

# Kontaminacija in merjenje stopnje čistosti hidravličnih olj

Milan KAMBIČ, Vito TIČ

**Izvleček:** Eden od pomembnih vzdrževalnih ukrepov je redno spremljanje kontaminacije hidravličnih tekočin in njeno ohranjanje na takšnem nivoju, ki bistveno ne vpliva na zanesljivost obratovanja in uporabno dobo hidravlične opreme. Kontaminacijo najpogosteje določamo z meritvami stopnje čistosti s pomočjo avtomatskih števec delcev. Zahteve glede potrebne stopnje čistosti tekočine podajajo proizvajalci hidravlične opreme. Ob poznavanju teh zahtev in dejanske stopnje čistosti lahko z upoštevanjem tudi ostalih parametrov zanesljivo ocenimo trenutno stanje in se odločimo o nadaljnjih vzdrževalnih ukrepih. Morda pa se premalokrat poglobimo v natančnost in zanesljivost opravljenih meritev stopnje čistosti. Ali so izmerjene stopnje čistosti realne in kaj lahko vpliva na rezultate?

Prispevek obravnava vpliv kontaminantov, kot sta zrak in voda v hidravličnem olju, ne le na delovanje hidravličnih sistemov, temveč tudi na izmerjene stopnje čistosti. Vpliv na rezultate meritev stopnje čistosti smo ugotavljali pri laboratorijskih testiranjih različnih senzorjev za on-line nadzor stanja hidravličnih olj. Ugotovljen in prikazan vpliv se je potrdil tudi v praktičnih aplikacijah on-line nadzora stanja hidravličnih olj, ki ga v zadnjih letih izvajamo v nekaterih slovenskih podjetjih.

**Ključne besede:** hidravlična olja, stopnja čistosti, kontaminacija, avtomatski števec delcev

## ■ 1 Uvod

Kontaminacija hidravličnih tekočin je neizogiben pojav, saj del kontaminantov pride v hidravlično tekočino že med proizvodnjo, ostali pa med transportom, skladiščenjem, polnjenjem hidravličnih naprav in uporabo. Glede na to, da kontaminacije popolnoma ne moremo preprečiti, je pomembno, da znamo izmeriti stopnjo (ne)čistosti hidravlične tekočine, saj na ta način ugotovimo, ali je še primerna za nadaljnjo uporabo [1], [3].

V zadnji verziji standarda DIN 51524 (velja od aprila 2006), ki predpisuje minimalne zahteve za hidravlična olja, je vključena tudi zahteva o minimalni potrebni stopnji čistosti svežega hidravličnega olja na minimalni osnovi. Ta mora znašati vsaj 21/19/16 (ISO 4406:1999). Glede na

to, da je ta zahteva celo manj kvaliteta od stopnje čistosti svežih olj, ki so jih že doslej prodajali nekateri proizvajalci, ni prinesla bistvenega izboljšanja čistosti svežega olja. Morda so se le nekoliko bolj izenačile čistosti olj različnih proizvajalcev [2].

Potrebno stopnjo čistosti hidravlične tekočine za določen namen uporabe predpisujejo/priporočajo proizvajalci strojev oz. hidravličnih naprav, in sicer izrecno glede na vgrajene sestavne dele. Kadar omenjenih podatkov nimamo, lahko kot smernice upoštevamo splošna priporočila [2], [3].

Dandanes stopnjo čistosti najenostavneje določamo z avtomatskimi števci delcev. Rezultat meritve enostavno odčitamo na zaslonu instrumenta. Če nas zanimajo podrobnejši podatki, pa lahko odčitamo tudi število delcev posamezne velikosti. Morda tudi zaradi enostavnosti same meritve velikokrat premalo kritično ocenjujemo realnost izmerjenih vrednosti. Z meritvami smo

ugotovili, da na izmerjene stopnje čistosti lahko zelo vplivajo pogoji med samo meritvijo, na primer pretok in tlak olja, poleg tega pa tudi prisotnost zračnih mehurčkov in/ali vode v olju. V nadaljevanju bo ta vpliv prikazan podrobneje, tako na primerih laboratorijskih meritev, kjer smo simulirali različne pogoje, kakršne srečujemo v vsakodnevni praksi, pa tudi na primeru on-line nadzora stanja hidravličnega olja pri enem od uporabnikov naših izdelkov.

## ■ 2 Vpliv kontaminantov na delovanje hidravličnega sistema

Kontaminant je katerakoli snov, ki moti delovanje sestavin hidravličnega sistema. Ta motnja se odraža kot mehanski ali/in kemijski vpliv/medsebojno delovanje na sestavine sistema, olja ali njegovih aditivov.

Mehanski vpliv vključuje:

- blokiranje prehodov zaradi trdnih delcev,
- obrabo med delci in površinami

Dr. Milan Kambič, univ. dipl. inž., Dr. Vito Tič, univ. dipl. inž., oba OLMA, d. d., Ljubljana



Slika 1. Vpliv na delovanje hidravličnega sistema

komponent (model 3 teles),  
 - oteževanje prehoda svetlobe in s tem moten videz olja.

Kemijski vpliv pa zajema:

- korozijo in druge oksidacijske tvorbe,
- spremembo stanja olja,
- porabo aditivov, včasih povezano s škodljivimi stranskimi produkti,
- nastanek mikroorganizmov,
- človeške reakcije na toksične snovi in mikroorganizme.

Glavni kontaminanti so voda, zrak in trdni delci. Ti se lahko pojavljajo posamično, večkrat pa tudi skupno, kar še poveča njihov negativni vpliv na olje in hidravlične sestavine. Na ta način povzročajo motnje v delovanju hidravličnih sestavin in celotnega hidravličnega sistema, kar je prikazano na sliki 1.

### 2.1 Vpliv zraka

Hidravlično olje pri atmosferskem tlaku vsebuje približno 10 % raztopljenega zraka/plina. Z znižanjem te vsebnosti in preprečevanjem kavitacije lahko po navedbah stroke in izkušnjah iz prakse podaljšamo uporabno dobo hidravličnega olja do trikrat [4]. Aeracija in kavitacija sta poleg kontaminacije hidravličnega olja glavna vzroka za krajšo uporabno dobo sestavin in olja. Pod kavitacijo v tem smislu razumemo udarni/implozijski razpad zraka v olju, ki nastane pri prekoračitvi meje topnosti. Ta pojav opisujemo tudi kot dizel učinek. Vplivi aeracije in kavitacije na hidravlične naprave so naslednji:

- močan porast hrupa,
- erozija površin,
- močne vibracije,
- močna potemitev olja oziroma tvorjenje oblog na omočenih površinah (ang. varnish).

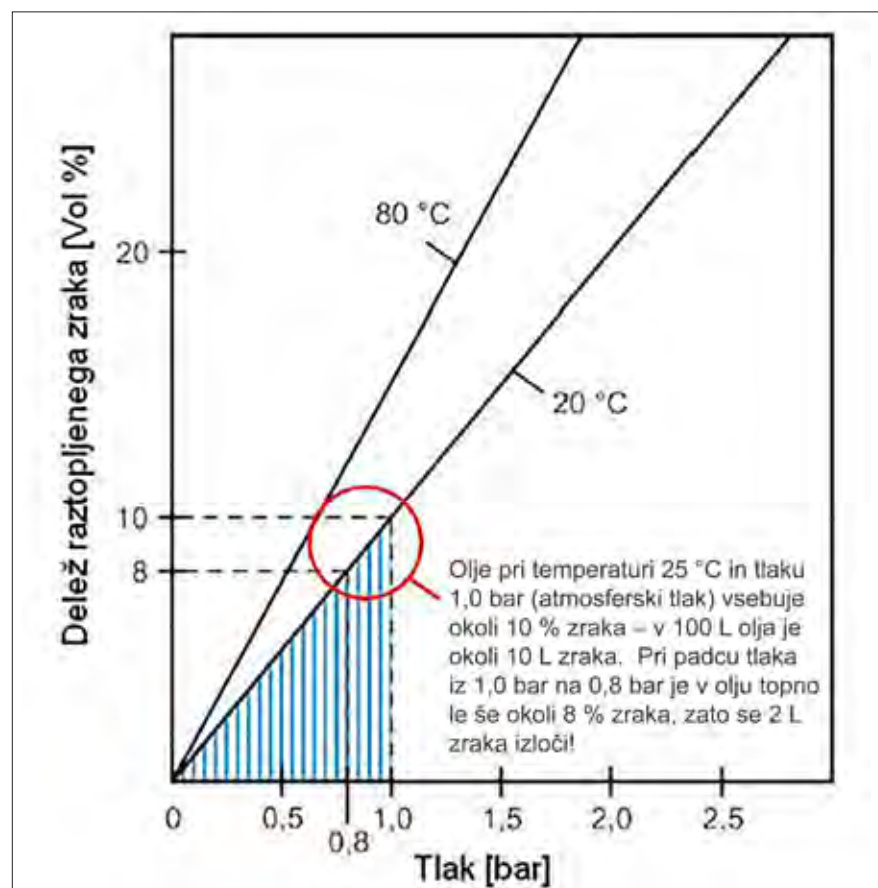
Kot je znano, je hidravlično olje zmes baznih olj, aditivov in zraka/plina. Sposobnost raztapljanja zraka v olju je odvisna od tlaka olja. Medtem ko se pri popolnem vakuumu zrak v olju ne more raztapljati, lahko olje pri atmosferskem tlaku sprejme

okoli 10 % zraka. Odvisnost topnosti zraka v olju od absolutnega tlaka prikazuje slika 2. Tako v tem primeru pri sesalnem podtlaku  $-0,4$  bar hitro pade volumetrični izkoristek črpalke. V sesalnem delu se sprostijo do 4 % prostega zraka, ki se adiabatsno stisne. Pri tem nastopi dizel učinek, ki močno skrajša uporabno dobo olja. Zaradi stisljivosti zraka se še dodatno zniža volumetrični izkoristek črpalke.

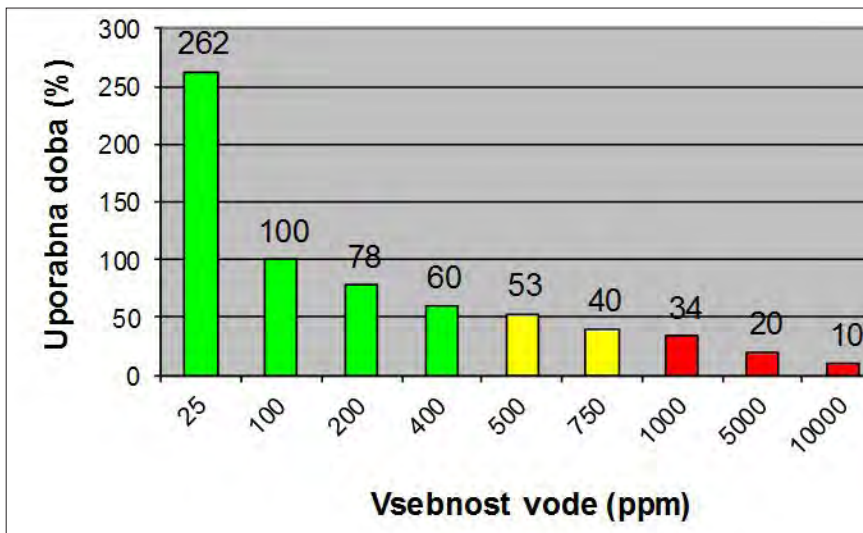
### 2.2 Vpliv vode

Analize vzorcev hidravličnih olj večkrat potrdijo prisotnost manjše ali večje količine vode. Tako proizvajalci hidravlične opreme kot proizvajalci maziv in delovnih fluidov običajno tolerirajo manjšo količino vode v olju. Enotno veljavnega priporočila o mejnih vrednostih pa ni. Različni viri navajajo sprejemljive vrednosti v območju med 0,05 % in 0,3 % prostornine polnitve hidravlične naprave.

Kratek in jednat odgovor na vprašanje o sprejemljivi vsebnosti vode



Slika 2. Odvisnost topnosti zraka v olju od tlaka



Slika 3. Vpliv vode na uporabno dobo sestavin

je: v hidravličnem olju naj ne bo vode, če pa vseeno je, naj bo njena vsebnost čim nižja. Tudi najmanjša količina vode vpliva na kemijske lastnosti olja in učinkuje na kovinske površine hidravličnih sestavin in rezervoarja v napravi, kar prikazuje slika 3. Preprosto povedano: raven škode na olju in stroju je odvisna od količine in časa prisotnosti vode v olju, napravi. Zato cilj ne sme biti zagotavljanje vsebnosti vode pod dopustno mejo, temveč obratovanje naprave brez ali vsaj z minimalno možno vsebnostjo vode [5].

Izčrpen odgovor na zastavljeno vprašanje o dopustni vsebnosti vode je zapleten. Tudi aditivi v nekaterih hidravličnih oljih, še zlasti tisti proti obrabi (AW – Anti Wear), lahko vplivajo na točnost kazanja instrumentov, ki jih običajno uporabljamo za ugotavljanje onesnaženja z vodo.

V praksi je priporočljivo sistematično spremljati trend parametrov, določenih z analizami olja, in najprej ugotoviti, ali količina vode v določenih časovnih intervalih narašča, pada ali je stabilna. Če se iz rezultatov analize ugotovi, da se je vsebnost povečala, je olje potrebno zamenjati ali pa odstranjevati vodo z ustreznimi izločevalniki, kot so: vakuumske naprave, centrifuge, absorpcijski filtri ali kakšni drugi separatorji. Pri tem je po odstranjevanju vode iz olja z analizo potrebno preveriti, ali je olje še primerno za nadaljnjo uporabo. Prav tako je potrebno ugotoviti vir oz. vire

onesnaževanja z vodo in opraviti potrebne spremembe, popravila ali korekcije na napravi, da bi se preprečilo ponovno vstopanje vode v olje, napravo. Običajni vzroki onesnaženja z vodo so dolivanje nečistega fluida, neučinkoviti ali pokvarjeni odzračevalni filtri, slabo zatesnjeni pokrovi za dolivanje, netesni oljni hladilniki, neustrezno izpiranje naprave, kondenzacija vlage v notranjosti naprave, rezervoarja ipd. [5].

### 3 Vpliv kontaminantov na izmerjene stopnje čistosti

Stopnjo čistosti hidravličnih olj določamo na osnovi števila delcev določene velikosti v določenem volumnu tekočine. Meritve se običajno opravljajo z avtomatskimi števci

delcev, katerih delovanje temelji na usmeritvi bele svetlobe skozi onesnaženo olje. Vsak delec v olju povzroči zmanjšanje intenzivnosti svetlobe, kar fotodioda v napravi zazna in pretvori v električni signal. Spremembo napetosti, ki je v direktnem razmerju z velikostjo delca, mikro-računalnik pretvori v ustrezno informacijo o velikosti delca.

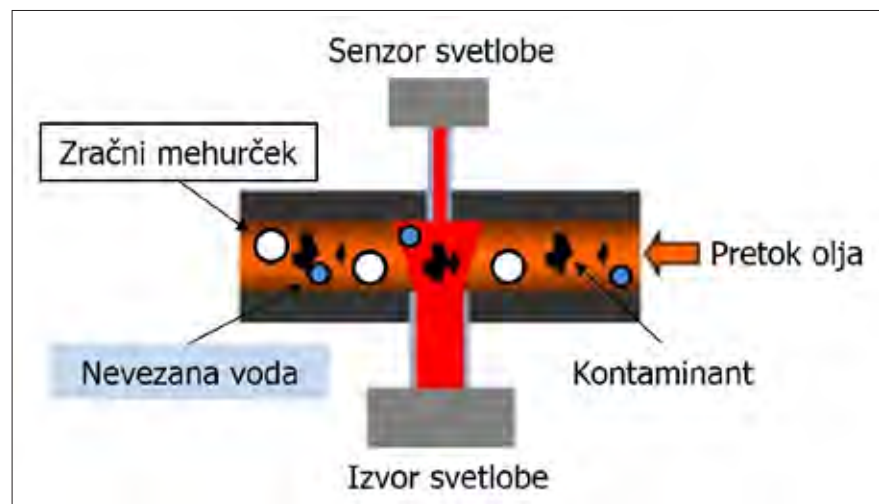
Opisani merilni postopek pa ne zaznava le trdnih kontaminantov, temveč tudi druge kontaminante, kot so npr. fino disperzirani zračni mehurčki ali vodne kapljice, ki prav tako zmanjšajo intenzivnosti prehodne svetlobe, kot prikazuje slika 4.

### 3.1 Vpliv zraka

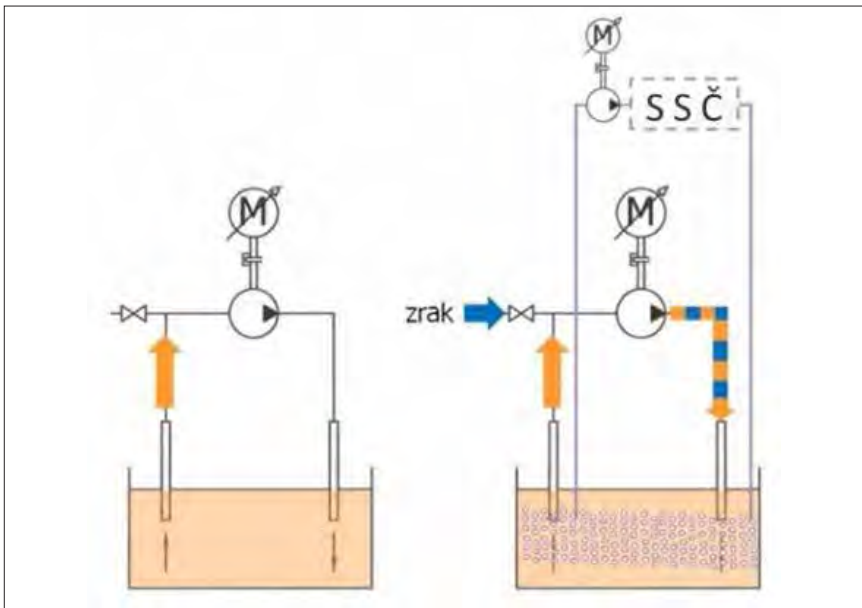
Kot smo že omenili, tudi zračni mehurčki (kot vrsta kontaminantov) povzročijo senco svetlobe na fotodiodi, s tem pa avtomatski števec delcev zazna prisotnost delca.

Zato moramo biti pri izvedbi laboratorijskih analiz še posebej previdni in pred meritvijo ustrezno pripraviti vzorec hidravličnega olja. Zračne mehurčke lahko pred meritvijo odstranimo z enostavnim postopkom segrevanja in mešanja (počasneje), z ultrazvočno kopeljo ali vakuumskim razplinjevanjem.

Pri uporabi on-line števcov delcev pa zračne mehurčke izločimo mnogo težje, zato običajno uporabljamo postopek zmanjševanja vpliva zrač-



Slika 4. Princip avtomatskega merjenja trdnih kontaminantov in morebitne motnje



**Slika 5.** Shema merilnega sistema za določanje vpliva zračnih mehurčkov in vode na meritve stopnje čistosti

**Tabela 1.** Rezultati vpliva zračnih mehurčkov

	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

**Tabela 2.** Rezultati vpliva prisotnosti vode

	Brez nevezane vode (85 ppm)			Nevezana voda (1570 ppm)			Povp. razlika
	SSČ1	SSČ2	SSČ3	SSČ1	SSČ2	SSČ3	
ISO 4	17,5	17,1	17,3	18,5	18,8	Err	1,3
ISO 6	15,4	16,3	15,9	17,8	17,3	Err	1,7
ISO 14	11,6	11,2	11,1	15,4	14,8	Err	3,8
ISO 21	10,1	8,9	9,0	14,2	13,9	Err	4,7

nih mehurčkov, in sicer na ta način, da tlak olja, ki prehaja skozi števec delcev, zvišamo nad 35 bar. Pri tem tlaku se namreč zračni mehurčki stisnejo in zmanjšajo do te mere, da ne popačijo meritev.

### 3.2 Vpliv vode

Hidravličnim oljem, ki vsebujejo več kot 0,5 % vode, običajno ne določamo stopnje čistosti, saj pri tako visoki vsebnosti vode ta predstavlja mnogo večjo težavo za hidravlični sistem kot sama kontaminacija s trdnimi delci.

Če kljub temu želimo izmeriti stopnjo čistosti vzorca v laboratoriju,

moramo iz vzorca naprej odstraniti odvečno vodo z odparevanjem ali z ustreznim izločevalnim topilom.

Pri uporabi on-line števec delcev te možnosti žal nimamo. Lahko pa se dodatno zavarujemo in potrdimo verodostojnost naših meritev stopnje čistosti tako, da na sistem namestimo še on-line senzor vsebnosti vode oz. relativne vlažnosti olja. Ko ta naraste nad 100 % (oz. praktično še prej, nekje nad 80–90 %), se pojavi prva nevezana voda v obliki miniaturnih in fino porazdeljenih kapljic, ki lahko povzročijo motnje oz. nenatančnost pri delovanju števec delcev.

## 4 Rezultati meritev

Kvantitativni vpliv dveh glavnih kontaminantov (zraka in vode) na meritve stopnje čistosti z avtomatskimi števci delcev smo določili v laboratoriju, potrdil pa se je tudi v industrijskih aplikacijah.

### 4.1 Laboratorijske meritve

Slika 5 prikazuje shemo merilnega sistema, s katerim smo opravili raziskavo vpliva zračnih mehurčkov na meritve stopnje čistosti. Iz odprtega rezervoarja (20 L) smo s pomočjo zobniške črpalke olje zgolj prečrpavali. V danem trenutku smo na sesalni strani odprli ventil, ki je povzročil vstop zraka v sistem, pri čemer je postalo olje v rezervoarju zasičeno z zračnimi mehurčki. V obtočnem sistemu je bila nameščena druga zobniška črpalka, ki je zagotavljala pretok skozi tri zaporedno vezane števec delcev (SSČ).

Rezultati meritev stanja olja brez zračnih mehurčkov in ob njihovi prisotnosti ter pripadajoča razlika so povzeti v tabeli 1, iz katere je razvidno, da prisotnost zračnih mehurčkov močno popači merilne rezultate, še posebej v razredih ISO 14 in 21  $\mu\text{m}$ .

Izvedli smo tudi raziskavo vpliva prisotnosti vode na meritve stopnje čistosti hidravličnega olja. Uporabili smo enak merilni sistem (slika 5), kjer smo v 20 L hidravličnega olja ob konstantnem prečrpavanju s črpalke dodali večjo količino vode, da je ta narasla na vrednost 1570 ppm.

Rezultati meritev stopnje čistosti hidravličnega olja brez vode in ob njihovi prisotnosti so prikazani v tabeli 2, ki prav tako potrjuje, da povišana prisotnost (nevezane) vode močno vpliva na merilno nenatančnost avtomatskih števec delcev.

### 4.2 Meritve na realnem industrijskem pogonu

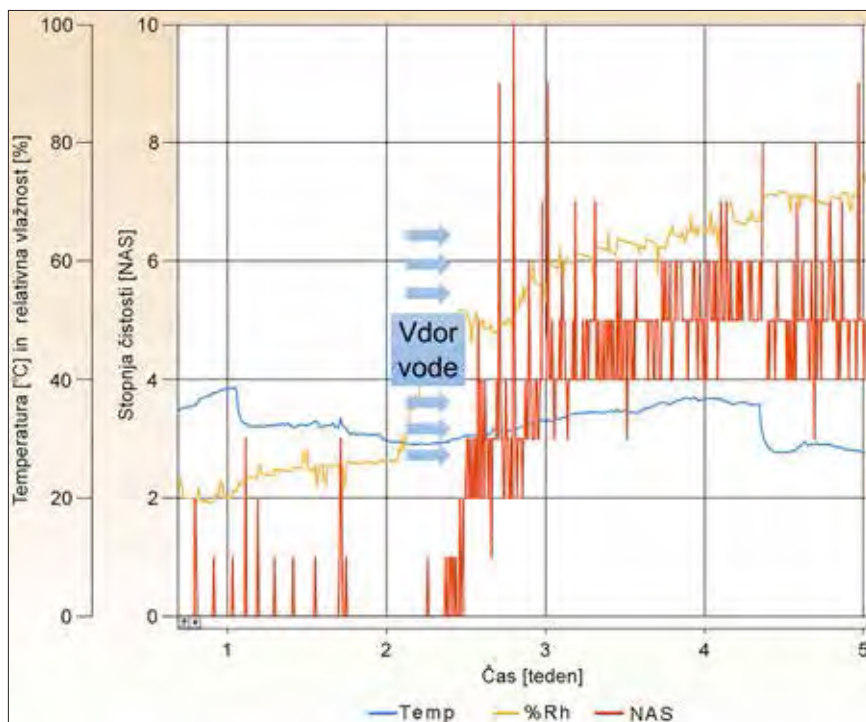
Laboratorijske meritve so bile potrjene tudi na eni izmed industrijskih aplikacij on-line monitoringa hidravličnih olj. Slika 6 prikazuje zgodo-



vino meritev v časovnem obdobju enega meseca, kjer je v prvi polovici grafikona prikazano stanje pred vdorom vode, na drugi pa po vdoru vode, ko je relativna vlažnost olja (rumena črta) narasla nad 70 %.

S slike 6, na kateri je on-line stopnja čistosti zaradi preglednosti prikazana v skali NAS od 0 do 10 (rdeča črta), je razvidno, da se je ta ob vdoru vode močno poslabšala. Medtem ko dodatna analiza vzorca olja v laboratoriju, seveda po ustrezni pripravi vzorca (izločevanje vode), ni pokazala vidnih poslabšanj stopnje čistosti.

Prav tako pa se je on-line stopnja čistosti vrnila na prvotno raven, tj. povprečno NAS = 1, ko je uporabnik odkril vzrok vdora vode, ga odpravil in olje dodatno izsušil.



**Slika 6.** Navidezno poslabšanje on-line stopnje čistosti po vdoru vode v hidravlični sistem

## ■ 5 Sklep

Za izvedbo uspešnega in zanesljivega on-line nadzora stanja hidravličnih olj so pomembni tako poznavanje in razumevanje principov različnih meritev oz. delovanja samih senzorjev kot tudi pravilna zasnova celotnega sistema za nadzor stanja olja. Zaradi tega je smiselno imeti snovalca in skrbnika sistema, ki bo poskrbel, da nameščeni senzori ne bodo le okras zunanosti stroja, ampak bodo zagotavljali podajanje verodostojne informacije o stanju olja v obliki trenda sprememb. Omenjeno velja tudi za predstavljeno problematiko merjenja stopnje čistosti z avtomatskimi števci delcev.

Pri tem ni pomembna le kvaliteta senzorjev, ampak tudi njihova ustrezna montaža, s katero zagotovimo, da imajo ustrezne pogoje delovanja (mesto odvzema vzorca olja, pretok in tlak na senzorjih, ...). V nasprotnem primeru so lahko zaznane vrednosti napačne oz. zavajajoče.

## Viri

- [1] Kambič, M., Hrobat, A.: Spremljanje kontaminacije hidravličnih tekočin, *Ventil 13*(2007)6, str. 414–418.
- [2] Kambič, M.: Proizvodnja hi-

dravličnega olja boljše stopnje čistosti, *Slotrib 2012, Zbornik predavanj*, str. 211–220.

- [3] Lovrec, D., Kambič, M.: Hidravlične tekočine in njihova nega, Univerza v Mariboru, 2007.
- [4] Busch, A., Gottschang, J.: Oil tanks-optimizations for the future, *OilDoc 2015*, str. 1–5.
- [5] Kambič, M.: Kolikšna je sprejemljiva vsebnost vode v hidravličnem olju?, *Ventil 12*(2006)2, str. 106–106.

## Contamination of Hydraulic Oils and Measuring the Cleanliness Level

**Abstract:** One of the most important maintenance measures is regular monitoring of hydraulic oil's contamination level and maintaining it at low levels that do not substantially affect the reliability of operation and service-life of the hydraulic equipment. Contamination is most often determined by measuring the contamination level with automatic particle counters. The requirements regarding the allowed contamination level are usually provided by equipment manufacturers. By knowing these requirements and the actual contamination level while also taking into account other parameters, the current condition can be reliably assessed and decisions about further maintenance actions can be made. However, perhaps we should pay more attention to the accuracy and reliability of the measurements. Are the contamination levels measured accurately? What can affect the results?

The paper discusses the impact of contaminants, such as air and water, in hydraulic oil; not only the impact on the hydraulic system operation but also on the results of the measured cleanliness levels. The impact on the measured cleanliness levels was determined on the basis of the conducted laboratory tests using several sensors for on-line condition monitoring of hydraulic oils. The identified and herein presented impact was also confirmed with practical on-line condition monitoring applications which we are performing in some Slovenian companies.

**Keywords:** hydraulic oils, cleanliness level, contamination, automatic particle counter