

POSTUPAK CERTIFIKACIJE PUMPI TIPA VPPm ZA RAD U POTENCIJALNO EKSPLOZIVNOJ ATMOSFERI

Furač, Dražen

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:127525>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

POSTUPAK CERTIFIKACIJE PUMPI TIPA VPPm ZA RAD U POTENCIJALNO EKSPLOZIVNOJ ATMOSFERI

Furač, Dražen

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:127525>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-14**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DRAŽEN FURAČ

***POSTUPAK CERTIFIKACIJE PUMPI TIP
VPPm ZA RAD U POTENCIJALNO
EKSPLOZIVNOJ ATMOSFERI***

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2021.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DRAŽEN FURAČ

***POSTUPAK CERTIFIKACIJE PUMPI TIP
VPP_m ZA RAD U POTENCIJALNO
EKSPLOZIVNOJ ATMOSFERI***

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Josip Groš, mag.ing.str., viši predavač

KARLOVAC, 2021.

IZJAVA

Ovaj rad izradio sam samostalno, primjenom znanja stečenih na Veleučilištu u Karlovcu i na temelju dosadašnjeg radnog iskustva u području izrade certifikacijske dokumentacije neelektrične opreme namijenjene za rad u potencijalno eksplozivnoj atmosferi, te uz korištenje navedene stručne literature.

Zahvaljujem svom mentoru Josipu Grošu, mag.ing.str. na pomoći i vodstvu pri izradi ovog završnog rada.

Karlovac, 2021. godina

Dražen Furač

**Naslov: POSTUPAK CERTIFIKACIJE PUMPI TIPA VPPm ZA RAD U
POTENCIJALNO EKSPLOZIVNOJ ATMOSFERI****SAŽETAK**

U prvom dijelu ovog završnog rada prikazan je pregled direktive i normi koje propisuju zahtjeve koji se moraju ispuniti kako bi predmetna neelektrična oprema bila sigurna za rad u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

Prikazan je i pregled zona opasnosti koje su prisutne u postrojenjima kao i kategorizacija opreme ovisno o razini zaštite koju pruža, te vrste protueksplozijske zaštite neelektrične opreme sa detaljnijim opisom zaštita korištenih na predmetnoj opremi (vertikalna pumpa).

U nastavku su opisani moduli iz ATEX direktive koji se primjenjuju za provođenje ocjene sukladnosti neelektrične opreme.

Radom su obuhvaćena i ispitivanja pumpe provedena u svrhu certifikacije, kao i analiza opasnosti od paljenja potencijalno eksplozivne atmosfere sa rezultirajućom oznakom protueksplozijske zaštite za pumpu.

Ključne riječi: neelektrična oprema, eksplozivna atmosfera, zone opasnosti, protueksplozijska zaštita

**Title: PROCEDURE FOR CERTIFICATION OF VPPm PUMPS INTENDENT
FOR OPERATION IN THE POTENTIALLY EXPLOSIVE ATMOSPHERE**

SUMMARY

The first part of this thesis presents an overview of the Directive and the standards that describes the requirements that must be fulfilled in order for the non-electrical equipment to be safe for operation in potentially explosive atmospheres.

An overview of the hazardous zones present in the plants is presented, as well as the categorization of the equipment depending on the level of protection it provides, and the types of explosion protection for non-electrical equipment with a more detailed description of the protections used on the equipment (vertical pump).

The following describes the modules from the ATEX directive which apply to carry out the conformity assessment of non-electrical equipment.

This thesis also includes tests of the pump carried out for the purpose of certification, as well as analysis of the risk of potentially explosive atmosphere ignition with the resulting explosion protection mark for the pump.

Key words: non-electrical equipment, explosive atmosphere, hazardous zones, explosion protection

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. DIREKTIVA ATEX 2014/34/EU | 1 |
| 3. NORME | 3 |
| 4. ZONE OPASNOSTI | 4 |
| 4.1 Zone za plinove / pare | 4 |
| 4.2 Zone za prašine | 5 |
| 5. SKUPINA I KATEGORIJA OPREME | 6 |
| 5.1 Oprema skupine I – rudarstvo | 6 |
| 5.1.1 Kategorija M1 | 6 |
| 5.1.2 Kategorija M2 | 6 |
| 5.2 Oprema skupine II – rudarstvo | 7 |
| 5.2.1 Kategorija 1 | 7 |
| 5.2.2 Kategorija 2 | 7 |
| 5.2.3 Kategorija 3 | 7 |
| 6. SKUPINA PLINOVA | 9 |
| 7. NAJVIŠA TEMPERATURA POVRŠINE | 10 |
| 8. PREGLED VRSTA PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE | 11 |
| 8.1 Zaštita konstrukcijskom sigurnošću „c“ | 12 |
| 8.1.1 Zahtjevi za brtve pokretnih dijelova | 12 |
| 8.1.2 Zahtjevi za pokretne dijelove | 13 |
| 8.1.3 Zahtjevi za ležajeve | 14 |
| 8.2 Zaštita kontrolom uzročnika paljenja „b“ | 15 |
| 8.2.1 Razine zaštite od paljenja (IPL) | 16 |
| 9. OCJENA SUKLADNOSTI | 18 |
| 10. OPĆI PODACI O PUMPAMA TIPAMA VPPm | 20 |
| 10.1 Opis pumpe i presjek | 20 |
| 10.2 Raspon radnih parametara | 22 |
| 10.3 Označavanje pumpi | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 11. ISPITIVANJA PUMPE | 23 |
| 11.1 Opis ispitivanog sustava | 23 |
| 11.2 Mjerenje temperatura na pumpi | 25 |
| 11.2.1 Uvod | 25 |
| 11.2.2 Postupak mjerenja temperatura | 27 |
| 11.2.3 Rezultati mjerenja | 29 |
| 11.2.4 Zaključak | 33 |
| 11.3 Kontrola vibracijskog stanja | 34 |
| 11.3.1 Uvod | 34 |
| 11.3.2 Postupak mjerenja i analize vibracija | 34 |
| 11.3.3 Mehaničke vibracije (ISO 10816-7) | 36 |
| 11.3.4 Rezultati mjerenja i analize vibracija | 37 |
| 11.3.5 Zaključak | 44 |
| 11.4 Funkcionalno ispitivanje | 45 |
| 12. ANALIZA OPASNOSTI OD PALJENJA | 46 |
| 12.1 Uvod | 46 |
| 12.2 Opis ugradnje i ispravan način rada | 46 |
| 12.3 Mogući neispravn rad – rad bez protoka | 48 |
| 12.4 Mogući neispravn rad – rad bez medija | 49 |
| 12.5 Identifikacija opasnosti od paljenja | 50 |
| 12.6 Predložene zaštitne mjere | 51 |
| 12.7 Tablični prikaz analize opasnosti od paljenja | 52 |
| 12.8 Rezultirajuća oznaka protueksplozijske zaštite | 60 |
| 13. ZAKLJUČAK | 62 |
| LITERATURA | 63 |

1. UVOD

Oprema kojoj je namjena korištenje u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom plinova, para zapaljivih tekućina ili zapaljivih prašina, moraju biti na poseban način izrađeni, instalirani i rabljeni. U tu svrhu, svi takvi ugroženi prostori i uređaji moraju biti na odgovarajući način klasificirani.

Protueksplozijski zaštićeni električni i neelektrični uređaji su uređaji posebne izvedbe namijenjeni za rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom i koji pod normalnim atmosferskim uvjetima ne mogu prouzročiti paljenje eksplozivne atmosfere. Pod normalnim atmosferskim uvjetima smatra se atmosferski tlak nadmorske visine do 2000 m i temperature između $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sva električna oprema napona većeg od 1,5 V, struje veće od 100 mA i energije veće od 20 μJ , kao i neelektrična oprema koja može mehaničkom iskrom, zagrijanom površinom, otvorenim plamenom, egzotermnom reakcijom ili adijabatskom kompresijom uzrokovati paljenje eksplozivne atmosfere, smatra se potencijalnim uzročnikom paljenja. [1]

2. DIREKTIVA ATEX 2014/34/EU

ATEX direktiva propisuje jedinstvena pravila za cijelu EU o prodaji i uporabi opreme i zaštitnih sustava namijenjenih uporabi u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

Ona nastoji osigurati da proizvodi ispunjavaju određene uvjete kako bi se osigurala visoka razina zaštite zdravlja i sigurnosti ljudi, posebno radnika i, ako je potrebno, zaštita domaćih životinja i imovine.

Odnosi se na širok raspon proizvoda, uključujući opremu koja se koristi u fiksnim vodnim, naftnim i plinskim platformama, u petrokemijskim postrojenjima, rafinerijama, rudnicima, mlinovima i drugim područjima u kojima postoji opasnost od potencijalno eksplozivne atmosfere.

Ključne točke:

- Svi proizvodi koji se prodaju u EU-u moraju nositi oznaku CE o sukladnosti kako bi pokazali da zadovoljavaju sve osnovne sigurnosne zahtjeve zakonodavstva EU-a.

- Prije dobivanja oznake CE, proizvođač mora provesti ocjenu sigurnosti i sukladnosti i ispostaviti tehničku dokumentaciju za proizvode.
- Uvoznici moraju provjeriti jesu li proizvođači pravilno proveli ocjene sukladnosti. Ako to nije slučaj, moraju obavijestiti nadležno tijelo za nadzor sigurnosti.
- Sva potrebna dokumentacija mora se bilježiti i čuvati 10 godina.
- Dokumentacija i sigurnosne informacije moraju biti napisane na jeziku koji s lakoćom razumiju krajnji korisnici.
- Proizvođači i uvoznici na svojim proizvodima moraju naznačiti svoju poštansku adresu.
- Proizvođači mogu koristiti elektronička sredstva kako bi tijelima za nadzor sigurnosti pružili informacije koje su potrebne za dokazivanje sukladnosti proizvoda.
- Dodatno, Direktivom se određuju koraci koje moraju poduzeti nacionalna tijela za nadzor sigurnosti kako bi se identificirao i spriječio uvoz opasnih proizvoda iz država koje nisu članice EU-a. [2]

3. NORME

HRN EN 1127 – Eksplozivna atmosfera – Sprečavanje i zaštita od eksplozije. Specificira metode za identificiranje i procjenu opasnih situacija koje dovode do eksplozije, kao i konstruktivne mjere prikladne za postizanje odgovarajuće sigurnosti. To se postiže procjenom i smanjenjem rizika. Norma je podijeljena u dva dijela:

1. *dio: Osnovne metode i zahtjevi za industriju*
2. *dio: Osnovna načela i metodologija za rudarstvo*

HRN EN 13463-1 – Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere

1. *dio: Osnovne metode i zahtjevi*

Specificira metode i zahtjeve za dizajn, konstrukciju, ispitivanje i označavanje opreme namijenjene za uporabu u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

HRN EN 13463-2 – Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere*2. dio: Zaštita ograničavanjem strujanja „fr“*

Specificira zahtjeve za konstrukciju i ispitivanje kućišta za ograničavanje protoka za neelektričnu opremu namijenjenu za upotrebu u potencijalno eksplozivnoj atmosferi ako atmosfera izvan kućišta postane rijetko eksplozivna i kratkotrajna

HRN EN 13463-3 – Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere*3. dio: Zaštita oklapanjem „d“*

Specificira zahtjeve za konstrukciju i ispitivanje opreme sa tipom zaštite neprobojnog kućišta namijenjenog za uporabu u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

HRN EN 13463-5 – Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere*5. dio: Zaštita konstrukcijskom sigurnošću „c“*

Standard dopunjava zahtjeve norme EN 13463-1, čiji se sadržaj također primjenjuje u cijelosti na opremu izgrađenu u skladu s ovom europskom normom.

HRN EN 13463-6 – Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere*6. dio: Zaštita kontrolom uzročnika paljenja „b“*

Specificira zaštitu za neelektričnu opremu kategorija 2 i 1. Pomoću mehaničkih ili električnih uređaja za upravljanje ili nadzor, izbjegavaju se učinkoviti izvori paljenja. Standard pokriva osnovne zahtjeve za dizajn i koncept primjene ove vrste zaštite.

HRN EN 13463-8 – Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere*8. dio: Zaštita uranjanjem „k“*

Specificira zahtjeve za dizajn, konstrukciju, ispitivanje i označavanje opreme zaštićene od paljenja uranjanjem u tekućinu, čime se sprečava da potencijalni izvori paljenja postanu učinkoviti.

4. ZONE OPASNOSTI

4.1 Zone za plinove / pare

Zona 0

Područje u kojem je eksplozivna atmosfera koja se sastoji od mješavine zraka i zapaljivih tvari u obliku plina, pare ili maglice prisutna konstantno, tijekom dužeg perioda ili često. Općenito, takvi uvjeti se pojavljuju unutar spremnika, cijevi, posuda, itd. [3]

Zona 1

Područje u kojem će se eksplozivna atmosfera koja se sastoji od mješavine zraka i zapaljivih tvari u obliku plina, pare ili maglice vjerojatno povremeno pojaviti u normalnom radu [3]

Ova zona može uključivati:

- neposredna blizina zone 0;
- neposrednu blizinu otvora za napajanje;
- neposrednu blizinu oko otvora za punjenje i pražnjenje;
- neposrednu blizinu oko lomljive opreme, zaštitnih sustava i dijelova od stakla, keramika i slično;
- neposrednu blizinu brtvenica, na primjer na crpkama i ventilima.

Zona 2

Područje u kojem se eksplozivna atmosfera koja se sastoji od mješavine zraka i zapaljivih tvari u obliku plina, pare ili maglice vjerojatno neće pojaviti u normalnom radu, ali ako se i pojavi, biti će kratko prisutna. [3]

Ova zona može između ostalog uključivati područja koja okružuju zone 0 ili 1.

4.2 Zone za prašine

Slojevi i naslage zapaljive prašine uzimaju se u obzir kao i bilo koji drugi izvor koji može stvoriti eksplozivnu atmosferu.

Zona 20

Područje u kojem je eksplozivna atmosfera u obliku oblaka zapaljive prašine u zraku prisutna konstantno, tijekom dužeg perioda ili često. [3]

Zona 21

Područje u kojem će se eksplozivna atmosfera u obliku oblaka zapaljive prašine u zraku vjerojatno povremeno pojaviti u normalnom radu.

Ova zona može uključivati područja u neposrednoj blizini npr. mjesta punjenja i pražnjenja praha, te područja u kojima se pojavljuju slojevi prašine i vjerojatno će u normalnom radu izazvati eksplozivnu koncentraciju zapaljive prašine u smjesi sa zrakom. [3]

Zona 22

Područje u kojem se eksplozivna atmosfera u obliku oblaka zapaljive prašine u zraku vjerojatno neće pojaviti u normalnom radu, ali ako se i pojavi, biti će kratko prisutna.

Ova zona može uključivati područja u blizini opreme, zaštitnih sustava i komponenti koji sadrže prašinu i iz koje prašina može pobjeći (npr. prostorije za mljevenje u kojima prašina izlazi iz mlinova, a zatim se taloži). [3]

5. SKUPINA I KATEGORIJE OPREME

5.1 Oprema skupine I – rudarstvo

Oprema namijenjena za uporabu u podzemnim dijelovima rudnika i na takvim dijelovima nadzemnih instalacija tih rudnika koji bi mogli biti ugroženi jamskim plinom i/ili zapaljivom prašinom, uključujući i kategorije opreme M1 i M2.

5.1.1 Kategorija M1

Oprema izrađena i po potrebi opremljena dodatnim posebnim sredstvima zaštite, sposobna funkcionirati prema radnim parametrima što ih je utvrdio proizvođač, osiguravajući **vrlo visoku razinu zaštite**.

Zahtijeva se da oprema ostane upotrebljiva i u slučaju izuzetnih kvarova opreme, uz prisutnost eksplozivne atmosfere i da su joj svojstvena sredstva zaštite kao što su:

- u slučaju kvara jednog sredstva zaštite barem jedno drugo nezavisno sredstvo osigurava traženu razinu zaštite;
- tražena razina zaštite je osigurana i u slučaju dvaju kvarova nastalih nezavisno jedan o drugome. [4]

5.1.2 Kategorija M2

Oprema izrađena tako da može funkcionirati prema radnim parametrima što ih je utvrdio proizvođač osiguravajući **visoku razinu zaštite**.

U slučaju pojave eksplozivne atmosfere ovoj opremi mora biti moguće isključiti napajanje. Sredstva zaštite osiguravaju potrebnu razinu zaštite za vrijeme normalnog rada, a također i u slučaju otežanih radnih uvjeta, a posebno pri grubom rukovanju i promjeni uvjeta rada. [4]

5.2 Oprema skupine II – nadzemlje

Oprema namijenjena za uporabu na ostalim mjestima koja bi mogla biti ugrožena eksplozivnim atmosferama, uključujući i kategorije opreme 1, 2 i 3.

5.2.1 Kategorija 1

Oprema izrađena tako da može funkcionirati u skladu s radnim parametrima što ih je utvrdio proizvođač osiguravajući **vrlo visoku razinu zaštite**.

Namijenjena je uporabi u prostorima u kojima je eksplozivna atmosfera uzrokovana smjesom zraka i plinova, para ili maglica, ili smjesom zraka i prašine, trajno prisutna ili je prisutna duže vrijeme ili se često pojavljuje.

Oprema ove kategorije mora osiguravati traženu razinu zaštite i za slučaj izuzetnih kvarova i pritom su joj svojstvena sredstva zaštite kao što su:

- u slučaju kvara jednog sredstva zaštite barem jedno drugo nezavisno sredstvo osigurava traženu razinu zaštite;
- tražena razina zaštite je osigurana i u slučaju dvaju kvarova nastalih nezavisno jedan o drugome. [4]

5.2.2 Kategorija 2

Oprema izrađena tako da može funkcionirati prema radnim parametrima što su ih utvrdili proizvođači osiguravajući **visoku razinu zaštite**.

Namijenjena je uporabi u prostorima u kojima se povremeno može pojaviti eksplozivna atmosfera uzrokovana plinovima, parama, maglicama ili smjesama zraka i prašine.

Zaštitna sredstva koja se odnose na opremu ove kategorije, osiguravaju traženu razinu zaštite i uz pojavu često nastale smetnje ili kvara opreme koji se normalno moraju biti uzeti u obzir. [4]

5.2.3 Kategorija 3

Oprema izrađena tako da može funkcionirati prema radnim parametrima što su ih utvrdili proizvođači osiguravajući **normalnu razinu zaštite**.

Namijenjena je uporabi u prostorima u kojima se ne očekuje pojava eksplozivne atmosfere, uzrokovane plinovima, parama, maglicama ili smjesama zraka i prašine, ili se može pojaviti rijetko, a kada se pojavi, kratko traje. [4]

Tablica 1. Odnos između kategorija i zona [3]

| Kategorija | Tip eksplozivne atmosfere | Izrađeno za zonu | Primjenjivo i za zonu |
|------------|---|------------------|-----------------------|
| 1G | smjesa plina i zraka smjesa pare i zraka smjesa maglice i zraka | 0 | 1 i 2 |
| 1D | smjesa prašine i zraka | 20 | 21 i 22 |
| 2G | smjesa plina i zraka smjesa pare i zraka smjesa maglice i zraka | 1 | 2 |
| 2D | smjesa prašine i zraka | 21 | 22 |
| 3G | smjesa plina i zraka smjesa pare i zraka smjesa maglice i zraka | 2 | - |
| 3D | smjesa prašine i zraka | 22 | - |

6. SKUPINA PLINOVA

Oprema skupine II namijenjena za uporabu u eksplozivnim atmosferama plina također se može klasificirati prema prirodi potencijalno eksplozivne atmosfere za koju je namijenjena. Ova oprema je klasificirana prema eksplozivnim skupinama plinova IIA, IIB i IIC.

Klasifikacija se temelji na najvećem eksperimentalnom sigurnosnom rasporu i minimalnoj struji paljenja plinske smjese.

Oznaka skupine plinova može se koristiti za klasifikaciju opreme s obzirom na zapaljivost.

Za opću uporabu s eksplozivnom atmosferom koja sadrži vodik, potrebna je skupina plinova IIC. [4]

Tablica 2. Tablica skupne plinova [4]

| Skupina plinova | Oprema koja se može koristiti u takvim atmosferama |
|------------------------|---|
| IIA | IIA, IIB, IIC |
| IIB | IIB, IIC |
| IIC | IIC |

7. NAJVIŠA TEMPERATURA POVRŠINE

Kao dio analize opasnosti od paljenja eksplozivne atmosfere, mora se utvrditi najviša temperatura površine opreme pri maksimalnoj temperaturi okoline za koju je oprema projektirana.

Mjerenje ili izračunavanje najveće površinske temperature mora se izvršiti s opremom pri punom opterećenju.

U slučaju opreme skupine II, mjerenje ili izračunavanje najviše površinske temperature uključuje uvjete rada očekivane neispravnosti za opremu kategorije 2 i rijetkih kvarova za opremu kategorije 1, za koju se ne koriste dodatne zaštitne mjere.

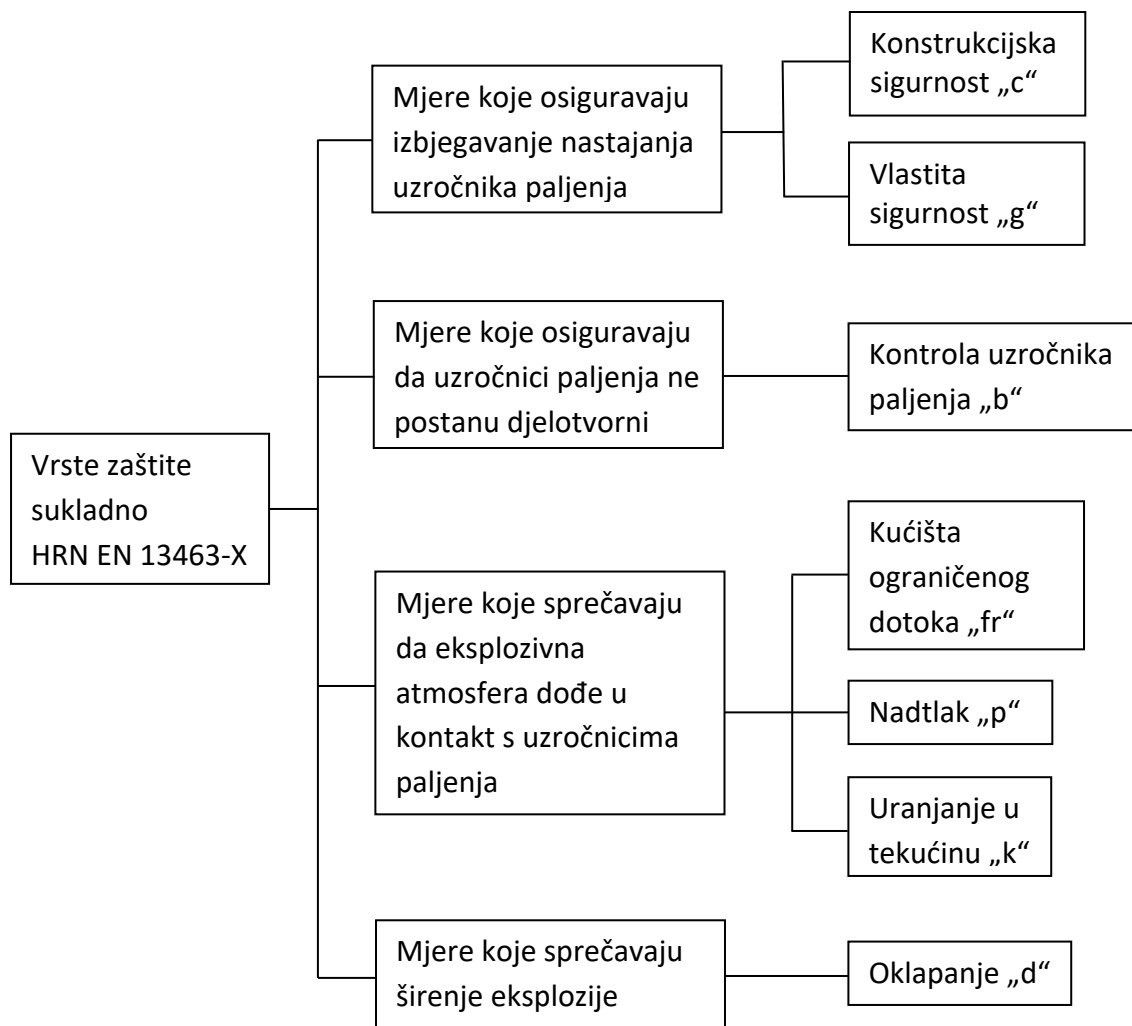
Oprema skupine IIG treba biti klasificirana prema temperaturnim razredima ovisno o maksimalnoj temperaturi površine prema tablici 3, ili treba bit definirana stvarnom maksimalnom temperaturom površine.

Tamo gdje maksimalna temperatura površine ne ovisi o samoj opremi, već uglavnom o radnim uvjetima (poput zagrijane tekućine u pumpi), relevantne informacije bit će navedene u uputama za uporabu, a oprema će biti označena TX. [4]

Tablica 3. Klasifikacija maksimalne temperature za opremu skupine IIG [4]

| Temperaturni razred | Najviša temperatura površine (°C) |
|----------------------------|--|
| T1 | 450 |
| T2 | 300 |
| T3 | 200 |
| T4 | 135 |
| T5 | 100 |
| T6 | 85 |

8. PREGLED VRSTA PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE



Slika 1. Pregled vrsta protueksplozijske zaštite neelektričnih uređaja

U nastavku će kratko biti obrađena samo zaštita konstrukcijskom sigurnošću „c“ i kontrola uzročnika paljenja „b“ i to samo oni dijelovi standarda koji se primjenjuju u predmetnoj certifikaciji.

8.1 Zaštita konstrukcijskom sigurnošću „c“ (HRN EN 13463-5)

Vrsta zaštite od paljenja u kojoj se primjenjuju konstrukcijske mjere kako bi se spriječila mogućnost paljenja eksplozivne atmosfere uzrokovana vrućom površinom, iskrenjem i adijabatskom kompresijom, generirano pokretnim dijelovima.

Jedna od metoda primjene zaštite od paljenja je odabir vrste opreme koja ne sadrži izvor paljenja u normalnim uvjetima rada, a zatim primjena dobrih inženjerskih načela, kako bi rizik od mehaničkih kvarova koji bi mogli stvoriti zapaljive temperature ili iskre bio smanjen na vrlo nisku razinu. Takve se zaštitne mjere se nazivaju „konstrukcijska sigurnost“ ili vrsta zaštite „c“.

Svi dijelovi opreme moraju biti sposobni funkcionirati u skladu s radnim parametrima koje je utvrdio proizvođač tijekom predviđenog vijeka trajanja, te biti dovoljno čvrsti i izdržljivi da izdrže mehanička i toplinska naprezanja kojima će biti izloženi. [5]

8.1.1 Zahtjevi za brtve pokretnih dijelova

a) Nepodmazivana brtvila, brtve, čahure, mijehovi i membrane

Navedeni dijelovi koji su izloženi tarnom kontaktu u normalnom radu ili tijekom predvidivog kvara, ne smiju sadržavati lake metale. Prikladni su rukavci od elastomernog materijala, PTFE-a ili sličnog materijala, grafita i keramike.

Nemetalni materijali moraju biti otporni na izobličenja i degradaciju bez smanjenja učinkovitosti zaštite od eksplozije. [5]

b) Brtvenice

Mogu se koristiti samo ukoliko porast temperature ne bude iznad definirane najviše temperature površine. Potrebno je koristiti uređaj za praćenje temperature i isključivanje opreme. [5]

c) Podmazivane brtve

Brtve koje zahtijevaju prisutnost sredstva za podmazivanje radi sprečavanja pojave vruće površine u njihovom kontaktu sa dijelovima opreme, moraju biti projektirane tako da osiguravaju dovoljnu prisutnost maziva ili moraju biti zaštićene na jedan od sljedećih načina:

- osiguravanje učinkovitih mjera za praćenje prisutnosti sredstva za podmazivanje
- osiguravanje uređaja za praćenje temperature koji upozorava na povećanje temperature
- projektiranje opreme tako da može izdržati ispitivanje „rada na suho“, kako je opisano u Prilogu B ovog standarda, bez prekoračenja najviše temperature površine i/ili pretrpljenih oštećenja koja bi umanjila učinkovitost njegovih svojstava zaštite od paljenja eksplozivne atmosfere

Upute proizvođača trebaju uključivati pojedinosti o pravilnom podmazivanju, nadzoru i održavanju takvih brtvi. [5]

8.1.2 Zahtjevi za pokretne dijelove

a) Vibracije

Vibracije pokretnih dijelova koji stvaraju potencijalno zapaljive vruće površine ili mehaničke iskre trebaju biti izbjegnute. Vibracije mogu nastati od same opreme ili od mjesta gdje je oprema montirana.

Proizvođač mora dostaviti sve potrebne upute za instalaciju, rad i održavanje. U uputama treba biti naveden raspon radnih brzina opreme.

Alternativno, oprema može biti opremljena uređajem za kontrolu vibracija. [5]

b) Zračnosti

Razmaci između nepodmazanih pokretnih dijelova i fiksnih dijelova moraju se dimenzionirati tako da se izbjegne tarni kontakt koji može generirati vruću površinu i/ili mehaničku iskru, te dovesti do zapaljenja eksplozivne atmosfere. [5]

c) Podmazivanje

Pokretni dijelovi koji ovise o prisutnosti mazivog medija za sprječavanje porasta temperature iznad najviše temperature površine ili stvaranje mehaničkih iskri moraju se projektirati kako bi se osigurala prisutnost mazivog medija, npr. automatskim sustavom podmazivanja ili ručnim sustavom za praćenje razine ulja, zajedno s odgovarajućim uputama o redovitom servisiranju i pregledu.

Ako to nije moguće, upotrijebit će se alternativne mjere za kontrolu rizika od paljenja (npr. temperaturni senzori koji aktiviraju alarm prije nego što se postigne potencijalna temperatura paljenja ili temperaturni senzor za kontrolu potencijalnog izvora paljenja (HRN EN 13463-6).

Ako je oprema projektirana za dobavljanje tekućina, a prisutnost radnog medija je bitna za podmazivanje, hlađenje, gašenje ili sprečavanje paljenja, to mora biti navedeno u uputama proizvođača. [5]

8.1.3 Zahtjevi za ležajeve

a) Opći zahtjevi

- Ležaj mora biti projektiran za predviđene uvijete (brzina, opterećenje, itd...)
- Radni vijek prema ISO 281, za kotrljajuće ležajeve
- Pravilna ugradnja ležajeva
- Uzeti u obzir aksijalno i radijalno opterećenje ležajeva uzrokovano toplinskim širenjem vratila i kućišta za najteže radne uvijeta
- Zaštita ležaja od prodora vode i krutih tvari (ako je potrebno)
- Zaštita ležaja od električnih struja, uključujući lutajuće vrtložne struje
- Osigurati odgovarajuće podmazivanje
- Propisati preporučene intervale podmazivanja
- Zamjeniti ležajeve nakon neprihvatljive istrošenosti ili nakon predviđenog vijeka trajanja (što prije nastupi)
- Zaštita ležajeva od vibracije, naročito u mirovanju
- Upute proizvođača moraju sadržavati pojedinosti o održavanju [5]

b) Podmazivanje

Ležajevi koji ovise o prisutnosti mazivog medija za sprječavanje porasta temperature iznad najviše temperature površine ili stvaranje mehaničkih iskri moraju se projektirati kako bi se osigurala prisutnost mazivog medija, npr. ležajevima koji su zatvorenog tipa, podmazivanje prskanjem, automatskim sustavom podmazivanja ili ručnim sustavom za praćenje razine ulja, zajedno s odgovarajućim uputama o redovitom servisiranju i pregledu.

Ako to nije moguće, upotrijebit će se alternativne mjere za kontrolu rizika od paljenja (npr. temperaturni senzori koji aktiviraju alarm prije nego što se postigne

potencijalna temperatura paljenja ili temperaturni senzor za kontrolu potencijalnog izvora paljenja (HRN EN 13463-6).

Ako je oprema projektirana za dobavljanje tekućina, a prisutnost radnog medija je bitna za podmazivanje, hlađenje, gašenje ili sprečavanje paljenja, to mora biti navedeno u uputama proizvođača. [5]

c) Kemijska kompatibilnost

Ležajevi moraju biti izrađeni od materijala otpornih na radne medije u kojima se namjeravaju koristiti. Materijal upotrijebljen u izradi ležaja, mora biti otporan na bilo koju tekućinu ili otapalo koje može doći u dodir s njima.

Posebnu pozornost treba posvetiti mogućnosti bubrenja nemetalnih dijelova. Tamo gdje se tekućine ili pare mogu otopiti u mazivu ležajeva, mazivo i u takvom stanju mora odgovarati svojoj namjeni. [5]

8.2 Zaštita kontrolom uzročnika paljenja „b“ (HRN EN 13463-6)

Kako bi se spriječilo da potencijalni izvori paljenja postanu učinkoviti tijekom normalnog rada, kvara i rijetkih kvarova u opremu se ugrađuju senzori koji u ranoj fazi otkrivaju opasne uvijete rada i sprječavaju da se potencijalni izvori paljenja eksplozivne atmosfere pretvore u učinkovite.

Takvi senzori, odnosno uređaji mogu biti mehanički, električni, optički, vizualni ili kombinacija navedenoga.

Uvođenje takvih senzora i s njima povezanih automatskih ili ručnih mjera sprječavanja paljenja, naziva se „kontrola uzročnika paljenja“ ili vrsta zaštite „b“.

Kvar bilo kojeg kontrolnog senzora, odnosno uređaja može dovesti rizika od paljenja eksplozivne atmosfere. Iz tog razloga, ovaj standard zahtijeva njihovu ocjenu i predlaže minimalnu kvalitetu takvih uređaja u obliku razine zaštite od paljenja (ignition prevention level, IPL). [6]

8.2.1 Razine zaštite od paljenja (ignition prevention level, IPL)

Sustav za sprječavanje paljenja razine IPL 1 i IPL 2 moraju sadržavati dobro ispitane komponente s dokazanom pouzdanosti, sastavljene i instalirane u skladu sa svim relevantnim standardima, prihvaćajući dobro ispitane sigurnosne principe, sposobne izdržati očekivane utjecaje tijekom rada sustava.

a) IPL 1

- ako je prekoračena kritična vrijednost kontrolnog parametra sprječava se da izvor paljenja postane učinkovit ili se daje upozorenje da se može pojaviti izvor paljenja
- sustav za sprječavanje paljenja može se provjeravati u odgovarajućim intervalima i pregledom se mora otkriti gubitak sigurnosne funkcije
- upute proizvođača moraju navesti interval periodičnog održavanja i moraju uključivati metode otkrivanja neispravnih senzora, odnosno uređaja, te radnje koje korisnik treba poduzeti ako se tijekom provjere otkriju kvarovi koji se moraju otkloniti prije ponovnog puštanja opreme u rad. [6]

b) IPL 2

- ako se prekorači kritična vrijednost kontrolnog parametra, sprječava se da izvor paljenja postane učinkovit
- ako se dogodi jedna greška u sustavu za sprječavanje paljenja, ne dolazi do gubitka sigurnosne funkcije sustava
- upute proizvođača opreme moraju navesti interval provjere senzora i sustava za sprječavanje paljenja, te radnje koje treba poduzeti ako se otkriju kvarovi [6]

Tablica 4. Minimalni IPL zahtjevi za sustave zaštite opreme skupine II [6]

| Pojava potencijalnog uzročnika paljenja | Kategorija 3 | Kategorija 2 | Kategorija 1 |
|---|--------------|--------------|--------------|
| U normalnom radu | IPL 1 | IPL 2 | - |
| Tijekom predvidivog kvara | - | IPL 1 | IPL 2 |
| Tijekom rijetkog kvara | - | - | IPL 1 |

Neelektrična oprema kategorije 1 mora biti zaštićena od paljenja u normalnom radu, s predvidljivim greškama i rijetkim greškama na opremi. Oprema ove kategorije mora biti sigurna s više grešaka koje se mogu pojaviti, ili mora biti zaštićena s dvije zaštitne metode.

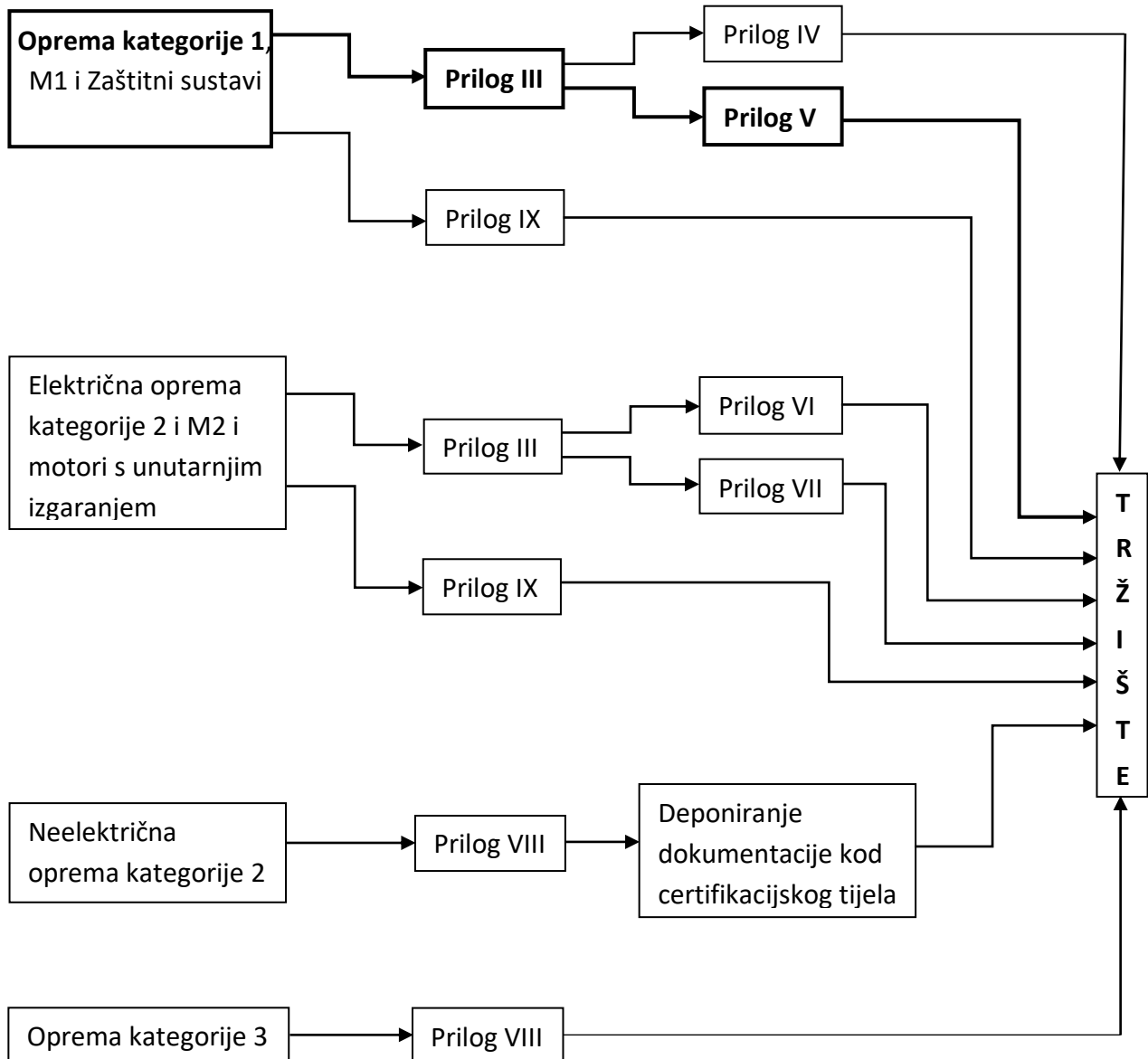
Iz tog razloga, za opremu kategorije 1, ovaj oblik zaštite može se primijeniti samo na opremu koja u normalnom radu nema uzročnik paljenja.

Tamo gdje se uzročnik paljenja može pojaviti samo kod rijetkog kvara, sustav za sprječavanje paljenja s IPL1 dovoljan je za postizanje potrebnog stupnja zaštite, pod uvjetom da izvor paljenja ne postane učinkovit ako se prekorači bilo koji kritični parametar upravljanja.

Tamo gdje je vjerojatno da će se uzročnik paljenja pojaviti tijekom predvidivih kvarova, sustav za sprječavanje paljenja s IPL2 dovoljan je za postizanje potrebnog stupnja zaštite. [6]

9. OCJENA SUKLADNOSTI

Sljedeća shema prikazuje proces certifikacije ovisno o kategoriji opreme, odnosno vezu sa priložima iz ATEX Direktive 2014/34/EU:



Slika 2. Shema procesa certifikacije [7]

Prilozi (moduli) ocjene sukladnosti:

- III - EU - Ispitivanje tipa (B)
- IV - Osiguranje kvalitete u proizvodnji (D)
- V - Provjera proizvoda (F)
- VI - Sukladnost tipu (C)
- VII - Osiguranje kvalitete proizvoda (E)
- VIII - Unutarnja kontrola proizvodnje (A)
- IX - Pojedinačna provjera (G)

Ovim radom obuhvaćena je certifikacija istaknuta u gornjem redu prikaza na slici 2, odnosno prema Prilogu III i Prilogu V. U tablici niže je kratki opis svih Priloga.

Tablica 5. Postupci ocjenjivanja sukladnosti prema ATEX Direktivi 2014/34/EU [8]

| Postupak ocjenjivanja sukladnosti | Direktiva 2014/34/EU | Kratki opis |
|--|-----------------------------|---|
| EU - Ispitivanje tipa (Modul B) | Prilog III | Dostavlja se primjerak predviđene proizvodnje ovlaštenom tijelu koje provodi potrebnu procjenu kako bi se utvrdilo da "tip" zadovoljava bitne zahtjeve Direktive 2014/34/EU i izdaje certifikat o EU-ispitivanju tipa |
| Osiguranje kvalitete u proizvodnji (Modul D) | Prilog IV | Provodi se sustav kvalitete za proizvodnju koji je odobren od strane ovlaštenog tijela, završni pregled opreme i ispitivanje. |
| Provjera proizvoda (Modul F) | Prilog V | Nadzorno tijelo pregledava i testira svaki proizvod radi provjere sukladnosti opreme, zaštitnog sustava ili uređaja sa zahtjevima Direktive 2014/34/EU i sastavljanje certifikata o sukladnosti. |
| Sukladnost tipu (Modul C) | Prilog VI | Ispitivanja koja provodi proizvođač na svakom proizvedenom komadu opreme kako bi provjerili aspekti dizajna zaštite od eksplozije. Provodi se pod odgovornošću ovlaštenog tijela. |
| Osiguranje kvalitete proizvoda (Modul E) | Prilog VII | Sustav kvalitete koji je ovlašteno tijelo odobrilo za konačni pregled i ispitivanje opreme. |
| Unutarnja kontrola proizvodnje (Modul A) | Prilog VIII | Postupak ocjenjivanja proizvoda i sustava kvalitete provodi proizvođač. Deponiranje dokumentacije kod ovlaštenog tijela. |
| Pojedinačna provjera (Modul G) | Prilog IX | Ovlašteno tijelo ispituje pojedinačnu opremu ili zaštitni sustav i provodi ispitivanja kako su definirana u europskim harmoniziranim standardima ili na neki drugi način u europskim, međunarodnim ili nacionalnim standardima ili provode ekvivalentna ispitivanja kako bi osigurali sukladnost s relevantnim zahtjevima Direktive 2014/34/ EU i sastavljanje certifikata o sukladnosti. |

10. OPĆI PODACI O PUMPAMA TIPAMA VPPm

10.1 Opis pumpe i presjek

Pumpa tipa VPPm je vertikalna pumpa jednostavne konstrukcije, što znači da medij ulazi preko usisne košare i ulaznog kućišta, prolazi kroz poluaksijalne ili radijalne zatvorene rotore (ovisno o izvedbi odnosno parametrima pumpe), međukućišta, izlazno kućište, te u produžetku kroz cijevne nastavke i nosač pumpe u tlačni vod sistema.

Ovisno o mjestu ugradnje, pumpa može imati tlačnu prirubnicu ispod ili iznad temelja. Pumpa je višestupanjske izvedbe i broj stupnjeva ovisi o traženom tlaku dobave pumpe.

Ulazno i izlazno kućište, rotorska i statorska kola, te međukućišta pumpe su lijevane izvedbe. Cijevni nastavci, međunosai i lanterna motora su varene izvedbe.

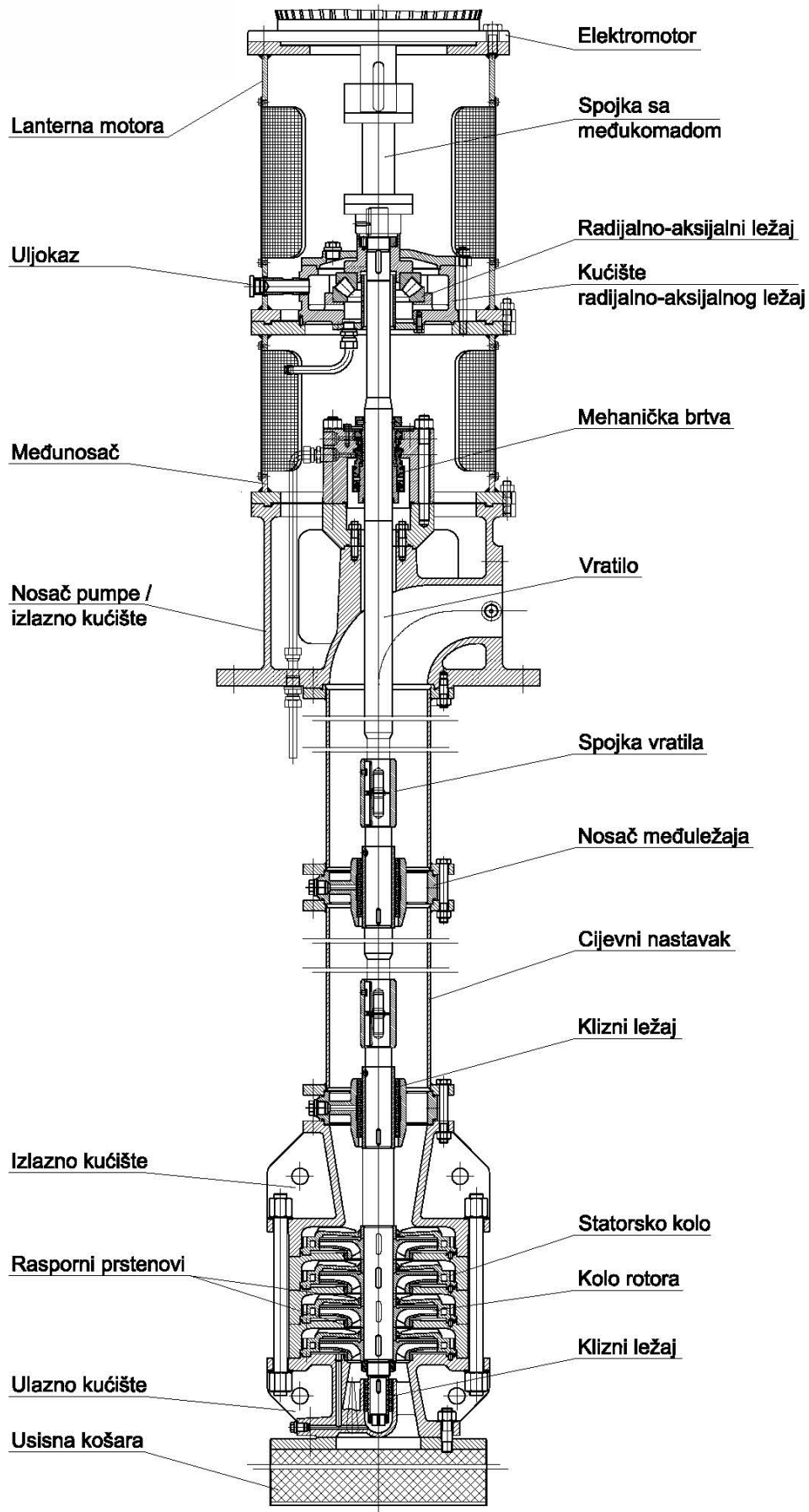
Vratilo je višedijelno iz nehrđajućeg čelika i spojeno u jednu cjelinu preko spojki koje su također izrađene iz nehrđajućeg čelika. Vratila su uležištena sa kliznim ležajevima koji se nalaze u ulaznom i izlaznom kućištu, te u nosačima između cijevnih nastavaka. Broj međuležaja ovisi o dužini pumpe.

Radijalno - aksijalni ležaj je kotrljajući, podmazivan uljem ili mašću. Zamjena ulja, odnosno interval podmazivanja mašću je propisan u knjizi uputa. Ležaj je dimenzioniran tako da preuzme ukupnu težinu rotorskog dijela pumpe i silu koja nastaje kao rezultat djelovanja stupca tekućine.

Vratilo pumpe i el. motora je povezano preko fleksibilne spojke sa međukomadom koji prilikom demontaže omogućuje skidanje nosača aksijalnog ležaja i mehaničke brtve bez skidanja el. motora sa pumpe. Spojka je neiskreća sa ATEX certifikatom.

Brtvljenje pumpe je izvedeno s jednostrukom „cartridge“ mehaničkom brtvom koja je u skladu sa standardom API 682. API plan 13/61 omogućuje konstantnu recirkulaciju radnog medija kroz mehaničku brtvu natrag u crpni rezervoar ostvarujući time podmazivanje i hlađenje kontaktnih lica brtve.

Recirkulacija medija kroz mehaničku brtvu također osigurava ostvarivanje minimalnog protoka i kroz samu pumpu prilikom rada sa zatvorenim tlačnim ventilom, što se smatra nepravilnim radom pumpe, ali takva minimalna cirkulacija omogućuje podmazivanje radijalnih ležaja i odvodnju generirane topline iz hidrauličkog dijela pumpe.



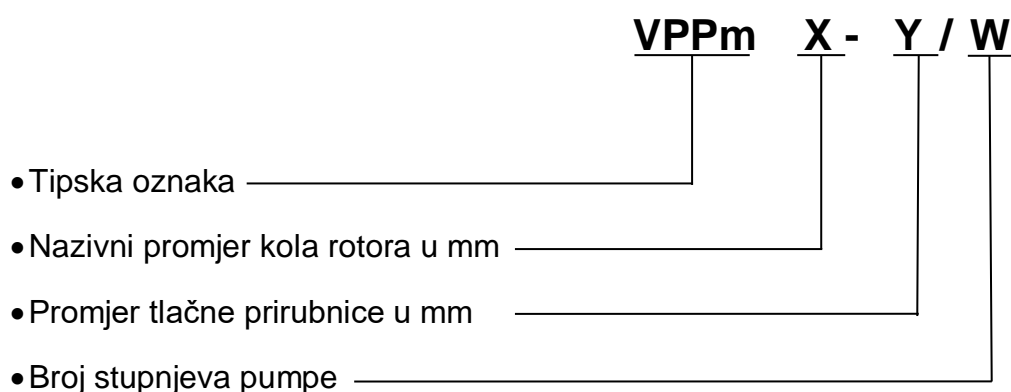
Slika 3. Presjek pumpe sa označenim glavnim dijelovima [9]

10.2 Raspon radnih parametara pumpi

| | |
|-------------------|------------------------------|
| Količina dobave: | 2 – 2000 m ³ /h |
| Visina dobave: | 10 – 1000 m |
| Broj okretaja: | 750 – 3600 min ⁻¹ |
| Snaga na vratilu: | 1 – 1000 kW |
| MAWP: | 10 – 110 bar |

(Najviši dopušteni radni tlak)

10.3 Označavanje pumpi



Oznaka pumpi je izravno vezana za radne parametre (količina dobave, visina dobave, broj okretaja), te može varirati u velikom broju kombinacija. Geometrija rotora, odnosno hidrauličkog dijela pumpe utječe na sve radne parametre pumpe, dok broj stupnjeva utječe samo na visinu dobave i potrebnu snagu.

U tablici 1 prikazan je raspon svih gore navedenih varijabli (X, Y, W) koje se mogu pojaviti kod oznake pumpe.

Tablica 6. Raspon varijabli kod označavanja pumpe

| X | Y | W |
|-----------|----------|--------|
| 120 - 550 | 32 - 400 | 1 - 21 |

11. ISPITIVANJA PUMPE

11.1 Opis ispitivanog sustava

Ispitivani sustav sastoji se od vertikalne pumpe i elektromotora postavljenih na spremnik vode u ispitnoj stanici. Izvršiti će se ispitivanje temperatura na kritičnim mjestima pumpe, vibracijsko stanje pumpnog agregata i funkcijonalno ispitivanje radnih parametara pumpe. Fotografski prikaz pumpe na ispitinoj stanici vidljiv je na slici 4.

Osnovni tehnički podaci o pumpi:

| | |
|------------------|-----------------------------|
| Proizvođač: | TTK |
| Tip: | VPPm 180-50/4 |
| Serijski broj: | 6307 |
| Količina dobave: | 18 m ³ /h |
| Tlak dobave: | 12 bar |
| Brzina vrtnje: | $n = 2965 \text{ min}^{-1}$ |
| Snaga: | $P = 12,8 \text{ kW}$ |

Osnovni tehnički podaci o elektromotoru:

| | |
|----------------|-----------------------------|
| Proizvođač: | BEVI |
| Tip: | RDK 200 L2-2 |
| Serijski broj: | 300823067002 |
| Brzina vrtnje: | $n = 2965 \text{ min}^{-1}$ |
| Snaga: | $P = 37 \text{ kW}$ |
| Napon: | $U = 400 \text{ V}$ |
| Struja: | $I = 64,9 \text{ A}$ |
| Frekvencija: | $f = 50 \text{ Hz}$ |

Napomena: El.motor je korišten samo za potrebe ispitivanja pumpe i nije namjenjen za ugradnju na pumpu u postrojenju kupca. Kupac osigurava elektro motor za ugradnju na pumpu.



Slika 4. Ispitivana pumpa na spremniku ispitne stanice [9]

11.2 Mjerenje temperatura na pumpi

11.2.1 Uvod

Izvršena su mjerenja temperatura pumpe tip VPPm 180-50/4, u ispitnoj stanici Tvornice turbina Karlovac. Mjerenja su izvršena u različitim režimima rada pumpe i to:

- normalni rad pumpe
- rad pumpe sa zatvorenim tlačnim ventilom tj. rad bez protoka
- rad pumpe bez radnog medija tj. rad na suho

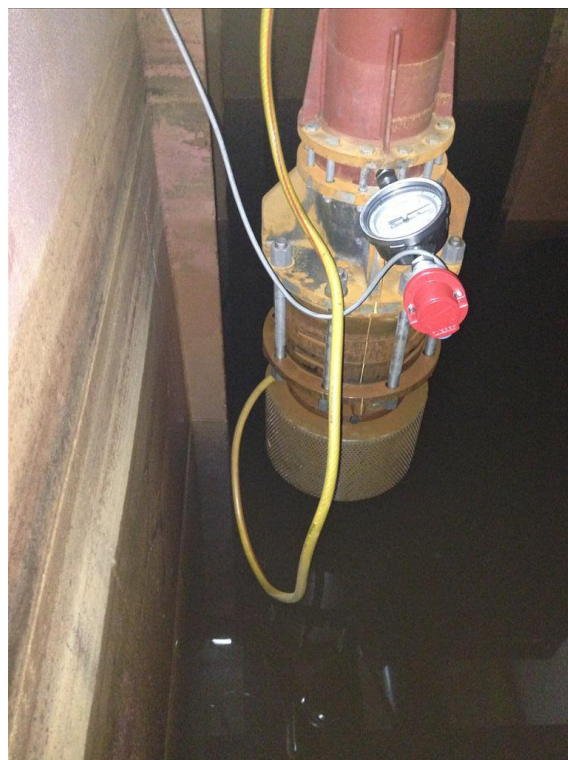
Ovo ispitivanje se vrši s ciljem utvrđivanja mogućih izvora paljenja kao i primjerenih zaštitnih mehanizama u slučajevima kada se pumpa ugrađuje u potencijalno eksplozivnu atmosferu Zona 0.



Slika 5. Mjerna opreme za vremensko praćenje temperature [9]



Slika 6. Sonda na mjernom mjestu T1 i rad pumpe kod minimalnog nivoa [9]



Slika 7. Sonda na mjernom mjestu T1 i rad pumpe bez radnog medija [9]

11.2.2 Postupak mjerenja temperatura

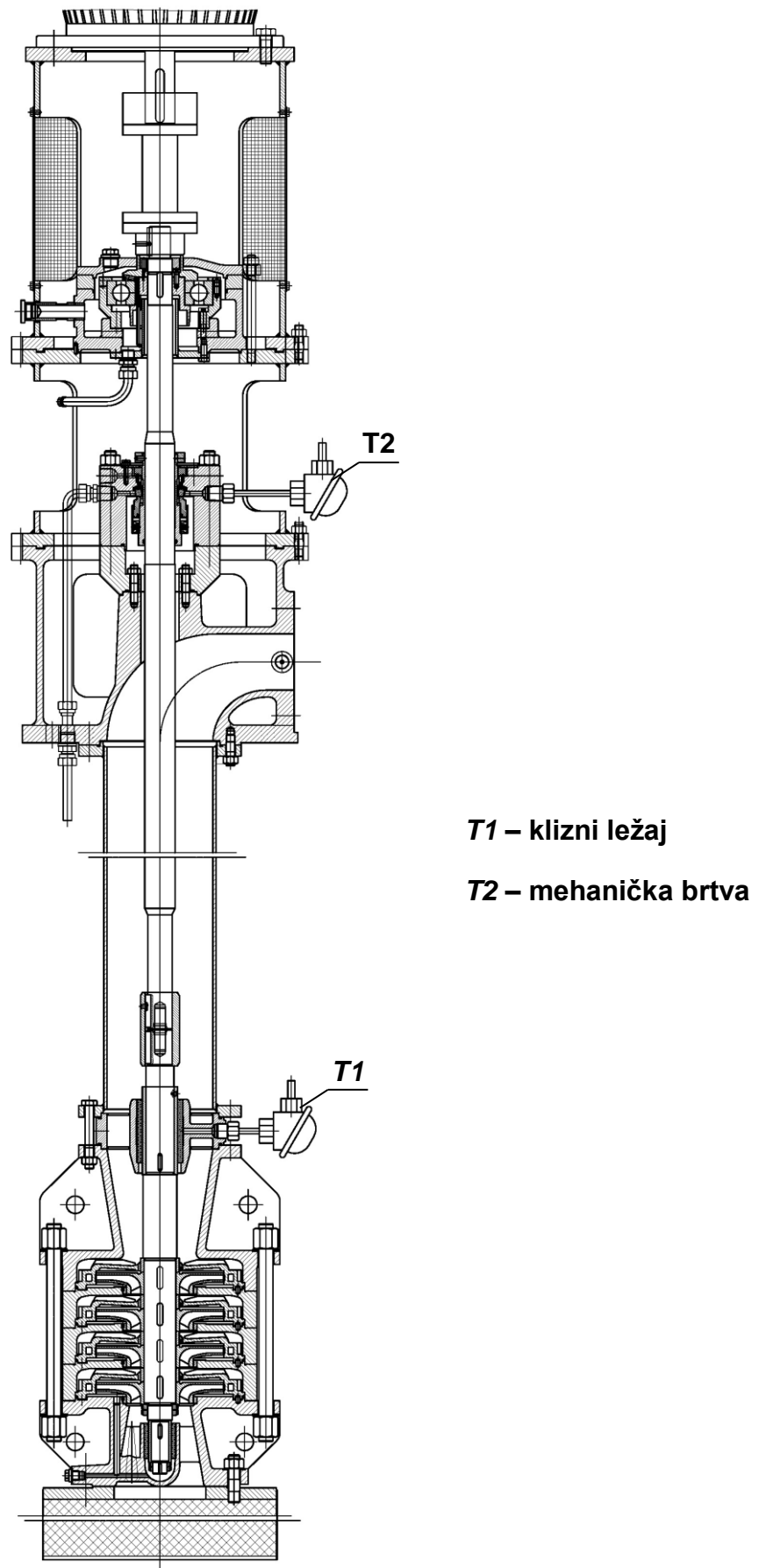
Mjerenja temperatura izvršena su na mjernim mjestima $T1$ i $T2$, prikazanim na slici broj 8. Mjerno mjesto $T1$ je na kliznom ležaju pumpe, a mjerno mjesto $T2$ je na mehaničkoj brtvi. Mjerna veličina temperatura je u $^{\circ}\text{C}$. Ova mjerna mjesta su odabrana jer se tu konstruktivno mogu pojaviti maksimalne temperature u radu pumpe.

Prvi dio mjerenja proveden je pri nominalnom radnom režimu ($Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 12 \text{ bar}$), a drugi dio mjerenja proveden je pri potpuno zatvorenom ventilu ($Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$), simulirajući na taj način neispravan rad kod zatvorenog ventila. Mjerenja su izvršena u vremenskom razdoblju od 12:32 do 14:10 h.

Izvršeno je i simuliranje neispravnog rada pumpe, tj. rad „na suho“, odnosno bez radnog medija, a mjerenja su provedena na mjernom mjestu $T1$. Mjerenja su izvršena u vremenskom razdoblju od 08:10 do 08:40 h.

Za mjerenje temperatura upotrebljena je sljedeća mjerna oprema:

- prijenosno računalo HP 6550b
- mjerni kofer s ugrađenom opremom od National Instruments za vremensko praćene temperature
- temperaturne sonde Rueger PT100



Slika 8. Mjerna mjesta za mjerenje tempratura [9]

11.2.3 Rezultati mjerenja

Tablični prikaz rezultata mjerenja temperatura provedenih vidljiv je u tablici 7. Na slici 9 je grafički prikaz mjerenja temperature u ovisnosti o vremenu za mjerno mjesto $T1$ (klizni ležaj), a na slici 10 za mjerno mjesto $T2$ (mehanička brtva).

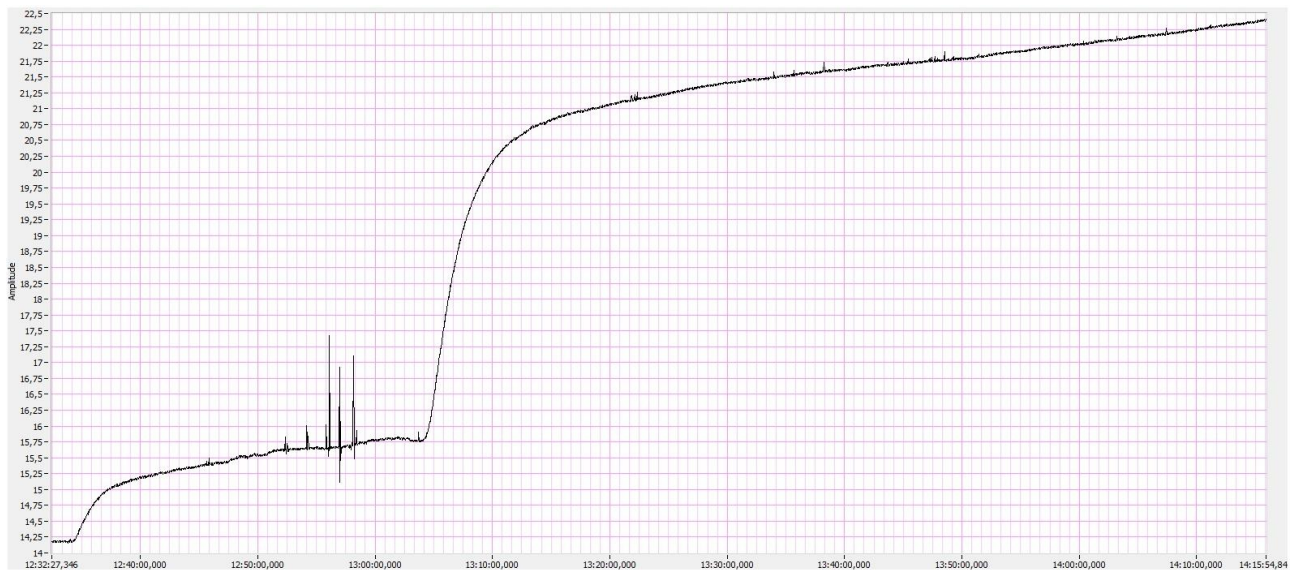
Tablica 7. Prikaz temperatura u ovisnosti o vremenu

| | Normalni rad | | | | Rad bez protoka (zatvoreni ventil) | | | | | | | |
|-----------|--------------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Vrijeme | 12:32 | 12:40 | 12:50 | 13:00 | 13:10 | 13:20 | 13:30 | 13:40 | 13:50 | 14:00 | 14:10 | |
| $T1$ [°C] | 14,10 | 15,20 | 15,50 | 15,75 | 20,25 | 21,00 | 21,35 | 21,62 | 21,75 | 22,00 | 22,25 | |
| $T2$ [°C] | 14,60 | 16,20 | 16,50 | 16,75 | 20,50 | 21,85 | 22,40 | 22,70 | 22,90 | 23,10 | 23,30 | |
| Tm [°C] | 14,0 | | | | | | | | | | | |
| Ta [°C] | 14,6 | | | | | | | | | | | |

U normalnom režimu rada kod nominalne radne točke, temperatura na mjernom mjestu $T1$ se stabilizirala na **15,75 °C**, a na mjernom mjestu $T2$ na **16,75 °C**, nakon 28 minuta rada pumpe.

Nakon što se temperatura stabilizirala, zatvorili smo tlačni ventil kako bi simulirali neispravan rad pumpe bez protoka.

U režimu rada bez protoka, temperatura medija u pumpi je naglo počela rasti uslijed pretvorbe mehaničke energije u toplinsku. Međutim nakon inicijalnog naglog rasta gdje je u vremenu od 11 minuta temperatura porasla za **~5,1 °C**, a nakon tog vremena je nastavila rasti sa zanemarivim rastom od **1,4 °C / sat**, čime se zapravo lagano zagrijavao medij u spremniku ispitne stanice.



Slika 9. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto T1 (klizni ležaj) [9]



Slika 10. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto T2 (mehanička brtva) [9]

Tablični prikaz rezultata mjerenja temperatura provedenih pri testiranju rada pumpe „na suho“ vidljiv je u tablici 8. Na slici 11 prikazan je grafički prikaz mjerenja temperature u ovisnosti o vremenu za mjerno mjesto $T1$.

Tablica 8. Prikaz temperatura u ovisnosti o vremenu – rad „na suho“

| | Pumpa u mirovanju | | | | Pumpa radi „na suho“ | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Vrijeme | 08:10 | 08:14 | 08:18 | 08:22 | 08:26 | 08:30 | 08:32 | 08:34 | 08:36 | 08:38 | 08:40 | |
| $T1$ [°C] | 15,10 | 15,10 | 15,10 | 15,20 | 16,25 | 18,50 | 19,90 | 20,75 | 21,35 | 21,75 | 22,00 | |
| Tm [°C] | 15,1 | | | | | | | | | | | |
| Ta [°C] | 15,1 | | | | | | | | | | | |



Slika 11. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto $T1$ – rad „na suho“ [9]

Kod neispravnog rada na suho može se vidjeti da je temperatura na mjernom mjestu T_1 porasla do **22 °C** prosječnim porastom od **0,4 °C / min** međutim nakon 18 minuta pumpa se zaustavila radi izbacivanja prekostrujne zaštite elektromotora i zaribavanja.

Demontažom pumpe i pregledom ustanovljeno je da je pumpa zaribala u rasporima rotora budući se klizni ležaj rastopio i povećanjem zračnosti omogućio dodir između površina raspora.

Budući je klizni ležaj izrađen od materijala Thordon ThorPlas koji se tali na temperaturi od **~250 °C**, a temperaturna sonda nije izmjerila više od **22 °C** uslijed izuzetnih svojstava termalne izolacije materijala ThorPlas, zaključeno je da se temperaturne sonde ne mogu adekvatno koristiti kao zaštitno sredstvo od porasta temperature.



Slika 12. Rastaljeni klizni ležaj Thordon ThorPlas [9]

11.2.4 Zaključak

Normalan rad pumpe

Prema rezultatima prikazanim u tablici 7 i slikama 9 i 10, vidi se da se ključna mjesta na pumpi pri normalnom i ispravnom radu ne zagrijevaju više od cca 2 °C od ambijentalne temperature i temperature medija, što je zanemarivo.

Rad pumpe bez protoka

Prema rezultatima prikazanim u tablici 7 i slikama 9 i 10 vidi se da se ključna mjesta na pumpi pri neispravnom radu bez protoka ne zagrijevaju više od inicijalnih $\Delta t = 5$ °C, sa daljnim porastom od 1,4 °C / sat radi zagrijavanja samog medija u ispitnom spremniku, što je zanemarivo.

Rad pumpe bez medija – “na suho”

Rezultati mjerenja temperature kliznog ležaja su pokazale određeni očekivani porast, međutim uslijed izolatorskih svojstava materijala kliznog leža ThorPlas, izmjerena vanjska temperatura je porasla za samo $\Delta t = \sim 7$ °C dok je temperatura dodirne površine kliznog ležaja i vratila prešla 250 °C jer je došlo do taljenja materijala.

Budući nije moguće fizički izvesti mjerenje temperature same dodirne površine kliznog ležaja i vratila, zaključujemo da praćenje temperature kliznog ležaja nije primjereno sredstvo kontrole ovog uzročnika paljenja, te predlažemo stalnu kontrolu potopivosti pumpe kao najprimjerenije sredstvo zaštite.

11.3 Kontrola vibracijskog stanja

11.3.1 Uvod

Izvršena je kontrola vibracijskog stanja pumpe VPPm 180-50/4 u ispitnoj stanici Tvornice turbina Karlovac. Kontrola vibracijskog stanja provedena je u svrhu ispitivanja i utvrđivanja vibracijskog stanja pumpe. Mjerenja su obavljena u različitim režimima rada.

Važno je napomenuti da je ovo mjerenje samo indikativno, te može pokazati ukoliko postoje anomalije koje je potrebno ukloniti prije isporuke, međutim važnija je provjera vibracijskog stanja pumpi na samom mjestu ugradnje, što se preporučuje izvršiti nakon ugradnje pumpi i puštanja u rad, kao i redovne godišnje kontrole.

11.3.2 Postupak mjerenja i analize vibracija

Kontrola apsolutnih vibracija sustava elektromotor - pumpa obavljena je na mjernim mjestima i u pravcima mjerenja prikazanim na slici 13. Mjerna mjesta broj 1 i 2 su na krajevima elektromotora. Mjerno mjesto broj 3 je na ležaju pumpe.

Mjerna veličina apsolutnih vibracija kućišta ležajeva je efektivna vibracijska brzina V_{ef} (mm/s) (RMS) za koju je izvršena i frekvencijska analiza.

Mjerna veličina frekvencijskih komponenti vibracija je „peak“ vibracijska brzina v_{op} (mm/s). Iznosi frekvencije su u Hz.

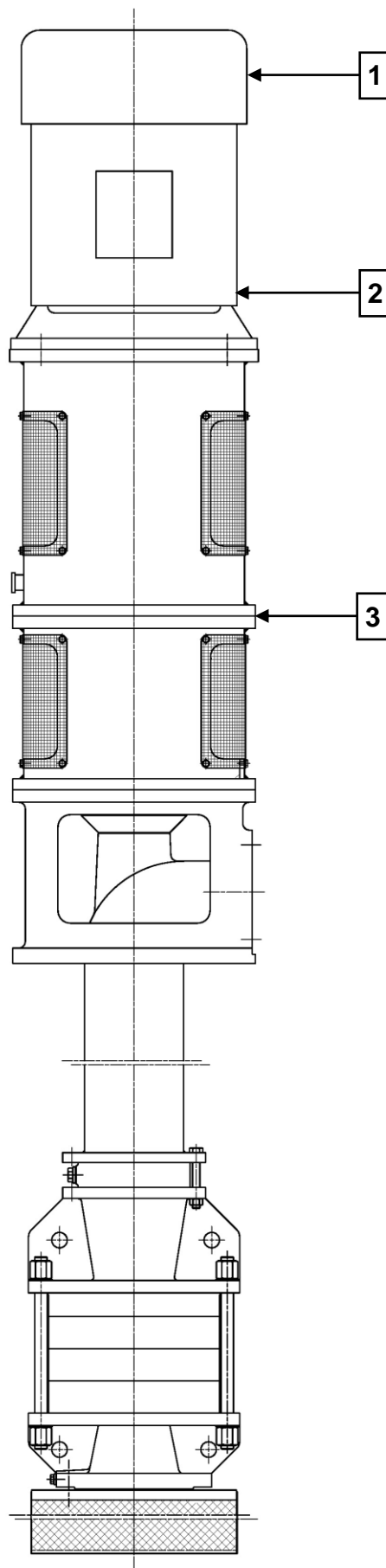
Mjerni pravci X, Y i Z su sljedeće orijentacije:

- X - horizontalno, okomito na os rotacije rotora sustava
- Y - vertikalno, okomito na os rotacije rotora sustava
- Z - aksijalno, paralelno sa osi rotacije rotora sustava

Ocjena izmjerenih nivoa apsolutnih vibracija ležajnih struktura data je na osnovu slijedećeg kriterija: **ISO 10816-7, kategorija I**

Za mjerenje vibracija upotrebljena je sljedeća mjerna oprema:

- analizator vibracija PRÜFTECHNIK, tip VIBXPRT II
- senzor vibracija PRÜFTECHNIK, tip VIB 6.142R



Slika 13. Mjerna mjesta za ispitivanje vibracija

11.3.3 Mehaničke vibracije – Ocjena vibracija strojeva mjerenjima na nerotirajućim djelovima (ISO 10816-7)

Standard za rotacijske pumpe namijenjene za rad u industriji, uključujući mjerenja na rotirajućim vratilima.

Kategorija I: Pumpe od kojih se zahtijeva visok stupanj pouzdanosti, dostupnosti i sigurnosti (npr. pumpe za otrovne ili opasne tekućine; za kritične primjene, naftu i plin, posebne kemikalije, primjene u nuklearnim elektranama ili termoelektranama).

Kategorija II: Pumpe za općenite ili manje kritične primjene (npr. pumpe za bezopasne tekućine).

Tablica 9. Klasifikacija evaluacijskih zona za vibracije strojeva Kategorije I, snaga do 200 kW

| Granica zona | RMS brzina [mm/s] |
|--------------|-------------------|
| A/B | 2,5 |
| B/C | 4,0 |
| C/D | 6,6 |

Zona A: Vibracije novih strojeva obično spadaju pod tu zonu

Zona B: Strojevi s vibracijama unutar ove zone se obično smatraju prihvatljivim za neograničeni dugoročni rad.

Zona C: Strojevi s vibracijama unutar ove zone se obično smatraju nezadovoljavajućim za dugoročni kontinuirani rad. Općenito, stroj može raditi ograničeno vrijeme u ovim uvjetima, dok se ne pojavi odgovarajuća prilika za korekciju.

Zona D: Nivoi vibracija unutar ove zone se obično smatraju dovoljno opasnim da uzrokuju štetu na stroju.

11.3.4 Rezultati mjerenja i analize vibracija

Tablični prikaz rezultata mjerenja vibracija u svim niže navedenim režimima vidljiv je u tablicama 10-13. Frekvencijski spektri vibracija vidljivi su nakon tabličnih prikaza ukupnih vibracija na slikama 14 do 22, gdje su prikazani spektri samo za posljednji režim rada.

Analiza vibracijskog stanja obavljena je pri pri sljedećim radnim režimima:

1. $H = 13,7$ bar, $Q = 0$
2. $H = 13$ bar, $Q = 16$ m³/h
3. $H = 12$ bar, $Q = 21$ m³/h
4. $H = 10,5$ bar, $Q = 26$ m³/h

Kontrola vibracija pumpe VPPm 180-50/4 i usporedba s dozvoljenim veličinama prema standardu ISO 10816-7 pokazuje da je ista s vibracijskog gledišta u redu i da zadovoljava uvjete za rad.

Apsolutne vibracije na mjernim mjestima broj 1 i 2 (krajevi elektromotora) i 3 (ležaj pumpe) pri svim mjerenim radnim režimima i u svim pravcima mjerenja spadaju u A evaluacijsku zonu prema standardu ISO 10816-3, odnosno to su vibracije nivoa usporednih s novim strojevima.

Frekvencijska analiza pokazuje da sustavom dominiraju prvi i drugi harmonik brzine vrtnje pumpe i elektromotora: $f = 49,9$ Hz, $2 \times f = 99,8$ Hz, što je normalni frekvencijski spektar za predmetni sustav.

Tablica 10. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 1

| | | |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|
| Parametri rada | Visina dobave | $H = 13,7$ bar |
| | Količina dobave | $Q = 0$ |
| | Brzina vrtnje | $n = 2965$ min ⁻¹ |

| Mjerno mjesto | Pravac | V_{ef} (mm / s) | Zona* |
|---------------|--------|----------------------|-------|
| 1 | x | 0,9 | A |
| | y | 1,0 | A |
| | z | 0,7 | A |
| 2 | x | 0,7 | A |
| | y | 0,8 | A |
| | z | 0,6 | A |
| 3 | x | 0,5 | A |
| | y | 0,5 | A |
| | z | 0,6 | A |

Tablica 11. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 2

| | | |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|
| Parametri rada | Visina dobave | $H = 13$ bar |
| | Količina dobave | $Q = 16$ m ³ /h |
| | Brzina vrtnje | $n = 2965$ min ⁻¹ |

| Mjerno mjesto | Pravac | V_{ef} (mm / s) | Zona* |
|---------------|--------|----------------------|-------|
| 1 | x | 0,7 | A |
| | y | 1,0 | A |
| | z | 0,6 | A |
| 2 | x | 0,6 | A |
| | y | 0,7 | A |
| | z | 0,6 | A |
| 3 | x | 0,5 | A |
| | y | 0,4 | A |
| | z | 0,4 | A |

* Evaluacijska zona prema standardu ISO 10816-7

Tablica 12. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 3

| | | |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|
| Parametri rada | Visina dobave | $H = 12$ bar |
| | Količina dobave | $Q = 21$ min ⁻¹ |
| | Brzina vrtnje | $n = 2965$ min ⁻¹ |

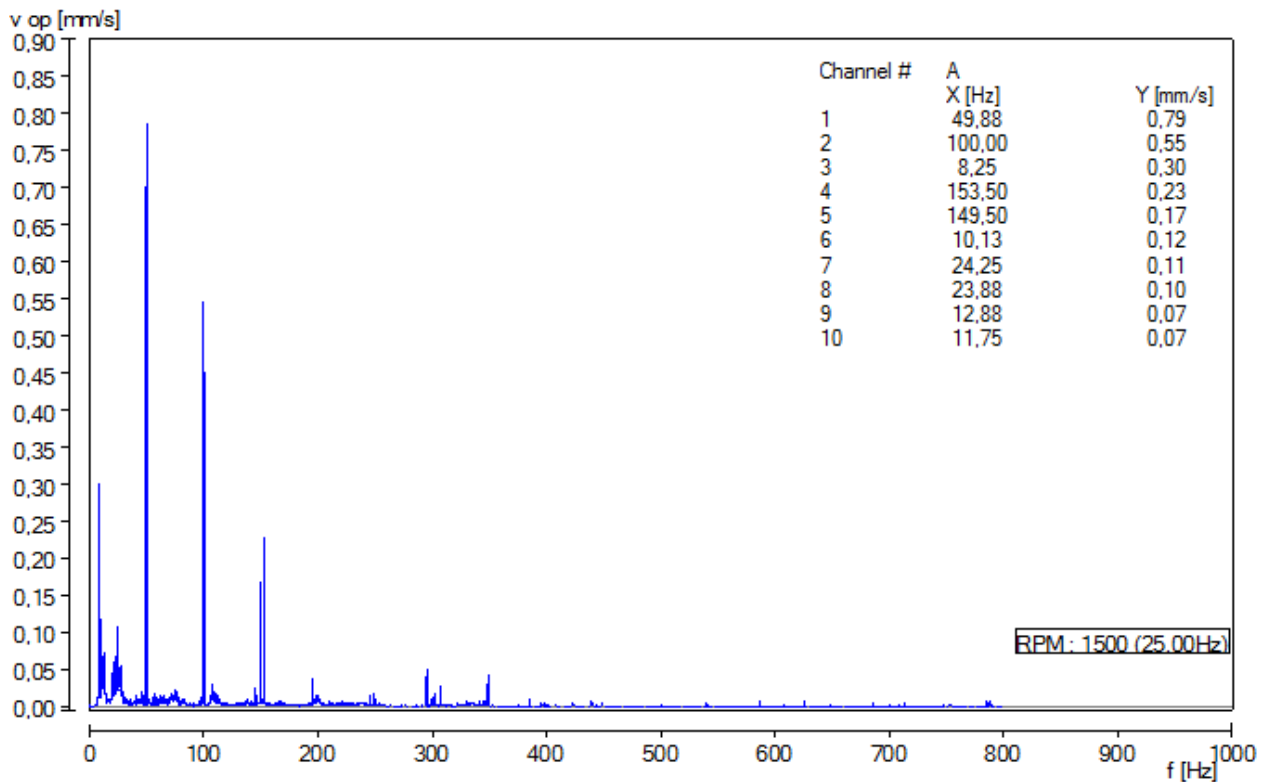
| Mjerno mjesto | Pravac | V_{ef} (mm / s) | Zona* |
|---------------|--------|----------------------|-------|
| 1 | x | 0,8 | A |
| | y | 1,0 | A |
| | z | 0,7 | A |
| 2 | x | 0,6 | A |
| | y | 0,7 | A |
| | z | 0,5 | A |
| 3 | x | 0,6 | A |
| | y | 0,4 | A |
| | z | 0,6 | A |

Tablica 13. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 4

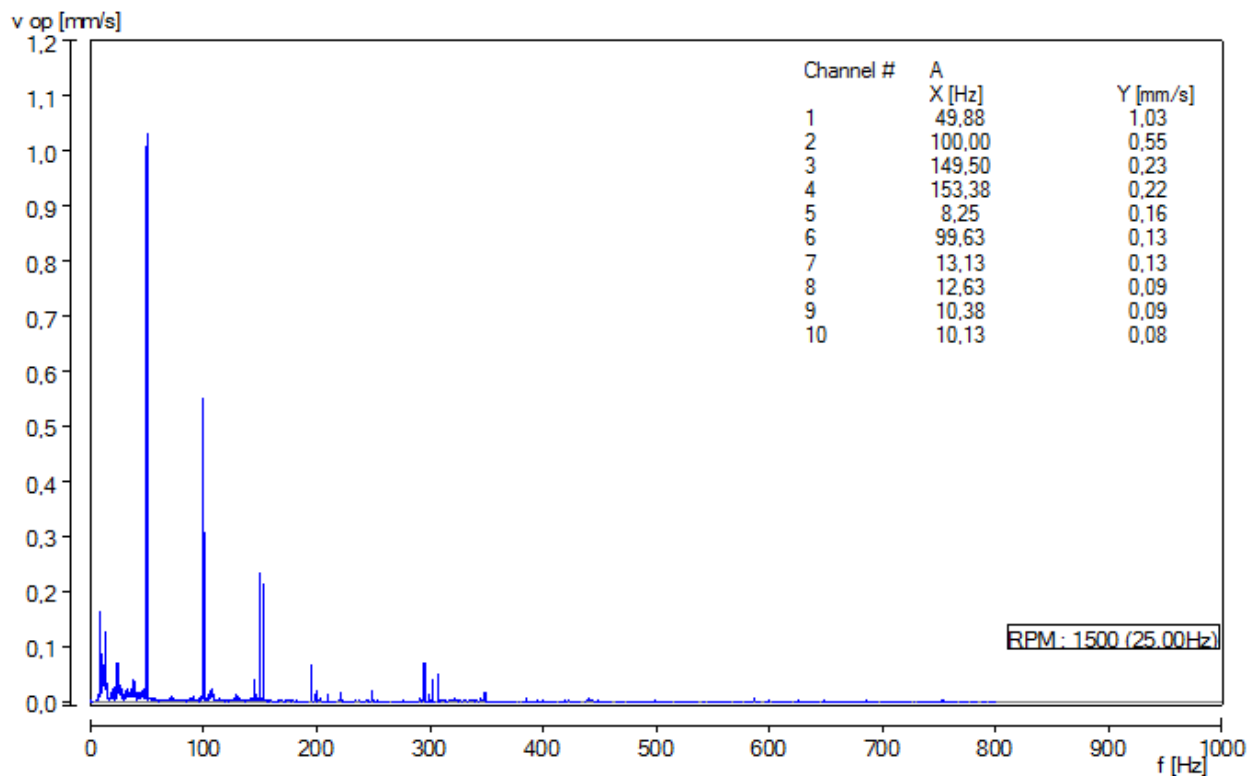
| | | |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|
| Parametri rada | Visina dobave | $H = 10,5$ bar |
| | Količina dobave | $Q = 26$ m ³ /h |
| | Brzina vrtnje | $n = 2965$ min ⁻¹ |

| Mjerno mjesto | Pravac | V_{ef} (mm / s) | Zona* |
|---------------|--------|----------------------|-------|
| 1 | x | 0,9 | A |
| | y | 1,1 | A |
| | z | 0,6 | A |
| 2 | x | 0,8 | A |
| | y | 0,8 | A |
| | z | 0,6 | A |
| 3 | x | 0,6 | A |
| | y | 0,5 | A |
| | z | 0,7 | A |

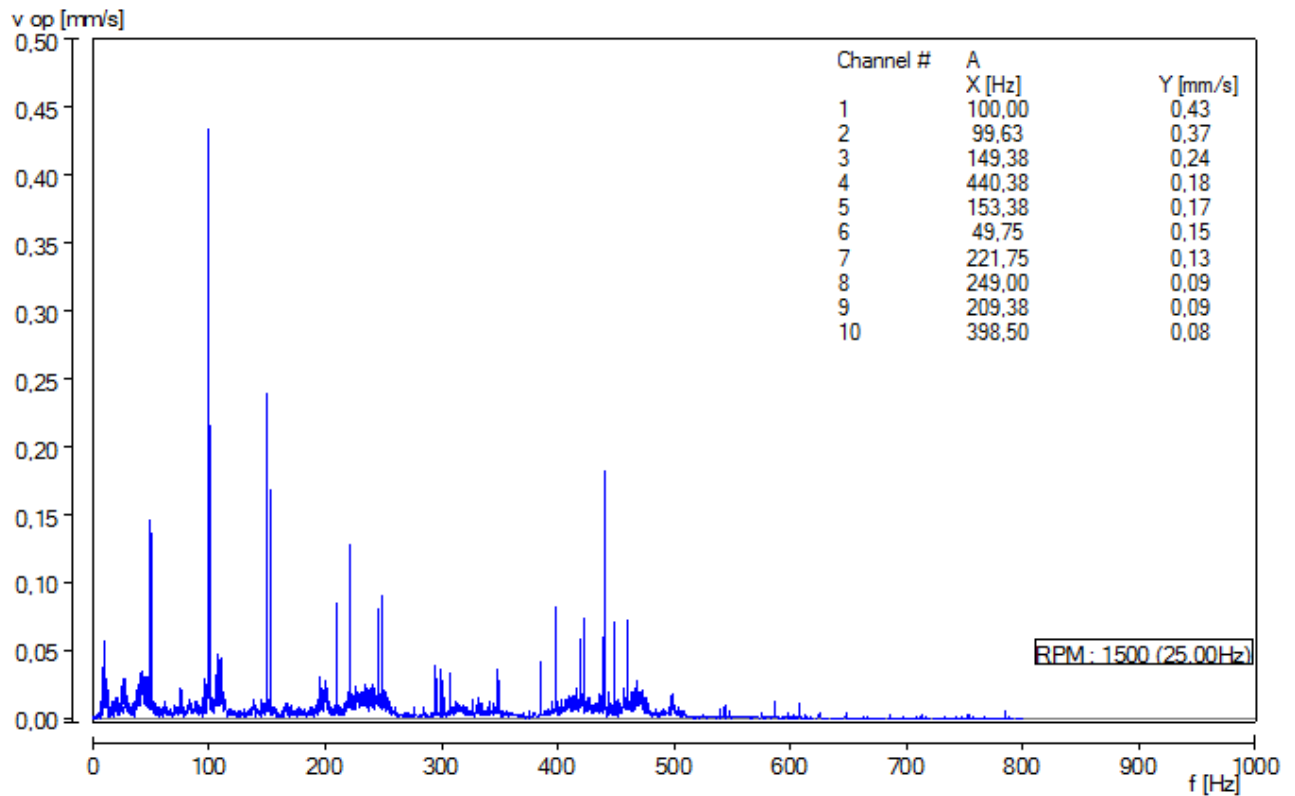
* Evaluacijska zona prema standardu ISO 10816-7

Frekvencijski spektri vibracijskih brzina; $H = 10,5$ bar, $Q = 26$ m³/h:

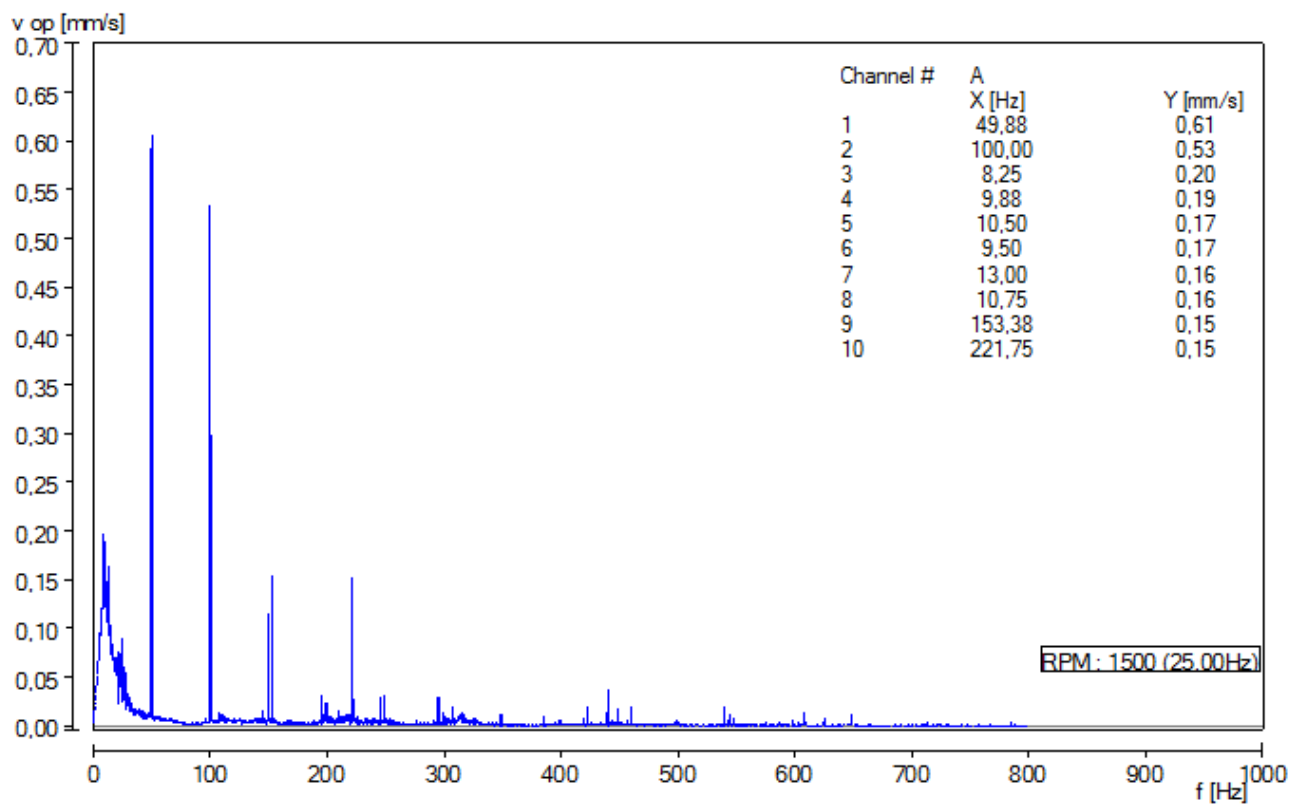
Slika 14. Frekventni spektar elektromotor 1x [9]



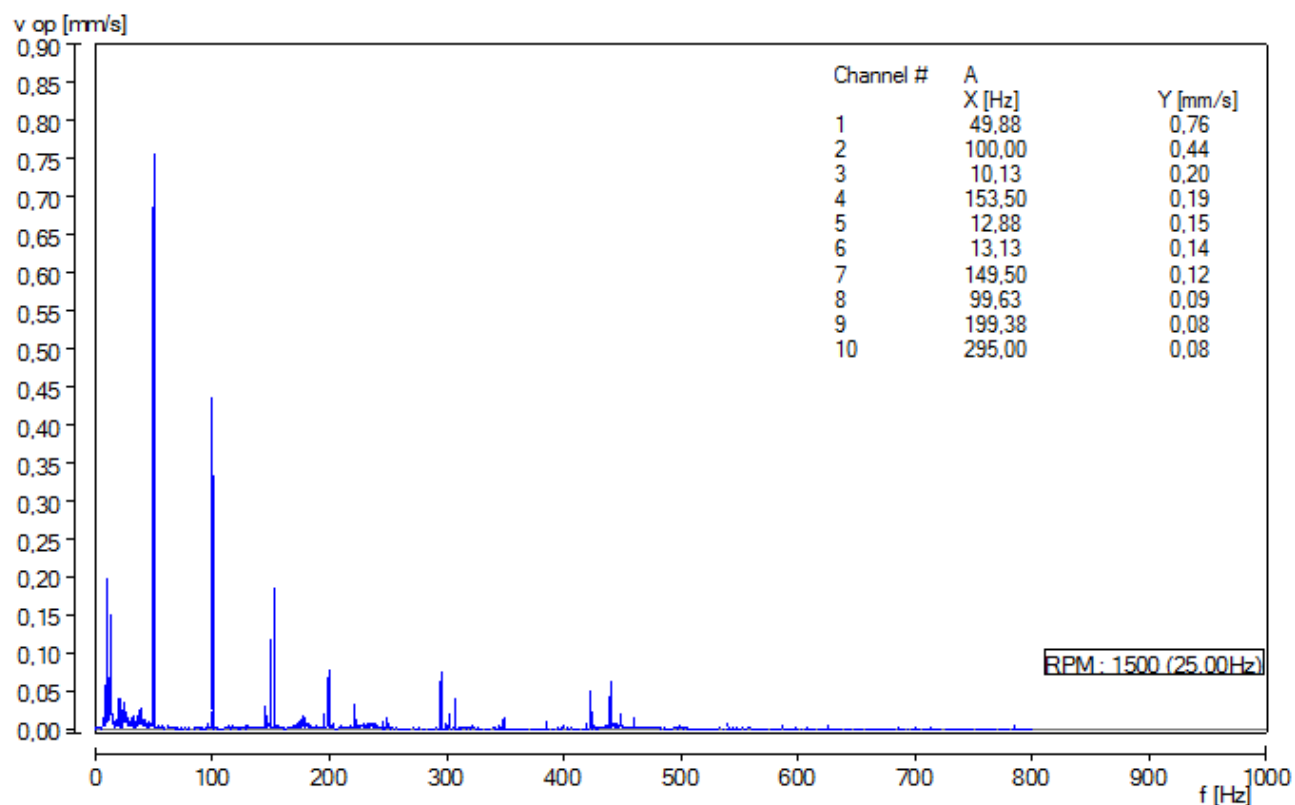
Slika 15. Frekventni spektar elektromotor 1y [9]



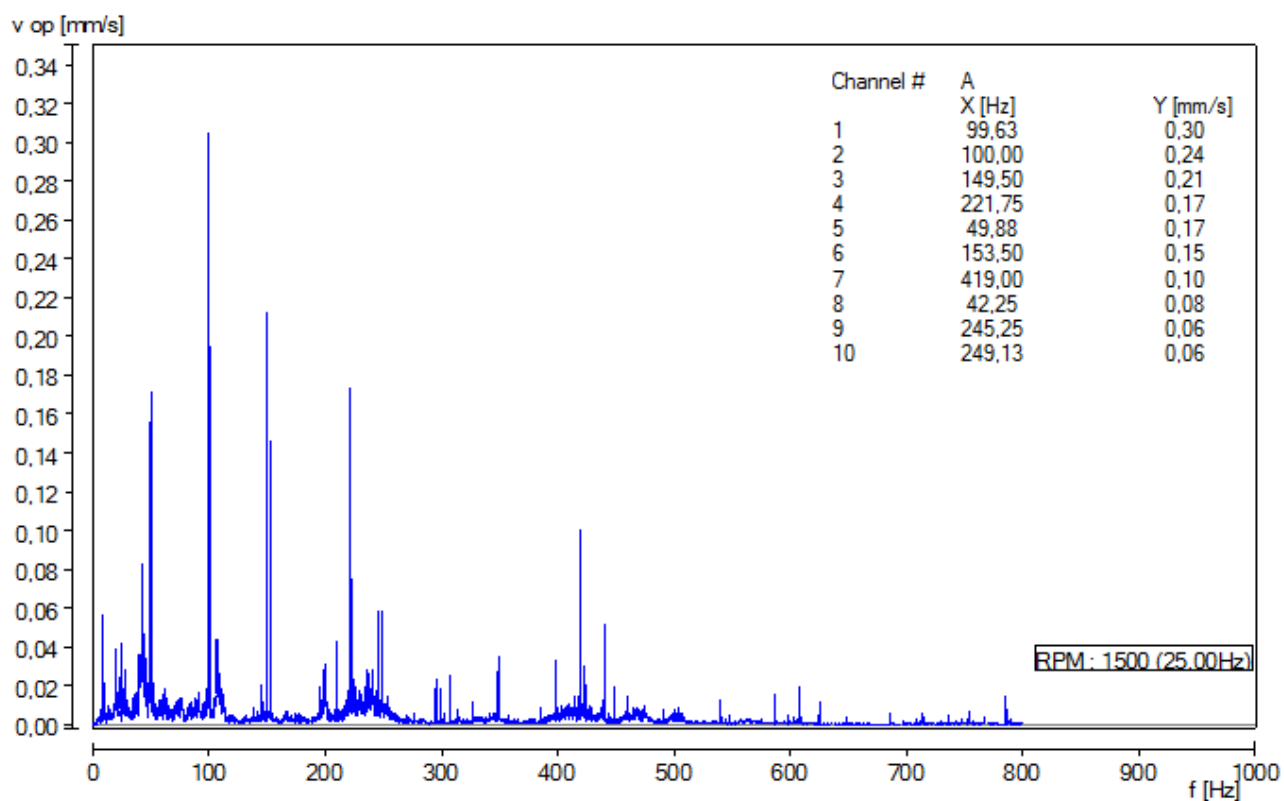
Slika 16. Frekventni spektar elektromotor 1z [9]



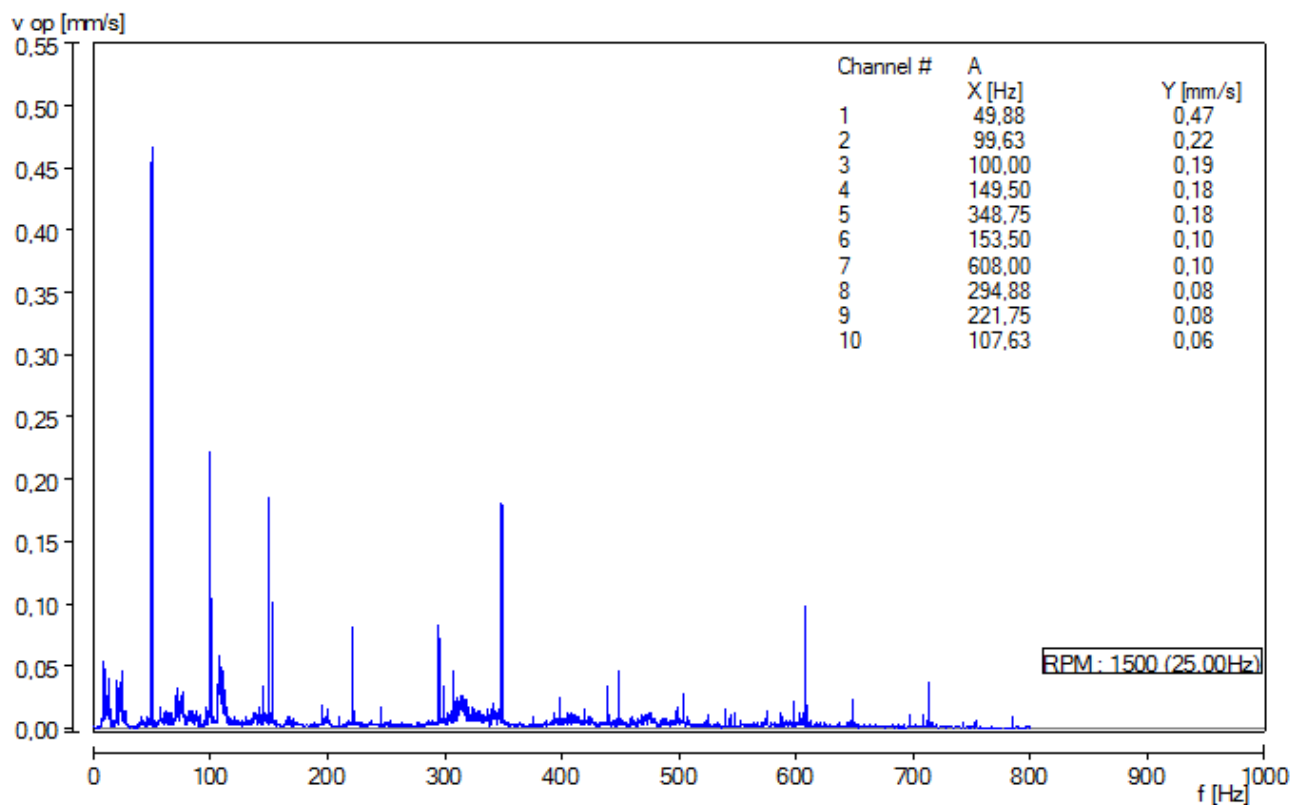
Slika 17. Frekventni spektar elektromotor 2x [9]



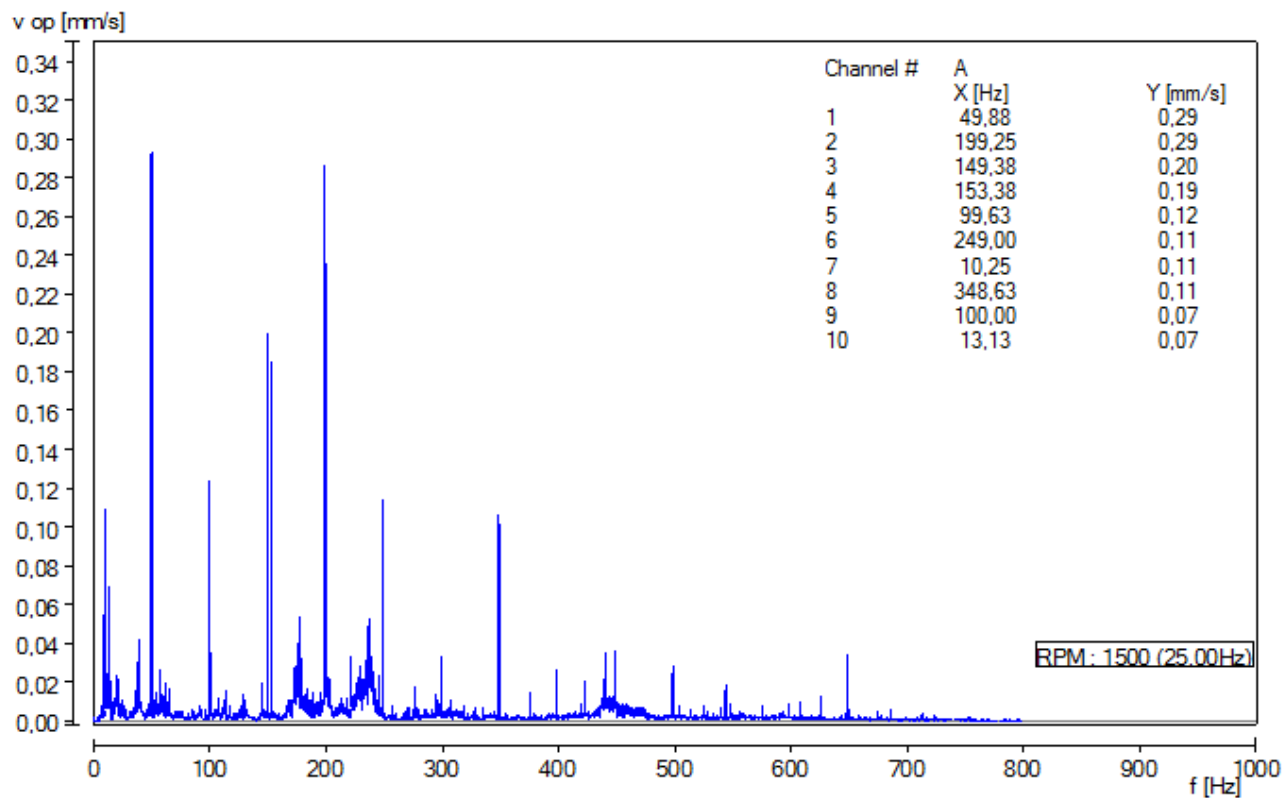
Slika 18. Frekventni spektar elektromotor 2y [9]



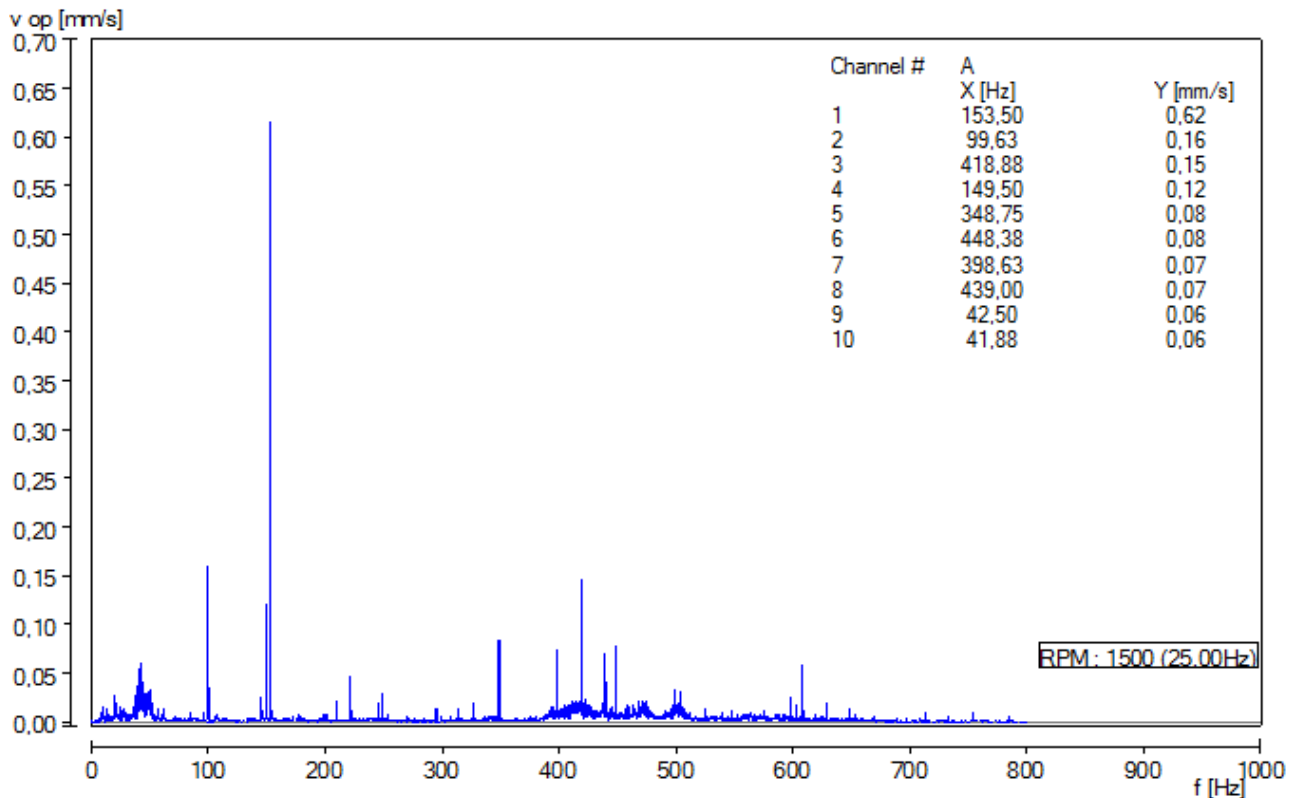
Slika 19. Frekventni spektar elektromotor 2z [9]



Slika 20. Frekventni spektar pumpa 3x [9]



Slika 21. Frekventni spektar pumpa 3y [9]



Slika 22. Frekventni spektar pumpe 3z [9]

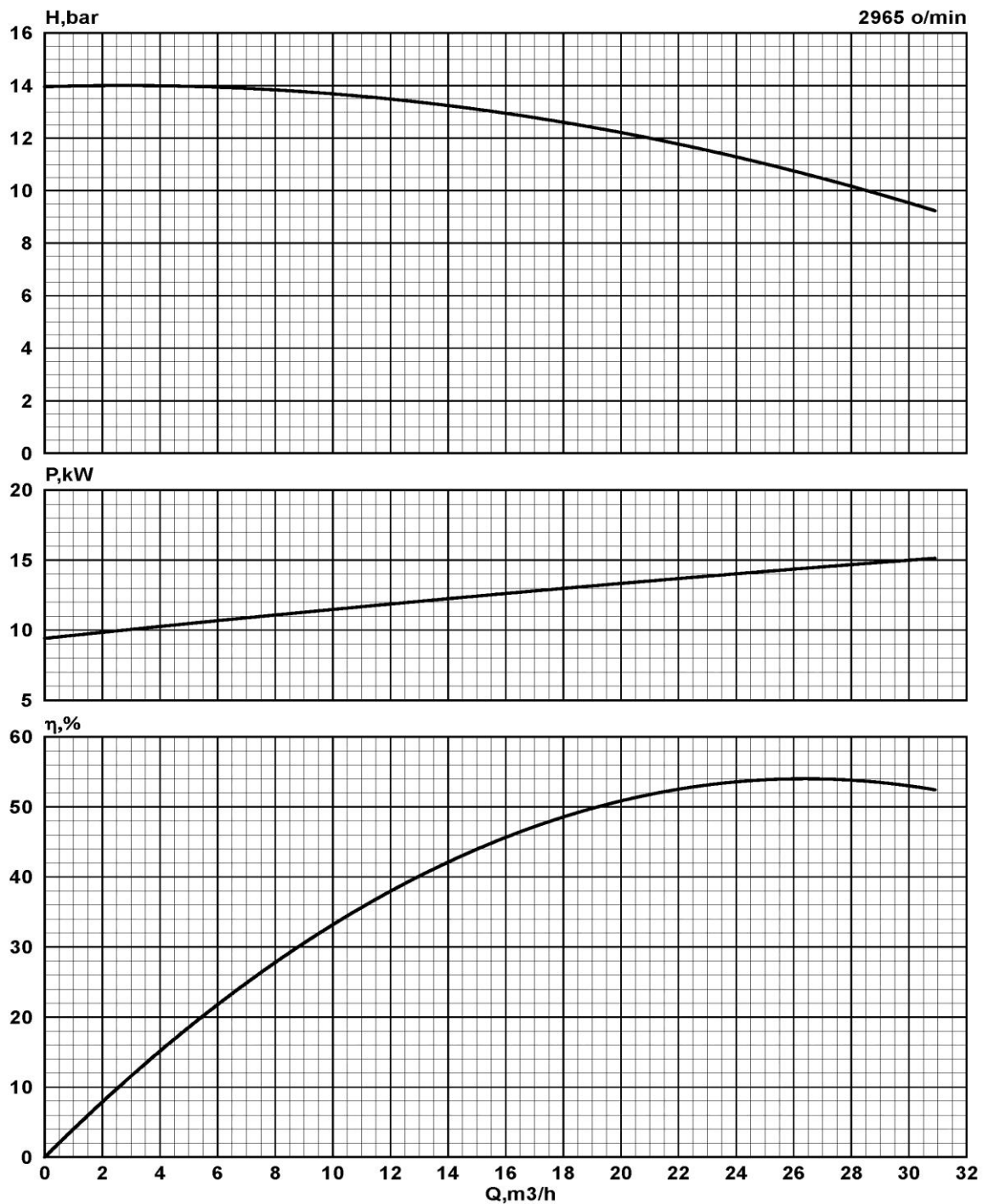
11.3.5 Zaključak

Kontrola vibracija pumpe VPPm 180-50/4 i usporedba s dozvoljenim veličinama prema standardu ISO 10816-7 pokazuje da je ista s vibracijskog gledišta u redu i da zadovoljava uvjete za rad, te je spremna za eksploataciju i kontinuirani rad.

Važno je napomenuti da je mjerenje izvršeno na ispitnoj stanici TTK, te se preporučuje redovna kontrola vibracijskog stanja pumpe na mjestu gdje je ugrađena.

11.4 Funkcionalno ispitivanje

Sljedeći dijagram prikazuje radnu karakteristiku pumpe nakon provedenog funkcionalnog ispitivanja radnih parametara. Ispituje se količina dobave pumpe $Q(\text{m}^3/\text{h})$, tlak dobave $H(\text{bar})$, snaga $P(\text{kW})$, te se izračunava stupanj korisnosti pumpe $\eta(\%)$.



Slika 23. Ispitni dijagram pumpe [9]

12. ANALIZA OPASNOSTI OD PALJENJA

12.1 Uvod

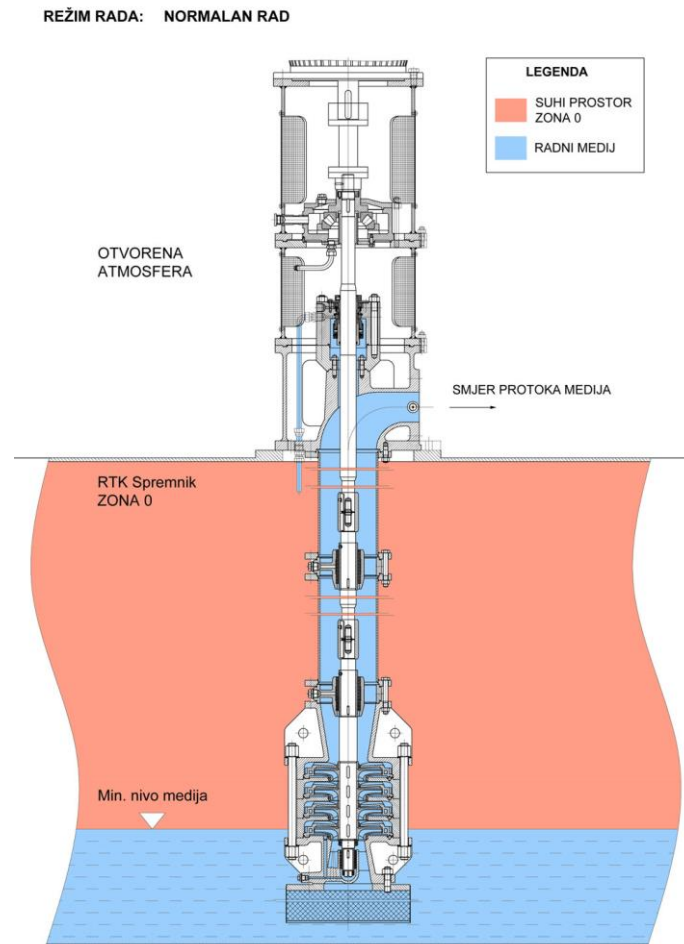
Cilj ove analize je identificirati sve moguće uzročnike paljenja koji nastaju tijekom normalne uporabe, očekivanog nepravilnog rada ili rijetkog nepravilnog rada opreme, te definiranja lista primjenjivih mjera u svrhu prevencije potencijalnih uzročnika paljenja.

12.2 Opis ugradnje i ispravan način rada

Pumpe tipa VPPm 180-50/X su projektirane i namijenjene za pražnjenje spremnika tehničke otpadne vode (RTK). Kupac je izradio projektni zadatak i definirao obim isporuke ugovora same pumpe bez elektro motora, bez nadzornog i sustava upuštanja. Precizni tehnički uvjeti su definirani tehničkom specifikacijom koja je dio ugovora.

Pumpe su namjenjene kao zamjena za postojeće stare pumpe, te su projektirane kako bi se mogle ugraditi u postojeće RTK spremnike bez potrebnih modifikacija ugradbenih mjera.

Po smještaju i konstrukciji pumpe su vertikalno ovješene višestupanjske centrifugalne pumpe s uronjenim hidrauličnim podsklopom u radni medij. Radni medij u spremniku je definiran kao otpadne tehničke vode s mogućim prisutstvom ugljikovodika, a prazan prostor u spremniku je definiran kao potencijalno eksplozivna Zona 0.



Slika 24. Normalan režim rada pumpe

RTK spremnici su opremljeni sustavom za nadzor nivoa radnog medija (senzor nivoa medija) i kontrolni ormarić za automatski rad pumpi sukladno nivou radnog medija. Upuštač za pumpe ima integriranu prekostrujnu zaštitu koja isključuje pumpe u slučaju prevelike potezne struje do čega može između ostaloga doći zbog mehaničkih problema pumpe ili elektromotora.

U ispravnom radu pumpa se uključuje ručno ili automatski kada je postignut gornji nivo na senzoru nivoa, a isključuje se automatski kada nivo sklopka dosegne donji minimalni nivo.

Kod ovakvog normalnog rada, pumpa je stalno ispunjena radnim medijem, te je potencijalno opasna zona prisutna samo u gornjoj polovici RTK spremnika, oko pumpe kako je prikazano na slici 24.

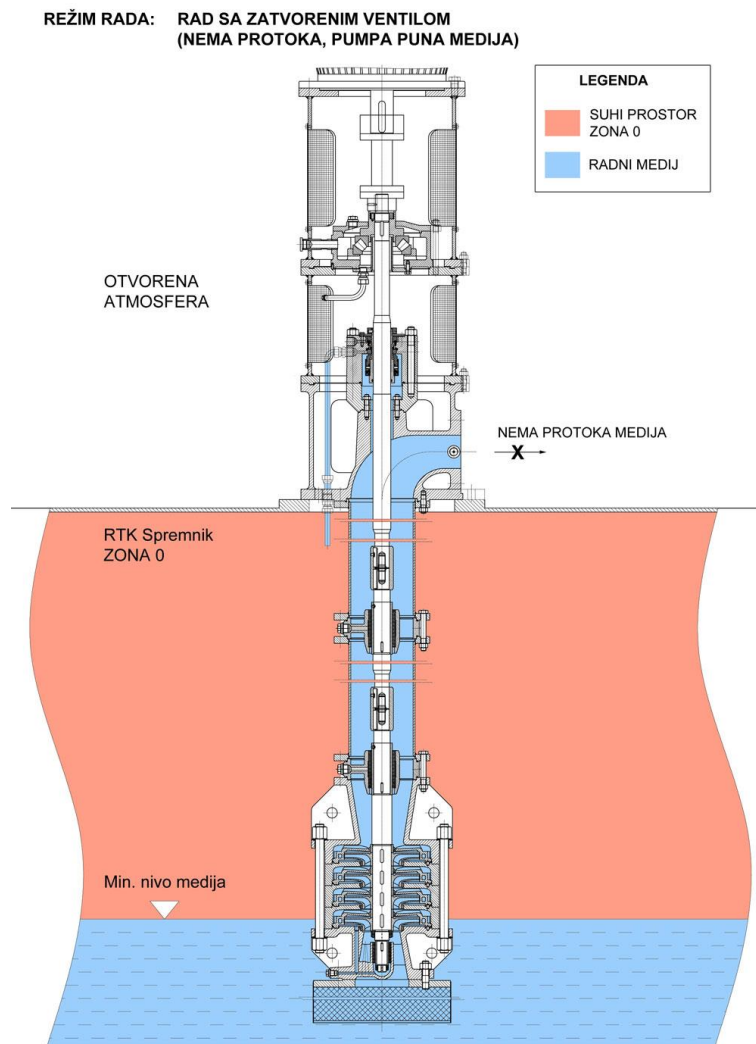
Kao što se vidi iz rezultata mjerenja i zaključka navedenih u izvještaju o mjerenju temperatura u poglavlju 11.2, u normalnom radu se ne stvaraju temperature na pumpi koje mogu biti potencijalni uzročnik paljenja.

12.3 Mogući neispravni rad – rad bez protoka

U slučaju da zbog ljudske greške ili kvara na sustavu u tlačnom cjevovodu dođe do rada pumpe bez protoka (npr. rada sa zatvorenim tlačnim ventilom), pumpa radi sa maksimalnim protutlakom i ispunjena je radnim medijem kao što je prikazano na slici 25.

Kod takvog rada dolazi do grijanja medija unutar pumpe radi pretvorbe mehaničke energije u toplinsku, te prelaza topline sa medija na vanjsku površinu kućišta pumpe.

Kao što se vidi iz rezultata mjerenja i zaključka navedenih u izvještaju o mjerenju temperatura u poglavlju 11.2, ovakav rad ne predstavlja mogući uzročnik paljenja.



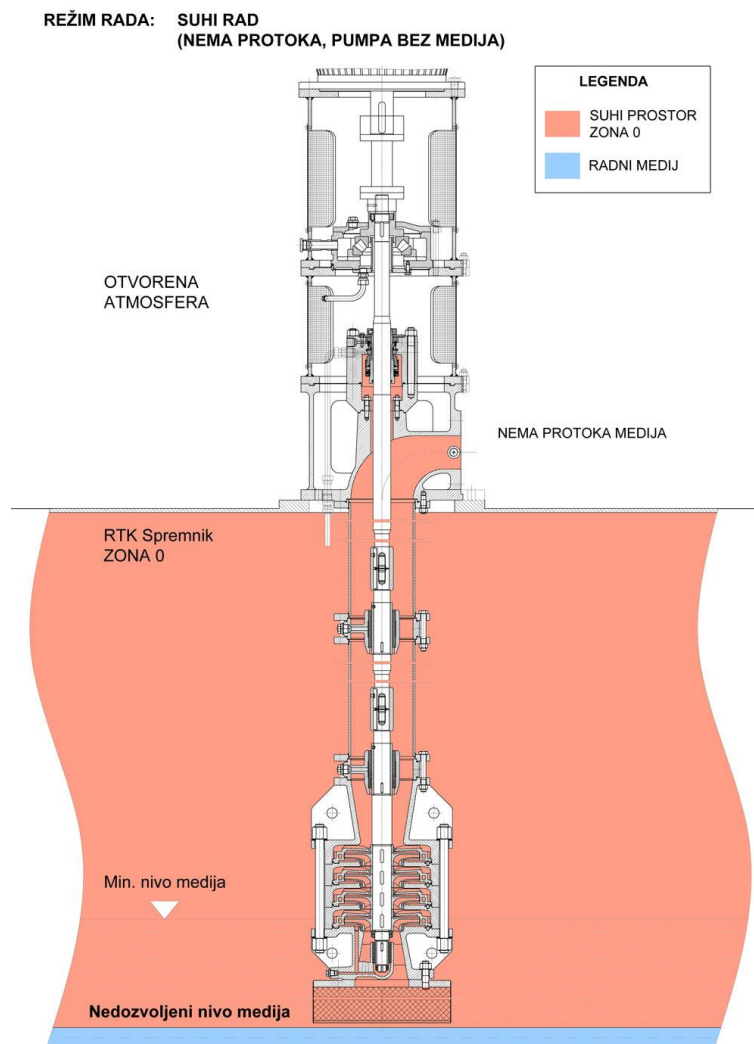
Slika 25. Rad bez protoka medija

12.4 Mogući neispravni rad – rad bez medija

U slučaju da zbog ljudske greške ili kvara na sustavu upravljanja prema signalu nivo sklopke dođe do rada pumpe bez radnog medija u spremniku, pumpa će raditi bez radnog medija kao što je prikazano na slici 26.

Kod ovakvog rada dolazi do grijanja tarnih površina koje koriste radni medij kao rashladni / podmazujući (npr. klizni ležajevi), te prelaza topline na vanjsku površinu kućišta pumpe.

Kao što se vidi iz rezultata mjerenja i zaključka navedenih u izvještaju o mjerenju temperatura u poglavlju 11.2, ovakav rad predstavlja mogući uzročnik paljenja, ali je pokazano da mjerenje temperature kliznog ležaja kao kritičnog elementa nije moguće, te je potrebno spriječiti moguće uzročnike paljenja osiguranjem potopljenosti hidrauličkog dijela pumpe.



Slika 26. Rad pumpe na suho

12.5 Identifikacija opasnosti od paljenja

Tablica 14. Identifikacija opasnosti od paljenja

| Mogući uzročnici paljenja (prema HRN EN 1127) | Povezanost s opremom DA / NE | Objašnjenje |
|--|---------------------------------|--|
| Vruće površine | DA | Nisu prisutne tijekom normalnog rada Moguća prisutnost uslijed neispravnog rada ili havarije |
| Plamen, vrući plinovi | NE | Nije prisutan |
| Mehaničke iskre | DA | Samo uslijed rijetkog nepravilnog rada |
| Električne iskre | NE | Nije prisutan |
| Lutajuća električna struja i katodna zaštita od korozije | NE | Nije prisutan |
| Statički elektricitet | DA | Nije prisutan tijekom normalnog rada, moguća prisutnost uslijed neispravnog rada na suho. Sve pozicije pumpe su električno provodljive i međusobno povezane, te postoji priključno mjesto za uzemljenje cijelog sklopa. |
| Munje | NE | Nije prisutan |
| Elektromagnetski valovi | NE | Nije prisutan |
| Ionizirajuća radijacija | NE | Nije prisutan |
| Radijacija visoke frekvencije | NE | Nije prisutan |
| Ultrazvuk | NE | Nije prisutan |
| Adijabatska kompresija | NE | Nije prisutan |
| Kemijska reakcija | NE | Nije prisutan |

12.6 Predložene zaštitne mjere

Na osnovu izvršene analize opasnosti od paljenja i procjene opasnosti te izvršenih relevantnih mjerenja, predlažemo zaštitne mjere kako je niže navedeno.

Svi potencijalni uzročnici paljenja se eliminiraju ukoliko je rad pumpe moguć samo u uvjetima da je pumpa ispunjena radnim medijem, tj. da nije moguć rad pumpe na suho duži od onog vremena koje je potrebno da se pumpa inicijalno napuni radnim medijem.

Ispitivanja su pokazala da je u ispravnom stanju potrebno maksimalno 5 sekundi da se pumpa potopi radnim medijem, čak i kada starta sa zatvorenim ventilom.

Predložene mjere zaštite moraju biti integrirane u upravljački i nadzorni sustav pumpe na mjestu ugradnje.

Zaštitna mjera nivo sklopkom

Ispravna nivo sklopka ožičena na način „normalno zatvorena“ u starteru pumpe neće dozvoliti rad pumpe na suho, čak ni u uvjetima svoje neispravnosti, npr. nedostatka nivo sklopke ili odspojene žice na bilo kojem kontaktu nivo sklopke.

Zaštitna mjera senzorom tlaka

U slučaju da je nivo sklopka neispravna ili netko nemarom kratko spoji kontakt na način da premosti logiku rada nivo sklopke, ugradnja dodatnog senzora tlaka / tlačne sklopke na tlačni cjevovod između pumpe i prvog tlačnog ventila pružiti će dodatni nivo zaštite pumpe od rada na suho.

Senzor tlaka ili tlačnu sklopku također treba ožičiti na način „normalno zatvorena“ kako se ne bi dozvolio rad pumpe ukoliko je senzor u kvaru, uklonjen ili slično.

12.7 Tablični prikaz analize opasnosti od paljenja

Kod izrade izvještaja o analizi opasnosti od paljenja preporučuje se upotreba tabličnog prikaza kako bi se osigurala jasnoća i razumljivost. Tablica predstavlja strukturu postupka analize, te omogućava usvajanje svih potrebnih informacija.

Postupak analize se može podijeliti prema sljedećim koracima:

- Identifikacija, odnosno analiza opasnosti od paljenja i njihovih uzroka.
- Procjena opasnosti od paljenja utvrđene u prethodnom koraku u pogledu učestalosti njihovog pojavljivanja i usporedba s rezultirajućom kategorijom.
- Određivanje preventivnih i/ili zaštitnih mjera za smanjenje vjerojatnosti opasnosti od paljenja prema prethodnom koraku.
- Procjena opasnosti od paljenja s obzirom na učestalost pojavljivanja nakon uključivanja preventivnih i/ili zaštitnih mjera utvrđenih u prethodnom koraku.
- Određivanje kategorije opreme.

Na sljedećih 7 stranica prikazano je tablično izvješće analize opasnosti od paljenja potencijalno eksplozivne atmosfere za predmetnu pumpu VPPm 180-50/4.

Tablica 15. Izvješće analize opasnosti od paljenja

| | 1 | | | 2 | | | | | 3 | | |
|-----|--------------------------------|---|--|--|-------------------------|-----------------------------------|------------|--|---|--|--|
| | Opasnost od paljenja | | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprječavanje da uzročnik paljenja ne postane djelotvoran | | |
| Br. | a | b | | a | b | c | d | e | a | b | c |
| | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog rada | Tijekom rijetkog nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 1 | Vruća površina | Stvaranje topline uslijed nepravilnog rada pumpe sa zatvorenim tlačnim ventilom | | | x | | | Prilikom nepravilnog rada pumpe sa zatvorenim tlačnim ventilom stvara se povišena temperatura izlaznog kućišta (poz.121) i cijevnih nastavaka (poz.122, 130) koji su u dodiru sa Zonom 0 | Zbog ugrađene recirkulacije medija izmjerena najviša temperatura ne dostiže nedozvoljene veličine. Provedeno je tvorničko ispitivanje za slučaj rada pumpe sa zatvorenim tlačnim ventilom te nema bitnog porasta temperature. Kontrola tlaka/protoka (min. IPL2). | EN 13463-1 EN 13463-5 | Ispitno izvješće br. P-2233/12-MT Upute proizvođača |
| 2 | Vruća površina | Zagrijavanje kliznih ležajeva uslijed rada na suho | | | | x | | U slučaju rijetkog nepravilnog rada, moguće je da pumpa radi bez radnog medija te da klizni ležajevi (poz.326) rade na suho | Ispitivanja su pokazala da radi izolatorskih svojstava materijala kliznog ležaja nije moguće mjeriti temperaturu kontaktne površine ležaja i vratila - potrebna je zaštita od rada na suho. 1. Kao dio postojećeg sustava upravljanja, ugrađena je nivo sklopka koja ne dozvoljava rad pumpe na suho i prisutstvo ex.atmosfere. 2. Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugrađen je osjetnik tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka tj. detekcije rada na suho. | EN 13463-1 EN 13463-6 | Ispitno izvješće br. P-2233/12 MT Upute proizvođača |

| Br. | 1 | | | 2 | | | | | 3 | | |
|-----|--------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--|---|
| | Opasnost od paljenja | | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprečavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran | | |
| | a | b | | a | b | c | d | e | a | b | c |
| | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog nepravilnog rada | Tijekom rijetkog nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 3 | Vruća površina | Zagrijavanje dodirnih površina rotacionih elemenata pumpe, prilikom havarije | | | | x | | U slučaju rijetkog nepravilnog rada, ako dođe do rada pumpe bez radnog medija i do dodira između pozicija rotora (211) i raspornog prstena (114), te paralelno tuljka vratila (229) i raspornog prstena (115), moguće je preveliko zagrijavanje kućišta. | Kao dio postojećeg sustava upravljanja, ugrađena je nivo sklopka koja ne dozvoljava rad pumpe na suho i prisutstvo ex. atmosfere. Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugrađen je osjetnik tiaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tiaka, tj. detekcije rada na suho. | Nivo sklopka i osjetnik tiaka su u Ex izvedbi, odgovarajuće kategorizacije, ovisno o mjestu ugradnje, te razine sigurnosti IPL 2 EN 13463-1 EN 13463-6 | Upute proizvođača EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tiaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tiaka BVS 04 ATEX E 068X IPL2 izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tiaka br. 11531347.01 |
| 4 | Vruća površina | Zagrijavanje ležajeva uslijed trenja na kliznim ležajevima prilikom rada «na suho» - START pumpe | | x | | | «Suhi» rad ležajeva prilikom pokretanja pumpe. | Za klizne ležajeve koriste se neiskreći ležajevi izrađeni od polimernog materijala (termoplastični, elastomerni) «Thorplas» proizvođača THORDON BEARINGS. Ležajevi su predviđeni za suhi start (rad «na suho») u trajanju 20s. Maksimalno 5s je potrebno da se pumpa potopli radnim medijem. Ležajevi se podmazuju radnim medijem. | EN 13463-1 EN 13463-5 | Potrebno je ograničiti vrijeme rada «na suho» do maksimalno 10 sekundi Izvištaj P-2233/12-MT | |

| 1 | | 2 | | | | | 3 | | | |
|----------------------|--------------------------------|---|------------------------|-------------------------|------------------------------------|---|---|--|---|--|
| Opasnost od paljenja | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprečavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran | | | |
| a | b | a | b | c | d | e | a | b | c | |
| Br. | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog rada | Tijekom njezgovog nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 5 | Vruća površina | Zagrijavanje mehaničke brtvenice uslijed nedostatka radnog medija unutar spremnika pumpe (rad «na suho») | | x | | Rad pumpe bez prisustva radnog medija «na suho» | Kao dio postojećeg sustava upravljanja, ugrađena je nivo sklopka koja ne dozvoljava rad pumpe na suho i prisustvo ex. atmosfere. Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugrađen je osjetnik tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka, tj. detekcije rada na suho. | Nivo sklopka i osjetnik tlaka su u Ex izvedbi, odgovarajuće kategorizacije, ovisno o mjestu ugradnje, te razine sigurnosti IPL 2 EN 13463-1 EN 13463-6 | Upute proizvođača EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X IPL2 izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11531347.01 | |
| 6 | Vruća površina | Zagrijavanje ležajeva uslijed trenja na kliznim ležajevima unutar pumpe (vratilo) bez prisustva radnog medija tj. prilikom rada «na suho» | | x | | Rad pumpe bez prisustva radnog medija «na suho» | Nužno je osigurati konstantno prisustvo radnog medija unutar pumpe. Konstantna potopljenost hidrauličkog dijela pumpe osigurana je pomoću kontrole razine medija unutar spremnika ugradnjom mjerila razine s pouzdanošću min. IPL2 i Ex-zaštite ovisno o zoni opasnosti u koju se ugrađuje. Kao mjera zaštite ugrađeno je mjerilo tlaka i/ili protoka s pouzdanošću min. IPL 2 i Ex-zaštite ovisno o zoni opasnosti u koju se ugrađuje i koje će u slučaju pmin, (Qmin) i/ili pmax (Qmax) isključiti pumpu iz rada. | EN 13463-1 EN 13463-5 EN 13463-6 | Tehnička dokumentacija Upute proizvođača EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X IPL2 izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11531347.01 | |

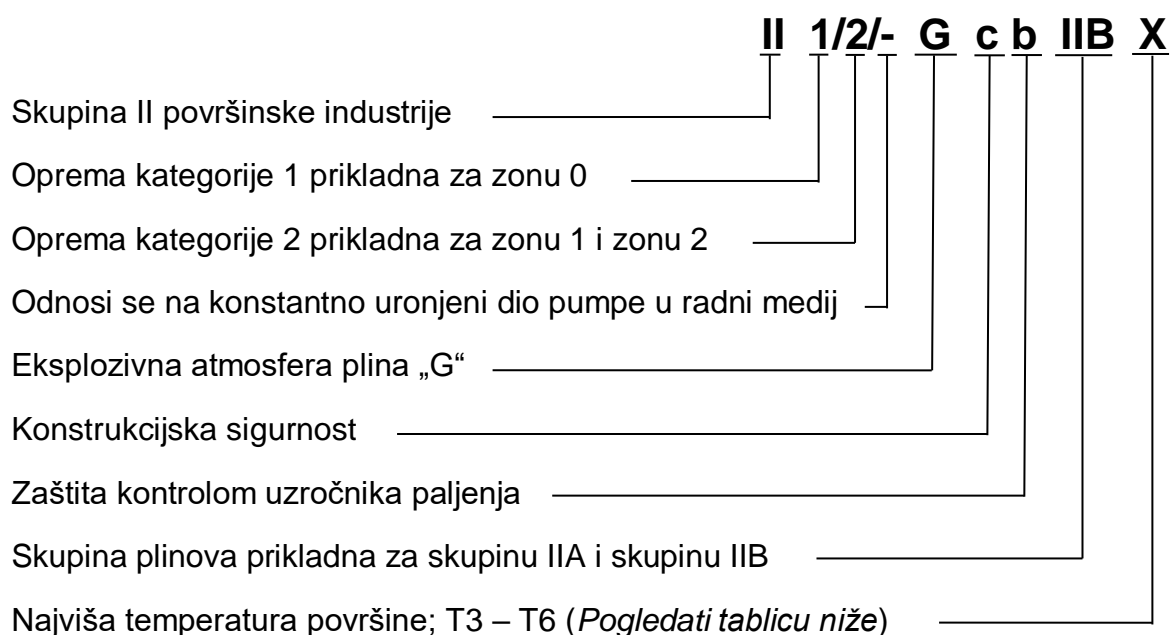
| Br. | 1 | | 2 | | | | | 3 | | |
|-----|--------------------------------|---|--|-------------------------|--------------------------|------------|--|---|--|--|
| | Opasnost od paljenja | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprečavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran | | |
| | a | b | a | b | c | d | e | a | b | c |
| | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog rada | Tijekom nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 7 | Vruća površina | Usljedi nedostataka radnog medija unutar spremnika pumpe (rad «na suho») | | x | | | Toplina nastala struganjem (trenjem) kola rotora (poz. 211) o statorsko kolo pumpe (poz. 120). | U konstrukciji pumpe koriste se čelični nehrđajući materijali. Konstrukcijom pumpe osiguran je razmak između rotirajućih dijelova (između kola rotora i statorskog kola) koji iznosi 0,5 mm. Konstantna uroñjenost hidrauličkog dijela pumpe u radni medij osigurana je ugradnjom uređaja za mjerenje razine medija u spremniku (min. IPL2). Ovisno o vrsti uređaja, uređaj za mjerenje nivoa mora biti i izveden u Ex-zaštiti obzirom na zonu opasnosti. | EN 13463-1 EN 13463-5 EN 13463-6 | Tablica korištenih materijala (Tehnička dokumentacija) Upute proizvođača EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X |
| 8 | Vruća površina | Neprisutnost radnog medija u pumpi (dovoljna razina medija u spremniku, ali uslijed nečistoća zatvoren usis pumpe; rad «na suho») | | | | | Rad pumpe bez prisustva radnog medija «na suho» | Mjerilo razine u IPL2 izvedbi. Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugrađen je osjetnik tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka tj. detekcije rada na suho. | EN 13463-6 | Upute proizvođača, EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X |
| 9 | Vruća površina | Generiranje vruće površine na radjalno-aksijalnom ležaju uslijed nedostatka maziva ili istrošenosti ležaja | | x | | | Pojava vruće površine na kućištu radjalno-aksijalnog ležaja (poz. 216), uslijed nedostatka maziva ili neočekivane istrošenosti ležaja. | Ležaj je proračunat za ovu seriju pumpi za prema DIN ISO 281. Redovito održavanje, zamjena maziva i životni vijek ležaja opisan je u knjizi uputa. | EN 13463-1 EN 13463-5 | Upute proizvođača |

| Br. | 1 | | | 2 | | | | | 3 | | |
|-----|--------------------------------|--|--|--|-------------------------|-----------------------------------|------------|--|---|---|--|
| | Opasnost od paljenja | | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprečavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran | | |
| | a | b | | a | b | c | d | e | a | b | c |
| | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog rada | Tijekom rijetkog nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 10 | Mehanički generirane iskre | Trenje dodirnih površina rotacionih elemenata pumpe, prilikom havarije | | | | x | | U slučaju rijetkog nepravilnog rada, ako dođe do rada pumpe bez radnog medija i do dodira između pozicija rotora (211) i raspora (214) i paralelno tuljka vratila (229) i raspornog prstena (115), moguće je trenje i stvaranje iskre. | Kao dio postojećeg sustava upravljanja, ugrađena je nivo sklopka koja ne dozvoljava rad pumpe na suho i prisutstvo ex. Atmosfere. | Nivo sklopka je u Ex izvedbi, odgovarajuće kategorizacije, ovisno o mjestu ugradnje, te razine sigurnosti IPL 2 EN 13463-1 EN 13463-6 | Upute proizvođača |
| | | | | | | | | | Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugrađen je osjetnik tiaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tiaka, tj. detekcije rada na suho. | Osjetnik tiaka je u Ex izvedbi odgovarajuće kategorizacije, te razine sigurnosti IPL 2 EN 13463-1 EN 13463-6 | -Upute proizvođača, -EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tiaka br. 11135166.02 -EC tipni certifikat osjetnika tiaka BVS 04 ATEX E 068X |
| | | | | | | | | | Za spomenute pozicije odabran je materijal koji dodirom ne generira iskre tj. nehrđajući čelik. | | Montažni nacrt i sastavnica materijala |
| | | | | | | | | | Kao dio postojećeg sustava upravljanja postoji prekostrujna zaštita koja će isključiti rad el.motora i pumpe uslijed bilo kakvog većeg mehaničkog opterećenja, kao npr. spomenutog struganja. | | Upute proizvođača |

| Br. | 1 | | 2 | | | | | 3 | | |
|-----|--------------------------------|--|--|-------------------------|----------------------------------|------------|--|--|--|--|
| | Opasnost od paljenja | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprečavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran | | |
| | a | b | a | b | c | d | e | a | b | c |
| | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog rada | Tijekom rjetkog nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 11 | Mehanički generirane iskre | Nastanak iskre uslijed trenja na kliznim ležajevima unutar pumpe (vratilo) prilikom rada «na suho» - START pumpe | x | | | | «suhi» rad ležajeva prilikom pokretanja pumpe | Za klizne ležajeve koriste se neiskreći ležajevi izrađeni od polimernog materijala (termoplastični, elastomerni) «Thorplas» proizvođača THORDON BEARINGS. Ležajevi se podmazuju radnim medijem. | EN 13463-1 EN 13463-5 | Tehnička dokumentacija Upute proizvođača |
| 12 | Mehanički generirane iskre | Nastanak iskre uslijed trenja na kliznim ležajevima unutar pumpe (vratilo) bez prisustva radnog medija tj. prilikom rada «na suho» | | | x | | Rad pumpe bez prisustva radnog medija, «na suho» | Za klizne ležajeve koriste se neiskreći ležajevi izrađeni od polimernog materijala (termoplastični, elastomerni) «Thorplas» proizvođača THORDON BEARINGS. | EN 13463-1 EN 13463-5 | Tehnička dokumentacija Upute proizvođača |
| 13 | Mehanički generirane iskre | Uslijed nedostatka radnog medija unutar spremnika pumpe (rad «na suho») | | | | | Struganje kola rotora (poz.211) o statorsko kolo pumpe (poz. 120) | U konstrukciji pumpe koriste se čelični nehrđajući materijali. Konstrukcijom pumpe osiguran je razmak između rotirajućih dijelova (između kola rotora i statorskog kola) koji iznosi 0,5 mm. Konstantna uronjenost hidrauličkog dijela pumpe u radni medij osigurana je ugradnjom uređaja za mjerenje razine medija u spremniku (min. IPL2). Ovisno o vrsti uređaja, uređaj za mjerenje nivoa mora biti i izveden u Ex-zaštiti obzirom na zonu opasnosti. Mjerilo razine u IPL2 izvedbi. | EN 13463-1 EN 13463-5 EN 13463-6 | Tehnička dokumentacija Upute proizvođača EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X |

| Br. | 1 | | 2 | | | | | 3 | | |
|-----|--------------------------------|---|--|-------------------------------------|----------------------------------|------------|---|--|---|--|
| | Opasnost od paljenja | | Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera | | | | | Mjere primijenjene za sprječavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran | | |
| | a | b | a | b | c | d | e | a | b | c |
| | Potencijalni uzročnik paljenja | Opis / Osnovni uzrok | Tijekom normalnog rada | Tijekom očekivanog nepravilnog rada | Tijekom rjetkog nepravilnog rada | Nije bitno | Razlozi za analizu | Opis primijenjene mjere | Podloga (norme, tehnička pravila, rezultati ispitivanja) | Tehnička dokumentacija (dokazi uključujući relevantne značajke prikazane u stupcu 1) |
| 14 | Statički elektricitet | Protok nevodljive tekućine uzrokuje elektrostatsko nabljanje | x | | | | Vodljivost radnog medija nije definirana, stvaranje statičkog elektriciteta i samim tim elektrostatskog pražnjenje može uzrokovati iskru u slučaju da pumpa radi na suho. | Kao dio postojećeg sustava upravljanja, ugrađena je nivo sklopka koja ne dozvoljava rad pumpe na suho i prisustvo ex. atmosfere. | Nivo sklopka je u Ex izvedbi, odgovarajuće kategorizacije, ovisno o mjestu ugradnje, te razine sigurnosti IPL 2 EN 13463-1 EN 13463-6 | Upute proizvođača |
| 15 | Statički elektricitet | Pojava statičkog elektriciteta na nevodljivim dijelovima konstrukcije | | | x | | Svaranje statičkog elektriciteta i samim tim elektrostatskog pražnjenje može uzrokovati iskru. | Sve pozicije pumpe su električno provodljive i međusobno povezane, te postoji priključno mjesto za uzemljenje cijelog sklopa. | Sve pozicije pumpe su električno provodljive i međusobno povezane, te postoji priključno mjesto za uzemljenje cijelog sklopa. | Upute proizvođača |

12.8 Rezultirajuća oznaka protueksplozijske zaštite

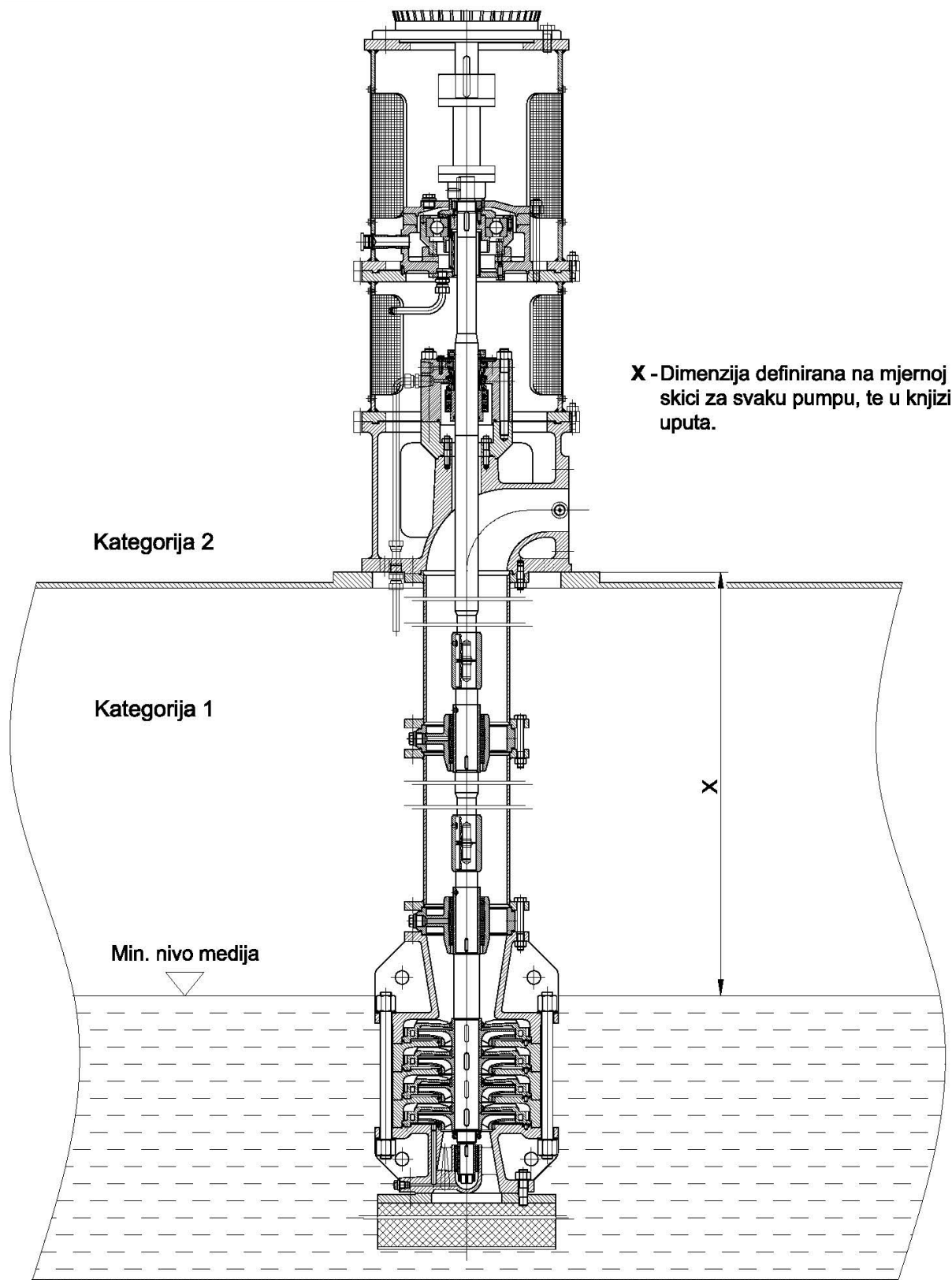


Napomene:

- Pumpa je označena kao oprema kategorije 1/2/-, jer dio pumpe od temeljne ploče do razine medija podliježe kategoriji 1, a dio iznad temeljne ploče podliježe kategoriji 2.
- Oznaka „-“ se odnosi na dio pumpe koji je konstantno uronjen u radni medij i ne podliježe kategorizaciji.
- Pogledati skicu pumpe i spremnika na slici 27, gdje označene kategorije.
- Najviša temperatura površine pumpi ovisi o temperaturi transportiranog medija. Iz tog razloga niže je dana tablica u kojoj je prikazan odnos između temperature medija i temperaturnog razreda, odnosno najviše dozvoljene temperature površine.

Tablica 16. Ovisnost temperaturnog razreda o temperaturi medija

| | Temperaturni razred | Najviša temperatura površine (°C) | Najviša temperatura medija (°C) |
|----------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| X | T3 | 200 | 177 |
| | T4 | 135 | 113 |
| | T5 | 100 | 79 |
| | T6 | 85 | 65 |



Slika 27. Skica pumpe i spremnika sa označenim kategorijama [9]

13 ZAKLJUČAK

Oprema namjenjena za rad u potencijalno eksplozivnim atmosferama mora biti projektirana, izrađena i certificirana prema točno određenim pravilima koja definira Direktiva ATEX 2014/34/EU i prateće norme.

Ovakvoj se opremi pridaje posebna pažnja iz razloga potencijale ugroženosti života i zdravlja ljudi, te opasnosti na okoliš, stoga se između ostalog provode temeljite analize i ispitivanja od strane proizvođača u prisustvu predstavnika akreditiranog certifikacijskog tijela koje izrađuje izvještaj o ocjeni Ex-zaštite, te izdaje „Certifikat o ispitivanju tipa“ prema Prilogu III Direktive i „Certifikat o sukladnosti proizvoda“ prema Prilogu V Direktive, kao dokaz da je oprema sigurna za rad sukladno oznaci protueksplozijske zaštite kojom je definirana.

Kod konkretne pumpe koja je predmet certifikacije koristi se „Zaštita konstrukcijskom sigurnošću „c“ i Zaštita kontrolom uzročnika paljenja „b“.

Sva dokumentacija, izvještaji i protokoli kojima se dokazuje da oprema zadovoljava zahtjeve daju se na uvid, analizu i pohranu neovisnoj akreditiranoj kući.

Zbog opsežnosti, u ovom radu nije prikazana sva dokumentacija, odnosno nacrti pumpe, te su prikazana samo neka od provedenih ispitivanja.

LITERATURA

- [1] Nenad Marinović, *Električni uređaji i instalacije za eksplozivnu atmosferu; priručnik za projektiranje, izradu, montažu, održavanje i popravak*, (vlastita naklada, Zagreb, 1999.)
- [2] ATEX Direktiva 2014/34/EU
- [3] HRN EN 1127:2012
- [4] HRN EN 13463-1:2010
- [5] HRN EN 13463-5:2012
- [6] HRN EN 13463-6:2005
- [7] <https://civilna-zastita.gov.hr/eksplozivne-atmosfere/85>
- [8] ATEX 2014/34/EU Guidelines
- [9] Tvornica turbina d.o.o – interna dokumentacija

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Pregled vrsta protueksplozijske zaštite neelektričnih uređaja | 11 |
| Slika 2. Shema procesa certifikacije | 18 |
| Slika 3. Presjek pumpe sa označenim glavnim dijelovima | 21 |
| Slika 4. Ispitivana pumpa na spremniku ispitne stanice | 24 |
| Slika 5. Mjerna opreme za vremensko praćenje temperature | 25 |
| Slika 6. Sonda na mjernom mjestu <i>T1</i> i rad pumpe kod minimalnog nivoa | 26 |
| Slika 7. Sonda na mjernom mjestu <i>T1</i> i rad pumpe bez radnog medija | 26 |
| Slika 8. Mjerna mjesta za mjerenje temperatura | 28 |
| Slika 9. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto <i>T1</i> (klizni ležaj) | 30 |
| Slika 10. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto <i>T2</i> (mehanička brtva) | 30 |
| Slika 11. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto <i>T1</i> – rad „na suho“ | 31 |
| Slika 12. Rastaljeni klizni ležaj Thordon ThorPlas | 32 |
| Slika 13. Mjerna mjesta za ispitivanje vibracija | 35 |
| Slika 14. Frekventni spektar elektromotor 1x | 40 |
| Slika 15. Frekventni spektar elektromotor 1y | 40 |
| Slika 16. Frekventni spektar elektromotor 1z | 41 |
| Slika 17. Frekventni spektar elektromotor 2x | 41 |
| Slika 18. Frekventni spektar elektromotor 2y | 42 |
| Slika 19. Frekventni spektar elektromotor 2z | 42 |
| Slika 20. Frekventni spektar pumpa 3x | 43 |
| Slika 21. Frekventni spektar pumpa 3y | 43 |
| Slika 22. Frekventni spektar pumpa 3z | 44 |
| Slika 23. Ispitni dijagram pumpe | 45 |
| Slika 24. Normalan režim rada pumpe | 47 |
| Slika 25. Rad bez protoka medija | 48 |
| Slika 26. Rad pumpe na suho | 49 |
| Slika 27. Skica pumpe i spremnika sa označenim kategorijama | 61 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|-------|
| Tablica 1. Odnos između kategorija i zona | 8 |
| Tablica 2. Tablica skupne plinova | 9 |
| Tablica 3. Klasifikacija maksimalne temperature za opremu skupine IIG | 10 |
| Tablica 4. Minimalni IPL zahtjevi za sustave zaštite opreme skupine II | 17 |
| Tablica 5. Postupci ocjenjivanja sukladnosti prema ATEX Direktivi 2014/34/EU | 19 |
| Tablica 6. Raspon varijabli kod označavanja pumpe | 22 |
| Tablica 7. Prikaz temperatura u ovisnosti o vremenu | 29 |
| Tablica 8. Prikaz temperatura u ovisnosti o vremenu – rad „na suho“ | 31 |
| Tablica 9. Klasifikacija evaluacijskih zona za vibracije strojeva Kategorije I | 36 |
| Tablica 10. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 1 | 38 |
| Tablica 11. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 2 | 38 |
| Tablica 12. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 3 | 39 |
| Tablica 13. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 4 | 39 |
| Tablica 14. Identifikacija opasnosti od paljenja | 50 |
| Tablica 15. Izvješće analize opasnosti od paljenja | 53-59 |
| Tablica 16. Ovisnost temperaturnog razreda o temperaturi medija | 60 |