

MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA

Uređuje: Nenad Bolf



S. Štrbac^{a*} i D. Dobranović^{b**}

^a Belmet97 d. o. o.,
Hrvatskog proljeća 34, 10 040 Zagreb
^b Mind Ability d. o. o., Goljak 16, 10 000 Zagreb

Upravljanje stanjem opreme ultrazvukom

Pregledi i dijagnostika opreme u ultrazvučnom području karika je koja nedostaje u industriji, a dodana vrijednost koju ultrazvuk donosi su jednostavnost i fleksibilnost. Napredak tehnologije neprestano usavršava tu metodu nadzora stanja. Ultrazvučni nadzor primjenjuje se kako bi se zaustavilo rasipanje energije na izvoru u programima energetske učinkovitosti, kao i održavanje projektirane pouzdanosti i kvalitete kontinuiranim nadzorom.

Probleme podmazivanja prepoznali su vodeći proizvođači ležaja, elektromotora i srodne opreme kao osnovni razlog nepouzdanosti, kvarova i zastoja u proizvodnji. Istraživači, tvrtke i znanstvene institucije razvijaju sve bolja maziva i sustave podmazivanja, no često se zanemaruju ili izostavljaju aktivnosti provedbe podmazivanja, kontrole radnih uvjeta, edukacije stručnjaka i osoba koji se bave tim područjem.

Rješenje za pravilno podmazivanje prema stanju zasniva se na ultrazvučnim mjerenjima uz pet osnovnih pravila sustava "LubExpert"¹ prilikom provedbe podmazivanja – pravilno mazivo, adekvatna lokacija, odgovarajući interval, pravilna količina i pravilni indikatori stanja. Pridržavanjem tih pravila štedi se i povećava pouzdanost imovine, a samim time se ostvaruje nadgledanje stanja opreme, sigurnost, energetska učinkovitost i ekološki zahtjevi.

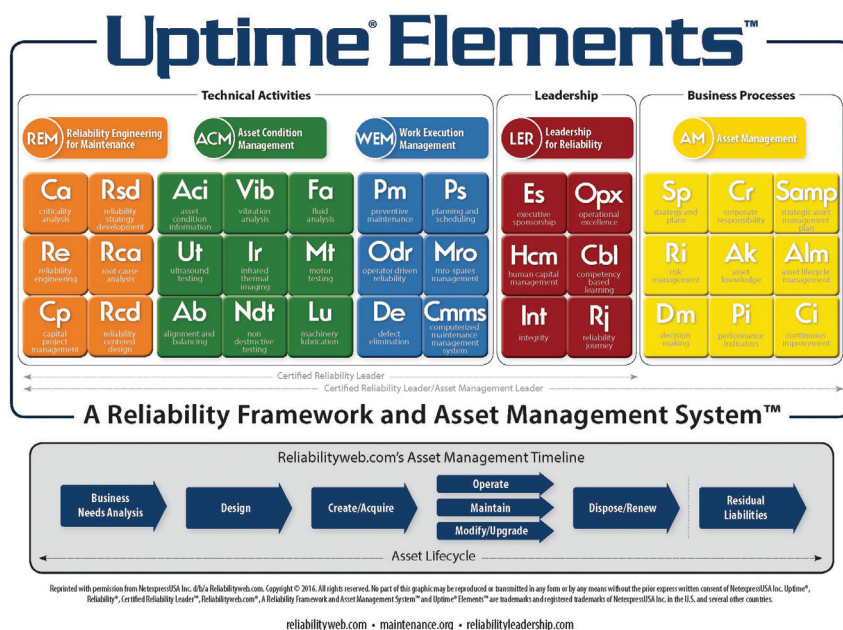
Uvod

Primjenom ultrazvučnih pregleda postiže se djelotvornost i pouzdanost opreme i strojeva. Europski savez održavatelja (*European Federation of National Maintenance Societies – EFNMS*) osigurava najvišu razinu znanja u održavanju i upravljanju imovinom u svim europskim zemljama, a u Hrvatskoj pod okriljem Hrvatskoga društva održavatelja – HDO (<http://www.hdo.hr/hdo-skupovi/esuo/289-pocinju-prijave-za-certifikacijski-ispit-u-generaciji-esuo-2019.html>).² Mobius Institute provodi izobrazbe "Asset reliability practitioner – ARP" (<https://www.mobiusinstitute.com/arp>), dok ReliabilityWeb provodi program "Certified Reliability Leader – CRL" (<https://reliabilityweb.com/>). Zajednički je nazivnik svih programa kvaliteta i povratak fokusa na stručnjake koji provode aktivnosti upravljanja imovinom. Slika 1 prikazuje životni ciklus imovine na kojoj se može uočiti devet cjelina (zeleno područje na slici).

Jedna od tih cjelina je ultrazvuk a norma ISO 29821³ propisuje opremu nad kojom je moguće provesti ultrazvučni pregled kao i vrste

nepravilnosti. Nepravilnosti su klasificirane u sljedeće tri veće grupe koje se mogu nadzirati prilikom ultrazvučnih inspekcija, nadzora stanja i dijagnostike:

- **propuštanja** na izmjenjivačima topline, bojlerima, kondenzatorima, ventilacijskim sustavima, sustavima plinova pod tlakom, ventilima, odvajачima kondenzata, pumpama, transformatorima i generatorima;
- **mehaničke nepravilnosti** na motorima, pumpama, ozubljenjima, reduktorima, ventilatorima, kompresorima, pokretnim trakama, transformatorima, rasklopištima, prekidačima, turbinama, generatorima, pri podmazivanju, sporohodnim i brzohodnim ležajevima;
- **električne nepravilnosti** kod transformatora, rasklopišta, spojnih kutija, prekidača i generatora.



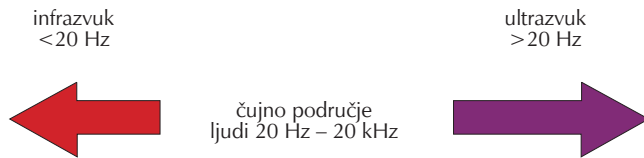
Slika 1 – Pristup održavanju procesne opreme i strojeva

* Stevo Štrbac, e-pošta: stevo.strbac@belmet97.hr

** Danko Dobranović, e-pošta: danko@mindability.eu

Ultrazvuk za praćenje stanja opreme

Ultrazvuk je mehanički val koji opisuje područje frekvencija iznad praga čujnosti ljudskog uha od 20 kHz (slika 2).

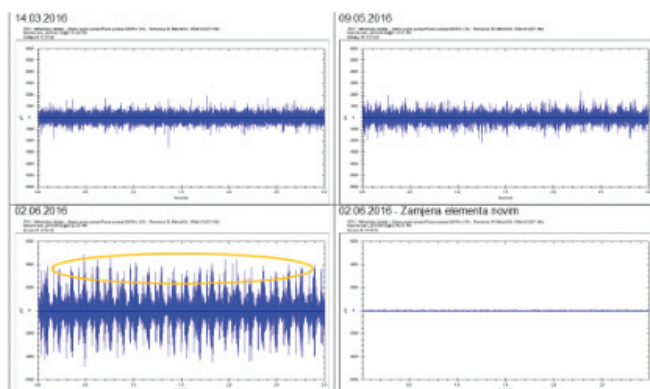


Slika 2 – Frekvencijska područja zvuka

Fizikalne pojave koje se javljaju u procesnoj opremi (trenje, turbulencija, udari, kavitacija, eksplozija, implozija, parcijalna pražnjenja i ionizacija) imaju izražene karakteristike na ultrazvučnim frekvencijama. Kako bi se ultrazvuk mogao čuti, primjenjuje se heterodina transformacija koja omogućava slušanje ultrazvučnih događaja na izabranoj frekvenciji.

Ultrazvuk se, kao i druge metode praćenja stanja, primjenjuje za otkrivanje informacija koje se nalaze “ispod površine” i koje utječu na djelovanje procesne opreme i strojeva.⁴ Da bi se ostvarila ponovljivost mjerenja, većina ultrazvučnih detektora radi na određenoj frekvenciji (npr. 38,4 kHz), a kako bi se mogla pratiti progresija intenziteta, potrebno je poznavati referentnu vrijednost dB skale ultrazvučnih instrumenata.

Isto tako, većina tih detektora primjenjuje četiri indikatora stanja ultrazvuka od kojih se tri mjere (*RMS*, *Max-RMS*, *Peak*), dok se četvrti proračunava (*Crest factor* – omjer *Peak/RMS*). *RMS* prikazuje energiju signala za cijeli vremenski interval snimanja te najbolje predstavlja trenje. *Max-RMS* prikazuje stabilnost signala jer se računa za konstantan vremenski interval te u kombinaciji s *RMS*-om daje jasan uvid u stanje prijelaznih pojava u odvajaju kondenzata. *Peak* predstavlja vršnu vrijednost tijekom snimanja te najbolje predstavlja udarce, kavitaciju i parcijalna pražnjenja. *Crest factor* nam omogućava numerički uvid u grubost elementa koji se ispituje. S ta četiri parametra moguće je jednostavno pratiti stanje opreme i uređaja te postaviti alarme upozorenja, što doprinosi jednostavnosti, fleksibilnosti i pouzdanosti u programu nadzora stanja opreme. Na slici 4 prikazana je usporedba ultrazvučnih signala na istoj poziciji kod četiri stroja koji imaju istu funkciju i koji su pod istim opterećenjem, no jedan je oštećen. Na slici 5 prikazani su dinamički (vremenski) signali ultrazvuka u opremi s oštećenjem. Također je vidljivo kako se tijekom vremena oštećenje povećava sve do servisa.



Slika 5 – Signal ultrazvuka tijekom vremena

Tvrtka Mind Ability d. o. o. u suradnji s tvrtkom Belmet97 d. o. o. promovira ultrazvučna rješenja tvrtke SDT International (<https://sdtultrasound.com/>) te provodi ultrazvučnu dijagnostiku u industriji i stanja opreme putem osam aplikacija prikazanih na slici 3 u kombinaciji s vibracijama, termografijom i vizualnim pregledom. Ultrazvučna metoda savršeno se uklapa i upotpunjuje s ostalim metodama nadzora stanja i zapažanjima osoblja kako bi se kvalitetnije pratilo stanje imovine.

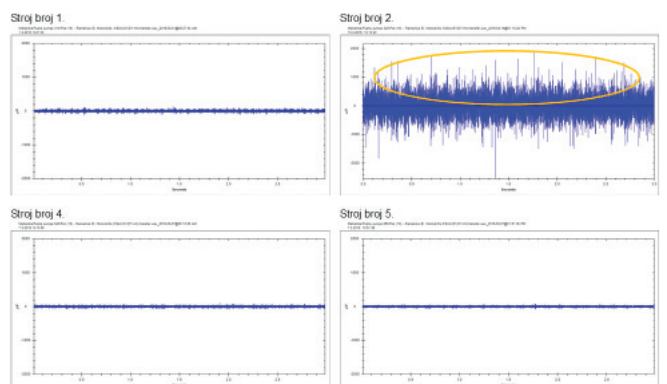
 <p>MEHANIČKE Otkrijte nepravilnosti u bilo kojem mehaničkom sustavu.</p>	 <p>PROPUŠTANJA Pronađite propuštanje tlaka i vakuuma u bučnim uvjetima.</p>	 <p>PODMAZIVANJE Izbjegnite pretjerano ili nedovoljno podmazivanje. Podmazujte ležajeve pravilno.</p>	 <p>ELEKTRIČNE Inspekcija visokonaponskih i sredjenaponskih sistema zbog pojava električnih lukova, puznih struja i korone.</p>
 <p>VENTILI Provjerite brtvljenje ventila</p>	 <p>PARA Otkrijte neispravne odvajanje kondenzata i komponente koje propuštaju.</p>	 <p>HIDRAULIKA Riješite detekciju problema propusnosti ili začepljenosti bilo kojeg hidrauličnog sustava</p>	 <p>NEPROPUSNOST Ođredite nepropusnost bilo kojeg zatvorenog prostora</p>

Slika 3 – Primjena ultrazvučnih metoda u industriji

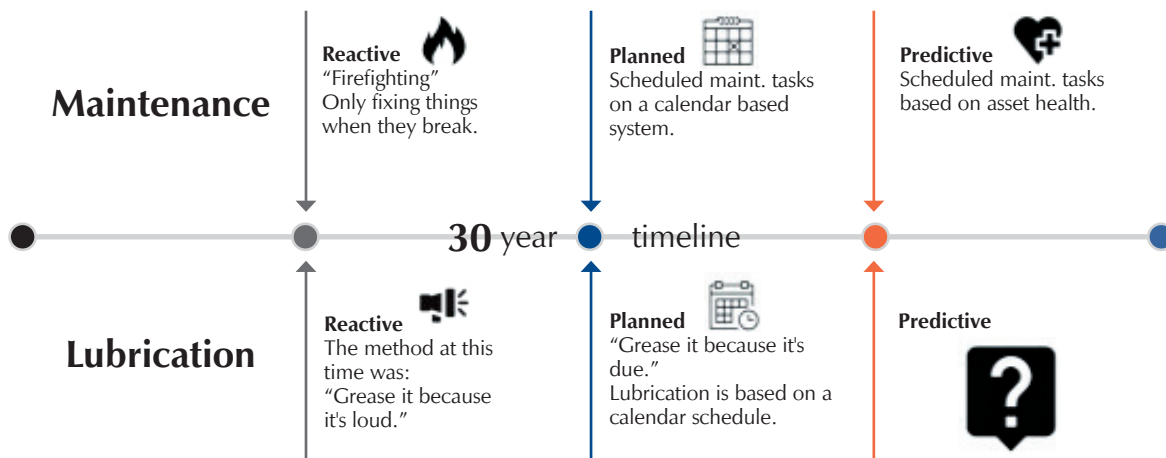
Ultrazvuk za podmazivanje shodno stanju opreme

Trenje je jedan od važnih čimbenika u gibanju. Problemi s podmazivanjem prepoznati su kao osnovni razlog nepouzdanosti pokretnih dijelova strojeva. Zato se i velik dio znanstvene zajednice i inženjera trudi usavršiti ulja i maziva, automatizirati procese podmazivanja i pojednostaviti primjenu statističkim modelima. Napredak i raznolikost novih rješenja je impresivan, a posljedica toga je da nadzor stanja i dijagnostika daju uvid u stanje procesne opreme i predviđanje daljnjih događanja, dok se u podmazivanju stalo na vremenskom intervalu (prikazano na slici 6). Napredak ultrazvučne tehnologije omogućava podmazivanje prema stanju i predikciju, ali puni potencijal ultrazvuka u podmazivanju još nije dostignut.

Osnovna funkcija lubrikanata je smanjiti trenje, ali optimalnu količinu maziva nije jednostavno odrediti. Osobito ne za svaki pojedini stroj, uvjete rada i postupanje sa strojem. Čak i kada postoji ozbiljniji pristup podmazivanju, pojavljuju se administrativne



Slika 4 – Signal ultrazvuka na četiri stroja



Slika 6 – Napredak održavanja s usporedbom prema praksi podmazivanja

prepreke koje usporavaju uvođenje ultrazvučnog nadzora. Upute proizvođača temeljene su na statistici, kao i većina programa planiranih aktivnosti, a rijetko kada su u skladu sa stvarnim stanjem i režimima u kojima oprema radi (slika 7).



Slika 7 – Primjer pločice s uputom proizvođača

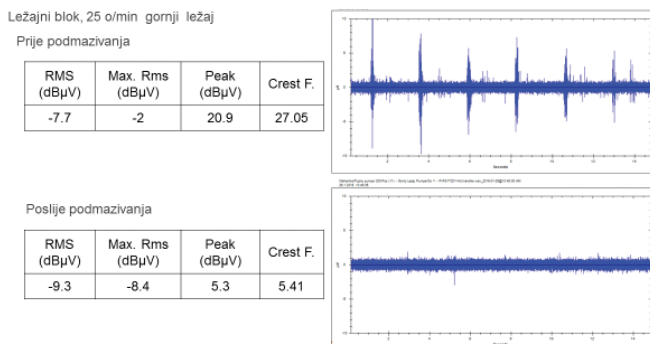
Na temelju iskustva može se zaključiti da se projektirani parametri razlikuju od stvarnog režima rada. Tako, na primjer, dostavna traka koja obično radi povremeno u jednoj smjeni nakon povećanja opsega poslova počinje raditi kontinuirano u tri smjene. Ako se podmazivanje ne promijeni zbog promjene uvjeta u kojem oprema radi, to će potihlo dovesti do smanjenja pouzdanosti, sigurnosti i ekonomičnosti iako smo se držali preporuka proizvođača opreme i zakonske regulative. Slika 8 prikazuje redovito podmazivan stroj po programu preventivnog održavanja.



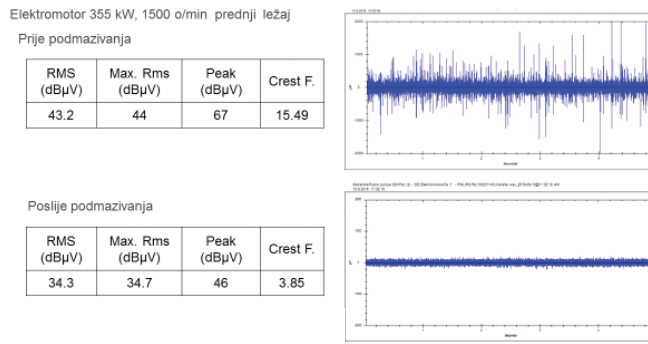
Slika 8 – Podmazivanje u planiranim intervalima

U prošlosti se često javljao problem nepodmazanih (suhih) strojeva, dok se u današnje vrijeme javlja problem previše podmazivanja. Obično je navedena količina maziva koja je potrebna za podmazivanje, a radnici, da bi bili sigurni, dodaju još jedan ili dva pritiska. Ultrazvučnom metodom optimizira se podmazivanje na temelju statističke analize, bez obzira radi li se o ručnom ili automatskom podmazivanju. Trenje i udarci generiraju ultrazvuk koji je veći ako podmazivanje nije optimalno. Slike 9 i 10 prikazuju stanje prije i poslije podmazivanja.

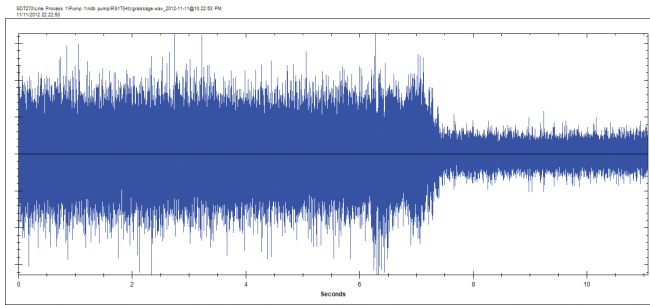
Mjerni instrumenti na osnovi ultrazvuka zorno pokazuju smanjenje li se trenje prilikom dodavanja maziva (slika 11) i nepromijenjeno stanje bez obzira na dodanu količinu maziva (slika 12). Povećavanje trenja dodavanjem maziva prikazuje slika 13, dok



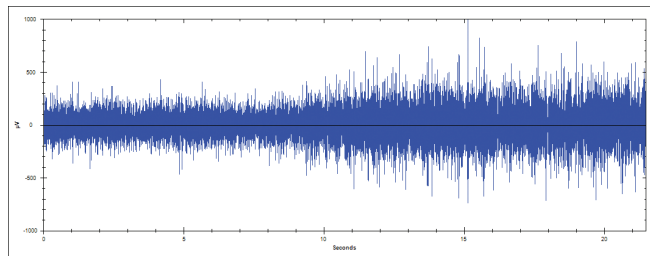
Slika 9 – Dinamički signal, statistički podatci prije i poslije podmazivanja (ležajni blok)



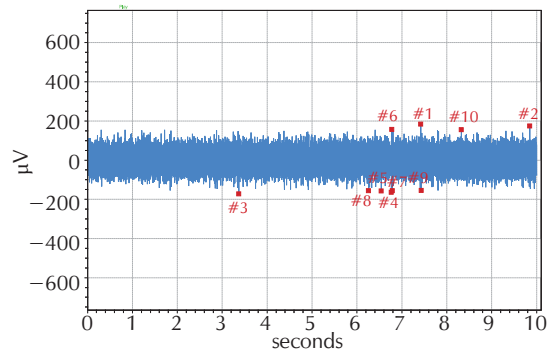
Slika 10 – Dinamički signal, statistički podatci prije i poslije podmazivanja (elektromotor)



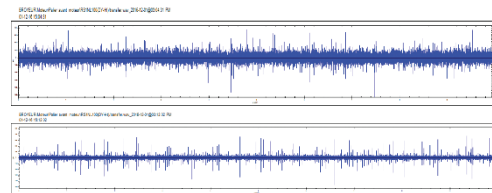
Slika 11 – Dobar interval i količina maziva



Slika 13 – Pogrešan interval, previše maziva



Slika 12 – Bez promjene tijekom podmazivanja



Slika 14 – Gornji graf prije podmazivanja, donji nakon podmazivanja oštećenog ležaja

slika 14 prikazuje dobro podmazan, ali oštećen ležaj (gornji graf prikazuje ležaj prije podmazivanja, dok donji predstavlja stanje nakon podmazivanja). Oštećeni ležaj potrebno je zamijeniti ili planirati zamjenu jer se nakon podmazivanja vidi smanjenje trenja uz udarce oštećenja koji su ostali isti.

Ultrazvučni mjerni instrumenti vjerojatno su najbolji za praćenje stanja podmazivanja iako njihova primjena često nije adekvatna zbog nedostatne edukacije osoblja koje provodi poslove upravljanja, održavanja, podmazivanja i ispitivanja.

Nove tehnologije otvaraju nove mogućnosti (npr. uzorkovanje do 256 000 puta u sekundi, slika 15). SDT International znanstvenim je pristupom ostvario sveobuhvatno tehnološko ultrazvučno rješenje SDT340 i programsku podršku UAS4.0.⁵ Održavatelji stoga, uz mogućnost praćenja stanja strojeva i opreme, imaju programsku podršku za izradu baza, analiza i izvještaja, koji im olakšavaju vođenje kroz pouzdanost. Kroz programsku podršku mogu se postaviti alarmi na svaki pojedini indikator kako bi se aktivnost podmazivanja odradila prema potrebi i stanju imovine, odnosno kako bi funkcija lubrikanta bila optimalna za trenutačno stanje.

Slika 16 prikazuje dio programskog sučelja kojim se prati stanje, analizira i vodi baza podataka.



Slika 16 – SDT340 i UAS4.0

Diskusija i zaključak

Prema mišljenju autora, ultrazvuk u praćenju stanja imovine i podmazivanja nije dovoljno zastupljen u industrijskoj primjeni.

Uvođenje metode ultrazvuka za nadzor stanja i dijagnostiku moguće je demonstrirati u pogonu pokaznim mjerenjima ili provedbom cjelovitih pregleda ultrazvukom, vibracijama i termografijom uz vizualnu dokumentaciju. Na temelju toga moguće je izraditi studiju isplativosti primjene ultrazvučne metode.

- Unaprijedite produktivnost na terenu pomoću vremenskog signala na zaslonu, spektra, pregleda u pojedinačnom zaslonu i navigacije pomoću ikona.
- Iskusite unaprijedeno otkrivanje udarača pomoću focus moda. Uočite kvarove koje drugi jednostavno ne mogu uočiti.
- Pomaknite i zurnajte vaš vremenski signal ili spektar, uz prikaz najviših vrijednosti kako biste unaprijedili dijagnozu na terenu.
- Oslobodeni od žica uz Bluetooth slušalice visoke definicije i SDT340.
- Uz više od 4 GB prostora za pohranu, snimajte podatke dulje na sporohodnim strojevima, bez brige o nedostatku memorije.

- Zaslou u boji od 3.5" pruža vam kristalno jasnu sliku u najmračnijim uvjetima.
- Snimajte podatke do 10 minuta u vremenskoj rezoluciji signala.
- Podijelite se podataka iz prošlosti za lakše praćenje progresije i alarmiranje tijekom prikupljanja podataka na terenu.
- Intuitivno sučelje UAS4.0 omogućuje prikupljanje podataka u „off-route“ modu.
- Uživate u unaprijedenoj rezoluciji signala s brzinom uzorkovanja do 256k tijekom focus moda.

Slika 15 – SDT340 nova generacija mjernog instrumenta

Literatura

1. SDT International, Ultrasound Solutions – LubExpert, URL: <https://sdtultrasound.com/news/sdt-lubexpert-launch> (25. svibnja 2019.).
2. HDO – Hrvatsko društvo održavatelja, URL: <http://www.hdo.hr/hdo-skupovi/esuo/289-pocinju-prijave-za-certifikacijski-ispitu-generaciji-esuo-2019.html> (25. svibnja 2019.).
3. ISO 29821 – ISO 29821-1:2011 Condition monitoring and diagnostics of machines – Ultrasound – Part 1: General guidelines.
4. D. Dobranović, Upravljanje stanjem imovine počiva na mjernim metodama, http://www.crsntdjournal.hdkbr.hr/wp-content/uploads/2016/06/HDKBR16_web.pdf, svibanj 2017.
5. SDT International, Ultrasound Solutions, URL: <https://sdtultrasound.com/> (25. svibnja 2019.).
6. A. Watkins, TEDxPortsmouth, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=q06YIWCR2Js>, svibanj 2017.