

# Hidraŭlikaj maŝinoj

## 1. Enkonduko

Akvo malaperadis... Kanaloj ne plu *pleniĝis* per viviga malsekaĵo. Ŝajne, ĝi foriris reen en riveron. Pluvoj ĉiam estis maloftaj, sed tiel ne estis multajn jarojn; neniu guto falis sur sekigitan, fenditan teron. Pli kaj pli peze iĝis portadi kruĉojn kaj ledajn sitelojn kun akvo, pli kaj pli malproksimen de domoj foriris kampoj. Kaj tiel estis dum multe da jaroj sinsekve.

Sekeco pelis de nordo sovaĝulojn amoritojn, homojn — ruinigitojn kun bestsimilaj kutimfaroj, kiuj ne gustumis graminacojn: nek hordeon, nek milion, nek *polbon*... Iliaj kaproj, ŝafoj kaj azenoj mortis pro soifo. "Timigo de amoritoj" — ŝtona muro etendiĝinta de unu granda rivero ĝis la alia je dek tagoj de vojo ne povis haltigi barbaran atakon. Estis necese foriri al sudo, savante virinojn, infanojn, saviĝintan brutaron kaj hejmaĵojn. Fine saĝuloj montris vojon kaj malgajaj karavanoj komencis forlasi naskiĝhejmojn. Sed ankaŭ tie, sur praa tero, manko de nutraĵo kaj akvo pro troloĝanteco, alkondukis al ribeloj kaj falo de potenca ŝtato Akkad.

Nur post kelkaj jarcentoj civilizacio revenis de riverfinoj al grandaj riveroj de Mezopotamio supren kontraŭ fluo. Denove aperis aroj de kanaloj kun mekanismoj por transpumpo de akvo sur kampojn. Sed la potenco transiris al amoritoj, kiuj plialtigis urbon — Babilonon, kaj granda reganto de Babilonio Hammurabi (1800 a. K.), heredanto de amoritoj ordonis ĉizi surskribon sur ŝtono: "*Mi alportis akvon kaj devigis la dezerton flori.*"

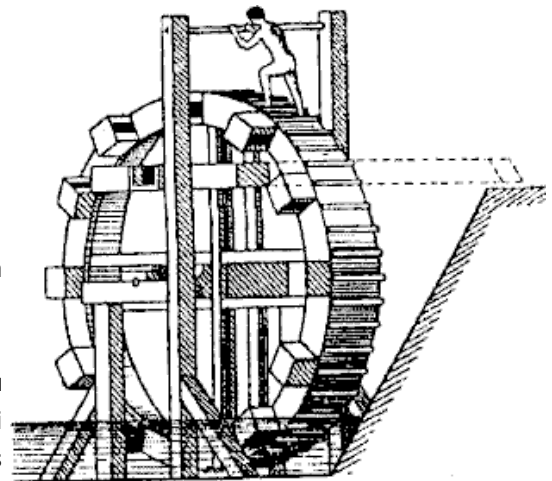
En tiuj tempoj orientaj regantoj en egala grado dividis sian tempon inter milito kaj akvomastrumado. Tiel, konkerinto de Babilono, kruela caro de Asirio — Sennaherib (elp. *senaherib*) (705-681 a. K.) estis talenta konstruanto de altmontaj akvobaraĵoj kaj inventisto de akvolevigaj mekanismoj.

Ĝis mezo de la 19-a jarcento konserviĝis en Egiptio ceremonio de malfermo de akvuma sezono en "tago de rivervekiĝo", en kiu ŝtata gvidanto komencas laboron. La unua bildo de tiu ĉi evento apartenas al la 4-a jarmilo a. K. Tio estas "Faraono Skorpio" nomita tiel, ĉar antaŭ la faraono la pentristo lokigis skorpion kun piedo en manoj, kiu estas preta komenci konstruadon de akvumkanalo.

## 2. Pumpiloj

### 2.1. Unuaj maŝinoj kaj mekanismoj por akvotransigo

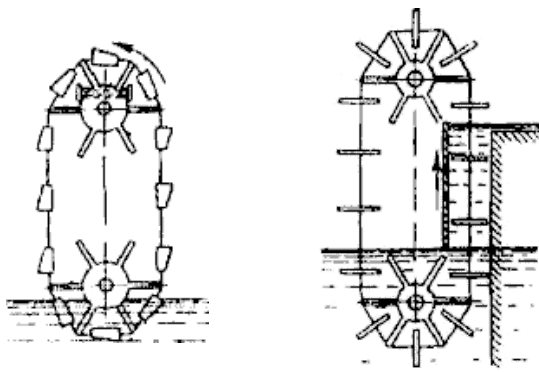
Do, la unua mekanismo por akvotransigo estis, verŝajne, leda aŭ ligna sitelo, poste — vergkorbo, ĉirkaŭŝmirita per argilo. En antikva Egiptio, aŭ en Mezopotamio, oni elpensis putan grupon kun kontraŭpezo (en oriento — ŝaduf). Homoj, starantaj unu post la alia kaj transdonantaj sitelojn unu al la alia, povis krei fluan de akvo. Kaj maŝino por transdono de fluidaĵo nomiĝas pumpilo. Ne estas konata nomo de genia inventisto, kiu konjektis alfiksi sitelojn al periferia parto de ligna rado, kiun povis turni sklavoj aŭ bestoj (fig. 2.1). Tiu maŝino estis elstara konstruaĵo kaj estis uzata ekde tre profunda antikveco preskaŭ ĝis niaj tagoj. Akvolevaj radoj povis doni ĝis dek kubaj metroj da akvo dum horo je alteco de 3-4 metroj.



2.1. Piedpuŝa rado kun ĉerpiloj

La sekva paŝo estis invento de tiel nomata noria (de la araba "norria" kaj de la hispana "naora" fig. 2.2-4) — akvopumpilo, kiu aspektis kiel ŝnuro aŭ ĉeno kun ĉerpiloj. Poste iu rimarkis, ke se norion tralasi tra vertikala aŭ klinita kanaletto kun akvo, tiam anstataŭ ĉerpiloj aŭ siteloj oni povas uzi diskojn aŭ globojn: fluan de akvo eblis fari pli egalmana per pli malgranda peno. Tiel aperis dua baza tipo de pumpilo — dinamika tipo.

Ni rimarku, ke kiam homo pelas per fosilo aŭ lato akvon laŭ kanalo, li ankaŭ uzas dinamikan principon de laborado de hidraŭlika maŝino.

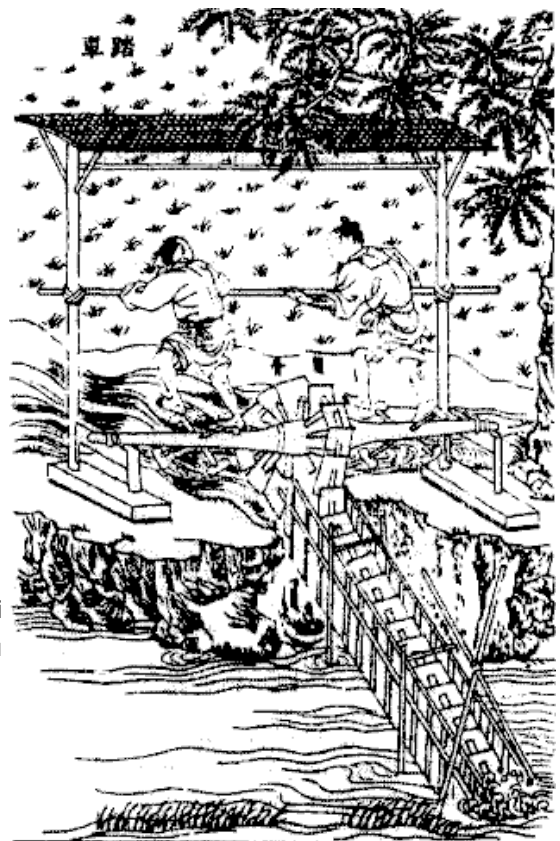


**2.2. Norio kun ĉerpiloj 2.3. Norio kun diskoj en tubo**

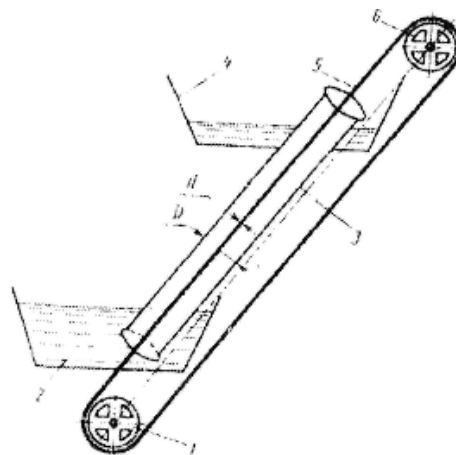
Per norioj en Antikva Egiptio oni transdonis akvon el putoj profundaj ĝis 100 metroj.

Esplorantoj de antikva Ĉinio supozas, ke nekonataj majstroj efektivigis en tiu ĉi lando unu el unuaj esploroj pri optimumeco (laŭ maksimuma donado de akvo aŭ laŭ minimuma elspezita laborado) kaj klarigis ke la plej profitdona oblikvungulo de ĉenpumpilo estas 40 gradoj.

Ni ne scias nomojn de la unuaj inventistoj de la norioj sed lasta invento en tiu sfero estas farita per N. E. Ĵukovskij (fig. 2.5), la fama kreinto de teorio pri aerflosado. En 1901 jaro li proponis ŝnurpumpilon, kiu aspektis kiel ringforma ŝnuro ŝovita tra tubo. Dum movado la ŝnuro fortiras akvon al elirejo.

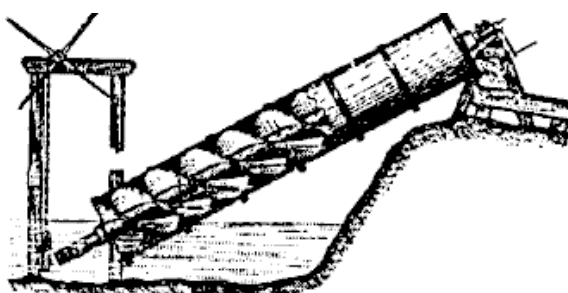


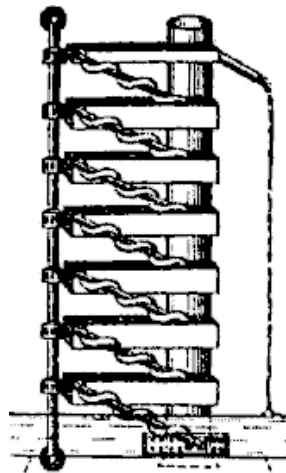
**2.4. Ĉina norio**



**2.5. Ŝnura pumpilo de Ĵukovskij**

## 2.2. Ŝraŭbo de Arkimedo





**2.6. Ŝraŭbo de Arkimedo**

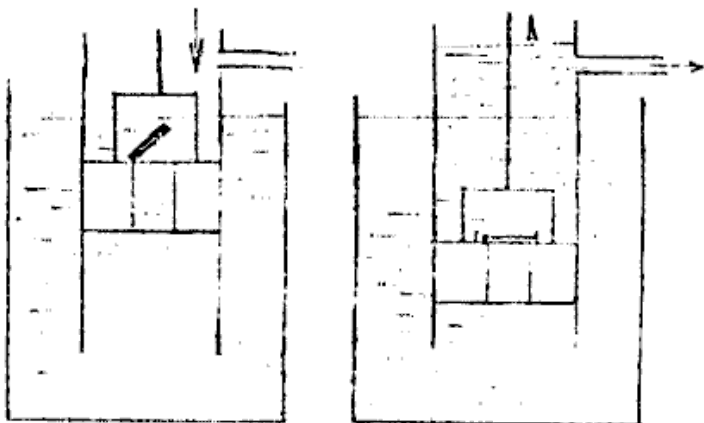
**2.7. Multŝtupa ŝraŭbo de Arkimedo**

Tre delonge homoj komencis uzi ankoraŭ unu maŝinon por dono de akvo: ŝraŭbon aŭ helicon de Arkimedo (Archimedes, elp. *arĥimedes*, 287-212. a.K., fig. 2.6). Verdire ŝraŭba linio kaj ŝraŭba surfaco estis sciataj antaŭ Arkimedo, ilian eltrovaĵon oni ligas kun la nomo de Arkitas el Tarento (428-365 a. K.) — matematikisto de lernejo de Pitagoro. Oni scias ankaŭ, ke Arkimedo veturis en Egiptio, en Aleksandrijo kaj tie konatiĝis kun atingoj de scienco kaj tekniko de antikvaj grekoj. Plej probable Arkimedo perfektigis jam konatan maŝinon, sed faris tion tiom artifice, ke precize li estas konsiderata kiel inventinto de akvoleva ŝraŭbo. Funkciado de akvoleva ŝraŭbo estas bazita je ecoj de ŝraŭba surfaco, kiu kontraŭagas forton de gravito. La ŝraŭbo estas starigata en ligna tubo oblikve al horizonto, je angulo pli malgranda ol angulo de oblikveco de ŝraŭba linio. Ĉe tiu kondiĉo prenita porcio da akvo translokiĝos laŭ ŝraŭba surfaco de malsupro supren. Ne malfacilas rimarki, ke priskribita helico similas al ĉeno de siteloj. Konservigis pompea fresko, sur kiu estas desegnita ŝraŭbo de Arkimedo movata de homo, paŝanta sur la helico.

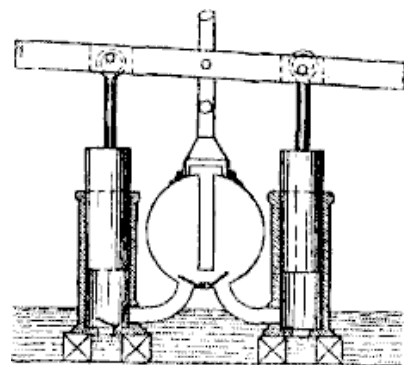
Por produktado de helico bezonatas malpli da defecita ligno, ol por produktado de akvoleva rado. En Norda Afriko oni povas ankaŭ nun trovi funkciantan helicon de Arkimedo. Ankoraŭ en 20-aj jaroj de la 20-a jarcento oni demonstris ŝraŭbon de Arkimedo por pumpado de sala substanco en Krimeo.

Tre oportuna evidentiĝis akvoleva ŝraŭbo por pumpado de akvo el minejoj. La ŝraŭboj tre bone lokiĝis en klinitajn ŝaktojn kaj povis preskaŭ plene elkonduki tutan akvon sur supraĵon. Avantaĝo de la Arkimeda ŝraŭbo garantiis al ĝi vastan uzadon dum multaj jarcentoj por diversaj aplikoj. Ekzemple, ĝi estis uzata en unuaj akvaj tubaroj de Eŭropo: en la germana urbo — Augsburg, en la pola urbo — Fromberg (ĉiuj laboradoj estis aranĝataj sub gvido de la fama astronomo Koperniko). Laŭ konstruo ili ofte diferenciĝis de la antikvaj. Aperis multŝtupaj ŝraŭboj, lokiĝantaj vertikale kun interspacaj rezervujoj (fig. 2.7). Tio permesis malgrandigi dimensiojn laŭ longo, fari instalaĵon pli kompakta, malplikostigi faradon de la ŝraŭbo. Poste la ŝraŭbon oni faris el spirala tubo, surmetita sur lignan ŝafton.

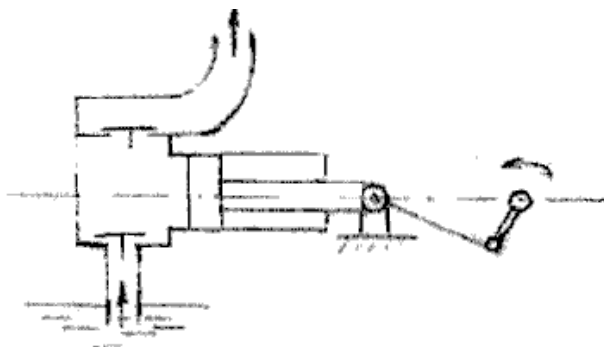
### 2.3. Piŝtaj pumpiloj



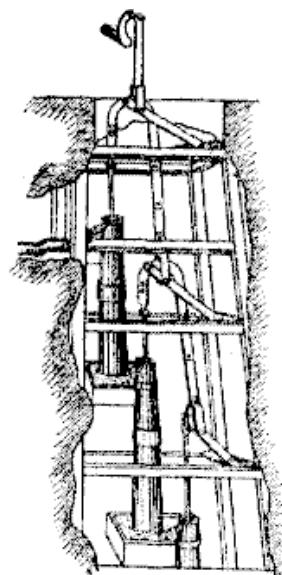
**2.8. Piŝta ensuĉa pumpila**



**2.9. Plidensiga pumpilo de Ktesibius**



**2.10. Piŝta pumpilo kun mekanika transmisio**



**2.11. Multŝtupa piŝta pumpilo**

Fama inĝeniero de antikveco — Herono (Hero) el Aleksandrio, mortinta proksimume en la 70-a jaro a.K., lasis post si traktaĵojn, en kiuj li priskribis multe da diversaj mekanismoj kaj maŝinoj. Li estis unua, kiu menciis pri piŝta pumpilo, kreita de lia instruisto — Ktesibius (vivis proksimume en la 100-a jaro a.K., fig. 2.8-11.) — Simila maŝino nun estas konata al biciklistoj. Ĝiaj ĉefaj detaloj estas cilindro kaj eniranta en ĝin kun negranda interspaco piŝto, kiu eligas el la cilindro akvon aŭ gason. Evidente, ke simila mekanismo apartenas al volumenaj maŝinoj, sed por sia funkciado ĝi devas havi ankoraŭ unu detalon: la klapon.

La klapo estas mekanismo, povanta ŝanĝi trapasan areon, kiu tralastas fluon de fluidaĵo aŭ gaso pro influo de labora medio. Se trapasa sekco ŝanĝiĝas pro eksteraj fortoj, la mekanismo nomiĝas premreduktilo, krano, valvo. Verdire ankaŭ en tiu ĉi kazo iam oni uzas la terminon — klapo, lasante por la klapo aldonan klarigon: memaganta klapo.

Krom la klapoj pumpilo de Ktesibius havis fermilon, kiu aspektis kiel tubo kun du aperturoj. Ĝi povas fermi elirajn aperturojn de la cilindroj aŭ kunigi ilin kun elira konusa tubo por fari fortan akvofluon. La pumpilo de Ktesibius estas tiel perfekta, ke certe ne eblas trakti ĝin kiel la unua maŝino de tiu tipo. Tio sekvas ankaŭ el priskribo de Herono, en kiu estas rakontinte pri tio, ke fajra pumpilo estas farata simila al la putaj.

La plej simila piŝta pumpilo kun unu klapo ĝis nun estas uzata por akvoprovizado, inkluzive en vilaoj. En la piŝto estas aperturo, fermita per plato, kiu povas turniĝi ĉirkaŭ akso, malfermante trairon por akvo dum moviĝo de la piŝto suben. Dum moviĝo de la piŝto supren la klapo fermiĝas pro pezo de akvo. La piŝto per sia supra surfaco elpremas akvon en eliran tubon, kaj la cilindro pleniĝas per akvo ĝis la malsupra surfaco de piŝto pro influo de atmosfera premo.

En antikva tempo la agadprincipo de piŝta pumpilo estis klarigata aliel laŭ la opinio de unu el unuaj sciencistoj Aristotelo (384-322 a.K.) "la naturo ne toleras malplenan", tial akvo postiras la moviĝantan piŝton.

Malĝusta klarigo de la agadprincipo de pumpilo ĝis iu tempo ne malhelpis al ilia fabrikado. Ili estis uzataj ĉefe ne en akvoprovizado, sed por estingo de incendioj. Tiuj pumpiloj estis produktataj el bronzo, havis ensuĉantajn kaj premajn klapojn kaj du cilindrojn: kiam unu cilindro ensuĉis akvon, la alia transportis ĝin tra prema klapo kaj tra mallarĝa ajuto kun granda rapideco. Krom priskriboj konserviĝis restaĵoj de piŝtaj pumpiloj de antikva roma periodo. Tiel arkeologiaj foslaboroj sur la teritorio de nuntempa Hispanio permesis trovi 13 lignajn kaj 8 bronzajn piŝtajn pumpilojn. Piŝtaj pumpiloj de diversaj konstruoj depende de ilia destino estas produktataj jam dum pli ol 2000 jaroj kaj daŭre restas unuj el la plej disvastigitaj energetikaj maŝinoj ankaŭ nuntempe.

Estas evidente, ke laborefikeco de piŝta pumpilo dependas unuavice de grandeco de interspaco inter cilindro kaj piŝto. Kiam estas granda interspaco la akvo fluas ne nur en cilindran tubon, sed ankaŭ en eniran, farante rean fluon aŭ fluadperdojn. Tial en pumpiloj oni ekuzis ledan "manumon" por malgrandigi la interspacon. Se la "manumon" instali kun streĉo, necesas elspezi aldonan potencon por pumpi. Enesto de hermetikaj klapoj permesis transdoni akvon al granda alteco. Teorie hermetika volumena pumpilo povas

krei ĉe la elirejo premon de ajna grandeco (ni memorigu, ke premo — estas forto de kunpremo je unuo de surfaco.) — Premon eblas mezuri per alteco de akvolevado. Tiel atmosfera premo estas egala proksimume al 10 metroj de akvo aŭ 750 milimetro de hidrargo. Maksimuma premo, ricevita per piŝta pumpilo, atingadis 3000 atmosferojn. Tia pumpilo povis levi akvon en fontano ĝis 300 kilometroj.

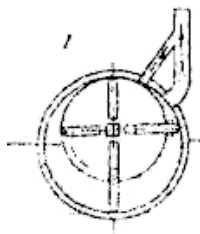
En tempoj de mezepoko la piŝta pumpilo iĝis ĉefa ilo por transdono de akvo kaj elpumpado de ĝi el ŝaktoj. Tiam oni atentis, ke akvo ne leviĝas post la piŝto, se enira tubo havas longon pli ol 8-9 metroj. Tio permesis al la fama sciencisto, kreinto de la nuntempa fiziko, Galileo Galilei (1564-1642) eldiri tiun aforismon: "naturo timas malplenon, sed nur ĝis difinita limo". Tamen li ne sukcesis klarigi malkompreneblan fenomenon. Tiun problemon solvis pli poste liaj lernantoj kaj disĉiploj.

La unuaj pumpiloj estis unucilindraj kaj ducilindraj, sed piŝto nur per unu flanko kontaktis kun fluidaĵo, kaj per alia kun aero. Poste oni elpensis fari duflankan pumpilon aŭ duagan maŝinon, kiu havis du parojn da klapoj kaj laborajn cilindrojn, ĉe ambaŭ flankoj de la piŝto. Kiam de unu flanko de piŝto fluidaĵo estas ensuĉata, de la alia flanko ĝi estas forpuŝata. Poste por pliigo de grandeco de transpumpo kaj por malpliigo de ĝia neegaleco oni komencas produkti multcilindrajn pumpilojn, kaj por pliigo de premo — multŝtupajn, kiam elirejo de unu cilindro kuniĝas kun enirejo de la posta.

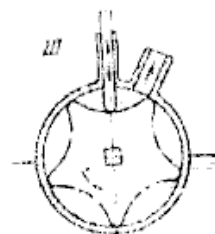
Tricilindra pumpilo havas pli egalmezuran transpumpo, ol la kvarcilindra. Aliaj reven-antaŭenpaŝaj pumpiloj estas similaj laŭ laborprincipo kun la piŝtaj: plonĝa, membrana...

## 2.4. La unuaj rotaciaj pumpiloj

La homo dum turnmovado de mekanismo povas atingi kapacito je 35 procentoj, pli grandan ol dum reven-antaŭenpaŝa movado: averaĝe 66 kaj 49 vatoj. Tial pli aŭ malpli frue devus troviĝi inventisto de la pumpilo kun turnmovado de bazaj laboreroj (profesiuloj nomas ilin laboraj organoj). La unua priskribo de tia maŝino inter multaj aliaj aperis en la libro de Agostino Ramelli (1530-1560). Li estas inĝeniero de la plej kristana reĝo de Francio kaj Pollando (Henriko la III-a — filo de Henriko la II-a kaj la fama Katarino Mediĉi). La libro aperis en la 1588 en Parizo kontraŭ mono de la aŭtoro. La aŭtoro ricevis kleron "pri matematiko kaj superaj sciencoj", al kiuj apartenis tiam ankaŭ la inĝenierado, en la lernejo de Leonardo da Vinci (elp. *vinĉi*) sub gvido de unu el liaj lernantoj — markizo Marinjano.



2.12. Rotora pumpilo de Ramelli



2.13. Rotora pumpilo de Ramelli kun ŝprimo

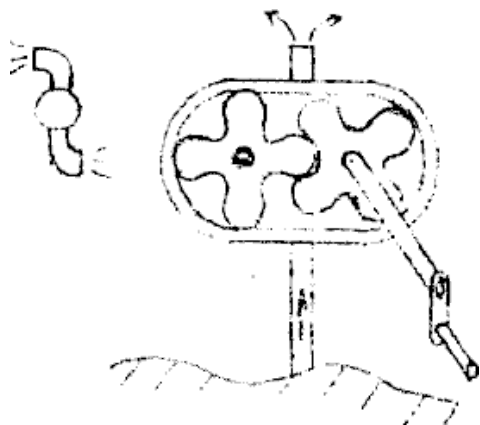
Ni analizu nur du konstruojn de rotaciaj pumpiloj el libro de Ramelli, kiuj preskaŭ sen ŝanĝo estas uzataj ankaŭ nuntempe (fig. 2.12-13). La unua estas plena pumpilo. Tio estas cilindra rotoro kun kvar eltranĉoj, instalitaj runde en cilindra korpo, mergita en akvon. En la eltranĉojn de la rotoro estas instalitaj platoj, kiuj dum turnado alpremiĝas sub influo de centrifuga forto al interna cilindra surfaco de la korpo. Tiel en la korpo aperas serpformaj kameroj (laboraj kameroj). Dum la turnado de la rotoro proksime de la enira aperturo la volumeno de la labora kamero pligrandiĝas kaj ĝi pleniĝas per fluidaĵo. Poste la kamero fermiĝas, ĝis kiam ili ne venos al elira aperturo. Post tio la volumeno de la labora kamero malgrandiĝas kaj akvo el ĝi elpremiĝas tra elira aperturo en elirtubon. Estas evidente, ke laŭ laborprincipo tiu ĉi pumpilo rilatas al volumenaj pumpiloj, platoj estas similaj al la piŝto, kaj hermetikeco estas garantiata per fazo de fermado, sed ne per klapoj. Tiaj pumpiloj havas pli malgrandan, ol piŝtaj pumpiloj, grandecon de premo, sed kun samaj karakterizoj, ili havas avantaĝon pri dimensioj kaj maso. Laŭ bildo la plataj pumpiloj estis produktitaj el metalo. La plataj pumpiloj estas uzataj nuntempe ĉefe por venigi lubrikaĵon en maŝinkonstruado, aviado, en sistemoj de hidroaŭtomatiko.

Alia tipo de rotacipumpilo de Ramelli kun fermilo kaj rotoro el ligno, havinta iom da elstarajoj, estis instaligata en korpon kun interna cilindra surfaco, samcentre kun malgranda interspaco. La fermilo havas eblecon moviĝi reven-antaŭen kaj sub influo de sia pezo alpremiĝis al la rotoro, kreante laboran kameron. Maŝinoj kun fermilo estas uzataj ankaŭ nuntempe kaj havas diversajn konstruajn formojn depende de

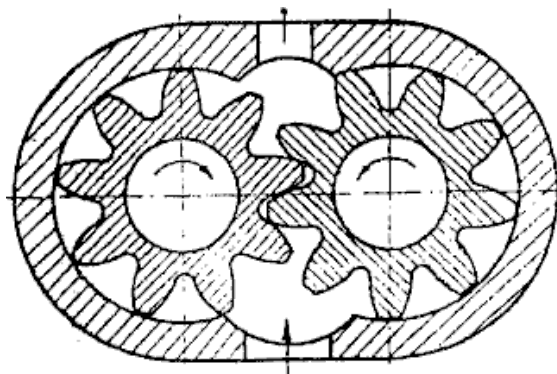
uzadsfero. Tiel, estas konataj la vaporaj maŝinoj (1836 jaro, kaj 1869 jaro), kiuj estas analogaj al la priskribata pumpilo, sed ili havas nur unu elstaradon sur la rotoro. Laŭ la skemo estas farita la vakua pumpilo kun rulanta rotoro.

Unu el la lastaj inventoj — rotacia maŝino kun fermilo, kiu povas esti kaj la pumpilo kaj la motoro kun interna brulado.

Ramelli priskribis ankaŭ konusan valvon aŭ klapon kiel fermilo. Tiu fermilo ankoraŭ nun estas konsiderata kiel unu el la plej bonaj. Ramelli uzis ĝin ankaŭ kiel klapo sur malplenaj piŝtoj.

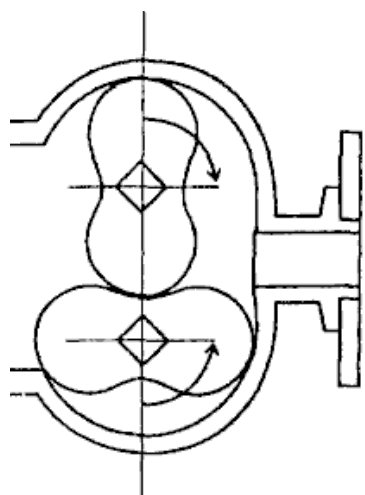


**2.14. Dentrada pumpilo de Leirechon**

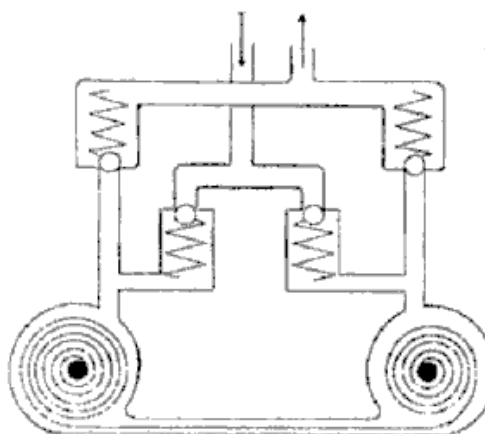


**2.15. Dentrada pumpilo**

La sekva grava paŝo estis farita per Iogann Leirechon (elp. lajreĥon, 1571-1670, fig. 2.14-15), rektoro de jezuita kolegio en la urbo Bar le Djuk kaj *ekleziulo* de la princo de Lotaringio. Leirechon estis aŭtoro de la libro "Matematikaj taskoj" (la unua eldono — 1624 jaro), kiu estis multfoje reeldonita de librokomercistoj de Francio kaj Germanio pro granda aĉetemo. En la tasko 88 "Pri akvopumpiloj, hidraŭlikaj maŝinoj kaj aliaj eksperimentoj kun akvo kaj similaj fluidaĵoj" estas priskribitaj ĉiuj sciataj maŝinoj kaj unu nova, kiu iĝis antaŭaĵo de multaj nuntempaj. Ni donu vorton al la aŭtoro: "Tiu maŝino kun dentaj radoj, kiuj troviĝas en ovala kovrujo tiel, ke dentoj de unu rado fiksiĝas kun dentoj de la alia, kaj tiel ĝuste ke nek akvo, nek aero — nek meze, nek flanke — povas eniĝi en ovalan kovrujon, ĉar la radoj tiel premiĝas al la flankoj, ke ne restas libera spaco. En ĉiu rado estas akso, tiel ke oni povas turni ĝin elekstere per tenilo. Kiam tenilo de la rado turnas ĝin unudirekten, tiam la alia rado turniĝas reen. Rezulte la akvo el la spaco inter la dentoj de la radoj direktiĝas en ambaŭ flankojn tiel, ke dum turnado de radoj la akvo devas leviĝi laŭ la tubo kaj elflui". Ŝajnas, ke tiu teksto estis transskribita dum centoj da jaroj el la unua fonto en lernilojn kaj monografiojn de diversaj aŭtoroj. Sed intertempe, malgraŭ tio, ke maŝinon de Leirechon priskribas vojaĝantoj, vidintaj ĝin funkcii en la urbo Majnc (sudokcidente de Germanio), tiu pumpilo estas kreita kelkfoje denove kaj priskribita kiel pumpilo de Bramah aŭ Leklerk, kiel aerblovilo de Roots (fig. 2.16)... Ankaŭ nuntempe kiam ideo de rotacia volumena pumpilo estas konata, ĉiujare aperas centoj da novaj inventaĵoj, ĉiu el kiuj tiom aŭ aligrade pli bonigas la konatan maŝinon.



**2.16. Pumpilo de Roots**



**2.17. Benda pumpilo**

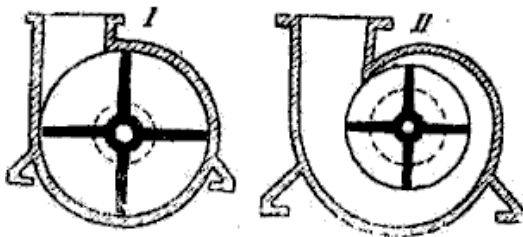
Nuntempa dentrada kaj rotacipiŝtaj pumpiloj estas la plej uzataj laŭ iliaj ecoj de reverso kaj reeco. La dentradaj pumpiloj estas pli multe uzataj en aŭtoj.

## Durotora, volumena pumpilo

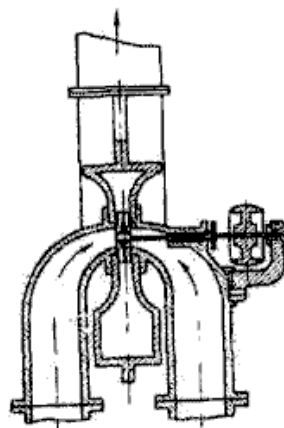
Ĉu korekte estis nomita en patenta priskribo la pumpilo, kreita nur antaŭ 20 jaroj? (fig. 2.17) Verdire, la aŭtoro havas rajton mem doni nomon al sia ido. La korpo de la pumpilo havas du cilindrajn kamerojn, ligitajn en malsupra parto per tratranĉo. Elpremilo, produktata el ŝtala preciza bendo kun rondigitaj randoj, estas survolvita kaj fiksita sur ŝaftoj. La pumpilo havas du enlasajn kaj du premajn globajn klapojn. Ĉe tuta plenigo de la kamero sur la ŝafto en la alia kamero restas du-tri valvoj, labora substanco plej ofte estas densa lubrikoleo. Dum turniĝo la elpremilo alterne survolviĝas jen sur unu, jen sur alian ŝaftojn. Ĝi estas destinata por kreado de aliaj premoj — ĝis kelkaj miloj da atmosferoj, rilate malgrandajn volumenojn.

## 2.5. Centrifugaj pumpiloj

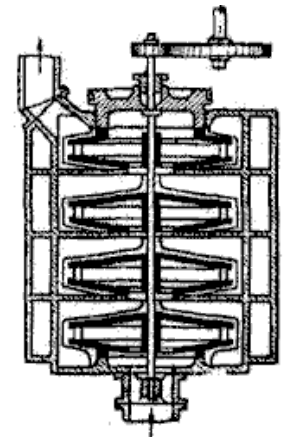
Donado de aero en ferfandajn fornojn de antikveco estis unu el gravegaj taskoj de tekniko. Tial ne estas mirinde, ke en mezepoko aperis aerblovilo "Hessians" — invento fare de malkonata majstro. Ĝi ne iĝis vaste uzata, ĉar bezonis tre rapidan transmision, kiu ne ekzistis tiutempe. Aerblovilo havis rotoron kun kvar rektaj aloj, la rotoru lokigis kun negranda interspaco en cilindra korpo. Enira aperturo lokiĝis en flanka mureto, trans la alia mureto elstaris ŝafto por turnado de rotoru, elira tubo de konstanta sekco aliĝis al flanka surfaco de la korpo. Similan maŝinon nun oni nomas centrifuga ventumilo aŭ aerblovilo depende de grandeco de premo.



2.18. Centrifuga pumpilo de Papin

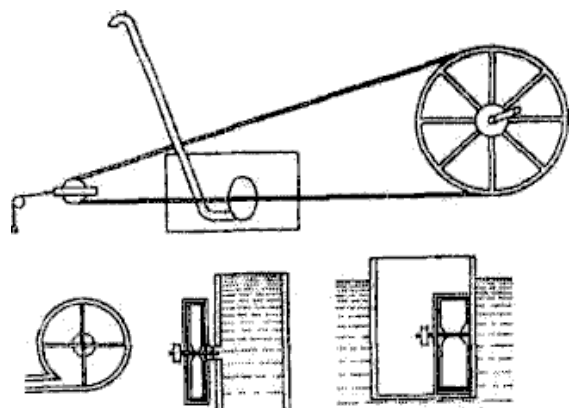


2.19. Pumpilo de Appold



2.20. Pumpilo de Gwynne

Denis Papin (elp. *deni papen*, 1647-1714), franca kuracisto, fizikisto kaj inĝeniero, decidis adapti aerblovilon por transpumpo de akvo. Post la unua konstruo en 1689 li perfektigis la maŝinon kaj en 1705 kreis pumpilon, proksimiĝantan laŭ aspekto al nuntempaj (fig. 2.18). Papin aplikis spiralan ingon kun la sekco poiome pligrandiĝanta en direkto de rotacio. Oni devas rimarki, ke ankaŭ antaŭ Papin kaj post li estis inventitaj denove kaj, verŝajne, sendepende de li centrifugaj maŝinoj por transpumpo de aero kaj akvo malpli sukcesaj laŭ konstruo (fig. 2.19-20). Sed unu el inventistoj estis fama Leonard Euler (1707-1783), kiu unue donis matematikan analizon por labora proceso de radiusa ala maŝino. En Rusio unuaj centrifugaj maŝinoj por transpumpo de aero kaj akvo (sub la titolo "akvopelilo") estis kreitaj fare de inĝeniero, generalo-leŭtenanto A. A. Sablukov (1783-1857) en 30-aj jaroj de la 19 jarcento (fig. 2.21).

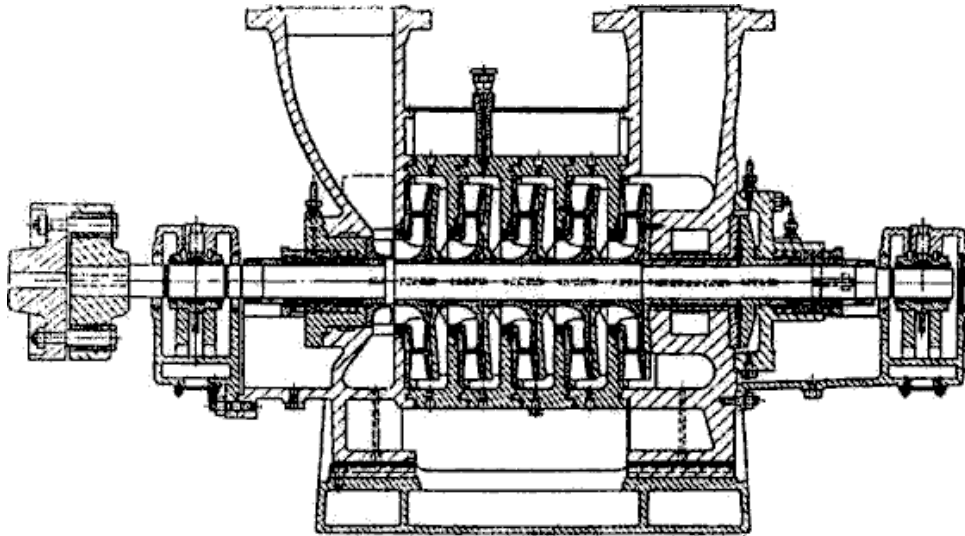


2.21. Pumpilo de Sablukov (Rusio)

La titolo centrifuga pumpilo signifas, ke fluidaĵo en tiu maŝino translokiĝas de centro al periferio. Bazaj fortoj estas ne centrifugaj fortoj de inercio, kies rezulto trairas tra centro de rotacio kaj tial, havante nulan momanton, ne povas partopreni en forta interagado de aloj kaj fluidaĵoj, sed fortoj de Koriolis de inercio kaj fortoj, similaj al leva forto de aviadila alo. Verŝajne, inventistoj de la unuaj centrifugaj maŝinoj ne povis ĝuste kompreni ĉiujn specifecojn de labora proceso de siaj kreaĵoj.

Nur en 1851, kiam aperis altrotaciaj vaporaj maŝinoj kaj estis ellaboritaj fundamentoj de hidromekaniko, en *Tutmonda Industria Ekspozicio* en Londono estis prezentitaj kelke da modeloj de centrifugaj pumpiloj, kiuj povis videble mallarĝigi sferon de uzado de piŝtaj pumpiloj bone konataj ekde antikveco.

La plej bona konstruo apartenis al John George Appold (elp. *epold*) (1800-1865). Lia pumpilo kun duflanka rado kaj aloj, fleksitaj malantaŭen rilate al direkto de rotacio kun transpumpo 94 litroj sekunde kaj premo 6 metroj havis efikecon 68%. Pli bonajn rezultojn atingis post kelkaj jaroj James Tomson (1822-1892), frato de la fama fizikisto lordo Kelvin, dank' al racia profiligo de spirala elirejo kun konusa elira mallonga tubo.



**2.22. Multŝtupa pumpilo por vapora turbino**

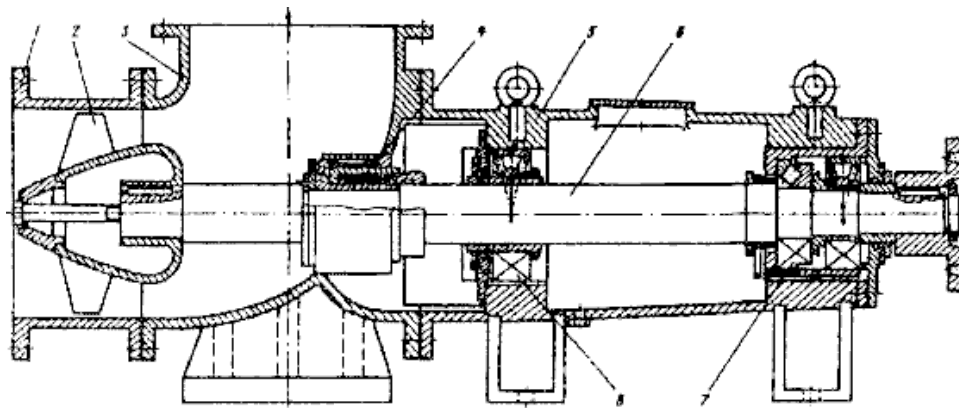
Centrifuga pumpilo malgajnas kontraŭ piŝta en sfero de grandaj premoj. Tial unu el partoprenantoj de tutmonda ekspozicio en Londono John Gwynne (elp. *ĝon gvin*) (1800-1855) kreis multŝtupan pumpilon (fig. 2.22). Gajnante laŭ dimensioj, ĝi tamen malgajnis kontraŭ piŝta pumpilo pri efikeco. Problemo estis tiel grava, ke al ĝia solvo oni allogis unu el eminentaj hidromekanikistoj Osborn Reynolds (elp. *osborn reynolds*) (1842-1912), kiu ricevis patenton pri multŝtupa pumpilo kun alaj direktigaj aparatoj inter laboraj radoj. Tia konstruo estas aplikata ankaŭ nun.

Al fino de pasinta jarcento elektromotoro kaj vapora turbino iĝis industriaj maŝinoj. Ekde komenco de la dudeka jarcento centrifuga pumpilo kun elektromotoro ricevas plian aplikon en Eŭropo kaj Ameriko, forpuŝante piŝtan pumpilon, ĉar diferenco en maso kaj dimensio estas tiel signifa, ke superis iujn, foje signifajn avantaĝojn de piŝta pumpilo antaŭ centrifuga pumpilo laŭ la efikeco. Dum tempo pro perfektigado de centrifugaj pumpiloj tiu diferenco laŭgrade glatiĝis ĉefe pro pliboniĝo de metodoj de kalkulo. Nun ĝi restas nur en sfero de tre tre altaj premoj kaj etaj transpumpoj, kie centrifuga pumpilo malgajnas laŭ efektiveco kontraŭ la piŝta.

La plej potenca pumpilo en la mondo funkcias en amerika Ŝtato Virĝinio. Ekstera diametro de ĝia labora rado estas 6,5 metroj, ofteco de rotacio — 257 turno minuto, alteco — 393 metroj, potenco — 457.000.000 vatoj. La plej malgranda centrifuga pumpilo, konata al la aŭtoro, havis eksteran diametron 8 milimetroj.

## 2.6. Aksaj pumpiloj

Se oni projektus centrifugan pumpilon por granda premo aŭ malgranda nombro de turno, tiam ĝia labora rado aspektus kiel telero, surmetita sur akson de rotacio. Se, male, oni supozus tre grandan transpumpo dum malgranda premo aŭ je granda ofteco de rotacio, tiam ĝi etendiĝus laŭ akso kaj transformiĝos laŭgrade en aksan kun movado de akvo laŭ akso de rotacio. Tiuj maŝinoj dekomence estis faritaj por transpumpo de aero: al aerumilo, aerbloviloj, kompresiloj. Efektiveco de tiuj maŝinoj estas difinata ne per geniaj konjektoj de la konstruantoj, sed per teorio, ĝusta kalkulo. Unuan fojon teorio aŭ laŭ nuntempa terminaro matematika modelo estis kreita fare de profesoroj Stodola (Svislando) kaj G. F. Proskura (USSR) en 20-ajn jarojn de XX-a jarcento. Poste ĝi impete evoluis en Rusio, en Eŭropaj landoj kaj Ameriko.



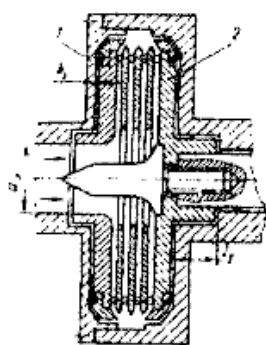
2.23. Aksa pumpilo

Aksa pumpilo (fig. 2.23) konsistas el rotor kun rulilo de relative granda diametro, sur kiu estas instalitaj aloj aŭ padeloj (kutime de 2 ĝis 8), similaj al mallongaj aviadilaj flugiloj. En rotor (labora rado) mekanika energio de movilo dum ĉirkaŭfluado de padeloj transformiĝas en potencialan kaj kinetikan energion de fluidaĵo (gaso). Malantaŭ labora rado troviĝas direktiga aparato, kiu konsistas el senmova sistemo de aloj. En direktiga aparato kinetika energio de fluidaĵo transformiĝas en potencialan. Ekzistas du bazaj variaĵoj de aksaj pumpiloj: kun aloj, fiksitaj sur aksingo senmova, kaj turniĝa — padelaj, havantaj mekanismon por ŝanĝo de angulo de turnigo de padeloj depende de reĝimo de laboro. Komplikeco de la konstruo ofte estas kompensata per pli alta ekonomio. Aksaj pumpiloj ofte estas faritaj kiel multŝtupaj, kaj aksaj kompresiloj estas preskaŭ ĉiam multŝtupaj.

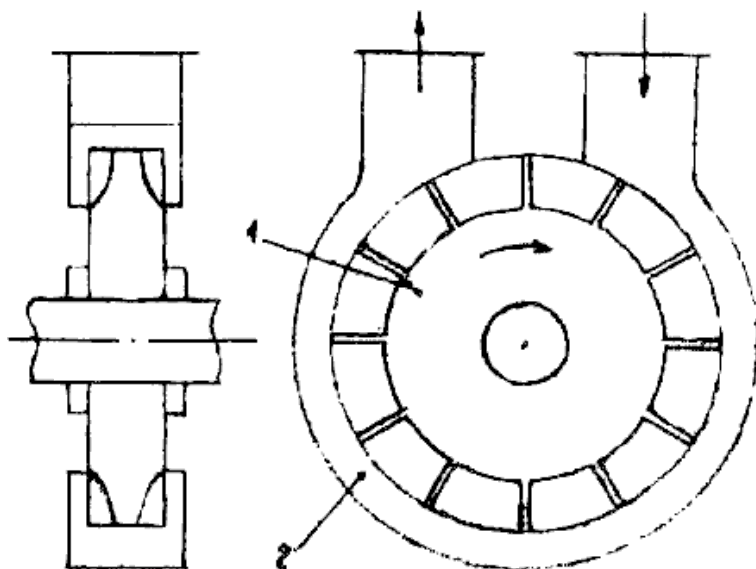
Aksaj pumpiloj estas aplikataj plej ofte en potencaj termoelektraj centrejoj, pumpilaj kluzaj instalaĵoj, ĉefliniaj kanaloj, irigaciaj sistemoj, en raketaj kaj aviadaj moviloj.

Alaj pumpiloj, centrifugaj kaj aksaj, havas en sia konstruo konfuzorajn, kaj, pli ofte, difuzorajn kanalojn. En konfuzoraj kanaloj rapideco de fluado de fluidaĵo pligrandiĝas, sed premo malpligrandiĝas. En difuzoraj kanaloj, male, rapideco de fluidaĵo malpligrandiĝas, sed premo pligrandiĝas. Do, fluidaĵo en tiuj kanaloj translokiĝas kontraŭ fortoj de premo laŭ inercio. Sur muretoj de kanaloj eroj de fluidaĵo pro viskozeco havas nulan rapidecon, en mezo de kanalo maksimuman. Formiĝanta proksime de kanalmureto apudlima tavolo kondiĉigas efektivecon de transformigo de energio en hidraŭlikaj kaj gasaj maŝinoj. Ĉar proksime al la muretoj eroj de fluidaĵo posedas relative malgrandan valoron de kinetika energio, ili povas formi rean fluan en direkto, mala al direkto de baza fluo en meza parto de kanalo. Priskribita fenomeno nomigas izoliĝo de fluo kaj interligiĝas kun grandaj perdoj de mekanika energio, difuzata kiel varmeco. Tial ĝustaj kalkuloj estas precipe gravaj en procedo de kreado de padelaj maŝinoj, precipe aksaj pumpiloj kaj kompresoroj. Por donitaj parametroj de maŝino inĝenieroj kalkulele elektas la plej bonan formon de padeloj kaj internaj konturoj de trunko. Efikeco de pumpiloj atingas 90 %-ojn.

## 2.7. Frotaj pumpiloj



2.24. Diska pumpilo de Tesla

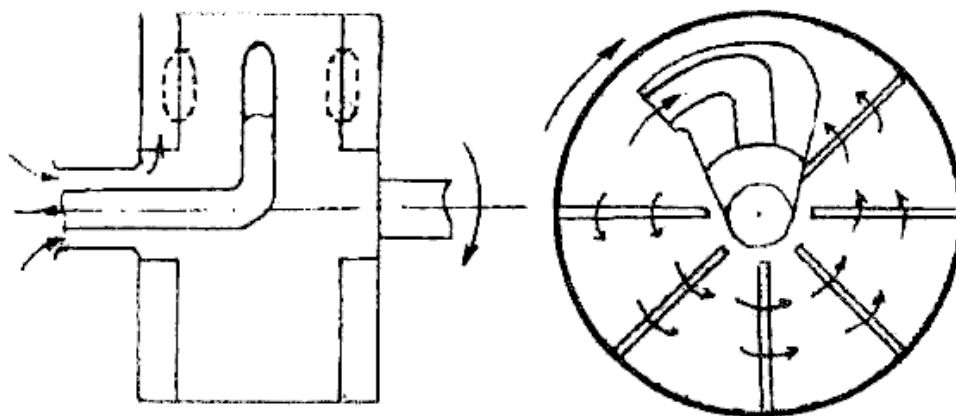


2.25. Pumpilo kun flanko kanalo

Laborkapacito de preparo de centrifugaj pumpiloj estas difinata per malsimpleco de formo de aloj de labora rado, estanta foje surfaco de dueca kurbeco. Tial en 1905 aperis konstruacio de radiusa maŝino sen aloj — diska pumpilo (fig. 2.24) kaj aliaj konstruaĵoj. Patenton pri ili ricevis fama inventisto en sfero de elektrotekniko Nikola Tesla. La maŝino konsistis el granda nombro de ringaj diskoj, starigitaj perpendikle al akso de rotacio. Labora medio, fluida aŭ gasforma, translokiĝis pro fortoj de froto. En efektivigitaj konstruoj nombro de diskoj ŝanĝiĝas de 18 ĝis 174, distanco inter diskoj de 0,1 ĝis 0,5, sed dikeco — de 0,1 ĝis 1,6 milimetroj.

Pumpiloj, inventitaj en la 30-aj jaroj de la 20 jarcento, estas: turnoblovaj, ĉerpaj, labirintaj, inerciaj... Baldaŭ post la unua mondmilito sfero de apliko de transpumpoj kaj premoj inter piŝtaj kaj centrifugaj pumpiloj komencis pleniĝi per maŝinoj, kiuj ne apartenas al jam konataj. Interese, ke kiel aŭtoroj en tiu tempo aperis produktantaj firmaoj, evidente elaĉetintaj ĉiujn rajtojn por ilia uzado. Diferenciĝante per malmultaj detaloj, ili aperis preskaŭ samtempe en Germanio kaj Usono.

Periferiaj aŭ turnoblovaj pumpiloj, (ankaŭ pumpiloj kun flankaj kanalo) ekstere memorigas centrifugan (fig. 2.25). Ĝi havas rotoron kun ĉeloj sur periferio, situantan en ujo kun ringa interspaco. La flankaj interspaco kaj la interspaco periferia inter enira kaj elira aperturoj, situantaj sur cilindra supraĵo de trunko, devas esti minimumaj. Fluidaĵo el ĉeloj de labora rado sub influo de centrifugaj fortoj transiras en trunkon, kaj, transdonante parton de sia kinetika energio al tie troviĝanta medio, revenas en aliajn ĉelojn. Farante ŝraŭbforman translokiĝon ĉiu ero dum troviĝo en la pumpilo kelkfoje trafas rotoron, ricevante de ĝi energion. Rezulte de tiu multŝtupa mekanismo de forta interagado la turnoblovaj pumpiloj povas okaze de samaj dimensioj, kiel la centrifugaj havi premon je iom da fojoj pli grandan, sed havante malplian valoron de efikeco.



**2.26. Pumpilo kun Pitot tubo**

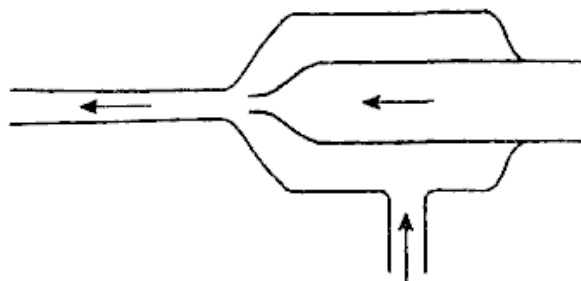
En ĉerpa pumpilo aŭ pumpilo kun Pitot (elp. *pito*) tubo (fig. 2.26), aperinta en kelkaj modifoj baldaŭ post periferia en Usono kaj Germanio, la forkonduka mekanismo kiel ĉirkaŭflua korpo kun kanalo — ĉerpilo, lokiĝas interne de rotacia ejo kun radiusaj aloj, fiksitaj sur ĝiaj flankaj vandoj. Ekstera supraĵo de trunko turniĝas en aera kavo de senmova ingo. Fluidaĵo venas en ringan kanalon kaj forkondukiĝas el tubeto, situanta laŭ akso de rotacio. Rotacio de roto transdoniĝas rezulte al kvanta movadinterŝanĝo inter eroj de fluidaĵo, foriĝantaj de padeloj kaj troviĝantaj en spaco inter senmova ĉerpilo kaj roto. En sfero de malgrandaj transpumpoj tiuj pumpiloj havas avantaĝon kompare kun centrifugaj kaj volumenaj. Krome ili povas transpumpi malpuriĝintajn kaj facilbolantajn fluidaĵojn.

Labirintaj pumpiloj, ellaborataj en Rusio en instituto de hidromaŝinkonstruado, estas destinitaj ĉefe por transpumpo de acidoj kaj aliaj agresivaj, sed malmulte viskozaj fluidaĵoj. Ili povas esti aksaj kaj radiusaj, sed pli ofte estas uzataj aksaj. Rotoro kaj ejo havas multalvenajn helicojn de inversa direkto. Dum rotacio de roto en procezo de ĉirkaŭfluo de ŝraŭbaj supraĵoj okazas forta interagado pro intensa apero de vorticoj. En kemia industrio estas aplikataj labirintaj pumpiloj kun transpumpo ĝis 10 litroj sekunde kun premo ĝis 150 metroj. Ofte labirintaj pumpiloj estas uzataj kiel dinamika kompaktigiloj, kiuj garantias hermetikon nur dum movado de laboraj organoj.

## 2.8. Strifluaj pumpiloj

Strifluaj pumpiloj (fig. 2.27) por transpumpo de akvo — akvostrifluaj, estas maksimume disvastigitaj

reprezentantoj de strifluaj aparatoj. Ili estas konataj sufiĉe delonge, sed historio ne konservis nomojn de kreintoj de tiuj konstruoj. Unuan samtempan konstruon kaj metodon de kalkulo donis en la 1853, jam menciita en la artikolo pri centrifuga pumpilo, Tomson (1822-1892), frato de fama fizikisto lordo Kelvin. En striflua pumpilo ne estas movaj detaloj. Fluidaĵo kun alta potenciala energio eniras en konusan kolektan mallongan tuban kondukilon, nomatan ajuto (surmetaĵo) aŭ korpo. Post pligrandiĝo de rapideco en la ajuto en kamero de miksado okazas interŝanĝo de kvanto de movado inter eroj de labora fluidaĵo, elirata el ajuto kaj donita substanco. En konusa difuzoro kinetika energio de miksaĵo de labora kaj pasiva fluidaĵoj transiras en potencialan. Strifluaj pumpiloj estas facilaj laŭ konstruo kaj tre fidindaj en ekspluatado, sed ilia efikeco ne superas kutime 30%-jn.



2.27. Striflua pumpilo

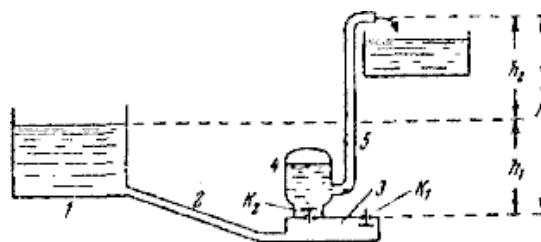
Miksataj fluoj de fluidaĵo povas havi egalajn (akvo-akvo aŭ aero-aero) kaj diversajn (akvo-aero aŭ vaporo-akvo) fazajn statojn. Kreado de vaporakva striflua aparato estas merito de skota fizikisto kaj inĝeniero Rankin (elp. *renkin*) (1820 – 1872).

## 2.9. Gasliftoj

Gasliftoj estas mekanismoj por levi gutan fluidaĵon, havata miksite kun gaso. Gasliftojn oni aplikas por levi nafton el boraĵoj helpe de gaso, eliranta el naftportaj tavoloj, kaj por transpumpo de akvo per premita aero. Gaso aŭ aero formas en kamero de miksado emulsion, kiu leviĝas pere de vertikala tubo. Agado de la mekanismo estas fondita laŭ leĝo de komunikeblaj ujoj: unu el ili estas bortruo aŭ rezervujo, sed alia estas tubo kun emulsio. Gasliftoj povas levi akvon je alteco ĝis 200 metroj kaj nafton — ĝis 1000 metroj, ĉe unuhora transpumpo ĝis 500 kubaj metroj. Malgraŭ malalta efiko (ne pli ol 36%-oj), gasliftoj estas uzataj ankaŭ nuntempe.

## 2.10. Hidraŭlika ramo

Hidraŭlika ramo (fig. 2.28) aŭ breĉo estis inventita en 1776 de anglo Whaytt (elp. ŭajt), denove elpensita en Francio de Joseph Montgolfier (elp. *mongolfie*) (1740-1810), la fama inventisto de aerostato, en la 1796. Poste ĝin esploris kaj perfektigis diversaj sciencistoj kaj inventistoj, inter ili — "patro de rusa aviado" N. E. Ĵukovskij. Tiu mekanismo servas kiel pumpilo, funkciigata per akvo kaj levanta akvon al pli alta nivelo per plimalgrandigo de kvanto de levata akvo. En hidraŭlika ramo enestas movaj detaloj, sed ili ne partoprenas procezon de energitransformado, tio estas manipulantaj klapoj. Akvo el rezervujo laŭ sufiĉe longa tubo trafas en trunkon, havantan du klapojn: enlasan, kiu malfermiĝas dum movado internen en la ujon, kaj laboran, malfermatan eksteren, en aeran kloŝon, kiu estas ujo kun akvo, parte plenigita per aero.



2.28. Hidraŭlika ramo

Komence ambaŭ klapoj estas fermitaj. Por funkciigi la sistemon necesas malfermi ellasan klapon, mallevinte ĝin suben. Akvo komencas trans ĝi flui kun laŭgrade kreskanta rapideco. En iu momento premŝanĝo sur la klapo superos ĝian pezon. La klapo rapide fermiĝos, elfluo de fluidaĵo ĉesos kaj okazos fenomeno de hidraŭlika bato, detale esplorita fare de N. E. Ĵukovskij dum studado de paneo en Mitiŝĉinskij akvodukto. Mekanismo de tiu fenomeno estas tia: ĉe subita bremsado sufiĉas longa kolono de akvo, ĝia kinetika energio transformiĝas en potencialan kaj premo en fosto de akvo akre leviĝas. Formiĝinta kunpremo disvastiĝas en direkton, malan al la komenca movado de akvo, kun rapideco de sono (pli ol 1000 metrojn sekunde). La postsekvoj moderiĝas dank' al tio, ke ĉiu tubo estas ne tute malmola kaj povas elaste vastiĝi pro interna premo. Tamen, en ordinara akvokondukta tubo rezulte de hidraŭlika bato eblas plialtiĝo de premo 10-20-oble aŭ 150-oble pli ol atmosfera. Tial ĉiujn akvokondukajn kranonj oni faras ŝraŭbajn, por bari strifluon de akvo malrapide.

Hidraŭlikaj breĉoj ankaŭ nun estas aplikataj en vilaĝaj teritorioj en sistemoj de akvumado. Estas interese atenti, ke procezo, okazanta en tiu ĉi mekanismo, prezentas plenan analogion (almenaŭ en kalkuladoj) kun procezoj en generatoro kun neona lampo.

## 2.11. La plej bona pumpilo en la mondo

Koro estas pumpilo, transpumpanta sangon. En trankvila stato ĝi transpumpas 5 litrojn da sango minute, kreante en arterio premon super 100 milimetroj de hidrarga kolono, kio konformas al 1,5 metroj de la akva. Potenco de koro estas proksimume 2,5 vatoj. Koro en minuto kuntiriĝas de 60 ĝis 100 fojoj. Dum ŝarĝadoj nombro de kuntiriĝoj pligrandiĝas, sed transpumpo atingas 30 litrojn minute. Dum jaro ĝi kuntiriĝas ĉirkaŭ 40 milionoj da fojoj, kaj dum 75 jaroj de vivo koro transpumpas ĉirkaŭ 5 milionojn da litroj da sango, farinte 3 miliardojn da kuntiriĝoj. Sciencistoj kaj inĝenieroj jam de multaj jaroj laboras por krei artefaritan koron, sed dume ankoraŭ ne estis kreitaj pumpiloj de tiom alta efikeco kaj fidindeco.

## 2.12. Elektromagnetaj pumpiloj

Por transpumpo de fanditaj metaloj kaj aliaj elekrokondukaj fluidaĵoj en lastaj jaroj estis kreitaj diversaj variaĵoj de magneto-hidrodinamikaj pumpiloj. Magneta kampo de induktilo kunagadas kun kampo de elektra kurento, indukata en trairanta fluidaĵo tra la pumpilo. Laŭ principo de agado la indukanta pumpilo estas analoga al malsinkrona movilo, en kiu fluida kondukilo estas bobenaĵo de rotoro. Tiuj pumpiloj estas aplikataj en nuklea tekniko kaj meta-lurgio. Dum laborado ĉe trifaza ŝanĝiĝanta kurento ili havas efikecon de 20 ĝis 50%.

Alia variaĵo de magneto-hidrodinamikaj pumpiloj estas kondukta, kiu povas labori kiel ĉe konstanta, tiel ankaŭ ĉe ŝanĝiĝanta kurento. Direkto de movado de fluidaĵo en kanalo en tiu okazo estas difinata per regulo de la maldekstra mano.

Por translokigo de unupoluse ŝanĝataj kaj polusigitaj fluidaĵoj kaj gasoj estis kreitaj elektro-hidrodinamikaj pumpiloj, efektivigantaj transformon de energio de elektra kampo en mekanikan energion. Tio estas, ekzemple, jono-konvekta pumpilo.

Interesan pumpilon kreis L. A. Jutkin surbaze de elektrohidraŭlika efekto malkovrita de li. La esenco de tiu efekto estas sekva: ĉirkaŭ zono de speciale formita impulsa elektra malŝargiĝo interne de fluidvolumeno, troviĝanta en malferma aŭ ferma ujo, aperas superaltaj hidraŭlikaj premoj, kiuj povas fari mekanikan laboron por translokigo de fluidaĵo.

## 2.13. Iom pri pumpiloj

Ĉiujn pumpilojn nuntempe oni dividas je du klasoj: volumenaj kaj dinamikaj. En dinamika pumpilo fluidaĵo (ekzemple akvo) translokiĝas sub efiko de forto en kamero, konstante ligita kun enirejo kaj elirejo de pumpilo. En volumena pumpilo fluidaĵo translokiĝas laŭ perioda ŝanĝo de ĝia volumeno, kaj kamero alterna ligiĝas kun enirejo kaj elirejo de la pumpilo. Tiamaniere, en dinamika pumpilo kreiĝas konstanta fluo de akvo, sed en volumena pumpilo — pulsanta. En volumena pumpilo ekzistas malmola kinematika ligo inter translokigo de labora kamero kaj transdono de akvo: ju pli multas la volumeno de kamero kaj rapido de ĝia translokigo, des pli granda estas transdono. En dinamika pumpilo ne estas tiu dependeco, tamen, dum pligrandigo de rapideco akvon aŭ alian fluidaĵon eblas levi al plia alto. Do, la bazaj parametroj de ajna pumpilo estas dono — volumeno de fluidaĵo donata dum unuo de tempo, premo — alto, al kiu pumpilo povas levi fluidaĵon, kaj la efikeco.

Divido de maŝinoj je volumenaj kaj dinamikaj taŭgas ne nur por hidraŭlikaj maŝinoj kiuj kiel laboran objekton uzas diversajn fluidaĵojn, sed ankaŭ por gasaj kaj vaporaj, kiuj estas priskribataj en la aliaj partoj. Dinamikaj kaj volumenaj estas ankaŭ maŝinoj, al kiuj oni devas alkonduki energion (pumpiloj, ventoliloj, kompresoj,..) kaj maŝinoj — moviloj (motoroj, turbinoj...).

La vorto "hidraŭlika", "hidraŭlika" trafis en multajn lingvojn de la mondo el la antikva greka. Tio estas kunmetitaj vortoj: la unua radikoj "hidr"- estas akvo, la dua "raŭl"- kanalo, fluejo. La signifo de tiu ĉi termino dum jarcentoj ŝanĝiĝis: komence ĝi signifis sperton konstrui kaj subtenadi en ordo kanalojn, poste — regulojn de konstruado de tiaj muzikiloj, kiel akvaj organoj. Nun hidraŭlika estas komprenata kiel

scienco, kiu studas leĝojn de egalpezo kaj movado de fluidaĵoj kaj metodojn de ilia uzo por solvo de praktikaj problemoj. Do nuntempe okazas kunigo de nocioj "hidraŭliko" kaj "mekaniko de fluidaĵo". Tamen, teorio kaj, aparte, praktiko de hidraŭlikaj maŝinoj estas speciala sfero de homagado, iam uzinta siajn proprajn metodojn.

Daŭran tempon pumpiloj destinitis por levo de akvo kaj transpumpo de ĝi al konsumanto. Tamen en la nuna tempo sfero de ĝia apliko estas neordinare larĝa kaj varia. Krome en komunuma kaj industria akvoprovizado pumpiloj estas aplikataj por akvumado, hidroakumuligo, trafiko. Ekzistas pumpiloj de termikaj kaj atomaj elektraj centrejoj, ŝipaj pumpiloj, specialaj tipoj de pumpiloj por kemia, nafta, papera, torfa kaj aliaj branĉoj de industrio. Kiel helpaj mekanismoj pumpiloj eniras en plimulton de maŝinoj por garantio de lubrikado. Pumpiloj estas unu el maksimume disvastigitaj tipoj de maŝinoj, ĉe tio ilia konstrua diverseco estas ekskluzive granda. En la mondo 20%-oj de produktata elektra energio estas uzata por transmisio de pumpiloj. Krom tio multaj pumpilaj agregatoj estas ligitaj kun hidraŭlaj, vaporaj kaj gasaj turbinoj, motoroj de interna brulado, ventaj motoroj. Pumpiloj transpumpas diversajn fluidaĵojn: puregan artezan akvon kaj fekaĵojn, acidojn kaj alkalojn, likvan hidrogenon kaj fanditan metalon, vinon kaj lakton, oleon kaj fluidaĵojn kun abraziaj eroj. Nuntempe plej korekte estas difini pumpilon kiel maŝinon por transformo de mekanika energio de movilo en energion de transpumpa fluidaĵo. Tia pli ĝenerala difino aperigas energetikan esencon de tiu maŝino kaj fizikon de en ĝi okazantaj laboraj procesoj.

Simileco de fizikaj ecoj de fluidaĵoj kaj gasoj permesas determini similecon inter pumpiloj kaj energetika grupo de gasaj maŝino — aerumiloj, gasobloviloj, kompresoroj, transformiloj de mekanika energio de movilo en energion de gasa stato. Iugrade tiuj maŝinoj estas parencaj al malaj maŝinoj laŭ procesoj — al piŝtaj moviloj, hidraŭlikaj, vaporaj kaj gasaj turbinoj. Ni rimarku, ke ekzemple dum laborado de aerumilo, premecon de gaso en multaj kazoj eblas ignori.

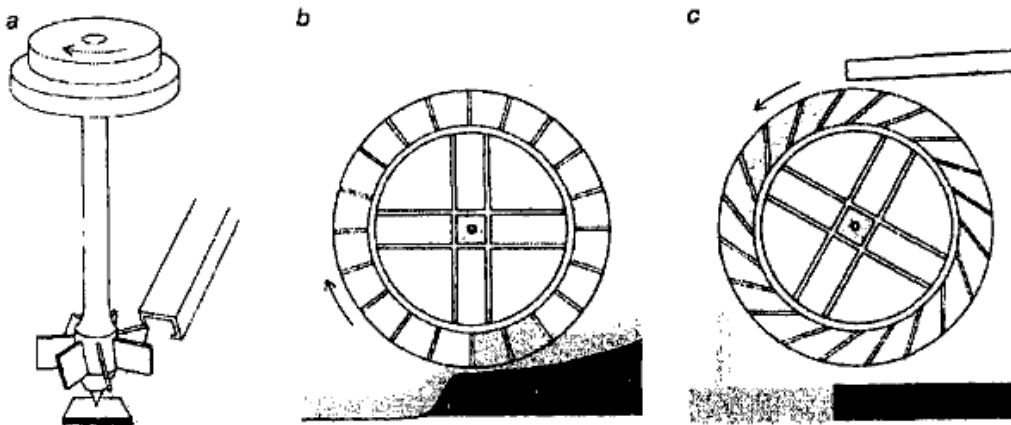
En la ĉapitro estas priskribitaj multaj pumpiloj, inkluzive inventitajn en lastaj jaroj. Eĉ ne unu el ili povos fariĝi monopolisto inter analogaj maŝinoj kaj mekanismoj. La historio de la tekniko, kiel regulo, lasas por ĉiu klaso de mekanismoj sian specifan sferon de apliko. Vere, iuj inventaĵoj restas tamen nur en la historio.

## **3. Akvaj radoj kaj turbinoj**

### **3.1. Akvaj radoj**

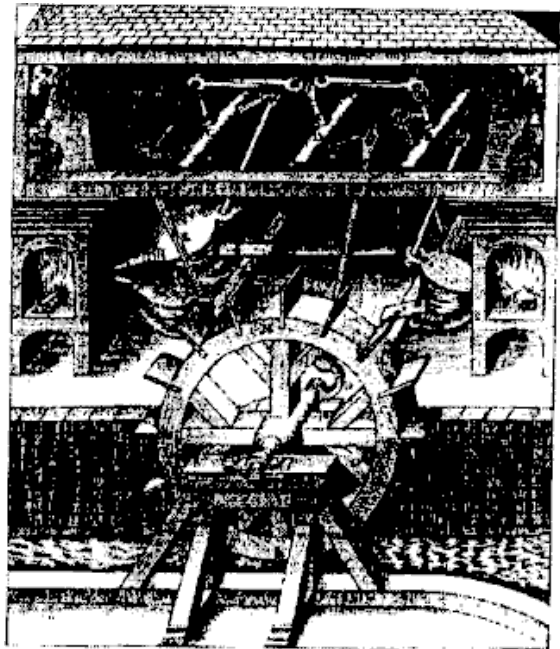
La unuan priskribon de akva rado donis Vitruvius, arkitekto kaj inĝeniero de Antikva Mondo, samtempulo de Julius Cezar kaj imperiestro Augustus. Tamen, multaj sciencistoj opinias, ke tiun ĉi maŝinon inventis ne romanoj, sed "barbaroj", loĝintaj en norda Italio (antikva Gallio Cizalpa). En tiu parto de la duoninsulo estas multaj akvoriĉaj riveroj kompare kun sekeca antikva Mediteranea regiono. Laŭ ideo de d' Hoff, akva muelilo kun horizontala rado kaj vertikala ŝafto estis konata en Ilirio ekde la 2-a jarcento a.K.

Plej probable instigo por kreado krom neceso havi rimedon por muelado de greno estis observi influon de la fluo al moveblaj kaj statikaj objektoj: trunkoj de arboj, bariloj de kanaloj, apogiloj de pontoj k.s. Vitruvius sufiĉe detale priskribas konstruon kaj produktadon de la akva rado por farunmuelilo. Al ŝafto el precize dehakita aŭ per tornostablo tornita stango oni alligas kvar aŭ ok tabulojn, kiuj estas interligataj per du plataj ringaj vangoj. Inter la vangoj estas instalataj radiuse aŭ klinigite plataj aloj, aŭ fosiletoj. Ofte, ĉe malgrandaj ampleksoj, mankas la vangoj. Pintoj de la ŝafto estas kovritaj per fero. La ŝafto instaliĝas sur bazo en larĝo, kiuj ene ankaŭ ferkovriĝas. La ŝafto povas esti vertikala (tiam rado turniĝas en horizontala ebena) aŭ horizontala (tiam la rado turniĝas en vertikala ebena). En la unua okazo akvo al la rado venas laŭ la speciala kanalo, en la dua la rado situas senpere sur la rivero. Vertikala ŝafto facile ligeblas kun muelilaj muelŝtonoj, sed la rapideco de la plejmultaj radoj estas sufiĉe malrapida por plejmulte da mekanismoj. Okaze de uzo de dentrada transmisio avantaĝo de radoj kun horizontala akso iĝas senduba. Tial tiu tipo de akva rado ege rapide iĝis la ĉefa. Iam anstataŭ flankaj vangoj ŝafto estis ligita al cilindra radringo, sur kies ekstera flanko situis aloj.



**3.1. Specoj de akvaj radoj**

Potenco de horizontale instalita rado kun vertikala ŝafto ne estis pli ol 1 ĉ.f. (ĉevala forto), efikeco estis de 5% ĝis 15%. La plej vaste estis uzataj demalsupreverŝaj aŭ malsuprefluaj (malsuprepuŝataj) radoj kaj desupreverŝaj aŭ suprefluaj (suprepuŝataj) radoj (fig. 3.1-2). La unuaj estis pli facilaj kaj bezonis malpli da elspezoj por produktado. Demalsupreverŝaj radoj povis funkcii en ajnaj fluoj ĉe modera akva rapideco. Ili funkciis plej efektive en la mallarĝaj fluoj kaj kanaloj. Potenco de demalsupreverŝa rado kutime estis 3-5 ĉ.f. kaj efikeco — 20-30 %. En la desupreverŝaj radoj akvo falis desupre sur alojn aŭ ĉerpilojn, alkrōitaj al radringo. La rado moviĝis kaj pro frapa ago de akvo kaj pro ago de gravito. Por funkciado de suprenverŝaj radoj necesas plialtigi akvonivelon per helpo de digoj, tial ofte elspezoj por konstruado de muelilo estis pli ol ĉe uzo de demalsupreverŝaj radoj. Certe, pli alta estis efikeco. Ĉe alteco de akvofalo de 3 ĝis 12 metroj desupreverŝaj radoj havis efikecon 50-70% ĉe potenco ĝis 40 ĉ.f. (ĉevalaj fortoj).



**3.2. Akva rado**

Kelkfoje estis uzataj demezverŝaj radoj, en kiuj akvo estis alkondukita desupre, sed ne al la plej alta punkto de la rado, sed al la meza. Tiuspecaj maŝinoj bezonis malpli da konstruelspezoj. La plej potenca en la mondo akva rado (45 ĉ.f.) estis konstruita laŭ tiu ĉi metodo en Rusio en urbo Narva. Diametro de la rado estis 9,2 m, rotacifrekvenco atingis 4 turnojn minute.

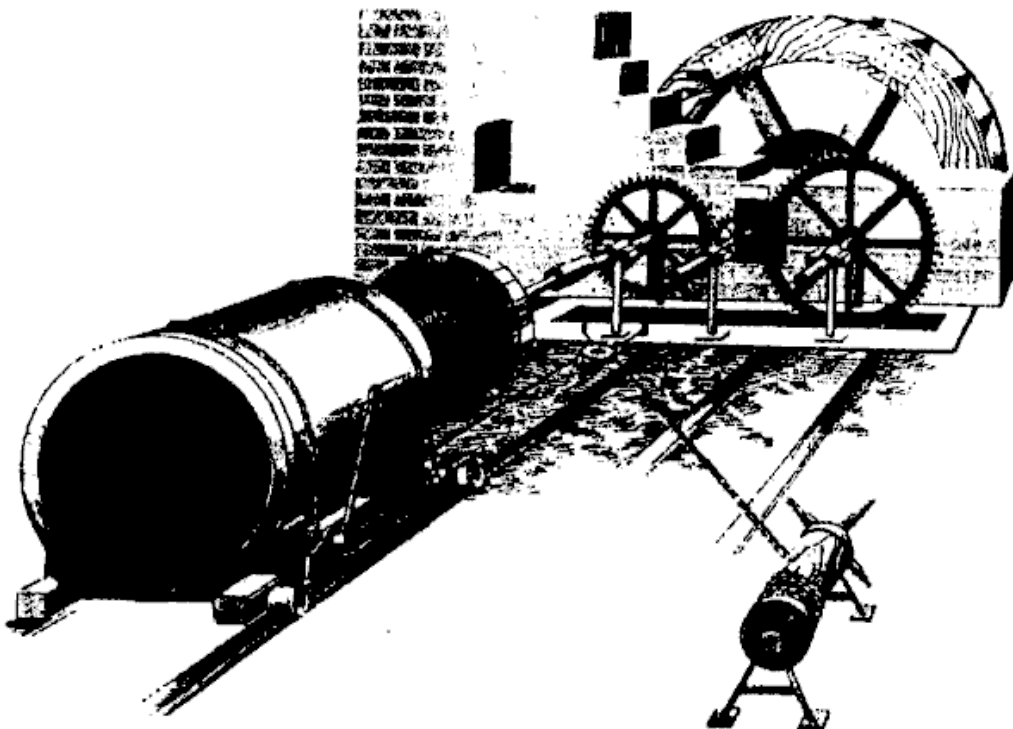
La unuaj akvaj radoj estis faritaj plene el ligno. En la XIX-a jarcento aperis feraj radoj, ili estis pli rapidaj kaj faris ĝis 20 turnojn minute ĉe radoj por laminatiloj.

En la X-a jarcento "Sent-Bertinaj analogoj" priskribis abatan konstruadon de akva muelilo ĉe Sent-Omer kiel "mirinda vidindaĵo de nia tempo". En la XI-XIV-a jarcentoj okazas intensa disvastigado de akvaj mueliloj tra Eŭropo. Ekzemple, en la X-a jarcento en unu el distriktoj de Ruan ekzistis du mueliloj, en la XII-a jarcento aperas kvin novaj, en la XIII-a — ankoraŭ kvin novaj, kaj en la XIV-a jarcento — ankoraŭ dekkvar.

Eklezia aristokrataro devigis iumaniere evoluigi teknikan provizadon de monakejoj por malaltigi elspezojn por materiaj bezonoj. Monakaj ordenoj ofte estis en la avangardo de modernigo de akvaj kaj ventaj mueliloj, agrikulturiloj. En la frua Mezepoko al tiu aŭ alia sanktulo oni atribuis inventon de la muelilo, kvankam li nur konstruis ĝin en tiu provinco. Akva muelilo komence estis uzata nur por grenmuelado. Konforme al statuto de Benedikto Nursia monakoj devis esti izolitaj de la mondo, mastrumante propran farmon, okupiĝante kaj pri manlaboro kaj pri spirita agado — meditado, legado de libroj kaj preĝado. Mekanizado de tiom streĉa laboro, kiel ekzemple, grenmuelado, permesis havi pli mute da libera tempo for de manlaboro. Ankaŭ feŭdoj akcelis evoluigadon de tekniko, devigante siajn vasalojn transporti la grenon nur al siaj mueliloj. Monopolo komence rilatis nur grenmueladon, sed poste ĝi disvastiĝis al aliaj laboroj. Konforme al "Libro de terura juĝo" (1086) en Anglio fine de la XI-a jarcento estis 5624 mueliloj. Muelilo estis centro de la komunikado, ĉar kamparanoj, altportintaj tien grenon, devis vicatendi la farunon. Kun granda probableco oni povas ankaŭ supozi, ke tie estis pridiskutataj la novarangoj. Ankaŭ de tie ili komencis

disvastiĝon. Ĉe mueliloj, probable maturiĝadis pensoj pri kontraŭregaj ribeloj. Estas du faktoj: statutoj de monakaj ordenoj instrukciis kolekti ĉe mueliloj oferojn. Putinoj tiom ofte vizitadis la muelilojn, ke oni ordonis al monakoj kontraŭbatali ilin tie.

Poiomete aplikkampoj de hidroenergio plivastiĝis: en drapoproduktado, por prilaborado de kanabo, ledoj, en bierkuirado, por pliakrigo de instrumentaro. Tiuj procedoj pasadis ne sinkrone, iam regrese. Anglio spertis veran prosperon nur ekde fino de la XIII-a jarcento, kaj oni vidas en tio veran "industrialan revolucion". Ferproduktanta muelilo estas simbolo de plialtigo de forĝnivelo en la XIII-a jarcento, kvankam la unua mencio pri ĝi okazis en la jaro 1197 rakontante pri monakejo en Svedio. La unua papera muelilo ekzistis ekde la jaro 1238 en Jatova (Hispanio), en Italio ĝi aperis en la 1268-a jaro (Fabriano), en Francio — en la 1338-a jaro (Trua), kaj en Germanio — en 1390 (Nurenbergo). Dume hidraŭlika segilo en la jaro 1240 estis raraĵo. Kunigo de akva rado kun pugnetaj aŭ kurbpivotaj mekanismoj permesis rimarkinde plilarĝigi ĝian aplikadkamon. Al la XVI-a jarcento akva energio estis uzata en ne malpli ol 40 diversaj produktadprocedoj. Ĝis la jaro 1750 la tendenco restis. Por pligrandigi kapaciton oni komencis apliki pogrupan lokigon de la radoj. Tial komencinta fine de la XIX-a jarcento ŝanĝo de akvaj radoj per vapormaŝinoj ne havis grandajn postsekvojn en la industrio, ĉar potenco de la unuaj vapormaŝinoj estis ne pli ol 20 ĉ.f. Komenco de industria revolucio estis ligita al vasta uzado de akva energio unuavice por kotonŝpina produkado. Samtempe kun plivastigo de aplikadkampo okazadis ankaŭ modernigo de radkonstruo. Ekzemple en 1826, kiam aperis la unua akva turbino, franca mekanikisto kaj inĝeniero Poncelet (elp. *ponsele*) proponis novan hidraŭlikan movilon kun fleksitaj radoj kaj centripeta movo de akvo: de la radrando al la centro. Kaj eĉ klasikaj akvaj radoj pro la plej favora kombino de amplekso kaj formo atingadis poiomete limon de siaj kapabloj. La plej rimarkindaj laboroj estasigitaj kun la nomo de grava angla inĝeniero John Smeaton (elp. ĝon smiton), samtempulo de inventinto de vapormaŝino Watt (elp. *Ŭat*) (fig. 3.3). Tial akvaj radoj estis daŭre konstruataj en la XIX-a kaj eĉ en la XX-a jarcentoj, poiome cedante la lokon al aliaj energetikaj maŝinoj. Ekzemple, laŭ censaj rezultoj, en uralaj uzinoj funkciis pli ol 1600 akvaj radoj kun komuna potenco ĉirkaŭ 30 kilovatoj. En montaj regionoj de Eŭropo ĉe malgrandaj riveroj akvaj mueliloj ĝis nun daŭre priservas homojn, senlace kaj senbrue turniĝante pro murmura torento de diafana strifluro.

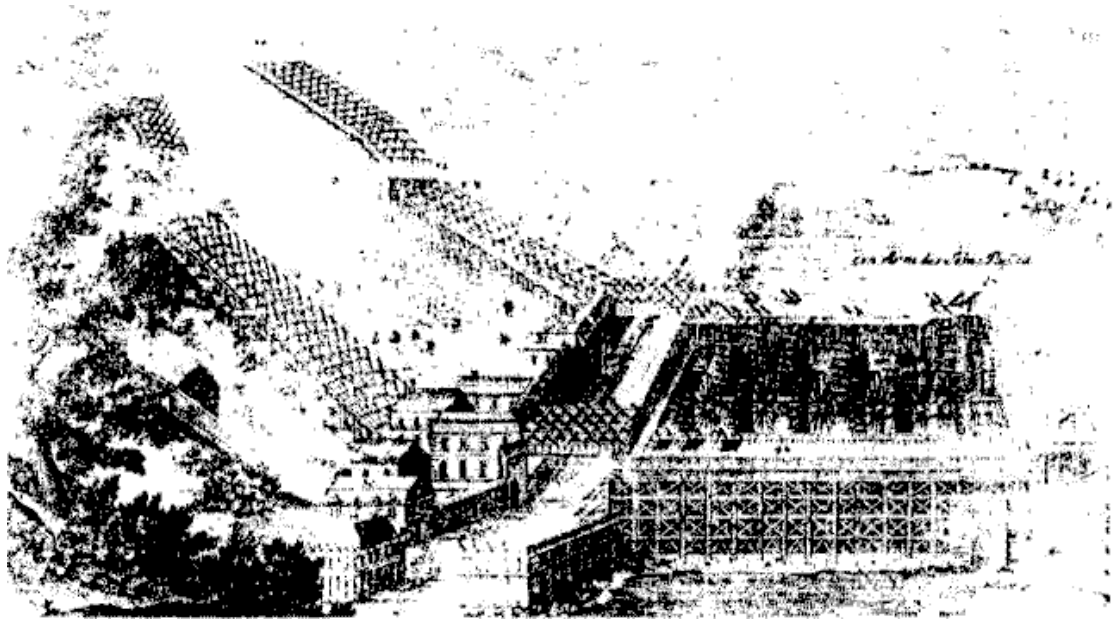


3.3. Akva rado de Smeaton kun tornilo

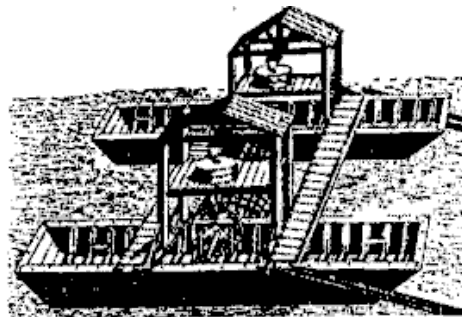
### 3.2. La plej interesaj konstruaĵoj kun akvaj radoj

En la XVI—XVII-a jarcentoj en Eŭropo por akvoprovizado de urboj estis uzata alkonduko de piŝtaj pumpiloj, instalitaj sub pontaj arkoj. Unuan fojon tiuspeca komplekso estis farita en 1570, en Dancigo (Gdansk), kaj en 1582 nederlanda inĝeniero Peter Morice (elp. *moris*) proponis tiun ĉi sistemon al lordurbestro kaj al senatanoj de Londono. Akvon ricevadis la plej supraj etaĝoj de la plej altaj konstruaĵoj, kaj dum la unuaj provoj strifluro estis pli alta, ol preĝejpinto de la sonorilejo de Sankta Magnus, situanta apude. Akvofala

stacio ĉe Londona ponto tiom impresis samtempulojn el diversaj socitavoloj, ke al la inventisto kaj liaj heredantoj estis donita lurajto de tiu ĉi ponto por 500 jaroj. Estonte por transportado de akvo oni komencis uzi pumpilojn de Samuel Morlend — de diplomato kaj inventisto, vivanta dum Anglia burĝa revolucio. Ili distingigis per granda paŝo, piŝto estis farita el kupro kaj gisa cilindro havis ledan manumon.



**3.5. Akva komplekso en Marli**



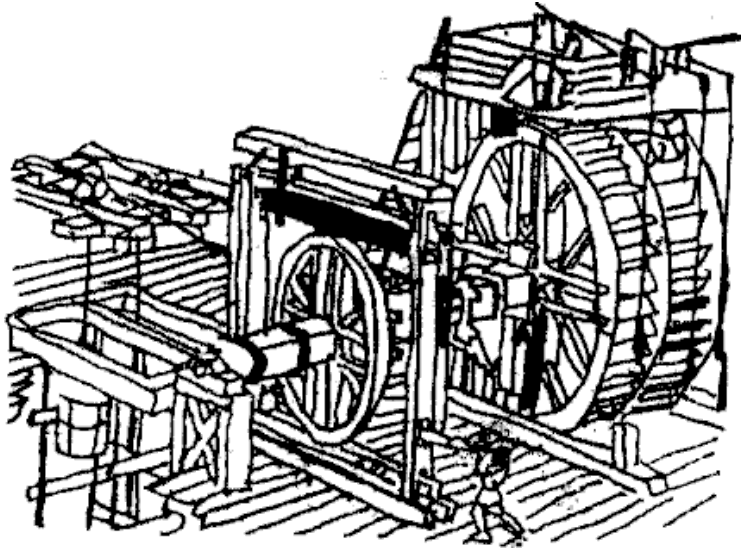
**3.4. Flosa akva rado**

En la XVII-a jarcento laŭ ordono de reĝo Ludoviko la XIV-a grandioza komplekso estis konstruita en proksimeco al Versailles en Marli sur la rivero Seine (fig. 3.5). La projekto estis prezentita en oktobro 1678 de dudekjaraĝa oficiro Arnold d'Villier (elp. *vilje*), poste estis produktita modelo. Konstruado sub gvidado de flamanda inĝeniero Soualle (elp. *sual*) estis daŭrigata de 1679 ĝis 1686. Digo alkondukis akvon al 14 malsuprepuŝaj radoj. Ĉiu rado havis diametron 11 metrojn kaj larĝecon 2,3 m. Kun helpo de sistemo de balanciloj kaj kurbpivotaj mekanismoj radoj movis 259 piŝtajn pumpilojn, disdividitaj je tri grupoj kaj instalitaj sur tri niveloj. La unua grupo transportadis akvon al alteco de 50 metroj, la dua — ankoraŭ al 75 metroj kaj finfine la tria transportis la akvon en la akvedukton, situantan je kilometro de la rivero en alteco de 152 metroj. Poste akvo memstare atingadis famajn Versalajn fontanojn. "Maŝino de Marli" estis la plej potenca aparato de sia tempo, sed kapacito ĉe ŝafto 500 ĉ.f. al pumpiloj atingis nur 150. La resto perdiĝis en grandega transmiŝilo.

En la 20-aj jaroj de XVIII-a jarcento en Uralo en Jekaterinburgo estis konstruita grandega digo, provizanta funkciadon de 50 desupreverŝaj radoj. Industria komplekso surbaze de tiu ĉi energia instalaĵo provizis funkciadon de 22 martelegoj, 107 balgoj kaj 10 tirmaŝinoj. Gravan kontribuon en konstruadon de hidromaŝinoj en Uralo aldonis elstara mina inĝeniero V. I. Roĵkov. Akvaj radoj de uralaj uzinoj kutime situis ene de produktadmetiejoj por

eksploatadprovizo dum severaj rusaj vintroj.

Pinto de rusa kaj tutmonda energetiko surbaze de desupreversaj akvaj radoj estas famaj instalaĵoj de rusa inĝeniero K. D. Frolov en Altajo (fig. 3.6). Por ricevi liman kapaciton Frolov konstruis la plej grandajn akvajjn radojn en la mondo kun ekstera diametro ĝis 19 metroj (tielnomata "elefanta rado"). En Rusio ĉarpentado ĉiam estis sufiĉe evoluigita, sed tiomampleksan lignan radon ne eblis konstrui sen profundaj scioj, ricevataj en minuzina lernejo kaj surbaze de sperto de la antaŭaj konstruadoj en Uralo, en Peterburgo kaj en gepatra Altajo. Samtempulojn impresis ankaŭ la

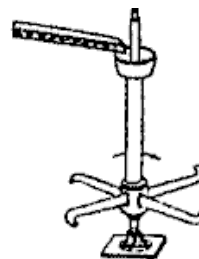


3.6. Akva rado de Frolov (Rusio, Altaj)

aliaj partoj de la konstruaĵo de minejoj en Zmeinogorsk: pumpiloj, digoj kaj lagoj kun akvoprovizo. Kelkaj pumpiloj transportis akvon je granda distanco al aliaj akvaj radoj de malpli alta grandeco kaj kapacito. Tial, K. D. Frolov kreis unu el la unuaj hidrotransmisioj. En la minejo akva energio provizis elpumpadon de akvo, suprenigon de erco kaj ĝian tralavadon, transportadon de vagonetoj. Ni donu priskribon de admirita samtempulo: "Kiu vizitis Zmeinogorskan minejon, tiu, certe, plezure pririgardis laborojn plenumatajn en ĝi, ŝajne superantajn homarfortojn kaj mekanikajn rimedojn, plifaciligantajn laboron de ministoj pri eligo de trezoroj teraj. Mirigita turisto demandas senantaŭplane: de kiu estis aranĝitaj tiuj grandegaj radoj, kiuj ekzistas en neniu el la rusiaj minejoj? Inventisto de tiu mekanismo estas berg-gaupman' de la 6-a klaso Kuzma Dmitrieviĉ Frolov. (*Mina revuo*, vol. 7, paĝo 159, 1827).

### 3.3. Akvaj aŭ hidraŭlikaj turbinoj

En la jaro 1750 hungaro János Segner (elp. *janoŝ zegner*), laboranta de 1735 ĝis 1755 kiel profesoro pri fiziko kaj matematiko de Getinga Universitato proponis al ĉies pritakso akvan radon de nova tipo. Ĝi similis al la agadprincipo de la fama eolopilo\*[per vaporo funkcia maŝino] de Heron el Aleksandria en la antikva tempo. Segnera rado (fig. 3.7) (tiu nomo restis ĝis nuntempo) konsistas el vertikala alkonduka tubo, al kiu estas fiksataj libere turnantaj horizontalaj tuboj kun horizontalaj defleksitaj malfermitaj finaĵoj al diversaj flankoj. Tra truoj estas elverŝata likvaĵo turnante radon konforme al leĝo de impulskonservado. Nuntempe tiu ĉi mekanismo estas uzata kiel demonstramodelo kaj por irigacio. En Eŭropo invento de Segner elvokis grandan intereson, ĉar ĉiuj konataj tipoj de akvaj radoj ne povis kontentigi kreskantajn industriajn bezonojn. Sed efikeco de tiu ĉi maŝino estis nur ĉirkaŭ 50%.



3.7. Rado de Segner

Plej probable tial membro de Peterburga Akademio de la sciencoj Leonard Euler (elp. *leonard ojler*) en 1751-1755 analizis funkciadprocedon de Segnera rado, kreinte bazojn de teorio de alaj maŝinoj. Euler proponis ankaŭ sian konstruon de hidraŭlika movilo kun nmovebla direktanta aparato kaj laborrado kun kurbiĝitaj aloj. Ĝi ne disvastiĝis vastskale, ĉar ĝia energetika valoro negrave diferencis de efikeco de antaŭe konataj maŝinoj kaj estis samtempe komplika kaj multekosta konstruaĵo.

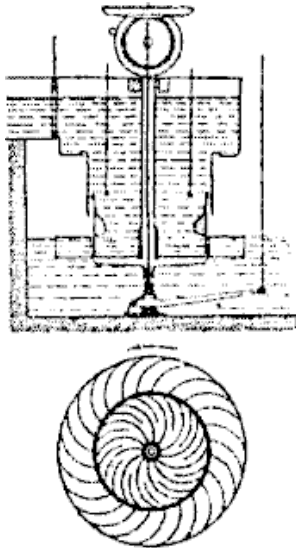
Necesas rimarki, ke en 1745 en Londono estis publikigita libro de Dusageillier (elp. *djugagelje*), en kiu estis donita detala priskribo de akva movilo, inventita en Anglio per Barkers, kiu estas preskaŭ sama kun Segnera rado laŭ konstruo.

Kaj Segnera rado sukcesis elimini ĉefan mankon de malnovaj modifoj: uzo por alkonduko kaj forigo de akvo nur de parto de la laborrado. Estas evidente, ke desupreversaj kaj demalsupreversaj radoj ne povas funkcii okaze de plena enakviĝo.

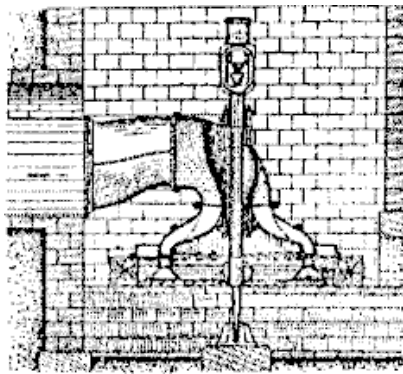
En la jaro 1823 Societo por subteno de nacia industrio de Francio anoncis konkurson kaj fiksas premion por plimodernigo de akva rado. Tiu ĉi aranĝo akcelis streĉojn de inventistoj. En Francio tiam estis kreita

inĝeniera skolo kun bona teoria preparo kaj seriozaj praktikaj scioj pri konstruado de fidindaj rapidaj mekanismoj.

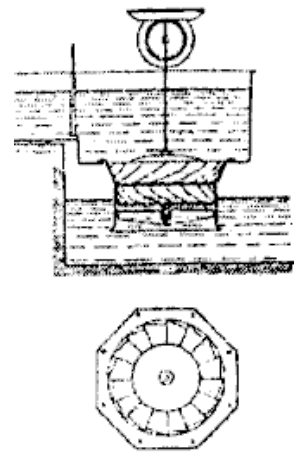
En la jaro 1826 franca profesoro Claud Burdin (elp. *klod burden*), verŝajne, konata kun laboraĵoj de Euler, proponis hidraŭlikan aŭ akvan movilon, unuan fojon nomita turbino. Latina vorto "turbo", "turbinus" signifas turbo, turnoludilo. Ekde tiam tiu ĉi termino estas uzata en multaj lingvoj. En la rusa krom termino aleta maŝino estas uzata ekvivalenta termino turbomaŝino. En movilo de Burdin estas du bazaj labororganoj, karakterizaj ĉiujn nuntempajn turbinojn (hidraŭlikaj, vaporaj, gasaj), — movebla labora rado (iam nomata rotoro de turbino) kaj nmovebla direktanta aparato. Akvo estas alkondukata en la direktaparaton kaj direktiĝas al radrando, — tio estas centrifuga maŝino. Burdin ne sukcesis trovi taŭgan formon de turbinaj aloj, tial ĝia efikeco estis malalta. Tamen, en la jaro 1827 li ricevis parton de la premio.



3.8. Turbino de Fourneyron



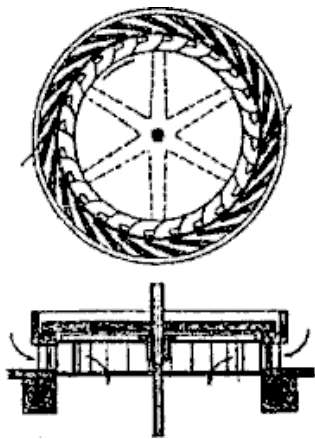
3.9. Turbino de Girard



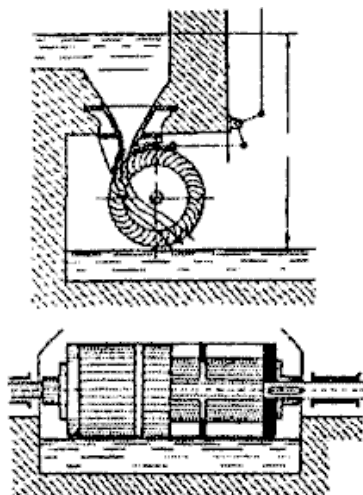
3.10. Turbino de Jonval

Vera merito de kreado de la unua akva turbino (fig. 3.8) apartenas al Fourneyron (elp. *furnejron*), lerninto de Burdin, kiu konstruis en 1827 turbinon kun potenco je 6 ĉ.f. Efikeco de tiu turbino estis sambona, kiel ĉe la plej bonaj akvaj radoj (ĉirkaŭ 70%), sed ĝi estis malpli granda. Akva flukso tra turbino estis facile regulata per cilindra ŝirmilo, moviĝanta inter labororgano kaj direktaparato. Turbino de Fourneyron, same kiel de Burdin, estas centrifuga aparato kun interna akvoalkonduko, sed la aŭtoro sukcesis unuan fojon sufiĉe precize kalkuli la aletan formon konforme al fluksparmetroj. Pli modernan modifon de tiu ĉi turbino kun potenco 50 ĉ.f. por transmiso de forĝmartelejo li konstruis en la jaro 1832 kaj ricevis rekompence 6000 frankojn. Poste hidraŭlikaj turbinoj estis uzataj plejparte por ricevo de elektroenergio. Vertikala turbino de Fourneyron estis konstruata ĝis komenco de la XX-a jarcento kun diversaj modifoj: akvoalkonduko poste okazis de malsupre, subakvaj apogiloj estis ŝanĝitaj al surakvaj, estis plibonigita reguladsistemo, estis aplikata sistemo kun du laboraj radoj kaj kelkaj direktantaj kronoj. Turbino de Fourneyron estis aplikata kaj por malaltaj kaj por altaj premoj, neatingeblaj por la antaŭaj akvaj radoj (ĝis 100 metroj). Ĝi bone funkciis kaj sur kaj sub la akvo kun granda plialtigo de malsupra nivelo sur la rado, kio ne okazis je tradicie konstruitaj radoj.

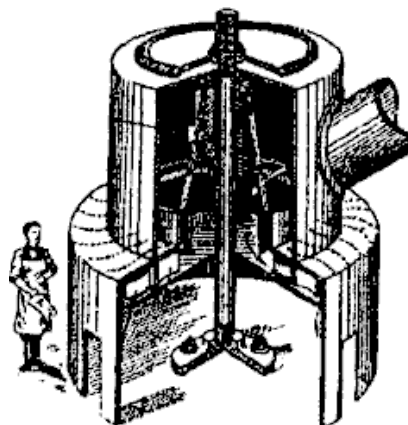
La unua akva turbino en Rusio estis konstruita en Alapajeva gisa kaj fera uzino. Tiu ĉi turbino kun potenco 35 ĉ.f. estis konstruita kaj produktita de konstruisto I. E. Safronov (fig. 3.13) en 1837. Tio estis pure radiusa turbino kun interna akvoalkonduko. Plej probable, oni povas konsideri ĝin memstara invento de urala mastro, ĉar priskribo de Fourneyrona turbino aperis en la rusa lingvo nur en 1839 jaro en Mina revuo.



**3.11. Turbino de Howd**

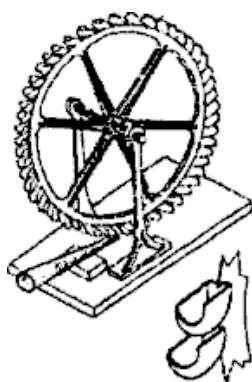


**3.12. Turbino de Bánki**

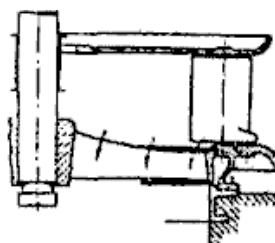


**3.13. Turbino de Safonov (Rusio)**

Dum sekvaj kvindek jaroj en Eŭropo kaj Norda Ameriko aperis multaj novaj turbinsistemoj. La plej grave influis al evoluo de hidroturbin-konstruado aksa turbino de Jonvalle (elp. *jonval*) (1843 j., fig. 3.10), radiusa turbino de Fransis (elp. *frensis*) (1847 j.), aktiva tangenta aŭ impulsa turbino de Pelton (fig. 3.14).

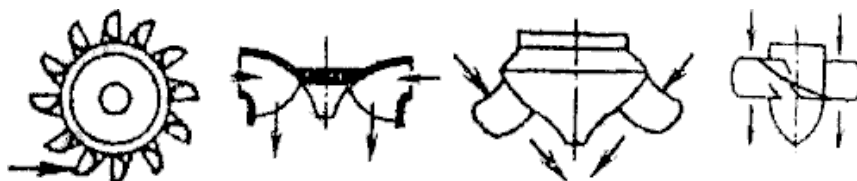


**3.14. Turbino de Pelton**



**3.15. Turbino de Kaplan**

Turbino de Jonvalle krom direktaparato kaj labora rado havis ankaŭ la trian bazan labororganon — elsuĉtubon. Ĝi trovis vastan aplikadkampon kaj estis konstruita en vico da uzinoj dum pli ol sesdek jaroj, poiome elpremante turbinon de Fourneyron. Tiuj ĉi turbinoj estis konstruitaj unu-, du- aŭ trikronaj. Ili povis havi vertikalan aŭ horizontalan akson. Ĝis la jaro 1890 maksimuma unufoja potenco de turbino de Jonvalle ne superis 500 kilovatojn. Ĉe turnofrekvenco ĝis 200 turnoj minute, ĉar ofte ili transdonadis sian mekanikan energion tra transmisionoj (dentaj, rimenaj kaj ŝnuraj) al maŝinoj-iloj, situantaj apude. De post la jaro 1891, post ebleco de ricevo de elektroenergio, transdono al grandaj distancoj, kreado de transformatoroj, turbinoj estis senpere ligitaj al generatoroj. Turbina potenco pligrandiĝis dum jardeko pli ol double, atinginte 1200 vatojn. En Rusio aksaj turbinoj de Jonvalle estis konstruitaj en Rigo, Moskvo kaj en Uralaj uzinoj.



**3.16. Specoj de turbinoj: Pelton, Francis, Kvjatkovskij, Kaplan**

La unua complete radiusa turbino kun ekstera akvoalkonduko estis konstruita en Usono en la jaro 1838 de Howd (elp. *houd*), kiu tamen havis malaltajn energetikajn indicojn (fig. 3.11). Anglo Fransis (elp. *frensis*), laboranta en Usono, konstruante kaj hidraŭlike plibonigis turbinon de Howd. Tial ĝia radius-aksa sistemo ricevis nomon — turbino de Fransis. Depende de rapideco, laboraj radoj de Fransis-turbinoj (fig. 3.16) havas diversan formon: de radiusa por malrapidaj ĝis radiusaksaj kun spacaj padeloj por la rapidaj. Decidan avantaĝon radius-aksaj turbinoj ricevis en 1880, kiam germana profesoro Fink proponis por regulado de akvokvanto kaj kapacito radiusan direktilon kun granda kvanto de turniĝantaj aletoj, kiuj dum longa tempo havis nomon aletoj de Fink. Nova reguladskemo estis tiom sukcesa kaj komforta por ekspluatado, ke

turbinoj de Jonvalle ne povis kun ĝi konkurenci. En 1886 en Germanio (konstruisto Pfar) estis konstruita la unua turbino kun kovrilo de spirala formo. Dum evoluigado radiusaksaj turbinoj poiome konstruiĝis por pli altaj premoj, elpremanate la ĉerpilajn. En la 1906 jaro estis ekstrema premo por tiuj turbinoj. Ĉirkaŭ 50 metroj, en 1920 — 210 metroj, en 1930 — 240 metroj, kaj nuntempe — pli ol 500. Prenu ni kiel ekzemplon unu el la plej potencaj turbinoj — turbinon de Krasnojarska hidraŭlika elektra centralo. Potenco estas pli ol 500 megavatoj (10.000 aŭtoj) ĉe premo ĉirkaŭ 100 metroj kaj akvokvanto 600 kubaj metroj minute, efikeco — 0.92, ekstera diametro — 7,5 metroj.

Tamen problemon de kreado de potencaj turbinoj por grandaj ebenaĵaj riveroj kun malgrandaj premoj oni sukcesis solvi per transiro al nova sistemo de aksaj reakciaj turbinoj. Tiutipaj turbinoj estis ellaboritaj de profesoro de Altlernejo en Brno dum la jaroj 1912-1916 (tiam teritorio de Aŭstro-Hungario, nun — Ĉeĥio). Merito de Kaplan estas en eksperimenta studado de labora procedo de aksa turbino kaj en dono al ĝi surbaze de tio novan formon, grave diferencigantan de Jonvalle-sistemo. Komence turbino de Kaplan (fig. 3.15-16) havis eksteran radrandon kaj nemoveblajn aletojn de labora rado. Tial turbino de Kaplan ricevis en Rusio nomon turnaleta. Ĝi estas karakterizata per premo de 15 ĝis 60 metroj ĉe potenco ĝis 200 megavatoj, ekstera diametro de la rado atingas 10 metrojn.

En 1950 rusa profesoro V. S. Kvjatkovskij proponis uzi novan tipon de aletaj turbinoj — diagonalan (fig. 3.16). En 1952 jaro analogia propono estis farita en Britio. Dank'al avantaĝoj de reguladsistemo tiomodifaj turbinoj estas pli kaj pli multe disvastigataj. La unua diagonala turbino ekfunkciis en 1957 en Kanado. Poste tiutipajn maŝinojn oni komencis krei en aliaj landoj, plejparte en Japanio. En Zejskaja hidraŭlika elektra centralo en 1975 estis ekekspluatitaj la plej potencaj diagonalaj turbinoj en la mondo, kreitaj de Leningrada fera uzino.

Sistemoj de aktivaj turbinoj estis evoluigataj samtempe en Usono kaj Eŭropo. Iliaj antaŭuloj estis tangentaj radoj, kreitaj de Poncelet. En 1880 aperis la unua ĉerpila turbino, kreita de Pelton (fig. 3.14). Komence ĝi havis aletojn cilindrotipajn, fiksitajn sur radrando. Akva strio el elĵetilo, trafante aletan surfacon, ŝanĝis sian movdirekton, kreante pro tio premon al rotoro. Dum la unuaj eksperimentoj labora rado ŝanĝis sian lokon rilate strion kaj akvo komencis fali ne en la centron de cilindra ĉerpilo, sed deflanke. Dum tio influorto de la strio ege pligrandiĝis, sed ekaperis la flanka ingredienco. Por ekvibrigo Pelton komencis lokigi aletojn sur la rado en la ŝaka ordo. Poste li transiris de cilindraj ĉerpiloj al ĉerpiloj, havantaj duonigantan striontranĉilon. Necesas rimarki, ke ne Pelton proponis la unua novan formon de tranĉilo, sed li ekpraktikis ĝin kaj aranĝis grandskale produktadon de tiutipaj turbinoj.

Evoluigo de turbinoj estis difinata per du faktoroj — ellaborado de pli perfektaj metodoj de kalkulado kaj apero de progresivaj teknologioj de metalprilaborado. Dum la unuaj 50 jaroj de 1840 ĝis 1890 averaĝa efikeco kreskis de 70% ĝis 80%, dum la sekvaj 50 jaroj — ĝis 92%, preskaŭ ne ŝanĝante dum lasta jardeko de 1930 ĝis 1940. Samtempe specifa metaleluzo malplialtiĝis de 150 kilogramoj je ĉ.f. ĝis 30 kilogramoj je ĉ.f. en 1890 kaj ĝis 10 al la jaro 1940.

En la XX-a jarcento disvastiĝis ankoraŭ unu sistemo de aktivaj turbinoj, proponita en Hungario de profesoro de Budapeŝta teknika universitato Donát Bánki (patento en la jaro 1918) (fig. 3.12). Tiu estas tielnomata duobla turbino, unuan fojon patentita en Aŭstralio en la jaro 1903. Sed Bánki la unua aplikis elĵetilon kun evolventa direktanta muro kaj ellaboris kalkuladmetodon, tial duobla turbino rajtas nomiĝi turbino de Bánki. Dum lastaj jaroj tiu skemo travivas la duan naskiĝon pro pliinteresiĝo pri kreado de hidroelektrostacioj sur malgrandaj riveretoj kaj eĉ fontoj.

Malgrandaj elektrostacioj ne malpurigas la ĉirkaŭaĵon, ili ne bezonas longajn kaj multekostajn liniojn de elektrotransdono, estas facilaj en ekspluatado, konsumantoj ne dependas de monopolio de produktantoj. Unu el tiuspecaj mekanismoj "rekta fluo" por premo ne malpli ol du metroj estis ellaborita de sviso Escher Viss (elp. *eŝer vis*). En ĝia konstruo rotoro de generatoro estas instalita kunakse kun labora rado de turbino kaj situas senpere en akvo fluo. Nun estas produktataj moduloj por minihidrostacioj kun potenco ĉirkaŭ 2 megavatoj kaj eĉ pli. En Kanada oni instalas bobenaĵon de generatora rotoro en laboran radon de turbino. Tiel la turbino mem iĝas rotoro de elektra maŝino, kaj bobenaĵo de statoro situas en muroj de akvokondukilo. Interesa solvo estis elektita por reguladsistemo: estas stabiligita reĝimo konstante fordonata potencon. Superflua potenco estas direktata al akumulilo, kie ĝi transformiĝas en varmon, utiligatan ekster la agregato.

### 3.4. Ventaj radoj kaj turbinoj

Homaro komencis uzi energion de vento por movi velŝipojn tri miljarojn a.K. Tio okazis post invento de akva rado.

Venta muelilo estis konata en Ĉinio, poste en Persio en la VII-a jarcento, en araba Hispanio en la X-a jarcento. Nur fine de la XII-a jarcento ĝi aperis en kristana okcidento, sed al la jaro 1100 p.K. kruckavaliroj kaj vojaĝantoj jam estis atestantoj de ĉia uzo de ventmueliloj en Meza Oriento. Tri diversaj tipoj de mueliloj indikas tri eblajn zonojn de ĝia memstara apero. Okcidento estas karakterizata per muelilo sen aloj kun vertikalaj radoj, al kiuj vento aliras tra truoj en muroj. Orienta muelilo (Normandio, Anglio) havas kvar longajn alojn sur horizontala ŝafto. Muelilo de mediteranea tipo kun multaj triangulaj veloj eĉ nuntempe povas esti renkontita en Portugalio kaj Grekio. Unuan fojon venta muelilo en Eŭropo estas menciita en la jaro 1180 en normanda dokumento kiel stiligita desegnaĵo. Fine de la jarcento ĝi estis jam vaste uzata por muelado. Ek de komenco de la XV-a jarcento venta rado iĝas bazo por akvosuprenigaj laboroj ĉe grunda sekigo en Nederlando. En Ĉeĥio samtempe venta forto estas uzata por mina lifto. La unuaj ventaj mueliloj en Eŭropo estis stablaj: la tuta instalaĵo estis turnata sur stablo por direktigo de rado al vento. Tiuspeca konstruo limigis la grandecon, kaj, sekve, kapaciton de muelilo. En tendaj mueliloj moviĝanta parto situas en nmovebla ejo, kaj aloj kaj dentradoj situas en turniĝanta tendo. Plejprobable, tiuspeca konstruo aperis en la jaro 1295. Kapacito de tenda muelilo povas esti du- aŭ trioble pli granda, ol tiu de la stabla.

Al la XVI-a jarcento nederlandaj inĝenieroj plimodernigis tendan muelilon, uzinte preskaŭ ĉiujn ĝiajn potencajn eblojn, kiu faris la maŝinon utila por multaj industriaj bezonoj. La solvo venis el ŝipkonstruado. La maristoj jam delonge rimarkis, ke velŝipo moviĝas pli rapide, se vento blovas ne en poŭpon, sed al la flanko, ĉar lastokaze al la velo influas granda aerodinamika forto. Tial, venta movilo, kies principo baziĝas sur uzo de liftforto, povas havi kapaciton kelkoble pli grandan, ol movilo de rema tipo kun aletoj, kiuj moviĝas en la direkto de aera fluo. Krome, ĝi bezonas malpli da materialo. Formo de aera rado poiomete estis modernigata ĝis fino de la XIX-a jarcento kaj transformiĝis en veran flugilan alon. Evoluon de ventaj mueliloj oni povas sekvi laŭ desegnaĵoj de mezepokaj anglaj desegnistoj kaj laŭ pentraĵoj de nederlandaj pentristoj.

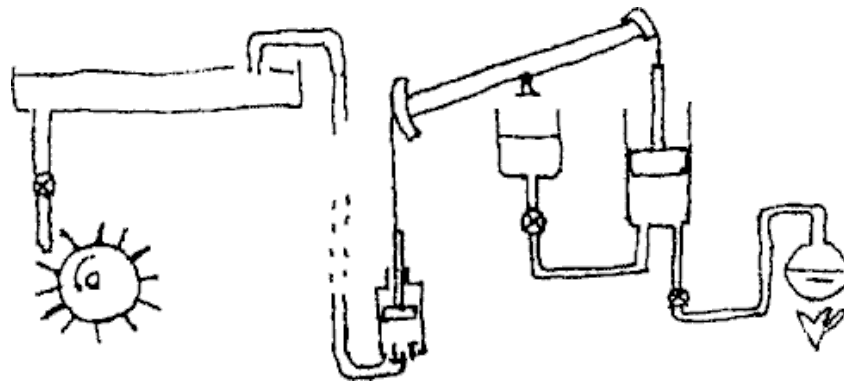
Vento kiel energifonto havas du specialaĵojn: ŝanĝemon kaj rarecon. Eĉ ĉe forta vento kun rapideco ĉirkaŭ 6 metroj sekunde, denseco de la energifluo egalas nur al 130 vatoj je kvadratmetro. Tial grandaj ventomoviloj ekonomie estas pli preferindaj, ol la malgrandaj. Al la XVIII-a jarcento estis atingitaj maksimumaj grandecoj por radoj, faritaj el ligno kaj porvela ŝtofo, ilia ekstera diametro estis ĝis tridek metroj ĉe maksimuma potenco ĝis 40 kilovatoj. Diametro de moderna venta movilo atingas cent metrojn kaj la kapacito — 3 megavatojn.

Elementoj de reguladsistemo por turno de la venta movilo depende de ventdirekto, regulado de potenco kaj prevento kontraŭ plirapidiĝo ĝis tro grandaj rapidecoj aperis antaŭ ĉ. 500 jaroj. Lastatempe estas tendenco plifaciligi reguladsistemojn.

Ventaj moviloj, verŝajne, restus historia raraĵo, se ne okazus energetika krizo de 70-jaroj. Dum multaj jaroj en ministerion de energetiko de Usono ĉiusemajne alvenadis kelkaj proponoj de ventmoviloj de netradiciaj konstruoj. La plej sukcesa projekto baziĝas je forgesita ideo, apartenanta al franca inĝeniero Darrieus (elp. darje). La mekanismo, konstruita unuan fojon en 20-aj jaroj de nia jarcento, memorigas ŝaŭmigilon por ovo. Ĉiuj mekanikaj aparatoj kaj reguliloj situas sur tera nivelo, kio igas la movilon konkurebla kun alaj ventaj moviloj. En la nordo de Eŭropo kaj de Kalifornio ventaj elektrostacioj komencis aperi kiel kompleksoj, t.e. grupoj de moviloj. Procente ilia partopreno ŝajnas negrava, ne pli ol 2%, sed la parto kreskas ĉiujare.

## 4. Hidrotransmisioj

Unue oni konstruis hidrotransmision en 1742 en gisa uzino de Darby (elp. *darbi*) (Anglio) por ŝakta karblevilo. Por eligi akvon el ŝakto oni uzas vapormaŝinojn de Newcomen (elp. *njukomen*), kiuj agadas nur laŭ reven-antaŭpaŝa tipo, sed por levilo oni bezonas ankaŭ rotacian movaĵeblecon. Uzinaj mekanikistoj ekrememoris pri firmfunkciaj akvaj radoj kaj direktigis eltranspumpatan akvon al premcisterno, el kiu akvo povas memstare atingi dek desuprefalajn radojn (fig. 4.1.).



**4.1. La unua hidraŭlika transmisio en Darby uzino**

Nur post kelkaj dekjaroj oni patentigis maŝinon de Newcomen kun kurbpivota-ligigŝafta mekanismo, konata ek de mezepoko (Pikard, 1780).

Plejan aldonaĵon al kreado de modernaj hidraŭlik-pneŭmatikaj transmisioj faris Josef Bramah (elp. ĝozef brama).

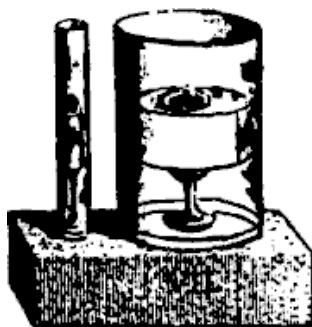
El ĉiuj anglaj mekanik-praktikistoj de la 18-a jarcento Bramah estis la plej multflanka. Dum 40-jara inĝenieragado li ricevis 18 patentojn pro ajnaj unikaj inventoj — ek de fontoplumoj kaj presmaŝinoj ĝis hidraŭlikaj premiloj, seruroj kaj akvoklozetoj. Probable, ĝuste tia multintereseco estis unu el kialoj de homarforgeseco pri li. Ankaŭ, la fabriko kaj domo, apartenitaj al li, forbrulis. Liajn leterojn, patentojn kaj desegnaĵojn tiutempe mondkonatajn maŝinoj pereigis la incendio.

Posteuloj konis lin kiel inventiston de hidraŭlika premilo-maŝino, kiu unue kunrealigis principon de energitransdono per likvaĵo, ideon de transmisio, ricevinta universalan uzadon.

Tiamaniere Brama antaŭis sian jarcenton. Dum 130 jaroj neniu scipovas uzi hidrostatan paradokson de Pascal (elp. *paskal*) por generi pliajn fortojn, kaj ankoraŭ duonjarcenton post morto de Bramah teknika hidraŭliko ne ŝanĝiĝas.

Certe, hidraŭlikaj maŝinoj neniam estis tiel vastpublike konataj, kiel vaporaj moviloj de Watt, sed sen ili oni ne sukcesis konstrui egajn inĝenieraĵojn de la 18-a kaj 19-a jarcentoj — grandegajn ŝipojn (Great Western, Great Britain, Great Eastern) de Brunel aŭ famajn fervojajn pontojn de Stefenson.

Nek Galileo, nek Kepler, okupiĝintaj pri hidraŭliko, ne analizis fortojn, agantaj en statika likvaĵo. Unuavice tion faris Simon Stevinus, ĉefa direktoro de nederlandaj digoj kaj kanaloj. Sed lia maldika libreto, publikigita en la jar 1586 flamandlingve, restis nekonata al monda legantaro. Nur post jarcento, en 1663, unu jaron post morto de ĝia aŭtoro, oni publikigis libron de Paskal, enhavanta teoriantazon por hidraŭlikmaŝina projektado. Paskal praktike konformis konkludojn de Stevinus, konstruante "maŝinon por fortobligo", je kiu maldika akvokolono ekvilibras grandan pezon (Fig. 4.2). Maŝino, certe, subordiĝas al la "ora regulo de mekaniko" kaj, same kiel levilo, vinĉo, kojno kaj senfina ŝraŭbo havas samtempe avantaĝojn kaj malavantaĝojn. Estas interese noti, ke, kiel vera franco, Paskal sufiĉe ofte uzas por labora likvaĵo vinon, por ekhavi rezultojn, dependajn de likvaĵdenseco. Tiamaniere Paskal havis sufiĉe da informo, kaj ankaŭ funkciantan modelon, por inventi hidropremilon, sed ne inventis ĝin.



**4.2. Bramah-aparato por prezento de Pascal-leĝo**



**4.3. Hidraŭlika Bramah-premilo**

Tiun maŝinon oni verŝajne ne bezonis, kaj ne estis tiu neceso, kiu aperinte, evoluigas sciencon kaj teknikon pli bone, ol "dekduo de universitatoj". Aliel ne eblas klarigi tion, ke dum sekvontaj 132 jaroj neniu el uzinlaborantoj aŭ inĝenieroj eĉ ne provis uzi tiom evidentan hidrostatan paradokson.

La patento n-ro 2045 de Josef Bramah, ricevita en la jaro 1795, estas lia ĉefa atingajo. Tiu patenta priskribo tro kontrastas kun aliaj paperoj iam skribitaj de li. Ne estas iuj longaj vortoj aŭ karaktera babilo — nur maksimumaj lakoneco, koncizeco kaj klareco.

*"La senco de invento estas en nova rimedo por uzado de akvo kaj aliaj likvaĵoj por transmisioj de ajnaj maŝinoj kaj mekanikaj aparatoj aŭ celante al ega pliigo de funkcia forto, aŭ por transdonado de movo kaj fortoj ek de unua instalaĵo al alia, kiam oni ne povas okazigi tion konatrimede. Ne eblas nomi senfinan variecon de gravaj aplikoj de tiu rimedo, sed suplementaj pentraĵoj kaj desegnaĵoj vere klarigas ĝian sencan.*

*Aprilo 30, 1795. Josef Bramah".*

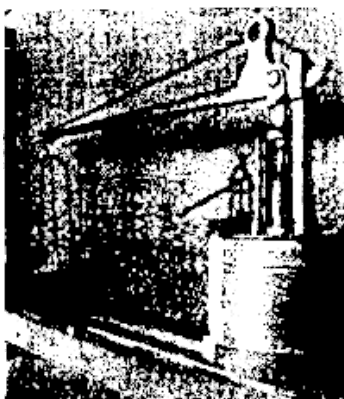
Kiel oni povas kompreni dank'al tiu patenta priskribado, Bramah patentigas ne nur hidropremilon, sed ĉiujn eblajn tipojn de hidro- kaj pneŭmtransmisioj. Hidropremilon li modeste nomis "du pumpiloj, diversdiametraj, agantaj unu al la alia", ekzemple, kun cilindroj, havantaj diametrojn de 1/4 kaj 12 inĉoj. Tiu egaleco permesas aldoninte forton je 1 tuno, ekhavi forton je 2304 tunoj (fig. 4.3).

Ankoraŭ, en patento estis menciita hidraŭlika sistemo de telekontrolo unua en historio: du samtipaj pumpiloj, kunigataj per tubo kun akvo. Ekfunkciigante piŝton de unua pumpilo, oni povas ekfunkciigi ankaŭ la piŝton de dua pumpilo, situanta, ekzemple, sur la sonorilejo kaj ligita kun sonoriloj. Tiutipan instalaĵon oni starigis en 1814 en la domo de Walter Scott — fantastika gotika domo, konstruita por aŭtoro de multaj famaj historiaj noveloj en lia bieno, kiu ebligis sonori per sonoriletoj en la plej malproksimaj ĉambroj.

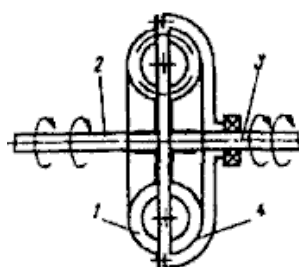
Por imagi gravecon de invento de Bramah, necesas noti, ke tiutempe ankoraŭ estis nek kurbpivotaĵ-ligiĝŝaftaj maŝinoj, nek levilaj maŝinoj, estis nur ŝraŭbtpaj premiloj, dunkciantaj en paper- kaj teksfabrikoj. Potenco de iuj el ili atingas nur 50 tunojn.

Sed en kio estas merito de Bramah kompare kun Pascal? Ĉu nur en tio, ke li unue scipovis uzi sciencan kuriozon praktike? Kiel opinias fama angla teknikhistoriisto Samuel Smails, la senco de invento estas absolute alia — kreado de hermetika memkompaktiganta ringo. Nur ĝi permesas al scienca ludilo iĝi firmagada inĝenierajo.

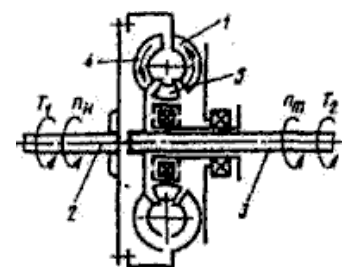
Vere, dum produktado de unuaj maŝinoj Bramah ektaskiĝis pri problemo de plonĝilkompaktigado. Unuflanke, tiu ringo ne devas malhelpi al piŝta movo, aliflanke — ĝi devas tre bone kovri piŝton, por deteni akvon. Cetere, se dispremado tra streĉa ringo estis sukcesa, liberigi premitan materialon per grandega forto post malŝaltado de premo en hidrocilindro tute ne eblas.



**4.5. Bramah pesilo**



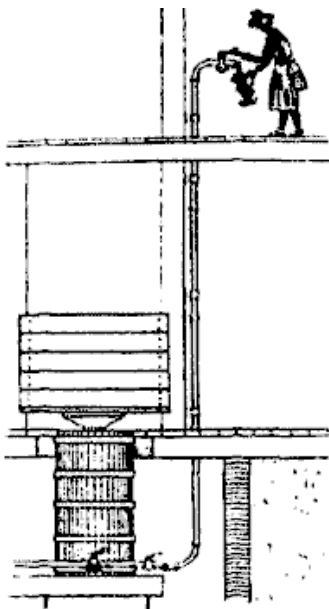
**4.6. Hidraŭlika mufo**



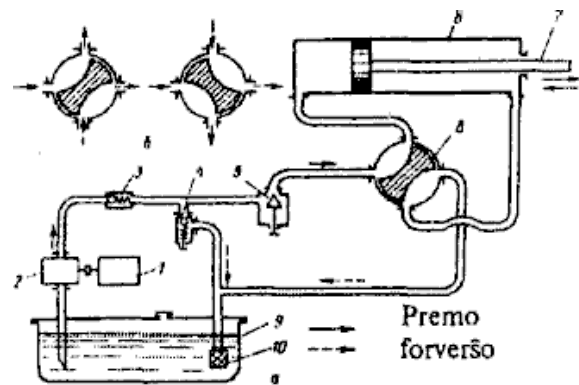
**4.7. Hidraŭlika transformigo**

Tiun taskon, ŝajne nesolveblan, la inventisto solvis tre elegante: anstataŭ tradicia kompaktigringo li ekuzis kun la plonĝilo ledan ringon kun lavkuvtipa sekco. Dum prempliigado en hidrocilindro estas pli kaj pli malfacile deteni akvon en fermita volumeno. Sed sama akvo mem pliigas forton de ringĉirkaŭpremiĝado laŭ surfaco de plonĝilo, detenante ĝian forfluan. Kiam oni forigas premon, akvo ĉesas ĉirkaŭpremi ringon kaj plonĝilo facile moviĝas sube, liberigante premitan materialon. Ĉu tiu ideo apartenis nur al Bramah, aŭ li

elpensis tion kun helpo de lia asistanto Henry Maudslay (elp. *henri modsli*) — pri tio ĝis nun diskutas anglaj teknikhistoriistoj (Fig. 4.8).



**4.4. Bramah-ilo por transportado de biero**



**4.8. Volumena hidraŭlika transmisio**

Do, ideon oni patentigis, firman konstruon ellaboris kaj eĉ eksperimentis, la inventisto mem estas mastro de maŝinproduktejoj kaj ne devas kun iu akordi produktadon de nova maŝino. Kaj ankaŭ en la centaj proksimaj uzinoj teksistoj, sukerproduktantoj, mastroj de olefabrikoj suferis kun malpotencaj sraŭbtipaj premiloj, prilaborante lanon, kanon, oleaĵon. Ŝajnas, ke ĉiuj kondiĉoj estas por komenci produktadon. Bedaŭrinde, neniu kredis al inventisto.

Por pruvi al skeptikemaj samtempoj, ke lia premilo vere agadas kun egaj fortoj, Bramah ne avaris monon. Speciale por prezento li konstruis en 1796 hidraŭlikan pesilon (ĝis nun ĝi fukcias en Kensingtona muzeo de scienco kaj tekniko en Londono.) (fig. 4.5). Ŝarĝon je 300 kg li pendigis per la levilo kun tia interrilito de brakoj, ke por ĝia levo oni bezonas obligi forton 20-foje. Anstataŭ tio iu volontulo povis facile fari tion, kelkfoje preminte tenilon.

Pesilo konvinkis skeptikulojn. Aperis tuj multe da mendoj, kaj baldaŭ hidraŭlikaj premiloj estis vastuzataj en industrio.

Kvankam Bramah inventis ajnajn instalaĵojn, li tutvive preferis uzi hidraŭlikaĵojn. Pri hidraŭlikaĵoj li ĉiam okupiĝis kun plezuro kaj provis uzi ĉie, kie tio eblas. Speciale, li projektis kaj patentigis komplikan hidrosistemon por transpumpado de ajnsorta biero el bareloj, situantaj en kelo. (Fig. 4.4) Starigi barelojn supre oni ne rajtas, ĉar dum varmego la biero rapide acidiĝas. Tial oni devis en ĉiu bierejo laborigi kelkajn knabojn, kurantajn tien-reen laŭ ŝtuparoj. Kiel energifonto por "biertransmisio" li uzis ŝarĝon, premintan la likvaĵon — la unua antaŭkonstruo de modernaj hidroakumuliloj. Bramah ankaŭ plibonigis instalaĵaron por gasigi akvon senromprime dum "altaj" premoj (ĝis 10 atm).

Por plibonigi komfortecon de transportaĵoj aperis patento n-ro 3270 pri "konstruo kaj produktadrimedo de plibonigitaj kaleŝaj radoj kun helpo de hidropremilo". Poste Bramah proponis oleplenigitajn lagrojn de gliteco kaj eĉ molajn ledajn pneŭmatikojn.

Sed la plej ĉefa lia invento en tiu direkto estas pneŭmohidraŭlika pendigaĵo de tre progresema konstruo (patento n-ro 3616 de la jaro 1812). Tio estis ujo, duonplenigita per oleo, kun tubo, trairanta laŭ centro. En tubo oni povas situigi piŝton, sur la kerno de kiu devis sin apogi kaleŝo. Krom tio, desube estis malrekta valvo — tra ĝi oni alpumpigis oleon por reguligi malmolecon aŭ forigi elfluojn. Dum puŝado la piŝto moviĝis desupre aŭ desube, preminte aeron, funkciante kiel ideala aera risorto. Ŝajnas, ke la konstruo evidentiĝis tro komplika por samtempoj de Bramah. Lian pendigaĵon oni nur nune, post unu kaj duono da jarcento, komencis uzi en aŭtokonstruado.

Komence de la 19-a jarcento Londono jam estis grandega haveno. Armeoj de ŝarĝistoj tutan tagon laboris en dokoj, sed ŝipaj malfunkcioj dum ŝarĝado konstante plimultiĝis. Oni bezonis gruojn. Kaj Bramah en 1802 konstruis la unuan grupon, havanta hidromovilon. "La grupo povis levi kaj mallevi ŝarĝojn ĝis 5-6 m

alteco kaj 15-20 fojojn minute kaj konsternis ĉiujn, kiuj vidis ĝin. Ĉar tiu, kiu ne scias ĝian agadprincipon, neniu povus konjekti, kiel ĝi funkcias". Verŝajne, pumpilorganon de gruo oni enigis per vapora maŝino. La plej grava eco de tiu gruo estis ebleco distribui potencon inter kelkaj gruoj nur per maldikaj tuboj ligitaj kun pumpilo. Tiun hidrotransmisi-principon Bramah patentigis en 1812 (patento n-ro 3611). Sampatente li proponis principe novan ringskemon de akvotubaro, konservita ĝis nun. Krom tio, apud ordinaraĵoj tuboj Bramah proponis situigi altpremnivelajn tubojn kaj transpumpi laŭ ĝi akvon al mekanikejoj, ie ajn situantaj laŭ tuta urbo. Tiamaniere, potencaj pumpilaroj, funkciante al ĉefa tubaro, provizus per premita akvo disvastigitajn konsumantojn, kiuj kun ĝia helpo povas funkciigi siajn gruojn, stablojn, hidropremilojn. T. e. Bramah proponis centralizitan energiprovizon, do ne elektran, sed hidraŭlikan. Bedaŭrinde, tiu propono ankaŭ tro antaŭis lian epokon.

Tiutempe, kiam li estis tre okupita pri hidraŭliko, Bramah patentigis kaj konstruis la unuan rabotan stablon kun hidrotransmisiigo de ĝia tablo, konstruis multajn hidraŭlojn por kanaloj kaj kluzoj, inter ili estas konataj, kiel teleskopaj hidrocilindroj. Nun laŭ tiu principo agas hidrokrikoj, konataj por ĉiu aŭtoposedanto.

Bramah revis kunigi en unu konstruaĵo 500 cilindrojn enirantajn unu al alia, havantaj 1,5 m longecon (ĉiu), kaj, premante aeron al ĝi, dum kelkaj minutoj konstrui lumturojn, akvopremajn turojn kaj telegrafajn mastojn de unu kun longece, kaj ankaŭ konstrui pontapogilojn, desursablighi ŝipojn, levi ŝarĝojn ktp. Bedaŭrinde li ne ekpovis konstrui tion: li ne rimarkis, ke tiuj konstruaĵoj havas nesufiĉan flankan kaj aksan balancon (tro alta estis kolono el maldikmuraj tuboj).

La 22-an de aprilo 1813 — apud laborejoj de Bramah, en Hayd-Parko kolektiĝis granda amaso. Kaj kvankam oni ne prezentis tie kriplulojn, malgrandegulojn, ne estos hundkonkursoj aŭ kokbataloj, amaso pligrandiĝis. Estis ankaŭ multe da nobluloj. Je unuaj vicoj komforte sidis lordo Kolchester — ĉefparolanto de ĉambro de komunumoj. Li preparis lian taglibron — por priskribi ion. Ankaŭ ĉeestis duko de York — estonta reĝo Georgo la 4-a. Tagheroon oni opinias Bramah. Li prepariĝas montri hidraŭlikan maŝinon, kiu povas elradikigi multjarajn arbojn. Grandan vojon faris la filo de jorkŝira plugisto por ekhavi honoron okazigi tiun barbaraĵon en Reĝa parko. Laŭ Bramah signalo, maŝino ekstreĉiĝis kaj jen tiu arbo jam estas elradikigita kaj levita super la amaso.

La sencon de tiu eksperimento oni povas klarigi, se iu rememoras, ke Britio, ek de 1776, kiam amerikaj kolonioj deklaris sian sendependecon, kaj ĝis la venko super Napoleono, seninterrompe militis. Oni bezonis grandan militŝiparon, kaj ŝipojn oni konstruis el angla kverko. Por konstrui duferdekan 74-kanonan fregaton, oni bezonis pli ol 2000 kverkojn, kaj por 100-kanona marŝipo — preskaŭ 3000. Tiuj kverkoj kreskis dum 110-120 jaroj, kaj dum pasintaj militoj kun nederlandanoj kverkaj boskoj sur la anglaj insuloj tro maldensiĝis. Kaj oni bezonas ĉiujare elhakigi preskaŭ kelkajn milojn da arboj por la floto.

Alia granda lignokonsumanto estis artilerio: el ligno oni faris veturilojn por kanonoj. Do, anglaj arbaroj vere devis malaperi. Oni tuj devis renovigi ilin, sed tre malhelpas por tio arboŝtumpoj. Sed pri elradikigado de arboj tiu problemo ne aperis.

Aŭtune de 1814 Bramah kun liaj helpantoj aperis en arbaro Elis Holt. El Londono oni venigis ankaŭ "fajran hidromaŝinon". Tiufoje ne estas multe da rigardantoj, sed la skalo de afero tre grandiĝis. Dum kelkaj tagoj oni elradikigis centojn da multjaraj arboj — oferaĵo al malsata admiralitato Moloch (elp. *moulok*).

Sed malvarmego kaj aŭtuna malsekeco faris sian "nigran" aferon. La 66-jara inventisto malsekiĝis kaj ekhavis pneŭmonion. Oni lin veturigis hejmen, kaj la 9-an de decembro 1814 li mortis. Sube, en laborejo estis nefinitaj desegnaĵoj, modeloj kaj la unuaj prototipoj de novaj hidromaŝinoj. Bedaŭrinde, multe el tiu netaksebla hereaĵo bruliĝis kelkjarajn poste.

Oni entombigis Bramah-on en Paddingtona tombejo. Nuntempe ne eblas trovi lian tombon: laŭ decido de Londona estraro sur la loko de tombejo oni okazigis parkon, kaj belaj infanaj voĉoj sonas tie, kie estas tombo de tiu, kies inventojn ni uzas ĝis nun.

Gravan konstrukci-plibonigaĵon ŝarĝpiŝta akumulilo ricevis dank'al ideoj de angla militinĝeniero Armstrong, kiu kreis, uzante kiel bazon konstruon de ŝarĝpiŝta akumulilo, ajntipajn hidraŭlikajn transmisionojn. Unuvico oni ĝin uzas por transmisionoj ŝipajn mekanismojn: transmisiono de direktilsistemo kaj sistemo de kanontura turnado.

Maŝinkonstruistoj, fine de la 19-a jarcento, bone sciis, ke pri energitransdonado al longaj distancoj kutimaj mekanikaj transmisioj cedis al elektraĵoj, hidraŭlikaĵoj kaj pneŭmatikaĵoj. Krom tio veras, ke dum uzado de tiuj konstruoj estas pli bone uzi fermitan sistemon kun retrokuplado.

En 1900 italo Bontempi ekuzis por kopifreza stablo sistemon kun hidromekanika kontrolo, kiu permesas malpliigi potencon de taskanta signalo, egalante al elira potenco je 1000 foje. Kopiaĵon kaj antaŭdetalon oni starigas unutable kaj enigas per rotacia movo kun sama rapideco. Rulbloko moviĝas laŭ profilo de kopiaĵo, ricevante de ĝi informon, bezonatan por kontrolo de frezmovo, sed movo de rulbloko transdonas al piŝto de valvo, kiu malfermas aliron por likvaĵo el pumpilo al konkreta ujo de granda (forttipa) cilindro. Dum transpumpado de premita likvaĵo al maldekstra ujo de hidrocilindro, el dekstra ujo ĝi eliras kaj la tablo moviĝas kun rulbloko kaj frezaĵo maldekstren. Samtempe kun tablo, havanta frezaĵon, komencas sian movon ankaŭ cilindro de valvo. Tiamaniere, komencis sian agadon linio de retrokuplado, liganta ĉefan kaj subĉefan partojn de konstruo je unu sekvanta sistemo kun retrokuplado. Instalaĵojn kaj mekanismojn por realigado de sekveco kaj plieco oni nomas servomekanismoj de latina radikvorto "servo", signifanta traduke "sklavo" aŭ "sklava".

En la 20-aj jaroj oni komencis vaste uzi hidraŭlikajn kaj pneŭmatikajn transmisiojn por metaltranĉaj stabloj.

Unue oni komencis uzi hidraŭlikan transmision por stiri aeroplanon fine de la 30-j jaroj por malpliigi fortojn, bezonatajn al aviadisto, kaj pliigo de manovrebleco ĝenerale. Komenco de la 50-j jaroj ĉesis tipŝanĝadon de sistemoj de aviadikontrolo al aŭtomatikaj sistemoj: kreado de sekvontaj hidrottransmisioj kun elektra kontrolo.

En konstrumaŝinoj kaj vojaj maŝinoj oni komencis uzi hidrottransmision ek de la 50-aj jaroj.

Intensan produktadon de montaj hidromaŝinoj oni komencis post 1960.

Uzado de hidroagregatoj por traktoroj komenciĝis post sukcesa eksperimento de traktoroj en 1979 en Nebraska (Usono), kiu montras altajn ekonomion kaj enigforton. Nuntempe preskaŭ ĉiuj traktoroj havas hidrottransmisiojn en aldonaj sistemoj de levado kaj mallevado.

En 1958 en Moskvo oni prezentis modelon de bioelektra manipulatoro. Movilparton — pumpilon kun movilo, valvoj kaj solenoidoj — oni prunteprenis de stabloj kun programa kontrolo, Valvojn kontrolas biokurentoj, kiujn oni forprenas ek de operatorbrako kun helpo de speciala brakringo. Iom streĉante muskolojn, operatoro kontrolas likvaĵfluojn, kiuj movigas protezan manon de homa brako. Notu, ke la mano estas la plej universala mekanismo, kiu havas 27 gradojn de libereco.

Certe, tio sekvos hidraŭlikan aŭ pneŭmatikan transmision kun tiu kontrolsistemo, kiu povas kompreni la hompensojn.

Kreadon de hidrodinamikaj transdoniloj oni ligas kun germana inĝeniero Föttinger (elp. *Fetinger*), kiu en 1902 starigis en unu korpo du moveblajn aletoradojn — pumpilan kaj turbinan kaj malmoveblan direktantan aparaton, kiuj situas unu apud la alia. Likvaĵfluo atingis radojn sen tubaroj, okazigante rondon de cirkulado. Pri situo de direktanta aparato elire de pumpilo, pro ŝanĝado de profilo eblas kontroli ne nur kvanton de momento, transdonatan per hidrottransformatoro, sed ankaŭ direkton de rotacimovo. En la 1910 Föttinger forigas el la skemo direktantan aparaton kaj proponis hidromufon, kiu havas efikecon ĝis 98%. Kutime oni uzas hidromufon kune kun dentrada reduktilo (fig. 4.6).

Kiel ĉefaj avantaĝoj de hidrodinamikaj transmisioj oni opinias eblecon transdoni grandajn potencojn dum kompare malgrandaj dimensioj kaj foresto de firmaj ligaĵoj, kio garantias flekseblecon je energitransdonado. Propra pezo de hidrodinamika transmision estas ek de 10% ĝis 20% de komuna pezo de elektrosistemo (fig. 4.8).

Dank'al tiuj avantaĝoj hidrodinamikaj transmisioj estas vaste uzataj en ajnaj sferoj de tekniko.

En 1928 sveda firmao "Lisholm-Smith" kreis unuan hidrottransformatoron por la buso. Ek de 1947 oni komencis uzi hidrottransformatorojn kun mekanikaj transmisioj por seriaj aŭtoj (fig. 4.7).

En USSR en 1929 profesoro A. P. Kudrjavcev kreis unuan hidromufon por ŝipaj movilaparatoj, kaj komence de la 30-aj jaroj oni konstruis en Baŭmana Alta Teknika Lernejo la unuan hidrottransformatoron.

---

## LITERATURO

1. Charls Singer (editor), *A history of technology*, vol. 1-5, Oxford, 1957-1958, 3546 p.
2. G. I. Brown, *The Guinness History of Inventions*, 1996, 256 p.
3. Bryan Bunch and Alexander Hellemans, *The Timtables of Technology*, SIMON&SCHUSTER, New York, London, Toronto, Sydney, Tokio, Singapuro. 1993, 490 p.
4. Felix R. Patui, *Chronik der Technik*, Chronik Verlag, Augsburg, 1997, 640 p.
5. S. Lilley, *Men, Machines and History*, London, 1965, 420 p.
6. G. Arnold, *Pneumatik und Hydraulik in der Geschichte der Energietechnik*, Mainz, 1969, 60 p.
7. R. Sonneman, *Geschichte der Technik*, Leipzig, 1978, 320 p.
8. G. Buchheim, R. Sonneman. *Lebensbilder von Ingenieurwissenschaften*, Leipzig, 1989, 382 p.
9. H. Hodges, *Technology in the ancient world*, New York, 1970, 287 p.
10. D. Beretta, R. Costa, *La passionante historie des grandes inventions*, Paris, 1966, 456 p.
11. *A history of technology and invention. Progress through the ages*. Ed. by M. Daumas, New York, V.1-596 p., V.2-694 p.
12. Giuseppe de Florentiis, *Storia della tecnica*, Milano, 1968, V.1-336 p.
13. R. W. Clark, *Works of man*, New York, 1985, 352 p.
14. *L'Expansion du machinisme*. Par M. Dubuisson, J. B. Achl, M. Audin. Paris, 1968, 884 p.
15. *Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники*. Под ред. И. В. Кузнецова М. кн.4. Техника, 1965, 783. с.  
Oni uzis ankaŭ kelkajn faktojn el rusiaj scienc-populatoj periodaĵoj.

---

Fonto: Karlo Minnaja—Anatolo Ŝejpak: *Elektitaj lekcioj pri historio de scienco kaj tekniko*, Moskvo 2006

STEB: <http://www.eventoj.hu>

◀◀ Reen al la antaŭa paĝo!