

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милена П. Мијовић
Водна хидраулика
Завршни рад

Крагујевац, 2019.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Механика флуида

Број индекса: 48/2016

Милена П. Мијовић

Водна хидраулика

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Слободан Савић ред. проф. – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- Проучи одговарајућу литературу везану за водну хидраулику,
- анализира и опише хидрауличне системе преноса снаге који користе воду као радни флуид,
- прикаже компоненте водне хидраулике,
- укаже на могућности примене водне хидраулике у разним областима индустрије, и
- на основу прикупљених података из препоручене и друге литературе наведене области, укаже на предности и недостатке водне хидраулике у односу на стандардну уљну хидраулику.

Препоручена литература:

- [1] Обровић, Б., Савић, С.: Хидраулика – основи, Машински факултет, Крагујевац, 2005.
- [2] Trostmann, E., Frølund, B., Olesen, B., H., Hilbrecht, B.: Tap Water as a Hydraulic Pressure Medium, Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [3] Trostmann, E.: Water Hydraulics Control Technology, Marcel Dekker, Inc., 1996.

Крагујевац, 2019. год.

Ментор:

Проф. др Слободан Савић

Резиме:

У раду су анализирани и описани хидраулични системи преноса снаге који користе воду као радни медијум. На почетку рада изложене су основе водне хидраулике и хидраулике упоште. Анализиране су особине воде и упоређене са особинама минаралног уља и описани типови воде који се могу користити у хидрауличким системима. Представљене су могућности примене водне хидраулике у разним областима индустрије. Такође, приказане су компоненте водне хидраулике и конструкциона решења из области водне хидраулике. На крају рада анализирани су трендови развоја водне хидраулике, њене предности и недостаци у односу на стандардну уљну хидраулику.

Кључне речи: вода, хидраулика, водна хидраулика

Abstract:

This paper analyzes and describes hydraulic power transmission systems that use water as a working medium. At the beginning of the work, the basics of water hydraulics and hydraulic hydraulics are presented. The properties of water are analyzed and compared to the properties of mineral oil and the types of water that can be used in hydraulic systems are described. Possibilities of application of water hydraulics in various fields of industry are presented. Also presented are components of water hydraulics and construction of hydraulic in the field of water hydraulics. At the end of the paper, the trends in the development of water hydraulics, its advantages and disadvantages over standard oil hydraulics are analyzed.

Keywords: water, hydraulics, water hydraulics

Садржај:

1. Увод.....	2
2. Водна хидраулика	3
2.1. Основе хидраулике	3
2.2. Основе водне хидраулике	8
3. Радне карактеристике воде и могућност примене у хидрауличким системима	12
3.1. Термодинамичка својства воде као радног флуида.....	12
3.2. Транспортна својства воде као радног флуида	19
3.3. Класификација воде која се користе у хидрауличним системима	21
4. Примена водне хидраулике.....	22
4.1. Системи за климатизацију – влажење просторија (HVAC).....	22
4.2. Прехрамбена индустрија.....	23
4.3. Дрвна индустрија	24
4.4. Сечење воденим млазом.....	26
4.5. Чишћење у индустријским постројењима под притиском	27
4.6. Мобилни хидраулички системи	27
5. Компоненте водне хидраулике	29
5.1. Хидропумпе.....	29
5.2. Хидромотори	33
5.3. Хидраулични вентили	37
5.3.1. Разводни вентили.....	38
5.3.2. Проточни вентили.....	39
5.4. Филтери водних хидрауличких система.....	44
5.5. Хидроакумулатори.....	45
6. Трендови развоја, предности и недостаци водне хидраулике	46
7. Закључак	49
Литература.....	50

1. Увод

Хидраулика је научна и инжењерска дисциплина која се бави механичким својствима течности. Теоријска основа хидраулике је механика флуида, која се бави употребом особина течности у инжењерству, односно физичким својствима флуида. У савременим хидроенергетским постројењима, хидраулика се користи за производњу, контролу и пренос снаге преко течности под дејством притиска. Теме којима се бави хидраулика, крећу се кроз више научних и инжењерских дисциплина и покривају концепте као што су пумпе, водене турбине, хидроенергија, рачунска динамика флуида, мерење и механика речних токова и ерозије.

Хидраулички погон се заснива на преносу силе помоћу радног флуида – течности. Хидрауличким погоном може се вршити претварање енергије, пренос и управљање енергијом. Основни елементи хидрауличног погона су: хидрауличка пумпа, хидраулички флуид, цевовод, управљачки елементи и хидраулички мотор – хидраулички цилиндар. Овај вид погона се примењује у ситуацијама које захтевају велике силе, брзине и убрзања, односно мале једноличне помаке и брзине, високу тачност позиционирања у међуположајима, сложену регулацију и др. Хидраулички погони се користе у врло широком подручју које обухвата: индустријска постројења, пољопривредне машине, шумарске машине, друмска и шинска возила, бродоградњу, авиоиндустрију, енергетику, рударство, војну индустрију, космонаутску технику и др [1].

Водна хидраулика се користи у разним гранама индустрије, њен рад се заснива на природним својствима воде. Поред повољних хидрауличких својстава које поседује, вода је еколошки прихватљив флуид – течност. Отпорна је на ватру и експлозију, нетоксична, јефтина, лако доступна и лако се чисте системи који је користе. Највећа предност је својство да компоненте хидрауличног система раде са чистом водом из водоводне мреже без икаквих додатака.

Водна хидраулика се према начину рада не разликује много од уљне хидраулике, односно хидрауличног система који користи уље. Иако је примена уља као медијума имала предности у доносу на воду, чије је коришћење у почетку било ограничено многим проблемима, данас се ситуација мења у корист воде. Низ хидрауличких компоненти које су искључиво развијене за рад са водом, довеле су до тога да данас водна хидраулика по својим својствима не заостаје за уљном. Очекивања су да ће водна хидраулика ускоро узети примат у смислу употребе у хидрауличним системима.

2. Водна хидраулика

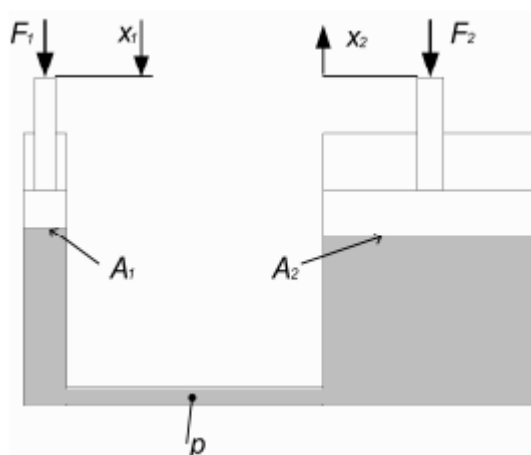
Коришћењем воде као радног флуида – течности, могу се превазићи мане уља као радног флуида, а то су: загађење околине које може бити изазвано цурењем уља, као и опасност од пожара и експлозије минералног уља. Са друге стране водна хидраулика, применом савремених изванредна конструкционих решења и елемената, попут лежајева у хидропумпама и моторима, као и избором специјалних материјала за израду компоненти, је превазишла основне недостатке ранијих решења водне хидраулике. Ови проблеми су се углавном односили на правилно подмазивање покретних делова компонената и на заштиту система од корозије.

2.1. Основе хидраулике

Према дефиницији из [1], хидраулика је део погонске технике где се разни погонски задаци извршавају претварањем, управљањем, регулацијом и преноса енергије путем флуида, течног или гасовитог медијума. Хидраулика се бави преносом енергије и информација путем течности која је под притиском, а може се поделити на хидродинамику и хидростатику.

У хидродинамици енергија се првенствено преноси кинетичком енергијом флуида који струји кроз систем, док се у хидростатици енергија преноси притиском флуида. Стога хидродинамичке системе карактерише низак притисак и висока брзина струјања, док су хидростатички карактеристични по високим притисцима и нижим брзинама струјања флуида.

Основни принцип рада хидростатичких система и машина заснован је на Паскаловом закону: „У флуиду у мировању притисак се шири једнако у свим смеровима“ [2]. Обично се Паскалов закон илустрирује хидростатичким преносником, као на слици 2.1.

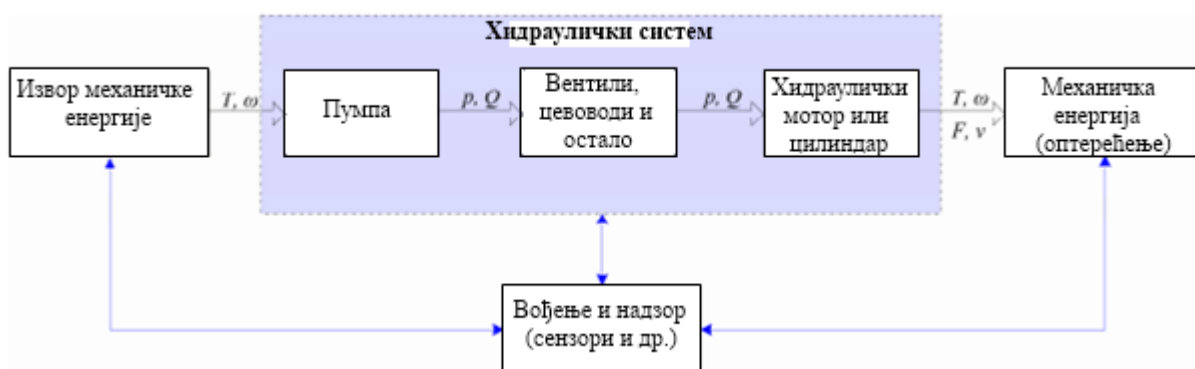


Слика 2.1. Хидростатички систем: F – сила која делује на флуид, A – површина, p – притисак у систему [2]

Притисак у систему са слике 2.1 се израчунава формулом

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad [2.1]$$

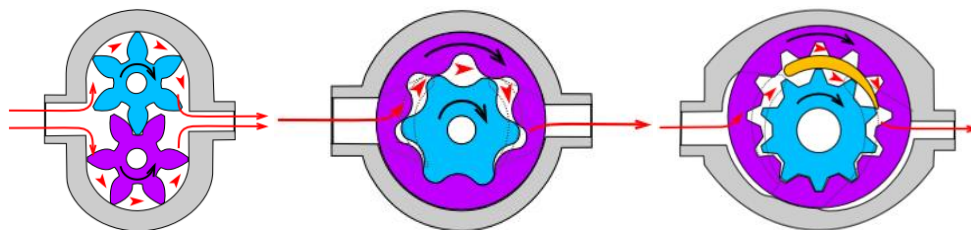
На слици 2.2, приказан је проток енергије кроз хидраулички систем, где се може уочити да на почетку постоји извор механичке енергије (електромотор или мотор са унутрашњим сагоревањем дају обртни момент који покреће пумпу), а на крају низ претворене енергије завршава поново механичком енергијом (хидраулички мотор или цилиндар дају обртни момент или силу која покреће неки терет). Према томе хидраулички системи имају улогу преносника енергије, који своју примену налазе због низа добрих својстава која се добију при том преносу енергије.



Слика 2.2. Ток енергије кроз хидраулички систем [2]

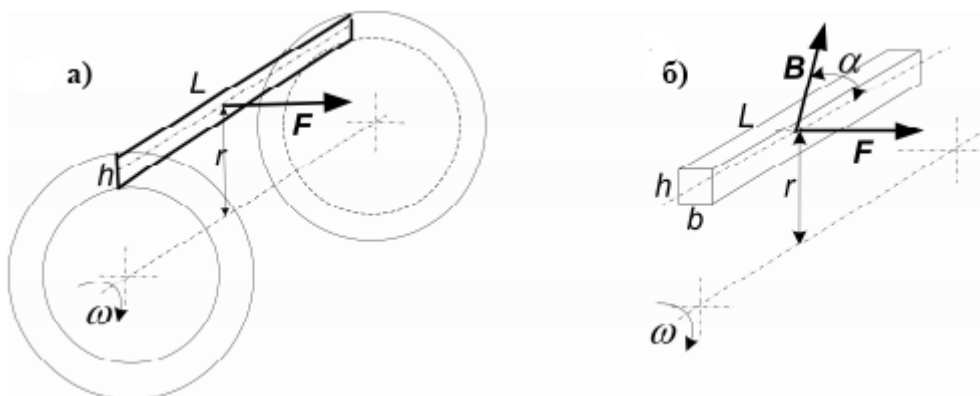
Претварање механичке енергије у хидрауличку и обрнуто обавља се у хидростатичким машинама, односно хидрауличким пумпама и моторима. Принцип рада једног хидростатичког система приказан је на примеру једноставне линеарне клипне пумпе, слика 2.3. Хидростатичке пумпе раде тако да „ухвате“ одређену запремину флуида у неком простору током циклуса усисавања. Затим га преносе даље помоћу елемената (клиповима, зупчаницима, вијцима, крилцима, и др.), а затим се простор у који је флуид „ухваћен“ смањује током циклуса. Флуид се шаље даље у хидраулички систем, а притисак у систему зависи од отпора унутар хидрауличког система. Циклуси усисавања и стварања притиска непрестано се измењују и преклапају (нпр. ако постоји више клипова који су у различитим фазама). Хидростатички мотори врше готово обрнут процес, где сабијени флуид „гура“ механичке елементе мотора (клипови, зупчаници, крилца и др.) који онда врше неки рад.

На слици 2.3 приказан је неповратни вентили (хидрауличке „диоде“) који служе да одвоје део система са ниским притиском од онога с високим (у пракси оваква пумпа не би могла радити). Овде треба додати да различите врсте пумпи и мотора различито одвајају нископритисни и високопритисни део (не користе сви неповратне вентиле). Такође треба додати да нпр. линеарна клипна пумпа се ретко користи, односно по правилу се користе ротационе пумпе (слика 2.4).



Слика 2.4. Принцип рада хидростатичке пумпе – линеарна клинна пумпа [3]

Основна предност хидраулике која се често наглашава јесте густина снаге система које покреће. Густина снаге представља снагу коју даје неки сиситем по јединици волумена, тзв. „волуменска густина снаге“ или по јединици масе „масена густоћа снаге“. Једноставније речено, то говори о величини и маси хидрауличког система, што је он мањи и лакши за исту снагу, то боље. Слика 2.5. објашњава густину момента, односно снаге једног хидрауличког сиситема (у овом случају мотора).



Слика 2.5. Поједностављено разматрање момента и снаге једног а) хидрауличког мотора, и б) електричног мотора [2]

Сила F , момент T и снага P хидрауличког мотора поједностављено приказаног на слици 2.5 су дате следећим изразима:

$$F = p \cdot L \cdot h \quad [2.2]$$

$$T = F \cdot r = p \cdot L \cdot h \cdot r \quad [2.3]$$

$$P = T \cdot \omega = p \cdot L \cdot h \cdot r \cdot \omega \quad [2.4]$$

где је p притисак сабијеног флуида, L , h и r су геометријске карактеристике мотора, а ω је угаона брзина мотора. Код електричног мотора одговарајући изрази су следећи:

$$F = I \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha \quad [2.5]$$

$$T = F \cdot r = I \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha \cdot r \quad [2.6]$$

$$P = T \cdot \omega = I \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha \cdot r \cdot \omega \quad [2.7]$$

Струја I износи:

$$I = J \cdot b \cdot h \quad [2.8]$$

При томе су:

J – густина струје,

b – густина магнетског поља,

L, b, h, r и α – геометријске величине.

Како хидраулички мотор захтева комплетни хидраулички систем, са пумпом, вентилима, резервоаром уља и друге опреме, коначна разлика је знатно мања, но ипак остаје прилично изразита. У практичним примерима може се рачунати на око 5 до 10 пута већу волуменску и масену густину момента, а сличан резултат је и за густину снаге. Као последица мале масе и мале величине, долази се до још једне важне предности хидрауличких система – великог обртног момента и момента инерције хидрауличног мотора, те и велике способности убрзања.

Обртни момент и момент инерције за мање хидромоторе креће се око 10^5 док се убрзање већих неоптерећених хидромотора креће око $0,3 \cdot 10^5$ а оних мањих и до $3,4 \cdot 10^5$ при притиску од 200 бара. Такве вредности су знатно боље од оних код електричних погона, а како при ротацији нема појава попут против-електромоторне силе, могућност убрзања је приближно константна за цело радно подручје брзина хидромотора. Таква особина последица је својства хидростатичких погона, који у идеалном случају (занемарујући губитке цурења и компресибилности течности) дају исти волуменски проток, без обзира на притисак течности. У супротном притисак хидромотора константан, као и момент, без обзира на проток, односно број обртаја.

Уз претходно наведено постоје још неке значајне предности хидрауличких система. Линеарно кретање могуће је реализовати релативно једноставно и финансијски повољније помоћу хидрауличких цилиндара. Електрични или електромагнетски директни линеарни погони углавном су ограничени на врло мале ходове, или су врло скупи. Алтернатива је додавање механичког приеносника, нпр. пужног, али таква решења по правилу су скупља од хидрауличких.

Хидраулички систем може се једноставно осигурати од преоптерећења, користећи вентиле за ограничење притиска. При упоређивању са механичким преносницима, хидраулички имају предност јер се њима може лакше управљати и лакше се може преносити енергија на даљину, применом цевовода. Помоћу хидрауличких, односно хидропнеуматских акумулатора може се сачувати и штедети енергија, што је данас врло значајно.

Са друге стране, хидраулика има и значајне недостатке. Хидраулички системи осетљиви су на нечистоће, што нарочито долази до изражаја код система високих перформанси, као што су серво-системи и системи који раде под високим притиском. Правилно одржавање чистоће радне течности у хидрауличком систему је од виталног значаја. Ипак треба навести да редовно одржавање система кошта и приликом почетне инвестиције, као и приликом експлоатације уређаја. Хидраулички системи по правилу

имају нешто нижи степен корисног дејства од електричних погона или механичких преносника, а то значи да троше више енергије, што постаје све значајније питање.

Са еколошког гледишта коришћење хидраулике може бити критично, с обзиром на могућности цурења минералног уља у околину. Са друге, стране примена еколошки прихватљивијих флуида (биљних уља, синтетичких флуида или воде) може значајније поскупети инвестицију и одржавање хидрауличног система.

Врло значајан недостатак хидраулике може бити њена бучност при раду. Бучност хидраулике углавном долази од дисконтинуиране природе рада хидрауличких пумпи. Пулсације протока, односно притиска флуида могу се умањити различитим конструкционим захватима, често то иде на штету неких других својстава, нпр. степена корисног дејства, или нпр. у случају да се смањује радни притисак.

У односу на електричне, или електромеханичке погоне или преноснике, адекватан хидраулички систем може бити сложенији (састојати се од више елемената), па може бити тежи за управљање и регулацију. Опасности приликом коришћења хидрауличног система постоје, али оне су у границама сличних опасности које прете и од електричних или механичких система. Углавном, строго поштовање правила коришћења хидрауличких система је обавезно. Као значајан недостатак хидраулике може се споменути и њено недовољно познавање.

Примена хидраулике врло је разнолика и свеприсутна, што се најбоље може видети на слици 2.6.



Слика 2.6. Подручја примене хидраулике [2]

2.2.Основе водне хидраулике

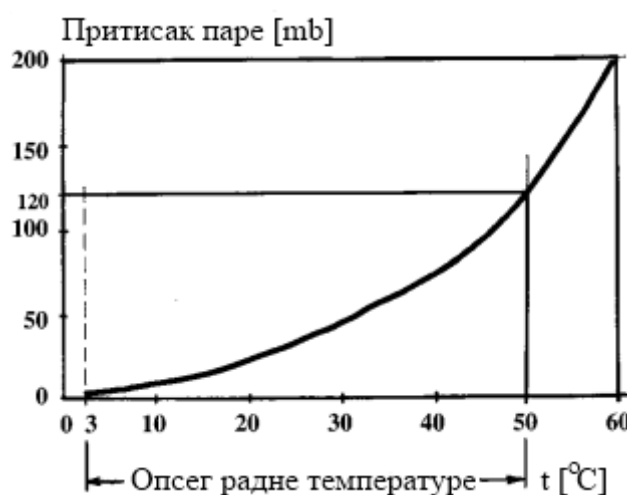
Прописи о заштити животне средине постају све строжији, па коришћењем воде уместо хидрауличног минералног уља у хидрауличним системима може се направити веома позитиван корак у поштовању ових прописа. Међутим, увођење воде уместо уља у хидраулику за контролу снаге прилично је нов и тежак задатак. Шта више, због неких специфичности воде, потребно је испунити неколико захтева који се односе на опрему хидрауличног система.

Фокус истраживања из области хидраулика је на предностима употребе обичне воде из водовода и могућем подручју примене посебно у индустрији прераде хране, системима за гашење пожара, чистача високог притиска, хидратантних система за обраду дрвета, покретних машина и опреме. Данашњи напредак у водној хидраулици укључује комбиновање електро система и воде, хидрауличких вентила и других серво уређаја. Постојећа решења углавном се односе на контролу кретања машина и робота.

Водна хидраулика акценат ставља на употребу чисте воде јер је она и еколошки прихватљива, лако се чисти санитарни дизајн система, незапаљива, јефтина, лако доступна и може се користити за једнократну употребу. Хидраулички водени системи

под ниским притиском покривају подручје око 50 bara и $2\div 4$ kW, тако да имају велики потенцијал да се „такмиче“ са стандардним пнеуматским и електричним решењима у многим индустријским системима. Хидраулички водени системи високог притиска покривају притисак пумпе и мотора и до 160 bara, а извршних елемената до 140 bara. У скорије време у употреби су на располагању наменске пумпе и додаци који користе морску воду као радну течност. Многи индустријски системи захтевају физичке појединости које водна хидраулика може да пружи. Са друге стране, вода има ниску вискозност у односу на минерално уље, па се може препоручити само за системе под притиском до 160 bara [4].

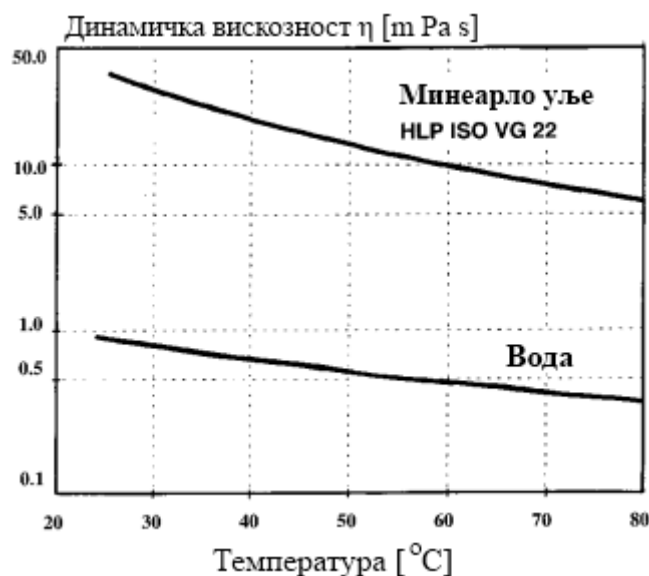
Дозвољени распон радне температуре воде је $+3$ °C до $+50$ °C максимално, због природе саме воде, слика 2.7. На пример распон притиска водних хидрауличких компоненти је до 160 bara. Поред тога, доступан је распон компонената чији је радни притисакод 50 bara и више, као и за средњу снагу система до 4 kW.



Слика 2.7. Притисак водене паре у радном опсегу воде [4]

Максимална радна температура од $+50$ °C у многим случајевима, у односу на цурење типичног хидрауличног уља, није велико ограничење, јер је топлотна проводљивост воде $4\div 5$ пута већа од минералног уља. То значи да водни хидраулични системи захтевају мањи капацитет хлађења. Загревање система је често последица губитака протока због отпора.

Зато је потреба за хлађењем много нижа, јер је вискозност у поређењу са минералним уљем, биоуљем и емилзијом уља и воде нижа, слика 2.8. Динамичка вискозност минералног уља је 30 cSt при 55 °C и атмосферском притиску, што је око 30 пута веће него код чисте воде, где износи 1 cSt при 20 °C и атмосферском притиску.



Слика 2.8. Вискозност воде и минералног уља [4]

То значи да је у пракси потребна употреба цеви, црева и система за хлађење мањих димензија и пречника него код уљне хидраулике за исти распон снаге. Специфична топлота воде је два пута већа од минералног уља, што значи да вода има двоструку способност апсорпције топлоте. Са слике 2.8 се уочава да је вискозност воде значајно нижа од вискозности хидрауличких уља, са фактором од једног до два реда у зависности од стварног уља. Проток Q_L може се израчунати из следеће једначине:

$$Q_L = \frac{b \cdot h^3}{12 \cdot L \cdot \eta} \cdot \Delta p \quad [2.9]$$

где је b пречник/ширина, L је дужина, h је зазор, η је динамичка вискозност, а Δp је пад притиска. За једнаке зазоре у воденој хидрауличкој машини (нпр. растојање хода клипа), однос цурења воде у односу на стандардно хидрауличко уље је:

$$\frac{Q_{L,W}}{Q_{L,O}} = \frac{\eta_{oil}}{\eta_{water}} \cdot \Delta p \quad [2.10]$$

Да би се смањило цурење воде током протока кроз хидрауличке компоненте, односно да би достигао исти ниво као за хидрауличке компоненте уља, величина зазора код компоненти водне хидраулике мора се смањити у следећем односу:

$$\frac{h_{0,water}}{h_{0,oil}} = \sqrt{\frac{\eta_{water}}{\eta_{oil}}} = \frac{1}{\sqrt{30}} = 0.18 \quad [2.11]$$

Дозвољени зазори у хидраулици нафте су у око $1/10 \mu m$, што значи да би за исте радне услове зазори за водну хидраулику требало бити мањи за фактор 0,18. Због ниже вискозности воде, динамички притисак који се развија знатно је нижи у поређењу, при истим условима, са стандардним уљем.

Иста претпоставка приближно би се могла применити за микро хидродинамику. То имплицира да празнине морају бити много мање да би се створиле исте хидродинамичке силе лежаја као код уља. У овом је случају важно избећи ризик од додира између чврстих делова и ризик од већег хабања. Ипак, захваљујући напретку и развоју технологије, данас, уз правилан одабир материјала и конструкционих решења, могу се врло успешно отклонити недостаци и добити поуздани системи.

Једна од нежељених појава у хидрауличким системима јесте и хидраулички удар, који се јавља услед наглог прекида протока течности кроз систем. Табела 2.1 приказује вредности које настају при хидрауличком удару; коришћењем воде су за 32% већи него у случају минералног уља. Ублажавање прелазних притиска у води, такође, ће трајати дуже због релативно ниског вискозитета воде.

Табела 2.1. Поређење вредности притиска воде и минералног уља у случају ефекта хидрауличког удара за дату брзину протока [7]				
	c (m/s)	ρ (kg/m³)	v₀ (m/s)	p_{max} (bar)
Вода	1,5	1000	5	75,0
Минерално уље	1,3	870	5	56,6

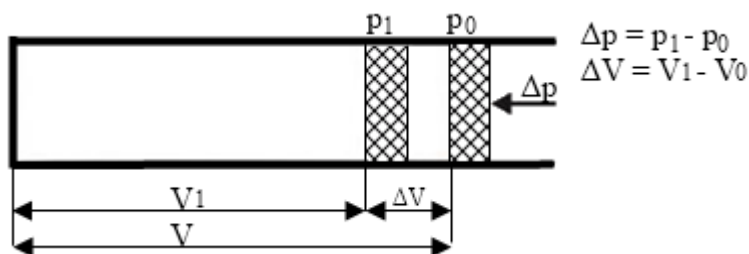
3. Радне карактеристике воде и могућност примене у хидрауличким системима

Вода као хидраулички флуид – због својих добрих еколошких особина, незапаљивости, као и своје цене, може бити добар хидраулички флуид. При упоређивању са минералним уљем има још неколико битних предности: вискозност је 30% нижа, а вискозитет практично не зависи од температуре, затим специфична топлота и топлотна проводљивост су веће, те има боље отпуштање ваздуха и знатно већи модул еластичности. То значи да ће губици трењем и течењем флуида бити мањи, боља су својства хлађења, те због крутости има боља динамичка својства. Међутим, има и неколико значајних недостатака. Распон радне температуре је мали (тачка течења, тачка врења), погодна је за стварање микроорганизама, има лоша мазајућа својства, поспешује корозију, висок је притисак испаравања, има велику густину, па је могућност кавитације знатно већа. Због свега наведеног, када је вода хидраулички медијум примењују се материјали који нису стандардни у класичној хидраулици, попут керамичких или полимерних превлака или нерђајућег челика. Ово значајно утиче на карактеристике система, као и на поступке израде и одржавања. Према томе, са водом као радним медијумом добијају се битно различити хидраулички системи. Ипак, вода као радни флуид добија на значају у хидраулици, а претпоставка је да ће се тај тренд и даље наставити. Због значаја воде као радног флуида у хидраулици настала је и посебна грана хидраулике, односно „водна хидраулика“.

3.1. Термодинамичка својства воде као радног флуида

Стишљивост је особина радног флуида да мења своју запремину под дејством притиска. Стишљивост се изражава коефицијентом стишљивости и његовом реципрочном вредношћу – модулом стишљивости β у Па. Смањење запремине V је у линијској зависности од повећања притиска p . Ово својство флуида означава се коефицијентом стишљивости s . Он се дефинише на следећи начин:

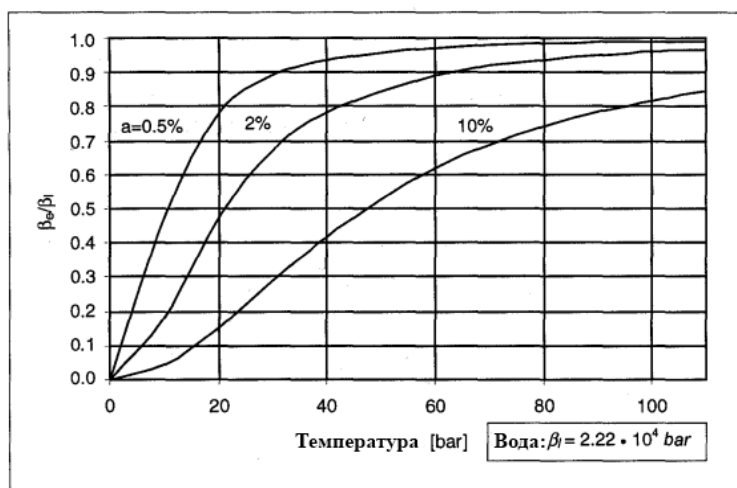
$$s = -\frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta p} \quad [3.1]$$



Слика 3.1. Промена запремине радног флуида

Ова физичка величине се мења са променом температуре и притиска радног флуида – течности, где је при уобичајеним радним режимима утицај температуре занемарљив. Мања стишљивост воде у односу на уље, условљава да је вода осетљивија на

флуктуације притиска, што је чини идеалним флуидом за високопритисне хидрауличне системе. Ипак, због већих вредности модула стишљивости, може се јавити хидраулични удар при нагом заустављању струјања радног флуида. Зато се при пројектовању система водне хидраулике мора водити рачуна о начину активирања вентила, заустављању и покретању хидроцилиндра и употреби хидроакумулатора. Треба запазити да присуство ваздушних мехурића или мехурића неког другог гаса у радној течности, могу драстично да повећају стишљивост течности, посебно при мањим притисцима (<50 bar). Ова појава приказана је на слици 3.2, где је однос ефективног модула сабијања β_e за течност која садржи одређени проценат слободних ваздушних мехурића и модула сабијања β_l за чисту течност приказан као функција притиска. Вредност модула стишљивости за воду износи $\beta_l = 2,22 \cdot 10^4$ bar, а за минерално уље $\beta_l = 1,4 \cdot 10^4$ bar. Тако нпр. минерално уље са мање од 1% слободних ваздушних мехурића може смањити модул сабијања за 50% [5].



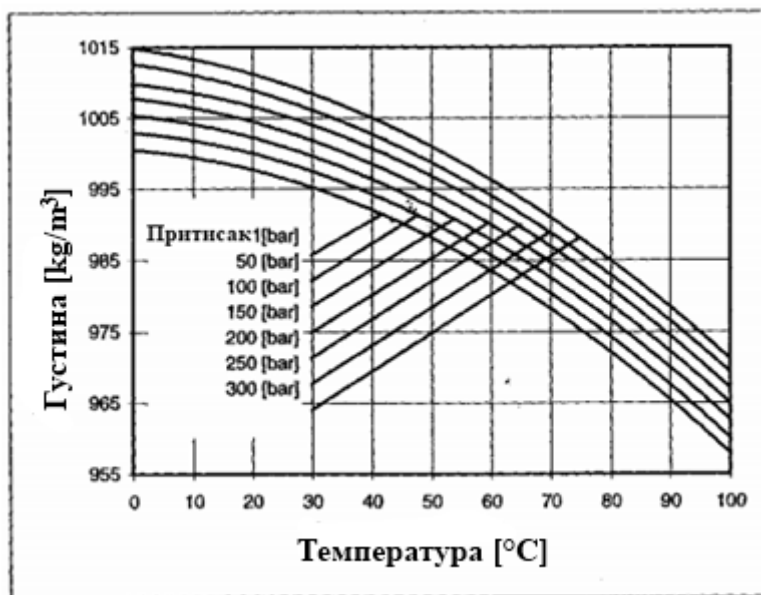
Слика 3.2. Однос ефективног и теоријског коефицијента стишљивости за воду у функцији притиска и запремине, у % слободног ваздуха [5]

Густина представља масу по јединици запремине, обележава се са ρ , изражава се у $[\text{kg}/\text{m}^3]$ и може математички да се представи следећим изразом:

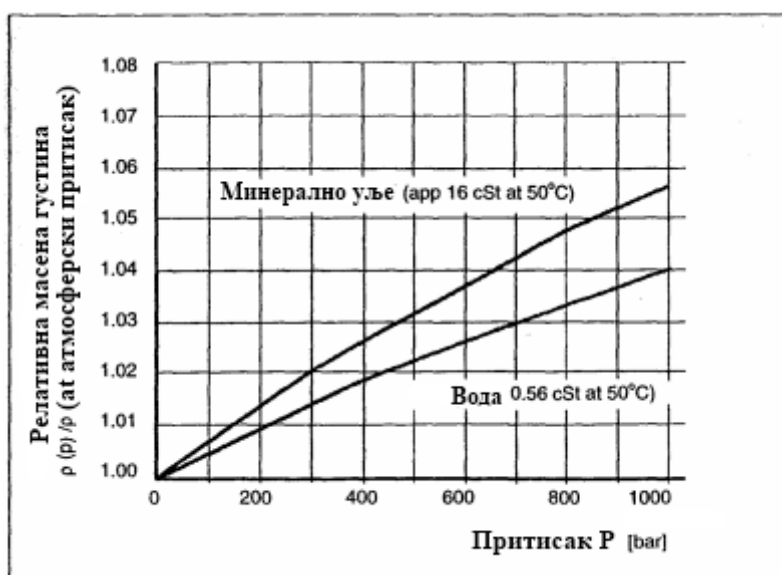
$$\rho = \frac{M}{V} \quad [3.2]$$

где је: M – маса (kg), а V – запремина (m^3).

Густина као физичка величина зависи од температуре и притиска и утиче на хидрауличке губитке енергије у систему. Због тога је важно да густина радне течности буде што нижа, како би се смањили губици притиска и динамички ефекат на контролни вентил. На слици 3.3, приказано је како густина воде утиче на температуру и притисак, док је на слици 3.4 графички приказано поређење количине стишљивости минералног уља и воде. Примећује се да је варирање релативне густине као функције притиска веће за минерално уље него за воду.

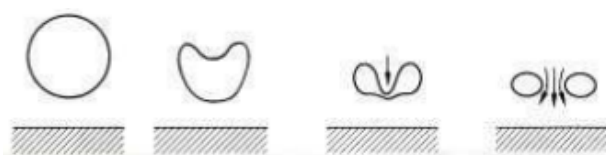


Слика 3.3. Густина воде као функција притиска и температуре [5]



Слика 3.4. Релативна маса, $\rho(P)/\rho$ при атмосферском притиску у функцији од притисак [5]

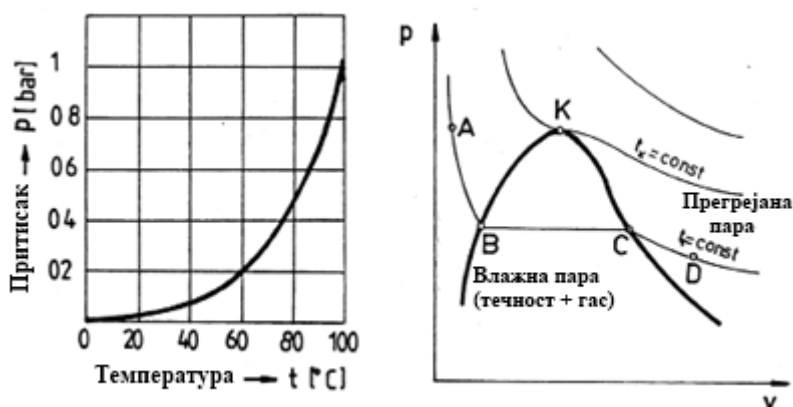
Кавитација представља формирање и тзв. ишчезавање каверни (ваздушних мехурова или мехурова паре) које се налазе у флуиду. Ишчезавање ових мехурова јавља се на местима где долази до наглог пораста притиска, и у тим зонама може доћи до оштећења зидова хидрауличних компоненти (пумпи, вентила, итд.). Ваздушни мехурови могу се појавити у течности, при њеном уласку у усисни вод, нпр. пумпе, слика 3.5.



Слика 3.5. Механизам имплозије мехурића [2]

Конструкција хидрауличних система треба да умањи могућност настајања ваздушних мехурића. Ови мехурови ће порасти када је притисак у течности испод притиска испаравања тј. притиска на ком настаје испаравање течности на одређеној температури. Притисак испаравања зависи од температуре. На нижој температури биће нижи притисак испаравања, што значи да се притисак мора подесити пре него што дође до испаравања течности. Кавитација може да наруши функцију хидрауличног система и може уништити или значајно скратити радни век компонената. Вода може да се користи само до темпеартуре од 50°C у циљу избегавања кавитације услед појаве мехурова водене паре. При пројектовању компонената водне хидраулике треба водити рачуна о : правилном избору улазног притиска у пумпу, контроли максималне температуре ($<50^{\circ}\text{C}$) и протока, повећању излазног притиска у вентилима и модификацији геометрије вентила [5].

Испаравање течности врши се у већој или мањој мери на свим температурама. При једној одређеној температури, која зависи од притиска течности, настаје бурно испаравање у целој запремини течности. Испарена течност образује мехурове који се услед силе потиска крећу навише ако је кључање у “мирној” течности, или бивају однешени струјом течности ако течност струји. Ово бурно испаравање течности познато је под називом кључање. Зависност температуре кључања воде од притиска приказана је на дијаграму на слици 3.6.



Слика 3.6. Зависност температуре кључања воде од притиска [6]

Са p - v дијаграма уочавају се области у којима су хомогене фазе, као и области у којима се мења фаза, посматрајући процес при константној температури t_1 , а при смањењу притиска (крива ABCD). Флуиду стања А смањује се притисак, при смањењу притиска до тачке В флуид ће бити у течном стању, док у тачки В почиње и испаравање.

Притисак за време испаравања остаје константан, а испаравање на дијаграму је приказано правом линијом BC. Између тачака В и С флуид се налази и у течном и у гасовитом стању, влажна пара, док се процес испаравања одвија све док целокупна течност не испари, односно флуид ће у тачки С прећи у гасовито стање (сува пара). Даљим опадањем притиска до тачке С долази до прегревања паре.

При супротном процесу, када притисак расте у тачки С почиње кондензација паре, а у тачки В се завршава. На дијаграму је приказана критична изотерма t_1 која у тачки К има превој. Тачка К назива се критична тачка, и у њој течност директно прелази у стање суве паре. Вредност притиска, температуре и запремине у тој тачки зову се критичном. Тако, на пример, за воду критичне вредности су: $t_k = 374\text{ }^\circ\text{C}$, $p_k = 222,2\text{ bar}$, $v_k = 5,14\text{ cm}^3/\text{g}$ [6].

На p - V дијаграму део криве коме припадају тачке К и В назива се доња гранична крива, а део криве коме припадају тачке К и С назива се горња гранична крива. Са аспекта проучавања кавитације за одређену врсту радне течности интересно је подручје на нижим температурама, а око доње граничне криве.

Кавитација може имати различити интензитет, а једна од метода процене кавитације је помоћу бездимензионалног параметра K , који се назива и кавитацијски број:

$$K = \frac{2 \cdot (p_d \cdot p_p)}{\rho \cdot v^2} \quad [3.3]$$

где су:

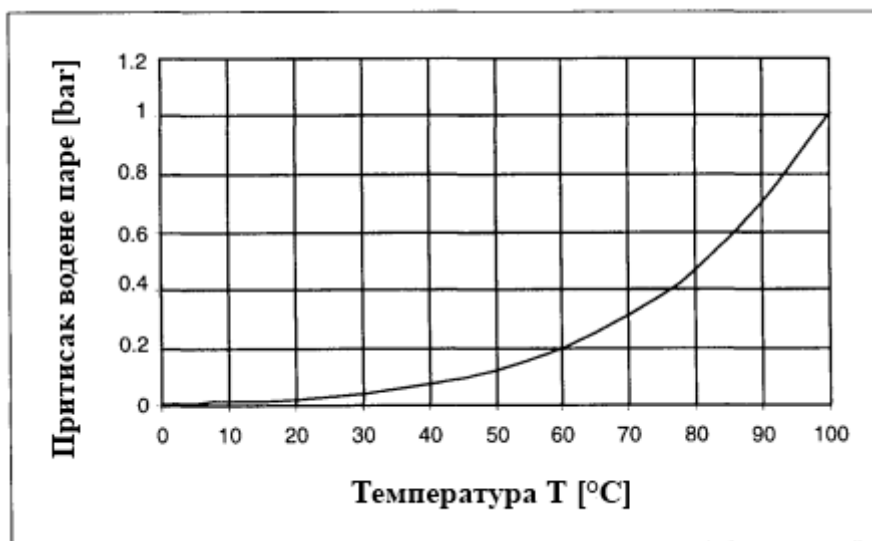
p_d – притисак иза места пригушења,

p_p – притисак испаравања,

ρ – густина,

v – брзина струјања.

Кавитација је превасходно проблем у воденим хидрауличким системима, због релативно високог притиска водене паре, слика 3.7. Радни интервал водних хидрауличних система ограничен је на $3 \div 50\text{ }^\circ\text{C}$, како би се избегла кавитација водене паре. У неким случајевима потребно је регулисати температуру хидрауличне течности хлађењем или загревањем исте.



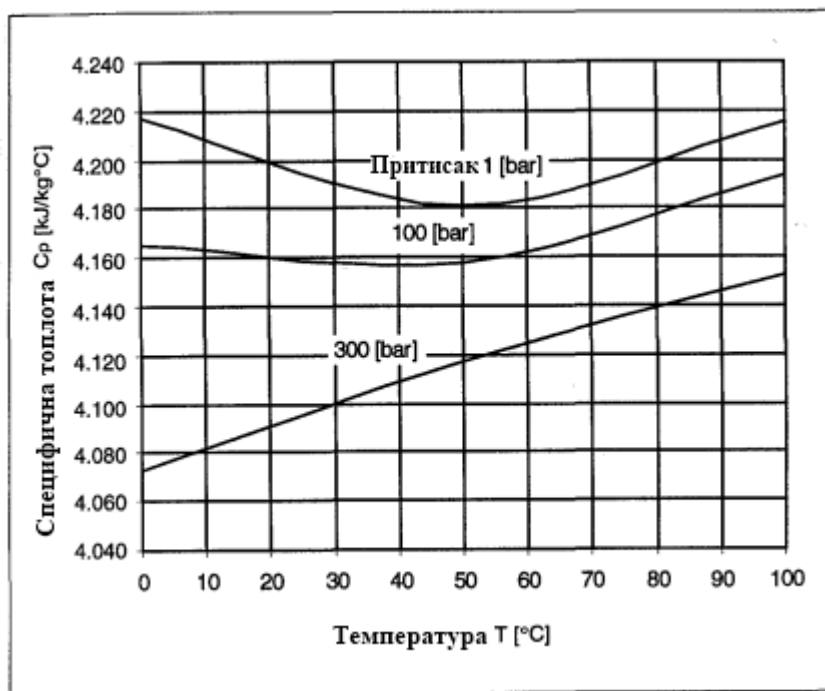
Слика 3.7. Притисак водене паре у функцији температуре [5]

Специфична топлота при константном притиску дефинисана је као количина енергије која је потребна за промену температуре 1 kg супстанце за 1°C. Не варира у већој мери у односу на температуру и притисак, слика 3.8. Просечне вредности специфичне топлоте при сталном притиску и температури од 40°C су 4,180 kJ/kg °C за воду и 1,90 kJ/kg °C за минерално уље. Јасно је да вода има већи капацитет да апсорбује топлоту 2,2 пута од минералног уља, па јој потребно више времена да се загреје у поређењу са истом количином минералног уља за исти капацитет [5]. У табели 3.1, дате су вредности специфичне топлоте за воду у зависности од температуре и притиска.

Табела 3.1. Вредност специфичне топлоте воде у зависности од температуре и притиска [5]

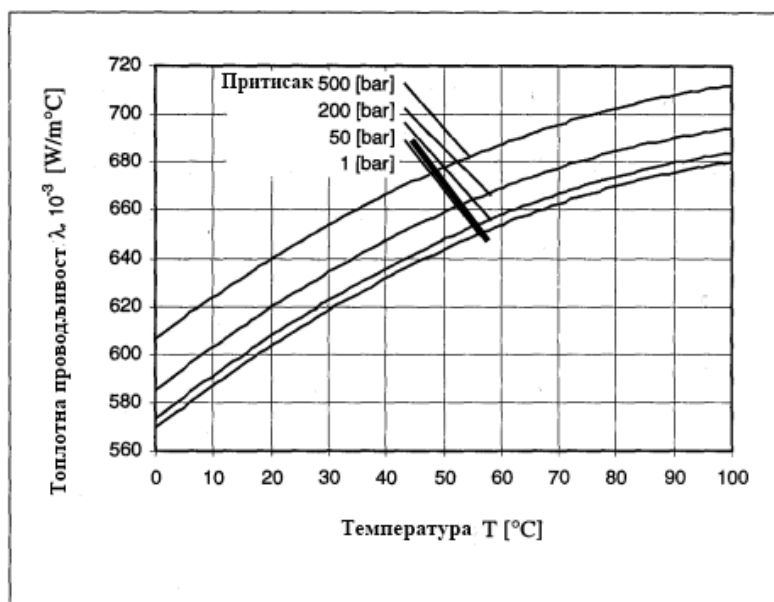
Притисак [bar]	Температура [°C]		
	10 [°C]	40 [°C]	80 [°C]
1.01325	1.0011	1.026	1.084
200	1.0026	1.028	1.083
700	1.0092	1.035	1.083

У поређењу са минералним уљем вредности специфичне топлоте воде су око 50% веће. То значи да је брзина реакције воде много већа, а могућност декомпресије мања. Међутим, ризик од хидрауличног удара је већа код водних хидрауличких система.



Слика 3.8. Дијаграм специфичне топлоте воде [6]

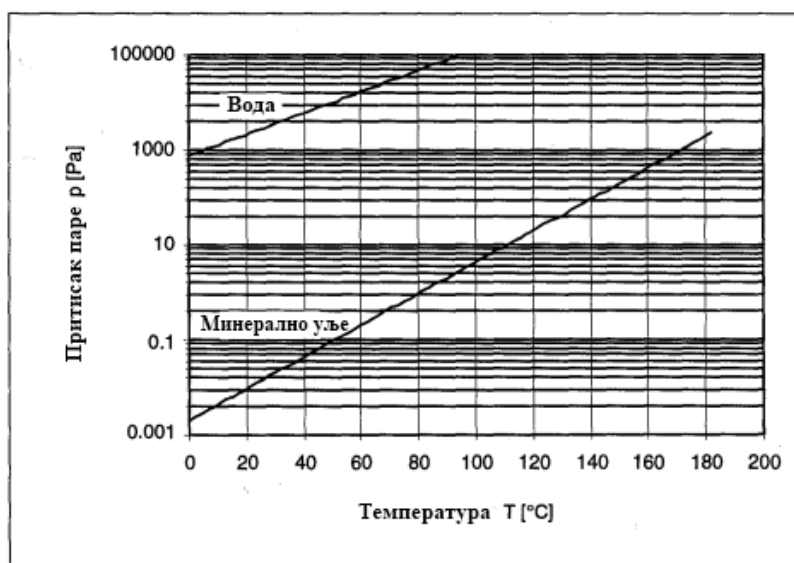
Топлотна проводљивост λ је својство преноса енергије између суседних делова супстанце који су различите температуре. Вода има већу проводљивост него уље, што олакшава пренос топлоте. То значи да је лакше контролисати температуру течности у хидрауличном систему који користи воду, него у хидрауличном систему који користи уље, табела 3.2. Сматра се да се топлотна проводљивост воде линеарно мења са температуром, за одређени притисак, у опсегу радне температуре водне хидраулике од 3 °C ÷ 50 °C, као што је приказано на слици 3.9 [2].



Слика 3.9. Топлотна проводљивост воде у функцији температуре и притиска [5]

Табела 3.2. Вредности топлотне проводљивости воде и минералног уља [5]		
Топлотна проводљивост [W/m °C]	Вода	Минерално уље
	0,600	0,12
Специфична топлота [kJ/kg°C]	4,180	1,9

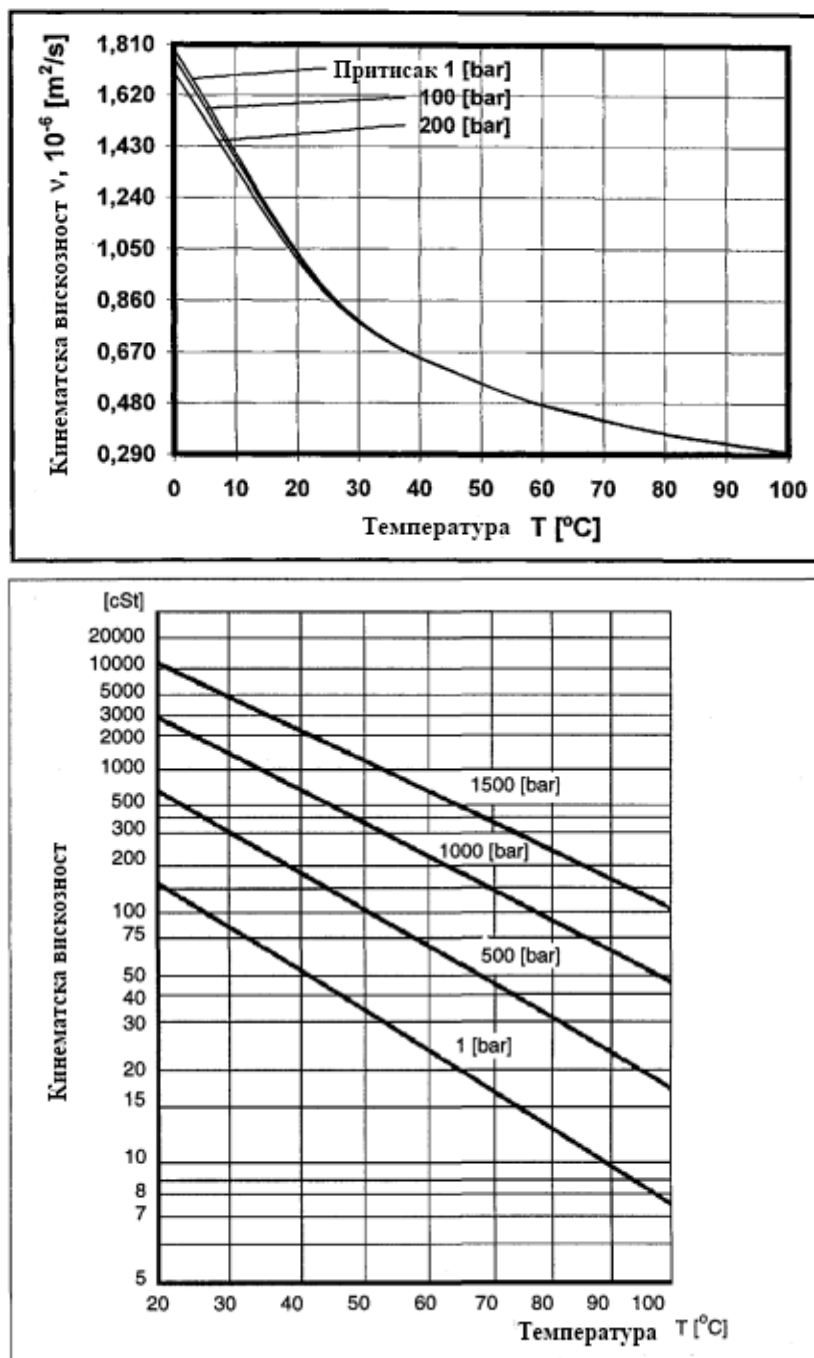
Притисак водене паре на радној температури од 50 °C је око 0,12 бара, а минералног уља при истој температури 10^{-6} бара, слика 3.10. Висок притисак водене паре (око $1,2 \times 10^5$ бара већи од минералног уља) ограничава радну температуру воде на 50 °C како би се избегао ризик од кавитације. Због тога је потребан систем за водено хлађење система. Међутим, већа специфична топлота воде и већа термална проводљивост воде надокнађују њен виши притисак паре, тако да је ризик од кавитације услед пораста температуре у нормалним радним условима сведен на минимум.



Слика 310. Дијаграм притиска паре воде и минералног уља [5]

3.2. Транспортна својства воде као радног флуида

Вискозност или **унутрашње трење** је својство радне течности да при кретању пружа отпор релативном померању. Вода при атмосферском притиску и температури од 20°C, има вискозност 1cSt. Вискозност воде је обично нижа од вискозности минералног уља. Ниска вискозност воде, која је готово константна, представља предност, која се огледа у губицима. Вискозност долази до изражаја код хидрауличких система мање снаге, где се користе мање пумпе и мотори за покретање система.



Слика 3.11. Кинематска вискозност воде и минералног уља у функцији од температуре и притиска [5]

Употребом гликолног адитива може се променити вискозност и то за највише $3 \div 5$ cSt. У опсегу притиска од $1 \div 1000$ bar, и температурном опсегу од 3 °C $\div$ 50 °C вискозност воде варира за приближно 3 пута, док у истом опсегу притиска и температурном опсегу од 20 °C $\div$ 70 °C, вискозност уља варира и до 10 пута, слика 3.12. Предност хидрауличких система који користе воду огледа се у стабилнијем у ширем опсегу радних температура него хидраулични систем који користи уље. Ипак, недостатак због ниске вискозности доводи до унутрашњег цурења више него код уљних система, а то захтева израђу хидрауличних компоненти са мање толеранције – зазора [5].

Хидраулички удар настаје када се проток течности кроз систем нагло заустави, блокира. Настаје промене брзине воде на једном крају цевовода, а обично се дешава на низводном крају услед наглог затварања. Хидраулички удар се одвија под утицајем сила инерције и сила еластичности. Брзине ширења промене притиска у цевоводу врло су велике, те су за челичне цевоводе реда величине 1000 m/s. Притисак настао услед хидрауличног удара може се израчунати применом следеће формуле:

$$p_{\text{мос}} = \rho \cdot c \cdot v_0 \quad [3.4]$$

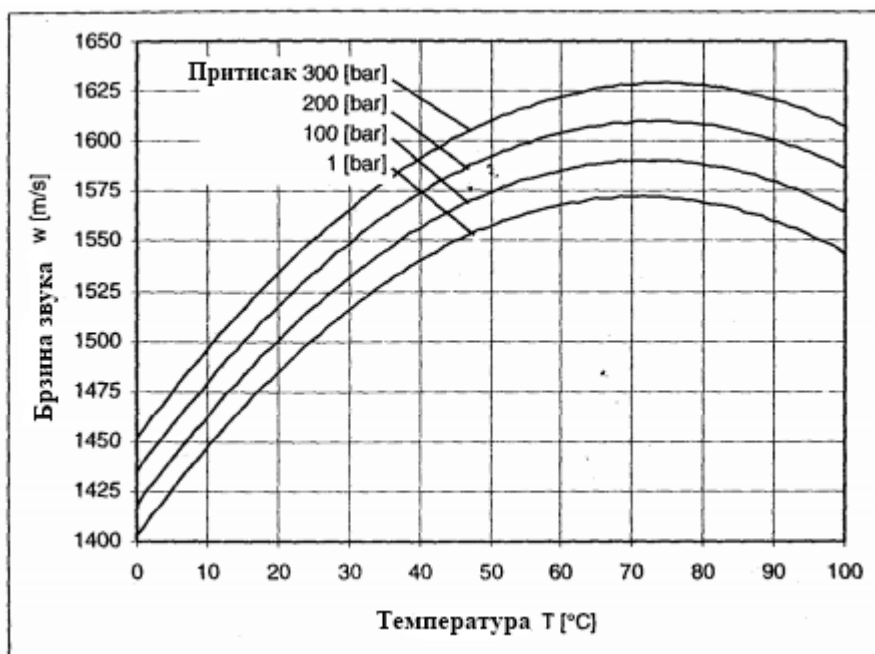
где су:

ρ – густина флуида,

c – брзина звука у течности,

v_0 – брзина флуида пре затварања вентила.

При атмосферском притиску брзина звука достиже максимум на око 70 °C. При вишим нивоима притиска, температура која одговара максималној брзини звука у води помера се мало према горе, слика 3.11. Већа брзина простирања звука у течности значи брже ширење ефекта хидрауличног удара, који расте са повећањем температуре.



Слика 3.12. Варијација брзине звука у води у зависности од температуре и притиска [5]

3.3. Класификација воде која се користе у хидрауличним системима

Вода која се користи у системима хидрауличног преноса снаге може се класификовати у три групе:

1. техничка вода,
2. сирова вода и
3. пијаћа вода.

1. **Техничка вода** се по својим особинама у много чему разликује од особина пијаће воде. Тако је динамичка вискозност деминерализоване воде $2\div 3$ пута већа него код пијаће воде. Ова разлика у вискозитету доводи до тога да хидрауличне компоненте које користе техничку воду не могу користити пијаћу и обрнуто. Зазори између клипа и цилиндра у пумпама и моторима, који користе техничку воду као радну течност, су већи, чиме је побољшано хлађење компоненти. Код примене техничке воде постоје тачно прописана хемијска својства воде, као нпр. вода ослобођена калцијума и магнезијума тзв. „омекшана вода“, вода ослобођена соли и она која је 100 % чиста. Процеси у којима се користи техничка вода су: влажење и сушење дрвета у дрвно прерађивачкој индустрији (дестилизована вода), производња лекова, нуклеарна индустрија (дестилизована вода + борна киселина + литијум хидроксид) [5].
2. **Сирова вода** није подвргнута никаквом процесу прераде. Вода се пумпа директно из извора. Може бити подвргнута само грубом филтрирању кроз филтер за песак. Квалитет сирове воде може пуно да варира. На неким местима може достићи квалитет пијаће воде, док на другим местима квалитет воде је погоршан због присуства хумуса, песка, живих организама, итд. Сирова вода се употребљава код мобилне ватрогасне опреме, код мобилне опреме за чишћење под притиском, итд. Апсолутна финоћа филтрирања за сирову воду је $10\text{ }\mu\text{m}$ [5].
3. **Пијаћа вода** се добија сложенијим процесом прераде него што је то случај са сировом водом која се само филтрира. Пијаћа вода се добија прерадом подземних вода или површинских вода. Подземне воде се прво филтрирају кроз филтер за песак, па се потом врши редукција укупне количине угљене киселине, гвожђа и мангана у води. За водне хидрауличке системе препоручено је да вода буде пијаћа и да је минимална апсолутна финоћа филтрирања $10\text{ }\mu\text{m}$. Пијаћа вода се као радна течност користи у: затвореним системима у прехранбеној и машинској индустрији, стационарним системима за чишћење под притиском, стационарној противпожарној опреми и др. [7].

Због чињенице да се састав хемијских једињења мења са дубином биофилма, хемијска својства на површини воде могу бити потпуно различита од оних у води. Имајући у виду водне хидрауличне системе треба имати у виду могуће реакције система услед проблема изазваних микроорганизмима, односно њиховог спречавања и ублажавања.

4. Примена водне хидраулике

Историја пословне продаје потврђује да употреба савремене водене хидраулике показује све већи промет годишње. Важне индустријске примене и предности представљене су са фокусом на процесну индустрију као што су прехрамбена индустрија, фармацеутски процеси, противпожарни системи, уређаји за чишћење под високим притиском, хидратантни системи за влажење, обрада дрвета (пилане и обрада сушења дрвета) и индустријске покретне машине и комуналне машине које раде у окружењу осетљивом на животну средину.

Типична важна подручја примене хидрауличних раствора за воду из славине су:

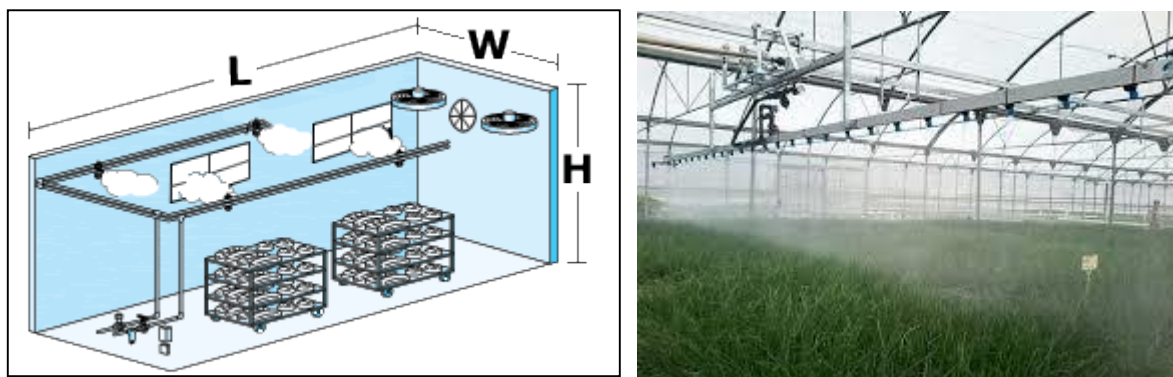
- отворени системи,
- хидраулични системи – затворене петље,
- комбиновани отворени и затворени системи,
- хемијска и фармацеутска индустрија,
- рударска индустрија,
- индустрија челика,
- нуклеарна индустрија,
- процеси сушења дрвета,
- влажење (уштеда енергије, HVAC),
- противпожарни и противпожарни системи,
- високопритисни чистачи,
- прехрамбена индустрија.

У наставку рада биће описани неки од примера примене водних хидрауличних система у неким индустријским областима.

4.1. Системи за климатизацију – влажење просторија (HVAC)

HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) систем има за циљ да обезбеди термалну контролу и комфор у затвореном простору користећи принципе термодинамике, механике флуида и преноса топлоте. Енергетска ефикасност је постала водећи тренд када су у питању индустријска постројења, због чега HVAC системи (за грејање, вентилацију и климатизацију) постају све популарнији у изградњи и реновирању магацина и индустријских постројења.

У просторијама где се складиште или гаје осетљиви производи, као што су воће и поврће користите системи овлаживања. Корз систем протиче техничка или пијаћа вода у зависности од намене. Проток воде зависи од величине система, броја млазница, пречника и дужине цевовода, броја и карактеристика осталих компоненти. Овлаживање се врши рапрскивањем воде у широком млазу под високим притиском на одређеној висини док су млазнице распоређене на предвиђеном растојању једна од друге, слика 4.1.



Слика 4.1. Системи за влажење просторија и стакленика [8]

4.2. Прехрамбена индустрија

Један од примера примене водне хидраулике у прехрамбеној индустрији, јесте машина за прављење хамбургера, слика 4.2. Код ове машине све потребне радње обављају компоненте водне хидраулике. Два хидроцилиндра покрећу спиралне транспортере који убацују месо у бункер, где два већа хидроцилиндра потискују месо у калупе за обликовање. Калупи се померају даље, такође помоћу хидроцилиндара, до два хидроцилиндра који истискују месо на тракасти конвејер, који хамбургере транспортује до пакерице. Ова машина може да произведе до 18000 хамбургера на сат. Предност ове машине је да не постоји никакав ризик од контаминације меса радном течношћу јер се за погон хидрауличких компоненти корити искључиво вода [4].



Слика 4.2. Машина за производњу хамбургера [4]

Водно хидрауличке пресе користи се у свим врстама производње хране, пољопривреди, фармацији, производима за здравство, хемијским производима и слично. Због свог поузданог рада постају врло популаране на тржишту, тамо где је потребно вршити неки вид пресовања производа. Углавном се погоне електромотором и садрже три линеарне серво цилиндри које покреће вода под притиском. Дубина пуњења материјом је подесива, као и сила пресовања. Може се мењати маса пресоване материје подешавањем дубине пуњења на машини. Одликује их веома миран и тих рад. На слици 4.3, приказана је једна хидрауличка преса која се користи у прехранбеној индустрији за пресовање чаја, кондиторских поризвода и сличних производа.



Слика 4.3. Водна хидрауличка преса за пресовање воћа и поврћа [9]

Врста преса у прехранбеној индустрији:

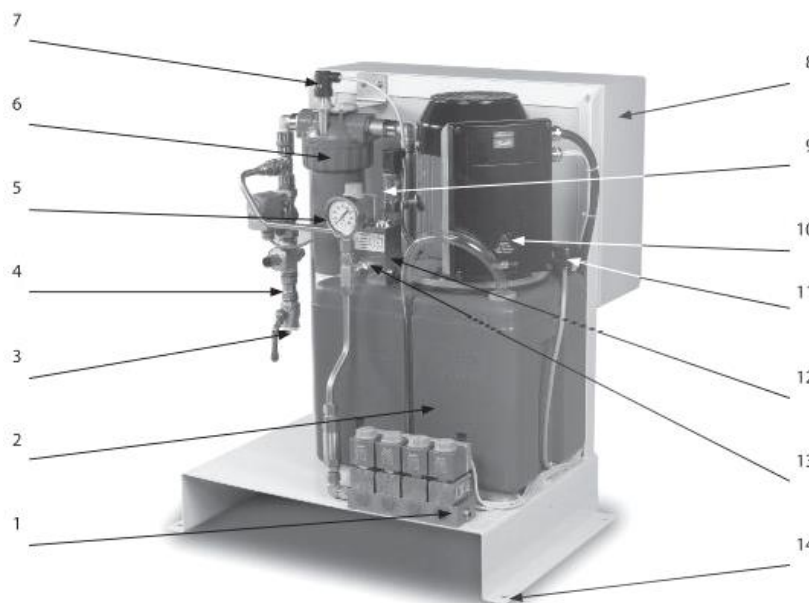
- мануелне,
- полуаутоматске и
- аутоматске.

4.3. Дрвна индустрија

За обраду дрвета инсталирају се специјално дизајнирана решења за водену пару, конструисана посебно за пилане, како би се избегла прашина и побољшало подмазивање и хлађење тестера.

Дрво и други производи од дрвета обично садрже знатну влагу након производње, а сушење је неопходно да би се припремили за даљу употребу. Правилним сушењем смањује се величина промена у димензијама услед скупљања и бубрења, штити дрво од микроорганизама, смањује тежину и трошкове транспорта, боље припрема дрво за већину метода дораде и очувања и повећава његову чврстоћу.

Аутоматизација је постала неизоставан алат за оптимизацију процеса сушења дрвета. Новоразвијена јединица за влажење под високим притиском, која чини језгро овог концепта (Nessie Wood Concept – слика 4.4) побољшава контролу процеса сушења дрвета. Нова јединица за влажење под високим притиском производи притиске између $80 \div 100$ bara, а специјалне брызгалке стварају изузетно мале капљице воде које одмах испаравају. Витални део система су млазнице које избацују капљице воде у комору за сушење. Систем се састоји од резервоара, пумпе, мотора, вентила, млазница и управљачког система. Испарена вода брзо прекрива укупну површину дрвета у комори.

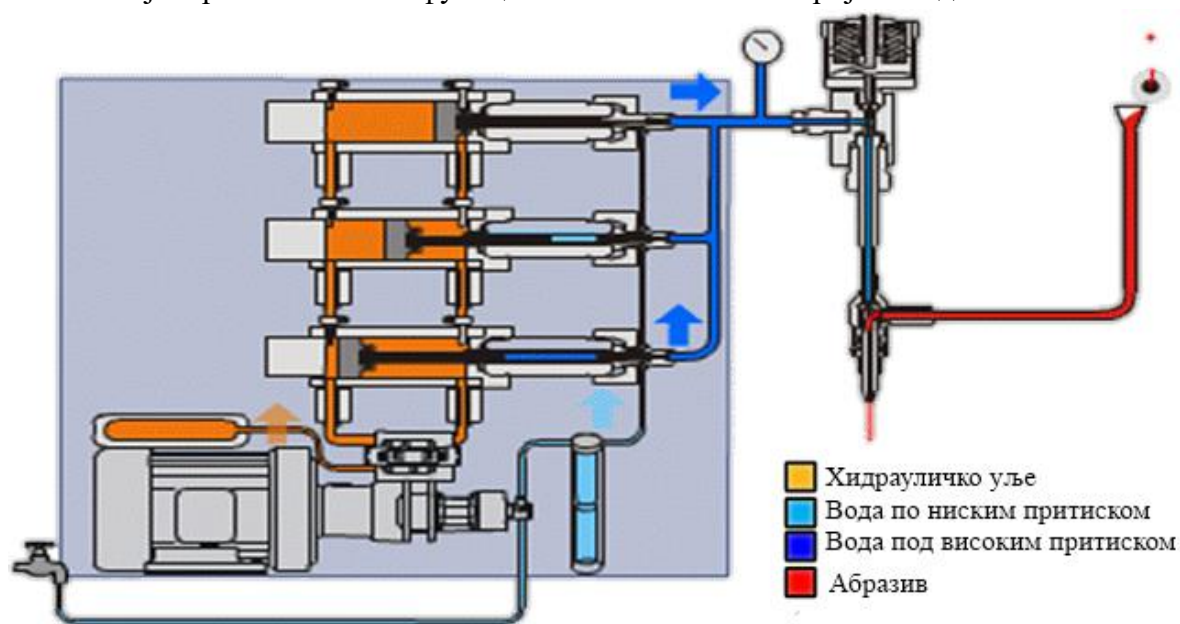


Слика 4.4. Водни високопритисни хидраулички систем произвођача Nessie: 1. 1/8 високопритисни излаз, 2. резервоар воде, 3. довод воде из славине, 4. неповратни вентил, 5. манометар, 6. филтер, 7. прекидач притиска, 8. контролна кутија, 9. трансмитер притиска, 10. електромотор, 11. контролни уређај, 12. црево (прозирно), 13. вентил за напајање (Danfoss type VPH 15E), 14. постолје [10]

Високопритисна јединица пружа ове предности обезбеђивањем оптималних контролисаних климатских услова у свим фазама процеса сушења. У фази сушења влажност ваздуха мора се повећати како би се добило интензивно загревање дрвне масе – како би се смањила опасност од пуцања. Штавише, фаза загревања може се смањити на $4 \div 6$ сати, у односу на $14 \div 24$ сата које обично захтева стандардно сушење дрвета. Прецизна контрола процеса осигурава да се постигне тачна количина воде за оптималне климатске услове у пећи, чиме се не остављају потребе за додатним испаравањем. То смањује трошкове одржавања и замене за иначе брзо кородирајуће измењиваче топлоте. Улазни притисак воде у систем је минимум 2 bar, а максималан 10 bara. Систем покреће електромотор чији је распон снаге $0.55 \div 11$ kW, а радни напон може бити 400/460/575 V и $56 \div 60$ Hz. Максимална радна температура је $+70$ °C, а минимална – -40 °C.

4.4. Сечење воденим млазом

Сечење воденим млазом је технологија сечења која омогућава рад са практично свим врстама материјала. Сечење може да пресече готово све врсте материјала. Фокусирани водени млаз се обогаћује природним гранатним песком – незосиликатни (SiO_4) минерали чиме се постиже висока кинетичка енергија. При судару са материјалом, хидро-абразивни млаз продире у површинске слојеве, разбија дубљу структуру и механички спира материјал – ерозија при чему тачка сечења остаје хладна, а структура материјала непромењена. Млаз производи кинетичку енергију која тежи векторском простирању, те је дебљина материјала који се сече теоретски неограничена. Практично ограничење произилази из хода вертикалне осе (Z), носивости радног стола и других конструкционих фактора. Са друге стране, топлотне млазне технологије стварају већи део извршне енергије некинетичким путем, светлосни зрак – ласер, волтин лук – плазма или непосредно ослобађање хемијске енергије – гасно сечење. Како топлотна енергија тежи радијалној ентропији, а не векторском простирању, сечење плоче дебљине 200 mm је неизводљиво на ласеру или плазми. Последње две деценије се ова технологија раширила изван космичке и ваздухопловне индустрије и постала део конвенционалних технологија. Ипак, флексибилност сечења воденим млазом са собом носи и сабијања воде на 4000/6000 bara, мешање са агресивним природним абразивом те допремање 5/10 L у минути кроз отвор пречника 0,35 mm [11]. На слици 4.5, шематски је приказан систем функционисања сечења материјала воденим млазом.



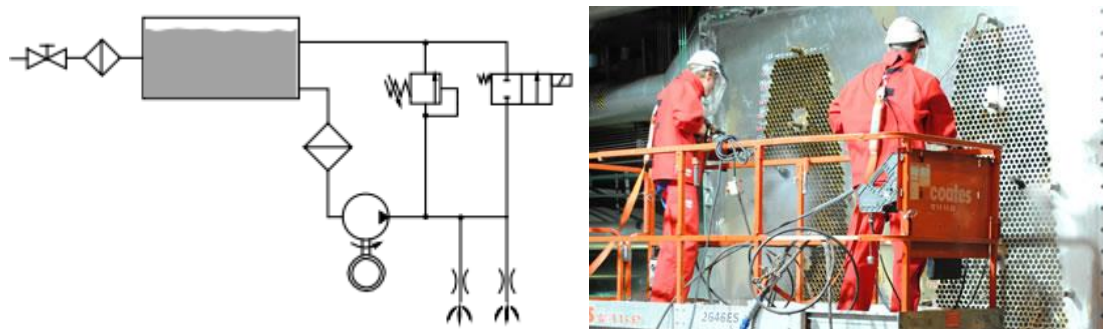
Слика 4.5. Хидраулички систем сечења материјала воденим млазом [11]

Произвођачи машина су у оваквом пословном моделу удаљени од суштине ове технологије: пумпе високог притиска, тако да више од деценије доминира најједноставније и најјефтиније решење: опозитна пумпа. Опозитна пумпа знатно утиче на смањење рентабилности целе технологије – због своје непоузданости и високих трошкова одржавања. Састоји се од једног хидрауличког цилиндра који наизменично пуни и сабија хидро-цилиндре постављене на његова два супротна краја.

Двотактни циклус доводи до изражено хетерогене структуре воде, која при 4000 бара може смањити запремину и за 12%. Тада млаз даје лошу резну ивицу, па се за “опуштање” користи хидроакумулатор велике запремине – што је и највећа слабост овог решења. Веома често долази до пуцања овог елемента услед константног максималног оптерећења, а таква хаварија може обуставити производњу на неколико недеља и захтева значајна средства за санацију система.

4.5. Чишћење у индустријским постројењима под притиском

Врло важна индустријска примена водне хидраулике јесте чишћење индустријских постројења и система, коришћењем воде из славине под високим притиском. Типичан пример су средства за чишћење резервоара за слад у пиварама, приказана шематски на слици 4.6. Пумпа РАН 32, ствара притисак до 160 бара. Пумпа снабдева два високопритисна пиштоља спојена на главну мрежу брзим спојницама.



Слика 4.6. Шема високопритисног система за чишћење [4]

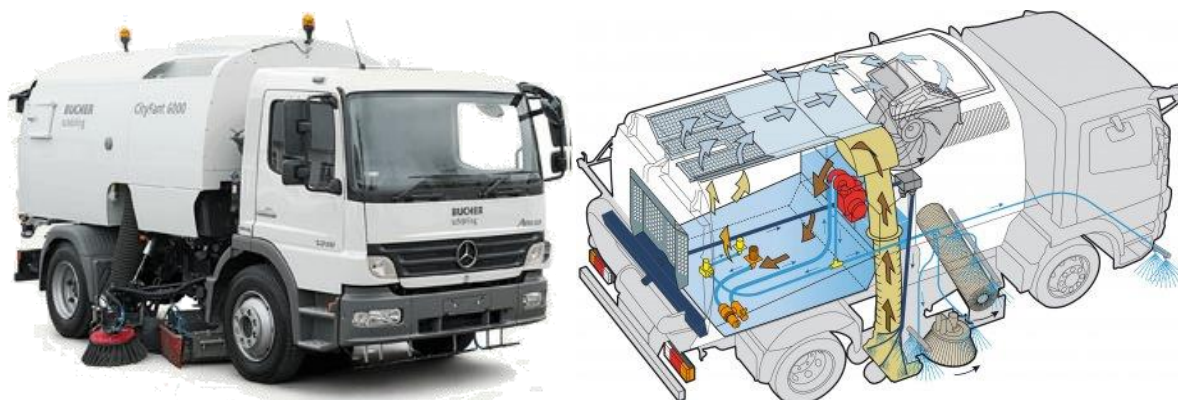
Предност овог високо притисног система је што може да користи воду из славине. Следеће предности су да нема подмазивања компоненти већ се оно врши водом, а сам систем захтева минимално одржавање.

4.6. Мобилни хидраулички системи

Све више су присутнија комунална возила, која за покретање хидраулике користе водни хидраулични систем. Хидрауличне функције су обезбеђене помоћу воднохидрауличких компоненти: хидроцилиндри за праволинијско кретање тј. отварање и затварање задњег поклопца, притискање смећа, спуштање и подизање контејнера, итд. Пумпа високог притиска се покреће помоћу самог мотора камиона који користи природни гас као погонско гориво.

Такође, треба напоменути и возило за чишћење улица, слика 4.7. Код овог комуналног возила сви линеарни и ротациони мотори и компоненте спадају у системе водне хидраулике. Четке са стране сакупљају ризлу, песак, шљунак и осталу прљавштину у један ред. Затим се померањем тракастог конвејер убацују у бункер. На задњем делу возила налази се црево којима се могу дохватити теже доступна места,

попут усека. Возило са слике 4.7 (Mercedes – Benz CityFant 6000), поседује резервоар за воду запремине 1900 L.



Слика 4.7. Комунално возило за чишћење улица CityFant 6000 [12]

Своју примену водна хидраулика налази и код виљушкара. Хидраулични виљушкар користи се као возило у коме су хидрауличне компоненте уља замењене компонентама за рад са водом. Носач виљушкара има две осе кретања: дизање и спуштање. Постојеће водене хидрауличне компоненте нису дизајниране за ову врсту мобилне опреме, па је потребан развој компоненти са интелигентним системима за контролу и надгледање стања [13]. На слици 4.8. приказан је виљушкар који за подизање терета користи компоненте водне хидраулике.



Слика 4.8. Виљушкар који за подизање терета користи компоненте водне хидраулике [13]

5. Компоненте водне хидралике

Код водне хидраулике користе се готово исте компоненте које се могу наћи и код конвенционалних уљних система: пумпе, мотори, цилиндри, вентили, филтери, акумулатори. Разлика је у томе што су ове компоненте посебно дизајниране како би испуниле захтеве неопходне за рад са водом као медијумом. Ипак, неопходан је и специфичан приступ пројектовању, употреба и комбинација нових материјала, употреба процеса површинске обраде и других производних процеса како би се прилагодиле за са чистом водом као радним флуидом.

Хидрауличне машине су уређаји за претварање механичке енергије (механичког рада) у енергију струјања радне течности или за претварање енергије струјања радне течности у механички рад. Према начину трансформације једног у други вид енергије, разликују се:

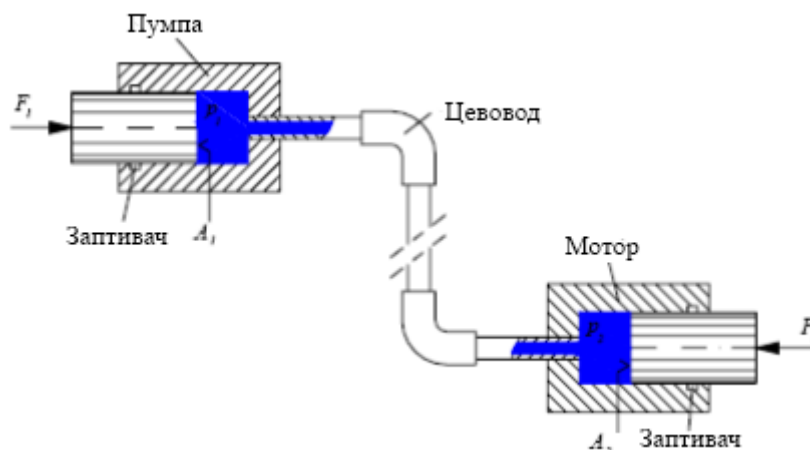
- запреминске (хидростатичке, притисне) и
- турбо (хидродинамичке, лопатичне) машине.

У системима хидрауличног преноса снаге примену имају запреминске хидрауличне машине. Док турбомашине се не користе у овим системима, осим у склопу турбопреносника – хидродинамичких преносника и турбо-спојница.

5.1. Хидропумпе

Хидрауличне пумпе или **хидропумпе** су хидрауличне машине у којима се доведени механички рад претвара у енергију радне течности. Оне спадају у најраспрострањеније хидрауличне машине, а примењују се у различите сврхе, почев од водоснабдевања градова, до снабдевања ракетних мотора горивом. Уобичајена класификација пумпи врши се према начину претварања механичког рада у струјну енергију радне течности. Сагласно овом критеријуму, пумпе могу да се разврстају на: турбопумпе, вртложне пумпе, запреминске пумпе, струјне пумпе и пнеуматске пумпе [2]. Како овде говоримо о хидрауличком преносу снаге, даље ћемо се бавити само запреминским пумпама. Од запреминских пумпи у системима водне хидраулике највише се користе клипне пумпе, које могу бити аксијалне и радијалне.

Хидраулички преносник је хидраулички систем чије су функције претварање и пренос енергије, а може се приказати поједностављено као на слици 5.1. Основни елементи хидрауличног преносника су: хидрауличка пумпа, радна течност, цевовод и хидраулички мотор. Претпоставља се да радна течност није стишљива и вискозна и да у хидрауличком преноснику нема губитака енергије.



Слика 5.1. Хидраулички преносник [2]

Клип хидрауличке пумпе површине A_1 под деловањем силе F_1 , потискује испред себе радну течност и ствара притисак p_1 у њој. Истиснута течност из пумпе кроз цевовод долази у хидромотор и потискује клип хидромотора површине A_2 . Притисак на пумпи p_1 је једнак притиску p_2 на хидромотору.

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = p_2 = \frac{F_2}{A_2} \quad [5.1]$$

$$F_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot F_1, F_2 = k_f \cdot F_1 \quad [5.2]$$

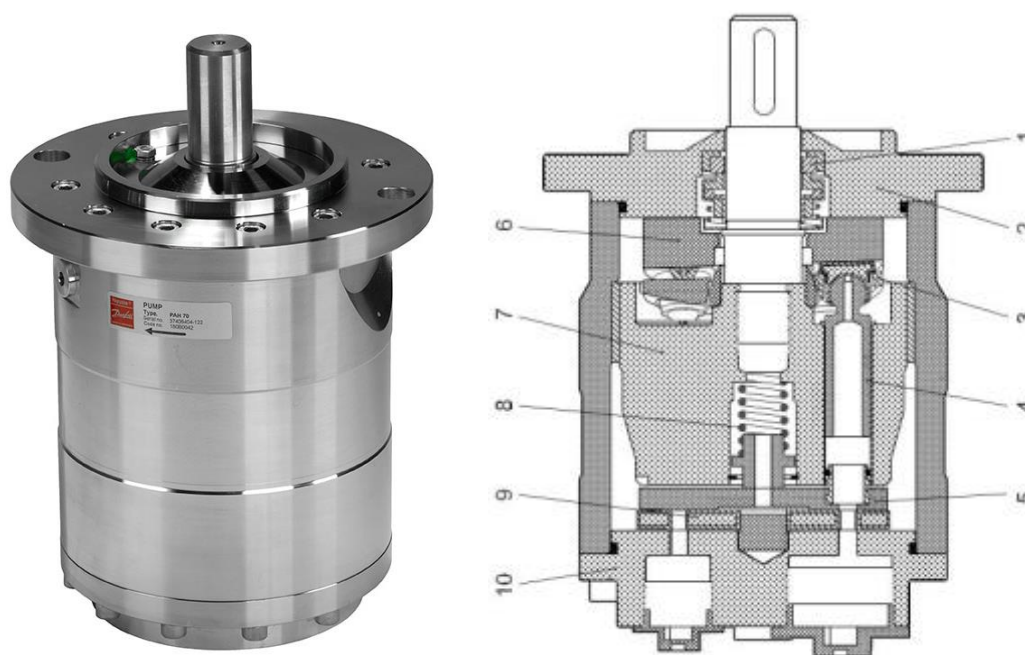
где је k_f кофицијент појачања силе хидрауличног преносника.

Раст интересовања за коришћење система за пренос снаге, где је радна течност вода, подстакла је произвођаче да конструишу, произведу пумпе, хидромоторе и вентиле који ће радити искључиво са чистом водом, а који су временом усавршавани. Процес развоја текао је у два правца:

- Први је базиран на коришћењу конструкција пумпи, које су првобитно користиле минерално уље као радну течност. Да би се постепено примењивале модификације у конструкцији, тако да коришћена радна течност може садржати значајну количину воде. Ипак, у овом у овим модификованим системима није могло бити достигнуто коришћење чисте воде.
- Други правац је базиран на увођењу конструктивних промена компоненти коришћењем нових материјала, нових конструкцијских принципа и решења. На овај начин остварено је достизање оптималних радних особина коришћењем чисте воде као радне течности.

Хидропумпе су склоне цурењу радне течности, што је проузроковано ниском вискозношћу воде и великом разликом притисака на улазу и излазу из пумпе. Зато је важно осигурати да отпор цурењу, између високо притисних и ниско притисних прикључака, буде велики тј. да прелази где се појављује цурење буду дуги, а пролази мали [1].

Хидропумпа типа РАН произвођача Danfoss (pump axial high-pressure – високопритисна аксијална пумпа) конструисана је као **аксијална клипна пумпа**, што значи да је централна оса клипова и цилиндара паралелна са осом погонског вратила пумпе. Ова пумпа као радну течност користи чисту воду. У ову групу високопритисних пумпи спада и пумпа типа РАН F, која је специјално развијена и дизајнирана за гашење пожара. Да би се избегла било каква врста контаминације, ове пумпе користе само воду као мазиво, тако да уље није потребно. На слици 5.2 приказан је попречни пресек аксијалне клипне пумпе РАН.



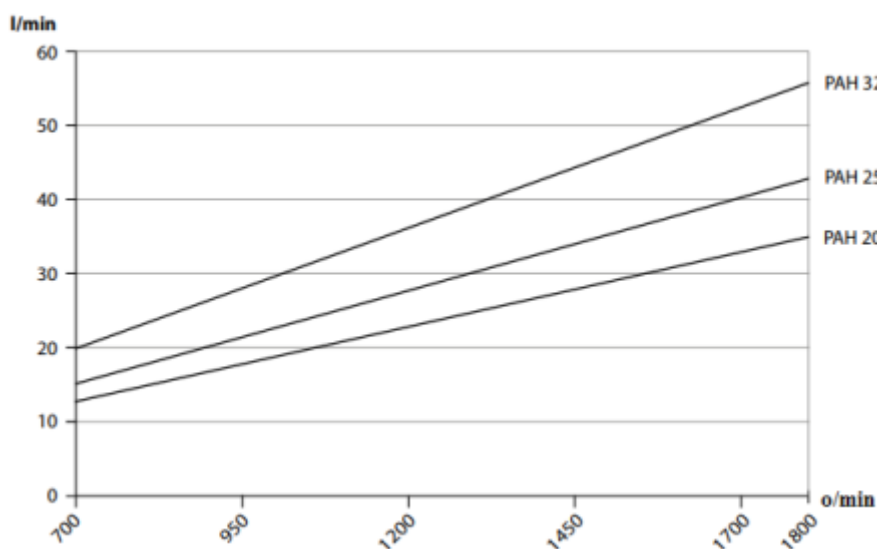
Слика 5.1. Попречни пресек аксијалне клипне пумпе Danfoss РАН 1. заптивач осовине, 2. монтажна прирубница/кућиште са лежајем, 3. прстен за задржавање, 4. клип, 5. потисна плоча вентила, 6. преливна плоча, 7. цилиндрична цев, 8. опруга, 9. плоча, 10. повезивање прирубнице [14]

Пумпа користи воду за подмазивање свих покретних делова, а конструкција пумпе израђена је од нерђајућег челика, што обезбеђују дуг животног века (до 8000 радних сати). Ипак, за дуг животног века пумпе неопходно је и одржавање, па је зато неопходна и правилна филтрација. Како би се смањили губици услед унутрашњег цурења, настали због мале вискозности воде, овај тип пумпе је дизајниран са врло уским растојањима између покретних делова, што омогућава бољу контролу и перформансе компоненти. Да би се смањило хабање пумпе, неопходно је филтрирати воду на улазу, тако да главни филтер мора да има филтрацију од 99.98 % на 10 μm .

У многим земљама законом је одређен максимални ниво буке за машине у многим областима примене. Код водних хидрауличних системима и компоненти ниска вискозност воде чини ове системе знатно бучнијим од уљних и зато се буку мора посебно обратити пажња. Овај проблем треба решавати још у периоду конструисања, како би се одстанили извори буке. Када је реч о Danfoss РАН пумпама, тестирање на буку врши се на тест столовима. Обзиром да се пумпа монтира на оквир, укупан ниво

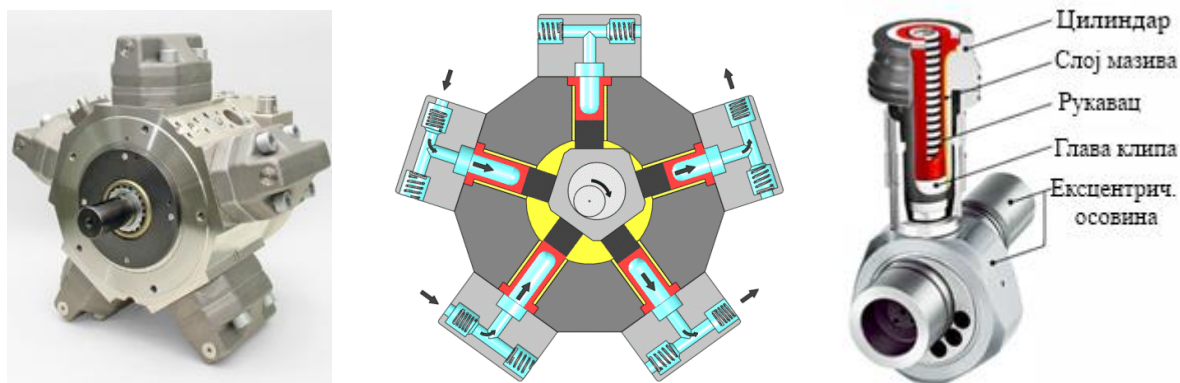
буке може да се одреди само за комплетан систем. На ниво буке утиче број обртаја пумпе, притисак пражњења, начин монтирања пумпе, као и материјали прикључака на пумпу. Да би се смањили бука и вибрације система, важно је правилно монтирати пумпну јединицу на рам који поседују амортизере, и користе се флексибилна црева, уместо металних цева, где је то могуће.

Пумпе типа РАН (РАН 20, РАН 25, РАН 32) имају радне притиске у опсегу од 30 bar до 160 bar, а брзине им се крећу у опсегу од 700 o/min до 1800 o/min, са протоцима при максималној брзини од 34.45 l/min до 54.89 l/min. На слици 10 дат је графички приказ криве протока, за сваку од ових пумпи, при максималном притиску [14].



Слика 5.2. Приказ кривих протока при максималном притиску за пумпе типа РАН 20, РАН 25, РАН 32 [14]

Радијална клипна пумпа R180 произвођача Hydrowatt је високопритисна пумпа, са максималним радним притиском од 415 bar, при 1500 o/min и протоком од 262 L/min. Hydrowat R180 пумпа има 5 радијално постављених клипних јединица, али се производе и са 7, 10 и 14 клипова, што значи да је једнако доступан и широк опсег протока од 20 L /min до 800 L /min Радна течност може бити индустријска вода, деминерализована вода, рудна вода, морска вода, вода за пиће. Конструкцијски је решено да буде херметички одвојена од погонског мазива, што омогућава велике брзине клипа. Пумпа је директно спојена са електромотором, без мењачког преносника између. Кућиште пумпе је израђено од нерђајућег челика, што спречава појаву корозије. На слици 5.3, приказан је попречни пресек пумпе Hydrowatt R180 са означеним елементима.



Слика 5.3. Радијална клипна пумпа Hydrowatt R180 са 5 радијално постављених цилиндричних клипних јединица око ексцентричне погонске осовине [15]

Пумпа Hydrowatt R180 користи посебне цилиндрично-клипне јединице које имају линеарно еластичне клипове са навојем. Клипне јединице „Axiflex“ састоје се од посебне клипне главе са интегралним еластомерним рукавцем. Отворени крај је чврсто причвршћен за цилиндарску јединицу, што обезбеђује херметичко заптивање коморе пумпе. Глава клипа и рукавац се заједно уздужно уводе у цилиндар, с тим да је глава клипа позитивно усмерена ка ексцентричном погону, док рукавац прати повратни удар главе клипа.

Једно од савремених решење овог типа пумпе је употреба хидродинамичког система лежајева, где су мазива под непрекидном регенерацијом између клипњаче и унутрашњег зида цилиндра. Ово осигурава високу носивост и смањење хабања делова. Овај тип пумпи има примену у индустрији челика и обојених метала, рударству, аутомобилској индустрији, код високопритисних машина за чишћење итд. [15].

5.2. Хидромотори

Хидромотори су хидромашине које претварају струјну енергију радног флуида у механичку енергију. Хидромотори се могу поделити у три групе:

- обртни хидромотори,
- хидроцилиндри и
- закретни хидромотори.

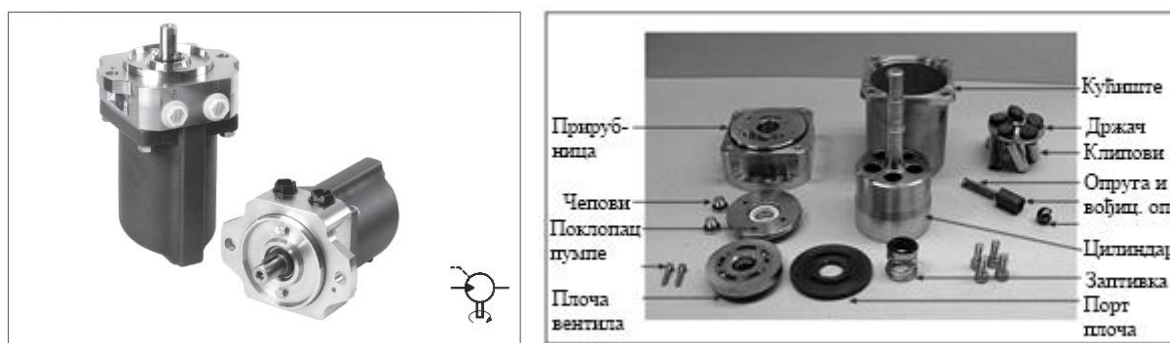
Принцип рада који важи за хидропумпе, важи и за обртне моторе. Код хидромотора хидроцилиндри су запремински хидромотори код којих се енергија струјања радне течности претвара у механички рад праволинијским наизменичним кретањем радног органа. Уколико померање извршног органа треба обавити за угао мањи од 360° , уместо ротационих хидромотора користе се тзв. закретни, а који се често називају и осцилаторни хидромотори.

Различити типови хидромотора могу се класификовати према броју обртаја излазног вратила. За хидримотор је веома важно познавати минималан и максималан број

обртаја излазног вратила, ради добијања жељених радних карактеристика. Хидромотори могу бити подељени у две групе:

- високо-брзински малог обртног момента и
- ниско-брзинске великог обртног момента.

Аксијални клипни хидромотори су високопритисни мотори са косом нагибном плочом. Један од произвођача ових мотора Danfoss Nessie развио је свој аксијални клипни мотор (МАН - motor axial high-pressure). Овај хидромотор познат је и под називом in-line мотор, што значи да су осе свих клипова и цилиндара паралелне са осом излазног вратила. Хидромотор је предвиђен за рад само са чистом водом, као радном течношћу. Хидромотор Danfoss Nessie (МАН) је са неподесивом радном запремином и садржи 5 клипова. Кинематски степен неравномерности протока је изражен као однос величине таласања, односно турбуленције, изнад минималне вредности произведеног протока и износи 3,96 %. У основи конструкција овог мотора у подсећа на Danfoss пумпу овог типа. На слици 5.4. приказани је хидромотор Danfoss Nessie, је типа МАН 10/12.5.

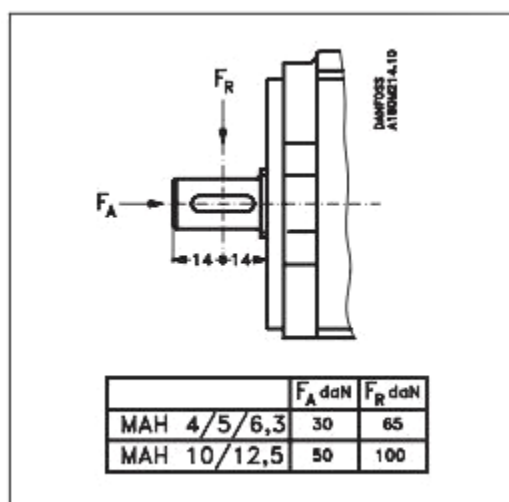


Слика 5.4. Аксијални клипни мотор [16]

У табели 5.1 дате су су радне карактеристике аксијалног хидромотора Danfoss Nessie типа МАН 10/12.5.

Табела 5.1. Преглед карактеристичних хидромотора Danfoss Nessie типа МАН 10/12.5 [16]	
Тип мотора	МАН 10/12.5
Минимални број обртаја [o/min]	300
Максимални број обртаја [o/min]	3000
Максимални обртни момент [Nm]	25
Стартни обртни момент [Nm]	12.5
Снага при максималном броју обртаја [o/min]	7.8
Стартни притисак код неоптерећеног вратила [bar]	50
Максимални радни притисак [bar]	140
Проток [L/min]	40
Маса [kg]	6.3
Радна запремина [cm ³]	12.5

Сви покретни делови хидромотора се подмазују водом која протиче кроз систем. Радни век овог хидромотора је исти као и код стандардних уљних хидромоторима, код којих је радна течност минерално уље. Израђен је од некорозивних материјала и глатких је површина, како би се обезбедило што боље чишћење спољашњих површина, а да би се одржао задовољавајући ниво хигијене у погону. Конструисан је да ради у једном смеру обртања, али може да ради у оба смера. Као што је познато из других грана хидраулике, бука је један од главних проблема и код овог хидромотора. Ниво буке овог хидромотора при брзини од 3000 о/min и притиску од 140 bar је 71 dB, што одговара законским прописима [16]. На слици 5.5, дате су максималне дозвољене вредности сила (F_R – радијалне и F_A – аксијалне) на излазно вратио хидромотора Danfoss Nessie MАН.



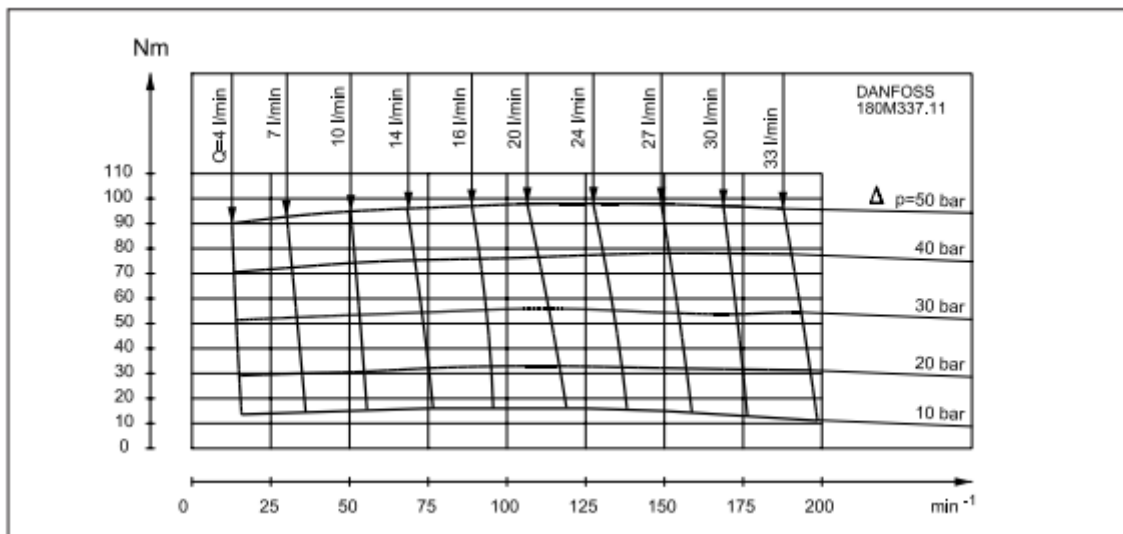
Слика 5.5. Хидромотор Danfoss Nessie тина MАН 10/12.5 [16]

Крилни хидраулички мотори користе се за средње притиске до 50 bara и малих снага до 4 kW. Danfoss Nessie конструисао је свој тип овог мотора MVM, који, такође, ради са чистом водом и јефтинији је од хидрауличних компоненти које раде на високим притисцима. На слици 5.6 приказан је крилни хидромотор Danfoss Nessie MVM 160.



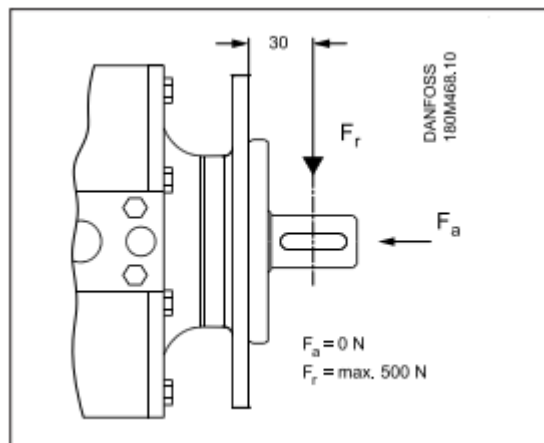
Слика 5.6. Крилни хидромотор Danfoss Nessie MVM 160 [17]

Хидромотор има константну радну запремину од 160 cm^3 и мали број обртаја ($0 \div 200 \text{ o/min}$). Максимални обртни момент на 50 bar је 100 Nm, а снага до 2.5 kW, што приказано на дијаграму 5.7, заједно са осталим радним карактеристикама.



Слика 5.7. Преглед радних карактеристика за хидромотор Danfoss Nessie MVM 160 [17]

Хидромотор има 8 крилаца, израђених од полимера, који се крећу по овалном непокретном глатком прстену. Статорски прстен је специјално профилисан, тако да радне коморе у току једног обртаја ротора по два пута изврше пуњење и пражњење. Двоструко дејство хидромотора уравнотежава сила притиска на ротор. Осам крилаца клизе по стаорском прстену помоћу опруга. За израду овог хидромотора коришћен је нерђајући челик, полимер, а клизни делови су превучени полимером како би се смањило трење. Укупни степен корисности хидромотора на 40 bar, износи око 80%, при опсегу броја обртаја $120 \div 160 \text{ o/min}$. Кућиште хидромотора је израђено од легуре алуминијума како би се осигурало од корозије. Површинска заштита обезбеђује висок степен заштите од корозије. Поред прехранбене индустрије, ови мотори се још користе у папирној индустрији, хемијској и фармацеутској индустрији, рударској индустрији итд [1]. На слици 5.8, дате су максималне дозвољене вредности сила (F_R – радијалне и F_A – аксијалне) на излазно вратио хидромотора Danfoss Nessie MVM 160.



Слика 5.8. Хидромотор Danfoss Nessie MVM 160 [17]

5.3. Хидраулични вентили

У хидрауличним системима преноса снаге, усмеравање енергијских токова и управљање нивоом енергије радне течности обавља се вентилима. Један од начина поделе вентила је према њиховом дејству у систему. По овом критеријуму постоје четири врсте вентила:

1. **Разводни вентили** имају задатком да управљају, односно регулишу покретање, заустављање и усмеравање радног флуида. Разводни вентили узрокују пад притиска у систему и код њих се може јавити цурење радне течности.
2. **Притисни вентили** имају функцију да у целом или делу хидрауличког система, ограниче или обезбеде притисак одређене величине. Идеална сврха ових вентила је да контролишу притисак независно од величине протока и тако сачувају хидраулични систем од преоптерећења.
3. **Вентили за проток** имају функцију да омогуће промену, подешавање или одржавање протока у делу хидрауличког система. Раде на принципу промене проточног пресека кроз који пролази радна течност, тако да се пригушивањем остварује промена пада притиска, а тиме се утиче на величину протока. Слично као и код притисних вентила њихова сврха би била да контролишу проток независно од промене притиска.
4. **Неповратни вентили** су вентили који дозвољавају струјање течности само у једном смеру, а у другом смеру, док га потпуно блокирају или дозвољавају струјање само под посебним условима. Сила отварања вентила је мала, зато се затварање вентила, односно држање затварачког елемента у одређени положај, користе опруге мале крутости. Затварачки елемент може бити у облику кугле, конуса, плоче (тањира). Исте конструкције ове врсте вентила за уљну хидраулику, се користе и за водну хидраулику.

Вентили који се користе у водним хидрауличним системима имају много заједничких конструкцијских сличности, као и вентили који се користе у уљној хидраулици. Међутим, употреба воде даје значајне промене у физичким параметрима, што условљава неке специфичности, при пројектовању вентила који раде са водом као радном течносту. При конструкцији водних хидрауличних вентила, релативно мала вредност вискозности воде игра битну улогу. Мања вискозност воде у односу на минерална уља узрокује веће брзине протикања кроз пригушнике, при истим радним условима. Када протиче, вода има већу кинетичку енергију у поређењу са минералним уљем, под истим условима. Такође, цурење кроз зазоре и узане пролазе у вентилима може постати велико. Површине које се релативно померају једна у односу на другу и које трпе високе притиске услед оптерећења, могу бити оштећене због високог трења. Да би се умањило цурење кроз зазоре на затварачком елементу, на исте вредности које важе у уљној хидраулици потребно је да ти зазори буду много ужи. Величина тих зазора у водној хидраулици треба да је умањена за једну трећину у радијалном правцу [1].

5.3.1. Разводни вентили

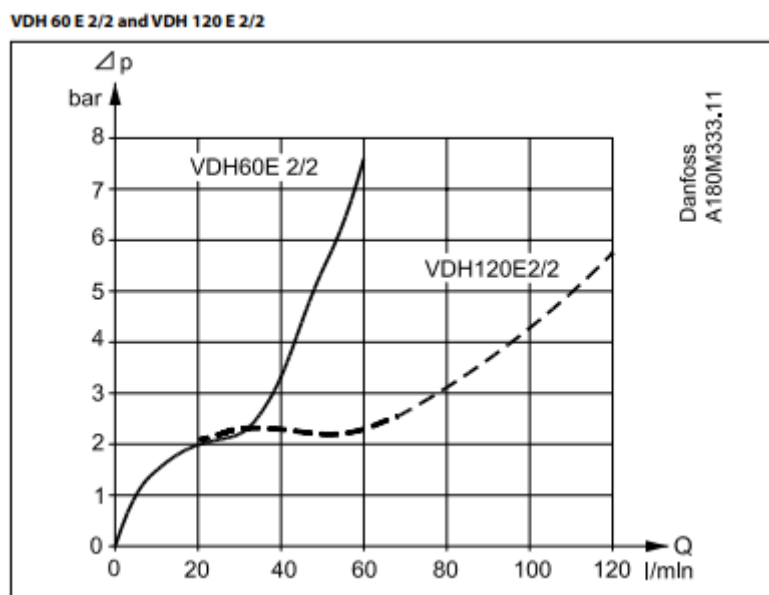
У основи, разводни вентили обезбеђују када и где треба радна течност да пренесе снагу за обављање различитих тражених радњи. Они обезбеђују покретање, заустављање, убрзавање и контролу смера обртања или транслаторног померања хидрауличних извршних органа. Уопштено, разводни вентили могу бити класификовани у зависности од различитих функција разводника и броја функционалних положаја.

Специјално развијен разводни вентил за контролу правца протицања воде у водним хидрауличним системима произвођача Danfoss приказан је на слици 5.9. Овај вентил је са два прикључка, двоположајни, даљински управљан разводни вентил. Управљање вентила се постиже електромагнетом са једним намотајем, а у почетни положај се враћа опругом. Овај вентил се користи у водним хидрауличним системима за заустављање и покретање обртних хидромотора и хидроцилиндара и за контролу смера њиховог кретања. Овај вентил се може користити и као испусни вентил кад је повезан са резервоаром [18].



Слика 5.9. а) Danfoss двоположајни разводни вентил са два прикључка VDH 60 E, б) попречни пресек: 1. арматура; 2. о прстен, 3. отвор, 4. опруга, 5. калем [18]

Кућиште вентила је направљено од нерђајућег и кисело отпорног челика ISO 316L. Овај материјал је отпоран на корозију и може се често прати, што је важно за прехранбену индустрију. Унутрашњи делови вентила су израђени од нерђајућег челика, полимера и месинга. Описани вентил се може комбиновати у блок од четири вентила повезаних у мост, да би се добио вентил са 4 прикључка и 3 позиције. Разводни вентил VDH 60 E 2/2 може да ради са максималним притиском од 140 bar и максималним протоком од 60 l/min. Температура радне течности (воде) се креће у опсегу од + 3°C до + 50°C, а уколико се радна течност садржи антифриз онда од – 30°C до + 50°C. На слици 5.10, је дијаграмски приказана зависност пада притиска при различитим протоцима за вентиле типа VDH 60 E 2/2 и VDH 120 E 2/2 [6].



Слика 5.10. Зависност пада притиска при различитим протоцима за вентиле типа VDH 60 E 2/2 и VDH 120 E 2/2 [18]

5.3.2. Проточни вентили

У водној хидраулици проточни вентили се користе за контролу запреминског протока воде, а самим тим и брзине хидрауличног извршног органа. Користе се две врсте овог вентила: регулатори протока и ручни пригушни вентили.

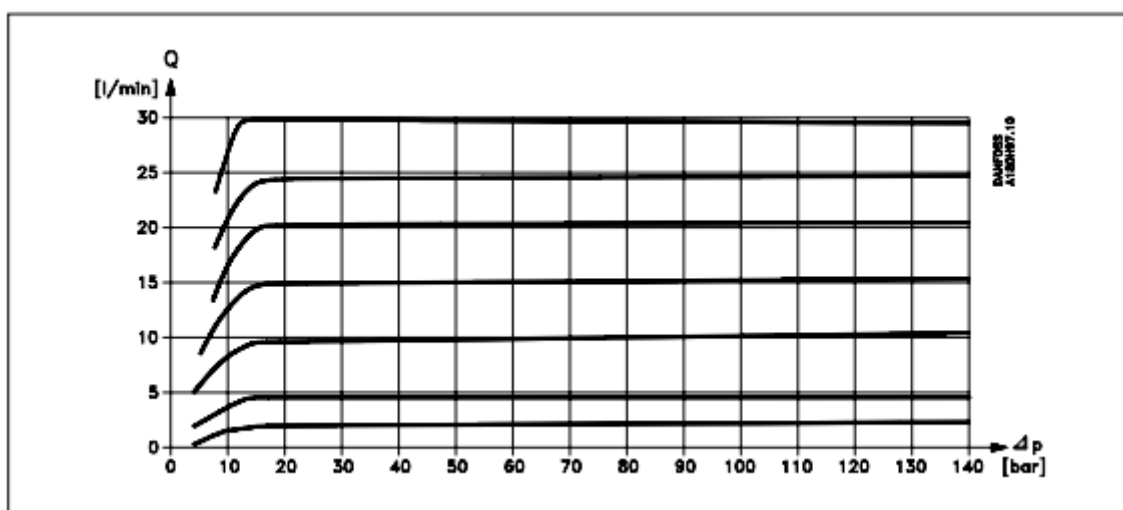
Произвођач Danfoss Nessie конструисао је овај тип вентила као „in-line“ вентил са унутрашњим навојним спојем, слика 5.11. Уграђен је компензатор притиска који осигурава да се величина протока течности кроз вентил одржава константном и независном од притиска на улазним и излазним прикључцима. Жељена вредност протока се подешава мануелно. Кућиште је израђено од нерђајућег челика и кисело отпорног челика ISO 316L. Овај материјал је отпоран на корозију, што је важно нпр. у прехранбеној индустрији. Радна течност која се користи је чиста вода или вода са додатком 33% гликола.



Слика 5.11. Регулатор протока Danfoss Nessie VDH 30 PM [19]

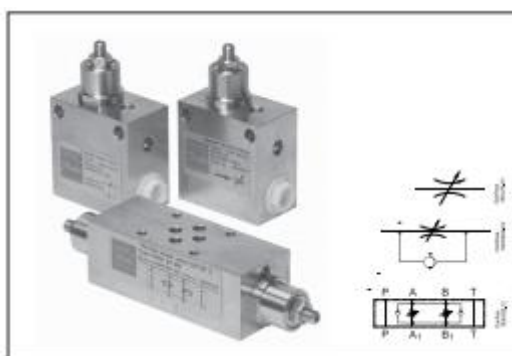
Вентил садржи два отвора, а функција одређивања протока врши се на првом отвору, док се величина протока ручно подешава ротационим позиционирањем ручке. За сваку позицију ручке пад притиска на отвору се одржава константним независно од промене притиска на улазу или излазу из вентила. Ово се постиже помоћу компензационог клипа који регулишу величину другог отвора према оптерећењу опруге и улазном и излазном притиску.

На слици 5.12, је дата зависност притиска и протока за овај вентил. Уочава се да су линије скоро паралелне са хоризонталном осом, што значи да је проток кроз вентил практично независан од пада притиска у њему.



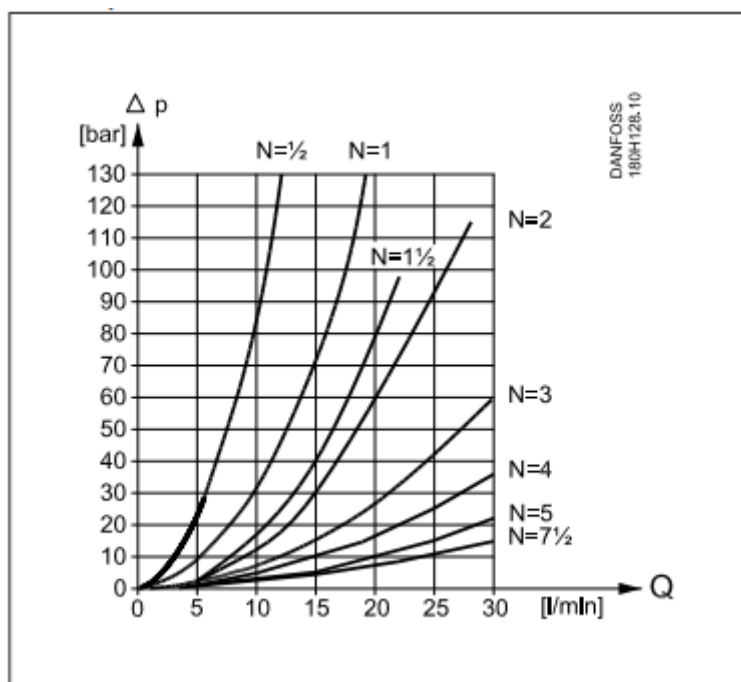
Слика 5.12. Зависност притиска и запреминског протока вентила VOH 30 PM [19]

Ручни пригушни вентил типа Danfoss Nessie VOH 30 М (слика 5.13) је тип вентила који врши исту функцију као и претходно описани вентил VOH 30 PM. Међутим, његов принцип рада је много једноставнији, јер не садржи никакве компензаторе притиска. Овај вентил се користи за контролу величине протока воде, а самим тим и брзине актуатора. Жељени проток се добија ручним подешавањем вентила. Вентил се може користити за потпуно искључивање протока. Посебна пажња је посвећена конструкцији затварачког елемента и седишта вентила у циљу решавања проблема ерозије и абразивног хабања проузрокованих већом густином воде, релативно високим модулом стишљивости и релативно малој вискозности воде [20].



Слика 5.13. Ручни пригушни вентил типа Danfoss Nessie VOH 30 М [20]

Конструкциони принципи, као што су одабир материјала отпорних на корозију и свих осталих захтева су исти, као и за разводне вентиле и регулаторе протока. На слици 5.14, приказана је карактеристика ручног пригушног вентила VOH 30 M, за различите отворе вентила.



Слика 5.14. Зависност пада притиска и запреминског протока вентила типа VOH 30 M [20]

5.3.3. Притисни вентили

Сила на клипу код хидроцилиндра и обртни момент на вратилу хидромотора су функције радног притиска у хидрауличном систему. Прецизна контрола радног притиска у систему омогућава му извршавање било које функције, где су силе и моменти у тачно одређеним границама. Вентили за контролу притиска одређују величину радног притиска у хидрауличном систему независно од промене величине протока радне течности.

Регулатори притиска су вентили који ограничавају ниво притиска у хидрауличном систему преноса снаге. Ови вентили се могу користити за: ограничавање максималног притиска у систему, одржавање одређених вредности редукованог притиска у хидрауличном систему, успоставу противпритиска на хидрауличном извршном органу или за пренос сигнала, када се достигне одређени ниво притиска [4].

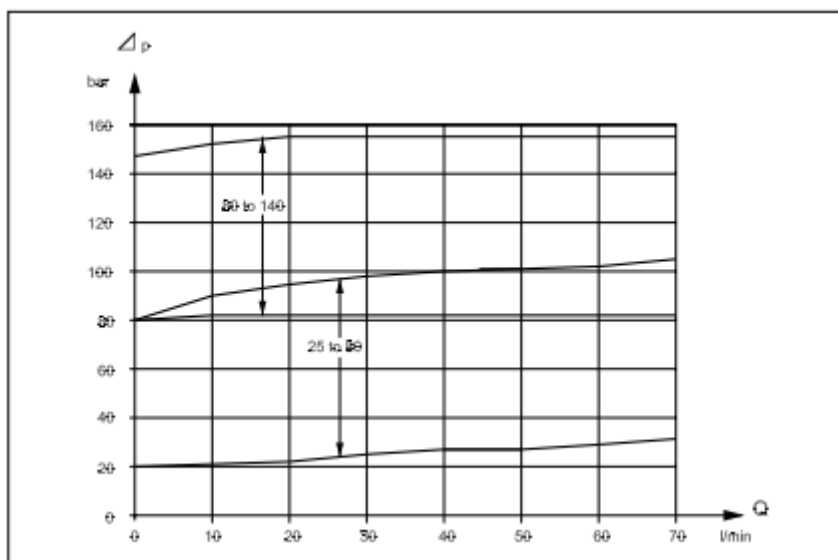
Регулатор притиска Danfoss Nessie VRH 60 је вентил који је конструисан како „in-line“ са унутрашњим навојним спојевима. Спољашњи делови вентила су израђени од материјала отпорних на корозију, нерђајућег челика AISI 316L. Овај материјал је отпоран на корозију и може се често прати, што је важно нпр. у прехранбеној индустрији. Радна течност која се користи је чиста вода или вода са додатком 33 % гликола [21].

На слици 5.15, приказан је регулатор притиска Danfoss Nessie VRH 60. Притисак отварања вентила се подешава оптерећењем на опрузи. Опруга се налази у цеви, која је штити од сила које потичу од течности која протиче кроз регулатор. Сви унутрашњи делови вентила су израђени од материјала отпорних на корозију, као што је нерђајући челик, полимер и месинг.



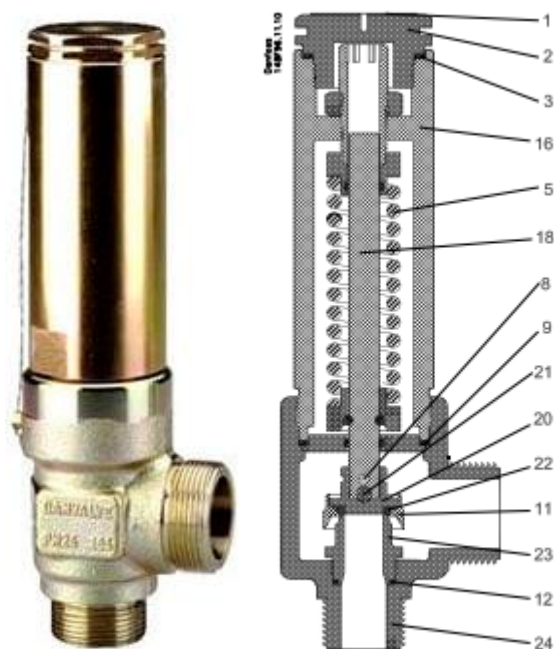
Слика 5.15. Вентил за регулацију улазног притиска Danfoss Nessie типа VRH 60 [21]

Радни притисци овог вентила крећу се од 10 bar - 140 bar, максимални радни проток је 60 l/min, а максимална температура радног флуида (воде) је 50 °C. [21]. На слици, 5.16 приказана је карактеристика овог вентила за различите притиске отварања.



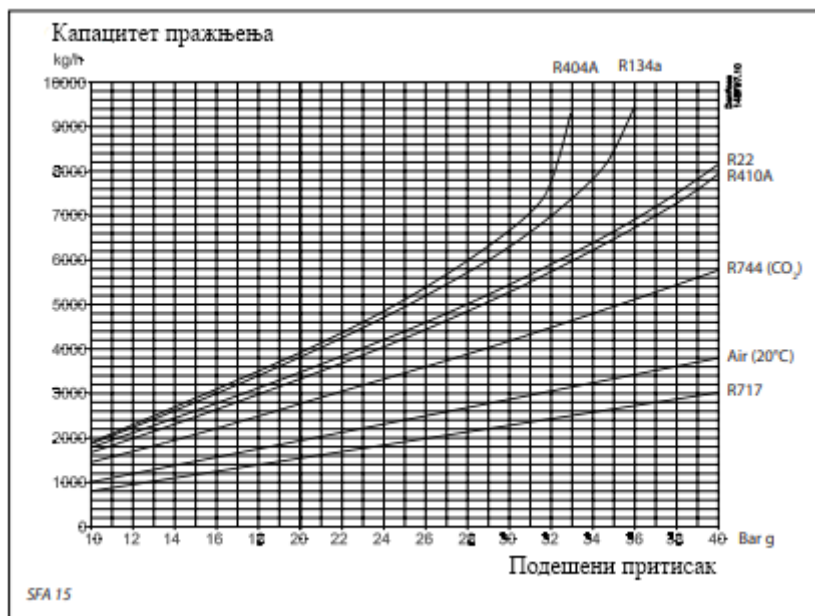
Слика 5.16. Зависност притиска и запреминског протока притисног вентила VRH 60 [21]

Сигурносни вентили имају улогу да заштите хидраулични систем од превеликог притиска радне течности. Најважнија улога сигурносних вентила је да врше контролу максималног притиска. Од њих се очекује да реагују уколико појави поремећај. Ови вентили су обично неподесиви, али су фабрички подешени према стандардним притисцима. Вентил типа Danfoss Nessie SFA 15, слика 5.17, је подесив за притиске 10÷40 бара. Важно је напоменути да овај сигурносни вентил уколико је повратни притисак већи од атмосферског, притисак отварања ће бити већи од наведеног подешеног притиска. Посебне околности, као што су вибрације могу довести до повећане разлике између радног притиска и притиска затварања. Радне температуре крећу се од – 50°C ÷ 100 °C.



Слика 5.17. Сигурносни вентил Danfoss Nessie типа SFA 15: 1. ознака типа вентила, 2. навојни чеп, 3. подлошка, 5. опруга, 8. разделник, 9. подлошка, 11. држач, 12. подлошка, 16. врх вентила, 18. вретено вентила, 20. конус вентила, 21. челична кугла, 22. конус заптивача вентила, 23. седиште вентила, 24. кућуште вентила [22]

Сигурносни вентил SFA 15 један од вентила који је специјално тестиран и одобрен од стране TÜV-а (Technischer Überwachungsverein - Technical Inspection Association). Тест је обухватао контролу функције вентила, као и мерење капацитета за различита расхладна средства, што је графички приказано на слици 5.18. Вентил је углавном израђен од нерђајућег челика и алуминијума.



Слика 5.18. Зависност капацитета пражњења и притиска сигурносног вентила Danfoss Nessie типа SFA 15 [22]

5.4. Филтери водних хидрауличких система

У хидрауличним системима од велике важности је да радна течност задовољава одређене захтеве у погледу чистоће ради поузданости у раду система, јер сви хидраулични системи садрже неке одређене нечистоће. Како би се радна течност заштитила од контаминације, хидраулични системи морају садржати филтере који ће стално пречишћавати течност у току рада. Правилним филтрирањем издвајају све чврсте честице нечистоће, које би по својој величини и облику могле оштетити компоненте система. Максимална величина честица која сме бити присутна у радној течности зависи од величине најмањих зазора у компонентама. Правило филтрирања је да апсолутна финоћа филтрирања треба да буде једнака половини најмањег зазора између покретних делова компонената система. Вредности финоће су увек у μm [2].

Површинско филтрирање, тј. издвајање честица нечистоћа се врши протицањем радне течности кроз дводимензионалну површину која се састоји од правилно распоређених подједнаких отвора. Честице веће од отвора се задржавају на површини филтера, док мање честице пролазе. Површински филтер може бити израђен од жичане мреже, тј. жице малог пречника која је исплетена и гради правилне површине, нпр. квадратног или неког другог правилног облика. Лош избор филтера може довести до оштећења хидрауличног система.

Дубинско филтрирање, тј. одвајање честица нечистоћа врши се кретањем радне течности по завојној путањи кроз материјал филтера. Материјали који се користе за дубинско филтрирање су углавном влакнасти материјали, као што су папир, целулоза, стаклено влакно или синтеровани пудер (метални, керамички или пластични). По правилу капацитет филтера мора да буде једнак двострукој вредности протока кроз пумпу. Друго правило је да се одабир материјала врши према максималном паду притиска у филтеру који може систем да поднесе. На слици 5.19, приказани су филтери који се налазе у понуди компаније Danfoss и који су намењени за рад у високопритисним пумпама, међу којима је аксијална клипна пумпа Danfoss PAH.



Слика 5.19. Филтери који се користе у водним хидрауличним системима [23]

Код водне хидраулике користе се полипропиленски филтери који користе најновију технологију микрофибер влакана. На овај начин се врши комбинација великих протока и високог капацитета за задржавање честица нечистоће. Ови филтери могу да се користе у широком опсегу од опште филтрације воде до филтрације хемикалија.

Елементи акумулатора раде са максималним протоцима од 15 L/min до 170 L/min, и максималним диференцијалним притисцима од 4 бара. Сви ови филтери могу да издрже пулзације протока, као и вискозност течности и промену температуре. Ефикасност ових филтера је 99,98 % [23].

5.5. Хидроакумулатори

Хидроакумулатори (слика 5.20) су уређаји чији је задатак да акумулирају енергију струјања радне течности или одређену запремину радне течности, кад нису потребни извршним органима, а предају их хидрауличном систему када за тим постоји потреба. Клипни хидропнеуматски акумулатори су најједноставнији хидроакумулатори, код којих је гасовита средина одвојена од течне помоћу пливајућег клипа сферног или цилиндричног облика. Дозвољени радни притисак нпр. 280 клипног хидроакумулатора је 280 бара, а номинална запремина може бити од 0,16L÷10L [24]. Уграђују се у хидрауличне системе како би обезбедили:

- смањење капацитета пумпи,
- резерва снаге при отказу пумпе,
- компензација губитака радне течности услед цурења,
- пригушење пулзација притиска и протока,
- компензација запремине услед термичке експанзије радне течности,
- амортизација механичког и хидрауличког удара,
- уштеда енергије и др.



Слика 5.20. Клипни хидроакумулатор HYDAC SK 280 [24]

6. Трендови развоја, предности и недостаци водне хидраулике

Трендови развоја потврђују да примена водне хидраулике у великој мери може допринети решавању многих главних проблема везаних за загађење животне средине и проблема у индустријама, где треба избећи контаминацију производа. Такође, развојем и применом водне хидраулике у разним производним системима избегавају се проблеми везани за опасност од избијања пожара и експлозије. Истраживања и развој водне хидраулике кеће се у правцу дизајнирања хидрауличних компоненти ниског и високог притиска како би се омогућило лакше коришћење воде. Такође, развој водне хидраулике допринео је и развоју нових, еколошко прихватљивих мобилних система, попут комуналних возила. Своју примену водна хидраулика све више налази и код софистицираних система, попут роботске руке за манипулисање теретом, који су у примени у различитим индустријским постројењима.

Истраживања потврђују да употреба савремене водене хидраулике своју примену све више налази у савременој индустрију, а повећан је и годишњи промет продаје система и компоненти водне хидраулике. Важне гране индустријске примене у којима водна хидраулика има предност у односу по класичну предности представљене су процесна индустрију, прехранбена индустрија, фармацеутска индустрија, противпожарни системи, уређаји за чишћење под високим притиском, хидратантни системи за влажење, обрада дрвета (обрада и сушење дрвета), као и индустријске покретне машине и комунална возила које раде у окружењу осетљивом по животну средину.

Успех развоја, дизајнирања и примене водне хидраулике у будућности зависиће од процеса примене воде за пиће, морске воде и других типова вода без претходне обраде. Овим би се појефтинио сам процес примене система водне хидраулике. Развојем нових аксијалних пумпи и вентилима поједностављује се процес примене морске воде за рад. Будући изазови су да уз образовање инжењера и нова истраживања буду побољшана конструкциона решења система и компоненти водне хидраулике. Неколико нових техничких решења водну хидраулику као технологију која надопуњује хидраулику уља, пнеуматику и електроенергетска постројења. Према досадашњим искуствима и у пракси водна хидраулика представља одлично решење у многим индустријским решењима и постројењима и представља решење за будућност.

Предност водне хидраулике огледа се у томе што за разлику од већине електричних система су погоднији за одржавање. Што је јако важно нпр. прехранбеној, хемијској, петрохемијској и другим индустријама. Тако нпр. се у прехранбеној индустрији, захтева се висок ниво хигијене, водоотпорност компоненти система, као и константна температуру просторије. Код система који користе воду, топлота генерисана у пумпама, моторима, вентилима и цевима, преноси на хидрауличну течност која врло лако и без великих трошкова може бити одстрањена из критичних температурних области. Такође, електрични мотори су често постављени далеко од зоне мокре обраде,

па су за пренос снаге потребни зупчаници, ланци, вратила и други елементи, што захтева подмазивање, а тиме и могуће хигијенске проблеме, као и повећање трошкова.

У односу на електричне системе водна хидраулика има следеће предности:

- компактне компоненте,
- систем је санитаран и лак за чишћење,
- минимално генерисање топлоте,
- компактне компоненте,
- није потребно заштитно кућиште, а систем може да ради у мокрој зони.

Када се врши поређење са пнеуматским системима, водна хидраулика има значајне предности у ефикасности и регулацији система. Запремина воде се врло мало мења под дејством притиска, а ниска вискозност значи низак пад притиска, док висок притисак (преко 140 bar) резултира компактним дизајном компоненти. Пнеуматски системи имају ниску ефикасност, као и ниске хегијенске и еколошке особине. Пнеуматски системи могу пропустити 25% свог компримованог ваздуха у производно подручје, са нестабилним кретањем и лошим положајем, па захтевају хидрауличне цилиндри за стабилизацију флуида. Њихов релативно мали радни притисак значи да мотори и цилиндри морају да бити знатно већи од оних хидрауличких. Пнеуматски системи могу имати губитк 85÷90% када су укључени компресори, опрема за сушење ваздуха, цеви, вентили, мотори и цилиндри.

Недостаци водне хидраулике, огледају се у пропуштању хидрауличке течности, ерозији, веће могућности за појаву корозије, минималне радне температуре и могућности појаве хидрауличног удара.

Пропуштање настаје услед ниске вискозности воде, те је контрола спољашњег и унутрашњег пропуштања тешка. Овај проблем решава се коришћењем система који су посебно дизајнирани за рад са водом, а који су израђени од материјала отпорних на корозију. Уз увођење нових материјала, као што су керамика и полимери, смањено је унутрашње пропуштање, смањени зазори и трошење компоненти.

Како вода има нижу вискозност и већу специфичну тежину то доводи до већих брзина и турбулентног струјања, односно ерозије. Велика брзина струјања и турбуленција могу да нагризу металне површине система. Данашњи хидраулични системи конструисани за рад са водом ниске вискозности, успешно спречавају овај проблем. Употребом специјалних вентила, добар одабир материјала и премаза у комбинацији са контролом брзине успешно решавају проблем ерозије.

Кисеоник и сумпор су производи који могу довести до појаве корозије одређених компоненти хидрауличног система. Нерђајући материјали, попут нерђајућих челика или посебно обрађен алуминијум могу спречит корозију. Спречавање настанка корозије може се постићи применом стаклених влакана, керамичких материјала,

пластике и других синтетичких материјала. Примена адитива доприноси спречавању корозије, тако што се врши премазивањем површина које су склоне кородирању. Сва ова решења изискују и веће трошкове израде у односу на класичен уљне хидрауличке системе.

Температура воде као радног медијума креће се у границама од 2 °C до ≈ 50 °C у зависности од компонената које се користе. Како би се избегло замрзавање воде користи се загревање система на минималној температури. Такође, може се користити и антифриз. Важно је изабрати одговарајући антифриз, како се не би пореметиле друге карактеристине радног медијума.

Хидраулични удар настаје када се течност нагло заустави, обично наглим затварањем вентила. Правилним пројектовањем система и компоненти ова појава се може елиминисати. Вентили конструисани за контролисано затварање и отварање могу обезбедити прецизно убрзавање или успоравање флуида. Такође, применом акумулатора смањује се крутост система, а величина зависи од радног притиска.

Мала мазивна својства воде може довести до повећаног контактнoг трења и трошења делова хидрауличног система. Као и конвенционалне компоненте које захтевају подмазивање, подмазивање је неопходно и код компоненти водне хидраулике. Коришћењем компоненти које садрже превлаке или су израђене од посебних материјала добија се понашање воде као мазива. Применом мазива, такође, могу се побољшати мазива својства воде.

7. Закључак

Почетком XX века и развојем хидраулике једина радна течност која је коришћена била вода или водене емулзије чији су радни притисци били мали, као и обртни момент и бројеви обртаја излазних елемената. Појавом уљних хидрауличких система повећава се ниво примене хидраулике. Хидраулички системи који користе минерално уље су се убрзано развили, тако да су у потпуности заменили водне хидрауличне системе. Но, развојем нових технологија и повећањем еколошке свести створили су се услови за увођење система водне хидраулике.

Крајем XX века и почетком XIX века, нове области примене хидраулике, као што прехрамбена, нуклеарна и аутомобилска индустрији створиле су потребу за унапређењем водне хидраулике. Узроци потребе за водном хидрауликом леже у неповерење у уљну хидраулику због повећаног ризика од пожара и великог степена загађења животне средине. Радна течност будућих хидрауличких система мора бити еколошки прихватљива, биолошки разградљива у кратком временском периоду и незапаљива.

Јасно је да је будућност хидрауличких система у коришћењу воде као радног флуида. Ипак, физичка својства воде се знатно разликују од својстава минералног уља. Проблеми коришћења воде огледали су се у немогућности коришћења у високопритисним системима, односно израда таквих система је била тешка и доста је коштала. Временом ови проблеми су превазиђени, правилним избором материјала и конструкционих решења добијени су поуздани и ценовно прихватљиви системи.

Захваљујући предностима водна хидраулика све више замењује стандардне уљне хидрауличке системе, као и пнеуматске и електричне. Савремена конструкцијска решења и константан развој допринео је да системи водне хидраулике имају широку примену у разним индустријским областима.

Пораст примене водне хидраулике у највећој је мери настао као последица бриге за животну средину и развоја софистицираних компоненти хидрауличких система. Радне карактеристике и радни век компоненти водних хидрауличких система данас су исти као и они код који користе минерално уље.

Водни хидраулични системи обезбеђује висок ниво хигијене, односно не постоји ризик од контаминације производа и околине. Све ово наводи на закључак да ће будућност водне хидраулике бити успешна, тј. Да се вода као радна течност имати првенство у односу на минерално уље.

Литература:

- [1] Обровић, Б., Савић, С.: Хидраулика – основи, Машински факултет, Крагујевац, 2005.
- [2] Петрић Ј. Хидраулика, Хидраулика и Пнеуматика (1. Део), Факултет стројарства и бродоградње, Свеучилиште у Загребу, 2012.
- [3] Хидраулички систем авиона, Хидрауличка пумпа:
<http://www.vazduhoplovnetradicijesrbije.rs/index.php/clanak/362-hidr-ulic-i-sis-vi-n>,
приступљено 5.9.2019.
- [4] Conard F., Trends end desing of water hydraulics - Motion controls and open-ended solutions, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, 2005.
- [5] Trostmann, E., Frølund, B., Olesen, B., H., Hilbrecht, B.: Tap Water as a Hydraulic Pressure Medium, Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [6] Grejanje.com, Magazin za energetsku efikasnost, Kavitacija – teorijski osvrt:
<http://www.grejanje.com/strana.php?PID=340&terms=kavitacija-kavitacija%20pumpi-hidrauli%C4%8Dka%20kavitacija-termodinami%C4%8Dka%20kavitacija>,
приступљено 10.9.2019.
- [7] Krutz G., Chua S.K., Watwr Hydraulics – Theory and Applications 2004, Workshop on Water Hydraulics, Agricutlur Equipment Technology Conference (AETC '04), February 8-10, 2004, Louisville, Kentucky.
- [8] iSpray, Humidification Module: <http://ispray.com/application-humidification>,
приступљено 12.9.2019.
- [9] Techno Feeder Private Limited, Hydraulic Press For Food:
<https://www.technofeeder.in/hydraulic-press-for-food.html>,
приступљено 12.9.2019.
- [10] Yumpu, Nessie Wood Concept, type NWC – Fluidtech:
<https://www.yumpu.com/en/document/view/48502319/nessiear-wood-concept-type-nwc-fluidtech>,
приступљено 13.9.2019.
- [11] Индустија (ISSN 1452-3639), број. 49 (април 2014.), страна: 44.
- [12] Bucher municipal, CityFant 6000 manoeuvrable and efficient:
<https://sweeperit.buchermunicipal.com/en/node/4722>,
приступљено 14.9.2019.
- [13] Hydraulic & Pneumatics, Water Hydraulics: Benefits and Limitations:
<https://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicFluids/Article/False/6452/TechZone-HydraulicFluids>,
приступљено 14.9.2019.
- [14] Danfoss, Products: https://www.danfoss.com/en/products/pumps/?sort=default_sort,
приступљено 15.9.2019.

- [15] Hydrowatt, Radial Piston Pump Types: <http://www.hydrowatt.com/en/pages/high-pressure-pumps/pump-types.php>, приступљено 16.9.2019.
- [16] Yumpu, Motor High Speed (MAH 4/5/6.3 – 10/12.5):
<https://www.yumpu.com/en/document/read/5898301/motor-high-speed-mah-4-5-63-10-125-danfoss>, приступљено 16.9.2019.
- [17] Nessie Low speed high torque motor type MVM 160:
<http://literature.puertoricosupplier.com/018/MA17960.pdf>, приступљено 16.9.2019.
- [18] Danfoss, 2/2-way Directional Control Valves VDH, For inline mounting and Cetop 3 flange mounting (ISO 4401):
<https://assets.danfoss.com/documents/DOC274854154131/DOC274854154131.pdf>, приступљено 17.9.2019.
- [19] Danfoss, Nessie Flow Control Valve (Pressure-compensated manually variable throttle valve) Type VOH 30 PM: <http://freshwindshop.com/VOH30PM.pdf>, приступљено 17.9.2019.
- [20] Danfoss, Throttle Valves: https://enel-automatyka.pl/wp-content/uploads/2018/08/521B0802_DKCFNPD043C802_VOH30MVOCH30MandVOCH30MC_GB.pdf, приступљено 18.9.2019.
- [21] Danfoss, Pressure relief valve VRH 5 / VRH 30 / VRH 60 / VRH 120:
<https://assets.danfoss.com/documents/DOC246586502890/DOC246586502890.pdf>, приступљено 18.9.2019.
- [22] Danfoss, Safety relief valves SFA 15:
http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/PDIF0A402_SFA.pdf, приступљено 18.9.2019.
- [23] Lenntech, Filter solutions for Danfoss PAH, APP and CLP pumps:
<https://www.lenntech.com/Data-sheets/Danfoss-Filter-PAH-APP-CLP-L.pdf>, приступљено 19.9.2019.
- [24] Hydac, Piston Accumulators Series SK280: <http://hydac.com.sg/wp-content/uploads/2018/08/Piston-SK280-series.pdf>, приступљено 19.9.2019.