешавине

На иностраним термоелектранама основни мотив за примену транспорта густе хидромешавине били су услови депоновања и еколошке повољности које рад са малим количинама воде доноси. Међутим, у свим условима је наглашавана и економичност транспорта хидромешавине (у правцу од ТЕ до депоније) и повратне воде (у правцу од депоније до ТЕ).

На највећој Јапанској термоелектрани (планирана снага термоелектране када се потпуно заврши изградња је 3400 MW) стари систем транспорта пепела и шљаке у виду ретке хидромешавине (масена концентрација око 7% чврстог дела) је замењен са новим системом транспорта густе хидромешавине са масеном концентрацијом од 60 до 70% чврстог удела. Разлози за замену старог транспортног система су исказани у следеће три тачке: велико хабање пумпи, цеви и вентила, велика потрошња енергије, посебно за транспорт повратне воде и еколошки проблеми изазвани присуством велике количине загадене воде у депонији.

У Аустралији је на термоелектрани “Vales Point” примењен сличан систем. “Pultzmeisterova” пумпа КОС 1460, са “С” кривином, је употребљена за транспорт $45 \text{ m}^3/\text{h}$ мешавине пепела и шљаке до депоније која је од термоелектране удаљена 1740 m. Транспорт се обавља кроз цевовод пречника 150 mm, а притисак потребан за транспорт је око 60 bar. Технолошка шема је приказана на слици 1.



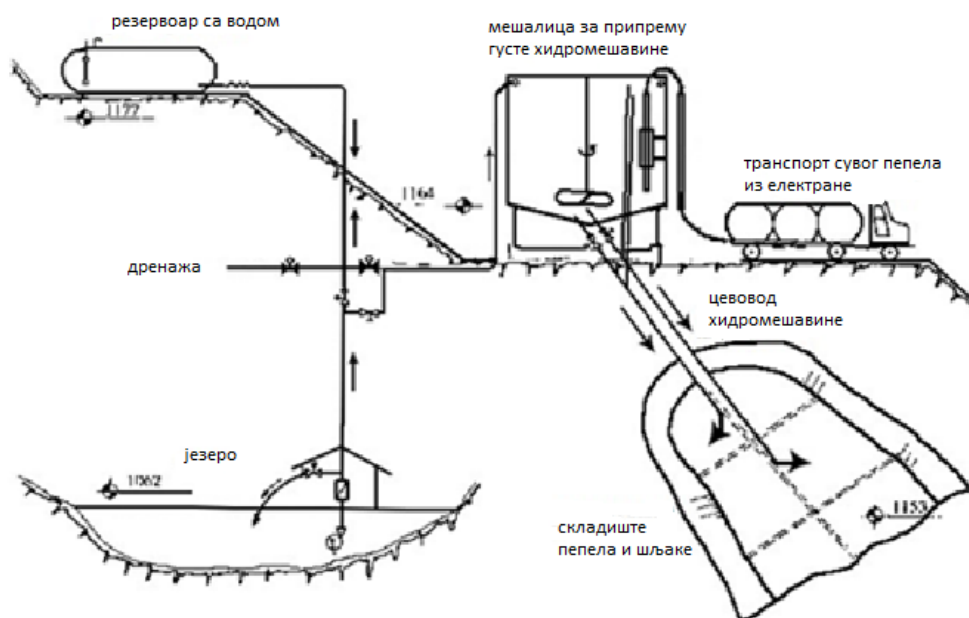
Слика 1 Технолошка шема постројења за транспорт густе хидромешавине пепела и шљаке на ТЕ “Vales Point” (Аустралија) [2]

На великој јужноафричкој термоелектрани „Matla“ (6x600 MW) примењен је транспорт густе хидромешавине пепела и шљаке. Пројектована су три радна режима: транспорт само пепела, транспорт пепела и шљаке у масеном односу 2:1 и транспорт само шљаке. Систем је димензионисан за фиксни проток од $480 \text{ m}^3/\text{h}$, а у зависности од количине чврсте фазе мења се концентрација. Транспорт се врши кроз три цевовода пречника 250 mm. Дужина цевовода варира од 4526 m до 8125 m, а потребни напор се остварује помоћу пет серијски везаних центрифугалних муљних пумпи. За примену хидромешавине користи се и повратна вода са депоније.

На нашим термоелектранама густа хидромешавина је примењена први пут 1988. на ТЕ Гацко.

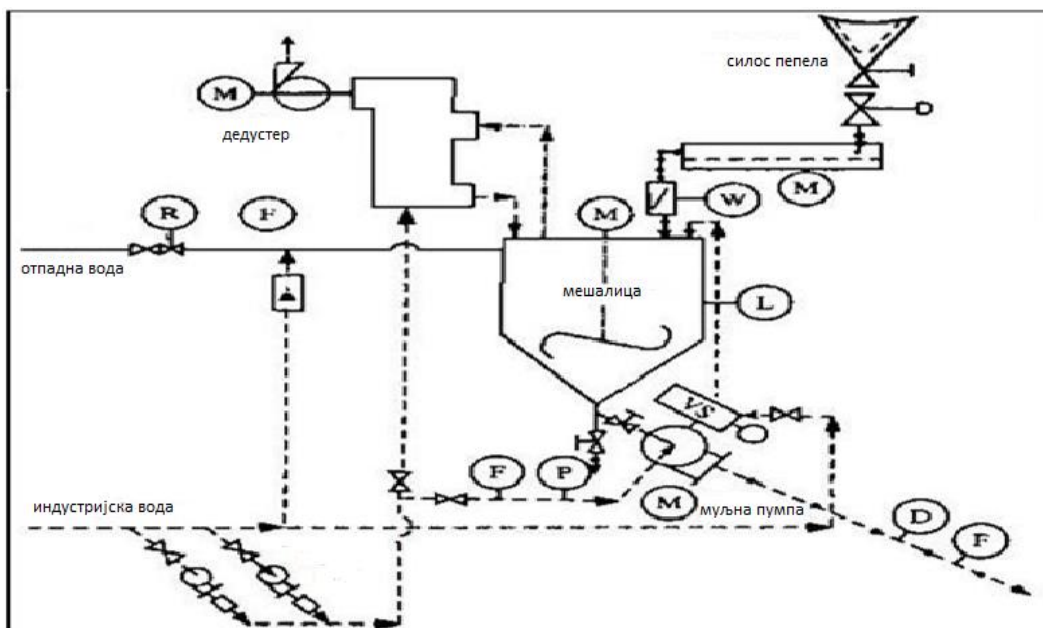
Разлог за примену густе хидромешавине није био транспорт нити његова оптимизација већ услови (и повољности) депоновања овог пепела специфичних карактеристика. Односно, одлучивање о транспортним условима базирало се на шеми приказаној на слици 1 (Vales Point), за калцијски пепео који треба депоновати на „проблематичном“ терену (крас). Систем транспорта густе хидромешавине је радио дисконтинуално. До мешача, лоцираног непосредно уз депонију, пепео је довожен ауто цистерном. Након мешања са водом у

масеном односу 1:1 испуштан је у простор за депоновање. Транспорт је био гравитацијски кроз цевовод пречника 150 mm, а максимална дужина транспорта је била око 1000m. Технолошка шема припреме и транспорта густе хидромешавине на депонији „Дражљево“ ТЕ "Гацко" приказан је на слици 2.



Слика 2 Технолошка шема транспорта густе хидромешавине на ТЕ Гацко [3]

Код ТЕ „**Косово-Б**“, код које се транспорт у виду густе хидромешавине примењује од 1997., имају два разлога за примену густе хидромешавине: мањак воде и карактеристике пепела. Пепео и шљака се мешају у кондиционеру остварујући при томе концентрацију (по маси) од 50 %. Транспорт се обавља кроз цевовод пречника 200 mm, а дужина цевовода је око 2200 m. За транспорт се користе центрифугалне муљне пумпе. У првој фази довољна је само једна пумпа, а у другој фази ће се две пумпе серијски везати јер је потребан укупни напор од око 10 бара. Технолошка шема припреме и транспорта густе хидромешавине на ТЕ „Косово- Б“ приказана је на слици 3. Код наших осталих термоелектрана карактеристике пепела нису посебно диктирале услове транспорта (сем код ТЕ „**Косова-А**“), а располагање довољним количинама воде довео је до примене хидрауличког транспорта у виду ретке хидромешавине. Тек последњих година када је, у индустријским условима, заживео транспорт густе хидромешавине почели су разговори о транспорту и силикатних пепела у виду густе хидромешавине. Као разлог почиње помињање техничких повољности и уштеда (енергије, воде, новца итд).



Слика 3 Технолошка шема транспорта густе хидромешавине на ТЕ „Косово – Б“ [4]

1.2 Карактеристике хидромешавине

Различито понашање хидромешавина формираних од чврсте фазе различите крупноће при различитим концентрацијама довело је до опште поделе хидромешавина на хомогене и хетерогене. Хомогене хидромешавине се називају и неталожне хидромешавине. Хетерогене се зову двофазне и таложне хидромешавине.

Хомогене хидромешавине се најбоље описују реолошким параметрима. За дефинисање режима транспорта битно је познавати Reynolds-ов број зато што он представља однос сила инерције и вискозитета. Насупрот њима, хетерогене хидромешавине се не могу довољно прецизно дефинисати Reynolds-овим бројем јер код њих вискозитет (због различитог понашања две независне фазе, на различитим деловима попречног пресека ценовода) не дефинише понашање целокупне хидромешавине. Хетерогене хидромешавине се најбоље описују Froude-овим бројем који представља однос сила инерције и гравитације. Оправданост увођења силе гравитације произилази из особине хетерогених хидромешавине да се честице таложе на дну цеви.

Према резултатима гранулометријске анализе горња гранична крупноћа мешавине пепела и шљаке креће се око 1,5 mm те се ова крупноћа сврстава хидромешавину међу хетерогене. Међутим, током рада на испитној инсталацији уочено је следеће:

- када је масена концентрација хидромешавине испод 40% чврстог удела хидромешавина се понаша као хетерогена јер се у сваком моменту визуелно уочавају обе фазе у сандуку муљне пумпе, на крају потисног ценовода (постављен је вертикално) пражњење се обавља по ободу цеви, а при смањењу протока лако се уочава „кидање“ млаза на излазу из цеви,
- када масена концентрација достигне 50% чврстог удела понашање хидромешавине се у потпуности мења јер се визуелно уочава да мешавина има изглед „пасте“ код

које се тек под руком могу уочити удари крупнијих зрна, потом на излазу из потисног цевовода пражњење се обавља кроз средишњи део цеви (пражњење у облику „ужета“ као код хидроциклона код којег је поддимензионисана величина отвора за „песак“), а без обзира на проток не уочава се „кидање“ млаза.

Из претходних запажања може се закључити да се све испитиване хидромешавине понашају као хетерогене, док им је масена концентрације испод 40%, а као квазихомогене када им концентрација пређе 50% чврстог удела. Негде између ових концентрација врши се прелаз из једног облика у други.

Из практичних разлога овакво понашање хидромешавине упућује да је треба третирати као хетерогену и да све прорачуне треба томе прилагодити.

1.2.1 Утицај концентрације чврстог удела на проток

Познато је да висока концентрација хидромешавине има утицај на проток хидромешавине, односно капацитет муљне пумпе, али се различите хидромешавине различито понашају. Најдраматичнији пад се бележи при транспорту пепела (око 50%), док код црвеног муља пад износи око 6%, а код каолина и фосфата око 3%.

Транспорт густе хидромешавине повољнији од транспорта ретке, од око 50% чврстог дела, упркос практичном паду протока при истим радним условима пумпе. Као најисплативија се показује масена концентрација од око 40% чврстог удела. Важно је приметити да је повољнији транспорт хидромешавине масене концентрације од 50% него 34%, упркос фактичком смањену протока за 1/2.

1.2.2 Утицај концентрације чврстог удела на пад притиска у цевоводу

Познато је да висока концентрација хидромешавине има утицај на пад притиска у цевоводу.

Такође је утврђено да се са повећањем учешћа чврсте компоненте повећава и пад притиска, те да разлика расте са повећањем протока хидромешавине у условима када је концентрација нижа од 40%, пад притиска је релативно мало већи од пада притиска када се транспортује вода, али се код концентрација изнад 50% бележи значајно повећање.

Може се закључити да се потрошња енергије (пад притиска) повећава са повећањем концентрације упркос номиналном паду протока. Истовремено резултати показују да је стварна потрошња енергије, када се прерачуна на транспорт тоне сувог материјала, најмања при концентрацији од око 40% чврсте компоненте, а да је приближно једнака при транспорту хидромешавине концентрације 34 и 50% чврстог дела. Ово поново указује да транспорт хидромешавине пепела и шљаке треба обављати при масеним концентрацијама испод 50% а изнад 40%.

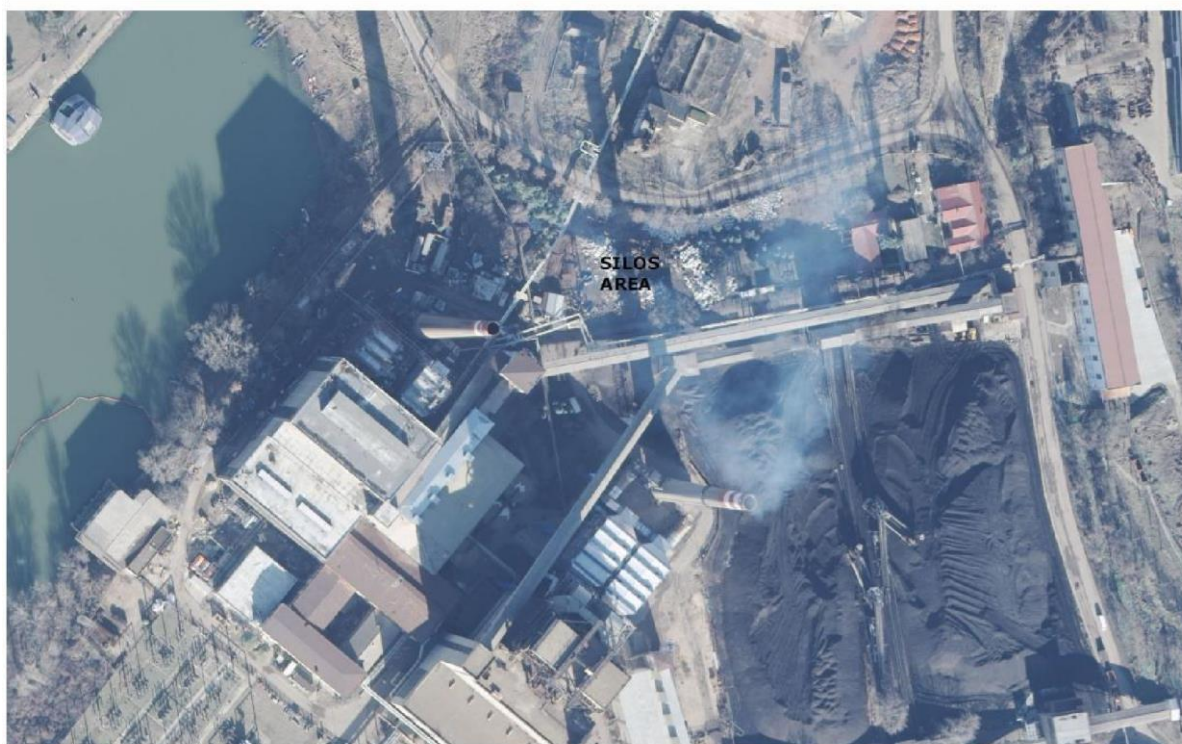
Успешност транспорта се мери количином суве материје која је транспортована у јединици времена, па ако се прорачун сведе на количину сувог пепела и шљаке види се да је смањење масе при највишим испитиваним концентрацијама (52,6%) за око 20% у односу на најнижу испитивану концентрацију (43,2%). При томе је важно запазити да се при транспорту у концентрацијама између 40 и 50% количина транспортованог материјала повећава. Испитивања пада притиска су показала да су и енергетски губици највећи када концентрација пређе 50% чврсте компоненте, те да је најповољнији са концентрацијама између 40 и 50% чврсте компоненте.

На основу светских испитивања и искуства из наших термоенергетских постројења и на основу карактеристика пепела и шљаке добијених у Костолцу, пројектант је сматрао да је најоптималније решење за Костолачке термоелектране коришћење хидрауличког система за транспорт густе хидромешавине са концентрацијом густог од 42-48%.

2.0 ИСТРАЖИВАЊЕ И ПРИКАЗ ДНЕВНЕ И ГОДИШЊЕ ПРОДУКЦИЈЕ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ У ТЕ „КОСТОЛАЦ“

ТЕ „Костолац А“ (ТЕКО А) састоји се из два блока инсталираних капацитета 100 MW (90 MW нето) и 210 MW (191 MW нето). Први блок пуштен је у рад 1967. године, док је други почео са радом 1980. године. Поред електричне енергије, ТЕ „Костолац А“ такође производи и топлотну енергију за систем даљинског грејања градова Костолац и Пожаревац. У ТЕ „Костолац А“ као примарно гориво користи се лигнит.

Угаљ се од површинског копа до термоелектране транспортује тракастим транспортерима. Угаљ са површинског копа “Дрмно“ је ниске топлотне моћи која се креће у опсегу 6600-8000 kJ/kg (средња вредност од 7600 kJ/kg), са просечним садржајем влаге у опсегу 37-41% и просечним садржајем пепела у опсегу 22-31,7%. Часовна потрошња угља варира од 60 t/h до 180 t/h на блоку А1 и од 185 t/h до 360 t/h на блоку А2.



Слика 4 Приказ термоелектране и самих силоса из ваздуха

У табели 1. приказана је очекивана продукција пепела у наредном периоду.

Табела 1. Продукција шљаке и котловског пепела [5]

	Средња, t/h	Максимална, t/h	Средња, t/h (за 7000 сати рада годишње)
Блок А1 (100 MW)	2,5	6	17.500
Блок А2 (210 MW)	5	12	35.000
Блокови А1 и А2	7,5	18	52.500

Табела 2. Количина летећег пепела [5]

Блок		Просечна, t/h		Максимална, t/h	
		По левку	Укупно	По левку	Укупно
A1 (100 MW)	ЕГ*, поље 1	9,25	37	12,15	48,6
	ЕГ*, поље 2	0,83	3	1,1	4,3
	ЕГ*, поље 3	0,2	0,7	0,3	1,1
	Димњак		0,0002		0,0003
A1 укупно, t/h			41		54
A1 укупно, t/god			287.000		378.000
A2 (210 MW)	Грејач ваздуха	0,5	1	0,6	1
	ЕГ*, поље 1	12,3	67,2	15,8	92,7
	ЕГ*, поље 2	1,3	7,9	1,8	11
	ЕГ*, поље 3	0,5	3,2	0,7	4,3
	ЕГ*, поље 4	0,2	0,7	0,2	1
	Димњак		0,0002		0,0003
A2 укупно, t/h			80		110
A2 укупно, t/god (за 6000 сати рада годишње)			560.000		770.000
A1 + A2, t/h			121		164
A1 + A2, t/god			847.200		1.148.000

2.1 Прикупљање и унутрашњи транспорт шљаке (1:10)

На Блоку А1 инсталирана су два котла, сваки снаге 50 MW. Испод сваког од котлова постављена су по два влажна одшљакивача за издвајање шљаке из котла. Одшљакивачи транспортују шљаку до котловских испуста, одакле се шљака отвореним бетонским каналима и помоћу додатне (нерегулисане) количине воде хидраулички транспортује у базен хидросмеше блока А1.

На Блоку А2 инсталиран је један котло снаге 210 MW, са једним одшљакивачем за издвајање шљаке из котла. Шљака се са испуста одшљакивача шаље у дробилицу, након чега се, путем отворених бетонских канала, хидраулички транспортује у базен хидросмеше блока А2.

2.2 Прикупљање и унутрашњи транспорт летећег пепела (1:10)

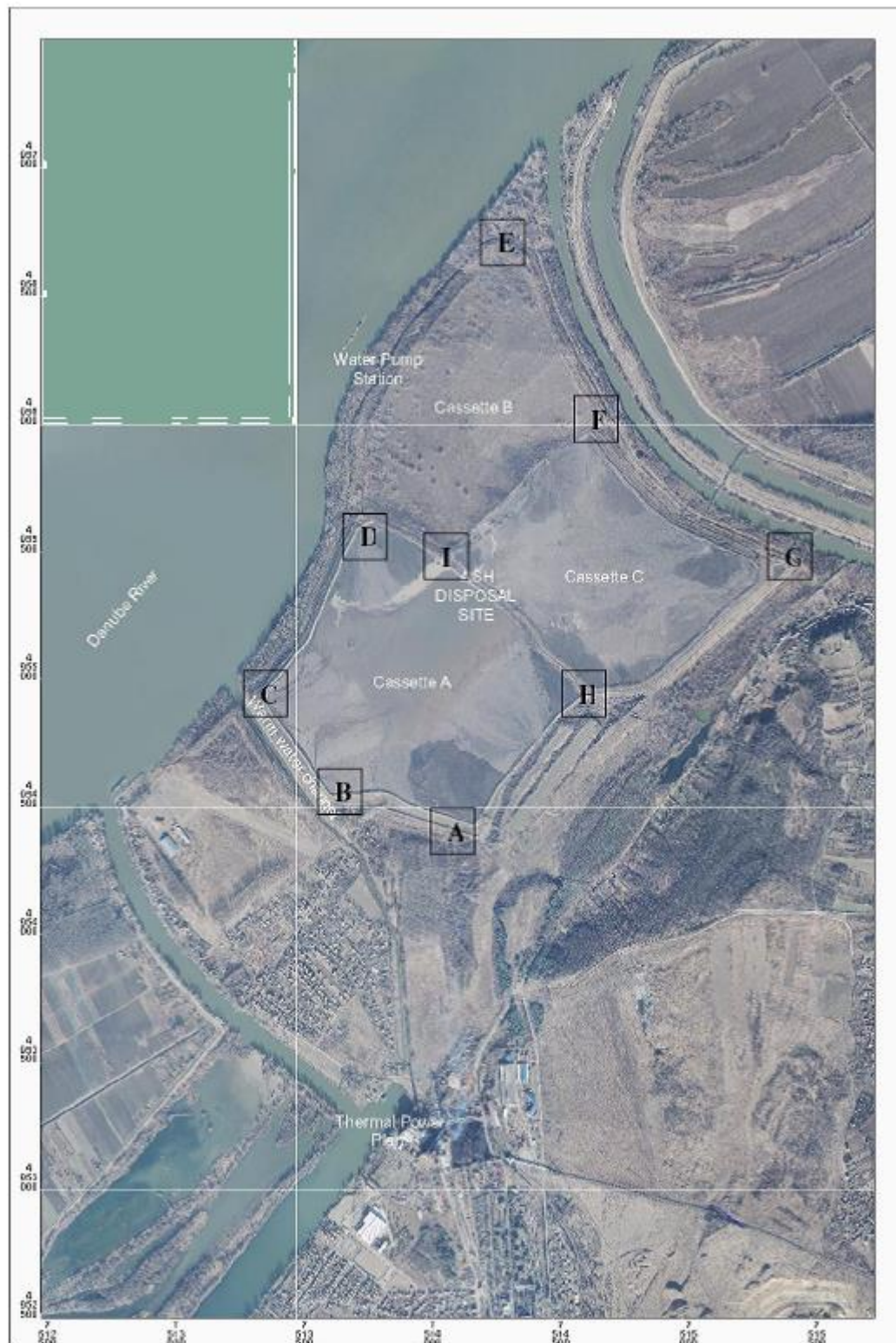
Блок А1: За сваки од котлова блока А1 инсталирана су по два канала димног гаса и један електрофилтер. Котловски пепео из грејача воде прикупља се пре уласка димног гаса у електрофилтер. Додатна количина пепела издваја се отпепељивањем електрофилтерских левкова. Електрофилтер блока А1 садржи три електро поља, са по два левка предвиђена за свако поље и једним испустом за пепео по левку. Прикупљени летећи пепео из левкова пада у сабирна корита у којима се меша са нерегулисаном количином воде. Тако образована ретка суспензија пепела (хидросмеша пепела) шаље се даље у отворене канале, у којима се у суспензију додаје додатна нерегулисана количина воде. Веома мала

количина пепела прикупља се и у “левку” димњака. Систем за континуални транспорт пепела до базена хидросмеше није у функцији. Левкови се током редовног ремонта блока празне помоћу индустријских вакуум уређаја.

Блок А2: Летећи пепео из блока А2 издваја се из електрофилтерских левкова, грејача ваздуха и димњака. Пепео из грејача воде (“котловски пепео”) тренутно се транспортује до система за довод угља и рециркулише у котловске млинове угља. Пепео прикупљен у грејачима ваздуха меша се са водом у сабирним коритима и хидраулички, отвореним каналима, шаље у базен хидросмеше. Током реконструкције електрофилтера спроведене 2006/2007. године, на електрофилтеру су додата два нова електро поља (поље 3 и 4). Пепео издвојен у пољу 3 електрофилтера прикупља се пужним транспортерима и транспортује ка оба краја електрофилтера. Пепео издвојен у пољу 4 електрофилтера прикупља се ланчаним транспортерима и транспортује ка оба краја електрофилтера. Летећи пепео издвојен у оба поља електрофилтера се са пужних и ланчаних транспортера пребацује на заједнички пужни транспортер који пепео шаље у сабирно корито смештено испод поља 2 електрофилтера. Целокупна количина летећег пепела из електрофилтера се у сабирном кориту меша са водом и хидраулички, гравитационо, транспортује, кроз отворене канале обложене базалтним облогама, до базена хидросмеше. Веома мала количина пепела прикупља се и у левковима за отпепељивање димњака. Систем за континуални транспорт пепела до базена хидросмеше није у функцији. Левкови се током редовног ремонта блока празне помоћу индустријских вакуум уређаја.

2.2.1 Транспорт пепела и шљаке на стару депонију

Тренутно се на територији републике Србије налази пет депонија пепела и шљаке. Укупна количина депонованог пепела износи 6×10^6 t годишње. Транспорт пепела и шљаке до депоније врши се хидрауличким путем, помоћу система цевовода кроз које се транспортује ретка мешавина воде и пепела и шљаке. Однос количина воде и суве масе (пепела и шљаке) у суспензији износи 10:1, мада је често и већи. Наведена суспензија често се означава термином “ретка хидросмеша”.



Слика 5 Изглед старе депоније пепела и шљаке

Рад депонија на којима се одлаже ретка суспензија пепела и шљаке одвија се са циљем омогућавања безбедног одлагања пепела и шљаке, уз истовремено смањење емисија загађујућих материја у околину, у оквиру ограничења која намеће коришћење наведене

технологије депоновања. Главне карактеристике одлагања пепела и шљаке применом технологије ретке хидросмеше су следеће:

- Редоследно запуњавање једне од неколико касета формианих на локацији депоније за потребе депоновања ретке хидросмеше; свака од касета оивичена је насипима како би се у формираном простору прихватала депонована суспензија, све до достизања унапред дефинисане привремене коте запуњавања касете, која се у овом случају назива активна касета;

- Под дејством гравитације долази до таложења честица пепела и шљаке у хоризонталним слојевима, по целој површини активне касете;

- Одређена количина слободне воде са депоније прелива се или дренира у систем за прикупљање слободне воде и потом:

- користи за квашење осушених површина депонованог пепела,
- рециркулише за потребе даљег транспорта (не на ТЕ „Костолац А“),
- испушта у реципијент, било директно у реку или у водоток или канал који се потом улива у реципијент;

- Одређена количина воде искоришћена за транспорт пепела и шљаке инфилтрира се у локалне подземне воде, осим уколико се претходно не издвоји помоћу заштитне бунарске завесе;

- У циљу спречавања развејавања пепела са депоније спроводе се следеће мере:

- унутрашњост активне касете прекривена је водом, тако да је формирано тзв. водено огледало које, из разлога одржавања стабилности депоније, не сме бити удаљено мање од 100 м од зидова насипа депоније,

- за квашење огољених наслага пепела користи се распршивање воде, како би се при ветровитим условима спречило развејавања честица пепела (неефикасно током зимских месеци јер су тада системи за распршивање дренирани),

- пасивне касете се, након достизања привремене коте запуњавања, привремено рекултивишу како би се ограничило развејавање пепела.

- Прекривање депоније земљаном покривком и засађивање трајне вегетације врши се само након достизања коначне коте запуњавања депоније;

Депоновање пепела и шљаке технологијом ретке хидросмеше добро је познато у светској пракси, али је у приличној мери превазиђено, првенствено услед неповољности са аспекта утицаја на животну средину, у поређењу са технологијама које се користе у модерној светској пракси.

Његови главни недостаци су:

- Развејавање честица пепела са површине исушене депоније,
- Испуштања слободне воде са депоније (преливне и дренажне воде) у површинске воде, што доводи до хемијског оптерећења реципијента тј. површинских вода;

- Инфилтрације слободне воде са депоније у подземне воде, што доводи до:
 - хемијског оптерећења реципијента тј. подземних вода,
 - формирање мочварног земљишта на околном пољопривредном земљишту.

Најважнији негативни ефекти депоније са аспекта заштите животне средине везани су за развејавање честица пепела са површине депоније. Озбиљност наведеног проблема веома се тешко може схватити уколико се нема искуства са депоновањем пепела и шљаке из постројења на лигнит или мрки угаљ технологијом ретке хидросмеше, јер се обим проблема који се у овом случају јавља не може ни поредити са проблемом исте врсте који је присутан код осталих технологија депоновања.



Слика 6 Излив ретке хидромешавине на СКО

Високе концентрације честичног загађења у амбијенталном ваздуху, које превазилазе законом дозвољене граничне вредности и које се јављају као последица развејавања честица пепела са површине депоније, обично се у области Костолца региструју током 6-15 дана годишње. Депонија пепела и шљаке може бити директни извор ризика по људско здравље услед засићења респираторних органа за потребе вршења механизма филтрације честица из амбијенталног ваздуха, па сами тим и њиховог повећаног удисања.

При нижим концентрацијама развејаних честица пепела и мањег степена њиховог таложења, код људи се, као један од ефеката, може јавити мучнина. Као последица развејавања пепела са површине депоније, код становништва је такође присутна и опасност од гутања тешких метала, било директно из развејане прашине или преко ланца исхране. У случајевима када се развејавање честица врши преко водених површина, пепео може директно доспети у воду, омогућавајући тешким металима да доспеју у акватички екосистем.



Слика 7 Радна касета на СКО

Становништво насељено у близини Костолачких термоелектрана (ТЕ Костолац А и Б) извршило је притисак на општинске власти града Костолаца да се поменути проблем реши. Општинске власти су проблем подигле на републички ниво, ургирајући код Министарства заштите животне средине. Као резултат поменутих активности уследила је интервенција Министарства.

У области која се налази у пречнику од 5 км од локације депоније пепела и шљаке живи око десет хиљада становника. Ово становништво потенцијално је озбиљно угрожено неколико пута годишње развејавањем честица пепела са површине депоније под дејством ветра чија брзина премашује 5 m/s. Подаци добијени из области ТЕ Костолац А указују да се наведени случајеви могу јавити током 70 дана годишње. Ипак, при мањим брзинама ветра од претходно наведене такође може доћи до одређеног, мање интензивног, развејавања. Додатних педесет хиљада становника живи на удаљеностима које су изван круга од 5 km од предметне области. Ово становништво такође је, у извесној мери, погођено разматраним проблемом.

Утицај депоније пепела на животну средину огледа се и кроз њен утицај на површинске и подземне воде.

У погледу утицаја депоније пепела и шљаке на подземне воде може се констатовати следеће:

- Прекорачења захтеваног квалитета подземних вода у близини депоније пепела су минимална и области утицаја су ограничене;
- Подаци добијени мониторингом указују да, барем у неколицини случајева, бунарска вода у близини депоније нема захтевани квалитет, али је то углавном последица других извора загађења;
- Прекорачење захтеваног квалитета подземних вода, које се јавља као последица присуства депоније, не мора бити приоритетни проблем у случајевима када није угрожена главна намена коришћења подземних вода.

У погледу утицаја депоније пепела и шљаке на површинске воде може се констатовати следеће:

- Приметни утицаји депоније на главне токове површинских вода у разматраној области вероватно нису проузроковани искључиво утицајем депоније;

- Испуштање отпадних вода може бити значајно за разматрање загађења које на тај начин доприноси укупном хемијском загађењу реке Дунав;

- Степен важности индивидуалних испуштања отпадних вода у површинске воде утврђује се на основу степена загађења разматраних отпадних вода, у поређењу са осталим изворима загађења, при чему спровођење одговарајућих мера спречавања загађења зависи од шире политичке и економске процене. Приоритети за смањење загађења које путем отпадних вода доспева у површинске воде могу се такође поставити и путем међународних споразума, као што је учешће у Међународној комисији за заштиту реке Дунав.

- У мањим водотоковима присутна су одређена прекорачења стандарда хемијског квалитета воде чији је узрок депонија пепела и шљаке. Уочљиви ефекти на животну средину могу се јавити као резултат утицаја депоније пепела и шљаке у комбинацији са утицајима из других извора. Поједини мањи водотокови могу се класификовати као вештачки или битно измењени и у том случају захтеви заштите животне средине могу бити блажи него за сличне природне водотокове. Имајући у виду релативно малу дужину речних корита поменутих водотокова, као и њихов ограничени општи и еколошки значај, сагледавање мера побољшања њиховог хемијског квалитета и смањења утицаја на животну средину не мора се сматрати приоритетом.

На основу анализе тренутног стања животне средине у области од интереса закључује се да наставак рада ТЕ „Костолац А“ са депоновањем пепела и шљаке технологијом ретке хидросмеше није прихватљиво са становишта европске регулативе, при чему се у виду има стратешки циљ Србије у погледу хармонизације домаће са регулативном Европске Уније.

Приоритети за реализацију техничких побољшања на депонији пепела и шљаке обухватају следеће мере:

- 1) смањење учестаности и /или обима развејавања честица пепела путем:
 - а) смањења области са наслагама пепела које су подложне развејавању,
 - б) побољшања стврдњавања депонованог пепела,
- 2) смањења количине слободне воде:
 - а) смањења количина штетних материја у површинским водама,
 - б) смањења количина штетних материја које доспевају у подземне воде,
 - ц) смањења формирања мочварног земљишта у околини депоније.

Најефикаснији начин решавања претходно идентификованих проблема представља замена технологије депоновања пепела и шљаке и прелазак са депоновања ретке на депоновање угушћене хирдомешавине (са односом воде и суве материје од 1:1).

2.3 Нова депонија пепела и шљаке

Како су смештајни капацитети постојеће депоније на средње костолачком острву ограничени, било је неопходно пронаћи нову локацију за смештај пепела и шљаке. Код избора локације будуће депоније узета су у обзир ограничења, односно услови који су прописани важећом законском регулативом и односе се на заштитну удаљеност од стамбених објеката, здравствених и рекреативних објеката, објеката инфраструктуре, речних токова и акумулација воде, изворишта воде, споменика културе и заштићених природних добара, као и хидрогеолошких карактеристика подлоге будуће депоније. Детаљно су размотрени геолошки и хидрогеолошки услови средине, потребни ниво заштите подземних и површинских вода и могући техногени утицај на животну средину, уважавајући при томе потенцијалне проблеме и захтеве у погледу заштите животне средине од загађења. Узимајући у обзир све изложене аргументе, најприхватљивија локација са хидрогеолошког аспекта је откопани простор површинског копа Ћириковац. Депоновање пепела и шљаке у виду густе хидромешавине у откопани простор површинског копа се први пут примењује на објектима у оквиру ЕПС-а. Уређење подлоге депоније је испројектовано и изведено по захтевима свих европских и домаћих стандарда заштите животне средине. Укупна површина депоније пепела и шљаке износиће око 130 ha на којој ће се омогућити одлагање око 1 500 000 тона пепела годишње, а чиме ће се задовољити потребе рада термоелектрана „Костолац“. Изглед нове депоније пепела и шљаке приказан је на слици 8.



Слика 8 Изглед нове депоније пепела и шљаке



Слика 9 Тренутни изглед депоније (површински коп Ћириковац)

Из свега до сада наведеног, дошло се до закључка да је најефикаснији начин решавања идентификованих проблема замена технологије депоновања пепела и шљаке и прелазак са депоновања ретке на депоновање густе хидромешавине (са односом воде и суве материје од 1:1).

Укупне количине шљаке и сувог пепела из Блокова А1 и А2 се прикупљају и транспортују у нови силоски комплекс где се одлажу и потом мешају у густу хидромешавину пре транспорта до постојеће депоније пепела „Ћириковац“. Котловска шљака се прикупља из излаза постојећих крацера (ССЦ) и онда или просејава или дроби на одговарајућу величину која је одговарајућа за даљи хидраулички транспорт до силосног комплекса.

Пепео из канала издувних гасова се или скупља у мали левак и транспортује хидраулички до крацера (ССЦ) (Блок А1) или се директно шаље гравитацијски до шипке крацера (ССЦ) (Блок А2). Суви пепео се скупља из излазних левкова електростатичких филтера (ЕСФ) и пнеуматски транспортује до силоског комплекса. Пепео се такође скупља из излаза предгрејача ваздуха (Блок А2) и пнеуматски транспортује до силоског комплекса.

Сви захтеви за пнеуматски транспорт сувог пепела и контролног ваздуха треба да се омогуће из одговарајућих компресора и сушача. Компресори и сушачи треба да буду инсталирани у одговарајући објекат. Силосни комплекс се састоји од 2 бетонска силоса за смештај сувог пепела и 2 челична за смештај шљаке. Силоси за суви пепео ће се празнити или преко ваздушних канала за даље мешање или преко шипке за утовар у ауто цистерне. Силоси за шљаку ће се празнити на реверзибилни транспортер са траком за даље мешање или на сигурносни излаз на камион.

Суви пепео и шљака треба да се мешају са водом у пужном мешачу до захтеване густине 1:1. Мешавина се потом треба испразнити у резервоар за њен смештај.

Две линије муљних пумпи треба да су пројектоване тако да пумпају 100% густе хидромешавине из сваког резервоара за мешавину до постојеће депоније пепела.

Цевовод густе хидромешавине треба да прати трасу постојећег цевовода (који води од Термоелектране Дрмно изграђен 2010. године) и да се заврши на граници депонијске касете А у Ћириковцу. Цевовод до депоније ће се чистити у дренажној јами лоцираној на граници депоније пепела.

„Pigging“ систем за повремено чишћење цевовода, постављен је на самом цевоводу као две „Pigging“ станице. Прва је лансирна и налази се поред силоса 1 а друга станица је за прихватање „лансираног“ ђулета са жицама који је удаљен око 6 km од силоса, непосредно испред депоније Ћириковац.

Повратну воду скупити са депоније и пумпати назад у Термоелектрану (ТЕ) на поновну употребу. Процесну воду која се тражи за пражњење система густе хидромешавине и хидраулички транспорт шљаке узимати из базена процесне воде. Повратна вода са депоније, преливна вода из крацера (ССЦ) и коришћена процесна вода из транспорта шљаке се шаље у базен процесне воде.

Сва додатно захтевана вода за процес се обезбеђује из јаме у којој се скупљају све воде у ТЕ. Систем за надзор постројења треба да буде у сагласности са постојећим ДЦС системом. Контролна соба постројења треба да буде лоцирана у силосном комплексу.

Карактеристике угушћене хидросмеше која ће се одлагати на депонију пепела биће такве да након приближно једног дана обезбеђују формирање покорице на површини депоноване масе. У циљу контроле биланса вода и додавања воде, уколико је потребно, ТЕ Костолац планира да на депонији тј. изнад депоноване масе пепела и шљаке постави одговарајуће стационарне и покретне млазнице за распршивање воде.

Евентулани вишак воде, формиран од процесне воде (из хидросмеше) и атмосферске воде, прикупљаће се помоћу дренажног прстена, постављеног на постојећој маси пепела у близини заштитних насипа, и пумпама враћати у нову силосну област. Из тог разлога, пројектно решење разматраног система треба да обезбеди враћање слободне воде са депоније на локацију термоелектране.

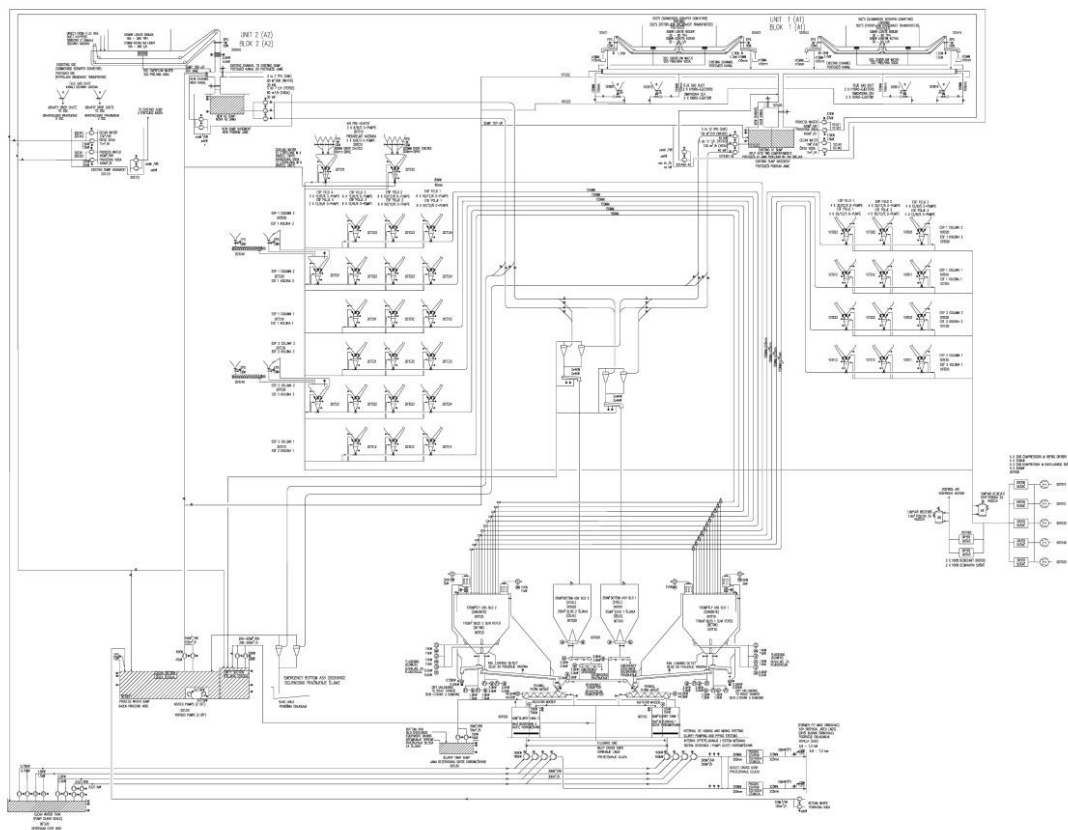
Депонија пепела и шљаке мора се формирати у слојевима, као што је случај и у актуелном раду. Слој глинене прекривке може се поставити тек након што се достигне коначна кота запуњавања касете.

- Вишак воде са депоније пепела и шљаке садржаће повећане концентрације сулфата, арсена итд. Атмосферске воде такође могу представљати проблем услед могућности спирања одређених хемијских материја са велике површине депоноване масе, чак и након њеног очвршћавања;

- Подземне воде су у много мањој мери погођене радом депоније у поређењу са системом депоновања ретком хидросмешом, с обзиром на чињеницу да је количина процесне воде у систему транспорта десет пута мања;
- Смањење активне површине депонованог материјала поделом великих касета на више мањих делова довешће до мање површине депоноване масе која ја подложна развејавању честица;
- Чак и након стврдњавања депонованог пепела, не може се тврдити да ће у потпуности бити спречен продор атмосферских вода кроз тло и даље до подземних вода. Количине које могу продрети у издани водоносних слојева испод депоније биће мале, знатно мање него у варијанти депоновања ретком хидросмешом, и брзо ће се растворити у подземним водама до концентрација које су далеко ниже од максимално дозвољених. Може се очекивати и значајно смањење формирања мочварног земљишта у околини депоније;
- Развејавање пепела је значајно смањено у поређењу са опцијом депоновања ретком хидросмешом, првенствено услед стврдњавања површине депоноване масе.

3.0 ТРАНСПОРТ ШЉАКЕ

У наредном делу биће описани начини транспорта шљаке из блокова А1 и А2.



Слика 10 Технолошка шема транспорта пепела и шљаке из блокова А1 и А2 до силоса (приказана на А3 формату)

3.1 Блок А1- транспорт шљаке из крацера (1:1)

Блок А1 се састоји од два котла са 4 крацера (два крацера по котлу). Исти систем је инсталиран испод сваког котла.

3.2 Транспорт крупнозрног пепела из канала издувних гасова до спирног канала ССЦ-а

Пепео из издувних канала је пепео крупног зрна. Из тог разлога пепео се транспортује из канала издувних гасова до спирних канала крацера за даљи транспорт заједно са шљаком до багер јаме А1. Сваки котао има два канала издувних гасова.

Крупнозрни пепео пада кроз излазне левкове гравитацијски, испод којих су смештени хидраулички ејектори који транспортују пепео из сваког канала издувних гасова до сваког крацера.

На свакој прирубници канала издувних гасова је уграђен ручни вентил који спречава проток пепела током одржавања. Испод ручног вентила се налази пнеуматски вентил који је даљински управљан да отвори или затвори излазни левак.

Хидраулички ејектори су напојени са процесном водом из базена процесне воде са једним цевоводом.

Пепео гравитацијски пада у сваки хидраулични ејектор, који је напуњен са улазне стране са процесном водом, те се због притиска воде, пепео транспортује до сваког крацера одвода помоћу једног цевовода. Сваки ејектор канала издувних гасова ради појединачно у секвенци, један за другим.

3.2.1 Транспорт мешавине шљаке и крупнозрног пепела из крацера до јаме A1

Шљака гравитацијски пада из котла у ССЦ, који се пуни расхладном водом. Сваки котао има два крацера окренута један ка другом. Систем рада је исти код оба крацера, те је стога описан рад само једног транспортног система.

Мешавина шљаке и воде је довучена испод котлова помоћу ланаца и покретних цеви и пада гравитацијски кроз шипку крацера на вибрационо сито. Вибрационо сито има задатак да одвоји превелике комаде (веће од 15mm) и отпадни материјал од финијег материјала (мањег од 15mm). Превелики комади и отпадни материјал падају са вибрационог сита у канту за отпатке. Ова канта за отпатке ће се празнити ручно с времена на време колико је потребно. Финији материјал (делићи мањи од 15 mm) падају гравитацијски кроз вибрационо сито у постојећи одводни канал. Пепео се тада спира до багер јаме A1 користећи воду из пражњења ејектора канала издувних гасова, преливну воду крацера и додатну процесну воду. Процесна вода за хидрауличке ејекторе се пумпа из једног цевовода од базена процесне воде и напаја све хидрауличке ејекторе.

3.2.2 Транспорт пепела до багер јаме за шљаку A1

Шљака из крацера, крупнозрни пепео и вода се спирају у багер јаму за шљаку A1. Јама је подељена у две коморе и свака страна јаме може да се користи ручним управљањем бране у каналу пре јаме. Један део јаме се контролише постојећим системом а друга комора јаме се контролише уз помоћ мерача високог и ниског нивоа и помоћу континуалног мерења помоћу трансмитера нивоа.

Јама је употпуњена са три спољашње пумпе монтиране на под за пумпање ретке мешавине шљака/вода до силоса за шљаку.

Једна пумпа је радна, а друге две су резервне. Пумпе су повезане унакрсним цевоводом са оба излаза из јаме.

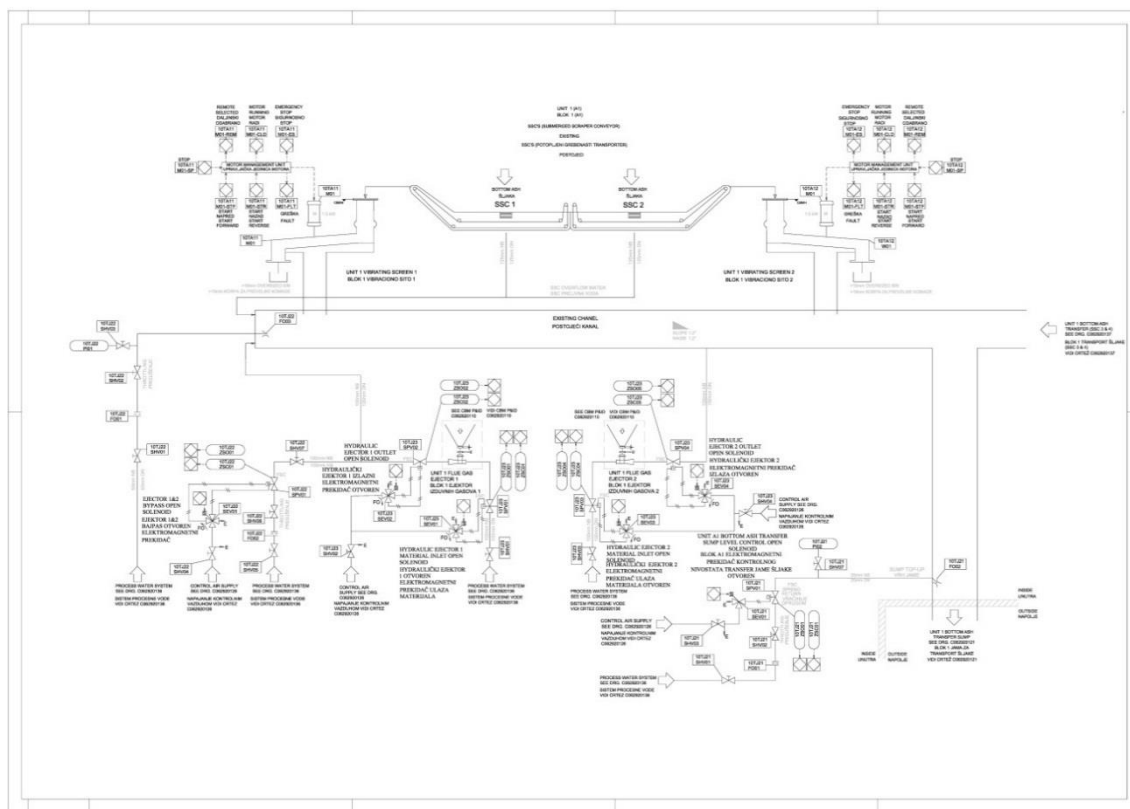
На сваком потисном цевоводу пумпи се налази аутоматски вентил и ручни вентил за затварање цевовода током одржавања. Након ручног вентила цеви из свих пумпи се међусобно повезују заједничком цеви пре него што се раздвоје на два транспортна цевовода до силоса за шљаку. Сваки транспортни цевовод има трансмитер притиска и трансмитер протока.

Трасе цевовода које се повезују у заједничку ће имати тачку гранања/испирања за чишћење било какве блокаде.

Процесна вода омогућује узбукивање дна прљавог дела јаме. Моторни вентил ће се аутоматски отворити за испирање јаме када се систем пумпи шљаке стартује.

Две мале пумпе у јами осигуравају да било каква вода у подрумском простору буде испумпана назад у одводни канал пре јаме A1.

Генерално сваки крацер може бити заустављен ако одговарајући котао није у употреби. Свако вибрационо сито ће се стартовати независно ако је повезаност старта исправна и оператер покрене команду стартовања.



Слика 11 Технолошка шема издвајања шљаке из крацера блока A1 и транспорта до јаме (приказана на A3 формату)

3.3 Блок А1- ЕСФ (Електростатички филтер): транспорт сувог пепела

Блок А1 се састоји од два котла са два ЕСФ-а (један ЕСФ по блоку). Сваки ЕСФ се састоји од шест излазних левкова, који су смештени испод ЕСФ и организовани у три поља од две колоне и рад колоне 1 и колоне 2 су идентични. Рад сваког ЕСФ је идентичан те из тог разлога овај технички опис описује рад само једног ЕСФ.

3.3.1 Транспорт сувог пепела од Блока А1 до Д-пумпи

Током нормалног рада котла Блока А1, суви пепео се скупља у излазним левковима ЕСФ1 И ЕСФ 2 котла. Испод сваког од ових шест левкова се налази Д-пумпа за пнеуматски транспорт сувог пепела из излазних левкова до силосног комплекса. Д-пумпе су повезане у две колоне од три поља са три Д-пумпе у свакој колони које пуне суви пепео у заједнички цевовод за пражњење. Д-пумпе ће нормално радити у секвенци са једном посудом која се пуни док друга посуда празни пепео у транспортни цевовод. Овај начин рада осигурава да се транспортни цевовод константно пуни са материјалом и тако достиже максимални транспортни проток.

Ручни изолациони вентил је уграђен на сваком излазном левку да спречи проток пепела током одржавања. Д-пумпа је постављена директно испод сваког излазног левка, који је повезан на ручни изолациони вентил уграђен испод сваког левка. Пнеуматски улазни одзрачни купасти вентил је уграђен на врху Д-пумпе. Код пуњења пепела оба улазна купаста вентила и одзрачни вентил су отворени и пепео гравитацијски пада у Д-пумпу. Количина пепела која улази у Д-пумпу се контролише помоћу мерача нивоа.

Када се мерач високог нивоа покрије са пепелом након кратког временског периода, улазни купасти вентил и одзрачни вентил се затварају. Главни задатак одзрачног вентила је да омогући истицање ваздуха из Д-пумпе током процеса пуњења.

Заједнички пнеуматско управљани главни вентил транспортног ваздуха је уграђен на улазу три Д-пумпе у свакој линији. Свака Д-пумпа је опремљена са излазним купастим вентилом, уравнотежавајућим вентилом посуде и вентилом за флуидизацију посуде, сви пнеуматски управљани, који се напајају из цевовода транспортног ваздуха из компресорске станице. Инструменталним ваздухом се напајају све Д-пумпе посебним цевоводом из компресорске станице.

Када се улазни купасти вентил и одзрачни вентил затворе и заптију, уравнотежавајући купасти вентил посуде и вентил за флуидизациони ваздух се отворе. Притисак у посуди расте све док не постане једнак са притиском у транспортном цевоводу. Када је радни притисак достигнут излазни купасти вентил се отвара и суви пепео се транспортује контролисаним протоком до силосног комплекса. Када излазни купасти вентил и уравнотежавајући вентил посуде буду затворени и заптивени одзрачни вентил се отвара и ослобађа задржани притисак унутар Д-пумпе. Главни вентил транспортног ваздуха ће остати отворен у периоду који омогућава да пепео дође на крајње одредиште.

3.4 Блок А2- ЕСФ: транспорт сувог пепела

Блок А2 се састоји од једног котла са два ЕСФ-а. Сваки ЕСФ се састоји од шест излазних левкова који су лоцирани испод ЕСФ и организовани у три поља са по две колоне, рад колона 1 и 2 је идентичан. Рад оба ЕСФ је идентичан па је из тог разлога описан само рад једног ЕСФ.

3.4.1 Транспорт сувог пепела из Блока А2 до Д-пумпи

Током нормалног рада котла Блока А2, суви пепео се скупља у излазним левковима ЕСФ1 и ЕСФ2. Испод сваког од ових шест излазних левкова налази се Д-пумпа из које се пнеуматски транспортује суви пепео из излазних левака до силосног комплекса. Д-пумпе су повезане у две колоне са три поља са три Д-пумпе у свакој колони, које пуне заједнички цевовод пепелом.

Д-пумпе раде нормално у секвенци, једна посуда се пуни док се друга празни у транспортни цевовод. Овај начин рада осигурава, да је транспортни цевовод стално напуњен са материјалом и тако се постиже максимални проток.

Ручни излоациони вентил је постављен испод сваког излазног левка да спречи проток пепела током одржавања. Д-пумпа је смештена испод сваког излазног левка, повезана је са ручним изолационим вентилом који је намештен испод сваког излазног левка. Пнеуматски покретан улазни купасти вентил и пнеуматски вентил за одзраку су смештени на врху Д-пумпе. Приликом пуњења пепелом оба, улазни и одзрачни вентил, су отворени и пепео пролази гравитацијски у Д-пумпу. Количина пепела који улази у Д-пумпу је контролисана са мерачем високог нивоа. Када је мерач високог нивоа покривен након кратког временског интервала, улазни купасти вентил и одзрачни вентил се затварају. Главни задатак одзрачног вентила је да омогући да убачени ваздух који је убачен током пуњења изађе из Д-пумпе. Цевовод одзрачног вентила иде између Д-пумпе и улазне прирубнице на врху излазног левка ЕСФ смештеног изнад.

Заједнички пнеуматско покретни вентил, за главни транспортни ваздух је постављен на излазу три Д-пумпе у свакој колони. Свака Д-пумпа је опремљена са једним излазним купастим вентилом, купастим вентилом за уравнотежавање посуде и вентилом за аеризациони ваздух посуде.

Инструментални контролни ваздух је такође обезбеђен за сваки ваздушни сабирник на Д-пумпи кроз посебан цевовод из компресорске станице. Када су улазни купасти вентил и одзрачни вентил затворени и заптивени, вентил за уравнотежавање посуде и вентил за аеризациони ваздух посуде су отворени. Притисак у посуди ће расти све док не постане једнак са притиском у транспортном цевоводу.

Код исправног рада по достизању притиска излазни купасти вентил се отвара и пепео се транспортује са контролисаним протоком до силосног објекта. Излазни купасти вентил, вентил за уравнотежавање посуде и вентил аеризирајућег ваздуха посуде, остају отворени

док мерач ниског нивоа посуде не остане непокривен и након кратког временског периода излазни купасти вентил посуде, вентил за уравнотежење посуде и вентил аеризационог ваздуха се затварају.

Када су излазни купасти вентил и вентил за уравнотежавање посуде затворени и заптивени, одзрачни вентил се отвара и ослобађа преостали притисак из Д-пумпе. Циклус је комплетан када је ослобођен притисак из Д-пумпе.

Главни вентил за транспортни ваздух ће остати отворен временски период док пепео не дође на своје крајње одредиште. Ако се подциклус не стартује пре краја временског периода, тада главни транспортни вентил остаје затворен док се не покрене нови циклус.

3.5 Блок А2 -транспорт шљаке из крацера

Блок А2 се састоји од једног котла са једним крацером.

3.5.1 Транспорт крупнозрног пепела из канала издувних гасова до крацера

Пепео из канала издувних гасова је крупнозрни пепео. Из тог разлога се тај пепео транспортује до крацера за даљи транспорт заједно са шљаком до силоса за шљаку. Котао има два канала издувних гасова.

Крупнозрни пепео пада кроз излазни левак гравитацијски директно у крацер. На сваком каналу издувних гасова уграђен је преградни ручни вентил којим се спречава проток пепела током одржава.

3.5.2 Транспорт мешавине шљаке и крупнозрног пепела из крацера до А2 јаме

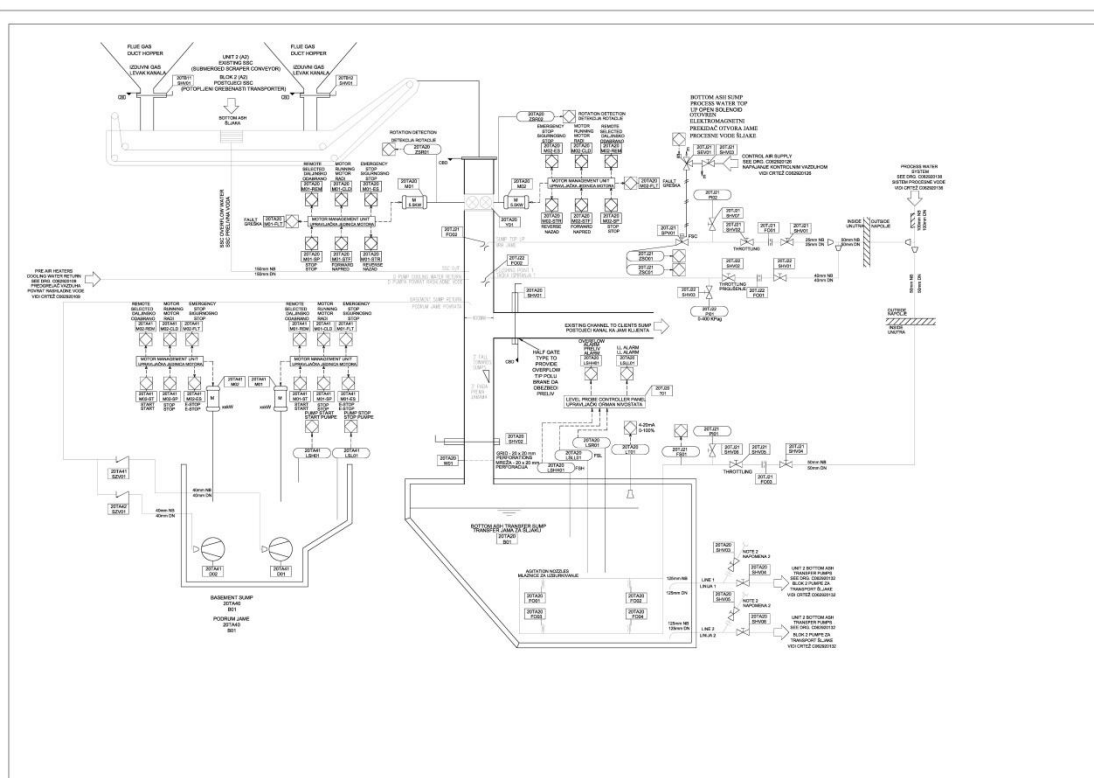
Шљака услед гравитације пада из котла у крацер.

Мешавина шљаке и воде се извлачи испод котла помоћу ланца и низа пречки, те пада гравитацијски из крацера кроз излазну сипку на дробилицу. Дробилица има задатак да издоби превелике комаде (веће од 15 mm) до финије гранулације материјала (мање од 15 mm) који падају гравитацијски у спирни канал. Пепео се тада спира до јаме А2 где се покреће уз помоћ воде, из прелива крацера и додатне процесне воде.

Процесна вода се пумпа једним цевоводом из базена процесне воде.

3.5.3 Транспорт преливне воде из крацера до резервоара процесне воде

- Шљака из крацера, крупнозрни пепео и вода су сапрани у A2 јаму за шљаку. Ручне преградне бране су постављене у каналу испред јаме. Једна брана усмерава проток ка постојећој јами, друга ка новој A2 јами. Ниво у јами се контролише помоћу мерача високог и ниског нивоа, али и континуално помоћу трансмитера нивоа.
- Јама је опремљена са три спољашње пумпе монтиране на под за пумпање ретке хидромешавине шљака/вода у силос за шљаку.
- Једна пумпа је радна, а друге две су резервне пумпе. Пумпе су повезане са укрштеним цевоводима са два излаза из јаме.
- На сваком од излазних цевовода пумпи се налази аутоматски вентил и ручни вентил уграђен за затварање цевовода током одржавања. Након ручног вентила цев из обе пумпе се укрштају са заједничким цевоводом пре раздвајања у један од два транспортна цевовода до силоса за шљаку. На сваком од транспортних цевовода налази се трансмитер притиска и трансмитер протока.
- Трасе цеви које се спајају у заједничку линију имају тачку за испирање/гранање за уклањање било каквих блокада.



Слика 14 Технолошка шема издвајања шљаке из крацера блока A2 и транспорт до јаме (приказана на A3 формату)

4.0 ПРАЖЊЕЊЕ ШЉАКЕ У СИЛОС ЗА ШЉАКУ

Током нормалног рада шљака помешана са водом се хидраулички пумпа из котларница А1 и А2 до било ког силоса за шљаку 1 или силоса за шљаку 2. Сва опрема постављена на врху сваког силоса је идентична и рад оба силоса је идентичан, стога је овим техничким описом описан рад само силоса 1.

У случају хаварије ако силос за шљаку није доступан вентили за усмеравање ће дозволити пумпање ка сигурносним хидро циклонима. Рад је идентичан као на силосу с изнимком вибрационог сита које није захтевано.

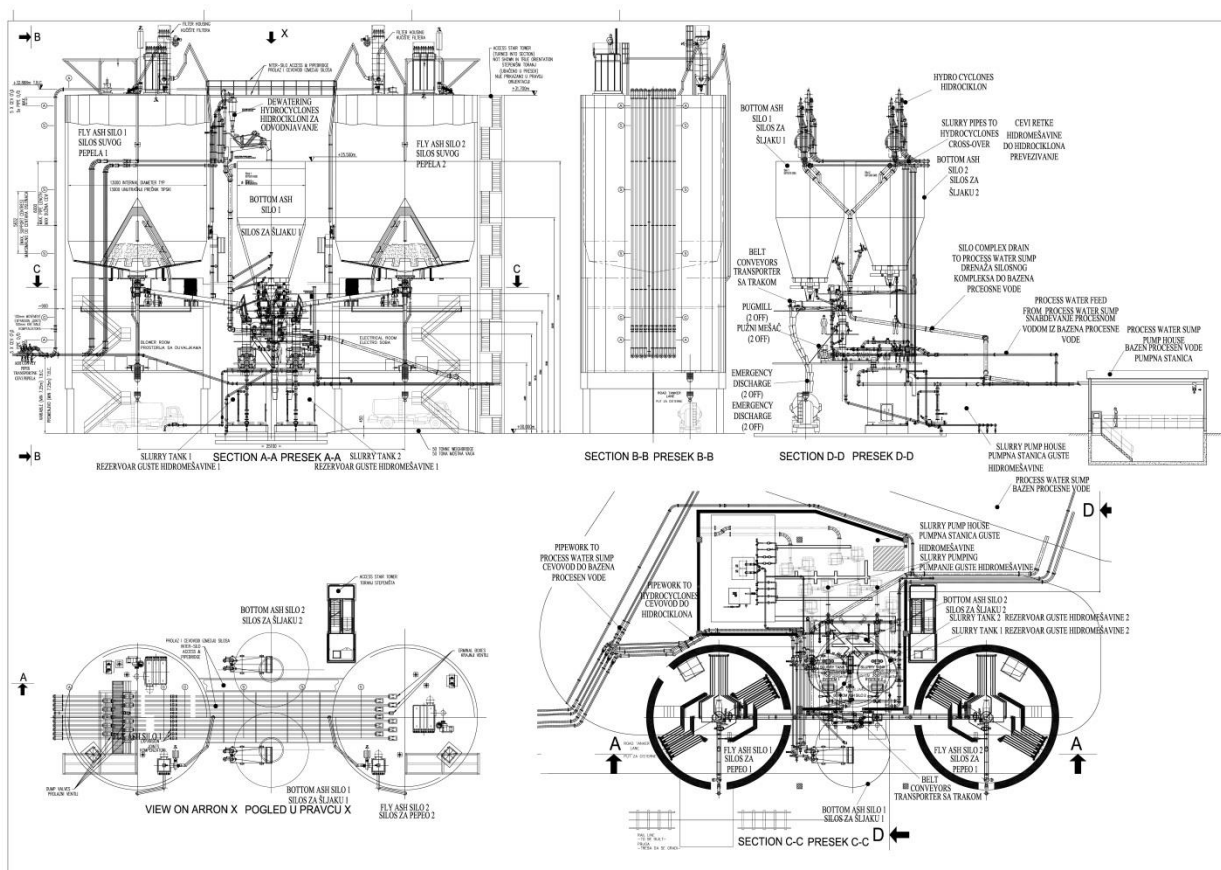
4.1 Транспорт шљаке до силоса за шљаку

Шљака се хидраулички пумпа из котларнице до силоса за шљаку помоћу два цевовода до хидроциклона за шљаку. Сваки силос за шљаку је опремљен са два хидроциклона. Два цевовода за транспорт шљаке могу да напајају хидроциклоне на силосу за шљаку 1 или хидро циклоне на силосу за шљаку 2. Цевоводи су повезани заједничким колектором и аутоматским вентилима којима оператер бира руту до хидроциклона на силосу за шљаку.

Мокра шљака се пумпа у циклон где се одводњава. Излазна вода иде затим из излазне прирубнице за одводњавање на хидроциклону до заједничке дренажне тачке. Шљака пада гравитацијски у вибрационо сито где се шљака додатно одводњава и након тога пада гравитацијски у силос за шљаку. Вишак воде из вибрационог сита иде од излазне прирубнице до заједничке дренажне тачке.

Постоји прирубница за прелив на силосу за шљаку постављена са вертикалне стране близу врха која преузима преливну воду из заједничке дренажне тачке.

Ниво у силосу за шљаку се континуално надзире помоћу мерача нивоа док се висок ниво детектује помоћу прекидача нивоа, који је постављен на врх силоса. Такође постоји шахт на врху силоса за шљаку за потребе уласка због испитивања.



Слика 15 Основа и пресеци силоса за пепео и шљаку јаме (приказана на А3 формату)



Слика 16 Силоси за пепео и шљаку

4.2 Пражњење сувог пепела у силос сувог пепела

Током нормалног рада суви пепео се пнеуматски транспортује из котловских блокова А1 и А2 било у силос сувог пепела 1 или силос сувог пепела 2. Сва опрема постављена на врху било ког силоса је идентична са изузетком испусних вентила који су постављени на врху силоса 1 и крајњих вентила који су постављени на врху силоса 2. Испусни вентили и крајњи вентили су међусобно повезани са цевоводом између излазног прикључка испусног вентила и улазног прикључка крајњег вентила.

4.2.1 Транспорт сувог пепела до силоса сувог пепела

Суви пепео се пнеуматски транспортује од котларнице до силоса за суви пепео помоћу једанаест цевовода који сваки понаособ напајају испусни вентил на врху силоса. Суви пепео се континуално транспортује до силоса све док силос не буде пун. Ниво унутар силоса се континуално прати помоћу радарског мерача нивоа, а висок ниво се детектује помоћу капацитивног мерача нивоа, који је постављен на врху силоса. Мерач температуре је постављен на врх силоса и прати температуру сувог пепела унутар силоса.

На врху силоса се налазе два врећаста филтера, постављена тако да је сваки филтер опремљен са вентилаторском јединицом. Један филтер се користи за одпрашивање силоса, а други филтер се користи за прихват одзрачних цевовода из ваздушних канала за пражњење силоса и система за сигурносно пражњење. Врећасти филтери користе компримовани ваздух који се пулсно убацује по већ подешеном временском периоду да би се спречило запушење филтера са прашином.

Чист ваздух се испушта у атмосферу кроз излазну цев сваког филтера. Одзрачни цевовод из ваздушних канала иде од излазне одзрачне прирубнице на ваздушним каналима до улазне прирубнице на вентилаторској јединици филтера. Одзрачни цевовод сипке сигурносног пражњења иде од излазне прирубнице сипке сигурносног пражњења до улазне прирубнице на филтерској јединици.

Сигурносни вентил је постављен на врх силоса са двоструким задатком праћења над и под притиска унутар силоса. У случају да је достигнут ниво високог притиска, вентил се отвара и одзрачује у атмосферу. У случају достизања вакуума, вентил се отвара и омогућује проток ваздуха у силос.

Шахт је постављен на врх силоса за потребе одржавања.

4.3 Пражњење силоса и припрема густе хидро-мешавине

Током нормалног рада суви пепео је смештен у два силоса за суви пепео и шљака која је смештена у два силоса за шљаку.

4.3.1 Пражњење сувог пепела из силоса за суви пепео 1

Суви пепео се пнеуматски празни из силоса за суви пепео помоћу принципа експанзионих посуда. Експанзиона посуда ствара простор унутар силоса где је материјал ослобођен насипног притиска у главној комори силоса.

Дно силоса је опремљено са системом за аеризацију који се састоји од специјално постављених отворених ваздушних канала који су подељени у две зоне, спољашња кружна зона која је подељена у 12 сектора и подручје коморе која је подељено у два дела. Сваки сектор дна је опремљен са електро-пнеуматским вентилима. Потребна количина аеризационог ваздуха се добија из три ротационе клипне дувалке са цевним системом, једна дувалка је за спољашње прстенасто подручје, друга дувалка за подручје коморе плус једна резервна дувалка за оба прстена. Дистрибутивни систем ваздуха мења сектор према унапред дефинисаном временском програму.



Слика 17 Приказ дувалки за флуидизацију (аеризација)

Током процеса пражњења силоса, аеризациони ваздух пролази кроз ваздушне канале на дну силоса. Ваздух ће пролазити кроз ове ваздушне канале у спремљени суви пепео који ће се покретати, потпомогнут ваздухом, у правцу излаза силоса.

Излаз из силоса је опремљен са табластим вентилом за преграђивање излаза силоса, разбијачем грудви који се користи за ломљење већих количина сувог пепела и дистрибутером који је повезан са два бочна испуста, један за улаз у пужни мешач и други за улаз у опрему за пуњење ауто цистерни.

Суви пепео се транспортује помоћу ваздушних канала од дистрибутера за пражњење силоса до ударне ваге. Ударна вага је опремљена са мерним системом са угибним каналом који контролише проток користећи реактивну снагу. Суви пепео се извлачи напоље помоћу вођеног канала, који је подешен и вођен са кривим угибним каналом. На мерном каналу суви пепео је убрзан у радијалном правцу. Пнеуматски покретан преградни вентил за контролу протока је монтиран између ударне ваге и улазне прирубнице у пужни мешач.

Када је изабран транспорт сувог пепела са аспекта ваздушног канала из дистрибутера пражњења силоса ка опреми за пуњење у ауто цистерне. Пнеуматски покретан преградни вентил за контролу протока се користи за контролу протока сувог пепела у уређај за пуњење ауто цистерне. Уређај за пуњење ауто цистерни је опремљен са каналом, утоварним конусом, спољашњим штитником, унутрашњим конусом, вентилационим прикључком и витлом.

4.3.2 Пражњење силоса за шљаку 1

Шљака се празни из силоса за шљаку 1 гравитацијски и транспортује се помоћу транспортера са тракама до пужног мешача изнад резервоара за густу хидромешавину 1, пужног мешача изнад резервоара за густу хидромешавину 2 или до сигурносног пражњења. Ручни преградни вентил је монтиран на излазној прирубници силоса за шљаку да спречи проток шљаке током одржавања. Шљака се празни гравитацијски из излаза силоса за шљаку 1 помоћу шипке на транспортер са траком бр. 3, који је реверзибилни транспортер. Када се транспортер покреће унапред, транспортер са траком бр. 3 пресипава шљаку на транспортер са траком бр. 4 који је такође реверзибилан. Када се транспортер са траком бр. 3 покреће уназад тада се шљака транспортује до тачке сигурносног пражњења. Када се транспортер са траком бр. 4 покреће напред шљака се празни у улазни левак пужног мешача изнад резервоара за густу хидромешавину 2. Када се транспортер са траком бр. 4 покреће уназад, шљака се празни у улазни левак пужног мешача изнад резервоара са густом хидромешавином 1.

Испод сваког транспортера са траком било 3 или 4 налази се посуда која је монтирана да прикупи вишак воде која је дошла са изласка из силоса. Вишак воде се скупља на страни затезне ременице транспортера са траком кроз дренажну излазну прирубницу и води се гравитацијски цевоводом до базена резервоара за густу хидромешавину. Такође постоји улазна вода на погонској страни транспортера са траком која с времена на време испира посуде.

4.3.3 Пражњење силоса за шљаку 2

Шљака се празни из силоса за шљаку 2 гравитацијски и транспортује се помоћу транспортера са траком до пужног мешача изнад резервоара за густу хидромешавину 1, пужног мешача за густу хидромешавину 2 или тачке сигурносног пражњења. Ручни

преградни вентил је монтиран на излазној прирубници силоса за шљаку да спречи проток шљаке током одржавања.

Шљака пада гравитацијски са дна силоса за шљаку 2 на транспортер са траком бр. 1 који је покретан унапред и празни шљаку на транспортер са траком бр. 2 који је реверзибилно покретни транспортер. Када се транспортер са траком бр. 2 покреће унапред, шљака се празни на транспортер са траком бр. 4. Када се транспортер са траком бр. 2 креће уназад, шљака се транспортује до тачке сигурносног пражњења. Када се транспортер са траком бр. 4 покреће унапред, шљака се празни у улазни левак пужног мешача изнад резервоара за густу хидромешавину 2. Када се транспортер са траком бр. 4 покреће уназад, шљака се празни у пужни мешач изнад резервоара за густу хидромешавину 1.

4.3.4 Припрема густе хидромешавине

Пепео и шљака се празне из силоса за суви пепео преко ударне ваге и из силоса за шљаку преко транспортера са траком до улазних прирубница на пужним мешачима 1 и 2. Пепео и шљака се мешају са процесном водом унутар пужног мешача док се не достигне хомогеност. Пужни мешач 1 транспортује густу хидромешавину до одговарајућег резервоара густе хидромешавине 1 и пужни мешач 2 транспортује густу хидромешавину до одговарајућег резервоара густе хидромешавине 2.

Главни задатак резервоара густе хидромешавине 1 и 2 је да прикупе густу хидромешавину за будући транспорт из резервоара густе хидромешавине до пумпне станице густе хидромешавине. Сваки резервоар густе хидромешавине је опремљен за моторним миксером који одржава хомогеност густе хидромешавине. Ниво густе хидромешавине у резервоару густе хидромешавине је контролисан преко мерача нивоа који се налази на врху резервоара густе хидромешавине.

Сваки резервоар густе хидромешавине је опремљен са улазном прирубницом за процесну воду због периодичног испирања резервоара густе хидромешавине. Сваки резервоар је опремљен са прирубницом за преливну воду и прирубницом за дренажу која транспортује вишак воде у базен резервоара густе хидромешавине.

На врху јаме резервоара густе хидромешавине су уграђене две потопне пумпе за транспорт воде из силоса за шљаку и резервоара за густу хидромешавину назад до резервоара густе хидромешавине. Једна пумпа је радна док је друга резервна.

Ниво преливне воде се мери у јами и вода су пумпа ка резервоарима густе хидромешавине када је ниво воде између минималног и максималног нивоа. На излазном цевоводу из пумпе налази се неповратна клапна који има задатак да заштити пумпу од хидрауличног удара. Иза неповратне клапне на сваком цевоводу се налази лептирасти вентил који служи за затварање цевовода током одржавања и мерач притиска у цевоводима. Након мерача притиска цеви из обе пумпе се повезују са једним цевоводим који иде до резервоара густе хидромешавине. У случају зачепљења цевовода, постоје тачке за испирање које се налазе где год се мења правац цевовода.

5.0 БАЗЕН ПРОЦЕСНЕ ВОДЕ

Базен процесне воде се састоји од једног базена са два комплета пумпи за напајање процесном водом. Један комплет напаја процесном водом транспортни систем шљаке блока A1 и A2, а други комплет напаја процесном водом систем густе хидромешавине. Унутар базена се налазе миксери који се користе за одржавање финих честица у суспензији.

5.1 Пумпање процесне воде до блока A1 и A2 транспортни систем шљаке

Базен процесне воде је опремљен са две пумпе суве изведбе монтиране на под које снабдевају транспортни систем шљаке блокова A1 и A2 са процесном водом. Једна пумпа је радна, док је једна резервна. Пумпе су повезане са укрштеним цевоводом из два излаза базена. На сваком излазном цевоводу се налази неповратна клапна да заштити пумпе од хидрауличног удара. Након неповратне клапне на сваком цевоводу налази се лептирасти вентил ради затварања цевовода током одржавања.

Након лептирастог вентила цевоводи из обе пумпе се укрштају у један цевовод који иде до система транспорта шљаке из блокова A1 и A2. Након укрштања цевовода налазе се мерач притиска и протока. Цевоводи се спајају у заједничку линију и имају прикључну тачку испирања за отклањање блокаде. Цевовод који обезбеђује воду за узбуљивање на дну прљавог дела јаме је огранак једног цевовода пре трансмитера притиска. Моторни вентил ће се аутоматски отворити за испирање јаме када су стартоване пумпе система шљаке.

5.1.1 Пумпање процесне воде у систем густе хидромешавине

Базен процесне воде је опремљен са две пумпе суве изведбе које су монтиране на под за напајање система густе хидромешавине процесном водом. Једна пумпа је радна, док је друга резервна. Пумпе су повезане укрштањем цевовода са два излаза из базена. На сваком излазном цевоводу налази се неповратна клапна која штити пумпе од хидрауличног удара. Након неповратне клапне на сваком цевоводу се налази лептирасти вентил који затвара цевовод током одржавања.

Након лептирастог вентила цеви из обе пумпе се укрштају у један цевовод ка систему густе хидромешавине. Након укрштања цеви налази се мерач притиска.

Цевоводи који се спајају у заједничку линију имају прикључну тачку испирања за отклањање блокада. Рецикулациони круг је огранак једног цевовода испред трансмитера притиска који шаље процесну воду назад у прљави део базена процесне воде.

5.1.2 Базен процесне воде

Базен процесне воде је подељен у две секције, чиста и прљава вода, повезане са подливом и преливом. Повратна вода са отвореног површинског копа се усмерава било у чисту или прљаву секцију. Сирова процесна вода исто може бити усмерена у било коју секцију зависно од захтева процеса. У хаварним случајевима, вода из хаварних хидроциклона шљаке ће падати у чисту секцију базена. Обе секције, чиста и прљава, су контролисане помоћу мерача високог и ниског нивоа. Ниво у чистој секцији је такође контролисан са трансмитером нивоа.



Слика 18 Базен процесне воде

5.1.3 Миксери базена процесне воде

Процесна вода која се користи за транспортни систем шљаке Блокова А1 и А2 се враћа у базен процесне воде кроз систем одводњавања. Повратна вода, садржи мале количине шљаке, и улази у базен процесне воде. Два потопљена миксера раде континуално да обезбеде циркулацију воде унутар базена процесне воде и спрече слегање чврстих честица. Сваки миксер има додељен чекрк који омогућава извлачење миксера због одржавања.

6.0 ТРАНСПОРТ ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ И ИСТАКАЊЕ НА ДЕПОНИЈУ ЋИРИКОВАЦ

Применом технологије транспорта густе хидромешавине и депоновања пепела и шљаке, неоспорне су еколошке предности које се манифестују првенствено на значајно смањене развејавања. Поред тога, због веће запреминске масе одложеног пепела у односу запреминску масу пепела одложеног садашњом технологијом, омогућен је дужи век депоновања и повећана стабилност саме депоније као хидрограђевинског објекта.

Чињеница да се по први пут, код нас, депоновање пепела и шљаке врши у откопаном простору површинског копа, што поред испуњавања све оштријих еколошких захтева који ће у будућности бити услов за коришћење депонија, увећава значај израде и реализације овог пројекта.

Технологија припреме транспорта и депоновања пепела и шљаке се састоји из строго контролисаног процеса припреме мешањем воде, пепела и шљаке којим се добија густа хидромешавина масене концентрације чврсте фазе до 50%. Након тога следи принудни транспорт припремљене хидромешавине центрифугалним муљним пумпама и цевоводом до депоније. На депонији густа хидромешавина се директно истаче кроз истакаче у припремљену касету за депоновање. Овако депонована хидромешавина формира нагиб између 2 и 6% у зависности од концентрације чврсте фазе у хидромешавини. Материјал се депонује као и што се транспортује са великом густином и слојевито тако да се спречава сегрегација. Такође се оваквим начином, у односу на технологију ретке мешавине, повећава запреминска маса депонованог материјала, а самим тим и његова количина на одређеном простору. Оваквим начином припреме, транспорта и депоновања вишеструко се смањује разношење депонованог материјала услед еолске ерозије, смањује период коначне консолидације што омогућава трајну рекултивацију у кратком временском периоду након завршетка депоновања.

Овакав начин транспорта и одлагања пепела са смањеном количином воде, како приликом транспорта, тако и приликом одлагања, има за последицу и смањење количине воде на самој депонији. На основу овога могуће је вршити рецикулацију воде са депоније и њено поновно коришћење у припреми и транспорту. Овом технологијом значајно се смањује загађење ваздуха изазвано развејавањем, као и земљишта, подземних и површинских вода.

6.1 Транспорт и депоновање пепела и шљаке у виду густе хидромешавине

Основна поставка технолошког процеса прикупљања, припреме, транспорта и депоновања густе хидромешавине на термоелектрани „Костолац А“ је континуирано мешање воде са пепелом и шљаком у масеном односу 1:1, њен транспорт у виду густе хидромешавине и слободно истакање и депоновање у припремљене касете.

Сам технолошки процес има више подсистема који омогућавају несметан индустријски рад:

- снабдевање постројења водом,
- снабдевање постројења пепелом и шљаком,
- припрема хидромешавине,
- транспорт хидромешавине,
- депоновање хидромешавине и
- рецикулација повратне воде.

6.1.1 Транспорт хидромешавине пепела и шљаке до депоније

Након процеса прикупљања пепела и шљаке и снабдевања водом, следи поступак припрема густе хидромешавине и њен транспорт на депонију.

Транспорт густе хидромешавине одвија се принудним транспортом помоћу центрифугалних муљних пумпи.

Цевоводи су монтирани од челичних бешавних цеви пречника DN 225, Ø244×8 mm. Материјал од кога су израђене цеви је челик P265GH (1.0425), а у складу са EN 10028.



Слика 19 Приказ цеви (радна, резервна, и цев повратне воде) и термоелектране Костолац

Технолошка линија принудног транспорта густе хидромешавине пепела и шљаке почиње од резервоара за хидромешавину, усисног цевовода, центрифугалних муљних пумпи, преко потисног транспортног цевовода, а завршава се на депонији пепела и шљаке на истакачком месту. Технолошка линија за транспорт густе хидромешавине се састоји од челичног цевовода на коме су на ред везане три центрифугалне муљне пумпе и мерно-регулациона опрема. Магистрални транспортни челични цевовод, уз припадајућу арматуру (компензатори, дренажни и одзрачни вентили итд), систем за чишћење и разводни цевовод по депонији са системом Т рачви, вентила и бленди, као и истакачима и каналима чине комплетну технолошку линију за транспорт густе хидромешавине.

На депонији поред технолошких линија за транспорт и депоновање густе хидромешавине налазе се још и систем за дренарање подлоге депоније пепела и шљаке, као и дренажни систем и систем за прикупљање слободне воде.

У циљу обезбеђења стабилности подлоге за постављање двоструке заштитне баријере, депоније пепела и шљаке, предвиђена је израда дренажног рова који одводњава одлагалиште на које се директно наслања одложена маса пепела и шљаке. Прикупљена подземна вода, преко црпне станице бр. 1 (ЦС1) се евакуише из одлагалишта у главни водосабирник, из кога се затим даље испумпава у реку Млаву. С друге стране, за одводњавање одложене хидромешавине пепела и шљаке, из саме депоније, користи се системом дренажних цеви и преливних органа. Вода се евакуише преко црпне станице бр. 2 (ЦС2) до пумпне станице повратне воде и даље се као повратна вода транспортује у термоелектрану

За заштиту депоније од подземних вода предвиђена је израда дренажних тепиха, дренажних канала са уграђеним перфорираним цевима, гранулатом и бунар колектором. За заштиту депоније од површинских вода предвиђена је израда ободних канала и етажног канала. Сакупљене воде одводе се у главни водосабирник, одакле се вода потисним цевоводом транспортовати у реку Млаву.

Стабилност депоније и несметана изградње насипа обезбеђује се непрекидним дренарањем депоније помоћу дренажног система за прикупљање вишка воде на депонији. То су атмосферска вода, као и вода која настаје из процеса транспорта и испирања цевовода. Прикупљање се врши дренажним системом, а затим преко црпне станице 2.

Из пумпне станице повратне воде прикупљена вода се повратним транспортним цевоводом враћа назад у термоелектрану.

6.2 Начин депоновања густе хидромешавине у акумулациони простор

Депоновање густе хидромешавине врши се у акумулациони простор депоније, који је подељен на две касете, касету 1 и касету 2. Депоновање густе хидромешавине се врши преко истакача и канала у предходно припремљену касету за истакање. Радна густина хидромешавине за депоноване је 48% чврста фаза, с тим да су дозвољена краткотрајна одступања од те густине у распону од 42% чврсте фазе до 48% чврсте фазе, у случајевима када дође до поремећаја протока пепела и/или шљаке при пражњењу силоса. Радна густина од 48% чврсте фазе је неопходна због обезбеђивања што веће хомогенизације

одложене масе у циљу спречавања сегрегације (таложeње муљних честица) и њиховог разношења ветром. Касете за депоновање се наизменично запуњавају по принципу једна радна друга резервна.

Истакање хидромешавине у касете за депоновање врши се углавном са јужне стране, при чему се депонована маса директно наслања на северну страну копа. Истакање се врши и са источне и западне стране, како би се слободна вода „одбила“ према централном делу касете, односно органима за евакуацију слободне воде. Оваквим начином одлагања се обезбеђују услови за неометано надвишење депоније тј. изградњу насипа од пепела.

У касету 1 депоновање, тј. истакање врши се са три стране: источне, јужне и са преградног насипа. У касету 2 депоновање се такође може вршити са три стране: јужне, западне и са преградног насипа.

У вентилској станици, помоћу система вентила и клапни, густу хидромешавину можемо усмерити на жељени транспортни цевовод, тј. даље на истакач или канал.

6.3 Депоновање пепела и шљаке и надградња депоније

Депонија је лоцирана у откопаном простору површинског копа „Ћириковац“. Ограничена је линијом санације клизишта на северној страни, док се на истоку и западу наслања на границе тј. завршне косине копа. Са јужне стране налази се одложена коповска јаловина. Депонија је подељена на две касете преградним насипом.

Депоновање густе хидромешавине у припремљену касету врши се преко истакача и канала постављених нормално у односу на технолошке линије за транспорт густе хидромешавине.

У зависности од динамике експлоатације, ситуације и ограничавајућих фактора на депонији, (слободан простор за депоновање, изграђеност насипа, припремљеност касете и истакача, формирања и положаја слободне воде и тд.) врши се одабир истакача.

На депонији пепела и шљаке „Ћириковац“ изградња ободних и преградног насипа врши се помоћу грађевинске механизације. За изградњу је предвиђена грађевинска механизација у коју спадају: багер кашикар на гусеницама, булдожер за нагуравање материјала и вибрациони ваљак. Изграђени насипи морају задовољити одређене захтеве у погледу геомеханичких особина.

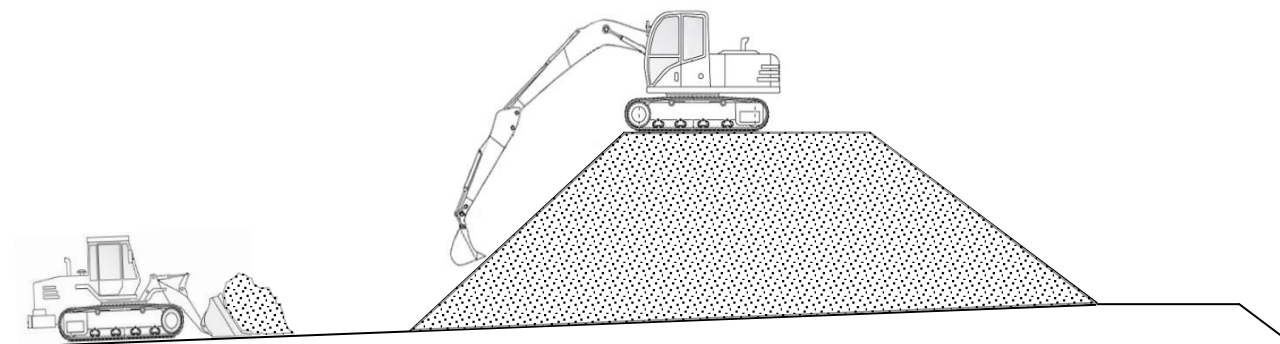
Како би се започело са депоновањем неопходно је депонијски простор поделити на два дела, две касете. Потребно је изградити преградни насип и формирати касете 1 и 2. У почетној фази круна преградног насипа је константна и налази се на коти 55 mnm. Висина насипа је око 11 m. Ширина круне овог насипа је 5 m, а нагиби спољашње и унутрашње косине је иста и износи 1:2,5. Материјал којим се граде иницијални насипи је лес (песак).

Надградња ободних и преградног насипа одвија се периодично у зависности од запуњености касета. Ободни и преградни насипи од материјала одложеног у виду густе хидромешавине имају обе косине са нагибом од 1 : 2,5 и са круном насипа од 5 m.

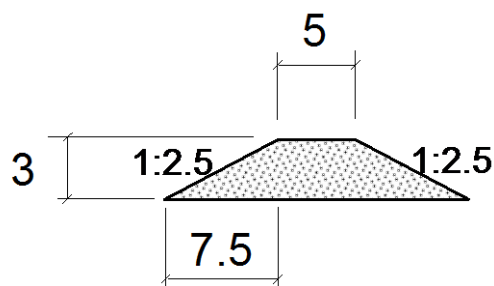
Насипи се граде на унутрашњој страни депоније активне касете на којој је претходно завршено депоновање до предвиђене коте запуњавања, а након демонтирања истакача како би се омогућио несметани рад грађевинске механизације. Улазак механизације у касету у којој је потребна надградња омогућен је помоћу приступних путева на депоније. Након завршетка надградње цевовод и истакачи се монтирају на новоизграђени насип.

Премештање цевовода са једне на другу касету предвиђено је само на преградном насипу. Сукцесивно се запуњава акумулациони простор и граде насипи све до достизања максималне коте, тј. завршне коте депоније која износи 92 метара надморске висине. У припремљену касету се врши депоновање густе хидромешавине слободним истакањем. Истакачи и канали преко којих се врши депоновање бирају се тако да се акумулациони простор равномерно запуњава. По завршетку запуњавања једне фазе на једној касети, прелази се на запуњавање унапред припремљене, друге касете. Након запуњавања акумулационог простора касете врши се доградња насипа, како би се у касети обезбедио нови акумулациони простор.

Скица начина надградње насипа грађевинском механизацијом у попречном пресеку приказана је на слици 18, а на слици 19 приказан је попречни пресек ободног насипа на депонији пепела и шљаке.

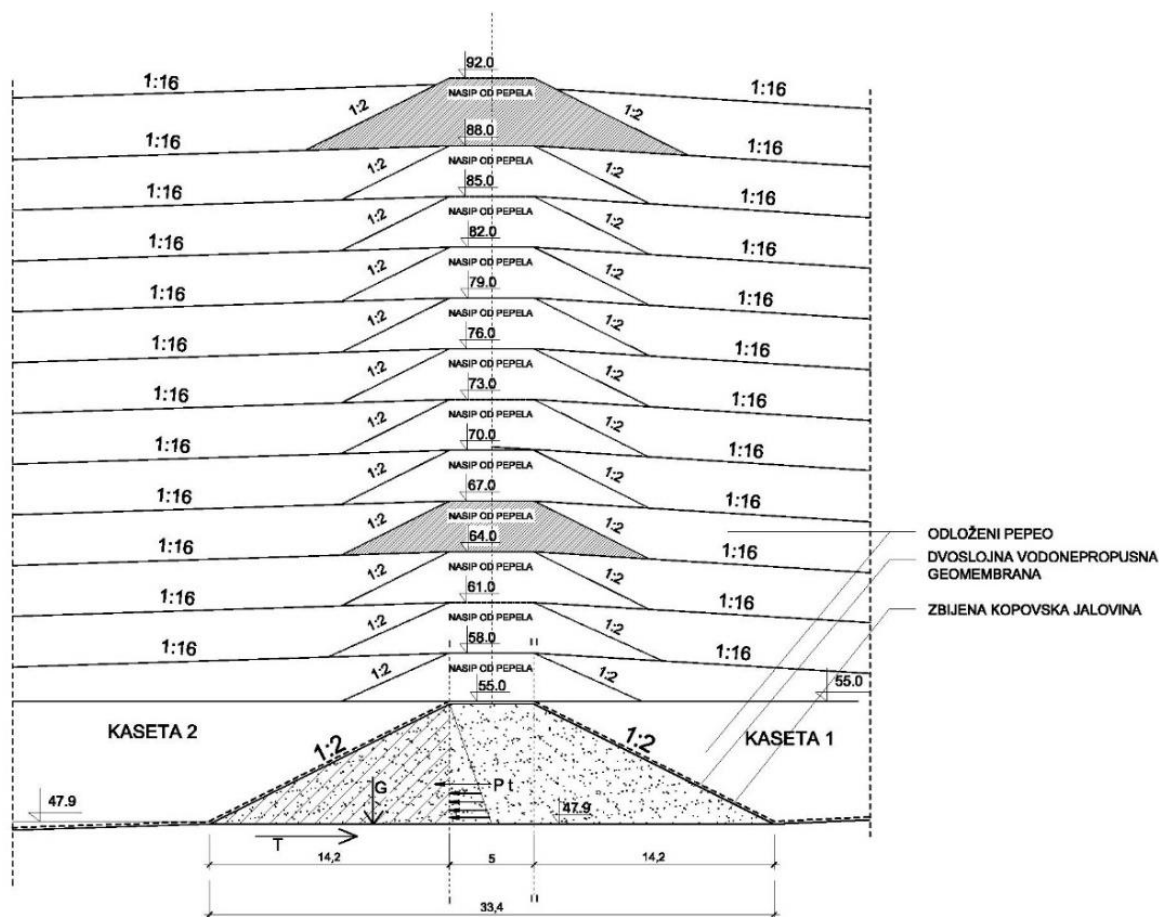


Слика 20 Графички приказ надградње насипа грађевинском механизацијом



Слика 21 Попречни пресек за изградњу ободног насипа на депонији пепела и шљаке Ћириковац

Предвиђено је да се граде ободни и преградни насипи висине 3 m, са kotaма круне насипа на од 69, 72, 75, 78, 81, 84, 87, 90, 92 метара надморске висине.



Слика 22 Карактеристични попречни пресек преградног насипа

6.4 Опис постојећег стања на депонији пепела и шљаке ПК Ћириковац

Депонија пепела и шљаке ТЕ Костолац Б је лоцирана у откопаном простору површинског копа „Ћириковац“ и састоји се од две касете, радне и резервне.

Изградња депоније почела је 2009. године. Експлоатација депоније започета је депоновањем густе хидромешавине пепела и шљаке крајем 2010. год. и почетком 2011. год. у касету 2.

У експлоатацији је тренутно касета 2 у којој је од 2010. до 2016. год. депоновано $\approx 3.000.000 \text{ m}^3$ материјала, са достигнутом котом акумулације од 64.0 mnm и монтираном двослојном вододрживом фолијом до коте 70.0 mnm. Преградни насип је изведен са круном насипа 64.0 mnm.

Црпна станица ЦС1 за евакуацију подземне воде испод водонепропусне фолије и ЦС2 црпна станица преливних дренажних вода надвишене су до коте 70.6 mnm, а приступна рампа до коте 70.0 mnm. Главни водосабирник (ГВС) у који се препумпава подземна вода из ЦС1, као и пумпна станица повратне воде из депоније у коју се препумпава преливна дренажна вода из ЦС2 лоцирани су на коти 67.0 mnm.



Слика 23 Истакачка кутија

Истакање хидромешавине у касету 2 врши се са јужног обода депоније и са преградног насипа, при чему густа хидромешавина у овим условима неравномерно запуњава простор за депоновање, а слободна вода се акумулира у зони око платоа црпних станица ЦС1 и ЦС2. Као привремено техничко решење монтиране су две пловеће пумпе у најнижем делу касете 2.

Прва пловећа пумпна станица ППС1 препумпава воду до базена пумпне станице повратне воде, која се налази на платоу, а друга пловећа пумпна станица ППС2 препумпава воду до пумпне станице за дренажну и преливну воду ЦС2.

Положај описаних објекта приказан је на слици 22.

поставља се разастирањем преко претходно припремљене подлоге која мора бити очишћена, изравната и потпуно сува.

Након постављеног синтетичког бентонита поставља се HDPE фолија. Полиетиленска фолија високе густине се одликује једноставношћу спајања материјала и квалитетом заварених спојева.

Двослојна вододржива фолија у првој фази припреме касете 1 за истакање монтира се од коте 65.0 mm до коте 68.0 mm.

Детаљ уградње и анкеровање фолије приказано је на слици.



Слика 25 Детаљ уградње ГЛЦ и ХДПЕ геомембране

За одводњавање одложене хидромешавине пепела и шљаке, из саме депоније, користи се дренажни систем изнад вододрживе баријере и преливни елементи за слободну избистрену воду. Ове воде се евакуишу преко изведене црпне станице ЦС2 до пумпне станице повратне воде на коти 68.0 mm и даље дуж магистралних цевовода хидромешавине враћа у термоелектрану.

Дренажне цеви се полажу на припремљену и нивелисану подлогу у дренажном телу као дупли цевовод DN 200 mm. Дренажно тело формирано је око цеви од сепарисаног шљунка гранулације 4-16 mm увијен у геотекстил ТИП 300.

Овај дренажни систем се преко бетонског шахта повезује постојећим системом дренажа у касети 2.

Преливни шахт је предвиђен као армирано бетонска затворена конструкција положена по северној косини.

Систем истакања

За одлагање хидромешавине у касету 1 извешће се помоћу истакачких цевовода DN 300 са јужног обода депоније и са преградног насипа, при чему ће густа хидромешавина у овим условима попуњавати простор тако да ће се акумулација избистрене воде формирати у зони преливног шахта.

7.0 ПРОРАЧУН МУЉНЕ ПУМПЕ И 3Д МОДЕЛ ПОСТРОЈЕЊА

У оквиру овог поглавља приказан је прорачун муљне пумпе која се користи у термоелектрани „Костолац“, као и 3Д модел постројења.

- Одабир пумпе је рађен према следећим улазним подацима:

1.	$\dot{m}_{BA}$	16,60	t/h	масени проток при транспорту пепела и шљаке,
2.	$\dot{m}_{EA}$	13,32	t/h	масени проток кроз економајзер (8,32 t/h) и предгрејача ваздуха (5 t/h) при транспорту пепала и шљаке, укупно (13,32 t/h).
3.	$\dot{m}_{FA}$	136,50	t/h	масени проток при транспорту лебдећег пепела,
4.	ρ_{BA}	2.147,50	kg/m ³	средња густина пепела,
5.	ρ_{EA}	2.108,75	kg/m ³	средња густина пепела у економајзеру у функцији топлоте ваздуха,
6.	ρ_{EP}	2.070,00	kg/m ³	средња густина летећег пепела,
7.	DS	48	%	сува супстанца (пепео) у суспензији,
8.	d_i	0,2065	m	интерни пречник цеви,
9.	ΔH	14,70	m	висинска разлика између улазне и излазне цеви,
10.	L	6.060,00	m	дужина цеви,
11.	η	10,50	Pa·s	динамичка вискозност транспортног флуида,
12.	κ	0,04	mm	просечна хрпаваост цеви,
13.	g	9,81	m/s ²	убрзање због гравитације,
14.	ρ_A	1,2930	kg/m ³	густина ваздуха,
15.	x	3	/	број пумпи по линији,
16.	ρ_W	1.000,00	kg/m ³	густина воде.

- Прорачун губитака:

Укупни губици Δp чине губици услед трења Δp_f , додатни отпори (на пример: отпори арматуре, вентила...), од диференцијалне висине (Δp_h) и обрачунавају се у Па ($\frac{N}{m^2}$).

Основни прорачуни вредности су:

1. $\dot{m}_D$ t/h масени проток суве материја (пепео),
2. ρ_D kg/m³ средња густина суве материја (пепео),
3. $\dot{m}$ t/h масени проток транспорта суспензије,
4. Q m³/h запремински проток (суспензија),
5. ρ_F kg/m³ густина флуида.

$$(1) \quad \dot{m}_D = \dot{m}_{BA} + \dot{m}_{EA} + \dot{m}_{FA} = 166,42 \text{ t/h}$$

$$(2) \quad \rho_D = \frac{\rho_{BA} \cdot \dot{m}_{BA} + \rho_{EA} \cdot \dot{m}_{EA} + \rho_{FA} \cdot \dot{m}_{FA}}{\dot{m}_{BA} + \dot{m}_{EA} + \dot{m}_{FA}} = 2.081 \text{ kg/m}^3$$

$$(3) \quad \dot{m} = \frac{\dot{m}_D \cdot 100}{DS} = \frac{166,42 \cdot 100}{48} = 346,71 \text{ t/h}$$

$$(4) \quad Q = \frac{\dot{m}_D \cdot 1.000}{\rho_D} + \dot{m} - \dot{m}_D = \frac{166,42 \cdot 1.000}{2.081} + 346,71 - 166,42 = 260,27 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$(5) \quad \rho_F = \frac{\dot{m} \cdot 1.000}{Q} = \frac{346,71 \cdot 1.000}{260,27} = 1.332 \text{ kg/m}^3$$

- Губици услед трења:

а израчунавање губитака услед трења користе се следећи параметри за израчунавање:

1. v m/s брзина флуида (средња вредност),
2. Re / Рејнолдсов број,
3. λ / коефицијент трења у цевима.

$$(6) \quad v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_i^2 \cdot 3600} = \frac{260,27 \cdot 4}{0,2065^2 \cdot 3600} = 2,16 \text{ m/s}$$

$$(7) \quad Re = \frac{\rho_F \cdot v \cdot d_i \cdot 1.000}{\eta} = \frac{1.332 \cdot 2,16 \cdot 0,2065 \cdot 1.000}{10,5} = 56.549$$

За $Re \geq 2.320$ и $Re \cdot \frac{\kappa}{d_i \cdot 1.000} = 56.549 \cdot \frac{0,04}{0,2065 \cdot 1.000} = 10,954 \leq 100$, λ је израчунато једначином:

(8) Вредност λ се израчунава итерацијом:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log_{10}(Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8$$

$$\lambda = 0,02051775$$

- Главни губици:

Главни губитак (пад притиска) настаје услед трења (Δp_f):

$$(9) \quad \Delta p_f = \frac{\lambda \cdot L \cdot \rho_F \cdot v^2}{d_i \cdot 2} = \frac{0,02051775 \cdot 6.060 \cdot 1.332 \cdot 2,16^2}{0,2065 \cdot 2} = 1.868.701 Pa$$

- Губици услед отпора:

Губици услед локалних отпора се израчунавају као збир свих вредности отпора, арматуре, вентила, заварених шавова, инструмената:

$$(10) \quad \sum \zeta = \zeta_1 + \dots + \zeta_n = 89,26$$

- Главни губици услед додатних отпора:

Губици услед додатних отпора (Δp_h) су:

$$(11) \quad \Delta p_r = \frac{\rho_F \cdot v^2 \cdot \sum \zeta}{2} = \frac{1.332 \cdot 2,16^2 \cdot 89,26}{2} = 277.022 Pa$$

- Губици услед диференцијалне висине:

Губици услед додатних отпора (Δp_h):

$$(12) \quad \Delta p_h = 14,7 \cdot 9,81 \cdot (1.332 - 1,2930) = 191.897 Pa$$

- Укупни губици:

$$(13) \quad \Delta p = 1.868.701 + 277.022 + 169.705 = 2.337.620 \text{ Pa}_{\text{total}}, 779.207 \text{ Pa} - \text{ за сваку од три пумпе}$$

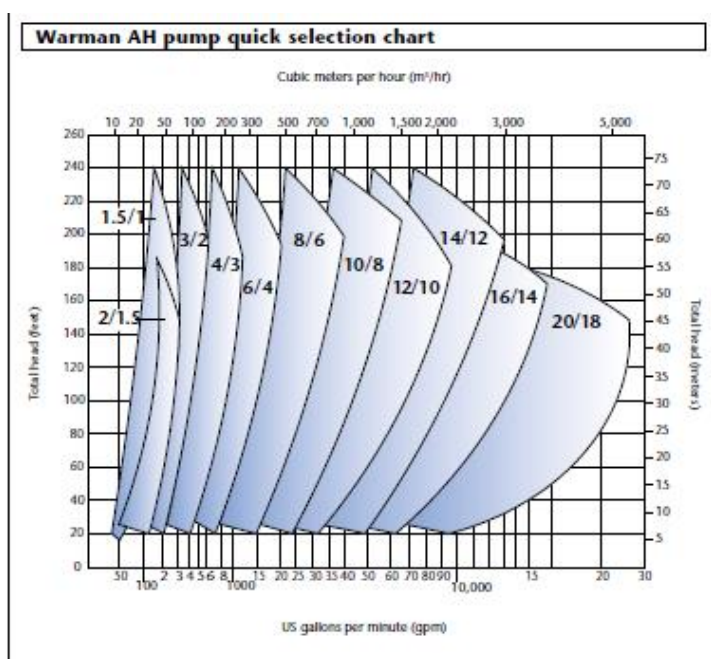
$$(14) \quad \Delta p = \frac{2.337.620}{10^5} = 23,38 \text{ bar total}, 7,79 \text{ bar за сваки од три пумпе}$$

$$(15) \quad \Delta p = \frac{2.337.620}{1.332 \cdot 9,81} = 179 \text{ mFIS total}, 60 \text{ mFIS}^2 \text{ за сваки од три пумпе}$$

$$(16) \quad \Delta p = \frac{2.337.620}{1.000 \cdot 9,81} = 238 \text{ mWS total}, 79 \text{ mWS}^3 \text{ за сваки од три пумпе}$$

- Одабир пумпе и електромотора:

За комбинацију протока и губитака, најисплатљивија је муљна пумпа типа Warman 6/4AH.



Слика 26 Муљна пумпа типа Warman 6/4AH [7]

² mFIS- eng. представља притисак на еквиваленту метара густе хидромешавине

³ mWS- eng. представља притисак на еквиваленту метара воденог стуба

Прорачун потребне снаге на вратилу рачунамо уз помоћ улазних података:

1. η_P 0,65 / Ефикасност пумпе,
2. η_Z 0,85 / Корекциони фактор ефикасности муљне пумпе,
3. η_G 1 / Фактор ефикасности мењача (директан погон - без мењача),
4. η_C 1 / Фактор ефикасности спојнице (директан погон - без спојнице),
5. η_R 0,9 / Сервисни фактор.

- Снага мотора:

Неопходна снага на вратилу пумпе у kW је (Δp mFlS):

$$(17) \quad P_{pump} = \frac{\rho_F \cdot g \cdot \Delta p \cdot Q}{\eta_P \cdot \eta_Z \cdot 3.600 \cdot 1.000} = \frac{1.332 \cdot 9,81 \cdot 179 \cdot 260,27}{0,65 \cdot 0,85 \cdot 3.600 \cdot 1.000} = 102,3 \text{ kW}$$

Минимална инсталисана снага електромотора P_{motor} у kW:

$$(18) \quad P_{motor} = \frac{P_{pump}}{\eta_G \cdot \eta_C \cdot \eta_R} = \frac{102,3}{1 \cdot 1 \cdot 0,9} = 113,6 \text{ kW}$$

За снагу мотора (на вратилу) изабрано је: 132 kW на 50 Hz, 152 kW на 60 Hz.

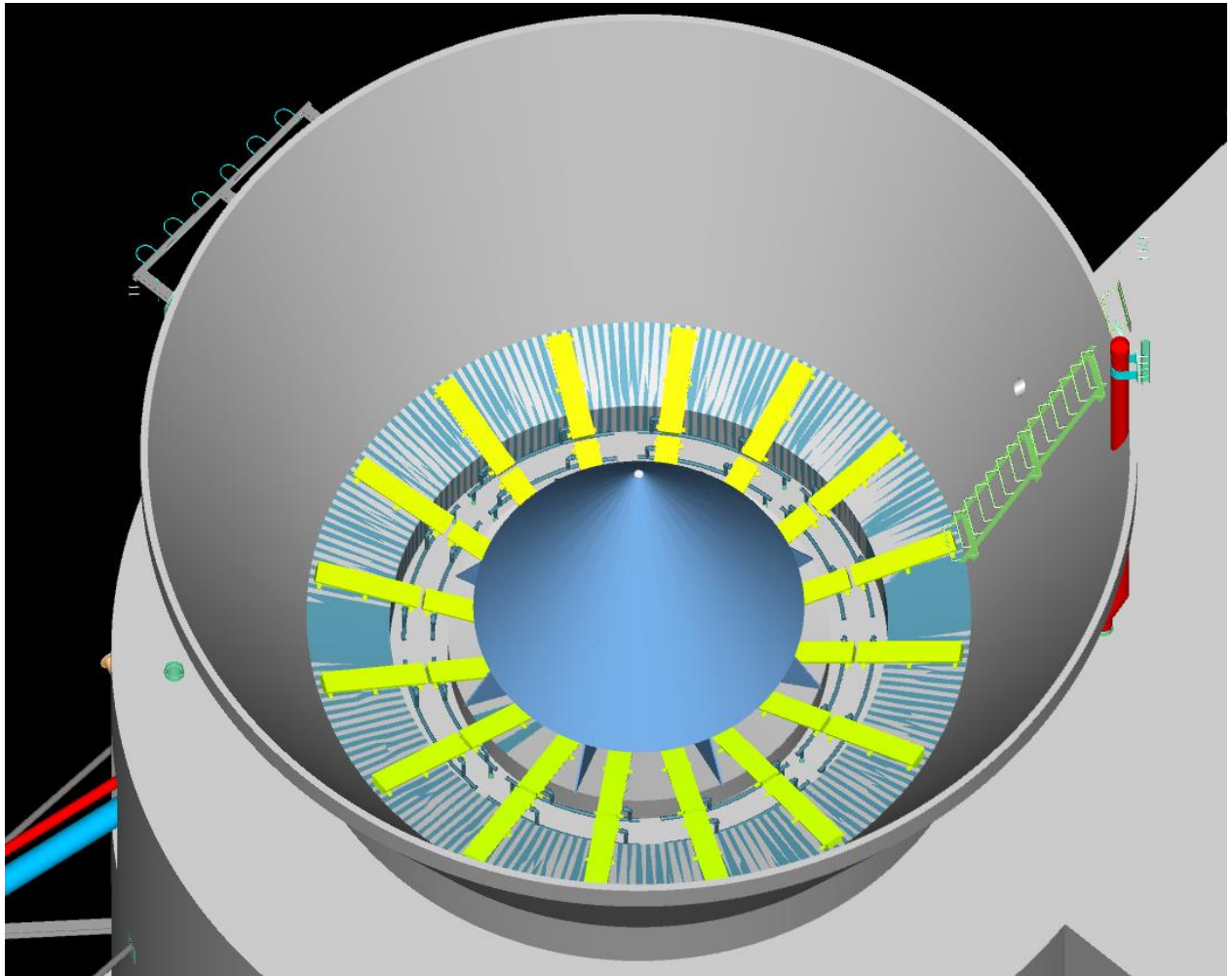


Слика 27 Пумпа Warman 6/4 АН у погону

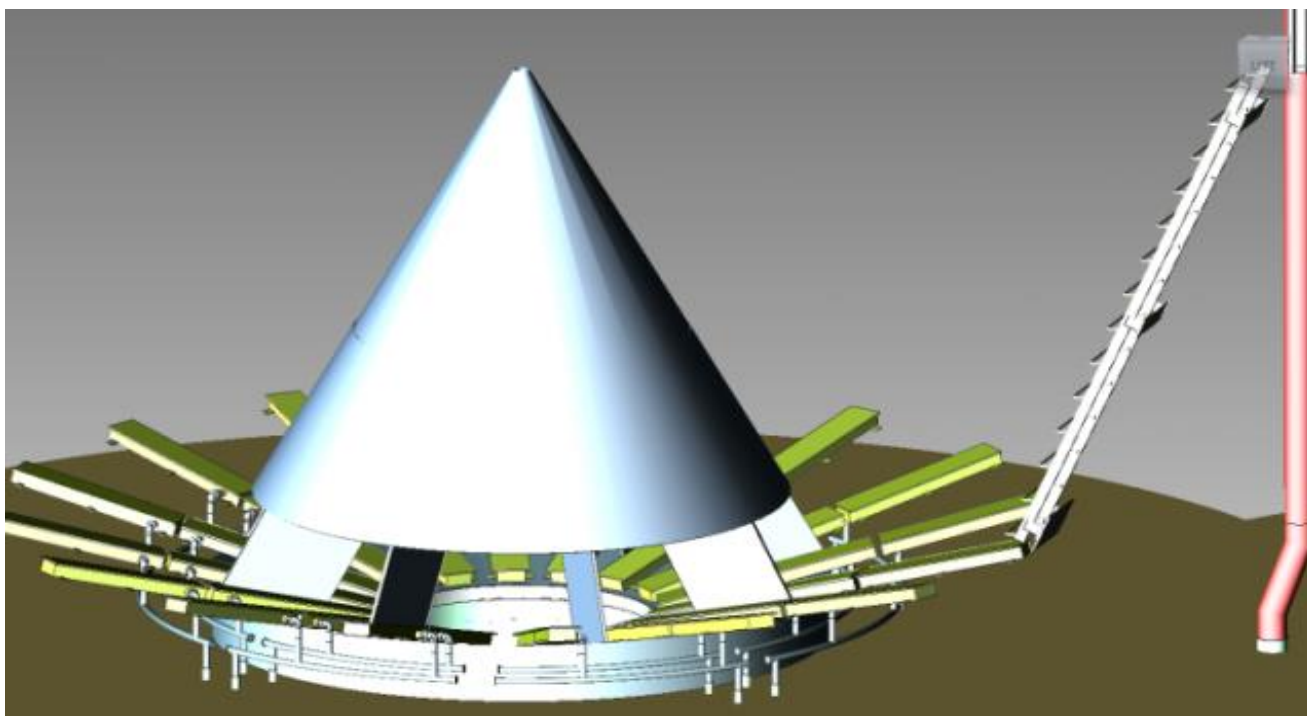


Слика 28 Пумпа Warman 6/4 АН

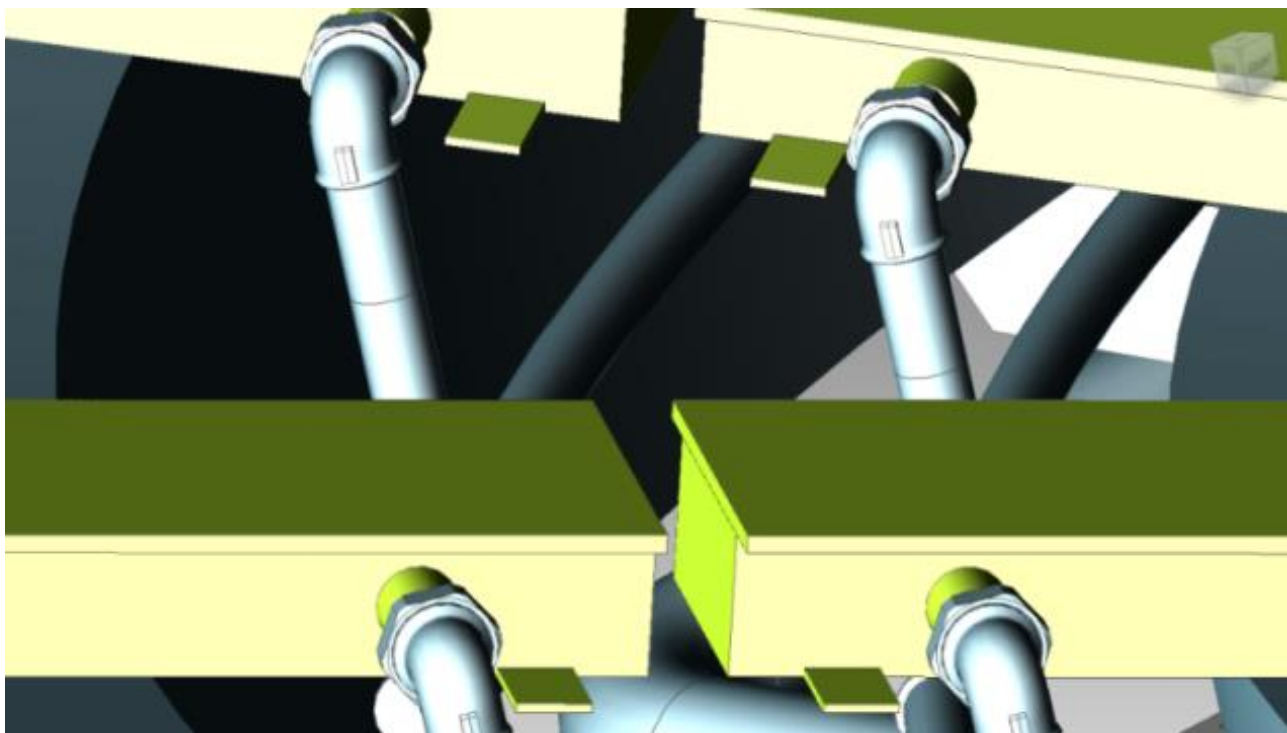
У наредном делу дат је 3Д приказ дувалки за флуидизацију (аеризацију), пнеуматских корита и силоса.



Слика 29 3Д приказ дувалки за флуидизацију (аеризација)



Слика 30 3Д приказ пнеуматских корита за флуидизацију силоса



Слика 31 3Д приказ пнеуматских корита за флуидизацију силоса-поглед



Слика 32 3Д приказ силоса

8.0 ЗАКЉУЧАК

Дефинисање најповољнијих услова за транспорт хидромешавине пепела и шљаке велике густине је проблем који заокупља стручну јавност последњих 20-так година. У том периоду је изграђено више постројења за транспорт пепела и шљаке у виду тзв. густе хидромешавине, али су она пројектована за рад са различитим концентрацијама уз примену различитих врста муљних пумпи.

Систем за изузимање, припрему и транспорт пепела и шљаке је у потпуности аутоматизован са мониторингом система, тако да се у било ком тренутку, у веома кратком времену, могу уочити настали проблеми и извршити интервенција.

Разлика између начина отпепељивања и одшљакивања ретком хидромешавином и новог аутоматизованог система густом хидромешавином је уочљива. Новим системом термоелектрана је добила и могућност контролисања односа „чврсто:течно“, као и могућност продаје пепела у комерцијалне сврхе.

На иностраним термоелектранама основни подстицај за примену транспорта густе хидромешавине су услови депоновања и еколошке повољности које рад са малим количинама воде доноси.

Литература

- [1] Кнежевић Д., Миковић Б., Лазић П., Миљановић И.: *Транспорт пепела и шљаке у виду густе хидромешавине*. Рударско-геолошки факултет, Београд, 2001.
- [2] Bunn T. F., Chamber A.J.: *Experiences with Dense Phase Hydraulic Conveying of Vales Point Fly Ash*, Power Handling and Processing, Vol. 5, No. 1., pp. 35-44, 1993.
- [3] Грбовић М.: *Хидраулички транспорт и депоновање пепела ТЕ Гацко на постојећој депонији Дразљево*. Рударски гласник бр. 2, пп. 25-31, Београд, 1990.
- [4] Кнежевић Д., Морачић М.: *Нова технологија депоновања пепела на термоелектрани Косово-Б*. Електропривреда бр. 3, пп. 23-29, Београд, 1997.
- [5] Главни технолошки пројекат, „Замена система отпепељивања ТЕ Костолац А“, књига 1.1 Конзорцијум „Clyde Bergemann – Goša montaža“, 2010.
- [6] <http://www.te-ko.rs/> приступљено 10/06/2016.
- [7] WARMAN Centrifugal Slurry Pumps,
<http://www.omim-bg.com/attachments/article/45/Warman%20AH%20pump.pdf>
приступљено 10/06/2016