

MODUL 4

POHONNÁ ZAŘÍZENÍ A MOTORY

Náplň modulu: *Ještě více než nástroje charakterizuje člověka moudrá či přímo mazaná snaha nechat za sebe točit klikou něco jiného, ať již je to jiný člověk, zvíře, voda, vzduch či elektromotor. Dobrodružná cesta člověka k novým zdrojům energie je rovněž jednou z osnov dějin techniky. V tomto modulu budou přiblíženy jednotlivé způsoby řešení přenosu části fyzické námahy na „něco jiného“, ať je to již zvíře, elementární či jiný motor. I u tohoto modulu se osvědčilo přehlednou tabulkou výklad uvést a otevřít.*

Přínos: *Dějiny technických inovací v tomto oboru umožňují nejlépe pochopit podstatu dějů, při kterých přichází na svět objev či vynález. Na motorech je velmi dobře vidět, jak se malé inovace postupně propojují a slévají, až se výsledný stroj stane fungujícím a obchodně úspěšným. V tu chvíli jsou ovšem již patrné jeho hranice a limity, což otevírá nové kolo dalšího hledání. Na těchto příkladech posluchač pochopí, jak to v technice chodí, že je kolektivním dílem známých i neznámých.*

Předpokládaná doba studia: *Tento modul patří k nejobsáhlejší a zasahuje do mnoha dalších, proto bude nutno mu věnovat 4 dvouhodiny.*

Chronologická tabulka

1

- 1510 ante: šlapací kola k pohonu čerpadel v Mezopotámii
- 900 post: u Pekingu a v Persii se objevují větrné mlýny, počátky byly asi v buddhistických modlitebních mlýncích. Do Evropy se dostaly za křížáckých válek.
- 1105: první evropský popis větrného mlýna. Právní dokument, určený benediktinům.
- 1313: vynalezeny střelné zbraně, poprvé použity při obléhání Ciudadě něm. rytíři 1331
- 1582: na Temži zbudováno vodní čerpadlo, poháněné vodním kolem
- 1600: Simon Stevin postavil plachetní vůz pro 28 osob
- 1673: Ch. Huygens popisuje stroj na střelný prach, který objevil s D.Papinem
- 1688-89: Denis Papin sestrojil pro hessenského kurfiřta parní čerpadlo pro fontánu v Kasselu
- 1698: Savery zkonstruoval stroj na zvedání vody s parním pohonem
- 1705: Thomas Newcomen a John Cawley postavili atmosférický stroj
- 1750: Segnerovo kolo (německý lékař původem z Blavy)
- 1767: James Watt, parní stroj
- 1770: James Watt zavádí HP
- 1781: Technické zdokonalení parního stroje
- 1798: R. Trevithick postavil vysokotlaký parní stroj
- 1801: Lebon získal patent na plynový motor
- 1802: Trevithick získal patent na vysokotlaký parní stroj bez kondenzace
- 1806: František Josef Gerstner staví na polytechnice první parní stroj (dvojjč.kond.otáč.)
- 1814: ve Wünschově textilce v Brně použit k pohonu první parní Stroj v Č a M
- 1816: Stirling vynalézá teplovzdušný motor
- 1823: Brit Samuel Brown obdržel patent na plynový motor (ve vozidle, mysl. W.Cecila z 1820)
- 1824: Franc. Inženýr Claude Burdin označil poprvé vodní kolo jako turbínu (vyhr.Furneyon)

- 1826: Poncelet a Burdin konstruuji turbíny
- 1837. Hensonelova turbína
- 1838: William Barnet vynalezl motor s kompresí
- 1849: Brit. inženýr žijící v USA James B. Francis vynalezl vodní turbínu s lamin.prouděním
- 1860: Etienne Lenoir patentuje dvojčinný plynový motor
- 1862: John F. Allen a Charles T. Porter vystavovali na Londýnské výstavě rychlob.parostroj
- 1862: Francouzský inženýr Alphonse Beau de Rochas vyvinul 4 taktní spalovací motor
- 1867: Otto a Langen vyvíjí atmosférický stroj
- 1876: Vyzkoušen Ottův 4 takt, vynalezen nezávisle na nepatentovaném de Rochasově
- 1878: Pérový motor k pohonu šicího stroje
- 1878: Skot Dugald Clerk postavil první dvoutaktní motor
- 1879: Francouzský elektrotechnik Marcel Deprez sestrojil plynový spalovací motor pro pohon lokomotiv
- 1880: Americký inženýr Lester Allen Pelton vynalezl turbínu
- 1880: Anglický inženýr John Hopkins vynalezl přenos třífázového proudu
- 1881: V Godalminu (UK) uvedena do provozu první vodní elektrárna
- 1883: Maybach a Daimler vyvinuli rychloběžný motor
- 1883: Gustav Laval vynalezl turbínu
- 1884: Charles Algernon Parsons vynalezl turbínu
- 1885: Benz sestrojil benzinový motor, schopný hnát automobil
- 1885: Maybach a Daimler motorizovali motocykl
- 1887: Nikola Tesla vynalezl vícefázový indukční motor
- 1889: Něm. Inženýr Emil Capitaine vyvinul dvoutaktní spalovací motor s vysokou kompresí
- 1889: Daimler a Maybach uvedli dvouválcový motor a čtyřstupňovou převodovku
- 1890: Konstantin Ciolkovskij pracoval na teorii raketového pohonu
- 1884: Charles Algernon Parsons vynalezl turbínu
- 1885: Benz sestrojil benzinový motor, schopný hnát automobil
- 1885: Maybach a Daimler motorizovali motocykl
- 1887: Nikola Tesla vynalezl vícefázový indukční motor
- 1889: Něm. Inženýr Emil Capitaine vyvinul dvoutaktní spalovací motor s vysokou kompresí
- 1889: Daimler a Maybach uvedli dvouválc. motor a čtyřstup. Převodovku
- 1890: Konstantin Ciolkovskij pracoval na teorii raketového pohonu
- 1892: Maybach vyvinul karburátor s tryskou a plovákem
- 1892: Diesel získává patent na motor
- 1894: Létací stroj ing. Hiram Stevens Maxima
- 1895: Křižík pohání elektricky automobil
- 1895: Niagarská vodní elektrárna
- 1897: Diesel postavil spalovací motor
- 1897: Bosch vyvinul elektrické zapalování

POJMOSLOVNÝ EXKURZ

V této kapitole bude řeč o tom, čím vším člověk uváděl do pohybu nástroje, stroje či dopravní prostředky. V dějinách techniky se objevuje pro tento jev několik pojmů a označení: mluví se často o "zdrojích síly", "zdrojích energie", motorech či hybadlech. Problém je v tom, jak shrnout všechno od lidské ruky až po raketový motor do jednoho pojmu, který by byl nejen všezahrnující, ale také fyzikálně korektní. Takovými nejsou pojmy "zdroj síly" nebo

"zdroj energie", protože navozují představu, přičící se zákonům. Důsledným respektováním zákona o zachování energie lze dojít k tomu, že všechna ona zařízení jsou založena na přeměně některého druhu energie v energii mechanickou, znamenající ve svých projevech právě onen žádoucí pohyb. Slovní vyjádření této fyzikální podstaty by ovšem bylo neprakticky krkolomné, proto budeme nejčastěji používat pojem "zdroj motorické síly". Tímto pojmem nepředpokládáme netvrdíme, že tato motorická síla vzniká "z ničeho", nýbrž jsme si vědomi, že se tak děje přeměnou nějaké jiné formy energie. Když však pro bližší označení bude užít například výraz "živočišné motory", prosím, aby v tomto a jiných podobných názvech nebyly hledány logické rozpory a nekorektnosti. Tato oblast našeho jazyka je ve svých možnostech výrazně "předvědecká". To je patrné i na tom, že se tradičně říká "parní stroj", avšak spalovací "motor".

Zdroje motorické síly jsou svým způsobem limitujícím článkem jakéhokoliv technického zařízení. Člověk může vynalézt a vymyslet cokoliv, je však vždy především otázkou, "čím to bude pohánět". V dobách začátků automobilismu se například objevovaly návrhy na úžasná obojživelná monstra, kterými by se pasažéři plavili po moři a pak by vyjelo koly na souš a bez přesezení jelo dál, avšak každému soudnému člověku muselo být jasné, že to neuvede do pohybu motor o v té době nejvyšším výkonu 3 kW. V počátcích letectví byla tato otázka otázkou přímo kardinální. Dějiny techniky jsou tedy rovněž sledovatelné z hlediska hledání cest, jak potřebnou mechanickou energii získat.

I v této kapitole je možno doporučit, abyste si nejprve zběžně přečetl tabulku s přehledem rozhodujících dat. Tím se seznámíte s "terénem" tohoto hledání a bude možno sledovat odděleně jednotlivé linie, které se ve skutečnosti doplňují, prolínají a běží vedle sebe.

Revoluční myšlenka

Pokud jsme v minulé kapitole citovali B. Franklina a jeho definici člověka jako tvora, vyrábějícího nástroje, pak zde by byla její obdoba ještě příhodnější. O tom, zda někteří tvorové vyrábějí či nevyrábějí nástroje je možno diskutovat. Je však takřka nepochybné, že pouze člověk připadl na myšlenku, že by mohl svou námahu přenést na něco nebo někoho jiného. Pouze člověk přišel na myšlenku, že by mohl své nohy šetřit a vsednout na dobytče, že by mohl šetřit svůj hřbet a naložit náklad na loď, hnanou větrem, že by mohl šetřit své ruce, a točit mlýnským kamenem by za něj mohl někdo jiný. Právě myšlenka, jak se zbavit vlastní námahy je sama o sobě největším motorem a hybatelem technického pokroku. Touha po nalezení něčeho, co by pracovalo za člověka je někdy tak velká, že se při jejím uskutečňování člověk leckdy nadře více, než kdyby věc udělal přímo a sám. V tom však je již sama ona pábitelská a cimrmanovská podstata techniky... Právě tato oblast je snad nejvíce prostoupěna fantastickými až fantasmagorickými ideami, pramenícími snad již v pohádkách, krystalizujícími ve snu o perpetuum mobile, a ve stálém hledání motoru ještě silnějšího, menšího a levnějšího. Konce jsou ovšem pozoruhodné. Člověk již dnes dosáhl takových úspěchů, že ovládá megawatové výkony tak, že nehybně sedí před obrazovkou a pohybuje nanejvýš 10 prsty. Pak se na něj z toho z jedné strany valí zažívací potíže, z druhé kardiovaskulární onemocnění, takže musí vynalézat další přístroje, na kterých ve fitnesscentrech za těžké peníze jednostranně a nepřírozeně svou energii vydává.

Revoluční myšlenka, stojící na počátku hledání zdrojů motorické síly je tedy vedle své slávy někdy do jisté míry zvrácená, ekologicky nebezpečná, a z jiné strany eticky problematická. Toto konstatování je asi tak vše, co s tím lze dělat.

Živočišné motory

Prvním lidským zdrojem motorického výkonu byl a je si sám člověk. Svou energii vydával v opatrování potravy a všech dalších životních nezbytností. Jak již bylo řečeno, člověk se snaží tuto námahu složit na jiné tvory či stroje, nikdy to však nepůjde beze zbytku. Navzdory všem pokroku musí doposud dokonce i Američan tu a tam cestou do supermarketu při přestupování z automobilu do elektrického nákupního vozíku učinit několik kroků pěšky a být si tak motorem sám.

Již v dávné minulosti člověka bylo ovšem zpozorováno, již sama dělba práce umožňuje alespoň někomu námaze se vyhnout. To se dělo jednak způsobem, řekněme, řádným a legitimním, a to v dělbě práce. Lidé, kterým byla přiřčena kultická, vedoucí a rozhodovací role bývali obvykle od hrubé a často nebezpečné tělesné práce osvobozeni. Byla tím sice založena jistá neblahá tradice, považující námahu a práci za něco nižšího než je činnost duchovní a intelektuální, bez toho by se však člověk nepovznosl nad zvířecí přírodní stav.

Podstatná proměna nastává v souvislosti s agrární revolucí a vznikem větších, nadrodových celků, čili jak říkáme - států. Teprve od jisté úrovně produktivity lidské práce je člověk schopen vyprodukovat více, než kolik k obnově své pracovní síly potřebuje, a může tak být použit jako první **živočišný motor**. Protože však svalová námaha nepatří k činnostem, ve kterých by většina lidí nalézala zalíbení, musel být člověk k této činnosti nucen. Ve starověku i v antice jde o zcela jednoznačné mimoekonomické donucení, formálně a právně vyjádřené v instituci otroctví. Otroky se stávali váleční zajatci, za které mohli být případně považováni obyvatelé poražených a dobytých měst a států, dále dlužníci a zločinci. Instituce otroctví, využívající člověka jako motor, je velice dlouhá, a formálně trvala nejdéle v USA. Otroctví je ovšem příliš složitou a historicky velmi proměnlivou kategorií. Jednak se postavení otroků ve starověku i v antice velmi různilo - na jedné straně byla skutečně otrocká práce v dolech či ve středověku na "galejích". Vedle toho však byli otroci vychovateli, majordomy a v tomto postavení na tom nemuseli zdaleka být nejhůře. Je také jistě otázkou, zda osobně formálně svobodný proletář v továrně 19. století je svým postavením na tom lépe než otrok. Tyto otázky se však týkají našeho tématu pouze tím, jakým ne technickým způsobem byl člověk do něčeho zapřažen. Jak se dělo jeho zapřažení v rovině technické vyplne z dalšího.

Klika

Klika je jedním ze základních kinematických mechanismů, majícím stejný princip jako kolo na hřídeli. Člověk, použitý jako zdroj motorické síly má především k dispozici své horní končetiny, ruce. Způsob jejich využití je mnohostranný, protože lidská ruka je i při vyvinutí přiměřené síly schopna pohybů přesných a zrakem či jinými smysly kontrolovaných. Prvním pohybem byl ovšem pohyb "přitloukací", či pohyb vratný, jaký se původně uplatňoval při pohybování mlýnkem s držadlem na boku. Klika představuje poměrně vyvinutější fázi využití člověkovy energie, protože umožňuje předávání výkonu po jistou dobu nepřetržitě. Převedení jiných způsobu pohybů na otáčivý, s využitím kliky, znamenalo vždy zefektivnění. Otáčení klikou představuje i ergonomicky příznivý způsob práce. Klika byla uplatňována nejprve u menších mlýnků, u zvedacích zařízení, rumpálů, při napínání pružin metacích strojů a podobně. Před vybavením parním či spalovacím motorem, resp. elektromotorem, byla ještě v polovině 20. stol. mnohá zařízení "na kliku". Klikou se poháněly vrtačky, na kliku byly pračky, stroje na přípravu krmení pro dobytek, a nespočet dalšího. Úsloví "mít kliku" však

nemá s klikou ve smyslu technickém nic společného - jde o zkomoleninu německého "das Glück" tedy "štěstí".

Šlapací kolo a jeho modifikace

Výkon lidských paží je limitován. Lze pochopitelně zvětšovat délku kliky a tím i moment působící síly, avšak i zde jsou dány nepřekročitelné hranice. Při přiblížení se k nim patrně člověk učinil nový objev - když již na páce takřka visel, shledal, že by bylo lépe ji doplnit do plného kruhu, kde by mohl svou váhu uplatňovat po celém obvodu. Šlapací kolo je založeno na této zcela jednoduché myšlence. Vlivem nerovnováhy se volně uložené kolo bude otáčet tím směrem, na kterém bude ono živé závaží. Otáčivý pohyb je dán snahou těžší části obvodu klesnout co nejnižší a nastolit tak rovnováhu. Když se "závaží" bude po obvodu kola pohybovat, bude kolo po dobu jeho pohybu uvedeno do pohybu otáčivého.

Šlapací kola se objevují na starověkých vyobrazeních čerpadel, i na vyobrazení antického jeřábu, kde šlapací kolo navíjí lano, zvedající břemeno. Byla to zařízení, sloužící k pohybu břemen převážně ve směru svislém. Jejich konstrukce se lišila dle toho, zda jako ono živé pohybuující se závaží sloužil člověk nebo dobytče, a kde bylo tedy nutno respektovat jeho anatomické vlastnosti. Po krávě bylo stěží možno žádat, aby stoupala po žebříkových příčkách. Šlapací kola bývala dřevěná a jejich průměr byl dán i předpokládaným odporem, který měl být překonáván. Obvod kola byl z dřevěného bednění, na kterém bývaly stupně buď na jeho vnitřní nebo vnější straně. V prvním případě člověk nebo dobytče chodí uvnitř kola jako válce, ve druhém případě vystupuje po příčkách na jeho obvodu.

Nevýhodou šlapacích kol s horizontální osou je jejich značná rozměrnost a výrobní složitost, má-li být celá šlapací plocha dostatečně pevná a tuhá. Proto je možno pozorovat postupný vývoj, na jehož konci je zcela horizontální žentour, který je konstrukčně nejjednodušší. Mezičlánkem je ovšem **šikmé šlapací kolo**, kde člověk nebo zvíře jde po šikmo postavené kruhové ploše na šikmém hřídeli, ze kterého je ozubeným kuželovým převodem převáděn otáčivý pohyb na vodorovný hřídel.

Zprávy o šlapacích kolech podává Macus Vitruvius, byla hojně používána ve středověku, jak svědčí Agricola, Ramelli, Zonca, Verantius, Jakub de Strada a jiní spisovatelé. Některé renesanční kresby šlapacích kol patří ovšem spíše do kategorie "ideálních návrhů", které by byly technicky těžko realizovatelné. Na obrázcích lze vidět několik provedení šlapacích kol, přibližujících šířku možných modifikací.

Žentour je nejdéle přeživším typem živočišného motoru. Žentour, jehož konstrukce je patrna z obrázku, měl jednu nebo dvě oje, o délce asi 3,5 - 4 m. Oje jsou spojena s velkým ozubeným kolem, zabírajícím kuželovým ozubením do pastorku. Hřídel pak převádí otáčivý pohyb kanálkem pod plochou, po které chodí dobytčata, k dalšímu soukolí, končícímu obvykle řemenicí k pohonu potřebného zařízení. Tím bývala nejčastěji mlátička. Žentourem však mohl být hnán i generátor elektrického proudu, což je jistě poněkud kuriosní setkání. Provoz žentourů byl upraven předpisy, které patrně doposud platí. Kryt soukolí smí být sňat teprve tehdy, jsou-li tažná zvířata vypřažena, a dále musí být zajištěno, aby žentour v případě, že se tažná zvířata zastaví, nemohl být dále hnán setrvačností pracovního, tedy poháněného stroje. Ostatních náležitostí provozu žentourů se týkají předpisy zemského místodržitelství ze dne 12. března 1907, z.z.č. 33, pro Moravu nařízením z 28. prosince 1910, z.z.č. 2.

Vodní kola

*Přestaňte ručně mlít, ó mlečky! Dlouho ted' spěte,
I když červánků svit ohlásí kohouta hlas!
Demeter nymfám vod již práci svěřila rukou:
Shůry se na kola vrch vrhají skokem a tak
točí hřídelem; ten však hbitými rameny opět
uvádí dutých tíž nisirských žernovů v běh.
Starým životem žít nám možno; našli jsme způsob,
Jak, co Deo nám dá, bez práce požívat lze.*

Takto poeticky opěvuje římský básník Antipatros v prvním stol. př.n.l. vynález vodního kola, pohánějícího mlýnské kameny. První zprávu o vodním kole pochází ze spisu řeckého technika Filona z Byzance, který znal vodní kola, jimiž byla poháněna čerpadla a různé figurky (ve stylu našich mechanických pohyblivých Betlémů). První zpráva o použití vodního kola k pohonu mlýna pochází od řeckého cestovatele Strabona, takové kolo měl dle něj dát postavit Mirthiades VI., král Ponstský v malé Asii. V prvních stoletích našeho letopočtu bylo vodní kolo používáno spíše sporadicky k řezání dřeva i kamene. Roku 398 byly zřízeny v Římě první veřejné vodní mlýny. Od těch dob se začalo odlišovat řemeslo mlynářské a pekařské. Dělo se to však velmi zvolna, a u nás byl mlynář pekařem až do 13. Stol. Když roku 536 oblehli Gotové Řím a zničili přívod vody k mlýnům, přikázal římský vojevůdce Belisar, aby byly mlýny zřízeny na lodích na řece Tibeře. To byl počátek lodních mlýnů, které existovaly i u nás.

Vodní kolo prošlo ve svém vývoji několika podobami, které je vhodné jednotlivě si přiblížit.

Horizontální vodní kolo.

Nejstarším a nejprimitivnějším vodním mlýnem bylo zařízení využívající horizontálního vodního kola na svislém hřídeli, v některých případech byly radiálně nasazené lopatky pro zvýšení výkonu vyduť tvarovány. Na lopatky tohoto "ležatého" vodního kola se přiváděla voda dřevěnou troubou nebo korytem. Svislou hřídelí kola usazenou v patním ložisku byl poháněn pohyblivý mlecí kámen. Hřídel procházela otvorem pevného mlecího kamene. Tento typ mlýna bývá v literatuře uváděn různými názvy jako mlýn řeckého typu, balkánský či norský mlýn. Jeho výkon dosahoval 0,5 koňské síly a jeho lokace byla závislá na poloze v hornatém terénu s dodávkou menšího množství vodní energie.

Tento typ mlýna byl znám Plinioví, patrně z hornatých částí severní a střední Itálie. Jeho užití sahalo od Číny po Irsko a byl pro svoji konstrukční jednoduchost (nebylo třeba převodů) v některých odlehlých oblastech ještě donedávna (Shetlandy, Orkneye, sever Skandinávie) nebo do současnosti (Rumunsko a Libanon) používán. V soupisu majetku pořízeném mezi léty 1080 až 1086 po dobytí Anglie Normany, v tzv. Domesday Survey je zaznamenáno přes 5000 mlýnů, z nichž patrně velká většina byla tohoto typu.

Vertikální vodní kolo na spodní dopad vody.

V prvních stoletích našeho letopočtu došlo k postupnému zavádění vertikálního vodního kola. Stalo se tak na některých lokalitách na území pod římskou kontrolou. Není zcela jasné, proč římscí inženýři využívali vodního kola pouze k pohonu obilních mlýnů. Patrně převzali

princip vodního kola od řeckých mechaniků a přivedli jej k praktickému využití. Na rozdíl od předchozího typu vodního kola, bylo k pohonu vertikálního kola třeba zajistit stálý a dostatečný přísun vody. Řada zkoumaných vodních mlýnů užívala k pohonu vody z akvaduktů (Venafró, Barbegal, Tournus, Řím a Athény). Některé z uvedených lokalit byly zkoumány archeologicky a byly zjištěny i parametry těchto zařízení, jejichž popis najdeme u Vitruvia již v 1. stol. př. n.l. Z odborné literatury známe několik konkrétních příkladů využívání vertikálního kola. Tak v Agoře v Athénách bylo užíváno vodní kolo o průměru 324,00 cm, pohánějící dvojí mlýnské složení (po roce 457). Ve Venafró u Neapole byl nalezen v tufovéch sedimentech otisk vodního kola o průměru 185 cm s 18 tvarovanými lopatkami zajištěnými dvěmi okrajovými věnci. Kolo pohánělo mlecí složení o produkci 150 kg zrna za hodinu. V Barbegal u Arles byla při akvaduktu St. Rémy vystavěném za císaře Hadriána zřízena „továrna“ s 16 vodními koly ve dvou řadách v osmi podlažích, z nichž každé pohánělo 1 mlecí složení. Dřevěná kola byla situována v objektu nad rozdvojeným kanálem, v němž voda stékala slapem pod úhlem 30 stupňů při rozdílu výšky hladiny 18,60 m. Kola o průměru 220 cm a šířce 70 cm, byla upevněna pomocí olova na železné hřídeli. Pravděpodobně poslední etapa provozu objektu je spojena s obdobím panování císaře Konstantina I. (308–316), který v Arles sídlil. Mlýn produkoval množství mouky osmkrát přesahující místní potřebu, ta byla prostřednictvím místního přístavu exportována do Říma, případně legiím působícím v severní Galii.

V západoevropském prostředí se vodní kolo prosazovalo od 4. století n.l. Bylo to patrně v závislosti na novém pohledu na degradující otrockou práci v souvislosti s přijímáním křesťanství a zejména v důsledku ekonomických reforem císařů Diokleciána (284–307) a Konstantina (311–337) při zavedení státní kontroly distribuce obilovin. Od 4. století jsou uváděna vodní kola k pohonu pil na území dnešní Francie.

Do zaalpské oblasti se mělo vodní kolo rozšířit po roce 900. Z českého prostředí pochází nejstarší zmínka z roku 993 – privilegium Boleslava II. pro Břevnovský klášter ke stavbě dvou mlýnů. Další zmínky jsou pro klášter Hradiště nad Jizerou (rok 1100), pro Sázavský klášter (1140), špitál sv. Jana v Praze (1183), pro Únětice (1125).

Tento typ vertikálního vodního kola na spodní dopad se objevuje i v ikonografických materiálech – např. Hortus Deliciarum 1176 až 1196, Liber Depictus (jižní Čechy kolem roku 1350). Byl užíván i nadále, vedle kola na horní dopad vody, podle povahy vodoteče a polohy mlýna. V práci Vavřince Kříčky z Bitýšky ve spojení s konstrukcemi vodních pump ještě k roku 1564, stejně jako na celé řadě vyobrazení. Lodní mlýny, typické pro velké řeky, užívaly výhradně vodních kol na spodní dopad.

Z nálezů z Veselí nad Lužnicí pochází část vodního kola, dnes rekonstruovaného a prezentovaného v muzeu v Táboře. Skládá se z hřídele (válu), osmi válcových ramen zatesaných do hřídele na dlab procházejících věncem kola a lopatek nasazených na vnější stranu věnce sesazeného z překrývajících se segmentů. Lopatky se opírají o přesahující ramena, případně o kolíky zapuštěné do věnce kola. Dvojice plochých drobných prstenců fixovala polohu lopatek kolmo na věnec kola. Všechny detaily jsou spojeny pomocí dřevěných kolíků.

Vodní kolo na horní dopad vody.

Nutnost přivodu vody na kolo vedla ke stavbě jezu na vodním toku, budování náhonu, respektive nádrží zajišťující dostatečnou zásobu vody. Zřejmě způsob přivádění vody na kolo vedl ke konstrukci kola na horní dopad, kdy je využíváno polohové energie vody a tím je dosaženo vyšší účinnosti vodního kola. V období vrcholného středověku dochází k využití vodního kola k pohonu celé řady dalších technických zařízení, např. v dolech, hutích, valchách a pod. V archívních materiálech bývá všeobecně každé zařízení užívajícího

k pohonu vodního kola označováno jako molendina tj. mlýn – což přechází do výrazů označujících takové objekty např. v angličtině a němčině (hammer mill, papier mühle), ale i ve francouzštině (moulin a fer).

Na území západní Evropy se objevuje vertikální kolo na horní dopad vody již koncem 1. tisíciletí našeho letopočtu. Od 11. století pracovaly ve Francii, v Anglii, Dánsku a Švedsku desítky hutí při cisterciáckých klášterech užívajících vodních kol. O existenci podobných zařízení na území českého státu, například o vzniku desítky hamrů při cisterciáckých klášterů na Velehradě a ve Žďáře nad Sázavou se diskutuje. Tzv. domašovské falzum se zmiňuje o „molendina, sive hutta dictatur“ k roku 1256. Tato železářská huť se měla nacházet na řídce Bystřičce u Domašova. Jedná se však o listinu řádově o několik desítek let mladší.

V prvních dekádách 13. století jsou zmiňována vodní kola na horní dopad vody ve stříbrných dolech v Tridentu. Nejstarší vyobrazení takového kola nacházíme v díle Konráda Keysera z roku 1402 (patrně z českého prostředí). Další příklad nacházíme v práci *Mittelalterliche Hausbuch* z roku 1480. Nejrozsáhlejší soubor vyobrazení vodních kol různých typů pro pohon důlních a metalurgických zařízení prezentuje G. Agricola. Jím uváděná vodní kola byla snad typicky středoevropská pro obkročnou konstrukci ramen kola. Rozměry takovýchto vodních kol dosahovaly až 12 m. Existovala i dvojice protiběžných kol střídavě spouštěných pro transport pod den, ovládaných strojníkem pomocí táhel spojených se zátkami řídícími průpust vody na kolo. Vodní kolo o průměru 14 m se zachovalo v Idrii (Slovinsko), při bývalých rtuťových dolech, kde prostřednictvím míhadel čerpalo důlní vody místních dolů. Právě pro čerpání vody pomocí různých mechanismů, včetně sacích a výtlačných pump uvádí Agricola řadu vodních kol, často umístěných v podzemních komorách nad sebou.

Část věnce vodního kola na horní dopad byla spolu s mlynářským náradím (pemrlíce k otesávání mlýnských kamenů) nalezena při řece Jizeře v Příšovicích u Turnova (středověk). Část věnce vodního kola se dvěma dřevěnými lopatkami byl nalezen v abertamském rudním revíru, nedaleko Jáchymova. Kolo mělo průměr cca 3 m, šířku 25 cm, nález je rámcově datován do 16. století. Mladší nález věnce vodního kola s 5 plechovými zakřivenými lopatkami je deponován v hornickém muzeu v Krásné v Slavkovském lese. Z britských materiálů je známa kolekce archeologických nálezů částí vodních kol pocházejících z prostředí železářských provozů z rozmezí 15. až 17. století.

Kolo na střední dopad vody.

Bylo používáno velmi omezeně, jen ve specifických podmínkách a v pozdějších obdobích.

často při užití kombinovaného konstrukčního materiálu, když u původně celodřevěné konstrukce kola byla osa a ramena kola zhotovena z oceli, případně litiny. Impuls k nové konstrukční řadě vodních kol dal soustavný výzkum Johna Smeatona, prováděný od poloviny 18. století, který přinesl nové poznatky jež mohly být užity konstruktéry při stavbě vylepšených modelů kol, většinou již celokovových konstrukcí (např. Zuppinger, Sagebien, Poncelet a další).

Konstrukce vodního kola.

Konstrukce vlastního kola se dělí podle upevnění věnce vodního kola k hřídeli „na dlab“ a na kol „obkročné“. Starším typem, který však byl užíván až do počátku 20. století, je upevnění ramen na dlab vyžadující kvalitnější dřevo (dub). Konstrukce vodního kola vychází lehčí, s menší spotřebou energie a vyšší výkonností. Mladší konstrukcí je konstrukce obkročná, kdy část válu (hřídele) je přitesána do čtvercového průřezu, k němuž přiléhající dvojice ramen. Tato konstrukce je snad typická pro středoevropskou oblast. Až na jednu výjimku jsou všechna vodní kola v Agricolově práci *De ré Metalica Libri XII* této konstrukce.

Existuje ještě další technické řešení konstrukce vodního kola, které je velmi vzácné a to s tangenciálními rameny.

V různých oblastech Evropy docházelo k rozdílnému využívání zásadních konstrukčních řešení vodního kola, daných místními geografickými podmínkami, materiálními možnostmi pro získání konstrukčního materiálu a v neposlední řadě i místní tradicí.

Ve Velké Británii, kolébce industriální revoluce, byla ještě roku 1815 polovina továrních strojů poháněna vodními koly. Ekonomika provozu výrobních objektů, které se nacházely při vodních tocích a většinou využívaly starších vodních děl byla výhodnější, než instalace parních strojů, které sice nebyly vázány na vodní zdroje, ale v této době stále ještě spotřebovávaly značné množství uhlí. V Českých zemích byla vodní kola užívána ještě dlouho do 20. století, a to hlavně v menších, ekonomicky méně úspěšných provozech mlýnů, valch a hamrů.

V době, kdy vodní kolo bylo jediným zdrojem motorické síly nastával často problém, spočívající v tom, že vodní kolo muselo být nutně u řeky, zatímco pracovní stroj, například důlní čerpadlo, bylo poměrně vzdáleno. Přenos energie děl se pak míhadly, která od kliky na hřídeli vodního kola přenášela vratný pohyb až tam, kam bylo třeba. Jinak se ovšem pohyb přenášel transmisemi a řemeny.

Největší vodní kola

Někdy je užitečné zeptat se na hranice, ukazující kam až lze dojít. Pokud jde o vodní kola, je tímto přiblížením se k maximu soustava vodních kol, kterou dal k zásobování zámeckých vodotrysků ve Versailles vybudovat Ludvík XIV. Toto dílo bylo uskutečněno v létech 1681 až 1688 v Marly u Paříže. Bylo to 13 vodních kol o průměru přes 8 m. řada těchto kol byla široká celkem 34 m a poháněla 235 pump, dopravujících vodu do nádrže, ležící 163 m nad hladinou řeky. Ke stavbě se spotřebovalo 85 t dřeva, 17 t železa, 850 t olova, 850 t mědi při stavbě pracovalo 1800 dělníků. Stroj byl velmi poruchový a dánský král, když to všechno viděl a zvážil, prohlásil, že voda ve vodotryscích přijde dražší než víno. Měl pravdu. Posléze byla celá tato mašinerie nahrazena jedním parním strojem.

Maximum vodního kola

Již koncem 17. stol. se začalo využívat znalostí hydrodynamiky, což umožnilo optimalizovat tvar lopatek. Byl to především francouzský inženýr Poncelet, který ve 20. letech 19. století sestrojil vodní kolo na střední vodu se zakřivenými lopatkami. Voda zde proudila poměrně malou rychlostí, bez nárazů, a byla využita nejen její hybnost, nýbrž i váha, takže účinnost bývá udávána až 75% proti 25% účinnosti kola na spodní vodu. Vodní kolo tím však přesto nebylo oživeno, protože právě hydrodynamika a rozvoj techniky s potřebou pohonu generátorů postavila na vrchol energetických výkonů vodní turbínu.

Vodní turbíny

Po vodním kole přichází vodní turbína. I zde je nesnadno vést přísnou a přesnou hranici kde který typ končí a druhý začíná. Turbína se všeobecně od vodního kola liší tím, že voda nepůsobí svou vahou nebo nárazy na lopatky, nýbrž svou pohybovou energií. Turbína je kovový výrobek moderního strojírenství, jehož součásti jsou odvozeny ze zákonů hydrodynamiky. Zákony hydrodynamiky, které jsou zde využity definoval již v roce 1738 francouzský fyzik Daniel Bernoulli. Turbína je rychloběžný a regulovatelný stroj, na rozdíl od těžkého dřevěného lopatkového kola. I turbína vzniká jako idea i návrh ještě v době vodního kola. Za přímého předchůdce může být považováno

Lžicové kolo, na kterém byly na vodorovném kole lopatky z vyhloubených prken. Tato praturbína se objevuje na kresbách Jakuba de Strada ze 16. stol. V roce 1750 se objevuje

další model. Je to **Segnerovo kolo**, postavené německým profesorem Segnerem v Göttingen. Segnerovo kolo bývá nazýváno reakční turbínou. Toto označení pochází ovšem od Leonharda Eulera, Segnerova současníka, který vysvětlil, proč se kolo otáčí. Prakticky však byla tato raná turbína použita pouze jednou, a to nedaleko místa kde se zrodila, a to v lisovně oleje.

Vlastní konstrukce a stavba turbin bývá obvykle počítána od **turbíny Fourneyronovy**, kterou tento francouzský inženýr sestrojil roku 1833. Benoit Fourneyron nabyl technické vzdělání v hornické škole, kde byl jeho učitelem francouzský inženýr Claude Burdin. Byl to jeden z nejlepších znalců hydrodynamiky, který ji také přednášel svým žákům. Fourneyron našel zaměstnání v dolech a hutích, kde se všude dostával do kontaktu s vodními koly a uvědomoval si jejich slabiny. Tam se v něm zrodila myšlenka, že účinnější využití energie vody by bylo možno očekávat od kola vodorovného. V té době předložil jeho bývalý učitel Burdin Akademii návrh zdokonaleného vodního kola, které poprvé nazval turbínou z latinského "turbo" - kroužit. Akademie vypsalá soutěž na kolo, které by bylo realizací některých Burdinových myšlenek, a tuto cenu získal právě jeho žák Fourneyron. Jeho turbína měla úspěch a Fourneyron založil továrnu na její výrobu, která byla školou konstruktérů i stavitelů turbin.

Roku 1841 byla postavena **turbína Henschel-Jonvalova**, původu německého. Karel Antonín Henschel byl důlní inženýr. Zatímco Fourneyronova turbína je radiální, Henschelova je axiální - voda protéká ve směru osy kol. tato turbína měla sice menší účinnost než předcházející, byla však úspěšná díky své jednoduchosti a laci. Jméno Jonval v názvu turbíny patří francouzskému inženýrovi, který ve stejný čas sestrojil turbínu velmi podobné konstrukce, takže obě pak splynuly v jednom názvu.

Roku 1849 byla vyrobena americká **turbína Francisova**. James Bicheno Francis byl původem Angličan, který se v 18 letech odstěhoval do USA. Pracoval při stavbě průplavů, což ho přivedlo k uvažování o využití energie vody. V té době byly v USA již turbíny známy a několik Fourneyronových tam pracovalo. Francis si nejprve prohlédl turbínu, kterou podle Fourneyronovy turbíny sestrojil jeho přítel Boydon pro jednu přádelnu. Francis na základě získaných teoretických znalostí navrhl pro tuto turbínu několik zlepšení a především si vytvořil vlastní představu, kterou vtělil do svého modelu. První Francisova turbína byla radiální, podobně jako Fourneyronova. Zatímco u Fourneyronovy turbíny proudí voda ze středního rozváděcího kola do vnějšího oběžného, u Francisovy je tomu naopak. Díky tomuto racionálnímu uspořádání, správnému tvaru lopatek i pečlivému zpracování měla účinnost 80% . Všechny vyjmenované typy turbin stály obrazně řečeno na startu, ovšem udržela se z nich pouze turbína Francisova. Prodlala několik zdokonalení, ke kterým konstruktéry přivedly zkoušky a pokusy. Nevýhodou Francisovy turbíny byl ovšem nízký počet jejích otáček. Vzhledem k tomu, že dosahovala nejvýše 600 ot./min., bylo nutno vložit mezi turbínu a generátor převod do rychla.

Silným podnětem k zdokonalování turbin byl vývoj generátorů, dynam a alternátorů. Měly-li se zvětšovat jejich výkony, byla tedy jediná cesta - zvyšování počtu otáček. Těmto požadavkům zvláště vyhovuje zvláště turbína, vyvinutá roku 1880 Američanem Lesterem Peltonem. Jistým vzorem mu bylo vodní kolo se zakřivenými lopatkami, postavené roku 1825 francouzským vojenským inženýrem Jeanem Victorem Ponceletem, a pak i další turbíny, zvané parciální. Jsou to turbíny s tzv. tečným stříkem. Tyto turbíny nemají rozváděcí kolo, protože voda se na oběžné kolo přivádí jednou nebo několika tryskami. Je to turbína, kterou lze s výhodou použít pro velké spády a malá množství vody.

Napínavý technický příběh představuje turbína, zkonstruovaná profesorem brněnské německé techniky Viktorem Kaplanem. Jak je známo, **Kaplanova turbína** má na oběžném kole několik lopatek, podobných do jisté míry vrtulí. Proto bývala také nazývána

"propelerová". Je vhodná zvláště pro malé spády a velká množství vody, jejíž energie využívá lépe než turbíny jiných typů. Viktor Kaplan se narodil r. 1876 v Mürzzuschlagu ve Štýrsku, kde byl jeho otec železničním úředníkem. Techniku vystudoval ve Vídni a od roku 1903 působil na německé technice v Brně. Svými studiemi turbin došel k závěru, že nestačí regulovat průtok vody pouze lopatkami rozváděcího, nýbrž i oběžného kola, a dále byl doveden v úvahách k tomu, že počet lopatek radikálně snížil na 4. Tím byla konečně postavena rychloběžná turbina i pro malé spády, která má velmi příznivou účinnost i při změnách průtočného množství.

Zavedení této turbíny však nebylo bez nesnází. Strojírny neměly k tomuto typu důvěru a činily Kaplanovi všemožné nesnáze. Pouze Storkova strojírna se uvolila roku 1918 vyrobit první turbínu pro přádelnu v Ulmu v Rakousku. První turbíny však nesplnily očekávání, protože se u lopatek projevila tzv. kavitace, způsobující vibrace a rychlou erozi povrchu lopatek. Přepřipravený Kaplan byl tímto neúspěchem zdrcen, avšak jeho stoupenci i některé strojírny zahájily soustavné pokusy s cílem odstranění této závady. Po uzdravení se tohoto úsilí účastnil i Kaplan. Snaha byla korunována úspěchem - turbíny postavené v roce 1923 již pracovaly bezvadně. Velkým vítězstvím pak bylo postavení této turbíny ve Švédsku, v elektrárně Lilla Edet. Turbína měla průměr 5,8 m. jak je známo, používají se kaplanovy turbíny v přečerpávacích elektrárnách, kde jsou schopny rovněž fungovat jako čerpadlo.

Větrné motory

Pouze zřídka si člověk uvědomuje samu podstatu prostředí, ve kterém se odehrává náš život. Žijeme na dně vzdušného oceánu, plynného obalu naší země. Vzduch byl ionským filosofem Anaximandrem považován za prapůvod všeho. Viděl v něm pozoruhodnou látku, související s dechem a tím se životem, viděl, že jakkoliv je neviditelný, dovede formovat a deformovat stromy na skalnatých vrcholcích hor, že se dovede proměňovat v teplo i chladno. Vzduch kolem sebe vnímá člověk především v té jeho vlastnosti, která bývá jednou ze součástí předpovědi počasí - je to pohyb vzduchových mas. Vítr není vyvoláván pohybem větví stromů, jak se někdy soudilo, nýbrž nerovnoměrným ohříváním zemského povrchu.

Síla větru je někdy nepřehlédnutelná. Vítr unáší listí, ale stejně dobře může kácet stromy a bořit domy. Člověk jistě záhy zpozoroval, že se mnohem lépe jde i pluje po větru než proti větru. odtud vede cesta k tomu způsobu "větrného motoru", kterým je plachta na lodi, ale i na čínském trakaři nebo vozítku Simona Stevina. Mnohdy by však bylo třeba využít vítr, ale zůstat přitom na místě. To v podstatě nelze zařídit jinak, než tak, že vítr něčím otáčí. I zde bývá často počátek možno vidět v úplně jiné oblasti, než je technika. Tím by zde mohly být tzv. modlitební mlýnky, používané v buddhismu. Za jisté se má pouze to, že větrné kolo přišlo do Evropy z východu, a to v době křížových výprav, tedy ve 12. a 13. století. Jisté zmínky u Herona Alexandrijského tehdy ještě nedošly realizace.

Větrné kolo bylo používáno především k pohonu mlýnů, pouze v Holandsku později i k pohonu čerpadel. Proto pod pojmem větrný mlýn bývá často míněno i vlastní větrné kolo. Větrné kolo bývalo obvykle svislé, s vodorovnou osou, ze které musel být pohyb převodem proměněn ne vertikální, aby bylo možno hnát vodorovně ležící mlýnské kolo. Z vodorovné osy vybíhala obvykle 4 ramena, (křídla, perutě). Tyto perutě měly podobu asi 6 - 9 m

dlouhého žebříku, kde se do prostor mezi příčkami vkládala prkénka (dřízky, loučky), nebo se zatahovaly plachetkami. Podle síly větru se těchto prkének dávalo do perutě více nebo méně.

Větrné kolo nemohlo být ovšem kvůli měnícímu se směru větru nastaveno pevně. Otáčivost se až do 15. Století zajišťovala tím, že se na vysokém sloupu mohl natáčet celý mlýn. Tato konstrukce se nazývala mlýn beraní či kozlečí. Pro větší stabilitu spočíval tento mlýn na zemi na několika oporách, které se při natáčení smýkaly. I tak byly tyto mlýny vratké, a tu a tam vítr nějaký převrátil. Později byl mlýn uložen na kolečkách, která jezdila po vydlážděné nebo železné kruhové dráze. Od 16. Století se začínají z Holandska šířit mlýny, u kterých se otáčí pouze vrchní kupole, nesoucí větrné kolo. Ty se nazývaly "holandské" nebo "paltrokové". Jejich nejstarší náčrtek pochází od Leonarda da Vinci.

Vývoj se pochopitelně nezastavil u větrného kola s dřevěnými perutěmi. Běžně je znám dnešní tvar větrného motoru na elegantní noze s třílistou vrtulí. Cesta k tomuto tvaru vedla složitě a klikatě. Vzniklo několik konstrukcí, které se různým způsobem vyrovnávaly s nutností regulace výkonu v závislosti na síle větru, a pochopitelným požadavkem otáčení celého zařízení potřebným směrem. Patrně společným rysem všech těchto konstrukcí je velký počet dílů, ze kterých je větrné kolo sestaveno, takže je možno se právem domnívat, že funkce žádné z oněch soustav nebyla uspokojivá.

Motory, využívající vodní páru

Cesta k parnímu stroji

Jako všechno, i parní stroj má své počátky, ležící daleko v minulosti. U parního stroje je to především Heronova bán, ukazující, že je páru možno přeměnit v pohyb. U Heronovy báně jde o efekt reakční (ve smyslu mechanickém), protože pára působí svou reakcí v ohnutých tryskách. Jiné uspořádání přivedl na svět v polovině 17. Století Giovanni Branca. Ve svém spise "La Machine" popisuje parní kolo, které je ovšem rovněž spíše předkem parní turbíny. Kolo s lopatkami na obvodu se roztáčí v proudu páry, dopadajícím z trysky na lopatky. Zde není použit píst a válec, tato soustava, která byla známa již Ktesibiovi, a která má svůj původ v řecké medicíně, totiž ve stříkačce, kterým aplikoval lékař pacientům klyisma. Ano, i klystýr je prapředkem parního stroje.

Otto von Guericke (1602-1686) Tento muž bývá považován za německého zakladatele experimentálních věd. Vývěva a elektrizační stroj proslavily jeho jméno. Otevřel daleké oblasti fyzikálního poznání a vytvořil důležité základy strojí techniky. největší pomník si postavil svým velkým dílem o magdeburských pokusech, které vyšly r. 1672. Kniha vyšla po dlouhém čekání, zdržování a průtazích, které působila tiskárna v Amsterdamu, je psána latinsky.

Otto von Guericke se narodil se v Magdeburku, jeho otec byl diplomatem polského království v Moskvě, Konstantinopoli a Kopenhagenu. Studoval v Lipsku a v Helmstedtu, Jeně a Leydenu. V užití matematice bylo tehdy obsaženo všechno, co mohla škola podat o

vědách technických. Studoval měřictví, vojenskou techniku, opevňování a astronomii, vnikl do přírodovědného myšlení své doby. poté cestoval po Francii a Anglii, a pak se vrací do Magdeburku, kde se roku 1626 oženil. Město ho pověřilo inženýrskými úlohami. Německo bylo tehdy bitevním polem třicetileté války. Guericke stěží zachránil život svůj a své rodiny, vstoupil do služeb Švédů a pracoval na opevnění Erfurtu. Poté se vrací se do Magdeburku a stává se městským architektem. Jeho smělé urbanistické návrhy ovšem ztroskotaly na přání měšťanů, aby byly znovu postaveny staré úzké uličky. Po uklidnění politické situace se konečně věnuje přírodovědným pokusům.

Lidé té doby se již přestali zabývat čistě teologickým myšlenkovým světem minulých staletí. Procitlo vědecké myšlení a hledalo své naplnění, i když se ještě bázlivě snažilo uvést nové poznatky v soulad se školským teologickým názorem. Pohybovat se mimo stanovená dogmata bylo dosud nebezpečné. K nebi teologů přistoupilo nebe, které vidíme. Jenom čisté myšlení může odkrýt pravdu, řekli učenci.

Jednou z kardinálních otázek byla existence prázdnoty, resp. vzduchoprázdna. Jedni připouštěli, jiní popírali. Argumentovalo se pochopitelně citáty z Bible. Ani ta však do věci nevnesla jasno. Podle jednoho verše "nad prázdnotu postavil jsi zemi" se zdála být prázdnota možnou, z dogmatických, postavených na jiných biblických místech, byla nemyslitelnou. Guericke chtěl jít jinou cestou a takový prostor prostě vytvořit. Naplnil pivní sud vodou pomocí dvou hasičských stříkaček se pokoušel ji ze sudu vyčerpat. Vzduch se tlačil skrze spáry a netěsnosti. Nechal u kováře udělat kovovou, měděnou kouli. Ta se najednou po vyčerpání části vzduchu, zmuchlala jako papír. Prázdny prostor se zdál skutečně odporovat božské podstatě světa. Guericke takový prostor (do jisté míry) vytvořil, a popsal i jeho vlastnosti. Dokázal i netušenou sílu tlaku vzduchu, a to pokusem s dvěma polokoulemi, které nedokázalo roztrhnout ani 16 koní. Trubicí zjistil tlak vzduchu, voda vystoupila do výše 20 magdeburských loktů, t.j. 10 metrů. Objevil souvislost mezi počasím a tlakem vzduchu, při pokusu o změření tlaku na vrcholu hory se však přístroj rozbil a pokus nebyl dokončen. Mezitím se na jednom velkém sněmu v Řezně dověděl, že Ital Torricelli, žák Galileův, již dříve vynalezl rtuťový barometr. Také B. Pascal se těmito pokusy v téže době věnoval, ale jako experimentální tekutinu používal červené víno. Nejvíce pokusů konal Guericke v letech 1657-1662.

O svých pokusech s elektřinou psal Leibnizovi, Pracoval se sírovou koulí, která se třením rukou při otáčení, elektrostatické pole indikoval perličky a chmelovými lístky. pozoroval působení hrotů a zjistil, že je náboj možno vést vláknem. I když se mu nepodařilo rozluštit kosmické problémy a sám Leibniz ho upozorňoval, že předpoklad „světových sil“ je přece jen příliš málo přírodovědně pojatý, jsou jeho pokusy významné. Významné je to, že dokázal pokusy nejen vymyslet, ale i uskutečnit. Guericke je patronem stavu německých inženýrů. *"U přírodovědeckých pokusů nemá cenu krásné řečnění a pohotová diskuse. tam, kde můžeme nechat promlouvat skutečnosti, není třeba vymělkovaných hypotéz"*. Ještě r. 1877 vypráví Helmholtz, jak jeden slavný profesor, vyzvaný aby přihlédl nějakému pokusu, s velkým rozhořčením tuto výzvu odmítl, neboť ***pokus prý nemá nic společného se skutečnou vědou.*** Příkladem protivědecké oponentury zcela jiné povahy je výrok pumpaře, který se setkal s teoreticky i experimentálně ověřeným konstatováním, že vodu nelze vytáhnout z hloubky větší než 10 m. Onen pumpař na to řekl: „Já myslím, že při dobré vůli a potřebném fortelu se dá překonat i tato potíž, a vodu z větší hloubky než 10 m čerpat lze.“ Přírodověda je tedy krutá. Ukazuje člověku, že něco nejde ani při dobré vůli.

Vstup parního stroje do dějin byl tehdy provázen křechy celého sociálního života. Byl to čas zápasu se starou domáckou výrobou, a z tohoto zápasu se zrodil tovární dělník a podnikatel. Za časů Guerickových bylo průmyslové podnikání podlamováno nedostatkem pohonné síly. V 18.stol. držely některé šachty až 500 koní, používaných k pohonu čerpadel. Guericke ukázal, jaká síla je skryta v tlaku vzduchu. Šlo jen o to, jak způsobit vakuum pod

pístem. Ve Francii se zrodila myšlenka použít k tomu střelného prachu. Před parním strojem zde tedy byl atmosférický výbušný stroj, poháněný střelným prachem. O 160 let později tuto myšlenku v podobě plynového atmosférického stroje přejal Otto a Langen. Na tomto výbušném stroji pracoval také holandský fyzik Huygens, kterému se podařilo přitáhnout k této práci i Denise Papina

. **Denis Papin** se narodil 22. srpna 1647 v Blois ve Francii jako syn vyššího královského úředníka. V patnácti letech vstoupil na universitu v Angers, kde studoval medicínu a přírodní vědy. Proslavil se zručností, takže si sám zhotovoval přístroje. 1675 odešel z Paříže do Londýna, kde pracoval s Boylem na vzdušné pumpě. Byl jmenován členem Anglické královské vědecké společnosti. Za to věnoval této společnosti svůj spis, ve kterém popisuje vynález tlakového hrnce, i s pojistným ventilem jeho vlastní konstrukce. Cestovatelská vášň ho přivedla i do Benátek, ale vrací se opět do Londýna. Zde provedl celou řadu pozoruhodných zkoumání - chtěl používat tlaku vzduchu k přenášení sil, pokoušel se vzduchoprázdňem vymršťovat dělové koule. Ve Francii byl mezitím vyhlášen Nantský edikt, znemožňující Papinovi návrat. Denis Papin byl nekatolík, helvetského vyznání. Náležel k těm tisícům francouzských občanů, kteří tak nuceně v zahraničí šířili své umění. Náboženské pronásledování hrálo v šíření vědy i řemesel významnou roli. Papin byl povolán na universitu v Marburku, kde je však zklamán. Postavil tam odstředivou pumpu, a opět se pokoušel o přenášení sil na větší vzdálenost. Konal pokusy s potapěčským zvonem a 1692 v Kasselu i s podmořským člunem. Již v Paříži se Papin seznámil s Leibnizem, který se o Papinovy práce živě zajímal. Papin si mu stěžuje, že nemá peněz, aby mohl držet mechanika, a proto nevykoná ani polovinu toho, co by chtěl. „Proto se chci omezit na to, abych svým talentem, jež mi svěřil Bůh, sloužil světu, a odkazuji jiným velkým duchům, podobným Vám, aby pronikali do věčných pravd, a tak ukazovali potomstvu snadné cesty, na nichž lze dojít pokroku.“

Mezi Papinovými plány je i atmosférický pístový stroj. Lankrabě von Hessen ho pověřil, aby též pracoval na Huygensově výbušném stroji. Výbuch měl vyhnat z válce vzduch a navodit tak potřebný podtlak. Zředění vzduchu bylo ovšem velmi mírné, protože stroj nemohl vzdorovat větším výbuchům. Tu přišel Papin na geniální vynález - exploze chtěl nahradit kondenzací vodní páry. Vpravil do válce něco vody, proměnil ji v páru, ta vyhnala z válce vzduch a sama válec vyplnila. Kondenzací se vytvořilo vakuum, které stáhlo válec do prázdného prostoru. R. 1690 uveřejnil Papin svoji práci „Nová methoda, jak vyráběti největší pohonné síly téměř bez námahy“. Tím je objevitelem atmosférického parního stroje. Problém využití tohoto vynálezu však vězel v nemožnosti vyrobit přiměřeně velké válce. Doporučoval založení továrny, která by se zabývala pouze výrobou válců, což však v Marburku nebylo možno.

Roku 1705 mu Leibniz sdělil, že Angličan **Savery** zkonstruoval parní pumpu. Lankrabě si přál, aby se Papin znovu zabýval touto myšlenkou. Chtěl, aby sestrojil čerpadlo, které by zvedalo vodu, která by poháněla vodní kolo. Denis Papin patrně skutečně sestrojil zařízení, které by bylo možno nazvat parním čerpadlem s plovoucím pístem. Voda přitékala do válce samospádem, a po jeho naplnění byla vytlačena tlakem páry do nádrže v úrovni vyšší, než odkud přitékala. Plovoucí válec měl oddělovat vodu od páry, aby se zabránilo její kondenzaci. Stroj však pracoval velmi špatně. Je možno předpokládat, že to bylo způsobeno naprostou nezvyklostí součástí, které Papin po řemeslnících požadoval. Roku 1707 se vrací do Londýna, opatřen doporučujícím dopisem Leibnizovým, hodlal v Londýně předvést svůj stroj a soutěžit se Saverym. Marně, zemřel patrně 1712 v Londýně v největší bídě.

V témže roce, kdy Papin zemřel, pohnuly se poprvé dřevěné a železné součásti parního stroje, který postavil **Thomas Newcomen**. Ten se narodil 1663 v devonském hrabství, vyučil se v železářském obchodě. V obchodních záležitostech navštěvoval sousední Cornwall, velký hornický okres, kde sám prožíval nesnáze, vzniklé zatopením těžních jam. Nebyl jediný, kdo

se tím zabýval - již zmíněný Savery obdržel 1698 patent na přístroj „hnací silou ohně zvedající vodu a pohánějící hnací ústrojí všeho druhu“. Saveryho pumpa odpovídala dnešnímu pulsometru. Páry bylo střídavě používáno k vytvoření podtlaku, který sloužil k zvednutí vody, a v druhém cyklu pak k jejímu vytlačení stoupacím potrubím. „Horníkův přítel“ však nemohl zmenšit dosavadní nouzi v hornictví. Nejenže toto zařízení pracovalo s otevřeným ohněm, což v dolech nelze, ale ani tehdejší úroveň kvality trubek a armatur nemohla vyhovovat tlakům, které by v takovém čerpadle v dole nastávaly.

Thomas Newcomen šel jinou cestou než Savery, použil totiž, podobně jako Papin, píst a válec, **oddělil však parní kotel od válce, tedy od pracovního prostoru**. Parní válec byl zavěšen na trámové strojovny. Kotel byl umístěn pod parním válcem. Píst válce byl zavěšen silným řetězem na jedné polokruhové části dvojramenného vahadla, na jehož druhém konci viselo rovněž na řetěze táhlo pumpy.

Stroj pracoval takto: Pára z kotle naplnila prostor ve válci a vyhnala odtud vzduch. Píst se dostal do horní polohy, což se dělo i tím, že druhá strana vahadla byla těžší. Kondenzací vznikl podtlak, a tlak vzduchu zatlačil píst do válce. Tím vahadlo zvedlo táhlo pumpy. Ochlazování válce se dělo povrchově, takže stroj vykonal asi 4 zdvihy za hodinu. Prasklý válec a vniknutí vody doň ukázalo dokonalejší způsob kondenzace vstříkem studené vody do válce, a počet zdvihů se zvýšil až na 12. Tento stroj začal pracovat asi 1711 nebo 1712, kdy Savery měl svůj stroj již patentován. To ovšem znamenalo, že se Newcomen dostal do patentního sporu, a ten se vyřešil tak že musel Saveryho odškodnit.

Newcomenův stroj neustrnul ve své počáteční podobě. Brzy se podařilo uskutečnit i to, aby si stroj sám obstarával rozvod. V Uhrách byl první podobný stroj postaven 1722, ve Francii 1726. Newcomenův stroj byl postupně dále technicky dořešen Johnem Smeatonem, jemuž se podařilo dosáhnout optimálních proporcí součástí a pečlivým provedením stroj zdokonalit. Smeaton se narodil roku 1724 jako syn váženého advokáta, avšak věnoval se technice, která byla tehdy ještě málo ceněna. V Londýně se naučil zhotovovat matematické přístroje, spolupracoval s královskou učenou společností. Vynikl spisem: „Experimentální vyšetřování sil větru a vody k pohánění mlýnů a ostatních strojů s otáčivým pohybem“. 1759 za něj obdržel zlatou medaili. Pomáhal stavět kanály a zvláště se proslavil stavbou Eddystonského majáku, který byl znám daleko za hranicemi Anglie jako mistrovské dílo tehdejšího inženýrského umění. Teprve 1767 se začal Smeaton zabývat tepelnými stroji. Způsob, jakým se chápal úlohy, představuje dokonalého inženýra: nejprve důkladné studium předložené osnovy na základě bohatých a přesných pokusů, potom zpracování a vyhodnocení výsledků, a posléze nalezení konečného řešení. R. 1775 postavil Smeaton velmi velký stroj pro jednu šachtu v Cornwallu. Válec měl víc než 1800 v průměru, vysoký byl 3200. Strojovna, vystavěná ze žuly, se zvedala do výše 18 m. Ohromné vahadlo bylo z 20 jedlových trámů, z nichž 10 jich leželo nad sebou. Výkon činil asi 70 HP. Jeden současný kritik se k tomuto stroji vyjádřil tak, že sám spotřebuje jeden důl na železnou rudu a k provozu jeden důl uhelný.

Další nový impuls do tohoto úsilí přichází v **Jamesi Wattovi**. Narodil se 19.2.1736 jako čtvrté dítě svých rodičů. Jeho otec pracoval při stavbě lodí, a jako tesař a loďář se živil vším možným, i výrobou nábytku a přístrojů. Malý James byl již jako dítě byl plachý a nesmělý a vyhýbal se lidem. Jinak byl dítětem předčasně zralým, ovšem chatrného zdraví. Měl celý život rád pohádky, avšak ve škole ho nejvíce uchvátila matematika. Záliba ve tvarech a zručnost předurčily ho k povolání mechanika. Začal v Glasgowě, a posléze se dostal do Londýna. Tam se učil u nejslavnějšího výrobce navigačních přístrojů, mistra Morgana. Sedmiletou učební dobu s úspěchem absolvoval za dobu ani ne poloviční, a též zdravotní potíže a stesk po domově ho přivedly zpět. Poněvadž jeho vyučení nebylo podle regulí cechu v Glasgow shledáno dostatečným, nemohl si otevřít dílnu, avšak našel dobré místo jako mechanik na universitě v Glasgow. „Vše v jeho rukou se měnilo ve vědu“, říkalo se o něm, a

byla to pravda. Přivydělával si opravami a stavbou hudebních nástrojů. Vždycky postupoval s inženýrskou systematickostí. Literatura -model - dílo. Robinson, profesor a mistr v matematice upozornil 1759 J. Watta na význam vodní páry, sám se zabýval myšlenkou postavit parní vůz. teprve 1762 se Watt začal myšlenkou zaobírat. Postavil si model a poznal na něm problémy, související s párou a jejím utěsněním. Rozhodujícím obdobím byla pro Watta zima 1763-1764, kdy měl opravit model Newcomenova stroje tak, aby byl schopný provozu. Podařilo se mu sice strojek uvést do pohybu, avšak kotel dodával stále málo páry. Watta překvapilo právě toto nesmírné množství spotřebované páry, činící mnohonásobek obsahu válce. Připisoval to „utajenému teplu“ (latent heat), jak to nazval prof. Black, termik, který o tom držel přednášku r. 1764. Poučení z toho všeho bylo jasné - ztrát je možno se uvarovat pouze tak, že válec bude mít přinejmenším teplotu vstupující páry. Pro kondenzaci je však třeba válec co nejvíce ochladit. Tentýž element, válec stroje, má být tedy při jednom zdvihu co nejteplejší a při druhém co nejchladnější. Takto si dokázal Watt problém formulovat a definovat. Dokáže-li člověk toto, cesta k řešení nebývá již dlouhá. Watt sám vypráví, že ho řešení napadlo jednoho nedělního odpoledne na procházce - **oddělit pracovní prostor, válec od prostoru, ve kterém pára kondenzuje**. Toho lze dosáhnout zřízením odděleného kondenzátoru. Postavil si opět model, který je dnes nejcennějším kouskem londýnského vědeckého musea. První stroj se ovšem nepodařil a Watt se dostal do velkých nesnází. Přes tyto nesnáze je pozoruhodné sledovat, jak idea parního stroje ve Wattově mysli a dílně roste. Má-li být válec stroje co nejteplejší, bude vhodno ho obalit pláštěm, ve kterém bude horká pára. Pak ovšem bude možno válec uzavřít a nechat víkem procházet pouze pístní tyč. Rozhodující inovací je pak to, že na píst, pod kterým je podtlak, tlačí místo vzduchu pára. **Tím se stal z atmosférického stroje parní stroj dvojčinný, ve kterém se expanze páry i její kondenzace děje střídavě na obou stranách pístu.**

Idea je však idea, a ta ke své realizaci potřebuje materiální, či, řekněme přímo, finanční zajištění. Potřeboval společníka, kterého našel v **dr. Roebuckovi** (1718-1794), který od povolání praktického lékaře dospěl až k chemickému průmyslu. Později zaujímal vynikající postavení jako podnikatel v hornictví a hutnictví. Watt v té době také sjednal svému vynálezu dokonalou patentovou ochranu. Proslulý patent mu byl udělen 5.ledna 1769 pod č. 913. Do potíží se v tuto dobu dostává i Roebuck. Watt již pracuje na vynálezu 12 let a je stále tam, kde byl. V této situaci mu umírá žena, která mu byla oporou. Tu se seznamuje s anglickým průmyslníkem **Mathewem Boultonem** (1728-1808), který vyráběl především drobné železné předměty. Posílal své sponky do Francie a odtud je dovážel zpět do Anglie, kde je mohl právem prodávat jako zboží, dovezené z Francie. Právě takového člověka však bylo pro tuto věc třeba. Vlastnil velký podnik, zaměstnával až 800 dělníků a staral se i o výchovu učňů. Byl laskavým a velkorysým člověkem, jeho dům se nazýval „dům přátelství“. Boulton byl schopen vyjednat prodloužení patentové ochrany, což by bylo nad síly Wattovy. Watt se „raději postaví před ústí děla, než aby sjednával obchody“. Získal tedy prodloužení patentové ochrany na dalších 25 let.

Dalším člověkem, kterého bylo nutno potkat, byl **Wilkinson**, majitel velkých strojů, vyrábějící mimo jiné i kanony. Pouze on dokázal po mnoha předcházejících pokusech jiných vyrobit válce s potřebnou a přiměřenou přesností. Je nutno si uvědomit, že strojírenská výroba byla orientována zcela jinam, než na stavbu strojů. Mnoho problémů bylo zcela neznámých a bylo nutno je řešit improvizovaně. Například nebylo známo těsnění, a ve snaze utěsnit píst válci bylo zkoušeno vše od hader až po koňský trus. Za zapůjčení stroje (rozhodli se stroj neprodávat) měli dostat 1/3 úspory uhlí, vypočtené vzhledem ke spotřebě Newcomenova stroje. To byla ve skutečnosti značná suma, protože Wattův stroj měl pouze čtvrtinovou spotřebu vzhledem k Newcomenovu. Stroj začal vydělávat teprve 20 let po vynalezení.

Byli to především majitelé textilních továren, kteří na Watta naléhali, aby svůj stroj doplnil výstupem s otáčivým pohybem, který by mohl hnát textilní stroje. Nejjednodušší řešení, klika a ojnice, však použita být nemohla, protože tento mechanismus byl kýmsi patentně vlastněn. Watt a Boulton využili vlastní originální konstrukce s planetovým kolem, jakmile však patentní ochrana kliky pominula, vrátili se k ní.

Wattovi byl již v té době jasný ekonomický význam expanze páry, používal škrtkovací klapku a odstředivý regulátor. Watt také pro srovnávání výkonu strojů zavedl jednotku „koňská síla“. Velmi jim pomohl geniální strojník Murdock. S příchodem 19. století vypršela patentová ochrana a Watt nechtěl v továrně setrvat ani o den déle. Prožil pak ještě spokojené a tvořivé stáří.

Další vývoj parního stroje

Dlouhá patentová ochrana Wattova a Boultonova nízkotlakého parního stroje s typickou vahadlovou konstrukcí byla pochopitelně pro Watta a Boultona štěstím a požehnáním, z hlediska vývoje konstrukce parního stroje to však představovalo mnohaleté zdržení, protože se nikdo nemohl této myšlence legálně věnovat. Prvním, kdo přišel s radikálně novou koncepcí i konstrukcí již nedlouho po vypršení patentu byl **Richard Trevithick**. Na rozdíl od plachého a bázlivého Watta, který se bál i zvětšit tlak páry, byl Trevithick smělým dobrodruhem. Byl to geniální technik a konstruktér, avšak člověk nestálý a přelétavý. Ve své strojárně v Camborne hotovil jednoduché parní stroje, které byly hnány parou o tehdy neobyčejném tlaku 8 - 9 atmosfér. při poměrně malé váze měly tyto stroje značný výkon. Právě to upoutalo v Londýně člověka, který měl jistým způsobem starost o doly na stříbrnou rudu v Peru. Tyto doly se nalézaly vysoko v horách, kam by těžké stroje Wattovy nebylo možno dopravit. Kontrakt byl navázán a roku 1816 se sám Trevithick vydal do Peru. Byl uvítán s velikým nadšením, a měla mu snad z vděčnosti za záchranu dolů být postavena socha. Člověk však miní a politické poměry mění. Vypuknuvší válka mezi Peru a Španělskem s pozadím dalších tlaků a intervencí vedla nakonec k tomu, že se doly dočkaly zkázy a Trevithick se s bídou a obtížemi dostal zpět do Anglie. I on je pak jedním z těch mnoha, kteří posunuli techniku vpřed, avšak zemřeli v bídě. Trevithick byl po geniálním strojníku Murdockovi prvním, kdo postavil parní stroj na kola, o tom však v kapitole doprava.

V Jamesi Wattovi i Richardu Trevithickovi teprve začíná celá dlouhá řada konstruktérů a zlepšovatelů, kteří pomáhali parnímu stroji k většímu výkonu, hospodárnosti a kteří ho v jakémkoliv dalším směru zdokonalovali. K této kapitole se ještě vrátíme.

Parní turbína

Zmínění předkové parního stroje, Heronova báh a Brankova turbína, mohou být větším právem považováni za předky parní turbíny. Je jim jasné společný přímý otáčivý pohyb hnané části, bez válce, pístů, ojníc a dalších součástí strojů pístových. Převod přímočarého vratného pohybu pístu představuje nejen ztráty, ale i nižší počet otáček, než by bylo v mnoha případech třeba. Obejít tradiční klikový mechanismus se pokoušelo mnoho vynálezců, jak Denis Papin, tak i někteří další přicházejí s jednoduchou, avšak velmi neekonomickou myšlenkou - parním strojem, přímo spojeným s čerpadlem, čerpat vodu do nádrže, ze které by vytékala a poháněla vodní kolo. Bylo pak několik pokusů o rotační parní stroj (obdobu spalovacího rotačního motoru Wankelova), a byly to pokusy pozoruhodné. Jeden, který je předmětem francouzského patentu z r. 1844 například má například píst nasazen na pístní tyči jako matku na šroubu s velkým stoupáním, takže při svém pohybu vlastně pístní tyčí otáčí. Jak tato, tak další podobné ideje však problém nebyly schopny řešit.

Myšlenka parní turbíny visela ve vzduchu již od roku 1784, kdy je možno zaznamenat patentní přihlášku na toto zařízení, a do roku 1850 bylo takových již 32. V druhé polovině 19. století jich přibýlo ještě 340. Ve své podstatě se parní turbína zásadně neliší od zařízení, poháněných proudem vody nebo větru. Podstatný rozdíl, který je však rovněž sítím, kterým většina oněch nápadů neprošla, spočívá v tom, že pára může mít mnohem větší tlak a teplotu než voda a vítr.

První turbínu, která měla předpoklady stát se motorem budoucnosti, sestrojil **Charles Algernon Parsons** (1854 - 1931). Pochází z rodiny anglického aristokrata, který byl, lze říci, aristokratem i na poli techniky - sestrojil tehdy největší hvězdářský dalekohled. Charles A. Parsons vystudoval slavnou kolej v Cambridge, a poté byl zaměstnán v Armstrongově strojírně při stavbě parních strojů. Pozoruhodný je jeho první pokus o originální konstrukci, při které byly čtyři válce napojeny na jednu kliku klikového hřídele, asi jako u leteckého hvězdicového motoru. První turbínu představil v roce 1884. Na společném hřídeli byla řada kol a na obvodu každého kola byly vyfrézovány malé lopatky. Oběžné kolo bylo ve skříni, která byla doplněna několika věnci s lopatkami, složícími k vedení proudící páry. Tyto rozváděcí lopatky byly zakřiveny opačným způsobem než lopatky oběžného kola. Pára proudí mezi lopatkami rotoru a statoru, a její tlak postupně klesá. Tato turbína, uváděná do pohybu přetlakem páry, se nazývá přetlaková nebo reakční. První parsonsova turbína měla rotor o průměru 74 mm a její výkon byl asi 7,5 kW. Pára vstupovala do turbíny v polovině její délky, a poté se rozdělovala a procházela vlevo i vpravo dvěma skupinami lopatek po 15 stupních. Tím měl být celkový spád rozdělen a počet otáček snížen. I tak měla tato turbínka neúnosných 17 000 otáček za minutu, a teprve po 15 letech úsilí se Parsonsovi podařilo snížit počet otáček na únosnou míru, což bylo asi 3000 otáček za minutu. První úspěšnou turbínu dodal Parsons roku 1900 do městské elektrárny v Elberfeldu.

Druhým průkopníkem parní turbíny je švédský inženýr **Gustav de Laval** (1845-1913). Dříve než turbínou se proslavil odstředivkou na mléko. Turbína pro něj představuje pouze doplněk odstředivky, totiž zařízení k jejímu pohonu. Nejprve použil velmi jednoduché zařízení, podobné Heronově bání. Toto zařízení se podle svého tvaru nazývá rovněž **S-turbína**. Postupně však i de Laval skončil u kola s malými lopatkami na obvodu. Na tyto lopatky se na několika místech obvodu vypouštěla pára speciální dyšnou, nesoucí pak rovněž Lavalovo jméno. V této dyšně totiž pára expanduje a nabývá rychlost až 1200 m/sec. První turbína tak měla rovněž neúnosně mnoho otáček - až 30 000 za minutu. Ty bylo třeba snížit alespoň na desetinu, což se nejprve dělo ozubenými převody. Tím však vznikaly ztráty a k potížím se přidaly i poruchy způsobené extrémním namáháním hřídele. Problém hřídele řešil originálně hřídelem pružným, schopným při otáčení kmitat.

Z těchto dvou turbin, které byly ve své konstrukční ideji dovedeny nejdále, se ovšem více ujala turbína Parsonsova. Ani ta však nebyla posledním slovem, protože přichází další konstrukce. Ty často přebírají prvky z obou. Jmenovat si zaslouží americký elektrotechnik **Charles E. Curtis**, který svůj patent získal roku 1896, francouzský inženýr **August Rateau**, jehož turbína se objevila roku 1894 a švýcarský inženýr Zoelly, který se prosadil začátkem 20. století. Všichni v podstatě hledali cestu, jak zmenšit počet otáček turbíny. Například Rateau a Curtis zavedli místo jednoho Lavalova oběžného kola kol několik, takže celkový tlak se rozdělí do několika stupňů a otáčky klesnou, aniž turbína ztratí na výkonu. Lze říci, že každý výrobce parních turbin má svou vlastní konstrukční školu, ovšem při vší rozmanitosti jde vždy více či méně o uplatnění různých prvků turbíny Parsonsovy nebo Lavalovy.

V Brně existuje dlouholetá tradice výroby parních turbin v 1. Brněnské strojírně. Tato kapitola brněnského průmyslu bude na těchto stránkách v budoucnu rozvinuta.

Idea spalovacího motoru

Na počátku cesty k spalovacímu motoru je již sama myšlenka „výbuchu“, jako děje při kterém člověk pozoroval neobyčejně rychle a mocně působící dění s obvykle velmi silným především ničivým účinkem. Aristoteles považuje blesk za jakýsi výbuch hořlavých plynů, a je patrné, že tento jev musel někde, nejspíše v souvislosti s bahenním plynem, znát. Možnost získat podobnou výbušnou látku se otevřela člověku teprve a nejprve střelným prachem, jehož využití v Evropě bylo takřka výhradně zacíleno k použití vojenskému a válečnému. Teprve ve spojení s poptávkou po čerpacím zařízení a spekulacemi a pokusy s vakuem se objevuje myšlenka, dosáhnout i zde výbuchem kýžených stavů a efektů.

Zužítkovat výbušnou sílu střelného prachu k pohonu pístového stroje navrhl poprvé Holanďan **Christian Huygens** r. 1681. Roku 1688 se pokoušel tento návrh uskutečnit a postavil stroj, v jehož válci vybuchla odměřená dávka střelného prachu, která měla ovšem pouze vyhnat vzduch z válce a dále pak měl být tlak vzduchu tím, co vtlačováním pístu do takto vyprázdněné prostory vykoná práci. Vzduch měl být vyhnán otvory ve válci, na kterých byly nasazeny jakési kožené rukávce, které se po výbuchu a vypuzení vzduchu měly sklopit a prostor uzavřít, aby tlak vzduchu musel působit pouze tlakem na píst a jeho pohybem. Je jisto, že takto popsané zařízení mohlo sotva pracovat, neuvažujeme-li již o velmi nesnadném dávkování střelného prachu a jeho dopravě do válce. Tato idea i experiment je důležitá jako společný počátek dalšího hledání, na jehož konci je jak spalovací motor, tak parní stroj.

Myšlenka však nezmizela ze světa, a byla celá řada dalších experimentátorů, kteří se pokoušeli jít touto nebezpečnou třaskavou cestou dále. Patří mezi ně francouzský kněz **Jean de Hautefeuille** z Orleansu, který ve svém spise z r. 1678 popisuje několik způsobů „jak zvedat vodu pomocí střelného prachu“. Je nutno si uvědomit, že po třicetileté válce nastává doba, kdy se člověk domnívá, že všechny problémy lidstva lze řešit střelným prachem, výbušninami a trhavinami. Pán z Hautefeuille však přece jenom seznal, že použitím střelného prachu nelze docílit pravidelného chodu stroje, a proto 1682 sahá po humánnější látce, totiž lihu a jeho parách. Další stopa vede teprve po sto letech k Angličanu **J. Barberovi**, kterému byl r. 1791 přiznán patent na jistý druh „plynové turbíny“. Směs plynu, získaného z pevného nebo tekutého paliva se vzduchem, se zapálí v uzavřené prostora s otvorem, kterým po zapálení plyny vyšlehnou na lopatky vhodně umístěného lopatkového kola. Dalším hledačem je opět anglický lakýrník **Robert Street**, který získal roku 1794 patent na spalovací motor, ve kterém byly výbušnou látkou terpentýnové páry, které se v určité poloze nassávajícího pístu zapálily od trvale umístěného plaménku a výbuch pak vehnal píst do krajní polohy.

Jednotlivé roztroušené myšlenky mají tu vlastnost, že se stále kumulují a každý další má vždy možnost s jejich pomocí dovést věc dál. Mezi takové patří i francouzský inženýr **Filip Lebon**, který pracoval r. 1800 na výrobě svítiplynu, získávaného ze dřeva. Takto získaným plynem osvětloval svůj byt a zahradu, a současně s tím si dal patentovat i motor poháněný tímto plynem. Svítiplyn se vzduchem se poněkud riskantně smísil ve zvláštní nádrži, ze které se tato směs přiváděla do válce, kde se elektricky zapálila. Lebonův motor byl dvojčinný, tlak pracovní takt se odehrával střídavě na obou stranách pístu. Motor se, žel, nedařilo udržet v chodu delší dobu.

Zvláštní výbušnou látku si vybrali **bratři Niepcové**, z nichž mladší Nicephor je znám více jako vynálezce fotografie. Roku 1806 sestrojili motor, poháněný plavuňovým práškem. Je to vlastně pyl plavuňovitých rostlin, mající schopnost rychle shořet, pročež bývá používán v zábavné pyrotechnice. Plavuňový prášek se vefoukl do válce motoru, kde se smísil se

vzduchem a směs se zapálila elektricky rozžhaveným drátkem. Motor prý spotřeboval za minutu 125 zrníček plavuňového prášku, vynálezci se motorem pokoušeli pohánět loďku, avšak neúspěšně. Dále došel Švýcar, původně napoleonův důstojník **Rivay**, který na své pohonné zařízení, umístěné v „automobilu“ obdržel patent r. 1807. Rivayův motor byl hnán směsí vodíku a kyslíku nebo vzduchu a svítiplynu, měl směšovač plynů, které byly v oddělených nádržích a zapalování bylo elektrické. Toto zařízení také skutečně bylo schopno jízdy.

Zmínku nelze upřít ani dalším konstrukcím, které sice nedosáhly ani plného technického, tím méně komerčního úspěchu, znamenaly však některým svým prvkem malý krůček vpřed. Tak **Samuel Brown** r. 1823 navazuje na myšlenku atmosférického stroje, kdy plynou směs zapaluje plaménkem a válec chladí vodou. Angličané **Wright a Barnett** vzduch a plyn před vpuštěním do válce stlačili, podobně postupuje i mnichovský hodinář **Reitmann** r. 1852. Američan **Drake** ostatně též 1842 postavil motor poháněný svítiplynem, kde byl stlačený svítiplyn ve válci zapalován žhavou trubkou, ve které hořel plamének svítiplynu. Na cosi nového přišli i Italové **Barsanti a Matteucci**, kteří 1857 zavedli u svého atmosférického stroje ozubenou pístní tyč, umožňující stejnoměrnější chod stroje. Je to důležitý prvek o deset let pozdějšího motoru Otto-Langenova.

Všechny dosavadní myšlenky dozrály v díle člověka, který se přes sklepnictví, emailérství a galvanoplastiku dostal k motorům. Byl to Francouz **Jean Lenoir** a jeho plynový motor z r. 1860 byl první komerčně úspěšný spalovací motor, který byl schopen být v jistém smyslu konkurencí parního stroje. Byl to motor dvojčinný, nasávající svítiplyn a vzduch, a přibližně v polovině sacího taktu se směs zapálila a tlakem spalín byl píst vehnán do krajní polohy, a děj se opakoval na druhé straně pístu. Vpouštění svítiplynu a vzduchu i vypouštění spalín dělo se šoupátkem. Stroj se vyznačoval velkou spotřebou plynu – výrobce udával že k 1 HP na hod potřebuje 0,5 m plynu, skutečnost však byla asi 6x horší. Přesto se však udržely i poté, kdy byly k dispozici motory úspornější – měly totiž nehlučný chod a byly spolehlivé.

O tichém chodu nebylo možno naprosto mluvit u motoru německého kupce z Kolína nad Rýnem, který se jmenoval **Nikolaus Otto**. Ten četl r. 1861 v novinách o Lenoirově motoru, a protože se chtěl ženit s půvabnou Annou G. a neměl peníze, rozhodl se být vynálezcem a tak k pěknému jmění přijít. Nezačal nejšťastněji, ve své první odmítnuté patentní přihlášce v podstatě okopíroval Lenoirův motor. Po odmítnutí ho myšlenka neopustila a pustil se svou cestou. V dílně kolínského strojníka Zona vstoupil nejprve na zatím neschůdnou cestu čtyřtakového motoru, ale záhy si uvědomil, že začít bude třeba od nejjednoduššího. Výsledkem byl atmosférický plynový motor, při kterém výbuch směsi plynu se vzduchem vymrštil těžký píst s ozubenou pístní tyčí do horní polohy, načež teprve následoval pracovní takt, při kterém měl atmosférický tlak hnát píst dolů. S největší pravděpodobností tak ovšem převážně činila prostá spolehlivá gravitace, tedy váha těžkého pístu a ozubené tyče. Když dosáhl píst dna válce, vpustila se pod něj znovu směs svítiplynu a vzduchu, zapálila se a cyklus se opakoval. Pohyb ozubené pístní tyče se přes pastorek se západkou přenášel na setrvačnick. Technické detaily Otto prozíravě složil na bedra inženýra Eugena Langena, takže na pařížské výstavě r. 1867 byly tyto motory označeny jako Otto-Langenovy. Tyto stroje budily svým hřmotem spíše strach a nedůvěru, takže motor Lenoirův se zdál být jasným kandidátem na zlatou medaili. Když však byla na žádost německého komisaře výstavy srovnána spotřeba obou motorů, vyšel z toho Otto-Langenův motor jako mnohem hospodárnější, takže se mu dostalo zlaté a Lenoir se musel smířit se stříbrnou medailí. Oba společníci získali potom bohatého finančníka Emila Pfeiffra a v roce 1869 založili v Deutzu u Kolína nad Rýnem továrnu na své motory. Za několik let prodali 5000 těchto rámusících motorů, a protože dobře věděli, že to není ono, pracovali mezitím na vývoji skutečného plynového dvojčinného motoru, poháněného opravdu tlakem, vzniklým výbuchem plyné směsi. Výsledkem jejich snažení byl pruský patent z r. 1876. Těch pak vyrobili v následujících 12 letech 30.000 kusů. Směs

plynu a vzduchu byla před zapálením stlačena, což výhodně snížilo rozměry motoru, avšak na druhé straně pověsilo Ottovi a Langenovi na krk patentní spor. Něco takového totiž již předtím použili nebo doporučovali např. Barnette, Degrand, Reithmann, Beau de Rochas, Bisshop aj. Tyto žaloby konkurenčních firem však byly zamítnuty, protože soud nabyl přesvědčení, že Otto a Langen neměli o těchto skutečnostech vědomost a nepodařilo se tedy prokázat krádež myšlenky. Eugen Langen je mimo jiné znám i tím, že je autorem myšlenky visuté dráhy ve Wuppertallu, s Guilleaumem založil na počátku elektřiny továrnu na osvětlovací zařízení a byl předsedou spolku německých inženýrů. S Wernerem Siemensem spolupracoval na tvorbě německého patentního zákona, a vždy vystupoval mužně pro německé koloniální snahy. To při řeči o něm německé prameny vždy vděčně připomenou.

Všechny tyto motory byly poháněny svítiplynem, čímž byly ovšem závislé na plynárně a potrubním rozvodu svítiplynu. Proto se vynořila i myšlenka malého generátoru plynu, kterým by byl každý motor vybaven. Spalovací motory poháněné svítiplynem nebo generátorovým plynem a přiměřeně zdokonalené hrály po dlouhou dobu významnou roli v průmyslu i živnostech. Jejich provozní pohotovost byla jejich velkou výhodou před parním strojem a byly vytlačeny teprve elektromotorem.

Řada jmen, souvisejících s vývojem spalovacího motoru a jeho významné aplikace v automobilu zdaleka nekončí Ottou a Langenem. Dalším velkým vynálezcem je **Gottlieb Daimler**. Narodil se pekařskému mistru Johannesovi Daimlerovi v Schorndorfu u Stuttgartu jako druhý syn. Chodil do obecné školy a pak dva roky do škol latinských. Otec z něj chtěl mít městského úředníka, Gottlieb se však chtěl raději stát puškařem. Tím se také během 3 let vyučil a jeho výučním kouskem byly dvě dvouhlavňové pistole s podivuhodně ciselovaným ocelovým pláštěm. Pak pracoval při stavbě obráběcích strojů ve Stuttgartu a Elsassu, a z vlastních úspor si platil vzdělání na stuttgartské technice. Tam poznal mnoho vynikajících inženýrů a jako stipendista se dostal do ciziny. V Anglii pracoval jako odborný dělník, mistr a předák. Po návratu do Německa pracoval ve Würtemberku jako dílovedoucí v dobrém závodě pro stavbu strojů. Zde se seznámil s inženýrem **Maybachem**. Dále převzal Daimler vedení strojírenské společnosti v Karlsruhe, a odtud byl Langenem získán pro "Továrnu na plynové motory, Deutz, akc. spol." kde působil 10 let - 1872-1882 jako technický ředitel. Daimler s sebou tehdy přivedl i inženýra Maybacha, inženýra s dílenskou praxí, a byla mu dopřána velká účast na zisku. Daimler dokázal využít továrního provozu k zlevnění výroby, a k tomu vymýšlel stále nová zlepšení. Otto pracoval po jeho boku jako obchodník. Daimler se zasloužil o zavedení hromadné výroby, do 1. října 1872 bylo vyrobeno asi 700 malých plynových motorů. Závislost na plynárně, resp na generátoru, podněcovala další hledání. Reulaux upozornil tehdy Langena na petrolej, protože poznal ve Vídni jakéhosi Marcuse, který z petroleje vyráběl plyn. R. 1875 poháněli již v Deutzu stroje benzinem (který se ovšem prodával v lékárně). Dle jiného pramene vynalezl karburátor Daimler r. 1887. Hlavní jeho zásluhou je rychloběžný výbušný motor. V jihozápadním koutu Německa u Stuttgartu pracoval s Maybachem, v Mannheimu se stejným problémem zabýval Carl Benz.

Spolupráce tak výrazných osobností, jakými byli Otto, Langen a Daimler však byla velmi nesnadná a proto Daimler odchází do Cannstattu. Tam si zřídil malou skrovnou dílnu, kde pracoval na rychloběžném motoru (a sousedé ho udali z podezření, že tam má penězokazeckou dílnu, což vyvrátila až policejní prohlídka). Podle Daimlerových plánů byl posléze s pomocí jednoho zvonolijce první rychloběžný motor sestrojen. Jejich ideou byl motor rychloběžný - pouze ten, jak věděli, by mohl být hnací jednotkou pohybuujícího se zařízení. S otáčkami to bylo tak: Otto byl svého času hrdý, že jeho atmosférický stroj měl 80 otáček v minutě místo 30 nebo 40, jak bylo tehdy obvyklé. Začátkem 80. let měly nové čtyřtákní motory 150 - 180 otáček za minutu, a když se jednou v Deutzu podařilo dosáhnout 250 obrátek, přestávalo již fungovat zapalování. Benz uvádí, že dosáhl 250-300 otáček.

Daimler měl se svým rychloběžným motorem o 900 otáčkách za minutu jasný primát. Je to i zásluhou Daimlerovy "žhavicí trubičky", vyčnívající z hlavy válce, kterou zvnějšíku zahřívá malý plamen. Tento jednoduchý systém se kupodivu ukázal být spolehlivý. Daimler chtěl svým motorem pohánět veškerá pouliční vozidla. Napřed si postavil dřevěné kolo, a to v listopadu 1885. 1886 bylo již možno vidět Daimlera ve čtyřkolovém voze, jedoucím rychlostí 18km/hod. Nemyslel však jenom na silniční vozidla - jeho rychloběžný motor poháněl i člun. Šlo mu hlavně o to, aby se jeho motor vyráběl hromadně. Představoval si ovšem motorizaci silničních vozidel tak, jako se přiděluje motor k jakékoliv lodi. Byl by to prostě motor, který by bylo možno připojit na cokoli stávajícího. Maybach zde byl poněkud jasnozřivější a soudil, že motor a vozidlo musí tvořit konstrukčně ucelenou jednotku. Daimler také naléhal na co největší jednoduchost a Maybachovy konstrukce se mu zdály zbytečně složité.

Požadavky kladené na automobil a zejména doba sportovního závodění daly za pravdu Maybachovi. Oba měli ovšem tvrdé švábské hlavy, Daimler byl pomalejší, chtěl výhodně hospodářsky vyrábět, Maybachovi záleželo víc na pokroku. Pro rozvoj automobilismu byla ovšem rozhodujícím jevištěm Francie. 1.7. 1894 se konaly první mezinárodní automobilové závody na trati Paříž - Rouen. Ze 102 vozidel jich dojelo 15 a Daimlerův vůz zvítězil neslýchanou rychlostí 20-47 km/hod. Podobně vyhrával i další závody. Zatímco se Francouzi alespoň radovali ze závodů, v Německu se na automobil hledělo jako na podivínskou hříčku. 28. 11. 1890 byla založena Daimlerova společnost pro výrobu motorů v Cannstattu. Zákazníci si vynucovali stále vyšší výkony motorů. V roce 1900, v roce úmrtí G. Daimlera přivedl jeho syn Pavel v Cannstattu na svět automobil s motorem se dvěma válci do V a výkonem 25,7 kW který se svou zevní formou již značně podobal dnešnímu. Podle dcery rakouského konzula v Nice je mu dáno jméno Mercedes. Ke jménu Daimler patří v dějinách spalovacího motoru neodmyslitelně **Karl Benz**. Ten přibližně v roce 1886 postavil v Mannheimu dvoutaktní benzinový motor, který namontoval do tříkolového vozítka. V červenci 1886 vykonal krátkodobou zkoušku, ale nevzbudil větší pozornost veřejnosti. Proto se jeho manželka, paní Berta, rozhodla pro delší propagační jízdu, a s dvěma syny jela načerno až k babičce do Pforzheimu, který byl 113 km vzdálen. To Benze povzbudilo a 1893 postavil automobil Victoria - z radosti nad vítězstvím v boji s problémem řízení. Roku 1899 vyráběla jeho továrna 600 automobilů ročně.

Vznětový motor je dalším rozhodujícím krokem, který je spojen s **Rudolfem Dieslem**. Rudolf Diesel byl Němec, narodil se však v Paříži r. 1858. Vystudoval však techniku v Mnichově a již tam ho uhranula myšlenka tepelného stroje, který by pracoval podle dokonalého Carnotova cyklu a jehož účinnost by tedy převýšila oněch 5 – 10 % účinnosti tehdejších parních strojů a spalovacích motorů. O tomto jeho zájmu svědčí drobný, ale důležitý spisek „O teorii a konstrukci hospodárného tepelného motoru“. R 1893 mu také byl udělen patent na tuto myšlenku. Realizace však byla obtížná již proto, protože mnozí odborníci popírali správnost jeho technických názorů. Dieselovi se naštěstí podařilo získat přízeň u dvou velkých německých firem – u strojíren v Augsburgu (známých pod zkratkou MAN) a u Kruppových závodů v Essenu. V Augsburské strojárně byla pro Diesela zřízena laboratorní dílna, ve kterém po čtyřletém úsilí vyšel posléze r. 1897 první trvalého a hospodárného provozu schopný Dieselův motor. K úspěšnému uplatnění v praxi bylo ovšem třeba ještě mnoho zlepšovat. Rudolf Diesel se ovšem širokého uplatnění svého motoru nedomáhal, protože zemřel 30.9. 1913 za záhadných okolností na lodi plující do Anglie. I když účinnost Dieselova motoru není 100, nýbrž pouze 35%, je jeho hospodárnost tím, co z něj udělalo dodnes velmi atraktivní motorovou jednotku. Původní motor byl čtyřtaktní, avšak zejména u stacionárních motorů se používá způsob dvoutaktní, který přináší zvýšení výkonu při téže velikosti.

Historie spalovacího motoru	
1680	Christian Huygens a Denis Papin konají pokusy s prachovým atmosférickým motorem
1801	Francouzský inženýr a vynálezce obdržel patent na plynový motor s elektrickým zapalováním
1823	Anglický konstruktér Samuel Brown obdržel patent na atmosférický plynový motor.
1836	Německý konstruktér Brackenburg postavil vozidlo se spalovacím motorem, hnaným směsí vodíku a kyslíku.
1838	Anglický technik William Barnett vynalezl motor, ve kterém byl plyn před zážehem stlačen.
1860	Francouzský všestranný technik belgického původu Etienne Lenoir postavil první komerčně i provozně úspěšný plynový motor.
1861	Francouzský inženýr Alphonse B. de Rochas objevil ideu čtyřtákního motoru, avšak nesestrojil ho.
1873	Pod označením "petrolejový motor" vyrobil Julius Hock benzinový motor
1876	Němec Nikolaus August Otto sestrojil s ing. Langenem čtyřtákní motor
1883	Německý inženýr Wilhelm Maybach postavil první spolehlivý rychloběžný benzinový motor.
1889	Německý inženýr Emil Capitaine sestrojil dvoutákní spalovací motor s velkou kompresí, předchůdce motoru Dieselova
1897	Německý inženýr Karel Friedrich Benz sestrojil dvouválcový motor s boxerovým uspořádáním válců.
1897	Německý inženýr Rudolf Diesel postavil první po něm nazvaný vznětový motor.
1899	Francouz Amédée Bollée postavil motor se 4 válci v jednom bloku
1916	Inženýr Karel Maybach sestrojil první motor, konstrukčně určený pro pohon vzducholodi.
1929	Německý inženýr Felix Wankel sestrojil motor s otáčivým pístem
1930	Anglický konstruktér Frank Whittle obdržel patent na již dříve vyvinutý hvězdicový letecký motor

Elektromotory

Magnetoelektrické stroje

Elektromotor znamená v kapitole "zdroje motorické síly" stránku zcela novou. Nejprve však musí být vyřešen způsob, jakým dostatečný elektrický proud vyrábět, dopravovat, atd. atd. O tom alespoň krátce.

První dynamoelektrický stroj byl sice postaven již rok po epochálním Faradyově objevu, ale trvalo půl století, než byl tak zpracován, aby mohl dodávat elektrický proud nepřetržitě a spolehlivě. 1881 se konala v Paříži první elektrotechnická výstava, která ukázala překvapující pokroky elektrotechniky. 46 strojů o úhrnném výkonu 2000 HP vyrábělo elektrický proud pro 500 obloukových lamp, mezi nimiž zvláštní obdiv budily lampy Křížikovy, a též pro 1300 Edisonových žárovek. To byl slibná začátek, ono A, ke kterému řekl B francouzský elektrotechnik **Marcel Deprez**. Ten se pokoušel o hospodárný přenos

elektrické energie na dálku, což se mu podařilo roku 1882, kdy zřídil první dálkové elektrické vedení z Miesbachu do Mnichova. Vzdálenost mezi těmito dvěma místy je 57 km.

Faraday nazval stroje, vyrábějící elektrický proud magnetoelektrickými stroji, ale to je dnes vyhrazeno pouze strojům s trvalým magnetem, stejně jako magnetoinduktor. Ty jsou však jenom v signalizačních zařízeních, zařízeních na elektrický roznět nálože. Později bylo pro zdokonalené elektrické stroje zavedeno pojmenování „dynamoelektrický stroj“, nebo „dynamo“. Dnes se běžně říká „elektrický generátor“. Od magnetoelektrických strojů dlužno rozlišovat stroje elektromagnetické, v nichž se elektrická energie přeměňuje v mechanickou. Tyto stroje byly stavěny ve 20. a 30. letech a byly zpravidla napájeny galvanickými články, mechanická energie vznikala střídavým přitahováním a odpuzováním mezi pevnými magnety a otáčejícími se elektromagnety.

Takový elektromagnetický strojek postavil r. 1834 v Petrohradě profesor **Moric Jacobi**, stroj byl napájen 320 galvanickými články a poháněl člun na řece Něvě. Podobné stroje postavili **Page, Davenport, Stratingh** a jiní, a zčásti jich také používali k pohonu vozů.

První magnetoelektrický stroj podle principu Faradyova postavil r. 1832 pařížský mechanik **Hyppolite Pixii**. Podkovovitý magnet se otáčel kolem osy nad dvěma cívkami, ve kterých se otáčením magnetu indukoval elektrický proud. Byl to však proud střídavý. Posléze seznáno, že je jednodušší otáčet cívkami v magnetickém poli. K uskutečnění této ideje napomohl Ampère, když k Pixieovu motoru sestrojil kolektor (komutátor), kterým byl střídavý proud měněn ve stejnosměrný. Dvojdílný kolektor byl vynalezen r. 1838 **Williamem Sturgeonem**, který je také považován za vynálezce elektromagnetu. Usměrněný proud však byl pulsující. To bylo závadou, a proto byla snaha tento stav zlepšit. Tím se zabývali např. **Da Negro, Clarke, Ettinghausen**, a jiní. Např. **Stöhrer** postavil r. 1840 stroj se silným lamelovým magnetem, před jehož póly se otáčely mohutné kotevní cívky.

Přímo obrovské stroje stavěla továrna Alliance, založená r. 1850 v Bruselu, jakož i fy Holmes v Northfleethu. Tam vyráběné stroje se ježily množstvím magnetů a kotevních cívek, a dodával proud, který mohl sloužit pro provoz obloukového světla. Stroje Alliance byly používány na lodích, majácích, stavbách apod. Tyto stroje byly ovšem velmi drahé a nestálé, protože permanentní magnety časem slábly a stroj ztrácel svůj výkon.

Na možnost nahradit trvalé magnety elektromagnety upozornil asi první **Wheatstone**, a dal si tento nápad také roku 1845 patentovat. Elektromagnety byly napájeny z galvanického článku, proto stroj s „cizím buzením“. Je na první pohled zřejmé, že lepší by bylo, kdyby proud do elektromagnetů byl brán přímo z proudu, který je zařízením vyráběn. Zde byl však jistý blok – to by logicky bylo možno až tehdy, kdy již zařízení nějaký proud dodává. Cesta dál se ubírala několika směry. **Brett** 1848 navrhoval doplnit permanentní magnety vinutím, a vytvořit z nich tak poloviční elektromagnety, **Sinsteden** použil v r. 1851 jako zdroje cizího buzení malý magnetoelektrický stroj s trvalými magnety a proudem v něm vyrobeným napájel elektromagnety druhého, většího stroje.

Mnohem dále dospěl dánský technik **Sören Hjorth** (1801-1870) a jeho myšlenky jsou popsány v anglických patentech z let 1854 a 1855. Jeho konstrukce měla jen dva permanentní magnety a poté, kdy stroj začal dodávat elektrický proud, byly elektromagnety napojeny na něj. Poměr byl 2:6. Praktických výsledků tím však nedosáhl.

Dynamoelektrický princip

Kardinální zdokonalení elektrických strojů bylo založeno na objevu, který byl učiněn 1866-1877. Je to objev remanentního magnetismu, je to Kolumbovo vejce celého problému. O prvenství se ucházejí Němci i Angličané.

Werner Siemens – 1816-1875 a **Charles Wheatstone** 1802-1875 objevili samobuzení takřka současně, ale přece jenom byl asi první Siemens, který svůj objev demonstroval již v prosinci 1866 ve Fysikální společnosti v Berlíně, kdežto Wheatstone svůj objev oznámil veřejně až v únoru 1867.

Objevením samobuzení bylo umožněno teoretické řešení – šlo však o vhodný tvar jednotlivých částí a jejich celkovou konstrukci. První kroky zde pocházejí od Siemense. Nejprve se otáčely cívky kotvy před póly magnetů, Siemens však zjistil, že mezi póly je pole ještě silnější. 1854 proto umístil kotvu mezi póly magnetu, a to s takovým výřezem, aby mezera mezi pólem a kotvou byla co nejmenší. Na takto ustavenou kotvu bylo možno navinout vodič a mezera mezi kotvou a magnetem byla co nejmenší.

Vzhledem k teorii elektrických strojů má ovšem kotva tvaru dvojitého T tu nevýhodu, že její vinutí projde při 1 otáčce kotvy projde její vinutí dvakrát účinným polem elektrického pole, a následkem toho je elektrická indukce skromná.

To odstranili **Pacinotti a Gamme**. Jejich kotvou je železný prsten, na kterém je rovnoměrně navinut vodič, ve kterém je indukován elektrický proud. Právě Antonio Pacinotti 1841-1912 použil u svého stroje novou kotvu. Neměl tehdy snad ani chuť ani možnost tento svůj nový vynález využít.

Myšlenku realizoval až v r. 1871 Belgičan **Zénobe Theofil Gramme**, původně modelář ve společnosti Alliance, která stavěla magnetoelektrické stroje s trvalými magnety pro osvětlovací účely. Tam se Gramme seznámil s elektrickými stroji a v r. 1869 sestavil i on dynamoelektrický stroj s prstencovou kotvou, na kterou obdržel i patent. Bylo samozřejmě možno tu a tam slyšet, že Gramme jednoduše využil Pacinottiho vynález. Gramme ovšem svůj spor vyhrál a kotva je však pro spravedlnost nazývána kotvou Pacinotti-Grammeovou. Gramme ovšem rozhodně kotvu propracoval a s úspěchem ji použil u dynamoelektrických strojů. Gramme také zavedl kolektor, rozdělený na velký počet úseků, ložiska s kroužkovým mazáním a jiná zlepšení.

Na světové výstavě v Paříži r. 1878 vzbudily Grammeovy prstencové stroje všeobecné uznání a obdržel Voltovu i Ampérovu medaili. Stroje s prstencovou kotvou byly první stroje, které prakticky velmi dobře vyhovovaly. Kotva měla velký počet závitů stejnoměrně rozdělených v magnetickém poli, takže odpadlo kolísání proudu, které bylo velkou nevýhodou kotvy Siemensovy. V dalším vývoji byla kotva prodlužována, takže se změnila v dutý válec. Pro dobré uchycení vedení byly na tomto válci vyfrézovány drážky, do kterých vinutí zapadalo. Tím odpadl i vzduchový prostor mezi kotvou a magnety.

Prstencová kotva má ovšem tu nevýhodu, že elektrický proud vzniká jen v těch částech vinutí, které jsou na vnější straně prstenu, resp. válce, zatímco ta část vinutí, která je na straně vnitřní, magnetickým polem zasažena není a je jenom spojující částí.

Proto neměla tato prstencová kotva příliš dlouhého trvání a byla brzy nahrazena kotvou bubnovou. Tu zkonstruoval roku 1873 **Friedrich von Hefner-Alteneck** (1845-1904), čelný spolupracovník německé firmy Siemens-Halske. Bubnová kotva má vinutí výhradně na vnějším obvodu.

Stejně jako kotva jsou důležité i tvary magnetů, ten dává stroji charakteristický ráz. Je typ Edisonův, Kappův a Manchester.

Výkon závisí zde na rychlosti otáčení kotvy. Dynamoelektrické stroje byly spojeny s parními stroji nebo spalovacími motory, jejichž povaha neumožňovala více než 300-400 otáček za minutu. K zvýšení výkonů se stavěly stroje s velmi silnými magnety nebo byl maximálně zvětšován průměr kotvy, aby se zvýšila obvodová rychlost. Dalším řešením bylo

to, že se zavedly vícepólové stroje, čímž se výkon znamenitě zvýšil. Turbiny s 3000 i více otáčkami přinášejí opačný problém – generátor má pak poměrně malý průměr.

Důležitým vývojem prošla mezitím ovšem i oblast zdrojů elektrického proudu. Na pařížské výstavě 1881 vystavoval **Edison** dynamo Jumbo, které dodávalo proud do 2000 žárovek, a bylo to v té době největší dynamo na světě. I s parním strojem, který je poháněl, vážilo 27 tun. Během 50-letého vývoje klesla váha dynam o 80%. Stalo se to tak díky kvalitnějšímu materiálu pro dynamové plechy i sběrným kartáčům. Další vývoj čelil např. „příčné magnetizaci“. Stroje na výrobu stejnosměrného proudu byly záhy nahrazeny stroji na proud střídavý, avšak stejnosměrný byl stále nepostradatelný při pohonu elektrických drah, zdvihadel, těžních zařízení a válcoven, a v průmyslu elektrochemickém – elektrolýza a galvanizace také při sváření a nabíjení akumulátorů.

Motory na střídavý proud

Dlouho panovalo přesvědčení, že stejnosměrný proud je nejlepší a v podstatě nenahraditelný. Stroje na výrobu stejnosměrného proudu se zavedly nazývat dynamy, stroje na střídavý proud se nazývají alternátory. Odstraní-li se z dynamy kolektor, stane se z něj alternátor.

Za vynálezce vícefázového proudového systému je možno považovat **Nikolu Teslu**, který již jako student přemýšlel o tom, jak odstranit kolektor a kartáčky. To bylo, když roku 1877 přešel na techniku do Štýrského Hradce. Vynikal ve fyzice a elektrotechnice, a nad nejnovějším exponátem – Grammeovým dynamoelektrickým strojem – tam vyslovil myšlenku sestavit stroj bez komutátoru a kartáčků. Profesor Pöschl to označil za nesmysl, ale Tesla o to více na této myšlence upěl. Roku 1881 byl zaměstnán u telefonní společnosti v Budapešti, a tam přišel na myšlenku využití točivého pole s několika nezávislými proudokruhy, tedy střídavého vícefázového proudu. 1882 získal místo u pařížské filie Edisonovy společnosti, tam však o jeho objev nebyl zájem. Při rekonstrukci elektrocentrály ve Štrasburku postavil v tamní dílně svůj vícefázový motor, pařížští šéfové s tím nechtěli mít nic společného. Roku 1884 přesídlil Tesla do Ameriky, kde nejprve zdokonalil obloukovku a tím se postavil ekonomicky na nohy. 1887 patentuje sedm hlavních vynálezů, které jsou základem elektrotechniky vícefázových proudů. Je tam popsán jev točivého magnetického pole, i jeho využití při stavbě indukčních motorů a dalších strojů. Po obdržení patentů uzavřel Tesla smlouvu s Westinghousem, kterému své patenty prodal. Zároveň se zavázal, že bude jeden rok řídit jejich praktické využití. Poté si 1889 zřídil v NY novou laboratoř, kde pokračoval ve výzkumech vícefázových proudů. Začátkem roku 1882 došel k geniální myšlence točivého magnetického pole, buzeného spřaženými střídavými proudy. V létě 1883 sestavil první model indukčního motoru. Ten se skutečně točil a byl základem elektrotechniky vícefázových proudů. 1.5.1888 obdržel patenty na motor s točivým magnetickým polem. George Westinghouse, zakladatel světoznámé firmy v Pittsburgu již za dva měsíce po uveřejnění Teslových patentů zajistil pro svou firmu všechny práva k jejich uplatnění.

Nelze nezmínit další, kteří se snažili tímto směrem – italský profesor **Galileo Ferraris** (1847-1897) konal pokusy s jednofázovým indukčním motorem, dále ruský, v Německu pracující inženýr **Michal Dolivo-Dobrovolskij**. Byli i další.

Boj stejnosměrného se střídavým proudem byl vybojován v USA. Proti sobě stáli Edison a Westinghouse. První střídavé vítězství lze zaznamenat 1843, kdy Westinghouse vyhrál konkurz na rozvod elektřiny z Niagarských vodopádů. Na stejnosměrné straně byla i taková uznávaná kapacita, jakou byl lord Kelvin. Dva roky nato postavil Westinghouse první

mohutné dvoufázové alternátory o 250 otáčkách, a výkonu 3750 kW. Ještě předtím ovšem postavila firma Oerlikon první alternátor v Evropě, a to pro přenos energie na výstavu ve Frankfurtu roku 1891.

Alternátory se zprvu stavěly jako stroje s vnějšími póly, kde magnety byly pevné a kotva se otáčela. Později se přešlo k tzv. induktorovému typu, při kterém otáčivá část nemá vůbec žádné vinutí, a otáčejí se pouze železné kusy určitého tvaru, měnící směr magnetického pole. Posléze se ustálilo uspořádání s vnitřními póly a otáčejícími se magnety, zdokonalenými tlumičem, který odstraňuje tzv. „houpání“, nastávající, když do sítě dodává proud několik alternátorů.

Vývoj elektromotorů je nekončícím příběhem, kdy každou větu je možno rozvinout do stati. I o to se bude možno pokoušet v semestrálních pracích k přednáškám tohoto předmětu.