

RAZVOJ HIDRAVLIČNE POGONSKE TEHNIKE SKOZI ČAS

5. DEL: HIDRAVLIKA NA PODROČJU GRADBENIŠTVA

Darko Lovrec

Hidravlična pogonska tehnika se je kar hitro uveljavila na področju dviganja ali prenašanja velikih bremen. To področje uporabe je ob zasnovi prve hidravlične stiskalnice kar hitro uvidel Bramah in za lastne potrebe zgradil preprosto dvigalo. Za prenašanje bremen se je specializiral Armstrong, ki je s svojimi najrazličnejšimi hidravličnimi žerjavi, poleg že uveljavljenih hidravličnih stiskalnic, razvijal drugi močan steber razvoja hidravlike, hidravlične dvižne naprave.

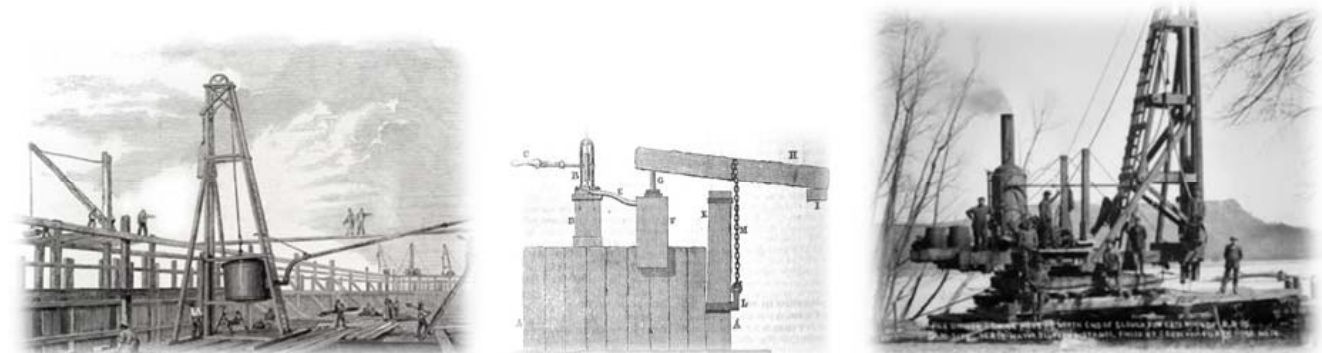
Velika bremena so prisotna tudi na področju gradbeništva, pa naj gre za prenašanje težkih delov ali sklopov konstrukcij ali pa za vtiskanje pilotov v zemljinu pri utrjevanju mehkih rečnih brežin. Tako je hidravlična pogonska tehnika hitro našla še tretje področje uporabe, kjer je izredno močno prisotna še danes – področje gradbeništva. Tu se je hidravlika uveljavila na treh glavnih segmentih: gradnja infastruktturnih objektov, kot so različni mostovi in viadukti, gradnja visokih zgradb ter gradnja tunelov oz. vrtnanje pod zemljo.

Tudi ta segment so zaznamovale naprave W. G. Armstronga – specialista za dviganje in vrtenje velikih bremen. Tako so številne njegove genialne inženirske stvaritve v uporabi še danes. V tem sestavku bo na kratko predstavljen izstopajoči primer uporabe hidravlične pogonske tehnike na področju gradbeništva.

1 Pohod hidravlike na področje gradbeništva

Uporabnost hidravlike na področju gradbeništva je hitro spoznal že Bramah. Že leta 1810 je zabijal oz. vtiskal lesene stebre, t. i. pilote, v mehko zemljinu rečne ga obrežja. Na ta način so izvajali pripravljalna dela za gradnjo temeljev za prvi most Waterloo (orig. Waterloo Bridge), na reki Temzi v Londonu. [1]

Večje pilote, dolžine okoli 6 m, so običajno zabijali ali vtikali posredno, s pomočjo parno gnanih udarnih naprav ali pa kontinuirano s pomočjo stisnjenega zraka, manjše pa so vtiskali neposredno, na hidravlični način. Slednji način so uporabljali za gradnjo začasnih jezov oz. bran. Hidravlični način pa je bil uporabljen tudi za odstranjevanje oz. puljenje teh pilotov – *slika 1*. Omenjena primera sodita v skupino uporabe hidravlike za pripravljalna dela pri gradnji mostov.



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

Slika 1 : Vtiskanje pilotov s pomočjo parnega stroja (levo) ter Bramahova naprava za puljenje zaježitvenih stebrov (sredina) [2] in tovrstna večja naprava (desno)

2 Dviganje težkih jeklenih konstrukcij - gradnja mostu Britannia

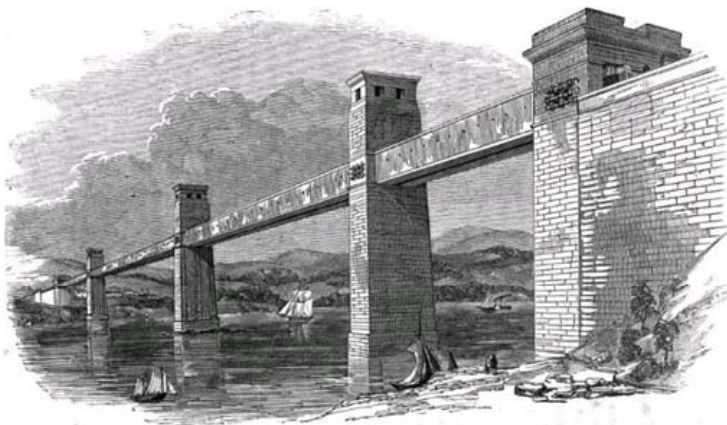
Uporaba hidravlike pri gradnji mostov se je dejansko pričela z razmahom železnice v Angliji, pri čemer je bilo potrebno premostiti soteske in reke z visokimi mostovi. Eden bolj znanih, z gradbeniškega vidika še danes zahtevnejši objekt, je predstavljal železniški most na reki Menai (orig. Menai Straits Railway Bridge oz. Britannia Bridge) - *slika 2*. Most je moral zagotavljati nemoten ladijski promet (v tem obdobju so prevladovale jadnice z visokimi jambori), tako ob nizkem kot ob najvišjem vodostaju reke, ter preko nje nemoten dvotirni železniški promet. Izziv gradnje, več kot 30 m visokega mostu, je bil predan Robertu Stephensonu, sinu Georgea Stephensona, ki je bil eden vodilnih železniških in gradbenih inženirjev tistega časa.

Prvotni viseči most, po mnenju Roberta Stevensona, zasnovan za pešce in vprego, ne bi prenesel obremenitve vlakovne kompozicije. Zato so se odločili nedaleč stran zgraditi most, primeren za železniški promet. Oba mostova na reki Menai prikazuje *slika 2*.



Slika 2 : Litografija mostov na reki Menai; v ospredju viseči most za kopenski promet, v ozadju železniški most Britannia

Gradnja kamnitega dela mostu za gradbince ni bil poseben podvig. Večji problem je bil dvig jeklene konstrukcije mostu na visoko mesto vgradnje in pa sama teža na kopnem izdelanih in sestavljenih segmentov jeklene konstrukcije v obliki škatle - cevi (*slika 3*).



Končni prvotni videz mostu Britannia



Cevna oblika jeklene konstrukcije



Gradnja cevne konstrukcije na kopnem in splavljenje na mesto dviga

Slika 3 : Gradnja mostu Britannia v letih med 1846 in 1850

Glede izvedbe mostu je bilo preučeni veliko idej, a kot najprimernejša oblika je bila revolucionarna, nova cevasta zasnova mostu. Cev bi bila sestavljena iz posameznih segmentov iz kovanega železa, škaltaste oblike – *slika 3*, pri čemer sta bili dve cevi za največja razpona dolžine 140 metrov in dve manjši dolžine 70 metrov. Za vsak razpon sta bili predvideni po dve cevi, po ena za vsak tir. Štiri daljše cevi oz. konstrukcije bi naj zaradi lažje montaže in transporta sestavnih elementov sestavljali na rečnem obrežju (*slika 3*), nakar bi ga s splavi pripeljali na mesto vgradnje (*slika 3*). Krajše konstrukcije bi vgradili kar na licu mesta. Problem, ki je preostal, je bil dvig takšne izredno dolge in težke jeklene konstrukcije na kamnite podporne stebre. To je bilo edino možno na hidravlični način, s hidravlično dvizno tehniko, po principu hidravlične stiskalnice. Tako je v tistem času hidravlika omogočila pionirski način gradnje in same zasnove mostu.

Cevno konstrukcijo, mase okoli 1150 ton, so dvignili v svoj položaj s hidravličnimi dviznimi napravami, s stiskalnicami [4]. Te so bile nameščene na vrhu nosilnih kamnitih stebrov in z verigami iz kovanega železa povezane s konstrukcijo. Dolžina giba bata dvizne naprave je bila popolnoma enaka dolžini členka verige. Tako so lahko, ko je bil gib bata v celoti dosežen, konstrukcijo v tem položaju fiksirali, odstranili povezavo verige s konstrukcijo, bat premaknili v drugi položaj in postopek dviganja ponovili. Ta princip dviganja »s preprijemanjem« se še danes uporablja pri samo-premikajočih se gradbeniških opazih. Zaradi varnostnih ukrepov so prostor pod dvigajočo konstrukcijo začasno zapolnili, kar se je izkazalo modro, saj je nekoč hidravlični sistem odpovedal in konstrukcija je padla, a zaradi podpore le za nekaj centimetrov in ostala nepoškodovana.

V tistem času je tudi izdelava ohišja velikega hidravličnega valja predstavljala poseben izziv. Notranji premer hidravličnega valja je znašal okoli 560 mm, zunanji premer pa okoli 1070 mm, dolžina valja pa nekaj manj kot 3 m. Zmogljivost dvizne naprave je znašala 2000 ton. Za litje ohišja hidravličnega valja so potrebovali 22 ton tekoče kovine, pri čemer so zaradi kapacitete talilne peči morali litje valja izvesti po posebnem postopku, z dolivanjem nove litine ob ohranjanju temperature že vlitnega materiala. Litje je zato trajalo tri dni. Po desetih dneh so lito ohišje očistili in pripravili za nadaljnjo obdelavo.

Dodatni izziv pri dviganju mostne konstrukcije je predstavljalo zagotavljanje vzporednega gibanja, kar so dosegli z mehansko konstrukcijo vitla in zobnikov, ki jih je lahko upravljal en sam človek. Tako je bila pri vsakem gibu valja konstrukcija za približno 1800 mm višje, čas, ki je bil porabljen za en dvig, pa je znašal od 30 do 45 minut.

Po navedbah virov – [4] je dejanska največja masa, ki so jo dvignili na mostu Britannia, znašala 1.144 ton. Količina vode, ki so jo porabili za vsakih 1,8 m

dviga pa je znašala 81,5 litrov. Pri opisu zmogljivosti dvizne naprave so zapisali sledeče: »Tlak 3 tone na krožni palec je enak 3.819 ton na kvadratni palec, kar bi dvignilo steber vode v višino 5,41 milje; ta tlak bi torej zadostoval, da bi vodo vrgel čez najvišje gore na svetu.« Najvišji obratovalni tlak je tako moral znašati okoli 400 bar! Kot izvor energije sta bila uporabljena dva parna stroja, vsak moči po 30 kW. Valj parnega stroja je imel skožno batnico, neposredno povezano s plunžerjem vodne črpalke. [6]

Nadalje so še zapisali (op.: prevod blizu originalnemu zapisu): »Če bi morali dvigniti konstrukcijo mase 2000 ton za 1 funt (1 funt je cca 0,45 kg), potem mora biti ena ročica vzvoda 448000 krat večja od druge; če pa se giblje 1 funt skozi cev velikost 1 palca (1 palec je cca 25 mm), bo konstrukcija dvignjena za le 1/448000 del palca, in da bi dvignili cev na 100 čevljev (1 čevlj cca 304 mm, torej skupno cca 30,5 m), bi opravili pot 83522 milj ... kar bi trajalo 240000 let ... ali pa bi moč, ki jo porabi tisk pri dvigovanju cevi za 100 čevljev, če bi jo uporabila za navadno uro, delovala za obdobje 240000 let...« [4]. S tako podanim zapisom iz tistega časa so želeli poudariti energetske razsežnosti oz. zmogljivost naprave in s tem izreden dosežek inženirstva na področju hidravlike.

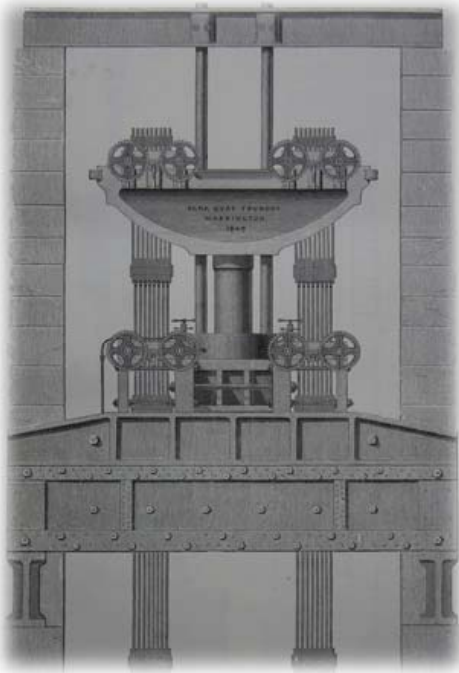
23. maja 1970 je nenamerni požar uničil streho iz katrana in oslabil železno konstrukcijo. Ta se je na treh mestih začela povešati in razpirati. Dolgi razponi so se upognili za 490 mm in za 710 mm, zaradi česar je bil železniški promet prekinjen. Stephensonovo jekleno cevno konstrukcijo so pri obnovi zamenjali z jeklenimi loki, ki se opirajo na armirano-betonsko ploščo. Prvotni zidani stolpi, vzpetine in štirje debeli kamniti levi, ki so varovali konce mostu, so ohranjeni.

Gradnja železniškega mostu Britannia je primer uporabe hidravlične pogonske tehnike, ki je edina omogočala realizacijo zamišljenih zahtevnih postopkov gradnje mostu. Hidravlika je v tem primeru kot »pomožna uporabljena tehnika« omogočila drzni načrt gradbeništva in s tem omogočila nadaljnje širjenje železniške mreže.

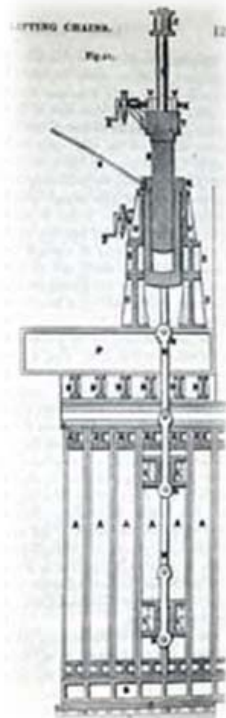
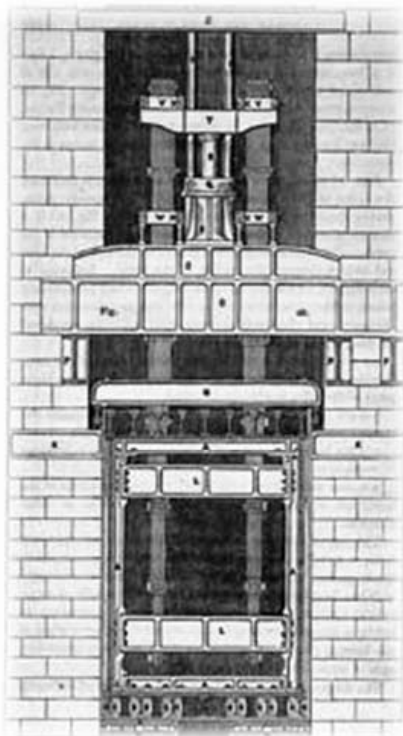
3 Armstrongovi mostovi

Drugi primer uporabe hidravlične pogonske tehnike, a ne v obliki kot pomožna tehnologija, temveč kot aktorika, predstavljajo vrtljivi in dvizni mostovi, ki jih je snoval Sir William Armstrong. Armstrong se je najprej specializiral za raznovrstne hidravlične dvizne naprave, pri čemer so bili v ospredju hidravlični pristaniški žerjavi. Pri teh je za vrtenje žerjavnega stolpa uporabil princip zobnik-zobata letev ali pa hidravlični motor. [7]

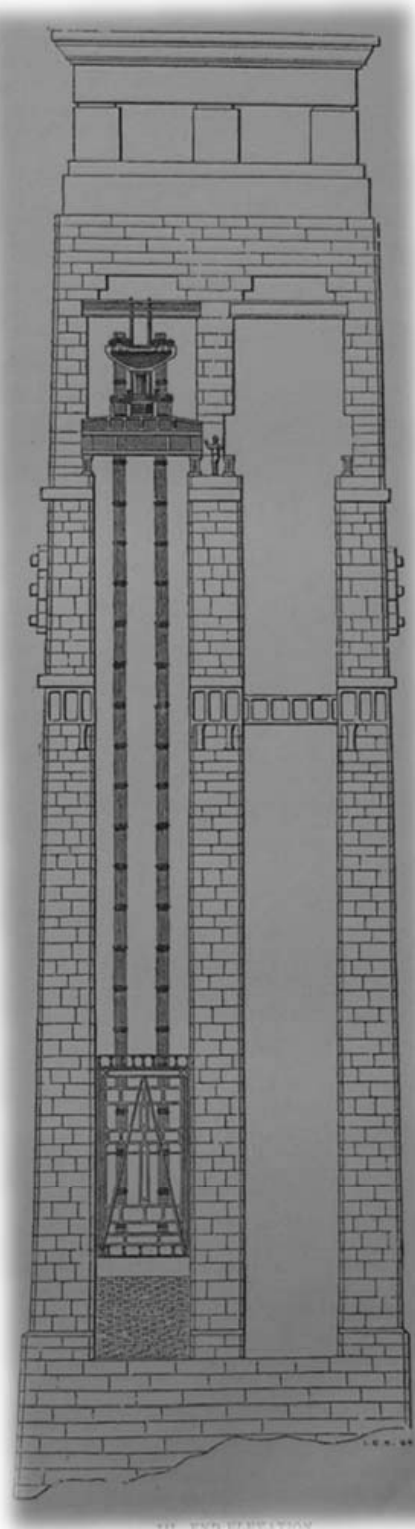
Armstrong je bil rojen in živel v Newcastleu v Angliji, ob reki Tyne. Kot sodelavec Bramaha, inženir,



Hidravlična dvižna naprava



Vpetje jeklene konstrukcije z dvižnimi verigami – pogled spredaj (levo) in s strani (desno)

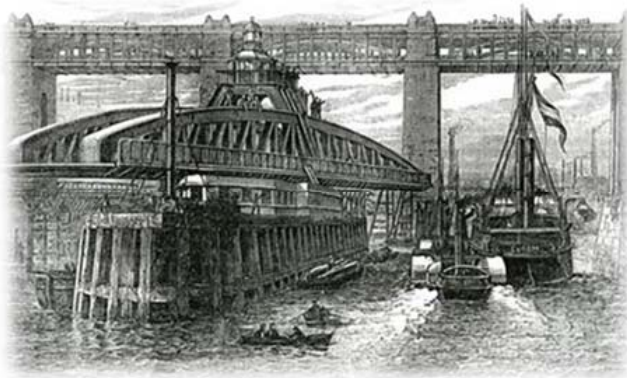


Dviganje jeklene konstrukcije

Slika 4 : Hidravlična naprava za dviganje jeklene konstrukcije mostu Britannia [4], [5]

inovator, gradbenik ter tovarnar, je dobro poznal problematiko rečnega prometa. Zato so bili njegovi prvi projekti vezani na hidravlične pristaniške žerjave. Prav tako je dobro poznal problematiko kopenskega prometa. Za razliko od mostu Britannia,

ki je bil zelo visok in omogočal neprekinjen ladijski promet pod njim, v primeru reke Tyne, ki teče skozi mesto Newcastle, takšna rešitev ureditve rečnega in kopenskega prometa preko mostu ni bila mogoča. Rešitev je videl v zasučnem oz. vrtljivem mostu,



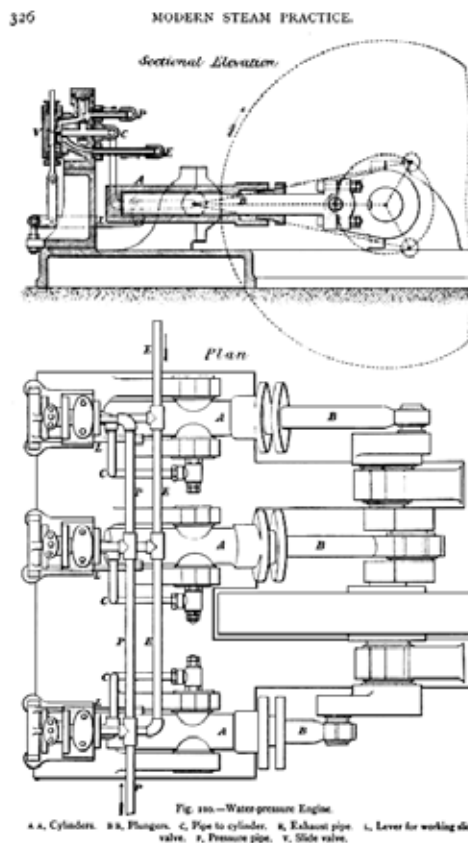
Slika 5 : Zasučni most na reki Tyne v Newcastleu (ob otvoritvi 1876 - levo) ter danes (desno)

nameščenem na osrednjem stebru na sredini reke, ki bi imel možnost zasuka za 90o in tako omogočal plovbo ladjam vzdolž obeh strani mostu. Tako bi lahko ob zasuku mostu sprostili ladijski promet po potrebi ali po določenem urniku. V ta namen so v bližini prvotnega mostu po Armstrongovih načrtih zgradili novega, zasučnega, ki je omogočal plovbo tudi večjim ladjam. Sliko zasučnega mostu, v prvotni obliki in v današnjem videzu, prikazuje *slika 5*.

Hidraulični zasučni most (orig. Newcastle Swing Bridge) je zasnoval in financiral kar sam Armstrong. Dela so se začela leta 1873, prvič je bil uporabljen

za cestni promet 15. junija 1876, za rečni promet pa je bil odprt 17. julija 1876. V času gradnje je bil to največji zasučni most, ki je bil kadarkoli zgrajen. [8]

Za vrtenje mostu je uporabljal svoje, lastno razvite hidraulične motorje, pri čemer je za podporo delovanja - zagotavljanje hidraulične energije, dodatno uporabil še hidraulične akumulatorje. Ti so bili nameščeni 18 m pod nivojem mostu, polnile pa so jih hidraulične črpalke, ki jih je poganjal parni stroj. Sproščeno energijo iz akumulatorja so nato uporabili za premikanje mostu. Hidraulični pogon se za premikanje mostu uporablja še danes, le da črpal-



Slika 6 : Strojnica v vrtljivem delu mostu in detajl opreme (levo), ter načrt hidrauličnega pogonskega motorja (desno)

ke danes poganjajo elektromotorji. Mehanizem, ki se še danes uporablja za premikanje mostu, je še vedno tisti, ki ga je Armstrong prvotno namestil. Videz strojnice mostu z Armstrongovimi tri-cilindriškimi oscilatorno delujočimi hidravličnimi motorji, prikazuje *slika 6*. Na sliki je prikazan še izvorni načrt vodno gnanega hidravličnega pogonskega motorja.

Hidravlični vodni pogon je lahko premikal celoten most dolžine 171 m, z razponom konzolne 85,6 m in z osrednjo vrtilno osjo, ki se lahko zasuče za celih 360 °, tako da plovila lahko plujejo na obeh straneh. Širina mostu znaša 9 m, masa ki jo je potrebno premikati, pa 1500 ton. Najbolj obremenjeno leto delovanja je bilo 1924, ko je bil most zasukan 6000-krat. V današnjem času most zasučejo le občasno, vsako prvo sredo v mesecu, kot »vzdrževalna vaja«.

V tem času je bilo v Angliji v uporabi že skorajda sto vrtljivih in dvižnih mostov, seveda manjših od tega v Newcastleu. Armstrongov koncept premikanja mostov in drugih velikih bremen se je okoli leta 1870 kar hitro prenesel tudi v Evropo. Tu se je za premikanje velikih bremen na hidravlični način, predvsem v gradbeništvu, specializiralo podjetje Hoppe iz Berlina.

Veliko bolj znan most na hidravlični pogon, kot je (bil) največji premični most v Newcastleu, in vsi ostali tovrstni mostovi skupaj, je znameniti londonski Tower Bridge. Ta most sicer ni vrtljiv, temveč ima dva premična, konzolno vpeta kraka, ki ju premika Armstrongov hidravlični pogon – *slika 7*.

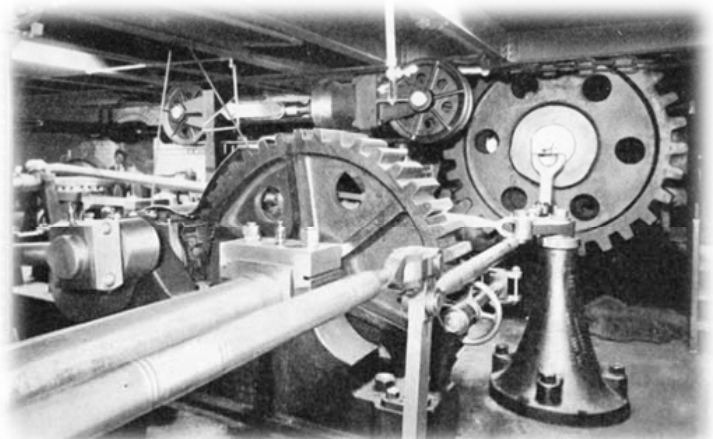
Vir hidravlične energije je bil v zgradbi na južnem bregu reke, kjer sta bila nameščena dva velika akumulatorja, ki sta zagotavljala hidravlično energijo za hidravlične pogonske motorje, delujoče s tlakom okoli 50 bar. Za zmanjšanje potrebne moči za premikanje krakov mostu so uporabili ogromne protiuteži. Za ohranjanje ravnotežja kraka mostu so bile protiuteži, sestavljene iz 290 ton svinca in 60 ton železa, zaprtih v škatlah in nameščenih na skrajnih

koncih nosilcev. Funkcija dvižne naprave je tako zgolj premagovanje vztrajnosti mase 1200 ton in trenja, ki ga povzroča veter na izpostavljene ploskve kraka.

Potrebno energijo sta zagotavljali dve 268 kW parno gnani črpalki, pri čemer je ena vedno služila kot rezerva. Črpalki sta napajali hidravlična akumulatorja v izvedbi z utežmi. Akumulatorja sta imela premer 510 mm in gib 10,7 m, da sta zagotavljala obratovalni tlak okoli 50 bar pa sta bila obtežena z maso 100 ton. Tlačni vodi, ki so vodili do pogona vsakega kraka mostu, so bili napeljeni v dvojni izvedbi, povratni so bili enojni. Vse hidravlične cevi so bile obdane še z ogrevalnimi cevmi, ki so v zimskem času preprečevale zamrzovanje vode v hidravličnih ceveh. Kot hidromotorji so bili vgrajeni vodni motorji s tremi bati, premikanje kraka mostu pa je potekalo na mehanski način preko sistema zobnik zobata letev. Pred hidravličnima motorjema sta tudi bila vgrajena akumulatorja premerov, vsak po 560 mm in giba 5,5 m, ter obremenjena z maso 121 ton.

Hidravlični motorji so bili v redundantni izvedbi – nameščena po dva motorja, a v obratovanju običajno eden. Ti so zagotavljali delovanje mostu tudi v primeru morebitne okvare na enem od motorjev. Redundantna izvedba pogona ni samo zagotavljala varnosti, temveč je omogočala tudi doseganje različnih hitrosti dviganja in tudi izravnavanje sil zaradi vetra.

Vse operacije odpiranja in zapiranja mostu so bile varovane na vse možne načine in za vse scenarije. Ko se npr. kraka združita v vodoravnem položaju, se sorniki, na katere je pritrjen krak mostu, hidravlično zaklenejo v ležišča na drugem listu. Za primere, da bi bilo npr. z mehanizmom za odpiranje in zapiranje karkoli narobe, ali da bi se pojavila kakršnakoli potencialna nevarnost, kaj šele katastrofa, so bili kraki mostu varno fiksirani v navpičnem ali v vodoravnem položaju.



Slika 7 : Dvižni most v Londonu – Tower Bridge in Armstrongova pogonska hidravlika



Slika 8 : Spomenik na Kreuzbergu (levo) in veliki rezervoarji za plin – zadnji z ogromno kupolo, vse v Berlinu (desno)

Celoten postopek odpiranja krakov, ki omogoča prehod ladij, in njihovo ponovno spuščanje za vzpostavitev cestnega prometa, traja le pet minut. Tako se veliki hidravlični dvigali z zmogljivostjo osemnajst potnikov v eni minuti, ki vodita na vrh vsakega stolpa mostu, ki sta med seboj povezana s peš potjo, redko uporabljata. Praksa je pokazala, da je prekinitev prometa tako kratka, da pešci sploh ne uporabljajo dvigal in peš poti, ampak raje počakajo na ponovno spuščanje krakov mostu.

Obratovalna varnost je bila vse do predelave hidravličnega pogona na električnega v letu 1971 na izredno visokem nivoju. Vse do leta 1968 je bila frekvenca odpiranja mostu 13 krat na dan, pri čemer odpiranje mostu vse od posvetitve v letu 1894 dalje ni niti enkrat izpadlo, kar potrjuje izredno zanesljivost Armstrongove hidravlike.

Tower Bridge zaradi svoje konstrukcije, koncepta uravnoteženja mas in manjše potrebe po pogonski moči, dodatnih dvigal za pešce, redundantno izvedbo pogona in ogrevanega napajalnega cevovoda ter številnih varnostnih funkcij, povsem upravičeno štejemo med čudeže inženirstva. Brez hidravličnega pogona ne bi bilo možno premikati 30 m dolgih krakov mostu in zagotavljati številne druge funkcije. Hidravlika je tako v tistem času omogočila številne gradbeniške podvige.

4 Hidravlične naprave kot podpora drugih gradbeniških podvigov

Pri uresničevanju gradbeniških zamisli in podvigov v določenem obdobju razvoja je velik pomen imela hidravlična pogonska tehnika, brez katere gradbeniki svojih naprednih idej v svojem času ne bi mogli uresničiti. Omenili smo že podjetje Hoppe iz Berlina, ki je zelo učinkovito uporabljalo Armstrongove izkušnje in jih prenašalo na različna področja gradbeništva.

Zaradi pomanjkanja prostora so v podjetju Hoppe za lastne potrebe dvignili streho proizvodne hale za eno nadstropje ter dvignjeno streho podzidali, ne da bi bilo pri tem potrebno proizvodnjo prekiniti. Dvig strehe je bil pri tem izveden še na mehanski način, pri nadaljnjih tovrstnih pristopih gradnje pa so uporabljali hidravlične dvižne naprave. Način gradnje z dviganjem strehe je bila pogosto edina možnost gradnje, pri čemer so v vse večji meri uporabili hidravlično tehniko. Na ta način je podjetje Hoppe dvignilo spomenik, postavljen v spomin na nacionalno osvobodilno vojno na Kreuzbergu v Berlinu. Prav tako pa je nov način gradnje našel uporabo pri gradnji velikih rezervoarjev za plin (t. i. gasometri), kjer je bila zaradi lažje gradnje na tleh najprej zgrajena kupolasta streha rezervoarja, nato pa postopoma dvigana ob hkratni gradnji plašča rezervoarja. Oba omenjena objekta, ki sta bila postavljena s pomočjo hidravlične tehnike, prikazuje *slika 8*.

Veliko večjo pozornost kot postavitve spomenika na Kreuzbergu in način gradnje rezervoarjev za plin, je imel način gradnje Eifflovega stolpa v Parizu.



Slika 9 : Poravnavanje ploščadi Eifflovega stolpa med njegovo gradnjo (La Nature, Paris, 1888)

Med gradnjo stolpa so pred fiksiranjem konstrukcije stolpa s hidravličnimi dvigalkami poravnali končano 1. in 2. ploščad – *slika 9*.

Podobne metode so vse pogosteje uporabljali tudi na področjih, kjer je prihajalo do posedanja zemljine, v Nemčiji je to bilo predvsem v Posarju in Porurju. Tak znani primer je posedanje berlinskega mostu (orig.: Berliner Bruecke) v Duisburgu, ki se vije v 3 km dolgem loku kot visoka cesta nad porurkim pristaniščem. S svojo dolžino mostnega dela 1824 metrov spada med najdaljše cestne mostove v Nemčiji. Most se opira na hidravlično prestavljive stebre, ki so jih v preteklih letih večkrat na novo ponastavili, da so na ta način kompenzirali posedanje zemljišča; tudi zaradi namenskega poglobljanja porurskega pristanišča zaradi ladijskega prometa.

5 Hidravlične vrtalne naprave

Izgradnja železniških povezav preko Alp je zahtevala gradnjo številnih predorov. Pnevmatično dleto, kakršnega so uporabljali leta 1853 pri gradnji predora Mont Cenis in leta 1873 pri predoru St. Gotthard, je dobilo učinkovitejšega naslednika v obliki hidravličnega vrtalnega stroja, delujočega po sistemu Brandt. Tega so uporabili pri gradnji naslednjega največjega predora v Alpah – Arlberškega predora. Za strojni pogon so bili prvotno načrtovani udarni stroji po sistemu Ferroux na vzhodni strani, vrtalni stroji po sistemu Brandt pa na zahodni strani

predora Arlberg. Vodstvo gradbeništva je bilo zainteresirano, da lahko po prvem mehanskem vrtanju poda zanesljivo presojo o uporabnosti obeh sistemov. Po presoji bi pri vrtanju na obeh straneh predora uporabiti boljši sistem, a zaradi različne strukture zemlje (skale) ni bilo možno presojati o boljši izvedbi načina vrtanja.

V prid uporabi hidravličnega načina vrtanja je neko odločil dovod zraka, potrebnega za prezračevanje tunela in zaradi pogona pnevmatičnih dlet. Z vedno večjo dolžino tunela se je odločitev vedno bolj nagibala v prid sistemu Brandt. Zaradi vedno večjih izgub pri dovajanju zraka za delovanje pnevmatičnega stroja je bil potreben vedno višji tlak stisnjene zraka na izvoru in kovičene cevi s premerom 22 cm. V primeru hidravličnega vrtalnega stroja pa je bil za delovanje stroja potreben tlak 100 bar, cevi za dovajanje energije pa so bile veliko manjših dimenzij – premera 7 do 8 cm [10]. Dovajanje zraka za ventilacijo predora pri tem ni predstavljalo nekega problema. Razen tega pa je bilo možno vrtalni stroj opremiti z več vrtalnimi glavami, kar je vrtanje predora še pospešilo.

Hidravlične vrtalne stroje je zelo hitro v večjem številu začelo proizvajati podjetje Bratje Sulzer iz Winterthurja, saj so zelo hitro prepoznali njihovo učinkovitost vrtanja v rudnikih. Vrtalni stroji so obratovali s tlakom od 50 do 150 bar in so imeli v povprečju moč 9 kW. Za premikanje naprej v zemljinu ali rudo so uporabljali hidravlični valj, ki se

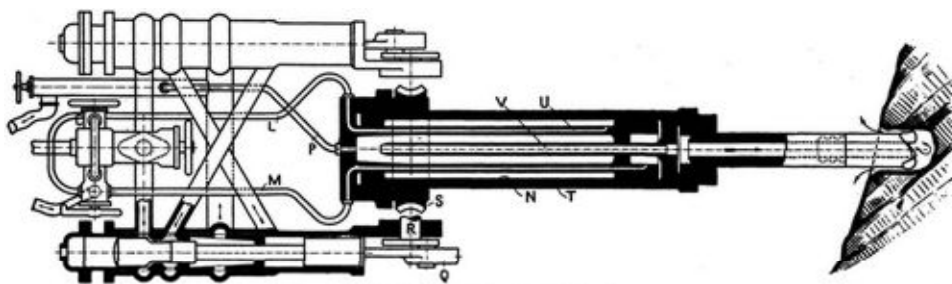
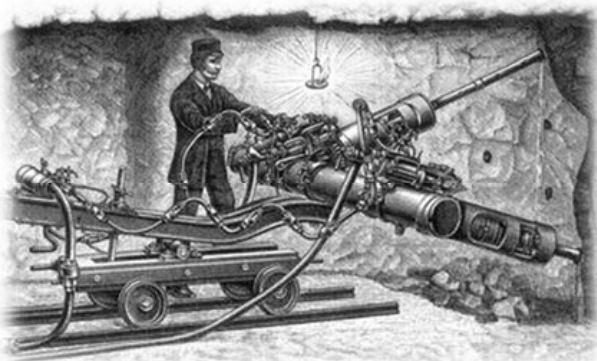
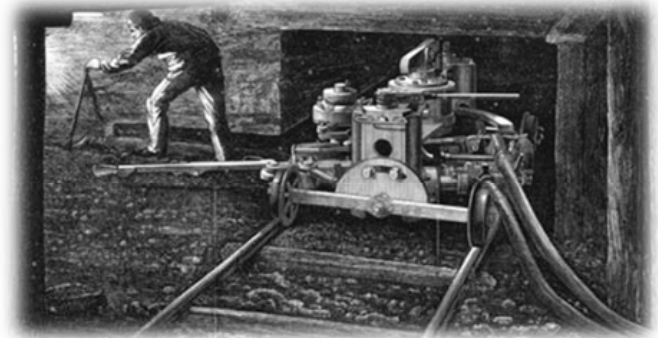


Abb. 250. Bohrmaschine Bauart Brandt.



Vrtanje predora v skalo



Stroj za rezanje premosta »Iron Man«; (Carrett, Marshal & Co, 1867)

Slika 10 : Hidravlični vrtalni stroj izvedbe Brandt (načrt – zgoraj) in na mestu uporabe [12]

je opiral na steber, nameščen za vrtalnim strojem. Vrtenje vrtalnih glav sta izvajala dva manjša vodna hidromotorja z ročičnim pogonom in dograjenim polžastim gonilom. Hidromotorji so se vrteli s 100 do 300 vrt/min, sam sveder pa s 3 do 10 vrt/min. Pogonsko energijo v obliki vode pod tlakom so dobili po naravni poti z geodetsko višino višje ležečega vodnega zajetja, ali pa s pomočjo črpalk, gnanih s parnim strojem. V slednjem primeru so za enakomerno in varno rabo energije uporabljali še akumulatorske postaje, nameščene med črpalko in vrtalnim strojem. Dovod hidravlične energije je potekal po kovanih ceveh dimenzije med 50 in 150 mm. [6] Hidravlični vrtalni stroj, delujoč po sistemu Brandt, prikazuje *slika 10*.

Razen za vrtenje predorov, delo v rudnikih in premogovnikih, so se takšne, hidravlično gnane vrtalne naprave, uporabljale tudi za vrtenje lukenj pod cestišči, kanali, železniškimi progami in za podobna dela. Slednje je ponovno predstavljalo novost pri polaganju komunalnih vodov, saj pri tem načinu promet ni bil oviran.

6 Zaključek

Hidravlična pogonska tehnika se je po uveljavitvi na področju stiskalnic in dvižnih naprav hitro razširila še na področje gradbeništva. Sprva so bili uporabljeni podobni principi in koncepti gradnje hidravličnih naprav, kakršni so bili značilni za stiskalnice, kasneje pa so svojo izvedbo prilagodili posameznemu namenu ali nalogi – pojavile so se nove vrste namenskih hidravličnih naprav.

Hidravlične naprave so se kot koristen pripomoček v gradbeništvu najprej pričele uporabljati pri gradnji mostov kot pomožna tehnika. V določenih primerih pa je bilo napredne in drzne zamisli gradbincev možno uresničiti edino s pomočjo hidravlike. Tako so se kot hidravlične namenske dvigalne naprave uporabljale za dviganje težkih jeklenih konstrukcij (npr. most Britannia) ali pa za premikanje mostov (zasučni in dvižni mostovi – Newcastle Swing Bridge, Tower Brige). Hidravlika je omogočala gradbenikom tudi izvajanje drugih nalog na področju visoke gradnje, npr. kontinuirano gradnjo pod dvignjenim bremenom po principu s podzidavanjem strehe, nameščanje različnih težkih že dokončanih objektov, niveliranje ali/in uravnavanje konstrukcij. Na

področju nizkih gradenj je poleg uravnavanja položaja različnih infrastrukturnih objektov našla glavno področje uporabe pri vrtenju predorov, v rudnikih in premogovnikih ter pri prebijanju lukenj pod transportnimi potmi. Hidravlična pogonska tehnika je tako osvojila novo področje – gradbeništvo.

Viri

- [1] Skempton, A. W. et all.: A Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Volume 1 – 1500 to 1830, Thomas Telford Ltd, London, 2002, ISBN 0 7277 2939 X, 839 strani
- [2] Salmon, M.: Mechanics Magazine, Volume 13, 1880, London, 448 strani
- [3] N.N.: Raising the Britannia Bridge, The illustrated London news, August 1849, str. 133
- [4] Grace's Guide to British industrial history: 1851 Great Exhibition: Official Catalogue: Class V.: Bank Quay Foundry Co., https://www.graces-guide.co.uk/1851_Great_Exhibition
- [5] Linda Hall Library of Science, Engineering & Technology: Bridges of the British Isles, <https://civil.lindahall.org/dempsey.shtml>
- [6] Weingarten, F.: Die Entwicklung der hydrostatischen Energieuebertragung im 19. und 20. Jahrhundert, o+p Oelhydraulik und Pneumatik, 26 (1982), Nr. 12, str. 873-879
- [7] Lovrec, D.: Razvoj hidravlične pogonske tehnike skozi čas – 4. del: Hidravlične dvižne naprave, Ventil – revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo, ISSN 1318-7279, avg. 2019, letnik 25, št. 4, str. 302-312
- [8] Baker, A.: The World's First Swing Bridge, 2015, <http://www.solarglide.com/media/blog/the-worlds-first-swing-bridge>
- [9] Maidl, B.: Faszination Tunnelbau: Geschichte und Geschichten – ein Sachbuch, Ernst & Sons – A Wiley Brand, 231 strani
- [10] N.N.: Der Bau des Arlbergtunnels 1/2, <http://www.arlbergbahn.at/der-bau-des-arlbergtunnels-teil-1/>
- [11] N.N.: Der Bau des Arlbergtunnels 2/2, <http://www.arlbergbahn.at/der-bau-des-arlbergtunnels-teil-2/>
- [12] von Roehl, F.: Enzyklopedie des Eisenbahnwessens – Gesteinbohrer, <http://www.zeno.org/Roell-1912/A/Gesteinsbohren>

