

STRUJNO-TERMIČKI PRORAČUN REBOJLERA E10 U PROCESU DESORPCIJE LAKIH UGLJOVODONIKA U POGONU “RAFINERIJA TNG” ELEMIR

FLOW-THERMAL CALCULATION OF E10 REBOILER IN THE PROCESS OF DESORPTION OF LIGHT HYDROCARBONS IN THE PLANT “LPG REFINERY” ELEMIR

Matilda LAZIC,
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin, matildalazic@outlook.com

Dragan HALAS,
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin, draganhalas@gmail.com

Duško SALEMOVIĆ,
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin,
duskosalemovic@gmail.com

Aleksandar DEDIĆ,
Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd, aleksandar.dedic@sfb.bg.ac.rs

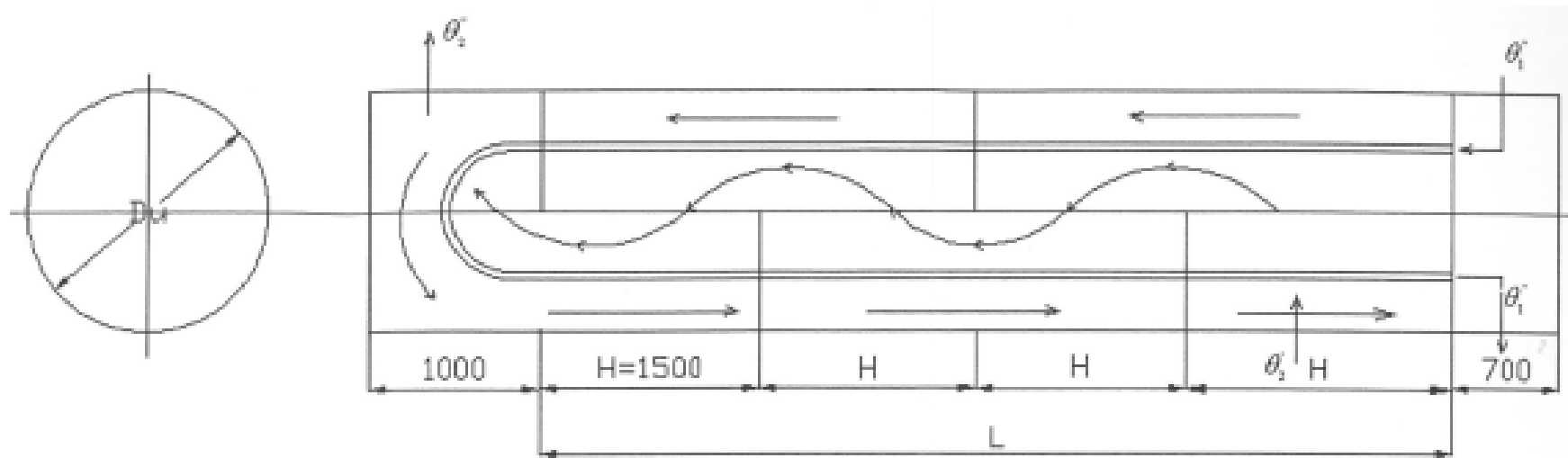
UVOD

- Procesne tehnologije proizvodnje tečnog naftnog gasa-TNG predstavljaju veoma komercijalizovane tehnologije na globalnom nivou jer se TNG danas, svrstava u grupu tzv. alternativnih goriva za prevozna sredstva a istovremeno, sa aspekta zaštite životne sredine pripada i tzv. čistim gorivima.
- U ovom radu je izvršen strujno-termički proračun rebojlera E10 u procesu desorpcije lakih ugljovodonika, koji je smešten uz dno kolone za stabilizaciju (desorpciju) bogatog apsorpcionog ulja u pogonu "Rafinerija TNG", Elemir. Topliji fluid struji unutar cevi razmenjivača, i to u dva prolaza; dok apsorpciono ulje kao hladniji fluid, struji kroz međucevni prostor u jednom prolazu. Pretpostavljeno je da se u rebojleru E10, na osnovu podataka iz tehničko-tehnološke dokumentacije, može izvršiti proračun relevantnih strujnih i termičkih veličina potrebnih za proces zagrevanja bogatog apsorpcionog ulja i to, koristeći formule iz odgovarajuće literature.

OPIS I FUNKCIJA REBOJLERA E-10

- Rebojler E-10 predstavlja deo procesne opreme u pogonu „Rafinerija TNG“, Elemir. Smešten je uz kolonu koja se naziva deetanizer, što je u skladu sa izvedbom procesne tehnologije. Donji deo te kolone povezan je sa rebojlerom E10. U rebojleru E10 izvodi se zagrevanje stabilisanog bogatog apsorpcionog ulja kao proizvoda sa dna deetanizera. Sa vrha rebojlera E10 izdvaja se gasovita faza lakše isparljivih ugljovodonika iz bogatog apsorpcionog ulja. Sa dna rebojlera E10 izvodi se toplo, desorbovano bogato apsorpciono ulje koje ide u naredni korak tehnološke prerade.
- Rebojler E10 je predstavnik cevnih razmenjivača toplote U-tipa sa omotačem. U rebojleru E10 se vrši razmena toplote između toplijeg fluida-toplog ulja koje se hladi, i hladnijeg fluida-stabilisanog bogatog apsorpcionog ulja koje se zagreva. Topliji fluid struji unutar cevi u dva prolaza dok hladniji fluid struji u međucevnom prostoru unutar omotača (tzv. registar) a između pregrada i to, u jednom prolazu.

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10



Slika 1. Funkcionalni prikaz rebojlera E10 sa prikazom strujanja radnih fluida

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Podaci o projektnim odnosno, geometrijskim karakteristikama rebojlera E10 korišćeni za predmetni proračun prikazani su u Tabeli 1. Ulazni podaci o fizičkim veličinama radnih fluida korišćenmi za predmetni proračun, preuzeti su iz literature i prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 1. Pregled poznatih projektnih veličina

Oznaka	Naziv	Vrednost, jedinica mere
D_s	Spoljni prečnik omotača	0,62 m
D_u	Unutrašnji prečnik omotača	0,60 m
d_s	Spoljašnji prečnik cevi	0,02 m
d_u	Unutrašnji prečnik cevi	0,016 m
S	Korak cevi	0,025 m
H	Rastojanje između pregrada	1,5 m
$L = 4 H$	Dužina cevi	6 m
N	Broj cevi	366
$n = N/2$	Broj "U" cevi	183
n_c	Broj cevi u 11., odnosno 12. redu	23

Tabela 2. Pregled poznatih fizičkih veličine za proračun

Oznaka	Naziv	Vrednost, jedinica mere
	Temperatura toplijeg fluida na ulazu	285 °C
	Temperatura toplijeg fluida na izlazu	205 °C
	Temperatura hladnijeg fluida na ulazu	105 °C
	Temperatura hladnijeg fluida na izlazu	175 °C
P_1	Pritisak toplijeg fluida	1,013 bar
P_2	Pritisak hladnijeg fluida	1,013 bar
w_1	Brzina strujanja toplijeg fluida	0,46 m/s

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

U narednom koraku proračuna, izračunate su sledeće veličine, prema relacijama iz literature : srednja temperatura toplijeg fluida; srednja temperatura hladnijeg fluida; srednja temperature zida cevi. Zatim su iz literature očitane potrebne vrednosti fizičkih veličina toplijeg i hladnijeg fluida, neophodne za nastavak predmetnog proračuna. Pregled očitanih fizičkih veličina za topliji fluid dat u Tabeli 3. Pregled očitanih fizičkih veličina za hladniji fluid dat u Tabeli 4.

Tabela 3. Pregled očitanih fizičkih veličina toplijeg fluida

Oznaka	Naziv veličine	Vrednost, merna jedinica
ρ_1	Gustina	734,1 kg/m ³
ν_1	Kinematska viskoznost	0,2649 x 10 ⁻⁶ m ² /s
λ_{t1}	Termička provodnost	0,105 W/mK
Cp_1	Specifični toplotni kapacitet toplijeg fluida	3233,7 J/kgK
Pr_1	Prandtlov broj	5,99
Pr_{z1}	Prandtlov broj na zidu cevi	6,15

Tabela 4. Pregled očitanih fizičkih veličina hladnijeg fluida

Oznaka	Naziv veličine, merna jedinica	Vrednost, merna jedinica
ρ_2	Gustina	650,5 kg/m ³
ν_2	Kinematska viskoznost	0,1673 x 10 ⁻⁶ m ² /s
λ_{t2}	Termička provodnost	0,113 W/mK
Cp_2	Specifični toplotni kapacitet	2974,5 J/kgK
Pr_2	Prandtlov broj	2,67
Pr_{z2}	Prandtlov broj na zidu cevi	2,11

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Zatim je izračunata površina poprečnog preseka svih cevi sa unutrašnje strane za polovinu cevnog registra:

$$A_1 = n \cdot \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} = 0,0367943 \text{ m}^2$$

- Površina međucevnog prostora računata za polovinu cevnog registra, iznosi:

$$A_2^s = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_u^2 \cdot \pi}{4} - n \cdot \frac{d_s^2 \cdot \pi}{4} = 0,0838805 \text{ m}^2$$

- Površina međucevnog prostora između dve pregrade, računata po dužini cevi u 11. odnosno u 12. redu iznosi:

$$A_2^{ss} \approx (D_u - n_c \cdot d_s) \cdot H = 0,21 \text{ m}^2$$

- Srednja vrednost predhodno izračunatih veličina iznosi:

$$A_2 = \frac{A_2^s + A_2^{ss}}{2} = 0,1469402 \text{ m}^2$$

- U narednim koracima predmetnog proračuna, na osnovu ulaznih podataka, biće izračunate nepoznate strujne veličine za oba fluida, toplotni kapaciteti i snaga rebojlera.

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Maseni protok toplijeg fluida iznosi:

$$\dot{m}_1 = \rho_1 \cdot \omega_1 \cdot A_1 = 12,424919 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Toplotni kapacitet toplijeg fluida iznosi :

$$\dot{W}_1 = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} = 40178,46 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

- Snaga rebojlera iznosi:

$$\dot{Q} = \dot{W}_1 \cdot (\theta_1' - \theta_1'') = 3214276,8 \text{ W}$$

- Toplotni kapacitet hladnijeg fluida iznosi:

$$\dot{W}_2 = \frac{\dot{Q}}{\theta_2'' - \theta_2'} = 45918,24 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

- Maseni protok hladnijeg fluida iznosi:

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{W}_2}{c_{p2}} = 15,437297 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Brzina strujanja hladnijeg fluida iznosi:

$$\omega_2 = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2 \cdot A_2} = 0,161 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- U narednom koraku predmetnog proračuna, izračunat je režim strujanja toplijeg fluida odnosno Reynoldsov broj i Nuseltov broj i to, na osnovu odgovarajućih podataka (Tabela 1,2,3). Reynoldsov broj za topliji fluid iznosi:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_u}{\nu_1} = 27784$$

- Smatra se da je strujanje toplijeg fluida kroz rebojler E10 turbulentno. Na osnovu turbulentnog režima strujanja toplijeg fluida, sledi odgovarajući izraz za izračunavanje Nuseltovog broja:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot \varepsilon_{L1} \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{s1}}\right)^{0,25}$$

- Za izračunavanje Nuseltovog broja u slučaju toplijeg fluida, korišćena je pretpostavka iz literature za popravni koeficijet:

$$\varepsilon_{L1} = 1$$

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Da bi bio ispunjen uslov važenja pretpostavke za popravni koeficijent, moraju biti zadovoljeni sledeći uslovi:

$$\frac{L}{d_u} \geq 50 \quad L \geq 0,8 \text{ (m)}$$

- Korišćena pretpostavka za popravni koeficijent kao i ispravnost uslova njenog važenja za topliji fluid, biće provereni na kraju predmetnog proračuna.
- Zamenom odgovarajućih vrednosti u izraz za Nuseltov broj toplijeg fluida dobija se:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 1 \cdot 27784,069^{0,8} \cdot 5,99^{0,43} \cdot \left(\frac{5,99}{6,15}\right)^{0,25} = 161,69184$$

- Koeficijent prelaza toplote za topliji fluid iznosi:

$$\alpha_{r1} = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{r1}}{d_u} = 1061,103 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Prema istoj metodologiji, u narednim koracima proračuna, biće izračunate vrednosti koje karakterišu strujanje hladnijeg fluida.

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Za izračunavanje Reynoldsovog broja hladnijeg fluida potrebno je prethodno izračunavanje ekvivalentnog prečnika, odnosno obima svih cevi u polovini cevnog registra na sledeći način:

$$d_{e2} = \frac{4 \cdot A_2^i}{\sigma_2^i} \quad \sigma_2^i = n \cdot d_s \cdot \pi = 11,498228 \text{ m}$$

- Ekvivalentni prečnik iznosi:

$$d_{e2} = 0,0291803 \text{ m}$$

- Na osnovu izračunatih veličina, Reynoldsov broj hladnijeg fluida sada iznosi:

$$Re_2 = 28081,457$$

- Smatra se da je strujanje hladnijeg fluida kroz rebojler E10 turbulentno i shodno tome, koristi se sledeći izraz za Nuseltov broj:

$$Nu_2 = 0,021 \cdot \varepsilon_{L2} \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{s2}} \right)^{0,25}$$

- Kao i u slučaju toplijeg fluida, za izračunavanje Nuseltovog broja hladnijeg fluida, prvo se mora odabrati pretpostavka za popravni koeficijent.

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Za izračunavanje Nuseltovog broja hladnijeg fluida korišćena je pretpostavka iz literature za popravni koeficijent:

$$\epsilon_{t2} = 1$$

- Da bi bio ispunjen uslov važenja te pretpostavke moraju biti zadovoljeni sledeći uslovi (jednačina (30)-(33)):

$$\frac{L}{d_{e2}} \geq 50 \quad L \geq 1,459 \text{ (m)}$$

- Korišćena pretpostavka za popravni koeficijent u slučaju hladnijeg fluida u izrazu za Nuseltov broj i uslovi njenog važenja biće provereni na kraju predmetnog proračuna.

- Uvrštavanjem date pretpostavke i odgovarajućih podataka u izraz za Nuseltov broj hladnijeg fluida dobija se:

$$Nu_2 = 0,021 \cdot 1 \cdot 28081,457^{0,8} \cdot 2,67^{0,43} \cdot \left(\frac{2,67}{2,11}\right)^{0,25} = 123,001$$

- Sledi izračunavanje koeficijenta prelaza toplote za hladniji fluid koji iznosi:

$$\alpha_{t2} = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_{t2}}{d_{e2}} = 476,318 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- U narednom koraku predmetnog proračuna biće izračunati koeficijet prolaza toplote i stvarna dužina cevi.
- Termička provodnost čelika (na srednjoj temperaturi zida cevi) prema literaturi iznosi:

$$\lambda_{tz} = 52,3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Otpori radi zaprljanja cevi sa spoljašnje i unutrašnje strane cevi prema literaturi iznose::

$$R_s = 0,006 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad R_u = 0,008 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Koeficijet prolaza toplote izračunava se na sledeći način:

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{d_s \pi \alpha_{t2}} + R_s + \frac{1}{2\pi \lambda_{tz}} \ln \frac{d_z}{d_u} + R_u + \frac{1}{d_u \pi \alpha_{t1}}} = 14,961571 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- Srednja logaritamska razlika temperatureza protivstrujni tok fluida u rebojleru E10 iznosi:

$$\Delta\theta_m = \frac{(\theta'_1 - \theta''_2) - (\theta''_1 - \theta'_2)}{\ln \frac{\theta'_1 - \theta'_2}{\theta''_1 - \theta''_2}} = 104,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Popravni koeficijeti prema literaturi [6] iznose (jednačina (41), (42)):

$$R = \frac{\theta'_1 - \theta''_1}{\theta''_2 - \theta'_2} = 1,143 \quad P = \frac{\theta''_2 - \theta'_2}{\theta''_1 - \theta'_1} = 0,389$$

PRORAČUN STRUJNIH I TERMIČKIH VELIČINA U PROCESU ZAGREVANJA BOGATOG APSORBCIONOG ULJA U REBOJLERU E-10

- Na osnovu podataka za: R, P očitana vrednost za popravni koeficijet (potreban za izračunavanje stvarne dužine cevi) iznosi:

$$\epsilon = 0,91$$

- Na kraju predmetnog proračuna, izračunata je stvarna dužina cevi koja iznosi:

$$L = \frac{Q}{N \cdot K_c \cdot \epsilon \cdot \Delta\theta_m} = 6,148 \text{ m}$$

- Na osnovu izračunate dužine cevi prema izvedenom, kontrolnom strujno-termičkom proračunu rebojlera E10 utvrđeno je slaganje sa vrednošću projektnog podatka. Na osnovu izračunatih dužina cevi, potvrđena je ispravnost korišćenih pretpostavki za popravne koeficijente u izrazima za Nuseltove brojeve oba fluida.
- Na osnovu dobijenih vrednosti, prema tome, smatra se da je predmetni kontrolni strujno-termički proračun tačan i da nema značajnijih odstupanja izračunatih vrednosti od vrednosti po projektnoj dokumentaciji.

ZAKLJUČAK

- Rezultati kontrolnog strujno-termičkog proračuna rebojlera E10 su potvrdili da se pretpostavljena vrednost dužine cevi poklapa sa vrednošću dužine cevi dobijene realizovanom proračunom.
- Na taj način je potvrđena ispravnost korišćenih popravnih koeficijenata u upotrebljenim jednačina za predmetni proračun i poklapanje izračunatog geometrijskog podatka o dužini cevi sa podatkom iz tehničko-tehnološke dokumentacije o rebojleru E10.
- Prikazan pregled strujnih i termičkih veličina u praksi kompletno opisuje rad rebojlera E10 za zagrevanje bogatog apsorpcionog ulja.

HVALA NA PAŽNJI !