Tihomir Mihalić
Josip Groš
Srđan Medić
Dražen Furač

CERTIFICIRANJE VERTIKALNIH PUMPI SUKLADNO DIREKTIVI ATEX 2014/34/EU

PRIRUČNICI TEHNIČKOG VELEUČILIŠTA U ZAGREBU
MANUALIA POLYTECHNICI STUDIORUM ZAGRABIENSIS

Tihomir Mihalić
Josip Groš
Srđan Medić
Dražen Furač

CERTIFICIRANJE VERTIKALNIH PUMPI SUKLADNO DIREKTIVI ATEX 2014/34/EU

Priručnik na kolegiju 'Motori i vozila' koji se održava u sklopu nastave na dodiplomskom studiju strojarstva Tehničkog veleučilišta u Zagrebu

Zagreb, 2024.



TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU ZAGREB UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

izdavač	Tehničko veleučilište u Zagrebu Vrbik 8, Zagreb
za izdavača	prof. dr. sc. Jana Žiljak Gršić.
autori	Doc.dr.sc. Tihomir Mihalić
	Josip Groš, mag.ing.meh.
	Doc.dr.sc. Srđan Medić
	Dražen Furač, spec.ing.stroj.
recenzenti	Doc.dr.sc. Tanja Tomić
	Dr. sc. Nikola Šimunić
vrsta djela	udžbenik
	Objavljivanje je odobrilo Vijeće veleučilišta Tehničkog veleučilišta u Zagrebu odlukom broj: 6354-6/24 od 21.03.2024.
ISBN	978-953-8444-11-1
CIP zapis	Dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem _____

Analogan je postupak certifikacije ostalih vrsta pumpi za rad u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

Autori

Sadržaj

1. UVOD **1**
2. OPĆENITO O DIREKTIVI ATEX 2014/34/EU **1**
3. NORME **3**
4. ZONE OPASNOSTI **5**
4.1 Zone za plinove / pare 6
4.2 Zone za prašine 6
5. SKUPINA I KATEGORIJA OPREME **7**
5.1 Oprema skupine I – rudarstvo 7
5.1.1 Kategorija M1 7
5.1.2 Kategorija M2 8
5.2 Oprema skupine II – rudarstvo 8
5.2.1 Kategorija 1 8
5.2.2 Kategorija 2 9
5.2.3 Kategorija 3 9
6. SKUPINA PLINOVA **10**
7. NAJVIŠA TEMPERATURA POVRŠINE **11**
8. PREGLED VRSTA PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE **12**
8.1 Zaštita konstrukcijskom sigurnošću „c“ 13
8.1.1 Zahtijevi za brtve pokretnih dijelova 14
8.1.2 Zahtijevi za pokretne dijelove 15
8.1.3 Zahtijevi za ležajeve 16
8.2 Zaštita kontrolom uzročnika zapaljenja „b“ 18
8.2.1 Razine zaštite od zapaljenja (IPL) 18
9. OCJENA SUKLADNOSTI **20**
10. OPĆI PODACI O PUMPAMA TIPA VPPm **23**
– 10.1 Opis pumpe i presjek 23
11. ISPITIVANJA PUMPE **27**
– 11.1 Opis ispitivanog sustava 27
– 11.2 Primjer mjerenja temp. kliznog ležaja i mehaničke brtve pumpe
11.2.1 Rezultati mjerenja 34
– 11.3 Kontrola vibracijskog stanja 38
– 11.3.1 Postupak mjerenja i analize vibracija 39
– 11.3.2 Mehaničke vibracije (ISO 10816-7) 41
– 11.3.3 Rezultati mjerenja i analize vibracija 42
– 11.4 Funkcionalno ispitivanje 50

12. ANALIZA OPASNOSTI OD ZAPALJENJA **51**
– 12.1 Opis ugradnje i ispravan način rada 51
– 12.2 Mogući neispravni rad – rad bez protoka 51
– 12.3 Mogući neispravni rad – rad bez medija 54
– 12.4 Identifikacija opasnosti od zapaljenja 56
– 12.5 Predložene zaštitne mjere 58
– 12.6 Tablični prikaz analize opasnosti od zapaljenja 59
– 12.7 Rezultirajuća oznaka protueksplozijske zaštite 75

LITERATURA 78
POPIS SLIKA **79**
POPIS TABLICA **80**

Popis kratica

EGP Europski gospodarski prostor
CE *fr. conformité européenne* – Europska sukladnost
ATEX *fr. Atmospheres Explosibles* – Eksplozivne atmosfere
c, g, b, fr, k, p i d oznake vrste zaštite neelektrične opreme sukladno normi HR EN 13463
PTFE-a politetrafluoroetilen, komercijalno poznat kao Teflon®
API *eng. American petroleum institute* – Američki institut za ugljikovodike
MAWP *eng. Maksimal allowed working preasure* - najviši dopušteni radni tlak
RMS *eng. Root mean square* - kvadratna sredina

Predgovor

Certificiranje proizvoda prema europskim direktivama obvezujuće je za sve zemlje članice Europskog gospodarskog prostora (EGP), kao i za sve zemlje koje žele plasirati svoje proizvode u EGP-u. Certificiranje proizvoda je poznato kao i označavanje proizvoda CE oznakom (CE eng. *marking*).

Ovaj priručnik napisan je u svrhu približavanja postupka certificiranja pumpi studentima Tehničkog Veleučilišta u Zagreb, ali i svim gospodarskim subjektima, sukladno Europskoj direktivi ATEX 2014/34/EU. Također priručnik predstavlja dobar primjer u postupak ishođenja CE oznake za ostale tehničke proizvode.

Direktiva ATEX 2014/34/EU primjenjuje se za opremu koja se koristi u potencijalno eksplozivnoj atmosferi. Cilj uredbe ATEX 2014/34/EU je osigurati jednaku kvalitetu proizvoda u cjelokupnom EGP-u što se osigurava primjenom usklađenih europskih normi. Za područja koja nisu pokrivena normama, osiguranje jednake kvalitete proizvoda na cjelokupnom EGP-u osigurava se izdavanjem europske tehničke ocjene. Sukladnost svojstava proizvoda s nadležnom direktivom dokazuje se postavljanjem oznake CE na gotov proizvod.

Cilj ovog priručnika je na sažeti način predstaviti zahtjeve na konstrukciju te na obavezna ispitivanja vertikalnih centrifugalnih potopnih pumpi za rad u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

1. Uvod

Oprema kojoj je namjena korištenje u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom plinova, para zapaljivih tekućina ili zapaljivih prašina, mora biti na poseban način izrađena, instalirana i rabljena. 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 zapaljenje eksplozivne atmosfere. Pod normalnim atmosferskim uvjetima smatra se atmosferski tlak nadmorske visine do 2000 m i temperature između -20 °C i +40 °C.

Potencijalnim uzročnikom zapaljenja smatra se, 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 zapaljenje eksplozivne atmosfere, [1]

2. Općenito o direktivi ATEX 2014/34/EU

ATEX (fr. *Appareils destinés à être utilisés en Atmosphere Explosive*; *Oprema namijenjena za upotrebu u eksplozivnim atmosferama*) direktiva propisuje jedinstvena pravila za cijelu EU o prodaji i uporabi opreme i zaštitnih sustava namijenjenih uporabi u potencijalno eksplozivnim atmosferama.

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

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

Ukratko:

- 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 za zadovoljenje ATEX direktive

Kako bi potopne pumpe zadovoljile navedenu ATEX direktivu potrebno je da su dijelovi pumpi izrađeni te ispitani sukladno specifičnim normama. Te norme se mogu opisati i pobrojati kako slijedi:

HRN EN 1127-1:2019 – 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 HRN EN 1127-1:2019 je podijeljena u dva dijela:

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

HRN EN 13463-1:2010 – 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 13463-2:2005 – 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 13463-3:2005 – 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 ATEX europskom direktivom.

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 zapaljenja. 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 zapaljenja postanu učinkoviti.

4. Zone opasnosti

Kako bi se mogle procijeniti opasnosti od eksplozija u slučajevima kad se potopne pumpe koriste u eksplozivnim atmosferama, potrebno je sagledati koja su to moguća mjesta zone potencijalnih opasnosti. Te zone su podijeljene na zone s plinskim fluidima i zone s zapaljivim česticama u atmosferi.

4.1 Zone za plinove / pare

Zone opasnosti u kojima prevladavaju plinske ili parne eksplozivne fluidne faze definira norma HRN EN 1127-1:2019. Te plinske/parne zone opasnosti pobrojane, označene i opisane kako slijedi:

– **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].

Zona 1 može uključivati:

- neposrednu blizinu 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**

Predstavlja područje u kojem se eksplozivna atmosfera sastavljena 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 o 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, a moguće da 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. Skupine 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 isklopiti 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]

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*	-

Tablica 1. Odnos između kategorija i zona [3]

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 rasponu i minimalnoj struji zapaljenja plinske smjese.

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

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

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

Tablica 2. Tablica skupne plinova [4]

7. Najviša temperatura površine

Kao dio analize opasnosti od zapaljenja 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.

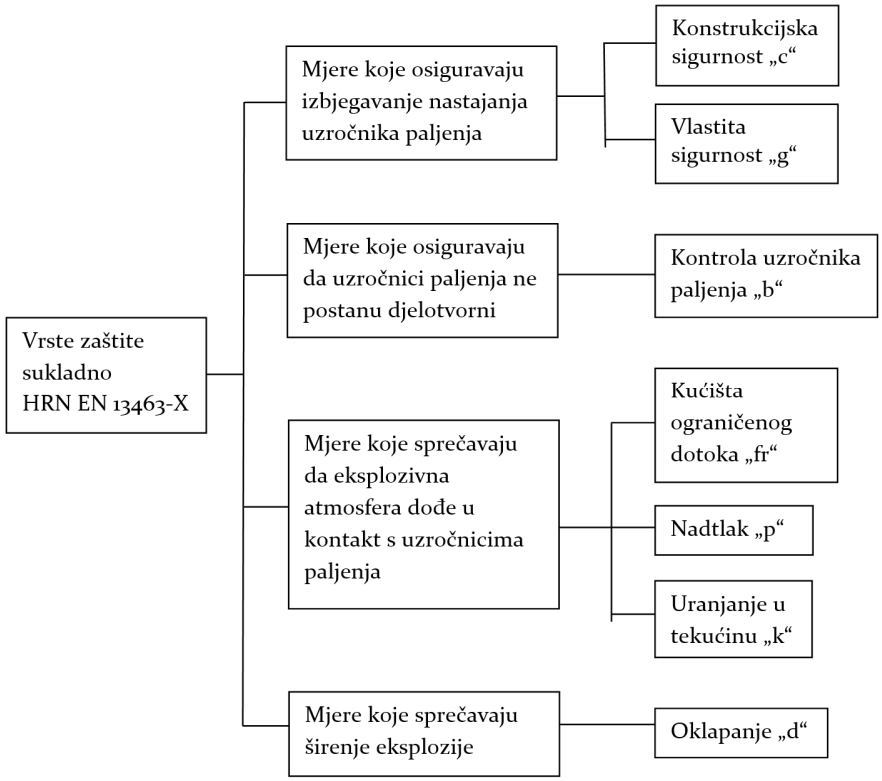
Tamo gdje maksimalna temperatura površine ne ovisi o samoj opremi, već uglavnom o radnim uvjetima (poput zagrijane tekućine u pumpi), relevantne informacije bit će navedene u uputama za uporabu, a oprema će biti označena TX. [4]

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

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

8. Pregled vrsta protueksplozijske zaštite

Kada govorimo o vrstama protueksplozijske zaštite moramo se referencirati na važeće norme. Jedna od takvih normi HR EN 134643-x. HR EN 13463 utvrđuje osnovne metode i zahtjeve za projektiranje, izradu, ispitivanje i označavanje neelektrične opreme u eksplozivnim ili zapaljivim atmosferama. Te atmosfere uključuju plin, paru, maglu i prašinu i također mogu postojati ili biti uvučene unutar opreme zbog promjena unutarnjeg radnog tlaka i temperature. Ona je sastavni dio ATEX direktive.



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)

Zaštita konstrukcijskom sigurnošću, označena u normi HR EN 13463 s „c“, je vrsta zaštite od zapaljenja u kojoj se primjenjuju konstrukcijske mjere kako bi se spriječila mogućnost zapaljenja eksplozivne atmosfere uzrokovana vrućom površinom, iskrenjem i adijabatskom kompresijom, generirano pokretnim dijelovima.

Jedna od metoda primjene zaštite od zapaljenja je odabir vrste opreme koja ne sadrži izvor zapaljenja 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 ZAHTIJEVI ZA BRTVE POKRETNIH DIJELOVA

a) Nepodmazivana brtvila, brtve, čahure, mjehovi 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 (politetrafluoroetilen, komercijalno poznat kao Teflon®) 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 s 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 ZAHTIJEVI ZA POKRETNE DIJELOVE

Za pokretne dijelove u sklopu zaštite konstrukcijskom sigurnošću sama norma HR EN 13463-5, propisuje uvjete u radu koje treba spriječiti, a to su:

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 zapaljenja, to mora biti navedeno u uputama proizvođača. [5]

8.1.3 ZAHTIJEVI ZA LEŽAJEVE

Norma HR EN 13463-5 iako propisuje zahtjeve na pokretne elemente kao što je prethodno opisano, posebno izdvaja ležajeve i donosi zahtjeve na njih:

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 uvjeta,

- 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,
- Zamijeniti 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 zapaljenja „b“ (HRN EN 13463-6)

Kako bi se spriječilo da potencijalni izvori zapaljenja 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 zapaljenja 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 zapaljenja eksplozivne atmosfere. Iz tog razloga, ovaj standard zahtijeva njihovu ocjenu i predlaže minimalnu kvalitetu takvih uređaja u obliku razine zaštite od zapaljenja (*eng. ignition prevention level*, IPL). [6]

8.2.1 RAZINA ZAŠTITE OD ZAPALJENJA (IGNITION PREVENTION LEVEL, IPL)

Sustav za sprječavanje zapaljenja razine IPL 1 i IPL 2 moraju sadržavati dobro ispitane komponente s dokazanom pouzdanošću, 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 zapaljenja postane učinkovit ili se daje upozorenje da se može pojaviti izvor zapaljenja,
- sustav za sprječavanje zapaljenja 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 zapaljenja postane učinkovit,
- ako se dogodi jedna greška u sustavu za sprječavanje zapaljenja, ne dolazi do gubitka sigurnosne funkcije sustava,
- upute proizvođača opreme moraju navesti interval provjere senzora i sustava za sprječavanje zapaljenja, te radnje koje treba poduzeti ako se otkriju kvarovi [6]

Pojava potencijalnog uzročnika zapaljenja	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

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

Neelektrična oprema kategorije 1 mora biti zaštićena od zapaljenja 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.

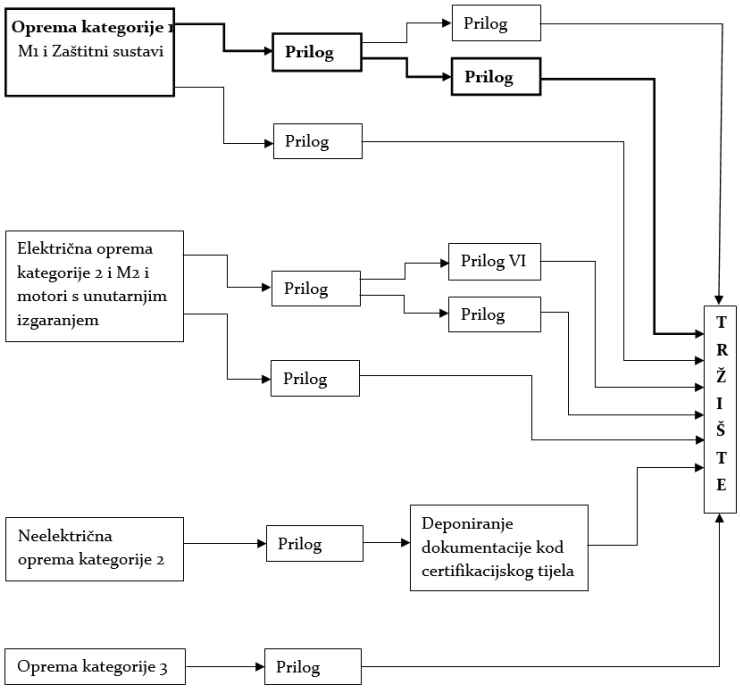
Iz tog razloga, za opremu kategorije 1, ovaj oblik zaštite može se primijeniti samo na opremu koja u normalnom radu nema uzročnika zapaljenja.

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

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

9. Ocjena sukladnosti

Ocjena sukladnosti vertikalnih potopnih pumpi točno je propisana ATEX direktivom. Cijeli postupak ishođenja CE oznake pumi rezultira izjavom sukladnosti u kojoj se navode norme koje su zadovoljene u svrhu postizanja sukladnosti s direktivom. Sljedeća shema prikazuje proces certifikacije ovisno o kategoriji opreme, odnosno vezu sa prilozima iz ATEX Direktive 2014/34/EU:



Slika 2. Shema procesa certifikacije [7]

Sami postupak ocjenjivanja sukladnosti podijeljen je u sedam priloga (modula) koje je proizvodi za rad u eksplozivnim atmosferama moraju zadovoljiti s obzirom na njihovu kompleksnost i rizik. Tako, neki proizvodi dovoljno je da zadovolje modul IV – osiguranje kvalitete u proizvodnji, što podrazumijeva uvođenje sustava upravljanja kvalitetom, dok neki drugi, kompleksniji proizvod, većeg rizika od zapaljenja mora zadovoljiti modul III- EU – ispitivanje tipa, što podrazumijeva neko nezavisno ispitivanje u nekom laboratoriju.

Moduli (prilozi) ocjene sukladnosti su:

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 priručnikom obuhvaćena je certifikacija istaknuta u gornjem redu prikaza na slici 2, odnosno prema Prilogu III i Prilogu V. U tablici5. dan je kratki opis svih navedenih priloga.

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.

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

10. Opći podaci o pumpama tipa (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, kroz izlazno kućište, te u produžetku kroz cijevne nastavke i nosač pumpe u tlačni vod sustava.

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, međunosač i lanterna motora su zavarene izvedbe.

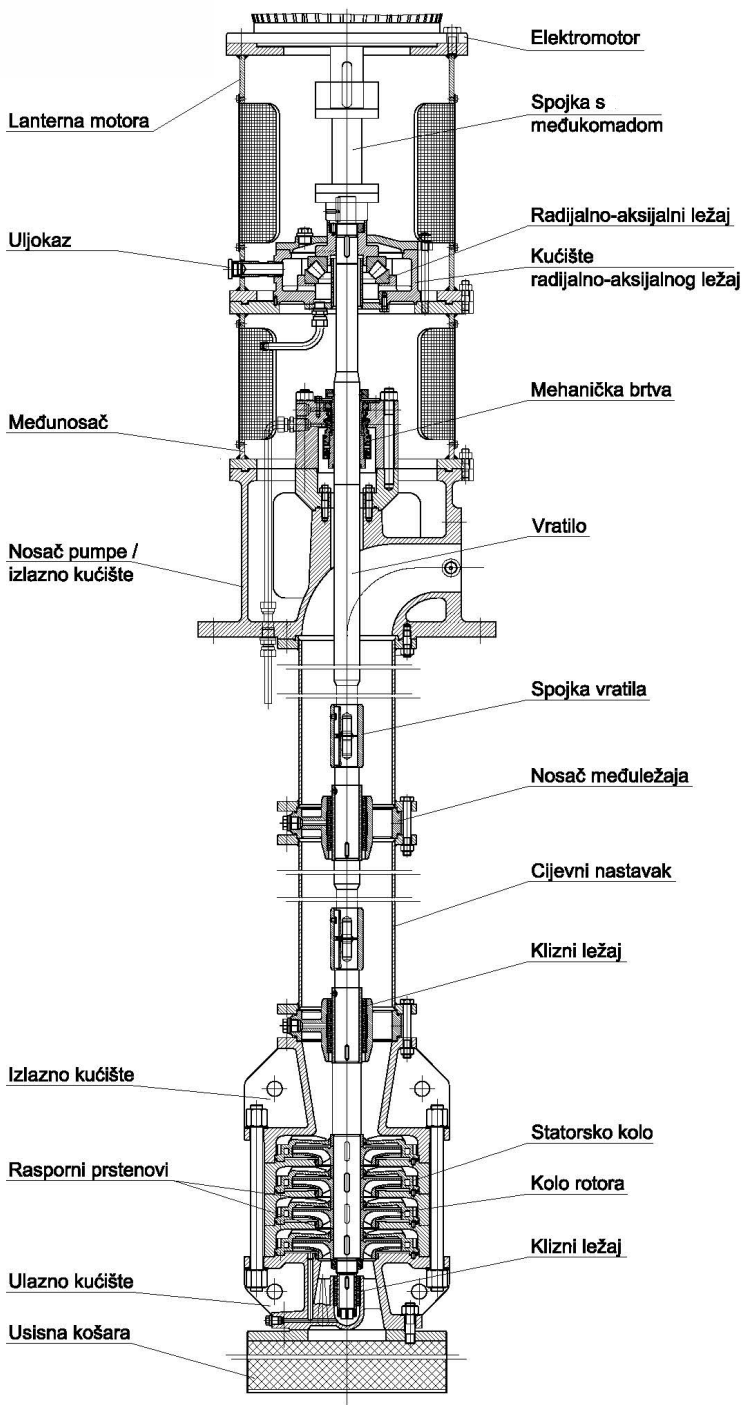
Vratilo je višedijelno izrađeno od nehrđajućeg čelika i spojeno u jednu cjelinu preko spojki koje su također izrađene od nehrđajućeg čelika. Vratila su uležištena sa kliznim ležajevima koji se nalaze u ulaznom i izlaznom kućištu, te u nosačima između cijevnih nastavaka. Broj međuležaja ovisi o dužini 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 elektro motora je povezano preko fleksibilne spojke sa međukomadom koji prilikom demontaže omogućuje skidanje nosača aksijalnog ležaja i mehaničke brtve bez skidanja el. motora s pumpe. Spojka je neiskreća s ATEX certifikatom.

Brtvljenje pumpe je izvedeno s jednostrukom eng. *cartridge* mehaničkom brtvom koja je u skladu sa standardom API 682 (*eng. American petroleum institute*, standard američkog instituta za ugljikovodike). API 682 je norma koja utvrđuje zahtjeve i daje preporuke za sustave brtvljenja centrifugalnih i rotacijskih pumpi koje se koriste u nafti, prirodnom plinu i kemijskoj industriji. Nadalje, 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.



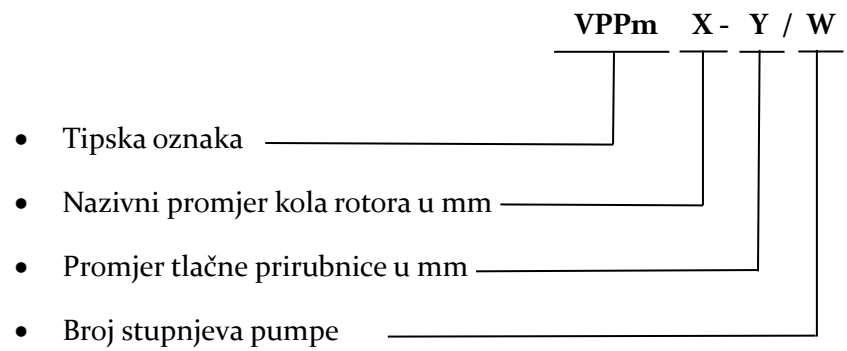
Slika 3. Presjek pumpe s označenim glavnim dijelovima [9]

Za potrebe ovog udžbenika kao primjer koji se koristi kao praktični primjer koraka certifikacije sukladno ATEX direktivi, se koristi vertikalna potopna pumpa slijedećih karakteristika:

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

(eng. Maximal allowed working pressure, najviši dopušteni radni tlak)

Kako bi se proveo postupak certifikacije sukladnosti bilo kojeg proizvoda tako i pumpi, praktično je dati interne nazive-oznake, kako bi se moglo točno referencirati na egzaktan proizvod, odnosno pumpu u ovom slučaju. Same korištene norme kao i ATEX direktiva ne propisuju kako će proizvođač označiti svoje proizvode, ali moraju biti jedinstveno označeni jer u konačnici, ta oznaka je osnovni dio koji ide na pločicu ili naljepnicu koja sa stavlja na proizvod, kako bi on trajno bio jednoznačno označen. Pri ishođenju CE oznake, ne moraju svi proizvodi (u ovom slučaju sve pumpe) biti uključeni u postupak. Sam proizvođač određuje za koje proizvode će ishoditi CE oznaku.
Primjer označavanja koji je odabran u ovom udžbeniku:



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 6 prikazan je raspon svih gore navedenih varijabli (X, Y, W) koje se mogu pojaviti kod oznake pumpe, u ovom primjeru.

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

Tablica 6. Raspon varijabli kod označavanja pumpe

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 funkcionalno ispitivanje radnih parametara pumpe. Fotografski prikaz pumpe na ispitnoj 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 min^{-1}
Snaga:	P = 12,8 kW

Osnovni tehnički podaci o elektromotoru:

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

Napomena: El. motor je korišten samo za potrebe ispitivanja pumpe i nije namijenjen 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 Primjer mjerenja temperatura kliznog ležaja i mehaničke brtve pumpe

Zbog potrebe prikaza praktičnog primjera provedena su mjerenja temperature kliznog ležaja i mehaničke brtve na realnom primjeru 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.

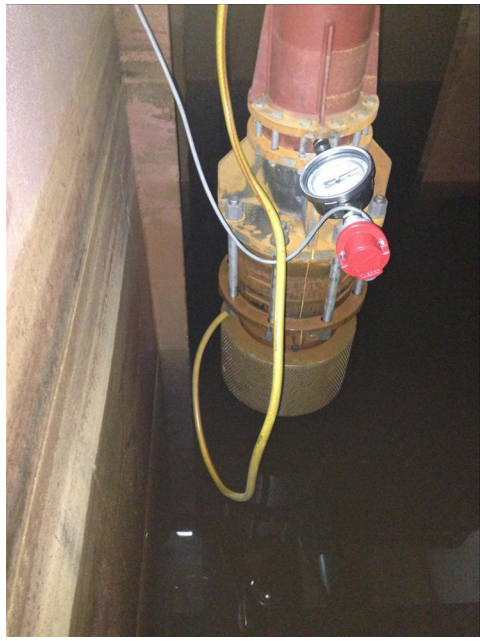
Ovo ispitivanje, zahtijevano od direktive, vrši se s ciljem utvrđivanja mogućih izvora zapaljenja kao i primjerenih zaštitnih mehanizama u slučajevima kada se pumpa ugrađuje u potencijalno eksplozivnu atmosferu Zona 0.



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



Slika 6. Sonda na mjernom mjestu *T1* i rad pumpe kod minimalne razine radnog fluida [9]



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

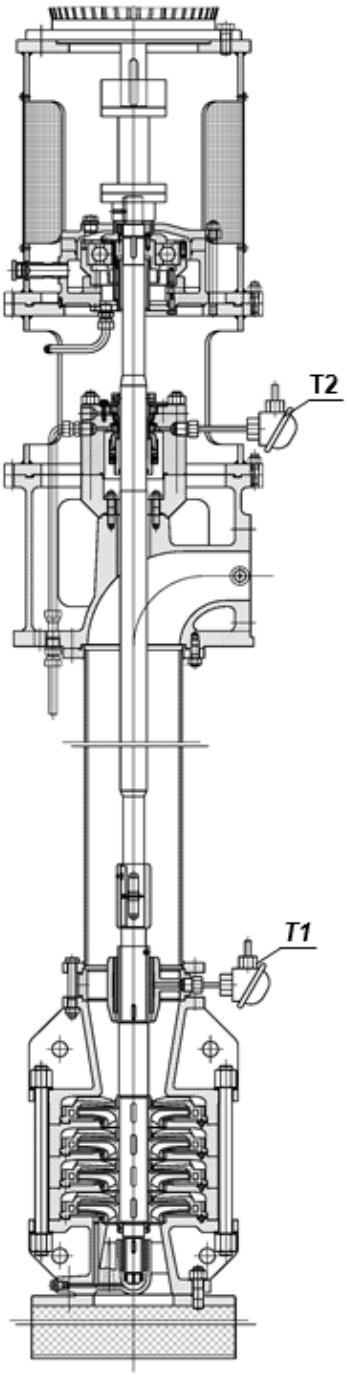
Mjerenja temperatura izvršena su na mjernim mjestima T_1 i T_2, prikazanim na slici broj 8. Mjerno mjesto T_1 je na kliznom ležaju pumpe, a mjerno mjesto T_2 je na mehaničkoj brtvi. Mjerna veličina temperatura je u °C. Ova mjerna mjesta su odabrana jer se tu konstruktivno mogu pojaviti maksimalne temperature u radu pumpe.

Prvi dio mjerenja proveden je pri nominalnom radnom režimu (Q = 15 m³/h, H= 12 bar), a drugi dio mjerenja proveden je pri potpuno zatvorenom ventilu (Q= 0 m³/h), simulirajući na taj način neispravan rad kod zatvorenog ventila

Izvršeno je i simuliranje neispravnog rada pumpe, tj. rad „na suho“, odnosno bez radnog medija, a mjerenja su provedena na mjernom mjestu T_1.

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, temperaturnog raspona ≤500 °C te klase točnosti B prema normi IEC 60751:2022



***T1* – klizni ležaj**

***T2* – mehanička brtva**

Slika 8. Mjerna mjesta za mjerenje temperatura [9]

11.2.1 REZULTATI MJERENJA

Tablični prikaz rezultata provedenih mjerenja temperatura vidljiv je u tablici 7. Na slici 9 je grafički prikaz mjerenja temperature u ovisnosti o vremenu za mjerno mjesto T_1 (klizni ležaj), a na slici 10 za mjerno mjesto T_2 (mehanička brtva).

	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										

Tablica 7. Prikaz temperatura u ovisnosti o vremenu

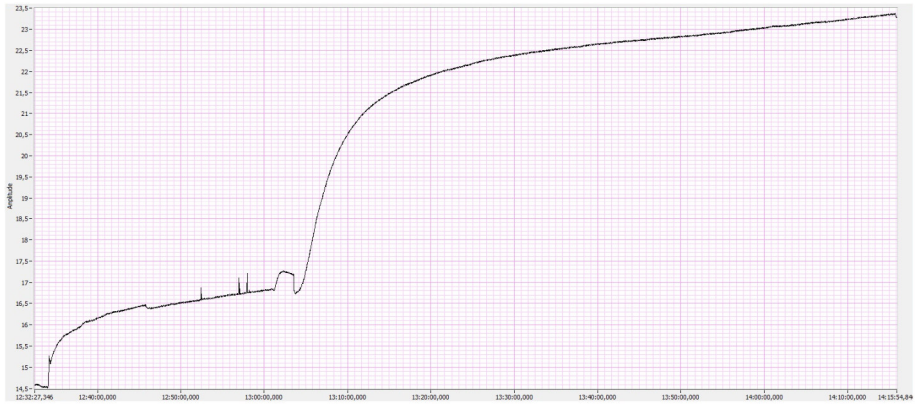
U normalnom režimu rada kod nominalne radne točke, temperatura na mjernom mjestu *T1* se stabilizirala na **15,75 °C**, a na mjernom mjestu T_2 na **16,75 °C**, nakon 28 minuta rada pumpe.

Nakon stabilizacije temperatura, zatvori se tlačni ventil s ciljem simulacije neispravnog rad pumpe bez protoka radnog fluida.

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 s 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 T_1.

	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										

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



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

Kod neispravnog rada na suho, bez protoka radnog fluida, zabilježen je porast temperature na mjernom mjestu T_1 do **22 °C** prosječnim porastom od **0,4 °C / min** međutim nakon 18 minuta pumpa se zaustavila zbog isključivanja zaštitne sklopke, koja štiti elektromotor od prevelike električne struje, a samu pumpu od 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.

Korišteni klizni ležaji izrađeni su od materijala Thordon ThorPlas Blue. ThorPlas je materijal razvijen od strane tvrtke Thordon. Ležajevi izrađeni od tog materijala imaju svojstvo samopodmazivanja tijekom cijelog životnog ciklusa čime je poboljšana pouzdanost, produljen radni vijek opreme i povećano srednje vrijeme između kvarova (MTBF *eng. Mean time between failure*). Materijal ThorPlas je razvijen kao rješenje za zamjenu brončanih ležajeva, koje je bilo potrebno održavati/podmazivati. Ležajeve izrađene od ThorPlas materijala nije potrebno održavati. Ležajevi izrađeni od ovog termoplastičnog materijala mogu podnijeti dinamičke radne tlakove do 45 MPa.

Budući da je temperatura taljenja ležajeva izrađenih od ThorPlast materijala ~**250 °C**, a temperaturna sonda, u provedenim mjerenjima, nije izmjerila više od **22 °C** uslijed izuzetnih svojstava termalne izolacije

materijala ThorPlas, može se da se temperaturne sonde ne mogu adekvatno koristiti kao zaštitno sredstvo od porasta temperature.



Slika 12. Rastaljeni klizni ležaj Thordon ThorPlas [9]

- **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 zagrijavaju više od cca 2 °C od okolišne temperature i temperature radnog fluida, 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 zagrijavaju više od inicijalnih Δt=5 °C, s daljnjim 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 ležaja ThorPlas, izmjerena vanjska temperatura je porasla za samo Δt = ~7 ºC 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, zaključuje se da praćenje temperature kliznog ležaja nije primjereno sredstvo kontrole ovog uzročnika zapaljenja, te se zahtijeva stalna kontrolu potopivosti pumpe kao najprimjerenije sredstvo zaštite.

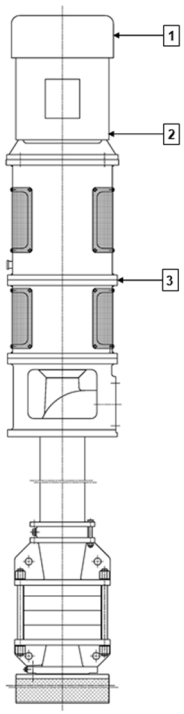
11.3 Kontrola vibracijskog stanja

Nakon izvršenih mjerenja temperatura kliznog ležaja i mehaničke brtve, pristupilo se mjerenju, a time kontroli vibracijskog stanja pumpe VPPm 180-50/4 u ispitnoj stanici Tvornice turbina Karlovac.

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.

11.3.1 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.



Slika 13. Mjerna mjesta za ispitivanje vibracija

Mjerna veličina apsolutnih vibracija kućišta ležajeva je efektivna vibracijska brzina v_{ef} (mm/s) (RMS, *eng. Root mean square,* kvadratna sredina) za koju je izvršena i frekvencijska analiza.

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

- **<u>Mjerni pravci X, Y i Z su sljedeće orijentacije:</u>**
    - 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 razina apsolutnih vibracija ležajnih struktura data je na osnovu kriterija specificiranih u normi HR EN ISO 10816-7, kategorija I (norma se odnosi na mehaničke vibracije; Procjena vibracija stroja mjerenjima na nerotirajućim dijelovima; Dio 7: Rotodinamičke pumpe za industrijske primjene, uključujući mjerenja na rotirajućim vratilima)

– **Za mjerenje vibracija upotrjebljena je sljedeća mjerna oprema:**

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

VIB 6.142R karakteristike:
Sustav signala: 3.5 mA statička ele. struja sa superponiranim AC signalom
Transmisijski faktor: 1,0 μA/ms^{-2} ± 3% (Ref.: 159 Hz; 25 °C)
Frekvencijski raspon ±5%: od 2.5 Hz do 13 kHz
Frekuencijski raspon ±10%: od 1.6 Hz do 17 kHz
Frekvencijski raspon ±3dB: od 1 Hz do 20 kHz
Rezonantna frekvencije: 36 kHz
Raspon linearnosti: ±10%: ± 961 ms^{-2}
Temperaturni raspon: -40 °C to 100 °C

11.3.2 MEHANIČKE VIBRACIJE – OCJENA VIBRACIJA STROJEVA MJERENJIMA NA NEROTIRAJUĆIM DJELOVIMA (HR EN ISO 10816-7)

Ocjena mehaničkih vibracija na predmetnoj pumpi vrši se sukladno normi HR EN ISO 10816-7, kako je već napomenute. Sama norma spominje dije kategorije, i to:

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).

U postupku certificiranja potopnih pumpi sukladno ATEX direktivi, potrebno je zadovoljiti zahtjeve navedene norme za mehaničke vibracije kategorija I.

U kategoriji I, propisane su klasifikacije evaluacijskih područja (ocjena) strojeva s obzirom na izmjerene efektivne vibracijske brzine, Tablica 9.

Granica zona	v_{ef} (mm/s)
A/B	2,5
B/C	4,0
C/D	6,6

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

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

11.3.3 REZULTATI MJERENJA I ANALIZE VIBRACIJA

Tablični prikaz dobivenih rezultata mjerenja vibracija u svim niže navedenim režimima vidljiv je u tablicama 10, 11, 12 i 13. Frekvencijski spektri vibracija vidljivi su nakon tabličnih prikaza ukupnih vibracija na slikama koje nose oznake od 14 do 22, gdje su prikazani spektri samo za posljednji režim rada (režim rada 4, razvidno iz niže navedenog popisa režima), jer je za očekivati da će se najveća efektivna vibracijska brzina postići upravo na maksimalnom protoku i visini dobave pompe. Režimi rada na kojima se vrše mjerenja mehaničkih vibracija su odabrani tako da je ukupni raspon protoka pumpe podijeljen na četiri jednako velika područja.

– **<u>Analiza vibracijskog stanja obavljena je pri pri sljedećim radnim režimima:</u>**

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 HR EN 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 izmjerenim radnim režimima i u svim pravcima mjerenja spadaju u ocjenu „A“ evaluacijsku zonu prema normi HR EN ISO 10816-3, odnosno to su vibracije pumpe koje su na razini novih strojeva. Izmjerene vrijednosti v_{ef} Prikazani su u Tablicama 10, 11, 12 i 13.

Parametri rada	Visina dobave H = 13,7 bar Količina dobave Q = 0 Brzina vrtnje n = 2965 min^{-1}		
Mjerno mjesto	**Pravac**	***Vef* (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 10. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 1

Parametri rada	Visina dobave H = 13 bar Količina dobave Q = 16 m^3/h Brzina vrtnje n = 2965 min^{-1}		
Mjerno mjesto	**Pravac**	***Vef* (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

Tablica 11. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 2

* Evaluacijska zona prema standardu HR EN ISO 10816-7

Parametri rada	Visina dobave H = 12 bar Količina dobave Q = 21 min^{-1} Brzina vrtnje n = 2965 min^{-1}		
Mjerno mjesto	**Pravac**	***Vef* (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 12. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 3

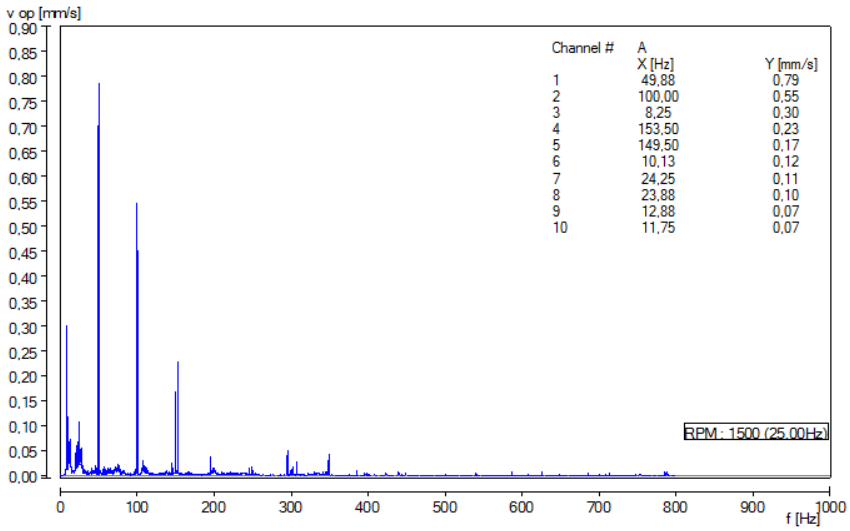
* Evaluacijska zona prema standardu HR EN ISO 10816-7

Parametri rada	Visina dobave H = 10,5 bar Količina dobave Q = 26 m^3/h Brzina vrtnje n = 2965 min^{-1}		
Mjerno mjesto	**Pravac**	***Vef* (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

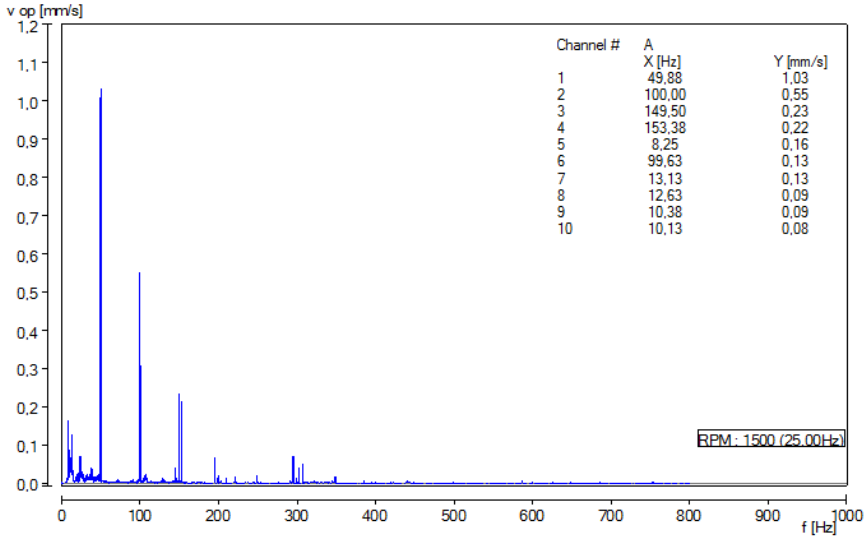
Tablica 13. Rezultati mjerenja vibracija pri radnom režimu 4

Izmjereni frekvencijski spektri za elektromotor i pumpu prikazani su na slikama koje nose oznake od 14 do 22. Frekvencijska analiza pokazuje da sustavom dominiraju prvi i drugi harmonik brzine vrtnje pumpe i elektromotora: f =49,9 Hz, 2 x f =99,8 Hz, što je normalni frekvencijski spektar za ovaj sustav koji se sastoji od odabranog elektromotora i pumpe koju koristimo kao primjer kroz ovaj priručnik.

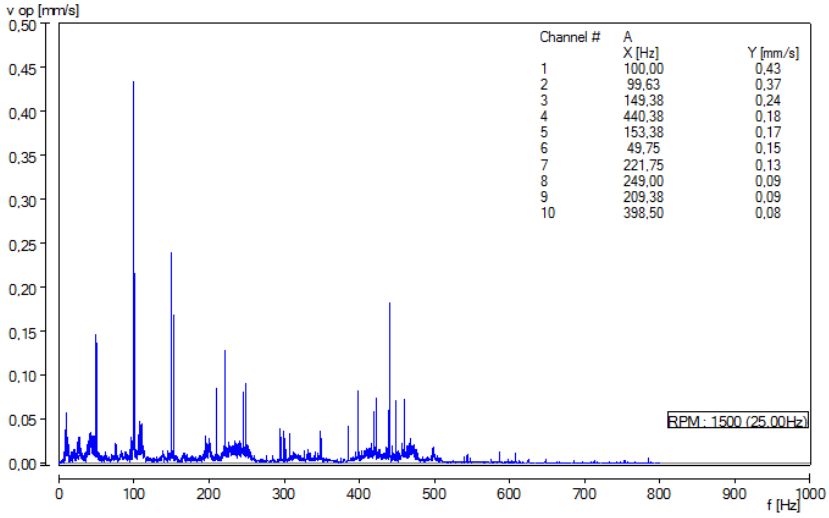
Frekvencijski spektri vibracijskih brzina; H = 10,5 bar, Q = 26 m³/h:



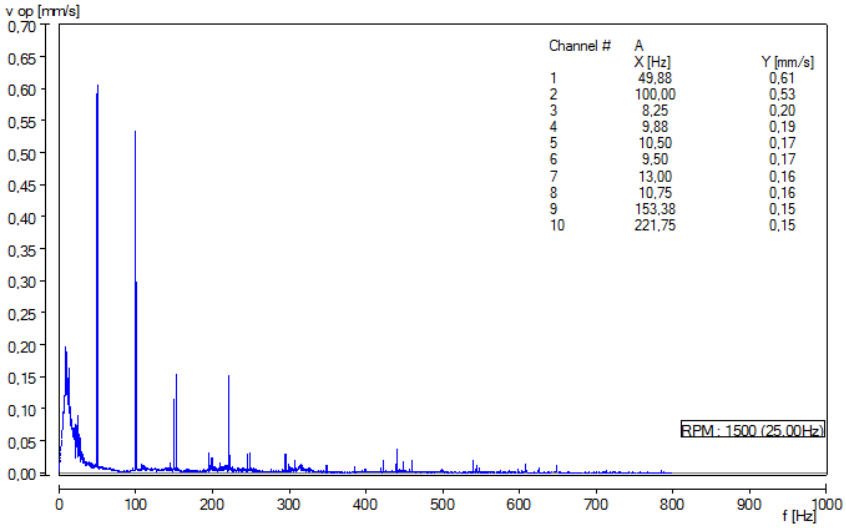
Slika 14. Frekventni spektar elektromotor 1x [9]



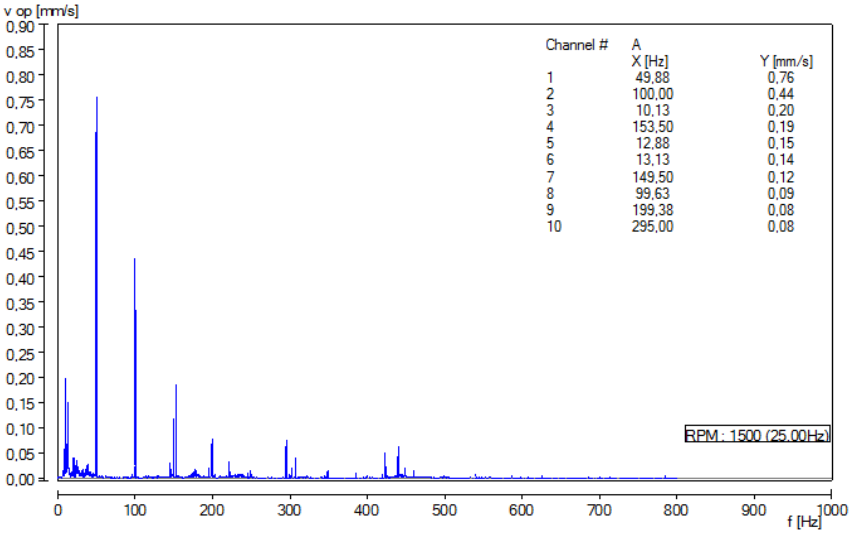
Slika 15. Frekventni spektar elektromotor 1y [9]



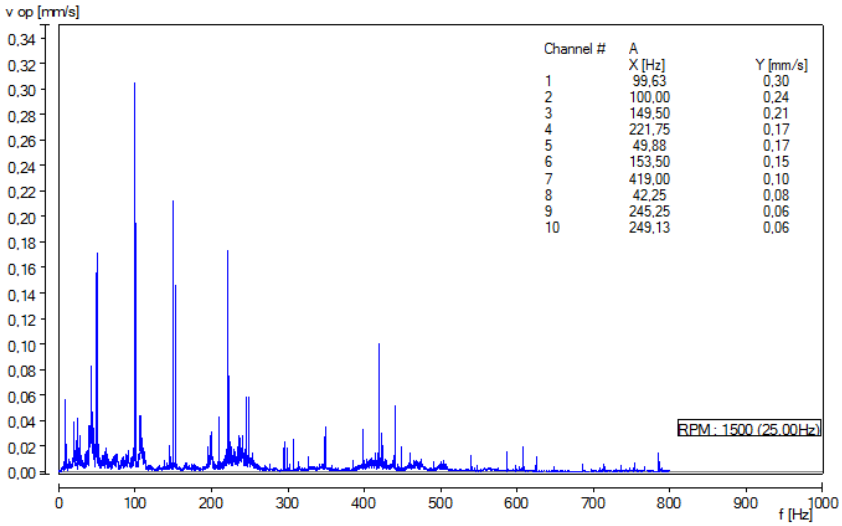
Slika 16. Frekventni spektar elektromotor 1z [9]



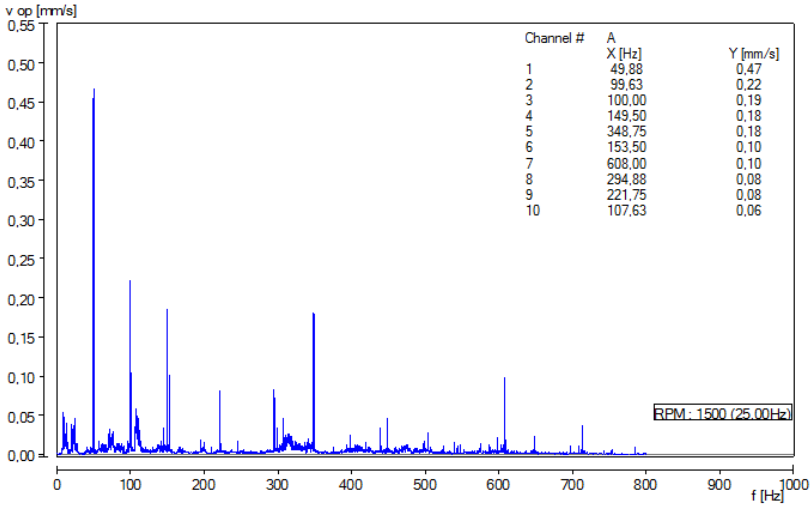
Slika 17. Frekventni spektar elektromotor 2x [9]



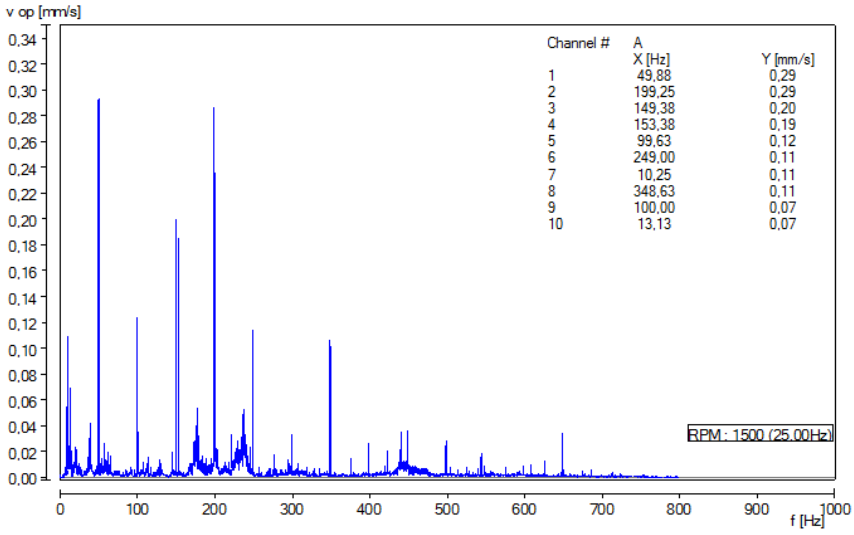
Slika 18. Frekventni spektar elektromotor 2y [9]



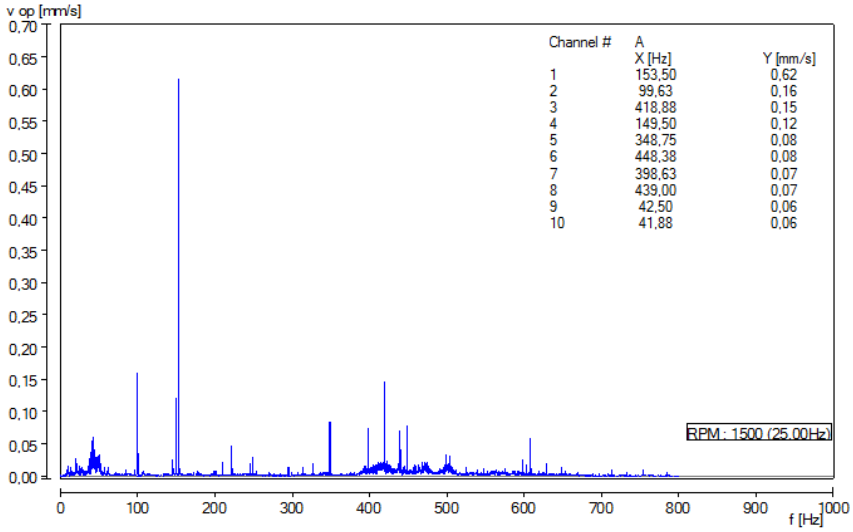
Slika 19. Frekventni spektar elektromotor 2z [9]



Slika 20. Frekventni spektar pumpa 3x [9]



Slika 21. Frekventni spektar pumpa 3y [9]



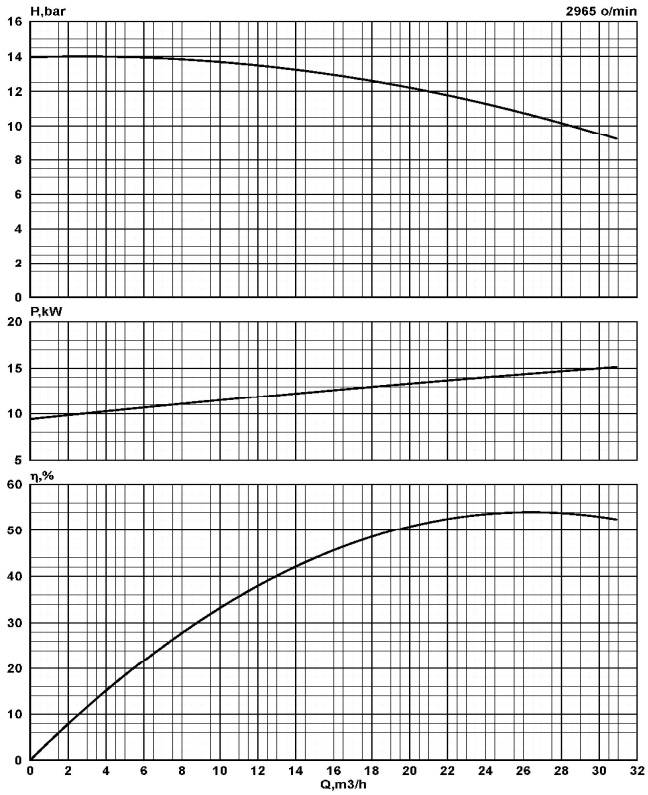
Slika 22. Frekventni spektar pumpa 3z [9]

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

Važno je napomenuti se preporučuje redovna kontrola vibracijskog stanja pumpe na mjestu gdje je ugrađena u eksploataciji.

11.4 Funkcionalno ispitivanje

Sljedeći dijagram (Slika 23) prikazuje radnu karakteristiku pumpe nakon provedenog funkcionalnog ispitivanja radnih parametara. Ispituje se količina dobave pumpe Q (m³/h), tlak dobave H (bar), snaga P (kW), te se izračunava stupanj korisnosti pumpe η (%).



Slika 23. Ispitni dijagram pumpe [9]

12. Analiza opasnosti od zapaljenja

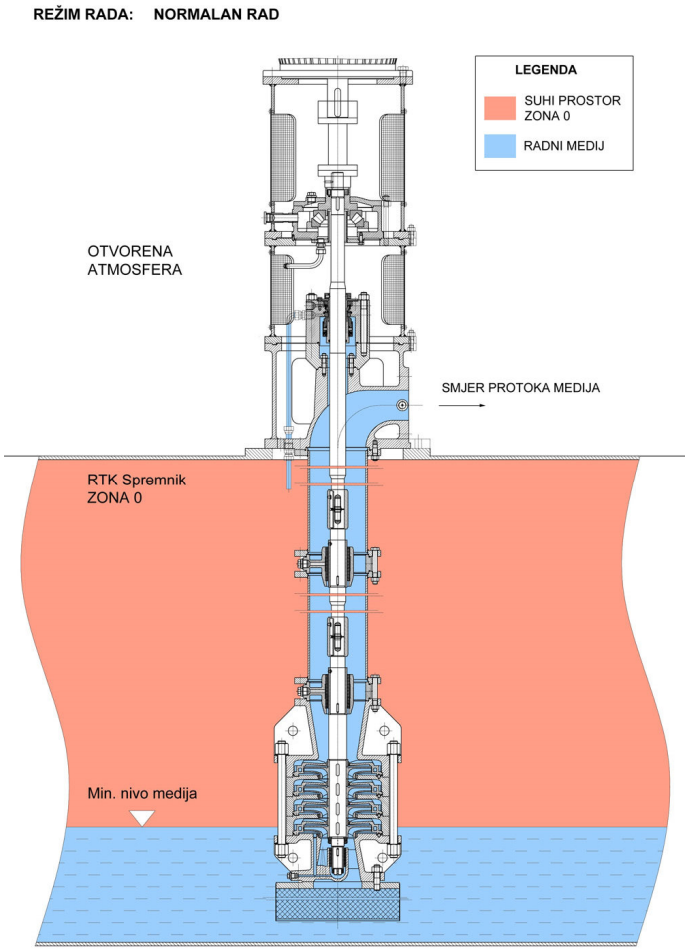
Cilj ove analize je identificirati sve moguće uzročnike zapaljenja koji nastaju tijekom normalne uporabe, očekivanog nepravilnog rada ili rijetkog nepravilnog rada opreme, te definiranja lista primjenjivih mjera u svrhu prevencije potencijalnih uzročnika paljenja.

12.1 Opis ugradnje i ispravan način rada navedene pumpe

Pumpe tipa VPPm 180-50/X su projektirane i namijenjene za pražnjenje spremnika tehničke otpadne vode. 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 namijenjene kao zamjena za postojeće stare pumpe, te su projektirane kako bi se mogle ugraditi u postojeće 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 prisustvom ugljikovodika, a prazan prostor u spremniku je definiran kao potencijalno eksplozivna Zona 0.



Slika 24. Normalan režim rada pumpe

Spremnici tehničke otpadne vode su opremljeni sustavom za nadzor razine radnog medija (senzor razine radnog fluida) 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 gornja razina, a isključuje se automatski kada razina dosegne donji minimalni nivo.

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

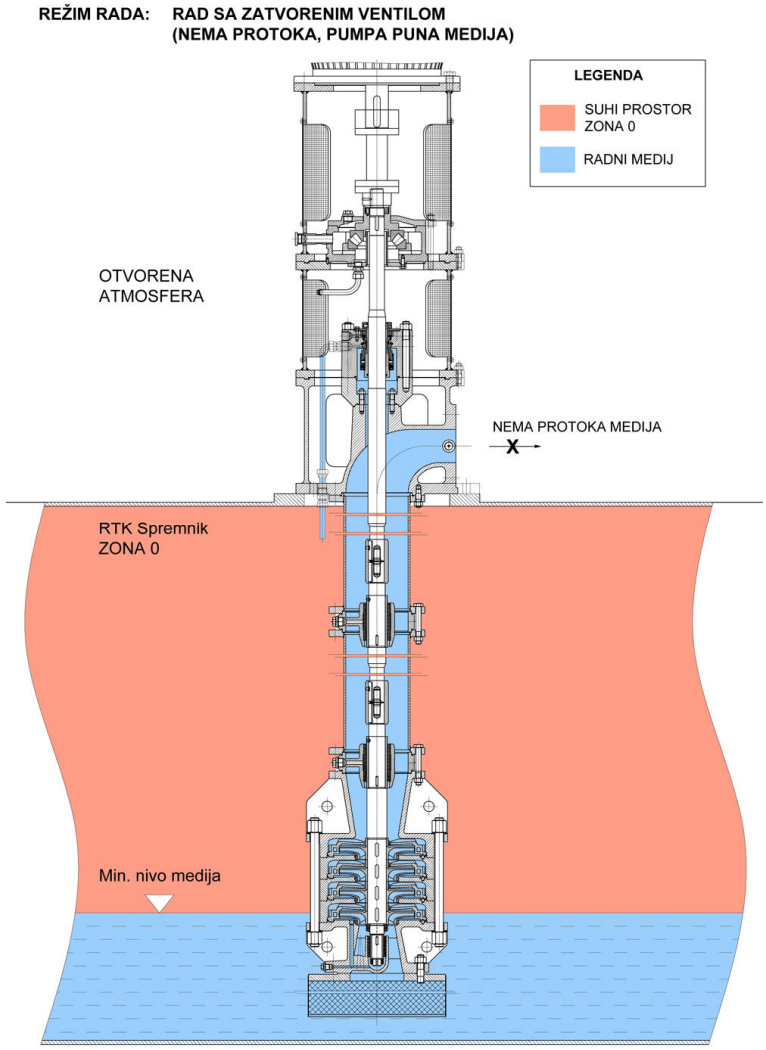
Kao što se vidi iz rezultata mjerenja za navedenu konkretnu pumpu i zaključka navedenih u izvještaju o mjerenju temperatura u poglavlju 11.2, u normalnom radu se ne stvaraju temperature na pumpi koje mogu biti potencijalni uzročnik zapaljenja.

12.2 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 s zatvorenim tlačnim ventilom), pumpa radi s 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 s 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.



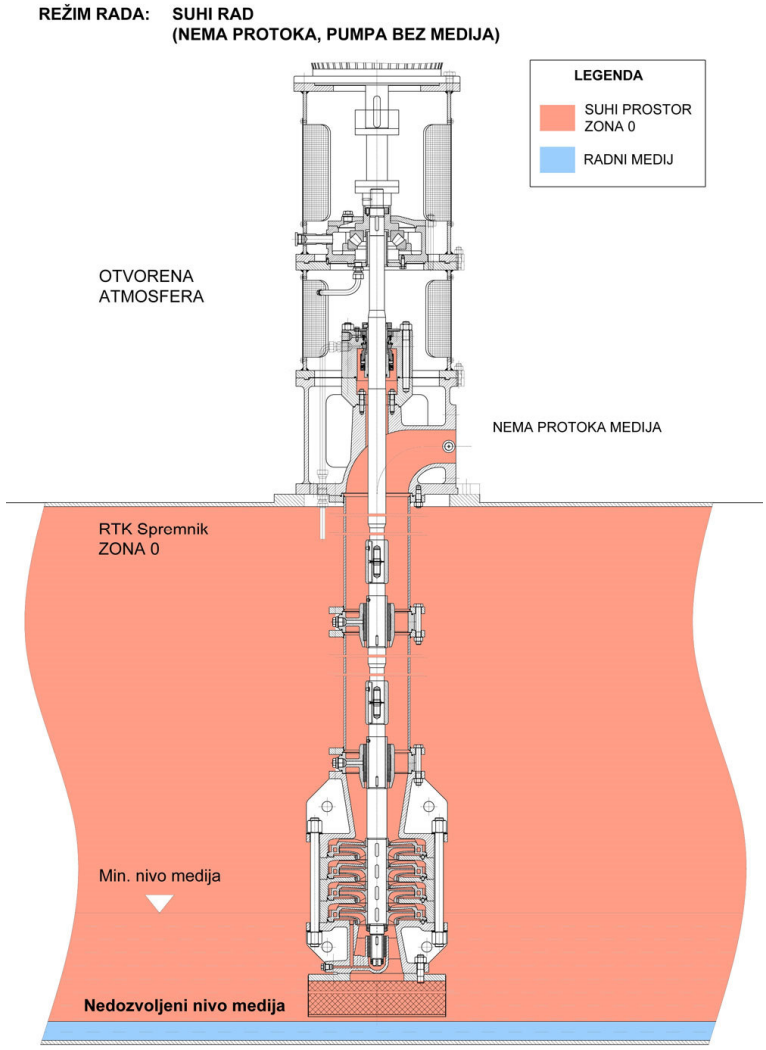
Slika 25. Rad bez protoka medija

12.3 Mogući neispravni rad – rad pumpe bez radnog fluida

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

Kod ovakvog rada dolazi do grijanja tarnih površina (dodirne površine kliznog ležaja i vratila te mehaničke brtve i vratila) koje koriste radni medij kao rashladni / podmazujući (npr. klizni ležajevi) te prijelaza 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 zapaljenja. U navedenom poglavlju je pokazano da mjerenje temperature kliznog ležaja kao kritičnog elementa nije moguće, te je potrebno spriječiti moguće uzročnike zapaljenja osiguranjem potopljenosti hidrauličkog dijela pumpe.



Slika 26. Rad pumpe na suho

12.4 Identifikacija opasnosti od paljenja

Pri certificiranju pumpi sukladno ATEX direktivi, norma HRN EN 1127-1:2019 (Eksplozivne atmosfere -- Sprječavanje i zaštita od eksplozije), zahtijeva procjenu mogućih uzroka zapaljenja, što je za konkretnu pumpu navedenu kao primjer u ovom udžbeniku prikazano u Tablici 14.

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

Tablica 14. Identifikacija opasnosti od paljenja

12.5 Predložene zaštitne mjere kako bi se ostvarila sukladnost navedene pumpe ATEX direktivi

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

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

Ispitivanja su pokazala da je u ispravnom stanju potrebno maksimalno 5 sekundi da se pumpa napuni radnim fluidom, čak i kada starta s zatvorenim ventilom.

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

- **Zaštitna mjera sklopkom razine**

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

- **Zaštitna mjera senzorom tlaka**

U slučaju da je sklopka razine neispravna ili netko nemarom kratko spoji kontakt na način da premosti logiku rada 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.

12.6 Tablični prikaz analize opasnosti od paljenja

Kod izrade izvještaja o analizi opasnosti od zapaljenja 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 zapaljenja i njihovih uzroka.
- Procjena opasnosti od zapaljenja 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 zapaljenja prema prethodnom koraku.
- Procjena opasnosti od zapaljenja 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 zapaljenja 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 primjenjene za sprječavanje da uzročnik paljenja ne postane djelotvoran		
	a	b	a	b	c	d	e	a	b	c
Br.	Potencijalni uzročnik paljenja	Opis / Osnovni uzrok	Tijekom normalnog rada	Tijekom očekivanog nepravilnog rada	Tijekom rijetkog nepravilnog rada	Nije bitno	Razlozi za analizu	Opis primjenjene 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.	EN 13463-1	Ispitno izvješće br. P-2233/12 MT
								1. 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
								2. Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugrađen je osjetnik tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka tj. detekcije rada na suho.	Osjetnik tlaka 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 tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X

	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 nepravilnog rada	Tijekom rijetkog nepravilnog rada	Nije bitno	Razlozi za analizu	Opis primjenjene 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 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
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 potopi radnim medijem. Ležajevi se podmazuju radnim medijem.	EN 13463-1 EN 13463-5	Potrebno je ograničiti vrijeme rada «na suho» do maksimalno 10 sekundi Izvještaj P-2233/12-MT

CERTIFICIRANJE VERTIKALNIH PUMPI SUKLADNO DIREKTIVI ATEX 2014/34/EU / A TIHOMIR MIHALIĆ, JOSIP GROŠ, SRĐAN MEDIĆ, DRAŽEN FURAČ

	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 nepravilnog rada	Tijekom rijetkog nepravilnog rada	Nije bitno	Razlozi za analizu	Opis primjenjene 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 prisutstvo 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

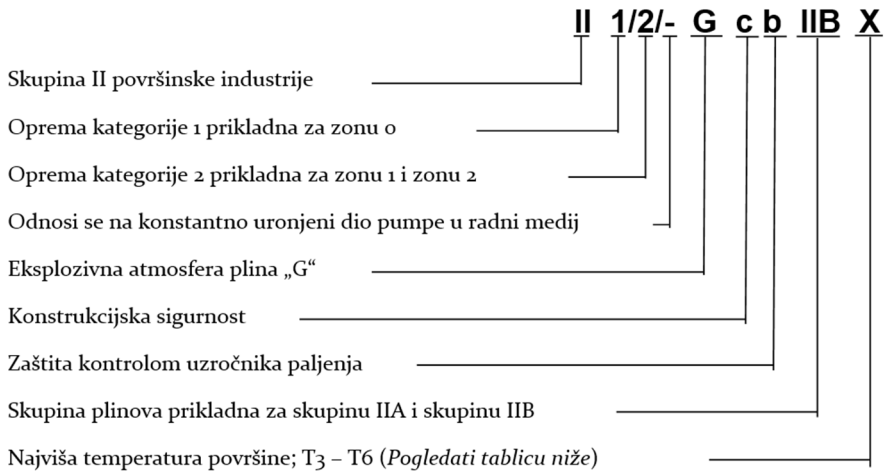
Br.	1		2						3		
	Opasnost od paljenja		Analiza učestalosti pojave bez primjene dodatnih mjera						Mjere primijenjene za sprečavanje uzročnika paljenja da postane djelotvoran		
	a	b	a	b	c	d	e		a	b	c
	Potencijalni uzročnik paljenja	Opis / Osnovni uzrok	Tijekom normalnog rada	Tijekom očekivanog nepravilnog 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)
7	Vruća površina	Uslijed nedostatka 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 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	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»)		x			Rad pumpe bez prisustva radnog medija «na suho»		Kao dodatna zaštitna mjera kvara nivo sklopke ugraden je osjetnik tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka tj. detekcije rada na suho. Mjerilo tlaka mora biti izveden u Ex-zaštiti s obzirom na zonu opasnosti. Mjerilo tlaka u IPL2 izvedbi.	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 radijalno-aksijalnom ležaju uslijed nedostatka maziva ili istrošenosti ležaja		x			Pojava vruće površine na kućištu radijalno-aksijalnog ležaja (poz. 216), uslijed nedostatka maziva ili neočekivane istrošenosti ležaja.		Ležaj je propračunat 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

	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 nepravilnog rada	Tijekom rijetkog nepravilnog rada	Nije bitno	Razlozi za analizu	Opis primjenjene 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 tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka, tj. detekcije rada na suho.	Osjetnik tlaka 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 tlaka br. 11135166.02 -EC tipni certifikat osjetnika tlaka 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

	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 nepravilnog rada	Tijekom rijetkog nepravilnog rada	Nije bitno	Razlozi za analizu	Opis primjenjene 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»)			x		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

	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 nepravilnog rada	Tijekom rijetkog nepravilnog rada	Nije bitno	Razlozi za analizu	Opis primjenjene 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 nabijanje	x				Vodljivost radnog medija nije definirana, stvaranje statičkog elektriciteta i samim tim elektrostatičkog 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 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 tlaka koji isključuje pumpu u slučaju nepostojanja tlaka, tj. detekcije rada na suho.	Osjetnik tlaka je u Ex izvedbi odgovarajuće kategorizacije, te razine sigurnosti IPL 2 EN 13463-1 EN 13463-6	EC izjava o sukladnosti proizvođača osjetnika tlaka br. 11135166.02 EC tipni certifikat osjetnika tlaka BVS 04 ATEX E 068X
								Sve pozicije pumpe su električno provodljive i međusobno povezane, te postoji priključno mjesto za uzemljenje cijelog sklopa.		
15	Statički elektricitet	Pojava statičkog elektriciteta na nevodljivim dijelovima konstrukcije			x		Stvaranje statičkog elektriciteta i samim tim elektrostatičkog pražnjenje može uzrokovati iskru.	Sve pozicije pumpe su električno provodljive i međusobno povezane, te postoji priključno mjesto za uzemljenje cijelog sklopa.	EN 13463-1	Upute proizvođača

12.7 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.

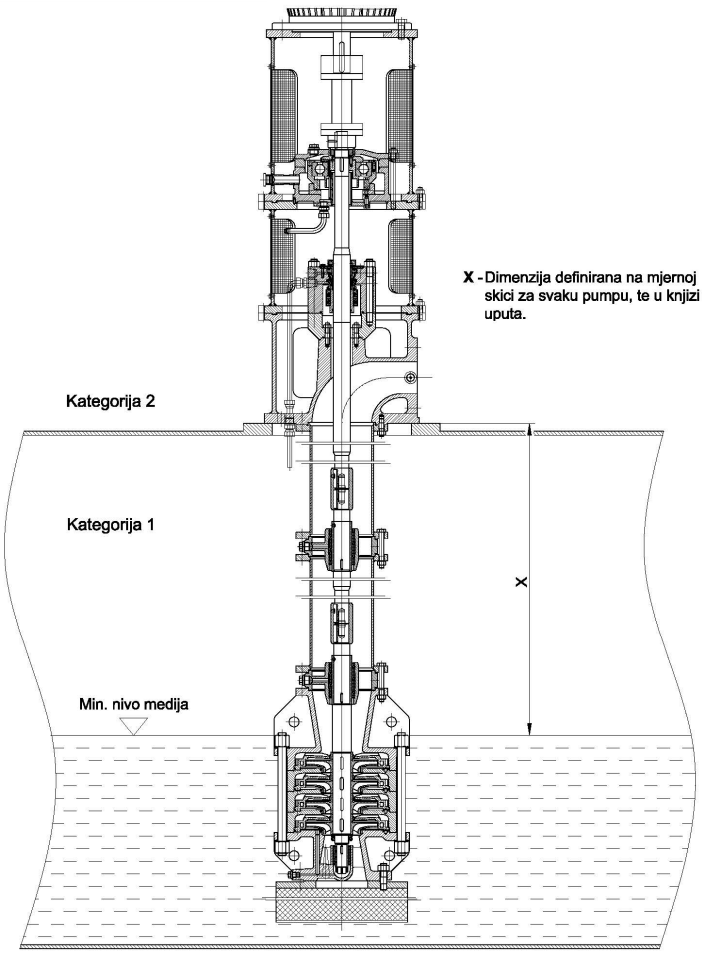
- Oznaka „-“ se odnosi na dio pumpe koji je konstantno uronjen u radni medij i ne podliježe kategorizaciji.

- 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.

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

Tablica 16. Ovisnost temperaturnog razreda o temperaturi medija



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

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] Norma HRN EN 1127:2012
[4] Norma HRN EN 13463-1:2010
[5] Norma HRN EN 13463-5:2012
[6] Norma HRN EN 13463-6:2005
[7] https://civilna-zastita.gov.hr/eksplozivne-atmosfere/85 pristupljeno svibanj 2021.
[8] ATEX 2014/34/EU Guidelines
[9] Dražen Furač; Postupak certificiranja pumpi tipa VPPm za rad u potencijalno eksplozivnoj atmosferi, diplomski rad, Veleučilište u Karlovcu, 2021
[10] Tvornica turbina d.o.o – interna dokumentacija, 2022

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 *T1* i rad pumpe kod minimalnog nivoa 26
Slika 7. Sonda na mjernom mjestu *T1* i rad pumpe bez radnog medija 26
Slika 8. Mjerna mjesta za mjerenje temperatura 28
Slika 9. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto *T1* (klizni ležaj) 30
Slika 10. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto *T2* (mehanička brtva) 30
Slika 11. Grafički prikaz temperature, mjerno mjesto *T1* – 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 max. temperature za opremu skupine IIG 10
Tablica 4. Min. 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