



N. Bolf*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilište u Zagrebu
Marulićev trg 19, 10 000 Zagreb

Tekućine za prijenos topline

Odabir tekućine za prijenos topline bitan je za radne karakteristike procesa i minimiranje troškova tijekom primjene. Većina inženjera rutinski ne analizira svojstva tih tekućina, pa je odabir često problematičan ili upitan. U ovom prilogu razmotrit ćemo smjernice za odabir i održavanja sustava za prijenos topline.

Zahtjevi procesa

Da bi se primijenila u sustavu za prijenos topline, tekućina mora zadovoljiti procesne zahtjeve – tražene karakteristike i što je moguće dulje vrijeme primjene. Popis potencijalnih tekućina može se znatno skratiti definiranjem temperaturnog područja. Da bi se osigurala pokretačka sila za prijenos topline, radna temperatura tekućine mora biti znatno iznad temperature u procesu. Pored toga, treba odabrati fizikalna svojstva ključna za prijenos topline. To su: viskoznost, gustoća, toplinska vodljivost i toplinski kapacitet tekućine. Ta se svojstva kombiniraju u jednadžbi za određivanje koeficijenta prijenosa topline na strani fluida:

$$h = C \cdot k^{0,85} \cdot \rho^{0,79} \cdot c_p^{0,42} \cdot \mu^{-0,37} \quad (1)$$

pri čemu je h koeficijent prijenosa topline (unutar cijevi), k je toplinska vodljivost, c_p je toplinski kapacitet, μ je viskoznost i C je konstanta u kojoj su sadržani duljina, brzina i promjer cijevi. Eksponenti indiciraju relativni utjecaj svakog od članova na rezultirajući koeficijent prijenosa topline.

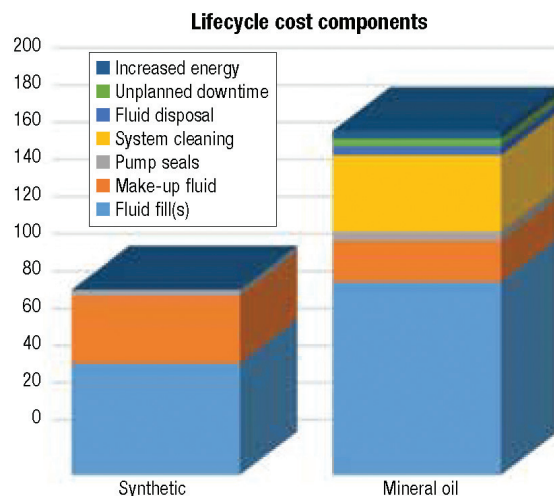
Zatim se određuje ukupni koeficijent prijenosa topline, U . Proračun uzima u obzir prijelaz topline s procesne strane (h_p), otpor prijenosu topline stijenke (r_w) i otpor prijenosu topline zbog naslaga (r_f):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_p} + r_w + r_f \quad (2)$$

Jednadžba pokazuje da je, u slučaju velikog koeficijenta prijenosa topline na strani procesa, odabir tekućine ključan za povećanje U .

Troškovi primjene

Trošak primjene tekućina za prijenos topline znatno je viši od nabavne cijene i stoga se ukupni troškovi životnog ciklusa trebaju pažljivo razmotriti. Oni obuhvaćaju nabavnu cijenu, utjecaj na kapitalne troškove, operativne troškove, učestalost i količinu nadopunjavanja, učestalost zamjene tekućine, utjecaj na troškove opreme i zahtjeve za čišćenje sustava. Primjer usporedbe dvadesetogodišnje primjene mineralnog ulja i sintetičke tekućine za prijenos topline dan je na slici 1.



Slika 1 – Usporedba primjene mineralnog ulja i sintetičke tekućine¹

Za provedbu inženjerskog proračuna pri projektiranju i kasnije pri rješavanju problema ili izmjenama, potrebne su potpune i točne fizikalne karakteristike tekućine. Ti podatci trebaju biti detaljni, a korelacije moraju biti potrebne točnosti. Te podatke valja dobiti od proizvođača tekućine koji u pravilu provode stroge kontrole kvalitete ili su u stanju mjeriti svojstva reprezentativnih uzoraka.

Toplinska oksidacijska stabilnost

Visokotemperaturne organske tekućine moraju biti otporne na toplinsko naprezanje i oksidaciju. Oksidacija se može spriječiti upotrebom inertnih plinova u sustavu. Dopunjavanje s aditivima povećava potencijal za nastanak naslaga, taloga i pojavu krutih čestica. Toplinska stabilnost može se izmjeriti u laboratoriju primjenom norme ASTM D-6743 (*Standard Test Method for Thermal Stability of Organic Heat Transfer Fluids*).² Renomirani proizvođači tekućina obično imaju više desetljeća iskustva s tekućinama za različite primjene i pod različitim radnim temperaturama.

* Prof. dr. sc. Nenad Bolf
e-pošta: bolf@fkit.hr

Tablica 1 – Ispitivanje tekućina za prijenos topline³

Svojstvo/Pojava	Mogući uzrok	Moguća posljedica	Prihvatljiva granica
Promjene viskoznosti	Kontaminacija, toplinska degradacija, oksidacija tekućine	Slab prijenos topline, depoziti, visok tlak para, kavitacija pumpe	Ovisi o kemijskom sastavu fluida
Porast mokrine	Propuštanje sustava, ostaci u novoj ili očišćenju procesnoj jedinici, nezaštićeni odušak ili spremnik	Korozija, prevelik tlak u sustavu, kavitacija pumpe	700 ppm (za grijanje)
Smanjivanje točke zapaljenja	Kontaminacija, velika količina tvari s niskim vrelištem	Povećana opasnost od požara	Prema zakonskim zahtjevima
Porast ukupnog kiselinskog broja	Jaka oksidacija, kontaminacija s kiselinom	Korozija sustava, depoziti	0,7 mg KOH/g
Porast netopljivih krutih čestica	Kontaminacija, prljavština, korozija, oksidacija, toplinsko naprezanje	Slabi prijenos topline, trošenje brtvi pumpe, začepljivanje uskih prolaza	400 mg/100 mL
Porast tvari s niskim i visokim vrelištem	Kontaminacija, toplinski stres	Kavitacija pumpe, slabi prijenos topline, preveliki tlak u sustavu, depoziti	5 % (LB) 10 % (HB)

Ključna svojstva tekućina za prijenos topline

Ovi parametri ukazuju na probleme u nastajanju, što omogućuje provedbu radnji kako bi se zadržala učinkovitost i produljio vijek trajanja tekućine. Prediktivno održavanje trebalo bi uvijek obuhvatiti redovite analize sljedećih svojstava:

Viskoznost ukazuje kada tekućina postaje previše viskozna za djelotvorni prijenos topline. Mjeri se lako u laboratoriju (ASTM-445 ili slične tehnike). Uzorak tekućine zadane temperature propušta se kroz umjerenu cjevčicu. Mjeri se vrijeme potrebno da zadani volumen tekućine prođe kroz cijevčicu. Iz vremena se izračunava viskoznost.

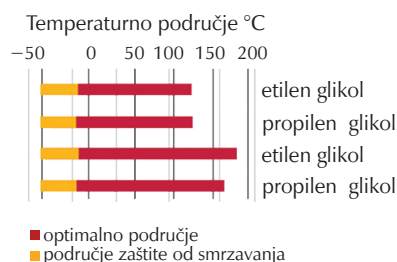
Mokrina. Obično se određuje titracijom po Karl Fischeru. Mokrina treba biti niska posebno pri visokim temperaturama da bi se izbjeglo naglo isparavanje. Nemogućnost održavanja niske mokrine pokazatelj je da voda prodire u sustav ili da se u sustav dodaje neadekvatna tekućina.

Točka zapaljenja mjeri se prema normama ASTM D-92 i ASTM D-93. Točka zapaljenja najniža je temperatura u uvjetima ispitivanja pri kojoj dolazi do zapaljenja para iznad tekućine, no brzina isparavanja je preniska kako bi se održalo sagorijevanje. Točka paljenja važna je u električnoj klasifikaciji i pri analizi opasnosti.

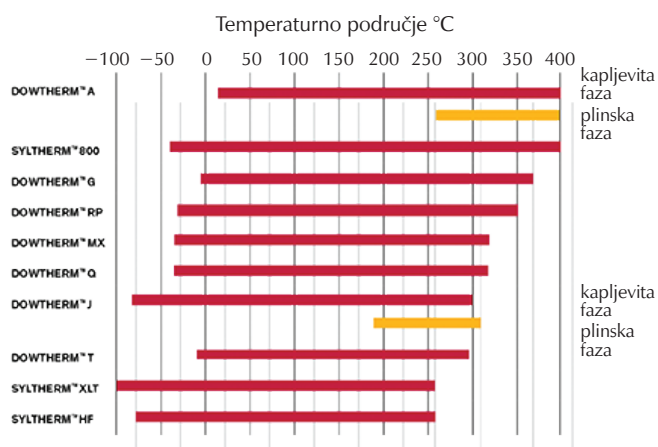
Kiselost se određuje potenciometrijskom titracijom (ASTM D-664) kojom se detektiraju potencijalni problemi s naslagama i talogom. Oksidacija tekućine uzrokuje akumulaciju karboksilnih kiselina koje snižavaju pH, odnosno povećavaju ukupni kiselinski broj (eng. *total acid number* – TAN). Organska tekućina za prijenos topline trebala bi prije upotrebe imati kiselinski broj oko 0.

Sadržaj **netopljive krutine** mjera je koncentracije krutih čestica u tekućini. Od posebne važnosti je pojava organskih krutih tvari kad se prekorači granica topljivosti. Od ostalih krutih čestica mogu se pojaviti ugljik, dijelovi tvari za brtvljenje, metalne strugotine i nešto hrđe.

Sastav. Plinskom kromatografijom određuju se spojevi koji imaju točke ključanja niže od početka vrenja (eng. *low boilers* – LBs) i više od kraja vrenja (eng. *high boilers* – HBs). Ova analiza daje uvid u stupanj degradacije tekućine i indicira organsku kontaminaciju. Sastav tekućine može se promijeniti i zbog pregrijavanja.



Slika 2 – Temperaturno područje za primjenu inhibiranih fluida za prijenos topline na bazi glikola za zaštitu od korozije i stvaranja naslaga⁴



Slika 3 – Sintetski organski i silikonski fluidi za prijenos topline (Dowtherm)⁵

Zaključak

Promjene svojstava tekućina često su posljedica toplinske i oksidacijske degradacije. Sve organske tekućine za prijenos topline vremenom će degradirati. Ključne razlike među tekućinama su stupanj degradacije i priroda nastalih produkata razgradnje. Izborom tekućine adekvatne toplinske stabilnosti može se produljiti životni vijek i zadržati karakteristike.

Literatura

1. Scott Jenkins, Facts at Your Fingertips, Heat-Transfer Fluid Selection, Chem. Eng. 124 (9) (2017) 24a.
2. ASTM D-6743, Standard Test Method for Thermal Stability of Organic Heat Transfer Fluids.
3. C. Gamble, M. Schopf, Optimizing heat transfer fluid performance: How to avoid costly consequences, Eastman Chemical Co., 2014.
4. URL: <https://www.dow.com/heattrans/fluidfile/calculator/NA/glycol-based-fluids.html#glycol-products>
5. URL: <https://www.dow.com/heattrans/fluidfile/calculator/NA/synthetic-fluids.html#synthetic-products>