

Mjerenje i kontrola kvalitete u proizvodnom procesu tvrtke za obradu cementa

Markov, Zora

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:823715>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
TEHNIČKI FAKULTET U PULI

Zora MARKOV

**MJERENJE I KONTROLA KVALITETE U
PROIZVODNOM PROCESU TVRTKE ZA OBRADU
CEMENTA**

DIPLOMSKI RAD

Pula, Srpanj, 2024. godine

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
TEHNIČKI FAKULTET U PULI



Zora MARKOV

MJERENJE I KONTROLA KVALITETE U PROIZVODNOM PROCESU TVRTKE ZA OBRADU CEMENTA

DIPLOMSKI RAD

JMBAG: 20015125363

Status: izvanredni student/ica

Kolegij:

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Marko Kršulja

Pula, Srpanj, 2024. godine

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno, koristeći znanja stečena tijekom studija.

Zahvaljujem mentoru, izv. prof. dr. sc. Marku Kršulji na vodstvu te pomoći i uputama tijekom izrade rada.

Zahvaljujem se zaposlenicima u odjelu održavanja tvrtke Holcim Hrvatska d.o.o., na ustupljenim informacijama, savjetima, vremenu i pomoći pri pisanju ovog rada.

Sadržaj

Sažetak	3
Summary	4
1.Uvod	1
1.1. Predmet istraživanja	1
1.2. Hipoteza	1
1.3. Problemi istraživanja	1
1.4. Ciljevi istraživanja	2
1.5. Struktura rada	2
1.6. Ključni aspekti istraživanja	2
2. Održavanje industrijskih postrojenja	4
2.1. Ciljevi održavanja	4
2.2. Podjela održavanja	5
2.3. Korektivno održavanje	6
2.4. Preventivno održavanje	6
3. Održavanje po stanju	7
3.1. Metoda praćenja parametra po stanju	8
3.2. Vibrodijagnostika	8
3.3. Termografija	10
3.4. Analiza ulja	14
3.5. Ultrazvučna dijagnostika	17
4. Metode mjerenja u industrijskom postrojenju	19
4.1. Vizualna kontrola	20

4.2. Vibrodijagnostika	24
4.1.1. Redovitost mjerenja i pozicije	24
4.1.2. Granice mjerenja	26
4.1.3. Mjerna oprema	29
4.1.4. Postupak mjerenja	29
4.2. Termografsko mjerenje	31
4.2.1. Redovitost mjerenja i pozicije	31
4.2.2. Granice mjerenja	32
4.2.3. Mjerna oprema	32
4.2.4. Postupak mjerenja	32
4.3. Analiza ulja	33
4.3.1. Testovi i analize ulja	33
4.3.2. Uzimanje uzorka ulja	34
4.3.3. Rezultati analize ulja	34
4.4. Mjerenje curenja zraka	36
4.4.1. Tehnike za kontrolu mjerenja curenja komprimiranog zraka:	36
4.5. Spray test	43
4.6. Ostala mjerenja	47
4.6.1. Mjerenje tvrdoće gumenih traka elevator	47
4.6.2. Mjerenje lanca elevatora	50
4.6.3. Mjerenje istrošenosti valjka mlina	52
4.6.4. Mjerenje istrošenosti valjka valjkaste preše	55
5.Zaključak	57

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad istražuje raznovrsne metode mjerenja, koje su ključne u preventivnom održavanju strojnog postrojenja u cementnoj industriji. Posebno su istaknute metode kao što su termografija, vibracijska dijagnostika, ultrazvuk, mjerenje tvrdoće traka, istegnuće lanca te analiza ulja.

Termografija se koristi za mjerenje temperature opreme, kako bi se detektirali eventualni problemi u funkcioniranju prije nego što dođe do kvara. Vibracijska dijagnostika omogućuje analizu vibracije strojeva, što može ukazati na abnormalnosti u radu, poput neuravnoteženosti ili trošenja ležajeva. Ultrazvuk se koristi za otkrivanje curenja zraka ili tekućina te za identifikaciju mehaničkih problema koji nisu vidljivi golim okom.

Mjerenje tvrdoće traka i istegnuća lanca su važni indikatori o stanju ovih dijelova opreme, što omogućuje praćenje njihovog trošenja i planiranje zamjene prije nego što dođe do kvara. Analiza ulja je također ključna jer omogućuje praćenje stanja maziva u strojevima, otkrivanje prisutnosti metalnih čestica ili drugih nečistoća koje mogu ukazivati na moguće probleme u opremi.

Kombinacija ovih metoda omogućuje inženjerima održavanja da razviju sveobuhvatni pregled stanja opreme i identificiraju potencijalne probleme prije nego što dovedu do ozbiljnijih kvarova ili zastoja u proizvodnji. Ovo je ključno za održavanje visoke učinkovitosti i pouzdanosti opreme u cementnoj industriji.

U ovom radu su opisane konkretne metode koje se koriste u tvrtki Holcim d.o.o.

Ključne riječi: termografija, vibracijska dijagnostika, ultrazvuk, tvrdoća traka, istegnuće lanca, analiza ulja, preventivno održavanje, strojno postrojenje, cementna industrija,

SUMMARY

This graduate thesis investigates various measurement methods that are crucial in the preventive maintenance of machinery in the cement industry. Methods such as thermography, vibration diagnostics, ultrasound, tape hardness measurement, chain stretching and oil analysis are particularly highlighted.

Thermography is used to measure the temperature of equipment in order to detect potential functional problems before failure occurs. Vibration diagnostics enables the analysis of machine vibrations, which can indicate abnormalities in operation, such as imbalance or bearing wear. Ultrasound is used to detect air or fluid leaks and to identify mechanical problems that are not visible to the naked eye.

Measuring the hardness of the bands and the stretch of the chain are important indicators of the condition of these parts of the equipment, which makes it possible to monitor their wear and to plan a replacement before a failure occurs. Oil analysis is also crucial because it allows monitoring the condition of lubricants in machines, detecting the presence of metal particles or other impurities that may indicate possible problems in the equipment.

The combination of these methods allows maintenance engineers to develop a comprehensive overview of equipment health and identify potential problems before they lead to more serious breakdowns or production downtime. This is essential for maintaining high efficiency and reliability of equipment in the cement industry.

This paper describes the specific methods used in the company Holcim d.o.o.

Key words: thermography, vibration diagnostics, ultrasound, belt hardness, chain tension, oil analysis, preventive maintenance, machine plant, cement industry.

1. Uvod

Preventivno održavanje igra ključnu ulogu u osiguravanju pouzdanosti i učinkovitosti proizvodnih procesa u cementnoj industriji. U okruženju koje karakteriziraju ekstremni radni uvjeti, poput visoke prašine, visokih temperatura i teških opterećenja, pravilno održavanje opreme od presudne je važnosti za stabilnost i kontinuitet proizvodnje. Mjerenje i praćenje različitih parametara opreme omogućuje rano otkrivanje potencijalnih problema, smanjujući rizik od neplaniranih zastoja i skupih popravaka.

1.1. Predmet istraživanja

Predmet ovog istraživanja su metode mjerenja koje se koriste za preventivno održavanje u cementnoj industriji, kao što su termografija, vibrodijagnostika, ultrazvuk, mjerenje tvrdoće traka, mjerenje istezanja lanaca, analiza ulja, test prskanja i kontrola curenja zraka. Cilj je detaljno opisati kako svaka od ovih metoda doprinosi otkrivanju potencijalnih problema na opremi prije nego što eskaliraju u kvarove, čime se osigurava visoka učinkovitost i pouzdanost strojeva.

1.2. Hipoteza

Hipoteza ovog rada je da primjena termografije, vibrodijagnostike, ultrazvuka, mjerenje tvrdoće traka, mjerenja istezanja lanaca, analize ulja, testa prskanja i kontrole curenja zraka može značajno poboljšati učinkovitost preventivnog održavanja u cementnoj industriji, smanjujući učestalost neplaniranih zastoja i troškove održavanja.

1.3. Problemi istraživanja

1. Metode mjerenja u preventivnom održavanju cementnih postrojenja te prednosti i nedostaci:
 - Vibracijska analiza: Prednosti uključuju rano otkrivanje problema, dok su nedostaci visoki troškovi i potreba za stručnjacima.
 - Termografija: Prednosti su nekontaktno mjerenje i identifikacija toplinskih anomalija, dok su nedostaci skupa oprema i potreba za obukom.
 - Ultrazvučna analiza: Prednosti su mogućnost otkrivanja curenja i malih pukotina, dok su nedostaci složenost i potreba za specijaliziranom opremom.
 - Analiza ulja: Prednosti uključuju otkrivanje kontaminacije i trošenja komponenti, dok su nedostaci vrijeme obrade i potrebna laboratorijska oprema.
2. Korištenje standarda i iskustvenih podataka:
 - Standardi: Omogućavaju dosljednost i pouzdanost u ocjenjivanju stanja opreme.
 - Iskustveni podaci: Pomažu u prilagodbi preventivnog održavanja specifičnostima postrojenja, ali mogu varirati ovisno o operativnim uvjetima.
3. Specifične potrebe i izazovi održavanja opreme u cementnoj industriji*
 - Teški radni uvjeti: Prašina, visoke temperature, i abrazivni materijali zahtijevaju robusnu opremu i metode održavanja.
 - Kontinuirani rad: Potreba za minimalnim zastojsima i visokom pouzdanošću opreme.
 - Ekonomski pritisci: Balansiranje troškova održavanja s produktivnošću i efikasnošću postrojenja.

1.4. Ciljevi istraživanja

1. Pružiti sveobuhvatan pregled postojećih mjernih metoda za preventivno održavanje.
2. Analizirati prednosti i nedostatke različitih tehnika mjerenja.
3. Predložiti optimalne pristupe za implementaciju preventivnog održavanja u cementnim postrojenjima.
4. Razviti smjernice za poboljšanje učinkovitosti i sigurnosti održavanja opreme.

1.5. Struktura rada

Ovaj rad je podijeljen u nekoliko poglavlja:

1. Uvod: Predstavljanje teme, hipoteze, predmeta istraživanja, problema, ciljeva i strukture rada.
2. Pregled literature: Analiza postojećih studija i istraživanja o metodama mjerenja u preventivnom održavanju, s naglaskom na termografiju, vibrodijagnostiku, ultrazvuk, mjerenje tvrdoće traka, mjerenje istezanja lanaca, analizu ulja, spray test i kontrolu curenja zraka.
3. Metodologija: Opis metodološkog pristupa koji će se koristiti za prikupljanje i analizu podataka.
4. Rezultati: Predstavljanje rezultata istraživanja
5. Zaključak: Sažetak ključnih nalaza, preporuke za praksu i smjernice za buduća istraživanja.

1.6. Ključni aspekti istraživanja

- Termografija: Istraživanje kako se termalno snimanje koristi za praćenje temperature opreme i identifikaciju potencijalnih problema koji mogu dovesti do funkcionalnih kvarova.
- Vibrodijagnostika: Analiza vibracija strojeva za detekciju abnormalnosti poput neravnoteže ili trošenja ležajeva, što može ukazivati na operativne probleme.
- Ultrazvuk: Korištenje ultrazvučne tehnologije za identifikaciju curenja zraka ili tekućine te otkrivanje mehaničkih problema koji nisu vidljivi vizualnim pregledom.
- Mjerenje tvrdoće traka: Procjena stanja traka mjerenjem njihove tvrdoće kako bi se predvidjelo trošenje i pravovremeno planirala zamjena.
- Mjerenje istezanja lanaca: Procjena produljenja lanaca za praćenje njihovog stanja i planiranje zamjene prije nego što dođe do kvara.
- Analiza ulja^{**}: Provođenje analize ulja za praćenje stanja maziva, detekciju metalnih čestica i identificiranje nečistoća koje ukazuju na potencijalne probleme opreme.
- Spray test: Ispitivanje raspršivanja tekućina kako bi se identificirala curenja i osigurala pravilna funkcionalnost sustava.
- Kontrola curenja zraka: Praćenje i identifikacija mjesta curenja zraka kako bi se održala efikasnost pneumatskih sustava i smanjili energetske gubici.

Ovaj diplomski rad pružit će detaljan uvid u metode mjerenja za preventivno održavanje u cementnoj industriji, s ciljem poboljšanja operativne učinkovitosti i smanjenja troškova održavanja. Rezultati istraživanja bit će korisni za inženjere i menadžere održavanja koji traže načine za optimizaciju održavanja i povećanje pouzdanosti opreme. Dokumentirat će se specifične metodologije koje koristi Holcim d.o.o., nudeći uvid u najbolje prakse industrije za preventivno održavanje.

2. Održavanje industrijskih postrojenja

Održavanje je ključna aktivnost koja obuhvaća tehničke i administrativne postupke usmjerene na očuvanje funkcionalnosti i tehničkih svojstava određenog sredstva rada, sustava ili objekta. Glavni cilj održavanja je osigurati maksimalnu raspoloživost tehničkih sustava kako bi se smanjila pojava degradacije, zastoja ili kvarova koji bi mogli negativno utjecati na njihovu funkcionalnost.

Održavanje također ima ulogu investicije u budući profit, jer osigurava kontinuiranu funkcionalnost tehničkih sustava i smanjuje operativne troškove poslovanja. Važno je promatrati održavanje i kao brigu o imovini, ljudima i okolišu, sprječavajući negativne utjecaje tehničkih sustava na njih.

Ukratko, održavanje je ključna komponenta upravljanja tehničkim sustavima koja ima za cilj osigurati njihovu funkcionalnost, sigurnost i ekonomsku isplativost.

2.1. Ciljevi održavanja

Ciljevi održavanja tehničkih sustava su usmjereni na očuvanje funkcionalnosti opreme, produženje njezinog životnog vijeka, minimiziranje vremena neraspoloživosti kroz smanjenje zastoja i kvarova, zadržavanje ili poboljšanje performansi te osiguranje sigurnosti i usklađenost sa zakonodavstvom i tehničkim standardima.

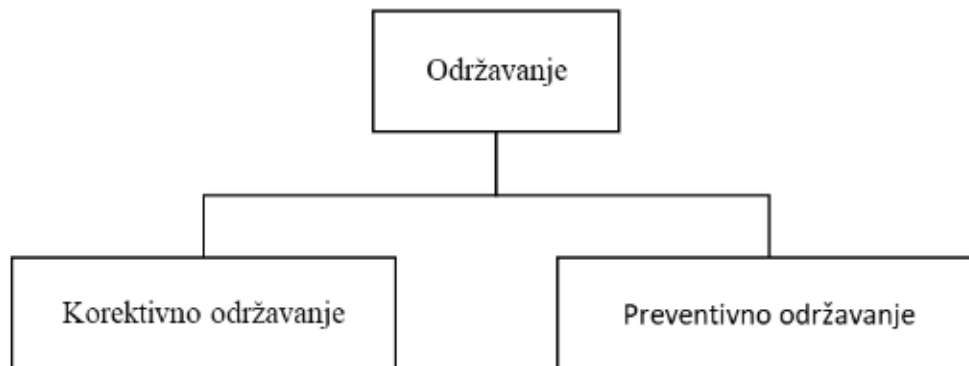
Konkretni ciljevi održavanja uključuju:

- Osiguravanje optimalne raspoloživosti opreme uz minimalne troškove održavanja, uzimajući u obzir objektivno realne troškove.
- Praćenje rada tehničkih sustava s kontinuiranim razmatranjem mogućnosti modifikacija radi produženja životnog vijeka i poboljšanja performansi.

- Smanjenje kvarova i zastoja primjenom strategija planiranog i preventivnog održavanja.
- Praćenje i provedba mjera koje eliminiraju negativni utjecaj tehničkih sustava na imovinu, ljude i okoliš.
- Poštivanje sigurnosnih propisa i zahtjeva provođenjem aktivnosti održavanja u skladu s primjenjivom

2.2. Podjela održavanja

Podjelu strategija održavanja na planirano preventivno i neplanirano (korektivno).



Slika 2.2.1. Podjela održavanja [9]

1. Planirano preventivno održavanje: Ova strategija uključuje redovito održavanje i inspekcije opreme prema unaprijed određenom rasporedu ili planu. Cilj je održavati opremu u optimalnom stanju kako bi se spriječili kvarovi i neplanirani zastoji. To može uključivati rutinske provjere, zamjenu dijelova koji se troše, podešavanje ili čišćenje opreme.
2. Neplanirano (korektivno) održavanje: Ova strategija uključuje intervencije koje se provode nakon što se dogodi kvar ili problem s opremom. Umjesto da se redovito

održavaju, dijelovi opreme se popravljaju ili zamjenjuju tek nakon što se pojavi problem. Cilj je brzo rješavanje problema i vraćanje opreme u funkcionalno stanje kako bi se smanjilo vrijeme zastoja.

Ova podjela omogućuje tvrtkama da razviju strategiju održavanja koja odgovara njihovim potrebama i resursima, kombinirajući preventivne i korektivne pristupe kako bi se osigurala optimalna raspoloživost opreme uz minimalne troškove održavanja.

2.3. Korektivno održavanje

Korektivno održavanje (eng. Corrective maintenance) je metoda održavanja koja se temelji na otklanjanju kvarova ili zastoja tek nakon njihovog nastanka. Ova strategija se primjenjuje na tehničke sustave koji nisu kritični za raspoloživost, gdje kvarovi ne izazivaju značajne posljedice, vrijeme popravka je relativno kratko, a tehničke i ekonomske posljedice izazvane kvarom su minimalne.

Strategija korektivnog održavanja je neučinkovitija, po prirodi reaktivna strategija održavanja i upravljanja tehničkim sustavima. U složenim i vitalnim postrojenjima, kao i kod ključne opreme, ova strategija se izbjegava zbog velikih sigurnosnih rizika i neisplativosti koja proizlazi iz značajnih troškova popravaka i poslovnih gubitaka.

2.4. Preventivno održavanje

Dobro organiziran i sistematiziran plan preventivnog održavanja ključan je za učinkovito upravljanje tehničkim sustavima. Rana detekcija potencijalnih problema putem preventivnih strategija može imati značajan utjecaj na:

1. Povećanje raspoloživosti tehničkih sustava i smanjenje vremena zastoja.
2. Smanjenje troškova održavanja i ukupnih poslovnih troškova.

3. Smanjenje vjerojatnosti kvarova i havarija te zaštitu imovine, ljudi i okoliša.
4. Produljenje životnog vijeka tehničkih sustava.
5. Povećanje pouzdanosti i produktivnosti poslovanja.

Proaktivno održavanje fokusira se na identifikaciju i eliminaciju korijenskih uzroka kvarova radi ostvarivanja ušteda i povećanja učinkovitosti. To uključuje tehnike kao što su analiza uzroka kvarova (RCFA), analiza mogućih grešaka i njihovih posljedica (FMEA) te održavanje centrirano na pouzdanost (RCM).

Neki nedostaci tradicionalnih preventivnih strategija, poput održavanja po konstantnom ciklusu, mogu se identificirati u njihovoj neefikasnosti i potencijalnom uzrokovanju nepotrebnih zastoja u proizvodnji. Stoga se razvijaju učinkovitije strategije, poput održavanja po stanju, koje se temelje na kontinuiranom praćenju i analizi parametara stanja opreme. Ovakav pristup omogućuje pravovremenu reakciju na potencijalne probleme i optimizaciju ciklusa održavanja.

U praksi, kombinacija tradicionalnih preventivnih strategija s održavanjem po stanju može rezultirati optimalnim upravljanjem opremom, povećavajući učinkovitost i ekonomičnost poslovanja.



Slika 2.4.1. Grane preventivnog održavanja [9]

3. Održavanje po stanju

Održavanje po stanju (Condition Based Maintenance - CBM) je strategija održavanja koja se temelji na praćenju stvarnog stanja i uvjeta eksploatacije tehničkog sustava te planiranju aktivnosti održavanja kako bi se osigurala funkcionalnost i kontinuitet rada. Praćenje stanja (Condition Monitoring - CM) u okviru održavanja obuhvaća primjenu suvremenih tehnologija radi utvrđivanja stanja opreme i, ako je moguće, predviđanja kvarova radi njihove prevencije.

CM koristi različite tehnologije, uključujući one, koje se oslanjaju na fizikalna načela i mjerne instrumente, za analizu stanja opreme. Također, postoje i jednostavnije metode procjene stanja opreme, koje koriste ljudska osjetila, poput vida, sluha, dodira i mirisa te praćenje pogonskih pokazatelja i parametara koji se zatim analiziraju pomoću statističkih i drugih metoda.

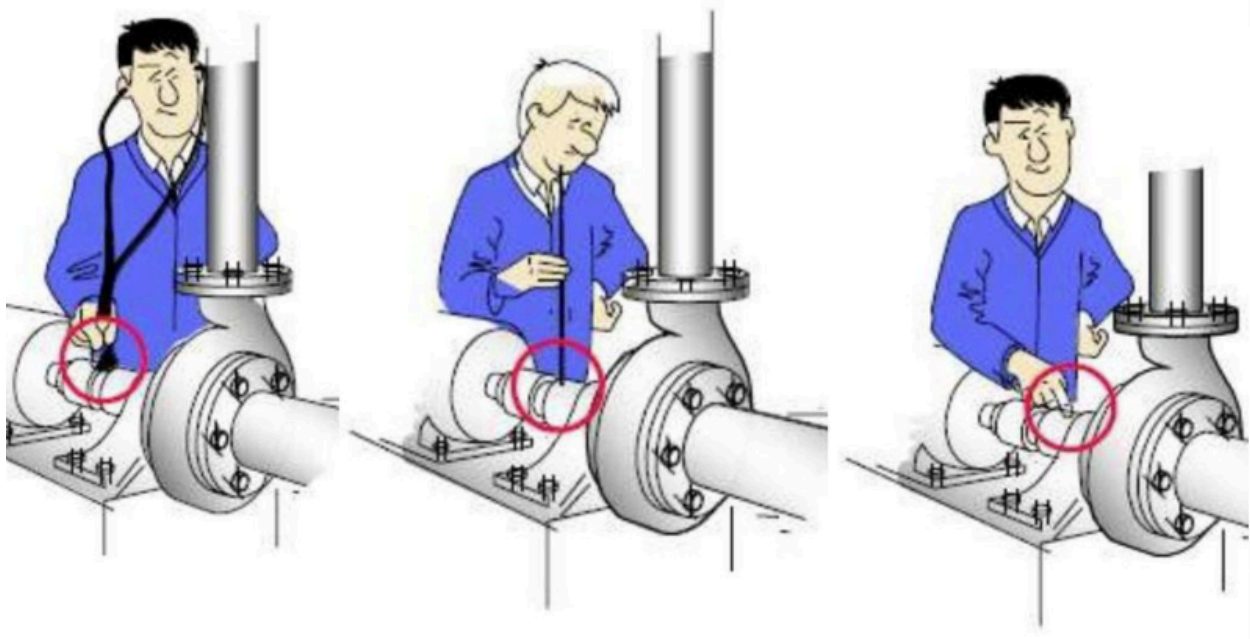
Ove strategije omogućuju tvrtkama da budu proaktivne u održavanju opreme, identificirajući potencijalne probleme prije nego što dođe do kvara ili zastoja. Integracija CBM i CM omogućuje efikasno upravljanje održavanjem, smanjenje troškova i povećanje pouzdanosti tehničkih sustava.

3.1. Metoda praćenja parametra po stanju

U ovom radu bit će obrađene razne metode koje se koriste u PMR-u (Preventive maintenance routine). To su tipične metode praćenja stanja, kontrolom parametara, koje su u praksi najčešće efikasne, što je i dokazano. Najvažnije je prvo identificirati metodu praćenja stanja, koja će biti tehnički i ekonomski optimalna za postizanje željenih rezultata. Svaka metoda ima svoja ograničenja, bilo u pogledu vrste opreme na kojoj se može primijeniti, bilo u pogledu problema i anomalija koje može otkriti. U nastavku slijede metode praćenja:

- Vizualna kontrola.
- Vibrodijagnostika.
- Termografija.
- Analiza ulja.
- Komprimirani zrak.
- Razna redovna mjerenja.
- Spray testovi.

3.2. Vibrodijagnostika



Slika 3.2.1. Mjerenje vibracija nekoć [15]



Slika 3.2.2. Mjerenje vibracija danas [15]

Vibracija je cikličko gibanje čestice elastičnog tijela oko referentne točke koja primjerice, kod rotirajućih strojeva, može biti središte ležaja, kućište ležaja ili vratilo. Nastaje okretanjem rotirajućih komponenti strojeva, ali se prenosi i na stacionarne dijelove strojeva, ali i na dijelove na kojima su strojevi montirani.

Svaki rotirajući dio generira svoju jedinstvenu razinu vibracija, koju je moguće detektirati odgovarajućim instrumentima. Veličina vibracija se kvantificira pomoću senzora i predstavlja osnovu za utvrđivanje mirnoće rada stroja, odnosno dijagnostiku vibracijskog stanja. Vibracije se mogu dijagnosticirati uz pomoć jedne ili više vrijednosti sljedećih parametara [1]:

- frekvencija vibracijskog gibanja - brzina ponavljanja periodičkog događaja, obično se izražava u ciklusima u minuti (min^{-1}), sekundi (s^{-1}) odnosno Hertzima (Hz)
- amplituda vibracije - maksimalna udaljenost koju čestica ili tijelo dostiže od svoje ravnotežne pozicije, tijekom oscilacije ili vibracije

- pomak - ukupna udaljenost koju vibrirajući dio prevali od jedne krajnje granice pomaka do druge, također se naziva „pomak od vrha do vrha“ („peak to peak“)
- brzina vibracija - brzina kojom strojna komponenta oscilira, uobičajeno se izražava u milimetrima po sekundi (mms^{-1}) te se često bira kao jedinstveni parametar ocjene stanja.
- ubrzanje - predstavlja najveću brzinu kojom se brzina vibracija (brzina pomaka) povećava i daje nam naznaku pojave dinamičkih sila, koje se generiraju vibracijama, a izražava se u milimetrima u sekundi na sekundu (mms^{-2})
- fazni kut - mjera vremenskog odnosa dvaju signala, korisna kod detektiranja neuravnoteženosti, necentriranosti, ekscentričnosti, labavosti, rezonancije i sl.

Praćenje vibracija može biti kontinuirano, uz pomoć trajno ugrađenih senzora, pri čemu poseban sustav prikuplja, obrađuje i pohranjuje podatke i omogućava kasniju ili trenutnu analizu te periodično, koje se obavlja prijenosnom opremom. Senzori mogu biti beskontaktni, koji mjere vibracije direktno na rotirajućim dijelovima ili kontaktni, koji mjere vibracije na stacionarnim dijelovima (npr. kućištima strojeva). Izbor senzora koji će najbolje prikazati stanje određenog rotirajućeg stroja, ovisi o konstrukciji i broju okretaja stroja. Utvrđene su norme i strukovne smjernice koje pomažu kod utvrđivanja trenutnog stanja, u odnosu na prihvatljive veličine vibracijskog stanja rotacionog stroja. Kod uspostave programa održavanja prema stanju, utvrđuju se granice mirnoće rada stroja, koje će ukazati na potrebu poduzimanja aktivnosti održavanja.

Najkorištenija vrsta kontaktnog senzora za praćenje stanja opreme analizom vibracija je akcelerometar. Mjerenje vibracija pomoću akcelerometra je vrlo jednostavno; senzor se prislanja na unaprijed definirani stacionarni dio stroja u radu te generira električni izlazni signal u korelaciji s vibracijama, odnosno mjerenom akceleracijom. Podaci prikupljeni akcelerometrom izravno se prenose u softver, koji bilježi navedeni signal u obliku vremenskog vala, a na temelju kojeg se generira frekvencijski spektar vibracija koji je ključan za utvrđivanje uzroka vibracija, koje mogu rezultirati kvarovima. Ovi podaci se zatim analiziraju pomoću raznih računalnih sustava, a ukoliko dođe do odstupanja od prethodno utvrđenih granica normalnog rada stroja, održavatelji provode daljnju analizu

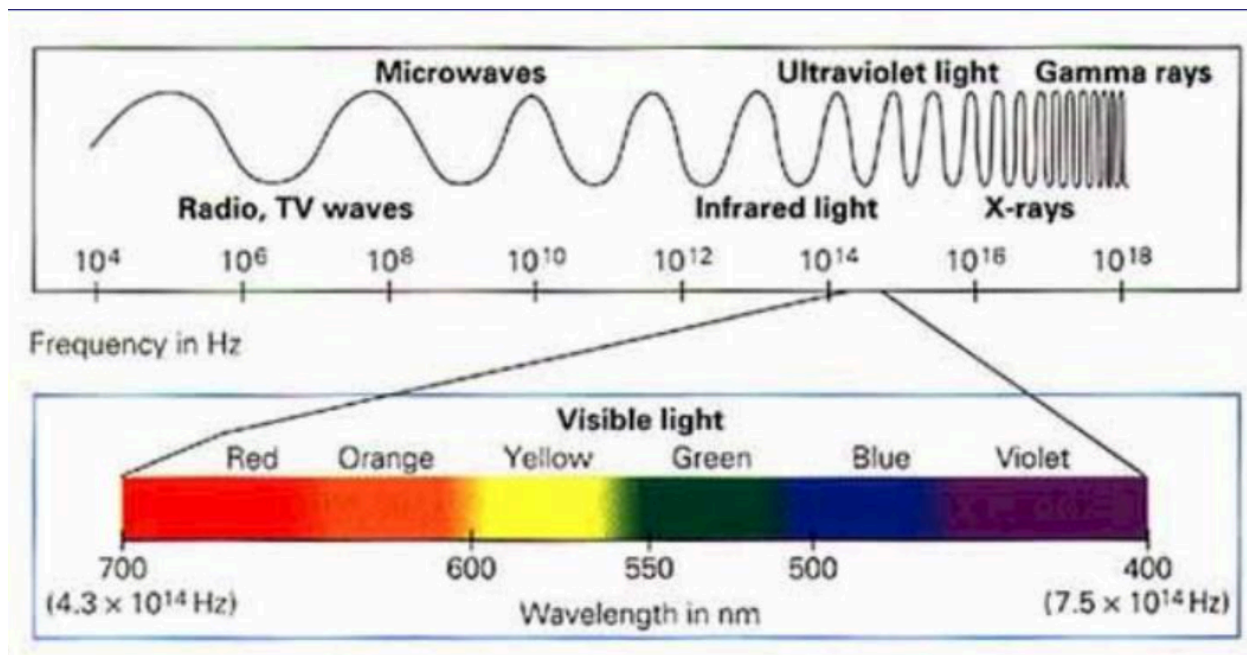
s ciljem utvrđivanja uzroka povećanih vibracija te potencijalne potrebe za zamjenom ili popravkom [2].

Praćenjem vibracija i njihovom analizom, moguće je otkriti i dijagnosticirati velik broj problema vezanih uz rotacijske strojeve. Neki od općeprihvaćenih kvarova, odnosno stanja, koja dovode do povećanih vibracija i koja možemo njihovim praćenjem utvrditi su sljedeća [1]:

- neravnoteža sustava (statička, dinamička, konzolna opterećenja);
- asimetričnost sustava (paralelna, kutna);
- problemi s valjnim ležajevima (greške vanjske i unutarnje staze kotrljanja, kuglica)
- ekscentričnost sustava;
- deformiranost ili pukotine vratila;
- labavost/slabost mehaničkih spojeva;
- vibracije uslijed protoka medija;
- rezonancija [3]

3.3. Termografija

Toplinskim mjernim tehnologijama mogu se mjeriti apsolutne ili relativne temperature važnih dijelova opreme koja se prati. Svaka promjena temperature označava promjenu stanja tehničkog sustava, a velika temperaturna odstupanja od uobičajenih vrijednosti mogu pružiti dobru indicaciju eventualnih problema. Među najčešće korištenim metodama praćenja toplinskog stanja opreme je infracrvena termografija. Ova beskontaktna metoda omogućuje mjerenje intenziteta infracrvenog zračenja s površine promatranog objekta, čime se određuje temperatura i njena raspodjela po površini mjerenog objekta.



Slika 3.3.1. Elektromagnetski spektar [4]

Infracrveni spektar je dio elektromagnetskog spektra izvan vidljive svjetlosti, s valnim duljinama od 0,78 do 1000 μm . Infracrvena termografija omogućuje vizualizaciju varijacija u infracrvenom zračenju (tj. razlika u temperaturi) površine objekta u vidljivom dijelu spektra. Postoje uređaji koji pomoću osjetnika infracrvenog zračenja daljinski mjere temperaturu u nekoj točki objekta ili uređaji (infracrvene kamere) koji snimaju površinu poput TV kamera i stvaraju sliku (tzv. termogram) temperaturnih varijacija prikazanih na ekranu. Ovi uređaji uzimaju u obzir koeficijent emisije, udaljenost objekta i temperaturu okoline, a procesor kamere obradom ovih podataka zamjenjuje nevidljivi spektar infracrvenog zračenja vidljivim spektrom, pri čemu svaka boja predstavlja određeni temperaturni raspon. Ova metoda, poznata i kao termovizija, sve više se koristi za snimanje toplinskog stanja dijelova postrojenja, zahvaljujući širokoj dostupnosti opreme i njezinim sve većim mogućnostima.

Njene prednosti su:

- Provođenje pregleda pod normalnim radnim uvjetima: Moguće je izvoditi pregled pod normalnim uvjetima rada opreme, bez potrebe za zaustavljanjem proizvodnog procesa.

- Dobivanje rezultata u realnom vremenu: Mjerenja se mogu dobiti u stvarnom vremenu, omogućujući neprekidan nadzor procesa bez utjecaja na isti.
- Mogućnost praćenja temperature dijelova pod naponom i nepristupačnih dijelova u pogonu: Infracrvena termografija omogućuje mjerenje temperature čak i na dijelovima koji su pod naponom ili su teško dostupni, što je često nemoguće drugim metodama.
- Rano otkrivanje kvarova: Neispravna oprema može se otkriti u ranom stadiju, omogućujući popravke prije nego što dođe do zastoja u proizvodnji.
- Unapređivanje održavanja: Rano otkrivanje kvarova omogućuje unapređivanje planiranja održavanja, rasporeda popravaka i predviđanja potrebnih rezervnih dijelova.
- Višestruka mjerenja jednom kamerom. Jedna kamera može pokriti više mjernih točaka, smanjujući mogućnost pogreške i optimizirajući proces praćenja.
- Smanjenje troškova održavanja: Rano otkrivanje kvarova i unapređeno planiranje održavanja dovode do smanjenja troškova održavanja opreme.
- Smanjenje gubitka energije: Identificiranjem problematičnih područja može se smanjiti gubitak energije i optimizirati energetska učinkovitost sustava.



Slika 3.3.2. Infracrvena termalna kamera [5]



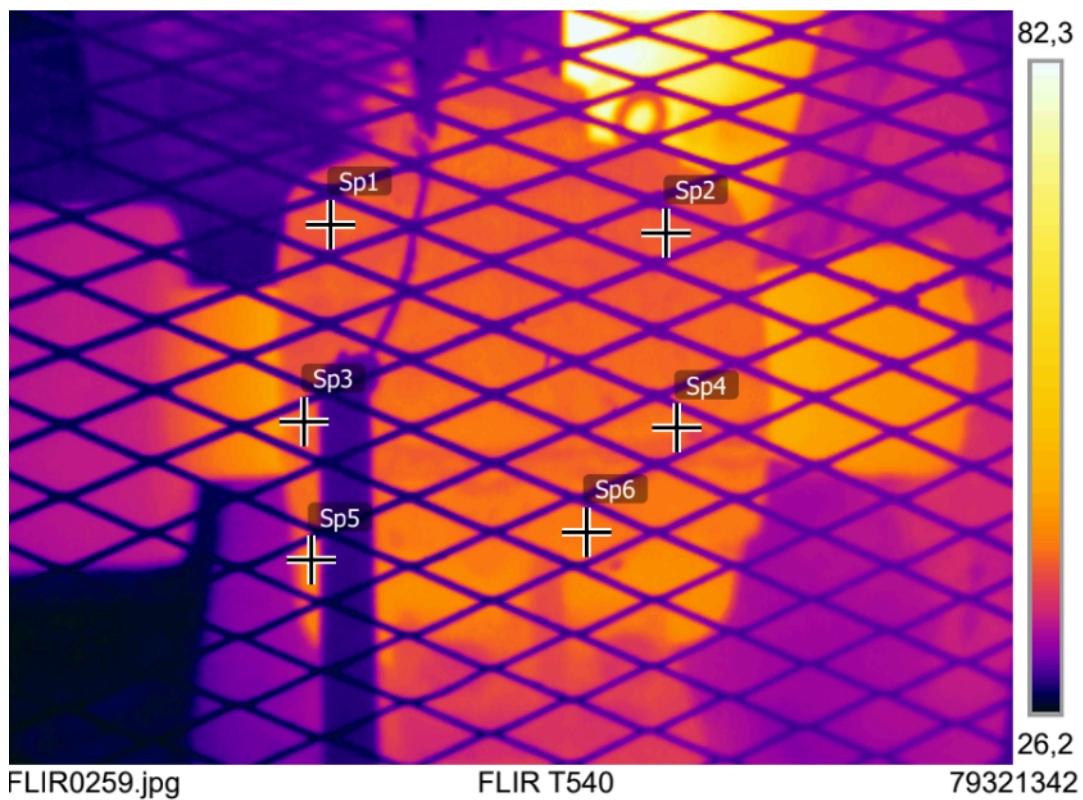
Sika 3.3.3. Infracrveni termometar [6]

Mnoga stanja koja skraćuju životni vijek komponenata ili ugrožavaju njihovu funkcionalnost, često se manifestiraju kroz promjene radne ili površinske temperature. Termografsko snimanje ili mjerenje temperature, pomaže nam identificirati takve probleme u ranoj fazi. Na primjer, labavi ili korodirani električni spojevi mogu dovesti do povećanog otpora, što rezultira povećanjem temperature spoja. Ovo se jasno može detektirati pomoću infracrvene kamere i omogućuje popravak prije nego što dođe do kvara komponente ili čak požara.

Osim toga, problemi kod rotirajućih strojeva obično rezultiraju povećanim trenjem, što generira toplinu i uzrokuje povećanje temperature komponenata u kontaktu. Tipični problemi koji se mogu otkriti praćenjem temperaturnog stanja komponenata uključuju:

- Pregrijavanje ležajeva rotacijskih strojeva;
- Pregrijavanje mehaničkih prijenosnika;

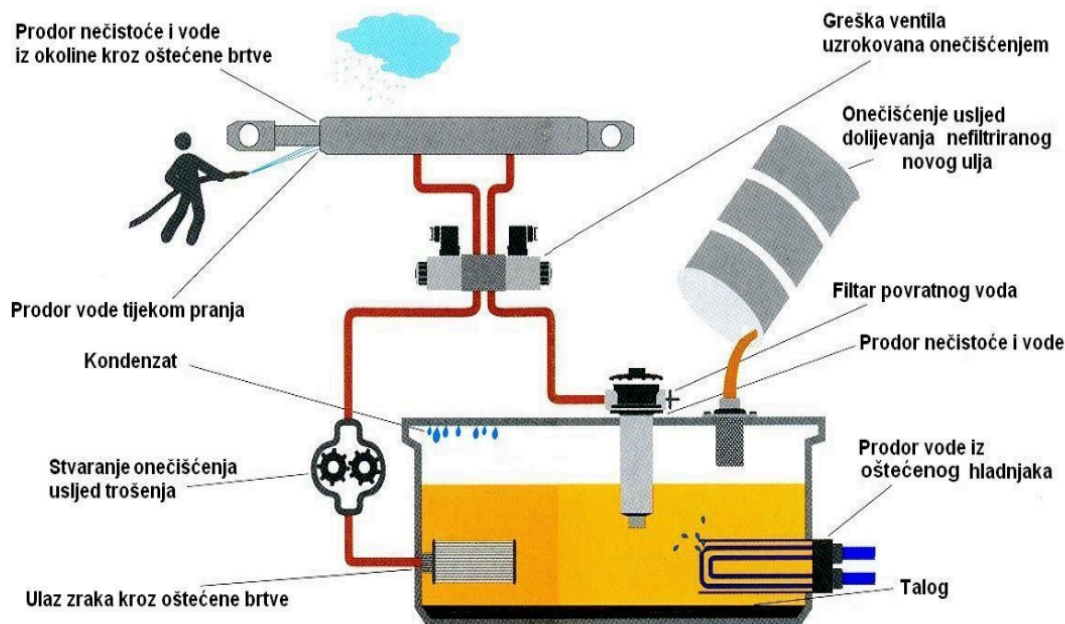
- Problemi s toplinskom ili hidroizolacijom;
- Problemi s hlađenjem elektromotora;
- Problemi s ventilima;
- Prodor vlage;
- Pregrijavanje peći;
- Problemi s transformatorima (npr. izolacija, priključci, razina ulja, hlađenje, itd.).



Slika 3.3.4. Mjerenje temperature ležaja mlina ugljena [14]

3.4. Analiza ulja

Podmazivanje je jedno od najstarijih te osnovnih metoda preventivnog održavanja. Analizom ulja se utvrđuju mnoga stanja vezana uz podmazivanje strojeva. Utvrđuje se stanje ulja, odnosno ima li još uvijek ima maziva svojstva kakva su bila predviđena. Također, provjerava se i stanje sustava za podmazivanje koji uz svoju primarnu funkciju ima i bitnu ulogu u sprječavanju kontaminacije ulja koja bi dovela do slabljenja funkcije podmazivanja. Konačno, utvrđuje se stanje komponente koja se podmazuje analizom čestica metala koje su u ulje dospjele trošenjem podmazivanih površina stroja. Dodatno na utvrđivanje stanja odnosno stupnja degradacije sustava periodičkim analizama i praćenjem njihovih trendova može se zaključivati o kvaliteti izvedenih radova održavanja ili vođenja pogona kao što su: kontaminacija sustava za vrijeme promjene ulja, nepravilno čišćenje sustava nakon popravaka, dodavanje neodgovarajućeg ulja, neodgovarajući režim rada i sl. stanja koja skraćuju životni vijek komponenata odnosno ugrožavaju njenu funkcionalnost se iskazuju kroz promjene radne ili površinske temperature. [7]



Slika 3.4.1. Mogući izvori kontaminacije ulja [9]

Analiza ulja može se provoditi u vlastitom laboratoriju ili putem vanjskih specijaliziranih laboratorija. Intervali uzimanja uzoraka trebaju se temeljiti na povijesti pogona, broju sati rada, stanju ulja i sličnim faktorima. Uzorci se uzimaju iz aktivnog dijela uljnog cjevovoda, uzvodno od bilo kakvih uređaja za filtriranje. Radi konzistentnosti rezultata, najbolje je uzorke uzimati uvijek na istom mjestu za određeni stroj, koristeći trajno ugrađene ventile za uzorkovanje.

Osim ulja za podmazivanje, analiziraju se i ulja koja se koriste za druge namjene, kao što su izolacijska ulja, ulja za hlađenje, ulja u transformatorima ili ulja u raznim hidrauličkim sustavima. Tipični testovi koji se provode na uzorcima ulja uključuju:

- Test na prisutnost vode: Kvantificira se količina vode u ulju. Voda smanjuje maziva svojstva ulja, dielektrična svojstva i pospješuje koroziju podmazanih površina. Prisutnost vode može ukazivati na kondenzaciju, propuštanje iz rashladnog sustava ili curenje kroz brtve.
- Spektroskopija: Mjeri se koncentracija metala u mazivu. Metali mogu biti čestice od trošenja kliznih površina, vanjska kontaminacija ili aditivi dodani u ulje. Ove informacije pomažu u utvrđivanju stanja komponente ili maziva.
- Krute čestice u ulju: Mjeri se veličina i količina krutih čestica u ulju, što daje informacije o čistoći ulja i potrebi za njegovo filtriranje ili zamjenu.
- Mjerenje viskoziteta: Viskozitet je ključna karakteristika ulja. Usporedba sa zahtijevanom vrijednošću može ukazati na potrebu zamjene ulja.
- Kemijski sastav ulja: Molekularna analiza ulja pruža informacije o sastavu ulja, aditivima, produktima razgradnje i vanjskoj kontaminaciji.

- Ferografija: Analizira relativnu količinu feritnih produkata trošenja u mazivu. Promjene otkrivene trendiranjem mogu zahtijevati održavanje.
- Analitička ferografija: Vizualno ispitivanje metalnih čestica pod jakim mikroskopom kako bi se utvrdila vrsta i intenzitet trošenja površina.
- Kiselinski broj: Utvrđuje se kiselost maziva. Organske kiseline, posljedica oksidacije ulja, degradiraju maziva svojstva i potiču koroziju podmazanih dijelova.

Jedna od ključnih zadaća pri primjeni metode analize ulja je utvrditi na kojoj opremi je opravdano provoditi analizu. Izbor opreme treba biti optimalan s obzirom na njezinu važnost za raspoloživost postrojenja, njezinu cijenu i trošak zamjene ulja. Kod većih uljnih sustava obično je jeftinije uspostaviti sustav zamjene ulja temeljen na njegovom stanju, nego periodički mijenjati ulje. Kod manjih sustava možda neće biti isplativo kontrolirati ulje, već ga periodički mijenjati. U takvim slučajevima, analiza kritičnosti opreme i posljedica njezinog otkaza može pomoći u odlučivanju za ili protiv praćenja ulja.

Općenito, svi hidraulički sustavi i svi rotacijski strojevi većih snaga sa sustavima ulja za podmazivanje, pogodni su za analizu ulja. Učestalost analize obično se kreće od mjesečne do tromjesečne.

Tipična oprema kod koje se provodi analiza ulja uključuje:

- Reduktore;
- Energetske i mjerne transformatore;
- Hidrauličke sustave;
- Dizel agregate;
- Velike pumpne agregate;
- Servo uređaje (prigoni, motori);
- Ležajeve.

3.5. Ultrazvučna dijagnostika

Većina strojeva u radu, pod normalnim uvjetima, emitira karakterističan zvuk koji se može prepoznati kao njihova zvučna slika. Svaka promjena zvučne slike znak je da je došlo do pogoršanja stanja stroja.

Praćenje stanja opreme ultrazvukom danas je vrlo popularna metoda u industriji zbog svoje široke primjene i mogućnosti rane i precizne detekcije potencijalnih problema. Ultrazvukom se smatraju zvučni valovi frekvencije veće od 20 kHz, a ultrazvučni spektar definiran je u području od 30 kHz do 2 MHz. Ovaj zvuk je izvan čujnog područja ljudskog uha, pa se za snimanje zvučne slike uređaja koristi odgovarajući instrumentarij.

Postoje dvije vrste senzora koji se koriste u ultrazvučnoj dijagnostici – kontaktni i beskontaktni, te prema tome i dva načina mjerenja stanja opreme:

1. Beskontaktni senzori (eng. Airborne): Ovi senzori nisu u fizičkom kontaktu s objektom mjerenja. Oni detektiraju, obrađuju i memoriraju signal koji se širi zrakom.
2. Kontaktni senzori (eng. Structure borne): Ovi senzori se prisanjaju ili montiraju na objekt mjerenja i obrađuju signal koji se širi kroz kruti materijal.



Slika 3.5.1. Kontaktni ultrazvučni senzor[14]



Slika 3.5.2. Beskontaktni ultrazvučni senzor [14]

Tehnika ultrazvučne dijagnostike primjenjuje se na sustave u kojima se generira mjerljiva razina ultrazvuka, kao što su hidraulički sustavi, sustavi komprimiranog zraka i plinova, sustavi pare i sustavi u podtlaku. Najčešće se koristi za detekciju propuštanja navedenih medija. Zbog sigurnosnih razloga, posebno zbog mogućnosti „closed door“ ispitivanja, ultrazvučna dijagnostika također je vrlo efikasna za inspekciju visoko i niskonaponskih električnih instalacija.

Tipični primjeri opreme na kojoj se može izvoditi ultrazvučna dijagnostika uključuju:

- Sustavi pare
- Hidraulički sustavi
- Sustavi s komprimiranim zrakom
- Sustavi s plinovima pod tlakom (vodik, kisik)
- Izmjenjivači topline, ventili
- Pumpe
- Ležajevi
- Električne instalacije

Primjenom ove tehnike moguće je rano detektirati probleme, omogućujući pravovremeno održavanje i sprečavanje većih kvarova.

Postrojenje Holcim d.o.o. ne provodi samostalno ultrazvučna mjerenja, već angažira vanjske izvođače za obavljanje ove usluge. Najčešća kontrola koja se provodi je mjerenje debljine stijenke peći. Ovaj proces se sastoji od dva glavna koraka:

1. **Vizualna kontrola:** Prvi korak u procesu kontrole je vizualna inspekcija stanja stijenke peći. Ovo omogućava identifikaciju vidljivih oštećenja ili problema.
2. **Ultrazvučna kontrola:** Nakon vizualne inspekcije, provodi se ultrazvučna kontrola. Ovaj korak uključuje korištenje ultrazvučnih tehnologija za precizno

mjerenje debljine stijenke peći. Ultrazvuk omogućava detaljno ispitivanje unutrašnjosti materijala i identifikaciju potencijalnih tankih ili oštećenih dijelova.

4. Metode mjerenja u industrijskom postrojenju



Slika 4.1. Tvornica Holcim u Koromačnom [9]

Konkretan primjer mjerenja u industrijskom postrojenju bit će obrađen na primjeru tvrtke Holcim Hrvatska, točnije, njezine tvornice cementa na lokaciji Koromačno u Istarskoj županiji. Holcim Hrvatska dio je Holcim Grupe, jednog od vodećih svjetskih proizvođača i distributera cementa i agregata (drobljeni kamen, pijesak i šljunak), transportnog betona i asfalta. Holcim Grupa formirana je u srpnju 2015. godine, spajanjem dvaju vodećih svjetskih poduzeća na području proizvodnje građevinskog materijala: Lafargea i Holcima, a zapošljava 70.000 radnika u više od 70 zemalja diljem svijeta.

Preventivno održavanje ključni je element strategije održavanja proizvodnih pogona Holcim Grupe. Jasno definirane uloge i odgovornosti te procedure, temelj su

organizacije održavanja Holcima. Preventivno održavanje zasniva se na dobro planiranim i raspoređenim te pravovremeno provedenim tzv. preventivnim rutinama održavanja (engl. Preventive Maintenance Routine - PMR) i redovitim inspekcijama obilaska pogona (engl. „walk-by“) od strane održavatelja koji koriste ljudska osjetila i jednostavnu opremu za kontrolu i prikupljanje podataka.

Uz sve navedeno, ključna oprema u proizvodnom procesu opremljena je fiksno instaliranim senzorima za kontinuirani monitoring, mjerenje i kontrolu vitalnih pogonskih parametara poput vibracija i temperature, što čini osnovicu strategije održavanja po stanju. Podaci se evaluiraju interno unutar pojedine tvornice te uspoređuju i analiziraju s istovrsnom instaliranom opremom u drugim tvornicama u grupaciji Holcim, s obzirom na to da se manje-više radi o tipiziranim postrojenjima za proizvodnju cementa.

Postupak određivanja mjerenja i njegovih parametra može se strukturirati kroz sljedećih sedam točaka:

1. Izbor metode mjerenja - Ova faza uključuje detaljnu analizu različitih metoda dostupnih za praćenje stanja opreme. Potrebno je razmotriti prednosti i nedostatke svake metode u kontekstu specifičnih zahtjeva postrojenja. Pri odabiru metode uzimaju se u obzir faktori poput troškova, dostupnosti potrebne opreme, stručnosti osoblja i drugih relevantnih aspekata.
2. Izbor lokacije mjerenja: Važno je identificirati kritične lokacije na opremi na kojima se, zbog trošenja ili kvarova, među prvima očekuju promjene u parametrima. Te promjene su ključne za performanse tehničkog sustava ili sigurnost. Pravilnim odabirom lokacija za mjerenje osigurava se pravovremeno prepoznavanje problema.
3. Izbor parametara: Biraju se pouzdani parametri za praćenje na prethodno odabranim lokacijama. Parametri se biraju na temelju njihove važnosti za rad tehničkog sustava te njihove sposobnosti da pravovremeno signaliziraju potencijalne probleme.

4. Izbor dopuštenih vrijednosti: Ova faza uključuje postavljanje granica normalnog rada, tj. dopuštenih vrijednosti mjerenih parametara. Te vrijednosti mogu se temeljiti na specifikacijama proizvođača, industrijskim standardima, preporukama stručnjaka ili na iskustvu rada sličnom opremom.
5. Mjerenje: Mjerenje podrazumijeva redovno i sustavno praćenje vrijednosti na definiranim lokacijama koristeći odabranu metodu mjerenja. Cilj je kontinuirano praćenje stanja tehničkog sustava kako bi se osigurao njegov nesmetan rad.
6. Dijagnoza: Podaci prikupljeni mjerenjem se obrađuju, analiziraju i interpretiraju. Uspoređuju se s dopuštenim vrijednostima kako bi se procijenilo stvarno stanje tehničkog sustava. Identificiraju se abnormalnosti ili potencijalni problemi koji zahtijevaju daljnje akcije održavanja.
7. Odluka o planu održavanja: Na temelju rezultata dijagnostičke analize donosi se odluka o budućim akcijama koje treba poduzeti. Cilj je održati operativnu učinkovitost opreme i spriječiti potencijalne kvarove ili veće havarije.

Ovim koracima osigurava se sustavan i efikasan pristup praćenju i održavanju tehničkih sustava, što doprinosi njihovoj dugovječnosti i pouzdanosti.

Mjerenja koja se svakodnevno odvijaju u ovom postrojenju opisana su u nastavku.

4.1. Vizualna kontrola

Vizualna kontrola je najjeftinija i najjednostavnija metoda korištenja. U svakom trenutku se provodi vizualna kontrola, od ulaska u pogon do izlaska. Ona je sastavni dio svih drugih kontrola.

4.1.1. Primjer vizualne kontrole

Jedan od primjera vizualne kontrole je kontrola čeličnih konstrukcija. Otkrivena su nova oštećenja uzrokovana korozijom. Redovite inspekcije poput ove ključne su za pravovremeno otkrivanje i sanaciju korozijskih oštećenja kako bi se osigurala

dugovječnost i sigurnost konstrukcija. Na temelju pronađenih oštećenja, potrebno je poduzeti sljedeće korake:

1. Dokumentiranje oštećenja: Precizno evidentirati sva nova oštećenja, uključujući lokaciju, veličinu i ozbiljnost korozije.
2. Procjena stanja: Analizirati stanje korodiranih dijelova kako bi se procijenio utjecaj na cjelokupnu stabilnost i sigurnost konstrukcije.
3. Planiranje sanacije: Izraditi plan za sanaciju korozijskih oštećenja. To može uključivati čišćenje korozijskih naslaga, primjenu zaštitnih premaza, zamjenu jako oštećenih dijelova te eventualno poboljšanje postojećih zaštitnih mjera.
4. Preventivne mjere: Razmotriti uvođenje dodatnih preventivnih mjera kako bi se spriječila buduća korozija. To može uključivati bolju zaštitu od vlage, primjenu antikorozivnih premaza i poboljšanje odvodnje.
5. Redoviti monitoring: Pojačati učestalost inspekcija na kritičnim mjestima gdje je korozija primijećena kako bi se pravovremeno reagiralo na nova oštećenja i spriječili veći problemi.

Kontrola i pravovremena reakcija na nova oštećenja od korozije ključni su za održavanje sigurnosti i funkcionalnosti čeličnih konstrukcija.



Slika 4.1.1.1. Vizualna kontrola konstrukcija [9]



Slika 4.1.1.2 Vizualna kontrola konstrukcija [9]



Slika 4.1.1.3. Vizualna kontrola konstrukcija [9]

PMR čeličnih konstrukcija se preporuča obavljati 1 godišnje. Iako svaki put kad inspektori izlaze na teren, u slučaju da zamijete veliko oštećenje, napravi se zapis i prijava.

HAC	Kratki opis kontrole	Lju	rajanji	top peć	Periodičnost	Zadnja kontrola (ctrl+č)	Slj. kontr.	Slj. kontr.
U	Kontrola sustava komprimiranog zraka bM (cijela tvornica)	1	6U	NE	6 mjeseci	03-10-2023	31-03-2024	-55
KO	PMR čeličnih konstrukcija	2	37.5	NE	1 godišnje	29-03-2024	29-03-2025	308

Slika 4.1.1.4. Primjer vođenja evidencije kontrole čeličnih konstrukcija [9]

Vizualnom kontrolom se također mogu otkriti nepravilnosti kod rada oprašivača. Ukoliko se vidi da iz dimnjaka izlazi išta drugo osim pročišćenog zraka, to je znak da postoji nepravilnost u radu oprašivača, najčešće zatrpanost vreća ili puknuće.

4.2. Vibrodijagnostika

Vibrodijagnostika ima neprocjenjivu važnost u cementnoj industriji, gdje je održavanje opreme ključno za neprekidan rad i efikasnost postrojenja. U prašnjavom i prljavom okruženju cementnih postrojenja, oprema je podložna specifičnim vrstama oštećenja i kvarova.

Primjerice, stvaranje naljepa na rotirajućim dijelovima može uzrokovati neravnotežu i povećane vibracije, što dovodi do prekomjernog trošenja ležajeva i potencijalnih otkaza. Nakupljanje cementne prašine u kritičnim komponentama može izazvati zaglavljivanje i smanjenje efikasnosti rada strojeva.

Primjenom vibrodijagnostike moguće je rano otkriti takve anomalije u radu opreme, poput povećanih vibracija uzrokovanih neravnotežom ili habanjem ležajeva zbog abrazivnih čestica. To omogućava planiranje preventivnih mjera, poput čišćenja naljepa i prašine, zamjene ležajeva ili balansiranja rotirajućih dijelova, prije nego što dođe do ozbiljnijih kvarova.

Ovakav pristup ne samo da smanjuje rizik od neplaniranih zastoja, već i produžava vijek trajanja opreme, čime se osigurava stabilnost proizvodnih procesa u cementnoj industriji.

4.1.1. Redovitost mjerenja i pozicije

Implementacija vibrodijagnostike u cementnoj industriji ima ključni motiv u praćenju parametara na strojevima koji su od vitalnog značaja za proizvodni proces. S obzirom na raznolikost strojeva i resursnu zahtjevnost implementacije održavanja po stanju,

odabir strojeva za vibrodijagnostiku u Holcimu Hrvatska temelji se na sljedećim kriterijima:

1. Kritičnost za proizvodni proces: Prioritet imaju strojevi čiji kvar može prouzročiti zastoje u proizvodnji ili značajno smanjenje kapaciteta. Identificiraju se ključni čimbenici koji mogu izazvati prekid rada i prioritiziraju se u planiranju održavanja.
2. Utjecaj na kvalitetu proizvodnje: Strojevi koji direktno utječu na kvalitetu konačnog proizvoda smatraju se visoko prioritetnima. Održavanje tih strojeva ključno je za osiguranje dosljedne kvalitete proizvoda.
3. Rizik od ozljeda i utjecaj na okoliš: Strojevi čiji kvar može predstavljati opasnost za sigurnost radnika ili imati negativan utjecaj na okoliš također zahtijevaju posebnu pažnju. Mjere održavanja usmjerene su na minimiziranje rizika i očuvanje okoliša
4. Potencijal za smanjenje troškova održavanja: Strojevi za koje se očekuje smanjenje troškova održavanja kroz manji broj intervencija također su prioritet za redovitu vibrodijagnostiku. Praćenje parametara omogućuje prepoznavanje potencijalnih problema prije nego što postanu ozbiljni i skupi za popravak.

U uvjetima cementne industrije, gdje su strojevi izloženi ekstremnim uvjetima poput prašine i abrazivnih materijala, važno je uzeti u obzir specifične izazove kao što su abrazija, korozija i nakupljanje materijala. Učestalost mjerenja temelji se na faktorima poput temperature, agresivnosti materijala i sklonosti opreme ka oštećenjima, kako bi se osiguralo pravovremeno prepoznavanje potencijalnih problema i spriječilo neplanirane zastoje u proizvodnji.

Uz prethodno spomenute faktore, učestalost mjerenja također se temelji na sljedećim čimbenicima:

- Vjerojatnost kvara (P-F krivulja): P-F krivulja omogućava procjenu vremenskog razdoblja od prvog detektiranja potencijalnog kvara do trenutka otkaza stroja. Frekvencija mjerenja trebala bi biti dovoljno česta da bi se primijetio početak kvara i omogućila pravovremena intervencija prije potpunog otkaza.

- Čvrstoća konstrukcije: Strojevi s jačom konstrukcijom mogu zahtijevati manje česta mjerenja, dok strojevi s manje čvrstom konstrukcijom mogu zahtijevati češća mjerenja kako bi se spriječili strukturalni problemi koji mogu dovesti do kvara.
- Kapacitet opterećenja u odnosu na radne uvjete: Treba uzeti u obzir kapacitet stroja da podnese opterećenja u normalnim i ekstremnim radnim uvjetima. Strojevi koji se redovito koriste blizu svojih kapaciteta ili su izloženi teškim uvjetima rada mogu zahtijevati češća mjerenja kako bi se spriječili kvarovi uzrokovani preopterećenjem.

Uz redovite walk-by inspekcije, inspektori preventivnog održavanja sustavno mjere vibracije na kritičnoj opremi jednom mjesečno. Nakon što se dobiju ovi podaci, oni se podvrgavaju internoj analizi kako bi se identificirali eventualni problemi ili abnormalnosti. Dodatno, ova mjerenja šalju se na vanjsku analizu proizvođača SKF, koji pruža stručne uvide i preporuke temeljene na svojem znanju i iskustvu. Ova suradnja omogućuje dublje razumijevanje stanja opreme i optimizaciju preventivnih mjera održavanja.

4.1.2. Granice mjerenja

U procesu vibrodijagnostike, ključno je definirati parametre koje treba mjeriti i uspostaviti kriterije prihvatljivosti za ocjenu izmjerenih vrijednosti vibracija. Ovo omogućuje utvrđivanje je li izmjerena vrijednost vibracija prekomjerna ili prihvatljiva. Fokus je primarno na dva glavna parametra: amplitudi i frekvenciji vibracija.

- Amplituda vibracija: Ova mjera daje dobru indicaciju o ozbiljnosti problema. Veće amplitude vibracija često ukazuju na značajnije mehaničke probleme koji zahtijevaju hitnu pažnju.
- Frekvencija vibracija: Analiza frekvencije omogućuje identifikaciju uzroka povećanih vibracija. Različiti problemi generiraju vibracije na različitim

frekvencijama, pa se analizom spektra frekvencija može precizno definirati izvor problema, poput neravnoteže, neusklađenosti, labavih dijelova ili problema s ležajevima.

Alarmne granice za vibracije utvrđuju se pomoću različitih standarda koji pružaju okvir za analizu izmjerenih vrijednosti i procjenu ozbiljnosti problema. Tijekom godina razvijeni su mnogi dijagrami i standardi za određivanje alarmnih granica vibracija, uključujući:

- ISO 10816: Ovaj standard daje smjernice za procjenu vibracija u strojevima na temelju amplituda vibracija i klasifikacije strojeva prema veličini i vrsti.
- ANSI S2.41: Američki standard koji pruža kriterije za vibracije u industrijskim strojevima.
- API 670: Standard koji se koristi u naftnoj i plinskoj industriji za zaštitu strojeva, uključujući smjernice za vibracijske alarme.

Ovi standardi pomažu u postavljanju pragova alarma koji signaliziraju kada vibracije prelaze prihvatljive granice, omogućujući pravovremeno djelovanje i sprječavanje ozbiljnijih kvarova. Implementacijom ovih mjera osigurava se pouzdanost i dugovječnost opreme te se minimiziraju rizici od neplaniranih zastoja u proizvodnom procesu.

U ovom primjeru, vibracije za ležajeve reduktora pogona mlinova cementa i sirovine, valjkaste preše te industrijske ventilatore ocjenjuju se u skladu sa standardom ISO 10816-1:1995 . Ovaj standard pruža smjernice za procjenu vibracija na temelju amplituda vibracija i klasifikacije strojeva prema veličini i vrsti.

								Brzina mm/s RMS	10 - 1000 Hz n > 600 o/min 2 - 1000 Hz n > 120 o/min
								45	
								28	
								18	
								11,2	
								7,1	
								4,5	
								3,5	
								2,8	
								2,3	
								1,4	
								0,71	
Kruti temelj	Mekani temelj	Kruti temelj	Mekani temelj	Kruti temelj	Mekani temelj	Kruti temelj	Mekani temelj	Temelj	
pumpe > 15 kW radijalni, aksijalni, mješoviti tok				strojevi srednje veličine 15 kW < P < 300 kW		veliki strojevi 300 kW < P < 50 MW		Tip stroja	
integrirani pogon		vanjski pogon		160 mm ≤ H ≤ 315 mm motori		motori H ≥ 315 mm			
Grupa 4		Grupa 3		Grupa 2		Grupa 1		Grupa	
A		Novi strojevi		C		Kratkoročni rad			
B		Neograničen rad		D		Vibracije uzrokuju štetu			

Slika 4.1.2.1. Dopuslene vrijednosti vibracija prema ISO 10816-1 1995 [9]

Za zubne vijence i pogonske zupčanike navedenih mlinova te rotirajuće peći, ISO standardi se ne koriste. Umjesto toga, granice normalnog rada postavljaju se na temelju iskustvenih podataka. Ovaj pristup omogućava prilagodbu specifičnim operativnim uvjetima i povijesti rada opreme, čime se osigurava pouzdano praćenje i održavanje.

Tablica 1: Iskustvene dopuštene vrijednosti vibracija za zubne vijence i pogonske zupčanike

Opis stanja	Zupčanik s kliznim ležajevima	Zupčanik s valjnim ležajevima
Odlično	< 5 mm/s	< 2,5 mm/s
Dobro	5-10 mm/s	2,5 – 5 mm/s
Iskoristivo	10-15 mm/s	5-10 mm/s
Podnošljivo	15-20 mm/s	10-15 mm/s
Nedopustivo	> 20 mm/s	> 15 mm/s

Kombinacija standardiziranih smjernica i iskustvenih podataka omogućava precizno ocjenjivanje stanja opreme i pravovremeno poduzimanje potrebnih mjera za održavanje optimalne funkcionalnosti i dugovječnosti.

4.1.3. Mjerna oprema

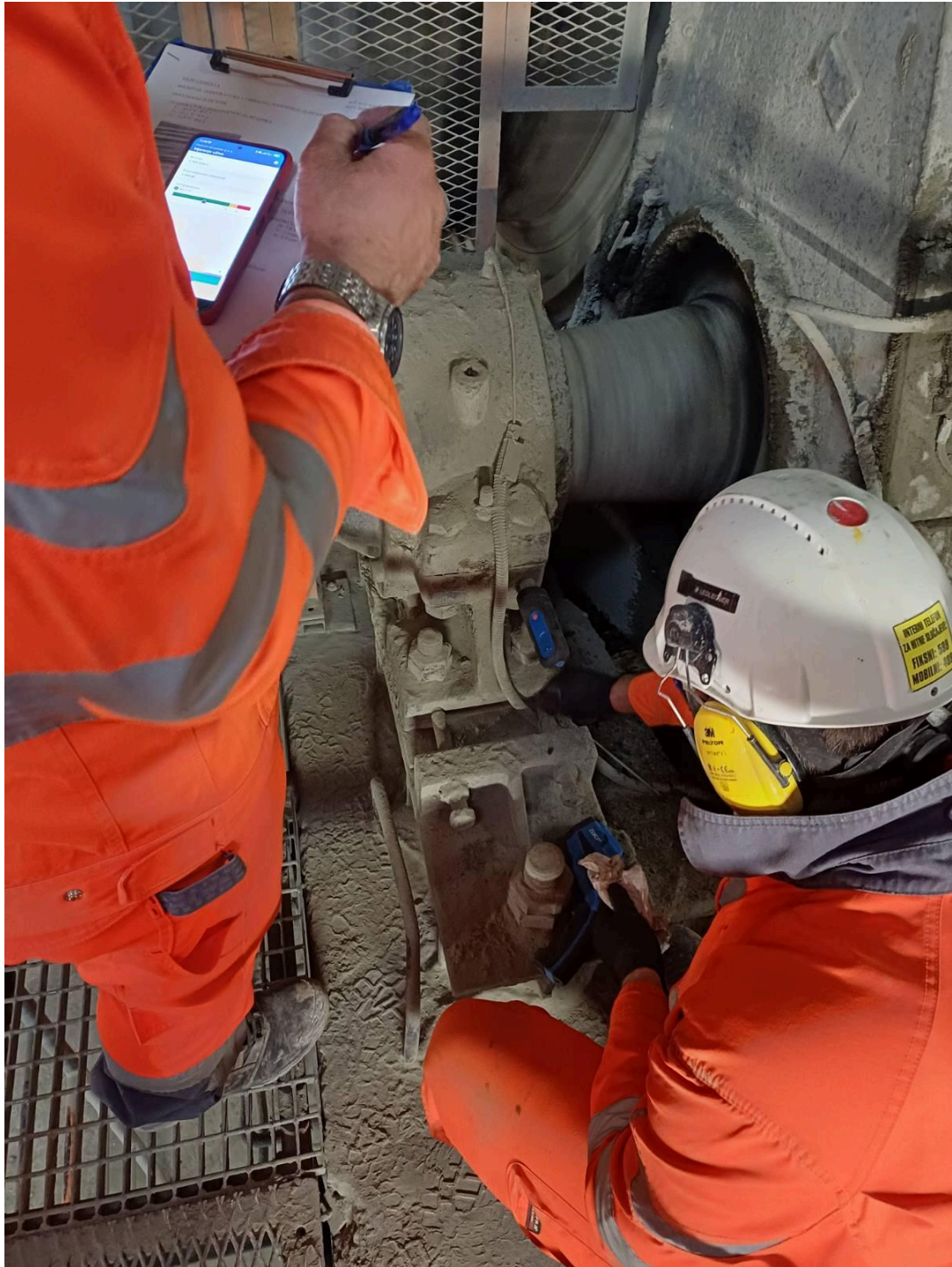
Osim trajno ugrađenih žičnih senzora koji služe za kontinuirano praćenje vibracija kritične opreme i funkcioniraju na principu alarmnih granica, za mjerenje vibracija koristi se i uređaj 391-K-SL QuickCollect senzor proizvođača SKF. Ovaj uređaj je spojen sa SKF mobilnom aplikacijom koja u svojoj bazi podataka ima navedenu svu kritičnu opremu te točke na kojima se mjere vibracije (u mm/s), temperatura, demodulirano ubrzanje i ubrzanje. Dobiveni rezultati mjerenja se u stvarnom vremenu uspoređuju s unaprijed postavljenim granicama normalnog rada te podliježu daljnjoj analizi, bilo unutarnjoj ili vanjskoj, od strane proizvođača SKF.

Primjena uređaja 391-K-SL QuickCollect senzora omogućuje brzu i jednostavnu provjeru stanja opreme, čime se povećava učinkovitost održavanja i smanjuje rizik od neočekivanih kvarova. Mobilna aplikacija pruža korisnicima mogućnost praćenja stanja

opreme u stvarnom vremenu, što doprinosi bržem donošenju odluka i efikasnijem upravljanju održavanjem. Također, podaci pohranjeni u aplikaciji omogućuju dugoročnu analizu trendova vibracija i ostalih parametara, što je ključno za prediktivno održavanje i optimizaciju rada opreme.



Slika 4.1.3.1. 391-K-SL Quick Collect prijenosni senzor proizvođača SKF [10]

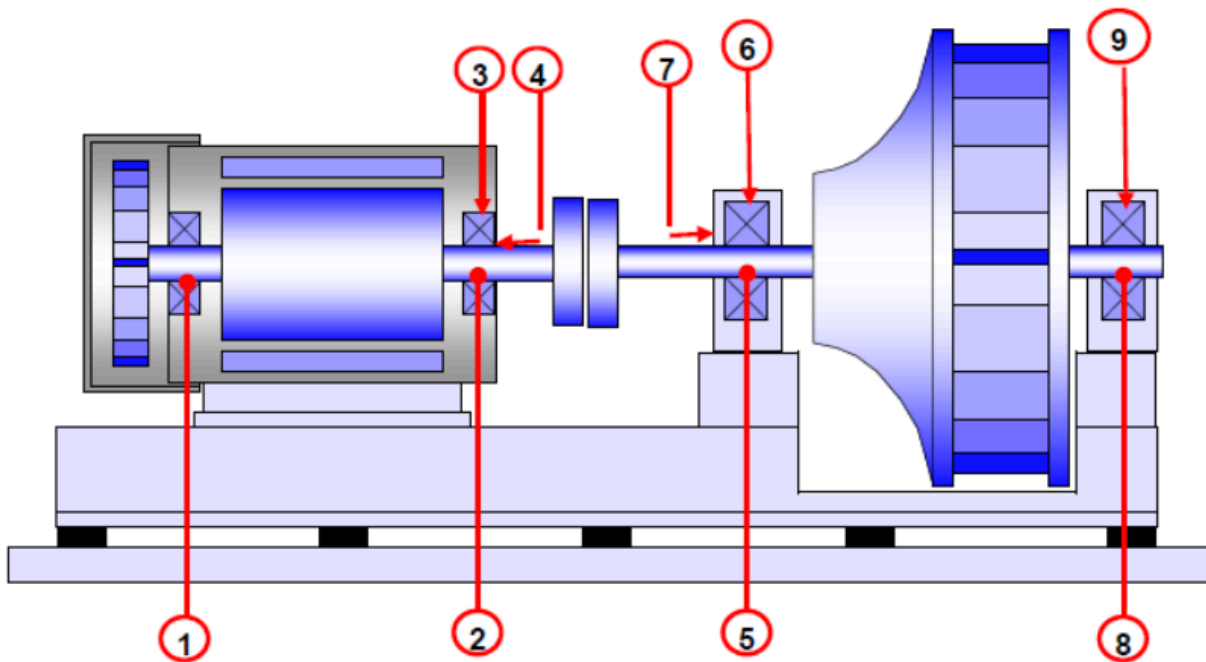


Slika 4.1.3.2. Korištenje prijenosnog senzora

4.1.4. Postupak mjerenja

Za vođenje postupka mjerenja vibracija odgovorni su inspektori preventivnog održavanja. Vibracije se mjere postavljanjem magnetskog prijenosnog senzora na stacionarne dijelove opreme u tri smjera: horizontalnom, vertikalnom i aksijalnom. Lokacije mjerenja su standardizirane kako bi se osigurala dosljednost rezultata i olakšala usporedba unutar iste vrste opreme unutar Holcim Grupe. Ove točke koriste se za redovita mjerenja, a u slučaju otkrivenih problema ili nepravilnosti, ovisno o njihovoj prirodi, potrebno je identificirati dodatne lokacije mjerenja.

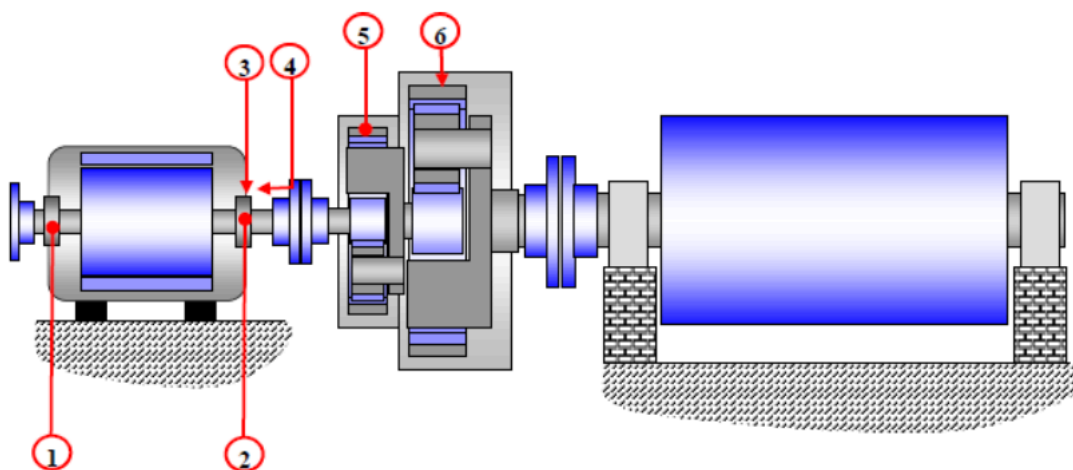
U nastavku će biti prikazani primjeri ključnih strojeva s označenim lokacijama mjerenja vibracija, zajedno s fotografijama postupka mjerenja.



Slika 4.1.4.1. Skica ventilatora s lokacijama mjerenja vibracija [9]

Tablica 2: Lokacije mjerenja vibracija ležajeva ventilatora

Broj	Lokacija	Smjer mjerenja na lokaciji		
		Horizontalni	Vertikalni	Aksijalni
1	Motor, gonjena strana	x		
2	Motor, pogonska strana	x		
3	Motor, pogonska strana		x	
4	Motor, pogonska strana			x
5	Ventilator, pogonska strana	x		
6	Ventilator, pogonska strana		x	
7	Ventilator, pogonska strana			x
8	Ventilator, pogonska strana	x		
9	Ventilator, pogonska strana		x	



Slika 4.1.4.2. Skica kugličnog mlina s lokacijama mjerenja vibracija [9]

Tablica 3: Lokacije mjerenja vibracija kugličnog mlina

Broj	Lokacija	Smjer mjerenja na lokaciji		
		Horizontalni	Vertikalni	Aksijalni
1	Motor, gonjena strana	x		
2	Motor, pogonska strana	x		
3	Motor, pogonska strana		x	
4	Motor, pogonska strana			x
5	Planetarni reduktor, ulaz	Radijalni („na 3 sata“)		
6	Planetarni reduktor, izlaz	Radijalni („na 12 sati“)		

4.2. Termografsko mjerenje

Termografsko ispitivanje ima ključnu ulogu u održavanju stanja opreme u cementnoj industriji. Promjene u radnim temperaturama često su rani pokazatelji ili prateći znakovi mehaničkih i električnih problema. Posebno je važno kod električne opreme gdje se kvarovi na strujnim krugovima i spojevima mogu neprimjetno razvijati sve do trenutka potpunog zastoja. Ovom tehnikom mogu se otkriti pukotine ili degradacija izolacije na krovovima, zidovima i oblogama peći, što može dovesti do povećanog gubitka topline ili smanjenja efikasnosti proizvodnje. Nadalje, termografsko ispitivanje je korisno i u kontroli izlaznih ležajeva većih strojeva poput mlinova, te zupčanika i zubnih vijenaca koji su često pod velikim opterećenjem.

Infracrveno skeniranje je neinvazivno i može se provoditi iz sigurne udaljenosti, što je idealno za opremu koja je pod visokim temperaturama ili je teško dostupna. Osim toga,

pregledi se često obavljaju dok je oprema u funkciji, eliminirajući potrebu za zaustavljanjem proizvodnog procesa radi rutinskih pregleda.

Primjena termografskog ispitivanja omogućava detaljan pregled stanja opreme, identificirajući probleme koji nisu vidljivi golim okom. Stručnjaci mogu koristiti termografske kamere kako bi vizualno prikazali temperaturne nepravilnosti na opremi, pružajući rano upozorenje na potencijalne kvarove. Ova tehnika je osobito korisna u cementnoj industriji gdje su visoki termalni i mehanički zahtjevi uobičajeni, a redovito održavanje opreme ključno za kontinuiranu proizvodnju.

Kroz termografsko ispitivanje moguće je ne samo rano otkriti potencijalne probleme, već i pružiti podršku u efikasnom upravljanju održavanjem, čime se smanjuju operativni troškovi i povećava sigurnost na radu.

4.2.1. Redovitost mjerenja i pozicije

Prioritet za termografska mjerenja u cementnoj industriji imaju ključni strojevi za proizvodnju, poput rotirajućih peći, mlinova za cement i ugljen, te njihovi vitalni dijelovi poput zupčanika i pogonskih mehanizama. Osim toga, kontinuirano se prati temperatura pomoću žičnih senzora s alarmnim granicama. Termografska mjerenja se, obično, provode jednom mjesečno kako bi se osiguralo redovito i detaljno ocjenjivanje stanja opreme..

4.2.2. Granice mjerenja

Mjerne granice kod strojeva postavljene su na temelju preporuka proizvođača ili iskustveno, uzimajući u obzir prirodu proizvodnog procesa koji se, u određenim fazama, odvija pod vrlo visokim temperaturama.

4.2.3. Mjerna oprema

Za termografska mjerenja koristi se infracrvena termalna kamera T560 proizvođača FLIR. Nakon obavljenih mjerenja, termografske snimke se prenose u softver FLIR Thermal Studio Suite, koji omogućuje naprednu analizu i izradu izvještaja termalnih slika. Uz termalnu kameru, za određena mjerenja koristi se i infracrveni termometar SKF TKTL 30, koji je dobra alternativa za brze provjere temperatura na teško dostupnim mjestima.



Slika 4.2.3.1. Infracrvena termalna kamera FLIR T560 [11]



Slika 4.2.3.2. Korištenje infracrvene kamere [9]

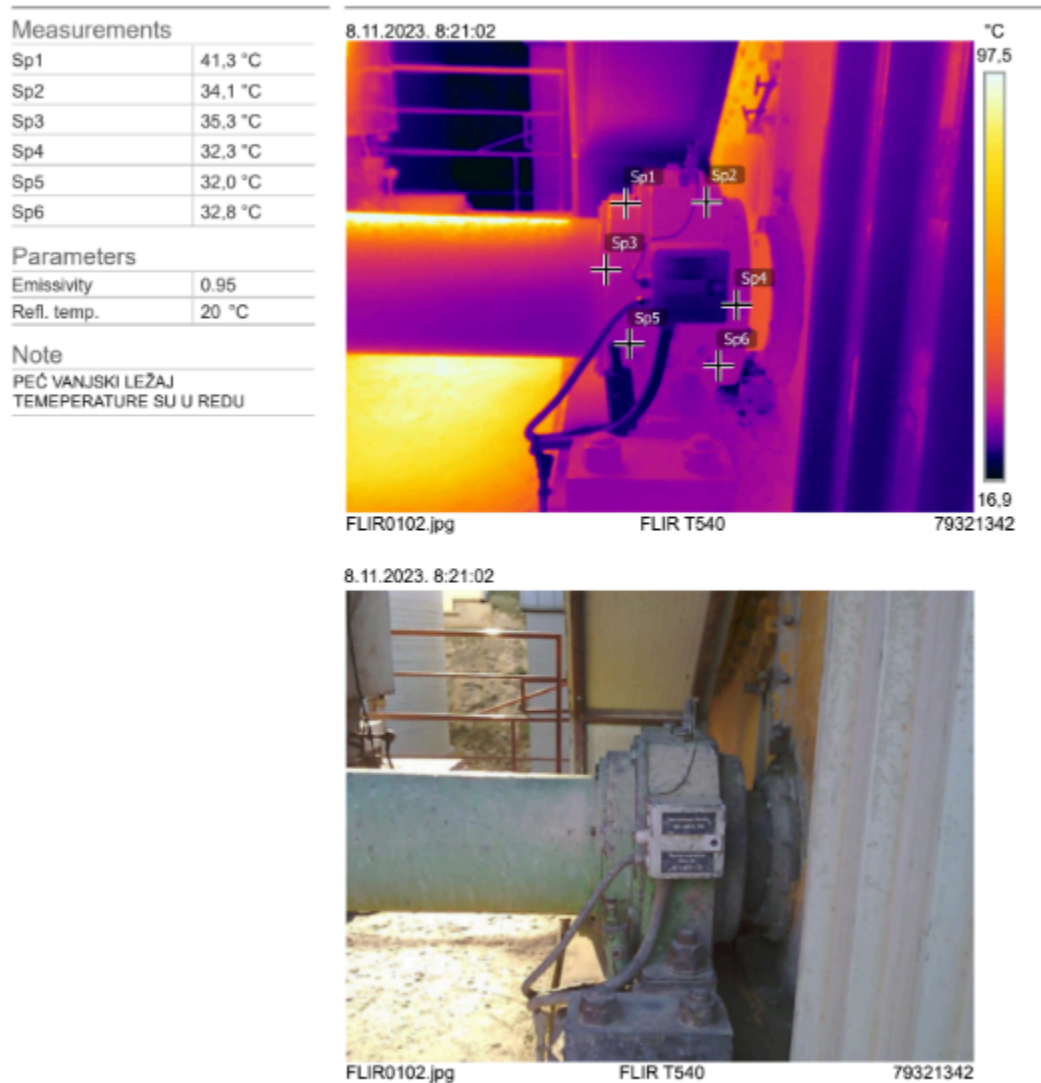


Slika 4.2.3.3. SKF TKTL 30 [12]

4.2.4. Postupak mjerenja

Kao kod mjerenja vibracija, termografska mjerenja provode inspektori preventivnog održavanja koristeći infracrvenu termalnu kameru koja mjeri temperaturu na više zadanih točaka raspoređenih duž opreme u radu. Mjerenja se provode na vanjskim i unutarnjim ležajevima rotirajuće peći, mlina ugljena i mlina cementa, te na zupčanicima i zubnim vijencima. Povremeno se analizira i raspodjela temperature po vanjskom plaštu rotirajuće peći. Također, temperature ležajeva i osovina potpornih valjaka mjere se prema standardiziranom postupku koji se primjenjuje na korporativnoj razini.

Na sljedećim primjerima prikazano je nekoliko mjerenja na navedenim lokacijama, zajedno s izvještajima sastavljenim na temelju dobivenih rezultata.



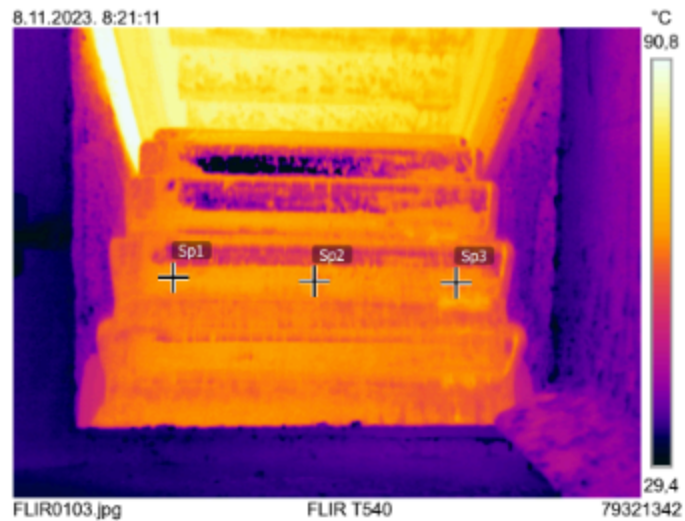
Slika 4.2.4.1. Termografija vanjskog ležaja peći [9]



Measurements	
Sp1	67,3 °C
Sp2	68,2 °C
Sp3	65,3 °C

Parameters	
Emissivity	0.95
Refl. temp.	20 °C

Note	
PEĆ PINJON, TEMPERATURE SU U DOZVOLJENOM RASPONU	



Slika 4.2.4.2. Termografija zupčanika peći [9]



Sika 4.2.4.3. Vanjski plašt peći



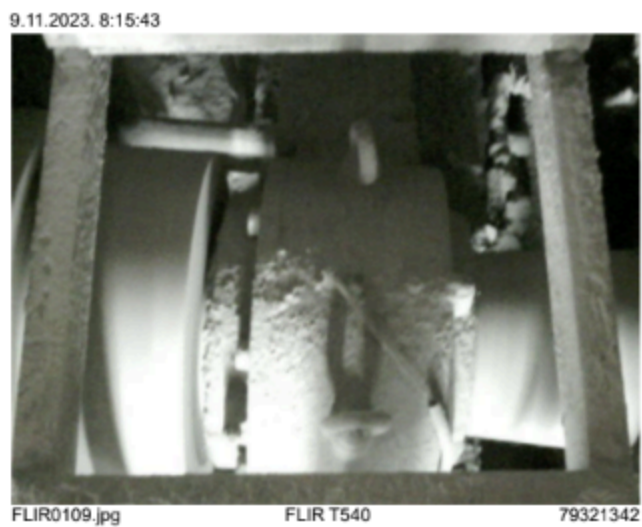
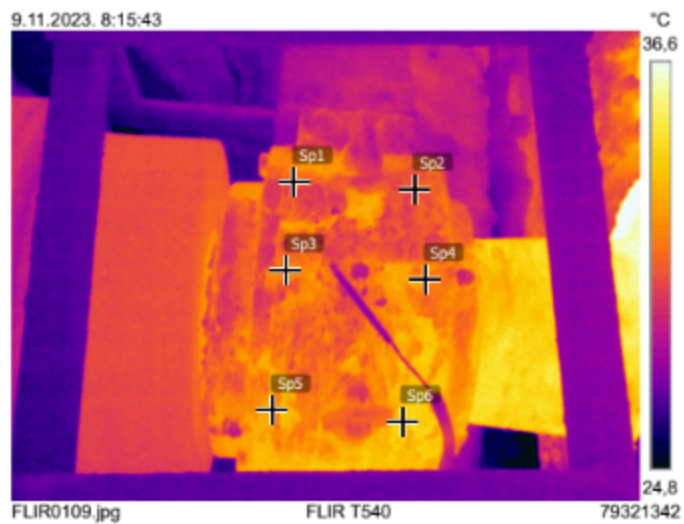
Slika 4.2.4.4. Unutrašnjost peći



Measurements	
Sp1	30,7 °C
Sp2	30,7 °C
Sp3	31,3 °C
Sp4	32,2 °C
Sp5	32,7 °C
Sp6	33,9 °C

Parameters	
Emissivity	0.95
Refl. temp.	20 °C

Note
DOGONJENI ZUPČANIK UNUTARNJI
LEŽAJ TEMPERATURE SU U REDU



Slika 4.2.4.5. Termografija ležaja mlina cementa [9]

4.3. Analiza ulja

Analiza ulja je jedna od najstarijih metoda održavanja opreme u postrojenjima i unaprjeđenja njezine pouzdanosti i korisnosti. U cementnoj industriji, gdje su uvjeti rada često prašnjavi i zahtjevni, analiza ulja igra ključnu ulogu u očuvanju pouzdanosti i produljenju vijeka trajanja opreme. Redovita analiza ulja omogućuje otkrivanje abrazija, oksidacije, propadanja maziva i drugih važnih pokazatelja koji utječu na planiranje zamjene ulja.

Ključna je dosljednost u procesu uzorkovanja i testiranja kako bi se izbjeglo donošenje netočnih zaključaka koji mogu značajno utjecati na raspoloživost cijelog tehničkog sustava. Rezultati nasumičnog uzorkovanja ulja često mogu biti neprecizni, sugerirajući radne uvjete koji zapravo ne postoje. Stoga je naglasak stavljen na pravovremeno i sustavno uzimanje uzorka ulja.

Analiza ulja redovito pruža uvid u kvalitetu maziva, ključno za izbjegavanje problema s podmazivanjem. Koncentracija i veličina čestica trošenja u uzorcima pružaju važne informacije o stanju habajućih površina unutar stroja. Kako koncentracija i veličina čestica rastu, proces trošenja napreduje od normalnog radnog stanja do početnog kvara, te na kraju do potencijalno ozbiljnijih kvarova ili havarija. Redovita analiza ulja nije samo preventivna mjera, već i ključni alat u održavanju visoke razine performansi i pouzdanosti opreme u cementnoj industriji. Osim toga, može poslužiti kao temelj za planiranje preventivnih akcija i optimizaciju radnih procesa.

4.3.1. Testovi i analize ulja

U tablici vidimo vrste analiza ulja koje se rade. Jednom mjesečno je potrebno analizirati ulje na kritičnim strojevima.

Tablica 4. Vrste analize ulja ovisno o njihovoj primjeni [11]

Ulje za zupčanike	Hidrauličko ulje
Analiza u infracrvenom spektru	Analiza u infracrvenom spektru
Izgled/boja	Izgled/boja
Viskoznost	Viskoznost
Ukupni kiselinski broj	Ukupni kiselinski broj
Test na prisutnost vode	Test na prisutnost vode
Spektroskopija	Spektroskopija
Brojanje čestica ulja	Brojanje čestica ulja
Ferografija	Test pjenjenja hidrauličkog ulja

4.3.2. Uzimanje uzorka ulja

Uzimanje uzorka ulja je ključni korak u procesu analize ulja, a odgovorni za to su podmazivači iz odjela preventivnog održavanja. Važno je odabrati precizne lokacije za uzimanje uzoraka kako bi analiza bila što točnija i odgovarala stvarnom stanju opreme. Uobičajeno je uzimati uzorke blizu područja s visokom turbulencijom (kao što su koljena), uvijek tijekom rada opreme. Ako se ne ispituje učinkovitost filtera, uzorci se obično uzimaju iz povratnog voda prije filtracije. Čistoća uzoraka je ključna jer čestice prašine i nečistoće mogu značajno utjecati na rezultate analize ulja. Bočice za prikupljanje uzoraka trebaju biti nove i čiste, te se nakon uzimanja uzorka obično stavljaju u vrećicu sa zatvaračem prije slanja na laboratorijsku analizu.



Slika 4.3.2.1. Postupak uzimanja ulja [9]

4.3.3. Rezultati analize ulja

Bitan aspekt analize ulja je interpretacija rezultata. Laboratorijski tehničar analizira rezultate testiranja ulja i na temelju njih sastavlja izvješće o stanju opreme i ulja. Za valjanu interpretaciju rezultata koriste se različiti izvori, uključujući preporuke proizvođača originalne opreme (OEM), osnovne vrijednosti i karakteristike ulja,

industrijsku literaturu te vlastito iskustvo tehničara. Ova interpretacija ključna je za donošenje pouzdanih zaključaka o stanju opreme i potrebnim održavateljskim intervencijama.

Postoji mnogo uzroka kontaminacije ulja koji se mogu klasificirati prema izvoru. Prvo, kontaminacija može dolaziti izvana iz sustava, kao što su prašina (uključujući silicij), tekućine (kao što su mješavine s drugim uljima ili vodom), ili druga kontaminirana ulja. Drugi izvor kontaminacije su otvoreni sustavi, kao što su lanci, kablovi ili zupčanci koji dolaze u kontakt s prašinom, vodom i slično. Također, nečistoće mogu dolaziti iz procesa u kojima se maziva koriste, kao što su proizvodnja koja može stvarati ostatke od zavarivanja, montaža koja uključuje prašinu ili silikone, te održavanje koje može uvesti nečistoće putem prljavih krpa i slično.

Viskoznost je mjera sposobnosti ulja da podmazuje. Kada se viskoznost promijeni, ulje gubi sposobnost podmazivanja i postaje neučinkovito u zaštiti površina. Ako je ulje prevruće ili ako se interval zamjene ulja produži, ulje može oksidirati. To rezultira zgušnjavanjem ulja i povećanjem viskoznosti. Ako gorivo uđe u karter, ulje se razrijedi, što može dramatično smanjiti viskoznost. Općenito, ulja prolaze kroz značajne promjene svojstava kada su izložena kisiku, plinovima izgaranja i visokim temperaturama. Promjene u viskoznosti, iscrpljenost aditiva i oksidacija su glavni uzroci degradacije kvalitete ulja.

Nakon analize ulja, inženjeri preventivnog održavanja postrojenja surađuju s laboratorijskim analitičarima kako bi definirali potrebne korake održavanja na temelju izrađenih izvještaja.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	AJ	AK	AL	AM	AN
HAC	NAZIV	Vrsta ulja	Količina ulja	Plus zamje	Zamjena		Vrijednost	Upozorenje	Kritično	04_2022	10_2022	04_2023	10_2023	04_2024
361-RM1	Valjak 3	Renolin PG 680	30	G	06_2011	Appearance								
					07_2013	kinematic viscosity at 40 C (mm2/s)	1000	(-) 10% 1100/9-)	15% 1150/	904	874	852	938	922
					01_2014	kinematic viscosity at 100 C (mm2/s)	118							
					01_2017	Water content (% wag.)		> 0,05 %	0.50%	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Renolin PG 1000	30		09_2017	TAN (mgKOH/g)	0.6	0,12 - 0,3	1.6	0.57	0.82	0.12	0.43	0.46
		Renolin PG 1000	30		01_2018	Contamination (% wag.)		-	> 0,08					
		Renolin PG 1000	30		06_2018	Ag (ppm)								
					1_2019	Al (ppm) aluminium - aluminij		> 20		1	2	0	0	1
					8_2019	B (ppm) boron - bor		> 20		0	0	0	1	0
					01_2021	Ba (ppm)								
					01_2023	Ca (ppm)								
						Cd (ppm)								
						Cr (ppm) chromium - krom		> 5	>25	0	0	0	0	1
						Cu (ppm) copper - bakar		> 20	> 20	5	6	2	2	4
						Fe (ppm) iron - željezo		> 50	100	39	57	20	37	64
						Mg (ppm)								
						Mn (ppm)								
						Mo (ppm)								
						Na (ppm) sodium - natrij		>15		3	3	10	0	0
						Ni (ppm) nickel - nikal		>20		0	0	0	0	0
						P (additive) (ppm)								
						Pb (ppm) lead - olovo		> 20		1	1	0	0	1
						Si (ppm) silicon - silicij		> 20	25	6	7	2	2	5
						Sn (ppm) tin - kositar		> 10	>20	0	1	0	0	0
						Ti (ppm)								
						V (ppm)								

Slika 4.3.3.1. Vođenje evidencije analize ulja [9]

Sample #	Wear Metals (ppm)										Contaminant Metals (ppm)			Multi-Source Metals (ppm)					Additive Metals (ppm)					
	Iron	Chromium	Nickel	Aluminum	Copper	Lead	Tin	Cadmium	Silver	Vanadium	Silicon	Sodium	Potassium	Titanium	Molybdenum	Antimony	Manganese	Lithium	Boron	Magnesium	Calcium	Barium	Phosphorus	Zinc
1	3			2	1	1	0		0		2	0	5						0	0	0		411	29
2	7			1	0	0	0		0		0	0	0	1					0	0	0		439	6
3	223			452	37	2	0		0		38	10	19	1					2	2	180		600	634
4	3			6	0	0	0		0		17	0	2	9					0	0	0		423	12

Slika 4.3.3.2. Rezultati analize ulja [9]

4.4. Mjerenje curenja zraka

Kontrola mjerenja curenja komprimiranog zraka važan je postupak u mnogim industrijama jer curenje zraka može dovesti do značajnih gubitaka energije i povećanih operativnih troškova. Moderni pristupi koriste naprednu tehnologiju kako bi poboljšali učinkovitost i točnost otkrivanja curenja.

Tehnike za kontrolu mjerenja curenja komprimiranog zraka:

1. Stetoskopi: Tradicionalna metoda: Koristi se stetoskop za slušanje curenja zraka duž cijevi i spojeva. Ovo zahtijeva blizinu sustavu i iskustvo kako bi se točno identificirali izvori curenja.
Ograničenja: Može biti neefikasno u bučnim okruženjima i zahtijeva puno vremena.
2. Ultrazvučne kamere: Moderni pristup: Kamere koje koriste ultrazvučnu tehnologiju mogu otkriti zvukove visokih frekvencija koje stvaraju curenja komprimiranog zraka. Ove kamere vizualiziraju zvuk curenja u stvarnom vremenu, omogućujući brzo i precizno otkrivanje.
Prednosti: Brzina i učinkovitost: Mogu pregledati velike površine i složene sustave u kratkom vremenu.
Točnost: Precizno identificiraju mjesto curenja, smanjujući vrijeme i troškove popravka.
Sigurnost: Omogućuju inspekciju na daljinu, što je korisno u opasnim ili teško dostupnim područjima.
Primjena: Industrijski pogoni, postrojenja za preradu, energetski sektor, i mnoge druge primjene gdje je komprimirani zrak ključan za operacije.

Koraci za provođenje kontrole curenja komprimiranog zraka ultrazvučnom kamerom:

- Priprema: Pripremite ultrazvučnu kameru prema uputama proizvođača. Osigurajte pristup područjima koja će se pregledati.
- Pregled:Uključite kameru i usmjerite je prema dijelovima sustava gdje sumnjate na curenje. Pomicanjem kamere pregledajte sve cijevi, spojeve, ventile i ostale potencijalne točke curenja.
- Identifikacija: Na ekranu kamere, curenje će biti prikazano kao zvučni signal ili vizualizacija koja pokazuje točnu lokaciju curenja.
- Zapisivanje: Zabilježite lokacije curenja i potrebne informacije za kasnije popravke.

- Popravak i ponovna provjera: Nakon popravka curenja, ponovno pregledajte iste točke kako biste osigurali da je problem riješen.

Korištenje ultrazvučnih kamera značajno poboljšava proces otkrivanja i upravljanja curenjem komprimiranog zraka, pružajući pouzdane i brze rezultate koji pomažu u smanjenju gubitaka i poboljšanju operativne učinkovitosti.

PMR curenja zraka se odvija svakih 6 mjeseci. Provode je inspektori sa kamerom.

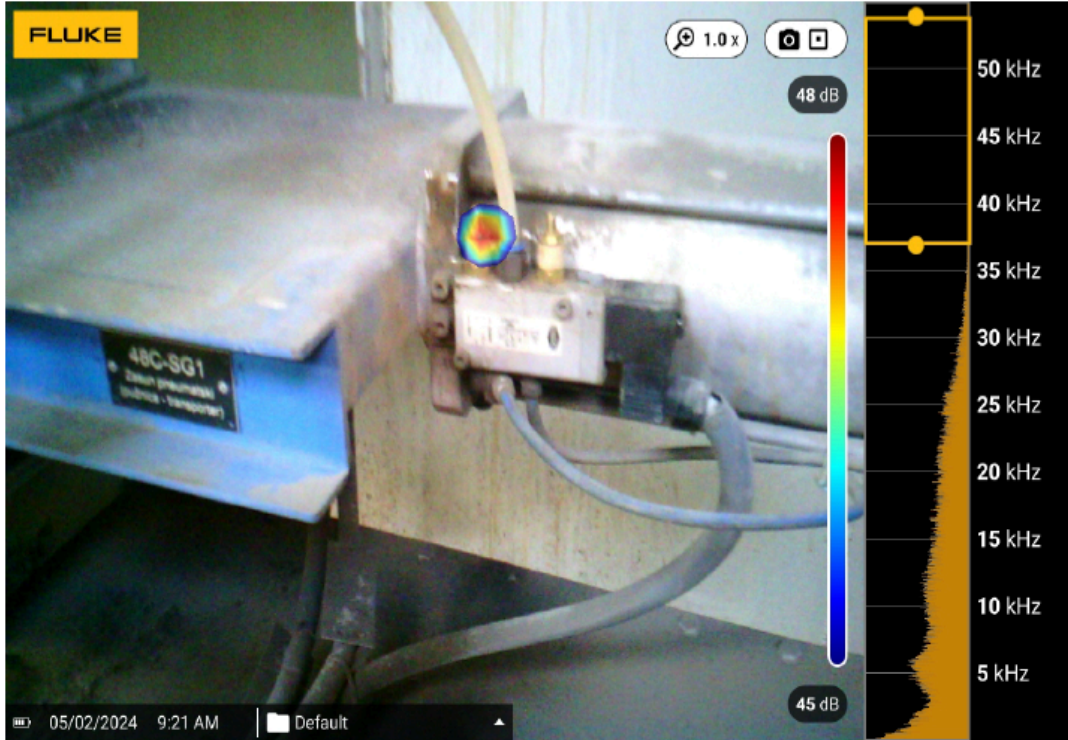


Image Info

Name	Default_0066.as2
Type of Capture	Image
Survey Name	Default
Asset ID	
Asset Name	13
Asset Type	
Asset Inspection Status	Undetermined
Action Requirement	Undetermined
Action Priority	Undetermined
Action Notes	

Slika 4.4.1. Mjesto curenja zraka snimano kamerom [9]



Image Info

Name	Default_0078.as2
Type of Capture	Image
Survey Name	Default
Asset ID	
Asset Name	24
Asset Type	
Asset Inspection Status	Undetermined
Action Requirement	Undetermined
Action Priority	Undetermined
Action Notes	

Slika 4.4.2. Mjesto curenja zraka snimano kamerom [9]

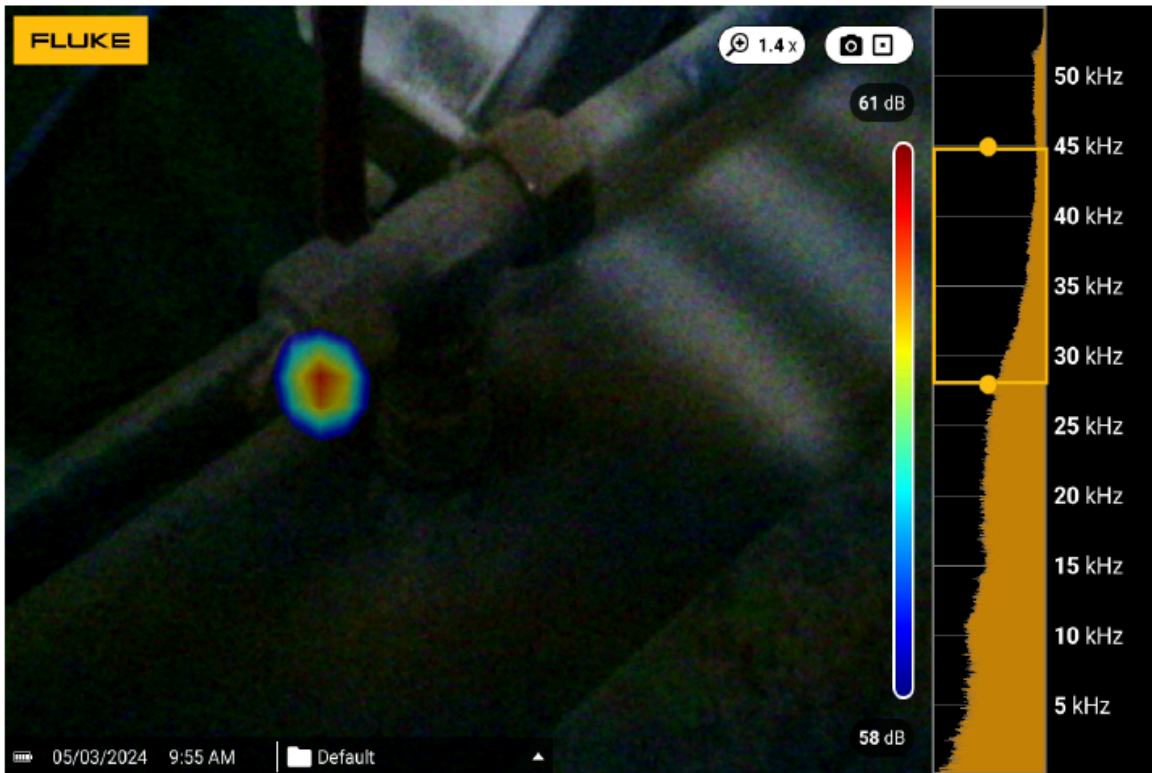


Image Info

Name	Default_0079.as2
Type of Capture	Image
Survey Name	Default
Asset ID	
Asset Name	25
Asset Type	
Asset Inspection Status	Undetermined
Action Requirement	Undetermined
Action Priority	Undetermined
Action Notes	

Slika 4.4.3. Mjesto curenja zraka snimano kamerom [9]



Slika 4.4.4. Air tag za curenje zraka



Slika 4.4.5. Air tag za curenje zraka



Slika 4.4.6. Fluke ii900 Industrial Acoustic Imager [13]

4.5. Test prskanja

Spray test, ili test prskanja, metoda je ispitivanja koja se koristi za provjeru učinkovitosti sustava za podmazivanje, kao i za otkrivanje curenja ili nepravilnosti u radu tih sustava. U kontekstu mlina cementa ili ugljena, spray test se može koristiti za provjeru kako se ulje distribuira i prska unutar sustava.

Cilj testa je osigurati da se ulje ravnomjerno raspoređuje i doseže sve potrebne dijelove za podmazivanje, te da nema curenja ili nepravilnosti koje bi mogle dovesti do neadekvatnog podmazivanja ili prekomjerne potrošnje ulja. Priprema za test uključuje čišćenje i pripremu sustava, te podešavanje mlaznica za prskanje ulja kako bi se osiguralo da prskaju u pravim smjerovima i pod pravim kutovima.

Sam test se provodi pokretanjem sustava za prskanje ulja i promatranjem prskanja ulja pomoću vizualne inspekcije ili kamera kako bi se osigurala ravnomjerna pokrivenost. Potrebno je provjeriti sve dijelove sustava kako bi se osiguralo da ulje doseže sve potrebne točke. Rezultati se analiziraju kako bi se identificirala područja koja ne primaju dovoljno ulja ili gdje dolazi do curenja, a sustav se prema potrebi prilagođava kako bi se osigurala optimalna pokrivenost.

Za provođenje spray testa koriste se različiti alati i oprema, uključujući vizualne alate kao što su inspekcijske kamere, mjerni uređaji kao što su mjerači protoka i tlak ulja, te ultrazvučni detektori za otkrivanje curenja ulja koje nije vidljivo golim okom. Prednosti spray testa uključuju brzu dijagnozu problema u sustavu za podmazivanje, sprječavanje oštećenja strojeva uslijed neadekvatnog podmazivanja, te optimizaciju potrošnje ulja kako bi se smanjili troškovi.

Kako bi spray test bio uspješan, potrebno je provesti inspekciju prije testa kako bi se osiguralo da su sve komponente sustava za podmazivanje u dobrom stanju i pravilno postavljene, kalibrirati opremu kako bi mlaznice za prskanje prskale ulje u pravim količinama i pod pravim kutovima, te provesti test promatranjem prskanja ulja i snimanjem rezultata pomoću vizualnih ili drugih inspekcijskih alata. Nakon analize rezultata, potrebno je napraviti prilagodbe sustava za podmazivanje i po potrebi ponovno provesti test kako bi se osiguralo da su prilagodbe bile uspješne. Spray test je ključan za održavanje učinkovitosti i dugovječnosti mlina za cement ili ugljen, osiguravajući da sustavi za podmazivanje rade optimalno i sprječavajući potencijalne kvarove.

U primjeru Holcima spray test provode mazači, najjednostavnijom metodom, prskanja po kartonu. Provjerava se na mlinu cementa, ugljena te peći.



Slika 4.5.1. Spray test peći [9]



Slika 4.5.2. Spray test mlina cementa [9]



Slika 4.5.3. Spray test mlina ugljena [9]

Važan čimbenik za operativnu pouzdanost je savršeni uzorak raspršivanja bez praznina, odnosno mazivo se mora ravnomjerno raspoređivati preko cijele visine i širine bokova zubaca.



Slika 4.5.4. Primjer dobrog podmazivanja [9]

4.6. Ostala mjerenja

4.6.1. Mjerenje tvrdoće gumenih traka elevator

Mjerenje tvrdoće trake elevatora važan je postupak u održavanju industrijske opreme jer osigurava da traka zadržava svoje karakteristike i performanse tijekom vremena. Tvrdoća materijala trake može utjecati na njezinu otpornost na habanje, trajnost i sposobnost pravilnog funkcioniranja pod opterećenjem.

Postupak mjerenja tvrdoće trake elevatora obično se provodi pomoću specifičnih instrumenata koji su dizajnirani za ocjenu tvrdoće materijala. Najčešće korišteni uređaji su durometri kao što su Shore A ili Shore D , ovisno o tvrdoći i vrsti materijala trake.

Koraci za mjerenje tvrdoće slijede u nastavku:

1. Priprema površine: Očistite površinu trake kako biste uklonili sve nečistoće, ulje ili prašinu. Površina mora biti čista i suha kako bi se osigurala točnost mjerenja.

2. Postavljanje durometra: Odaberite odgovarajući durometar za vrstu materijala. Shore A r se koristi za mekše materijale poput gume, dok se Shore D koristi za tvrde materijale.
3. Mjerenje tvrdoće: Postavite tvrdomjer okomito na površinu trake. Lagano pritisnite uređaj prema dolje dok ne dođe u kontakt s trakom i očitajte vrijednost tvrdoće na skali uređaja. Ponovite mjerenje na više točaka duž trake kako biste dobili reprezentativnu vrijednost tvrdoće. Obično se uzima nekoliko mjerenja i izračunava prosječna vrijednost.
4. Zapisivanje rezultata: Zabilježite očitane vrijednosti tvrdoće za svaku točku mjerenja. Ako su rezultati konzistentni, to je dobar pokazatelj da je tvrdoća trake u skladu sa specifikacijama. Ako postoje značajne varijacije, to može ukazivati na probleme s materijalom trake.
5. Analiza rezultata: Usporedite izmjerene vrijednosti tvrdoće s referentnim vrijednostima ili specifikacijama proizvođača. Ako tvrdoća odstupa od prihvatljivih granica, možda će biti potrebno zamijeniti traku ili poduzeti korektivne mjere.

Mjerenje tvrdoće trake elevatora pomaže u osiguravanju da traka ima odgovarajuću otpornost na habanje i da može izdržati opterećenja kojima je izložena tijekom rada. Redovita provjera tvrdoće također može pomoći u otkrivanju problema s materijalom trake prije nego što dođe do ozbiljnijih kvarova ili zastoja u radu opreme.

		lijevo	desno
spoj (unt.strana)	iznad	76	76
	ispod	74	76
spoj (vanj.strana)	Iznad	75	75
	ispod	76	75
traka	strana	unutarnja	vanjska
		74-74	74-75
		76-75	76-76
		75-75	75-74
		76-75	75-76
		75-74	74-74
		75-76	75-75
		76-76	76-75
		74-75	74-76

POGONSKA STANICA.

-Utori na gumenoj oblozi valjka su na sredini oko 0,75mm dubine a na krajevima oko 2,5mm.

TRAKA ELEVATORA I KFICE

-na traci su uočena 2-3mjehura, i odljepljen flek(zakrpa) na traci.

-razmak između kofica i dna elevatora je 275mm.

-na spoju su pritegnuti vijci a na unutrašnjoj strani spoja treba zamijeniti flek (zakrpu).

NATEZNA STANICA.

-ležajevi imaju malo povećanu zračnost (kontrola za 6mj).

-na nateznom valjku razlika između sredine i krajeva šipki je 3mm

Slika 4.5.6. Primjer izvješća PMR-a trake elevatora [9]



Slika 4.5.7. Traka elevatora [9]

4.6.2. Mjerenje lanca elevatora

Mjerenje lanca elevatora ključno je za održavanje i osiguranje njegovog ispravnog rada. Lanci elevatora često su izloženi teškim uvjetima rada, uključujući velika opterećenja, habanje i koroziju, što može dovesti do istezanja, trošenja ili drugih problema koji utječu na njihovu učinkovitost i sigurnost.

Postupak mjerenja lanca elevator

Priprema: Osigurajte da je elevator isključen i da je lanac potpuno zaustavljen kako bi mjerenje bilo sigurno.

Vizualna inspekcija: Provjerite lanac za očite znakove habanja, korozije, pukotina ili drugih oštećenja.

Mjerenje istezanja lanca: Lanci se s vremenom istežu zbog trošenja i opterećenja. Mjerenje istezanja provodi se pomoću mjernih instrumenata poput mjernih traka ili kalibara. Izabiru se nasumične točke. Izmjerite duljinu segmenta u opuštenom stanju (bez opterećenja) od središta prvog članka do središta posljednjeg članka. Usporedite izmjerenu duljinu s nominalnom duljinom novog lanca (koja je navedena u specifikacijama proizvođača). Ako je duljina segmenta porasla za više od prihvatljive granice (obično 2-3% od nominalne duljine), lanac je previše istegnut i treba ga zamijeniti.

Redovito mjerenje i inspekcija lanca elevatora pomaže u prepoznavanju problema prije nego što dođe do ozbiljnijih kvarova ili nesreća. Time se osigurava neprekidan rad sustava, smanjuju troškovi održavanja i produžava vijek trajanja opreme. Pravilno održavanje također povećava sigurnost rada, smanjujući rizike za radnike i opremu.



Slika 4.6.2.3. Mjerenje lanca elevatora

4.6.3. Mjerenje istrošenosti valjka mlina

Mjerenje istrošenosti valjaka mlina ključan je proces za osiguranje optimalnog rada mlina, smanjenje rizika od kvarova i produženje vijeka trajanja opreme. Valjci mlina podložni su intenzivnom trošenju zbog stalnog kontakta s materijalom koji se melje, pa je njihova redovita inspekcija i održavanje od vitalne važnosti. Prije nego što se započne s kontrolom, potrebno je osigurati da je mlin isključen i da su svi pokretni dijelovi potpuno zaustavljeni kako bi mjerenje bilo sigurno. Pripremite potrebne alate, kao što su mjerni instrumenti (kalibar, mikrometar), zaštitna oprema i dokumentacija s nominalnim vrijednostima i tolerancijama.

Prvi korak je vizualna inspekcija valjaka kako bi se uočili znakovi habanja, pukotina, deformacija ili drugih oštećenja. Posebnu pažnju treba obratiti na radne površine valjaka, jer su one najviše podložne trošenju. Također, treba provjeriti nosače valjaka i vijčane spojeve za labavljenje ili oštećenja. Nakon vizualne inspekcije, koristi se mjerni kalibar ili mikrometar za mjerenje promjera valjaka na različitim točkama. Izmjerene vrijednosti uspoređuju se s nominalnim vrijednostima novog valjka prema specifikacijama proizvođača, s posebnim fokusom na radne dijelove valjka koji su u kontaktu s materijalom. Ravnomjernost habanja je važna jer neujednačeno habanje može ukazivati na probleme s poravnanjem ili neravnomjernim opterećenjem.

Provjera poravnatosti valjaka slijedi nakon mjerenja. Koriste se ravnala, libele ili specijalizirani alati za provjeru poravnatosti valjaka kako bi se osigurala ravnomjernost opterećenja i pravilno funkcioniranje. Provjerava se i paralelnost valjaka u odnosu na ležajeve i druge kritične dijelove mlina. Ako su valjci previše istrošeni ili oštećeni, zamijenite ih novima, pri čemu je važno koristiti originalne dijelove ili dijelove u skladu sa specifikacijama proizvođača. Pratite upute proizvođača za pravilnu montažu i pričvršćivanje valjaka.

Nakon zamjene ili ponovnog postavljanja valjaka, provjerite balansiranje rotora. Neuravnotežen rotor može uzrokovati vibracije i ubrzano habanje ostalih dijelova mlina,

pa se koriste balansirajući uređaji ili profesionalne usluge balansiranja. Sve rezultate inspekcije, mjerenja i zamjena treba zabilježiti. Praćenje učestalosti zamjene i habanja valjaka omogućava planiranje preventivnog održavanja i zamjena u budućnosti.

Redovita kontrola i održavanje valjaka mlina osiguravaju da mlin radi s maksimalnom učinkovitosti i minimalnim zastojećima. Time se produžuje vijek trajanja mlina, smanjuju troškovi održavanja i poboljšava sigurnost rada. Pravovremeno otkrivanje i rješavanje problema s valjcima može spriječiti ozbiljnije kvarove i osigurati dosljednu kvalitetu mljevenog materijala. Redovita inspekcija također omogućava optimalno planiranje održavanja, što može dodatno smanjiti operativne troškove i povećati pouzdanost opreme.



Slika 4.6.3.1. Ravnalo za mjerenje istrošenosti valjka [9]



Slika 4.6.3.2. Postupak mjerenja istrošenosti valjka [9]

Tablica 5: Tablica mjerenja istrošenosti valjka [9]

Točka	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	4	23	42	50	60	65	47	1
2	0	2	11	25	29	40	51	39	4
3	0	2	12	28	32	44	57	40	2

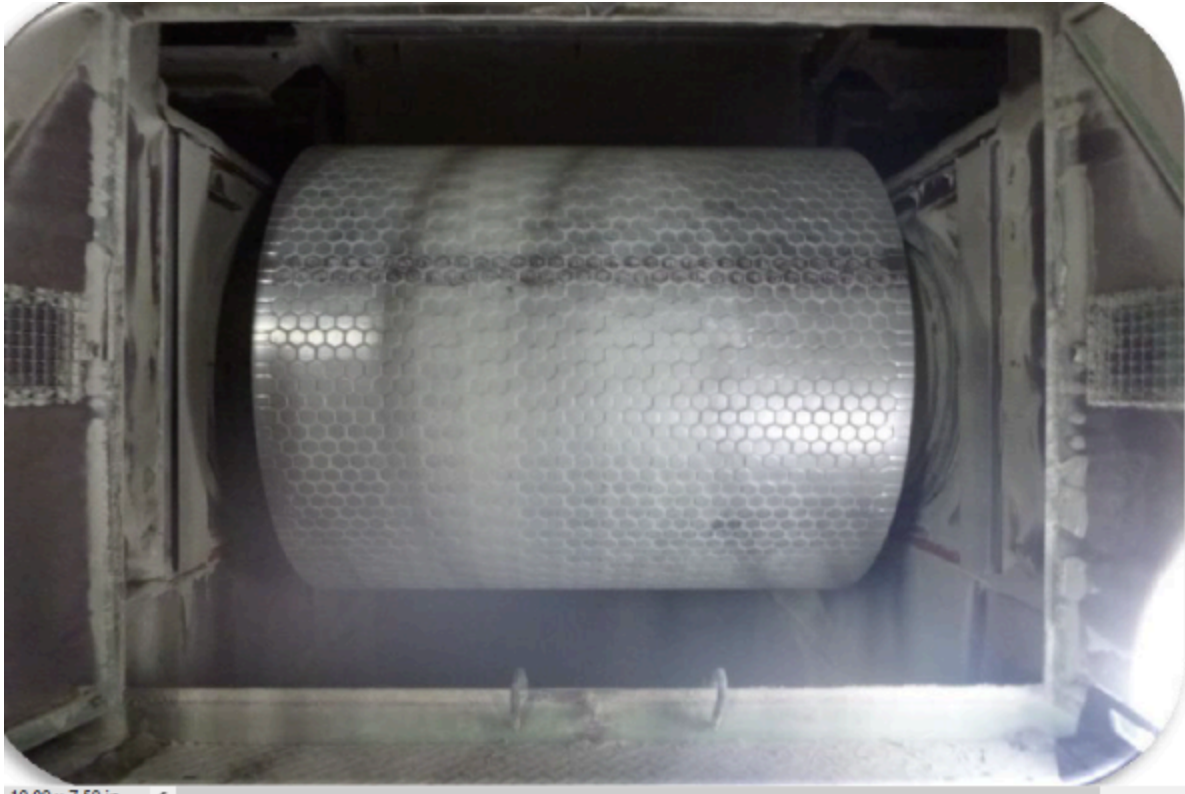


Slika 4.6.3.3. Valjak mlina

4.6.4. Mjerenje istrošenosti valjka valjkaste preše

Prvi korak je vizualna inspekcija valjaka kako bi se uočili znakovi habanja, pukotina, deformacija ili drugih oštećenja. Posebnu pažnju treba obratiti na radne površine valjaka, jer su one najviše podložne trošenju. Također, treba provjeriti nosače valjaka i vijčane spojeve za labavljenje ili oštećenja. Nakon vizualne inspekcije, koristi se mjerni kalibar ili mikrometar za mjerenje promjera valjaka na različitim točkama. Izmjerene vrijednosti uspoređuju se s nominalnim vrijednostima novog valjka prema specifikacijama proizvođača, s posebnim fokusom na radne dijelove valjka koji su u kontaktu s materijalom. Ravnomjernost habanja je važna jer neujednačeno habanje može ukazivati na probleme s poravnanjem ili neravnomjernim opterećenjem.

Provjera poravnatosti valjaka slijedi nakon mjerenja. Koriste se ravnala, libele ili specijalizirani alati za provjeru poravnatosti valjaka kako bi se osigurala ravnomjernost opterećenja i pravilno funkcioniranje. Provjerava se i paralelnost valjaka u odnosu na ležajeve i druge kritične dijelove preše. Ako su valjci previše istrošeni ili oštećeni, zamijenite ih novima, pri čemu je važno koristiti originalne dijelove ili dijelove u skladu sa specifikacijama proizvođača. Pratite upute proizvođača za pravilnu montažu i pričvršćivanje valjaka.



Slika 4.6.4.1. Valjak valjkaste preše [9]



Slika 4.6.4.2. Ravvalo za mjerenje [9]

Tablica 6: Tablica mjera [9]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nepomični	97,0	102,9	104,8	102,9	103,2	104,4	103,9	104,9	104,8	97,6
Pomični	97,0	101,8	103,0	103,1	102,9	102,8	103,1	102,9	102,6	97,6

Iz tablice mjera može se vidjeti kako je početna mjera uvijek ista. To je važno kako bi se dobili vjerni rezultati, osiguravajući dosljednost i pouzdanost u procesu mjerenja. Dosljedna početna mjera omogućuje preciznu usporedbu između različitih inspekcija i stanja istrošenosti valjaka tijekom vremena. Time se osigurava da su sva mjerenja temeljena na istim osnovnim uvjetima, eliminirajući varijabilnost koja bi mogla nastati zbog promjena u početnim postavkama. Ova praksa omogućuje točno praćenje habanja i pravovremeno planiranje održavanja, što pridonosi optimalnom radu preše i produženju vijeka trajanja opreme.

5. Zaključak

Zaključno, redovita kontrola i mjerenje istrošenosti ključnih komponenti poput valjaka mlina, valjkaste preše i čekića drobilice, od vitalne su važnosti za osiguranje optimalnog rada i dugovječnosti opreme. Ovi postupci mjerenja uključuju nekoliko koraka. Prvo, priprema – prije nego što se započne s kontrolom, potrebno je osigurati da je oprema isključena i da su svi pokretni dijelovi potpuno zaustavljeni kako bi mjerenje bilo sigurno. Priprema uključuje i osiguranje potrebnih alata poput mjernih instrumenata (kalibar, mikrometar), zaštitne opreme i dokumentacije s nominalnim vrijednostima i tolerancijama.

Zatim slijedi vizualna inspekcija – pregledavanje valjaka ili čekića za očite znakove habanja, pukotina, deformacija ili drugih oštećenja. Posebna pažnja posvećuje se radnim površinama, jer su one najviše podložne trošenju. Također, nosači i vijčani spojevi se provjeravaju zbog labavljenja ili oštećenja. Nakon toga dolazi mjerenje habanja – mjerenje promjera ili debljine komponenti na različitim točkama koristeći precizne instrumente poput kalibara ili mikrometara. Izmjerene vrijednosti uspoređuju se s nominalnim vrijednostima novih dijelova prema specifikacijama proizvođača. Poseban fokus je na radnim dijelovima koji su u kontaktu s obrađivanim materijalom. Provjera ravnomjernosti habanja je ključna jer neujednačeno habanje može ukazivati na probleme s poravnanjem ili neravnomjernim opterećenjem.

Nadalje, provjerava se poravnanoost i balansiranje. Koriste se ravnala, libele ili specijalizirani alati za provjeru poravnanoosti kako bi se osigurala ravnomjernost opterećenja i pravilno funkcioniranje. Neuravnotežen rotor može uzrokovati vibracije i ubrzano habanje ostalih dijelova preše, stoga se balansiranje provodi nakon zamjene ili ponovnog postavljanja valjaka ili čekića, koristeći balansirajuće uređaje ili profesionalne usluge balansiranja. Ako su valjci ili čekići previše istrošeni ili oštećeni, zamjenjuju se novima. Prilikom zamjene, važno je koristiti originalne dijelove ili dijelove u skladu sa

specifikacijama proizvođača. Pratite upute proizvođača za pravilnu montažu i pričvršćivanje komponenti.

Konačno, sve rezultate inspekcije, mjerenja i zamjena treba zabilježiti. Praćenje učestalosti zamjene i habanja omogućava planiranje preventivnog održavanja i zamjena u budućnosti. Uz osnovne inspekcije, primjena naprednih tehnika poput termografije, vibrodijagnostike, spray testova, kontrole elevatora, analize ulja i mjerenja curenja zraka dodatno osigurava cjelovitu sliku stanja opreme.

Termografija se koristi za otkrivanje temperaturnih anomalija koje mogu ukazivati na pregrijavanje ili nepravilno podmazivanje. Vibrodijagnostika pomaže u identifikaciji problema s balansiranjem, poravnanjem i stanjem ležajeva kroz analizu vibracija. Spray testovi, posebno na mlinovima cementa ili ugljena, provjeravaju efikasnost raspodjele ulja i drugih tekućina. Kontrola elevatora, uključujući mjerenje tvrdoće trake i stanja lanca, osigurava pravilno funkcioniranje transportnih sustava. Analiza ulja otkriva kontaminaciju i habanje unutar strojeva kroz ispitivanje uzoraka ulja. Mjerenje curenja zraka s kamerom otkriva mjesta gdje dolazi do gubitka komprimiranog zraka, što poboljšava energetske učinkovitost.

Redovita kontrola i održavanje svih ovih komponenti osiguravaju da oprema radi s maksimalnom učinkovitošću i minimalnim zastojećima. Time se produžuje vijek trajanja opreme, smanjuju troškovi održavanja i poboljšava sigurnost rada. Pravovremeno otkrivanje i rješavanje problema s ovim komponentama može spriječiti ozbiljnije kvarove i osigurati dosljednu kvalitetu obrađenog materijala. Redovita inspekcija također omogućava optimalno planiranje održavanja, što može dodatno smanjiti operative troškove i povećati pouzdanost opreme.

Izvori

- [1] Majdandžić N.: Strategije održavanja i informacijski sustavi održavanja, Sveučilište u Osijeku, Slavonski Brod; 1999.
- [2] Vibration Analysis Explained | Reliable Plant
- [3] Lisjak D.: Održavanje, nastavni materijal, FSB; 2020.
- [4] Lisjak D.: Održavanje, nastavni materijal, FSB; 2020.I
- [5] FLIR termalna kamera / infracrvena termografija - ANTITECK
- [6] Vrućasta groznica, bez kontakta Laserski toplomjer, infracrveni termometar
- [7] Sullivan G.P., Melendez A.P., Pugh R., Hunt W.D.: O&M Best Practices Guide Version 2.0., U.S. Department of Energy; 2004.
- [8] Filtriranje ulja i HFC medija - Domes
- [9] Interni dokumenti tvrtke Holcim d.o.o.
- [10] CMDT 391-K-SL SKF QuickCollect sensor (uređaj za mjerenje vibracija) - Shop CLK Interpromet
- [11] FLIR T560 Thermal Camera for Science Applications
- [12] High performance infrared thermometer TKTL 31 | SKF
- [13] Fluke ii900 Industrial Acoustic Imager, 2 to 52 kHz, 1280 x 800
- [14] Grommet Tools - Tools & Hardware - Awning
- [15] Winter K.:Mjerenje vibracija, nastavni materijal