

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Мастер академске студије**

**Модул: Енергетика и процесна техника**

**Предмет: Хидраулични и пнеуматски транспорт**

**Број индекса: 434 / 2017**

**Срђан С. Ранђеловић**

**Пројектовање пнеуматског транспорта пепела у  
термоелектрани ТЕ Костолац Б**

**мастер рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. др. Добрица Миловановић - ментор**

**2. \_\_\_\_\_**

**3. \_\_\_\_\_**

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише рад постројења за прикупљање и транспорт пепела у термоелектрани ТЕ Костолац Б. Пепео који настаје сагоревањем угља у котловима термоелектране, потребно је транспортовати тако да се задовоље технолошки, технички, еколошки, урбанистички и економски услови. Кандидат треба да уради 3Д модел цевовода за транспорт пепела од посуде за прикупљање до бетонског силоса, као и да прорачуна пад притиска у цевоводу од посуда до бетонског силоса.

#### Препоручена литература:

- [1] Шашић, М., *Транспорт флуида и чврстих материјала цевима*, Грађевинска књига, Београд, 1990.
- [2] Шашић, М., *Прорачун транспорта флуида и чврстих материјала цевима*, Грађевинска књига, Београд, 1990.
- [3] Радован П. Ковачевић, Зоран В. Стојковић, *Погонско упутство за котловско постројење*, Костолац Б, Србија, 1986.

Крагујевац,

Проф.др. Добрица Миловановић - ментор

---

## **Резиме**

Систем транспорта пепела садржи у основи два технолошка процеса: транспорт пепела пнеуматским путем од електрофилтера (ЕФ) до бетонског силоса и транспорт пепела пнеуматским путем од посуде за прикупљање пепела из загрејача ваздуха (ЛУВО) и са економијзера котла (ЕКО-а). Саставни део система је компресорска станица, која је оппремљена компресорима за транспортни ваздушни систем и за систем командног ваздуха.

**Кључне речи:** Пепео, транспорт, пнеуматски, цевовод.

## **Abstract.**

The ash transport system consists essentially of two technological processes: the ash transport by ash from the electrostatic precipitator (ESP) to the concrete silo and the ash transport by ash from the ash container from the air heater (LUVO) and from the boiler economizer (ECO). An integral part of the system is the compressor station, which is equipped with compressors for the transport air system and the command air system.

**Key words:** Ash, transportation, pneumatic, pipeline.

## САДРЖАЈ:

|        |                                                                          |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | ПНЕУМАТСКИ ТРАНСПОРТ .....                                               | 7  |
| 1.1.   | ПРЕДНОСТИ И МАНЕ ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА .....                            | 8  |
| 1.2.   | СИСТЕМИ ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА .....                                     | 9  |
| 1.2.1. | Летећи пнеуматски транспорт .....                                        | 9  |
| 1.2.2. | Пнеуматски транспорт потискивањем .....                                  | 12 |
| 1.2.3. | Хоризонтални пнеуматски транспорт на основу флуидизације .....           | 13 |
| 1.2.4. | Вертикални пнеуматски транспорт на основу флуидизације .....             | 14 |
| 1.3.   | УРЕЂАЈИ ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА .....                                     | 15 |
| 1.3.1. | Уређаји за увођење материјала у струју ваздуха .....                     | 16 |
| 1.3.2. | Уређаји за издвајање честица материјала из ваздушне струје .....         | 16 |
| 2.     | ОПИС ПОСТРОЈЕЊА .....                                                    | 16 |
| 2.1.   | УНУТРАШЊИ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА ПЕПЕЛА .....                                 | 17 |
| 2.1.1. | Изузимање и транспорт пепела из електрофилтера (суво отпепељивање) ..... | 17 |
| 2.1.2. | Транспорт у суду под притиском .....                                     | 20 |
| 2.1.3. | Начин функционисања ЕФ јединице .....                                    | 22 |
| 2.1.4. | Ваздушни систем растресавања једног електрофилтера .....                 | 22 |
| 2.1.5. | Изузимање и транспорт пепела из загрејача ваздуха (ЕКО / ЛУВО) .....     | 23 |
| 2.1.6. | Пуњење суда под притиском .....                                          | 23 |
| 2.1.7. | Транспорт из суда под притиском .....                                    | 25 |
| 2.1.8. | Начин функционисања ЕКО / ЛУВО јединице .....                            | 26 |
| 2.1.9. | Систем ваздушног растресавања ЕКО / ЛУВО .....                           | 26 |
| 2.2.   | КОМПРЕСОРСКА СТАНИЦА .....                                               | 27 |
| 2.3.   | ЦЕВОВОД ВАН ЗГРАДА И НА ЦЕВНОМ МОСТУ ДО СИЛОСА .....                     | 28 |
| 2.3.1. | Транспорт сувог пепела до силоса сувог пепела .....                      | 28 |
| 2.3.2. | Централни мост између котловске зграде и силоског комплекса .....        | 29 |
| 3.     | ПРОРАЧУН УРЕЂАЈА ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА .....                            | 33 |
| 3.1.   | ПРОРАЧУН ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА ЕКО И ЛУВО ПЕПЕЛА .....                  | 39 |
| 3.1.1. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 100 mm</i> , .....               | 39 |
| 3.1.2. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 125 mm</i> , .....               | 41 |
| 3.1.3. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 150 mm</i> , .....               | 42 |
| 3.1.4. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 175 mm</i> , .....               | 43 |
| 3.1.5. | Преглед прорачуна пнеуматског транспорта ЕКО и ЛУВО пепела, .....        | 44 |

|        |                                                           |    |
|--------|-----------------------------------------------------------|----|
| 3.2.   | ПРОРАЧУН ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА ЕФ ПЕПЕЛА.....            | 44 |
| 3.2.1. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 150 mm</i> ,..... | 44 |
| 3.2.2. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 175 mm</i> ,..... | 45 |
| 3.2.3. | Прорачун за део цевовода пречника <i>DN 200 mm</i> ,..... | 46 |
| 3.2.4. | Преглед прорачуна пнеуматског транспорта ЕФ пепела,.....  | 47 |
| 4.     | ЗАКЉУЧАК .....                                            | 49 |
| 5.     | ЛИТЕРАТУРА .....                                          | 51 |
| 6.     | ПРИЛОЗИ .....                                             | 52 |

## УВОД

Електрична енергија се најчешће добија сагоревањем угља у ложиштима котлова термоелектрана. што за последицу има емисију штетних материја из процеса ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , 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.

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.

Термоелектрана Костолац Б састоји од два иста погона од 348,5 MW. Котлови су парни котлови са једном промајом, типа SULZER. Вертикалног типа са челичном носећом конструкцијом, погоњени мрким угљем. Решетка за догоревање и погони за пречишћавање и прераду пепела се налазе испод ложишта котла. Део за конвекцију топлоте изнад ложишта садржи прегрејач паре, догрејач паре и грејач воде (економијзер). Димни гасови из горњег дела котла прелазе преко ваздушног грејача до електростатичких отпрашивача и одатле их два вадусна вентилатора потискује у димњак.

Постројење за отпепељавање летећег пепела се састоји из три дела:

- постројења за отпепељавање електрофилтера (ЕФ),
- постројења за отпепељавање економијзера (ЕКО-а) и ротационог загрејача ваздуха (ЛУВА),
- постројења силоса летећег пепела.

Систем за руковање сувим пепелом обухвата опрему, цеви и команде неопходне за транспорт летећег пепела сакупљеног у ЕКО-у и излазним левцима ЛУВА - а, левцима ЕФ и излазним левцима димњака оба термоенергетског погона, до силоса за сакупљање пепела где се пепео складишти након што се ефикасно уклони из доводне ваздушне струје.

# 1. ПНЕУМАТСКИ ТРАНСПОРТ

Под пнеуматским транспортом подразумева се транспорт прашкастих и зрнастих материјала ваздухом или неким другим гасом. Пнеуматски транспорт представља безбедан, поуздан, економичан и еколошки прихватљив начин транспорта материјала. Основна функција ових система је транспорт материјала, али поред тога, овим системима може се обезбедити мешање, размена топлоте, сушење, хемијске реакције.

Идеја коришћења пнеуматских транспортера веома је стара, али се први пнеуматски транспортер појављује тек крајем 19. века, при чему се интерес за ове транспортере значајније исказује тек после II Светског рата. Медијум може бити неки одређен гас (у зависности од робе која се транспортује), али се најчешће користи ваздух [1].

Пнеуматски транспорт се користи за:

- истовар и претовар прашкастих и зрнастих материјала (цемент, концентрат сточне хране, житарице и остало биљно семе) из превозних средстава помоћу којих се обавља њихов транспорт у расутом стању (теретни бродови, шлепови, вагон-цистерне, ауто-цистерне),
- све врсте житарица и осталог биљног семена на великим пољопривредним добрима и прихватним магацинима,
- житарице и прерађевине у млиновима и силосима,
- угаљ у праху у термоелектранама и великим котларницама ради ложења парних котлова,
- песак у ливницама,
- пиљевине и ситније отпатке у индустрији дрвета и фабрикама намештаја,
- електрофилтерски пепео у термоелектранама и индустријским котларницама, од места сакупљања до сабирних бункера,
- детерценте у праху, калцинисану соду и друге зрнасте и прашинасте материјале у хемијској и процесној индустрији,
- шећер у кристалу, сиров и пржен лешник, како и остале компоненте у кондиторској индустрији и у индустрији чоколада и бомбона,
- вунена влакна, резани дуван, памук и остале влакнасте материјале (отпаци коже у кожарској индустрији, отпаци хартије у индустрији трака и кеса),
- све врсте прашине сакупљене усисавањем загађених просторија, хала и разних машина које обрадом неких предмета стварају прашину и

- административне пошиљке унутар великих надлештава, унутар фабрика и лабораторија, у градовима између општина, у поштама, новинским агенцијама, сервисима аутомобила итд. (пнеуматска пошта).

## 1.1. ПРЕДНОСТИ И МАНЕ ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА

Предности пнеуматског транспорта у односу на механички транспорт су следећи:

- пнеуматски транспорт прашкастих и зрнастих материјала може да се обавља лако у свим правцима, прилагођавајући се расположивом простору и осталим условима,
- пнеуматски транспорт захтева далеко мањи простор, чиме се много уштеђује у грађевинском погледу будући да он припада првенствено унутрашњем транспорту по локацији,
- пнеуматски транспорт доводи до најмањег расипања материјала за време транспорта и на тај начин најмање загађује околину, нарочито ако је пнеуматски транспорт на принципу вакуума,
- пнеуматски транспорт обезбеђује високи степен аутоматизације технолошког процеса у коме учествује.
- пнеуматски транспорт пружа могућност повезивања разних захтева у оквиру технолошког процеса, као што су: истовремено сушење или влажење материјала ваздухом за време транспорта, истовремено загревање или хлађење материјала ваздухом за време транспорта, разврставање материјала по крупноћи на основу брзине таложења итд.,
- пнеуматски транспорт обезбеђује најбоље хигијенске услове како за особље које га опслужује тако и за транспортовани материјал,
- пнеуматски транспорт омогућава истовремени транспорт материјала са више места на једно место и обрнуто, са једног места на више места, и
- пнеуматски транспорт омогућава остваривање великих капацитета по једној линији, који иду и до  $300\text{ t/h}$ , а цена уређаја је много нижа од цене механичких транспортера,
- могућа је потпуна аутоматизација процеса.

Пнеуматски транспорт има следеће мане:

- не може се применити на све материјале, већ само на прашинасте и зрнасте,
- дужина транспорта не прелази  $2\text{ km}$ , и зато је он ограничен на примену унутар фабричких кругова и хала, за утовар и претовар материјала који се транспортује у ринфузи,
- потрошња погонске енергије је при истом капацитету и осталим условима виша него код механичког транспорта,

- при транспорту абразивних материјала долази до брзог трошења делова,
- ваздух се на изласку из постројења мора пречишћавати да би се спречило загађивање околине,
- за време транспорта материјал се донекле уситњава, нарочито кад систем пнеуматског транспорта није добро одабран и кад струјни параметри нису добро одређени, и
- захтева бољу обученост радног особља које рукује са уређајима пнеуматског транспорта [1].

## 1.2. СИСТЕМИ ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА

Пнеуматички транспорт, према принципу рада, може бити:

- летећи,
- потискивањем и
- транспорт материјала у флуидизованом стању.

### 1.2.1. Летећи пнеуматски транспорт

Летећи пнеуматски транспорт је цевни транспорт мешавине растреситог транспортованог материјала и транспортног ваздуха. Да би се избегла опасност од експлозије при транспорту неких прашкастих материјала, уместо ваздуха користи се инертни гас (нпр. азот), с тим да је контура његове циркулације затворена.

У зависности од гранулометријских карактеристика чврстих честица, њихова смеша са ваздухом може бити:

- структурни гас ( $d_e \leq 50 \mu m$ ) и
- нехомогене мешавине:
  - финодисперзна аеросмеша ( $d_e = 50 \div 150 \mu m$ )
  - грубодисперзна аеросмеша ( $d_e > 150 \mu m$ ).

Усисни пнеуматски транспорт припада категорији ниског притиска, при чему је вакуум увек испод једног бара.

У односу на концентрацију материјала у струји аздуха, летећи пнеуматски транспорт се дели на:

- транспорт ниске концентрације ( $c_k < 1$ ),
- транспорт средње концентрације ( $1 < c_k < 10$ ),
- транспорт високе концентрације ( $10 < c_k < 80$ ).

Коефициент „ $c_k$ “ представља средњу тежинску концентрацију материјала у хоризонталном цевоводу.

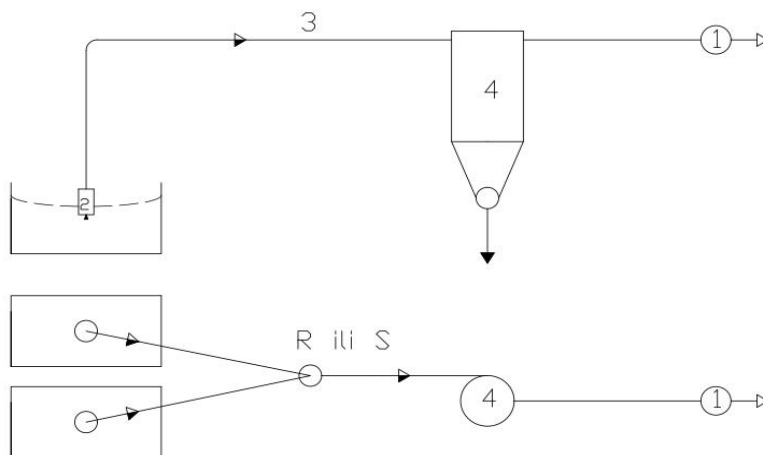
Пнеуматски транспорт на бази флуидизације спада у категорију високе концентрације, чија вредност иде и до  $c_k = 600$ . У односу на притисак пнеуматски транспорт на основу флуидизације спада у групу потисног транспорта.

У зависности да ли се транспортовани материјал усисава, потискује или и усисава и потискује, летећи пнеуматички транспорт може бити: усисни, потисни или комбиновани.

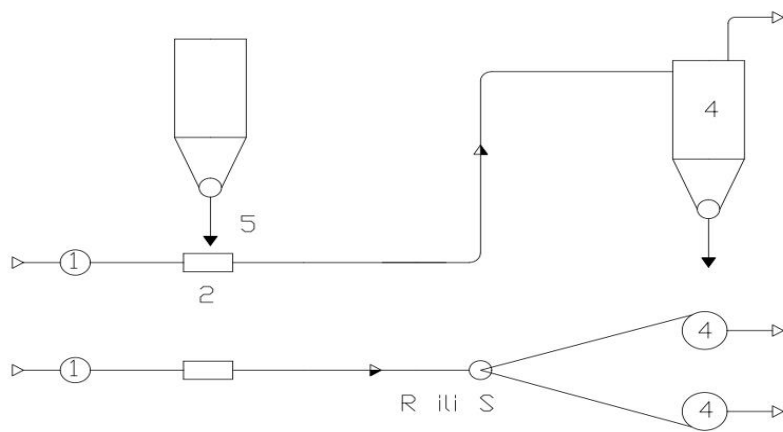
У односу на величину притиска, летећи пнеуматски транспорт се дели на:

- транспорт ниског притиска (до  $1 \text{ bar}$ ),
- транспорт средњег притиска (до  $3 \text{ bar}$ ),
- транспорт високог притиска (преко  $3 \text{ bar}$ ).

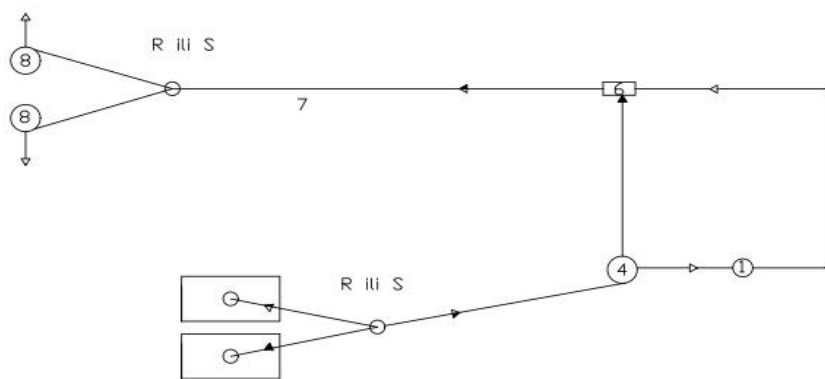
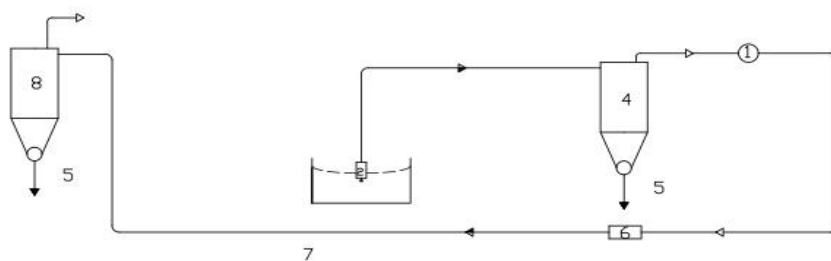
Шема летећег пнеуматског транспорта је дата на слици 1.



a)



б)



в)

**Слика 1: Шема извођења летећег пнеуматског транспорта**

а) усисни, б) потисни, в) комбиновани летећи пнеуматски транспорт;

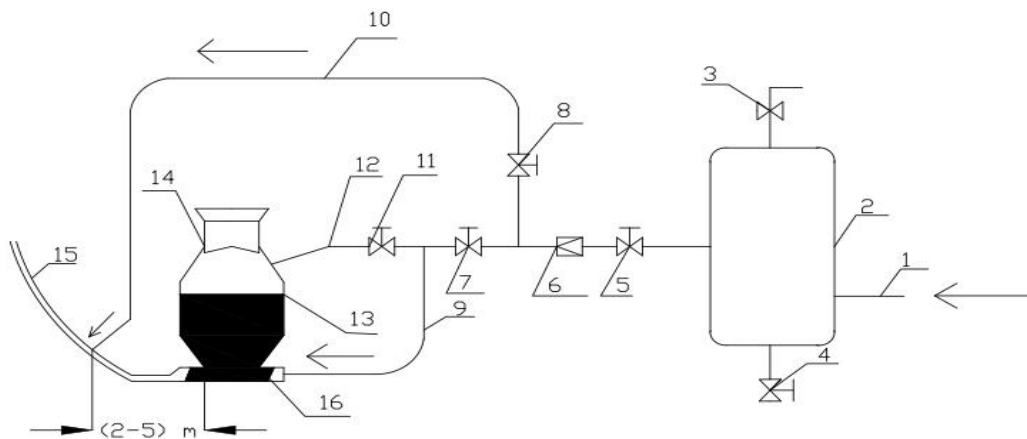
Позиције: 1 – вакуум пумпа (сл.1.а), дуваљка (сл.1.б и сл.1.в) ; 2 – мешач; 3 – цевоводи транспорта материјала; 4 – одвајачи; 5 – дозатор; 6 – мешач; 7 – цевоводи транспорта материјала; 8 – одвајачи.

### 1.2.2. Пнеуматски транспорт потискивањем

Пнеуматички транспорт потискивањем врши се по принципу да ваздух под притиском потискује мање или веће хомогене клипове тестастог, слабо лепљивог материјала (на пример бетонске смеше), или потискује патроне које се пуне транспортованим материјалом (као што је случај ваздушне поште у банкама и другим установама).

Пнеуматичким транспортом потискивањем може се транспортовати и прашкасти материјал, ако се ради о висинској разлици  $20 \div 30 \text{ m}$  и мањим дужинама.

Овај принцип транспорта користи се врло често при транспорту бетонске смеше, слика 2.



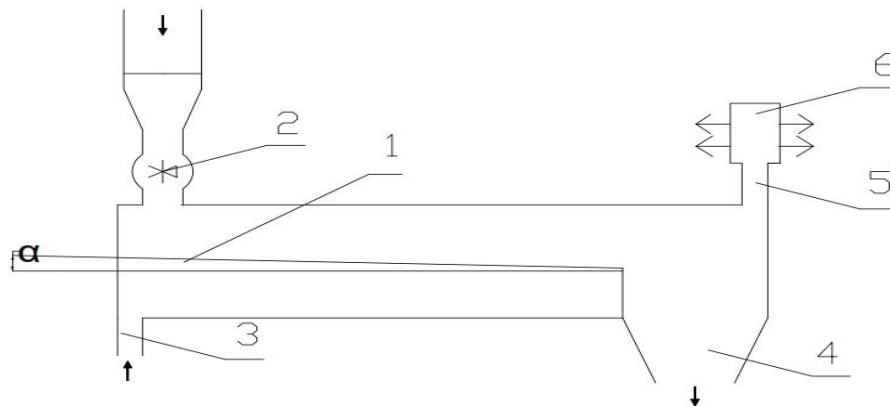
**Слика 2:** Шема уређаја за пнеуматски транспорт бетона

Позиције: 1 – цевовод довода ваздуха из компресора; 2 – резервоар сабијеног ваздуха; 3 – вентил сигурности (вентил за ограничење притиска сабијеног ваздуха); 4 – вентил за испуштање кондезата; 5, 7, 8, 11 – запорни вентили у гранама мреже развода сабијеног ваздуха; 6 – неповратни вентил; 9, 10, 12 – гране мреже цевовода ваздуха; 13 – посуда за бетонску смесу; 14 – затварач посуде; 15 – транспортни цевовод бетонске смеше; 16 – комора на дну посуде за бетонску смесу.

Рад уређаја за транспорт бетонске смеше је дисконтинуиран, јер се најпре главна посуда напуни бетонском смешом, затим се посуда ставља под притисак ваздуха и празни. Истовремено се ваздух под притиском доводи и на дно посуде (на месту где је прикључен и одводни цевовод). Материјал који пада на улаз одводног цевовода зачепљава излаз цевовода, што доводи до пораста притиска ваздуха који компресор удувава у посуду. Сила притиска ваздуха на грудву бетона која је зачепила улаз у цевовод савлада отпор кретања грудве и ова почиње да се креће цевоводом. Да би се олакшао и усталио транспорт, ваздух под притиском се доводи и у лукове транспортног цевовода. Управљање вентилима у цевоводима довода ваздуха под притиском уобичајено је аутоматско.

### 1.2.3. Хоризонтални пнеуматски транспорт на основу флуидизације

Пнеуматски транспорт флуидизованог материјала заснива се на својству да флуидизован прашкасти или зрнасти материјал, с обзиром на покретљивост, добија особине флуида. Сипкав материјал је потпуно флуидизован при свакој релативној брзини ваздуха у односу на честице материјала у мешавини, која је између прве и друге критичне брзине флуидизације ( $w_{f1}^* < w < w_{f2}^*$ ). Материјал је тада „течљив“ као флуид, па је довољно само мало нагнути струјни ток и он ће почети да тече низ порозно дно. Уређај којим се остварује транспорт са малим нагибом (скоро у хоризонталном правцу), се назива пнеуматским коритом, слика 3.



**Слика 3:** Пнеуматско корито

*Позиције: 1 – порозна преграда; 2 – ротациони секторски дозатор материјала; 3 – довод ваздуха под притиском, 4 – одвод транспортног материјала; 5 – цев за одвод ваздуха; 6 – филтер.*

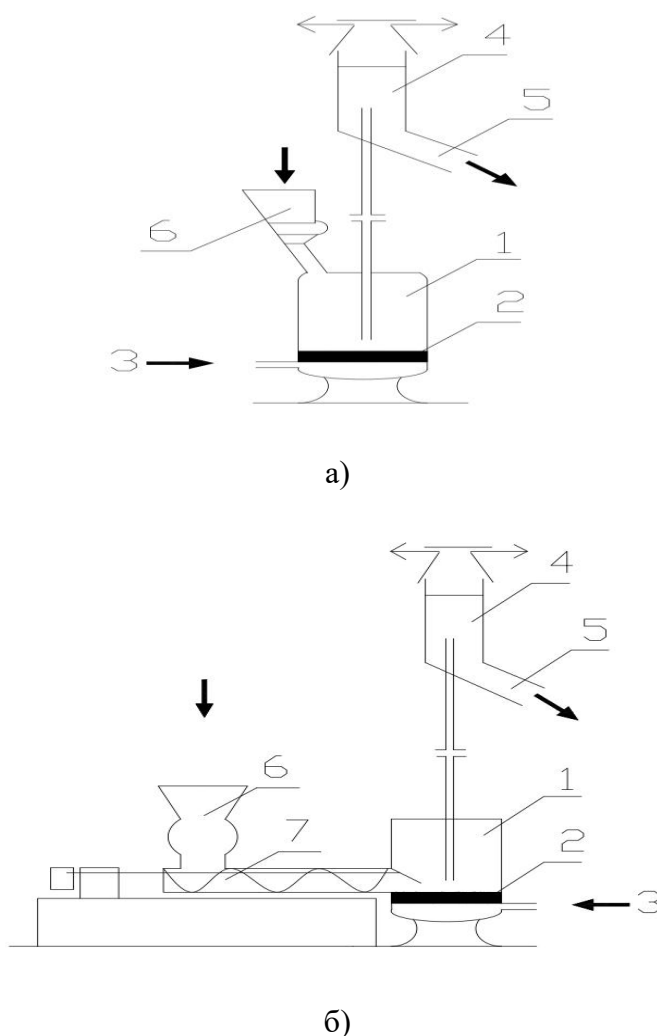
Пнеуматско корито је у основи дводелни канал правоугаоног попречног пресека, подељен порозном преградом 1 на горњи и доњи део. Порозна преграда се израђује од тканине или порозне масе, а најчешће су то плоче од кварцног песка. Порозна преграда је под малим углом ( $\alpha = 2 \div 6^\circ$ ) нагнута према хоризонталу. Сипкав материјал који се транспортује доводи се преко дозатора 2, у горњи део пнеуматичког корита, а у доњи део пнеуматичког корита доводи се ваздух под притиском, који кроз порозну преграду пролази у горњи део корита. Ваздух који пролази кроз порозну преграду доводи транспортован сипкав материјал у стање флуидизације и овај под дејством гравитације тече низ благо нагнуту порозну плочу. Ваздух који напушта флуидизовани слој материјала потискује се кроз филтер у атмосферу.

Кретање флуидизованог материјала у пнеуматском кориту се обавља искључиво због његовог нагиба. Дакле, под дејством силе Земљине теже. Не под дејством разлике притиска услед које ваздух протиче између честица материјала и кроз порозно дно.

Пнеуматичка корита се најчешће користе за транспорт прашкастих материјала, као што су, на пример: цемент (у цементарама), електрофилтерски пепео (у термоелектранама и великим индустријским котларницама), глинаца (у фабрикама алуминијума), пшенично брашно (у млиновима) и други прашкасти материјали који се лако флуидизују.

#### 1.2.4. Вертикални пнеуматски транспорт на основу флуидизације

Потисни пнеуматски транспорт свој рад базира на принципу флуидизације, с тим да се флуидизовани материјал креће под дејством разлике притисака ваздуха на крајевима транспортног цевовода. Карактеристични уређаји оваквог транспорта су тзв. флуид-лифтови. На слици 4 шематски су приказане две конструкције флуид-лифта.



**Слика 4:** Флуид - лифтови

Позиције: 1 – посуда за флуидизацију материјала; 2 – порозна преграда; 3 – довод ваздуха под притиском, 4 – комора са пригушником; 5 – гравитациони одвод материјала; 6 – насипни левач са затварачем; 7 – пуж са промелјивим кораком.

Да би се транспорт остварио, потребно је да се материјал флуидизује интензитетом који одговара брзином ваздуха, већом од друге критичне брзине ( $w_f > w_{f2}^*$ ). На крају струјног тока треба да се оствари одређен натпритисак, како се флуидизовани стуб материјала не би распао услед експанзије ваздуха. У супротном, транспорт на основу флуидизације би се у другом делу цеви претворио у летећи пнеуматски транспорт.

Посуда за флуидизацију флуид-лифта приказана на слици 4.а) пуни се материјалом до одређеног нивоа, када се затвара отвор у насипном левку и почиње са удубљавањем ваздуха под притиском у простор испод порозне преграде. Ваздух који пролази кроз порозну преграду флуидизује транспортован сипкав материјал и ствара натпритисак у посуди за флуидизацију материјала. Услед разлике притисака ваздуха у посуди за флуидизацију и на крају транспортног цевовода, флуидизован материјал се креће навише. Да би се материјал кроз транспортни цевовод кретао у флуидизованом стању, неопходно је да на крају транспортног цевовода влада одговарајући натпритисак, што се остварује пригушником уграђеним у комори на крају цевовода. Услед наглог проширења проточног пресека у комори на крају цевовода опада брзина струјања ваздуха и транспортовани материјал се одваја од транспортног ваздуха и одлази на даљи поступак. Ваздух се са најфинијим честицама, након пролаза кроз филтер, чист ослобађа у атмосферу.

Да би се флуид-лифтом приказаним на слици 4.а) подигао транспортовани материјал неопходно је да буде затворен отвор у левку кроз који се транспортовани материјал сипа у посуду за флуидизацију, што значи да се овим флуид-лифтом дизање материјала врши са периодичним прекидима (у периодима када се посуда за флуидизацију пуни транспортованим материјалом, када се прекида и са доводом ваздуха испод порозне преграде).

Флуид-лифт приказан на слици 4.б) може непрекидно да подиже транспортовани материјал, јер је пуж којим се материјал потискује у посуду за флуидизацију непропустан за флуидизован материјал. Код овог флуид-лифта неопходно је синхронизовати масени проток дотура материјала посуди за флуидизацију са масеним протоком материјала кроз вертикалну транспортну цев [1].

### **1.3. УРЕЂАЈИ ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА**

Уређаји за увођење материјала у струју ваздуха на почетку цевовода спадају разни усисници и дозатори, док се за издвајање честица материјала из ваздушне струје на крају цевовода најчешће користе циклони и филтери. Конструкција и функционалност тих уређаја зависи од система пнеуматског транспорта, физичких својстава транспортованог материјала дужине цевовода, вредности концентрације и др.

Уређаји за пнеуматски транспорт зрнастих материјала простију по конструкцији и функционалности од уређаја за пнеуматски транспорт прашкастих материјала. Разлика се уочава у томе, да је лакше издвојити зрнасти материјал из ваздушне струје на крају цевовода. Довољно је педвидети циклон или неки други сепаратор. Док се прашкасти материјал треба издвојити уз помоћ филтера.

### 1.3.1. Уређаји за увођење материјала у струју ваздуха

- **Усисници** се уграђују на почетку цевовода свих усисних система пнеуматског транспорта. Задатак је да са што мањим падом притиска обезбеде улаз мешавине ваздуха и честица материјала у цевовод,
- **дозатори** су уређаји који дозирају транспортовани материјал у струју ваздуха за време транспорта. Зависно од конструкције и начина рада, дозатори се деле на секторске, пужасте и коморне.

### 1.3.2. Уређаји за издвајање честица материјала из ваздушне струје

- **Циклони** служе за издвајање честица из ваздушне струје, чија је крупноћа изнад  $10\mu m$ . Спадају у групу инерционих сепаратора. Мешавина ваздуха и материјала улази тангентно у цилиндрични део циклona. Под дејством Земљине теже, центрифугалне силе и силе отпора, мешавина добија просторно спирално кретање. Честице најпре одлазе ка зиду цилиндричног дела циклona, а затим наниже кроз конусни део и излазну цев напуштају циклон. Очишћена ваздушна струја се у виду унутарње спирале враћа вертикално навише и излази у атмосферу,
- **филтери** служе да се кроз њих пропусти ваздух пре одласка у атмосферу. Тиме се спречава загађење животне околине и финансијски губитак. Са ваздухом, који из циклona одлази у атмосферу након издвајања честица материјала, одлазе и честице мале крупноће. Најчешће су примењивани врећасти филтери чији степен одвајања иде и до 99,9 % [1].

## 2. ОПИС ПОСТРОЈЕЊА

Термоелектрана ТЕ - КО Костолац Б, састоји се из два блока снаге по  $350 MW$ , погоњена мрким угљем и номиналним капацитетом од  $1000 t/h$ , слика 5.

Нус - продукт термоелектрана које користе фосилна горива при производњи електричне енергије представља пепео и шљака који се прикупљају а затим одлажу на местима која су предвиђена за њихово складиштење, тзв. "пепелишта".

Проблем депоновања пепела, насталог сагоревањем угља у котловима термоелектране решава се од самог почетка њеног рада, са циљем да се задовоље технолошки, технички, еколошки, урбанистички и економски услови. Велика количина воде загађена пепелом и

шљаком отиче у реку или подземне воде, пепео је подложен разношењу ветром и негативно утиче на квалитет чистог ваздуха у околним насељима.

Да би заштитили животну средину постојећи систем за прикупљање и транспорт ретке хидромешавине из Термоелектране ТЕ - КО Костолац Б замењен је новим системом хидрауличног транспорта густе контролисане хидромешавине, при чему је промењена локација одлагања пепела и шљаке са постојећег пепелишта "Средње Костолачко острво" на нову локацију, на простору истрошеног површинског рудника угља „Ћириковац“ [3].



*Слика 5: Термоелектрана ТЕ - КО Костолац Б*

## **2.1. УНУТРАШЊИ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА ПЕПЕЛА**

Унутрашњи транспорт пепела и шљаке се састоји из следећих делова постројења (шема - прилог А):

- изузимање и транспорт пепела из електрофилтера,
- изузимање и транспорт пепела из економајзера (ЕКО) и пепела из загрејача ваздуха (ЛУВО),
- компресорска станица,
- цевовод ван зграда и на цевном мосту до силоса.

### **2.1.1. Изузимање и транспорт пепела из електрофилтера (суво отпепељивање)**

Задатак постројења за отпепељивање је транспорт пепела из ЕФ – левка у бетонски силос са четири ћелије запремине по  $1.500 m^3$ .

Електрофилтер блока је подељен у две јединице (В1а и В1б). Свака јединица се састоји из три реда (ред од 1 до 3) са по 4 левка (поље 1 до 4). Самим тим свака ЕФ – јединица поседује 12 ЕФ – левка. Струја дима пролази кроз редове од поља 1 до поља 4. Величина честица пепела као и појава пепела опада од поља 1 до поља 4. Шема постројења за изузимање и транспорт електрофилтерског пепела, дата је у прилогу Б.

Технички подаци количине протока масе летећег пепела:

- по блоку 136,2 t/h,
- по ЕФ – јединици 68,1 t/h,
- по ЕФ – реду 22,7 t/h,
- по ЕФ – левку 1: 17,75 t/h,  
левку 2: 3,87 t/h,  
левку 3: 0,85 t/h,  
левку 4: 0,23 t/h.

Отпепељивање се врши помоћу **Fluidflow** постројења транспортних цеви, укључујући постројење суда под притиском.

Летећи пепео се износи из ЕФ – левка 1. У том циљу се у левковима налазе пнеуматска помагала за избацивање. Та помагала се састоје од два левка за растрешавање који се снабдевају ваздухом из мреже под притиском. Уз то се пнеуматска запорна клапна (NY36S101) у инсталацији за ваздушно растрешавање периодично отвара и затвара.

Максимални ниво напуњености у ЕФ – левцима поља 1 и 2 се надгледа од стране прекидача за ниво напуњености (NU33L101/102).

Летећи пепео доспева кроз отворене мануелне шибере (NU33S101/201/301/401) и осцилирајуће клапне на **Fluidflow** транспортну цев (NU33Z001). Осцилирајуће клапне служе као затварач за гасове и спречавају да дим из ЕФ допре до постројења за отпепељивање. У пољу 1 и 2 осцилирајуће клапне су изведене као тежином оптерећене, подељене осцилирајуће клапне (NU33S111/211), док су у трећем и четвртом пољу изведене као мотором погоњене клапне са дуплим клатном (NU33D301/401).

**Fluidflow** транспортна цев се састоји од једне глатке инсталационе цеви у коју је уграђена цев за распршавање. **Fluidflow** транспортна цев је изведба класичне пнеуматске кутијасте транспортне цеви и одликује се нарочито високом густином. **Fluidflow** транспортна цев унутрашњег пречника *DN 300*, дужине 22,5 m, постављена је са падом од 5°. У **Fluidflow** транспортној цеви, пепео се распршује ваздухом под притиском, прелази у стање слично течном и на тај начин се транспортује у посуду под притиском (NU33B001).

Ваздух за растрешавање за ЕФ – јединицу В1а (ред 1 до 3) се производи радијалним вентилатором (NY30D001). За време рада радијалног вентилатора пнеуматска запорна клапна (NY30S001) је отворена. Инсталациона мрежа ваздуха за растрешавање иза електричног преносиоца топлоте је изолована против губљења топлоте.

**Fluidflow** транспортна цев се употребљава само за време пуњења суда под притиском. За погон **Fluidflow** транспортне цеви отвара се пнеуматска запорна клапна (NY30S101) у цевоводу за растрешавање. После пуњења посуде пнеуматска запорна клапна (NY30S101) се затвара. Ручни вентил (NY30S111/112/113/114/115), као и мануелна запорна клапна (NY30S110) служе за подешавање расподељености ваздуха.

За време транспорта из посуде под притиском **Fluidflow** транспортна цев није у погону. То значи:

- пнеуматска запорна клапна (NY30S101) се налази у затвореном положају,
- моторне клапне са дуплим клатном (NU30D301 и NU 33D401) треба искључити,
- пнеуматска запорна клапна (NY36S101) се налази у затвореном положају.

За то време се падајући пепео складишти у **Fluidflow** транспортној цеви. За поновно пуштање у погон **Fluidflow** транспортне цеви прво се отвара пнеуматска запорна клапна (NY30S101), потом се стартују моторне клапне са дуплим клатном (NU33D301 и NU33D401), након тога, отвара се пнеуматска клапна (NY36S101).

Ваздух **Fluidflow** транспортне цеви се одводи преко једног вода на почетку (област поља 1) и једног вода на крају (област суда под притиском) у ЕФ. У том случају мануелну запорну клапну (NU33S502) треба пригушити а пнеуматску запорну клапну (NU33S504) треба отворити.

За пуњење суда под притиском се отварају пнеуматски предотпуштени кугласти ручни вентил (NU33S511), пнеуматске одводне запорне клапне (NU33S510 и NU33S504) и пнеуматски Möller вентил (NU33S002). Пепео из **Fluidflow** транспортне цеви доспева у суд под притиском све док се не оствари максимални ниво напуњености суда под притиском (NU33L001) или док не протекне максимално време пуњења суда под притиском. После тога се затвара Möller пнеуматски вентил (NU33S002), пнеуматски предотпуштени куглични руни вентил (NU33S511) и пнеуматске одводне запорне клапне (NU33S510 и NU33S504). Пуњење суда под притиском је завршено и управљачка јединица сигнализира спремност за транспорт пепела из посуде. Уколико редови 2 и 3 нису у транспортном циклусу, стартује се транспорт за суд под притиском.

Суд под притиском, цевовод за пуњење суда под притиском, одводне ваздушне инсталације суда под притиском, **Fluidflow** транспортна цев, ЕФ – левкови – цеви за спуштање, се изољују против губитка топлоте. Тиме се спречава опадање температуре тако да не настане кондензат у систему за отпепељивање [4].

У случају дужег застоја и престанка рада постројења, најчешће због ремонта електране, мануелне шибере (NU33S101/201/301/401) треба затворити.

### 2.1.2. Транспорт у суду под притиском

Пре транспорта у посуду под притиском треба изабрати пријемни силос. За то је потребно предузети следеће кораке:

- укључивање двокраког цевног вентила на постројењу силоса за летећи пепео,
- проверавање нивоа напуњености силоса,
- стартовање силосног одводног филтера.

Потребан ваздушни притисак за погон транспорта у суду под притиском, слика 6, производи се од стране пропелерног компресора са интегрисаним расхладним сушачем (NY33D001). На почетку транспорта суд под притиском се пуни уз помоћ компримованог ваздуха из ваздушног компресора (NY33D001). За те потребе се отварају пнеуматска запорна клапна (NY33S001) и пнеуматска „клапна горњег притиска“ (NY33S010) , а ваздушни компресор се ставља на режим под оптерећењем. Од момента једног притиска (мерног на трансмитеру притиска NU33P001) у суду под притиском пнеуматска запорна клапна отвара „мали by - pass“ (NY33S006) и део ваздуха под притиском струји преко ваздушне прстенасте коморе (NU40Z001) кроз **Turbuflow** транспортну инсталацију. После тога пнеуматски Möller вентил (NU40S001) се отвара на излазу суда под притиском и летећи пепео из суда под притиском доспева у **Turbuflow** транспортну инсталацију и транспортује се до силоса за летећи пепео. За време транспорта из суда под притиском, притисак у **Turbuflow** транспортној инсталацији се надгледа помоћу трансмитера за притисак (NU40P001) , а пнеуматска запорна „клапна горњег притиска“ (NY33S010) и пнеуматска запорна клапна (NY33S008) „велики by - pass“ се , у зависности од притиска у транспортној инсталацији, отварају и затварају. Тиме се постиже континуирано и оптимално одвођење материјала из суда под притиском. Крај транспорта је постигнут када притисак у транспортној инсталацији падне испод дефинисаног, ниског притиска или када се премaши максимално наштеловано време за транспорт. Сва раније наведена запорна опрема се затвара.



*Слика 6: Посуда за прикупљање пепела*

За расподелу транспортног ваздуха користе се мануелне запорне клапне (NY33S007/009/013/016/017).

Да би се осигурао константни погонски притисак за расхладни сушач у транспортној инсталацији инсталира се Лавалова млазница (NY33Z002) и пнеуматска запорна клапна (NY33S002). Тек од дефинисаног притиска у воду транспортног ваздуха (мерено на трансмитеру притиска NY33P010) отвара се за време транспорта у суду под притиском пнеуматска запорна клапна (NY33S002).

Страна тела у суду под притиском могу да се отклоне преко отвора за улаз запослених у одржавању. Уколико се за време транспорта у суду под притиском **Turbuflow** транспортна инсталација загуши, ствар која је запушила инсталацију се пумпањем и опуштањем транспортне инсталације може отклонити. У том циљу треба мануелну запорну клапну (NY33S005) и мануелну ручицу вентила (NUS005) се наизменично активира, а притисак у

транспортној цеви контролисати трансмитером за притисак (NU40P001). Ваздух се одводи у ЕФ - левкове ред 2, поље 4.

У случају дужег престанка рада постројеља, најчешће због ремонта електране, мануелни складишни шибер (NU33S001) треба затворити.

Технички подаци:

- дужина транспортне цеви: 416 m,
- дебљина зида транспортне цеви:  $6,3 \div 12,5$  mm,
- унутрашњи пречник транспортне цеви: DN 150, DN 175, DN 200,
- запремина посуде за прикупљање пепела:  $8,3$  m<sup>3</sup> (нето).

### 2.1.3. Начин функционисања ЕФ јединице

Електрофилтерске јединице узајмно функционишу у три реда са судом под притиском.

Процедура при раду уређаја за пнеуматски транспорт:

- максимално се могу паралелно пунити три суда под притиском (NU33B001, NU34B001 и NU35B001);
- при транспорту пепела од посуда до силоса, само једна посуда може бити у функцији;
- сва три суда под притиском врше транспорт, један после другог, помоћу заједничке **Turbuflow** инсталације;
- за време пуњења суда под притиском он не може да врши транспорт;
- за време транспорта из суда под притиском њему припадајућа транспортна цев **Fluidflow** није у погону.

Радијални вентилатор за производњу ваздуха за растресавање у **Fluidflow** транспортним цевима је укључен да би истовремено снабдевао ваздухом све три транспортне цеви. Уколико је једна транспортна цев ван погона отвара се пнеуматска запорна клапна (NY30S220) у by – pass инсталацији и вишак ваздуха струји постојеће ваздушне инсталације. Тиме се постиже константан ниво притиска у ваздуху за растресавање.

### 2.1.4. Ваздушни систем растресавања једног електрофилтера

У циљу стварања ваздуха за два постројења транспортних цеви блока инсталирана су 3 радијална вентилатора у ЕФ - у на нивоу + 0,00 m. Сваком постројењу транспортних цеви додељен је један вентилатор тако да су укупно два вентилатора у погону. Један вентилатор служи као резервни вентилатор и одговарајућим усмеравањем пнеуматске запорне клапне и он може преузети функцију другог вентилатора.

Усисавање ваздуха се врши из околних просторија преко отвора на фасади инсталираних жалузинастих клапни.

За загревање постројења транспортних цеви као и прикључног постројења суда под притиском служе електрични преносиоци топлоте. Из тог разлога је ваздушна инсталација изолована против губитка топлоте. Грејање постројења транспортних цеви и постројења суда под притиском следи при дужим ( $> 48 \text{ h}$ ) и краћим ( $< 48 \text{ h}$ ) застојима у раду постројења. Тиме треба да се спречи опадање температуре испод температуре отапања, такве да у постројењу за отпепељавање не настане кондезат [4].

Технички подаци:

- запремина  $V = 18,12 \text{ m}^3 / \text{min}$  ( $20^\circ\text{C} / 1 \text{ bar}$ ),
- притисак  $p = 0,16 \text{ bar max}$ ,
- снага мотора  $P_m = 18,5 \text{ kW}$ .

#### 2.1.5. Изузимање и транспорт пепела из загрејача ваздуха (ЕКО / ЛУВО)

ЕКО / ЛУВО блока Б1 је подељен у две ЕКО / ЛУВО - јединице (Б1а и Б1б). Свака јединица има три места на којима се сакупља суви пепео:

- 2 x ЛУВО - левак по  $1,5 \text{ t/h}$ ,
- 1 x ЕКО - левак по  $3,0 \text{ t/h}$ ;

То значи да је постројење за отпепељавање предвиђено за укупно  $15,0 \text{ t/h}$  по блоку.

Задатак постројења за отпепељавање је транспорт пепела из ЕКО / ЛУВО - левака у силосе за суви пепео 1 и 2 (шема прилог В). Отпепељавање се врши помоћу двоструког постројења суда под притиском.

За погон система за суво отпепељавање опрема има следећи положај:

- мануелни утични засун (NU12/14/16S010) за хидраулични транспортни систем, се поставља у затворени положај,
- мануелни запорни засун (NU14S003) изнад кутије сита се поставља у отворени положај.

#### 2.1.6. Пуњење суда под притиском

Суви пепео из ЕКО – левка пада кроз отворен засун (NU12S001) преко канала за спуштање на **Fluidflow** транспортну клизницу (NU12G001). **Fluidflow** - транспортна клизница кружног попречног пресека  $DN 200$  је дугачка сса  $16 \text{ m}$ . Пепео се доводи у флуидизирано стање ваздухом повишеног притиска и гравитационо се транспортује транспортном клизницом која је постављена под углом од  $12^\circ$  према хоризонтали.

Суви пепео из ЛУВО – левка пада кроз засуне, који се налазе у отвореном положају (NU14/16S001). Изнад кутије сита (NU14B001) се ЕКО **Fluidflow** транспортна цев прикључи на ЛУВО сипке. Кроз отворени пнеуматски запорни засун (NU14S004) ЕКО / ЛУВО – пепео доспева у кутију сита (NU14B001). Потисни ваздух из кутије сита се води преко одводне инсталације у ЛУВО 1 – левак.

За пуњење суда под притиском отварају се пнеуматска запорна клапна (NU14S012) у одводној инсталацији као и пнеуматски Möller – вентил (NU14S011). Потисни ваздух из суда под притиском (NU14B002) се води преко одводне инсталације у ЛУВО 1 - левак. Фини удео пепела из кутије сита (NU14B001) доспева у суд под притиском све док се не добије максимални ниво напуњености суда под притиском (NU14L001) или се не прекорачи максимално време пуњења суда под притиском.

Након тога се затварају пнеуматски запорни засун (NU14S004) и нешто касније пнеуматски Möller - вентил (NU14S011), као пнеуматска одводна запорна клапна (NU14S012). Пуњење суда под притиском је завршено и управљачка јединица јавља да је суд под притиском спреман за транспорт. Уколико суд под притиском ЕКО / ЛУВО - јединица Б16 (NU15B001) није у транспортном циклусу, стартује се транспорт за суд под притиском (NU14B001).

Ваздух за растрешавање за **Fluidflow** - клизницу (NU12G001) се производи помоћу радијалног вентилатора (NY12D001). За време рада радијалног вентилатора пнеуматске запорне клапне (NY12S001/S002 и NY13S001) су отворене. Инсталациона мрежа ваздуха за растрешавање је изолована против губитка топлоте. Лоптаста славина (NY12S010/011/012) и мануелна запорна клапна служе за подешавање расподеле ваздуха за растрешавање.

За време транспорта из суда под притиском пнеуматски запорни засун (NU14B001) и Möller - вентил (NU14S011) су затворени. За то време се пепео који пада складишти у сипкама и **Fluidflow** - транспортној клизници (NU12G001).

Суд под притиском, цевовод и одводне ваздушне инсталације се изољују против губитка топлоте. Тиме се спречава опадање температуре испод тачке росе, тако да у систему за отпепељивање не настане кондензат.

**Fluidflow** – транспортна клизница је на улазном делу, опремљена заштитном мрежом у дужини од једног метра. Мрежа је постављена у циљу заштите цевовода од упада страних тела, као и од продора врелих, усијаних честица пепела.

Страна тела у **Fluidflow** - транспортној клизници могу да се одстране на следећи начин:

- уклањањем следе прирубнице на улазу у цев,
- отварањем поклопца ревизионог отвора на цеви.

У кутији сита (NU14B001) је намонтирана решетка. Страна тела могу да се одстране преко нужног одвода отварањем мануелне запорне клапне (NU14S005). У периодичним размацима кутија сита треба да се преконтролише. У те сврхе треба отворити поклопац отвора на кутији сита.

У случају дужег престанка рада постројења, најчешће због ремонта електране, складишне засуне (NU12/14/16S001) и (NU14S003) треба затворити.

### **2.1.7. Транспорт из суда под притиском**

Пре транспорта из суда под притиском треба изабрати прихватни силос. У те сврхе су потребни следећи кораци:

- активирање двоканалног цевног дивертера на постројењу силоса за суви пепео,
- проверавање нивоа напуњености силоса (0NU30L001/002/003/004),
- стартовање одводног филтера силоса (0NU30B/D002).

Потребан потисни ваздух за погон транспорта суда под притиском производи се од стране пропелерног компресора са интегрисаним расхладним сушачем (NY14D001). На почетку транспорта суд под притиском се напуни потисним ваздухом из компресора ваздуха. У те сврхе се отварају пнеуматска запорна клапна (NU14S001) и пнеуматска „клапна горњег притиска“ (NU14S010) а транспортни ваздушни компресор се ставља на режим рада под оптерећењем. Од момента дефинисаног притиска (мереног на трансмитеру притиска NU14P001) у суду под притиском пнеуматска запорна клапна отвара „мали by - pass“ (NY14S006) и део потисног ваздуха струји преко ваздушне прстенасте коморе (NU18Z001) кроз транспортну инсталацију. Након тога се отвара пнеуматски вентил (NU18S001) на излазу из суда под притиском и суви пепео суда под притиском доспева у транспортну инсталацију транспортује се до силоса 1. За време транспорта из суда под притиском трансмитер притиска (NU18P001) надгледа притисак у транспортној инсталацији а пнеуматска запорна „клапна горњег притиска“ (NY14S010) и пнеуматска запорна клапна "велики by - pass" (NY18S008) су у зависности од притиска у транспортној инсталацији отворене и затворене. Тиме се постиже континуирани и оптимални одвод материјала из суда под притиском. Транспорт је завршен када притисак у транспортној инсталацији падне испод дефинисаног, ниског притиска када се прекорачи максимално подесено време транспорта. Сва раније наведена запорна опрема се затвара.

За расподелу транспортног ваздуха користе се мануелне запорне клапне (NY14S007/009/015/016/017).

Да би се обезбедио константни погонски притисак за расхладни сушач у транспортној инсталацији се инсталира Лавалова млазница (NY14Z006) и пнеуматска запорна клапна (NY14S004). Тек од дефинисаног притиска у транспортној инсталацији (мереног на

транسمитеру притиска NY14P001) за време транспорта из суда под притиском отвара се пнеуматска запорна клапна (NY14S004).

Страна тела у суду под притиском могу да се одстрaне преко отвора за улаз особља.

Уколико се за време транспорта из суда под притиском запуши транспортна инстатација, ствар која је запушила се може отклонити наизменичним пумпањем и одпумпавањем транспортне инсталације. У те сврхе наизменично треба активирати мануелну запорну клапну (NY14S005) и ручну лоптасту славину (NU18S005) а притисак у инстатацији проверавати трaнсмитером за притисак (NU18P001). Одводни ваздух се одводи у ЛУВО 1 – левак.

У случају дужег престанка рада постројења, најчешће због ремонта електране, треба затворити мануелни складишни засун (NU14S003) изнад кутије сита (NU14B001).

Технички подаци:

- дужина транспортног вода сса. 391 m,
- унутрашњи пречник цеви DN 100, DN 125, DN 150, DN 175,
- дебљина зида транспортне цеви од 6,3 до 12,5 mm,
- запремина суда под притиском 2,4 m<sup>3</sup> (нето).

#### 2.1.8. Начин функционисања ЕКО / ЛУВО јединице

Посто је у претходном тексту била описана само функција суда под притиском у даљем тексту ће бити описано и узајамно дејство два суда под притиском.

Процедура при раду уређаја за пнеуматски транспорт:

- максимално могу да се паралелно пуне два суда под притиском,
- при транспорту пепела од посуда до силоса, само једна посуда може бити у функцији,
- оба суда под притиском врше транспорт, један после другог, помоћу заједничке транспортне инсталације,
- за време пуњења суда под притиском он не може да врши транспорт,
- за време транспорта из суда под притиском њему припадајућа **Fluidflow** транспортна клизница је у погону.

#### 2.1.9. Систем ваздушног растресавања ЕКО / ЛУВО

За произвођење ваздуха за растресавање две **Fluidflow** транспортне клизнице (NU12/13G001) блока Б1 инсталирана су два радијална вентилатора у ЕКО / ЛУВО на нивоу +12,00 m. Обе транспортне клизнице се снабдевају ваздухом из једног вентилатора

(NY12D001). Један вентилатор (NY11D001) служи као резервни и одговарајућим пребацивањем пнеуматске запорне клапне може да преузме функцију другог вентилатора.

Усисавање ваздуха се врши из околних просторија преко жалузинастих клапни, које су постављене на зиду. За загревање транспортних клизница, као и прикључне инсталације суда под притиском користи се електрични грејачи. Из тог разлога је ваздушна инсталација изолована против губитка топлоте.

Грејање постројења транспортних цеви и постројења суда под притиском следи при дужим застојима ( $> 48 h$ ) и краћим застојима ( $< 48 h$ ) у раду постројења. Тиме треба да се спречи опадање температуре испод тачке росе, тако да у унутар транспортног система и судова под притиском не настане кондензат [5].

Технички подаци:

- запремина  $V = 6,43 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $20^\circ\text{C} / 1 \text{ bar}$ ),
- притисак  $p = 0,08 \text{ bar}$ , max,
- снага мотора  $P_m = 4,0 \text{ kW}$ .

## 2.2. КОМПРЕСОРСКА СТАНИЦА

Компресорску станицу чине јединице за:

- транспортни ваздушни систем,
- систем командног ваздуха ЕФ, ЕКО и ЛУВО.

За производњу ваздуха суда под притиском за ЕФ, ЕКО и ЛУВО, у компресорској станици су инсталирана укупно четири компресора са уљним подмазивањем и водом хлађени, слика 7. Два компресора се користе за ЕФ блок Б1, један компресор за ЕКО и ЛУВО блок Б1. Један компресор служи као резервни, пребацивањем пнеуматске запорне клапне, може да преузме функцију другог компресора.

Ако дође до објаве грешке радног компресора он се искључује. Након тога резервни компресор се укључује. Уколико је грешка на компресору уклоњена он може преузети функцију резервног компресора.

Резервни компресор се покреће у редовним временским интервалима (сваке две недеље по сса.  $8 h$ ), због одржавања и провере функционалности. Руковаоци одлучују који се компресор мења са резервним. Резервни компресор се укључује у рад, као код укључивања у рад у случају престанка рада услед грешке.

Компресори су опремљени су механизмом за празан ход и ход под оптерећењем. Наредба оптерећење или празан ход следи помоћу управљачке јединице суда под притиском. За

сушење транспортног ваздуха су у кућишту компресора интегрисани расхладни сушачи. Усисавање ваздуха се узима из компресорске просторије [6].

Технички подаци:

- запремина  $V = 28,5 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $35,5^\circ\text{C}$  /  $1 \text{ bar}$  /  $84 \%$ ), при  $p = 0,5 \text{ bar}$ ,
- притисак  $p = 7,5 \text{ bar}$ , max,
- снага мотора  $P_m = 160 \text{ kW}$ .



*Слика 7: Компресор за производњу ваздуха суда под притиском*

## **2.3. ЦЕВОВОД ВАН ЗГРАДА И НА ЦЕВНОМ МОСТУ ДО СИЛОСА**

### **2.3.1. Транспорт сувог пепела до силоса сувог пепела**

Суви пепео се пнеуматски транспортује од котларнице до силоса за суви пепео помоћу цевовода који, 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 плафону силоса и прати температуру сувог пепела унутар силоса.

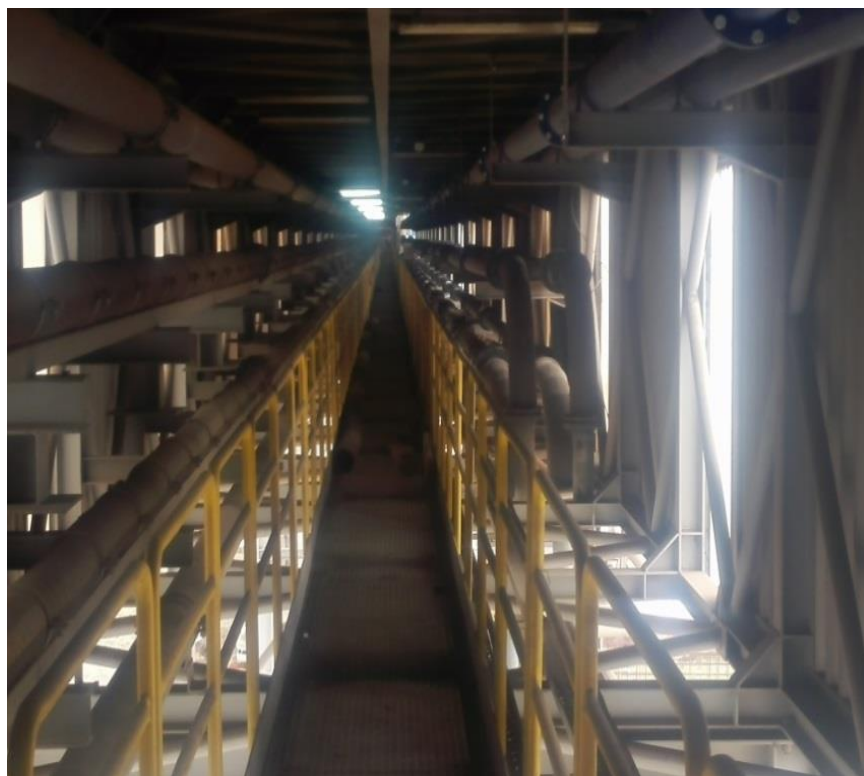
На врху силоса се налазе два врећаста филтера, постављена тако да је сваки филтер опремљен са вентилаторском јединицом. Један филтер се користи за одпрашивање силоса, а други филтер се користи за прихват одзрачних цевовода из ваздушних канала за пражњење силоса и система за сигурносно пражњење. Врећасти 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. Озрачни цевовод из ваздушних канала иде од излазне одзрачне прирубнице на ваздушним каналима до улазне прирубнице на вентилаторској јединици филтера. Озрачни 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 задатком да, када је достигнут ниво високог притиска, вентил се отвара и озрачује у атмосферу. У случају достизања вакуума, вентил се отвара и омогућује проток ваздуха у силос.

### **2.3.2. Централни мост између котловске зграде и силоског комплекса**

Централни мост између котловске зграде и силоског комплекса је реализован као челични мост затворене конструкције. Мост чини метални тунел израђен од сегмената, постављен на вертикалне металне рамове, слика 8. Мост је реализован под нагибом како би се омогућила једноставнија монтажа цевовода и обезбедио нагиб неопходан за пражњење цевовода. Цеви су уграђене са унутрашње стране. Положај моста је одређен постојећим кабловским каналом и поседује заједничку уздужну осу симетрије. Висина моста је одређена уз обезбеђење клиренса неопходног за одвијање саобраћаја путем до силоског комплекса. Обезбеђен је довољан број приступа мосту лествама. Мост је обложен сендвич профилима са аспекта заштите термичке заштите и са свом пратећом опремом: прозорима, светлосним отворима, вентилационим жалузинама и осветљењем. Један од носећих профила је искоришћен ради смештаја кабловског регала који води до силоског комплекса.



*Слика 8: Цevi за транспорт пепела од посуде под притиском до силоса*

Континуирано и оптимално одвођење материјала из суда под притиском се постиже отварањем и затварањем пнеуматских клапни. Притисак се континуирано прати помоћу трансмитера за притисак.

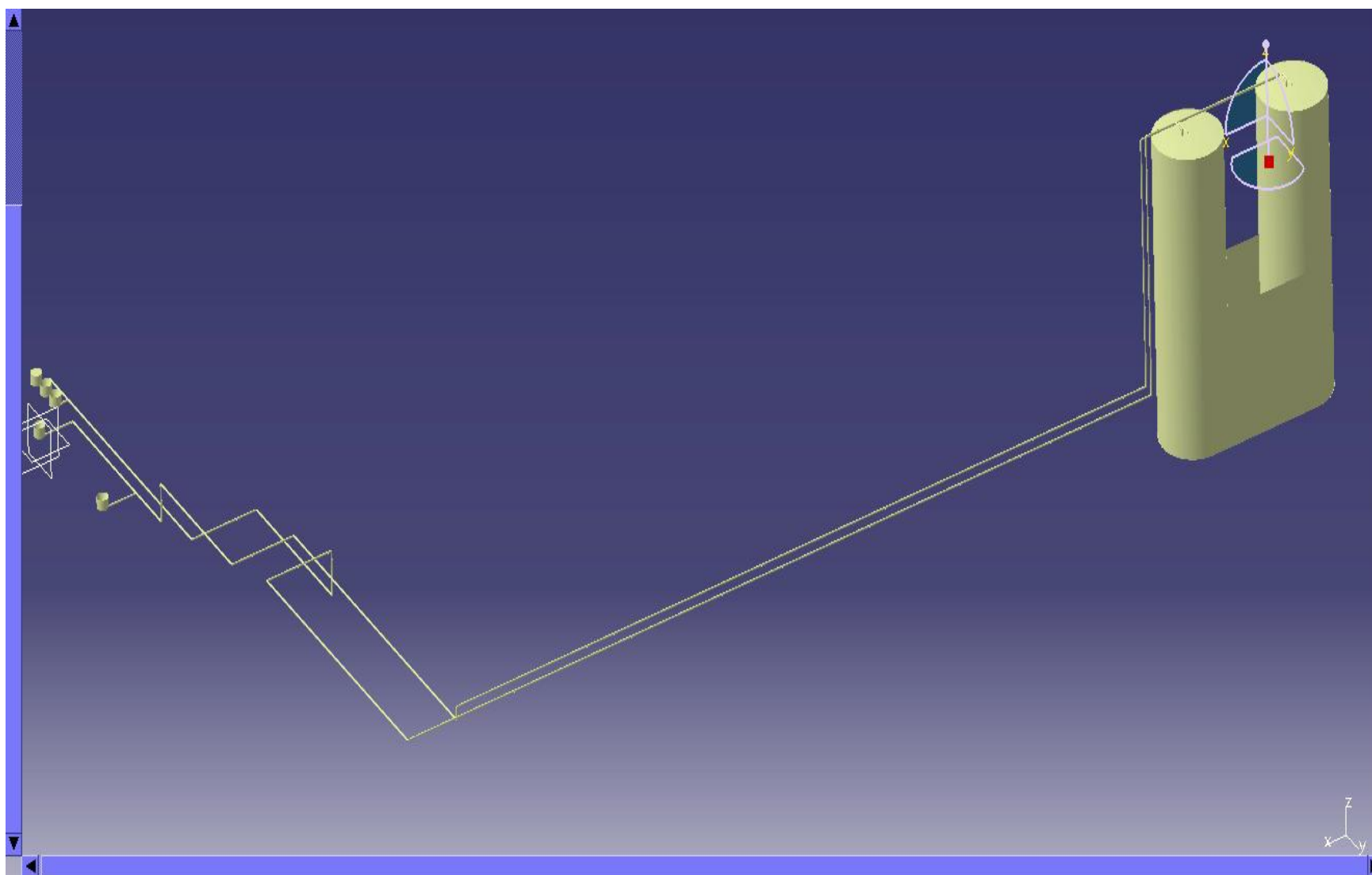
Крај транспорта је постигнут када притисак у транспортној инсталацији падне испод дефинисаног, ниског притиска или када се премаши максимално наштеловано време за транспорт. Затим се сва запорна опрема затвара [7].

На слици 9 је дат 3Д приказ силоса за пријем пепела.

На слици 10 је дат 3Д приказ цевовода пнеуматског транспорта од посуде за прикупљање пепела до бетонског силоса.



*Слика 9: 3Д приказ силоса*



*Слика 10: 3Д приказ цевовода за транспорт пепела од посуда до сислоса*

### 3. ПРОРАЧУН УРЕЂАЈА ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА

Почетни подаци за прорачун пнеуматских транспортних уређаја су:

- капацитет за преношење пепела,
- шема цевовода са предвиденим дужинама, хоризонталних, вертикалних и косих деоница,
- број и врста постављених колена, засуна, двограних преклопника и друго.

Локални отпори у цевоводу (услед дужине хоризонталног цевовода, вертикалних деоница, колена, двограног преклопника итд.) при прорачуну замењују се еквивалентним отпорима, на дужини праволинијске деонице [8].

**Табела 3.1** Дужине цевовода које су еквивалентне локалним отпорима

| Врста транспортованог материјала     | Вредности $L_{ekk}$ , [m], при односу $R/d_c$ |        |         |         |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|--------|---------|---------|
|                                      | 4                                             | 6      | 10      | 20      |
| Прашинасти                           | 4 ÷ 8                                         | 5 ÷ 10 | 6 ÷ 10  | 8 ÷ 10  |
| Зрнасти, једнаких димензија          | ÷                                             | 8 ÷ 10 | 12 ÷ 16 | 16 ÷ 20 |
| Ситно комадни, неједнаких димензија  | ÷                                             | ÷      | 28 ÷ 35 | 38 ÷ 45 |
| Крупно комадни, неједнаких димензија | ÷                                             | ÷      | 60 ÷ 80 | 70 ÷ 90 |

Према експерименталним истраживањима, еквивалентна дужина цевовода  $L_{ekv}$ , при транспортовању пепела кроз колено под углом од  $\alpha = 90^\circ$  и односу радијуса кривине колена  $R$  и пречника цевовода  $d_c$ :  $R/d_c \geq 3$  износи 5 m, ако је еквивалентна цев постављена у хоризонталној равни, односно може се узети да износи 8 m, за еквивалентну цев у вертикалној равни.

Двограни преклопник еквивалентан је, по отпорима, цевоводу дужине  $\Sigma L_{ekp} = 8 m$ . Редукована дужина цевовода може се одредити из израза:

$$- L_r = \Sigma L_h + \Sigma L_{ekk} + \Sigma L_{ekp} \quad (3.1)$$

У изразу (3.1) је:

- $\Sigma L_h$ , - збир дужина хоризонталних деоница;
- $\Sigma L_v$ , - дужине вертикалних деоница;
- $\Sigma L_{ekk}$ , - збир еквивалентних дужина, због колена у цевоводу;
- $\Sigma L_{ekp}$ , - збир еквивалентних дужина, због преклопника у цевоводу.

Да би материјал могао да се креће треба да буде испуњен услов да је брзина ваздуха у цевоводу већа од брзине лебдења:

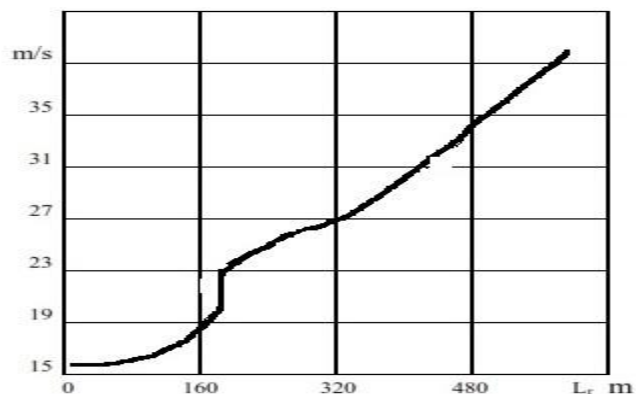
$$v_v = n \cdot v_s,$$

где је  $n$  - коефицијент сигурности ( $n > 1$ ).

Кретање честица у стању суспензије кроз хоризонтални цевовод остварује се захваљујући излазном току који настаје при турбулентном струјању.

Правилан избор брзине кретања ваздуха је од великог практичног значаја, јер од тога зависи и потребан капацитет инсталације компресора, а према томе и инсталисана снага уређаја за остваривање пнеуматског транспорта. Повећањем брзине кретања ваздуха кроз цевовод повећава се и отпор у мрежи цевовода, па је неопходно и да се повећа притисак компресором, а то значи и да се смањује ефикасност пнеуматског транспортног постројења.

Теоријски је веома тешко да се одреди брзина струјања ваздуха кроз цевовод због већег броја фактора који утичу на брзину ваздуха (димензије честица, густина честица, даљина транспорта, степен концентрације материјала у цевоводу). Због тога се при практичним прорачунима користе подаци добијени експерименталним путем. График зависности брзине струјања ваздуха на изласку из цевовода и даљине преношења, приказан је на слици 11.



**Слика 11:** График зависности брзине ваздуха на изласку из цевовода, од дужине транспорта материјала

За одређивање брзине струјања ваздуха, ако се примени на деоници на којој је притисак близак атмосферском, тј. код отвора за испуштање, на потисној инсталацији, као и код млазница уисних инсталација ( $\rho_v = 1,2 \text{ kg} / \text{m}^3$ ) може се применити следећи израз:

$$v_v = C_M \sqrt{\frac{\rho_M}{1000} + \beta L_r^2}, \quad (3.2)$$

при томе је:

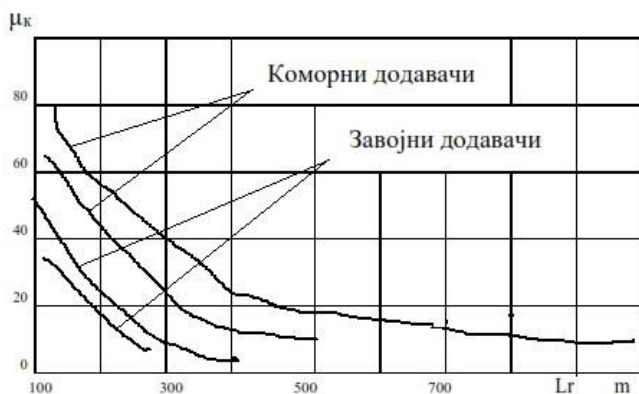
- $C_M$  - коефицијент којим се узима у обзир крупноћа честица транспортованог материјала (погледати таблицу 3.2),
- $\rho_M$  – густина честица материјала,
- $\beta = (2 \div 5) \cdot 10^{-5}$ , коефицијент који узима у обзир својства материјала (мања вредност коефицијента одговара преношењу сувих, прашинастих материјала),
- $L_r$  – редукована дужина цевовода.

Важан показатељ пнеуматског транспортног уређаја односи се и на концентрацију масе, тј. однос масеног капацитета пнеуматског транспортног уређаја према маси утрошеног ваздуха:

$$\mu_k = \frac{Q_M}{Q_V}, \quad (3.3)$$

при томе је  $\mu_k$  - коефицијент концентрације смесе.

Што је већи коефицијент концентрације, то је мања потрошња ваздуха, па је са гледишта економичности уређаја пожељно да је концентрација смесе већа; међутим ако је концентрација сувише висока могуће је загушење цевовода, нарочито код локалних радијуса, што нарушава нормалан рад инсталације.



**Слика 12:** Графички приказ зависности коефицијента смесе  $\mu_k$  од транспортне даљине  $L_r$

Премештање материјала пнеуматским транспортним уређајем остварује се на рачун енергије настале ширењем ваздуха (притисак опада са степеном удаљавања од додавача), тј. концентрација смесе опада са повећањем растојања. Наведене тврдње доказане су опитима. На слици 12 приказан је график за одређивање коефицијента концентрације при транспорту сипкавих материјала, а који се може користити за претходне, оријентационе прорачуне. За сваки тип додавача (завојни и коморни) приказане су две криве, које се подударају са минималном и максималном вредношћу  $\mu_k$ . Горњу границу вредности  $\mu_k$  треба усвојити за суве, лако сипкаве материјале веће густине ( $\rho_M = 2500 \div 3200 \text{ kg/m}^3$ ), а ниже границе  $\mu_k$  усвојити за материјале мање густине, а такође и за влазне и абразивне материјале.

**Табела 3.2** вредност коефицијента  $C_M$ , који узима у обзир крупноћу честица материјала

| Врста транспортованог материјала | Највеће димензије честица материјала $a_{\max}$ [mm] | Коефицијент |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|-------------|
| Прашкасти, истоврсни             | 0,001 ÷ 1,0                                          | 10 ÷ 16     |
| Зрнасти, истоврсни               | 1,0 ÷ 10,0                                           | 17 ÷ 20     |
| Ситнокомадни, истоврсни          | 10 ÷ 20                                              | 17 ÷ 22     |
| Средњеккомадни, истоврсни        | 40 ÷ 80                                              | 22 ÷ 25     |

Из услова гарантовања потребне брзине кретања ваздуха одређује се и пречник транспортног цевовода, према изразу:

$$d_c = 0,019 \cdot \sqrt{\frac{Q_M}{v_v \cdot \rho_v \cdot \mu_k}}, \quad (3.4)$$

при томе је  $Q_M$  - капацитет инсталације.

Израчунавањем вредности  $d_c$  и  $v_v$  налази се потребна потрошња ваздуха (запремина материјала се занемарује):

$$- Q_v = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot v_v = 0,785 \cdot d_c^2 \cdot v_v. \quad (3.5)$$

Притисак ваздуха остварен компресором и који је неопходан за кретање струје задатом брзином зависи од особине транспортованог материјала, отпора цевовода при струјању чистог ваздуха, као и од концентрације смесе у укупној маси ваздуха и транспортованог материјала.

Прорачун цевовода може се обавити према наведеној методологији.

Код хоризонталног цевовода при струјању чистог ваздуха, између притиска ваздуха на почетку цевовода  $p_p$  на крају  $p_k$  успоставља се следећа зависност за потисне уредаје:

$$- p_p = 0,1 \cdot p_p \cdot \sqrt{1 + \frac{\lambda \cdot L_r \cdot v_v^2}{d_c}}, \quad (3.6)$$

где су:

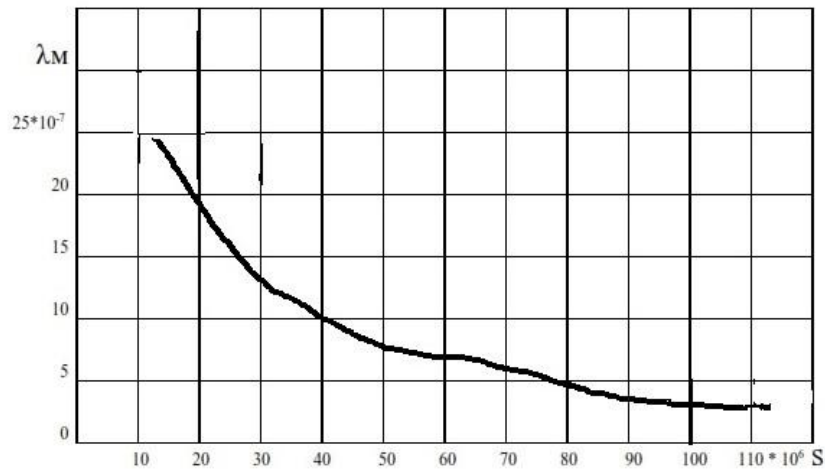
- $p_p$  и  $p_k$  - апсолутни притисци на почетку, односно на крају цевовода,
- $\lambda$  - коефицијент отпора кретања чистог ваздуха,
- $d_c$  - унутрашњи пречник цевовода,
- $p_p = p_p' + p_b$  (где је  $p_p'$  - натпритисак - манометарски притисак,  $p_b$  - атмосферски (барометарски) притисак, приближно је једнак  $0,1 \text{ MPa}$ ).

Експерименти показују да се при струјању смесе ваздуха и прашка у наведеним изразима садрже две фазе: гасовита (од ваздуха) и чврста (од материјала). Остварена вредност коефицијента  $\lambda$  је различита, тако да коефицијент отпора одређен према опитима, зависи од концентрације смесе:

$$- \lambda = \lambda_M \cdot \mu_k, \quad (3.7)$$

где је:

- $\lambda_M$  - коефицијент који се одредује из графичког приказа слика 13, а који зависи од величине  $S$ , која је такође добијена опитним путем, износи:
- $S = \frac{\mu_k \cdot L_r \cdot v_v^2}{d_c}, \quad (3.8)$



**Слика 13:** Графички приказ зависности коефицијента  $\lambda_M$  од  $S$  за високо напорне пнеуматске транспортне уређаје

Због отпора у цевоводу неопходно је узети у обзир пад притиска јер се материјал подиже на висину  $h$ :

$$- \quad p_h = \frac{L_v \cdot \rho_v' \cdot \mu_k}{10^5}, \quad (3.9)$$

где је:

- $L_v$  - дужина вертикалне деонице,
- $\rho_v' = 1,6 \div 2,0 \text{ kg/m}^3$  - средња густина ваздуха у цевоводу потисног уређаја, условно се усваја код усисног уређаја  $\rho_v' = 1 \text{ kg/m}^3$ ,
- $\mu_k$  - коефицијент концентрације смесе.

Код потисног уређаја  $p_p = 0,1 \text{ MPa}$ . Коефицијент  $\lambda = \lambda_M \cdot \mu_k$  па се због тога израз (3.6) при кретању смесе ваздуха и материјала кроз цевовод узимају у обзир у облику:

$$- \quad p_p = 0,1 \cdot \sqrt{1 + \frac{\lambda_M \cdot \mu_k \cdot L_r \cdot v_v^2}{d_c}} \pm p_h, \quad (3.10)$$

Притисак остварен компресором је већи када се израчуна преко изрази:

$$- \quad p_M = a \cdot p_p + \Delta p_v, \quad (3.11)$$

где је:

- $a = 1,15 \div 1,25$  - коефицијент којим се узима у обзир пад притиска у додавачу,
- $\Delta p_v = 0,02 \div 0,03 \text{ МПа}$  - пад притиска у ваздушном воду (од компресора до додавача).

Снага мотора компресора одређује се из израза ( $kW$ ):

$$P_M = \frac{A_M \cdot Q_k}{60 \cdot 1000 \cdot \eta}, \quad (3.12)$$

где су:

- $A_M$  - рад уложен на сабијање  $1 \text{ m}^3$  ваздуха, а који зависи од карактеристика процеса сабијања, машине за дување ваздуха - компресора (изотермски, адијабатски или политропски процес),
- $Q_k$  - капацитет компресора (машине за дување ваздуха),
- $\eta = 0,55 \div 0,75$  - укупни коефицијент корисног дејства компресора.

При изотермском сабијању је:

$$A_M = 230300 \cdot p_b \cdot \frac{p_M}{p_b}, \quad (3.13)$$

где је  $p_b = 0,1 \text{ МПа}$  - атмосферски (барометарски) притисак.

### 3.1. ПРОРАЧУН ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА ЕКО И ЛУВО ПЕПЕЛА

#### 3.1.1. Прорачун за део цевовода пречника $DN 100 \text{ mm}$ ,

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за допремање пепела од посуде за прикупљање пепела до силоса. Познати су следећи подаци:

- капацитет уређаја  $Q_p = 3 \text{ t/h}$ ,
- густина пепела  $\rho_p = 2,1 \text{ t/h}^3$ ,
- густина ваздуха  $\rho_v = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,
- усвојени пречник цевовода  $\varnothing 127 \times 12,5 \text{ mm}$  ( $DN 100$ ).

Шема цевовода се налази у прилогу Е, састоји се из шест хоризонталних деоница укупне дужине  $124 \text{ m}$ , две вертикалне деонице укупне висине  $7,5 \text{ m}$ , седам колена, радијуса заобљења  $1 \text{ m}$ .

Из односа  $R/d_c$  и табеле 3.1, еквивалентна дужина колена је  $6 \text{ m}$ . Одређујемо збир еквивалентних дужина због колена у цевоводу:

$$- \Sigma L_{ekk1} = 7 \cdot 6 = 42 \text{ m};$$

Редукована дужина цевовода се одређује из израза 3.1:

$$- L_{r1} = \Sigma L_{h1} + \Sigma L_{v1} + \Sigma L_{ekk1} = 124 + 7,5 + 42 = 173,5 \text{ m};$$

Брзина ваздуха се одређује из израза 3.2:

$$- v_{v1} = C_M \cdot \sqrt{\frac{\rho_P}{1000}} + \beta \cdot L_r^2 = 13 \cdot \sqrt{2,1} + 3 \cdot 10^{-5} \cdot 173,5^2 = 19,7 \text{ m/s};$$

Коефицијент  $C_M = 13$ ; из табеле 3.2.

Концентрација масе уређаја одређујемо из дијаграма са слике 12:

$$- \mu_{k1} = 55 \text{ kg/s, материјала на } 1 \text{ kg/s ваздуха.}$$

Потрошња ваздуха одређује се из израза 3.5:

$$- Q_{v1} = \frac{\pi \cdot d_{c1}^2}{4} \cdot v_{v1} = 0,785 \cdot d_{c1}^2 \cdot v_{v1} = 0,785 \cdot 0,1^2 \cdot 19,7 = 0,155 \text{ m}^3/\text{s} =$$

$$= 9,3 \text{ m}^3/\text{min};$$

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода одређује се из израза 3.6, 3.9 и 3.10:

$$- p_{p1} = 0,1 \cdot \sqrt{1 + \frac{\lambda_{M1} \cdot \mu_k \cdot L_{r1} \cdot v_{v1}^2}{d_c}} + \frac{0,1 \cdot L_{v1} \cdot \rho_v' \cdot \mu_k}{10^4} =$$

$$= 0,1 \cdot \sqrt{1 + \frac{16 \cdot 10^{-7} \cdot 33 \cdot 173,5 \cdot 19,7^2}{0,1}} + \frac{0,7 \cdot 7,5 \cdot 1,9 \cdot 33}{10^4} = 0,7 \text{ MPa};$$

Коефицијент  $\lambda_M$  се одређује експериментално, из графика на слици 13, у зависности од помоћне величине  $S$  (одређује се из израза 3.8):

$$- \lambda_{M1} = 12 \cdot 10^{-7};$$

$$- S_1 = \frac{\mu_k \cdot L_{r1} \cdot v_{v1}^2}{d_{c1}} = \frac{33 \cdot 173,5 \cdot 19,7^2}{0,1} = 37,2 \cdot 10^6;$$

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9 \text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора се одређује из израза 3.11:

$$- p_{M1} = a \cdot p_{p1} + \Delta p_{v1} = 1,15 \cdot 0,6 + 0,03 = 0,82 \text{ MPa};$$

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03 \text{ MPa}$ .

Капацитет компресора се увећава 10 % , узимајући у обзир губитак ваздуха:

$$- Q_{k1} = 1,1 \cdot Q_{v1} = 1,1 \cdot 9,3 = 10,2 \text{ m}^3/\text{min};$$

Снага мотора компресора се одређује према изразу 3.12:

$$- P_{M1} = \frac{A_{M1} \cdot Q_{k1}}{60 \cdot 1000 \cdot \eta} = \frac{16861 \cdot 10,2}{60 \cdot 1000 \cdot 0,6} = 53 \text{ kW};$$

Усвојени коефицијенти  $\eta = 0,6$  – степен корисног дејства компресора, теоријски рад машине за дување ваздуха  $A_M$  се одређује из израза 3.13:

$$- A_{M1} = 230300 \cdot p_b \cdot l_g \cdot \frac{p_{M1}}{p_b} = 230300 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot \frac{48}{0,1} = 18789 \text{ Nm/m}^2;$$

где је  $p_b = 0,1 \text{ MPa}$  – атмосферски притисак.

### 3.1.2. Прорачун за део цевовода пречника $DN 125 \text{ mm}$ ,

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за деоницу са усвојеним пречником цевовода  $\varnothing 152,4 \times 12,5 \text{ mm}$  ( $DN 125$ ) је извршен аналогно претходном пречнику и са истим улазним подацима.

Шема цевовода се налази у прилогу Ж, састоји се из једне хоризонталне деонице укупне дужине  $117 \text{ m}$ , без вертикалних деоница и без колена.

Редукована дужина цевовода једнака је хоризонталној дужини:

$$- L_{r2} = \Sigma L_{h2} = 117 \text{ m};$$

Брзина ваздуха -  $v_{v2} = 19,2 \text{ m/s}$ ;

Концентрација масе уређаја -  $\mu_k = 70 \text{ kg/s}$ , материјала на  $1 \text{ kg/s}$  ваздуха.

Потрошња ваздуха -  $Q_{v2} = 0,236 \text{ m}^3/\text{s} = 14,2 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода -  $p_{p2} = 0,6 \text{ MPa}$ ;

Коефицијент -  $\lambda_{M2} = 16 \cdot 10^{-7}$ ;

Помоћна величина -  $S_2 = 24,3 \cdot 10^6$ ;

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9 \text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_{M2} = 0,76 \text{ MPa}$ ;

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03 \text{ MPa}$ .

Капацитет компресора -  $Q_{k2} = 15,6 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Снага мотора компресора -  $P_{M2} = 75 \text{ kW}$ ;

Теоријски рад машине за дување ваздуха -  $A_{M2} = 17409 \text{ Nm/m}^2$ ;

### **3.1.3. Прорачун за део цевовода пречника $DN 150 \text{ mm}$ ,**

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за деоницу са усвојеним пречником цевовода  $\varnothing 168,3 \times 12,5 \text{ mm}$  ( $DN 150$ ) је извршен аналогно прорачуна за претходни пречник, са истим улазним подацима.

Шема цевовода се налази у прилогу 3, састоји се из две хоризонталне деонице укупне дужине  $23,8 \text{ m}$ , са једном вертикалном деоницом дужине  $36 \text{ m}$  и са два колена.

Збир еквивалентних дужина због колена у цевоводу:

$$- \Sigma L_{ekk3} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ m};$$

Редукована дужина цевовода се одређује из израза 4.1:

$$- L_{r3} = \Sigma L_{h3} + \Sigma L_{v3} + \Sigma L_{ekk3} = 23,8 + 36 + 12 = 71,8 \text{ m};$$

Брзина ваздуха -  $v_{v3} = 19,0 \text{ m/s}$ ;

Концентрација масе уређаја -  $\mu_k = 80 \text{ kg/s}$ , материјала на  $1 \text{ kg/s}$  ваздуха.

Потрошња ваздуха -  $Q_{v3} = 0,335 \text{ m}^3/\text{s} = 20,1 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода -  $p_p = 0,7 \text{ MPa}$ ;

Коефицијент -  $\lambda_{M3} = 25 \cdot 10^{-7}$ ;

Помоћна величина -  $S_3 = 13,8 \cdot 10^6$ ;

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9 \text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_{M3} = 0,78 \text{ MPa}$ ;

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03 \text{ MPa}$ .

Капацитет компресора -  $Q_{k3} = 22,1 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Снага мотора компресора -  $P_{M3} = 110 \text{ kW}$ ;

Теоријски рад машине за дување ваздуха -  $A_{M3} = 17928 \text{ Nm/m}^2$ ;

#### **3.1.4. Прорачун за део цевовода пречника $DN 175 \text{ mm}$ ,**

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за деоницу са усвојеним пречником цевовода  $\varnothing 193,7 \times 6,3 \text{ mm}$  ( $DN 175$ ) је извршен аналогно прорачуна за претходни пречник, са истим улазним подацима.

Шема цевовода се налази у прилогу И, састоји се из две хоризонталне деонице укупне дужине  $23 \text{ m}$ , без вертикалних деоница и са једним коленом.

Збир еквивалентних дужина због колена у цевоводу:

$$- \Sigma L_{ekk4} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ m};$$

Редукована дужина цевовода се одређује из израза 3.1:

$$- L_{r4} = \Sigma L_{h4} + \Sigma L_{ekk4} = 23 + 6 = 29 \text{ m};$$

Брзина ваздуха -  $v_{v4} = 18,9 \text{ m/s}$ ;

Концентрација масе уређаја -  $\mu_k = 90 \text{ kg/s}$ , материјала на  $1 \text{ kg/s}$  ваздуха.

Потрошња ваздуха -  $Q_{v4} = 0,454 \text{ m}^3/\text{s} = 27,2 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода -  $p_{p4} = 0,4 \text{ MPa}$ ;

Коефицијент -  $\lambda_{M4} = 30 \cdot 10^{-7}$ ;

Помоћна величина -  $S_4 = 5,3 \cdot 10^6$ ;

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9 \text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_{M4} = 0,5 \text{ MPa}$ ;

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03 \text{ MPa}$ .

Капацитет компресора -  $Q_{k4} = 29,9 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Снага мотора компресора -  $P_{M4} = 96 \text{ kW}$ ;

Теоријски рад машине за дување ваздуха -  $A_{M4} = 11586 \text{ Nm/m}^2$ ;

### **3.1.5. Преглед прорачуна пнеуматског транспорта ЕКО и ЛУВО пепела,**

- укупна редукована дужина цевовода -  $L_r = \Sigma L_r = 391 \text{ m}$ .
- просечна брзина ваздуха -  $v_v = 19,2 \text{ m/s}$ ;
- просечна потрошња ваздуха -  $Q_v = 17,7 \text{ m}^3/\text{min}$ ;
- потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_M = 7,1 \text{ bar}$ ;
- капацитет компресора -  $Q_k = 28 \text{ m}^3/\text{min}$ ;
- просечна снага мотора компресора -  $P_M = 84 \text{ kW}$ ;

## **3.2. ПРОРАЧУН ПНЕУМАТСКОГ ТРАНСПОРТА ЕФ ПЕПЕЛА**

### **3.2.1. Прорачун за део цевовода пречника $DN 150 \text{ mm}$ ,**

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за допремање пепела од посуде за прикупљање електрофилтерског пепела до силоса. Познати су следећи подаци:

- капацитет уређаја  $Q_p = 68,1 \text{ t/h}$ ,
- густина пепела  $\rho_p = 2,1 \text{ t/h}^3$ ,
- густина ваздуха  $\rho_v = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,
- усвојени пречник цевовода  $\varnothing 168 \times 12,5 \text{ mm (DN 150)}$ .

Шема цевовода се налази у прилогу Г, састоји се из пет хоризонталних деоница укупне дужине 131 m, једне вертикалне деонице висине 6,5 m, шест колена, радијуса заобљења 1 m.

$$- \Sigma L_{ekk5} = 6 \cdot 6 = 36 \text{ m};$$

Редукована дужина цевовода се одређује из израза 3.1:

$$- L_{r5} = \Sigma L_{h5} + \Sigma L_{v5} + \Sigma L_{ekk5} = 131 + 6,5 + 36 = 173,5 \text{ m};$$

Брзина ваздуха -  $v_{v5} = 19,7 \text{ m/s}$ ;

Концентрација масе уређаја -  $\mu_k = 50 \text{ kg/s}$ , материјала на 1 kg/s ваздуха.

Потрошња ваздуха -  $Q_{v5} = 0,349 \text{ m}^3/\text{s} = 20,9 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода -  $p_{p5} = 0,6 \text{ MPa}$ ;

Коефицијент -  $\lambda_{M5} = 17 \cdot 10^{-7}$ ;

Помоћна величина -  $S_5 = 22,5 \cdot 10^6$ ;

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9 \text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_{M5} = 0,76 \text{ MPa}$ ;

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03 \text{ MPa}$ .

Капацитет компресора -  $Q_{k5} = 23 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Снага мотора компресора -  $P_{M5} = 112 \text{ kW}$ ;

Теоријски рад машине за дување ваздуха -  $A_{M5} = 17461 \text{ Nm/m}^2$ ;

### 3.2.2. Прорачун за део цевовода пречника DN 175 mm,

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за деоницу са усвојеним пречником цевовода  $\varnothing 193,7 \times 6,3 \text{ mm}$  (DN 175) је извршен аналогно прорачуна за претходни пречник, са истим улазним подацима.

Шема цевовода се налази у прилогу Д, састоји се из три хоризонталне деонице укупне дужине  $154,9\text{ m}$ , са једном вертикалном деоницом висине  $38\text{ m}$  и са три коленома.

Збир еквивалентних дужина због колена у цевоводу:

$$- \Sigma L_{ekk6} = 3 \cdot 6 = 18\text{ m};$$

Редукована дужина цевовода се одређује из израза 3.1:

$$- L_{r6} = \Sigma L_{h6} + \Sigma L_{v6} + \Sigma L_{ekk6} = 154,9 + 38 + 18 = 210,9\text{ m};$$

Брзина ваздуха -  $v_{v6} = 20,2\text{ m/s}$ ;

Концентрација масе уређаја -  $\mu_k = 40\text{ kg/s}$ , материјала на  $1\text{ kg/s}$  ваздуха.

Потрошња ваздуха -  $Q_{v6} = 0,485\text{ m}^3/\text{s} = 29,1\text{ m}^3/\text{min}$ ;

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода -  $p_{p6} = 0,6\text{ MPa}$ ;

Коефицијент -  $\lambda_{M6} = 19 \cdot 10^{-7}$ ;

Помоћна величина -  $S_6 = 19,6 \cdot 10^6$ ;

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9\text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_{M6} = 0,77\text{ MPa}$ ;

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03\text{ MPa}$ .

Капацитет компресора -  $Q_{k6} = 32\text{ m}^3/\text{min}$ ;

Снага мотора компресора -  $P_{M6} = 159\text{ kW}$ ;

Теоријски рад машине за дување ваздуха -  $A_{M6} = 17838\text{ Nm/m}^2$ ;

### 3.2.3. Прорачун за део цевовода пречника $DN\ 200\text{ mm}$ ,

Прорачун основних параметара пнеуматског транспортног уређаја за деоницу са усвојеним пречником цевовода  $\varnothing\ 219,1 \times 6,3\text{ mm}$  ( $DN\ 200$ ) је извршен аналогно прорачуна за претходни пречник, са истим улазним подацима.

Шема цевовода се налази у прилогу Ђ, састоји се из две хоризонталне деонице укупне дужине 25,2 m, без вертикалних деоница и са једним коленом.

Збир еквивалентних дужина због колена у цевоводу:

$$- \Sigma L_{ekk7} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ m};$$

Редукована дужина цевовода се одређује из израза 4.1:

$$- L_{r7} = \Sigma L_{h7} + \Sigma L_{ekk7} = 25,2 + 6 = 31,2 \text{ m};$$

Брзина ваздуха -  $v_{v7} = 18,9 \text{ m/s}$ ;

Концентрација масе уређаја -  $\mu_k = 90 \text{ kg/s}$ , материјала на  $1 \text{ kg/s}$  ваздуха.

Потрошња ваздуха -  $Q_{v7} = 0,592 \text{ m}^3/\text{s} = 35,6 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Апсолутни притисак ваздуха на почетку транспортног цевовода -  $p_{p7} = 0,4 \text{ MPa}$ ;

Коефицијент -  $\lambda_{M7} = 30 \cdot 10^{-7}$ ;

Помоћна величина -  $S_7 = 5 \cdot 10^6$ ;

Усвојена средња густина ваздуха у вертикалној деоници цевовода износи:

$$- \rho_v' = 1,9 \text{ kg/m}^3.$$

Потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора -  $p_{M7} = 0,49 \text{ MPa}$ ;

Усвојени коефицијенти  $a = 1,15$  и  $\Delta p_v = 0,03 \text{ MPa}$ .

Капацитет компресора -  $Q_{k7} = 39,1 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

Снага мотора компресора -  $P_{M7} = 123 \text{ kW}$ ;

Теоријски рад машине за дување ваздуха -  $A_{M7} = 11283 \text{ Nm/m}^2$ ;

### **3.2.4. Преглед прорачуна пнеуматског транспорта ЕФ пепела,**

- укупна редукована дужина цевовода -  $L_r = \Sigma L_r = 416 \text{ m}$
- просечна брзина ваздуха -  $v_v = 19,6 \text{ m/s}$ ;
- просечна потрошња ваздуха -  $Q_v = 28,5 \text{ m}^3/\text{min}$ ;

- потребан апсолутни притисак ваздуха у ваздушном воду компресора  $p_M = 6,7 \text{ bar}$ ;
- капацитет компресора -  $Q_k = 28 \text{ m}^3/\text{min}$ ;
- просечна снага мотора компресора -  $P_M = 131 \text{ kW}$ ;

## 4. ЗАКЉУЧАК

Унутрашњи транспорт пепела од посуда за прикупљање до бетонских силоса, у Термоелектрани Костолац Б, има карактеристике типичних пнеуматских транспортера. Показао се као безбедан и поуздан, самим тим и економичан. Током века употребе и експлоатације система пнеуматског транспорта пепела, показао се и као еколошки прихватљив начин транспорта материјала. Расипање материјала је присутно у малом обиму, тако да се минимално загађује околина.

Овакав вид транспорт обезбеђује прихватљиве хигијенске услове, што је битно за особље које га опслужује. Та чињеница оправдава коришћење овог вида транспорта пепела у условима котларнице и фабричког круга. Не заузима пуно простора у грађевинском смислу и оправдава примену на релативно кратком растојању. Удаљеност између силоса и најудаљеније посуде, за прикупљање пепела је око 360 m.

Имајући у виду да на толиком растојању може остварити велики капацитет. Успешно се транспортује пепео капацитета 15,0 t/h по блоку за пепео из ЛУВА и ЕКО-а и 136,2 t/h по блоку, пепела из електрофилтера.

Систем за изузимање, припрему и транспорт пепела је у потпуности аутоматизован са системом за праћење процеса. Предност аутоматизованог праћења је да се у било ком тренутку, у веома кратком времену, могу уочити настали проблеми и извршити интервенција.

Прорачуном уређаја пнеуматског транспорта, за поједине линије транспорта, доказали смо правилан избор појединих елемената система. Одабрани компресори су са следећим техничким подацима:

- запремина  $V = 28,5 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $35,5^\circ\text{C} / 1 \text{ bar} / 84 \%$ ), при  $p = 0,5 \text{ bar}$ ,
- притисак  $p = 7,5 \text{ bar}$ , max,
- снага мотора  $P_m = 160 \text{ kW}$ .

Прорачуном смо утврдили да је потрошња ваздуха за транспорт ЕКО и ЛУВО пепела 17,7  $\text{m}^3/\text{min}$  и да је потрошња ваздуха за транспорт ЕФ пепела 28,5  $\text{m}^3/\text{min}$ . Према томе, компресор са запремином суда од 28,5  $\text{m}^3/\text{min}$ , задовољава. Такође, потребан притисак од 7,5 bar, за једну транспортну линију и 7,1 bar за другу, компресор који остварује притисак ваздуха од 7,5 bara задовољава потребе.

Снага мотора компресора је 160 kW, је са довољном резервом да омогући стабилан рад компресора током компримовања ваздуха у систему.

Удаљеност посуда за прикупљање пепела и крајње тачке транспорта, бетонски силоси, је мања од  $500\text{ m}$ . Са правилним одабиром унутрашњег пречника појединих деоница цевовода, остварује се стабилна брзина  $19,6\text{ m/s}$ , што омогућава стабилан и континуиран рад транспортног система.

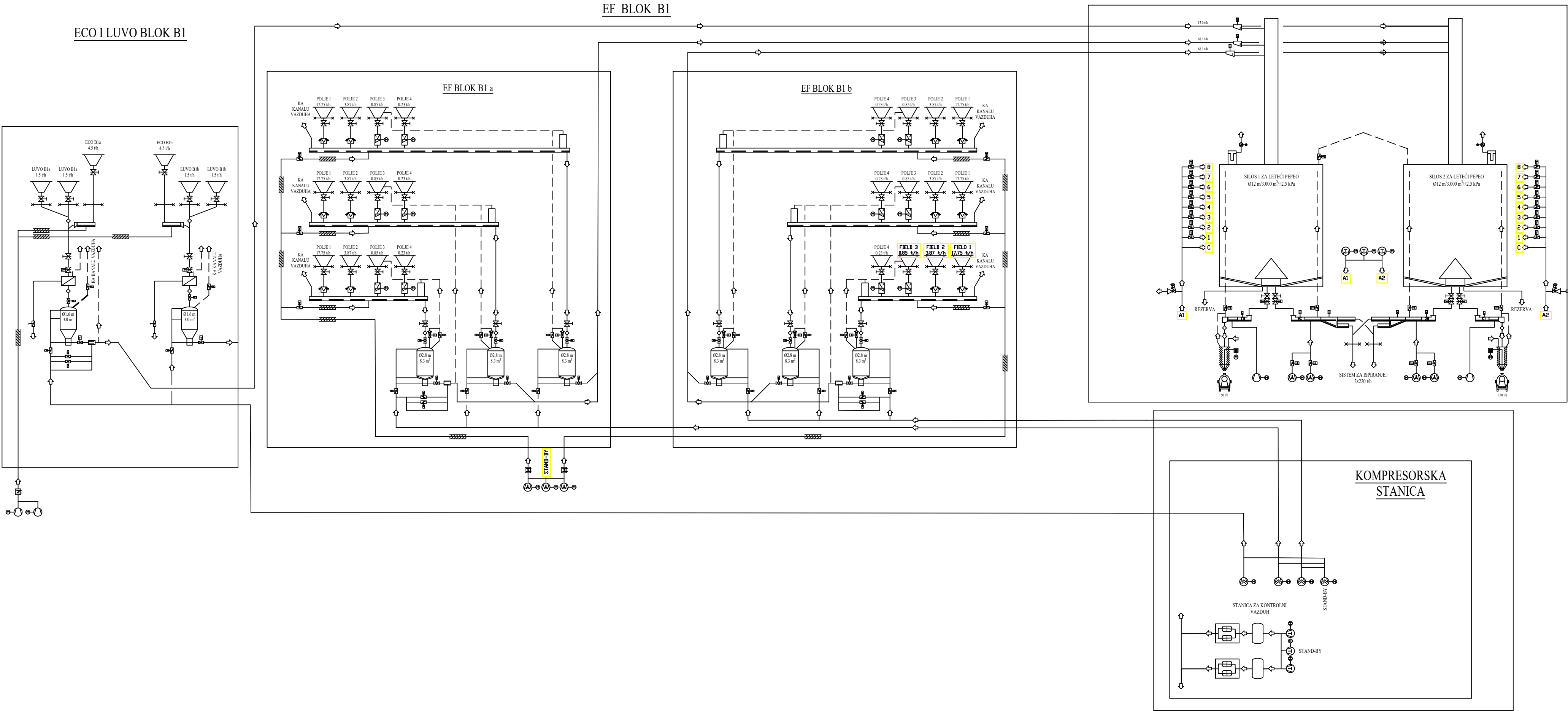
## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шашић, М., *Транспорт флуида и чврстих материјала цевима*, Грађевинска књига, Београд, 1990.
- [2] Шашић, М., *Прорачун транспорта флуида и чврстих материјала цевима*, Грађевинска књига, Београд, 1990.
- [3] Радован П. Ковачевић, Зоран В. Стојковић, *Погонско упутство за котловско постројење*, Костолац Б, Србија, 1986.
- [4] Главни пројекат замене система за одлагање пепела и шљаке ТЕ „ Костолац Б “, Књига М.1. - *Унутрашњи систем пепела и шљаке*, свеска М.1.1 – *Изузимање и транспорт ЕФ пепела*, ЕПС ТЕ-КО Костолац Б, Србија, 2008.
- [5] Главни пројекат замене система за одлагање пепела и шљаке ТЕ „ Костолац Б “, Књига М.1. – *Унутрашњи систем пепела и шљаке*, свеска М.1.2 – *Изузимање ЕКО + ЛУВО пепела*, ЕПС ТЕ-КО Костолац Б, Србија, 2008.
- [6] Главни пројекат замене система за одлагање пепела и шљаке ТЕ „ Костолац Б “, Књига М.1. – *Унутрашњи систем пепела и шљаке*, свеска М.1.3 – *Компресорска станица*, ЕПС ТЕ-КО Костолац Б, Србија, 2008.
- [7] Главни пројекат замене система за одлагање пепела и шљаке ТЕ „ Костолац Б “, Књига М.1. – *Унутрашњи систем пепела и шљаке*, свеска М.1.5 – *Цевовод ван зграде + цевни мост*, ЕПС ТЕ-КО Костолац Б, Србија, 2008.
- [8] Тошић Б. С., *Транспортни уређаји – Механизација транспорта*, Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд 1999.

## 6. ПРИЛОЗИ

- Прилог А - Генерална шема прикупљања пепела ТЕ-КО Костолац Б;
- Прилог Б - Шема прикупљања пепела из електрофилтера Б1а ТЕ-КО Костолац Б;
- Прилог В - Шема прикупљања пепела из ЕКО -а Б1а ТЕ-КО Костолац Б;
- Прилог Г - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од електрофилтера до силоса, за део цевовода са пречником *DN 150 mm*;
- Прилог Д - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од електрофилтера до силоса, за део цевовода са пречником *DN 175 mm*;
- Прилог Ђ - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од електрофилтера до силоса, за део цевовода са пречником *DN 200 mm*;
- Прилог Е - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од ЕКО – а и ЛУВА до силоса, за део цевовода са пречником *DN 100 mm*;
- Прилог Ж - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од ЕКО – а и ЛУВА до силоса, за део цевовода са пречником *DN 125 mm*;
- Прилог З - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од ЕКО – а и ЛУВА до силоса, за део цевовода са пречником *DN 150 mm*;
- Прилог И - Прорачунски изометрик цевовода за транспорт пепела од ЕКО – а и ЛУВА до силоса, за део цевовода са пречником *DN 175 mm*.

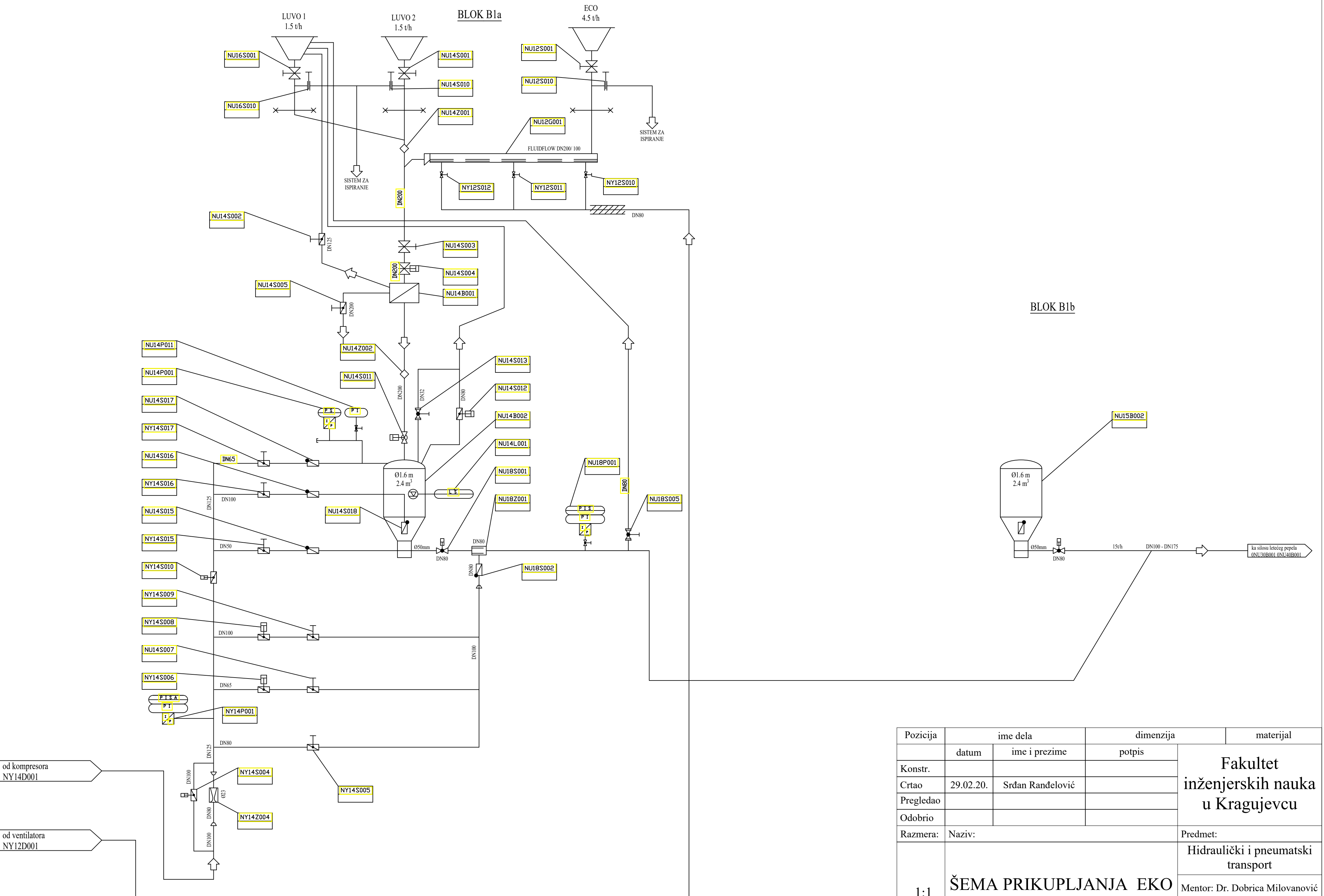
Прилог А



| Pozicija  | ime dela                              |                  | dimenzija | materijal                                      |
|-----------|---------------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------------------|
|           | datum                                 | ime i prezime    | potpis    |                                                |
| Konstr.   |                                       |                  |           | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu |
| Crtao     | 29.02.20.                             | Srdan Randelović |           |                                                |
| Pregledao |                                       |                  |           |                                                |
| Odobrio   |                                       |                  |           |                                                |
| Razmera:  | Naziv:                                |                  |           | Predmet:                                       |
| 1:1       | GENERALNA ŠEMA<br>PRIKUPLJANJA PEPELA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport          |
|           |                                       |                  |           | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                |
|           |                                       |                  |           | Škol. god. Br. indeksa                         |
|           |                                       |                  |           | 2019/20 434/17 Br. crteža 1                    |

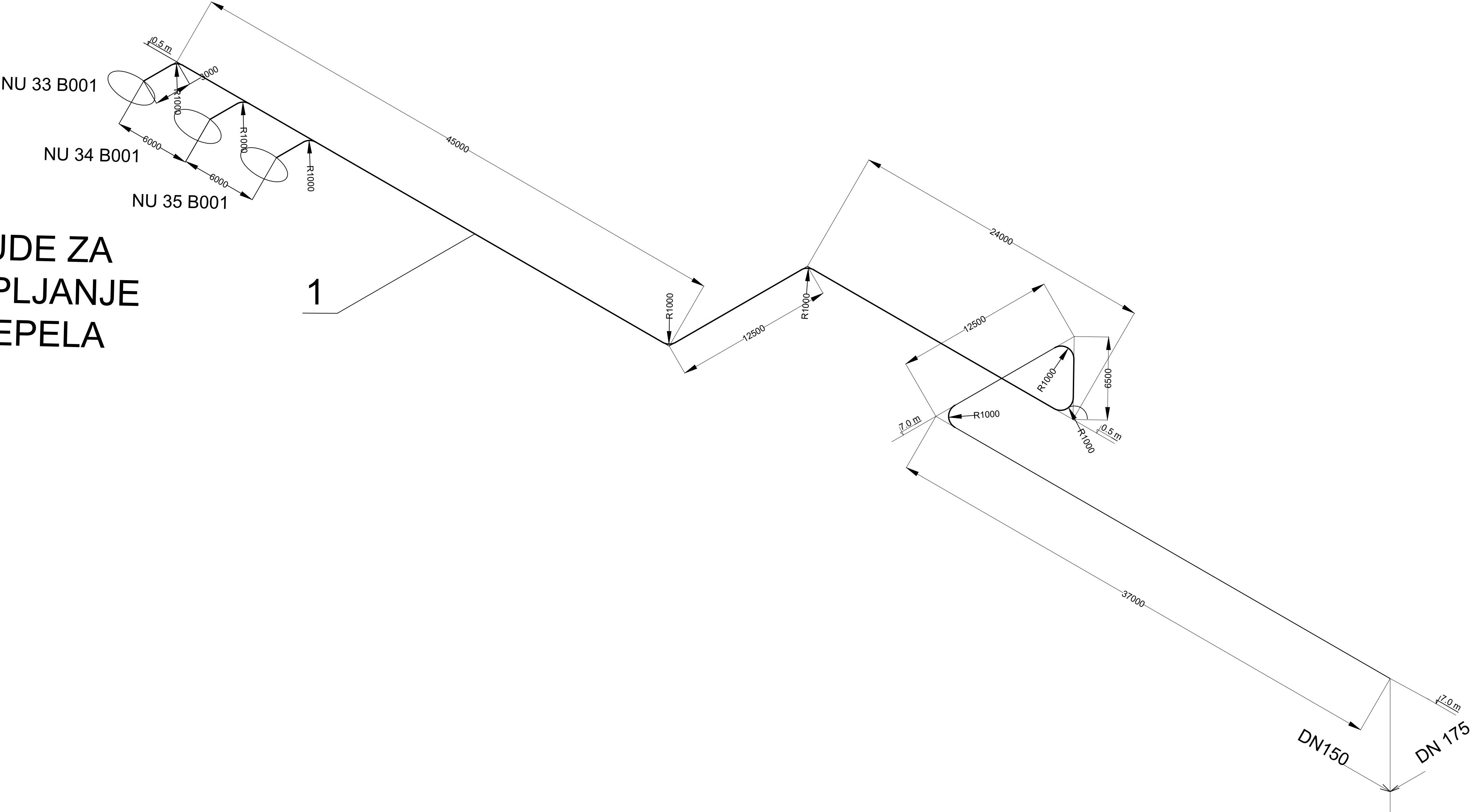


Прилог В

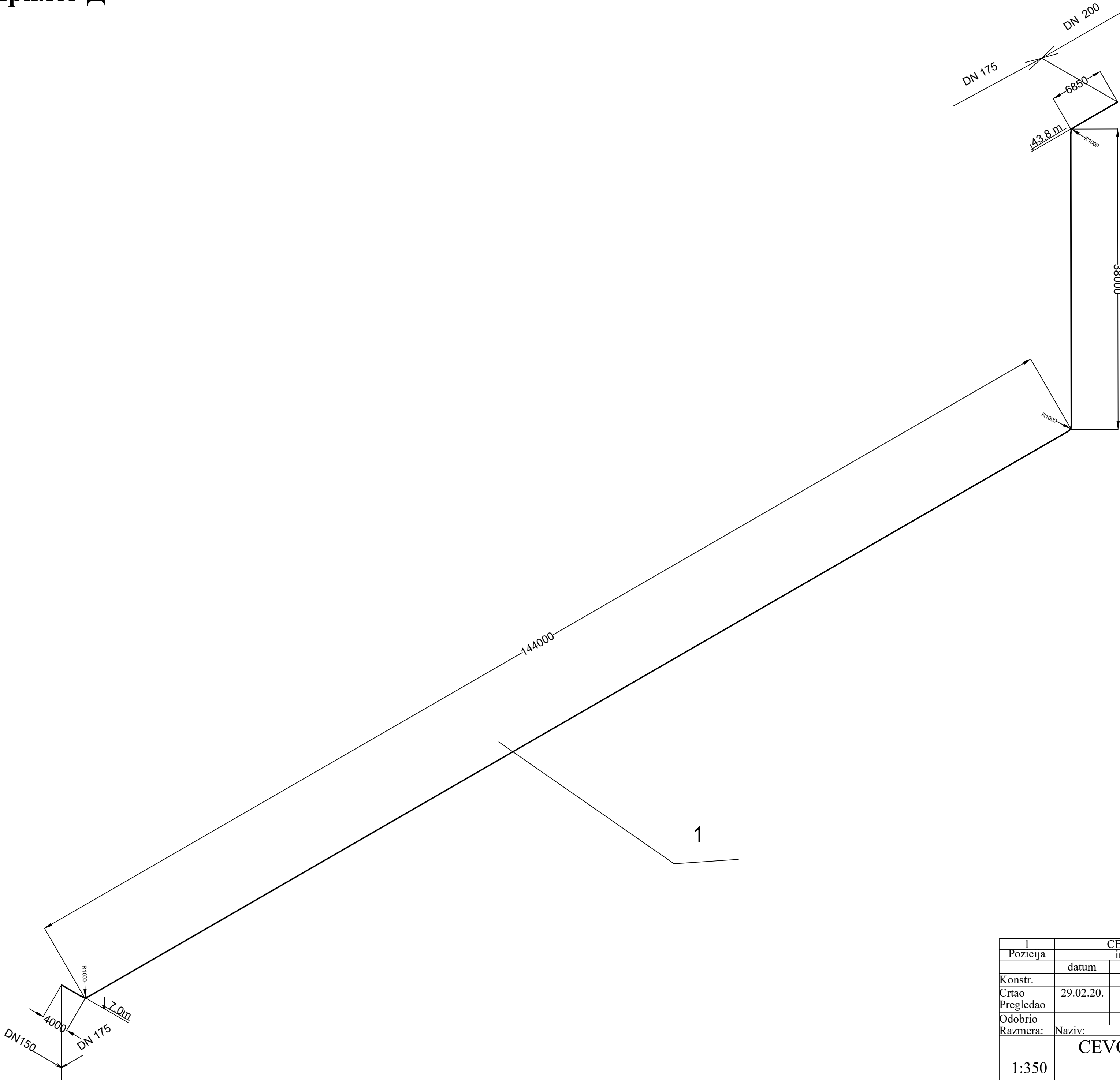


| Pozicija  | ime dela                               |                  | dimenzija |  | materijal                                      |                |            |
|-----------|----------------------------------------|------------------|-----------|--|------------------------------------------------|----------------|------------|
|           | datum                                  | ime i prezime    | potpis    |  | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu |                |            |
| Konstr.   |                                        |                  |           |  |                                                |                |            |
| Crtao     | 29.02.20.                              | Srđan Randelović |           |  |                                                |                |            |
| Pregledao |                                        |                  |           |  |                                                |                |            |
| Odobrio   |                                        |                  |           |  |                                                |                |            |
| Razmera:  | Naziv:                                 |                  |           |  | Predmet:                                       |                |            |
| 1:1       | ŠEMA PRIKUPLJANJA EKO<br>I LUVO PEPELA |                  |           |  | Hidraulički i pneumatski<br>transport          |                |            |
|           |                                        |                  |           |  | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                |                |            |
|           |                                        |                  |           |  | Škol. god.                                     | Br.<br>indiksa | Br. crteža |
|           |                                        |                  |           |  | 2019/20                                        | 434/17         | 3          |

POSUDE ZA  
PRIKUPLJANJE  
EF PEPELA



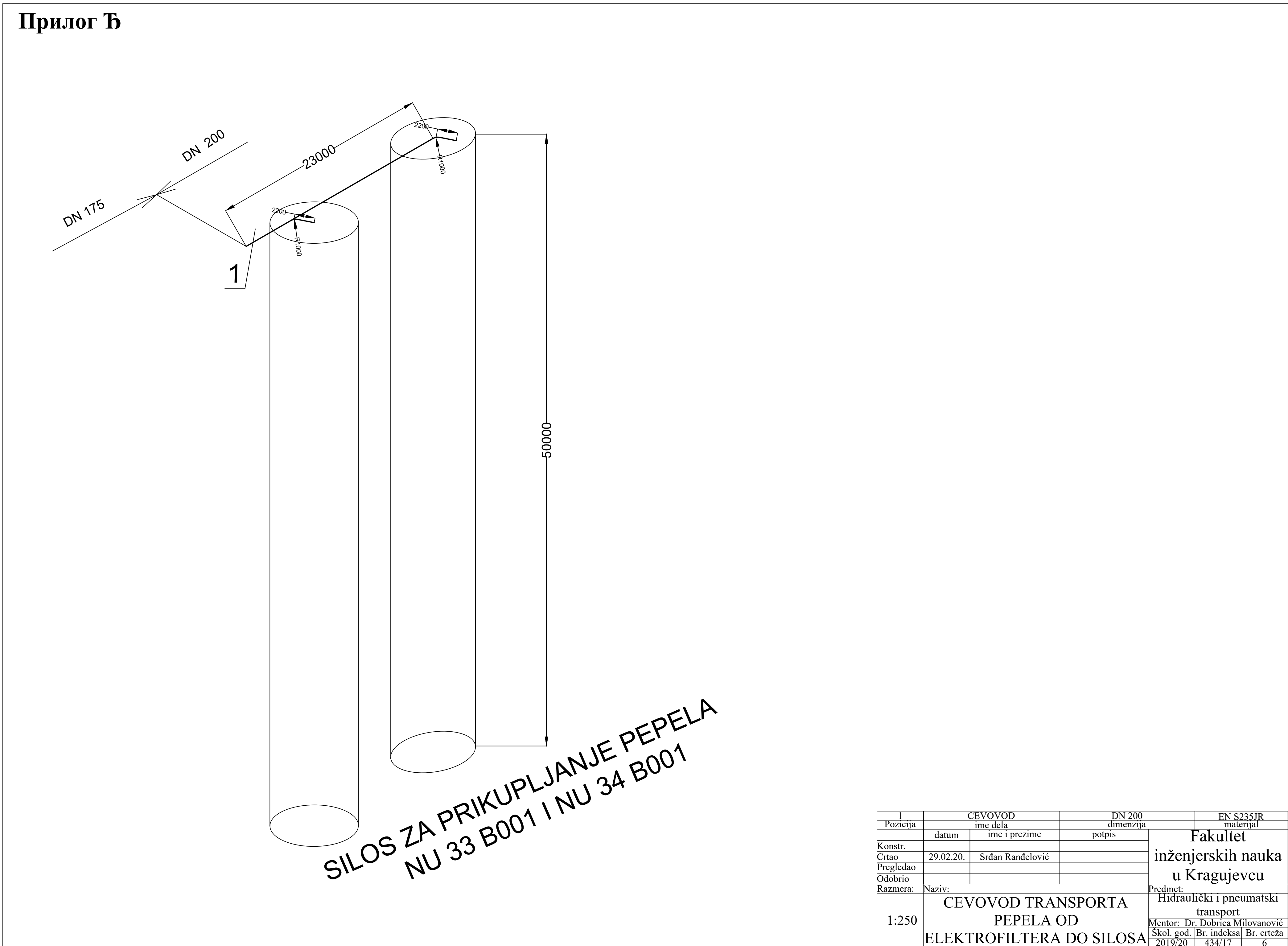
|           |                                                             |                  |           |                                                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------|-----------|----------------------------------------------------------|
| 1         | CEVOVOD                                                     |                  | DN 150    | EN S235JR                                                |
| Pozicija  | ime dela                                                    |                  | dimenzija | materijal                                                |
|           | datum                                                       | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu           |
| Konstr.   |                                                             |                  |           |                                                          |
| Crtao     | 29.02.20.                                                   | Srdan Randelović |           |                                                          |
| Pregledao |                                                             |                  |           |                                                          |
| Odobrio   |                                                             |                  |           |                                                          |
| Razmera:  | Naziv:                                                      |                  |           | Predmet:                                                 |
| 1:200     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD<br>ELEKTROFILTERA DO SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport                    |
|           |                                                             |                  |           | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                          |
|           |                                                             |                  |           | Škol. god. 2019/20    Br. indeksa 434/17    Br. crteža 4 |



|           |                                                             |                  |           |                                                |   |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------------------|---|
| 1         | CEVOVOD                                                     |                  | DN 175    | EN S235JR                                      |   |
| Pozicija  | ime dela                                                    |                  | dimenzija | materijal                                      |   |
|           | datum                                                       | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu |   |
| Konstr.   |                                                             |                  |           |                                                |   |
| Crtao     | 29.02.20.                                                   | Srdan Randelović |           |                                                |   |
| Pregledao |                                                             |                  |           |                                                |   |
| Odobrio   |                                                             |                  |           |                                                |   |
| Razmera:  | Naziv:                                                      |                  |           | Predmet:                                       |   |
| 1:350     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD<br>ELEKTROFILTERA DO SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport          |   |
|           |                                                             |                  |           | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                |   |
|           |                                                             |                  |           | Škol. god. Br. indeksa Br. crteža              |   |
|           |                                                             |                  | 2019/20   | 434/17                                         | 5 |

Прилог Б

|           |                                                             |                  |           |                                                                                                                                      |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | CEVOVOD                                                     |                  | DN 200    | EN S235JR                                                                                                                            |
| Pozicija  | ime dela                                                    |                  | dimenzija | materijal                                                                                                                            |
|           | datum                                                       | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu                                                                                       |
| Konstr.   |                                                             |                  |           |                                                                                                                                      |
| Crtao     | 29.02.20.                                                   | Srdan Randelović |           |                                                                                                                                      |
| Pregledao |                                                             |                  |           |                                                                                                                                      |
| Odobrio   |                                                             |                  |           |                                                                                                                                      |
| Razmera:  | Naziv:                                                      |                  |           | Predmet:                                                                                                                             |
| 1:250     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD<br>ELEKTROFILTERA DO SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport<br>Mentor: Dr. Dobrica Milovanović<br>Škol. god. 2019/20<br>Br. indeksa 434/17<br>Br. crteža 6 |



Прилог Б

SILOS ZA PRIKUPLJANJE PEPELA  
NU 33 B001 I NU 34 B001

CEVOVOD TRANSPORTA  
PEPELA OD  
ELEKTROFILTERA DO SILOSA

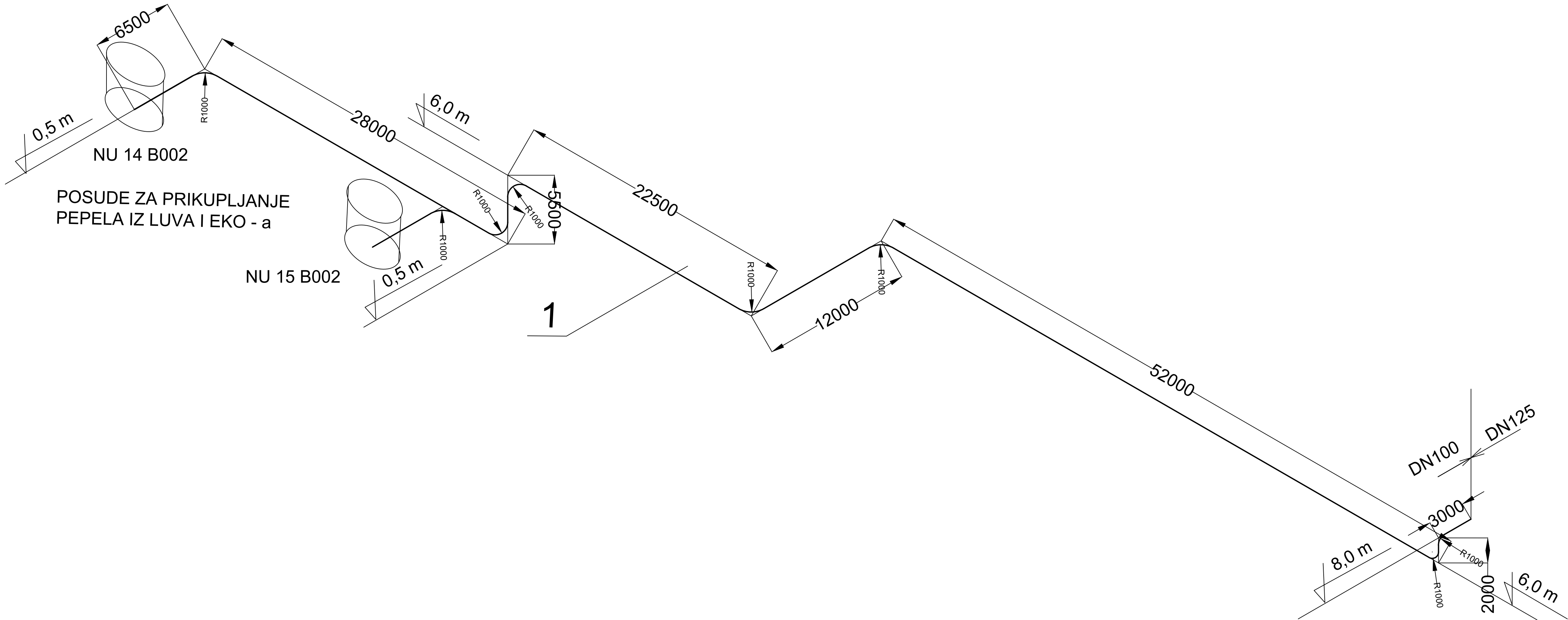
|           |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | CEVOVOD                                                     |                  | DN 200    | EN S235JR                                                                                                                      |
| Pozicija  | ime dela                                                    |                  | dimenzija | materijal                                                                                                                      |
|           | datum                                                       | ime i prezime    | potpis    |                                                                                                                                |
| Konstr.   |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
| Crtao     | 29.02.20.                                                   | Srdan Randelović |           |                                                                                                                                |
| Pregledao |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
| Odobrio   |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
| Razmera:  | Naziv:                                                      |                  |           | Predmet:                                                                                                                       |
| 1:250     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD<br>ELEKTROFILTERA DO SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport<br>Mentor: Dr. Dobrica Milovanović<br>Škol. god. 2019/20 Br. indeksa 434/17 Br. crteža 6 |

Fakultet  
inženjerskih nauka  
u Kragujevcu

Прилог Б

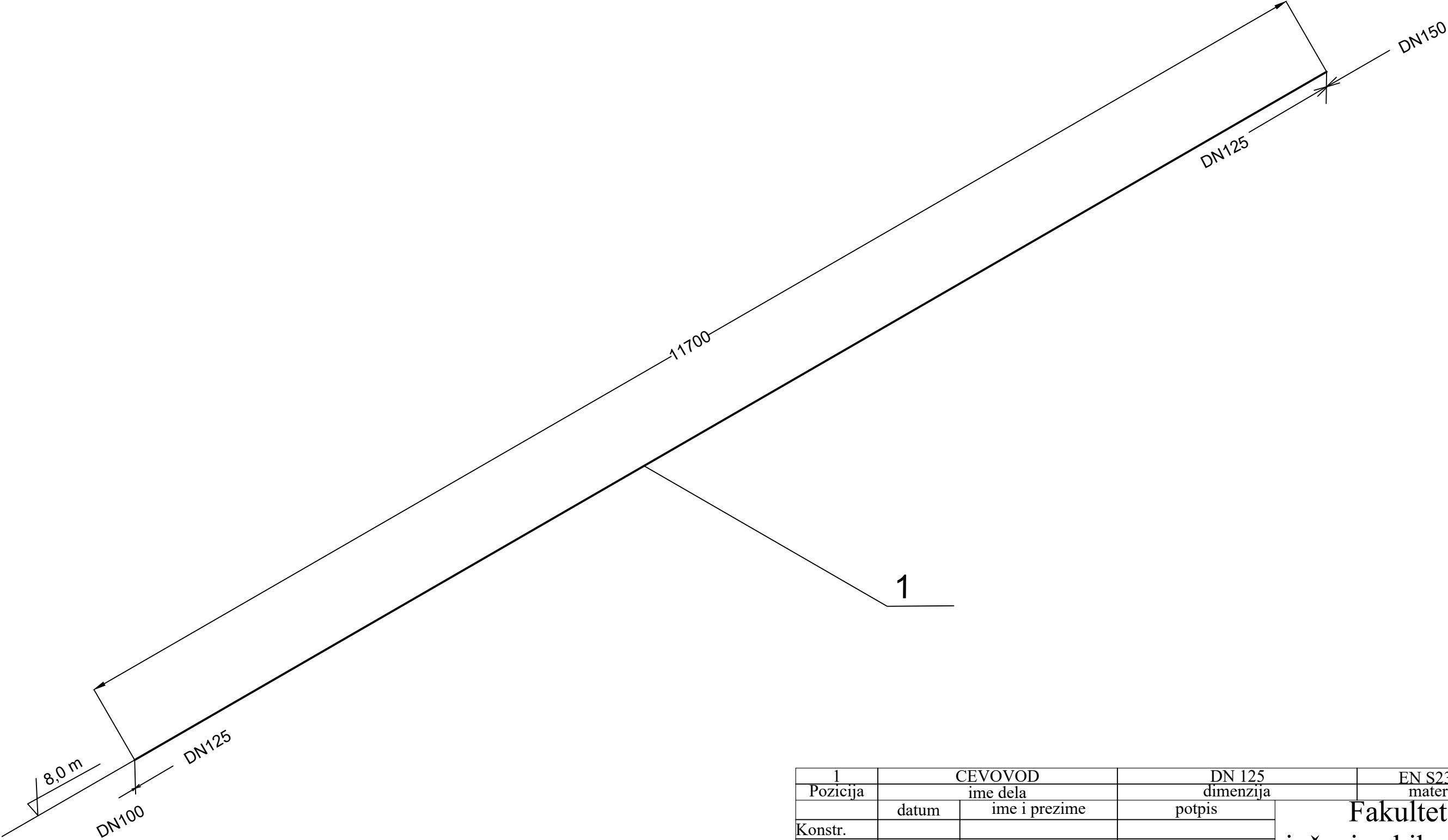
SILOS ZA PRIKUPLJANJE PEPELA  
SILOS ZA POKUPljanje PEPELA

|           |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | CEVOVOD                                                     |                  | DN 200    | EN S235JR                                                                                                                      |
| Pozicija  | ime dela                                                    |                  | dimenzija | materijal                                                                                                                      |
|           | datum                                                       | ime i prezime    | potpis    |                                                                                                                                |
| Konstr.   |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
| Crtao     | 29.02.20.                                                   | Srdan Randelović |           |                                                                                                                                |
| Pregledao |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
| Odobrio   |                                                             |                  |           |                                                                                                                                |
| Razmera:  | Naziv:                                                      |                  |           | Predmet:                                                                                                                       |
| 1:250     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD<br>ELEKTROFILTERA DO SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport<br>Mentor: Dr. Dobrica Milovanović<br>Škol. god. 2019/20 Br. indeksa 434/17 Br. crteža 6 |



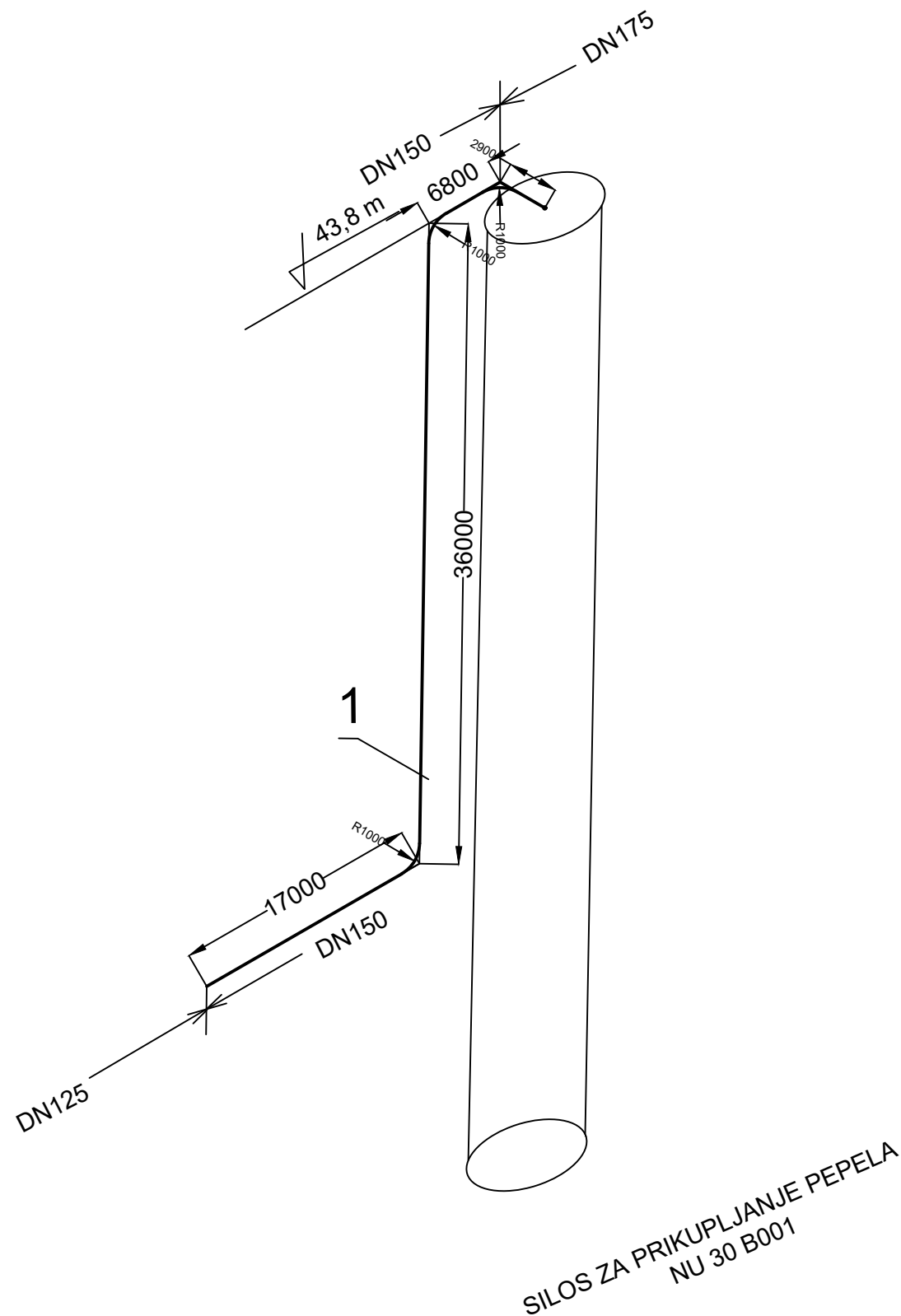
|           |                                                         |                  |           |                                                                                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------|------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I         | CEVOVOD                                                 |                  | DN 100    | EN S235JR                                                                                                                            |
| Pozicija  | ime dela                                                |                  | dimenzija | materijal                                                                                                                            |
|           | datum                                                   | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu                                                                                       |
| Konstr.   |                                                         |                  |           |                                                                                                                                      |
| Crtao     | 29.02.20.                                               | Srdan Randelović |           |                                                                                                                                      |
| Pregledao |                                                         |                  |           |                                                                                                                                      |
| Odobrio   |                                                         |                  |           |                                                                                                                                      |
| Razmera:  | Naziv:                                                  |                  |           | Predmet:                                                                                                                             |
| 1:200     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD EKO I LUVA DO<br>SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport<br>Mentor: Dr. Dobrica Milovanović<br>Skol. god. 2019/20<br>Br. indeksa 434/17<br>Br. crteža 7 |

Прилог Ж



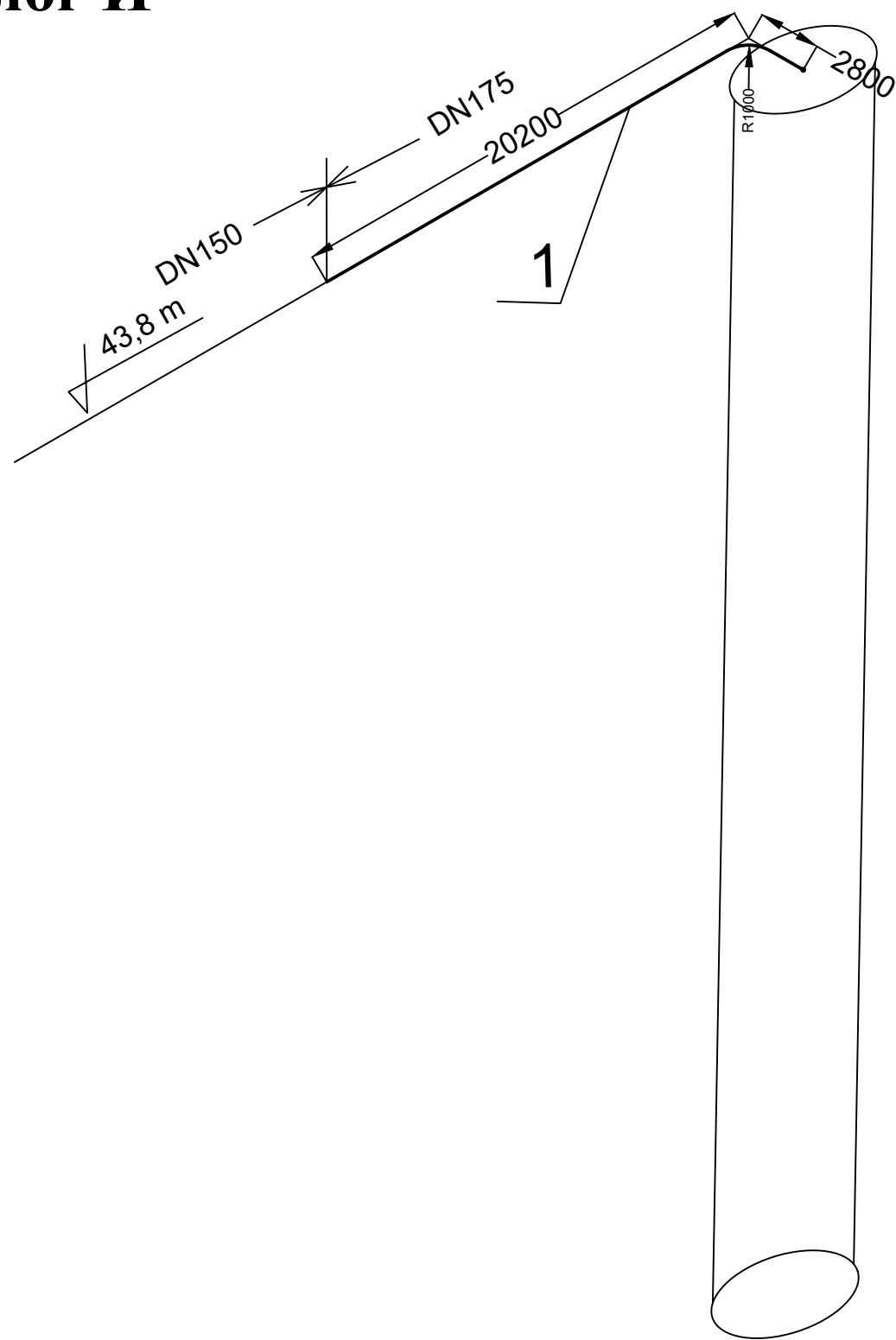
|           |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
|-----------|---------------------------------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1         | CEVOVOD                                                 |                  | DN 125    | EN S235JR                                      |             |            |
| Pozicija  | ime dela                                                |                  | dimenzija | materijal                                      |             |            |
|           | datum                                                   | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu |             |            |
| Konstr.   |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Crtao     | 29.02.20.                                               | Srdan Randelović |           |                                                |             |            |
| Pregledao |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Odobrio   |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Razmera:  | Naziv:                                                  |                  |           | Predmet:                                       |             |            |
| 1:350     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD EKO I LUVA DO<br>SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport          |             |            |
|           |                                                         |                  |           | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                |             |            |
|           |                                                         |                  |           | Škol. god.                                     | Br. indeksa | Br. crteža |
|           |                                                         |                  |           | 2019/20                                        | 434/17      | 8          |

Прилог 3



|           |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
|-----------|---------------------------------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1         | CEVOVOD                                                 |                  | DN 150    | EN S235JR                                      |             |            |
| Pozicija  | ime dela                                                |                  | dimenzija | materijal                                      |             |            |
|           | datum                                                   | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu |             |            |
| Konstr.   |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Crtao     | 29.02.20.                                               | Srdan Randelović |           |                                                |             |            |
| Pregledao |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Odobrio   |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Razmera:  | Naziv:                                                  |                  |           | Predmet:                                       |             |            |
| 1:350     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD EKO I LUVA DO<br>SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport          |             |            |
|           |                                                         |                  |           | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                |             |            |
|           |                                                         |                  |           | Škol. god.                                     | Br. indeksa | Br. crteža |
|           |                                                         |                  |           | 2019/20                                        | 434/17      | 9          |

Прилог И



SILOS ZA PRIKUPLJANJE PEPELA  
NU 40 B001

|           |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
|-----------|---------------------------------------------------------|------------------|-----------|------------------------------------------------|-------------|------------|
| 1         | CEVOVOD                                                 |                  | DN 175    | EN S235JR                                      |             |            |
| Pozicija  | ime dela                                                |                  | dimenzija | materijal                                      |             |            |
|           | datum                                                   | ime i prezime    | potpis    | Fakultet<br>inženjerskih nauka<br>u Kragujevcu |             |            |
| Konstr.   |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Crtao     | 29.02.20.                                               | Srđan Randelović |           |                                                |             |            |
| Pregledao |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Odobrio   |                                                         |                  |           |                                                |             |            |
| Razmera:  | Naziv:                                                  |                  |           | Predmet:                                       |             |            |
| 1:300     | CEVOVOD TRANSPORTA<br>PEPELA OD EKO I LUVA DO<br>SILOSA |                  |           | Hidraulički i pneumatski<br>transport          |             |            |
|           |                                                         |                  |           | Mentor: Dr. Dobrica Milovanović                |             |            |
|           |                                                         |                  |           | Škol. god.                                     | Br. indeksa | Br. crteža |
|           |                                                         |                  |           | 2019/20                                        | 434/17      | 10         |