

Хидраулика и пнеуматика

Вентили протока - 10

Машински факултет Универзитет у Београду



доц. др Милан Раковић
Катедра за механику флуида

10.1 Увод

- потребно је вршити **регулисање протока** који се усмерава ка извршним претварачима јер се тиме мењају кинематски параметри извршних претварача (брзина кретања клипа ХЦ и угаона брзина вратила ХМ)
 - тако се врши управљање хидрауличким системом
 - један од начина за промену протока је коришћење вентила протока
 - у основи је постојање локалног отпора који може бити константних карактеристика или променљивих
 - вентили протока се могу поделити на основу критеријума да ли проток који шаљу зависи од промена притиска у делу система низструјно од вентила или не
 - ако зависи онда су то **пригушни вентили**, а ако вентил обавља своју улогу независно од низструјних промена притиска (изазваних спољашњим оптерећењем) онда је реч о **регулаторима протока**. Посебна врста су **раздељивачи протка**
- дакле, вентили протока се деле на:
 - (10.2) пригушни вентили
 - (10.3) регулатори протока
 - (10.4) раздељивачи протока

10.2 Пригушни вентили

- пригушнице представљају намерно постављени локални отпор
- при протицању флуида кроз њих долази до пада притиска
- кључна је веза протока и пада притиска која је дата једначином пригушнице (једначином бленде):

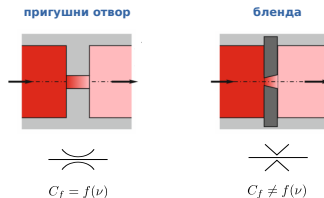
$$Q = C_f A_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

где су:

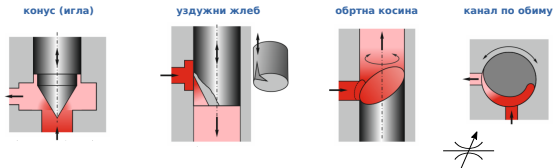
- A_0 - проточна површина
- C_f - коефицијент протока
- као што се види, проток зависи од разлике притисака испред и иза локалног отпора, а не од апсолутних вредности притисака (осим утицаја на густину)
- коефицијент протока C_f зависи од типа пригушнице, геометрије пригушнице, а може зависити и од вискозности флуида
- пригушнице се деле према томе да ли имају могућност промене проточне површине или не, и према томе да ли вискозност утиче на коефицијент протока или не

- ако пригушница садржи цеви малог пречника кроз које флуид протиче, онда коефицијент протока зависи од вискозности, а ако пригушница представља отвор са оштрим ивицама утицај вискозности је занемарљив

Пригушнице константног проточног пресека

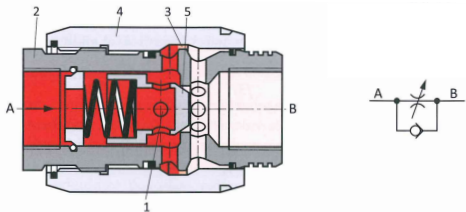


Пригушнице променљивог проточног пресека

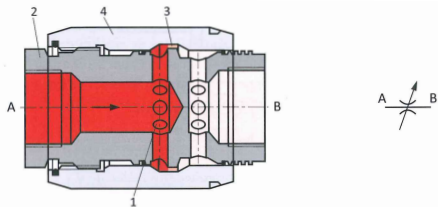


10.2 Пригушни вентили

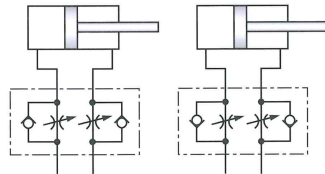
- раниje je prikazana konstrukcija priгушно неповratnog ventila



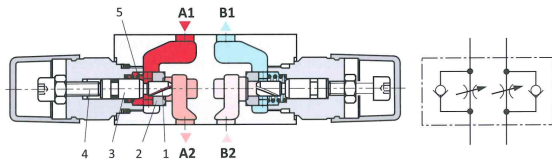
- пригушење се регулише закретањем чауре 4
- слична је конструкција ventila који ради као пригушница променљивог проточног пресека, која може да пропушта и пригушује проток у оба смера



- често се користе **двоструки пригушно неповратни ventили**. Пригушење се може вршити у потисном воду који је повезан са водом **P** или у повратном воду који је спојен са резервоаром **T**



- пресек двоструког пригушно неповратnog ventila у сендвич извођењу



- пригушује се поток **A1→A2**, а проток **B2→B1** подиже пригушни клип са седишта и слободно се одвија

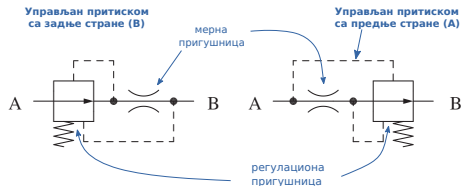
10.3 Регулатори протока

- према једначини пригушнице, на претходно приказаним пригушним вентилима проток зависи од разлике притисака испред и иза вентила
- то значи да ће при промени притиска иза вентила (услед променљивог деловања спољашњег оптерећења) ова разлика бити промењена, па као последица тога и проток кроз вентил ће бити промењен
- некада је ово потребно спречити, тј. потребно је испоручивати **исти проток без обзира на промене притиска око вентила**
- овај задатак могу да изврше **регулатори протока**. Како?
- техничка решења примењена при конструисању хидрауличких компоненти су често једноставна и елегантна, тако је и овде
- како проток зависи од **разлике** притисака, идеја је да пораст притиска иза пригушнице у вентилу буде испраћен порастом притиска испред ње, тако ће разлика остати непромењена, па и проток
- исто је и при смањењу притиска иза вентила, тада треба смањити притисак испред како би разлика и проток остали непромењени
- ово се остварује помоћу две пригушнице (бленде), од којих је једна **мерна**, а друга **регулациона**
- ако се мерна и регулациона пригушница налазе у редној вези, реч је о **двограном регулатору протока**
- ако се налазе у паралелној вези, онда је то **трограни регулатор протока**
- најпре су приказани **двограни регулатори протока**

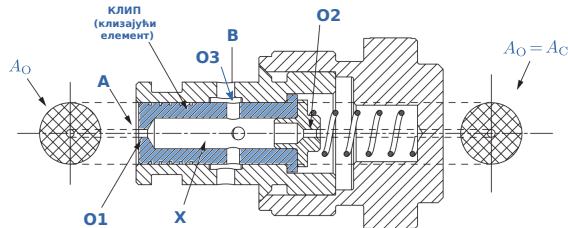
10.3 Двограни регулатори протока

Двограни регулатори протока

- састоје се од две редно везане пригушнице (бленде) мерне и регулационе
- зависно од тога одакле је (**A** или **B**) управљачки притисак који делује на покретни клип, каже се да је вентил управљан притиском са предње или задње стране
- то је повезано са распоредом мерне и регулационе пригушнице

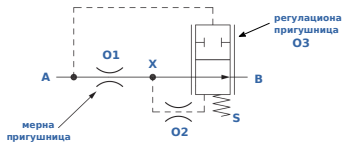
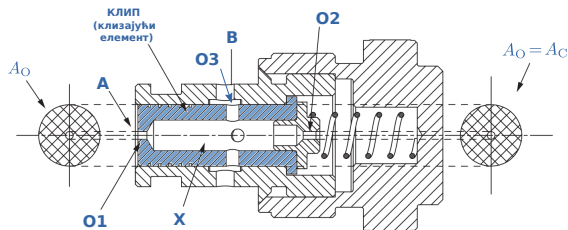


- попречни пресек двограног регулатора притиска управљаног са предње стране је дат на следећој слици (притисак који делује на клип је са стране **A**)
- улаз у вентил је **A**, а излаз **B**



- уље најпре пролази кроз бленду **O1** која је **мерна пригушница** и кроз њу доспева у комору **X**
- у зависности од положаја клизајућег клипа дефинише се пригушење на споју **X→B**. Овај спој (пролаз) представља **регулациону пригушницу O3**
- као што се види, уље протиче кроз једну па кроз другу, што значи да су повезане редно
- постоји и трећа пригушница **O2**, која је њена улога?
- положај клипа приказан на слици одговара крајње левој позицији, што значи да је вентил потпуно отворен
- где ће се налазити клип зависи од сила које на њега делују у аксијалном правцу

10.3 Двограни регулатори протока



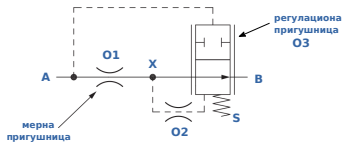
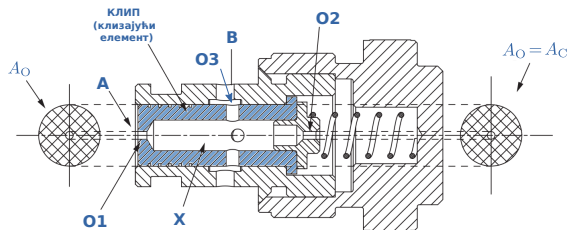
- овде је дат шематски приказ са више детаља
- шта делује на клип? Са леве стране сила $p_A A_0$, а са десне стране сила опруге F и сила притиска $p_X A_c$
- кроз бленду O2 нема протока при мировању (равнотежи) клипа, она служи да пригуши осцилације у току њеног померања, тако да у стању мировања важи $p_X = p_c$

- ако је $A_0 = A_c$ и ако се сила опруге изрази преко притиска $s = F/A_0$, следи да је услов равнотеже клипа $p_A = p_X + s$
- клип ће се зауставити у равнотежном положају када разлика притисака износи $s = p_A - p_X$
- ово значи да ће се клип померати тако да обезбеди задату разлику притисака. Ово је важно јер је ово управо разлика притисака са једне и друге стране мерне бленде O1
- из једначине пригушнице знамо да постоји једнозначна веза протока и пада притиска

$$Q = C_f A_{O1} \sqrt{\frac{2(p_A - p_X)}{\rho}} \rightarrow \boxed{Q = C_f A_{O1} \sqrt{\frac{2s}{\rho}} = Q^*}$$

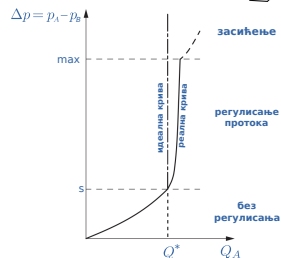
- одабиром опруге (или њеним подешавањем, што ће бити приказано), дефинишемо **задати проток Q^* који вентил треба да одржава без обзира на промене притиска око њега**
- једначина говори да проток зависи од карактеристика вентила C_f, A_{O1}, s , не и од вредности притисака испред и иза
- како вентил обезбеђује да проток не премаши задату вредност Q^* ?

10.3 Двограни регулатори протока



- на дијаграму је приказана $Q - p$ крива регулатора протока која има три области
- ако пумпа шаље проток $Q_A < Q^*$, овакав проток ће на бленди **O1** изазвати пад притиска мањи од s ($p_A - p_x < s$), па ће опруга клип држати у крајње левом положају, вентил је отворен и не врши регулацију протока (он га не може повећати до Q^*)

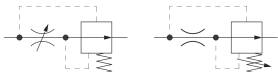
- повећањем протока до Q^* достиже се пад притиска на бленди **O1** који износи s
- ако пумпа шаље проток $Q_A > Q^*$ пад притиска на бленди **O1** при овом протоку је $p_A - p_x > s$, чиме се нарушава равнотежа клипа!
- сабија се опруга и клип креће удесно смањујући отвор **X→B**
- притисак у комори **X** расте, а то значи и у опружној комори. Клип ће се померати удесно све док се поново не успостави равнотежа $p_A - p_x = s$. При овој разлици притисака вентил ће пропуштати задати проток Q^*



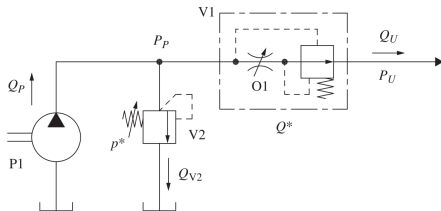
- ово је фаза у којој се врши регулисање протока. Идеална крива је вертикална, али реална није услед промене силе опруге при сабијању
- вишак протока ће бити преусмерен на другу страну, што ће бити показано
- непожељна појава је да дође до засићења вентила, када клип достигне крајњи десни положај, а отвор **X→B** није потпуно затворен

10.3 Двограни регулатори протока

- јасно је да ако бисмо подешавали преднапрезање опруге (s) или проточни пресек пригушнице **O1** могли бисмо да мењамо задати проток Q^* , што најчешће јесте случај



- принцип рада двограног регулатора протока се може разумети када се он смести унутар хидрауличног система



- систем се састоји од: пумпе константне специфичне запремине, вентила за ограничење притиска подешеног на p^* , регулатора протока који има задатак да потрошач U добије подешени проток Q^* . Притисак који ствара спољашње оптерећење је p_U

- за случајеве да пумпа испоручује проток **(a)** $Q_p < Q^*$ и **(б)** $Q_p > Q^*$ одредити колики су протоци и притисци у систему

- (a)** $Q_p < Q^*$ - већ је речено, вентил ће бити отворен под дејством опруге. Не регулише проток, понаша се као неподесива пригушница. Вентил не може повећати проток

$$Q_U = Q_p, \quad p_p = p_U + \frac{\rho}{2} \frac{Q_p^2}{C_f^2 A_{01}^2}$$

- (б)** $Q_p > Q^*$ (нпр. повећана је брзина обртања вратила пумпе)

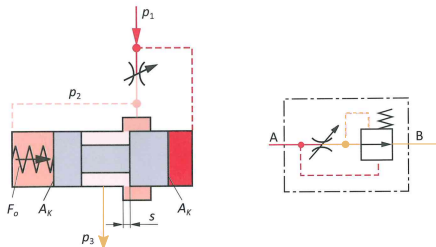
- већи проток кроз бенду **O1** нарушава равнотежу клипа он се помера удесно. Смањује се пролаз **X→B**, расте притисак p_x , а расте и притисак p_p ($p_p = p_A$)
- равнотежа клипа ће се успоставити само при протоку Q^* , што значи да вишак протока $Q_p - Q^*$ мора бити преусмерен кроз растеретни вентил
- ако имамо у виду како изгледа радна крива запреминске пумпе, схватамо да ће притисци p_x и p_p расти све док се не достигне $p_p = p^*$
- пумпа шаље проток Q_p , кроз регулатор ка потрошачу одлази Q_U , а вишак одлази кроз сигурносни вентил у резервоар Q_{V2}

$$Q_p = Q_U + Q_{V2}$$



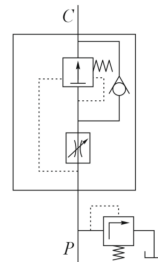
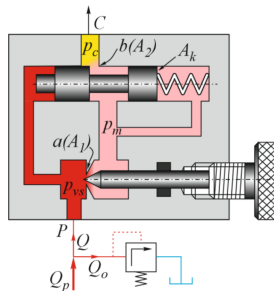
10.3 Двограни регулатори протока

- још једном је приказан поједностављен и детаљан симбол двограног регулатора протока управљаног притиском **са предње стране** (са другачијим ознакама)



- види се да ако је $Q < Q^*$ биће $(p_2 - p_3)A_k < F_o$, па се клип помера удесно смањујући отпоре протицању
- ако је накратко $Q > Q^*$, биће $(p_2 - p_3)A_k > F_o$, па се клип помера улево, повећавају се отпори протицању, расту притисци до отварања сигурносног вентила и успостављања равнотеже клипа

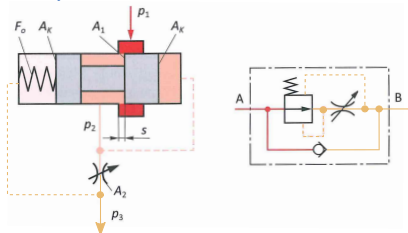
- још један приказ конструкције регулатора протока. Овде се задати проток Q^* може подешавати помоћу промене површине мерне пригушнице



- на шематском симболу се види ознака уграђеног неповратног вентила

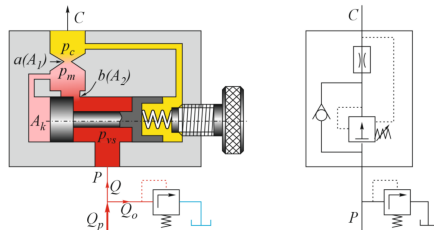
10.3 Двограни регулатори протока

- двограни регулатор протока управљан притиском **са задње стране**

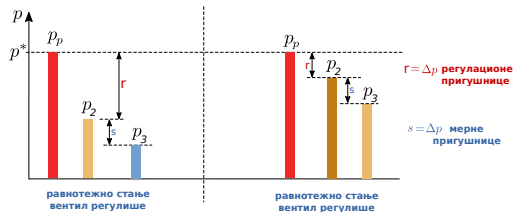


- размотримо, пратећи оба примера, шта се ће догодити ако при регулацији протока (дакле $Q_p > Q^*$ и регулатор преусмерава вишак протока кроз сигурносни вентил, $p_p = p^*$) проток Q_p остане исти али се промени спољашње оптерећење (порасте притисак p_3 тј. p_U)
- порастао је притисак p_3 , проток ће остати исти само ако порасте и притисак p_2 . Како ће се то десити?
- услед пораста p_3 опашће разлика притисака на мерној пригушници, што ће изазвати дејство опруге и отварање регулационе пригушнице
- смањује се пад притиска на регулационој пригушници и расте притисак p_2 . Када он порасте за онолико за колико је порастао притисак p_3 , поново ће бити задовољен услов равнотеже клипа и он се зауставља

- регулатор такође управљан са задње стране. Проток Q се мења помоћу подешавања опруге. Како се мења Q^* ако се завртањ завија?



- према једначини пригушнице проток кроз регулатор остаје непромењен Q^* . Приказати дијаграме притиска



10.3 Двограни регулатори протока

Задатак 1.

Систем снабдева пумпа специфичне запремине $q_p = 50 \text{ cm}^3/\text{o}$. Пумпа има хидраулички управљани систем за промену специфичне запремине који је подешен на притисак $p^* = 150 \text{ bar}$. Погонско вратило пумпе се обрће са $n_p = 1800 \text{ o/min}$.

Извршни орган хидрауличног система је хидромотор специфичне запремине $q_m = 50 \text{ cm}^3/\text{o}$, који савладава момент $M_m = 50 \text{ Nm}$.

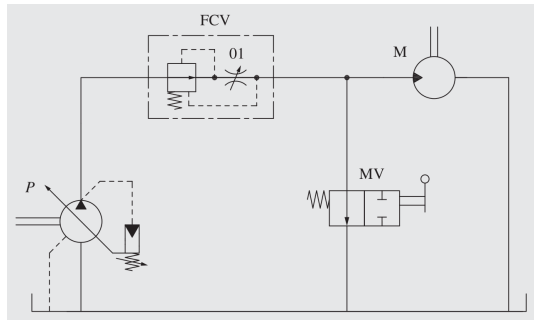
Да се вратило ХМ не би обртало брзином већом од дозвољене, у систем је уграђен двограни регулатор протока који је подешен на вредност $Q^* = 40 \text{ l/min}$.

Када је потребно искључити ХМ користи се ручно управљани вентил 2/2 који уље преусмерава у резервоар.

Занемарити губитке енергије у цевоводу као и све запреминске и хидромеханичке губитке у изворном (пумпи) и извршном (ХМ) претварачу.

Одредити:

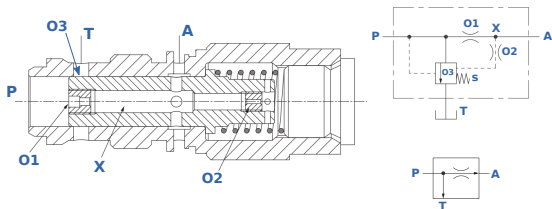
- проток и притисак пумпе када се разводник налази у неутралном положају као и у случају када је ручно акивиран;
- притисак испред ХМ, као и његову брзину обртања;
- корисну снагу, укупно уложену снагу и степен корисности система.



10.3 Трограни регулатори протока

Трограни регулатори протока

- Трограни регулатори протока такође садрже мерну и регулациону пригушницу које су овде повезане **паралелно**, за разлику од двограних регулатора где се налазе у редној вези, што се види на шематском симболу



- уље под притиском долази из вода **P**, а вод **A** је вод у којем се контролише проток
- овде постоји и трећа грана, трећи вод **T** који је најчешће повезан са резервоаром и служи за растеређење, тј. одвођење вишка протока
- уље под притиском p_p делује на чело покретног клипа који у себи има две пригушнице: **мерну O1** и динамичку **O2**

- мерна спаја вод **A** и комору **X**, а динамичка комору **X** и опружну комору. Динамичка пригушница служи да ублажи осилације при кретању клипа и сматра се да је притисак у опружној комори такође p_x
- да ли ће се клип померати зависи од односа сила. Услов равнотеже је

$$p_p A = F + p_x A$$

ако се сила у опрузи преко референтне површине изрази у димензији притиска $s = F/A$, следи:

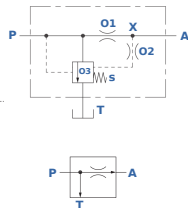
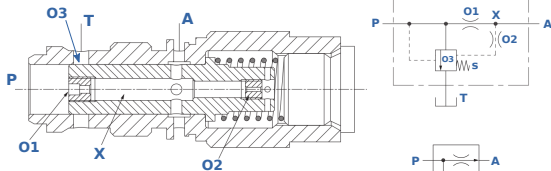
$$p_p - p_x = s$$

- без обзира на ограничено кретање клипа веза **X**→**A** је увек отворена па се сматра $p_x \approx p_A$
- управо ова разлика притисака $s = p_p - p_x$ дефинише проток кроз пригушницу **O1**

$$Q = C_f A_{O1} \sqrt{\frac{2(p_p - p_x)}{\rho}} = \rightarrow \boxed{C_f A_{O1} \sqrt{\frac{2s}{\rho}} = Q^*}$$

- Q^* је проток на који је подешен трограни регулатор протока. Шта ће се десити ако пумпа тежи да кроз вентил усмери већи проток од задатог Q^* ?

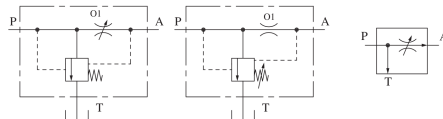
10.3 Трограни регулатори протока



- ако пумпа тежи да кроз вентил усмери већи проток од задатог Q^* на пригушници **O1** ће пад притиска бити већи од притиска који ствара сила опруге, нарушиће се равнотежа клипа и он ће се померити удесно
- тиме ће бити омогућено отварање **регулационе пригушнице O3** која ће део протока преусмерити у резервоар
- колико ће се клип померити и када ће се зауставити?
- равнотежа клипа ће бити успостављена када опет буде остварено $p_p - p_x = s$, а то ће бити само при случају када кроз пригушницу **O1** пролази тачно задати проток Q^*
- то значи да ће се клип аутоматски померити таман толико да вишак протока пропусти кроз везу **P→T**, а да кроз вентил ка воду **A** пропусти задати проток Q^*

- трограни регулатори протока су најчешће подесиви (може се мењати вредност Q^*), а то се остварује променом проточне површине пригушнице или променом силе опруге, што је приказано на следећим симболима

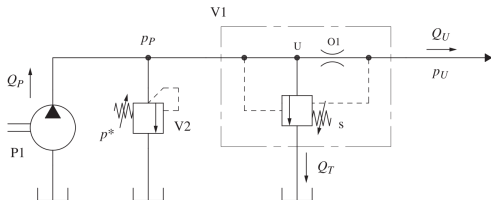
$$Q^* = C_f A_{O1} \sqrt{\frac{2s}{\rho}}$$



- може се приметити да је принцип рада трограних и двограних регулатора протока сличан и да се своди на одржавање пада притиска на мерној бленди $s = p_p - p_x$ без обзира на апсолутне вредности притисака и тиме одржати константан проток Q^* кроз вентил, а спречити пролазак вишка протока
- основна разлика је како се одводи тај вишак протока и **при којем притиску**

10.3 Трограни регулатори протока

- код двограних растерећење обавља сигурносни вентил (или се смањује q_p) што се догађа при притиску p^* , а код трограних се вишак протока одводи кроз трећу грану **без повећања притиска у воду P**, што је много ефикаснији начин
- то ће бити објашњено анализом тока снаге у делу хидрауличног система



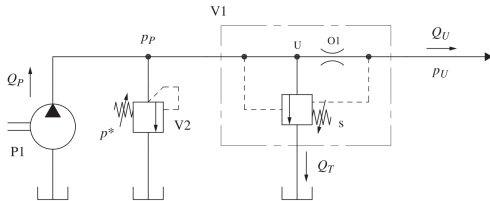
- пумпа има константну специфичну запремину, снабдева потрошач U кроз регулатор протока подешен на Q^* , а у систему се налази и вентил за ограничење притиска подешен на p^*
- разликоваћемо два случаја: **(a)** $Q_p < Q^*$ и **(б)** $Q_p > Q^*$. Одредити протоке и притиске

- (a)** вентил не врши регулацију ($Q_U = Q_p$) $< Q^*$. При протоку кроз **O1** који је мањи од Q^* , разлика притисака $p_p - p_x$ је мања од s , што значи да опруга држи клип тако да он затвара вод **T**, $Q_T = 0$. Притисак p_p је:

$$p_p = p_U + \frac{\rho}{2} \frac{Q_p^2}{C_f^2 A_{01}^2}$$

- (б)** $Q_U = Q^*$, даље $Q_p = Q^* + Q_T$, вишак протока Q_T регулатор преусмерава у резервоар. При ком притиску? Пумпа испред себе види две паралелне гране. Притисак пре рачвања гледано из гране која води ка потрошачу је $p_p = p_U + s$, где је s пад притиска на пригушници **O1**. Исти толики пад притиска $p_U + s$ се догађа на регулационој пригушници **O3** која води ка резервоару **T**
- вентил за ограничење притиска V2 није укључен у нормално функционисање рада трограног регулатора протока, као што је то случај са двограним, зато се не достиже притисак p^* !
 - због тога је овакав рад много ефикаснији што се види из анализе губитака снаге

10.3 Трограни регулатори протока



- како се расподељује снага:

$$P = P_k + P_g = Q_U p_U + Q_U s + (Q_p - Q_U)(p_U + s)$$

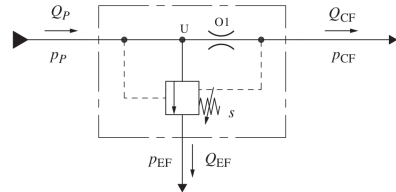
- први сабирак представља корисну снагу, други губитак снаге услед пада притиска на мерној пригушници, а трећи губитак снаге услед растерећења кроз вод **T**
- овај губитак снаге се може упоредити са губитком снаге у двограном регулатору протока

$$P_{g3} = Q_U s + (Q_p - Q_U)(p_U + s)$$

$$P_{g2} = Q_U (p^* - p_U) + (Q_p - Q_U)p^*$$

- притисак p^* може бити много већи од $p_U + s$, зато је изгубљена снага при раду двограних регулатора значај већа него изгубљена снага при раду триграних регулатора протока

- трећа грана не мора бити повезана са резервоаром **T**, већ може бити са неким другим потрошачем
- он ће добијати проток тек када примарни потрошач добије захтевани проток Q^* , и уједно обезбеђивати да он не буде прекорачен



10.3 Трограни регулатори протока

Задатак 2.

Да би се обезбедила жељена брзина кретања клипњаче хидроцилиндра, испред њега је постављен трограни регулатор протока. Мерна бленда у њему има пречник отвора $D_o = 3 \text{ mm}$ и коефицијент протока $C_f = 0,65$.

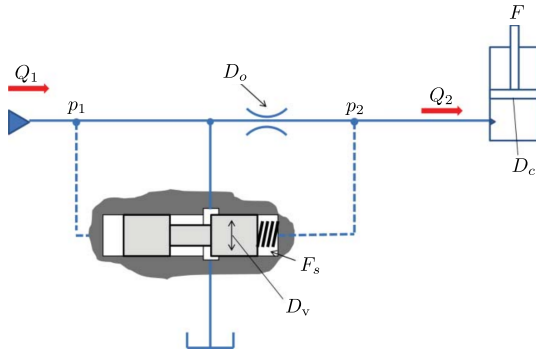
Познат је пречник клипа ХЦ $D_c = 40 \text{ mm}$, као и пречник покретног клипа унутар регулатора протока $D_v = 10 \text{ mm}$. Опруга регулатора протока је подешена тако да ствара силу на клип $F_s = 100 \text{ N}$. Густина уља је $\rho = 870 \text{ kg/m}^3$.

Израчунати корисну снагу система и изгубљену снагу услед регулације протока (занемарити губитке у деоницама цевовода) за четири различита случаја:

- (a) $Q_1 = 60 \frac{1}{\text{min}}$, $F = 5000 \text{ N}$
- (б) $Q_1 = 60 \frac{1}{\text{min}}$, $F = 25000 \text{ N}$
- (в) $Q_1 = 20 \frac{1}{\text{min}}$, $F = 5000 \text{ N}$
- (р) $Q_1 = 10 \frac{1}{\text{min}}$, $F = 5000 \text{ N}$

Шта се догађа са притиском у систему на прелазу из случаја (а) у случај (б), нпр. услед пораста спољашњег оптерећења?

На једном дијаграму графички приказати вредности притисака p_1 и p_2 у сва четири случаја.



10.4 Разделници протока



•

•