

RAZVOJ HIDRAVLIČNE POGONSKE TEHNIKE SKOZI ČAS

6. DEL: ZAGOTAVLJANJE HIDRAVLIČNE ENERGIJE

Darko Lovrec

Številne hidravlične naprave, ki so se pojavile z razmahom hidravlične pogonske tehnike in so bile nameščene na stalnem mestu uporabe, so potrebovale tudi oskrbo s hidravlično energijo. Manjše naprave, npr. manjše stiskalnice, dvizne ploščadi ali manjša dvigala, so imele ročne črpalke, s katerimi so zagotavljali hidravlično energijo za njihovo delovanje. Večjae naprave, npr. pristaniški žerjavi, osebna dvigala v zgradbah, dvizne naprave v gradbeništvu, hidravlično pomični mostovi in podobne naprave, pa so bile sprva napajane iz konstantnega vira energije – kar iz omrežja pitne vode.

Za povečanje zmogljivosti posameznih hidravličnih naprav, še posebej dviznih naprav, so pričeli uporabljati visoke vodne stolpe in pa hidravlične akumulatorje z balastom. Hidravlične naprave v zgradbah pa so neposredno napajali najprej iz običajnega in kasneje iz visokotlačnega vodnega omrežja, nameščenega vzporedno z omrežjem pitne vode in razpeljanega po delih mesta s tovrstnimi hidravličnimi napravami. Sestavek podrobneje in kronološko opisuje razvoj in energetski vidik napajanja hidravličnih naprav ter prenosa hidravlične energije na večjih razdaljah z vsemi posebnostmi in omejitvami.

1 Omrežje pitne vode kot vir hidravlične energije

Po iznajdbi prve praktično uporabne hidravlične stiskalnice se je hidravlična pogonska tehnika, prepoznana kot izredno koristna tehnologija predvsem za prenašanje velikih bremen, izredno hitro razširila na druga področja tehnike. Tako se je zelo hitro uveljavila na področju dviznih naprav, ki so predstavljale naslednji ogromen korak pri razvoju in uveljavljanju hidravlične pogonske tehnike. Slednje je tesno povezano z Williamom Georgom Armstrongom iz Newcastlea v Angliji, ki se je specializiral za dvizne naprave, še posebej za pristaniške žerjave [1]. Zmogljivi hidravlični pristaniški žerjavi so predstavljali veliko »uspešnico« za Newcastle in ga »povzdignili«

v pomembno pristanišče. Zaradi tega se je Armstrong najprej sam in nato še s poslovnimi partnerji poslovno usmeril v gradnjo hidravličnih žerjavov in jih pričel izvažati po celem svetu.

Naslednji velik korak k razvoju hidravlike je prispeval Armstrong leta 1845, ko je predložil načrt za oskrbo s pitno vodo iz oddaljenih rezervoarjev do gospodinjstev v središču Newcastlea. Predlagana izvedba omrežja pitne vode je bila zelo učinkovita, še več: prihajalo je celo do presežkov energije in količine razpoložljive pitne vode ob primernem tlaku v oddaljenih delih mesta, kot je bilo potrebno za oskrbo. Armstrong je prepričal mestne oblasti, da bi te viške energije lahko uporabili za pogon pristaniškega hidravličnega žerjava, ki ga je v tem času razvijal. Prvi pristaniški žerjavi so bili tako priključeni kar na omrežje pitne vode s tlakom od 3 bar do 4 bar. Zaradi tega so bila bremena, ki so jih pretovarjali, omejena do največ 5 t. Za povečanje učinkovitosti pretovora bremen in prenašanje večjih bremen z istimi žerjavi je bilo potrebno poiskati druge rešitve.

2 Vodni stolpi kot hidravlični akumulatorji – izraba geostatičnega tlaka

Za hidravlične naprave, ki so delovale na bolj oddaljenih mestih in jih zaradi tega ni bilo moč priključiti na pitno vodno omrežje, je bilo potrebno poiskati druge rešitve. Rešitev za tovrstne naprave je prav tako našel Armstrong, in sicer v obliki visokih vodnih stolpov z rezervoarji, nameščenimi na višini od 60 m do 90 m. Na točki priklopa na hidravlično

Prof. dr. Darko Lovrec, univ. dipl. inž.,
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 : Pristaniščni hidravlični žerjavi: Armstrongov žerjav (levo) in Armstrong-Mitchellov žerjav (tehnična zapuščina - Arsenal, Benetke) (desno) [2] do [5]

napravo je tako tlak vode znašal nekje med 6 bar in 9 bar, odvisno od višine namestitve rezervoarja, kar je bilo dvakrat več, kot je znašal tlak v omrežju pitne vode. Posledično so bili žerjavi enakih dimenzij bolj zmogljivi - prenašanje dvojnega bremena. Tovrstni rezervoarji so delovali na znanem principu vpliva geostatičnega tlaka, ki ga je poznal in razložil že Pascal, t. i. geostatični hidravlični akumulatorji, delujoči na silo težnosti tekočine, shranjene na določeni višini.

Tako se je Armstrong po letu 1850 usmeril v gradnjo vodnih stolpov z rezervoarji. Rezervoarji manjših volumnov so bili nameščeni kar na strehah višjih zgradb, kot npr. tisti v mestu Kingston upon Hull (krajše Hull), ali pa so bili grajeni kot samostojne enonamenske zgradbe, kot visoki stolpi - *slika 2*. Gradnja slednjih je predstavljala velik gradbeniški podvig. Eden najbolj znanih tovrstnih vodnih stolpov, akumulatorjev, je Grimsby Dock Tower v angleškem pristaniškem mestu Grimsby. Z njim so



Slika 2 : Vodni rezervoar - akumulator na strehi zgradbe v Hullu (levo zgoraj), dimnik in vodni akumulator za napajanje dvignega mostu Tower Bridge (levo spodaj) in Grimsby Dock Tower danes kot ohranjena tehnična zapuščina (desno); [6], [7], [8]

napajali pristaniške žerjave, zapornico in manjše premične mostove ter ostale pristaniške naprave, ki so uporabljale hidravlično pogonsko tehniko. [7], [8], [9]

Grimsby Dock Tower, na daleč vidna znamenitost Grimsbija, je visok 91 m, litoželezen rezervoar prostornine 136 m³ pa se je nahajal na višini 61 m, kar je zagotavljalo napajalni tlak okoli 6 bar. Vodo sta v rezervoar črpali dve vodni črpalki z bati premera 254 mm in kapacitete 1800 l/min. Črpalki je pogonjal parni stroj moči 18 kW. Od stolpa je bila do hidravličnih naprav speljana cev premera 330 mm in je služila za napajanje 15 žerjavov in obeh kril zapornice. [7], [9] Stolp, ki je predstavljal izjemen gradbeni podvig, je bil dan v uporabo 27. marca 1852 in je služil zgolj za preskrbo pristaniških hidravličnih naprav s »tlačno vodo«. Rezervoarji za preskrbo s pitno vodo so sicer podobne zasnove, a precej nižji.

Že med gradnjo tega vodnega stolpa je Armstrong razvil še en sistem zagotavljanja preskrbe s hidravlično energijo – uporabo akumulatorjev z maso balasta (z utežmi). Tako so kar hitro ugotovili, da imajo slednji veliko prednosti. Delovni hidravlični tlak je bil lahko veliko višji (odvisno od velikosti balasta), razen tega pa je zasnova akumulatorja omogočala bolj kompaktno in cenejšo izvedbo akumulatorja in uporabo akumulatorja na tleh – manjši gradbeni poseg, lažje vzdrževanje, manjši potrebni prostor. Prvi takšen akumulator je bil nameščen v pristanišču New Holland na enem od pomolov, ki so ga dejansko začeli uporabljati več kot leto dni pred sistemom Grimsby Tower.

3 Hidravlični akumulatorji z utežmi

Hidravlični akumulatorji z utežmi so omogočili nadaljnji dvig obratovalnega tlaka in posledično zmogljivosti hidravličnih naprav. Med prvimi se je

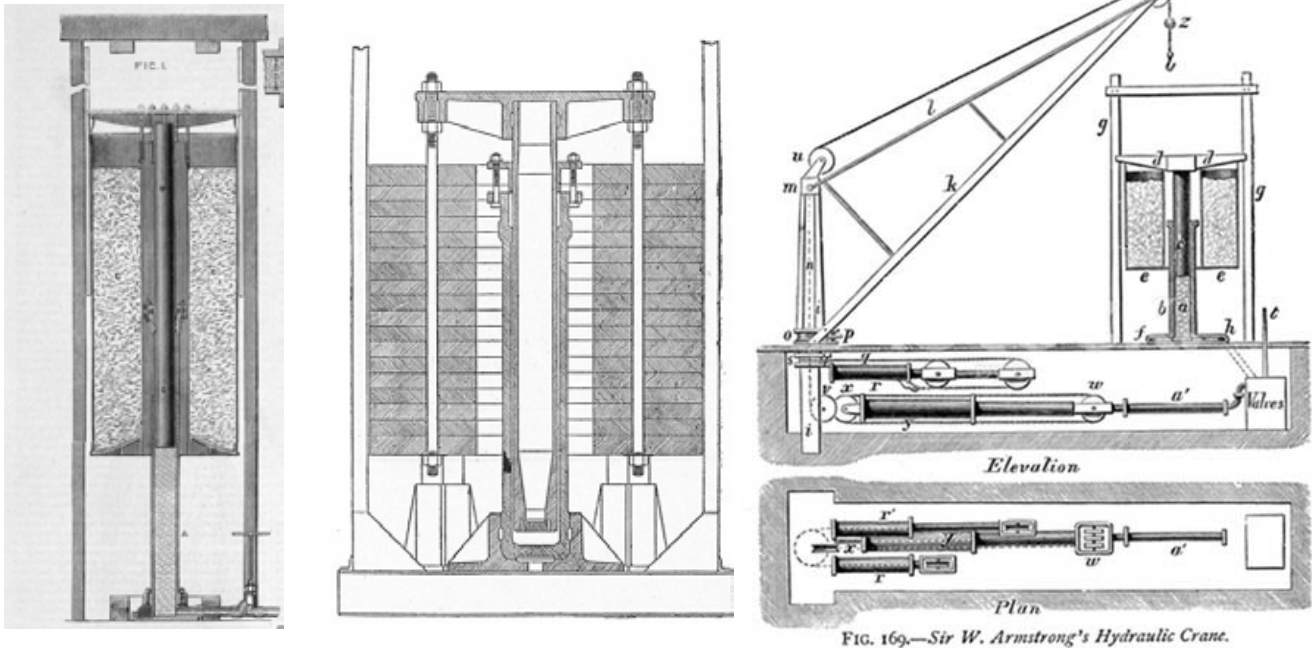
s problematiko zagotavljanja višjega napajalnega tlaka srečal že Joseph Bramah. Kot je splošno znano, je bil Bramah vsestranski iznajditelj, pri čemer se njegovi izumi ne nanašajo samo na hidravlične naprave oz. zgolj na hidravlične stiskalnice. Bramah je »očec« številnih drugih iznajdb, npr. varnostne oz. protivlomne ključavnice, straniščnega splakovalnika, nalivnega peresa, stroja za tiskanje in avtomatsko številčenje bankovcev, hidropnevmatičnega vzmetenja kočije. Nekatere je v celoti izumil sam ali pa je delovanje že znane naprave bistveno izboljšal [10].

Manj znano pa je, da je tesno povezan tudi z napravo za točenje piva – s črpalko za pivo, poimenovano »stroj oz. motor za pivo«, orig. Beer Engine, posebne pipe za točenje piva – *slika 3*.

Dejansko je prvo črpalko za točenje piva leta 1688 izumil John Lofting, Nizozemec iz Amsterdama, ki se je nato preselil v London. Slednjega tudi povezuje z iznajdbo gasilske črpalke, ki jo je kasneje izboljšal prav Bramah. Njegovo napravo za točenje piva je dejansko izboljšal in izboljšavo tudi patentiral Bramah, najprej leta 1785 in nato še 1793. Bramah je tako Loftingov izum izpopolnil, ga patentiral in razširjal pod imenom črpalka za pivo, saj dejansko deluje kot črpalka. Takšne točilne naprave vidimo v skorajda vsakem britanskem pubu, nameščene na namizju točilnega pulta. Črpalka ima ročaj, opremljen z oznako vrste oz. imena piva, in je povezana s pipo s sodom, ki je običajno v kleti gostilne. Pivo se toči skozi ukrivljen izliv, t. i. labodji vrat, ki je pogosto dodatno opremljen še z nastavkom z majhnimi luknjami, t. i. penilnik, ki povzroči, da se pivo peni. Rezultat je »privlačna« pena na površini piva, ki mu daje občutek svežine in mehko, saj je pivo bolj zračno [11]. Danes to običajno dosegamo s potisnim plinom CO₂, Bramah pa je za višji tlak in večji učinek uporabil posodo z utežjo – princip hidravličnega akumulatorja z utežjo.



Slika 3: Oglas za prvo točilno napravo piva, kasneje dopolnjeno z akumulatorjem z utežjo (levo) in današnje izvedbe Bramahove naprave za točenje piva (desno) [11]



Slika 4 : Dve izvedbi Armstrongovega akumulatorja z utežmi (levo) in njegov žerjav, opremljen s takšnim akumulatorjem (desno)

Kot omenjeno, je podobno rešitev za napajanje hidravličnih žerjavov uporabil tudi Armstrong. Kjer visokega vodnega stolpa zaradi mehke zemljine ni bilo možno zgraditi, sama gradnja pa bi bila zahtevna in draga, je iskal rešitve v zasnovi drugačnega sistema. Zasnova je rezervoar iz litega železa, ki je bil opremljen z batom v plunžer izvedbi in obremenjen z veliko maso, balastom. Posodo za balast so napolnili z drobljeno kamnino, odpadnim železom ali drugim balastnim, odpadnim materialom. Ko se je bat dvigal, je sesal vodo v valj, na kar je sila teže mase balasta povzročila ustrezen delovni tlak vode. Armstrongovo izvedbo akumulatorja z balastom v obliki uteži in namestitev takšnega akumulatorja na dvigalo prikazuje *slika 4*.

Takšna izvedba akumulatorja hidravlične energije je veliko bolj kompaktna kot vodni stolp. Generira lahko vodni tlak višine 50 bar ali več, kar je predstavljalo vsaj 10-krat višji tlak kot tlak vode v mestnem vodovodu. To je omogočilo večjo učinkovitost izrabe energije brez povečanja porabe pitne vode ali povečanja velikosti dvižnih komponent sistema. Zaradi teh prednosti so se tovrstni akumulatorji kar hitro razširili najprej po sami Angliji in nato še po svetu.

Za doseganje tlaka 50 bar je bil potreben balast približno 100 ton, ki deluje na plunžer premera približno 45 cm z navpičnim hodom dolžine od 6 do 7 metrov. Druga vrsta akumulatorja je uporabljala pravokotno ploščo za podporo balastne opeke ali jeklenih plošč. Te hidravlične akumulatorje je bilo mogoče postaviti na prostem ali pa jih namestiti v namensko zasnovano stavbo. Danes ohranjene izvedbe tovrstnih akumulatorjev prikazuje *slika 5*. [12]

Polnjenje akumulatorja z utežjo je potekalo ob gibanju bata navzgor in praznjenje – izraba energije – ob njegovem spuščanju. Hitrost črpanja je potekala s pomočjo parnega stroja in je bila uravnavana glede na nivo vode v akumulatorju, bodisi samodejno preko mehanskega mehanizma ali s pomočjo operaterja. V nasprotju z vodnim stolpom lahko ta akumulator zagotavlja enakomeren tlak po celotnem sistemu, ne glede na količino vode v svoji notranjosti, kajti masa balasta je vedno enaka, pri vodnih stolpih pa je bila višina tlaka odvisna od položaja vode. Z učinkovitostjo polnjenja in praznjenja je bil hidravlični akumulator izjemno energijsko učinkovita naprava.

Uvedba hidravličnega akumulatorja z utežjo je imela dva pomembna učinka. Najprej se je močno razširil obseg uporabe hidravlično gnanih strojev. Vodni hidravlični motorji, priključeni na mestno omrežje, so bili običajno gospodinjiski pripomočki in manjša orodja za delavnice. Toda Armstrong in drugi inženirji so energijo vode pod visokim tlakom prilagodili različnim industrijskim aplikacijam, ki zahtevajo veliko moč, kot so kovanje, prebijanje, žigosanje, spajanje prirobnic, rezanje s hidravličnimi škarjami in kovičenje.

V pristaniščih na »visokotlačno vodo« niso delovali samo žerjavi in dvižne naprave, ki so prevažale tovor na dokih in v skladiščih, temveč so jo uporabljali tudi za zapiranje in zaklepanje zapornic ter dvižnih mostov, za dvigala za čolne in v delavniških dokih za popravilo in gradnjo plovil. Na železniških postajah se je hidravlični prenos energije uporabljal za ravnanje s tovorom in za premikanje železniških



Slika 5 : Hidravlični akumulatorji z utežjo: pristanišče v Bristolu (levo), Walsh Bay v Sydneyju (sredina) in kot izvedba za vgradnjo v notranji prostor (desno) [12]

vagonov preko kretnic in tudi za obratovanje vrtljive ranžirne postaje, raznih dvigal in mehanizmov za premikanje. Delovanje vseh teh naprav bi bilo ob nizkem in spreminjajočem se tlaku, kakršen je bil v mestnem vodnem pitnem omrežju, nemogoče.

4 Visokotlačno vodno omrežje

V drugi polovici devetnajstega stoletja so bili vodni motorji široko uporabljani po Evropi in Ameriki. Te majhne »vodne turbine« so bile priključene na omrežje pitne vode in so poganjale številne vrtljive naprave, ki jih danes običajno poganjajo elektromotorji. Tovrstna uporaba energije za napajanje in delovanje vodnih motorjev ni bilo zelo trajnostna in zanesljiva. Zaradi nizkega in nestalnega vodnega tlaka v omrežju pitne vode so vodni motorji delovali neenakomerno, vplivi pa so bili vzajemni. Hidromotorji so ob obratovanju uporabljali veliko količino pitne vode, ki je tako povzročala motnje v dobavi pitne vode, nestanovitna, naključna potrošnja pitne vode pa je obratno povzročala motnje v delovanju vodnih motorjev.

Medtem ko se je uporaba vodnih motorjev v ZDA končala dokaj zgodaj v dvajsetem stoletju, so Evropejci našli rešitev za veliko porabo vodnih motorjev in še za korak dalje premaknili ter hkrati razširili uporabo hidravličnega prenosa moči. Razen nihanja tlaka in spremenljive dobave sta se pojavila še druga velika problema – lom in pokanje cevi omrežja pitne vode. Do slednjega je prihajalo zaradi velikih tlačnih konic, ki so se pojavljale ob zaustavljanju gibanja velikih mas, ki jih je premikala hidravlična pogonska tehnika – npr. žerjavov, mostov in tudi

osebnih dvigal v stavbah, ki so bila tudi priključena na omrežje pitne vode.

Rešitev problemov je bila v gradnji in uporabi ter priklopu večjih hidravličnih naprav na posebno, visokotlačno vodno omrežje – ang. Water Power Network, kjer so bile stene cevi dimenzionirane za veliko višje obratovalne tlake kot obstoječe za omrežje pitne vode (upoštevajoč tudi nastale tlačne konice). Zaradi tega so tudi omogočale učinkovitejšo uporabo hidravličnih akumulatorjev z utežjo. Tovrstna visokotlačna vodna omrežja so ponekod ostala v uporabi vse do leta 1960 ali celo 1970 (!), kajti hidravlični prenos moči je v primerjavi z električno energijo zelo učinkovit, če se uporablja za zmožljive, a redko uporabljane stroje, ki jih je mogoče razporediti po določenem geografskem območju.

Hidravlični akumulator je omogočil tudi učinkovito prenašanje moči na večjih razdaljah. Npr. pri cevovodu premera 300 mm znaša padec tlaka pri distribuciji vode približno 5 bar na kilometer in ni odvisen od višine obratovalnega tlaka. Če torej transportiramo vodo s tlakom 5 bar na razdalji 12 km, se porabi vsa energija tlaka. Če pa na isti razdalji transportiramo vodo s tlakom 50 bar, še vedno ostane na koncu cevovoda priključenim napravam na razpolago 43 bar, kar predstavlja 90-odstotni izkoristek cevovoda.

Visoka učinkovitost visokotlačnega vodnega omrežja je povzročila gradnjo vsaj ducat mestnih javnih vodnih omrežij z akumulatorjem, od tega jih je bila polovica v Veliki Britaniji. Pri takšnih visokotlačnih omrežjih so centralno nameščeni parni stroji črpali vodo v hidravlične akumulatorje, ti pa so vodo

pod visokim tlakom distribuirali po določenem geografskem območju, npr. po celotnem mestu ali njegovem območju. Na vsaki t. i. hidravlični postaji je bil nameščen vsaj en ali pa več akumulatorjev, drugi pa so bili po potrebi postavljeni na strateških točkah vzdolž tlačnega omrežja kot podpostaje.

Visokotlačna »vodna energija« je bila napeljana tudi v proizvodne hale tovarn, upravljala dvigala v javnih, zasebnih in poslovnih stavbah ter napajala gospodinske naprave in orodja za delavnice. Kdor je imel to srečo, da je bil v bližini takšnega omrežja, ki je potekalo vzdolž ulice, se je lahko priključil na javno visokotlačno vodno omrežje, podobno, kot je to danes običajno za priklop na elektriko ali pitno vodo. Tudi poraba hidravlične energije je bila merjena na enak način, kot se to danes izvaja za pitno vodo in za elektriko. V tem obdobju je skorajda vse delovalo na hidravliko, tudi sesalniki za prah, delujoči na injektorskem principu. Zaradi tega so ti bili za dvonamensko rabo – ob spremembi priključkov in priklopa na tlačno vodno omrežje so lahko delovali kot gasilni aparati.

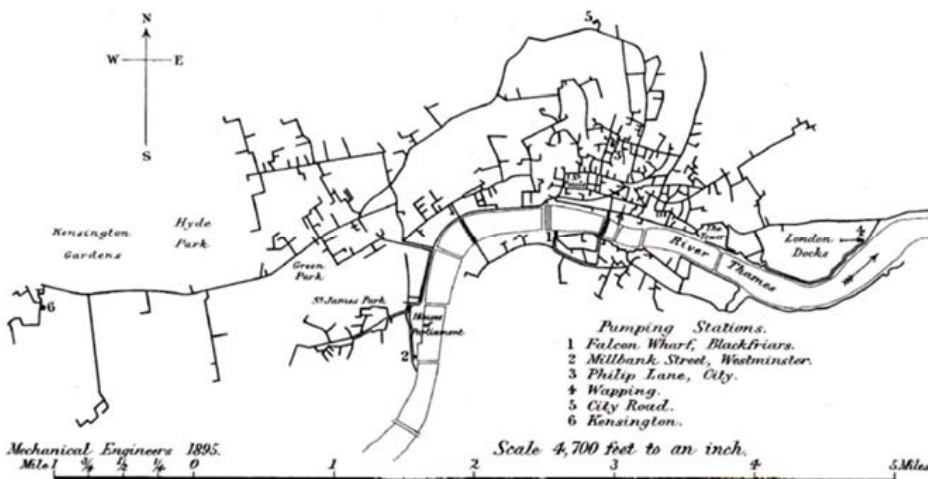
Dejansko je ideja o visokotlačnem hidravličnem omrežju, podobnem električnemu, ki se je pojavilo veliko kasneje, podal že Joseph Bramah leta 1812 v opisu svojega patenta. Bramah je bil tako z idejami o hidravličnem akumulatorju, hidravličnem žerjavu in tudi s sistemom razvoda hidravlične energije veliko pred časom masovnega pojava teh naprav. Minilo je namreč šestdeset let, preden so Armstrong in njegovi sodobniki njegove ideje uveljavili v praksi.

Najobsežnejše visokotlačno hidravlično omrežje je bilo zgrajeno v Londonu, upravljalo pa ga je podjetje London Hydraulic Power Company - LHPC. Ustanovljeno je bilo leta 1883, na vrhuncu podjetja, leta 1917, je pet medsebojno povezanih centralnih postaj črpalo visokotlačno vodo v približno

ducat hidravličnih akumulatorjev in jo distribuiralo po skoraj 300 km dolgem omrežju in tako napajalo več kot 8000 strojev in hidravličnih naprav po celotnem mestu – slika 6. V londonskih gledališčih in drugih kulturnih zgradbah je hidravlična energija premikala dele odra, dele orgel, požarne zavese in druge naprave. Iz visokotlačnega omrežja so bile napajane tudi vse hidravlične komponente dviznega mostu Tower Bridge. [12], [13]

Razen za napajanje hidravličnih naprav so visokotlačno vodno omrežje uporabljali tudi kot del mestnega sistema za gašenje požarov. Na visokotlačno omrežje so namestili hidrante, kar nekaj sto. Manjšo količino vode iz visokotlačnega sistema so vbrizgavali v običajne gasilske naprave, priključene na pitno vodno omrežje ali cisterne. Z neposredno uporabo samo vode iz visokotlačnega omrežja ni bilo mogoče gasiti, saj je ni bilo na razpolago v zadostni količini. V omrežju pitne vode je bilo dovolj, vendar zaradi prenizkega tlaka ni bilo moč doseči najvišjih nadstropij stavb. Tudi takšna večnamenska raba visokotlačnega vodnega omrežja je eden od vzrokov, da se je visokotlačno vodno omrežje ohranjalo, posodabljal in celo širilo vse do druge polovice prejšnjega stoletja in še dlje.

Nadaljnja izjemna uporaba visokotlačne vode v Londonu je bil že omenjeni hidravlični sesalnik, imenovan Silent Dustman, sistem za čiščenje z vodo, delujoč na principu podtlaka. Na trg je prišel leta 1910 in se uporabljal običajno v večjih zgradbah, npr. hotelih. V ta namen je bilo v celoti »ocevljenih« več velikih hotelov: voda iz visokotlačnega omrežja je bila uporabljena v črpalki, delujoči na vodni curenki, s katerim je generirala podtlak. V zgradbi je bilo na voljo več priključkov, na katere je bilo mogoče pritrditi gibke cevi in uporabljati tak sesalnik. Posebana umazanija se je po povratni cevi odvajala neposredno v kanalizacijo. Sistem, ki je deloval tiho in učinkovito, je bil v uporabi vse do leta 1937.



Slika 6 : Načrt visokotlačnega vodnega omrežja v Londonu z glavno postajo in podpostajami iz leta 1895 in polaganje visokotlačnih cevi okoli leta 1930 na Piccadillyju

Zdi se, da v Londonu široka in razvejana razpoložljivost ter enostavna dostopnost hidravlične energije ni povzročila »hidravlične evforije« vso hidravlično dobo. Po eni strani v Londonu ni bilo težke industrije, ki je hidravliko primarno potrebovala, pa tudi raznovrstna delovna sila, ki je nenehno prihaja v velemesto, je bila vedno na razpolago in zato tudi relativno poceni. Večji učinek je imela v drugih, bolj industrijskih mestih, kot so Manchester in Glasgow. Običajno je bil v angleških mestih tlak v visokotlačnem vodnem omrežju višji, nekje med 48 bar in 55 bar, razen v Manchestru in Glasgowu, kjer je znašal okoli 78 bar. Tu se je hidravlika dejansko uporabljala v svojem primarnem pomenu in poslanstvu.

5 Problematika prenosa hidravlične energije – hidravlični daljnovod

Angleški sistem visokotlačnega vodnega omrežja so prevzela tudi druga večja mesta po svetu, npr. Antwerpen v Belgiji, Ženeva v Švici, Buenos Aires v Argentini, Melbourne in Sydney v Avstraliji, vsak s svojo posebnostjo. Medtem ko so avstralski sistemi spominjali na tiste v Veliki Britaniji (z 80 km visokotlačnega omrežja je bil tisti v Melbournu drugi največji dotlej), so argentinski sistem uporabljali tudi za črpanje kanalizacije, omrežje v Antwerpnu pa je bilo usmerjeno v kombinirano proizvodnjo mehanske moči in elektrike s pomočjo hidravlike. Ta sistem je bil prvi poskus premagovanja zelo velikih izgub pri prenosu električne energije v tistem obdobju. Pri prenosu električne energije so se zgodnje električne postaje soočale z enakimi težavami kot hidravlične postaje: električna napetost kot veličina je analogna delovnemu tlaku v hidravliki, padec napetosti zaradi upornosti električnega omrežja pa je analogen padcu tlaka zaradi trenja cevi in toka tekočine. Zgodnje električne postaje so bile »tokovne postaje«, pri čemer je bila generirana napetost le nekoliko višja kot pri končnih uporabnikih (zaradi padca napetosti v električnih vodnikih), zaradi varnostnih razlogov pa je morala biti nižja od 250 voltov. Zaradi tega sta bili ponudba in količina električne energije, ki jo je bilo mogoče prenesti, omejeni.

Antwerpen je od leta 1865 dalje uporabljal visokotlačno hidravlično omrežje za napajanje žerjavov, mostov in zapornic v pristanišču. Temu je bilo leta 1893 dodano drugo omrežje, ki je distribuiralo visokotlačno vodo električnim podpostajam, razmeščenim po mestu. Tam so vodne turbine, delujoče na visoki tlak, služile proizvodnji električne energije, ki so jo v radiju 500 m distribuirali po podzemnih električnih vodih – to je bila približna razdalja, na kateri je bilo nizko napetost učinkovito in smiselno distribuirati. »Sistem Antwerpen« je bil uporabljan za ulično razsvetlavo in je bil v veliki meri podoben drugim omrežjem, kjer so bili vodni motorji priključeni na vodovodno omrežje in poganjali dinamo. Pri tem se je približno 66 % hidravlične energije pretvorilo v električno energijo. V Londonu je bilo tudi več zgradb, kjer so uporabniki s pomočjo energije visokotlačne

hidravlične mreže poganjali svoje majhne električne generatorje.

Zaradi preboja visokonapetostnega prenosa električne energije na prelomu stoletja so sistemi, kakršni so bili v Antwerpnu, kar hitro zastarali. Del hidravličnega omrežja, ki se je uporabljal za generiranje električne energije, je »usahnil« okoli leta 1900. Proizvodnja električne energije s pomočjo energije visokotlačnega vodnega omrežja vključuje štirikratno pretvorbo energije, kar je nepotrebno in potratno, če lahko električno energijo proizvedemo neposredno in jo tudi učinkovito distribuiramo. A do tega trenutka so vse ostale naprave še vedno delovale na principu hidravlične energije in večina od teh je bila priključenih na visokotlačno vodno omrežje. Govorimo lahko o zlati dobi hidravlike – »vseh hidravlično obdobje«. [14], [15]

V zvezi s hidravličnim visokotlačnim omrežjem se zastavlja kar nekaj vprašanj: Zakaj so skoraj vsi javni visokotlačni vodni sistemi, zgrajeni v obdobju med 1870 in 1890, ostali v uporabi vse do šestdesetih in sedemdesetih let prejšnjega stoletja? Na koncu pa so celo za črpanje vode v ta omrežja za pogon črpalke uporabljali elektromotorje namesto parnih strojev. Tako je npr. visokotlačno vodno omrežje, ki ga je upravljalo Londonsko hidravlično podjetje, preživel vse do leta 1977.

Večina javnih visokotlačnih vodnih omrežij se je v prvih desetletjih dvajsetega stoletja še kar naprej razvijala, usihati pa so pričela po sredini prejšnjega stoletja. Strm padec uporabe teh omrežij se je pojavil šele takrat, ko so tovarne začeli izseljevati iz mestnih središč, kar se je zgodilo v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Do novih lokacij vode pod visokim tlakom ni bilo mogoče racionalno distribuirati, gradnja novih tlačnih postaj pa bi bila nov strošek, ki se mu lahko izognemo s ceneno distribucijo visokonapetostne električne energije.

Zagovorniki hidravličnih omrežij si zastavljajo tudi nadaljnji dve vprašanji: Zakaj vodna energija ni postala univerzalni način prenosa energije, kot sta si ga zamislila Joseph Bramah in William Armstrong? In drugo: Če je električna energija najučinkovitejši in najprimernejši način prenosa in distribucije električne energije, zakaj so potem skoraj vsa visokotlačna vodna omrežja ostala v uporabi skoraj stoletje?

Kot tehnologija prenosa energije ima voda pod tlakom v primerjavi z električno energijo tri pomembne pomanjkljivosti: električno energijo lahko učinkovito prenašamo na veliko večjih razdaljah kot vodo pod tlakom. Hidravlični prenos moči je bil (in je še vedno) vsaj tako učinkovit kot prenos električne energije do razdalj od 15 do 25 km. Na večjih razdaljah pa električni prenos energije nima konkurence. Druga pomanjkljivost hidravličnega prenosa je ta, da kompleksno visokotlačno omrežje prinaša dodatne izgube energije. Vsak lok in priključek v omrežju poveča izgube in povzroča padce tlaka. Bolj kot je omrežje kompleksno in razvejano, manj učinkovito postane.

Električni prenos nima tako izrazitih tovrstnih težav. Izgube v visokotlačnem omrežju tudi omejujejo število strojev, ki jih je mogoče priključiti na to omrežje, električno energijo pa lahko distribuiramo skoraj brez omejitev ali z veliko nižjimi stroški. Tretja omejitev visokotlačnega sistema je omejena zmogljivost omrežja. Voda pod tlakom se lahko racionalno pretaka po ceveh, če ima »hitrost hoje«, saj lahko le tako preprečimo prekomerne izgube. Pri višjih hitrostih pretakanja se izgube povečujejo s kvadratom hitrosti in učinkovitost prenosa vodne energije hitro upade, tudi na razmeroma kratkih razdaljah. To omejuje hitrost pretoka in s tem moč, ki bi jo lahko dovajal »hidravlični daljnovod«. Uporaba cevi s premerom od 100 mm do 120 mm, kot je bila običajna velikost v večini visokotlačnih sistemov v tistem času, lahko zagotavlja največjo neprekinjeno moč od 85 kW do 150 kW. Visokonapetostni električni daljnovodi primerljive moči lahko prenašajo neprimerno večjo količino moči.

Zanimivo se je vprašati, kaj je povzročilo zaton uporabe visokotlačnih vodnih omrežij. Nobena od omejenih pomanjkljivosti ni bila »pogubna« za omrežja vodne energije. Vsi sistemi so bili decentralizirani in hidravlični stroji od vira energije niso bili oddaljeni več kot 15 do 25 km. Ker so bili stroji s hidravličnim pogonom običajno uporabljeni v pristaniščih, železniških postajah in delavnicah, tovarnah in zgradbah, zanje pa sta bila značilna relativno počasno gibanje in občasna uporaba, nizka hitrost prenosa hidravlične energije po omrežju ni predstavljala nobene ovire. Z izjemo sistema za proizvodnjo električne energije v Antwerpnu, ki je bil v uporabi le kratko obdobje, nobeno od vodnih omrežij tipa Bramah in Armstrong ni oskrbovalo velike množice neprekinjeno delujočih hidravličnih strojev. Običajno je šlo za manjše število strojev, ti pa so bili zelo zmogljivi, zato so padci tlaka pri transportu vodne energije njihovo zmogljivost omejevali.

Pred dobrim stoletjem je imelo samo nekaj zelo velikih strojev, kot npr. premični mostovi in občasno delujoče velike hidravlične stiskalnice, svojo individualno črpalno opremo – agregate. V zadnjem obdobju se je ta trend razširil na hidravlično upravljanih strojih vseh vrst in velikosti. Danes pa je to sprejeta in uveljavljena praksa in sploh ne razmišljamo o tem, da bi se priključevali na kakršno koli visokotlačno vodno omrežje. Danes ima vsak stroj svoj individualni pogonski sklop z lastnimi instrumenti, filtri in podobno opremo, ki zahteva redne preglede in vzdrževanje. Več opreme sicer pomeni več možnosti napak, a individualno napajanje prinaša večjo neodvisnost od skupnega vira energije (če odmislimo novo odvisnost – od električne energije).

Prav tako imata tudi skupna in trenutna poraba energije svoj vidik. Centralno omrežje daje na razpolago hidravlično energijo ves čas. Posamezni porabniki pa je ne potrebujejo stalno, le takrat, ko obratujejo. Redko se pripeti, da bi vse posamezne naprave trajno delovale na svoji največji moči, pri čemer bi vsota maksimalnih moči preseгла razpoložljivo ma-

ksimalno moč omrežja. Prednost enega velikega energetskega postrojenja pred številnimi manjšimi je v sposobnosti zadovoljevanja raznolikosti odvzema. Številne majhne neodvisne hidravlične energetske enote morajo imeti dovolj zmogljivosti, da lahko zadovoljijo največje povpraševanje na svojem območju oskrbe, pri čemer se vrhovi porabe ne bodo pojavljali istočasno. V drugih obratovalnih točkah z nižjo potrebno močjo delujejo neracionalno. Velika centralna energetska postaja, ki napaja številne majhne enote, mora le zadostiti največjemu sočasnemu povpraševanju, ki bo običajno manjše od vsote lokalnih vrhov.

Velike energetske postaje in centralni razvod hidravlične energije postanejo manj zanimivi z možnostjo prilagajanja proizvedene energije trenutnim potrebam porabnika – uporaba nastavljivih črpalk. Te omogočajo individualno neodvisnost od skupnega omrežja in bolj racionalno investicijo kljub lastni agregatni enoti. Razen tega pa je le s konceptom lastne preskrbe z energijo možno doseči neodvisnost od fiksnega mesta uporabe – mobilne hidravlične naprave. Delovanje slednjih na stalnem energetskem razvodu nikakor ni možno.

6 Zaključek

S hitrim razmahom rabe hidravličnih naprav na različnih področjih tehnike je bilo potrebno rešiti nov problem – njihovo preskrbo z energijo. Posamične manjše hidravlične naprave so bile gnane ročno ali s pomočjo parnega pogona in so bile nameščene na hidravlični napravi ali v njeni bližini. Kontinuirano dobavo energije in hkratno napajanje več hidravličnih naprav iz istega vira je bilo možno doseči s priklopom na skupno omrežje. Idejo o priklopu na obstoječe mestno vodovodno omrežje za pitno vodo je podal Armstrong in na ta način napajal svoje pristaniške žerjave.

Zaradi sorazmerno nizkega tlaka v omrežju pitne vode hidravlične naprave, zasnovane za veliko večjo zmogljivost, niso delovale racionalno. S povišanjem obratovalnega tlaka bi ta problem rešili. Prve rešitve so šle v smeri izkoriščanja položajne energije vode v obliki gradnje visoko ležečih rezervoarjev vode ali celo visokih vodnih stolpov, ki so predstavljali izziv gradbenikom in statikom. Kot veliko boljše rešitev so se izkazali hidravlični akumulatorji z utežmi, ki so permanentno zagotavljali konstantno preskrbo s tlakom, višjim od 50 bar. Uporabo teh je prvi predlagal že Bramah, Armstrong pa jih je kasneje praktično uporabljal v večjem obsegu, kar je privedlo do še večje ga razmaha uporabe hidravlične pogonske tehnike.

Neenakomerno delujoče naprave, predvsem tiste, za katere je bilo značilno zaustavljanje bremena in so bile priključene na omrežje pitne vode, so povzročale pogoste lome cevi in moteno oskrbo s pitno vodo. Tudi rešitev tega problema je podal Bra-

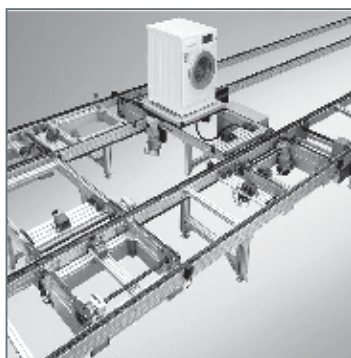
Rexroth

ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



OPL
automation

OPL avtomatizacija, d.o.o.
Dobrave 2
SI-1236 Trzin, Slovenija
Tel. +386 (0) 1 560 22 40
Tel. +386 (0) 1 560 22 41
Mobil. +386 (0) 41 667 999
E-mail: info@opl.si
www.opl.si

mah – uporaba visokotlačnega cevnega omrežja in priklop hidravličnih naprav nanj. Enostaven odvzem in stalna razpoložljivost hidravlične energije sta pripeljala do neslutene obsega uporabe hidravlične pogonske tehnike – vsehidravlično obdobje. Centralna tlačna omrežja so bila v funkciji dolgo stoletje, vse do druge polovice prejšnjega stoletja. Z izrinjanjem tovarn iz mestnih središč in učinkovitejšim prenosom električne energije na velikih razdaljah so centralna tlačna omrežja pričela izgubljati na pomenu. K temu je pripomoglo tudi širjenje uporabe hidravlične pogonske tehnike na področje mobilnih strojev, še posebej vozil.

Viri

- [1] Lovrec, D.: Razvoj hidravlične pogonske tehnike skozi čas – 4. del: Hidravlične dvizne naprave, Ventil – revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo, ISSN 1318-7279, avg. 2019, letnik 25, št. 4, str. 302–312.
- [2] The Armstrong Mitchell hydraulic crane at the Arsenale – a Venice in Peril Project, <https://www.veniceprestige.com/armstrong-mitchell-hydraulic-crane-arsenale/>.
- [3] Cassar, M.: Rise and fall of Malta's Armstrong Mitchell 160-ton hydraulic crane, <https://timesofmalta.com/articles/view/rise-and-fall-of-malta-s-armstrong-mitchell-160-ton-hydraulic-crane.614413>.
- [4] Cassar, M.: The dockyard 160-ton hydraulic crane, guns, and an unlikely connection with Venice, Symposia Melitensia, št. 12, str. 41–51, 2016.
- [5] Venice in peril – Armstrong Mitchel Crane, <https://www.veniceinperil.org/projects/armstrong-mitchell-crane>.
- [6] Fact 74: Hull Hydraulic Power Company, <http://factsabouthull.blogspot.com/2016/10/fact-74-hull-was-site-of-very-first.html>.
- [7] Engineering timelines – Grimsby Dock Tower, <http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=79>.
- [8] Hydraulic Accumulator, Wikiwand, https://www.wikiwand.com/en/Hydraulic_accumulator.
- [9] Weingarten, F.: Die Entwicklung der hydrostatischen Energieübertragung im 19. und 20. Jahrhundert, o+p Oelhydraulik und Pneumatik, 26 (1982), št. 12, str. 873–879.
- [10] Lovrec, D.: Razvoj hidravlične pogonske tehnike skozi čas – 3. del: Bramahove stiskalnice in naprave, Ventil – revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo, ISSN 1318-7279, jun. 2019, letnik 25, št. 3, str. 228–237.
- [11] Hopp Press: <https://www.shantscamra.org.uk/hop-press/hop-press83.php>.
- [12] Decker De, K.: Low-Tech Magazine: Power Water Networks, <https://www.lowtechmagazine.com/2016/03/hydraulic-accumulator-power-water-networks.html>.
- [13] Emmerson, A.: Hydraulic Power in London, Subterranea Britannica, <https://www.subbrit.org.uk/features/hydraulic-power-in-london/>.
- [14] Pugh, B.: The Hydraulic Age, Mechanical Engineering Publications, 1980. Historical survey, ISBN10 0852984472, ISBN13 9780852984475, 176 strani.
- [15] Mc Neil, I.: Hydraulic Power, Volume in the highly respected Longman Industrial Archaeological Series, Longman, 1972. ISBN 0582127971, 9780582127975, 197 strani.