

**Развој система за детекцију цурења на мотору центрифугалних пумпи*****Development of a System for Detecting Leaks on Centrifugal Pump Motors***

Милица Васовић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – МЕХАТРОНИКА**

**Кратак садржај** – У овом раду представљен је развој и израда аутоматизованог система за тестирање заптивки на склопу мотора пумпе. Циљ пројекта је унапређење контроле квалитета и елиминација неисправних производа из производног процеса. Систем је пројектован као комбинација пнеуматских и електричних елемената, управљаних преко ПЛЦ контролера и ХМИ интерфејса, који омогућавају потпуну аутоматизацију процеса тестирања.

**Кључне речи:** тестирање мотора, пнеуматика, ПЛЦ управљање, вакуум генератор, индустријска аутоматизација, заптивка мотора, контрола квалитета.

**Abstract** – In this paper, the development and implementation of an automated system for testing seals on the pump motor assembly are presented. The main goal of the project is to improve quality control and eliminate defective products from the production process. The system is designed as a combination of pneumatic and electrical components, controlled via a PLC controller and HMI interface, which enable full automation of the testing process.

**Keywords:** motor testing, pneumatics, PLC control, vacuum generator, industrial automation, engine gasket, quality control.

**НАПОМЕНА:**

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Ласло Тарјан, ванредни професор.

**1. УВОД**

Развој савремене индустрије условио је стално унапређење технолошких система, међу којима пумпни системи имају кључну улогу у снабдевању водом, транспорту флуида и бројним производним процесима. Посебан значај имају центрифугалне пумпе, које се одликују једноставном конструкцијом, поузданошћу и енергетском ефикасношћу. Њихов исправан рад у великој мери зависи од стања појединачних компоненти, посебно заптивки које

обезбеђују непропусност, спречавају губитак флуида и штите систем и околину.

Отказ заптивке може довести до губитака енергије, застоја у производњи, оштећења делова и еколошких инцидената. Због тога је у савременој индустрији развијена пракса систематског тестирања заптивки ради повећања поузданости и безбедности. Савремени, аутоматизовани системи за тестирање омогућавају прецизну проверу функционалности у реалним условима рада, уз елиминацију људских грешака и бољу контролу квалитета.



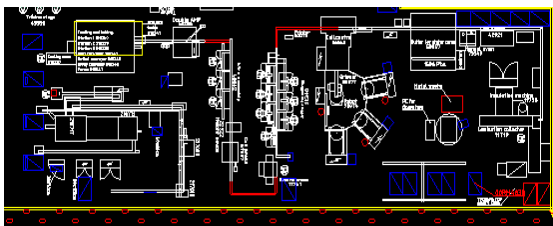
Слика 1. Заптивка центрифугалне пумпе

Овај рад приказује пројектовање и израду аутоматизованог система за тестирање заптивки на склопу мотора пумпе. Циљ је развој поузданог и ефикасног система који обезбеђује верификацију исправности заптивки и интеграцију у постојећи производни процес. Рад обухвата анализу постојеће производне линије, дефинисање захтева за нову машину, опис дизајна и управљачког система, као и развој PLC програма, HMI интерфејса и процеса скенирања радних налога. На крају је извршено тестирање и валидација система, чиме је потврђена његова функционалност и допринос повећању поузданости и квалитета производње.

**2. АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋЕГ СИСТЕМА**

У овом поглављу описана је постојећа производна линија за монтажу и тестирање статора и склопа мотора, дизајнирана за ефикасан и поуздан ток процеса. Производња почиње машином Cup feeder која пуни линију палетама, затим се у машини за ламинацију формира језгро статора и поставља у палету. Fence buffer служи као складиште језгара и обезбеђује континуитет производње. У Coiling Center-у се врши намотавање жице на језгро, након чега

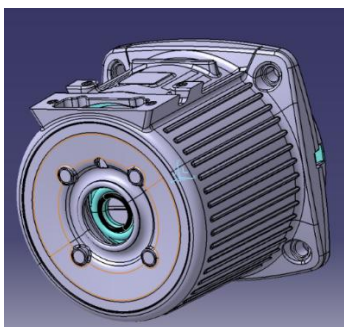
следи контрола отпора, означавање статора и ручна дорада на Finishing станици.



Слика 2. Распоред производне линије

Затим се постављају горња и доња капа, врши пресовање и мерење висине статора. Проводници се ручно повезују, а на Double AMP машини убацују се конектори. Потом се врши тестирање и „печење“ статора, чиме се постиже електрична стабилност и спремност за монтажу.

Други део линије обухвата склапање мотора. Статори, кућишта и ротори синхронизовано стижу на монтажну позицију. Кућиште се загрева ради лакшег уметања статора, затим се хлади и врши контрола висине. Потом се додаје заптивна гумица и убацује ротор, након чега се склоп финално означава и припрема за наредну фазу производње.



Слика 3. Кућиште мотора

### 3. ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ НОВЕ МАШИНЕ

У оквиру постојеће производне линије потребно је развити нову машину за тестирање мотора на цурење, односно детекцију присуства заптивне гумице на склопу мотора. Она се заснива на постојећем решењу са асембли линије, али прилагођена је посебним захтевима производње мотора са црним кућиштем, где је потребно избећи оштећења површине. Постојећа линија није пружала адекватне услове због чланкастог транспортера који гребе кућишта, па је пројектовање новог тестера било неопходно.

Нова машина биће интегрисана у линију за производњу мотора и служиће искључиво за проверу заптивености. Процес тестирања мора бити брз, трајање циклуса до пет секунди, и без оштећења површине кућишта. Предвиђен је универзални алат са Х-прстеном који омогућава тестирање више типова мотора без замене алата.

Функционално, машина врши пуњење мотора притиском и прати пад у задатом временском интервалу. Ако нема пада, мотор је исправан („ОК“); у супротном, означава се као неисправан („НОК“). Исправни мотори се аутоматски враћају на транспортну траку, док се неисправни пребацују на Reject conveyor.

Систем управљања заснива се на PLC контролеру који, на основу скенираног радног налога, одређује да ли мотор треба бити тестиран. На овај начин омогућено је селективно и ефикасно тестирање без непотребног задржавања линије. Машина је опремљена светлосном сигнализацијом која приказује статус рада. У случају квара или пуне траке за неисправне моторе, активира се звучни и визуелни аларм како би оператер одмах реаговао.

Тестер је пројектован у складу са безбедносним стандардима, са вратима за рад и сервисирање опремљеним безбедносним прекидачима који при отварању прекидају довод ваздуха и заустављају све покретне делове. Додатну заштиту обезбеђују PILZ сигурносни уређаји, заштитне баријере и тунели који спречавају приступ покретним механизмима и контакт са електричним деловима, чиме се осигурава безбедан и поуздан рад машине.

## 4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ МАШИНЕ

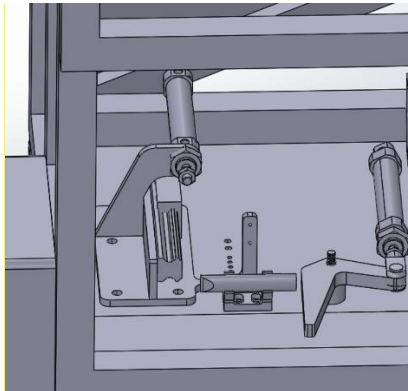
### 4.1 Функционалност и дизајн машине

Сам рад машине започиње након што бар-код скенер успешно региструје радни налог који садржи број мотора предвиђен за тестирање. Овај корак је кључан јер контролеру омогућава да препозна који се мотор налази у процесу и да на основу тога одлучи да ли ће активирати тестер. На овај начин обезбеђена је потпуна контрола над процесом, избегавају се грешке у идентификацији производа и гарантује да се свака операција изводи у складу са производним налогом. Скенер служи као улазни интерфејс система, док PLC контролер на основу добијених података врши поређење и одлучивање. На овај начин обезбеђује се да машина ради само са валидним налозима, што повећава поузданост и сигурност производног процеса.

Након успешног скенирања, мотор наставља свој пут кроз производни ток где пролази све планиране операције. Тестер представља аутоматизовану целину која се састоји од три главне функционалне јединице: стопер станице, станице за тестирање, где се врши провера заптивености мотора, и станице за одбацивање, која издваја неисправне моторе са главне транспортне траке.

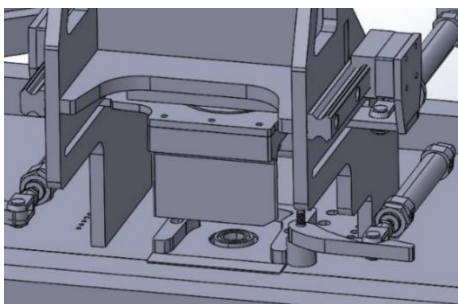
Прва станица, односно стопер станица, задужена је за контролу уласка мотора у тестну зону. Пнеуматски

цилиндр SMC CD85N25-100C-B делује као стопер који пропушта само један мотор у тестер, обезбеђујући сигуран и прецизан ток процеса. Његов рад контролише електро-пнеуматски разводник SMC SY5120-5Y0-01F-Q који прима сигнал из PLC-а и управља кретањем цилиндра.



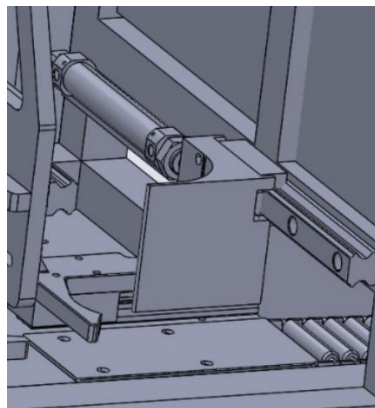
Слика 4. Стопер станица

Главна станица за тестирање изводи поступак провере заптивености применом вакуума. Мотор се позиционира помоћу пнеуматских цилиндара SMC CD85N25-120C-B, а херметичко затварање обезбеђују цилиндри SMC MGPM80TF-50Z и MGPM80TF-100Z. Вакуум генератор SMC ZM132HF-M21L-Q ствара подпритисак унутар затвореног простора, док регулатор притиска SMC ZSE30A-01-F континуирано надзире вредности и шаље сигнал у случају одступања. Ако се током теста не региструје пад притиска, мотор се означава као исправан, у супротном, резултат је негативан.



Слика 5. Станица за тестирање

Након тестирања, мотор се враћа на транспортну траку. Исправни мотори настављају ка баферу за складиштење, док се неисправни усмеравају ка станици за одбацивање. Ова станица, реализована помоћу два пнеуматска цилиндра (SMC CD85N25-130C-B и SMC CD85N25-230C-B), механички избацује неисправне моторе на посебну транспортну траку, чиме се они физички раздвајају од исправних производа и спречава њихов повратак у процес.



Слика 6. Станица за одбацивање

## 4.2 Управљачки систем

Уређај за тестирање цурења интегрише све кључне компоненте које омогућавају сигуран, поуздан и ефикасан рад. Систем обухвата управљачке елементе за контролу циклуса рада, безбедносне склопове за заштиту оператера, сензоре положаја и присуства радних комада, као и пнеуматске вентиле и актуаторе који директно реализују сам процес тестирања. За потребе праћења рада машине интегрисане су сигналне лампиче и визуелни индикатори који пружају јасан приказ стања уређаја, омогућавајући оператеру да у сваком тренутку има потпун увид у радни процес.

Контролна јединица садржи основне тастере за покретање (START), заустављање (STOP) и прекид циклуса (CANCEL), сви са интегрисаном LED сигнализацијом која индиректно приказује статус система. Зелени тастер означава активност машине, црвени тренутно зауставља рад, а плави омогућава сигурно прекидање започетог циклуса тестирања. Ови тастери, у комбинацији са визуелним сигнаlima, омогућавају да оператер прати све фазе рада, чак и у условима када није у непосредној близини уређаја. За реализацију овог система примењени су Schneider Electric елементи ZB4BW36 и ZBVВ1.

Безбедносни склопови обухватају централни сигурносни релеј PILZ PNOZ X3, тастере за хитно заустављање и сигурносне бравице на свим приступним вратима машине. Ови елементи су повезани тако да у случају било каквог отварања врата или активирања хитног прекида, напајање се одмах прекида, а механички делови машине се блокирају, чиме се минимизује ризик од повреда и оштећења опреме. Систем омогућава аутоматску детекцију прекида безбедносног кола и обавештавање PLC контролера о стању сваког елемента.

Сензори присуства радних комада (Omron E3Z-D86) и сензори положаја цилиндра (SMC D-A96) пружају повратне информације о положају мотора и клипова цилиндра, што омогућава контролеру да донесе

логичке одлуке о наставку процеса, заустављању или заштити од могућих грешака. Сви сигнали се обрађују и преносе на PLC, који управља пнеуматским вентилама, индикаторима и семафорским сигналима.

За даљу визуелну контролу рада машине користи се семафор XVMB2RAGSSB са три боје: зелена сигнализира нормалан рад, жута означава стање приправности или потребу за интервенцијом, а црвена указује на хитно заустављање или квар. На овај начин оператер може да прати стање машине са удаљене позиције, што повећава безбедност и ефикасност рада.

Сви улазни и излазни сигнали машине пролазе кроз монтажне клеме и индустријски конектор Harting, а затим се повезују са главним PLC ормаром производне линије. Ово омогућава интегрисан и координисан рад у оквиру целе линије, синхронизујући тестирање са другим производним операцијама и обезбеђујући поузданост и континуитет рада. Таква конфигурација гарантује да је сваки мотор правилно тестирани, да су сви сигнали видљиви, а оператер у сваком тренутку информисан и у могућности да брзо реагује.

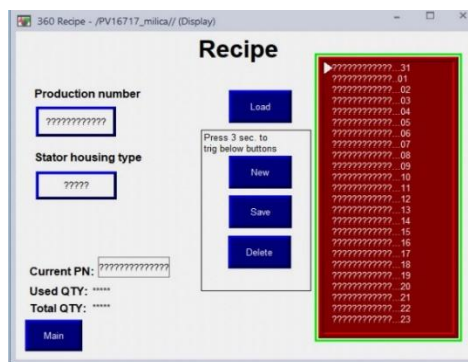
## 5. СОФТВЕРСКО РЕШЕЊЕ

Софтверско управљање тестером реализовано је преко PLC Allen-Bradley 1769-L32E CompactLogix, уз HMI PanelView Plus 7 и бар-код скенер Zebra LI4278. Програм је подељен у два сегмента: управљање радним налозима и функционалност тестера.

Управљање радним налозима омогућава ефикасну контролу над процесом тестирања мотора и обезбеђује да само исправни радни налози буду прослеђени на тестер. Оператор преко HMI панела уноси нове радне налоге, дефинише њихов јединствени идентификатор и тип кућишта мотора (1 – сиво глатко, 2 – сиво ребрasto, 3 – црно глатко, 4 – црно ребрasto). Ови подаци се чувају у интерној бази PLC-а, што омогућава лако препознавање радног налога при наредним проласцима мотора.

Систем нуди следеће функције за рад са налогом:

- Нови налог (New): проверава да ли налог већ постоји и, уколико не, уписује га у базу и приказује на HMI-ју.
- Учитавање налога (Load): омогућава избор постојећег налога за преглед или измену, а подаци се приказују на HMI-ју.
- Чување налога (Save): ажурира базу података са измењеним подацима, уз визуелну потврду на HMI-ју.
- Брисање налога (Delete): уклања избрани налог из базе и освежава приказ на HMI-ју.



Слика 7. Прозор за уношење нових радних налога

За идентификацију налога током производње користи се бар-код скенер, који преноси податке PLC-у преко серијске комуникације. PLC упоређује скенирани код са базом налога и аутоматски препознаје тип кућишта мотора, одлучујући да ли ће налог бити послат на тестирање. Оваквим механизмом се спречавају грешке и осигурава контрола над укључивањем само исправних радних налога у процес тестирања.

Функционалност машине за тестирање омогућава аутоматизовану проверу заптивања мотора уз контролу кретања комада и резултата теста. Машина се активира само ако су испуњена два основна услова: скенирани радни налог садржи тип кућишта који захтева тестирање (црно глатко или црно ребрasto) и унесен је укупан број комада за производњу.



Слика 8. Прозор за праћење броја тестираних комада

У иницијалној позицији, стопера и цилиндри одржавају комаде на одговарајућим позицијама како би се обезбедило тачно и безбедно увођење у зону тестирања. Стопери 1 и 2 контролишу размак између комада, док стопер 3 држи комад на позицији за тестирање.

Након позиционирања, активирају се цилиндри који притискају моторе ради тестирања заптивања. Притисак се одржава одређено време, а регулатор контролише да ли је достигнут потребан ниво. Ако комад прође тест, враћа се на траку за исправне комаде, ако не, систем га усмерава на траку за одбацивање.

Систем прати број тестираних комада за сваки радни налог и омогућава аутоматско бројање, што обезбеђује потпуну контролу над процесом и спречава прескакање или неправилно тестирање мотора. Сав рад актуатора и стопера је синхронизован

са сензорима положаја и присуства комада, што омогућава непрекидан и сигуран рад машине у аутоматском режиму.

## 6. ИЗРАДА, ТЕСТИРАЊЕ И ВАЛИДАЦИЈА СИСТЕМА

У оквиру израде система, конструисане су и повезане све пратеће инсталације неопходне за правилан рад машине. То укључује пнеуматски и електрични ормар машине, као и повезивање са електричним ормаром главне производне линије где је смештен главни PLC контролер.



Слика 9. Електрични ормар

Комплетна реализација обухватила је и монтажу механичких делова, транспортних система и цилиндара са специјално дизајнираним алатима. Након монтаже, извршено је детаљно тестирање и провера интеграције.

Тестирање и валидација обављени су у више фаза:

- Функционално тестирање – проверена је исправност свих компоненти појединачно (сензори, цилиндри, вентили, тастери, лампице) и њихова реакција на улазне и излазне сигнале.
- Системско тестирање – провераван је аутоматски рад машине, укључујући редослед покрета стопера, рад гурача, позиционирање мотора и активацију алата за заптивање, као и рад вакуум генератора и регулатора притиска. Тестирани су сви типови кућишта мотора и различите комбинације са и без гумене заптивке.
- Тестирање у условима грешке – намерно су симулиране неправилности, као што је уметање мотора без заптивке, и проверавана је реакција на притискање STOP и TOTAL STOP тастера. Машина је у свим случајевима моментално прелазила у безбедно стање.

Резултати показују да су сви улазни и излазни сигнали исправно повезани, да PLC логика управљања функционише у складу са дефинисаном секвенцом корака, да систем поуздано раздваја исправне и неисправне моторе и да безбедносне функције обезбеђују сигуран рад.



Слика 10. Машина – поглед са предње стране

На основу тога, систем у потпуности испуњава пројектне захтеве и спреман је за рад у производној линији.



Слика 11. Машина – поглед са задње стране

## 7. ЗАКЉУЧАК

Представљен је аутоматизован систем за тестирање мотора на цурење који поуздано раздваја исправне од неисправних мотора. Систем користи PLC управљање, пнеуматске и електропнеуматске елементе, вакуум генератор и регулатор притиска за прецизно тестирање. Тестирања су показала да систем исправно детектује цурења, да ради сигурно и стабилно у аутоматском режиму, и да је успешно интегрисан у производну линију, чиме се обезбеђује контрола квалитета и ефикасност производње.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] European Association of Pump Manufacturers (1999), "NPSH for rotodynamic pumps: a reference guide", 1st edition.
- [2] A. Stepanoff (1957), "Centrifugal and axial flow pumps: theory, design and application". 2nd edition, John Wiley & Sons

### Кратка биографија:



**Милица Васовић** рођена је 2001. године у Сомбору, Србија. Дипломски рад под називом „Пројектовање и израда прототипа станице за утискивање и детекцију ознака “ на Факултету техничких наука одбранила, је 2023. године.