

Izzivi oddaljenega spremljanja stanja hidravličnih olj

VITO TIČ & DARKO LOVREC

Povzetek Zagotavljanje ustrezne kakovosti hidravličnega olja ter ustrezno predvidevanje menjave polnitve je ključnega pomena za stabilno in nemoteno obratovanje mnogih industrijskih naprav. Pri tem nam največjo mero zanesljivosti vsekakor ponuja stalno spremljanje stanja hidravličnih olj, ki se običajno vrši oddaljeno s pomočjo sodobnih senzorjev.

Kljub temu pa razvoj in implementacija takšnega sistema predstavlja svojevrstni izziv, saj je merjenje stanja olja veliko bolj zapleteno, kot merjenje običajnih obratovalnih parametrov, kot sta na primer tlak ali temperatura.

Ključne besede: • hidravlično olje • kakovost • oddaljeno spremljanje
• menjava olja • sodobni senzorji •

NASLOV AVTORJEV: dr. Vito Tič, docent, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija, e-pošta: vito.tic@um.si. dr. Darko Lovrec, izredni profesor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija, e-pošta: darko.lovrec@um.si.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.15>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 Univerzitetna založba Univerze v Mariboru

Dostopno na: <http://press.um.si>.

1 Uvod

Zaradi vedno večje dostopnosti on-line senzorjev za merjenje lastnosti maziv, so naše zadnje razvojne aktivnosti usmerjene v on-line nadzor stanja maziv ter posredno strojev, kjer so vgrajena. Sistemi za nadzor stanja maziv na daljavo imajo mnogo prednosti pred konvencionalnimi rešitvami. Ker gre za nenehni nadzor stanja maziva v realnem času, lahko sistem zazna tudi nenadna poslabšanja stanja in sproži alarmno obvestilo, še preden pride do nastanka katastrofalnih posledic. Vgradnja sodobnega on-line sistema za nadzor stanja maziva uporabniku zagotavlja najvišjo stopnjo zanesljivosti obratovanja ter mu omogoča zmanjševanje okvar na stroju, podaljševanje vzdrževalnih ciklov in intervalov menjav maziv.

Kot smo že omenili, je največja prednost on-line analiz, v primerjavi s klasičnimi laboratorijskimi analizami, njihova kontinuirana meritev in zanesljivo odkrivanje nenadnih oz. nepredvidljivih dogodkov, saj je napaka odkrita tako rekoč v realnem času. Naslednja prednost je beleženje trenda meritev, saj se običajno pri izvajanju on-line analiz za zajemanje podatkov uporabljajo avtomatizirani sistemi, ki hranijo tudi zgodovino rezultatov meritev [1].

On-line spremljanje stanja ima seveda tudi svoje omejitve, med katerimi je potrebno izpostaviti predvsem omejeno število senzorjev oz. veličin, ki jih lahko spremljamo. Prav tako se parametri, ki jih merimo z on-line senzorji, običajno razlikujejo od parametrov, ki jih določamo z laboratorijskimi analizami, zato neposredna primerjava med njimi ni mogoča. Nenazadnje, pa je za interpretacijo meritev običajno potrebno izvesti kalibracijo senzorjev, ki je veljavna le za posamezno vrsto hidravlične tekočine [1].

Zaradi omenjenih omejitev je on-line spremljanje stanja hidravličnih tekočin, za razliko od meritev tlaka ali temperature, veliko bolj kompleksno. Stanje olja namreč ni odvisno le od posameznega parametra, temveč od večih hkrati. V odvisnosti od obremenitve, vrste olja in drugih mejnih pogojev se stanje olja tudi spreminja [2].

Pri načrtovanju in izvajanju oddaljenega nadzora stanja hidravličnih naprav je za doseg kvaliteten merilnih podatkov ključnega pomena več dejavnikov, kot npr:

- izbira ustreznih senzorjev,
- ustrezna vgradnja senzorjev,
- ustrezno mesto zajemanja vzorca iz hidravličnega sistema (reprezentativnost vzorca),
- ustrezna povezava senzor – enota za zajemanje in obdelavo podatkov,
- dodatni ukrepi za izboljšanje natančnosti in verodostojnosti meritev.

Z ozirom na zgoraj navedene točke se prispevek v nadaljevanju osredotoča na predstavitev konceptov in ukrepov za doseganje ustrezne kvalitete merilnih podatkov ter izboljšanje natančnosti on-line meritev.

2 Online senzorji

V sklopu on-line spremljanja stanja hidravličnih tekočin so se do danes najbolj uveljavile meritve:

- temperature,
- relativne vlažnosti,
- viskoznosti,

- dielektrične konstante,
- električne prevodnosti,
- ter stopnje čistosti.

Omenjene metode ter pripadajoče senzorje smo že večkrat podrobneje predstavili v različni literaturi [3–5], v glavnem pa jih delimo na dve skupini, in sicer na senzorje za zaznavanje fizikalno-kemijskih parametrov tekočine ter na števce delcev.

Pred izvedbo ukrepov za izboljšanje meritev vsekakor velja posebno pozornost posvetiti vgradnji oz. povezavi senzorskega sistema v nadzorovani hidravlični sistem, saj lahko samo mesto vgradnje senzorjev oz. mesto odvzema hidravlične tekočine močno vpliva na točnost meritev.

3 Načini vgradnje senzorjev

On-line senzorje za spremljanje stanja maziv lahko v osnovi namestimo na štiri različne načine oz. mesta, in sicer:

- v rezervoar,
- na povratni vod,
- na tlačni vod,
- ter v obtočni sistem.

3.1 Namestitev senzorjev v rezervoar

S stališča vgradnje senzorjev je največja razlika med senzorji fizikalno-kemijskih lastnosti tekočine ter med števci delcev ta, da števci delcev za svoje delovanje oz. merjenje potrebujejo določen pretok tekočine skozi senzorski element, ki običajno znaša med 30 in 300 ml/min. Zato v primeru namestitve senzorjev v rezervoar ne moremo vgraditi števca delcev. V kolikor pa sistem on-line nadzora stanja ne predvideva uporabe števca delcev, pa se priporoča vgradnja senzorjev v bližino sesalnega voda. V tem predelu rezervoarja je namreč hidravlična tekočina običajno že umirjena, ohlajena ter vsebuje minimalno količino kontaminantov (npr. zrak, trdni kontaminanti), ki lahko popačijo merilne rezultate [6].

Ostale tri opcije namestitve nam zagotavljajo pretok hidravlične tekočine skozi senzorski sistem in s tem omogočajo tudi namestitev števca delcev.

3.2 Namestitev senzorjev na povratni vod

Zajemanje tekočine na povratnem vodu se sprva zdi najbolj primerno, saj običajno zajemamo tekočino pred filtrskim elementom in s tem merimo stanje tekočine, ki je ravno prepotovala sistem in vsebuje največ kontaminantov oz. informacij o stanju sistema. Pri tem načinu namestitve se običajno izkoristi tlačna razlika na povratnem filtrskem elementu

(2 – 5 bar), ki zagotavlja pretok skozi obtočni senzorski sistem. V primeru uporabe števca delcev, pa ta majhna tlačna razlika komaj zadostuje za minimalni pretok tekočine skozi števec. Poleg tega je ta pretok nizko-tlačni ter spremenljiv glede na viskoznost in temperaturo olja ter glede na zamašenost filtrskega elementa. Ker so izvedena testiranja pokazala, da so on-line števci delcev mnogo bolj natančni pri višjih pretokih (vsaj 100 ml/min) ter višjih tlakih (nad 30 bar), montažo števca delcev na ta način odsvetujemo.

3.3 Namestitev senzorjev na tlačni vod

Pri zajemanju tekočine iz tlačnega voda potrebujemo za senzorskim blokom dodaten regulator pretoka, ki skrbi za konstanten pretok skozi senzorski sistem, ne glede na tlak, viskoznost in temperaturo olja v primarnem hidravličnem vodu. Števec delcev običajno namestimo pred regulator, s čemer je tekočina v števcu izpostavljena visokemu tlaku, ki stisne morebitne prisotne zračne mehurčke in s tem izboljša merilno natančnost in stabilnost meritev. Ker ostali senzorji fizikalno-kemijskih lastnosti običajno ne dopuščajo visokih tlakov, jih namestimo za regulator pretoka, kjer je prisoten le nizek tlak tekočine (povratni vod v rezervoar).

3.4 Namestitev senzorjev v obtočni sistem

Olje lahko zajemamo iz rezervoarja tudi s posebno črpalko in s tem ustvarimo obtočni sistem. Čeprav je takšna izvedba običajno najdražja, nam zagotavlja najboljše oz. najbolj konstantne pretočne razmere skozi senzorski sistem, kar je zlasti pomembno pri uporabi on-line števecv delcev.

Pri tem načinu namestitve se pri večjih rezervoarjih pojavlja nevarnost, da tekočino zajemamo iz »mrtvega« področja rezervoarja (kjer tekočina ne kroži, ampak miruje), kar lahko povzroči večje napake v meritvah [7].

4 Ukrepi za izboljšanje natančnosti in ponovljivosti meritev

Poleg dobrega poznavanja pretočnih razmer, tako v primarnem hidravličnem vodu, kakor tudi v senzorskem sistemu, je za doseganje kvalitetnih rezultatov on-line meritev pomembno tudi razumevanje delovanja senzorjev, skupaj z ovrednotenjem njihovih rezultatov. Z namenom razumevanja delovanja senzorjev in izboljšanja njihove merilne natančnosti smo izvedli več manjših raziskav, ki so predstavljene v nadaljevanju.

4.1 Meritev relativne vlažnosti

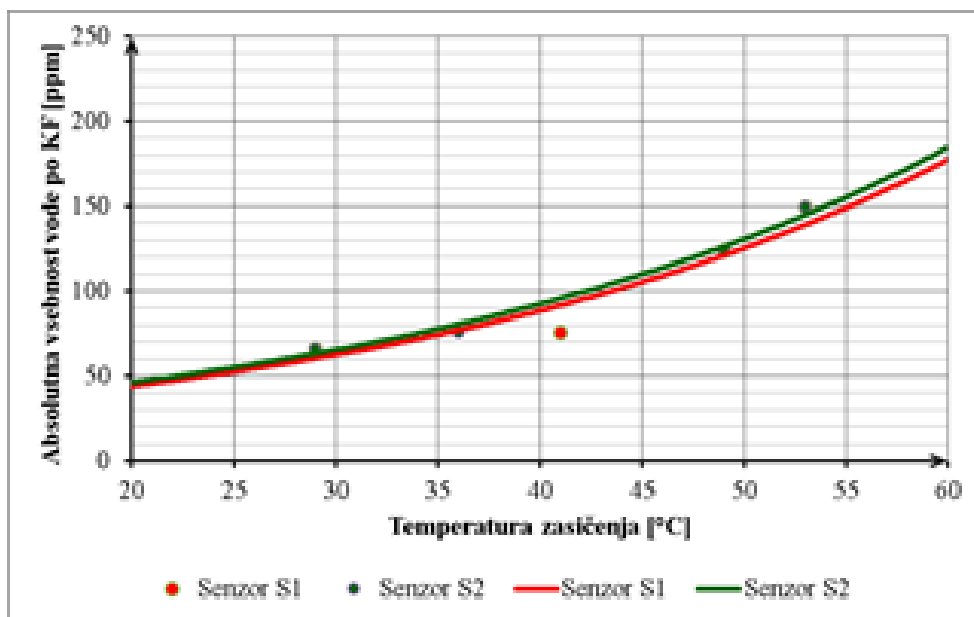
On-line senzorji zaznavajo relativno vsebnost vode v mineralnem olju, in jo podajajo v odstotkih. Olje je 100 % nasičeno tedaj, kadar vsebuje maksimalno količino vode pri določeni temperaturi in tlaku – meja zasičenja. V nasprotju pa pri klasičnih kemijskih laboratorijskih analizah olja merimo absolutno vsebnost vode po metodi Karl-Fischer, ki nam poda količino vode v utežnih odstotkih ali ppm.

Meja zasičenja lahko občutno variira glede na vrsto merjene hidravlične tekočine oz. glede na različna bazna olja in različne formulacije paketov aditivov mineralnih hidravličnih olj. Zato je smiselno opraviti testiranja, s katerimi določimo mejo zasičenosti določenega tipa olja, saj le-ta predstavlja mejo, nad katero postane vsebnost vode v hidravličnem olju škodljiva.

Določanje meje zasičenja z on-line senzorji in po Karl-Fischer metodi smo izvedli po naslednjem postopku. Enemu litru hidravličnega olja smo dodali različne količine vode. Nato smo posamezne vzorce ob segrevanju najprej pomerili z on-line senzorjema in odčitali temperature, pri katerih je posamezni senzor dosegel mejno zasičenost olja z vodo (tj., ko je senzor pokazal relativno vlažnost olja 100 %). Na omenjenih vzorcih smo nato opravili še primerjalne laboratorijske analize absolutne vsebnosti vode po Karl Fischer postopku. Rezultati meritev so prikazani v tabeli 15.1 ter na sliki 15.1.

Tabela 15.1: Rezultati meritev meje zasičenja z on-line senzorji in Karl-Fischer metodo

Vzorec	Abs. vsebnost vode po KF	Temperatura zasičenja (°C)	
		Senzor S1	Senzor S2
1	65,9	29	29
2	76,1	41	36
3	123,7	49	49
4	149,7	53	53

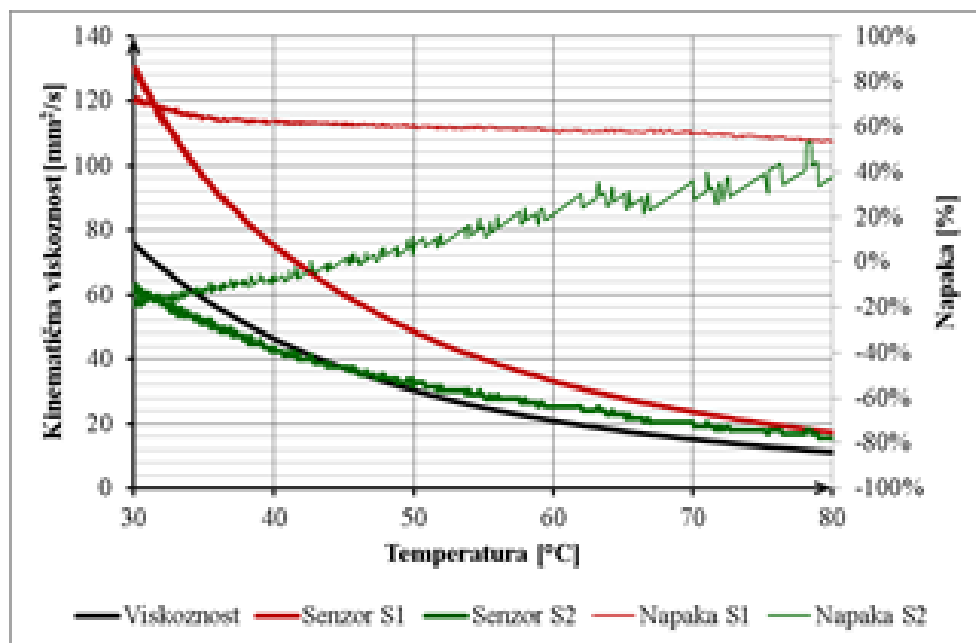


Slika 15.1: Meja zasičenja obravnavanega mineralnega hidravličnega olja z vodo

Na podlagi podatkov v tabeli 15.1 smo lahko poiskali krivuljo, ki podaja mejo zasičenja obravnavanega mineralnega hidravličnega olja z vodo (slika 15.1). Iz poteka krivulje je razvidno, da leži meja zasičenja obravnavanega olja pri delovni temperaturi od 40 do 60 °C med 90 in 180 ppm, kar je dosti nižje od še dopustne meje, ki jo običajno podajajo proizvajalci maziv (500 ppm).

4.2 Meritev viskoznosti

Viskoznost hidravlične tekočine je ena izmed njenih najpomembnejših lastnosti, ki jih je potrebno stalno nadzirati. Analizo natančnosti dveh on-line senzorjev za meritev viskoznosti olja smo opravili z mineralnim hidravličnim oljem ISO VG 46 v območju med 30 in 80 °C.



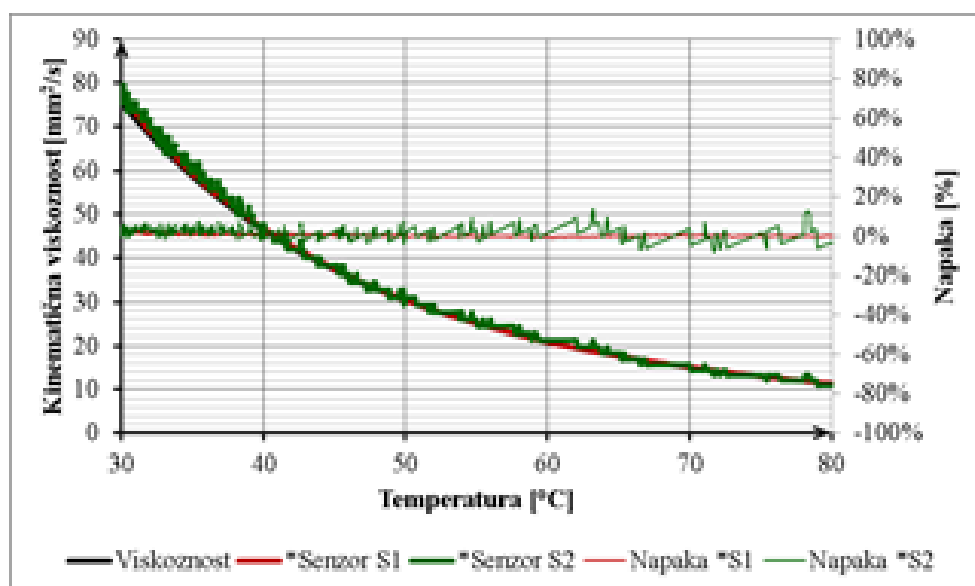
Slika 15.2: Rezultati meritev dveh on-line senzorjev viskoznosti olja

Rezultate prikazuje slika 15.2, na kateri črna črta predstavlja »dejansko« viskoznost olja, ki smo jo izmerili v kemijskem laboratoriju po postopku ASTM D 445 pri dveh karakterističnih temperaturah, tj. pri 40 in 100 °C. Kinematično viskoznost na celotnem razponu smo nato izračunali s pomočjo poenostavljene Walther enačbe, ki izvira iz standarda ASTM D341 [8]. Odebeljeni črti (rdeča in zelena) pa predstavljata izmerjene rezultate dveh on-line senzorjev.

Rezultati meritve prikazujejo močno odstopanje izmerjenih vrednosti kinematične viskoznosti senzorja S1 in senzorja S2 v primerjavi z dejansko kinematično viskoznostjo. Odstopanje je na sliki 15.2 ponazorjeno tudi v obliki relativne napake meritve (tanjši barvni črti), ki znaša pri senzorju S1 od 50 do 70 % ter pri senzorju S2 od -20 do 40 %.

Prikazano odstopanje je vsekakor preveliko in meritve s takšnima senzorjema bi bile popolnoma neuporabne. Predvidevamo, da takšna odstopanja nastanejo, ker so senzorji tovarniško kalibrirani le z določenim tipom tekočine. Natančnost meritev pa lahko močno izboljšamo, če opravimo umeritev določenega senzorja na določen tip hidravlične tekočine.

V primerjavi z dejanskimi izhodnimi vrednostmi senzorjev, ki so prikazane na sliki 15.2, so na sliki 15.3 predstavljeni rezultati meritev z upoštevanimi umerjevalnimi krivuljami. Iz slike je razvidno, da smo z umerjevalnima krivuljama, ki sta bili namensko določeni za uporabljen on-line senzor in uporabljeno hidravlično tekočino, močno izboljšali natančnost on-line meritev viskoznosti.



Slika 15.3: Rezultati meritev dveh on-line senzorjev viskoznosti olja z upoštevanjo umerjevalno krivulje za določen tip olja in senzorja

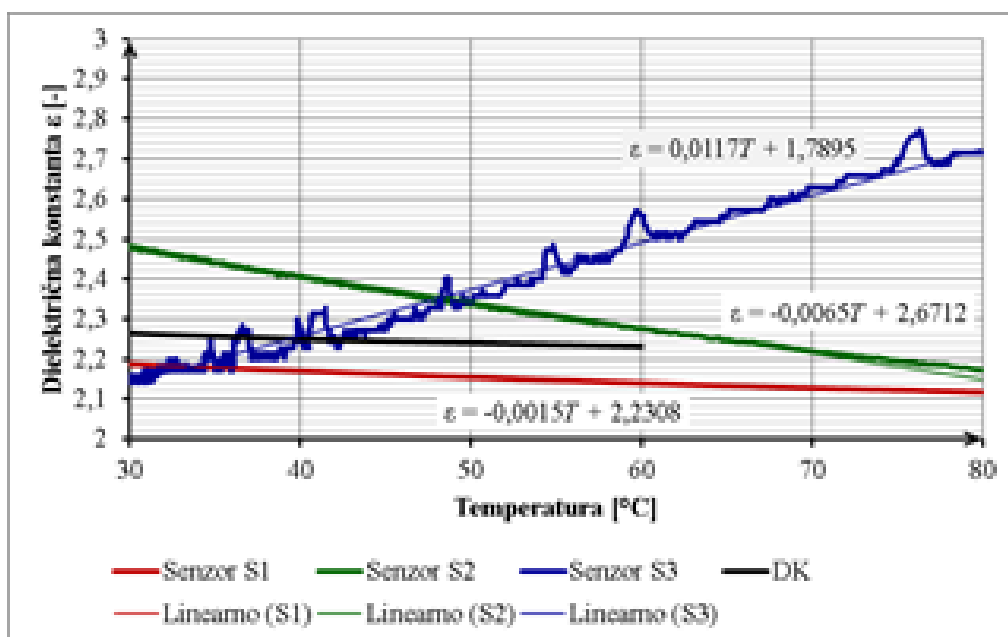
Po implementaciji umerjevalne krivulje, se relativna napaka senzorja S1 v celotnem območju giblje v območju $\pm 5\%$, medtem ko je relativna napaka senzorja S2 v predelu nižjih viskoznosti nekoliko večja zaradi zelo nizkih vrednosti izhodnih signalov in nenatančnosti uporabljene A/D kartice za zajem signala.

Poleg implementacije namenske umerjevalne krivulje za določen tip olja in določen senzor, lahko viskoznost natančneje spremljamo, če izmerjeno kinematično viskoznost pri temperaturi meritve preračunamo na viskoznost pri karakteristični temperaturi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za omenjen preračun smo zasnovali namenski program, ki temelji na standardih ASTM D341 in D2270, ter na iskanju rešitve z bisekcijo. Ta na osnovi vhodnih parametrov (kinematična viskoznost pri podani temperaturi, temperatura ter indeks viskoznosti) izračuna kinematično viskoznost hidravlične tekočine pri 40 in $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na ta način lahko veliko bolje spremljamo trend sprememb viskoznosti hidravlične tekočine pri $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, kljub nihanjem temperature v on-line sistemu.

4.3 Meritev dielektrične konstante

Dielektrično konstanto obravnavanega mineralnega hidravličnega olja smo v sklopu raziskav merili s tremi on-line senzorji. Rezultati meritev dielektrične konstante teh on-line senzorjev v primerjavi z natančno laboratorijsko meritvijo (Biotehniška fakulteta Ljubljana) so prikazani na sliki 15.4, iz katere je razvidno, da vrednosti dielektrične konstante, izmerjene z on-line senzorji, močno odstopajo od dejanske dielektrične konstante olja. Na tem mestu bi lahko, podobno kot pri on-line meritvi viskoznosti, poiskali umerjevalno krivuljo za določen tip hidravlične tekočine in za vsak senzor posebej. Ker bi morali za vsak tip hidravlične tekočine posebej meritev natančne dielektrične konstante ponovno zaupati zunanjemu izvajalcu, smo se zaradi ekonomskih razlogov odločili, da bomo zanemarili absolutno vrednost dielektrične konstante. Namreč, pri on-line spremljanju stanja hidravličnih tekočin nam največ pove relativna sprememba dielektrične konstante in ne njena absolutna vrednost.

Iz slike 15.4 je razvidno, da se dielektrične konstante spreminjajo linearno s temperaturo, zato moramo poiskati njihov ustrezen temperaturni gradient, s pomočjo katerega lahko pri izvajanju on-line meritev vrednosti DK preračunavamo na referenčno vrednost pri 40 °C.



Slika 15.4: Meritev dielektrične konstante s tremi on-line senzori

4.4 Meritev stopnje čistosti

Kot pri vsaki meritvi, je tudi pri merjenju stopnje čistosti najpomembnejša verodostojnost izmerjenih vrednosti. Natančnost on-line števecv delcev smo določili s primerjalnim testom različnih on-line senzorjev stopnje čistosti (SSČ), izmerjene rezultate pa primerjali z natančnim laboratorijskim instrumentom Internormen

CCS 2. Opravljena primerjalna analiza je zajemala štiri on-line senzore stopnje čistosti. Merilni sistem je bil osnovan na obtočnem principu, kjer je pretok skozi senzore zagotavljala manjša obtočna črpalka, ki je tlačila hidravlično tekočino skozi zaporedno vezane senzore. S tem so bile zagotovljene enake pretočne razmere skozi vse on-line senzore.

Tabela 15.2: Rezultati raziskave natančnosti on-line senzorjev stopnje čistosti

Povprečno odstopanje	ISO 4	ISO 6	ISO 14
Senzor stopnje čistosti	0,3	0,7	-0,15
Senzor stopnje čistosti	-1,15	-1,2	-0,85
Senzor stopnje čistosti	-1,1	-0,55	0,25
Senzor stopnje čistosti	-1,4	-0,85	-1,25

Tabela 15.2 prikazuje odstopanja posameznega senzorja v ISO razredu (standard ISO 4406), glede na laboratorijski instrument CCS 2, umerjen na $\pm 0,1$ ISO razred, ki je bil v hidravlični sistem vezan vzporedno. Med izvajanjem meritve smo naredili vsaj 4 odčitke oz. več, predstavljeni rezultati pa so prikazani kot povprečje teh odčitkov.

Podana natančnost (s strani proizvajalcev) on-line števecv delcev je $\pm 0,5$ ISO razreda za meritve v območju od 13/11/10 do 23/21/18. Iz rezultatov opravljenih testiranj je razvidno, da

on-line senzorji te natančnosti žal ne dosegajo. Testiranja so pokazala, da števci običajno delujejo z natančnostjo ± 1 ISO razred, pri čemer prihaja tudi do razlik med samimi senzorji. Lahko pa povzamemo, da on-line števci delcev običajno izmerijo 1 ISO razred manj, torej za 1 ISO razred čistejšo tekočino, kar predstavlja »nevarnejši« rezultat za uporabnika.

Ugotovljeno je bilo, da se pojavljajo tudi težave pri on-line merjenju stopnje čistosti olj v hidravličnih agregatih ob njihovem delovanju. Zato smo izvedli tudi testiranja, s katerimi smo želeli preveriti odziv senzorjev na določene pojave, kot je npr. vpliv zračnih mehurčkov. Namreč, zračni mehurčki ali vodne kapljice v hidravlični tekočini tudi uklonijo svetlobo, kar senzor zazna kot delec.

Rezultati meritev stanja olja brez in ob prisotnosti zračnih mehurčkov ter pripadajoča razlika, so povzeti v tabeli 15.3. Iz preglednice je razvidno, da zračni mehurčki najbolj vplivajo na meritev ISO 14 in ISO 21 razreda, zato lahko tudi sklepamo, da ima večina zračnih mehurčkov premer večji od 21 μm .

Tabela 15.3: Rezultati raziskave vpliva zračnih mehurčkov na on-line senzorje stopnje čistosti

	Brez zračnih mehurčkov			Prisotnost zračnih mehurčkov			Povp. razlika
	SSČ1	SSČ2	SSČ3	SSČ1	SSČ2	SSČ3	
ISO 4	17,9	17,0	17,4	18,9	18	18,5	1,0
ISO 6	16,0	16,0	16,1	17,6	16,9	17,1	1,2
ISO 14	11,9	11,0	11,2	16,2	13,7	14,7	3,5
ISO 21	10,2	8,7	9,1	16,5	12,9	13,8	5,1

Zato moramo poskrbeti, da pred meritvijo iz tekočine odstranimo morebitne zračne mehurčke in vodne kapljice, ki bi sicer povzročili prikaz lažnih rezultatov (oz. uporabimo druge ukrepe za minimiranje vpliva mehurčka, kot je npr. dvig tlaka hidravlične tekočine pri pretoku skozi števec nad 30 bar, pri čemer se zračni mehurčki stisnejo do te mere, da ne povzročajo popačenja meritev).

5 Sklep

On-line sistemi spremljanja stanja maziv nam ponujajo najvišjo stopnjo zaščite našega sistema, saj stanje maziva (ter tudi sistema) spremljamo neprekinjeno 24 ur na dan. V predstavljenem prispevku smo se želeli osredotočiti na pravilno namestitvev on-line senzorjev, njihovo natančnost ter ukrepe za izboljšanje meritev, kar je ključnega pomena za uspešno delovanje on-line sistema in pravilno interpretacijo meritev. Namreč, v praksi lahko marsikje zasledimo nameščene on-line senzorje, ki služijo le lepotnemu namenu in ne opravljajo svoje primarne naloge.

Poleg omenjenih postopkov namestitve in ukrepov za izboljšanje meritev, ki jih predstavlja prispevek, je nadvse pomembno tudi kvalitetno beleženje in prikazovanje merilnih rezultatov. Za ogled merilnih podatkov smo razvili poseben vmesnik, ki je dostopen preko spletne strani z običajnim internetnim brskalnikom. Na ta način lahko naša tehnična služba, kot tudi posamezni partner, praktično kadarkoli in kjerkoli dostopajo do informacij o stanju nadzorovanega maziva. Spletni vmesnik omogoča vpogled v zgodovino meritev na osnovi poljubno prilagodljivih več-osnih histogramov ter poleg izpisa trenutnih vrednosti ponuja tudi funkcijo alarmiranja v primeru preseženih maksimalnih oz. minimalnih vrednosti.

Naši sistemi so se že izkazali tudi v praksi. Pri enem izmed partnerjev smo uspeli podaljšati interval zamenjave hidravlične tekočine za 4-krat, medtem ko smo pri drugem partnerju zaznali nenaden vdor vode v hidravlični sistem, ter ga z opozorilom obvarovali pred nastankom večje škode.

Literatura

- [1] Krethe R., Wiesmann P: Oil Condition Monitoring – Online, Onsite or Lab analysis? Proceedings of OilDoc 2011 conference, Rosenheim, Germany, 2011.
- [2] Meindorf T., Mann W.: Test and Development of Condition-Monitoring-Sensors for Fluid Power Applications, Proceedings of 5th IFK, Aachen, Germany, 2006, Vol. 2, str. 177-188.
- [3] Tič V., Lovrec D.: Detecting and analysing condition of hydraulic oils with on-line sensors, Facta Univ., Mech. Eng., 2011, vol. 9, no. 1, str. 71-78.
- [4] Tič V., Lovrec D.: Merjenje in vrednotenje viskoznosti hidravličnega olja z on-line senzorji, Ventil (Ljubl.), dec. 2010, letn. 16, št. 6, str. 548-553.
- [5] Lovrec D., Tič V.: Senzorji za on-line spremljanje stanja hidravličnih tekočin, Vzdrževalec, apr.-jun. 2012, št. 146/147, str. 46-52.
- [6] Tič V., Lovrec D.: Trajectories of solid and gaseous particles in a hydraulic reservoir, 8th International Fluid Power Conference, 2012, Dresden, str. 261-272.
- [7] Tič V., Lovrec D.: Hydraulic tank design and its influence on oil condition monitoring systems, International Conference on Innovative Technologies, Prague, Czech Republic, 2010, str. 479-482.
- [8] ASTM D341: Standard Practice for Viscosity-Temperature Charts for Liquid Petroleum Products