

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Хидрауличне и пнеуматске машине

Број индекса: 59/2012

Милош Р. Проковић

**ПРОЈЕКАТ ТРАКТОРСКОГ ПРИКЉУЧНОГ УРЕЂАЈА-
ТУРБОПУМПЕ ЗА НАВОДЊАВАЊЕ ПОЉОПРИВРЕДНИХ
ПОВРШИНА**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др инж. Милун Ј. Бабић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Студент Милош Проковић треба да у оквиру свог завршног рада:

1. истражи методологију заливања башта и пољоприврених површина водом из бунара, водних акумулација и водотокова, са посебним освртом на постојећа искуства примене турбопумпи које се као и сви остали прикључни уређаји погоне директним спрезањем са вратилом које служи за погон тих уређаја;
2. истражи погонске карактеристике (снаге на прикључним вратилима и бројеви обртаја тих вратила) најраспрострањенијих трактора домаће производње који треба да послуже као улазне величине за пројектовање одговарајуће туропумпе за наводњавање;
3. истражи и уради оптимално идејно решење турбопумпе из тачке 2. и њене спреге са трактором;
4. прорачуна основне мере свих виталних димензија турбопумпе из тачке 3.;
5. уради 3D електроску конструкцијску документацију турбопумпе из тачке 4.;
6. припреми упутство за монтажу/демонтажу и коришћење турбопумпе из тачке 5.;
7. изнесе одговарајуће закључке.

Препоручена литература:

1. Милун Ј. Бабић, Светислав Стојковић: „Турбомашине – Теорија и математичко моделирање“, Просвета, Београд, 1997..

Крагујевац 2015.

Ментор рада

Проф. др инж. Милун Ј. Бабић

Резиме

У оквиру завршног рада обрађена је конструкција и дизајн турбопумпе за наводњавање пољопривредних површина. Истражене су погонске карактеристике трактора, који је у раду представљен као погонски уређај турбопумпе. У овом раду је дат детаљан прорачун свих виталних делова као и кућишта пумпе, уз сликовне илустрације изведених пумпи као и слике модела пројектоване уз помоћ софтверског алата Catia. Такође се у раду могу видети и радионички цртежи радног кола и кућишта пумпе, тако да је могуће изградити исту.

Кључне речи: турбопумпа, трактор, наводњавање

Abstract

As part of the task discussed the construction and design of turbopump for agricultural irrigation. Explored the operating characteristics of the tractor, which is in the work presented as a device driver turbopump. This task gives a detailed budget of all vital parts and the pump housing, with image illustrations rendered pumps as well as pictures of models designed with the help of software tools Catia. You can see the work and workshop drawings of the impeller and the pump housing, so it is possible to create the same.

Keywords: turbopump, tractor, irrigation

САДРЖАЈ

1. Методологија заливања башта и пољопривредних површина.....	4
1.1 Заливање земљишта	4
1.2 Системи за наводњавање пољопривредног земљишта	7
2. Теоријска анализа радних услова за турбопумпу за наводњавање пољопривредних површина	11
3. Трактор као погонски уређај турбопумпе	12
3.1 Дијаграм снаге у функцији броја обртаја за тракторски мотор Perkins 1103D-33	15
4. Усисно и потисно пумпно црево	16
5. Прорачун основних мера пумпе	17
5.1 Одређивање врсте пумпе и њене конструкције :	17
5.2 Одређивање основних параметара на улазу у радно :	19
5.3 Одређивање основних параметара на излазу из радног кола.....	21
5.4 Провера усвојених вредности коефицијента сужења:	24
5.5 Прорачун облика лопатица:.....	25
5.6 Прорачун спирале кружног попречног пресека:	27
6. Приказ изгледа пројектоване тракторске турбопумпе.....	29
7. Радионички цртеж радног кола турбопумпе.....	30
8. Шема склапања турбопумпе	33
9. Закључци.....	34
10. Литература	35

1. Методологија заливања башта и пољопривредних површина

1.1 Заливање земљишта

Све биљке врше транспирацију¹. Биљке узимају воду из земљишта са раствореним минералним материјама, тако оне снабдевају себе са хранљивим материјама. Степен влажности земљишта је један од фактора који указује да је биљци потребна вода. (Слика 1). На недостатак земљишне влаге биљке су веома осетљиве, посебно су осетљиве на недостатак воде у фазама цветања и плодоношења, када може доћи до опадања цветова и тек формираних плодова. Такође су осетљиве на преобилну влажност и аерацију² земљишта, када биљке почињу да жуте, а у тежим случајевима долази до опадања цветова и лишћа.

Кретањем воде кроз биљку успоставља се тургор³, тј биљка под притиском воде стоји усправно. Ако биљка због суше изгуби већу количину воде, она вене и нагиње се јер јој је тургор опао.

У различитим периодима године, биљке је потребно заливати у различитим интервалима и количинама. У врелим летњим данима заливање је неопходно сваког дана ако су биљке изложене директној сунчевој светлости. Ако је биљка у дужем периоду остала без воде, долази до озбиљних оштећења биљних органа. Треба напоменути да ако биљка која је у дужем периоду била без воде, онда она након што добије већу количину воде, може да одбаци своје листове, а затим произведе нове, ако заливање буде уредно настављено.



Сл.1 – Различите влажности земљишта, а) сува земља, б) влажна земља, ц) мокра земља

¹ **транспирација** – процес преноса влаге кроз биљку од корена до малих пора на доњој страни листова, где прелази у гасовито агрегатно стање и ослобађа у атмосферу. Процењује се да се око 10% влаге у атмосфери ослобађа из биљака путем транспирације.

² **аерација** – улаз атмосферског ваздуха у земљиште

³ **тургор** – притисак који унутрашњост ћелије врши на ћелијске зидове

Заливање се може вршити на три начина:

- ручно,
- полуаутоматски и
- аутоматски.

Ручно заливање изискује најмање новчаних средстава, али тражи више рада и времена. Односи се на класично поливање зелене површине водом помоћу црева или кофа. Овакав вид заливања може се обављати на мањим зеленим површинама као што су окућнице димензија до 2 ара. Ручно заливање је могуће поједноставити уградњом цеви пречника 3/4" испод нивоа земље, са прикаченим брзим спојницама (*quick coupling valve*). Брза спојница елиминише проблем вучења дугачког црева по зеленој површини, јер је у том случају могуће да се прикачи на водоводни систем на више места на зеленој површини за кратко време.

За полуаутоматско заливање потребне су прскалице које под притиском воде распршују исту на неколико млазева покривајући тако одређени део зелене површине. Постоји велики број различитих типова ових прскалица (слика 2), које на тржишту не достижу велику цену тако да су прихватљиви за свачији џеп. Прскалице се прикључују на чесму најчешће цевима пречника 1/2" и 3/4". Мана оваквих прскалица је у томе што их је неопходно, након одређеног временског периода, премештати на друге делове зелене површине и у томе што нису ефикасне у заливању осталих типова биљка осим траве и покривача тла.



Сл.2 – Различите врсте прскалица

Најједноставнији начин заливања, који уједно и изискује највише новчаних средстава је уградња аутоматског заливног система (Слика 3). Предност овог система је у томе што тражи најмање људског ангажовања и што је количина воде која се испоручује равномерно распоређена по зеленој површини. Без обзира на аутоматизацију, овакав вид заливања тражи константни људски надзор у погледу одржавања и подешавања система како би се временом прилагодио временским и педолошким⁴ условима.

Оквирно, потребна количина воде је 7 l m^2 сваког другог дана за травњаке и покриваче тла и 60 l m^2 за остале биљке. Свака биљка има своје посебне потребе за одређеном количином воде. Та количина је условљена врстом биљке, временом у току кога је изложена сунцу, типом земљишта, да ли је биљка посађена у жардињери или не, постојањем малча⁵, интензитетом ветра, влажношћу и температуром ваздуха итд...

Тврда вода представља воду са садржајем калцијумових и магнезијумових соли и не погодује биљкама. Веома је честа у градским водоводима, а отклања се нанофилтрацијом⁶ или додавањем калцијум хидроксида. [1]



Сл.3 – Аутоматски заливни систем за заливање травњака

⁴ **педологија** – наука о тлу, његовом саставу и облицима

⁵ **малч** - материјал којим се прекрива простор око биљака ради

⁶ **нанофилтрација** – техника која се користи за уклањање органских супстанци, као што су микро полутанти и мултивалентни јони

1.2 Системи за наводњавање пољопривредног земљишта

Наводњавање је хидротехничка мера побољшања физичких својстава земљишта додавањем воде како би се постигла оптимална влага за време вегетације усева и засада и тиме постигли оптимални приноси. Наводњавање се може примењивати у току једне фазе вегетације или током целог вегетацијског периода.

Глобалне климатске промене имају као једну од последица, све израженија топла и сушна лета. Интензивна пољопривредна производња се не сме ослонити само на атмосферске падавине. Малобројни стручни извори указују на недопустиво низак проценат наводњаваних обрадивих површина.

Подсетићемо само на предности наводњавања:

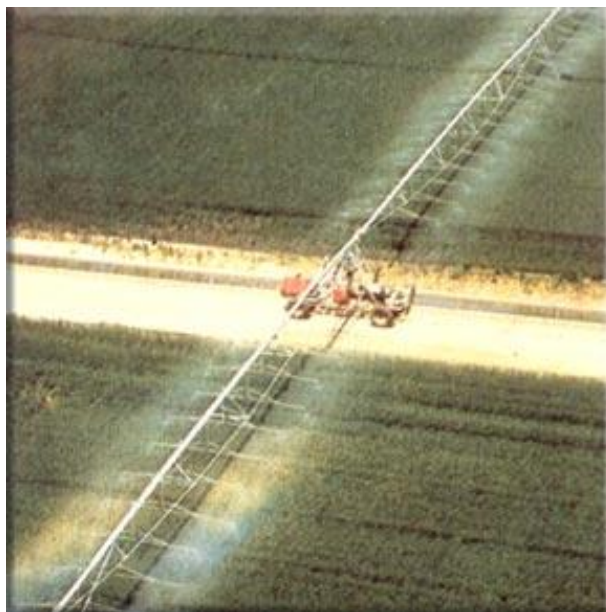
- значајно се повећавају приноси,
- могуће је добијање пострних усева и међуусева,
- из екстензивне прелази у интензивну пољопривредну производњу,
- проширује се асортиман ратарских и повртарских производа,
- унапређује се сточарство,
- поспешује развој металопрерађивачке индустрије у делу производње пумпи, погонских машина, цеви и цевних арамтура, распрскивача, итд.

Величина наводњаване површине одређује тип система за наводњавање.

Постоје следећи различити типови система за заливање:

- ренцер,
- линеар,
- центар пивот,
- бочно крило на крило,
- тифон,
- кап по кап.

Ренцер је уређај за наводњавање великих површина (Слика 4), и до 200ha. Креће се линијски и уздуж по парцели, тако што главна машина иде паралелно са каналом из кога захвата воду. По целој дужини распоређене су спреј млазнице. Уређај је високо софистициран, управљање је компјутерско и обезбеђује уједначено заливање по целој површини.



Сл. 4 – Систем за наводњавање ренцер

Линеар (Слика 5) је врло сличан ренцеру, али постоје три битне разлике:

- може бити обртни,
- снабдева се водом преко хидранта и укопане цевне мреже,
- може се искористити и за ђубрење течним вештачким ђубривима, односно заштиту култура пестицидима.



Сл. 5 – Систем за наводњавање линеар

Центар пивот је систем за наводњавање (Слика 6) који има носач на бетонском постољу, око кога се обрће остављајући концентричне кружне трагове на њиви.



Сл. 6 – Заливање парцеле центар пивот системом

Бочно крило на крило је уређај од алуминијумских цеви пречника $\Phi 110$ - 125 mm, појединачне дужине 10m, међусобно везаних крутим спојницама и монтираних на точкове пречника 1.5m (Слика 7). Укупна дужина уређаја је и до 400m. По завршеном заливању једне површине, уређај се транслаторно помера на нову позицију. Користи се за ниске културе.



Сл. 7 – Заливање парцеле системом бочно крило на крило

Тифон је уређај за наводњавање средње великих површина до 30ha (Слика 8). На великом добошу намотано је полиетиленско црево пречника $\Phi 50$ mm до $\Phi 125$ mm, а све то носи метална шасија на точковима. У зависности од пречника црева и улазног притиска, тифон у једном пролазу може залити и до 4.5ha.



Сл. 8 – Тифон за наводњавање земљишта

Систем кап по кап доводи воду до саме биљке.

Систем карактеришу:

- велике уштеде воде и енергије,
- изостанак промене структуре земљишта,
- лако управљање и могућност дозирања ђубрива и пестицида.

Мана овог система је често зачепљење излазних отвора на цреву, па због тога изискује поуздану филтерску јединицу. Користи се на малим парцелама. [2]

2. Теоријска анализа радних услова за турбопумпу за наводњавање пољопривредних површина

Укупно коришћено пољопривредно земљиште на територији Републике Србије износи 5.051.000 хектара, а коришћена оранична површина 3.295.000 хектара. Око 70 одсто укупне територије Србије чини пољопривредно земљиште, док је 30 одсто под шумама.

У укупној пољопривредној површини оранице и баште учествују са 64,6 одсто, пашњаци са 16,2 одсто, ливаде са 12,8 одсто, воћњаци са 4,7 одсто и виногради са 1 одсто.

У структури засејаних површина ораница и башта жита учествују са 58,2 одсто, индустријско биље са 13,2 одсто, повртно биље са 7,8 одсто, а крмно биље са 13,4 одсто.

У укупној вредности пољопривредне производње у 2013. години биљна производња је учествовала са 67,4 одсто, а сточарска са 38,1 одсто.

Под важнијим усевима засејане су следеће површине: под пшеницом 493.000 хектара, кукурузом 1.235.000 хектара, сунцокретом и сојом по 171.000 хектара и шећерном репом 67.000 хектара.

Број пољопривредних друштава и земљорадничких задруга износи 789, док је регистровано 778.891 породично пољопривредно газдинство.

Клима је умерено-континентална, а просечна температура у току године износи 11 до 12 степени Целзијуса. Просечна годишња количина падавина износи 600 до 800 милилитара у равничарским пределима, а у планинским од 800 до 1.200 милилитара.

Повољни природни и климатски услови поспешују развој пољопривреде. Равничарски региони Војводине, Косова Поља, Метохије, Поморавља, Посавине, Тамнаве, Крушевачког и Лесковачког поља погодни су за механизовану ратарску и повртарску производњу. [3]

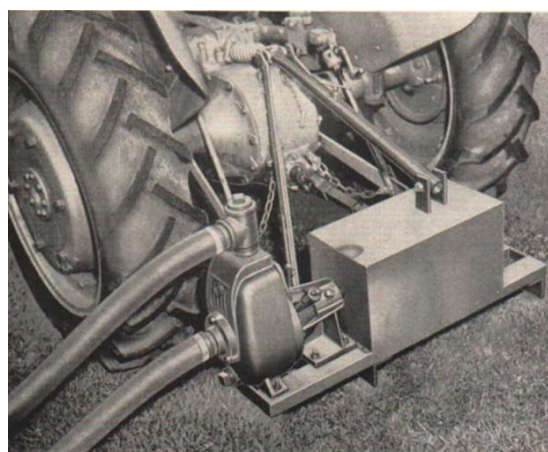
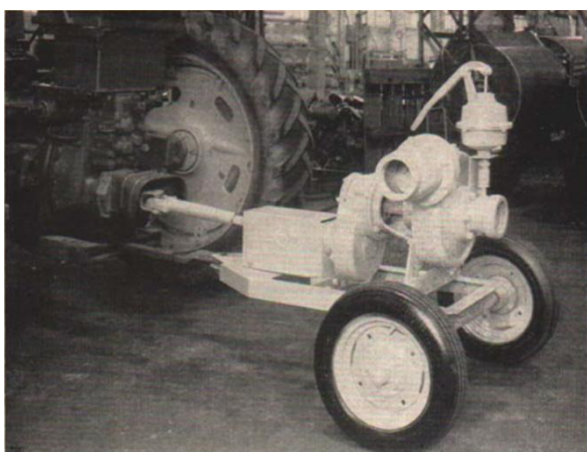
3. Трактор као погонски уређај турбопумпе

Тракторске пумпе за наводњавање пољопривредних земљишта погођене уз помоћ карданског вратила трактора постале су део неопходне пољопривредне опреме, тако да њихови продавци морају познавати снаге које покрећу такве турбопумпе.

У литератури [4] се може наћи податак да је 85% максималне излазне снаге трактора довољно за константан рад турбопумпе за наводњавање.

Има различитих техничких решења за погон тракторске пумпе за наводњавање (Слика 9), али је најучесталији погон карданским вратилом трактора. Овај погон захтева константно јачу снагу излаза на вратилу трактора за период од неколико сати до неколико дана. Ова константна снага захтева да се пумпа дизајнира тако да њена улазна снага не пређе 75% од могуће максималне снаге на излазу из трактора. Максималних 75% би значило да мотор трактора мора бити у добром механичком стању. Низак проценат би требао да се користи за старије тракторе, где он представља 50% ако су у добром механичком стању.

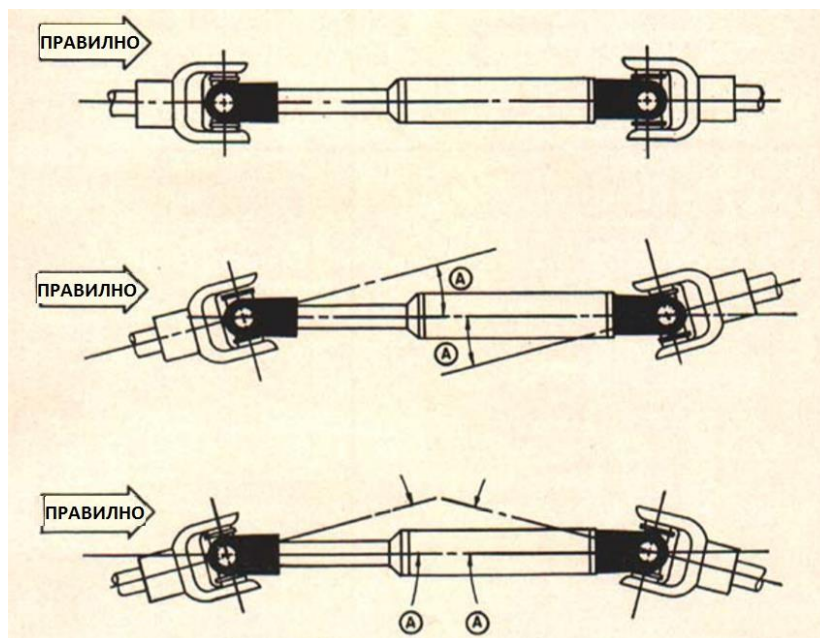
Пумпа и регулатор брзине се налазе на приколици са два точка прикачене за полеђе трактора, или везана директно за трактор.



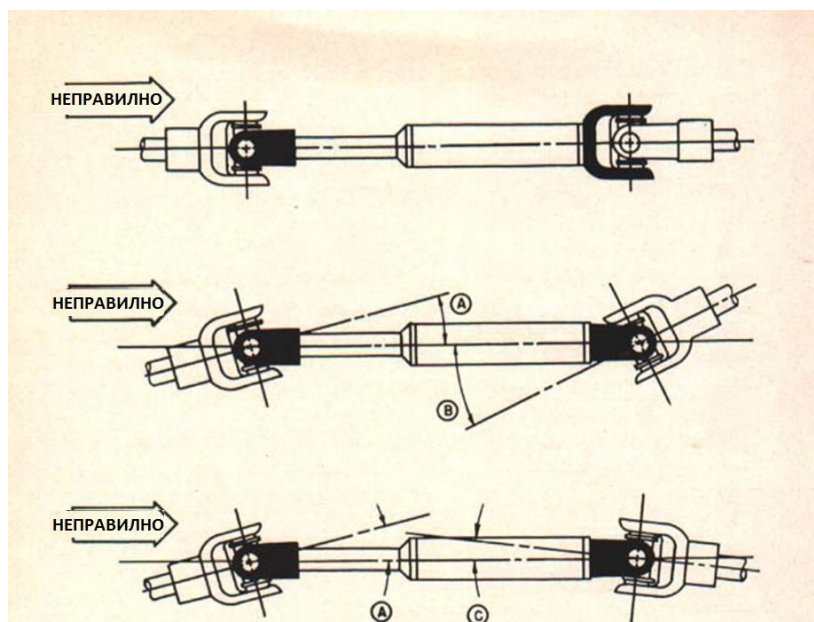
Сл. 9 – Конструктивно извођење ношења турбопумпе. а) са приколицом, б) директно

Већина произвођача трактора се често придржава ASAE и SAE стандарда за позиционирање излаза карданског вратила и прикључних кука на својим тракторима. Дужност конструктора пумпи је да конструишу приколицу као и положај вратила пумпе да одговарају прикључним местима на трактору.

Да би се елиминисали скоро све могуће варијације брзине ротације као и вибрације, ударе и хабање вратило мора бити постављено у правилном положају. Правилан положај вратила се налази на Слици 10, док се неправилни положаји налазе на Слици 11.



Сл. 10 – Правилан положај спреге вратила



Сл. 11 – Неправилан положај спреге вратила

Што се тиче сигурности, спој тракторског излазног вратила и пумпног вратила мора бити у потпуности изолован. Оклопи за изолацију би требали да буду пратећи део опреме пумпе. Ротирајући елементи који штите делове

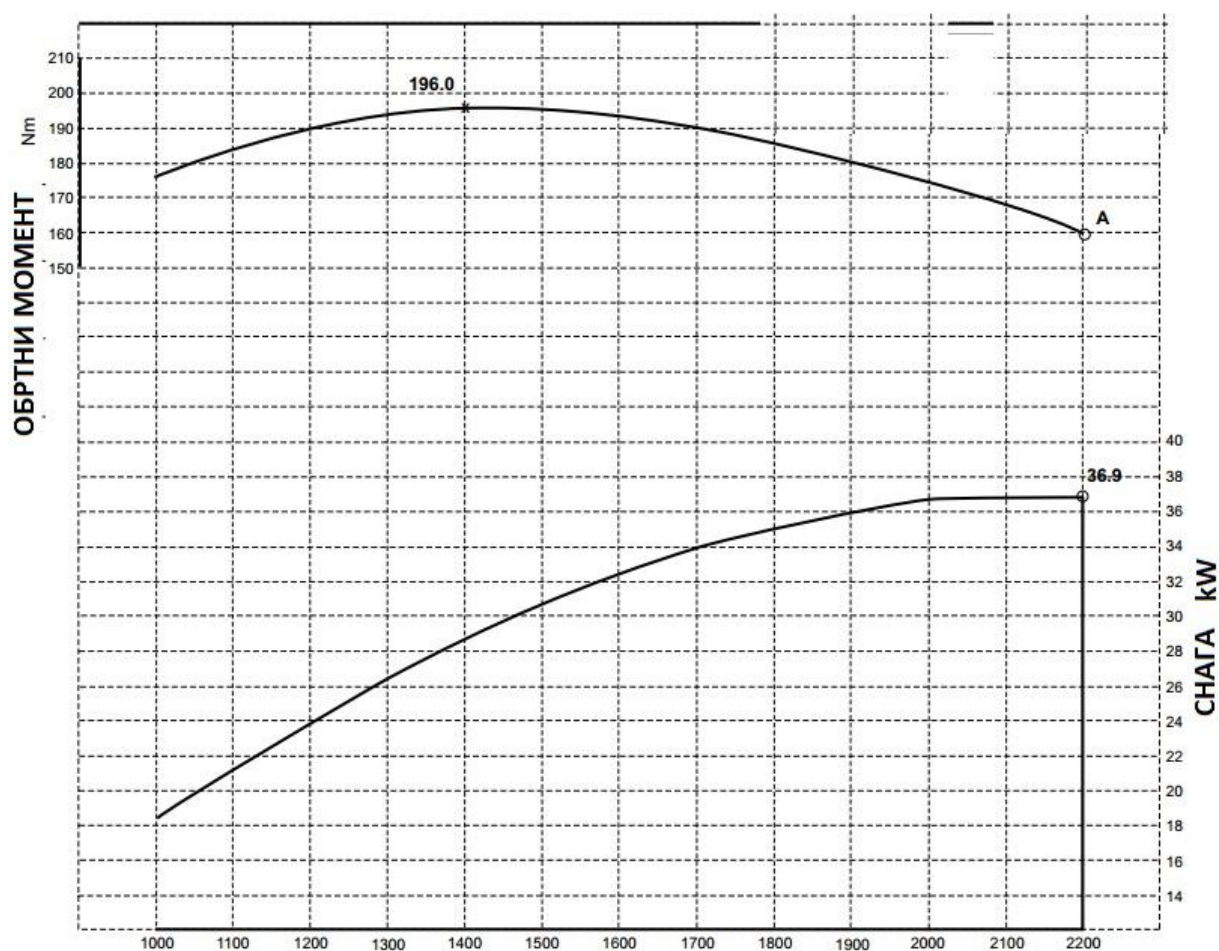
који ротирају се обично уграђују на пумпном делу, и они су фиксни део опреме пумпе.

Приказ боја обртаја на излазу карданског вратила најчешће коришћених трактора у Србији дат је у табели 1:

Модел трактора	Тип мотора	Снага мотора [kW]	Број обртаја прикључног вратила [min ⁻¹]
IMT-539S 2WD	IMR M33/T	31	540
IMT-549 4WD	IMR DM33/T	34.5	540
IMT-550 4WD	Perkins 1103D-33	36.9	540
IMT-555 4WD	IMR DM33/TT	37.9	540
IMT-539 2WD/4WD	IMR M33/T/ Simpson S25	29.5	540
IMT-549 2WD/4WD	IMR DM33/T	34.5	540
IMT-2050 4WD	Perkins 1103D-33	36.9	540
IMR R47	IMR DM34T	34.5	540
IMR R65 SUPER	IMR DM34T	47	540
IMR R76 SUPER	IMR S44T	56	540

Табела 1.: Број обртаја на излазном вратилу трактора у зависности од модела и произвођача [5]

3.1 Дијаграм снаге у функцији броја обртаја за тракторски мотор Perkins 1103D-33



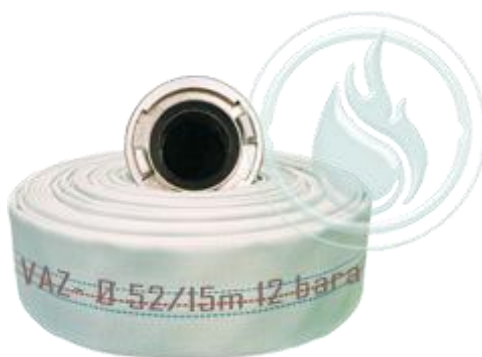
Граф.1- Дијаграм снаге у функцији од броја обртаја Perkins 1103D-33 [6]

Перформансе мотора	Бруто вредност	Брзина [min^{-1}]
Максимална снага [kW]	36.9	2200
Максимални обртни момент [Nm]	196	1400

4. Усисно и потисно пумпно црево

Ватрогасна црева или потисна црева (Слика 12) служе за допрему воде од пумпе, хидранта, разделнице или неког другог уређаја до места пожара уз помоћ млазница. Црева ВАЗ производње израђена су по модерној технологији од:

- конца специјалне намене (синтетичких упредених влакана)
- унутрашњег заптивног слоја термопластичног полиуретана: високе растегљивости, отпорног на кидање, абразивно трење, хидролитичко хабање, ниске и високе температуре.



Сл.12- Ватрогасно црево Jablanica Ф52

"JABLANICA"					
Техничке карактеристике	Ø25 1" D	Ø52 2" C	Ø75 3" B		Ø110 A
					4 1/3"
Номинални притисак (bar)	16	22	10	22	10
Контролни притисак (bar)	25	30	20	40	20
Притисак прскања (bar)	31	43	36	50	36
Тежина g/m +/-15	96	180	286	326	472
Дебљина тканог дела са унутрашњим слојем (mm)	0.8	1.3	1.4	1.6	2.2
Спољашњи слој (полиестер влакно) Ткање:	2 x 3	2 x 3	3 x 6	3 x 7	3 x 7
Унутрашњи слој	Термопластични еластомер				
Адхезија (N/cm)	10				
Стандарди	SRPS Z.C6.011 DIN 14811 EN 14540				

Табела – Техничке карактеристике црева Јабланица [7]

5. Прорачун основних мера пумпе

радни флуид - вода:	$\rho := 1000$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
проток :	$\underline{V} := 0.166$	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
напор:	$Y := 177$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
број обртаја :	$n := 540$	min^{-1}

5.1 Одређивање врсте пумпе и њене конструкције :

- специфична учестаност обртања :

$\underline{g} := 9.81$ убрзање земљине теже

$$n_{sv} := \frac{n \cdot V^{0.5}}{Y^{0.75}} = 4.533857 \quad \frac{\text{o}}{\text{min}}$$

- запремински степен корисности:

$$\eta_v := \frac{1}{1 + 0.285 \cdot n_{sv}^{-0.66667}} \quad \eta_v = 0.905765$$

- проток кроз радно коло :

$$V_k := \frac{V}{\eta_v} \quad V_k = 0.183271 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- фиктивни пречник на улазу у радно коло : $k_0 := 1.15$

$$D_{lp} := k_0 \cdot \left(V_k \cdot \frac{60}{n} \right)^{0.333333} \cdot 1000 \quad D_{lp} = 314.037691 \quad \text{mm}$$

- хидраулички степен корисности:

$$\eta_h := 1 - \frac{0.42}{\left| \log |D_{lp}| - 0.172 \right|^2} \quad \eta_h = 0.922302$$

- напор радног кола:

$$Y_k := \frac{Y}{\eta_h} \quad Y_k = 191.911122 \quad \frac{J}{kg}$$

- унутрашњи механички степен корисности:

$$\eta_r := \frac{1}{1 + \frac{61.55}{\eta_{sv}^2}} \quad \eta_r = 0.250358$$

- спољашњи механички степен корисности:

$$\eta_{me} := (0.96 - 0.98) \quad \eta_{me} := 0.97$$

- укупни механички степен корисности :

$$\eta_m := \eta_{me} \cdot \eta_r \quad \eta_m = 0.242847$$

- укупни степен корисности:

$$\eta := \eta_m \cdot \eta_v \cdot \eta_h \quad \eta = 0.202872$$

- снага на улазу у пумпу:

$$P := \frac{\rho \cdot V \cdot Y}{1000 \cdot \eta} \quad P = 144.830321 \quad kW$$

5.2 Одређивање основних параметара на улазу у радно :

- брзина на улазу у радно коло:

$$c_0 := 4 \cdot \frac{V_k}{D_{lp}^2 \cdot 10^{-6} \cdot \pi} \quad c_0 = 2.366133 \quad \frac{m}{s}$$

- максимална снага на улазу у радно коло :

$$k_p := (1.1 - 1.2) \quad k_p := 1.15$$

$$P_{max} := k_p \cdot P \quad P_{max} = 166.554869 \quad kW$$

- момент увијања:

$$M_t := \frac{P_{max} \cdot 1000 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot c_0} \quad M_t = 2945.33675 \quad Nm$$

- дозвољени напон на увијање за č0645:

$$\tau_d := (30 - 50) \quad MPa \quad \tau_d := 40 \quad MPa$$

- пречник вратила пумпе:

$$d := \left(\frac{16M_t}{\pi \cdot \tau_d \cdot 10^6} \right)^{0.33333} \cdot 1000 \quad d = 72.115139 \quad mm$$

$$d_v := (1.1 - 1.2) \cdot d \quad d_v := 1.15 \cdot d \quad d_v = 82.93241 \quad mm$$

$$d_{st} := 90 \quad mm$$

- пречник главчине:

$$d_{gl} := (1.2 - 1.4) \cdot d_{st} \quad d_{gl} := 1.3 \cdot d_{st} \quad d_{gl} = 117 \quad mm$$

$$d_{gl} := 12 \quad cm$$

-пречник на улазу у радно коло:

$$D_0 := 1000 \left(d_{gl}^2 \cdot 10^{-6} + \frac{4V_k}{\pi \cdot c_0} \right)^{0.5} \quad D_0 = 314.266879 \quad \text{mm}$$

$$D_0 := 315 \quad \text{mm}$$

- пречник на коме почиње улазна ивица лопатице :

$$D_1 := (0.8 - 1) \cdot D_0 \quad D_1 := 0.9 \cdot D_0 \quad D_1 = 283.5 \quad \text{mm}$$

- меридијанска брзина непосредно пред улазном ивицом:

$$c_{1mp} := c_0 \quad c_{1mp} = 2.366133 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

-ширина радног кола на улазу:

$$b_1 := \frac{V_k \cdot 10^6}{\pi \cdot D_1 \cdot c_{1mp}} \quad b_1 = 86.9662 \quad \text{mm}$$

-меридијанска компонента апсолутне брзине:

$$k_1 := (1.1 - 1.2) \quad k_1 := 1.15$$

$$c_{1m} := k_1 \cdot c_{1mp} \quad c_{1m} = 2.721053 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

-обимска компонента брзине на улазној ивици лопатица:

$$u_1 := D_1 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad u_1 = 8.015774 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

-улазни угао лопатице:

$$\text{tg} \beta_1 := \frac{c_{1m}}{u_1} \quad \beta_1 := \text{atan} \left(\text{tg} \beta_1 \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad \beta_1 = 18.750415$$

$$\delta \beta_{11} := (3 - 8) \quad \delta \beta_{11} := 5$$

$$\beta_{11} := \beta_1 + \delta \beta_{11} \quad \beta_{11} = 23.750415$$

- релативна брзина струјања на улазу у радно коло:

$$W_1 := \frac{c_{1m}}{\sin\left(\beta_{11} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \quad W_1 = 6.756129 \quad \frac{m}{s}$$

5.3 Одређивање основних параметара на излазу из радног кола

-обимска брзина на излазу из радног кола:

$$\phi_k := (1 - 8) \quad \phi_k := 1.1$$

$$u_2 := \sqrt{\left(\frac{2 \cdot Y}{\eta_h \cdot \phi_k}\right)} \quad u_2 = 18.67965 \quad \frac{m}{s}$$

-излазни пречник радног кола (прво приближење):

$$D_{2p} := \frac{u_2 \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot n} \quad D_{2p} = 660.657464 \quad mm$$

-меридијанска брзина фиктивног радног кола непосредно на излазу из радног кола:

$$c_{2mp} := (0.7 - 0.8) \cdot c_{1mp} \quad c_{2mp} := 0.8 \cdot c_{1mp} \quad c_{2mp} = 1.892907 \quad \frac{m}{s}$$

-меридијанска брзина пред излазном ивицом радног кола:

$$k_2 := (1.05 - 1.1) \quad k_2 := 1.1 \quad c_{2m} := 1.1 \cdot c_{2mp} \quad c_{2m} = 2.082197 \quad \frac{m}{s}$$

-излазни угао лопатице:

$$a := 1.47368$$

$$W_2 := \frac{W_1}{a} \quad W_2 = 4.584529 \quad \frac{m}{s}$$

$$\sin \beta_{21} := \frac{W_1 \cdot k_2 \cdot c_{2mp} \cdot \sin \left(\beta_{11} \cdot \frac{\pi}{180} \right)}{W_2 \cdot k_1 \cdot c_{1mp}} = 0.454179$$

$$\beta_{21} := \arcsin \left| \sin \beta_{21} \right| \cdot \frac{180}{\pi} \quad \beta_{21} = 27.012128$$

$$W_2 := \frac{c_{2m}}{\sin \left(\beta_{21} \cdot \frac{\pi}{180} \right)} \quad W_2 = 4.584529 \quad \frac{m}{s}$$

-број лопатица радног кола:

$$z_0 := \left(6.5 \cdot \frac{D_{2p} + D_1}{D_{2p} - D_1} \right) \cdot \sin \left[\frac{\left| \beta_{11} + \beta_{21} \right| \cdot \frac{\pi}{180}}{2} \right]$$

$$z_0 = 6.974733 \quad z_0 := 12$$

-коэффициент вязкости:

$$k_\psi := (0.65 - 0.85) \quad k_\psi := 0.75$$

$$\psi_p := 0.75 \cdot \left(1 + \frac{\beta_{21}}{60} \right) \quad \psi_p = 1.087652$$

-статички момент средње струјне линије:

$$s := \frac{D_{2p}^2 - D_1^2}{8} \quad s = 44512.004261$$

-поправни коефицијент по Фрајдереру:

$$p := \psi_p \cdot \frac{D_{2p}^2}{4 \cdot z_0 \cdot s} \quad p = 0.22219$$

-напор радног кола за бесконачан број лопатица:

$$Y_{th} := (1 + p) \cdot \frac{Y}{\eta_h} \quad Y_{th} = 234.551815 \quad \frac{J}{kg}$$

-обимска брзина на излазу из радног кола (друго приближење):

$$u_2 := \left[\left(\frac{c_{2m}}{2 \cdot \tan\left(\beta_{21} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \right)^2 + Y_{th} \right]^{0.5} + \frac{c_{2m}}{2 \cdot \tan\left(\beta_{21} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \quad u_2 = 17.492846 \quad \frac{m}{s}$$

-излазни пречник радног кола (друго приближење):

$$D_2 := \frac{u_2 \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot n} \quad D_2 = 618.682884 \quad mm$$

-грешка:

$$\delta := \left(\frac{D_{2p} - D_2}{D_{2p}} \right) \cdot 100 \quad \delta = 6.353456$$

-ширина радног кола на излазу:

$$b_2 := \frac{V_k \cdot 10^6}{\pi \cdot D_2 \cdot c_{2m}} \quad b_2 = 45.284835 \quad mm \quad b_2 := 46 \quad mm$$

5.4 Провера усвојених вредности коефицијента сужења:

-дебљина лопатица на улазу:

$$\delta_1 := 3 \text{ mm}$$

-дебљина лопатица на излазу:

$$\delta_2 := 3 \text{ mm}$$

$$k_1 := \frac{1}{1 - \frac{z_0}{D_1 \cdot \pi} \cdot \frac{\delta_1}{\sin\left(\beta_{11} \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

$$k_1 = 1.111556$$

$$k_2 := \frac{1}{1 - \frac{z_0}{D_2 \cdot \pi} \cdot \frac{\delta_2}{\sin\left(\beta_{21} \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

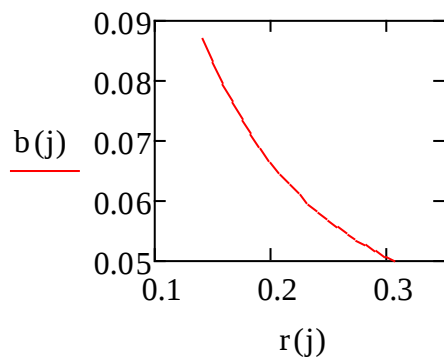
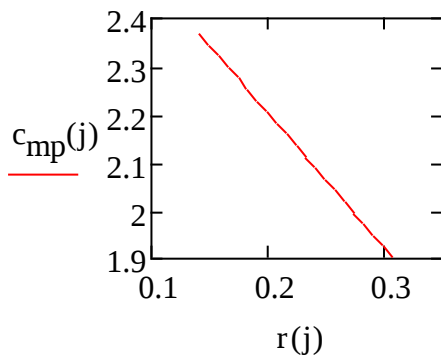
$$k_2 = 1.042515$$

5.5 Прорачун облика лопатица:

-обликовање меридијанског пресека:

$$j := \frac{D_1}{2}, 150 \dots \frac{D_2}{2} \quad r(j) := \frac{j}{1000} \quad t_1 := \frac{2 \cdot 1000 \cdot |c_{2mp} - c_{1mp}|}{D_2 - D_1}$$

$$t_2 := c_{2mp} - t_1 \cdot \frac{D_2}{2000} \quad c_{mp}(j) := t_1 \cdot r(j) + t_2 \quad b(j) := \frac{V_k}{2\pi \cdot r(j) \cdot c_{mp}(j)}$$



$r(j) =$

0.14175
0.15
0.15825
0.1665
0.17475
0.183
0.19125
0.1995
0.20775
0.216
0.22425
0.2325
0.24075
0.249
0.25725
0.2655
0.27375
0.282
...

$b(j) =$

0.086966
0.083
0.079463
0.076292
0.073435
0.070851
0.068504
0.066366
0.064411
0.06262
0.060975
0.059461
0.058064
0.056774
0.055581
0.054476
0.053452
0.052502
...

-профилисање цилиндричних лопатица са једнаким кружним луком:

$$r_1 := \frac{D_1}{2} \quad r_2 := \frac{D_2}{2}$$

$$R := \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 \cdot \left(r_2 \cdot \cos\left(\beta_{21} \cdot \frac{\pi}{180}\right) - r_1 \cdot \cos\left(\beta_{11} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)} \quad R = 259.166252 \quad \text{mm}$$

$$\rho := \sqrt{R^2 + r_1^2 - 2 \cdot R \cdot r_1 \cdot \cos\left(\beta_{11} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \quad \rho = 141.453751 \quad \text{mm}$$

5.6 Прорачун спирале кружног попречног пресека:

-пречник почетног круга спирале:

$$D_3 := (1.06 - 1.08) \quad \underline{D_3} := 1.07 \cdot D_2 \quad D_3 = 661.990686 \quad \text{mm}$$

$$\underline{D_3} := 662 \quad \text{mm}$$

-ширина радног кола на улазу у радни канал:

$$b_3 := b_2 + (0.02 - 0.05)D_2 \quad \underline{b_3} := b_2 + 0.0381 \cdot D_2 \quad b_3 = 69.571818$$

$$\underline{b_3} := 70 \quad \text{mm}$$

-радијус пресека спирале на произвољном углу:

k- брзински момент

$$K_p := \frac{720 \cdot \pi \cdot 60 \cdot Y}{V \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \eta_h} \quad K_p = 46243.643905$$

-усвајамо угао језика спирале:

$$i := 1, 2 \dots 36 \quad \phi(i) := 10 \cdot i$$

$$\underline{\rho}(i) := \left(\frac{\phi(i)}{K_p} + \sqrt{\frac{2 \cdot \phi(i) \cdot D_3 \cdot 10^{-3}}{K_p \cdot 2}} \right) \cdot 1000$$

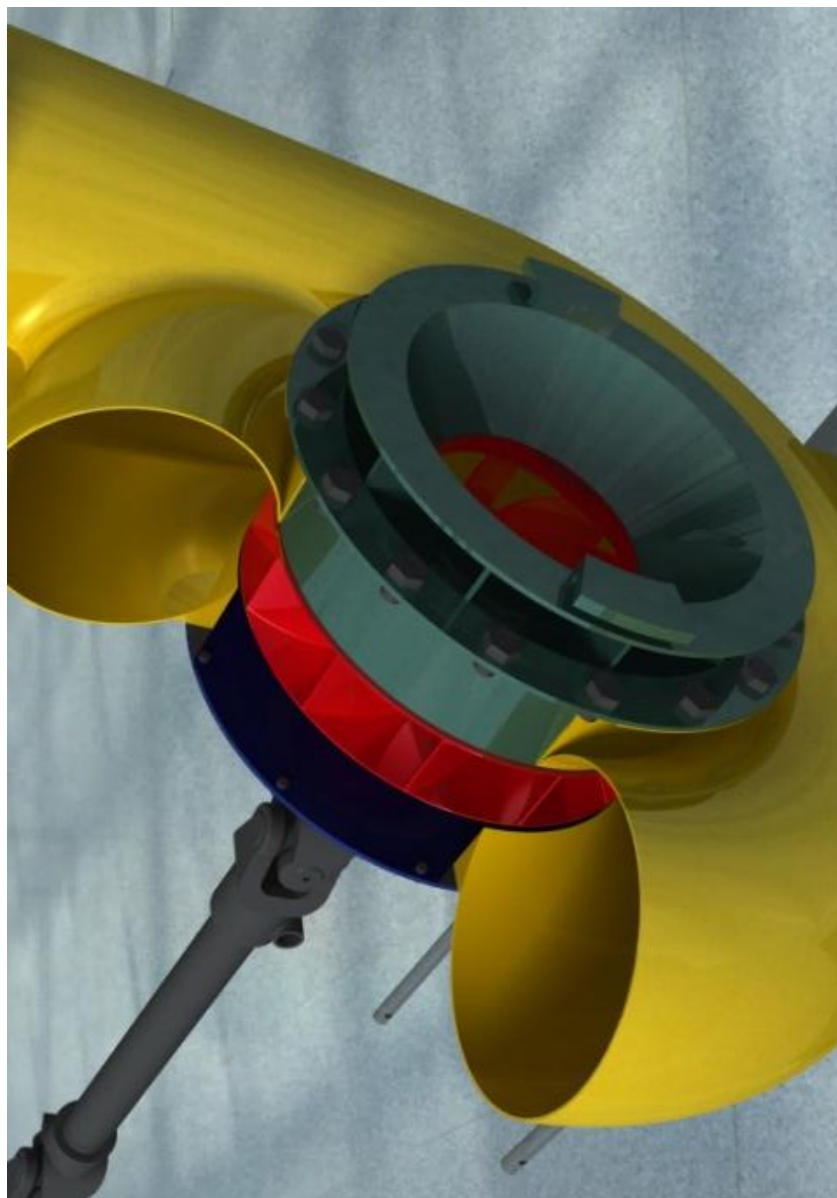
$$r_s(i) := \frac{D_3}{2} + 2 \cdot \rho(i)$$

$i =$	$\phi(i) =$	$\rho(i) =$	$r_s(i) =$
1	10	12.180978	355.361956
2	20	17.353178	365.706356
3	30	21.372261	373.744523
4	40	24.794447	380.588895
5	50	27.835183	386.670367
6	60	30.604964	392.209927
7	70	33.169427	397.338853
8	80	35.57134	402.142679
9	90	37.840409	406.680818
10	100	39.998264	410.996527
11	110	42.061232	415.122463
12	120	44.041998	419.083996
13	130	45.950651	422.901303
14	140	47.79537	426.590741
15	150	49.582896	430.165793
16	160	51.318862	433.637725
17	170	53.008034	437.016068
18	180	54.654485	440.30897
19	190	56.26173	443.52346
20	200	57.832826	446.665653
21	210	59.370454	449.740908
22	220	60.876977	452.753955
23	230	62.354495	455.70899
24	240	63.804878	458.609757
25	250	65.229808	461.459615
26	260	66.630796	464.261591
27	270	68.009211	467.018421
28	280	69.366296	469.732592
...	290	70.703185	472.40637
	...	...	...

[8]

6. Приказ изгледа пројектоване тракторске турбопумпе

На основу израчунатих димензија, уз коришћење софтверског пакета Catia, урадио сам 3D конструкцијску документацију предметне тракторске турбопумпе за наводњавање пољопривредних површина. Њен изглед, који делимично открива њене унутрашње органе приказан је на слици 13 а) а поглед на њу с преда и од позади на сликама 13 б) и 13 в).



Сл.13 а) - Приказ тракторске турбопумпе за наводњавање пољопривредних површина, која је развијена у оквиру овог завршног рада



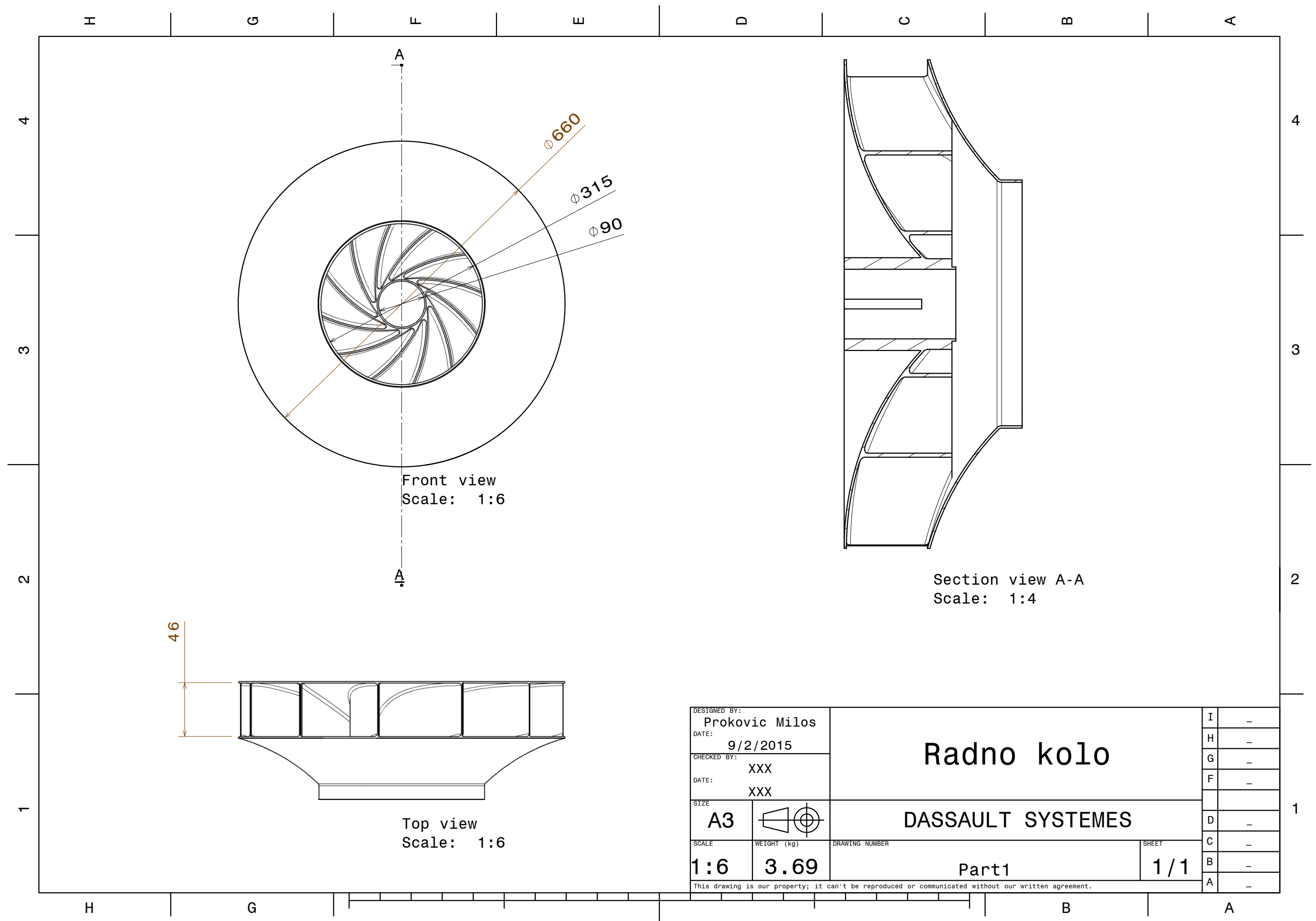
б)

в)

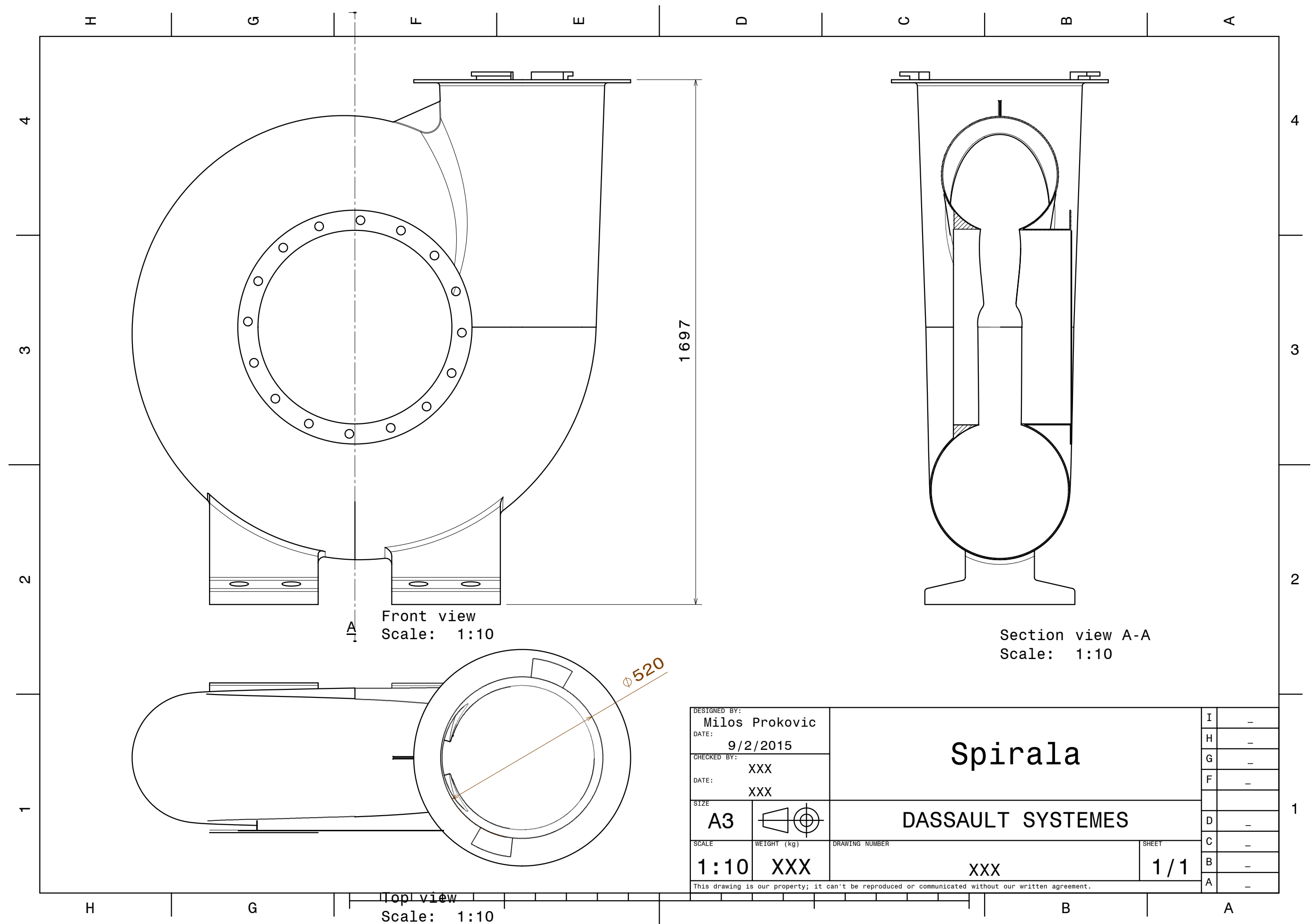
Сл.13 б, в) - Приказ тракторске турбопумпе за наводњавање пољопривредних површина, која је развијена у оквиру овог завршног рада

7. Радионички цртеж радног кола турбопумпе

Радионички цртеж радног кола тракторске турбопумпе приказане на слици 13, дат је на слици 14, а радионички цртеж њеног спиралног кућишта приказан је на слици 15.



Сл. 14 – Радионички цртеж радног кола тракторске турбопумпе за наводњавање пољопривредних површина



Сл.15 – Радионички цртеж спиралног кућишта тракторске турбопумпе за наводњавање пољопривредних површина

8. Шема склапања турбопумпе

На слици 16. је приказана шема склапања турбопумпе. Пумпа се састоји из радног кола, спиралног кућишта, карданског вратила, поклопца и колица која носе турбопумпу и која су у вези са трактором.



Сл. 16 – Шема склапања турбопумпе обрађене у овом завршном раду

9. Закључци

У току реализације овог завршног рада детаљно је обрађена методологија заливања и система за наводњавање пољопривредног земљишта. У наставку је извршена теоријска анализа радних услова за турбопумпу за наводњавање пољопривредних површина, при чему трактор треба да буде њена погонска машина. Све то је урађено за случај тракторског погона који производи тракторски мотор Perkins 1103D-33.

Спровођењем стандардне процедуре извршен је прорачун главних мера предметне турбопумпе, водећи рачуна да број обртаја не сме бити велики, јер се снага са вратила за погон тракторских прикључних уређаја до вратила турбопумпе преноси карданским вратилом. При том су параметри погонског тракторског мотора узети са расположивог дијаграма за горе поменути мотор.

Турбо пумпа је постављена на платформу која поседује точкове, са још две прикључне полуге за квалитетно повезивање са трактором у току њеног превоза и рада.

Развијена тракторска турбопумпа, за коју је 3D електронско-конструкцијска документација урађена коришћењем софтверског пакета Catia, има довољне перформансе да наводњава пољопривредно домаћинство просечног шумадијског села.

10. Литература

- [1] <http://www.zelenavizija.com/Zalivanje%20biljaka.html>
- [2] <http://www.nissal.co.rs/sistemi%20za%20navodnjavanje.pdf>
- [3] Републички завод за статистику, Статистички годишњак 2014.
- [4] Michigan State University: Tractor power for power-take-off driven pumps
- [5] <http://www.imt.co.rs/> ; <http://www.imr-rakovica.com/>
- [6] www.perkins.com
- [7] <http://www.vaz.co.rs/>
- [8] Милун Ј. Бабић, Светислав Стојковић: „Турбомашине – Теорија и математичко моделирање“, Просвета, Београд, 1997.