



**Универзитет у Крагујевцу**  
**Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву**  
Катедра за енергетику и заштиту животне средине

**ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ**

**ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА  
ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ**

**Категорија техничког решења:**

М83 Ново лабораторијско постројење по Правилнику из 2008. год.

**Аутори решења:**

др Раде Карамарковић, доцент  
др Владан Карамарковић, редовни професор  
др Миљан Марашевић, доцент  
др Анђела Лазаревић, доцент  
Ненад Стојић, асистент  
Милош Николић, истраживач стипендиста министарства

**Кључне речи:**

истосмерни гасификатор, дрвни пелет, дрвна сечка, предгревање ваздуха

**Начин верификације:**

Техничко решење је верификовано лабораторијским испитивањима и применом адекватних модела.

**Корисник:**

Лабораторија за Топлотну технику и заштиту животне средине Факултета за Машинство и грађевинарство у Краљеву, Доситејева 19, 36000 Краљево.

**Година реализације:**

2016. Реализатор Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу као део активности на пројекту: Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе, ТР 33027.



## Година почетка примене:

Решење се примењује од краја 2016. године.

## Област на коју се техничко решење односи

Техничко решење припада области коју чине уређаји за гасификацију и сагоревање дрвне биомасе.

## Проблем који се техничким решењем решава

Недостатак истосмерних гасификатора је што производе гориви гас ниске топлотне моћи, високе температуре са великом количином чврстих честица. Осим недостатака везаних за састав гаса, недостатак истосмерних реактора је и немогућност промене капацитета. Такође је утврђено да се предгревање ваздуха изнад  $\sim 300$  °C позитивно одражава на топлотну моћ, док се вишестепено увођење ваздуха одражава на смањење количине тера у горивом гасу. Пројектно решење омогућава:

- ▶ гасификацију дрвне биомасе: дрвног пелета и дрвне сечке. Реактор није погодан за гасификацију биљне биомасе чији pepeo садржи веће количине алкалних и земноалкалних метала (једногодишње биљке),
- ▶ гасификацију са предгрејаним ваздухом (изнад 300 °C),
- ▶ гасификацију са две зоне увођења ваздуха (вишестепена оксидација),
- ▶ различите величине зона редукције (различите дужине путање гаса кроз зону редукције),
- ▶ промену снаге реактора тј. промену капацитета од 3 до 10 kg/h,
- ▶ коришћење реактора као котла са вишестепеним сагоревањем биомасе,
- ▶ пре свега експериментисање ради стицања знања у једној релативно уској сфери интересовања.

Недостаци реактора су:

- ▶ сложена и доста скупа конструкција за реакторе ове величине,
- ▶ дизајн који није трајан, и који не омогућава дуг животни век реактора, и
- ▶ дизајн који нема могућност аутоматског рушења запушења у зони редукције.

## Стање решености проблема у свету

Детаљан преглед технички најнапредније технологије гасификације дат је у раду Аренфелда и др.<sup>1</sup> Тренутно у когенерационим постројењима на биомасу доминирају системи са истосмерном гасификацијом због своје поузданости и производње горивог гаса који не захтева додатну опрему за елиминацију тера. Савремени реактори се пројектују и патентирају на основу решавање следећих захтева, најчешће у системима когенерације тако да при раду:

- ▶ производе гориви гас који не садржи тер. Тер или катран је највећи противник примени гасификатора зато што се у низводним деловима система који укључују гасификацију биомасе нагомилава на зидовима цеви, омета рад јер повећава пад притиска у систему и може да доведе до потпуног прекида рада. Кондензује се на температурама испод 500 °C.

---

<sup>1</sup> Jesper Ahrenfeldt, Tobias P. Thomsen, Ulrik Henriksen, Lasse R. Clausen, Biomass gasification cogeneration e A review of state of the art technology and near future perspectives, Applied Thermal Engineering 50(2):1407–1417, February 2013



- ▶ гасификују биомасу променљиве влажности. Генерално, се при коришћењу гасификације код котлова захтева влажност горива нижа од 25% док се код гасификатора који раде у когенерационим системима захтева влажност нижа од 15%. Савремене конструкције треба да се пројектују тако да толеришу краткотрајно повећање влажности горива изнад препоручених вредности.
- ▶ поуздан рад гасификатора по могућству са променљивим капацитетом. Реактори у непокретном слоју, који се користе у малим системима (генерално термичке снаге испод 500 kW) се пројектују за сталан капацитет. Нису толерантни ни на мале промене оптерећења.
- ▶ да производе гориви гас дате топлотне моћи и састава. Промена састава врло често се лоше одражава на рад и степен корисности СУС мотора, који се чешће од гасних турбина користе у системима који користе гасификацију биомасе.
- ▶ да при раду производе малу или занемарљиву количина негасификованог угљеника. Ово повећава степен корисности постројења али и решава проблем који тражи одговор на питање: шта чинити са негасификованим угљеником.
- ▶ да реше проблем застоја у унутрашњем току материјала кроз гасификатор. Изражени проблем код истосмерног реактора је појава великих шупљина у зони редукције које условљавају само делимичну редукцију продуката сагоревања, који на излазу из зоне редукције садрже повећану количину тера. Застој у транспорту материјала ка зони оксидације је чест проблем при гасификацији комада различите величине и може да угрози рад реактора. Због тога свака конструкција осим влажности горива дефинише и величине комада који могу да се гасификују.
- ▶ због омекшавања и велике реактивности пепела биомасе, температура гасификације се ограничава на максимуму 900 °C. То значи да ова температуре не сме бити премашена ни у једном делу реактора.

По ауторима овог решења најбољи концепт истосмерне гасификације је тзв. Викиншки процес<sup>2</sup>. Он је потпуно одвојио зоне пиролизе, оксидације и гасификације (редукције). Сушење и пиролиза се обављају коришћењем отпадне топлоте из процеса, гасовити продукти пиролизе оксидишу се коришћењем предгрејаног ваздуха а редукују се проласком кроз слој угљеника који се гасификује. Вредни помена су и: гасификатор за гасификацију чврстих горива белгијске компаније Ксиловат<sup>3</sup> који је такође одвојио зоне пиролизе, оксидације и гасификације али који има и зону за таложене честица из гаса. Гасификатор компаније Џенерал електрик који има више цилиндричних површина као што их има и гасификатор који се у овом техничком решењу излаже.<sup>4</sup> Истосмерни гасификатор који су дизајнирали Јанг и др., који има оригиналан врло карактеристичан геометријски облик коморе који омогућава лакше кретање материјала кроз реактор и бројна места за увођење медијума и извођење гаса из реактора.<sup>5</sup> На крају овог скромног и непотпуног прегледа треба поменути и два решења који на оригинални начин омогућавају транспорт материјала кроз реактор, тј. лак проток материјала без застоја и стварања шупљина у реактору: помоћу завојног транспортера<sup>6</sup> и помоћу спорог пропелера<sup>7</sup>.

<sup>2</sup> U. Henriksen, J. Ahrenfeldt, T.K. Jensen, B. Gøbel, J.B. Bentzen, C. Hindsgaul, L.H. Sørensen, The design, construction and operation of a 75 kW Two-Stage gasifier, Energy 31 (10-11) (2006) 1542-1553.

<sup>3</sup> US 9.228.143 B2 из јануара 2016. године.

<sup>4</sup> US 9.109.172 B2 УТ августа 2015. године.

<sup>5</sup> US 8.956.427 B2

<sup>6</sup> US 2016/0230104 A1 из августа 2016. године.

<sup>7</sup> US 8.845762 B2 из септембра 2014. године.



## ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

### 1. Увод

Ниска топлотна моћ (испод  $4500 \text{ kJ/m}^3$ ), висока температура (око  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и висок садржај прашкастих материја (чак и преко  $1 \text{ g/m}^3$ ) у произведеном горивом гасу, као и немогућност промене капацитета су главни недостаци истосмерних реактора за гасификацију. За разлику од њих супротносмерни реактори производе гас веће топлотне моћи (изнад  $7500 \text{ kJ/m}^3$ ) и ниже температуре (око  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ), али са високим садржајем тера у горивом гасу.

Пројектовано решење покушава да обједини позитивне карактеристике обе врсте реактора. То се постиже конструкцијом која се састоји од четири коаксијална цилиндра. Кроз унутрашњи цилиндар се уводи дрвна биомаса која се гасификује (влажности мање од 15%), док кроз три прстенасте површине које праве четири цилиндра, ваздух (медијум за гасификацију) струји кроз спољни и унутрашњи прстен, док произведени гориви гас струји кроз средњи цилиндар. Овакав начин струјања омогућава размену топлоте између горивог гаса и ваздуха унутар самог реактора, тако да гас напушта реактор на температури својственој супротносмерним реакторима за гасификацију у непокретном слоју. Унутрашња два и спољна два цилиндра чине засебне целине: могуће је кретање унутрашњег цилиндра у односу на спољни у опсегу 200 mm. Дно где се срећу цилиндри је обложено танким плочама од ватросталног бетона ради спречавања хабања материјала и ради „чувања“ топлоте у зони редукције. Систем има две решетке: једну која се користи за мале капацитете и која се налази у унутрашњем цилиндру и другу која се налази у дну средишњег прстена, која је намењена већим капацитетима. Због ширег отвора средишњег цилиндра, гориви гас са собом не узноси чврсте честице већег пречника. При раду на већем капацитету зона редукције је облика „појилице за пилиће“.

Реактор је тако пројектован да омогућава да он буде и катао на биомасу која вишестепено сагорева. Функција котла се постиже увођењем ваздуха са обе стране дна средишњег прстена.

Конструкција реактора је веома сложена и он је првенствено намењен за комерцијалну примену за топлотне снаге до 50 kW, и за лабораторијско експериментисање са:

- ▶ различитим дрвним биомасама (пелетом и сечком различитог облика и различите влажности),
- ▶ различитим температурама предгревања ваздуха (изнад  $300 \text{ }^\circ$ ),
- ▶ различитим зонама увођења ваздуха (вишестепена оксидација),
- ▶ различитим величинама зоне редукције,
- ▶ капацитетима гасификације од 3 до 10 kg/h (капацитет се односи на гасификацију дрвног пелета),
- ▶ различитим начинима покретања (стартовања) реактора,
- ▶ вишестепеним сагоревањем биомасе (гасификација + сагоревање горивог гаса).

Од већ поменутих недостатака, треба рећи да реактор захтева и сложenu додатну опрему, чији је главни елемент одсисни вентилатор, који да би се „бранио“ захтева додатно потхлађење гаса кад систем ради као катао и систем за елиминацију честица кад реактор ради као гасификатор. Недостатак гасификатора је и што не поседује опрему за аутоматско и мануелно рушење запушења и слободног простора у зони редукције. Овакав простор омогућава гасу да прескочи (заобиђе) зону редукције, што се негативно одражава на ефикасност реактора.



## 2. Кратак опис нацрта

Слика 1. Принципска шема истосмерног гасификатора са системом за предгревање ваздуха за гасификацију.

Слика 2. Принцип рада гасификатора на малом капацитету.

Слика 3. Принцип рада гасификатора на великом капацитету.

Слика 4. Изглед гасификатора.

Техничка документација за израду техничког решења дата је у Прилогу.

## 3. Детаљан опис техничког решења

Слика 1. приказује принцип рада истосмерног лабораторијског реактора за гасификацију (позиција 1) биомасе који као медијум за гасификацију користи предгрејан ваздух. Гасификатор се у раду налази на подпритиску, који обезбеђује вентилатор 2. Да би се гас који садржи већу количину чврстих честица могао користити уобичајено је код ових система коришћење једног хладњака 3, који се обично користи за загревање топле воде. Размењивач је обично добошаст са цевима, који има механизам за отресање и представља прву препреку у борби против честица, другу и евентуално трећу „линију борбе против честица“ обично чине циклон 4 и филтер 5. Поменути систем представља само предлог и није предмет овог техничког решења.

Гасификатор на свом врху има прирубнички спој 7, на који се повезује завојни транспортер 6 или бункер. У случају лабораторијског постројења бункер је, због своје цене, примарни избор. Биомаса 8 се креће кроз унутрашњи цилиндар 13. Принциписки реактор 1 се састоји из једног унутрашњег цилиндра 13 и три прстенаста простора који формирају четири цилиндра: и то простор између цилиндара 13 и 14 кроз који струји ваздух, прстенасти простор између цилиндара 14 и 15 кроз који струји гориви гас, и простор између цилиндара 15 и 16 кроз који је предвиђено током експериментисања да могу да струје и вода и ваздух.

Биомаса 8 предвиђена за гасификацију може бити дрвни пелет или дрвна сечка. У конструкцији овог типа не може се користити агропелет или друго биогориво настало од једногодишњих биљака, зато што сва маса треба да прође кроз зону оксидација. Ово није повољно за оне биомасе, чије се минералне материје састоје из велике количине алкалних и земно алкалних метала. Они због своје ниске температуре снижавају температуру омекшавања пепела. Биомаса 8 прво губи влагу а у зони 9 долази до њене деволатилизације. Затим у зони 10 долази до оксидације продуката деволатилизације. Ово је зона са највишим температуром када се реактор користи само за гасификацију. У зону оксидације ваздух се уводи преко једног реда кружних отвора пречника 5 mm, који су означени за 12. Предвиђено је да се ваздух може увести и преко отвора 20 на цеви 19 која улази у срце реактора одоздо. Ови отвори имају две 20 а цев 19 три функције. За паљење је предвиђен двоструки систем, постоје два грејача ваздуха, оба обележена са 18, један на цеви 17, други на цеви 19. Ове цеви су замишљене тако да ваздух само струји кроз обе цеви 17 и 19 или само једну од њих на почетку рада. Сврха отвора 20 је дакле да омогуће неометан почетак рада реактора, такође они могу заједно са отворима 12 да се користе кад се у реактор 1 одвија тзв. двозонско увођење ваздуха (гасификација са две зоне оксидације). Реактор је и пројектован да омогући различите начине гасификације у том циљу цилиндри 13 и 14 форме јединствену целину коју је могуће померати у вертикалном правцу у односу на цилиндри 15 и 16. Предвиђено је да ово померање буде у релативно мало опсегу тј. 200 mm. Дакле систем омогућава довођење ваздуха за гасификацију:

- ▶ само кроз отворе 12,



- ▶ само кроз отворе 20, и
- ▶ кроз отворе 12 и 20 истовремено.

Три поменуте функције цеви 19 су: она доводи ваздух за гасификацију који иде кроз отворе 20 али и служи за ослањање решетки 21 и 22 преко система за качење 23. Решетке се подешавају преко врата 43 датих на Слици 4. Мала решетка 21 омогућава гасификацију мање количине биомасе (видети Сliku 2.), док велика 22 омогућава гасификацију много веће масе. Комбиновање положаја решетки 21 и 22, положаја тј. висине унутрашњих цилиндара 13 и 14 у односу на спољне 15 и 16, и увођења ваздуха на местима 12 и 20, могуће је добити: различите висине зоне редукције 11, различите положаје зоне оксидације 10 и различите расподеле зона оксидације 10 и редукције 11 у реактору.

Да не би дошло до хабања реактора у зони редукције и да би се у овој зони при гасификацији на већем капацитету (Слика 4.) одржавала већа топлота, она је обложена плочама од ватросталног бетона дебљине 25 mm.

Решетка 22 служи да се реактор не препуни материјалом на почетку рада и да делимично спречи узношење честица (недостатак реактора) кроз простор између цилиндара 14 и 15, кроз који струји гориви гас. Гас дакле струји из реактора 1 на више, излази на отвор 41 који помоћу димњаче 42 изводи гориви гас из реактора.

Ваздух који се за гасификацију доводи кроз отворе 12, предгрева се тако што улази преко клапне 32 и струји у прстенастом простору између цилиндара 13 и 14. Он преко цилиндра 14 прима топлоту од горивог гаса који супротносмерно у односу на ваздух струји у простору између цилиндара 14 и 15. Предвиђена је и варијанта двоструког загревања ваздуха. У том случају описано загревање ваздуха који улази кроз отворе 12 је двостепено. У првом степену ваздух улази кроз отвор 38 и струји у простору ограниченом цилиндрима 15 и 16. Преко цилиндричног зида 15 размењује топлоту са горивим гасом који струји истосмерно са ваздухом за гасификацију. На врху реактора, два степена предгревања ваздуха су повезана тако што он напушта спољни прстен (15 и 16) излази кроз отвор 39 и савитљивим цревом се спаја са прикључком код регулатора протока 32.

Варијанта у којој се предгрева ваздух који улази кроз отворе 20 и који се води кроз цев 19 се загрева тако што улази на отвор 39, струји супротносмерно у односу на гориви гас, који се креће у простору између цилиндара 14 и 15 и улази у цев 19 преко регулатора протока 36. У том случају на исти начин савитљиво црево 20 би повезивало прикључке 38 и 36 (није приказано на Слици 1.).

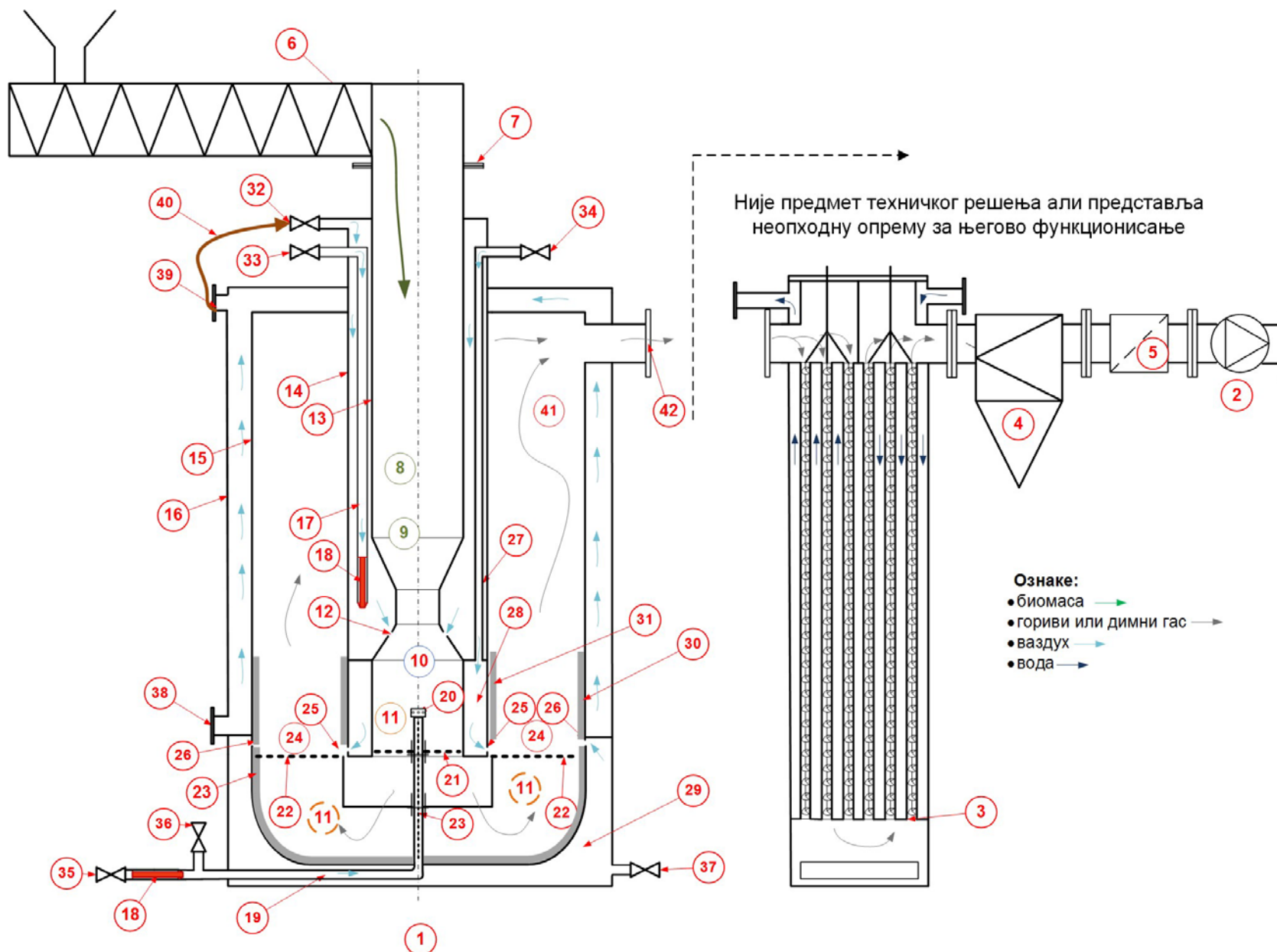
Како је ово лабораторијски реактор, ради експериментисања предвиђено је да он ради и као катао. У том случају сагоревање горивог гаса вршило би се у прстенастом простору између цилиндара 14 и 15 на тај начин што би се гориви гас сагоревао убацивањем ваздуха кроз отворе 25 у дну цилиндра 14 и кроз отворе 26 у доњем делу цилиндра 15. Секундарни ваздух за сагоревање 25 се уводи на тај начин што улази у цев 27 преко регулатора 34, струји на ниже до простора 28 и улази у зону оксидације кроз отворе 25. Секундарни ваздух за сагоревање који улази кроз отворе 26 улази у простор на дну реактора 29 кроз регулатор протока 37. Материјал од термичког преоптерећења у зони сагоревања штите два цилиндрична прстена од ватросталног бетона: спољни 30 и унутрашњи 31. У случају кад реактор ради као катао тада кроз простор између цилиндара 15 и 16 струји вода.

Сасвим је сигурно да се пројектовани гасификатор/катао не може користити у индустријским условима и да се од њега не може очекивати велики животни век. Конструкција реактора је веома сложена и он је превасходно намењен за експериментисање са: висином зоне редукције,



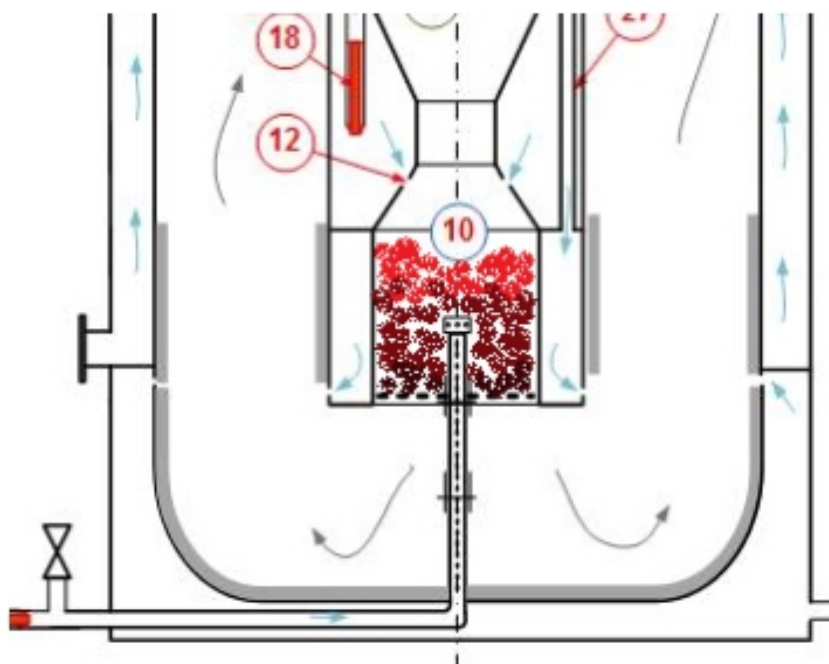
## **Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе ТР 33027**

променом капацитета истосмерног гасификатора, променом температуре ваздуха за гасификацију, вишестепеним увођењем ваздуха за гасификацију, различитим начинима покретања система и коришћењем датог реактора као котла за загревање воде.

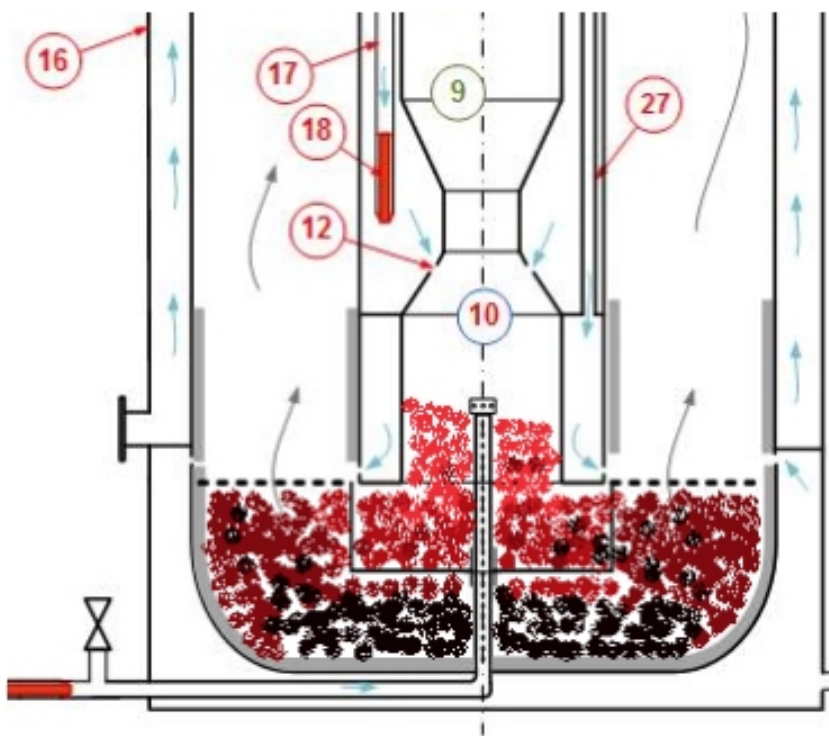


Слика 1. Принципа шема истосмерног гасификатора са системом за предгревање ваздуха за гасификацију.





Слика 2. Принцип рада гасификатора на малом капацитету.



Слика 3. Принцип рада гасификатора на великом капацитету.

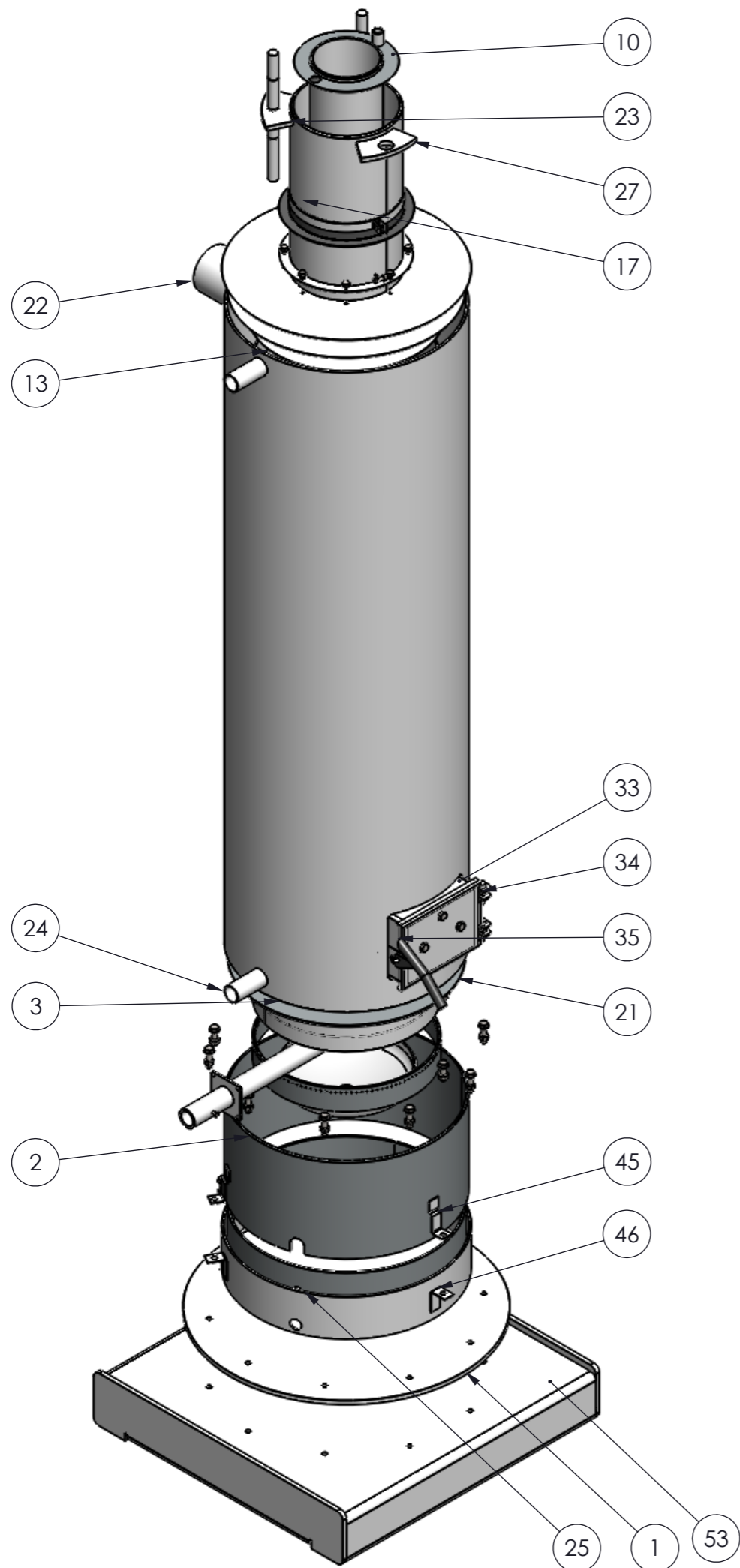


Слика 4. Изглед гасификатора.



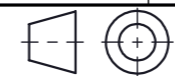
## ПРИЛОЗИ – СКЛОПНИ ЦРТЕЖ ГАСИФИКАТОРА

НАПОМЕНА: ЗБОГ ЈАВНЕ ДОСТУПНОСТИ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА КОТЕ НА  
ЦРТЕЖИМА СУ НАМЕРНО УКЛОЊЕНЕ

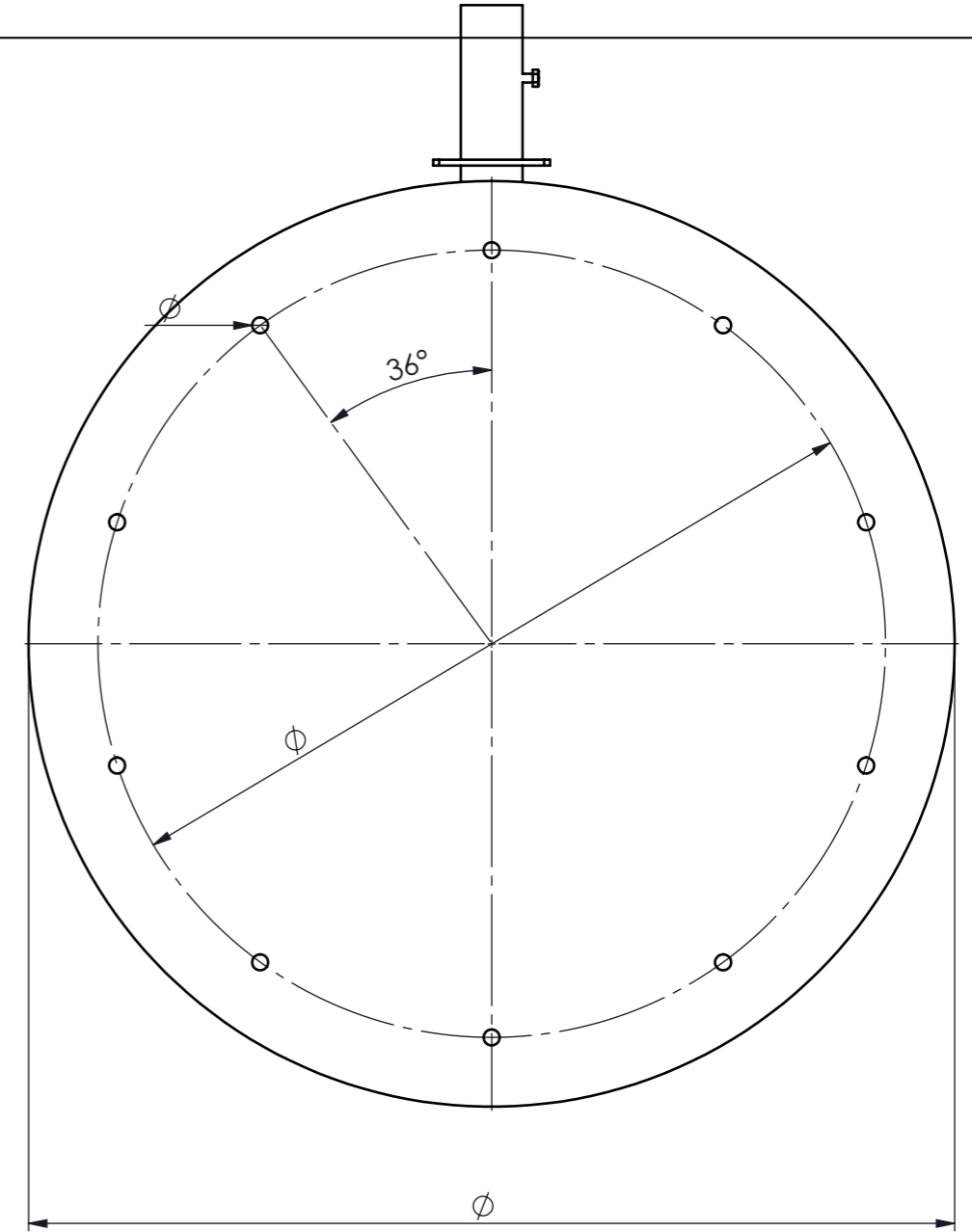
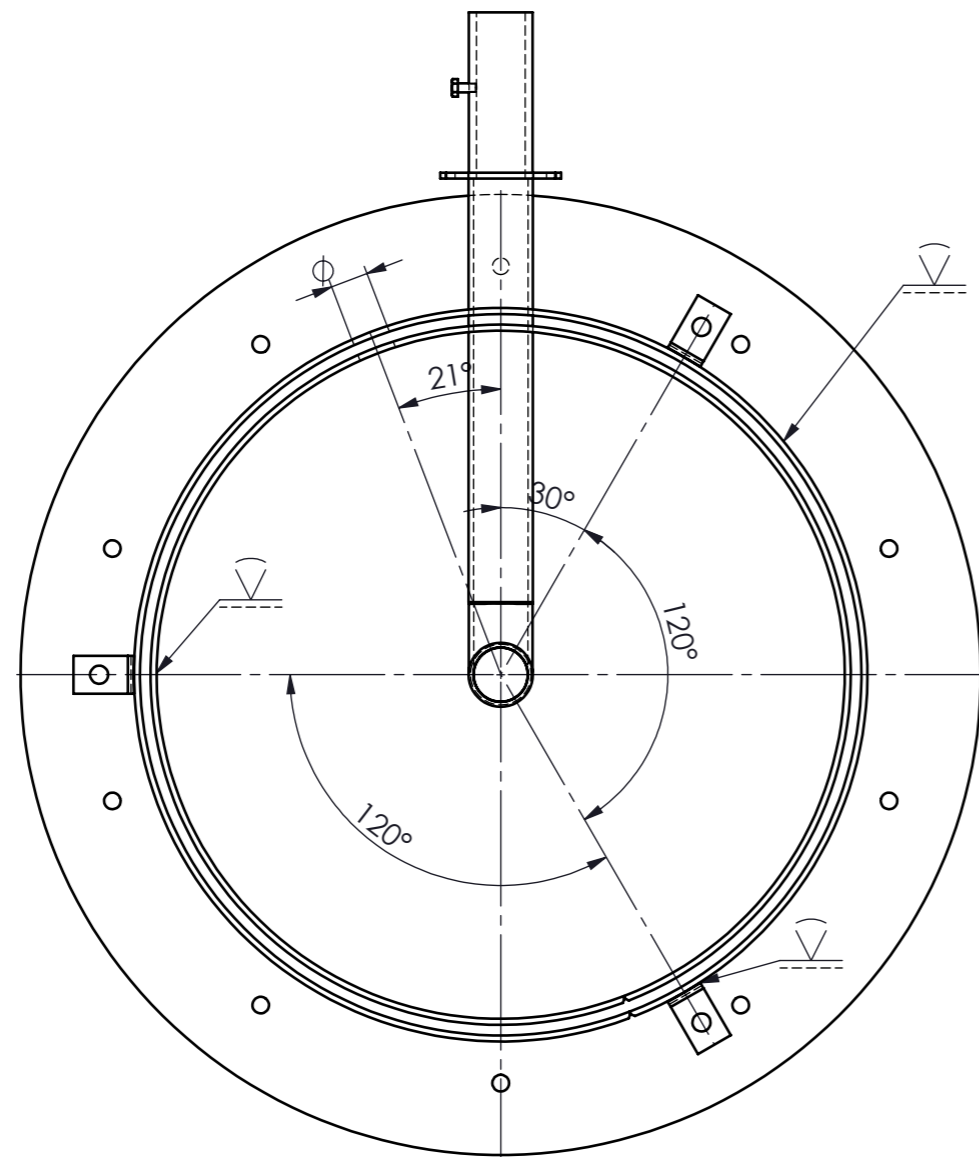
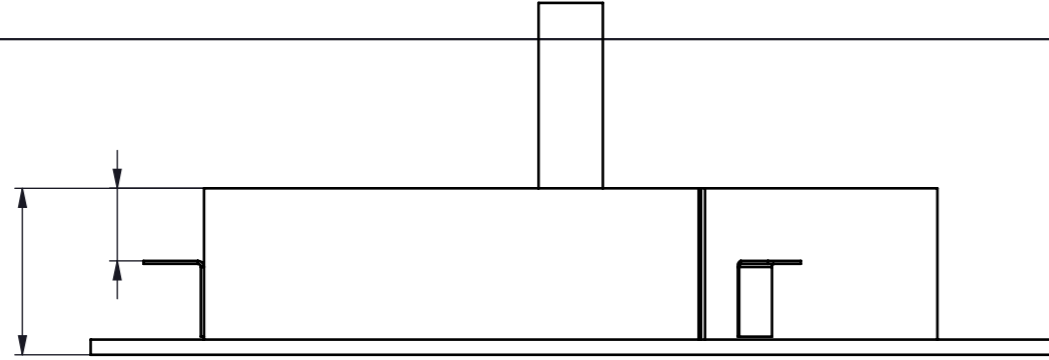


		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]:		Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
#		Konstru.	25.10.2013	
Dimenzije [mm]:		Kontrol.		
A: 0	B: 0	H: 0	Odobrio	
Interna oznaka				OZNAKA - BROJ CRTEŽA
Proizvod:				<b>S0002195</b>

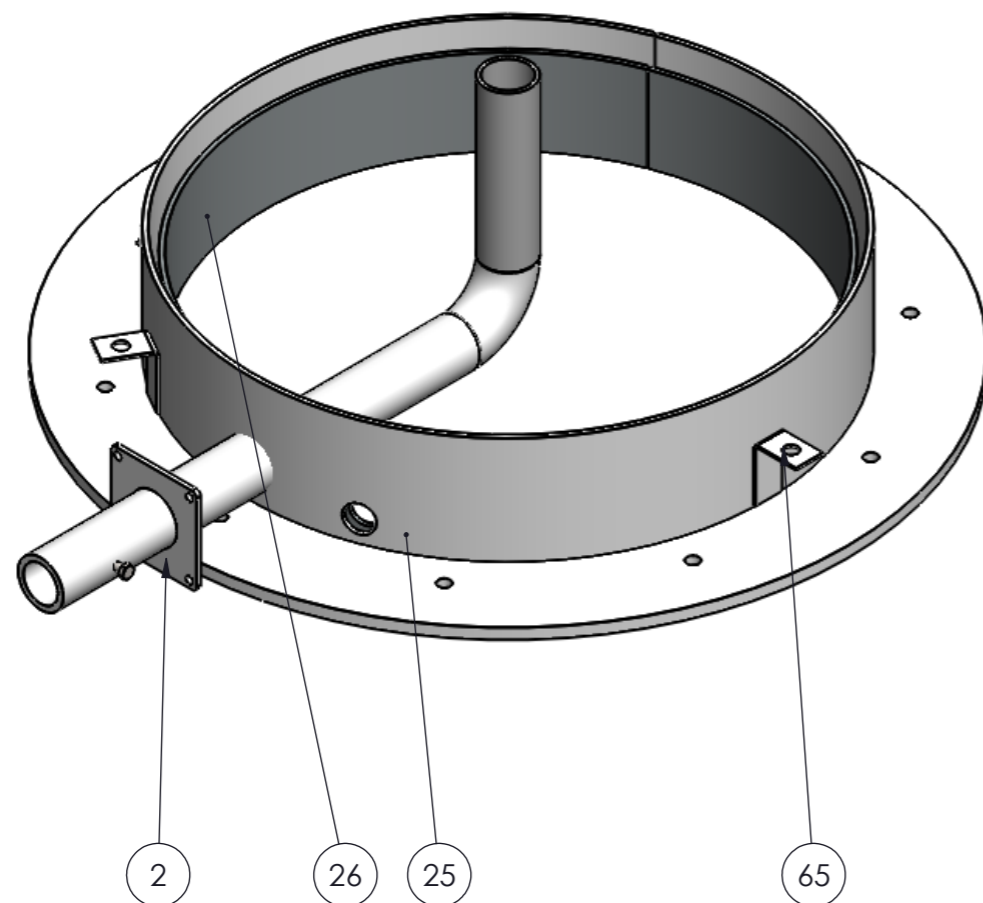
9	D0007539	Suzeni deo cilindra, Ø141,3x300mm	1	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	141.3	300		P 235 TR1
10	D0008461	Zaptivac pokretnog cilindra	2		204	204		1.4713
11	D0007542	Zaptivac	1		204	204		1.4713
12	D0007543	Cev, Ø219.1xD1@Extrude-Thin1@D0007543.SLDPRTmm	1		1580.36	668.501		Č0361/S235 JR
13	D0007546	Zaptivac 3	1		382	382		Č0361/S235 JR
14	D0007280	Vodjica, Ø20x300mm	2	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	20	300		Č0361/S235 JRG2
15	D0007565	Prsten	1		725.582	17.5		Č0361/S235 JR
16	D0007566	Prsten 2	1		463	463		Č0361/S235 JR
17	D0007567	Zaptivanje gornje	1		485	485		Č0361/S235 JR
18	D0007569	Zaptivna guma	1	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	0	0	0	Guma
19	D0007568	Pritisni zaptivac	1		260	260		Č0361/S235 JR
20	D0007570	Šelna	1		747.015	20		Č0361/S235 JR
21	D0007790	Zaptivni prsten solje	1		462	462		1.4713
22	D0007791	Dimnjaca, Ø101,6x200mm	1	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	101.6	200		Č1212
23	D0007281	Nosac vodjica	2		10			
24	K0000131	Muf. 1"x85mm	2		2.15	38		Č4580
25	D0007854	Podni prsten	1		4	1503.06	100	Č0361/S235 JR
26	D0007855	Podni prsten unutrašnji	1		4	1441.5	80	1.4713
27	D0007853	Nosac vijka	1		10			
28	K0000011	Vijak sa šestougaonom glavom M8 x 16 DIN 933	8		M8	16		5.4
29	K0000028	Podloška 8.4 x 1.6 A DIN 125	8		8.4	1.6		
30	K0000253	Vijak sa šestougaonom glavom M6 x 20 DIN 933	1		M6	20		5.4
31	K0000072	Podloška M6 - 6.4 x 1.6 - A DIN 125	2		6.4	1.6		
32	K0000071	Navrtka šestougaona M6 DIN 934	1		M6			5.4
33	S0002297	Sklop rama za vrata	1		0	0	0	
34	S0002318	Sklop vrata 2	1		0	0	0	
35	K0000384	Plasticna rucica kamina	1		0	0	0	Plastika
36	D0008015	Bolcn za vrata, Ø7x50mm	2	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	5	25		Č1212
37	D0008016	Zatezna sarka	2		3	34.2	24	Č0361/S235 JR
38	D0008018	Bolcn, Ø20x50mm	2	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	12	50		Č1212
39	SW-5254	Brezon sarke gornjih vrata	2		12	50		Č0361/S235 JRG2
40	K0000009	Navrtka šestougaona M12 DIN934	4		M12			Material <not specified>
41	K0000030	Podloška 10.5 x 2 A DIN 125	16		10.5	2		
42	K0000156	Vijak sa šestougaonom glavom M10 x 40 DIN 933	10		M10	40		5.4
43	K0000006	Navrtka šestougaona M10 DIN 934	13		M10			Material <not specified>
44	S0000776	Sklop kucista keramickog grejaca BIOMax 23	1		0	0	0	
45	D0007289	Ojacanje gasifikatora	3		2	0	0	Č0361/S235 JR
46	D0008363	Ojacanje poda	3		2	86.0212	25	Č0361/S235 JR
47	K0000016	Vijak sa šestougaonom glavom M10 x 35 DIN 933	3		M10	35		5.4
48	S0002411	Proba solja	1		0	0	0	
49	S0002413	Sklop gornjeg konusa	1		0	0	0	
50	S0002414	Sklop donjeg konusnog dela	1		0	0	0	
51	D0008430	Cev zagrejaca, Ø21,3x1587mm	1	Thickness@Default@Part3.SLDPRT	21.3	1587		Č1212
52	S0002458	Mehanizam resetke	1		0	0	0	
53	S0003117	Sklop poda gasogeneratora	1		0	0	0	
54	S0004099	SklopLeister	1					



Oznaka materijala:		Masa / kg /	Revizija:
Debljina lima [mm]:	Potpis:	Datum:	NAZIV
#	Konstru.		
Dimenzije [mm]:	Kontrol.		
A: B: H:	Odobrio		
Interna oznaka			OZNAKA - BROJ CRTEŽA S0002195
Proizvod:			



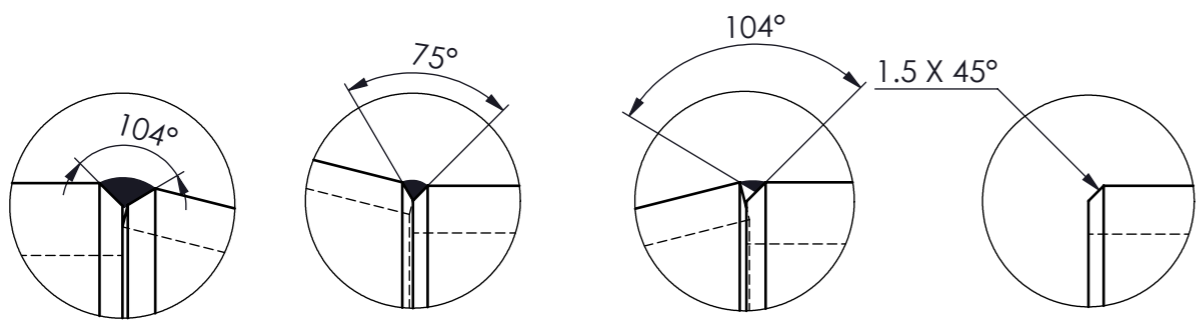
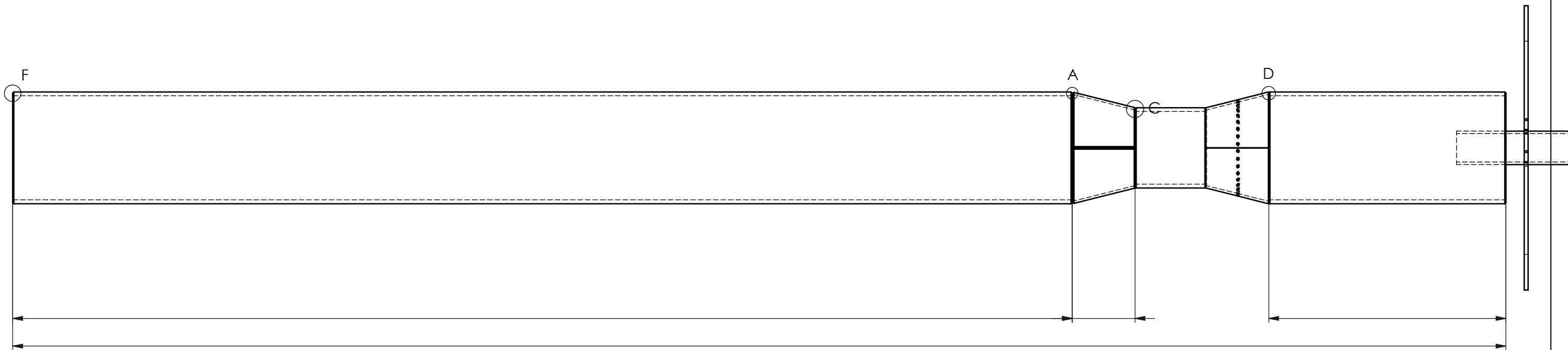
		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]: <b>#</b>		Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
Dimenzije [mm]: A: 0   B: 0   H: 0		Konstr.:	25.10.2013	
Interna oznaka		Kontrol.:		
Proizvod:		Odobrio:	OZNAKA - BROJ CRTEŽA <b>S0002195</b>	



Poz.	Br. dela	Naziv	Kom.	D. lima	A	B	C	Material
2	D0007288	Pod gasifikatora	1	10	635	635		Č0361/S235 JR
25	D0007854	Podni prsten	1	4	1503.06	100		Č0361/S235 JR
26	D0007855	Podni prsten unutrašnji	1	4	1441.5	80		1.4713
65	D0008363	Ojacanje poda	3	2	86.0212	25		Č0361/S235 JR
71	D0008430	Cev zagrejaca, Ø21,3x1587mm	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	21.3	1587		Č1212
72	D0008461	Zaptivac pokretnog cilindra	2	2	204	204		1.4713
73	D0008458	Podizna sipka	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	15	130	0	Č0361/S235 JRG2
74	D0008459	Pokretni deo resetke, Ø26,9x200mm	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	26.9	120		Č1212
75	D0008460	Bolcn za pokretni deo resetke	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	6	60	0	Č0000/St00
76	D0008232	Resetka 2	1	2	120	120		1.4713
77	D0017728	Prsten1	1	5	360	195		1.4713
78	D0017729	Prsten2	1	5	360	180		1.4713
79	D0017740	D00023973	1	4	80	80		Č0361/S235 JR
80	D0017741	Cev, Ø42.2x110mm	1	5	42.2	110		P 235 TR1
81	D0017743	StezacGrejaca	1		M6	12		5.4
82	D0017738	CevHoriz1	1		0	0	0	P 235 TR1
83	D0017742	Luk	1	3.2	42.2	48		Č0361/S235 JR
84	D0017739	CevVert1	1		0	0	0	Material <not specified>
85	SW-8206	Cev prva kućišta grejača	1	1.2	20	100		Č0361/S235 JR
86	SW-8207	Cev druga keramičkog grejača	1	1.2	22	80		Č0361/S235 JR

Napomena : Voditi racuna da se otvori na poziciji 26 i poziciji 27 poklope

		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]:	#	Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
Dimenzije [mm]:		Konstru.	25.10.2013	
A: 0   B: 0   H: 0		Kontrol.		
Interna oznaka		Odobrio		
Proizvod:				OZNAKA - BROJ CRTEŽA <b>S0002195</b>



DETAIL A  
SCALE 2 : 1

DETAIL C  
SCALE 1.3 : 1

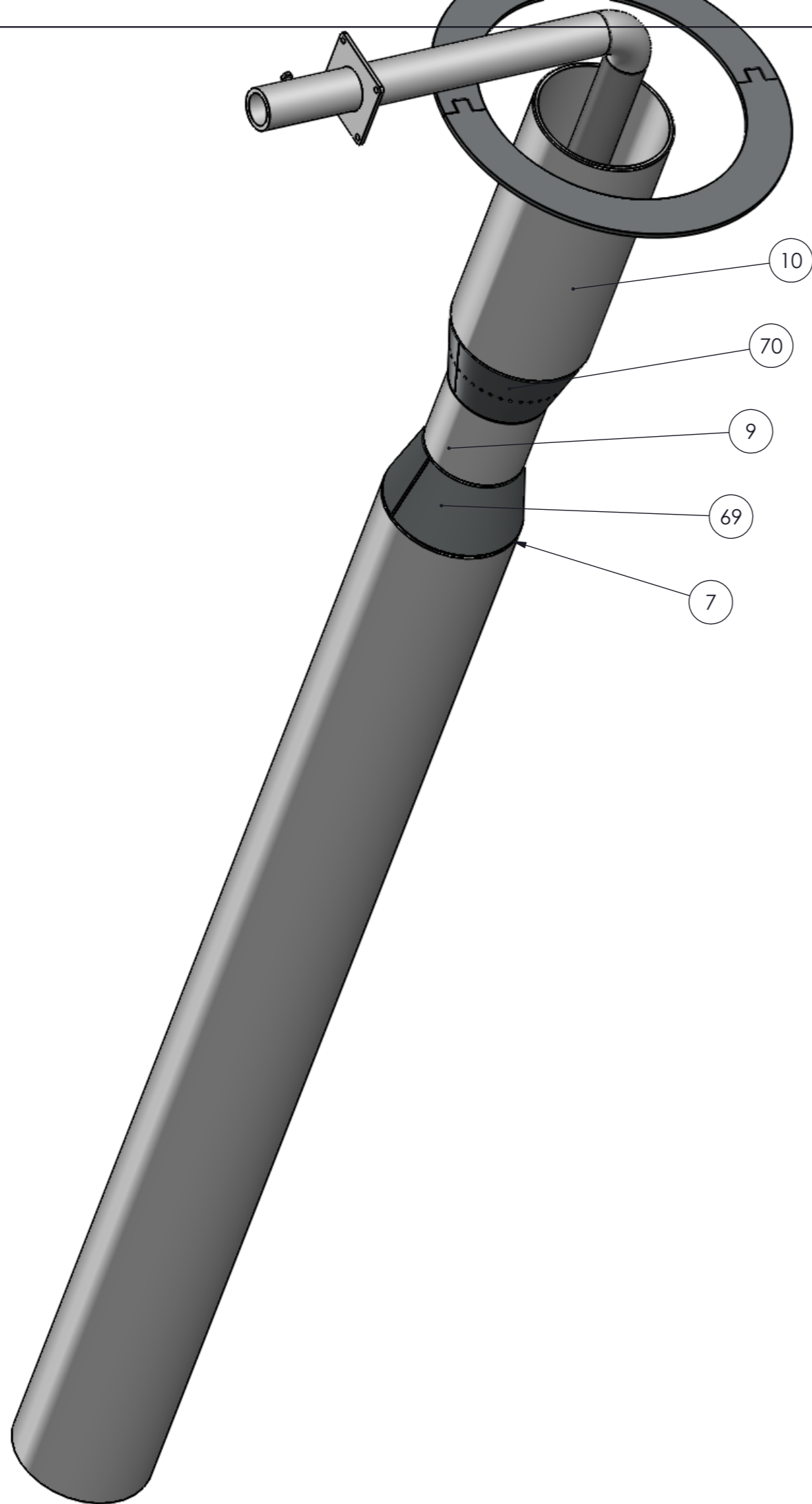
DETAIL D  
SCALE 1.7 : 1

DETAIL F  
SCALE 2 : 1.5

**Napomena : Ivce na konusnom delu izbrusiti po potrebi radi boljeg priranja cilindricnih površina**

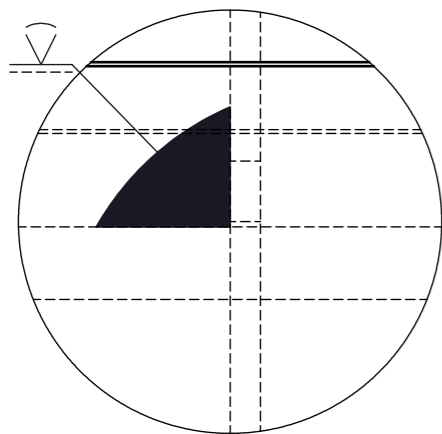
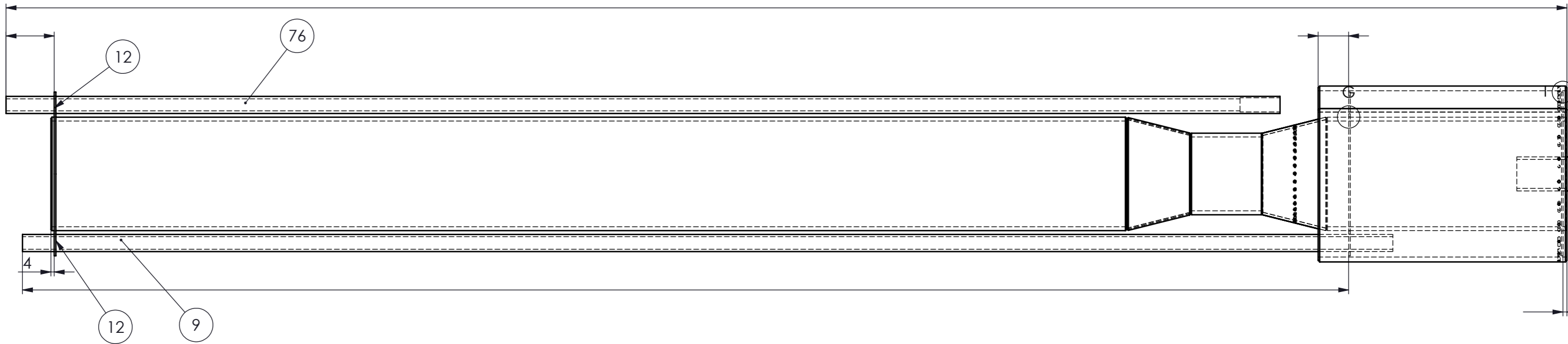
		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]:		Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
#		Konstr.:	25.10.2013	
Dimenzije [mm]:		Kontrol.:		
A: 0	B: 0	H: 0	Odobrio:	
Interna oznaka				
Proizvod:				
		OZNAKA - BROJ CRTEŽA <b>S0002195</b>		



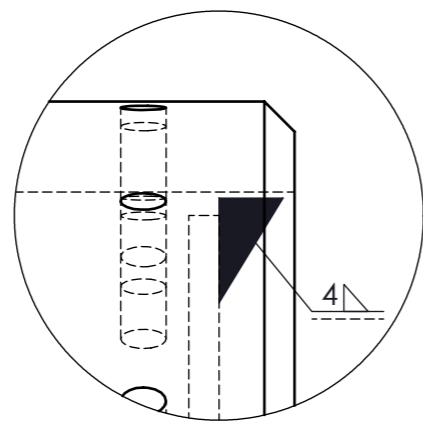


10	D0007539	Suzeni deo cilindra, Ø141,3x300mm	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	141.3	300		P 235 TR1
69	D0008415	Gornji konusni deo I	2	3	212.113	96.1106		1.4713
70	D0008419	Donji konusni deo I	2	4	214.075	96.3007		1.4713
71	D0008430	Cev zagrejaca, Ø21,3x1587mm	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	21.3	1587		Č1212
72	D0008461	Zaptivac pokretnog cilindra	2	2	204	204		1.4713
73	D0008458	Podizna sipka	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	15	130	0	Č0361/S235 JRG2
74	D0008459	Pokretni deo resetke, Ø26,9x200mm	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	26.9	120		Č1212
75	D0008460	Bolcn za pokretni deo resetke	1	Thickn ess@D efault @Part 3.SLDP RT	6	60	0	Č0000/St00
76	D0008232	Resetka 2	1	2	120	120		1.4713
77	D0017728	Prsten1	1	5	360	195		1.4713
78	D0017729	Prsten2	1	5	360	180		1.4713
79	D0017740	D00023973	1	4	80	80		Č0361/S235 JR
80	D0017741	Cev, Ø42.2x110mm	1	5	42.2	110		P 235 TR1
81	D0017743	StezacGrejaca	1		M6	12		5.4
82	D0017738	CevHoriz1	1		0	0	0	P 235 TR1
83	D0017742	Luk	1	3.2	42.2	48		Č0361/S235 JR
84	D0017739	CevVert1	1		0	0	0	Material <not specified>
85	SW-8206	Cev prva kućišta grejača	1	1.2	20	100		Č0361/S235 JR
86	SW-8207	Cev druga keramičkog grejača	1	1.2	22	80		Č0361/S235 JR

		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]:	#	Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
Dimenzije [mm]:	A: 0 B: 0 H: 0	Konstru.:	25.10.2013	
Interna oznaka		Kontrol.:		
Proizvod:		Odobrio:		
				OZNAKA - BROJ CRTEŽA <b>S0002195</b>




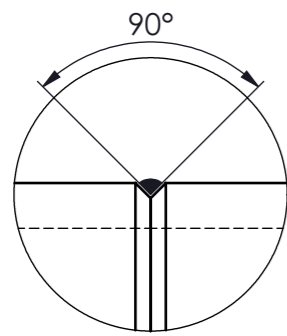
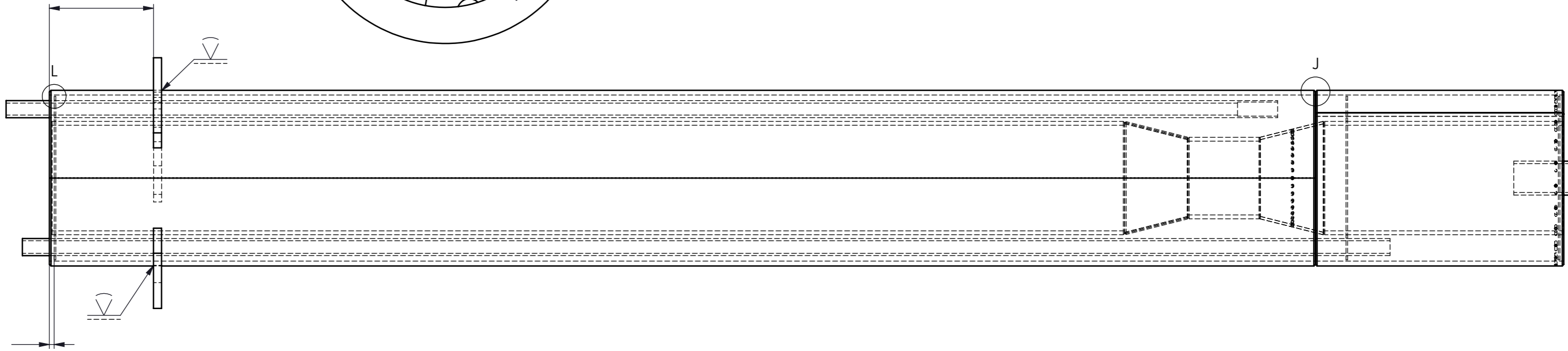
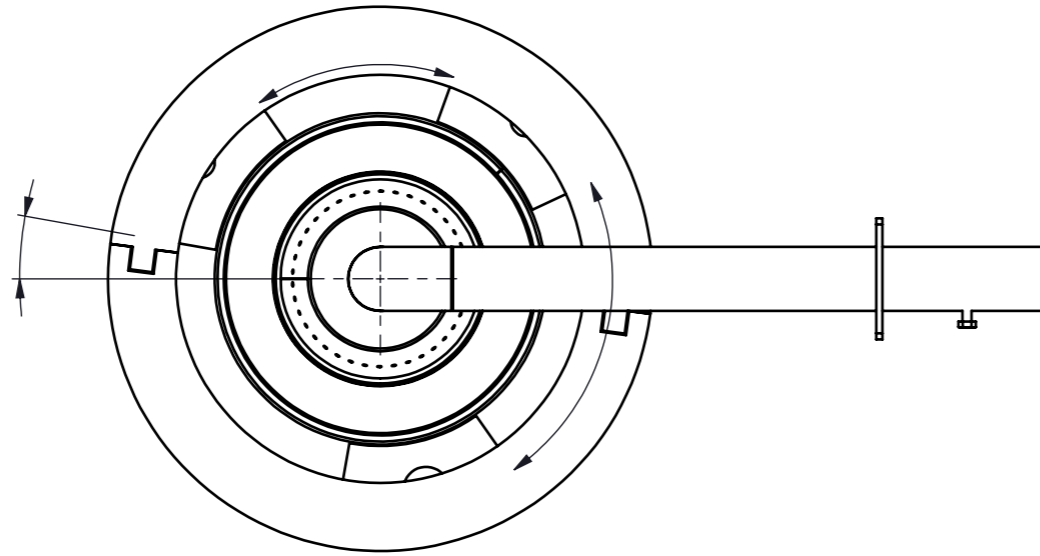
DETAIL G  
SCALE 2 : 1



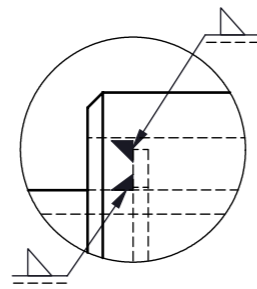
DETAIL I  
SCALE 2 : 1

**Napomena: Poziciju 9 pricvrstiti za poziciju 12 sa dva uboda elektrodom a ostatak zazora zatvoriti keramickim blatom**

		Oznaka materijala:	Masa / kg / <b>369.487</b>	Revizija:
Debljina lima [mm]: <b>#</b>	Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>	
Dimenzije [mm]:	Konstru.	25.10.2013		
A: 0   B: 0   H: 0	Kontrol.			
Interna oznaka	Odobrio		OZNAKA - BROJ CRTEŽA <b>S0002195</b>	
Proizvod:				

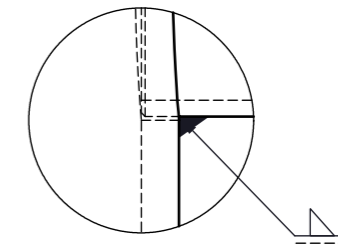
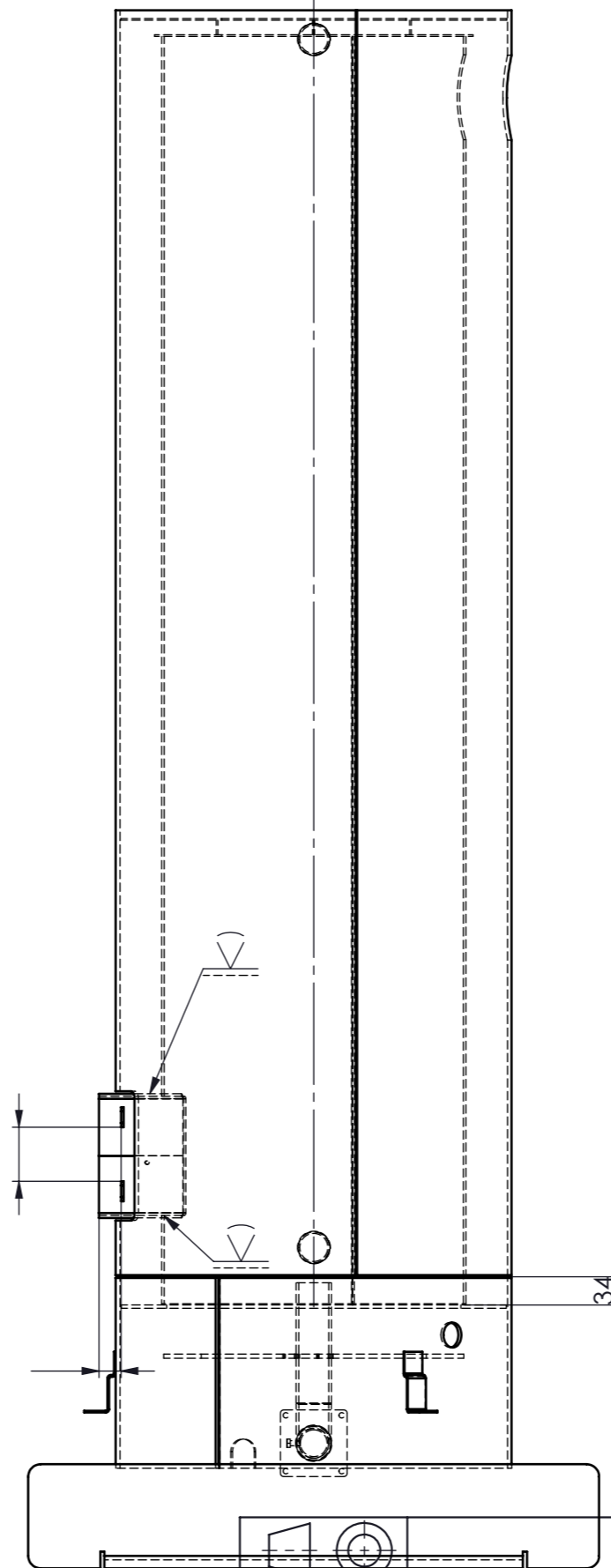
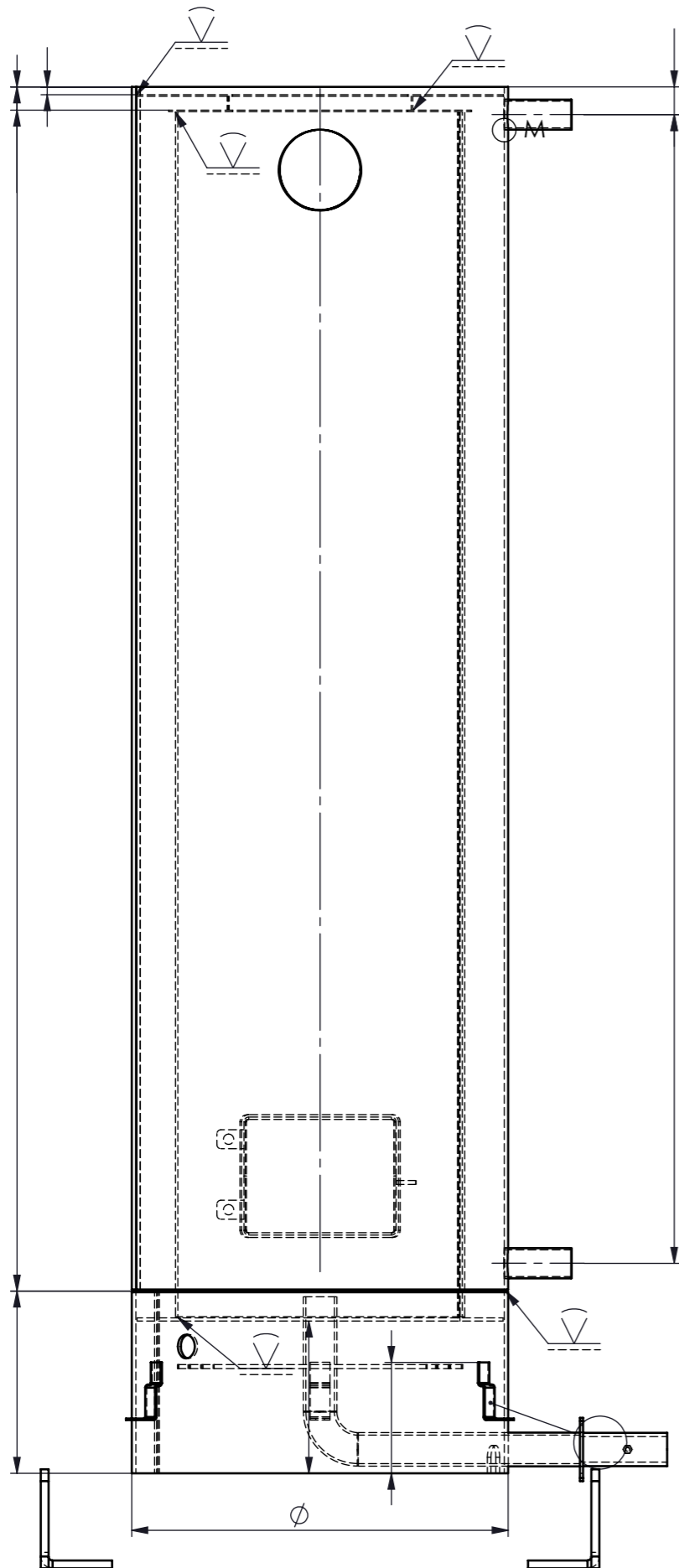


DETAIL J  
SCALE 1:1



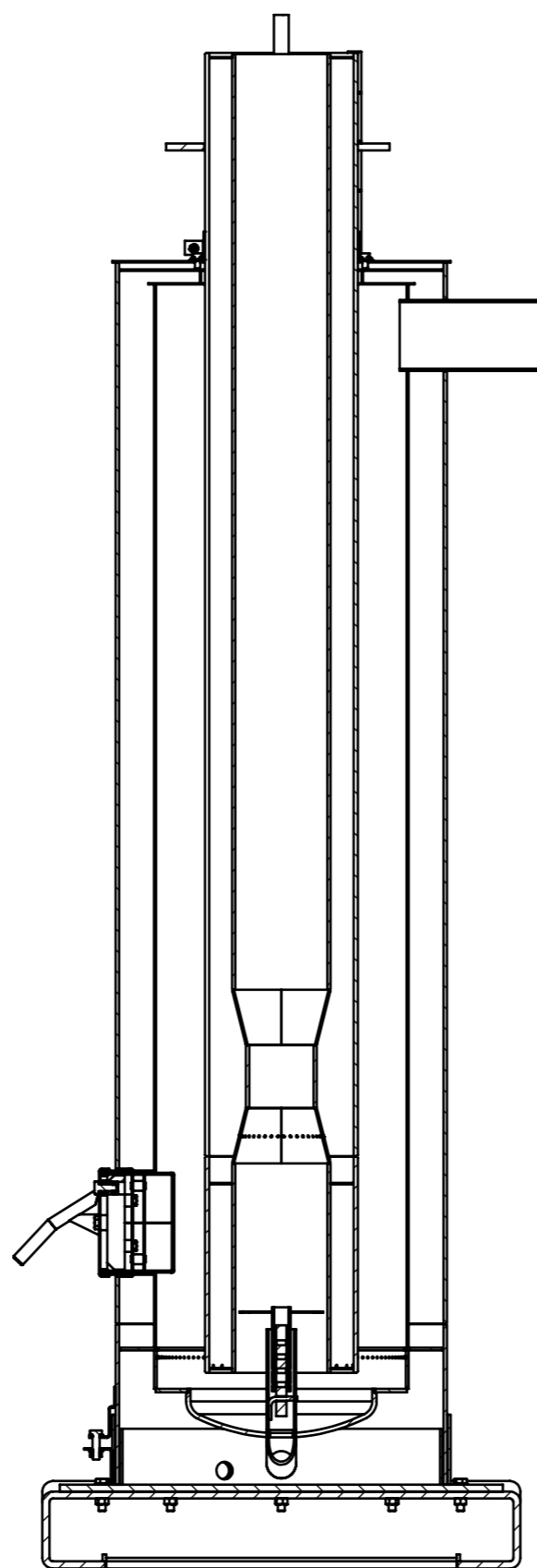
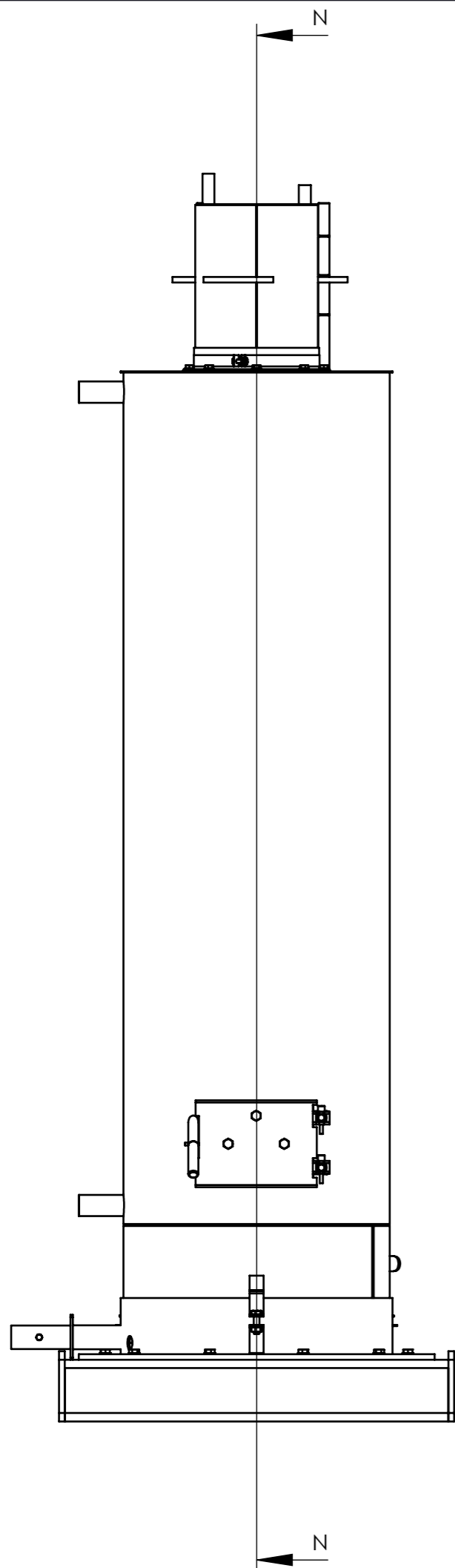
DETAIL L  
SCALE 1:1

		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]: <b>#</b>		Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
Dimenzije [mm]: A: 0   B: 0   H: 0		Konstru.:	25.10.2013	
Interna oznaka Proizvod:		Kontrol.:		
		Odobrio:  		OZNAKA - BROJ CRTEŽA <b>S0002195</b>



DETAIL M  
SCALE 1 : 1

Debljina lima [mm]: #		Potpis:	Datum:	Oznaka materijala:	Masa / kg / 369.487	Revizija:
Dimenzije [mm]:		Konstru.	25.10.2013	NAZIV <b>Sklop</b>		
A: 0	B: 0	H: 0	Kontrol.			
Interna oznaka		Odobrio		OZNAKA - BROJ CRTEŽA S0002195		
Proizvod:						



SECTION N-N  
SCALE 1 : 10

		Oznaka materijala:	Masa / kg /	Revizija:
			<b>369.487</b>	
Debljina lima [mm]:		Potpis:	Datum:	NAZIV <b>Sklop</b>
#		Konstru.	25.10.2013	
Dimenzije [mm]:		Kontrol.		
A: 0   B: 0   H: 0		Odobrio		
Interna oznaka				OZNAKA - BROJ CRTEŽA
Proizvod:				<b>S0002195</b>

## Прилози

- Мишљење рецензента
- Мишљење о прихватању техничког решења

Датум: 24.10.2016. год.

## **Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признање техничког решења**

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС бр. 38/2008“), **рецензент проф. др Александар Јововић, оценио је да су испуњени услови за признавање својства техничког решења следећем резултату научно-истраживачког рада:**

### **Назив: ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ**

#### **Аутори:**

др Раде Карамарковић, доцент  
др Владан Карамарковић, редовни професор  
др Миљан Марашевић, доцент  
др Анђела Лазаревић, доцент  
Ненад Стојић, асистент  
Милош Николић, истраживач стипендиста министарства

#### **Категорија техничког решења:**

М83 Ново лабораторијско постројење по Правилнику из 2008. год.

### **Образложење**

Предложено решење урађено је за: Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу, као један од резултата истраживања на пројекту: **Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе**, евиденциони број ТР 33027, руководилац пројекта проф. др Владан Карамарковић.

Субјект који решење користи је: Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу.

Резултати су верификовани од стране следећих тела: Техничко решење је верификовано, лабораторијским испитивањима од стране Лабораторије за топлотну технику и заштиту животне средине на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву и радовима који су објављени на међународним скуповима у којима су презентовани резултати испитивања.

Предложено решење се користи на следећи начин: Реактор за гасификацију је истосмерног тока, при чему се повишена температура продуката гасификације снижава предгревањем ваздуха за сагоревање које се обавља у вишецилиндричном, за ове намене посебно конструисаном размењивачу топлоте („систем цев у цеви“). Конструкција реактора омогућава његово коришћење као котла на биомасу, при чему је сагоревање вишестепено.

Област на коју се техничко решење односи је: Техничко решење припада области коју чине уређаји за гасификацију и сагоревање дрвне биомасе.

Проблем који се техничким решењем решава: Техничко решење омогућава:

- ▶ гасификацију дрвне биомасе: дрвог пелета и дрвне сечке. Реактор није погодан за гасификацију биљне биомасе чији пепео садржи веће количине алкалних и земноалкалних метала (једногодишње биљке),
- ▶ гасификацију са предгрејаним ваздухом (изнад 300 °C),
- ▶ гасификацију са две зоне увођења ваздуха (вишестепена оксидација),
- ▶ различите величине зона редукације (различите дужине путање гаса кроз зону редукације),
- ▶ промену снаге реактора тј. промену капацитета од 3 до 10 kg/h,
- ▶ коришћење реактора као котла са вишестепеним сагоревањем биомасе.

Стање решености проблема у свету: Детаљан преглед технички најнапредније технологије гасификације дат је у раду Аренфелда (Jesper Ahrenfeldt, Tobias P. Thomsen, Ulrik Henriksen, Lasse R. Clausen, Biomass gasification cogeneration e A review of state of the art technology and near future perspectives, Applied Thermal Engineering 50(2):1407–1417, February 2013). Тренутно у когенерационим постројењима на биомасу доминирају системи са истосмерном гасификацијом због своје поузданости и производње горивог гаса који не захтева додатну опрему за елиминацију тера. По ауторима овог решења најбољи концепт истосмерне гасификације је тзв. Викиншки процес . Он је потпуно одвојио зоне пиролизе, оксидације и гасификације (редукције). Сушење и пиролиза се обављају коришћењем отпадне топлоте из процеса, гасовити продукти пиролизе оксидишу се коришћењем предгрејаног ваздуха а редукују се проласком кроз слој угљеника који се гасификује.

Суштина техничког решења: Суштина техничког решења састоји се у добијању гасовитог горива у истосмерном реактору коришћењем предгрејаног ваздуха за гасификацију биомасе.

Карактеристике предложеног техничког решења: Техничко решење карактерише: гасификација дрвене биомасе, могућност коришћења предгрејаног ваздуха температуре изнад 300 °C, гасификацију са две зоне увођења ваздуха (вишестепена оксидација) и могућност коришћења реактора као котла са вишестепеним сагоревањем биомасе.

*Детаљном анализом предложеног техничког решења под називом „ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ“ као рецензент оцењујем да резултат научноистраживачког рада поред стручне компоненте пружа оргинални научноистраживачки допринос и по важећим критеријумима може се сврстати у категорију М83.*

Рецензент:

проф. др Александар Јововић, редовни професор  
 Машински факулте  
 Универзитета у Београду



Датум 26.10.2016. год.

## **Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признање техничког решења**

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС бр. 38/2008“), **рецензент проф. др Бранислав Стојановић, оценио је да су испуњени услови за признавање својства техничког решења следећем резултату научно-истраживачког рада:**

### **Назив: ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ**

#### **Аутори:**

др Раде Карамарковић, доцент  
др Владан Карамарковић, редовни професор  
др Миљан Марашевић, доцент  
др Анђела Лазаревић, доцент  
Ненад Стојић, асистент  
Милош Николић, истраживач стипендиста министарства

#### **Категорија техничког решења:**

М83 Ново лабораторијско постројење по Правилнику из 2008. год.

### **Образложење**

Предложено решење урађено је за: Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу, као један од резултата истраживања на пројекту: **Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе**, евиденциони број ТР 33027, руководилац пројекта проф. др Владан Карамарковић.

Субјект који решење користи је: Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитета у Крагујевцу.

Резултати су верификовани на следећи начин, тј од стране следећих тела: У фирми „Радијатор“ Инжењеринг Краљево направљен је истосмерни гасификатор. Техничко решење је верификовано лабораторијским испитивањима у Лабораторији за топлотну технику и заштиту животне средине и радовима и моделима који су проистекли из ових испитивања.

Предложено решење се користи на следећи начин: Реактор је тако пројектован да омогућава варирање више за процес значајних параметара: температуре предгревања ваздуха, начина увођења кисеоника (на једном и/или два места, при чему се њихово растојање може мењати), дужине путање гасова кроз зону редукције, као и да служи као котло на биомасу која вишестепено сагорева. Функција котла се постиже увођењем ваздуха са обе стране дна средишњег прстена. Конструкција реактора је веома сложена и он је првенствено намењен за лабораторијску примену за топлотне снаге до 50 kW.

Област на коју се техничко решење односи је: Техничко решење припада области коју чине уређаји за гасификацију и сагоревање дрвне биомасе.

Проблем који се техничким решењем решава: Пројектно решење омогућава:

- ▶ гасификацију дрвне биомасе: дрвног пелета и дрвне сечке (реактор није погодан за гасификацију пољопривредних остатака и биомасе добијене од једногодишњих биљака),
- ▶ гасификацију са предгрејаним ваздухом,
- ▶ гасификацију са једном и/или две зоне увођења ваздуха,
- ▶ различите величине зона оксидације и редукције,
- ▶ промену капацитета реактора од 3 до 10 kg/h гаса,
- ▶ коришћење реактора као котла за двостепено сагоревање биомсе (први степен укључује производњу горивог гаса док се у другом степену он сагорева),

Дата конструкција треба да омогући комбиновање позитивних карактеристика истосмерних и супротносмерних реактора за гасификацију.

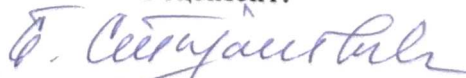
Стање решености проблема у свету: Истосмерни реактори за гасификацију су данас доминантни уређаји у малим когенерационим системима који укључују гасификацију биомасе. Аутори су дали преглед најновијих патената из ове области који решавају проблеме непотпуне конверзије угљеника, ниске топлотне моћи произведеног горивог гаса и садржаја тера и прашине у њему. Детаљан преглед технички најнапредније технологије дат је у раду Аренфелда (Jesper Ahrenfeldt, Tobias P. Thomsen, Ulrik Henriksen, Lasse R. Clausen, Biomass gasification cogeneration: A review of state of the art technology and near future perspectives, Applied Thermal Engineering 50(2):1407–1417, February 2013).

Суштина техничког решења: решење је намењено производњи горивог гаса, гаса који у себи има хемијску енергију, из биогорива - дрвног пелета и дрвне сечке. Конструкција омогућава варирање више радних параметара: величине зоне оксидације и редукције, температуре предгревања ваздуха, и може истовремено да ради и као котло на биомасу.

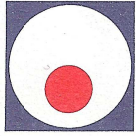
Карактеристике предложеног техничког решења су: да у односу на конвенционалне истосмерне реакторе за гасификацију, омогућава производњу горивог гаса веће топлотне моћи са мање чврстих честица. Такође техничко решење омогућава вишестепену оксидацију, различиту дужину зоне редукције, могућност коришћења вазуа предгрејаног на високу температуру, и рад реактора као котла.

*Детаљном анализом предложеног техничког решења под називом „ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ“ као рецензент оцењујем да резултат научноистраживачког рада поред стручне компоненте пружа оригинални научноистраживачки допринос и по важећим критеријумима може се сврстати у категорију М83.*

Рецензент:



др Бранислав Стојановић, редовни професор  
Машински факултет у Нишу



Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву  
Универзитета у Крагујевцу

36000 Краљево, Доситејева 19  
Тел/факс 036 383 269, 383 377  
The Faculty of Mechanical  
and Civil Engineering in Kraljevo  
The University of Kragujevac  
Serbia, 36000 Kraljevo, Dositejeva 19  
Phone/fax +381 36 383 269, 383 377  
E-mail: office@mfkv.kg.ac.rs  
www.mfkv.kg.ac.rs

## МИШЉЕЊЕ КОРИСНИКА

О НОВОМ ТЕХНИЧКОМ РЕШЕЊУ:

# ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ

Предложено техничко решење „ИСТОСМЕРНИ РЕАКТОР СА СИСТЕМОМ ЗА ПРЕДГРЕВАЊЕ ВАЗДУХА ЗА ГАСИФИКАЦИЈУ“ реализовано је 2016. године у оквиру пројекта „Развој енергетски ефикасног постројења за гасификацију и когенерацију чврсте биомасе“, евиденциони број пројекта ТР 33027.

Истосмерни реактор са системом за предгревање ваздуха пројектован је тако да обједини позитивне карактеристике реактора истосмерног и супротносмерног тока. Конструкција се састоји од четири коаксијална цилиндра, при чему се кроз унутрашњи цилиндар уводи дрвна биомаса која се гасификује (влажности мање од 15%), док кроз три прстенасте површине које праве четири цилиндра, ваздух (медијум за гасификацију) струји кроз спољашњи и унутрашњи прстен. Произведени гориви гас струји кроз средњи цилиндар. Овакав начин струјања омогућава размену топлоте између горивог гаса и ваздуха унутар самог реактора, тако да гас напушта реактор на температури која је карактеристична за супротносмерне реакторе за гасификацију у непокретном слоју. Реактор је тако пројектован да омогућава да он буде и котло на биомасу која вишестепено сагорева. Да би реактор имао функцију котла, неопходно је ваздух увести са обе стране на доњем делу средишњег прстена.

Пројектно решење омогућава:

- ▶ гасификацију дрвне биомасе: дрвног пелета и дрвне сечке. Реактор није погодан за гасификацију биљне биомасе чији пепео садржи веће количине алкалних и земноалкалних метала (једногодишње биљке),
- ▶ гасификацију са предгрејаним ваздухом (изнад 300 °С),
- ▶ гасификацију са две зоне увођења ваздуха (вишестепена оксидација),
- ▶ различите величине зона редукције (различите дужине путање гаса кроз зону редукције),
- ▶ промену снаге реактора тј. промену капацитета од 3 до 10 kg/h,
- ▶ коришћење реактора као котла са вишестепеним сагоревањем биомасе.

Краљево,  
септембар 2016. године

ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И  
ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ  
ДЕКАН



Др. Миле Савковић, редовни професор