

1. Z DĚJIN TRANSFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Jiří Škorpík, ORCID: 0000-0002-3034-1696, skorpik.jiri@email.cz

Úvod 1

Živá síla 1

- Kvantifikace práce – výkon jednoho koně 2
- Energetická a výživová hodnota stravy 2
- Transformace energie v živé buňce 3
- Odvod přebytečného tepla z lidského těla 5

Hoření jako zdroj tepla a světla 5

- Přerod ohniště v kotel 6
- Zrod průmyslového kotle 7
- Plynová žárovka 9
- Hoření jako chemický proces 10
- Množství spalin vzniklých při stechiometrickém spalování některých paliv [T.207] 12
- Výhřevnost některých paliv [T.1149] 12

Střípky z historie větrné energetiky 13

Vodní kola a vodní turbíny 15

Historie strojů na páru 17

- Vynález zvaný pístový parní stroj 17
- Cesta k parní turbíně 20

Jde to i bez páry 23

- Opět další vynález, který změnil svět – spalovací motor 23
- Historické způsoby zapálení hořlavé směsi ve spalovacím motoru 26
- Zrod spalovací turbíny 26

Elektrina 28

- Od galvanického článku ke spotřebičům elektřiny a točivému generátoru 29
- Elektrifikace 29
- Obvyklá napětí elektrických vedení podle užití [T.1141] 31

Atomová energie 32

- Objev atomové energie 32
- Zrod jaderného reaktoru 33
- Radioizotopové generátory 34
- Možná budoucnost – termonukleární reaktory 34

Jak člověk začal transformovat sluneční energii přímo 36

- Z dějin fototermiky 36
- Z dějin fotovoltaiky 38

Pár slov na závěr o energetickém mixu 39

Odkazy 39

Úvod

Energii potřebujeme

Člověk pro přímé či nepřímé uspokojování svých potřeb od fyziologických, sociálních až po kulturní potřebuje energii. Průměrný obyvatel ČR spotřebuje pro své žití, tj. bydlení dopravu vaření zábavu až *150 kWh* denně.

*Transformace energie
Primární energie*

Energii člověk spotřebovává v různých formách, například vnitřní tepelnou energii⁴³ okolního prostředí ho zahřívá, kinetická energie mu pomáhá prostřednictvím dopravních prostředků a rozmanitost využívání elektrické energie netřeba připomínat. Požadovanou formu energie je nutné obvykle "vyrábět", přesněji transformovat, z nějaké primární energie (původní forma energie na počátku procesu), například tepelný stroj⁶ s elektrickým generátorem transformuje energii paliva na elektrickou energii prostřednictvím elektrického generátoru, prostřednictvím soustrojí vodní turbíny¹¹ a elektrického generátoru lze transformovat potenciální energii vody na elektrickou energii apod.

*Transformovat i
dopravit*

Žádný primární zdroj energie není nevyčerpatelný. Ne každý druh energie, ať už z jakéhokoliv důvodu, je dostupný v místě spotřeby v požadované formě, proto většinu energie je třeba vyrábět (ve smyslu zpracovat ji pro spotřebitele) a dopravovat ji do místa spotřeby.

Živá síla

Tělo jako nástroj

Zcela na počátku lidských dějin se člověk mohl spoléhat pouze na svou sílu. Vše co konal, dělal pouze pomocí svého těla dobrovolně, z donucení a z nutnosti přežít. Postupně vynalézal různé nástroje a později dokonce i stroje.

Postroje

Přibližně 3,5 tisíce let př. n. l. vynalezl člověk postroje i pro zvířata, tím je mohl začít využívat i ke konání práce (tzv. animální síly). Ze začátku byly postroje primitivní a stroje, např. rádlo či vůz byly přivazovány k ohonu zvířete, až teprve někdy mezi 6 a 7. století n.l. vynalezli v Číně tažný popruh skládající se z chomoutu a prsního popruhu [19, s. 220] (tento vynález se v západní Evropě začal používat až kolem roku 1000 n.l.). Postupně se zvířecí síla stala nepostradatelnou v ekonomice západní Evropy a tou zůstala v některých oblastech přibližně do konce 19. století, než ji vystřídaly jiné technologie, *Obrázek 211, s. 2*.

*Lidé získávají volný
čas*

Nechat konat za sebe práci, ať už otrokem či zvířetem, umožnilo dotyčnému věnovat ušetřený čas přemýšlení i zábavě. Tak začala vznikat kultura, architektura a i samotná věda má kořeny v otrokářské společnosti antického Řecka [52], ve kterém čas získaný otrockou prací mohla využít široká vrstva obyvatelstva. Význam otrokářství ale s příchodem strojů a zvířecích postrojů postupně upadal. Křesťanství ho pouze dokázalo přetvořit na

211 Olivový mlýn pohaněný oslem – Maroko, 2007



Foto: Jerzy Strzelecki [3].

poddanské povinnosti, ale zcela vytlačit ho dokázal až příchod parního stroje.

Kvantifikace práce – výkon jednoho koně

Stanovení výkonu jednoho koně

Asi jako první se problémem porovnávání mechanického výkonu zabýval skotský vynálezce James Watt. Watt spočítal výkony koní, kteří poháněli pumpy v dolech tak, že sledoval do jaké výšky dokáže kůň průměrně za jednu sekundu vyčerpat určité množství vody. Wattovi vyšlo, že kůň za jednu sekundu zvedne 500 liber (~226,8 kg) vody do výšky jedné stopy (0,3048 m), což v současných jednotkách výkonu odpovídá 678,14 W.

První stroj o výkonu jednoho koně

Watt se snažil sestrojít parní stroj, který by měl stejný výkon jako jeden kůň [22, s. 412]. Nakonec se mu podařilo sestrojít stroj, který dokázal vyčerpat 550 liber vody za jednu sekundu do výšky 1 stopy, což je přibližně 745 W. Tento výkon se stal na dlouhou dobu jednotkou výkonu pod názvem kůň. Výkon jednoho koně je mezinárodně definován 735 W (Britský kůň vychází z definic liber, což v přepočtu dělá cca 745 W).

Výkon člověka

Mechanický výkon člověka nepřesahuje 350 W, což je ale výkon špičkového cyklisty, navíc ho lze dosahovat nepřetržitě jen několik minut. Průměrný mechanický výkon člověka je jen 35 W [30, s. 21].

Strava jako zdroj energie

Energetická a výživová hodnota stravy

Živočichové a tedy i člověk, v sobě transformují energii z potravy (Obrázek 212). Výsledkem této transformace není jen vykonaná práce, ale také teplo a jiné transformační pochody nutné pro život a zdraví jedince.

212 Porovnání spotřeby energie při spánku a jízdě na kole



(a) spánek 80 W, 300 kJ·hod⁻¹; (b) cca 1,5 kW, 6 038 kJ·hod⁻¹.

Energetická hodnota potravin

V dnešní době je snadné si zjistit možný energetický přínos jednotlivých druhů potravin. Na obalech bývá uvedena energetická hodnota na jednotku hmotnosti nebo objemu, popřípadě lze využít obecných tabulek např. [4, s. 496]. Uvedená hodnota představuje množství energie, které je člověk schopen získat z dané potraviny.

Bílkoviny, tuky, sacharidy a prázdné kalorie

Ovšem pouze energetické přínosy stravy nestačí, strava musí mít i výživovou hodnotu důležitou pro regeneraci tkání a dalších složek lidského těla, na kterých závisí lidské zdraví. Výživová hodnota udává, kolik bílkovin, tuků, sacharidů, cholesterolu, vlákniny (stravitelné látky složené převážně z uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku a fosforu) nebo vitaminů či minerálních látek obsahuje. Existují tedy potraviny z výživového hlediska hodnotné (například jogurt, který je zdrojem kvalitních bílkovin, vitaminů a vápníku) a přitom dodávající jen málo energie. Na druhé straně jsou potraviny s vysokou energetickou hodnotou, ale malým nebo žádným přínosem pro zdraví, o těch se mluví jako o potravinách, které poskytují prázdné kalorie, například sladkosti, lihoviny, smažené brambůrky apod.

Optimální energetické složení stravy

Průměrný podíl základních složek v potravě, z pohledu zpracování energie, by měl přibližně být: 60 % sacharidů, 28 % tuků, 15 % bílkovin [4, s. 493]. Se zvyšujícím se fyzickou zátěží se zvyšuje podíl tuků na úkor sacharidů.

Minimální dávka energie

Minimální denní příjem energie ve stravě pro člověka v klidu je cca 2 kWh (7 200 kJ). Roční práce člověka odpovídá energii cca 250 kWh při 110 W mechanického výkonu během pracovní doby.

Ekvivalentní zemědělská plocha

Množství energie za rok přijímané v potravě jednoho člověka lze vypěstovat přibližně na 0,07 až 0,2 ha půdy (vyšší číslo zahrnuje vyšší podíl vyvážené stravy, včetně vláknin, vitaminů a živočišných bílkovin). To odpovídá potřebě přibližně 20 tis. km² zemědělských ploch na 10 mil. obyvatel bez rezerv (ČR disponuje 25 tis. km² zemědělské plochy). V současné době už moderní zemědělství spotřebuje více energie (spotřeba mechanizace), než kolik energie v potravě sklídí. Jednou z posledních zemí, kde zemědělec více energie vypěstuje než spotřebuje je Indie s nízkým stupněm mechanizace zemědělství.

Transformace energie v živé buňce

Transformace pomocí enzymů jako katalyzátorů

Transformace energie v živé buňce nemůže probíhat přímým způsobem jako u tepelných strojů pomocí tepelného oběhu⁴³. [4, s. 168]. Tj. transformace neprobíhá na základě silového působení pracovní látky na okolí při velké změně tlaku a teploty, ale probíhá přímým přetvářením molekul⁴⁷ pomocí volných elektronů. Živé buňky, ve kterých transformace probíhá, totiž existují jen v určitém malém rozsahu teplot, a proto chybí v živém těle velké gradienty⁴² teplot. Při tak malých teplotních gradientech by byla i tepelná účinnost⁴³ klasických tepelných oběhů velice

nížká. Navíc primární energie, využívaná při transformaci v buňkách, pochází z oxidace, ale jak je výše uvedeno, pro smysluplnou energetickou hustotu by byla nutná rychlá oxidace jako při hoření a tedy při vysokých teplotách. To se také neslučuje s životem buňky. Ovšem potřebnou teplotu oxidace lze snížit použitím katalyzátoru v živé buňce, kterými jsou enzymy [4, s. 168] (druh bílkoviny, která podstatně urychluje chemickou reakci, například oxidaci probíhající mezi teplotami 20 až 40 °C urychlí i o několik řádů [17, s. 137]).

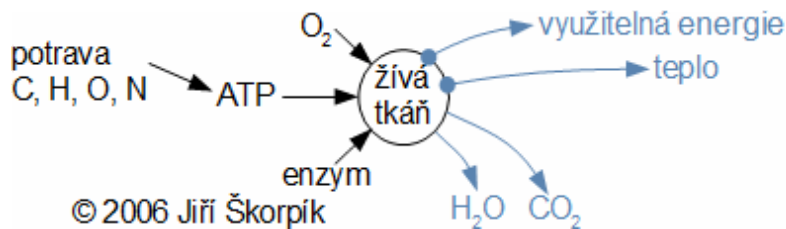
ATP

Většina živočichů nezískává energii přímo ze "surové potraviny", ale potravu nejdříve zpracuje do energeticky bohaté sloučeniny ATP (adenozintrifosfát: makroergická sloučenina – energeticky bohatá sloučenina vzniklá ze stravy). Samotná přeměna energie uložená v ATP probíhá za přítomnosti enzymů v buňce procesem, při kterém se přímo vyrobí potřebný druh energie (tepelná, elektrická, mechanická). Jedná se tedy o ekvivalent procesu při přímé výrobě elektřiny a tepla. ATP reaguje s kyslíkem za vzniků spalin CO_2 (aerobní² respirace).

Dýchání

Kyslík se do těla dostává při dýchání vzduchu, který je z cca 21 objemových % složen z kyslíku. V těle se část kyslíku spotřebuje při reakci s uhlíkem a vodíkem za vzniku CO_2 a vodní páry, takže vydechaný vzduch obsahuje už jen 15 % kyslíku ve prospěch zvýšení podílu CO_2 a vodní páry, *Obrázek 210*.

210 Transformace energie v živé buňce



ATP adenzintrifosfát.

Tuk jako rezerva

Každý člověk musí v potravě přijmout tolik energie kolik spotřebuje "spálí", pokud dojde k nerovnováze mezi příjmem a spotřebou energie, potom je nedostatek hrazen z rezerv těla (tuky), a nadbytek energie může být naopak v těle ukládán ve formě tuku.

Kdy dojde na tuky

Postup spalování jednotlivých typů energetických zásob v lidském těle je u špičkového závodníka následující: Zásoby ATP vystačí cca na 10 s intenzivní svalové práce. Pokud tělo dále pokračuje v intenzivní činnosti, musí již přistoupit k odbourávání cukrů (sacharidů), které jsou ve svalech a játrech (glukóza a glykogen). S cukernými substráty vydrží asi hodinu svalové činnosti podmaximální intenzity. Po vyčerpání těchto zdrojů již jako zdroj energie převažují tuky (spotřeba vzduchu vyšší než u cukrů). V krajním případě při nedostatku tuků dochází ke spalování bílkoviny – hmota svalů (velká spotřeba kyslíku). Ve skutečnosti probíhá spalování cukrů, tuků a bílkovin současně, ale vždy s velkou převahou jedné z uvedené trojice [5, s. 93].

Odvod přebytečného tepla z lidského těla

Proč 36 °C

Účinnost využití spotřebované energie v lidském těle je 10 až 20 %. To znamená, že přibližně 80...90 % energie je ve formě tepla nutno z těla odvést tak, aby teplota lidského těla byla 36 °C, jinak hrozí narušení rychlosti metabolismu a při vyšších teplotách dokonce rozpad některých důležitých sloučenin, při nižších teplotách naopak postupné zastavení metabolismu. Proto je trvalá termoregulace těla životně důležitá.

Termoregulace

Termoregulace lidského těla je proces, který využívá reflexů těla (při snížení teploty samovolná svalová činnost, při zvýšení teploty pocení), případně lze vědomě ovlivňovat sdílení tepla s okolím regulací pokrytí těla oblečením, vystavení se proudu vzduchu, skrytí se do chladnějšího prostředí a pod. Sdílet teplo s okolím lze na povrchu těla, kam se dostává pomocí krevního oběhu a vedením tepla v těle, nebo obráceně směrem od povrchu těla dovnitř organismu. Na povrchu těla se teplo sdílí tepelným zářením⁴⁶, vedením (kondukcí) do okolního prostředí, prouděním (konvekcí) prostředí kolem lidského těla a odparem v případě ochlazování.

Pocení

Chlazení odparem vody na lidské pokožce probíhá při teplotě odpovídající teplotě varu parciálního tlaku páry okolí. Například i při tropickém dni, kdy je teplota vzduchu 35 °C, ale parciální tlak páry ve vzduchu odpovídá 25 °C, bude teplota potu na pokožce také 25 °C, více v podkapitole Vlhký vzduch a relativní vlhkost vzduchu⁴³.

Hoření jako zdroj tepla a světla

Topeniště, palivo, spaliny a popel

Jakékoliv topeniště i obyčejné ohniště je chemický reaktor, ve kterém probíhá hoření. V tomto článku je hořením myšlena rychlá oxidační exotermická reakce, respektive reakce kyslíku s jinou látkou v pevné, kapalně nebo plynné formě, kterou nazýváme palivem. Produktem hoření je tedy teplo⁴³, světlo⁴⁶, popel a spaliny. Nejčastěji se jedná o paliva bohatá na uhlík a vodík (biomasa³, uhlí⁷, zemní plyn⁷ apod), ale hořet může i síra, chlór, sodík apod.

Člověk a oheň

Zájem předchůdců člověka o oheň pravděpodobně způsobila jeho schopnost plašit velké šelmy, které ho ohrožovaly především v noci (*Obrázek 200*). Možná právě proto se dnes v lidech u malých ohnišť či krbu objevuje pocit klidu a bezpečí, i když stále mají z ohně respekt. Schopnost využívání, rozdělování a udržování ohně je jedna z nejstarších lidských dovedností a pravděpodobně to byl i silný stimul podporující rozvoj technického myšlení člověka. V současnosti lidstvo převážně využívá jiné efektivnější zdroje

světla a hoření využívá pouze k výrobě tepla. Teplo z hoření je dnes dominantním uměle vyráběným teplem.

200 Oheň využívali již předchůdci člověka



Poprvé začali předchůdci člověka (člověk pekingský – *Homo erectus pekinensis*) využívat oheň ve svůj prospěch přibližně před 0,5 mil. lety jako ochranu před šelmami [1]. V té době ještě dokázal oheň pouze udržovat, nikoliv rozdělovat, o čemž svědčí mnohametrové nepřerušované vrstvy popela v objevených pravěkých ohništích. Rozdělovat oheň se člověk naučil někdy mezi 9 až 40 tis. lety před n. l. Obrázek: Zdeněk Burian.

Základní paliva

Jako palivo pro hoření se nejprve využívala biomasa³ (dřevo, tráva...), později člověk objevil rašelinu a uhlí. V 19. století se také začal prosazovat svítiplyn vyráběný z uhlí² [53, s. 46]. Hromadné využití ropných produktů a zemního plynu² nastalo až ve 20. století. Tyto zdroje se někdy souhrnně označují jako přírodní zdroje paliva. Zejména v posledních letech se začaly spalovat i různé druhy odpadů a různé zdroje umělých paliv, tzv. druhotné zdroje paliva s vysokým podílem uhlíku nebo vodíku.

Přerod ohniště v kotel

Volné ohniště

Ve volném prostoru otevřeného topeniště (ohniště) je možné využít pouze sálavé teplo plamene a spalin. Tento způsob je velice neefektivní a nepřispívá k tepelné pohodě člověka, protože je zahříván pouze ze strany ohniště. To se poněkud zlepšilo přenesením ohně do krytých prostor (jeskyně, obydlí), kde oheň ohříval sáláním i prouděním spalin po stěnách i stěny obydlí. Zároveň byl ohříván efektivněji i vzduch kolem ohniště spalinami, ale za cenu horší kvality vzduchu ve vytápěném prostoru.

Krby a kamna

Později byl oheň přenesen do uzavřených ohnišť např. krb. Plamen a spaliny přímo zahřívaly tělo krbu, které ohřívalo okolní vzduch. Pro vyšší efektivitu využití energie v palivu (menší spotřeba paliva) je nutné zachytit veškeré sálavé teplo a co nejvíce vychladit spaliny, proto se odvod spalin od krbu co nejvíce protahoval (labyrintový odvod spalin). Tento princip lze ještě dnes spatřit u některých typů kamen. Také se zvětšovala teplosměnná plocha mezi spalinovodem a vzduchem.

Ústřední vytápění

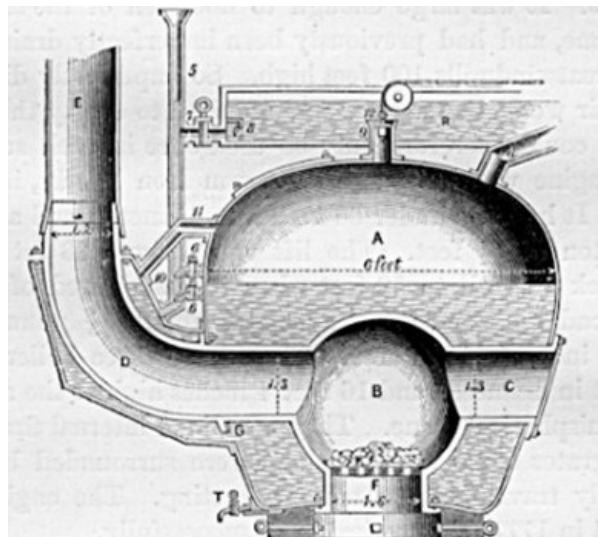
Ještě větší efektivitu a možnosti využití nabízí ohřev vody, protože ohřátá voda může být rozváděna pomocí potrubí do potřebných prostor tzv. ústřední vytápění. Zařízení, ve kterém dochází k ohřevu vody se nazývá kotel. Podle druhu paliva se rozlišuje kotel na dřevo³, kotel na uhlí apod. Pokud se chcete dozvědět více o těchto vytápěcích zařízeních v historickém kontextu, pak doporučuji pentalogii prof. Cihelky Kapitoly z dějin vytápění, viz odkazy [47], [48], [49], [50], [51].

Zrod průmyslového kotle

Žárotrubný kotel

Vynálezem parního stroje (viz jedna z následujících kapitol) na přelomu sedmnáctého a osmnáctého století vznikala potřeba vyrábět vodní páru. Nejdříve se pro tyto účely používal žárotrubný kotel určený pro výrobu syté páry. Pojem žárotrubný souvisí s konstrukčním uspořádáním kotle, ve kterém je ohniště a spalínovod obklopen druhým pláštěm a objem mezi pláští je vyplněn vodou (oheň uvnitř, voda okolo, viz *Obrázek 201*).

201 Smeatonsův žárotrubný kotel pro výrobu syté páry 1765 [2]



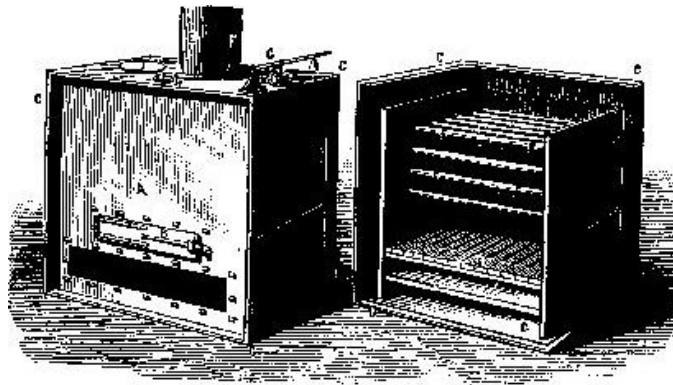
Vodotrubný kotel

Žárotrubný typ kotlů byl ve své době velice nebezpečný, protože často explodoval (materiálové hledisko, úroveň zpracování). I z toho důvodu byl nahrazován na konci 18. století bezpečnějšími vodotrubnými kotly, ve kterých horké spaliny proudí spalínovody vyplněné potrubím (i žebrované) s ohřívanou vodou/párou. Vodotrubný kotel obvykle obsahuje i parní bubnu, ve kterém dochází k oddělení syté páry od syté kapaliny (odparem na volné hladině), *Obrázek 202*, s. 8.

Parní lokomotiva

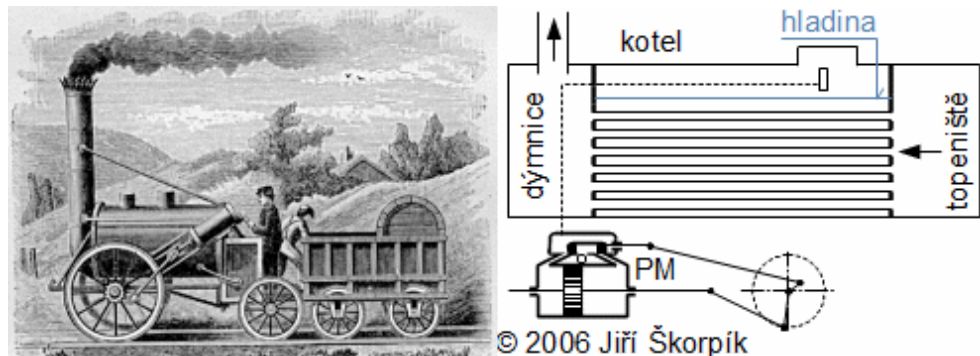
Velký rozvoj žárotrubných kotlů opět nastal s příchodem parních lokomotiv – mobilní aplikace parního kotle. Zásadním impulsem byla Stevensonova lokomotiva s žárotrubným kotlem. Tato koncepce kotle parních lokomotiv se udržela po celou éru parních lokomotiv. Lokomotivní kotel se stal postupem času dokonce jedním z nejpropracovanějších technických zařízení, *Obrázek 203 a 219*, s. 8.

202 Barlowův
vodotrubný kotel 1793



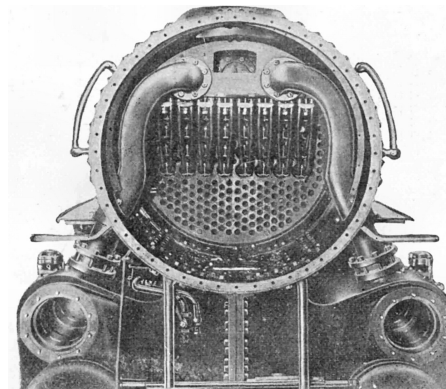
Lze ho považovat za jednoho z předchůdců velkých průmyslových a elektrárenských kotlů dnešní doby, i když v té době byl pouze na horkou vodu. Úspěšnou konstrukci vodotrubného kotle pro mobilní aplikaci jako generátoru páry vyrobil až v roce 1826 britský vědec **Goldsworthy Gurney** (1793-1875) [43]. Zdroj obrázku [2].

203 Koncepce
moderních parních
lokomotiv zůstala po
celou dobu jejich
historie prakticky
nezměněna



vlevo Stevensonova lokomotiva z roku 1829; **vpravo** pouze parní motor nebyl v další fázi vývoje umísťován šikmo dozadu ale vodorovně dopředu. Dobový obrázek [2].

219 Pohled do útrobu
kotle parní lokomotivy
přes otevřenou dýmnici



Lze spatřit vyústění žárového potrubí a v horních řadách potrubí jsou umístěny přehříváky páry, které jsou konstruovány vodotrubně. Obrázek je kopií z díla "1922 Locomotive Cyclopedia of American Practice" vydané při "Simmons-Boardman" [3].

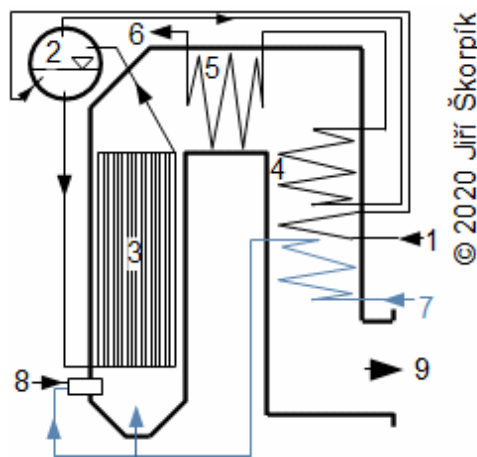
Kotel parní elektrárny

Kotle vodotrubné se prosadily především u stacionárních aplikací. Na rozdíl od žárotrubných kotlů jsou bezpečnější, menší a účinnější. Mají ale stížené možnosti čištění než kotle žárotrubné. Pro výrobu páry v elektrárnách se používají nejčastěji vodotrubné dvoutahové kotle s jednotlivými sekcemi teplosměnných ploch, viz *Obrázek 204*.

Topeniště velkých kotlů

Ve 20. století, s příchodem velkých kotlů pro energetiku, se začaly používat i nové typy topenišť (granulační kotle, práškové

204 Schéma rozložení teplosměnných ploch dvoutahového kotle na kapalné palivo pro výrobu přehřáté páry



1 přívod vody do kotle – napájecí voda kotle, která je nejprve předehřívána v tzv. ekonomizéru horkými spalinami; 2 buben kotle, nad zatopenou částí je sytá pára; 3 výparník – svislé trubky obklopující spalovací zónu kotle, ty pohlcují sálavé teplo plamene, takže voda ve výparníku postupně začíná vřít stoupá vzhůru zpět do bubnu; 4 přehřívák (zde se sytá pára z bubnu přehřeje) pomocí horkých spalin, které vznikly při hoření; 5 druhý stupeň přehříváku, kde se pára přehřeje na požadovanou teplotu; 6 odvod pára z kotle ke spotřebiči; 7 předehřev vzduchu – tím se zvýší teplota hoření a současně sníží teplota spalin do komína (efektivnější využití tepla ve spalinách), všimněte si, že vzduch je do spalovacího prostoru přiváděn v několika místech a v různých fázích hoření, tak aby spalování bylo co nejefektivnější a nejekologičtější; 8 přívod paliva a hořáky; 9 odvod spalin do komína.

kotle s fluidním topeništěm...). Před těmito moderními typy topenišť se používala topeniště s roštem, viz *Obrázek 201*, s. 7.

Plynová žárovka

Světlo i teplo

Vývoj světelné techniky probíhal od zapálených větví, přes louče, svíčky, olejové lampy po plynové lampy. Konečná vyspělost plynových lamp dokonce zbrzdila nástup elektrických žárovek tím, že částečně nahrazovaly i topení v místnostech, ale elektrická žárovka místnost vytopit nedokázala, i když její světelné vlastnosti byly do příchodu plynové žárovky (*Obrázek 198*) mnohem lepší [21, s. 148].

198 Vrcholem vývoje hořákových svítidel je tzv. plynová žárovka



Jádrem plynové žárovky je tzv. Auerova punčoška tvořená látkou, která se při zahřívání spalinami z hořícího svítiplynu o teplotě až 2100 °C rozzáří jasným světlem. Tento princip hořákového svítidla vynalezl rakouský chemik **Karl Auerer** (1858-1929) kolem roku 1886, poté následovala ještě léta zlepšování pro hromadné využití a výrobu [20, s. 248]. *Obrázek z [3]*.

Hoření jako chemický proces*Kyslík*

Pro efektivní řízení procesu hoření je nutné dokonale znát děje, které při hoření probíhají. Ještě v 18. století byl proces hoření zahalen tajemstvím. Vědělo se pouze to, že k hoření je potřeba paliva a z nějaké neznámé příčiny i vzduch. Tato mezera v poznání byla pomalu zacelována a zcela zacelena objevem kyslíku v roce 1772, respektive 1774, kdy byl objeven kyslík (nezávisle na sobě **Carl Wilhelm Scheele** (1742-1786) a **Joseph Priestley** (1733-1804) [22, s. 441]), a že hoření podporuje právě tento plyn. To byl počátek studia statiky hoření [8], což umožňovalo daleko lépe regulovat samotný proces hoření. V této podkapitole se zde budeme zabývat průběhem hoření v poněkud větším měřítku, než je měřítko prvků – a to reakcí vzduchu a paliva.

Pomalá vs. rychlá oxidace

Na vzduchu reaguje na svém povrchu prakticky každá hořlavá hmota se vzdušným kyslíkem (dřevo, lidská pokožka a pod.), ale vzhledem k nízké teplotě okolí se jedná o velmi pomalou oxidaci. Aby začalo hoření, což je naopak rychlá oxidace, musí se k předmětu, který má hořet přiložit např. hořící zápalka. Ani zápalka se však nezažehne sama, musí se zapálit o krabičku třecím teplem. Příčina je celkem pochopitelná: oxidace je chemická reakce, při které dochází k přetvoření sločenin. K tomu je potřeba, aby se původní sloučeniny⁴⁷ paliva i molekuly kyslíku O₂ ve vzduchu rozpadly vlivem energie tepelného pohybu, proto rychlost chemické reakce závisí na teplotě.

Teplota hoření

Jestliže se například rychlost reakce zvyšuje 3x při zvýšení teploty o 10 °C, potom zvýšení teploty o 100 °C zvýší rychlost hoření asi 60 000krát. Reakce, která probíhá normální rychlostí např. při 500 °C, při pokojové teplotě nenastane. Je nutné počátečním ohřátím vytvořit teplotu potřebnou k reakci. Vysokou teplotu pak už udržuje teplo uvolňované při reakci. Počáteční místní ohřátí musí stačit na to, aby teplo, které se uvolní při reakci, převyšovalo teplo odváděné do okolního prostoru, proto má každá reakce svoji teplotu hoření, při které vnější iniciací (např. jiskrou) dojde k hoření. Hoření začíná jen tehdy, je-li počáteční teplota rovna nebo vyšší než teplota hoření. Např. teplota hoření dřeva je 610 °C, benzínu asi 200 °C.

Teplota vznícení a zápalná teplota

V souvislosti s hořením se ještě definuje teplota vznícení, která je vyšší než teplota hoření, a dojde při ní k hoření i bez vnější iniciace. Teploty hoření a vznícení jsou funkcí tlaku a souhrnně se nazývají zápalnou teplotou.

Plamen

Plamenem se nazývá sloupec hořících plynných látek (největší teplotu má na svém povrchu).

Spaliny a jejich složení

Při hoření vznikají produkty hoření nazývané spaliny. Spaliny jsou horká směs plynů. Složení spalin lze vypočítat z jednoduché prvkové bilance paliva a vzduchu pomocí spalovacích rovnic, respektive slučovacích rovnic typických pro hoření³.

Promíchání vzduchu a paliva

U pevných paliv začíná hoření na jejich povrchu a pokud neshoří povrchová vrstva nemůže hořet další. Tím se vysvětluje například relativně pomalý průběh hoření dřeva³. Zvýšení výkonu při hoření tj. množství hořící látky na jednotku objemu je možné, pokud se zvýší plocha paliva (např. drcené/rozemleté uhlí, které má několikrát větší povrch než uhlí kusové, štěpka místo kusového dříví apod). Palivo tak lépe prohoří, tím se zmenší i nedopal a sníží obsah škodlivých emisí ve spalinách. Pro plynná a kapalná paliva je nutné pro rychlé a účinné hoření také důkladné promíchání s kyslíkem.

Výbuchy a střeliviny

Podstatně jiná je situace, když není pro hoření potřeba okolní vzduch, protože všechno potřebné je uvnitř palivové směsi. Příkladem takové směsi může být směs vodíku a kyslíku, tzv. třaskavá směs. Reakce zde neprobíhá na povrchu látky, ale uvnitř směsi. Na rozdíl od hoření se v tomto případě veškerá energie uvolňuje prakticky okamžitě, tím se zvýší tlak a nastává výbuch. Bohatá zápalná směs a následná prudká oxidace se používá u spalovacích motorů⁶ (výbušných motorů) apod. Existují také pevné výbušné látky např. střeliviny, které tvoří náplně do nábojnic (složení střeliviny například v [23, s. 74]).

Stechiometrie spalování

Pro návrh teplosměnných ploch (především jejich velikosti) je třeba znát nejen složení spalin, ale také jejich množství při spálení konkrétního množství paliva. Také záleží i na teplotě spalin. Množství i teplota spalin je funkcí především množství vzduchu přivedeného do spalovacího prostoru. Rovnice prvkové bilance konkrétního případu hoření se nazývá stechiometrie spalování.

Podstechiometrické, stech. a nadstech. spalování

Z příslušných chemických reakcí hoření lze přesně vypočítat spotřebu kyslíku pro spálení určitého množství paliva. Pokud při spalování shoří požadované množství paliva, a přitom se do spalovacího procesu přivedlo přesně spočítané množství kyslíku, pak hovoříme o stechiometrickém spalování. Při podstechiometrickém spalování je zřejmé, že nemůže shořet veškeré palivo. Při nadstechiometrickém spalování se do spalovacího procesu přivádí více kyslíku než odpovídá výpočtu.

Součinitel přebytku vzduchu

Nejčastěji se pro spalování používá vzdušný kyslík, respektive se do spalovacího zařízení přivádí vzduch a nikoliv pouze kyslík. Proto, pokud je do spalovacího procesu přiváděno tolik vzduchu, že obsahuje právě stechiometrické množství kyslíku, potom toto množství nazýváme stechiometrické množství vzduchu. Pokud do spalovacího prostoru přivedeme více vzduchu než stechiometrické množství, pak spaliny obsahují i nespálený kyslík, je jich větší množství a jsou chladnější než při stechiometrické množství. Pro kvantifikaci přebytku nebo nedostatku spalovacího vzduchu se používá veličina součinitel přebytku vzduchu (v literatuře obvykle označována písmenem α jako poměr množství přiváděného vzduchu ku stechiometrickému množství vzduchu (*Tabulka 207*)).

Například, pokud bude součinitel přebytku vzduchu roven 2, pak lze očekávat přibližně i dvakrát větší množství spalin na jednotku množství spáleného paliva apod.

207 Množství spalin vzniklých při stechiometrickém spalování některých paliv

	palivo	V
1	Dřevo	7,5-8,0
2	Černé uhlí	7,5-8,0
3	CO	2,88
4	CH ₄	10,52
5	H ₂	2,88

V [m³·kg⁻¹] objem spalin při stechiometrickém spalování suchého vzduchu (nezapočítává množství páry ve vzduchu obsažené) – objemy jsou přepočítány na standardní tlak a teplotu.

Spalné teplo a výhřevnost paliva

Při spálení 1 kg paliva lze transformovat určité množství energie, toto množství se nazývá spalné teplo, nebo výhřevnost paliva. Spalné teplo je množství transformované energie při dokonalém spálení paliva. Pokud obsahem paliva je i vodík (nebo oxidlivý vodík) budou spaliny obsahovat vodní páru, proto se definuje ještě výhřevnost paliva jako množství transformované energie získané při vychlazení spalin pouze do teploty rosného bodu vody (tak aby páry nezačaly kondenzovat) ve spalinách při atmosférickém tlaku. Výhřevnost některých paliv je uvedena v *Tabulce 1149*.

1149 Výhřevnost některých paliv

1 dřevo	sláma (obilí)	sláma (řepka)	rašelina	lignit	h. uhlí
8,4-19,8	14	15	8-9	9-10	8-12(15)
č. uhlí	antracit	uh. brikety	koks		
15-30	32	15	30		
2 benzín	nafta				
32	35,86				
3 H ₂	CO	CH ₄			
241,82	283	890,31			

1 [MJ·kg⁻¹] výhřevnost pevných paliv; **2** [MJ·l⁻¹] výhřevnost kapalných paliv; **3** [kJ·mol⁻¹] výhřevnost plyných paliv. Výhřevnost dalších paliv je uvedena např. v [44].

Výkon hoření

Tepelný výkon, kterého je možné teoreticky dosáhnout při hoření určitého množství paliva za jednotku času je součinem množství spalovaného paliva za jednotku času a výhřevnosti, či spalného tepla paliva, viz *Rovnice 206, s. 13*. Z definice spalného tepla a výhřevnosti paliva je jasné, že spalné teplo je vyšší než výhřevnost, proto, pro co nejvyšší výkon, je ideální vychladit spaliny pod teplotu rosného bodu a získat ze spalin výparné teplo, které se při kondenzaci par uvolní. Ovšem většina tepelných výměníků nedokáže technicky vychladit spaliny pod teplotu rosného bodu právě kvůli vzniklému kondenzátu (poškození výměníku korozí, odvod kondenzátu apod.).

Ztráty při spalování

Při skutečném spalování paliva nedochází k dokonalému hoření (palivo neshoří všechno – nedopal). Např. reakce C s O skončí u

206 Výkon spalování

$$P = \dot{m} \cdot Q$$

\dot{m} [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] dodávané množství paliva; Q [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] výhřevnost paliva případně spalné teplo, které se označuje v chemii nejčastěji symbolem ΔH . Vzorec popisuje případ dokonalého stechiometrického spalování.

tvorby CO a nevznikne tedy CO_2 , což samozřejmě představuje ztrátu na tepelném výkonu odpovídající slučovací entalpii při reakci $\text{O} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$. Další ztráty vznikají při přestupu tepla ze spalin do ohřívání látky.

Účinnost spalování

Míra dokonalosti využití tepla v daném zařízení se nazývá účinnost. Například u kotle je účinnost vyjádřena podílem vyrobeného tepla Q a energie dodané do ohniště kotle v palivu (jeho spalné teplo, nebo výhřevnost). U nejlepších parních kotlů dosahuje účinnost využití tepla v palivu i více jak 95 % podle typu paliva a konstrukce kotle.

Střípky z historie větrné energetiky

Začalo to plachtou

Větrné mlýny (Obrázek 215) se v Evropě objevují poprvé na přelomu 1. a 2. tisíciletí n. l. Nejstarší zmínka využití větru (lodní plachta) pochází přibližně z 1000 let př. n. l. [6]. V 19. století se větrné turbíny používaly i pro čerpání vody ze studní, a v druhé polovině 20. století se začaly používat i pro výrobu elektřiny.

215 Větrný mlýn u
Ruprechtova s
Halladayovou turbínou



První pokusy s
dobíjením akumulátoru

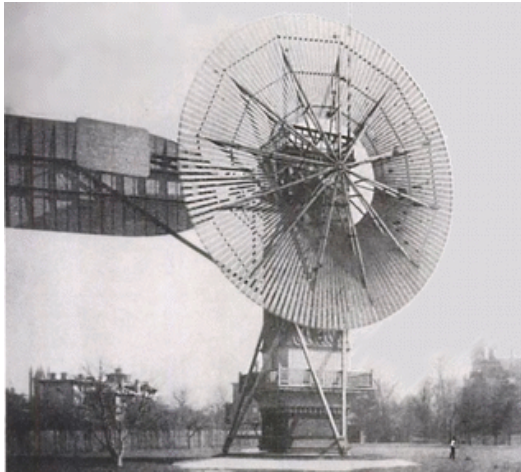
Pravděpodobně první vážně míněný pokus vyrábět elektřinu z větru učinil v roce 1887 Skotský profesor **James Blyth** (1839-1906), když na své zahradě postavil větrnou turbínu pohánějící elektrické dynamo pro dobíjení akumulátoru. Účelem byl výzkum elektřiny a elektrických akumulátorů. Větrná turbína byla konstruována jako klasické mlýnské kolo s plátěnými lopatkami.

První připojené
elektrické spotřebiče

První větrnou elektrárnu určenou pro pohon elektrických zařízení postavil a provozoval od roku 1888 americký vynálezce **Charles Francis Brush** (1849-1929). Tato elektrárna už byla plně automatizována a s dynamem o výkonu 12 kW. Vyrobená elektřina

byla využívána pro pohon elektrických strojů ve vynálezcově laboratoři, *Obrázek 216*.

216 Větrná elektrárna
Ch. Brushe



Průměr rotoru 18 m, počet lopatek 144 při hmotnosti rotoru 4 tuny, [3].

*První obecné zásady
konstrukce VT*

Prvnímu systematickému výzkumu možností výroby elektřiny pomocí větru se věnoval Dánský profesor **Poul La Cour** (1846-1908) v letech 1885-1908. La Cour postavil několik experimentálních elektráren a především regulátor výkonu. Vyrobena elektřina sloužila sice k výrobě vodíku pro plynové lampy, ale právě jeho práce byla základem pro formulování teorie větrných turbín [18].

*První moderní
konstrukce VT*

Za přímou předchůdkyni dnešních velkých moderních větrných elektráren lze považovat větrnou elektrárnu Američana **Palmera Putnama** (1900-1984) vyrobenou společností S. Morgan Smith

172 Větrná elektrárna
Smith-Putnam



Průměr rotoru 53,3 m, při jmenovitém výkonu 1 250 kW se jednalo o první větrnou elektrárnu přesahující výkon 1 MW.

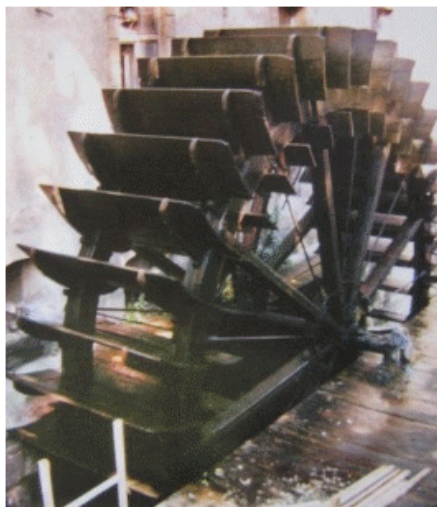
Company (výrobce vodních turbín) a spuštěnou v roce 1941 v USA, *Obrázek 172*. Tato větrná elektrárna byla již plně automatizována a obsahovala i zařízení pro práci v elektrické síti (automatické odpojení od sítě i přifázování), regulaci pomocí natáčení lopatek a otáčení gondoly proti větru [18]. Putnam tak komplexní a přelomovou konstrukci netvořil sám, ale přemluvil ke spolupráci i vědce a techniky z Massachusetts Institute of Technology, mezi nimiž byl skvělý termodynamik **Theodore von Kármán** (1881-1963), který provedl aerodynamický návrh rotoru.

Vodní kola a vodní turbíny

Stavitelé vodních kol jako nositelé technické dovednosti

Energii vodního spádu využívali už Mezopotámci v 6. století př. n. l. k pohonu vodního kola¹¹, které čerpalo vodu pro zavlažování. Vodní kola pro pohon mlýnů a hamrů se začaly používat na území ČR přibližně ve 12. století a mlynáři a sekerníci (tesaři) byli po staletí nositeli technického umu a pokroku na našem území [7]. Mlýny byly v té době jedny z mála mechanických zařízení, které byly systematicky vylepšovány, *Obrázek 220*.

220 *Vodní kolo na spodní vodu Velkopřerovského mlýna na Čertovce [7]*



Segnerovo kolo bylo podnětem k popisu principu turbíny

Pakliže vynálezci vodních kol už zřejmě navždy zůstanou v anonymitě, vynálezci vodních turbín známi přeci jen jsou. První zařízení, které pracovalo na reakčním principu, a lze ho tedy nazvat vodní turbínou, bylo Segnerovo kolo sestavené **Jánem Segnerem** (1704-1777) kolem roku 1750. Tento princip zaujal geniálního fyzika a matematika **Leonharda Eulera** (1707-1774) natolik, že rozpracoval koncept vodní turbíny, která již obsahovala klasické části jako rozváděcí a oběžné kolo. Tento koncept údajně zapadl ve zprávách akademie věd a technicky nebyl realizován [20, s. 66-67], co bylo však důležitější, Euler odvodil základní rovnice této turbíny a položil tím základy teorie lopatkových strojů¹¹.

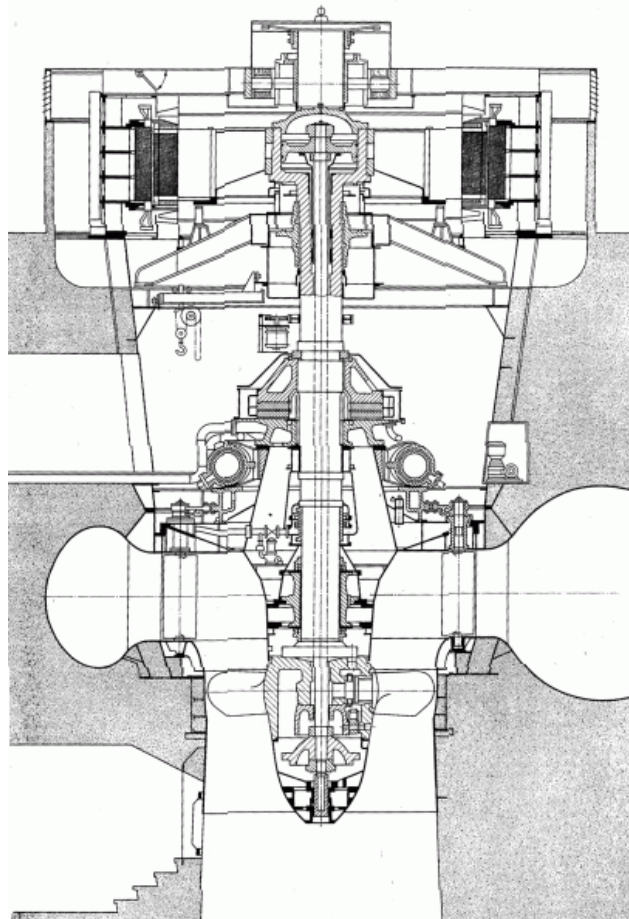
Vynálezy vodních turbín

Prakticky uplatnitelnou vodní turbínu sestrojil v roce 1827 **Benoît Fourneyron** (1802-1867) o výkonu $4,47 \text{ kW}$ s 80% účinností. Poté následovaly vynálezy dalších turbín, přičemž pro současnou energetiku mají význam tři: Peltonova turbína²¹ 1884 poprvé sestrojená **Lesterm Peltonem** (1829-1908), Francisova turbína²¹ 1849 poprvé sestrojená **Jamesem Francisem** (1815-1892) a Kaplanova turbína¹¹ 1912 poprvé sestrojená **Viktorem Kaplanem** (1876-1934). Každá z uvedených turbín je vhodná pro konkrétní rozsah spádů a průtoků.

Vysoká účinnost výroby elektrické energie

Velké vodní turbíny dosahují účinností větší jak 95% transformace vodního spádu⁵ na práci a z tohoto hlediska patří mezi, nejen nejdokonalejší lopátkové stroje, ale i motory obecně. Práce vodní turbíny je využita k pohonu elektrického generátoru, se kterým tvoří společné soustrojí, *Obrázek 221*.

221 *Současnost: Turbosoustrojí s Kaplanovou turbínou*



Turbínu vyrobila společnost Voith [9, s. 591]. U klasických vodních elektráren bývá turbína a generátor na jedné hřídeli (turbosoustrojí¹¹).

První vodní elektrárny

První vodní elektrárny⁵ pro výrobu elektřiny byly spuštěny v roce 1881 s výkony menšími jak 1 kW pro napájení žárovek [21, s. 144]. V té době se jednalo o výrobu stejnosměrného proudu a první elektrárna pro výrobu střídavého proudu byla dána do provozu 26. srpna 1896 (myšleno komerčního provozu) na Niagaraských vodopádech [38, s. 356]. Výkon této vodní elektrárny byl 2×5000 koňských sil [38, s. 340].

Historie strojů na páru

Parní oběh a parní motor

Vodní pára (dále jen pára) je v energetice nejrozšířenější pracovní médium. Pára se pro parní motory (parní turbína¹¹, Pístový parní motor²⁸...) vyrábí v parním kotli. Odtud je potrubím přiváděna k příslušnému parnímu motoru. Její expanzí v parním motoru se koná práce, která je z motoru odváděna otáčející se hřídelí. Pára je z motoru nejčastěji odváděna do kondenzátoru, odkud je zkondenzovaná voda čerpána do parního kotle a celý oběh se může opakovat. Takový oběh se nazývá parní oběh⁶ nebo také Rankine-Clausiův oběh.

Objev účinků tlaku na píst

Vynález zvaný pístový parní stroj

Předehrou k vývoji plnohodnotného parního stroje byl zdánlivě nesouvisející objev tlaku vzduchu a jeho účinků **Evangelistem Torricellim** (1608-1647) z roku 1643. Důsledky takového objevu pochopilo hned několik vzdělanců a vynálezců té doby: Stačí tedy sestrojít nádobu s pístem, přičemž z nádoby "vysát" vzduch a okolní tlak zatlačí píst do nádoby a přitom může zdvihnout užitečnou zátěž.

Experimenty s metodami ke snížení tlaku pod pístem – vítězí kondenzace páry

Za účelem "vysátí" vzduchu z nádob sestrojil roku 1650 **Otto von Guericke** (1602-1686) vývěvu. Ta v té době byla málo účinná, a tak byly konány pokusy vytlačit vzduch výbuchem střelného prachu (Christian Huyghens⁴⁶, **Denis Papin** (1647-1712)). Nakonec zvítězila myšlenka použít k vytěsnění vzduchu v nádobě vodní páru, která následně zkondenzuje, a tím vytvoří v nádobě hluboký podtlak. Podrobněji o raných vynálezech předcházející parnímu stroji např. v [20, s. 29], [21, s.65..71].

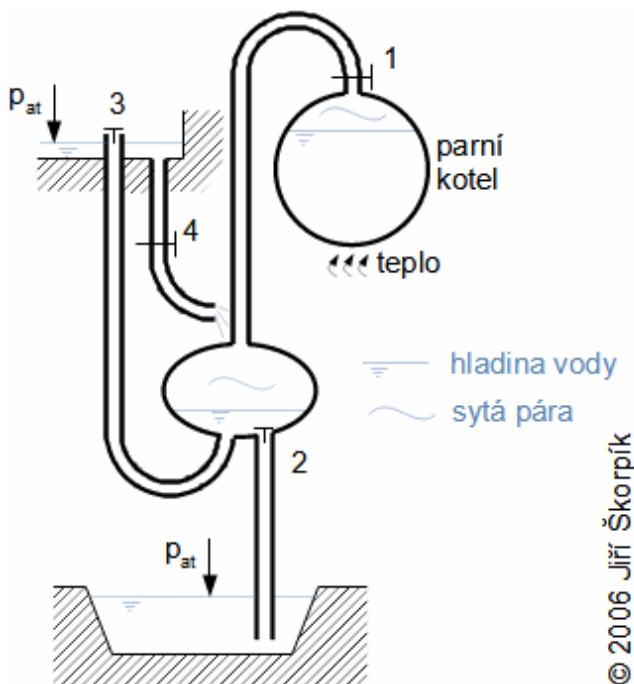
První použitelným strojem bylo parní čerpadlo

Za první plnohodnotný parní stroj lze považovat parní čerpadlo **Thomase Saveryho** (1650-1715), viz *Obrázek 224, s. 18*. Tento muž si patentoval v roce 1698 stroj s názvem "Nový vynález k zvedání vody a k uskutečnění pohybu pro všechny druhy rukodílen hybnou silou ohně; bude velmi důležitý pro vysoušení dolů, k zásobování měst vodou a k pohonu rukodílen všeho druhu, které nemají vodní síly ani stálého větru" [20, s. 34]. Jedná se o typ čerpadla, který neobsahuje pohyblivé díly (kromě přepouštěcích ručně ovládaných ventilů). Voda je čerpána střídavě atmosférickým tlakem a tlakem páry. Takový stroj se dnes nikde nepoužívá a parním čerpadlem je obvykle myšleno čerpadlo poháněné pístovým parním motorem.

Atmosférický parní stroj

V roce 1705 Savary společně s **Thomasem Newcomenem** (1663-1729) poprvé představili parní motor s pohyblivým pístem. Jednalo se o atmosférický parní motor, který rozvinuli z myšlenky Saveryho čerpadla. U tohoto typu parního motoru koná práci atmosférický tlak působící na plochu pístu v okamžiku, kdy pod pístem kondenzuje pára a využívá tak vznikající podtlak vyvolaný zmenšováním objemu kondenzující páry. U prvních motorů byla

224 Saveryho parní čerpadlo

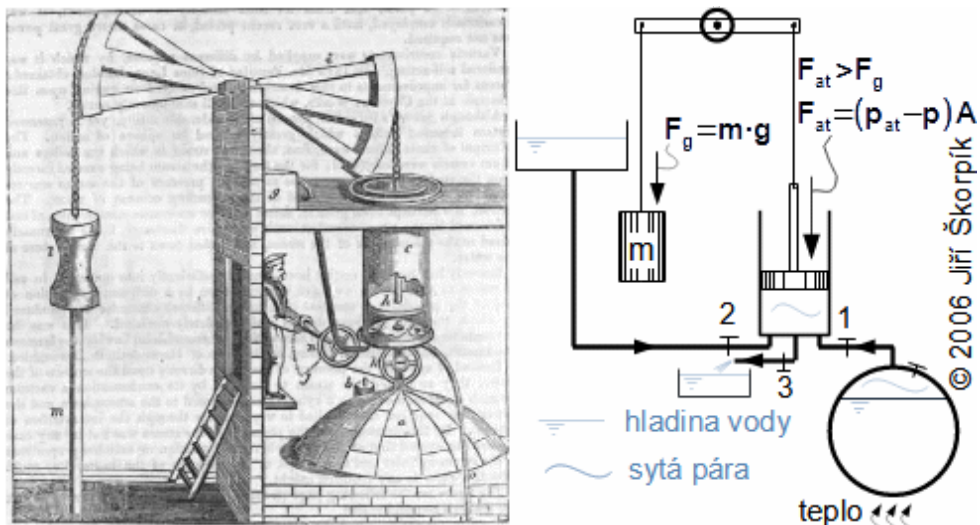


© 2006 Jiří Škorpík

Hlavní částí Saveryho čerpadla byla tlaková nádoba opatřená přívodem páry z kotle ve své horní části a zaústěným sacím a výtlačným potrubím ve svém dnu. Zařízení fungovalo tak, že přívodním potrubím se do nádoby pustila pára, načež se přívod uzavřel **ventilem 1** a nádoba se osprchovala studenou vodou ovládanou **ventilem 4**. Během sprchování vodní pára uvnitř nádoby kondenzovala. Kondenzací páry se v nádobě snížil tlak (téměř do vakua podle teploty a množství chladicí vody), toto snížení tlaku způsobilo po otevření **ventilu 2** na sacím potrubí nasátí vody. Až se voda přestala nasávat, ventil byl uzavřen a otevřel se **ventil 3** a **ventil 1** a voda z nádoby byla vytlačena pomocí páry do požadované výšky. Pak se celý cyklus opakoval. Pro čerpací výšku menší než cca 8 m postačil tlak páry atmosférický.

kondenzace páry způsobována proudem chladicí vody kolem válce, ovšem za několik let tento systém kondenzace Newcomen zdokonalil (urychlil) a studenou vodu přímo vstříkoval do válce motoru, *Obrázek 225*.

225 Schéma Newcomenova a Saveryho atmosférického parního stroje



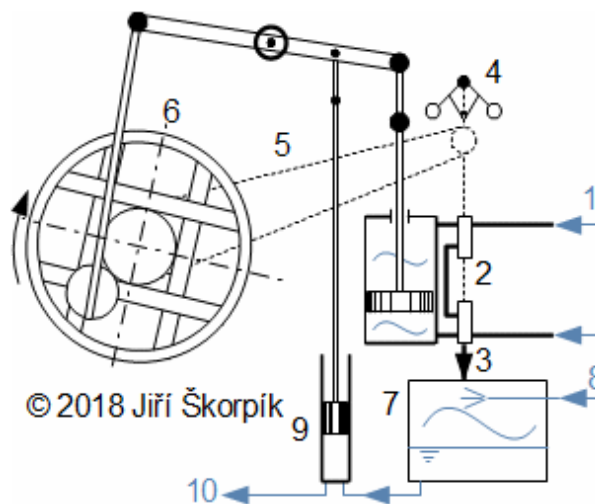
© 2006 Jiří Škorpík

1; 2; 3 ventily, které jsou střídavě otvírány a zavírány. p [Pa] tlak páry ve válci; A [m²] plocha pístu; F_{at} [N] síla působící na píst od rozdílu mezi atmosférickým tlakem a tlakem páry ve válci; m [kg] hmotnost závaží; g [m·s⁻²] gravitační zrychlení; F_g [N] síla, kterou působí závaží. Dobové vyobrazení vlevo je převzato z [12].

Kondenzátor a čerpadlo Jamese Watta radikálně zlepšují parametry parních strojů

V druhé polovině 18. století scot **James Watt** (1736-1819) Newcomenův parní motor podstatně zdokonalil, viz *Obrázek 226*. Válec neumístil nad kotel, ale dále od kotle. Zjistil také, že vstříknutím studené vody do válce ochladí nejen páru ale i válec, což způsobí, že na jeho ochlazených stěnách v dalším cyklu zbytečně kondenzuje čerstvě vstříknutá pára. Jeho úsilí tento problém vyřešit vedlo k vynálezu kondenzátoru. Kondenzátor byl umístěn zcela mimo válec. Dalším jeho velkým vylepšením byl přívod páry na obě strany pístu, čímž parní motor velice zefektivnil a vznikl dvojčinný parní motor. Také zvýšil pracovní tlak páry na $1,5 \text{ at}$, tedy vyšší, než je atmosférický tlak. Tento tlak zvýšil přidáním pístového čerpadla, které zvyšovalo tlak vody v kotli – napájecí čerpadlo¹¹ kotle.

226 *Schéma Wattova parního stroje*



1 přívod páry z kotle; 2 šoupátkové komory, ve kterých dochází přepínání mezi vstupem páry do válce a výstupem páry do kondenzátoru; 3 vstup páry do kondenzátoru; 4 odstředivý regulátor, který reguluje rychlost otváření vstupu páry do válce; 5 pohon ovládání šoupátek; 6 otáčející se rotor stroje; 7 kondenzátor; 8 chladící voda; 9 pístové čerpadlo; 10 voda do kotle.

Wattův regulátor a planetová převodovka

Watt zmechanizoval i regulaci výkonu tzv. odstředivým regulátorem dnes známý jako Wattův regulátor. Watt mimo jiné také vynalezl planetovou převodovku pomocí, které převáděl posuvný přímočarý pohyb pístu na pohyb rotační – kliková hřídel byla již tehdy sice známa, ale patentována, a proto ji Watt nemohl použít [20, s. 45].

Užití parních strojů

Parní stroj byl používán pro pohon stacionárních i mobilních jednotek (pohony transmisí, elektrických generátorů, pohon lodí, lokomotiv...). Co do velikosti produkce byl vrcholem jeho využívání začátek 20. století.

Parní stroje byly nahrazeny parními turbínami a spalovacími motory

Pístový parní stroj byl vytlačován parními turbínami v případě větších výkonů a spalovacími motory pro menší výkony (obě technologie mají samostatné podkapitoly), nakonec v 50. letech 20. století byl pístový parní motor vytlačen na okraj technického zájmu a jeho výroba a vývoj téměř ustaly. Ožívování zájmu o další rozvoj

pístových parních motorů podněcuje jeho menší spotřebu páry při malých výkonech (cca pod 100 kW) oproti parním turbínám.

Cesta k parní turbíně

Termodynamika jako nástroj vynalézání

Počáteční vývoj pístového parního motoru byl založen především na experimentálním bádání, a to dost často náhodným pozorováním nějakého jevu. Postupem času, především ke konci 18 a v první polovině 19. století, byly položeny i teoretické základy studia chování látek při změně jejich stavu zvané termodynamika⁴³. Na základě zákonů termodynamiky mohl být parní stroj nejen dále vylepšován způsobem, na který se bez teoretických základů pravděpodobně nepřišlo, ale byly také vynalezeny i zcela nové tepelné stroje jako třeba parní turbíny.

Formaluce teorie trysek

Praktické konstrukci parní turbíny předcházelo zpracování teorie proudění stlačitelné látky kanály. Přičemž asi nejzásadnější je rovnice pro rychlost plynu na výtoku z trysky⁴⁰ a Hugoniotův teorém³⁹, který zdůvodňuje rozdílné chování podzvukového a nadzvukového proudění. První rovnici společnými silami odvodili **Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant** (1797-1886)-francouzský inženýr a **Pierre Wantzel** (1814-1848)-francouzský matematik v roce 1839 [25, s. 350], tedy v době, kdy nebyl ještě formulován první zákon termodynamiky pro otevřený systém ani definována entalpie⁴³, proto k odvození použili rovnici kontinuity⁴² a diferenciální tvar Bernoulliho rovnice¹¹ [25, s. 5]. Hugoniot svou rovnici zveřejnil někdy v roce 1886 [29, s. 43].

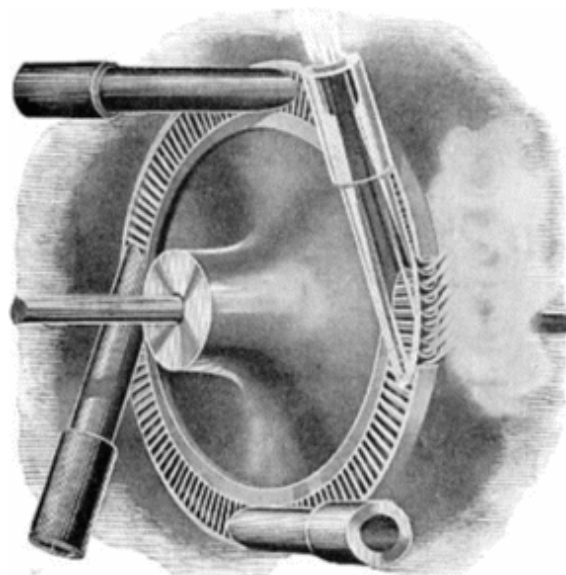
Nový stroj musí mít výhody, oproti stávajícím

Vynálezci parních turbín stáli před obtížnou úlohou, protože tento nový druh stroje se musel, minimálně svými parametry, vyrovnat již propracovanému pístovému parnímu motoru nebo nabízet jinou upotřebitelnou výhodu. V tomto případě těmito výhodami byly vyšší otáčky, jednoduchost a klidný chod.

Parní turbína de Lavala

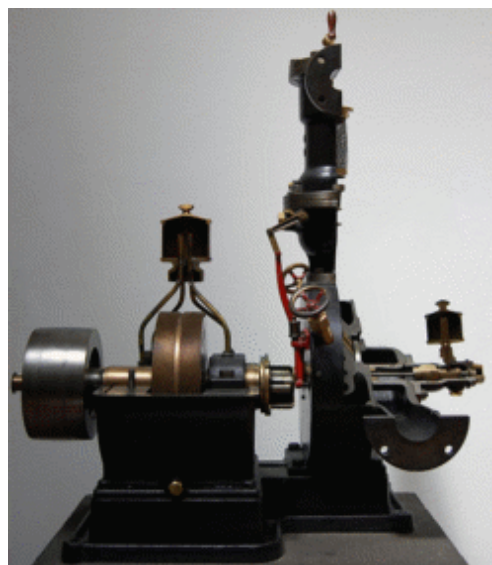
První funkční parní turbínu v roce 1882 představil švédský inženýr a průmyslník **Carl Gustava P. de Laval** (1845-1913) – sestrojil turbíny s jedním rovnotlakovým stupněm¹². Později tento typ turbíny vylepšil o konvergentně-divergentní trysky⁴⁰ pomocí nichž dosahovala pára nadzvukových rychlostí a turbína velkých otáček. Pro zajímavost uvádím, že podle [25] uvedený typ vynalezl systémem pokus omyl, což by znamenalo, že Hugoniotův teorém v té době ještě neznal. Nicméně jeho vynález byl známější než Hugoniotův teorém a dnes se konvergentně-divergentním tryskám říká Lavalovy trysky a jednostupňovým rovnotlakovým turbínám Lavalovy turbíny, viz *Obrázek 227 a 1221*. Laval tuto turbínu nejprve zamýšlel pro pohon odstředivek na mléko, ale nakonec po nezdařených pokusech se zaměřil na propojení parní turbíny a dynamy přes převodovku [20, s. 69].

227 Lavalova turbína



Lavalova turbína¹¹ se čtyřmi Lavalovými tryskami. V Lavalově turbíně probíhá nejdříve expanze páry z vysokého tlaku v Lavalových tryskách. Po expanzi má pára vysokou rychlost a prouděním v kanálech rotoru ho roztáčí (kanály jsou tvořeny lopatkami viz pojem lopatkový kanál¹¹). Obrázek z [13].

1221 Řez soustrojím s Lavalovou turbínou vyrobenou v roce 1888



Když v roce 1882 Gustav Laval představil světu svou turbínu dosahovala, díky vysoké rychlosti páry na výstupu z trysek, v té době neuvěřitelných $30\,000\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ – na fotografii je už modernější typ s převodovkou. Fotografie z [3].

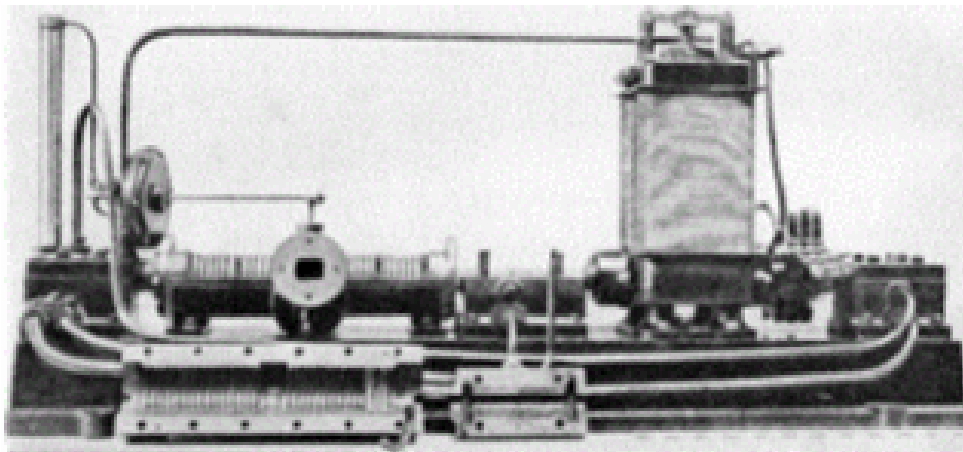
Velmi vysoké otáčky jako nevýhoda L. turbíny

Parní turbína Parasonsova

Pro hospodárný provoz turbíny je důležitý co nejvyšší tlak páry, což u jednostupňové konstrukce turbíny Lavalova typu vede na vysoké otáčky.

Problémem konstrukce parní turbíny s velkým výkonem a hospodárností se zabýval také brit **Charles Algernon Parsons** (1854-1931), který nakonec v roce 1884 navrhl a sestrojil vícestupňovou parní turbínu s přetlakovými stupni¹². Jeho první turbína sice dosahovala $18\,000$ otáček za minutu, ale další konstrukce už měly otáčky nižší, viz *Obrázek 480, s. 22*. Nejprve jednu parní turbínu dodal do elektrárny v Chicagu a definitivně prosadil výhody parních turbín instalací do parníku Turbinia. Právě na lodích se parní turbíny začaly prosazovat nejvýrazněji, *Obrázek 1222, s. 22*.

480 Jedna z prvních konstrukcí soustrojí Parsonsovy turbíny s elektrickým generátorem



Obrázek z [20].

1222 *Lod' Turbinia*



V roce 1897 Parsons demonstroval na námořní přehlídce v Portsmouthu revoluční plavidlo poháněné třítělesovou parní turbínou (vysokotlaké, středotlaké a nízkotlaké). Každé těleso mělo svůj vlastní rotor, na němž byly tři lodní šrouby. Z počátku byla uvažována pouze jednotělesová turbína s trojnásobným výkonem, ale výkon a otáčky byly tak velké, že i při použití tří lodních šroubů docházelo k jejich přetěžování a ke kavitaci²¹, proto byl výkon rozdělen na tři tělesa a tři hřídele [27, s. 166]. V době spuštění Turbinie se lodě pohybovaly rychlostí do 27 *uzlů* ovšem Turbinia dosahovala rychlosti 34 *uzlů*. To byl také důvod rychlého zavádění turbín u vojenských plavidel. Fotografie: Alfred John West, River Tyne, 1897 [3].

Lodní parní turbíny

Především zpočátku měly parní turbíny větší hodinovou spotřebu páry než parní stroje, ale tím, že se loď s parní turbínou pohybovala mnohem rychleji, byla na větší vzdálenost plavby její spotřeba uhlí menší než u lodí s parním strojem [20, s. 115]. Další výhodou u civilních lodí bylo snížení vibrací, které parní stroje v podpalubí způsobovaly.

Současná neohrožená dominance parních turbín

V současnosti jsou parní turbíny nejvýkonnější zdroje práce a dosahují jednotkového výkonu až 1500 MW. Jestliže pístový parní motor umožnil průmyslovou revoluci, potom parní turbíny umožnily masivní elektrifikaci a jsou prakticky nenahraditelnými, i když existují i jiné technologie, ale s mnohem nákladnějším provozem.

Jde to i bez páry

Nevýhody parního stroje jako podnět k rozvoji spalovacího motoru

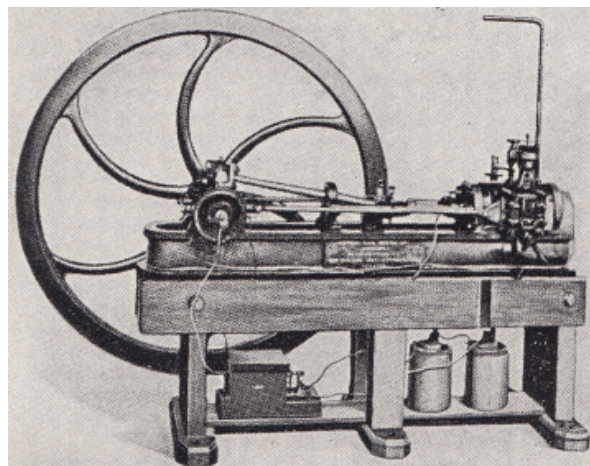
Na začátku 19. století se parní pohony bezkonkurenčně rozšiřovaly pro svůj výkon a vytrvalost. Přesto měly spoustu nevýhod včetně nízké spolehlivosti, dlouhé doby startu ze studeného stavu (rozdělení ohně, nahřátí vody v kotli..) a velkého zastavěného prostoru. Přitom v některých provozech byl požadavek pouze na občasný provoz a rychlý start důležitější než třeba účinnost, a tak se hledal alternativní pohon malého výkonu, byť s vyšší spotřebou paliva. To byl rozhodující podnět k vývoji spalovacích či výbušných motorů [20, s. 50].

Opět další vynález, který změnil svět – spalovací motor

Lenoirův motor a co mu předcházelo

Od Huyghensových pokusů s pístovým motorem poháněným střelným prachem (viz podkapitola *Vynález zvaný pístový parní stroj, s. 17*), či jiným pevným palivem, dál tuto myšlenku rozvíjelo mnoho vynálezců, ale bez úspěšných realizací pro praktické použití. Postupně začaly experimenty i s kapalnými a plynnými palivy, žel opět bez uplatnitelných výsledků. Ale během této doby byly vynalezeny plnicí mechanismy a elektrické zapalování, tyto dílčí vynálezy zkombinoval **Jean Lenoir** (1822-1900) ve svém dvojčinném motoru z roku 1859 na svítíplyn⁷ s elektrickým zapalováním a přímým plněním (současné nasávání vzduchu a plynu bez předchozího promíchání). Motor byl výbušný, bez předchozí komprese směsi. Na rozdíl od pístového parního motoru musel být válec chlazen proti přehřátí, *Obrázek 974*.

974 *Lenoirův plynový motor*



Motor byl velmi tichý díky šoupátkovým rozvodům a malým rozdílům tlaků. Ideální oběh tohoto motoru se nazývá Lenoirův oběh⁶. Zdroj [20, u s. 48].

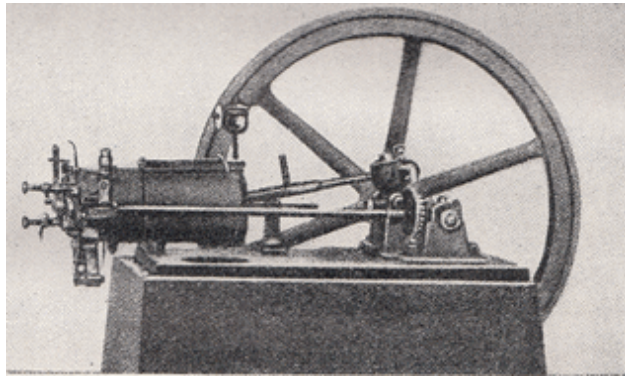
Lenoirův motor byl ale jen začátek, protože jeho výkon skoro na nic nestačil

I když Lenoir svůj motor dále vylepšoval, a cyklus motoru rozdělil na čtyři doby (tzv. čtyřdobý motor), dosahoval bez komprese jen malých výkonů a vysoké spotřeby. To byla příležitost pro jiné typy spalovacích motorů. Na vývoji nových konstrukcí se podílelo mnoho konstruktérů, ale přesto jsou většina lidí zná pouze dva: **Nikolaus A. Otto** (1832-1891) a **Rudolf Diesel** (1858-1913), oba konstruktéři byli Německé národnosti.

*Ottův spalovací motor
s kompresí palivové
směsi*

Otto se nejprve zabýval zlepšováním konstrukce tzv. atmosférického spalovacího motoru. Jednalo se o stojatý pístový motor, ve kterém byl píst z dolní úvrati zdvihán směrem nahoru explozí směsi. Po vyhoření směsi vznikl ve válci podtlak a atmosférický tlak zatlačil píst zpět do dolní úvrati a přitom vykonal práci [41, s. 60-63]. Jedná se o podobný princip, který dvěstě let před Ottou navrhli Huyghens a Papin viz výše. Ale během zlepšování konstrukce atm. spalovacího motoru dospěl Otto k závěru, že výkon i snížení spotřeby lze dosáhnout kompresí palivové směsi před jejím zapálením. Celý cyklus motoru rozdělil na čtyři doby, a v roce 1877 se svým společníkem **Eugenem Langenem** (1833-1895) představil plynový motor nové konstrukce, který se principem neliší od dnešních benzínových motorů [20, s. 53-55] se zážehovým oběhem⁶, *Obrázek 975*. Ottovu konstrukci pro mobilní aplikace na kapalná paliva výrazně, nezávisle na sobě, upravili Němečtí konstruktéři **Gottlieb Daimler** (1834-1900) a **Carl F. Benz** (1844-1929).

975 První Ottův motor



Čtyřdobý Ottův motor z roku 1878. Obrázek z [20, u s. 48].

*Dieselova snaha
dosáhnout co nejvyšší
teploty hoření*

Diesel svůj spalovací motor cílevědomě konstruoval pro co největší účinnost, tedy se záměrem dosáhnout co nejvyšší střední teploty přívodu tepla do oběhu tak, jak tvrdí zásady Carnotizace tepelného oběhu⁶. To vyžadovalo co nejvyšší kompresi a palivo s vyšší zápalnou teplotou při daném tlaku, než je benzín.

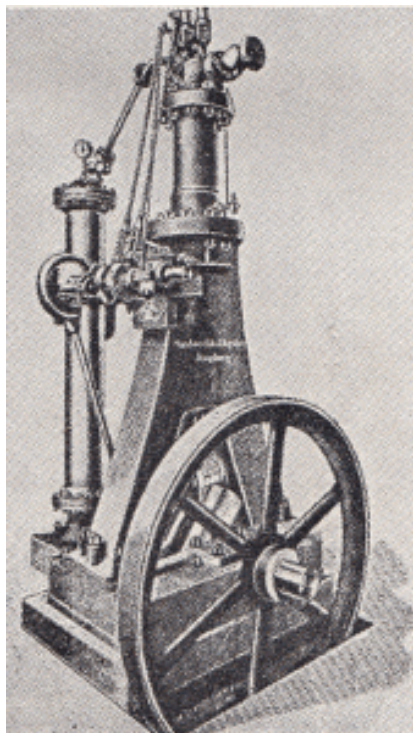
*Spalovací motor s
vysokou kompresí
vzduchu a se vstříkem
paliva*

Diesel nejdříve musel vyřešit problém samozapálení palivové směsi během potřebné velké komprese. To vyřešil, tak že ve válci jeho motoru docházelo ke kompresi pouze vzduchu, a až na konci komprese bylo vstříknuto pod vysokým tlakem palivo, které se okamžitě vzňalo. V roce 1895 tak spatřil světlo světa nový spalovací motor se vznětovým oběhem⁶, *Obrázek 1223*.

*Junkersova praktická
vylepšení uvedla
Dieselův motor na trh*

Dieselovou konstrukci motoru v následujících desetiletí systematicky zdokonaloval **Hugo Junkers** (1859-1935) se záměrem jej použít nejprve v lodní dopravě a pak i v letectví, což se mu podařilo ve 20. letech dvacátého století, kdy jeho podnik jako první na světě začal dodávat takové motory pro nákladní automobily a velká letadla, přičemž spotřeba paliva byla asi o 80 % menší než u stejně výkonných benzínových motorů [28, s. 151].

1223 První Dieselův motor (1894)



Obrázek z [20, u s. 48].

Stacionární využití spalovacího motoru

Na počátku věků spalovacích motorů byly tyto motory určeny k pohonu transmisí, podobně jako parní stroje. Komerčně úspěšné soustrojí se spalovacím motorem a elektrickým generátorem (Obrázek 973) nabízel až Daimler [41, s. 150, 188]. Od roku 1890 jeho továrna nabízela i pojízdné zařízení, ve kterém byl elektrický generátor poháněn spalovacím motorem. Tento mobilní generátor byl určen pro napájení elektrického osvětlení [41, s. 298].

973 Záložní dieselagregát servovny



Dieselagregát Phoenix Zeppelin CAT o výkonu 400 kW, objem motoru 14,6 l, objem palivové nádrže je 950 l, spotřeba paliva při 100% zátěži 99,9 l·h⁻¹, při 50% zátěži 52,7 l·h⁻¹. Ve vypnutém stavu palivo neustále cirkuluje a je předehříváno na teplotu kolem 50 °C pro rychlejší start (převzetí jmenovité zátěže již 20 s po startu [40]). Zdroj [24].

Formulování požadavků na pohon automobilů

Hledání náhrady za parní stroj byl prvotním impulsem rozvoje spalovacích motorů, ale tím nejvíce inovativním byla možnost jeho použití pro pohon mobilních prostředků a to především automobilů. V tomto vývojovém směru spalovacích motorů má

největší zásluhy Daimler, který je právem považován za autora koncepce automobilů tak, jak jej dnes vnímají ještě i současníci. Právě Daimler definoval požadavky na pohon automobilu (spalovací motor), i na jeho konstrukci [41].

Historické způsoby zapálení hořlavé směsi ve spalovacím motoru

Zapalování elektrickou jiskrou nebylo tak spolehlivé, jako zapalování plamenem

Úplně první spalovací (plynové) motory měly zapalování elektrickou jiskrou. Takové zapalování umožnilo dosáhnout otáček až 250 min^{-1} , ale motor vyžadoval elektrickou baterii a přerušovač. Navíc, kvůli stavu elektrotechniky byl tento způsob nespolehlivý, proto se častěji uplatňovalo k zapálení směsi ve válci otevřeného ohně. Stále hořící plamen byl mimo válec v komůrce, ze které se část plamene nasála do další komůrky v pohyblivém šoupátku, které dopravilo tento plamen do válce [41, s. 78, 84, 134]. To omezovalo otáčky motorů cca na 200 min^{-1} . Výrobní problémy s tímto druhem zapálení rostly s kompresí, protože se zvyšoval požadavek na těsnost šoupátek.

Zapálení přes žhavou vložku

Pro malé kompresní poměry a vyšší otáčky vymyslel Daimler zapálení směsi pomocí vysoké teploty speciální vložky ve válci. V takovém případě byl válec a píst tepelně izolovaný od okolí [41, s. 120] – při rozjezdu ze studeného stavu motoru se nejprve musela vložka zahřát přes tzv. žárovou trubku zvenčí.

Magnetové zapalování

Ještě na konci 19. století se začal ve spalovacích motorech používat vynález německého elektrotechnika **Roberta Bosche** (1861-1942), a to magnetové zapalování, které bylo založeno na generování elektrického pulzu o vysokém napětí pomocí dynamu synchronizovaného s otáčkami motoru [42]. Takový způsob umožňoval vyšší otáčky motoru.

Moderní dynamoelektrické zapalování

Spolehlivost magnetového zapalování poněkud klesá s klesajícími otáčkami motoru kvůli poklesu napětí, a tak se dnes používá k zapálení směsi dynamoelektrické zapalování pomocí kondenzátorů a elektrických baterií.

Zrod spalovací turbíny

Vynález Braytonova oběhu umožnil oddělení kompresního, spalovacího i expanzního prostoru spalovacího motoru

Ještě před Ottou a Diselem přišel s myšlenkou zvýšení účinnosti plynových motorů pomocí komprese vzduchu Američan **George Brayton** (1830-1892), který v roce 1873 zkonstruoval spalovací motor se dvěma pracovními válci. V jednom válci probíhala komprese výbušné směsi, která na konci komprese byla přefouknuta do druhého válce, kde byla zapálena a vykonala expanzi. Tento oběh je podobný Dieselovu, ale rozšířený o izobarický výfuk. Oběh se dnes běžně nazývá Braytonovův oběh⁶. Samotný tepelný oběh už ale znal **Prescott James Joule** (1818-1889) [31, s. 255] a **John Ericsson** (1803-1889), který ho dokonce použil ve svém teplovzdušném motoru [26, s. 310]

v 1833. Braytonův patent také přispěl k vývoji Ottova čtyřdobého spalovacího motoru [41, s. 78].

Spalovací turbína

Braytonův oběh je ale ve skutečnosti pro pístový motor nevhodný, protože vyžaduje velké zdvihy. Lépe je tento oběh realizovat v točivém stroji tj. soustrojí s turbokompresorem¹¹ a turbínou – plynová turbína⁶, a pokud toto soustrojí obsahuje spalovací komoru je v Česku používán pojem spalovací turbína¹¹.

Princip spalovací turbíny

Ve spalovací turbíně je vzduch stlačován v turbokompresoru, pak smíchan s palivem a ve spalovací komoře spalován, nakonec horké spaliny expandují v turbíně, podobně jako pára v parní turbíně. Práce z turbínové části je využita pro pohon turbokompresoru a přebytek práce může pohánět například elektrický generátor. Takové soustrojí se spalovací turbínou si patentoval Franz Stolze v roce 1872, i když myšlenka plynových turbín je mnohem starší, ale bez kompresní části [33, s. 3].

Nejprve musela být rozpracována teorie turbokompresorů a turbín

Soustrojí spalovací turbíny nevypadá složitě, ale vyrobit skutečně funkční stroj nebylo se znalostmi a materiály konce 19. stol. možné. O stavbu použitelné spalovací turbíny se mohlo uvažovat až po dopracování teorie turbín a turbokompresorů a zvládnutí jejich konstrukce.

První funkční turbokompresory a spalovací turbíny

První turbokompresor¹¹ radiálního typu byl zprovozněn v roce 1906 Francouzem **Augustem Reteauem** (1863-1930) [32, s. 22]. Byl sice hospodářsky využitelný pro kompresi vzduchu o velkém objemu, ale jeho příkon byl stále velký. To nezabránilo rozšíření turbokompresorů v průmyslu (stlačený vzduch byl čistý), ale pro využití ve spalovací turbíně to stále nestačilo a první reálně využitelnou spalovací turbínu postavili a spustili ve švýcarském podniku Brown Boveri až v roce 1939 [33, s. 4]. Soustrojí dosahovalo výkonu *4000 kW*. Soustrojí obsahovalo jednu velkou, několik metrů dlouhou, spalovací komoru. Jednalo se tedy, z dnešního pohledu, o konstrukci spalovací turbíny se samostatnou spalovací komorou²³, *Obrázek 980*.

980 *Ve strojovně první spalovací turbíny*



Rok 1939 – pán s buřinkou je Aurel Stodola¹⁷ – velká trubka nad hlavou pracovníka úplně vpravo je spalovací komora. Obrázek z [36].

Nápad na proudový motor

Těsně před začátkem druhé světové války už probíhal zejména v Německu a ve Velké Británii intenzivní vývoj proudového motoru. Největšími problémy bylo spalování – přesněji velikost spalovací komory, vysoké teploty a velká spotřeba paliva [34, s. 137], [47]. Především bylo nutné vytvořit malou spalovací komoru o velkém výkonu a zajistit chlazení lopatek prvních stupňů turbínové části.

První použitelné proudové motory

Zprovoznit první letouny s proudovým motorem se podařilo téměř současně na německé straně **Hansu von Ohainovi** (1911-1998) v srpnu 1939 (*Obrázek 1224*) a **Franku Whittlemu** (1907-1996) v květnu 1941 na Britské straně [37, s. 83]. Co bylo zajímavé, takové motory byly časově méně náročné na výrobu, oproti spalovacím motorům pro letadla. Výroba proudového motoru zabrala téměř desetkrát méně času (3000 až 5000 člověkohodin versus 700 člověkohodin) [34, s. 119].

1224 *Hans von Ohain vedle repliky proudového motoru své konstrukce He S 3B*



Proudový motor²³. HeS3B byl jako první použit k pohonu letounu – všimněte si velikosti spalovací komory u levého ramene. Hans von Ohain při stavbě proudových motorů využil teorii Aurela Stodoly [34, s. 144]. Obrázek z [37].

Elektřina

První uměle uvolněné elektrony

První generátorem elektricky nabitých částic byl žlutooranžový jantar. Filosof antického Řecka **Tháles z Milétu** (625-546 př. n. l.) popsal jeho schopnost dočasně přitahovat lehké předměty (pírka, lístky...), poté co ho třel hadříkem [45].

Klasifikace vodičů a nevodičů

O další větší objev na tomto poli se postaral až Angličan **Stephen Gray** (1670-1736), který objevil někdy v letech 1727 až 1729, že nabité částice, respektive elektřinu, lze přenášet pomocí vodiče elektřiny (nejlépe kovový drát) z tělesa na těleso a klasifikoval i nevodiče elektřiny.

Objev "skladování" elektřiny

Nizozemec **Pieter van Musschenbroek** (1692-1761) v roce 1745 objevil, že elektřinu lze hromadit a skladovat, například ve skleněné nádobě s kovovým povlakem naplněné vodou (elektrický kondenzátor).

Elektrický akumulátor

S pečlivým využitím všech poznatků o vlastnostech elektrických jevů, a to především na základě experimentů Itala **Luigiho Galvaniho** (1737-1798), sestrojil Ital **Allessandro Volta**

(1745-1827) v roce 1800 elektrický akumulátor (tzv. Galvanický článek).

Od galvanického článku ke spotřebičům elektriny a točivému generátoru

Otvírají se možnosti využití stálého zdroje el. proudu

Teprve Galvanický článek byl zdrojem stálého elektrického proudu a otevřel cestu vynálezům elektrických spotřebičů. V provopočátcích se elektrina používala v elektrochemii k rozkladu vody a výrobě vodíku, či jiných prvků rozkladem dalších chemických sloučenin a k pokovování. Pomocí elektrolyzy byly dokonce objeveny i některé nové prvky. Započaly také experimenty s různými typy elektrických svítidel, pak následovaly další vynálezy spotřebičů jako telegraf, elektrický motor a obloukové lampy, které se používaly na majácích a příležitostně ve společenských budovách šlechty.

Výroba stejnosměrného proudu v magnetoelektrickém generátoru

Už v roce 1831 objevuje Angličan **Michael Faraday** (1791-1867) elektromagnetickou indukci a sestrojuje magnetoelektrický generátor (buzení zajišťují permanentní magnety). Ale pro napájení spotřebičů se stále používalo akumulátorů, protože elektrické generátory Faradayova typu poskytovaly střídavý proud nestálé intenzity usměrňovaný v komutátoru na stejnosměrný proud [20, s. 61]. Teprve v roce 1870 Belgičan **Zénobe Theofil Gramme** (1826-1901) sestrojuje komerčně úspěšné a spolehlivé dynamo (generátor stejnosměrného proudu). Využil objevu elektromagnetu Němce **Wernera Siemense** (1816-1892) a prstencovou kotvu Itala **Antonia Pacionttiho** (1841-1912). Později byly dynamo, respektive alternátory, konstrukčně zlepšovány, ale už nešlo o revoluční řešení.

První generátory střídavého proudu

Spolehlivé generátory střídavého proudu nezávisle na sobě sestrojili, s využitím myšlenky točivého magnetického pole, Srb **Nikola Tesla** (1856-1943) v roce 1885 a **Galile Ferraris** (1841-1897) v téže době.

Elektrifikace

První lokální elektrárny

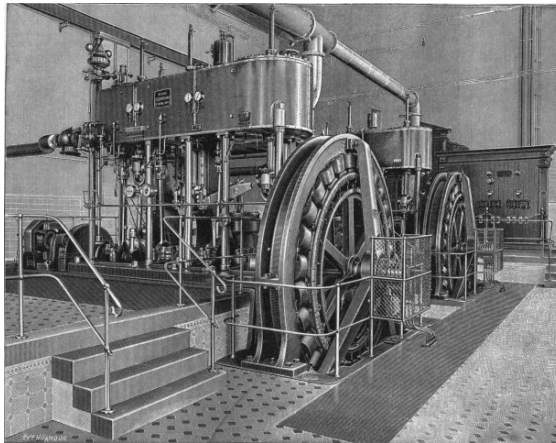
4. září 1882 Američan **Thomas Alva Edison** (1847-1931) zprovožňuje první veřejnou elektrickou síť v New Yorku v Perlové ulici. Veřejnou elektrárnou je v tomto případě myšlen centrální zdroj stejnosměrného proudu, který je rozváděn do budov po celé ulici pomocí zakopaných vodičů. Do té doby bylo nutné v budově, která měla mít elektrické spotřebiče instalovat parní stroj s dynamem, což přinášelo velké komplikace (hluk, vibrace, kouř).

Poprvé v Česku

Za první elektrárnu na území Česka je považována instalace dynamo v Žižkovské plynárně v Praze za přispění **Františka Křížíka** (1847-1941) v roce 1888 (spuštěna 1889). Vyrobena elektrina byla využívána k osvětlení. 7. dubna 1900 byla spuštěna první veřejná elektrárna na našem území – elektrárna Holešovice

5x800 kWe. Jak asi vypadala její strojovna vám může přiblížit **Obrázek 229**, na kterém je strojovna Budapešťské elektrárny z roku 1895.

229 Strojovna
Budapešťské elektrárny
1895, [14]



*Problémy s přenosem
výkonu stejnosměrného
proudu na velké
vzdálenosti*

Na počátku elektrifikace byl velký problém přenos elektřiny na větší vzdálenost. Ztráty odporem ve vodiči ku přenesenému výkonu sice klesají s velikostí napětí, ale problém byl v tom, že konečný spotřebič musel být také konstruovaný na vysoké napětí, protože v té době nebylo možné efektivně transformovat vysoké na nižší napětí. Není asi nutné zdůrazňovat, že spotřebiče na vysoké napětí by byly drahé a nebezpečné. Aby takto distribuovaný elektrický proud nebyl nebezpečný, musel se zpočátku elektrifikace používat proud o nízkém napětí, což mělo za následek až 80% ztráty v přenosové soustavě, a spotřebič mohl být nejdále asi 0,75 km od zdroje.

*Transformátor
střídavého proudu
umožňuje přenosy
vysokého napětí*

Tento přenosový problém vyřešil vynález transformátoru střídavého proudu. Princip transformátoru střídavého proudu byl popsán a experimentálně ověřen už Faradayem, ale prakticky využitelný transformátor pro dálkový přenos elektřiny sestrojili až v roce 1882 **Lucien Gualard** (1850-1888) a **John Dixon Gibbs** (1834-1912).

*Historický spor
stejnoseměrný vs.
střídavý proud*

Než opustíme tuto část historie, připomeňme si spor stejnosměrný/střídavý proud. Před příchodem transformátorů střídavého proudu ovládala trh s elektřinou společnost Edison General electric (v současnosti General electric), kterou řídil obchodně i technicky zdatný Edison. Tato společnost vlastnila mnohé patenty na spotřebiče i generátory stejnosměrného proudu, ale patenty na transformátory a generátory střídavého proudu vlastnila americká společnost Westinghouse Electric & Manufacturing Company. A tak, když se výhody střídavého napětí staly nesporné, začala tvrdá obchodní a patentová válka, na jejíchž konci bylo nejen přijetí střídavého proudu jako standardu pro výrobu, přenos a distribuci elektřiny, odstoupení Edisona z vedení společnosti, ale také trest smrti střídavým proudem – ten posloužil jako falešný argument toho, jak je střídavý proud nebezpečný.

Více se můžete o části této historie elektrifikace dočíst v knize Říše světla [38]. Podobně jako za oceánem, tak i u nás byly zastánci jak stejnosměrného přenosu (František Křižík), tak střídavého (**Emil Kolben** (1862-1943), i když bývalý Edisonův zaměstnanec).

*První komerční
dálkový přenos
elektriny*

Za první komerční dálkový přenos elektriny lze považovat spuštění vedení střídavého napětí v roce 1895 od vodní elektrárny na Niagraských vodopádech do blízké zatím účelem vybudované průmyslové zóny a především do města Buffalo vzdálené 40 km [38].

Současné frekvence sítě

Na evropské pevnině je v současnosti provozu přenosová soustava s frekvencí 50 Hz. Pro síť 50 Hz se používají generátory s otáčkami $3\ 000\ \text{min}^{-1}$ (dvoupólový generátor), $1\ 500\ \text{min}^{-1}$ (čtyřpólový) případně $750\ \text{min}^{-1}$ (osmipólový) u turbosoustrojí vodních elektráren i vícepólové generátory pro nižší otáčky.

*Přenosová soustava a
její napětí
Distribuční soustava*

Napětí moderních elektrických generátorů v elektrárnách (velké elektrárny) se pohybuje v rozmezí 6,3 kV...20 kV, většinou podle velikosti elektrárny a otáček. Napětí generátoru se v trafostanici zvyšuje na 400 kV k dálkovému přenosu. Tato vysokonapěťová soustava se nazývá přenosová soustava (aktuální mapu přenosové soustavy naleznete na stránkách ČEPSu [10]). Nízkonapěťová soustava od trafostanic ke spotřebiči o různých napětí se nazývá distribuční soustava. Ztráty v přenosu dosahují až 6 % z přenášeného výkonu na počátku (závisí na hustotě zdrojů). Přenosová soustava na našem území je velice hustá, ale i přesto se občas nějaké vedení vysokého napětí ještě staví, např. kvůli nové elektrárně nebo k posílení tranzitní kapacity přes naše území.

Napětí v distribuční síti

V cílové oblasti je vysoké napětí transformováno na požadované napětí v distribuční síti (viz *Tabulka 1141*), pro případ domácností a běžné zástavby se jedná o nízké napětí 400 V se třemi vodiči.

1141 *Obvyklá napětí
elektrických vedení
podle užití*

	U
1 Velmi v. napětí (EU)	400 (220)
2 Vysoké napětí (železnice, průmysl)	25, 22-110
3 Nízké napětí (zemědělství, doprava)	6-22
4 Distribuční soustava (domácnosti)	0,4/0,23

U [kV] napětí.

*Klady a zápory
nadzemního vedení*

Vysoké napětí je většinou realizováno jako nadzemní zavěšené na sloupech, v některých případech je vedeno podzemím. Výhodou nadzemního vedení je, že je levnější než podzemní. Nevýhodou je narušení rázu krajiny a vodič je neustále vystaven přírodním vlivům. Především námrazy v posledních letech trápí rozvodné závody. Běžně bývá navrženo na nosnost do $3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ námrazy. Ale například v zimě 2005 dosahovala námraza až $18,9\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$, což poškodilo zejména v Německu mnoho kilometrů vedení. Dokonce může dojít i k deformaci sloupu, pokud nedojde k přetržení lana. Naopak podzemní vedení je před přírodními živly obvykle dobře

chráněno, ale je velice nákladné a realizuje se pouze v husté zástavbě ve městech a obvykle je ve společném tunelu s dalšími inženýrskými sítěmi.

Atomová energie

Řízeně zatím jen štěpení jader

Pro energetické účely využívá lidstvo energii uvolňovanou při štěpení atomů^{47.}, a také při radioaktivních přeměnách^{47.} atomů. energii uvolňovanou při slučování jader atomů, neboli jaderné syntéze^{47.} jsme zatím schopni využít pouze neřízeně v termonukleárních zbraních, ale i v tomto směru probíhá výzkum k energetickému využití.

*Jaderný reaktor
Radioizotopový generátor*

Energetické zařízení, které využívá jadernou energii se nazývá jaderný reaktor, ale v užším smyslu se používá termín jaderný reaktor speciálně pro zařízení, ve kterém probíhá řízená štěpná reakce a pro reaktor v němž probíhají pouze radioaktivní přeměny se vžil název radioizotopový generátor. Obě zařízení jsou konstruované tak, aby energii uvedených jaderných dějů co nejefektivněji transformovali na teplo, které je z nich odváděno pro další využití.

Objev atomové energie

*Ionizující záření
Radioaktivita*

Objevitelé radioaktivity byly hned tři vědci pracující společně [55], francouzská vědkyně polského původu **Marie Curie-Sklodovská** (1867-1934), francouzský fyzik a chemik **Pierre Curie** (1859-1906) a především francouzský fyzik **Antoine H. Becquerel** (1852-1908). Hlavní přínos prvních dvou je, že dokázali izolovat prvky^{47.}, které prokazatelně vykazovaly aktivitu v podobě ionizujícího záření^{47.} od těch bez této aktivity – přitom objevili nové prvky Polonium a Radium. Také zavedli výraz radioaktivita^{47.}. Becquerel ještě před nimi pozoroval ionizující záření některých nerostů (tím inspiroval oba manželé Curie v jejich směru) a identifikoval několik druhů tohoto záření – dnes víme, že šlo o tři druhy ionizujícího záření, které označujeme α , β a γ záření.

Radioaktivních látek je v přírodě velmi málo

Uvedení vědci pozorovali přirozenou radioaktivitu (radioaktivitu nijak uměle nepřipravených atomů) a jednotlivé prvky získávali na základně rozdílných chemických vlastností z přírodních nerostů. V takovém množství se daly radioaktivní materiály využít pouze pro lékařské účely (rentgen, radioterapie..). Dnes získáváme potřebné množství radioaktivních izotopů uměle jako vedlejší produkty při štěpných reakcích.

Umělé rozštěpení jádra

Myšlenka, že by bylo možné uměle rozštěpit atomové jádro přišla až po potvrzení existence neutrální částice neutronu britským fyzikem **Jamesem Chadwickem** (1891-1974) v roce 1932. Prvním vědcem, kterému se to podařilo – respektive poznal, že pozoruje

štěpení jader atomů – byl německý fyzik **Otto Hahnem** (1879-1968) v roce 1938. Štěpení ale správně zdůvodnila a popsala v téže roce rakouská fyzička **Lise Meitnerová** (1879-1968) [39, s. 122]. Současně z teorie jasně vyplynulo, že při štěpení se uvolňuje z jádra řádově 10^7 víc energie než při chemických reakcích. Což byl podnět k využití štěpení ve zbraních a v jaderných reaktorech.

Zrod jaderného reaktoru

*Konec osamělého
bádání, vývoj reaktoru
chce tým a peníze*

Jestliže k objevům a teoretickým zdůvodněním jednotlivých jaderných jevů lze přiřadit konkrétní osoby, pak stavba a vývoj jaderných reaktorů už byla vysloveně doménou celých týmů vědců a konstruktérů z počátku masívně finančně podporovanou státem.

*První reaktor a projekt
Manhattan*

První jaderný reaktor byl americký a postavil ho tým vedený italským fyzikem v emigraci **Enricem Fermim** (1901-1954). Reaktor byl spuštěn 2. prosince 1942 v Chicagu [53], *Obrázek 233*. Reaktor měl výkon přibližně necelý kilowatt. Další reaktory byly v USA postaveny a provozovány za účelem projektu Manhattan (vývoj atomové pumy) [54].

233 2 prosinec 1942
Chicago – kresba
zachycuje spouštění
prvního jaderného
reaktoru



Autor: Gary Sheehan (1957) [3].

*Rozdíl mezi vojenským
a energetickým
reaktorem*

Požadované vlastnosti jaderných reaktorů pro zbrojní průmysl jsou ale dosti odlišné od požadavků na jaderné reaktory pro energetiku. Zbrojařské jaderné reaktory mají co nejvíce podporovat transmutaci prvků⁴⁷ (výroba prvků a jejich izotopů jako náplně jaderných zbraní) a teplo vyvinuté při reakcích je spíše na obtíž. Naproti tomu energetické jaderné reaktory mají především poskytovat teplo pro ohřev pracovní látky (obvykle voda, ale lze i plyn), které je dále využito v tepelném oběhu k výrobě práce. U tohoto typu reaktoru upřednostňujeme "čisté" štěpení bez vzniků zbytečných transmutací. Více o energetických jaderných reaktorech v kapitole Jaderné reaktory².

*První energetické
reaktory*

Vraťme se, ale zpět do doby po programu Manhattan, tedy po druhé světové válce. Mimo jaderných reaktorů pro zbrojní průmysl

se masivně investovalo do vývoje jaderných reaktorů energetických především v USA a SSSR. Prvními aplikacemi energetických reaktorů byly reaktory spuštěné v roce 1954 v ruském elektrárně Obminsk (tři reaktory, každý jiné konstrukce, které poskytovaly celkově asi jen 5 MW elektrického výkonu – jednalo se o experimentální elektrárnu) a reaktor S2W instalovaný na jaderné ponorce Nautilus s výkonem 10 MW pro pohon a elektřinu pro lovní systémy.

První reaktory v ČSSR

První jadernou elektrárnou spuštěnou v ČSSR byla elektrárna Jaslovské Bohunice v roce 1972 (Slovensko, blok A1, palivo: přírodní uran). V současnosti jsou v ČR v provozu dvě jaderné elektrárny u Dukovan a u Temelína, jejich výkon představuje 20 % celkového instalovaného výkonu a cca 35 % procent netto vyrobené elektřiny v ČR (data platná k roku 2019).

Reaktory spotřebovávající již použité palivo

Čerstvým palivem pro reaktory bývá obohacený přírodní uran, který není příliš nebezpečný (velmi nízká radioaktivita), ale při štěpení vznikají radioaktivní produkty, které palivo "znečišťují" a jeho objem dělají nebezpečným radioaktivním odpadem. Tento odpad je nutné skladovat bezpečně i po dobu několika stovek tisíc let. Proto posledním vývojovým stupněm reaktorů založených na štěpení jader jsou rychlé reaktory schopné udržovat štěpnou reakci i v použitém palivu (tento typ jaderného reaktoru je zatím v provozu v Rusku – BN 600 a Francii – Superphénix). Tímto se podstatně snižuje objem nebezpečných látek, které je nutné dlouhodobě uskladňovat.

Radioizotopové generátory

Hledá se jednoduché jaderné zařízení

Charakteristické vlastnosti radioizotopových generátorů plynou z požadavků na ně kladených. Jsou to bezobslužné velmi jednoduché zdroje elektrické energie, v drtivé většině určené pro kosmický prostor nebo odlehlé kouty Země bez možného přístupu obsluhy. První zařízení byla vyvinuta ve vojenských laboratořích Mound Laboratories v USA v roce 1954.

Princip

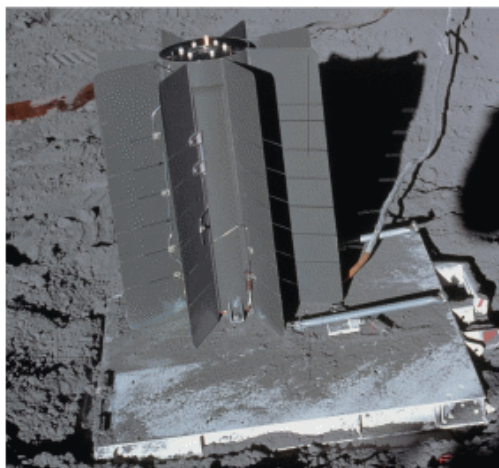
Radioizotopové generátory pracují s nízkými teplotami a teplo je na elektřinu transformováno pomocí termoelektrických generátorů – generátor generuje proud tak, že se zahřívají vodiče dvou různých kovů, které jsou propojeny, *Obrázek 230*. Takové zařízení je sice jednoduché a spolehlivé, ale má také nízkou účinnost transformace tepla na elektřinu. Proto se experimentuje i s využitím transformace tepla pomocí Stirlingova motoru³³.

Možná budoucnost – termonukleární reaktory

První bude možná ITER

V současnosti se také intenzivně pracuje na vývoji termonukleárního reaktoru pro řízenou jadernou syntézu. V červnu 2005 podepsali zástupci Evropské unie, USA, Japonska, Číny, Ruska a Jižní Koreje smlouvu o společné spolupráci na budování

230 Radioizotopový generátor zanechaný posádkou Apolla 14 na měsíci jako zdroj elektřiny pro napájení měřících stanic



Jedná se o generátor typu SNAP-27 RTG o elektrickém výkonu 70 W , ve kterém byl zdrojem tepla rozpad ^{238}Pu o hmotnosti $3,8\text{ kg}$. Plutoniová náplň je válcovitého tvaru, přičemž mezi ní a válcovým pláštěm jsou umístěny termočlánky (442 kusů), které jsou druhou stranou připojeny k chladicím plochám – na obrázku jsou dobře patrné. Uvnitř pláště byla teplota 600 °C , na chladicích plochách už jen 275 °C . Výška zařízení je necelého $0,5\text{ m}$. Technické údaje [56], obrázek [3].

takového reaktoru pod pracovním názvem ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) o výkonu 500 MW . Nutno ale zdůraznit, že řízenou syntézu jader se zatím nikomu nepodařilo uskutečnit.

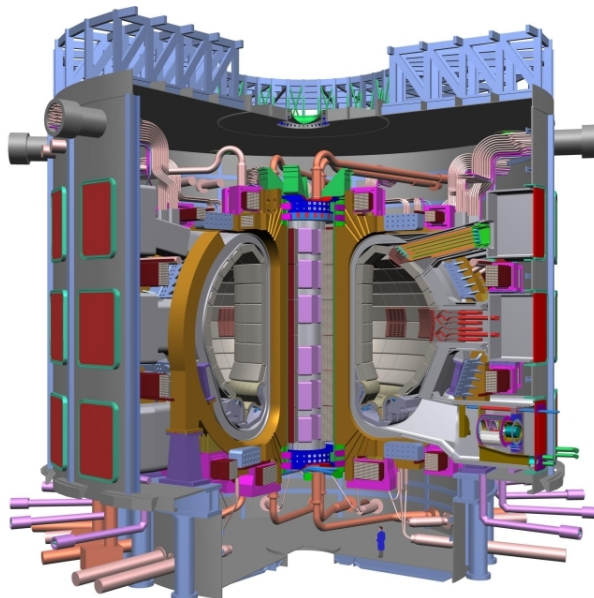
TOKAMAK – slibná konstrukce

Jedno z nejslibnějších zařízení pro řízenou fúzi atomových jader je koncepce TOKAMAK (zkratka ruských slov: TOroidalnaja KAmarea i MAgnitnyje Kатуški – toroidální komora a magnetické cívky). V TOKAMAKu se uplatňuje princip magnetického udržení částic (paliva) v daném objemu bez styku s jinou hmotou. Koncepce TOKAMAKu se zrodila v letech 1950 až 1952 v Sovětském svazu především zásluhou dvou ruských fyziků podílejících významně na výrobě vodíkové bomby **Igora Kurčatova** (1903-1960) a **Andreje Sacharova** (1921-1989).

Konstrukce TOKAMAKu

TOKAMAK si můžeme představit jako dutou prstencovou komoru naplněnou horkým vodíkovým plynem, která je obklopena

235 Termonukleární reaktor typu TOKAMAK



Obrázek [15].

magnetickými cívkami a transformátorovým jádrem, *Obrázek 235, s. 35*. V tokamaku rozlišujeme dva významné směry – toroidální a poloidální, a dva význačné poloměry – hlavní a vedlejší. Toroidální směr můžeme sledovat, vydáme-li se podél prstence, zatímco v poloidálním směru bychom kroužili kolem komory v rovině kolmé na toroidální směr. Hlavní poloměr je poloměrem prstence. Vedlejší poloměr je poloměr zakřivení komory v rovině kolmé na toroidální směr.

Princip udržení částic v TOKAMAKu

Toroidální složka magnetického pole (o síle *1-10 Tesla*) je vytvářena magnetickými cívkami, poloidální složka je přibližně *100x* menší a je indukována elektrickým proudem procházejícím vodíkovým plazmatem uvnitř komory. Pomocí těchto elektromagnetických polí by mělo jít udržet horké plazma (několik tisíc °C) uvnitř komory, a nichž by se dotklo pevných částí reaktoru (jinak by došlo k poškození reaktoru). Palivem pro takový reaktor je deuterium⁴⁷ a tritium⁴⁷, přičemž podmínky v TOKAMAKu (teplota a tlak) umožňují, z možných typů jaderných syntéz⁴⁷, pouze ten typ jaderné syntézy, při kterém dochází ke slučování jednoho jádra tritia a deuteria za vzniku jednoho jádra helia. V případě reaktoru v rámci projektu ITER se předpokládá výroba tritia přímo uvnitř reaktoru štěpením lithia na vnitřním povrchu reaktoru neutrony. Výroba tritia mimo reaktor je totiž velmi drahá [9, s. 74] a je stejně nutné použít některou z jaderných metod výroby, protože tritium je v přírodě extrémně vzácné.

Jak člověk začal transformovat sluneční energii přímo

Fototermika a fotovoltaika

Sluneční energii lze pomocí technologií využívat i přímo a nespolehat se tedy pouze na přírodní procesy (růst energetických plodin, vítr, vodní spád atd.). Například ohřev vody pomocí solárních kolektorů² už není výjimkou ani v našich zeměpisných šířkách a velice rychle se rozšiřuje i výroba elektřiny pomocí fotovoltaických systémů. Proto v souvislosti s technologiemi transformujícími sluneční energii hovoříme o tzv. fototermice² a fotovoltaice².

Z dějin fototermiky

Od ohřevu po konání práce

Je zřejmě zbytečné se zabývat tím, který člověk něco ohřál pomocí Slunce². Popis moderních solárních kolektorů pro ohřev vody je uveden v podkapitole Solární kolektor². V této podkapitole se tedy zabývejme počátkem využití slunečního tepla pro transformaci na práci – řekněme si něco o slunečních strojích.

Solární "hračky"

Začněme připomenutím legendy o tom, jak Archimedes zapálil lodi nepřátel antických Syrakus koncentrací slunečních paprsků (pomocí leštěných štítů). Jedná se sice o legendu, ale naznačuje

nám to povědomí lidí o síle slunečního záření. První doložené doklady o slunečních strojích máme ze začátku 17. stol. jedná se o spisy francouzského inženýra **Salomona de Cause** (1576-1626), ve kterých představuje, například jak vzduch ohřátý vycházejícím nebo zapadajícím sluncem rozpohybuje proud vzduchu v píšťale, a tím oznámí svítání, respektive stmívání, nebo zde popisuje možnost jak zahřátý vzduch v nádobě zvyšuje svůj tlak a tak může vytlačit (čerpat vodu) vodu v této nádobě obsažené do fontány (v tomto případě dokonce navrhuje koncentrovat sluneční paprsky pomocí čoček) [57].

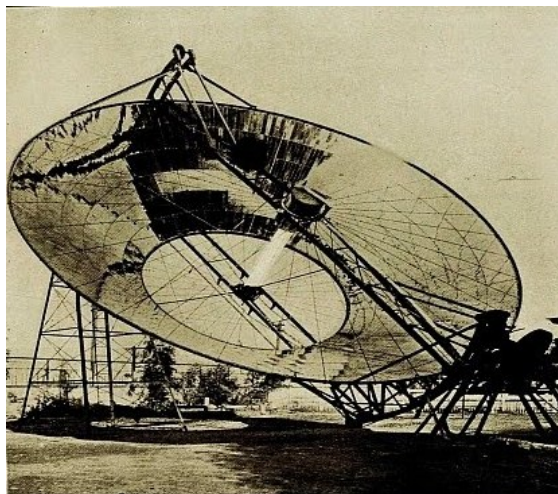
Systematický výzkum a solární generátor páry

Po Causovi byly představovány další podobné sluneční stroje, ale kvalitativní skok přišel až s výzkumem možností využití slunečního svitu prováděného ve Francii a vedeného francouzským vynálezcem **Augustinem Mouchotem** (1825-1912) v 70. a 80. letech 19. století. K podpoře tohoto výzkumu vedly obavy francouzské vlády z vysokých cen uhlí a jeho vyčerpatelnost. Mouchot, mimo jiné, vyvinul účinné koncentrátory slunečních paprsků, v jejichž ohnisku se generovala pára pro parní stroje nebo čerpadla [57]. Ve stejné době (1872) navrhl americký vynálezce švédského původu **John Ericsson** (1803-1889) podobný koncept využití sluneční energie, ale s tím, že by v ohnisku byl Stirlingův motor³³, jehož byl velkým příznivcem. Nicméně tento nápad nerealizoval.

První solární elektrárny

Po Mouchotově dekádě se výzkum využití sluneční energie přesunul do USA a Egypta [57], viz *Obrázek 237*. V současnosti nejsou sluneční elektrárny s koncentrátory pro výrobu páry žádnou výjimkou, především ve státech s dostatečným slunečním svitem, s tím rozdílem, že pára slouží pro pohon parních turbín a ne pístových parních motorů, viz podkapitola Solární elektrárna². V České republice se vývojem solárních elektráren (se Stirlingovými motory) zabývá například společnost Bohdalice, a.s. [58].

237 Sluneční parabola, USA, Pasadena, Calif 1901



V ohnisku paraboly je umístě parogenerátor na výrobu páry pro parní stroj. Obrázek [16].

Z dějin fotovoltaiky

Fotony mohou uvolnit elektron

Fotovoltaický panel vychází z objevů fotolektrických jevů⁴⁷. Podstata těchto jevů je v tom, že v určitých látkách, které jsou umístěny mezi dvě opačně nabitě oblasti, dopad fotonů stimuluje vznik elektrického proudu, tím, že dopadající fotony uvolňují volné elektrony. Připomeňme si čtyři milníky.

První pozorování účinků světla na napětí a proud

Poprvé byl vliv slunečního světla na napětí a proud pozorován při průchodu proudem elektrolytem francouzským fyzikem **Alexandrem E. Becquerelem** (1820-1891) [59] a to roku 1839. Něco podobného pozoroval v pevné látce (na přechodu mezi selenem (Se) a platinou (Pt)) **William Grylls Adams** (1836-1915) se svým žákem Richardem E. Dayesem. Teoreticky tyto jevy zdůvodnil Albert Einstein⁴⁶.

První fotovoltaický panel

První fotovoltaické panely pro přímou transformaci slunečního záření na elektřinu byly ale vyrobeny až v roce 1954 v Bellových laboratořích v USA. Cílem bylo vyvinout spolehlivý způsob výroby elektřiny mimo dosah obsluhy – tedy zadání podobné jako při vývoji radioizotopového generátoru, viz podkapitola *Radioizotopové generátory*, s. 34. S tím rozdílem, že podmínkou bylo, že v místě instalace musí být dostatečný sluneční svit. První aplikace fotovoltaických panelů byly na strojích pro kosmický výzkum a kosmická plavidla, *Obrázek 232*.

232 Družice Vanguard 1



Na této americké družici o hmotnosti *1,46 kg* byly poprvé použity fotovoltaické panely (výkon kolem *15 mW*). Jednalo se teprve o páté kosmické těleso, které lidstvo úspěšně vypustilo. *Obrázek [3]*.

Vysoké energetické i finanční náklady

Komerční aplikace, zejména z počátku, nepřipadaly v úvahu, jednak proto, že při výrobě fotovoltaického panelu bylo spotřebováno více energie než kolik panel vyrobil během své životnosti, jednak kvůli vysokým výrobním nákladům. To se však intenzivní vývojem a výzkumem v této oblasti v 70. letech 20. století změnilo a dnes jsou fotovoltaické panely běžnou součástí energetického mixu i v ČR.

Pár slov na závěr o energetickém mixu

Pro zajištění spolehlivých dodávek energie s ohledem na hospodářské, politické a ekologické dopady není důležité nalézt jeden dominantní univerzální zdroj, ale hledat rovnováhu mezi využíváním jednotlivých zdrojů a technologií, tzv. energetický mix.

Odkazy

- [1] PATURI, Felix, STRAUCH, Friedrich, HERHOLZ, Michael. *Kronika Země*, 2003. 3. vydání. Praha: Fortuna Print, ISBN 80 – 7321 – 070 – 3.
- [2] THURSTON, Robert. *A History of the Growth of the Steam-Engine*, 1878. New York: D. Appleton and company, 549 AND 551 Broadway.
- [3] *Wikimedia Commons* – úložiště volného multimediálního obsahu. [on-line]. [2013]. Dostupné z <http://commons.wikimedia.org>.
- [4] ROSYPAL, Stanislav, a kol. *Přehled biologie*, 1994. 2. upravené vydání. Praha: Scientia, spol. s.r.o. pedagogické nakladatelství, ISBN 80 – 85827 – 32 – 8.
- [5] SOULEK, Ivan, MARTINEK, Karel. *Cyklistika*, 2000. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, spol. s. r. o., ISBN 80-7169-7169-951-9.
- [6] JANOŠKA, Martin. *Větrné mlýny v Čechách, na Moravě a ve Slezku*, 2003. 1. vydání. Praha: Libri, ISBN 80-7277-153-1.
- [7] ŠTĚPÁN, Luděk, KŘIVANOVÁ, Magda. *Dílo a život mlynářů a sekerníků v Čechách*, 2000. 1. vydání. Praha: Argo, ISBN 80-7203-254-2.
- [8] KÓL, Přemysl. Statika hoření, *Spalovací procesy*, 2011. [on-line]. Dostupné z http://Spalovaci-procesy.wz.cz/Statika_horeni.html.
- [9] MILLER, Rudolf, HOCHRAINER, A., LÖHNER, K., PETERMANN, H. *Energietechnik und Kraftmaschinen*, 1972. Hamburg: Rowohlt taschenbuch verlag GmbH, ISBN 3-499-19042-7.
- [10] ČEPS, a.s., 2012. Přenosové služby, systémové služby, tranzity elektřiny, vyhodnocování odchylek. Adresa: Praha 10, Elektrárenská 774/2, PSČ 101 52, <https://www.ceps.cz>.
- [11] ČEZ, a.s., 2011. Majitel a provozovatel elektráren. Adresa: Praha 4, Duhová 2/1444, PSČ 140 53, Česká republika, <http://www.cez.cz>.
- [12] HEBERT, Luke. *The Engineer's And Mechanic's Encyclopaedia*, vol 2, 1849. London: Thomas Kelly, 17, Paternoster Row.
- [13] PARSONS, Charles. *The Steam Turbine*, 1911. Cambridge: Printed by John Clay, M.A. at the University Press 1911, kopie uvedena <http://www.history.rochester.edu/steam/parsons>, dostupnost 2010.
- [14] NIETHAMMER, Friedrich. *Ein- und Mehrphasen-Wechselstrom-Erzeuger*, 1906. Leipzig: Verlag S. Hirzel.
- [15] Project: *International Thermonuclear Experimental Reactor*. [on-line]. [2010]. Dostupný z <http://www.iter.org>.
- [16] MILLARD, F. B. *Harnessing the Sun, The World's Works*, Nov. 1900 to April 1901, Vol. I.

1. Z dějin transformačních technologií

- [17] PACÁK, Josef. *Úvod do studia organické chemie*, 1982. 1. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, vydání první.
- [18] HAU, Erich, *Wind Turbines – fundamentals, technologies, Applications, Economics*, 2006. 2. vydání. Springer Berlin Heidelberg New York, ISBN – 10-3-540-24240-6.
- [19] HOBHOUSE, Henry. *Šest rostlin, které změnily svět*, 2004. Praha: Academia, ISBN 80-200-1179-X. Přeloženo z anglického originálu *Seeds of Change, Six Plants That Transformed Mankind*.
- [20] HOCH, A., *Vynálezy, které změnily svět*, 1941. Druhé rozšířené vydání. Praha: Orbis. Vázaná kniha, 324 stran.
- [21] JÍLEK, František, KUBA, Josef, JÍLKOVÁ, Jaroslava. *Světové vynálezy v datech*, 1980. 2. vydání. Praha: Mladá fronta. Vázaná kniha, 288 stran.
- [22] BERNAL D. John. *Věda v dějinách*, 1960. První vydání. Praha: SNPL. Jedná se o český překlad anglického originálu *Science in History*, London: 1954, vydalo Watts and Comp.
- [23] CARAS, Ivo. *Střelivo*, 1995. Příbram: ARS-ARM. ISBN 90-900833-8-2.
- [24] VÍTEK, Aleš. *Kde a jak bydlí webové servery v Česku*, Computer, 2004 č. 21. Brno: Computer Press a.s., ISSN 1210-8790.
- [25] NOŽIČKA, Jiří. Osudy a proměny trysky Lavalovy, *Bulletin asociace strojních inženýrů*, 2000, č. 23. Praha: ASI, Technická 4, 166 07.
- [26] KALČÍK, Josef, SÝKORA, Karel. *Technická termomechanika*, 1973. 1. vydání, Praha: Academia.
- [27] HYNEK, Vladimír, KLUČINA, Petr. *Válečné lodě 2*, 1986. Vydání I. Praha: Naše vojsko. 280 stran, 56 stran příloh.
- [28] BLUNCK Richard. *Hugo Junkers jeho život a dílo*, 1942. Praha: Orbis.
- [29] HOŠEK, Josef. *Aerodynamika vysokých rychlostí*, 1949. 1. vydání. Praha: Naše vojsko.
- [30] FRIDRICH, Alexander. *Neviditelná armáda*, kniha o energii, 1942. Praha: Orbis.
- [31] ELSNER, Norbert. *Grundlagen der technischen thermodynamik*, 1973. Akademie-Verlag, Berlin, 2., berichtigte auflage.
- [32] MISÁREK, Dušan. *Turbokompresory*, 1963. Vydání první. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, n.p.
- [33] BATHIE, William. *Fundamentals of gas turbines*, 1984. John Wiley&Sons, Inc. ISBN 0-471-86285-1.
- [34] CONNER, Margaret. *Hans von Ohain, Elegance in Flight*, 2001. American Institute of Aeronautics and Astronautics, ISBN 1-56347-520-0.
- [35] Autor neuveden. *Early Gas Turbine History*, [cit. 2013-08-26]. MIT Gas Turbine Laboratory, web: http://web.mit.edu/aeroastro/labs/gtl/early_GT_history.html.
- [36] Autor neuveden. *Origins of German jet power*, 2007. [cit. 2013-08-27]. Web: <http://cnnews.wordpress.com/2007/09/page/9/>.
- [37] STEVER, Guyford, HAGGERTY James. *Flight*, 1966. První vydání. Time Inc.

- [38] JONNESOVÁ, Jill. *Říše světla*, 2009. Vydání 1. Praha: Academia, ISBN 978-80-200-1664-5.
- [39] EINSTEIN, Albert. *Z mých pozdějších let, Jak vidím svět II*, 1995. z anglického originálu *Out of My Later Years*. Praha: Lidové noviny. ISBN 80-7106-116-6.
- [40] KUČHTA, Karel. *Nouzové napájení elektrickou energií pro ostrovní provoz energetických zdrojů*, Technický týdeník, č. 25, 2013. Praha: Business Media CZ, ISSN 0040-1064.
- [41] SIEBERTZ, Paul. *Gottlieb Daimler*. 2. vyd. Přeložil Alois Adalbert HOCH. Praha: Orbis, 1942.
- [42] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Motory a pracovní stroje*, 1962. Vydání první. Praha: SNTL.
- [43] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*, 2012. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [44] IBLER, Zbyněk, KARTÁK, Jan, MERTLOVÁ, Jiřina, IBLER, Zbyněk ml. *Technický průvodce energetika-1. díl*, 2002. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, ISBN 80-7300-026-1.
- [45] HEŘMAN, Josef. *Od jantaru k tranzistoru: elektřina a magnetismus v průběhu staletí*. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-11-1.
- [46] DOKOUPIL, Eduard. *Turbíny pro Luftwaffe: zrod a popis prvních německých proudových motorů*. Světlá: Vydáno vlastním nákladem, 2015. ISBN 978-80-260-8153-1.
- [47] CIHELKA, Jaromír. Kapitoly z dějin vytápění: I. část: otevřená ohniště a krby. *Zdravotní technika a vzduchotechnika* [online]. Praha, 1968, 11(6), 285-291 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/?download=scan/1968-6.pdf>.
- [48] CIHELKA, Jaromír. Kapitoly z dějin vytápění: II. část: odtahy kouře a komíny. *Zdravotní technika a vzduchotechnika* [online]. Praha, 1969, 12(3), 105-113 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/?download=scan/1969-3.pdf>.
- [49] CIHELKA, Jaromír. Kapitoly z dějin vytápění: III. část: kachlová a kovová kamna. *Zdravotní technika a vzduchotechnika* [online]. Praha, 1969, 12(4), 153-160 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/?download=scan/1969-4.pdf>.
- [50] CIHELKA, Jaromír. Kapitoly z dějin vytápění: IV. část: ústřední vytápění kouřovými plyny a teplým vzduchem. *Zdravotní technika a vzduchotechnika* [online]. Praha, 1970, 13(1), 9-14 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/?download=scan/1970-1.pdf>.
- [51] CIHELKA, Jaromír. Kapitoly z dějin vytápění: V. část: ústřední vytápění párou a teplou vodou. *Zdravotní technika a vzduchotechnika* [online]. Praha, 13(2), 57-65 [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/?download=scan/1970-2.pdf>.
- [52] ZAMAROVSKÝ, Vojtěch. *Řecký zázrak 1972*. První vydání. Vydala Mladá fronta.
- [53] ŠIMEK, Zdeněk. *Krása a velikost technické chemie*. Praha: Orbis, 1962. Vědění všem (Orbis).
- [53] FERMI, Laura. *Atomy v rodině*. Praha: Práce, 1975. Delfín (Práce).

[54] JUNGK, Robert. *Jasnější než tisíc sluncí: osudy atomových vědců*. Praha: Mladá fronta, 1963. Kolumbus.

[55] BĚHOUNEK, František. *Svět nejmenších rozměrů*, 1945. Praha: Jaroslav Tožička.

[56] *The Smithsonian's National Air and Space Museum*. Adresa: 655 Jefferson Drive, SW Washington, DC 20560 202-633-2214. Web: <https://airandspace.si.edu/exhibitions/apollo-to-the-moon/online/science/scientific-experiments.cfm>. [cit. 2020-07-20].

[57] HOCH, Alois Adalbert. *Živly pracují za nás*. Praha: Mladá fronta, 1955. Technika mládeži.

[58] Strojírny Bohdalice, a.s. Adresa: Bohdalice 63, 683 41, CZ. Web: <https://strobo.cz/cs/>. [Cit. 2020-07-21].

[59] BECHNÍK, Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky, *TZB-info*, 2014, 1. září. Praha: Topinfo s.r.o., ISSN 1801-4399. Dostupné z <https://www.tzb-info.cz>, [cit. 2020-07-21].

Bibliografická citace článku

ŠKORPÍK, Jiří. Z dějin transformačních technologií, *Transformační technologie*, 2006-08, [last updated 2020-10-16]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/01.html>.