 **Univerzitet u Zenici**

 **Mašinski fakultet**

Katedra za proizvodne tehnologije

Predmet: Tribologija Školska godina: 2010/2011

 Student: Terzimehić Alen

**PROJEKTNI ZADATAK**

 U okviru projektnog zadatka potrebno je proračunati i konstruisati centralni cirkulacioni sistem za podmazivanje uljem. Za jednolinijski cirkulacioni sistem za podmazivanje (sa cijevnim razvodom i mlaznicama), potrebno je:

●dimenzionisati pogonski agregat

○ minimalnu količinu ulja u rezervoaru,

○ izabrati pumpu i proračunati kapacitet pumpe,

○ izabrati elemente za kontrolu i regulaciju,

○ izabrati filtere,

○ dimenzionisati hladnjake odnosno grijače ako su potrebni;

**●** izračunati potrebnu količinu ulja za podmazivanje;

**●** izabrati priključne elemente;

**●** izvršiti izbor sredstva za podmazivanje (izbor ulja);

**●** dimenzionisati tlačni i povratni cjevovod (dužinu i prečnik);

 Zadatim sistemom za podmazivanje podmazuju se sljedeći elementi:

**●** radijalni klizni ležaj kod koga se ostvaruje hidrodinamičko podmazivanje (br.kom.2);

**●** aksijalni klizni ležaj (br.kom. 1);

**●** kotrljajni ležaj,kuglični (br.kom. 1);

**●** pužni zupčasti par (br.kom. 1);

 Nacrtati shemu proračunatog centralnog sistema;

 Nacrtati dijagram pada pritiska;

 NAPOMENA: Parametre za proračun zadatog maznog mjesta usvojiti proizvoljno prema literaturi

 LITERATURA:S.Ekinović,N.Vukojević:Sistemi podmazivanja-elementi,konstrukcija,proračun;MF Zenica 2007

S.Ekinović:Osnovi tribologije i sistema podmazivanja,MF Zenica 2000

Tip mineralnog ulja za podmazivanje ovih elemenata nosi oznaku ISO VG 150 i prema tabeli 4.2 ima slijedeće karakteristike:

ν=150 [mm2/s]

η=135 [mPas]

Mazivo za proračunavanje pužnog prijenosnika bi trebalo,prema preporuci biti većeg viskoziteta.

**1. Proračun elemenata za podmazivanje**

**1.1. Radijalni klizni ležaj kod kojeg se ostvaruje hidrodinamičko podmazivanje**

 Parametri za radijalni klizni ležaj usvajaju se iz dijagrama sa slike 3.3.

Usvojeni parametri ležaja su :

d = 50 mm – prečnik ležaja

b = 20 mm – usvojena dužina ležaja

F = 12000 N – korisno opterećenje

n = 500 min-1 – broj obrtaja u minuti

Brzina rotacije:

$v=\frac{dπn}{60}=\frac{0,05∙3,14∙500}{60}=1,31 \frac{m}{s}$

Srednji specifični pritisak:

$p\_{sr}=\frac{F\_{N}}{b∙d}=\frac{12000}{0,05∙0,05}=12,0 MPa$

Na osnovu izračunatih vrijednosti se iz dijagrama na slici 3.5. određuje viskozitet i on iznosi:

$$η=135 mPas$$

Za prečnik rukavca bira se jedno od pogodnih nalijeganja za prečnik Ø50 : H7/e8

Ø50H7/e8

Vrijednosti odstupanja tolerancijskih polja preuzete iz IMP II

Veličina zazora:

Zg = 25 –(- 89)= 0,114 mm

Zd= 0+50 = 0,05 mm

Zsr = (Zg + Zd)/ 2 = 0,082 mm

Veličina relativnog zazora

$Ψ=\frac{Z\_{sr}}{2}=0,00164$

Veličina Somerfeldovog broja:

$S\_{o}=\frac{F\_{N}∙Ψ^{2}}{200η∙b∙v}=\frac{12000∙0,00164^{2}}{200∙70∙10^{-3}∙0,02∙3,92}=0.0294052$

Za So < 1 uzima se proračun prema tabeli 3.7.

Koeficijent trenja iznosi:

$μ=\frac{3Ψ}{S\_{0}}=0,04$

Najmanja debljina uljnog filma iznosi:

$h\_{o}=\frac{s}{2}\left[1-\frac{S\_{0}}{2}\frac{1+β}{2β}\right]=0,05 mm za β=\frac{b}{d}=\frac{100}{100}=1$

Potrebna količina ulja za podmazivanje ležaja iznosi:

Q1 = 0,75 h0 · b · v = 0,75 · 50 · 1310 = 19 650 [mm3/s] = 0,00001965 [m3/s]=1,179 [l/min]

**1.2. Aksijalni klizni ležaj**

Iz prethodnog proračuna usvaja se viskoznost ulja :

$$η=135 mPas$$

Ostale dimenzije određuju se prema dijagramu na slici 3.4. i iznose:

d=100 mm - prečnik ležaja

n= 900 min-1 – broj obrtaja ležaja

F= 5000 N – korisno optećenje

Podaci određeni na osnovu poznatih podataka:

b= 17 mm

ds= 83 mm - srednji prečnik ležaja

O= $dπ=314 mm$ , pomoću obima određuje se dužina segmenta l= 37 mm

Z= 8 – broj segmenata

Brzina klizanja:

$v=\frac{dπn}{60}=\frac{0,083∙3,14∙900}{60}=3,9\frac{m}{s}$

Srednji specifični pritisak:

$p\_{sr}=\frac{F\_{N}}{b∙l∙z}=\frac{5000}{17∙37∙8}=1 MPa=10 bar$

Sa dijagrama 3.7. određujemo najmanju količinu uljnog sloja:

h0 ≈ 0,005 [l/s]

Potrebna količina ulja za podmazivanje aksijalnog kliznog ležaja iznosi:

Q 2= 0,7 · b · h0 · v · z = 0,7 · 17 · 0,00005 · 3,9 · 8 = 0,000001856 [m3/s] = 0,111[l/min]

**1.3 Kotrljajni kuglični ležaj**

Kod podmazivanja kotrljajnih ležajeva mastima glavni elemenat za određivanje vrste masti su temperatura ležaja i faktor brzine.Na slici 3.18,prikazan je dijagram sa granicama upotrebe pojedinih vrsta mazivnih masti,a s obzirom na temperaturu ležaja i faktor brzine f.

f=[(d+D)/2]∙n=[(200+360)/2]∙500=280 mm

Brzina vrtnje mu je n=500 [min-1]

Viskozitet ulja za podmazivanje iznosi oko ν=20 [mm2/s] (slika 3.21)

Na osnovu izabranog viskoziteta i radne temperature 70° bira se ulje prema nomogramu na slici 3.22 tip ISO VG 150

Za rad u normalnim uslovima,pri čemu se prije svega misli na rad pri normalnim temperaturama,tip masti se određuje s obzirom na veličinu i karakter opterećenja i broj obrtaja.U tu svrhu može poslužiti dijagram prikazan na slici 3.19.

Količina masti koja se dozira u ležaj u određenim vremenskim intervalima može se izračunati na osnovu izraza;

V=Qh∙T=106∙D∙b∙k, [cm3]

Qh-potrebna količina masti za podmazivanje u toku jednog sata,

T-vremenski interval doziranja masti,

b-vanjski promjer ležaja (uzeto iz IMP-a),

k-dimenzioni korekcijoni faktori koji za dnevno doziranje ima vrijednost 0,0012 do 0,0015;za sedmično doziranje 0,0015 do 0,002,za mjesečno 0,002 do 0,003;za godišnje 0,003 do 0,0045;za doziranje u 2-3 godine 0,0045 do 0,0055

Ova korekcija definisana je izrazom:

Tk=k1∙k2∙k3∙T

Gdje je:

Tk-korigovana vrijednost intervala doziranja,

T-vrijednost intervala doziranja prema slici 3.20

k1-faktor uticaja prašine,nečistoća i vlage,

k2- faktor uticaja udarnog opterećenja i vibracija,

k3- faktor uticaja temperature,

 Tabela 1. Vrijednosti faktora uslova rada

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| STEPEN UTICAJA | k1 | k2 | k3 |
| Umjeren za k1Nizak za k2 i k3 | 0,7 do 0,9 | 0,7 do 0,9 | 0,7 do 0,9 |
| Jak za k1Srednji za k2 i k3 | 0,4 do 0,7 | 0,4 do 0,7 | 0,4 do 0,7 |
| Veoma jak za k1Visok za k2 i k3 | 0,1 do 0,4 | 0,1 do 0,4 | 0,1 do 0,4 |

Prema gore navedenim podacima i slici 3.23 za spoljni promjer ležaja 360 [mm] i potrebno hlađenje za ležajeve simetrične konstrukcije-slučaj B,utvrđuje se potrebna količina ulja po jednom ležaju od 3 [l/min] i pritisak od 4 [bar].

**1.4 Pužni zupčasti par**

Prema slici 3.26 za obodnu brzinu puža 10 [m/s] izabrano ulje ima viskozitet za tip ISO VG 220

Ulje mora da se prska preko čeone širine puža.Potrebna količina ulja za podmazivanje se određuje prema veličini osnog rastojanja,a prema obrascu u donjoj tabeli.Pritisak ulja se određuje u zavisnosti od veličine obodne brzine zupčanika,donja tabela.

Tabela 2. Zavisnost pritiska ulja od obodne brzine zupčanika kod podmazivanja prskanjem

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Količina | Brzina [m/s] | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 75x10-6 x A[m3/s] | Pritisak[kN/m2] | 100 | 170 | 270 | 340 |

-gdje je: A-osno rastojanje,[m]

Pužni prenosnik će se podmazivati prskanjem sa količinom maziva određenom prema prikazanoj tabeli.

Qmin=75∙10-6∙A=75∙10-6∙0,2=0,000015 [m3/s]=0,9[l/min]

A≈0,2 [m] -približno osno rastojanje

-pritisak od 100 [kN/m2]=10 [bar]

**2. Proračun cirkulacionog sistema podmazivanja uljem**

Konstruktivne karakteristike maznih mjesta date su u tabeli 1.1. Ostali parametri preuzeti iz literature.

Tip ulja za podmazivanje je ISO VG 150 i prema tabeli 4.2 ima sljedeće karakteristike:

* kinematski viskozitet:  = 150 [mm2/s]
* dinamički viskozitet: η= 135 [mPas]

 Tabela 3. Karakteristike elemenata koji se podmazuju:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Mazno mjesto |  Oznaka | Potrebna količinaUlja, Q,l/min | Potrebna Količina ulja Q,10-5 m3/s | Pritisak P,(bar) |
| Radijalni ležaj | MM1 | 0,14736 | 0,2456 | 48 |
| Radijalni ležaj | MM2 | 0,14736 | 0,2456 | 48 |
| Aksijalni ležaj | MM3 | 0,111 | 0,183 | 10 |
| Kotrljajni ležaj,kuglični | MM4 | 3,0 | 5,0 | 4 |
| Pužni zupčasti par | MM5 | 0,9 | 1,5 | 4 |

Tabela 4.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| OZNAKAGRANE | G12 | G3 | G4 | G5 | G123 | G45 | GGM |
| DUŽINA GRANE | 25 [m] | 15 [m] | 15 [m] | 15 [m] | 10 [m] | 12 [m] |  [m] |

**2.1 Izbor sistema podmazivanja**

Analizirajući postavljeni zadatak kao i karakteristike i potrebe elemenata koji se podmazuju,usvaja se prema preporukama u poglavlju I priručnika CIRKULACIONI SISTEM ZA PODMAZIVANJE-TIP J.Karakteristika ovog sistema je da se doprema ulje do maznih mjesta odvija pomoću pumpnog agregata,a putem povratnog cjevovoda ulje se doprema nazad u rezervoar.

Cirkulacioni sistemi mogu biti konstruisani da vrše samo funkciju podmazivanja ili podmazivanje i hlađenje.

Ovaj sistem ima svoju praktičnu vrijednost i u tome što vrlo malo zagađuje okolinu i omogućava adekvatno odvođenje topline sa maznih mjesta.

Prema preporukama datim u tabelama 1.1 do 1.7 može se zaključiti da ovakav sistem zadovoljava postavljene zahtjeve.

Idejno rješenje cirkulacionog sistema je prikazano na slici....

Proračunom treba utvrditi ostale konstruktivne parametre ovog sistema.

Sistem za podmazivanje se sastoji od jednog pogonskog agregata (PA),magistralnog voda (MC),četiri grana (G1-G4) i povratnog cjevovoda (PC).

Grana jedan snadbjeva naizmjenično dva mazna mjesta (MM1 i MM2-radijalne klizne ležaje) preko razvodnika (R1) pri čemu se regulacija protoka i izlaznog pritiska reguliše na podesivnoj prigušnici (P1).Karakteristike maznih mjesta MM1 i MM2 su identične,te se proračun vrši za jednu granu.

Granom G3 podmazuje se aksijalni klizni ležaj(MM3) pri čemu se također regulacija protoka i izlaznog pritiska reguliše na podesivoj prigušnici (P2).

 Podmazivanje kotrljajnog ležaja (MM4) se reguliše preko podesive prigušnice (P3).Regulacija podmazivanja maznog mjesta (MM5), tj. Pužni zupčasti par se obavlja preko nepodesive prigušnice (P4).

Analizom karakteristika maznih mjesta utvrđeno je da su izlazni pritisci različiti a najveći su na MM1 i MM2,gdje je pritisak 48 bara.

U slučaju ležajeva sa hidrostatičkim podmazivanjem,potrebno je proračunom odrediti minimalni pritisak maziva na maznom mjestu.

**2.2. Analiza sistema karakteristika po granama**

Proračun parametara cjevovoda se vrši za svaku granu posebno.U tabeli 2.22 dati su obrasci za proračun padova pritisaka kroz pojedine dijelove sistema podmazivanja.

U prvom koraku proračuna,na osnovu preporučenih brzina strujanja ulja kroz sistem,određuju se prečnici cjevovoda,kao i ostale veličine neophodne za definisanje sistema (padovi pritisaka,protoci....).Na osnovu proračuna mogu se radi preglednosti i boljeg shvatanja definisati dijagrami promjene relativnog pritiska za pojedine grane sistema.

Ukoliko padovi pritisaka nakon proračuna budu neodovarajući,potrebno je promijeniti prečnik cjevovoda i ponoviti proračun.

**2.2.1. Proračun grane G12**

Grana G12 se prostire od maznog mjesta MM1 i MM2 do priključka T4.U ovom slučaju su karakteristike maznih mjesta MM1 i MM2 do razvodnika R1 identične,te se analiziraju padovi pritiska u jednom pomoćnom cjevovodu,npr. do MM1.

Količina maziva neophodna za ispravan rad maznog mjesta MM1 i MM2 prema tabeli P3.2 iznosi: Q1=Q2=0,14736 [l/min]=24,53∙10-5 [m3/s],a do razvodnika R1 kroz cijevovod se doprema količina maziva Q12= Q1=Q2=0,14736 [l/min]=24,53∙10-5 [m3/s],jer se podmazivanje maznih mjesta vrši naizmjenično.

 Prečnik cjevovoda grana G1,G2 i G12 se određuje prema obrascu:

$d\_{12}=\sqrt{\frac{4∙Q\_{12}}{π∙v\_{1}}}=\sqrt{\frac{4∙24,53∙10∙0.00001}{3,14∙(3÷5)}}=8,8386∙0,001 m=8,83 mm$

v=3$÷$5 [m/s],preporučena brzina strujanja u potisnom vodu

$d\_{1}=d\_{2}=\sqrt{\frac{4∙Q\_{1}}{π∙v\_{1}}}=\sqrt{\frac{4∙12,265∙10∙0.00001}{3,14∙(3÷5)}}=6,2498∙0,001 m=6,25 mm$

Usvaja se prečnik cjevovoda kroz grane pomoćnih cijevovoda G1 i G2,od razvodnika R1 do maznih mjesta,d1=d2=6,25 [mm],a za granu G12 prečnik d12= 8,8 mm.Izbor prečnika cjevovoda treba vršiti prema standardima ili katalozima proizvođača.

Materijal cijevi je čelik Č.1330.

Brzina strujanja:

$v\_{1}=v\_{2}=\frac{4Q\_{1}}{d\_{1}^{2}∙π}=\frac{4∙12,265∙0,00001}{36∙0,000001∙π}=4,34 \frac{m}{s} $

$v\_{12}=\frac{4Q\_{1}}{d\_{1}^{2}∙π}=\frac{4∙24,53∙0,00001}{81∙0,000001∙π}=3,857 \frac{m}{s}$

Proračun padova pritiska kroz granu G12

Ukupni pad pritiska od priključka T4 do mlaznih mjesta MM1 i MM2 predstavlja zbir svih linijskih i lokalnih padova pritisaka i potreba maznog mjesta kroz ovu dionicu cjevovoda.

Potreban pritisak na maznom mjestu: $∆p\_{MM1}=48 bar$

$$∆p\_{MM2}=48 bar$$

Linijski padovi:

$$∆p\_{lin}= λ\frac{l}{d}\frac{v^{2}}{2}∙ρ$$

Gdje su:

l-dužina pravolinijskog dijela cjevovoda,[mm]

λ-koeficijent linijskih otpora u cijevi,

d-unutrašnji prečnik cjevovoda,[mm]

v-brzina strujanja ulja kroz posmatranu dionicu,[m/s]

ρ-gustina ulja,ρ=900[kg/m3].

 Tabela 5. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grana G1 i G2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsovbroj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L, m | D,mm | V,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re |  λ | P,Pa |  |
| Δ*P*L1-1 | 1 | 6,25 | 4,34 | 150 | 900 | 180,833 | 0,35 | 474657,12 | 4,6845 |
| Δ*P*L1-2 | 4 | 6,25 |  4,34 | 150 | 900 | 180,833 | 0,35 | 1898628,48 | 18,738 |
| Δ*P*L1-3 | 5 | 8,8 | 3,857 | 150 | 900 | 226,277 | 0,2311 | 879017,7375 | 8,675 |
| Δ*P*L1-4 | 10 | 8,8 | 3,857 | 150 | 900 | 226,277 | 0,2311 | 1758035,475 | 17,3505 |
| Δ*P*L1-5 | 6 | 8,8 | 3,857 | 150 | 900 | 226,277 | 0,2311 | 1054821,285 | 10,4103 |
|  $ΣP$*L-G12* | 26 |  |  |  |  |  |  |  | 59,8583 |

$R\_{e}=\frac{v∙d}{ϑ}=\frac{4,34∙0,00625}{150∙10^{-6}}=180,833$

$R\_{e}=\frac{v∙d}{ϑ}=\frac{3,857∙0,0088}{150∙10^{-6}}=226,277$

Strujanje je laminarno i koeficijent λ se računa prema izrazu:

$λ=\frac{64}{Re}=0,35$

$λ=\frac{64}{Re}=0,2311$

Lokalni padovi:

**Δplok=ξ∙**$\frac{v^{2}}{2}$**∙ρ**

Lokalni padovi pritiska:

$∆p\_{lokK34}=ξ∙\frac{v^{2}}{2}∙ρ=0,3125∙\frac{4,34^{2}}{2}∙900=2648,75625 Pa=0,02614 bar$

$∆p\_{lokP1}=ξ∙\frac{v^{2}}{2}∙ρ=0,38∙\frac{3,875^{2}}{2}∙900=2567,6719 Pa=0,02534 bar$

$∆p\_{lokM12}=ξ∙\frac{v^{2}}{2}∙ρ=1,92∙\frac{4,34^{2}}{2}∙900=16273,9584 Pa=0,1606 bar$

$∆p\_{lokK2}=ξ∙\frac{v^{2}}{2}∙ρ=2,5∙\frac{3,875^{2}}{2}∙900=16892,55 Pa=0,16672 bar$

$∆p\_{lokR1}=ξ∙\frac{v^{2}}{2}∙ρ=2,3∙\frac{3,875^{2}}{2}∙900=15541,17 Pa=0,15338 bar$

$∆p\_{lokT4}=ξ∙\frac{v^{2}}{2}∙ρ=0,38∙\frac{3,875^{2}}{2}∙900=2567,6719 Pa=0,0253 bar$

Tabela 6. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu G12:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Oznaka priključka | Vrsta priključka  | Karakteristike | Vrijednost koef.  |
| M1,M2 |  M-mlaznica | D2/D1=0,9 | 1,92 |
| K3,K4 |  K-koljeno | D/d=20/6,25=4 | 0,3125 |
| R1 | R-razvodni ventil | Po katalogu | 2,30 |
| P1 | P-prigušnica | Tabela 2.25 | 0,38 |
| T4 |  T-priključak | Tabela 2.25. | 0,1 |
| K2 |  K-koljeno | D/d=22/8,8=4 | 2,5 |

Tabela 7. Vrijednosti koeficijenata padova pritiska za granu G12:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
| $$∆p\_{lokK34}$$ | K3,K4 | 0,3125 | 4,34 |  900 | $$2648,75625$$ |  $0,02614$ |
| $$∆p\_{lokM12}$$ | M1,M2 | 1,92 | 4,34 |  900 | $$16273,9584$$ |  $0,1606$ |
| $$∆p\_{lokK2}$$ | K2 | 2,5 | 3,875 |  900 | $16892,55 $  |  $0,16672$ |
| $$∆p\_{lokR1}$$ | R1 | 2,3 | 3,875 |  900 | $$15541,17$$ | $$0,15338$$ |
| $$∆p\_{lokP1}$$ | P1 | 0,38 | 3,875 |  900 | $$2567,6719$$ | $$0,02534$$ |
| $$∆p\_{lokT4}$$ | T4 | 0,1 | 3,875 |  900 | $$2567,6719$$ | $$0,0253$$ |
|  |  | 0,55748 |

Ukupni pad pritiska na grani G12 iznosi:

$$∆p\_{G12}=∑p\_{linG12}+∑p\_{lokG12}+p\_{MM1}+p\_{MM2}=59,8583+0,55748+48+48=156,41578 bar$$

**2.2.2. Proračun grane G3**

Prečnik cjevovoda :

d3 = $\sqrt{\frac{4∙Q\_{3}}{π∙v}}$=  = 0,010796[m] = 10,796[mm]

Usvaja se prečnik grane G3, d3 = 10,8 mm, od maznog mjesta MM3 do priključka T4.

Brzina strujanja:

V3 = $\frac{4∙Q\_{3}}{d3^{2}∙π}$ =  = 1,9986 [m/s]

Proračun padova pritiska na grani:

Linijski padovi:

plinG3 = 3·$\frac{l\_{3}∙v\_{3}^{2}}{d\_{3}∙2}$ ∙ρ

Linijski pad pritiska:

 plinG3 = 3·$\frac{l\_{3}∙v\_{3}^{2}}{d\_{3}∙2}$ ∙ρ = 2222308,637 [Pa] = 21,93 [bar]

 Tabela 8. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grane G3:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsov broj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L,m |  D,mm |  V,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re | = | P,Pa |  |
| ΔPlinG3 |  15 |  10,796 |  1,9986 |  150 |  900 | 143,846 | 0,44492 | 2222308,637 |  21,93 |

Σ*PLG3=*21,93

Lokalni padovi pritiska:ΔPlokG3=ξ∙$\frac{v\_{3}^{2}}{2}∙ρ$

Tabela 9. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu G3:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Oznaka priključka | Vrsta priključka  | Karakteristike | Vrijednost koef.  |
| M2 | M-mlaznica | Tabela 2.25. | 1,92 |
| T4 | T-priključak | Tabela 2.25. | 1,3 |
| P2 | P-prigušnica | Tabela 2.25 | 1,8 |

Tabela 10. Vrijednosti koeficijenata padova pritiska za granu G3:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
| ΔPM3 |  M3 |  1,92 |  1,9986 |  900 | 3451,1633 |  0,03406 |
|  |  T4 |  1,3 |  1,9986 |  900 | 2336,7252 |  0,02306 |
| Δ*PP2* |  P2 |  1,8 |  1,9986 |  900 | 3235,4656 |  0,03193 |
| ΣPlokG3 |  |  0,05832 |

Ukupni pad pritiska na grani G3 iznosi:

ΔPG3=ΔPlinG3+ΔPlokG3+ΔPMM3=21,93+0,05832+10=31,98832 bar

**2.2.3. Proračun grane G4**

Prečnik cjevovoda :

d4 =$\sqrt{\frac{4∙Q\_{4}}{π∙v}}$ =  = 0,0056433[m] = 5,6433[mm]

Usvaja se prečnik grane G4, d4 = 5,6 mm, od maznog mjesta MM4 do priključka T3.

Brzina strujanja:

V4= $\frac{4∙Q\_{4}}{d4^{2}∙π}$ =  = 2,0 [m/s]

Proračun padova pritiska na grani:

Linijski padovi:

 plinG4 = 4·$\frac{l\_{4}∙v\_{4}^{2}}{d\_{4}∙2}$ ∙ρ= 4066769,443 [Pa] = 40,13589 [bar]

Tabela 11. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grane G3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsov broj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L,m |  D,mm |  v,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re | = | P,Pa |  |
| ΔPlinG3 |  15 |  5,6433 |  2,0 |  150 |  900 |  75,224 |  0,85057 | 4066769,443 | 40,13589 |

Σ*PLG4=*40,135 bar

Lokalni padovi pritiska:

ΔPlokG4=ξ∙$\frac{v\_{4}^{2}}{2}∙ρ$

 Tabela 12. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu G4:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Oznaka priključka | Vrsta priključka  | Karakteristike | Vrijednost koef.  |
|  M4 |  M-mlaznica | Tabela 2.25. | 1,92 |
|  T3 |  T-priključak | Tabela 2.25. | 2,0 |
|  P3 |  P-prigušnica | Tabela 2.25 | 1,3 |

 Tabela 13. Vrijednosti koeficijenata padova pritiska za granu G4:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
| ΔPM3 |  M4 | 1,92 | 2 | 900 | 3456 |  0,0341 |
| ΔPT3 |  T3 | 2,0 | 2 | 900 | 3600 |  0,035529 |
| Δ*PP3* |  P3 | 1,3 | 2 | 900 | 2340 | 0,023094 |
| ΣPlokG3 |  |  0,092723 |

Ukupni pad pritiska na grani G4 iznosi:

ΔPG4=ΔPlinG4+ΔPlokG4+PMM4=40,135+0,092723+4=44,2277 bar

**2.2.4. Proračun grane G5**

 Prečnik cjevovoda :

d5 =$\sqrt{\frac{4∙Q\_{5}}{π∙v}}$ =  = 0,003091[m] = 3,091[mm]

Usvaja se prečnik grane G5, d5 = 3 mm, od maznog mjesta MM5 do priključka T3.

Brzina strujanja:

V5 = $\frac{4∙Q\_{5}}{d5^{2}∙π}$ = $\frac{4∙1,5∙0,00001}{(3,091∙0,001)^{2}∙π}$ = 1,9999 [m/s]

Proračun padova pritiska na grani:

Linijski padovi:

 plinG5 = 5· $\frac{l\_{5}∙v\_{5}^{2}}{d\_{5}∙2}$ ∙ρ= 55898,80956[Pa] = 89,2395[bar]

 Tabela 14. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grane G5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsov broj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L,m |  D,mm |  V,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re | = | P,Pa |  |
| ΔPG5 |  10 | 0,003091 |  1,9999 |  150 |  900 | 41,2113 |  1,5529 | 55898,80956 | 89,2395 |

Lokalni padovi pritiska:

 ΔPlokG5=ξ∙$\frac{v\_{5}^{2}}{2}$∙ρ

Tabela 16. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu G5:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Oznaka priključka | Vrsta priključka  | Karakteristike | Vrijednost koef.  |
| M5 |  M-mlaznica | Tabela 2.25 | 1,8 |
| K5 |  K-koljeno 900 | Tabela 2.25 | 0,4 |
| P4 |  P-prigušnica | Tabela 2.25 | 1,3 |

Tabela 17. Vrijednosti koeficijenata padova pritiska za granu G5:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
| ΔPM5 |  M5 |  1,8 |  1,9999 | 900 |  3239,676 |  0,03197 |
| ΔPK5 |  K5 |  0,4 |  1,9999 | 900 |  719,928 |  0,007105 |
| Δ*PP4* |  P4 |  1,3 |  1,9999 | 900 | 2339,766 | 0,02309 |
| ΣPlokG5 |  | 0,062165 |

Ukupni pad pritiska na grani G5 iznosi:

ΔPG5=ΔPlinG5+ΔPlokG5+PMM5=89,2395+0,062165+10=99,3 bar

**2.2.5. Grana sistema G123**

Ova grana se prostire od priključka T2 , do priključka T4. Količina maziva koja protiče kroz ovaj dio cjevovoda je:

Q123 = Q12 + Q3 = 24,53∙10-5 + 18,3∙10-5 = 42,83∙10-5 [m3/s]=25,698 [l/min]

Prečnik cjevovoda grane G123:

d123 = $\sqrt{\frac{4∙Q\_{123}}{π∙v}=}\sqrt{\frac{4∙42,83∙0,00001}{3,14∙(1:3)}}=0,0165167 m=16,5167mm$

Brzina strujanja:

V123 = $\frac{4∙Q\_{123}}{d\_{123}^{2}∙π}=\frac{4∙42,83∙0,00001}{0,0165167^{2}∙3,14}=2,0 m/s$

Pad pritiska na ulazu u T4 – priključak na kojem se pritisak grane G123 razdvaja na granu G12 i granu G3:

ΔPG12=ΣPlinG12+ΣPlokG12+PMM1+ PMM2=59,8583+0,55748+48+48=156,41578 bar

ΔPG3=ΣPlin G3+ΣPlokG3+PMM3=21,93+0,05832+10=31,98832 bar

Max. vrijednost pada pritiska na ulazu u T4 priključak za dalji proračun iznosi:

ΔPT4ul=max(ΔPG1;ΔPG2)=156,41578 bar

Proračun padova pritiska kroz granu G123:

Ukupan pad pritiska od priključka T4 do T2 predstavlja zbir svih linijski i lokalni padova pritiska kroz ovu dijonicu cjevovoda.

Linijski padovi pritiska:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsov broj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L,m |  D,mm |  V,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re | = | P,Pa |  |
| ΔPlinG12 |  10 |  17 |  2 |  150 |  900 | 227,333 | 0,28153 | 372613,2353 | 0,372 |
| ΣPlinG12 |  | 0,372 |

Tabela 18. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grane G123

 Re=  ; 

Lokalni padovi pritiska:

Tabela 19. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu G12:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  Oznaka |  Vrsta priključka |  Karakteristike | Vrijednost koef. |
|  T2 |  T-priključak |  Tabela 2.25.  |  1,3 |

Tabela 20. Vrijednosti lokalnih padova pritiska za proračun grane G12

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
| ΔPT2 |  T2 |  1,3 |  2 |  900 | 8784,140625 |  0,08669 |
| ΣΔPlokG12 |  |  0,08669 |

Ukupan pad pritiska na grani G12 od priključka T4 do T2 iznosi:

ΔPG123=ΣPlinG123+ΣPlokG123+ΔPT4ul=0,372+0,0866927+156,41578=156,8744 bar

**2.2.6. Grana sistema G45:**

Ova grana se prostire od priključka T3 , do priključka T2. Količina maziva koja protiče kroz ovaj dio cjevovoda je:

Q45 = Q4 + Q5= 5,0∙10-5 + 1,5∙10-5= 6,5∙10-5 m3/s=3,9 l/min

Prečnik cjevovoda grane G45:

d45 = $\sqrt{\frac{4∙Q\_{45}}{π∙v}}$=$\sqrt{\frac{4∙6,5∙10^{-5}}{3,14∙2}}$=6,43 mm

Brzina strujanja:

V45 = $\frac{4∙Q\_{45}}{π∙d\_{45}^{2}}$=$\frac{4∙6,5∙10^{-5}}{3,14∙4,1345∙10^{-5}}$=2,0 m/s

Pad pritiska na ulazu u T3 – priključak:

ΔPG5=ΣPlinG5+ΣplokG5+PMM5=89,2395+0,062165+10=99,301665 bar

ΔPG4=ΣPlinG4+ΣPlokG4+PMM4=40,135+0,092723+4=44,227723 bar

Max. vrijednost pada pritiska na ulazu u T3 priključak za dalji proračun iznosi:

ΔPT3ul=max(ΔPG4, ΔPG5)=99,301665 bar

Proračun padova pritiska kroz granu G45:

Ukupan pad pritiska od priključka T3 do T2 predstavlja zbir svih linijski i lokalni padova pritiska kroz ovu dijonicu cjevovoda.

Linijski padovi pritiska:

 Tabela 20. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grane G23

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsov broj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L,m |  D,mm |  V,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re | = | P,Pa |  |
| ΔPlinG45 |  12 |  12 |  2 |  150 |  900 |  160  |  0,4 | 72000 |  7,1058 |
| ΣΔPlinG45 |  |  7,1058 |

Re=  ; 

ΔPlinG45=λ45∙$\frac{l\_{45}∙v\_{45}^{2}}{d\_{45}∙2}$∙ρ

Lokalni padovi pritisaka:

 Tabela 21. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu G45:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  Oznaka |  Vrsta priključka |  Karakteristike | Vrijednost koef. |
|  T3 |  T-priključak |  Tabela 2.25. tač.1 |  1,3 |

Tabela 22. Vrijednosti lokalnih padova pritiska za proračun grane G23

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
| ΔPT3 |  T3 |  1,3 |  2 |  900 |  2340 |  0,023049 |
| ΣΔPT3 |  |  0,02304 |

Ukupan pad pritiska na grani G45 od priključka T3 do T2 iznosi:

ΔPG45=ΣPlinG45+ΣPlokG45+ΔPT4ul=7,1058+0,023094+99,301665=106,43 bar

**2.2.7. Grana sistema GGM:**

Ova grana se prostire od priključka T2 , do priključka T1. Količina maziva koja protiče kroz ovaj dio cjevovoda je:

QGM = Q123 + Q45=25,698+3,9=49,33∙10-5 m3/s=29,598 l/min

Prečnik cjevovoda grane GM:

dGM =$\sqrt{\frac{4∙Q\_{GM}}{π∙v}}$=0,017725 m,usvajamo dGM=18 mm

Brzina strujanja:

VGM = $\frac{4∙Q\_{GM}}{π∙d\_{GM}^{2}}$=2 m/s

Pad pritiska na ulazu u T1 – priključak:

ΔPG1=ΔPG123=156,8744 bar

ΔPG2=ΔPG45=106,43 bar

Max. vrijednost pada pritiska na ulazu u T1 priključak za dalji proračun iznosi:

ΔPT1ul=max(ΔPG1,ΔPG2)=156,8744 bar

Proračun padova pritiska kroz granu GM:

Ukupan pad pritiska od priključka T1 do T2 predstavlja zbir svih linijski i lokalni padova pritiska kroz ovu dijonicu cjevovoda.

Linijski padovi pritiska:

 Tabela 23. Vrijednosti linijski padova pritiska za proračun grane G12

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Dužina | Prečnik | Brzina | Kinnem.viskozitet | Gustina | Reynoldsov broj | Koeficijentlin.otpora | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  L,m |  D,mm |  V,m/s | ,mm3/s | ,kg/m3 |  Re | = | P,Pa |  |
| ΔPlinGM |  20 |  22 |  2,0 |  150 |  900 | 293,333 | 0,21818 | 178510,9 | 1,76177 |

ΔPlinGM=λGM∙[(lGM∙vGM2)/(dGM∙2)]∙ρ

 Re=$\frac{v\_{GM}∙d\_{GM}}{v}$ ; 

Lokalni padovi pritiska:

 Tabela 24. Vrijednosti koeficijenata lokalnih otpora za granu GM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Oznaka | Vrsta priključka | Karakteristike | Vrijednost koef. |
| T1 | T-priključak | Tabela 2.25. tač.1 | 0,1 |
| K1 | Koljeno,90 ̊ | $$\frac{D}{d}=\frac{36}{12}=3$$ | 0,3 |
| F1 | Filter | Tabela 2.14 | 0,26 |

 Tabela 25. Vrijednosti lokalnih padova pritiska za proračun grane GM

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Simbol | Oznaka | Koef.lokalnih otpora  | BrzinaV,m/s | Gustina,kg/m3 | Pad pritiska | Pad pritiska |
|  |  T1 |  0,1 |  2,0 |  900 |  180 |  0,001776 |
| ΔpK1 | K1 | 0,3 | 2,0 | 900 | 540 | 0,0053294 |
| ΔpF1 | F1 | 0,26 | 2,0 | 900 | 468 | 0,0046188 |
| ΣplokGM |  |  |  |  |  | 0,0117242 |

Ukupan pad pritiska na grani GM od priključka T1 do T2 iznosi:

ΔPT2ul=106,43 bar

ΔPGM=ΔPlinGM+ΔPlokGM+ΔPT2ul=1,76177+0,0117242+106,43=108,2035 bar

**2.2.8. Proračun povratnog cjevovoda:**

Povratni pritisak jednak potencijalnoj energiji ulja na mjestu maznog mjesta sa najvišom geodetskom visinom:

 Δph=ρ∙g∙h=900∙9,81∙7=61803 Pa=0,61 bar

 Za povratni vod se preporučuje brzina v=1 (m/s), te za ukupan protok određujemo prečnik povratnog cjevovoda:

dp = $\sqrt{\frac{4∙Q\_{GM}}{π∙v\_{p}^{2}}}$=30,417 mm ,usvajamo dp=31 mm

Za normalno odvođenje ulja nazad u rezervoar potrebno je da se zadovolji uslov 



Δpp=0,248 bar

Gdje je:

* + lp = 20 (m) - dužina povratnog cjevovoda
	+ dp = 31 (mm) - prečnik povratnog cjevovoda
	+ vp = 1 ( m/s) - brzina strujanja ulja kroz povratni cjevovod
	+ 
	+ Re =  (mm2/s) - kinematski viskozitet na predpostavljenoj temperaturi povratnog ulja od 800C ,slika 4.6.
	+  T 2.25. tač.3 ,ukupno 3 koljena
	+ = 0,1 pravolinijsko proticanje kroz T – priključak,ukupno 5 priključka

Provjera utroška raspoložive potencijalne energije:

Δph=0,61 >Δpp=0,248

Projektovani povratni cjevovod zadovoljava

**3. Projektovanje radnog pritiska i pumpe**

Ukupni potrebni radni pritisak pumpe:

Pp=ΔpGM+Δph+Δpd=108,2035+0,61+0,248=109,0615 bar

Pp – ukupni pritisak u pumpi statički pritisak zbog geodetske razlike nivoa ulja u rezervoaru i najudaljenijeg

 maznog mjesta,u ovom slučaju h = 7 (m)

- rezervi pritisak koji se dodaje radi nepredviđenih povećanja otpora u sistemu,

 Usvojena vrijedost 0,248 (bar)

Ukupni kapacitet pumpe Qp iznosi:

Qp=(1,1-1,25)∙QGM=1,15∙72,63∙10-5=8,35245∙10-4 m3/s

Max. potrebna snaga pumpe:

NP =$\frac{P\_{p}∙Q\_{GM}}{600∙η\_{uk}}$=9,3189 kW

**NP ≈10 kW**

- ηuk =(0,8 ÷0,85) – koef. korisnog dejstva pumpe

 -QGM = 43,578[l/min]- potrebna količina maziva za ispravan rad sistema

 -Pp = 109,0615 [bar] – maksimalni pritisak pumpe

- Na osnovu proračuna usvaja se pumpa snage 10 [kW]

**3.1. Projektovanje rezervoara**

V=$\frac{1,25∙Q\_{p}}{O}$=$\frac{1,25∙3,006882}{1,4}$=2,684716 m3

* stepen sigurnosti = 1,25
* Qp = 50,1147 [l/min] – kapacitet pumpe
* O = 1,2 ÷ 1,6 (usvajamo 1,4) – koeficijent optoka za cirkulacione sisteme