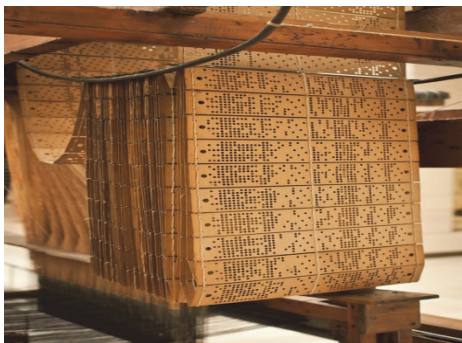
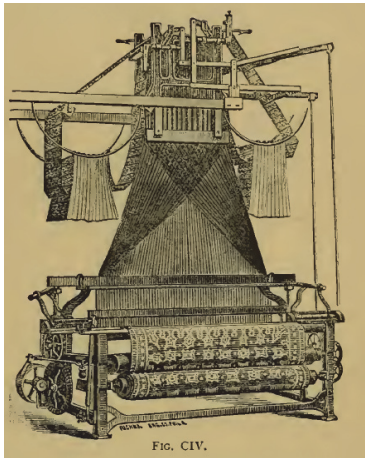
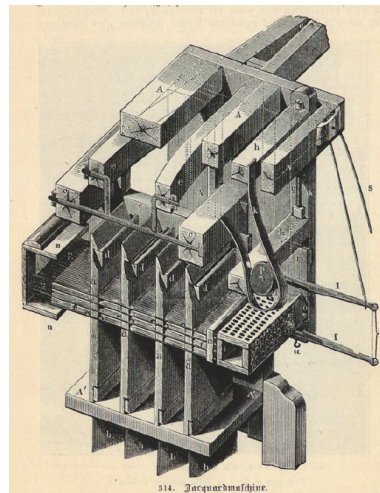
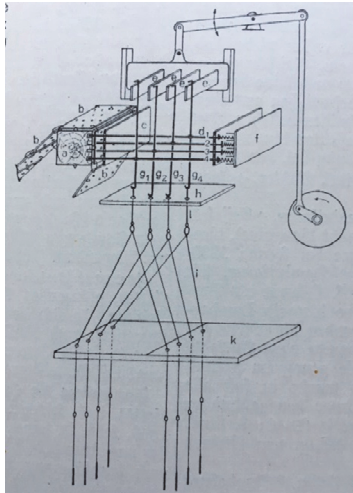
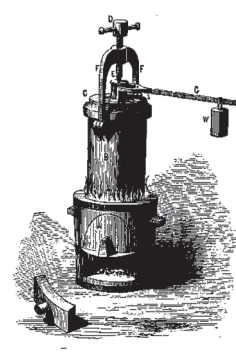
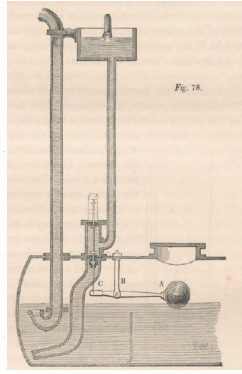
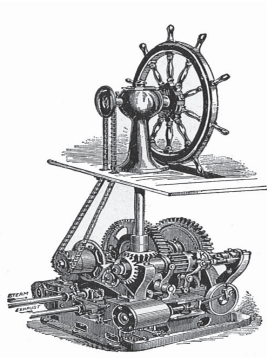
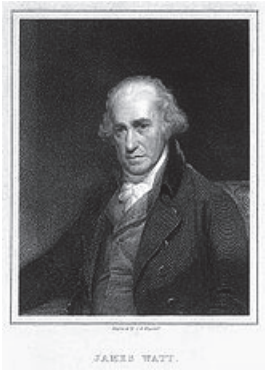


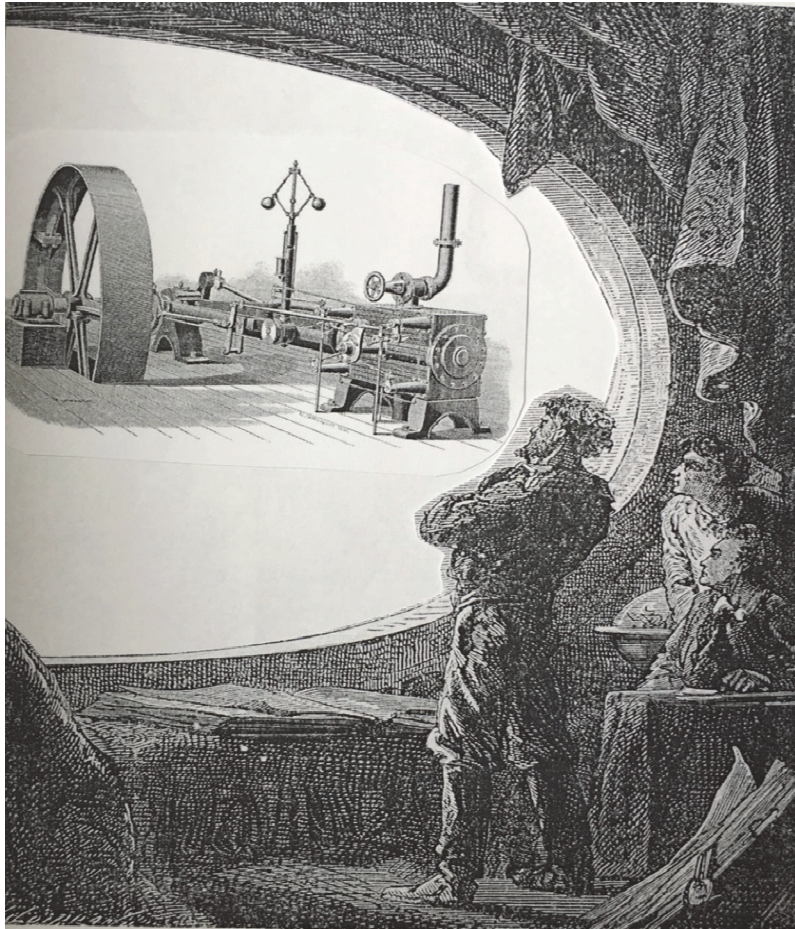
# Výlety do historie automatizační techniky

Jindřich Hubka





## Výlety do historie automatizační techniky



### Obsah

1. Automatická regulace teploty
2. Automatická regulace hladiny
3. Automatická regulace tlaku
4. Automatická regulace výkonu a polohy, dopředné řízení výrobního procesu podle programu
5. Analýza plynů pro automatizační techniku
6. Závěr
7. Literatura

© Ing.Jindřich Hubka, CSc  
27201 Kladno, Arbesova 490  
Elektronická publikace nákladem vlastním  
Spolupráce: RISK, Stará ul. 88, 27201 Kladno

## Předmluva autora

Profesor István Szabó přednášel v padesátých letech 20. století na Technische Universität (TU) Berlin technickou mechaniku. Během přednášek zjistil, že se jeho posluchači velmi zajímají o poznámky historického charakteru, kterými doplňoval svůj výklad. Poznámky se týkaly okolností objevů zákonitostí a osob, které se o rozvoj technické mechaniky zvláště zasloužily. Svoje historické poznámky pod čarou zveřejnil profesor Szabó v textu přednášek (Lit.3). Český čtenář měl možnost se s některými z nich seznámit v překladu jeho další knihy (Lit.2). Zájem posluchačů podnítil později napsání celé monografie věnované historii vzniku technické mechaniky (Lit.1), kde profesor Szabó uvádí čtenáře s náročností matematika a znalce klasické fyziky do podrobností, kterých by historik humanitního zaměření jen stěží mohl dosáhnout. Jeho výzkum minulosti přinesl překvapivá odhalení týkající se autorství objevů, přitom však nepostrádá čtivost a napínavost detektivního románu. Položil jsem sám sobě otázku, jestli existuje pro obor automatizační techniky podobný souvislý přehled, který by cestou staletími zpět do minulosti čtenáři ukázal kdo, jakým způsobem a také kdy přispěl k jejímu rozvoji. Literatura však nabízí členění do určitého období (Lit.4), dílčí informace o automatizační technice je možno nalézt v historických publikacích o fyzice (Lit.5), popřípadě jako úryvky ve všeobecných encyklopedických souhrnech (Lit.6). Přehled o historii automatizační techniky v českém jazyce jsem nenašel. Napadlo mne, že se mohu o napsání historického souhrnu o technickém měření a automatizační technice po více jak čtyřiceti letech praxe v oboru pokusit sám. Vymezil jsem oblasti užití automatizační techniky v průmyslu, řemeslech, dopravě a vojenství takto:

1. Regulace se zpětnou vazbou
2. Dopředné řízení podle programu

Tato dvě omezení vylučují z přehledu zařízení někdy označovaná za automaty, jako je třeba Herónova starověká konstrukce teplovzdušného motoru k zavírání a otevírání dveří svatyně. Prototypy nebo patenty bez praktického užití též nejsou zmíněny, byť by užívaly k regulaci zpětnou vazbu. V textu také nejsou uvedeny hudební automaty hrající podle programu a mechanické hračky. Počítače všeho druhu užitě jinak než ve dvou shora zmíněných oblastech také v textu nenajdete. Naopak technická měření potřebná pro automatickou regulaci jsou zmíněna obšírněji.

Předložený souhrn jsem nazval obrazně výlety do minulosti. Název byl zvolen proto, že je v textu hodně obrázků a náčrtků k upoutání pozornosti, jak od výletu právem očekáváme. Čtenář je nejdříve seznámen s časově vzdálenou minulostí a vrací se pak během výletu postupně zpět do přítomnosti. Minimálně jsou uváděny složité matematické vztahy či grafy z teorie regulace či automatizace, které by čtenáře od výletů do minulosti patrně odradily. Odkazy v tomto směru slouží k dokreslení výkladu vedeného stručným vysvětlením a obrazem. V závěru každého z výletů je uvedeno kde se můžete s automatickou regulací dané veličiny setkat ve svém nejbližším okolí, třeba v bytě nebo kanceláři.

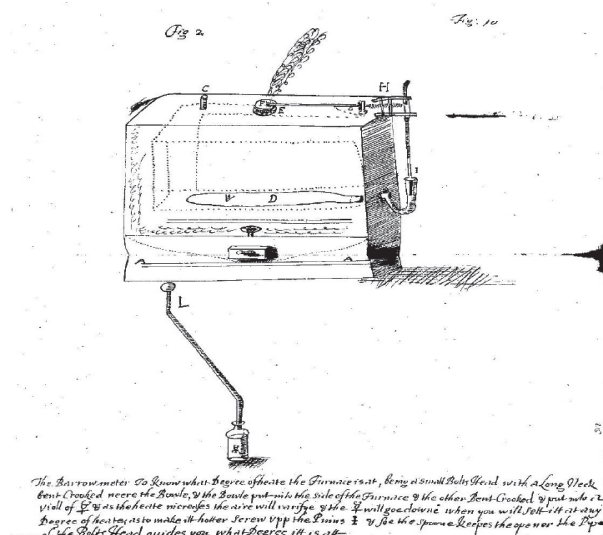
Věřím, že výlety do minulosti automatizační techniky přes svá četná omezení čtenáře zaujmou.

Kladno, dne 17. listopadu 2017

1. Automatická regulace teploty již od 17.století

\*\*\*\*\*

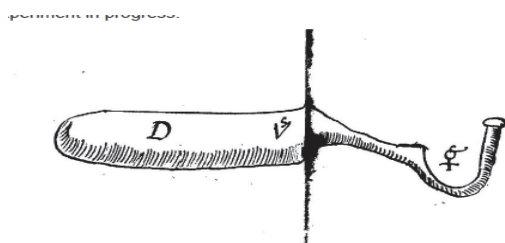
Záznamy z jednání Royal Society v Londýně z let 1662 až 1668 uvádějí svědectví o funkci automatické přímočinné regulace teploty líhně na slepičí vejce (Lit.7). Vynálezcem byl Cornelius Jacobzoon Drebbel (\*Alkmaar /Nizozemí 1572 + London 1633). Drebbel sám nezanechal zprávy o svém vynálezu, jeho současníci však funkci regulace zaznamenali. Během vyřizování pozůstalosti vynálezce byl na líheň s regulací udělen v roce 1634 anglický patent č.75 (Lit.128). Kresby kovových líhní pořídil až roku 1666 svědek a příbuzný vynálezce (Obr.1,2). Přímočinná regulace teploty pracovala na principu roztažnosti lihu v nádobce označené písmenem „D“. Se zvyšující se teplotou prostředí v líhni zvedal rozpínající se líh vrstvu rtuti v potrubí tvaru U. Plovák spočívající na hladině rtuti pohyboval táhlem upevněným k dvojzvrtné páce „H“. Páka „H“ přivřela klapkou odvod spalin z líhně, tím se snížil příkon tepla spalinami do líhně. Pokles teploty prostoru líhně vyvolal zmenšení objemu lihu v nádobce „D“ a tím i pokles plováku, následkem bylo odevření klapky „E“. Vynález spojitě automatické regulace teploty současníci datovali někdy do roku 1620, kdy Drebbel byl v Nizozemí. Drebbel pobýval do roku 1611 v Praze na dvoře císaře Rudolfa II.



Obr.1 Kouřem vytápěná kovová líheň na slepičí vejce



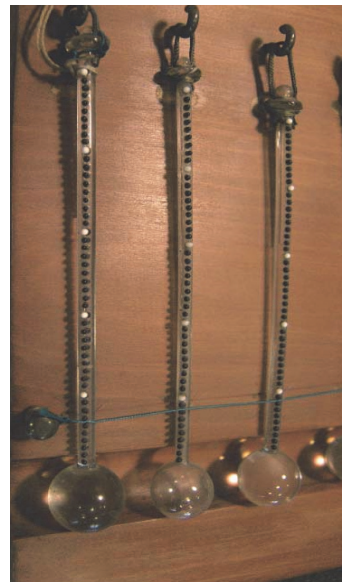
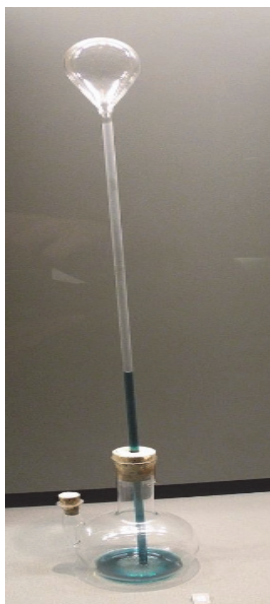
Obr.3 C.J.Drebbel v roce 1628



Obr.2 Nádobka s lihem a potrubí ve tvaru „U“ se rtuť

Celý proces je z pohledu automatizační techniky působením spojitého proporcionálního regulátoru (P) v záporné zpětné vazbě použité ke stabilizaci teploty na žádanou hodnotu (Lit.9).

Cornelius Drebbel neměl možnost měřit teplotu prostředí líhně, ani horní a dolní mez teploty dosažené při automatické regulaci. V době jeho vynálezu regulace ještě neexistovaly potřebné teploměry opatřené mezinárodně uznávanou stupnicí. Fyzik Francesco Sagredo referoval již v letech 1612-1615 ve svých dopisech o pokusech s termoskopy, adresátem dopisů byl Galileo Galilei (Lit.8). Sagredo píše, že sestrojil několik provedení termoskopů. Termoskop se skládal z baňky naplněné vzduchem a trubičky naplněné kapalinou, soudobý model je vidět na Obr. 4. Galileo Galilei přednášel jako profesor univerzity v Padově (Padua) o termoskopu již v roce 1593, jeho termoskop byl otevřený ( Obr.5). Změna teploty vzduchu uzavřeného v baňce se projevila pohybem sloupce kapaliny v trubičce. Sagredo vložil termoskop do sněhu a označil jeho teplotu 100 stupňů. Pak vložil termoskop do směsi kuchyňské soli a ledu a teplotu této chladicí směsi označil o 100 stupňů nižší. Teplotu vzduchu ukazovanou termoskopem za horkého letního dne označil 360 stupňů (Lit.8). Sagredo ve svých dopisech vlastně popisuje hledání pevných, v čase stabilních teplot, potřebných ke kalibraci termoskopu.

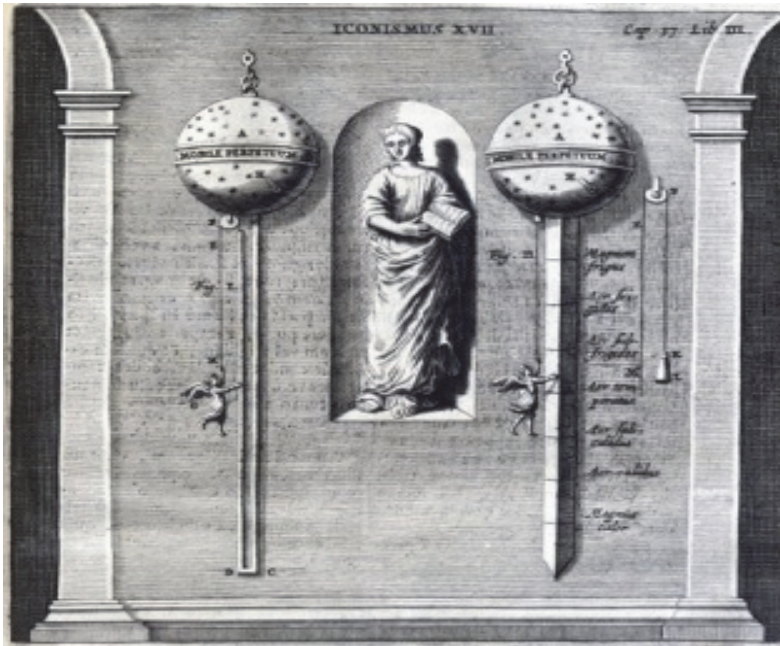


Obr.4 Model termoskopu Obr.5 Termoskop otevřený Obr.6 Teploměr lihový se stupnicí

U Drebbelova vynálezu (Obr.1,2) nikdo hladiny rtuti při různých teplotách vzduchu v líhni stupnicí neoznačil, vynález mohl sloučit schopnosti měření i regulace teploty pomocí roztažnosti kapalin. Měření teploty spalin či teplého vzduchu v líhni nebylo v době vynálezu regulace teploty možné, v roce 1620 neexistovaly termoskopy kalibrované například podle teploty tavení ledu a bodu varu vody. Navíc rozpínání vzduchu v baňce termoskopu je závislé nejen na jeho teplotě, ale také na tlaku okolního vzduchu. Volba roztažnosti kapaliny s teplotou namísto roztažnosti vzduchu s teplotou a tlakem umožnila konstruovat dokonalejší termoskopy, již necitlivé k tlaku vzduchu. Pravděpodobně roku 1641 zkonstruovali Galileo, Torricelli a jejich žák velkovévoda toskánský Ferdinando II de Medici termoskop, který má již stupnici (model na Obr.6) dělenou na 50 °G ( Galileových stupňů Lit.11), přístroj lze již nazvat teploměrem. Teploměr byl plněn lihem, malá baňka nahoře byla zatavená, naplněná vzduchem. Bod mrazu vody byl stanoven na 13,5°G, po přepočtu je 1°G = cca 1,4°C (Lit.11) . V letech 1654-1670 probíhalo v Toskánsku a na dalších celkem 13 místech v Itálii měření teploty vzduchu. Záznamy o provedených měření teploty

venkovního vzduchu jsou zachované dodnes. Od roku 1659 byla měřena a zaznamenávána teplota venkovního vzduchu pomocí termoskopů průběžně také v Anglii (Lit.11).

Dokonce i veřejnost měla možnost v té době sledovat alespoň přibližně kvalitativní změny teplot vzduchu, například pomocí vzduchového termoskopu umístěného v roce 1660 na budově v Magdeburgu (Obr.7). Poloha plováku na hladině potrubí ve tvaru „U“ se měnila podle roztahování vzduchu v koulích, malý vznášející se anděl ukazoval kvalitativní změnu teploty.



Obr.7 Termoskop v Magdeburgu v Německu roku 1660

O zavedení stupnice teploměrů se pokoušel také anglický fyzik Isaac Newton (1643-1727) a dánský fyzik Ole Christensen Roemer (1644-1710). Všeobecného uznání však dosáhla až stupnice, kterou zavedl Daniel Gabriel Fahrenheit, žil v letech 1686 až 1736 a narodil se v Gdaňsku(Danzig). Fahrenheit plnil svoje zatavené teploměry lihem a rtuťí. Teploměry vyráběl jako zručný mechanik od roku 1714 sám. V přednášce pro Royal Society v Londýně v roce 1727 popisoval Fahrenheit tři teploty, které použil ke kalibraci teploměrů (Lit.28). Jako počátek stupnice 0°F stanovil teplotu chladicí směsi ledu z pitné sladké vody a mořské soli, pro bod 32°F užil teplotu směsi sladkovodního ledu s čistou vodou, a teplotu 96°F přiřadil teplotě v ústech zdravého člověka. Ve své přednášce doporučil vždy počkat až se teploty bezpečně ustálí. Údaj 212°F odpovídal na Fahrenheitových teploměrech bodu varu vody. Mosazný teploměr s označením Fahrenheitovy dílny v Amsterdamu rubu je vidět na Obr.8 a detail zadní strany teploměru ukazuje fotografie na Obr.9. Ověřený portrét Daniela Gabriela Fahrenheita se nezachoval. Z Obr. 10 však můžeme usuzovat jak mohl vynálezce vypadat při práci v laboratoři.



Obr.8



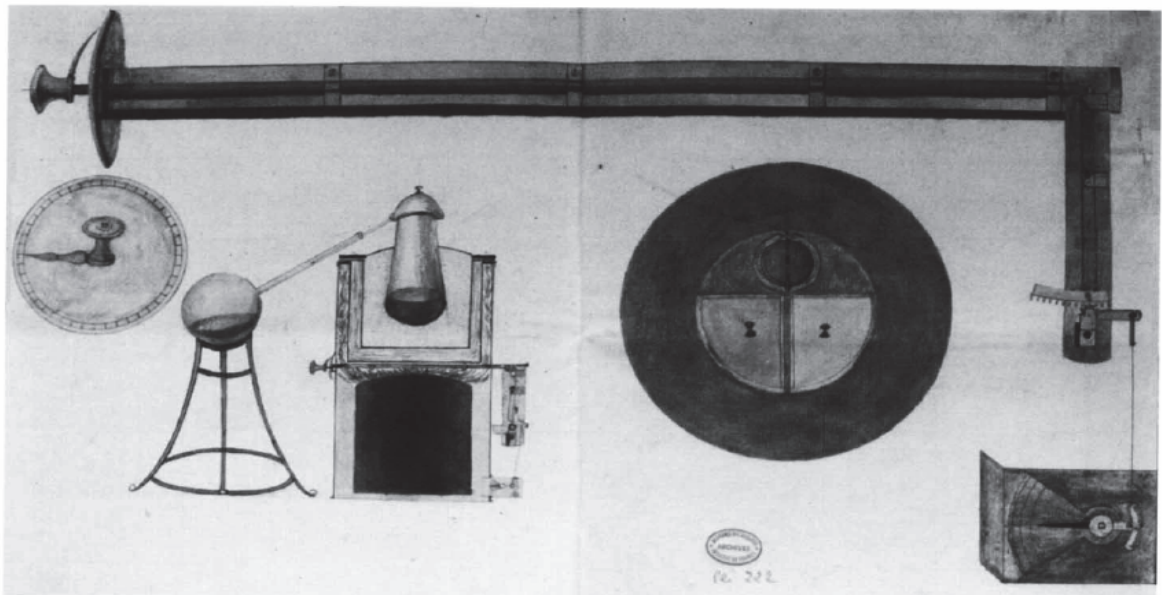
Obr.9 Fahrenheitův teploměr



Obr.10 Domnělý portrét vynálezce

Záslouhou mnohých vynálezců bylo možno již od počátku 18. století měřit teplotu vzduchu i vody Fahrenheitovou stupnicí, která se v anglosaských zemích používá dosud. Vrátime se ale zpátky k automatizační technice té doby.

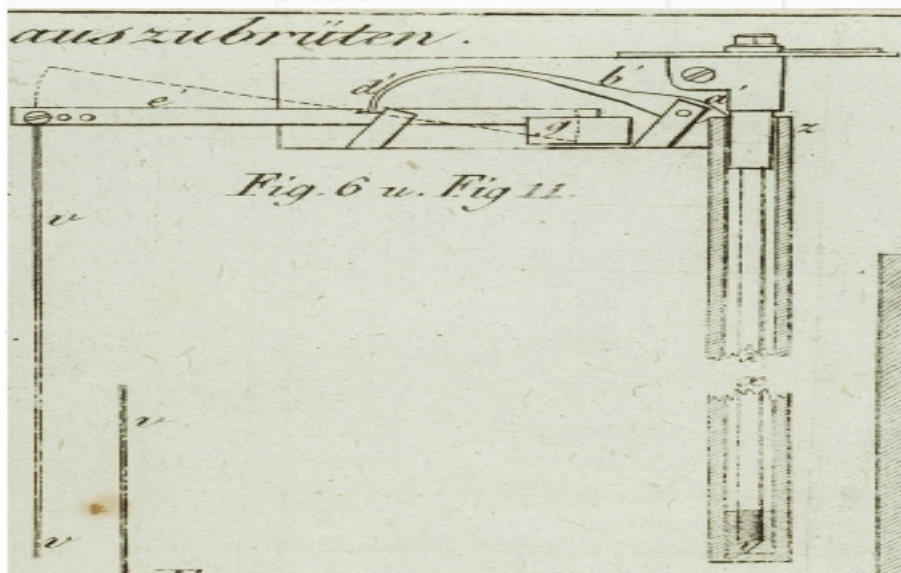
Dne 14.8.1782 předal francouzský strojní inženýr Jean Simon Bonnemain (1743-1830) Akademii věd v Paříži zapečetěnou obálku obsahující výkres (Obr.11) a popis regulátoru teploty spalin.



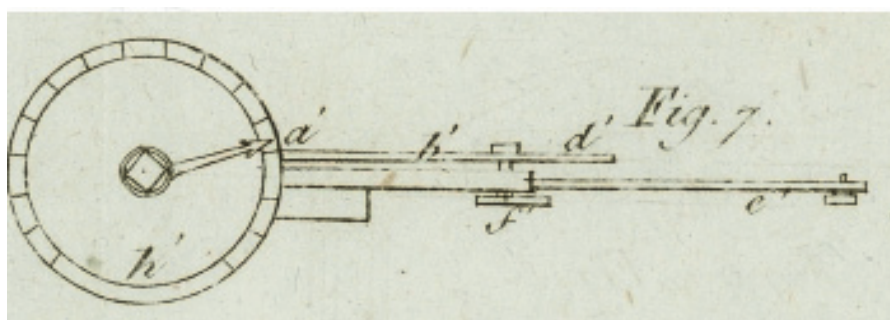
Obr.11 Bonnemainův regulátor teploty na výkrese z 14.8.1782

Výkres ukazuje dvě rovnoběžně uložené tyče, které jsou zakresleny nahoře na Obr.11 (Lit.10). Jedna z tyčí byla vyrobena z oceli, druhá z mosazi. Obě tyče byly ve vodorovné poloze vystaveny působení spalin (Lit.10). Obě tyče byly také napevno spojeny se stěnou spalinovodu přírubou (vlevo na Obr.11). Rozdílná délková roztažnost kovových tyčí s teplotou spalin způsobila pohyb ozubeného segmentu, který otáčel hřídelem klapky na přívodu spalovacího vzduchu (vpravo na Obr.11). Polohu škrticí klapky ukazovala ručka sřažená s polohovacím mechanismem pomocí

táhla. Ručka svoji polohou ukazovala také pokles a zvýšení teploty tyčí. Smyslem přímočinné regulace spalin bylo regulovat teplotu lázně v destilační baňce na žádanou hodnotu. Pohledem automatizační techniky má mechanismus funkci proporcionálního regulátoru (P) v záporné zpětné vazbě, je přímočinným regulátorem, obejde se bez přívodu pomocné energie. Vynálezce Bonnemain požádal o udělení privilegia, které bylo předchůdcem patentové ochrany. Francouzský král Ludvík XVI. svým privilegiem ze dne 18.3.1783 udělil vynálezci výhradní právo na výrobu a užití regulátoru po dobu 15 let. Královské privilegium je uloženo ve francouzském Národním archivu dosud, pod označením AN E2734 (Lit.10). Bonnemain v době vynálezu regulátoru teploty dodával a sám provozoval líhně slepičích vajec, kde mohl účinky regulace prakticky ověřit. Vynálezce dodal podle vlastních záznamů v roce 1792 zájemci v Paříži líheň vajec s regulací teploty vody, tato teplá voda byla současně prvně užitá také k vytápění bytu. Teplovodní vytápění budov navrhoval Bonnemain už v roce 1777 v přednášce pro Akademii věd v Paříži. Oběma činy se Bonnemain stal průkopníkem ústředního vytápění budov s přímočinnou regulací teploty topné vody. Později, v roce 1828, byl zveřejněn popis a výkresy zlepšené líhně na kuřata, kde Bonnemain využil jiný přímočinný regulátor teploty vodní lázně (Obr.12,13) (Lit.42).



Obr.12 Regulátor teploty vody

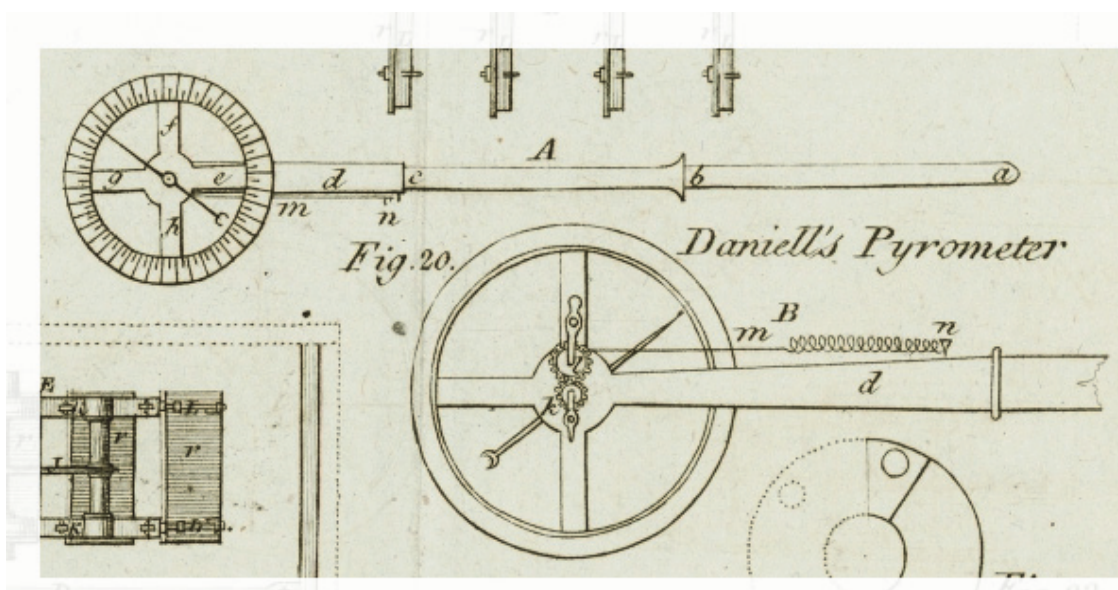


Obr.13 Regulátor teploty vody

Na řezu regulátorem (Obr.12) je v nárysu vidět svislou olověnou trubku dole uzavřenou dnem, ponořenou do topné vody. V trubce byla dole ke dnu připevněna ocelová tyč. Roztažnost olověné trubky s teplotou je větší nežli ocelové tyče v ose trubky (pro železo je při 20°C součinitel lineární roztažnosti 2,45x menší než u olova). Okraj olověné trubky „z“ zvedal a spouštěl podle výše teploty

dvojitou páku „b“, která pohybovala pomocí ramene „e“ svislým táhlem „v“ spojeným s klapkou regulující přítok spalovacího vzduchu. Na Obr.13 (Lit.42) vidíme v půdorysu kotouček se stupnicí a ukazatel. Pomocí šroubu bylo možno zvedat a spouštět ocelovou tyč s připevněnou olověnou trubkou a tím nastavovat žádanou hodnotu teploty vodní lázně. Ukazatel s šipkou sloužil k nastavení žádané teploty na stupnici. Termostat s plynulým nastavením žádané teploty a spojitým ovládním regulační klapky je pro automatizační techniku přímočinným proporcionálním mechanickým regulátorem v záporné zpětné vazbě. Bonnemain předvedl funkci regulace teploty prakticky při vytápění záhonů ve skleníku královské botanické zahrady v Paříži, kde se mu podařilo zrychleně pěstovat okurky, melouny, fazole a chřest. Vynálezce doporučoval regulaci teploty kromě užití v líhních také k teplovodnímu vytápění místností kde probíhají kvasné pohody, jako je výroba octa, vína anebo při výrobě kandovaného cukru (Lit.42).

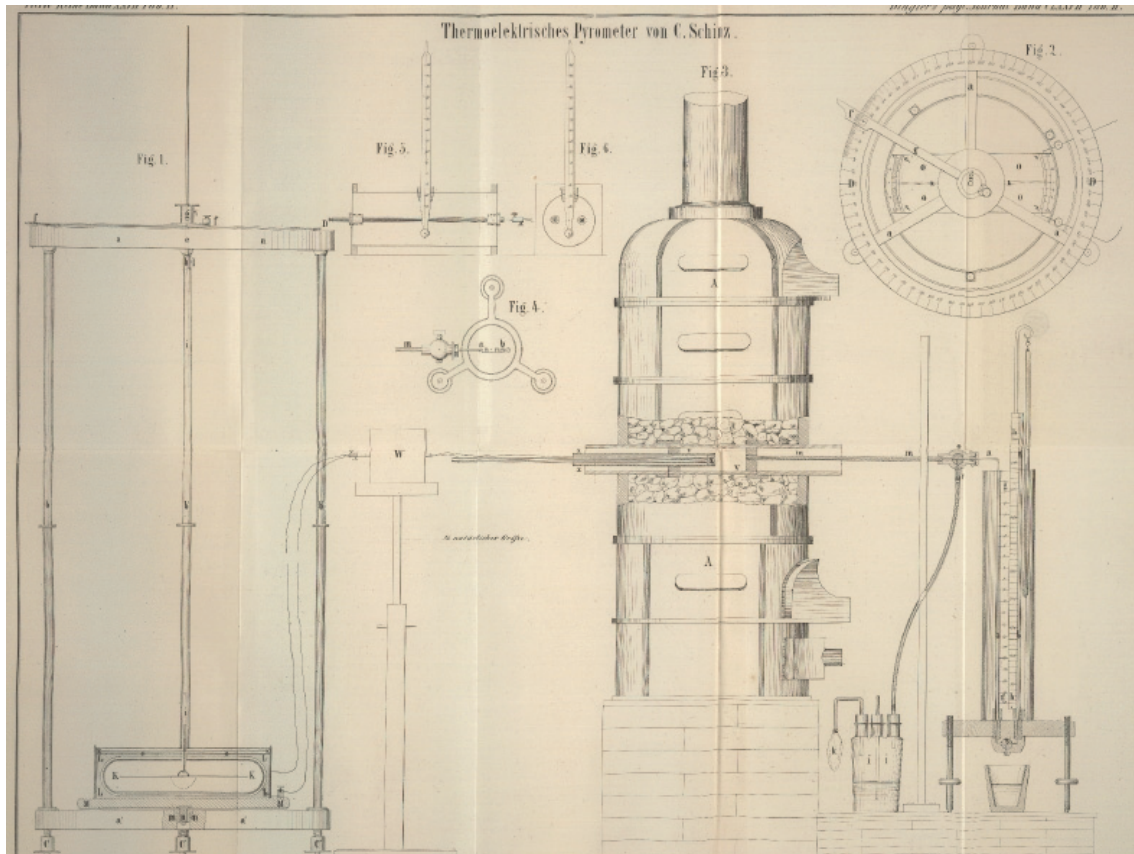
V témže roce 1828 se veřejnost dočetla o úspěšné konstrukci teploměru k měření vysokých teplot, například teploty tavení stříbra, zlata a mědi v mincovně (Obr.14)(Lit.46). Vynálezce byl John Frederic Daniell (1790-1845), anglický fyzik a chemik. Teploměr využíval odlišné roztažnosti pevných látek s teplotou. V keramické jímce „A“ byl napnut pomocí vinuté pružiny „B“ platinový drát upevněný na dně jímky „d“. Rozlišná délková roztažnost platinového drátu a jímky způsobovala otáčení ozubeného převodu „k,l“ a tím také pohyb ukazatele nad kotoučkem se stupnicí označenou stupni Fahrenheitita. Kotouček s ukazatelem je zakreslen vlevo nahoře na Obr.14.



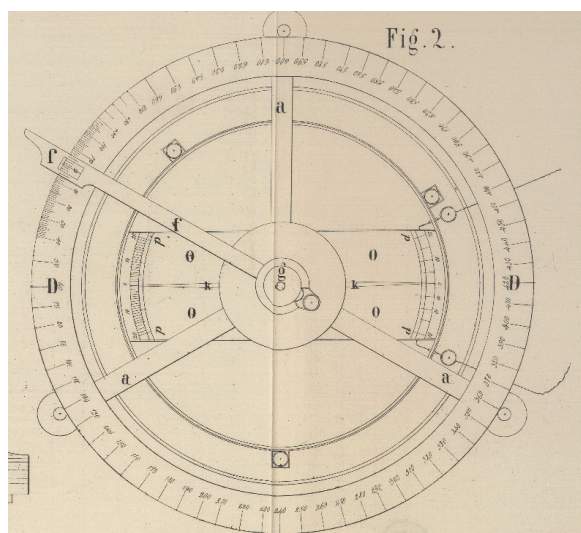
Obr.14 Danielliho pyrometr

Kalibrace Danielliho teploměru byla v té době prakticky nemožná, protože nebyly známy fixní body teplot tavení čistého zlata, mědi anebo stříbra v °F anebo °C. Příklad mohl indikovat blízkost bodu teploty tavení na základě zkušenosti z předchozích taveb, podle znalosti kam až ukazovala ručka ukazatele při minulých úspěšných taveb. Již samotné určení okamžiku, kdy kov měnil pevné skupenství při teplotách 500°C až 1100°C, bylo značným experimentálním problémem. Fyzika zápolila s přiřazením přesnějších teplot k bodům tavení kovů a tím s definicí teplotní stupnice v laboratořích nejméně do konce 19. století, jak dokládá soudobá literatura (Lit.29). Také praktici se snažili získat provozní výsledky, jak ukazuje příklad z roku 1865 (Lit.47). Na Obr. 15 vidíme v levé části velký galvanometr napojený na termočlánek z platiny a paladia, který byl sestaven roku 1865 dle předchozích pokusů

Edouarda Becquerela z roku 1863. Termočlánek byl vložen do jímky v levé části pece. U pravé části u průmyslové pece stál plynový porovnávací teploměr. Jak je vidět z vyobrazení nebyl rozměrný citlivý galvanometr vhodný do hutního provozu. Ukazatel galvanometru a jeho stupnici vidíme na Obr.16. Prakticky použitelné měření vyšších teplot termočlánkem bylo vynalezeno až o 20 let později.



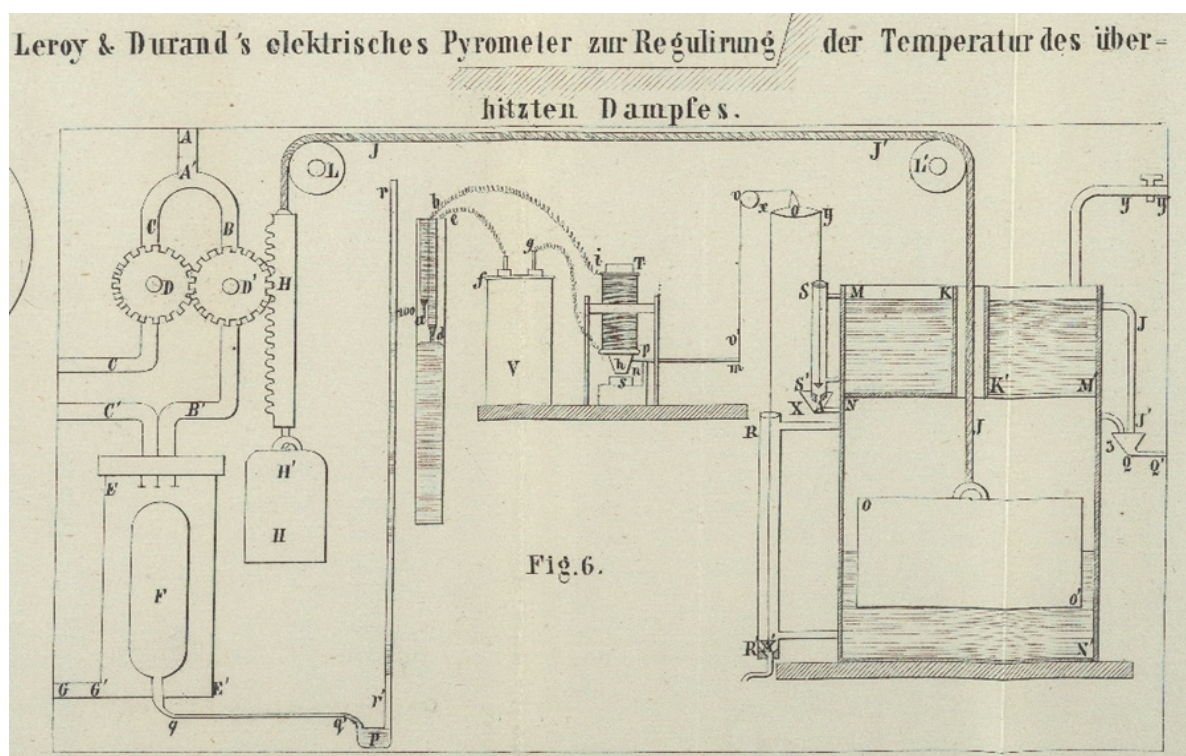
Obr.15 Termoelektrický teploměr - termočlánek s galvanometrem ( Lit.47 z roku 1865 )



Obr. 16 Stupnice galvanometru

Měření nižších teplot se v průmyslové praxi v téže době dařilo lépe, měřená teplota mohla být využita k samočinné regulaci. Na Obr.17 (Lit.76) vidíme dílčí schéma přípravy přehřáté vodní páry

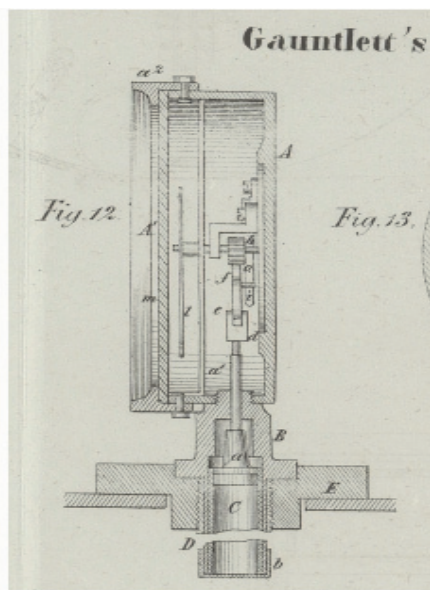
v závodě na zpracování loje a palmového oleje v Chantilly ve Francii. Továrna byla postavena v roce 1858, denní produkce stearinu k výrobě svíček byla asi 8.000 kg. K oddělení stearinu v retortách parou z chemicky předzpracovaného loje bylo nutno procesní přehřátou páru udržovat na konstantní teplotě. Předvolená teplota páry se měla přesně automaticky udržovat, přitom žádaná teplota měla být nastavitelná v rozmezí od 250°C do 400°C. Technici Leroy a Durand umístili v roce 1867 nádobku plynového teploměru „F“ do nádoby „E“. Pára vstupovala potrubím „A-A“ k regulačním ventilům „D,D'“, jejichž polohu určoval ozubený hřeben „H“ pohánějíci ozubená kola upevněná na osách ventilů. Pára proudila do přehříváku potrubím „C“ a vracela se přehřátá potrubím „C'“ do nádoby „E“ kam též proudila pára potrubím „B'“. Pára byla k retortám odváděna potrubím „G'-G“. Při vyšší teplotě páry ohřátý plyn v nádobce „F“ zvedl svým rozpínáním hladinu rtuti v trubici „r“. Na detailu trubice vidíme nad hladinou rtuti dva výškově nastavitelné hroty s izolovanými vodiči „b“ a „e“. Obvod napájela baterie „V“. Jestliže byly oba hroty „a“ „d“ v kontaktu se rtutí obvod se uzavřel a cívka elektromagnetu „T“ procházel proud, tím došlo k přitahu kotvy „s“. Závěs „v“ na páčce „m“ vychýlil levotočivě otočný závěs „x-y“. Táhlo visící v bodě „y“ pak otevřelo přítokový ventil „X“ a táhlo visící v bodě „X“ naopak uzavřelo výtokový ventil „R“. Plovák „o“ začal klesat a pomocí lana „J'-J“ posunul ovládací ozubený hřeben „H“. Důsledkem bylo potočení spřažených ventilů „D-D'“, tím se dostalo méně páry do přehříváče a teplota nádoby „F“ plynového teploměru poklesla. V důsledku smršťování plynu v nádobce „F“ poklesla hladina rtuti v trubici „r“ a elektrický obvod byl přerušen. Následkem bylo vrácení kotvy „s“ do původní polohy. Nátok vody do plovákové komory byl ventilem



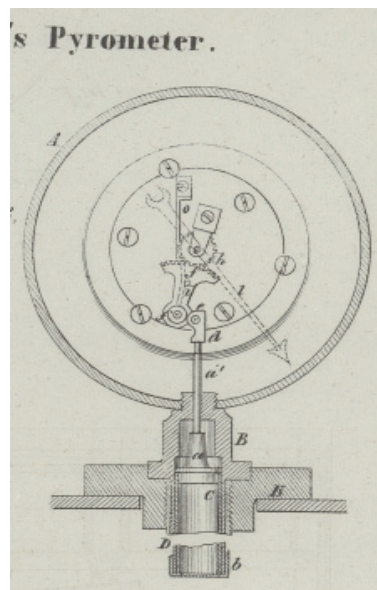
Obr.17 Samočinná regulace teploty přehřáté vodní páry k zpracování stearinu

„X“ uzavřen a odtok vody byl ventilem „R“ uzavřen. Celý cyklus regulace teploty se mohl opakovat. Trubice „r“ byla pro kontrolu označena stupnicí ve °C. Z pohledu regulační techniky se jedná o dvupolohovou elektromechanickou regulaci teploty přehřáté páry pomocí nespojitého regulátoru v záporné zpětné vazbě. Regulace teploty se ve Francii v roce 1867 prakticky osvědčila ( Lit.76).

Malá vsuvka pro doplnění, výroba stearinu na svíčky byla v Rakouském císařství zavedena v letech 1839/1840. Společnosti Milly a Apollo Vídeň vyráběly pak dohromady asi 400 tun stearinu na svíčky ročně (Lit.96). Do té doby byly svíčky vyráběny z včelího vosku a loje.

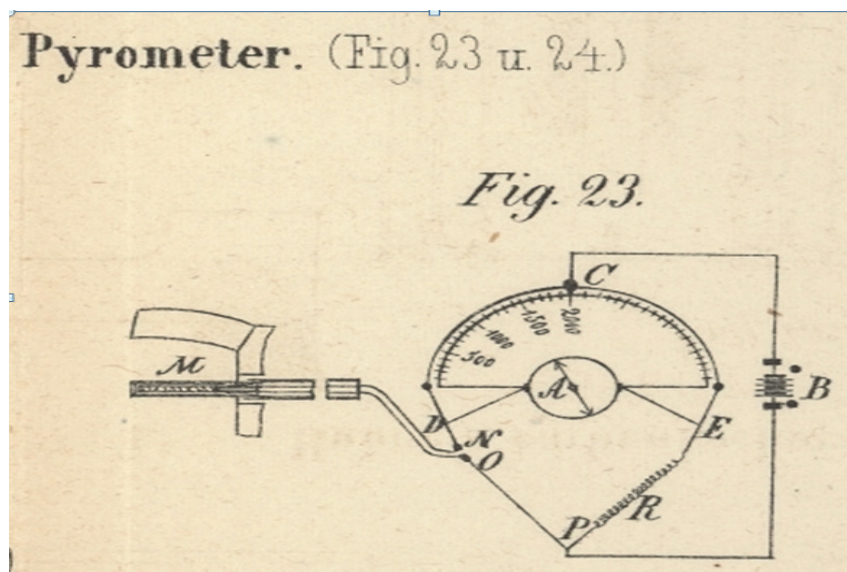


Obr.18



Obr.19

K místnímu měření teploty přehřáté páry bylo možno použít od roku 1860 bimetalický teploměr (Obr.18, 19). V dolní části obou obrázků je vidět jímku „b“, která byla vystavena působení plynu nebo kapaliny. Uvnitř jímky byla ocelová trubka „D“ pevně spojená se základnou „E-B“. Uvnitř ocelové trubky byla uložena měděná trubka „C“, která byla dole spojena s ocelovou trubkou „D“. Měděná trubka „C“ se mohla volně roztahovat s teplotou směrem nahoru, pohyb byl přenášén vzpěrou „a-a“ na ozubený segment „f“. Segment „f“ otáčel ozubeným kolem „h“, které bylo upevněno na společné ose s ukazatelem teploty. K vymezení mrtvého chodu (vůle) převodu byla určena pružina „o“, která tlačila ozubený segment do záběru se vzpěrou „a-a“ (Lit.30).



Obr.20 Odporový elektrický teploměr s dálkovým přenosem

Společnost Siemens vystavovala na světové výstavě ve Vídni v roce 1873 odporový elektrický teploměr jehož schéma zapojení je vidět na Obr.20 (Lit.45). V ochranné jímce „M“ vidíme v peci

umístěný platinový rezistor, jeho ohmický odpor se měnil s teplotou. Galvanometr „A“ byl zapojen ve Wheatstoneově můstku napájeném v bodech „C,P“ baterií „B“. Měřicí odpor „M“ byl napojen na můstek v bodech „N,O“. Galvanometr „A“ nebyl ještě cejchován v teplotních stupních, k převodu údaje na teplotu sloužila tabulka. Autor teploměru Dr C.W.Siemens (1823-1883)(Obr.21) zkoumal v letech 1870-1873 v Londýně závislost odporu platinového vodiče na jeho teplotě. Prokázal prakticky bezpečnou opakovatelnost a nelineárnost jevu. Objev byl velmi významný pro budoucnost, koncem 19. století se odporový platinový teploměr stal součástí definice mezinárodních teplotních normálů.



Obr.21 Dr. C.W.Siemens



Obr.22 Dr. T.J.Seebeck

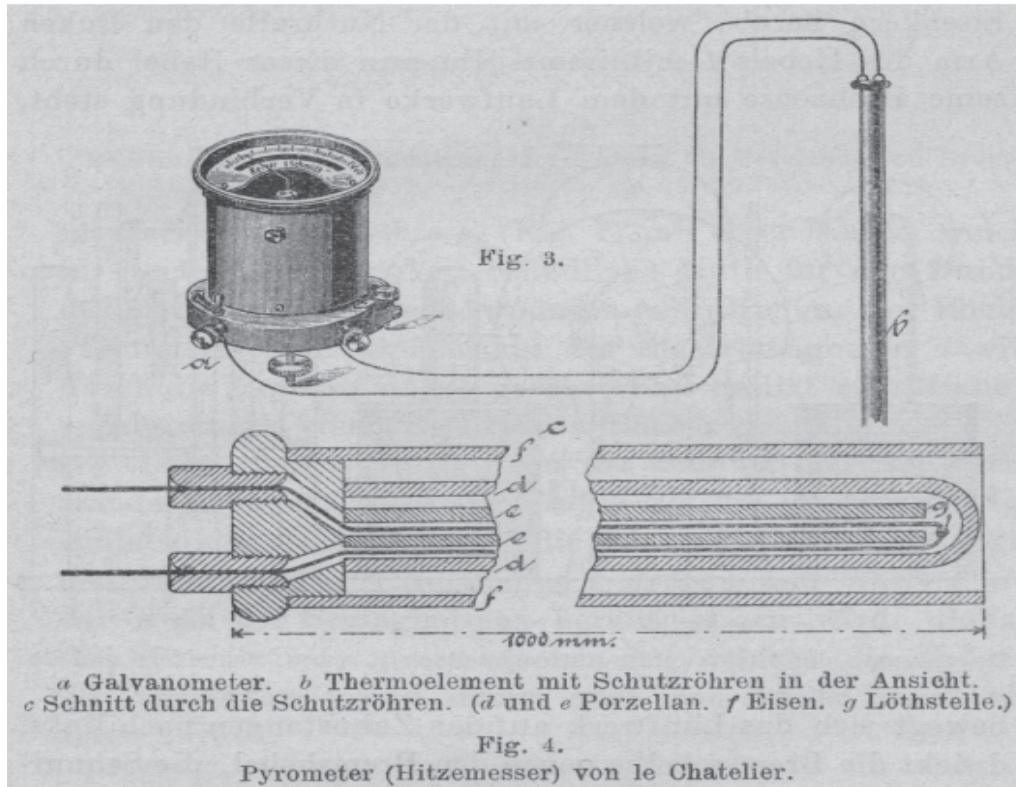
Dávno před tímto objevem, v roce 1820, objevil a prvně zveřejnil Dr. Thomas Johann Seebeck (1770-1831)(Obr.22) pozorování zvláštního úkazu. Dva vodiče vyrobené z odlišných kovů spojil na sucho do kruhu a svoji vlastní rukou vodiče zahříval. Přitom zpozoroval a měřil výchylku magnetické strelky umístěné u vodičů. Jev nazval magnetickou polarizací pomocí rozdílů teplot vodičů zapojených v kruhu. Výsledky četných pokusů s různými materiály zveřejnil roku 1826 v obsáhlém článku (Lit.31). Při jeho pokusech kruhem protékal malý stejnosměrný proud způsobený rozdílem napětí (potenciálů) v chladných a teplejších místech. Dr Seebeck vynalezl termočlánek. Trvalo však dalších 60 let nežli se jev stal užívaným v běžné technické praxi, významnou měrou se o konstrukci a rozšíření termočláneků zasloužil Prof. Dr. H.L. Le Chatellier.



Obr.24 Prof.Dr. H. L. Le Chatellier



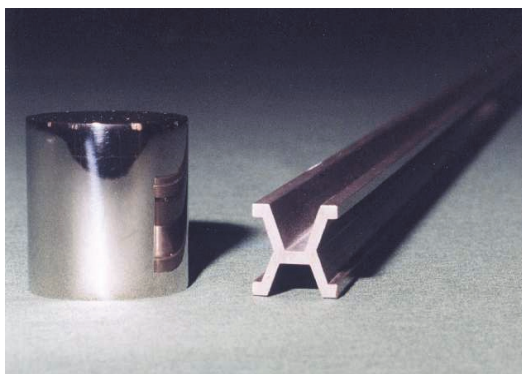
Obr.25 Sídlo BIPM v Paříži



Obr.26 Termočlánek v ochranné jímce

V roce 1885 sestrojil francouzský fyzik Henri Louis le Chatelier (1850-1936)(Obr.24) termočlánek jehož jeden vodič byl z platiny a druhý vodič ze slitiny platiny s 10% rhodia (Lit.97). Na Obr.26 vidíme oba vodiče spojené pájeným spojem „g“, byly uloženy v jímkách z porcelánu „d,e“. Vodiče vedou ke galvanometru „a“, který byl schopen měřit malá stejnosměrná napětí v desítkách milivoltů. Měřená napětí byla úměrná teplotám, kterým je vystaven pájený spoj „g“ termočládku.

V roce 1875 vstoupila v platnost mezinárodní metrická konvence . BIPM ( Bureau International des Poids et Measures – Obr.25) poskytl v roce 1878 členským státům k národnímu standardu metru a kilogramu ( Obr.27,28) také dva stejné skleněné teploměry o rozsahu 0-100°C ve funkci standardu.



Obr.27 Platinový metr a kilogram BIPM

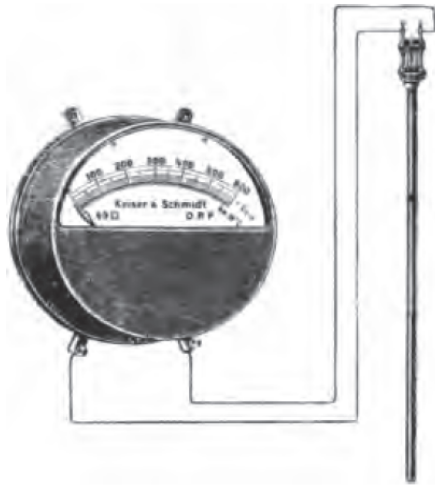


Obr.28 Platinový kilogram BIPM

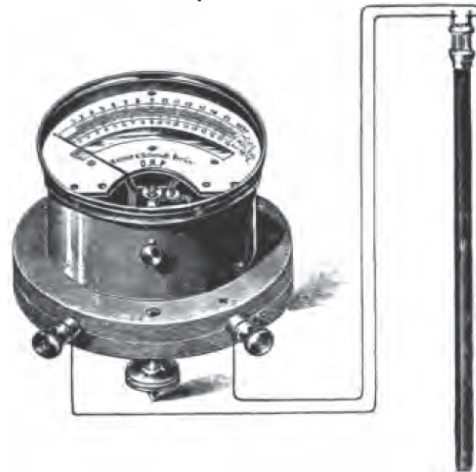
V roce 1878 byla Celsiova stupnice definována jen dvěma body (0,100°C), přiřadit spolehlivě napětí termočládku k teplotě kolem 1000°C nebylo možné. Používala se extrapolace Celsiovy stupnice za pomoci předpokládané úměry mezi objemovou roztažností plynů anebo pevných látek. Teprve

mezinárodní dohodou v roce 1889 byl ustanoven další fixní bod stupnice. Byl jím bod varu síry (+444,50°C), ustanovený po velmi pracném zjišťování extrapoláční shody mezi údaji získanými vodíkovým tlakovým teploměrem a odporovým teploměrem.

Pro řemeslné nebo průmyslové měření teploty byly na počátku 20.století dispozici termočlánky udávající teplotu, která byla kontrolovatelná mezinárodně uznávanými třemi fixními body a interpolací mezi nimi (Obr.29,30).

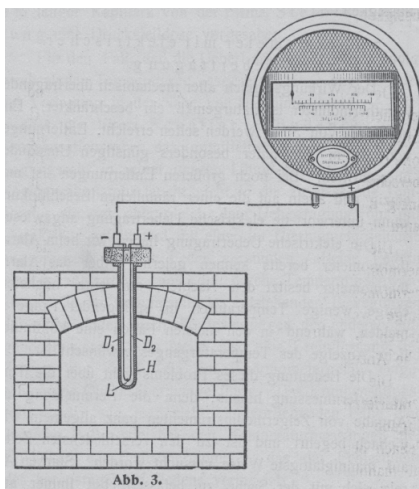


Obr. 29 Termočlánek z roku 1907

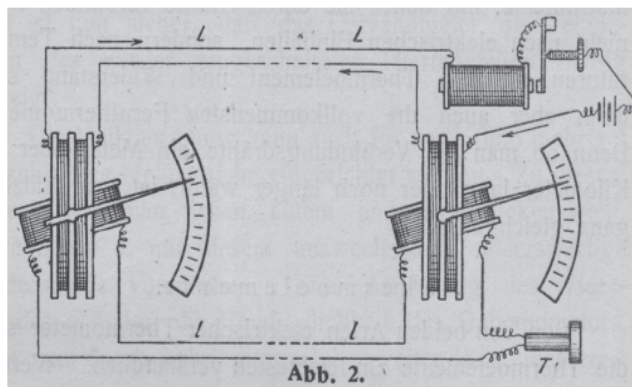


Obr.30 Termočlánek z roku 1907

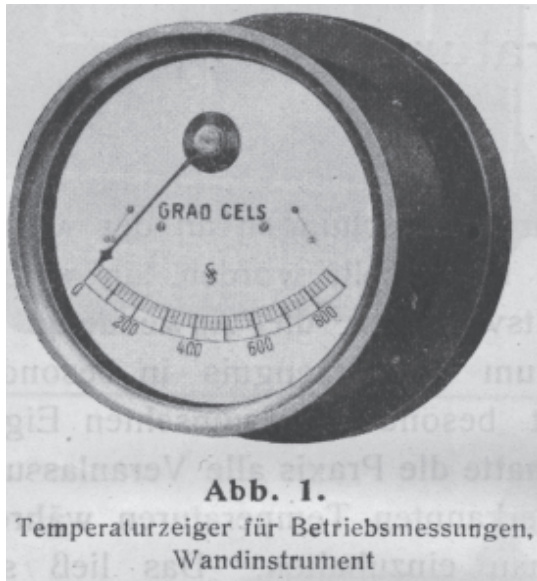
Dálkový přenos údajů o teplotách pomocí elektrického vedení vytvořil možnost z jednoho místa sledovat více teplot najednou. Teploty bylo možno samočinně ukazovat a zapisovat, také je na dálku přivádět na vstup regulačních přístrojů. Technický časopis zveřejnil v roce 1917 jako novinku dálkové přenosy a ukazování stejného údaje vyšších teplot měřených na dálku termočlánkem a také ukazovaných na dvou od sebe vzdálených místech (Obr.31,32)(Lit.50).



Obr.31 Dálkové měření teploty



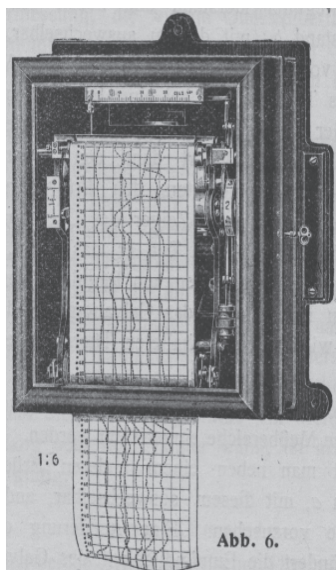
Obr.32 Ukazování téhož údaje na dvou místech



Obr.33 Ukazatel teploty

Obr.34 Přepínač měřených míst

V energetice a průmyslu mohl strojník parního kotle pozorovat údaje o teplotách na dálku z velínu nejpozději v roce 1917 (Obr.33)(Lit.50). Deset tlačítek sloužilo v téže době k připojování více údajů o teplotách po sobě na jeden vodorovně umístěný ukazovací přístroj (Obr.34). Aby strojník v době pochůzek nepřišel o možnost sledovat průběžně teploty, byly již od počátku dvacátých let 20.století v kotelnách umísťovány zapisovací přístroje (Obr. 35,36,37)( Lit.50,53).



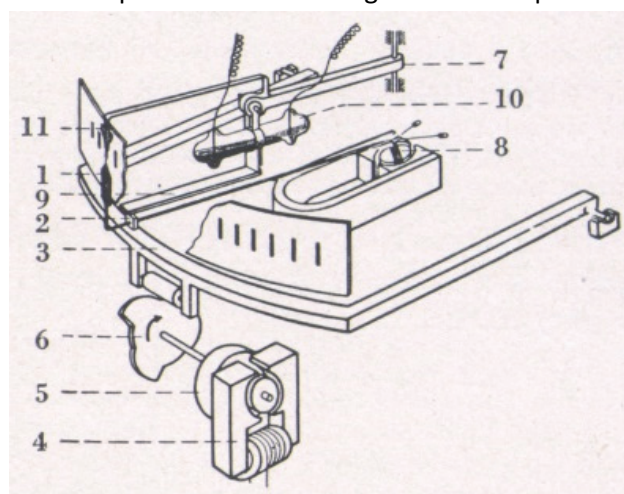
Obr.35 Zapisovač do panelu

Obr.36 Zapisovač bubnový

Obr.38 Zapisovač teploty

Na přelomu 20. a 30.let 20.století dostaly zapisovače novou funkci. Ukazatel teploty byl do té doby využíván jen k ukazování nebo zápisu teploty. Nyní dostal ukazatel novou regulační úlohu, náčrtek mechanismu nespojitého elektrického regulátoru je vidět na Obr.39. Ukazovací přístroj s elektromagnetickým otočným systémem (pozice 8) měl na ukazovacím jazýčku upevněnu narážku (pozice 2). Padací raménko (pozice 3) bylo zvedáno rotující vačkou (pozice 6) upevněnou na hřídeli

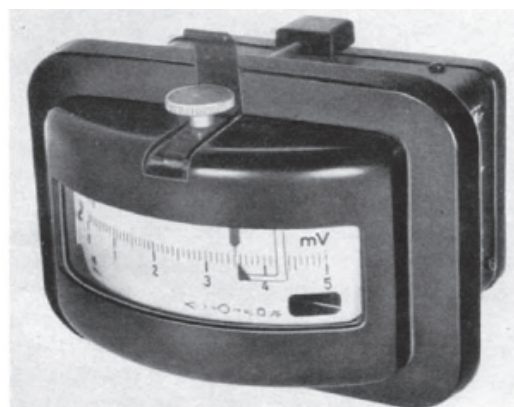
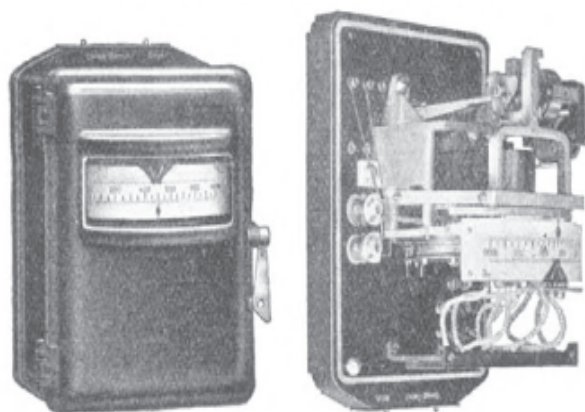
elektromotorku (pozice 4,5). Padací raménko (pozice 3) zvedalo pomocí nárazky (pozice 2) otočnou páčku (pozice 9) do výšky a překlopilo rtuťový přepínač (pozice 10). V tom případě byly oba vodiče v přepínači (pozice 10) spojeny elektricky vodivou rtuťí a motor nebo regulační ventil dostal po dobu zvednutí padacího raménka signál k dílčímu pootevření přítoku topného media.



Obr.39 Nespojité (padáčkový) elektrický regulátor

Obr.40 Rtuťový spínač kontaktů

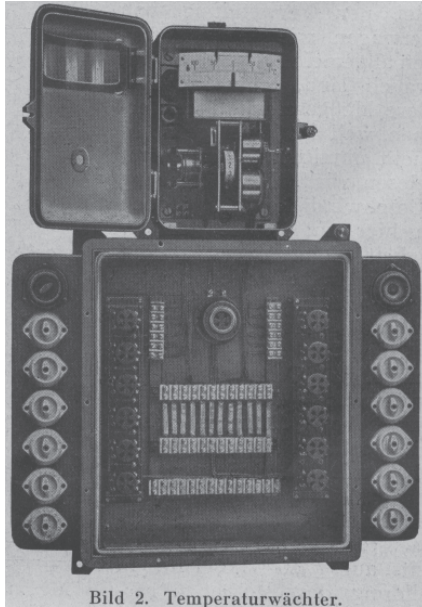
Tím vzrostla regulovaná teplota, termočlánek přímo připojený na ukazovací přístroj (pozice 8) přivedl vyšší napětí a ukazatel měřicího přístroje (pozice 1) se potočil doprava. Při dalším otočení vačky (pozice 6) zvýšeným místem nahoru již nárazka (pozice 2) nebyla pod páčkou (pozice 9) a rtuťový spínač (pozice 10) zůstal v klidové poloze. Na výkrese (Obr.39) chybí další páčka (pozice 9') s dalším rtuťovým spínačem (pozice 10') v pravé části přístroje, která by naopak dala signál k dílčímu přivření přítoku topného media. Z popisu funkce je zřejmé, že hodnota teploty bude při regulačním pochodu kolísat od spodní meze nastavené ukazatelem (pozice 11), kterým lze pohybovat, protože je otočný kolem osy (pozice 7) až k spínači horní meze. Ten byl však pro přehlednost náčrtku vynechán.



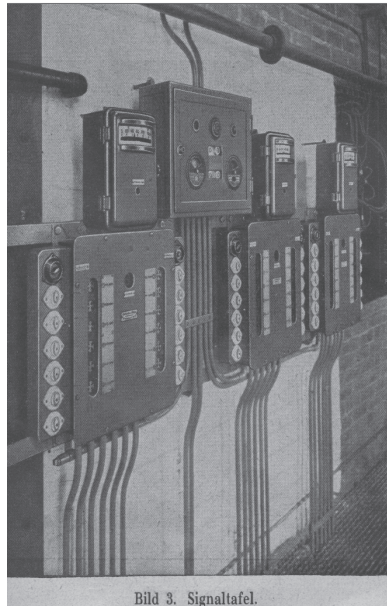
Obr.41 Padáčkový regulátor

Obr.42 Padáčkový regulátor

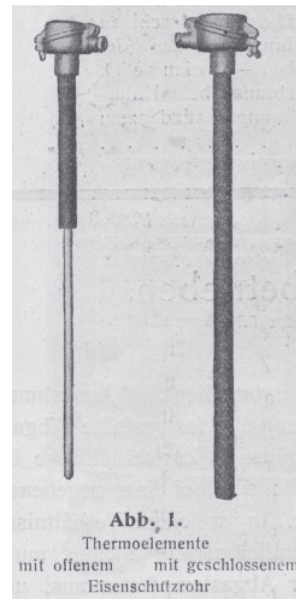
Další provedení padáčkových regulátorů z třicátých až šedesátých let 20.století vidíme na Obr.41,42. K těmto regulátorům mohl být přidán rozvaděč s přepínači měřených míst, jak je patrné na Obr.43,44 (Lit.79). Termočlánek s ocelovou otevřenou a uzavřenou ochrannou jímkou vidíme na snímku Obr.45.



Obr.43 Regulace teplot

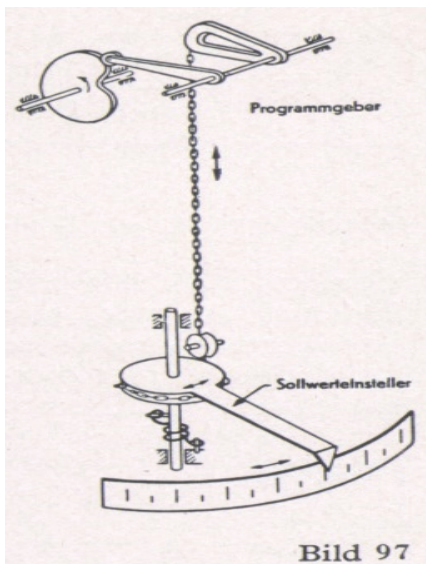


Obr.44 Rozvaděče

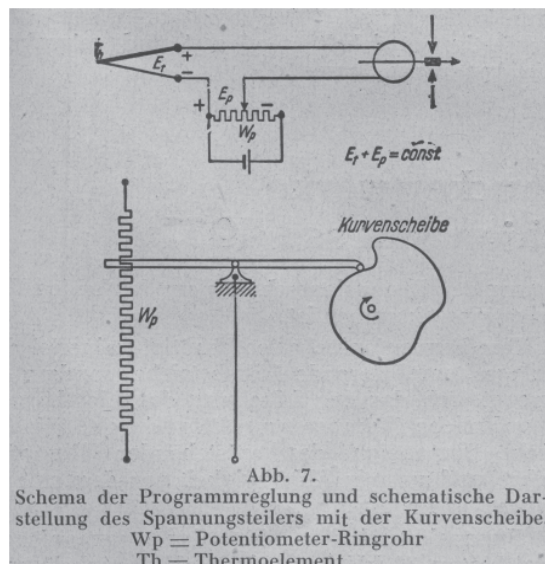


Obr.45 Termočláanky

Pro zadání proměnných žádaných teplot v čase byla používána vačka poháněná elektromotorem. Na nákrese z roku 1923 (Obr.46)(Lit.55) vidíme v levé horní části rotující vačku o kterou se opírá raménko upevněné ke společnému hřídeli s dalším raménkem na jehož konci byl upevněn řetízek. Řetízek byl veden v dolní části Obr.46 na obvod kotoučku s upevněným ukazatelem žádaného hodnoty teploty na padáčkovém regulátoru teploty, který měl stejnou funkci jako ukazatel (pozice 11) na Obr.39. Řetízek byl tažen do záběru malou pružinou schematicky nakreslenou pod kotoučkem dole na Obr.46 (Lit.55). Na výkresu z roku 1931 je nakresleno zadávání žádané hodnoty teploty v elektromechanickém provedení, natáčející se kovová vačka zadávající časový průběh teploty je zakreslena vpravo dole na Obr.47. Vačka pomalu pohybovala jezdcem na potenciometru  $W_p$ , na



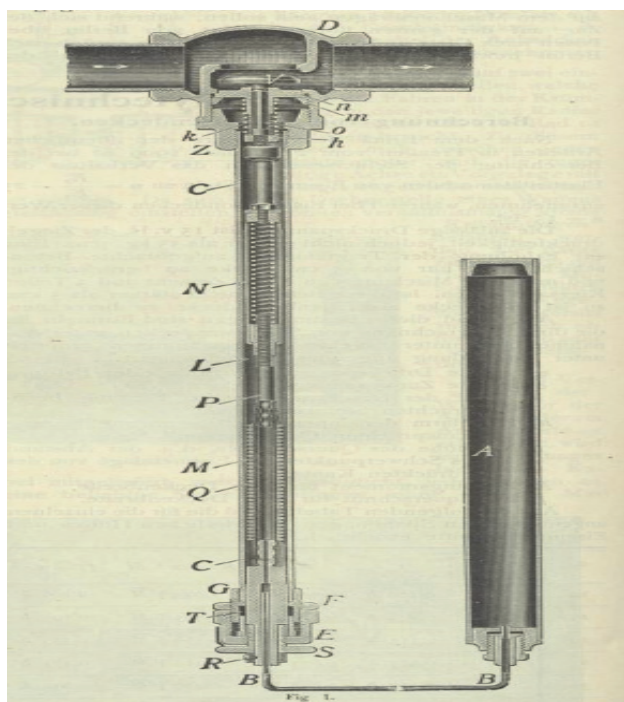
Obr.46 Vačka jako program regulace



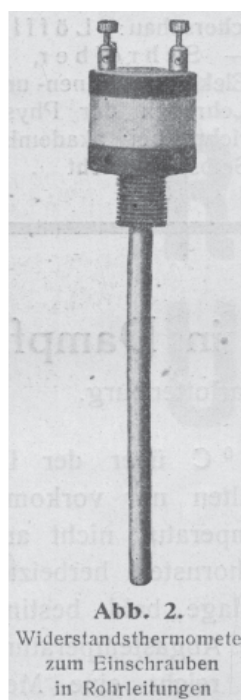
Obr. 47 Vačka jako program regulace teploty

jehož koncích byl připojen zdroj malého stejnosměrného napětí. Odporový dělič definoval malé napětí sčítané s napětím termočláanky zakresleném vlevo nahoře na Obr.47. Tím se uměle

přestavovala měřená veličina a vznikou odchylku kompenzoval padáčkový regulátor, jehož páčky s rtuťovými spinači přitom zůstávaly na místě (Lit.58 ).



Obr. 49 Přímochinný regulátor teploty

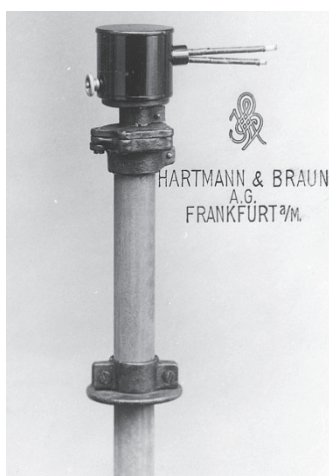


Obr.50 Teploměr

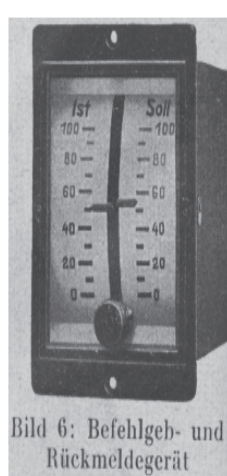
Již od roku 1917 byly k průmyslovému dálkovému měření teplot dodávány odporové teploměry (Obr.50) a termočlánky (Obr.45)(Lit.53 ). V téže době bylo možno automatizační úlohy řešit za pomoci přímochinných regulátorů, jak je vidět z výkresu regulátoru „Temperator“, který byl novinkou v roce 1909 (Lit. 82). Jeho jímka „A“ naplněná kapalinou byla vystavena působení teplot měřeného media. Se zvyšující se teplotou v jímce „A“ narůstal tlak, který působil pomocí kapiláry „B-B“ na pružný vlnovec „Q“. Vlnovec se rozepínal směrem vzhůru a tlačil kuželku ventilu „D“ do sedla ventilu, směrem proti toku regulované topné kapaliny. Pružinami v pouzdru „N“ regulátoru bylo možno nastavit žádanou teplotu, kterou měl přímochinný regulátor samočinně udržovat.



Obr. 51 Teploměr



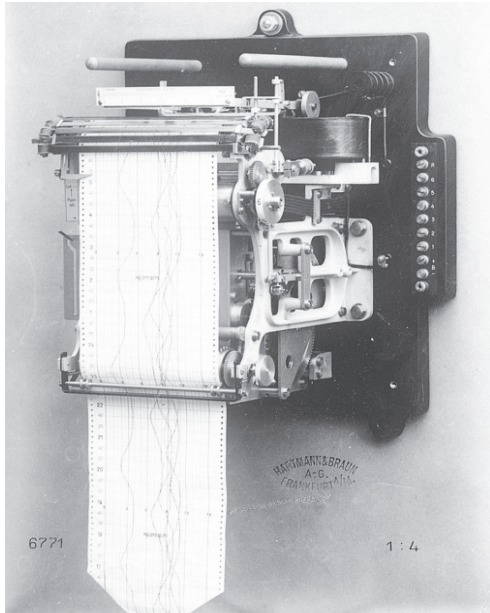
Obr.52 Teploměr



Obr.53 Ukazatel

Fotografie zobrazují teploměry (Obr.51,52) z třicátých let 20.století, na Obr. 53 vidíme panelový

přístroj ukazující žádanou a měřenou hodnotu v procentech. Zapisovače časového průběhu sledované teploty ( Obr.54 – bez ochranného krytu) sloužily k archivaci a zpětné kontrole provozu. Zapisovač mohl mít jeden měřicí přístroj s ukazatelem na stupnici, na vstup měřicího přístroje bylo možno připojovat po sobě více měřených teplot. Tisk bodu na papír se provedl klepnutím ukazatele přes právě nastavenou barvicí pásku. Křivky teplot byly od sebe rozlišitelné odlišnými barvami bodových záznamů na pásu registračního papíru (Lit.55).



Obr.54 Zapisovač

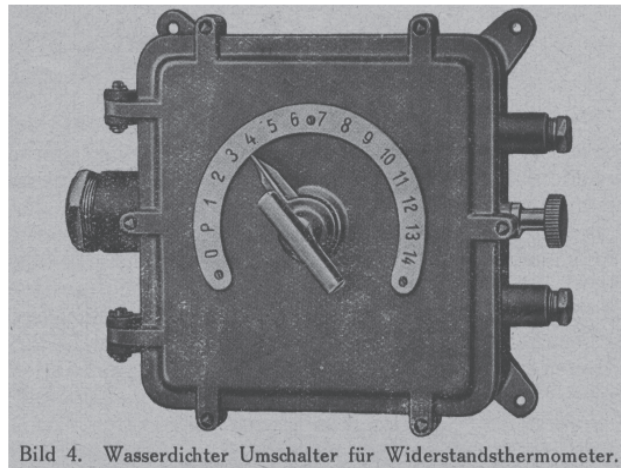


Bild 4. Wasserdichter Umschalter für Widerstandsthermometer.

Obr.55 Přepínač odporových teploměřů

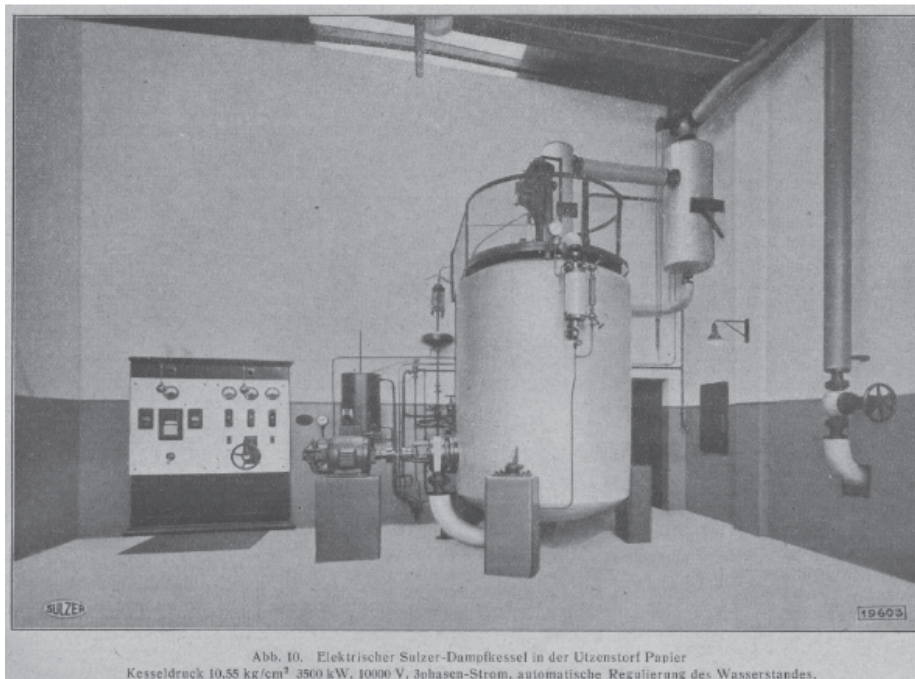
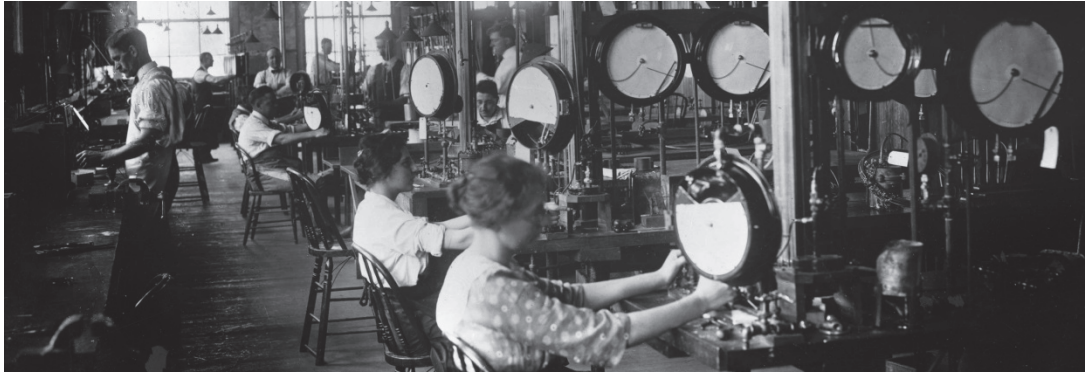


Abb. 10. Elektrischer Sulzer-Dampfkessel in der Utzenstorf Papier  
Kesseldruck 10,55 kg/cm<sup>2</sup> 3500 kW, 10000 V, 3phasen-Strom, automatische Regulierung des Wasserstandes.

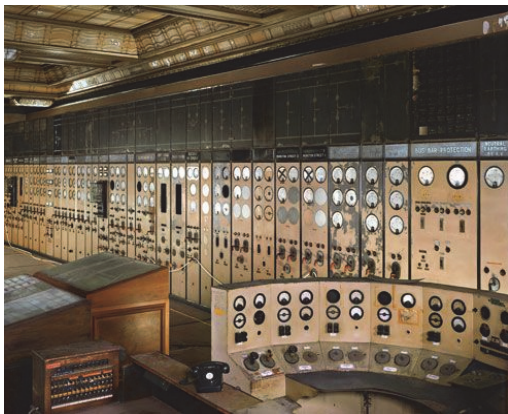
Obr.56

Kotel s elektrickým topením užitý jako vyvíječ provozní páry mohl být již vybaven samočinnou regulací teploty a hladiny se zápisem měřených hodnot na společném řídicím panelu, jak dokládá snímek ze Švýcarska z roku 1928 ( Obr.56)( Lit.90).



Obr.57 Výroba zapisovačů se záznamem na kruhový papír - Foxboro v USA v roce 1920

Na vývoj a výrobu přístrojů sloužících průmyslové automatizaci vznikaly v průmyslových státech specializované společnosti (Obr.57).



Obr.58 Velín tepelné elektrárny



Obr.59 Velín tepelné elektrárny

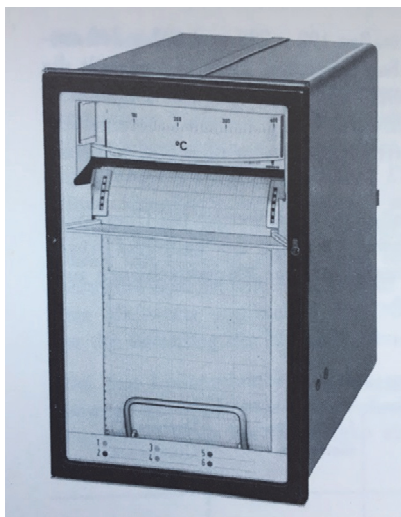


Obr.60 Velín tepelné elektrárny

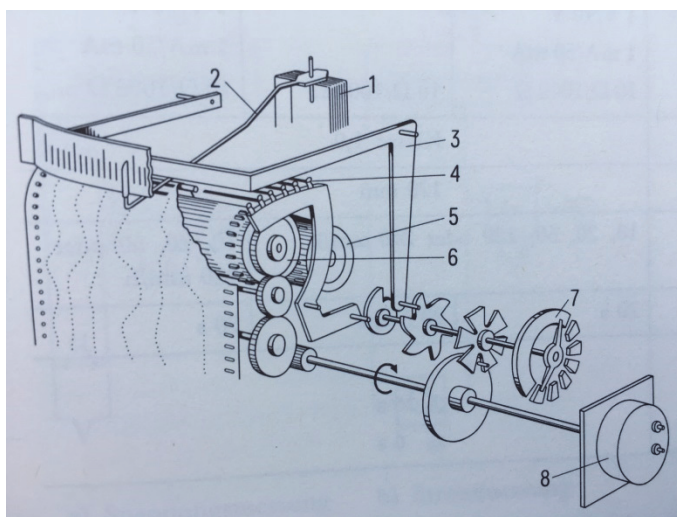


Obr.61 Velín tepelné elektrárny

V třicátých až padesátých letech 20.stolení dosáhla automatizační technika v oblasti regulace teplot patrně největšího rozšíření v tepelné energetice. Na snímcích Obr.58 až Obr.61 vidíme vybavení velínů tehdejších tepelných elektráren. Část přístrojů byla pouze ukazovací, přitom obsluha velínu prováděla regulační zásahy z velínu ručně. Část regulovaných veličin byla řízena samočinnými regulátory. Ukazovací přístroje byly doplněny zapisovači. Zápis na papírové pásy anebo kruhové kotouče z papíru sloužil k rozboru práce zařízení po směnách a byl archivován.

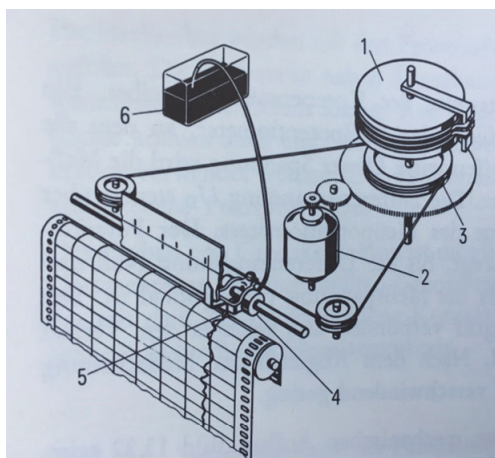


Obr.62 Bodový zapisovač

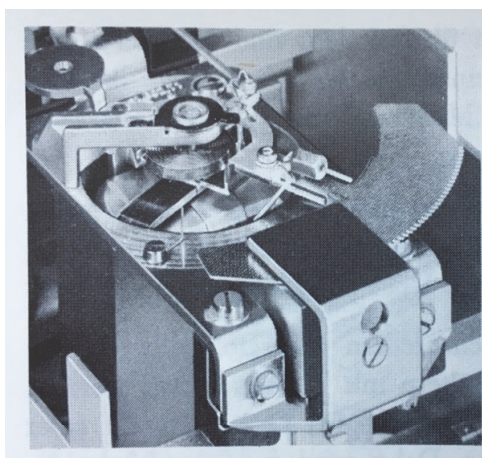


Obr.63 Bodový zapisovač šesti teplot

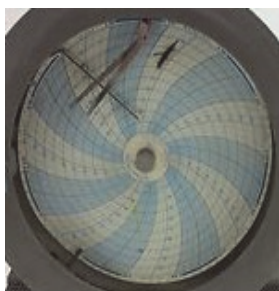
U jiných provedení zapisovačů zápis prováděla trubičková pera s nádobkou plněnou nesnadno usychajícím inkoustem, který bylo třeba včas do nádobek ručně doplňovat (Obr.64). Papírové pásy měly po okrajích děrování do kterého zapadala kolečka s hroty po obvodu sloužící k plynulému posuvu papíru pod pero. Rychlost posuvu papíru byla v krocích nastavitelná (např. 20,40,60mm za hodinu), papírový pás mohl být skládaný. Pro občasné měření anebo zápis teplot sloužily ruční přepínače odporových teploměrů, vyráběné také ve vodotěsném robustním provedení (Obr.55).



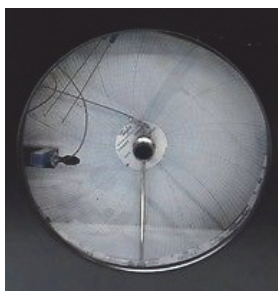
Obr.64 Inkoustový zapisovač



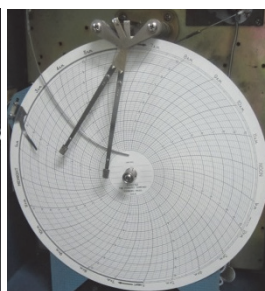
Obr.65 Tlumení kmitů měřícího ústrojí



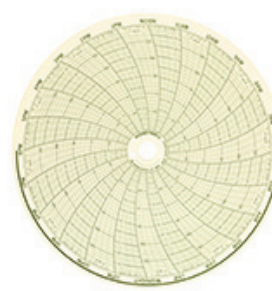
Obr.66



Obr.67



Obr.68



Obr.69

Zapisovače s kruhovým registračním papírem (Obr.66-Obr.67) mohly na jeden kotouč papíru (Obr.68) zaznamenat průběh měřených teplot přehledně za celý den, vyrábějí se v moderní podobě dosud.

Dokonalejším metodám ukazování a regulace teplot vyšla vstříc i mezinárodní metrologie. V roce 1927 vstoupila v platnost mezinárodní dohoda o fixních bodech teplotní stupnice ITC-27. V dohodě byly nově zavedeny krajní hodnoty a sice bod varu kyslíku za normální tlaku  $-182,97^{\circ}\text{C}$  a bod tuhnutí zlata  $+1063^{\circ}\text{C}$ . Dále přibýly k stávajícím fixním bodům  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $+100^{\circ}\text{C}$  a bodu varu síry  $+444,5^{\circ}\text{C}$  body tuhnutí zinku, antimonu, stříbra a zlata. Měření mezi fixními body od  $-182,97^{\circ}\text{C}$  až do  $+650^{\circ}\text{C}$  se prováděla odporovými platinovými teploměry a od  $+650^{\circ}\text{C}$  výše termočlánky z platiny a rhodia Pt/Pt10Rh. Dohoda umožnila výrobcům kontrolovat kalibraci svých teplotních čidel a měřících přístrojů v širším rozpětí teplot. Tím byla rozšířena možnost mezinárodního obchodu a kombinace čidel a přístrojů různých výrobců navzájem. Vyšší teploty byly provozně bezdotykově měřeny již od roku 1921, např. v okolí  $1300^{\circ}\text{C}$  ve sklářské peci (Obr. 70, 71, 72 (Lit. 54 Ardometer Siemens), avšak

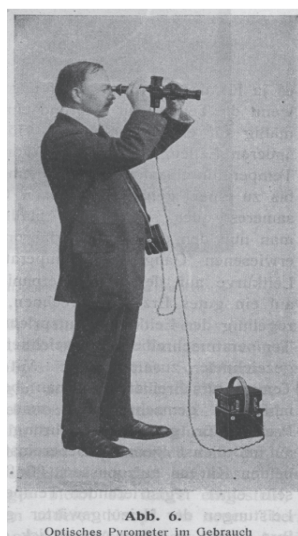


Abb. 6. Optisches Pyrometer im Gebrauch

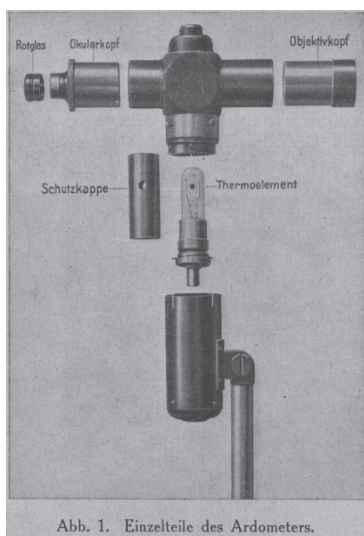


Abb. 1. Einzelteile des Ardometers.

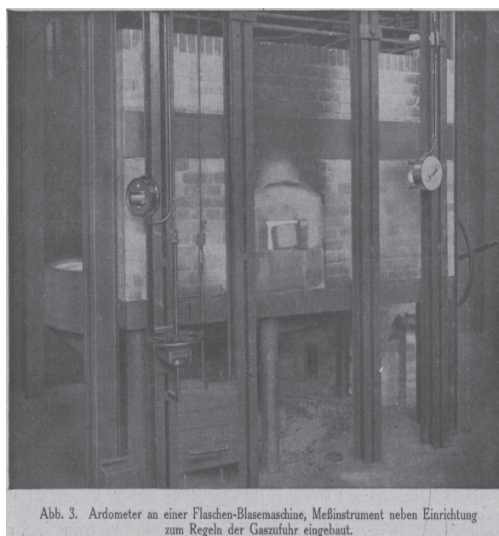


Abb. 3. Ardometer an einer Flaschen-Blasemaschine, Meßinstrument neben Einrichtung zum Regeln der Gaszufuhr eingebaut.

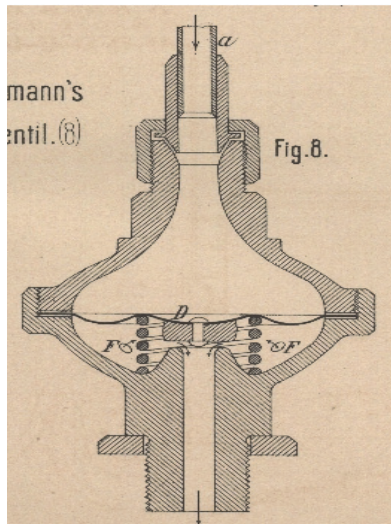
Obr.70 Měření teploty

Obr.71 Měření teploty

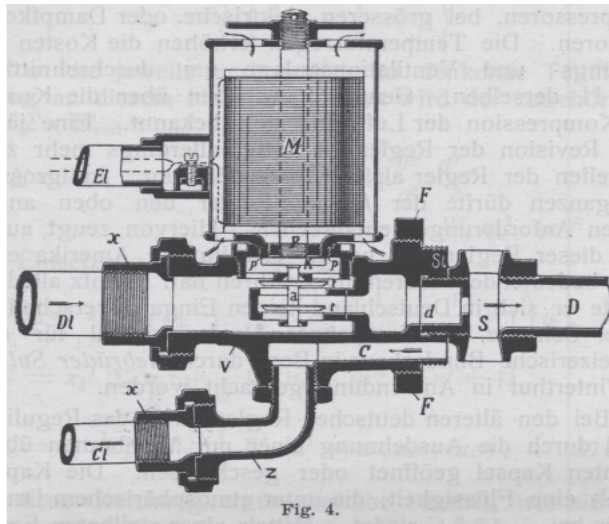
Obr.72 Měření teploty v peci

bez možnosti se opřít o mezinárodně uznávanou stupnici. Na zahrnutí fixních teplotních bodů měřených optickými pyrometry však bylo nutno čekat několik desetiletí.

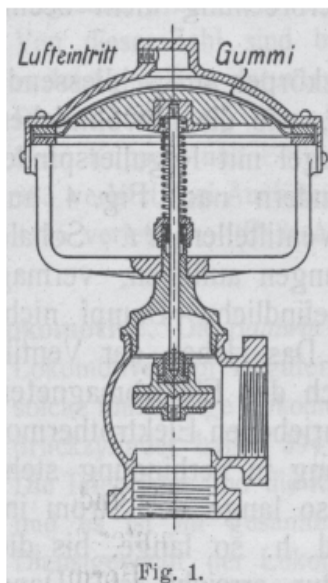
K uskutečnění automatických regulací teplot byly vyráběny samočinně působící ventily. K regulaci průtoku topné vody v ústřemím topení velkých budov byl určen ventil s pohonem tlakovým vzduchem, jak dokládá schema ventilu vyráběného v USA roku 1883 (Obr. 73). Jiné provedení tlakovým vzduchem poháněného ventilu z roku 1906 vidíme na Obr. 74 (Lit. 49). U obou ventilů vstupoval tlakový vzduch do pohonu shora a vyvíjel tlak na pryžovou membránu „D“ směrem dolů. Tlak byl využit k přivírání kuželky ventilu, která omezovala průtok topné vody. Když se tlak vzduchu zmenšil, pak vinutá pružina „F“ zvedala membránu „D“ nahoru a umožnila tím větší průtok topné vody ventilem. Dvoupohový solenoidový regulační ventil na páru z roku 1906 můžeme vidět na Obr. 75 (Lit. 49). Regulátor působil na ventil napětím na cívce „M“, vtažením jádra „P“ do cívky došlo k zvednutí dvousedlového ventilu „t-T“ a pára mohla proudit potrubím „D1“ do „D“. Po vypnutí napětí na cívce „M“ došlo k spadnutí jádra vlastní vahou dolů, napomáhal tomu také tlak páry. Dopadem kuželek do sedel byl elektromagnetický parní ventil opět uzavřen a utěsněn.



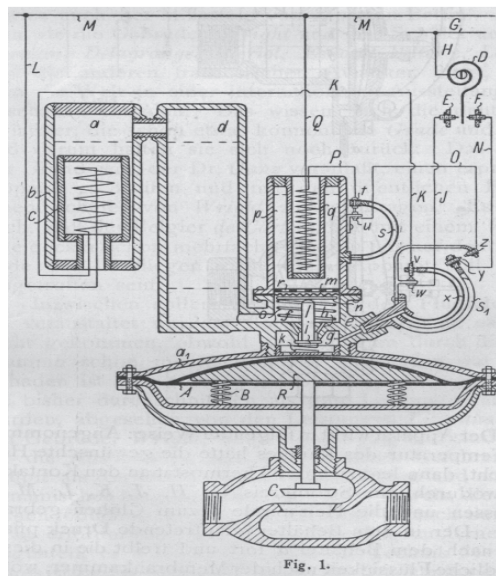
Obr.73 Regulační ventil



Obr.75 Regulační ventil na topnou páru



Obr.74 Regulační ventil



Obr.76 Regulační ventil

Na Obr.76 vidíme velmi komplikovaný regulační ventil z roku 1909 ovládaný dvoupolohovým bimetalickým teploměrem „D“, který vychýlením ke kontaktu „E“ sepnul topný odpor umístěný v komoře „a“. Kapalina v komoře „a“ se rozpěla až do okamžiku sepnutí kontaktů „v-w“. Zvýšený tlak kapaliny působil na membránu „m“ směrem nahoru. Při sepnutí kontaktu „F“ byl naopak připojen ke zdroji topný odpor „q“ v komoře „p“. Rozpínáním kapaliny v komoře „p“ působil tlak na membránu „m“ směrem dolů. Pohyb membrány „m“ ovládal polohu kuželky „l-j“ pomocného ventilu, který zatěžoval anebo odtěžoval membránu „R“ pohonu regulačního ventilu, ta pak zprostředkovala zdvih kuželky „C“ regulačního ventilu (Lit.81) . Ze všech čtyřech vyobrazení je patrné, že konstruktéři užívali už koncem 19.století a na přelomu 19.a 20.století při návrhu pohonů stejných principů jako dosud, totiž elektrické energie, hydrauliky a tlakového vzduchu.



Obr.77 Regulační ventil



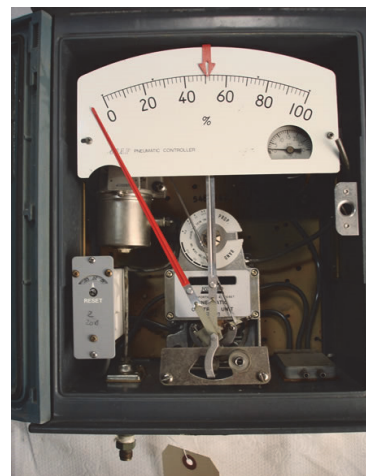
Obr.78 Regulační ventil

Na Obr.77,78 vidíme ukázkou dvou současných regulačních ventilů s pneumatickými pohony, pryžové membrány pohonů jsou vidět nahoře, jsou sevřeny pomocí šroubů. Skříňky s kruhovými tlakoměry jsou elektropneumatické korektory zdvihu ventilů, jedná se o servomotory se zpětnou vazbou.

V průmyslovém prostředí, kde jsou zpracovávány hořlavé látky, doznala uplatnění regulace pracující za pomoci stlačeného vzduchu. Na Obr.80, 81 vidíme dvě ukázky regulátorů zavedených do výroby ve čtyřicátých letech 20.století. Řídicí pneumatické systémy se užívaly hlavně v rafineriích ropy, chemických závodech a později v padesátých až sedmdesátých letech 20.století ve výrobnách plastů. Často bylo nutno převádět pneumatické signály na elektrické a naopak. Pohled za řídicí panel velínu s velkým množstvím převodníků nebyl v té době nijak neobvyklý (Obr.79). K přenosu více pneumatických unifikovaných signálů do jednoho velínu sloužily pneumatické kabely (Obr.82).



Obr.79 Elektropneumatické převodníky v panelu



Obr.80 Pneumatický regulátor

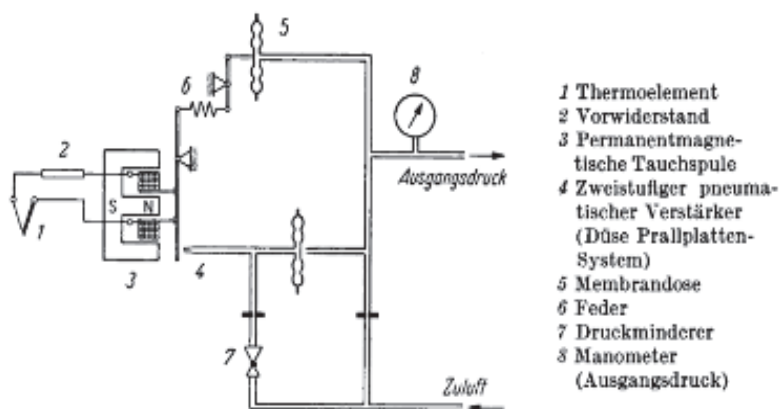


Obr.81 Pneumatický regulátor teploty



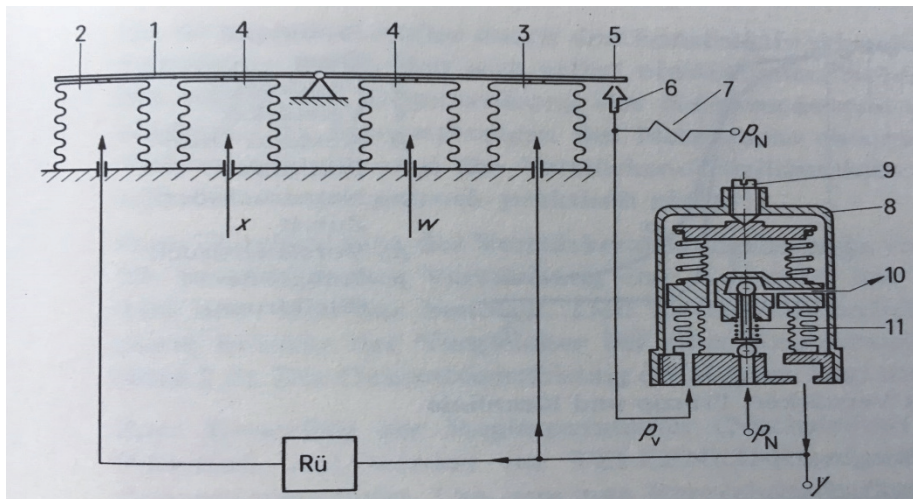
Obr.82 Pneumatický kabel

Na Obr.83 vidíme schéma převodníku teploty měřené termočlánkem (pozice 1), jehož malé stejnosměrné napětí bylo přivedeno na cívku (pozice 3). Se zvýšeným napětím termočlánku se měnil přitah cívky do jádra. Tryska (pozice 4) z ní proudil stlačený vzduch se odtížila a v důsledku toho se snížil tlak vzduchu. Pokles tlaku vzduchu v trysce se projevil ve sníženém tlaku membránové krabice na páku (pozice 5). Dvojzvrtná páka uvolnila tah pružiny upevněné (pozice 6) na další dvojzvrtnou páku, která přivřela výtok vzduchu z trysky (pozice 4). Tímto pochodem se tlak vzduchu ustálil na nové hodnotě, která odpovídala změněnému malému stejnosměrnému napětí termočlánku. Tlak vzduchu v místě výstupu z převodníku (tlakoměr pozice 8) byl přímo úměrný teplotě měřené termočlánkem. Napájecí vzduch přicházel do převodníku reduktorem tlaku (pozice 7). Jednotný (unifikovaný) výstupní signál pro průmyslová měření teploty byl 20 až 100kPa (0,2 až 1 bar, 3-15psi). Napájecí tlak vzduchu pro převodník byl alespoň 140kPa. Pneumatický signál úměrný teplotě mohl být napojen jako měřená veličina na vstup pneumatického regulátoru, na pneumatický zapisovač anebo ukazovací přístroj (Obr.83)(Lit.15).



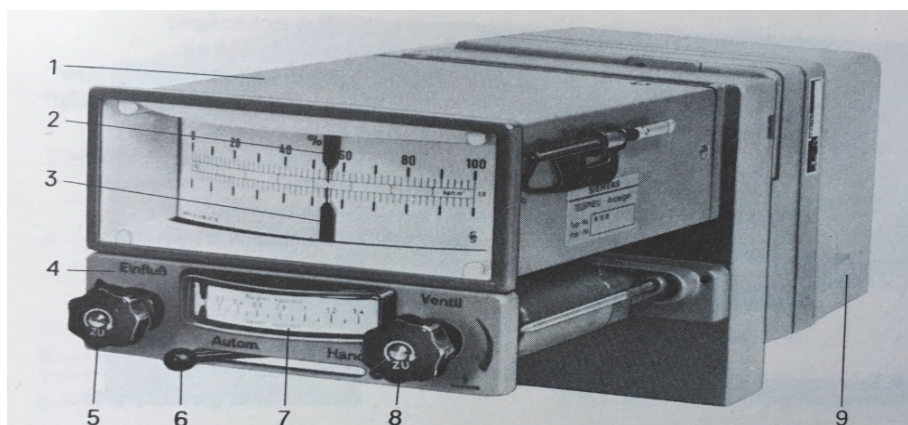
Obr.83 Elektropneumatický převodník teploty

Více převodníků na unifikovaný tlakový signál blízko sebe umožnilo sdružení více potrubí o průměru 6/4mm pomocí pneumatické svorkovnice do jednoho pneumatického kabelu (Obr.82). Pneumatické kabely měly uvnitř souběžně s potrubím také doprovodné vodiče k přenosu elektrických signálů.



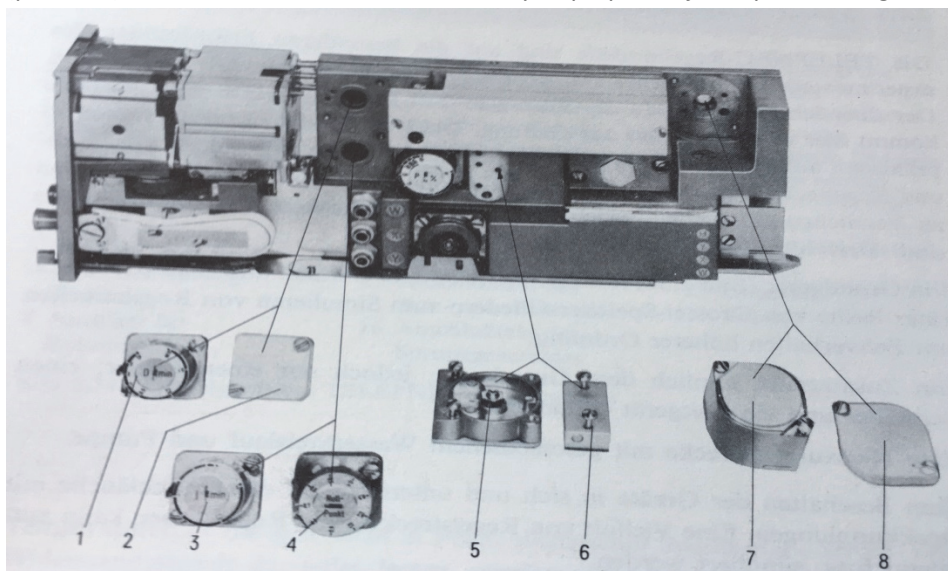
Obr.84 Pneumatický regulátor - princip rovnováhy krouticích momentů

Pneumatický regulátor jen schematicky nakreslený byl napájen vzduchem o tlaku  $P_N$  (Obr.84). Měřenou a regulovanou veličinou byl tlak „ $x$ “ vstupující do pružného vlnovce (pozice 4 vlevo), který se svoji silou snažil naklonit dvojitou pákou. Proti tomuto krouticímu momentu působila síla druhého vlnovce (pozice 4 vpravo). Do vlnovce vstupovala žádaná veličina „ $w$ “, tlak vzduchu úměrný žádané hodnotě teploty. Vpravo na Obr.84 vidíme pneumatický zesilovač (pozice 8), který byl napájen vzduchem o tlaku  $P_N$ . Do prostoru mezi pláští dvou vlnovců vstupoval tlak  $P_v$ , který představoval akční veličinu regulátoru. Účelem pneumatického zesilovače bylo zachovat výstupní tlak  $p_v$  a zajistit dostatečný průtok vzduchu, aby bylo možno pomocí dálkového pneumatického vedení výkonově ovládat regulační ventil s pneumatickým pohonem. Výstupní tlak regulátoru je označen „ $y$ “. Nastavení pracovní tlakové úrovně veličiny „ $y$ “ se dělo justovacím šroubem (pozice 9). Pokud byla uzavřena zpětná vazba uvnitř regulátoru (pozice Rü, vlnovce pozice 2,3), pak měl regulátor funkci proporcionální P, tedy jen násobil a zesiloval rozdíl měřené veličiny „ $x$ “ a žádané veličiny „ $w$ “ a převáděl ho na výstupní tlak „ $y$ “. Zapojením zpětné vazby do obou vlnovců (pozice 2,3) bylo možno nastavit regulátor do funkcí P,PI,PID ( P je proporcionální, PI je proporcionálně-integrační a poslední PID má navíc ještě derivační složku). Regulátor byl navržen tak, aby krouticí momenty na dvojitou páku ( Obr.84 – pozice 1) byly po zakmitání v trvalé rovnováze. Zakmitání mohla způsobit přestavená žádaná hodnota teploty „ $w$ “ nebo také měřením zjištěná odchylka regulované veličiny „ $x$ “.



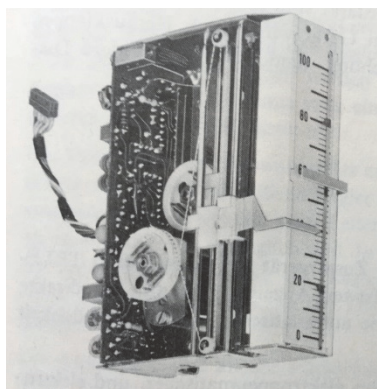
Obr. 85 Pneumatický regulátor k montáži do svislého řídicího panelu

Fotografie na Obr. 85 ukazuje technické provedení pneumatického regulátoru určeného k montáži do svislého panelu velínu. Ručka horního ukazatele (pozice 2) ukazovala žádanou hodnotu nastavitelnou otočným knoflíkem (pozice 5), ručka dolní (pozice 3) ukazovala měřenou veličinou. Vodorovný ukazatel (pozice 7) ukazoval hodnotu výstupního tlaku vzduchu do pohonu regulačního ventilu. Přepínací páčka (pozice 6) umožňovala přepnout regulátor (pozice 9) z levé polohy „automat“ do pravé polohy „ručně“. Byla-li páčka vpravo, pak obsluha velínu kotoučkem (pozice 8) nastavila ručně tlak vzduchu na výstupu přístroje do pohonu regulačního ventilu.

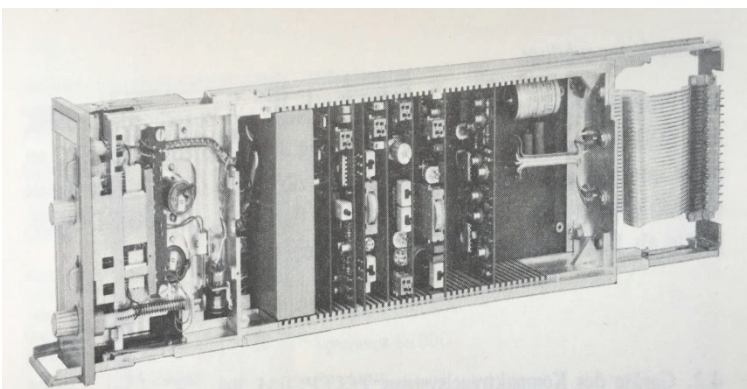


Obr.86 Pneumatický P,PI,PID regulátor do panelu

Další typ pneumatického regulátoru je vidět na Obr.86. Proporcionální regulátor „P“ vynásobil rozdíl měřené a žádané veličiny zesílením a výsledek přičítal k výstupnímu spojitému signálu. Proporcionálně-integrační regulátor „PI“ navíc k výstupu stále přičítal složku nepřímo úměrnou integrační časové konstantě „Ti“ regulátoru. Díl „D“ regulátoru přičítal k výstupu ještě složku derivační úměrnou časové změně rozdílu měřené a žádané veličiny a derivační konstantě „D“. Povšimněme si výměnných modulů (pozice 2,3,8). Jsou-li namontovány v místech označených vztázkami, pak měl pneumatický regulátor funkci P. Jestliže byl namísto záslepky (pozice 2) namontován modul (pozice 1) s číselníkem kalibrovaným v minutách, pak bylo možno nastavit derivační časovou konstantu regulátoru „D“ (Lit.15). Modul (pozice 4) kalibrovaný v minutách namísto původního modulu (pozice 3) umožnil funkci PI a volbu časové konstanty Ti. Záměna (pozice 7) za původní záslepku (pozice 8) rozšířila přechodovou charakteristiku regulátoru z P na PID, s možností nastavit zesílení a časové konstanty na modulech. Regulátory na Obr.85,86 byly vyráběny až do sedmdesátých let 20.století, potom již nastoupily regulátory elektronické, často s mechanickým kompenzačním ukazováním (Obr.87). Jako bývalý technik údržby automatických regulačních přístrojů pocházejících z Japonska, USA a několika evropských zemí ve skutečně velkém chemickém výrobním závodě rád vzpomínám na pneumatické měřicí a regulační přístroje pro jejich spolehlivost, názornost a snadnost údržby.



Obr.87 Kompenzační ukazování



Obr.88 Elektronický regulátor do panelu

Na Obr.87 vidíme elektroniku kompenzačního ukazatele. Mechanický kladkový převod s lankem posouval jezdec ukazující měřenou hodnotu. Vpravo na mechnismu je ukazatel žádané hodnoty.



Obr.89 Elektronický regulátor



Obr.90 Elektronický regulátor

Elektronické regulátory běžné v závěru 20.století již užívaly řádky diod LED namísto kompenzačních ukazovacích mechanismů, na čelní ploše byla foliová tlačítka k zadávání žádaných hodnot a parametrů regulátoru (Obr.89,90). Měřené veličiny určené ke vstupu do regulátorů byly v místě měření převáděny na unifikované (sjednocené) analogové signály. Signály byly napěťové i proudové, většinou 0-10VDC anebo 4-20mA , byly přiváděny do smlouveného rozsahu ohmických odporů. Tato dohoda umožnila s výhodou kombinovat čidla a regulátory různých výrobců mezi sebou.

V třicátých letech 20. století se objevilo na trhu nové čidlo teploty. Americký fyzik Samuel Ruben (1900-1988)( Obr.92) je uznávaným autorem technicky použitelného termistoru. Avšak už Michael Faraday zjistil v roce 1833 významnou závislost ohmického odporu sulfidu stříbrného Ag<sub>2</sub>S na jeho teplotě. Cesta termistoru z laboratoře do běžné praxe však trvala dlouho. Na Obr.93 ,94 vidíme mnohonásobně zvětšené současné termistory. Jejich velikost je několik milimetrů. Jejich velkou předností oproti kovovým odporovým teploměřům a termočládkům je velmi výrazná změna odporu v malém rozsahu teplot. Odpor termistorů může s teplotou klesat (typ NTC) nebo stoupat (typ PTC).



Samuel Ruben (1900-1988)

Obr.92 Samuel Ruben



Obr.93 Termistory

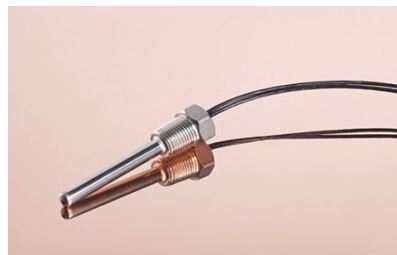


Obr.94 Termistory

Termistorová čidla teploty našla záhy uplatnění v energetice a průmyslu. Na Obr.96,98 vidíme jímky z korozivzdorné oceli se závitem, slouží k ochraně termistorů před agresivní kapalinou nebo plynem.



Obr.95 Elektronický regulátor



Obr.96 Termistorové čidlo teploty



Obr.97 Elektronický regulátor



Obr. 98 Termistorové čidlo teploty

Ukázky současných elektronických průmyslových regulátorů ukazují snímky na Obr.95,97 . K měření vyšších teplot mohou být použity termočláanky . Pro měření nižších teplot jsou v průmyslu užívány odporové platinové teploměry (Obr.100) a termistorová čidla (Obr.96,98).



Obr.99 Průmyslový zapisovač



Obr.100 Čidlo teploty Pt100 v třívodičovém zapojení

Moderní průmyslový zapisovač o čelních rozměrech 157x157mm k současnému zápisu až 12 křivek teplot v čase je elektronický (například model na Obr.99). Napojeno může být 10 druhů normalizovaných termočlánků a odporové teploměry Pt100. Časový průběh měřených hodnot je ukazován na obrazovce zapisovače a ukládán do paměti přístroje. Získaná data lze předávat v komunikační síti.



Obr.101 Převodník teploty Pt100 na signál 4-20mA



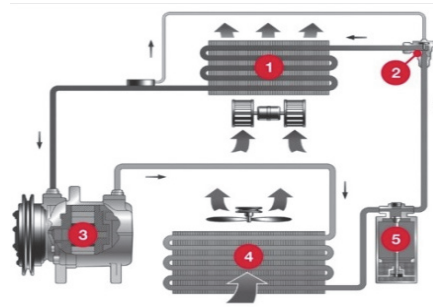
Obr.102,103 Převodník v hlavici čidla teploty

Průmyslové měření teploty dosud často využívá převod údaje o teplotě na sjednocený analogový (unifikovaný) signál přímo v místě měření. K běžným signálům tak jako před lety patří proudový signál 4-20mA anebo napěťový spojitý signál 0-10VDC.

Nyní se podívejme nakolik se pokroky v automatizaci a technickém měření teplot v energetice i průmyslu projeví v našem současném nejbližším okolí (rok 2017). Domácí použití regulace teploty při chlazení ledničky máme denně na očích, skryt nám však zůstává běžný termostat s čidlem na konci svinuté kapiláry (Obr.104). Termostat slouží jako přímočinný regulátor teploty k sepnutí jednofázového motoru zapouzdřeného kompresoru chladicího okruhu ledničky. Téměř v každém novém osobním autě je instalována klimatizační jednotka. Náčrtek vidíme na Obr.105. Stejně jako v běžné ledničce nalezneme v okruhu kompresor (pozice 3 zcela vlevo na Obr.105), který stlačí plyn před jeho kondenzací ve srážníku (pozice 4). Chladicí kapalina postupuje pod tlakem dál do filtru (pozice 5) k vyčištění. Přímočinný regulátor teploty chladicí kapaliny před vstupem do odparníku (pozice 2 – Obr.105) je zde vybaven čidlem umístěným na potrubí za výparníkem (pozice 1). Regulační ventil je označen číslem 2. Skupenské teplo potřebné k odpaření kapaliny je odnímáno ochlazenému vzduchu, který je hnán ventilátorem do prostoru s cestujícími.



Obr.104 Termostat ledničky



Obr.105 Klimatizace v autě



Obr.106 Nástřikový ventil



Obr.107 Termistorové čidlo

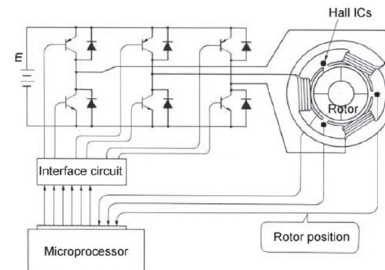


Figure 1-2 BLDC drive system with a inverter and hall sensors

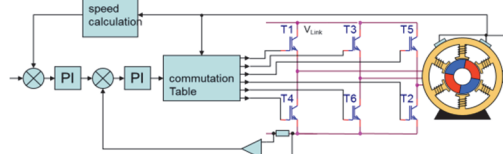
Obr.108 Digitální inverter

Domy s centrální klimatizací vyžadují výkonnější chlazení. K nástřiku chladicí kapaliny do výparníku jsou tam užity elektrické solenoidové ventily (Obr.106) spínané elektronickým regulátorem. Jako čidla teploty se v centrální klimatizaci budov s výhodou užívají termistory (Obr.107).

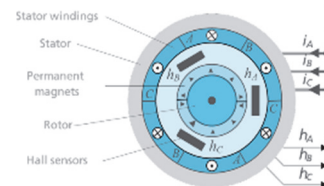
Pokročilejší ledničky jsou k pohonu kompresorů vybaveny digitálními inverty (Obr.109). Namísto indukčního jednofázového střídavého motoru s pomocnou fází vytvořenou prostřednictvím samočinně odepínaného kondenzátoru je v nich užít jiný motor. Jeho rotor je tvořen stálými (permanentsními) magnety (obr.108,110,111). Rotující elektromagnetické pole statoru je vytvářeno postupným spínáním napětí vinutí statoru, jak naznačuje schéma motoru (Obr.111). Proudů jednotlivých vinutí jsou označeny  $i_A, i_B, i_C$ . Skutečně dosažené otáčky za jednotku času snímají sondy pracující na základě Hallova jevu (Obr.111). Rychlost otáčení rotoru zjištěná měřením je zavedena zpětnovazebně do elektronické regulace otáček motoru (Obr.110). Číslkové regulátory (PI Obr.110) řídí podle teploty v ledničce rychlost spínání napájecího napětí jednotlivých vinutí statoru.



Obr.109



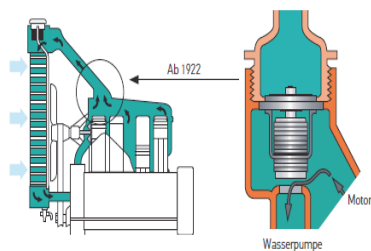
Obr.110 Regulace otáček motoru



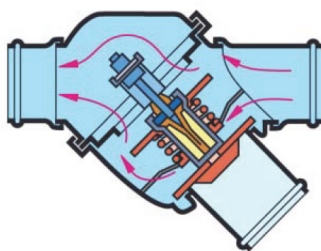
Obr.111 Schéma motoru

Výhodou nového technického řešení za pomoci digitálního invertoru je přesné sladění generace chladu s jeho potřebou a lepší mazání kompresoru při jeho postupném náběhu na provozní otáčky.

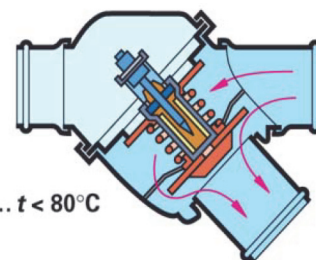
Automatická regulace teploty pronikla do chlazení spalovacích motorů automobilů. Původní přímočinné přepouštění chladicí vody do chladiče v nuceném oběhu bylo zavedeno už v polovině dvacátých let 20.století, využívalo k regulačnímu zásahu roztažnosti materiálu ventilu (Obr.112). Běžné provedení přímočinných regulátorů užívá v současnosti tuhnutí a roztažnost měknoucích materiálů jako je vosk. Na Obr.114 je v řezu znázorněna poloha regulátoru při startu studeného motoru, píst s hrotem je uvnitř válce obsahujícího ztuhlý vosk. Chladicí voda obíhá nuceným oběhem jen v motoru. Při dosažení teploty vody nad  $+80^{\circ}\text{C}$  (Obr.113) vosk ve válci změkne, rozepíná se s teplotou a píst opouští válec. Zdvih válce stlačuje pružinu, plochá kuželka ventilu dosedne na sedlo. Chladicí voda může nyní proudit potrubím od motoru k chladiči (doleva na Obr.113)(Lit.156,157).



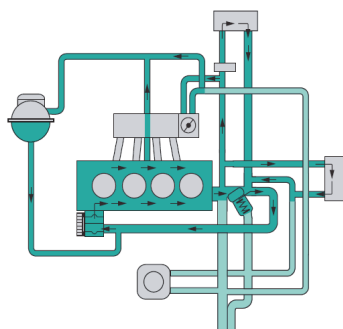
Obr. 112 Regulace chlazení



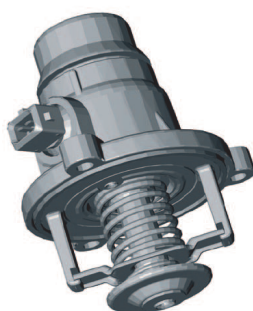
Obr.113 Přímochinný regulátor



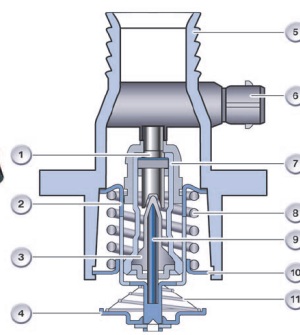
Obr.114 Přímochinný regulátor



Obr.115 Chladicí okruh motoru

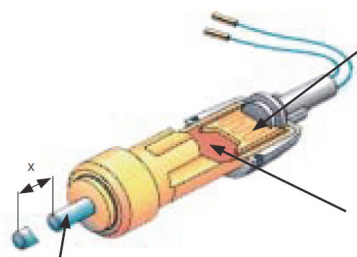


Obr.116 Ventil

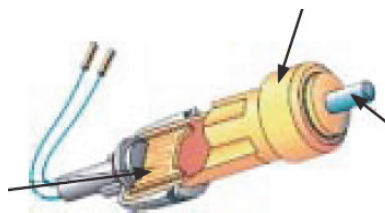


Obr.117 Řez ventilem

Pokročilejší chladicí systémy spalovacích motorů (Obr.115) užívají k regulaci teploty chladicí vody elektronicky řízené ventily (Obr.116,117). Na náčrtku chladicího systému je zapojen malý okruh při startu studeného motoru (Obr.115). Řídící impuls přichází do ventilu z elektroniky a jeho délka trvání je výsledkem výpočtu provedeného v elektronice motoru (Lit.156,157). Kabel přichází průchodkou (poz.6 Obr.117) a slouží k napájení elektrického ohřevu vosku – elastomeru (pozice 3) pomocí topného odporu (pozice 1), který je pracovním pouzdru (pozice 7). Pracovní píst (pozice 9) je následkem objemového roztahování vosku při ohřevu stlačován dolů, proti odporu vinuté pružiny (pozice 8), kuželka ventilu (pozice 4) klesá dolů. Na Obr.119 vidíme zdvih pístu jiného konstrukčního provedení pohonu ventilu, kde šipka vlevo ukazuje na topný odpor, šipka zcela vpravo ukazuje na píst. Při výpočtu elektrického výstupu na regulační ventil chlazení (Obr.116) elektronika motoru zpracuje údaje od teploty chladicí vody, otáček motoru, zátěže motoru, teploty chladicího okolního vzduchu a také od teploty paliva motoru (čidlo teploty paliva je vidět na Obr.120).



Obr.118 Zdvih pístu



Obr.119 Pohon ventilu

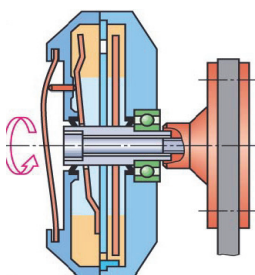


Obr.120 Čidlo teploty paliva

K měření teplot se používají čidla s termistory (např. Obr.120,125) opatřená spojitým elektrickým výstupem. Pokročilejší konstrukce však spojují části elektroniky osobního auta mezi sebou společnou digitální sběrnici CAN, tomu se přizpůsobily i výstupy čidel teploty (Obr.123). Součástí chladicího



Obr.121 Ventilátor chlazení



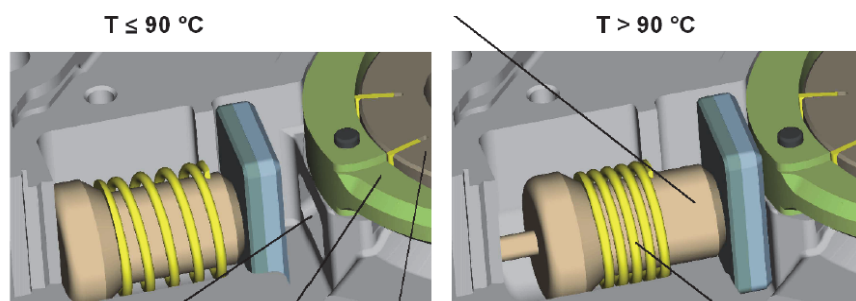
Obr.122 Řez ventilátorem



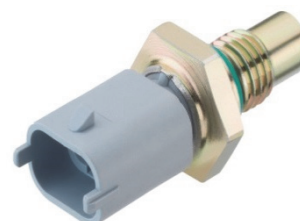
Obr.123 Převodník teploty s CAN

okruhu motoru může být adaptivní ventilátor chladiče. Ventilátor s elektrickým pohonem (Obr.121) obsahuje hydraulickou spojku, která je vidět v aktivním stavu na Obr.122. Otevřený otvor nahoře v přepážce ventilátoru umožní průtok oleje a tím hydraulický přenos krouticího momentu z hnacího kotouče vpravo (z čerpadla) na hnaný kotouč vlevo (turbinu) ventilátoru. Jestliže v průběhu chlazení přestane chladič sálat na ventilátor, pak klesne teplota tělesa ventilátoru. Bimetalická záklopka se ochladí také, napřímí se a zakryje otvor přepouštějící olej z komory čerpadla na turbinu ventilátoru, rotor ventilátoru se pak přestane otáčet.

Teplotu motorového oleje regulují novější olejová čerpadla pomocí mechanické přímočinné regulace (Obr.124). Náčrtek ukazuje vlevo polohu regulátoru při teplotě oleje do 90°C, kdy destička ventilu odkryla sedlo obtokového ventilu. V pravé části Obr.124 je vidět polohu přímočinného regulátoru při teplotě motorového oleje vyšší než 90°C. V této poloze je pružina stlačena válcem a obtok je uzavřen destičkou ventilu, olej směřuje do chladiče. Přímočinný regulátor využívá ke své činnosti roztažnosti vosku v pracovním válci v závislosti na teplotě oleje.

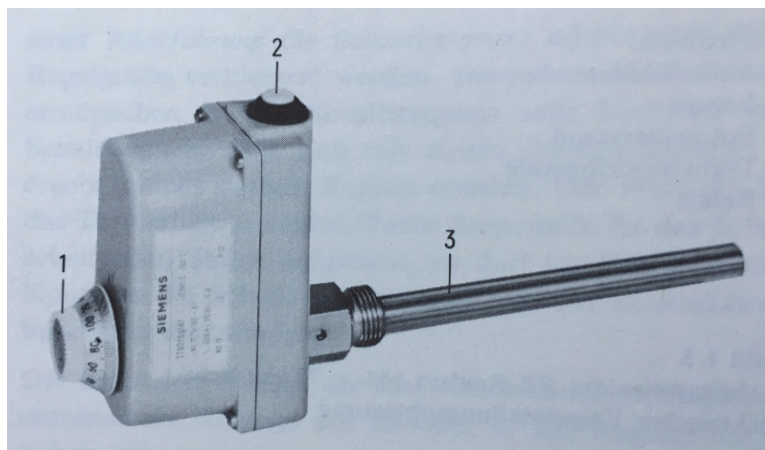


Obr.124 Přímočinná regulace teploty motorového oleje obtokem čerpadla

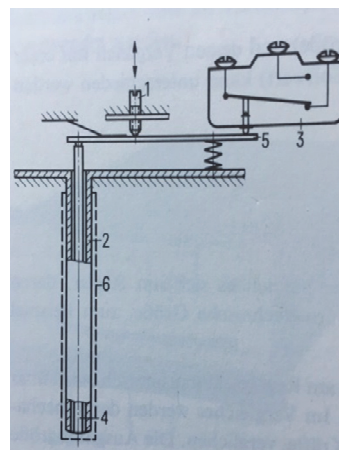


Obr.125 Čidlo teploty

Domácnosti jsou v současnosti vybaveny více regulacemi teplot. Jednou z nich je využití termostatu



Obr.126 Termostat zásobníku teplé vody

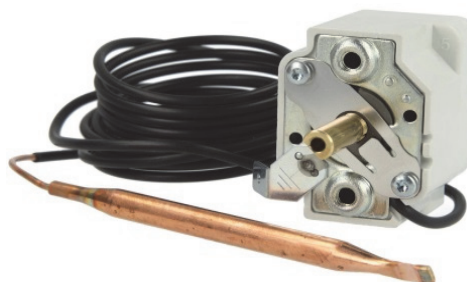


Obr.127 Schéma termostatu

jako přímočinného regulátoru teploty zásobníku teplé vody. Na Obr.126 vidíme provedení z šedesátých let 20.století, které se vzhledem příliš neliší od současného regulátoru (Obr.128). Princip spínání elektrického obvodu topného odporu zůstává (Obr.127). Vidíme ochrannou jímku (pozice 6), trubku (pozice 2) a tyč (pozice 4). Rozdílnou délkovou roztažností tyče a trubky při zvýšení teploty vody dojde k pohybu tyče vzhůru. Tyč tlačí na dvojzvratnou páku (pozice 5). Teplota vypnutí se nastaví šroubem (pozice 1 na Obr.127, 126). Mřížkový spínač (pozice 3 na Obr.127) již vypne obvod elektrického odporového topného tělesa. Při ohřevu vody je pochod opačný.



Obr.128 Přímochinný regulátor teploty

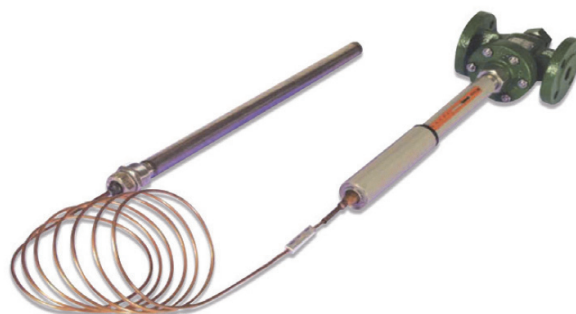


Obr.129 Termostat kotle

Stále se můžeme setkat v současnosti s klasickými přímočinnými regulátory teploty, kdy větší společné zásobníky užitkové teplé vody vytápí horká voda. Průtok topné horké vody je dle nastavení žádané teploty regulován ventilem (Obr.130,Obr.131). Přímochinné regulátory vyvozuji vyšší tlak kapaliny uzavřené v jímce na pohon regulačního ventilu, který je s přímočinným regulátorem teploty spojen těsnou tlakovou kovovou kapilárou.

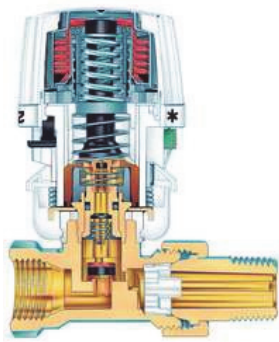


Obr.130 Regulátor teploty

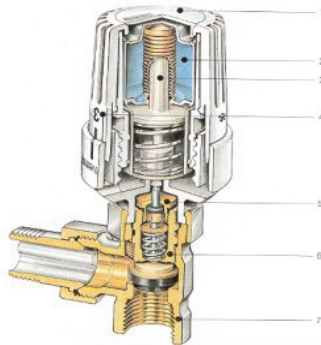


Obr.131 Přímochinný regulátor teploty

Na Obr.133,134 vidíme v řezu teplovodní regulační ventily pro tělesa domácího ústředního topení. Přímočinný regulátor teploty využívá opět roztažnosti vosku s teplotou. Pracovní píst ve vlnovci (pozice 3 na Obr.134) se stoupající teplotou vosku stlačuje pružinu a kuželku ventilu (pozice 5) dolů, ventil se uzavírá. Počáteční nastavení polohy kuželky ventilu se provede otočnou krytkou se stupnicí (pozice 1). Ventil topného teplovodního tělesa s bateriovým napájením a radiovým přijímačem pracujícím v místní síti ve volném radiovém pásmu 868MHz je vidět na Obr.135,137. Jeho ovládání provádí ústředna ústředního vytápění. Ventil reguluje programem dálkově navolenou teplotu tělesa pomocí kuželky, která je poháněna malým elektromotorkem.



Obr.133 Ventil



Obr.134 Ventil



Obr.135 Ventil s ovládáním radiem



Obr.136 Ventil s topným kabelem

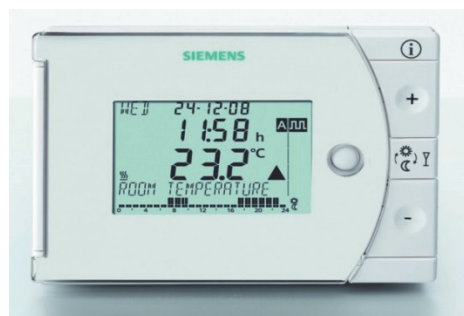


Obr.137 Ventil s ovládáním radiem

Skromnější provedení dálkového ovládání ventilu teplovodního topného tělesa ukazuje Obr.136. Zde ústředna napájí topný odpor vosku v regulačním ventilu kabelem a tím zavírá a otevírá přítok topné vody na vstupu do tělesa. Už nás nepřekvapí řídicí systém pro kotle ústředního topení, kde řízení teplot v místnostech pohodlně nastavíme po dnech a hodinách v týdnu (Obr.138, Obr.139)



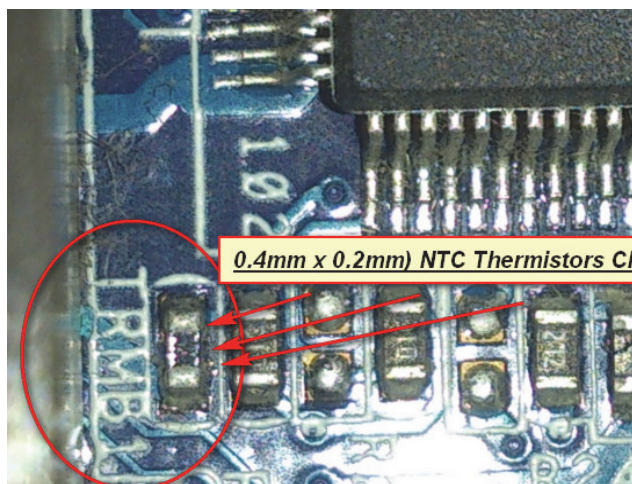
Obr.138 Řídicí systém teplovodního kotle



Obr.139 Ovládací jednotka vytápění



Obr.140 Regulátor s Ethernetem



Obr.141 Měření teploty na základní desce PC

Současné elektronické regulátory teploty vytápění nebo klimatizace pro domácí použití poskytují nečekaný komfort, mohou v místě spínat například větrání pomocí relé a obousměrně komunikovat s uživatelem na dálku pomocí Ethernetu (Obr.140).



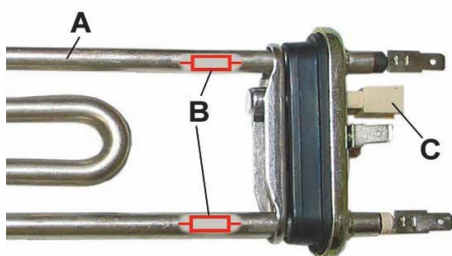
Obr.142 Panel pračky



Obr.143 Panel pračky



Obr.144 Panel domácího sporáku



Obr.145 Topné těleso domácí pračky

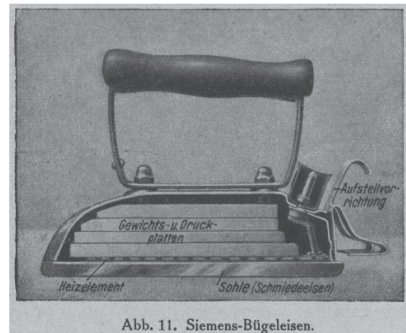


Obr.146 Teploměr pračky



Obr.147 Varná konvice

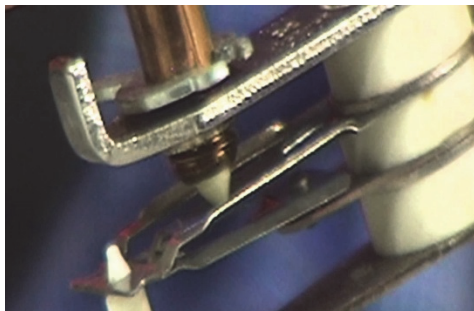
Nepřekvapuje, že moderní domácí pračky umožňují nastavení teploty a otáček u jednotlivých předvolitelných programů (Obr.142,143) a vzápětí pomocí elektronického regulátoru teplotu a otáčky přesně dodržují. Na Obr.145 vidíme topné těleso pračky „A“ se dvěma tavnými pojistkami „B“ a čidlem teploty „C“ (Obr.146). Poněkud skrytě probíhá měření a regulace teploty na základní desce osobního počítače za pomoci ventilátoru s proměnnými otáčkami (Obr.141). Naopak dobře lze sledovat průběh teplot v novějším domácím sporáku, který se mění v čase podle navoleného programu k přípravě pokrmu (Obr.144). Varná konvice s volitelnou žádanou hodnotou teploty regulovanou pomocí elektroniky v základně konvice je vidět na Obr.147.



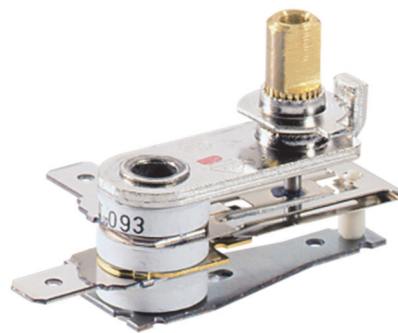
Obr.148 ,149 Ponorný vaříč s dálkovým ovládáním na wifi Obr.150 Žehlička bez regulátoru

Dálková změna žádané hodnoty PID regulátoru teploty v ponorném vaříči navíc vybaveného cirkulačním čerpadlem varné vodní lázně v hrnci na sporáku za pomoci wifi, internetu a mobilního telefonu je v současnosti „dětskou hračkou“ (Obr.148,149) (Lit.185).

Ještě poznámka na závěr výletu. Elektrické žehličky s dvoupolohovou regulací teploty se na trhu objevily prvně v roce 1925. Do té doby byly žehličky z elektrickým topením vyráběny bez regulace teploty (např. Obr.150). Může nás na druhou stranu potěšit, že novější i starší domácí žehličky mají stále v principu stejný bimetalový regulátor teploty, který mžikově vypne elektrické vytápění při dosažení předvolené teploty žehlicí plochy (Obr.152,153).



Obr.151 Kontakty regulátoru teploty



Obr.152 Bimetalický regulátor teploty

Tolik k samočinné regulaci teplot v domácnosti.

## 2. Automatická regulace hladiny

\*\*\*\*\*

První prakticky užívané samočinné regulace hladiny nízkotlakých parních kotlů byly řešeny jako přímočinné, bez přívodu vnější energie. Pára byla určena k pohonu parních strojů.

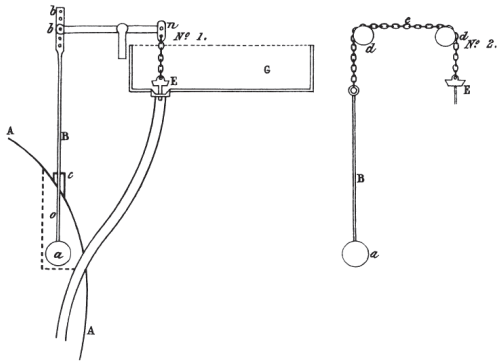
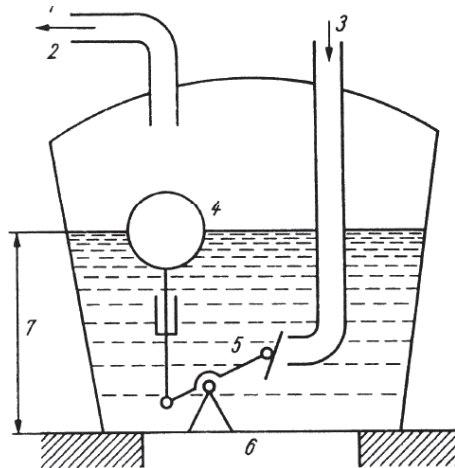


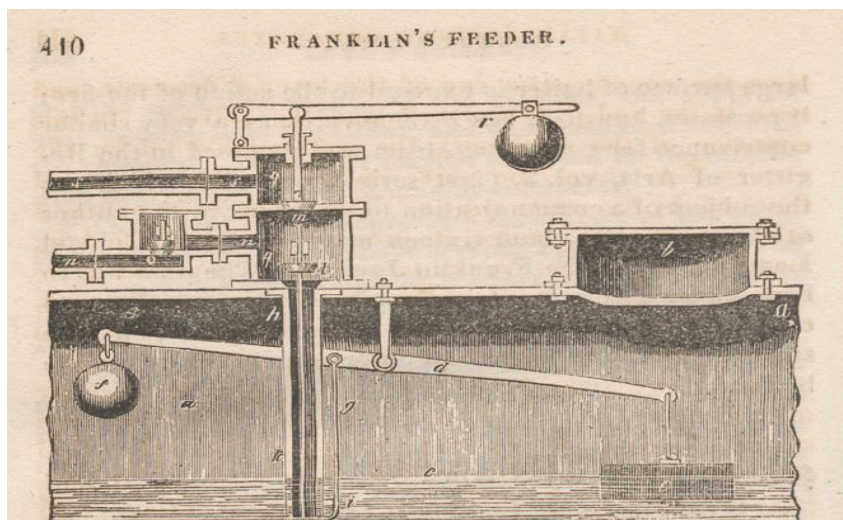
Figure 48 Boiler level regulator of S. T. Wood.



Obr.153 Samočinná regulace hladiny

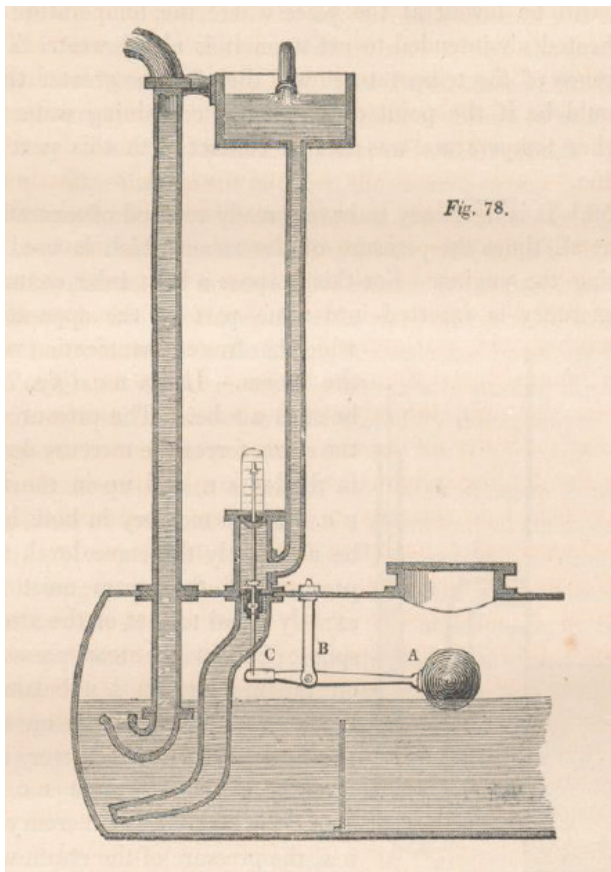
Obr.154 Samočinná regulace hladiny v parním kotli

Obrázek (Obr.153) ukazuje princip samočinného doplňování parního kotle vodou. Výkres je založen na dokumentaci britského patentu č.1447 z roku 1784, který obdržel vynálezce Sutton Thomas Wood. Plovák je označen „a“, stavitelné táhlo pak „B“. Dvojitá páka při poklesu hladiny zdvihla za pomoci řetězu ventil „E“, voda mohla protékat z nádrže „G“ do parního kotle „A“. Schéma na Obr.154 ukazuje rekonstrukci způsobu regulace hladiny v parním kotli užitou ruským vynálezcem Ivanem Ivanovičem Polzunovem v roce 1765. Polzunov sestavil v letech 1763-1766 v obci Barnaul na Sibiři podle vlastního návrhu atmosférický dvouválcový parní stroj. Jeho vynález a dokumentace upadly v zapomnutí a byly objeveny v roce 1882 při zkoumání písemností z pozůstalosti (Lit.129). V konstrukčním pojetí Polzunova byla při poklesu hladiny v parním kotli a tím i plováku (pozice 4) pomocí dvojitá páka otevřena klapka nátoky vody (pozice 5). Voda pak mohla do kotle přitékat ze zásobní nádrže (pozice 3).(Lit.184).

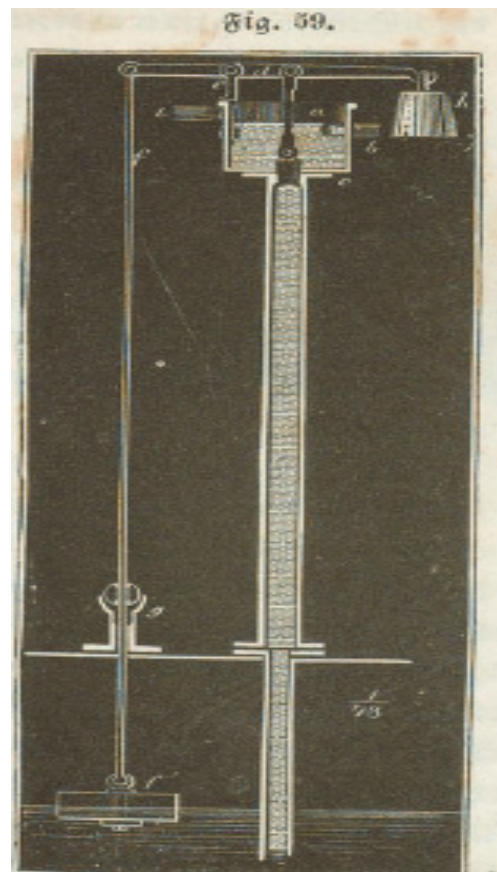


Obr.155 Regulace hladiny

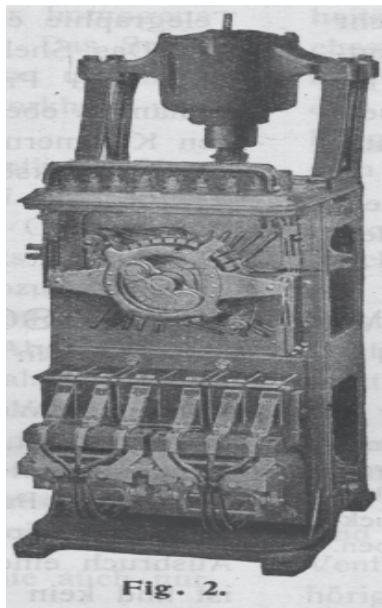
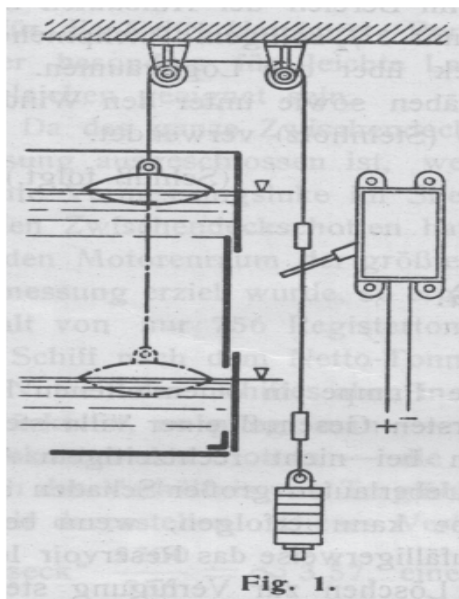
Technická příručka z roku 1830 informuje čtenáře o způsobu samočinného doplňování vody do parního kotle, které bylo vynalezeno v roce 1825 (Lit.13)(Obr.155). Uvnitř kotle vidíme dvojitou páku "d", na jejím pravém konci byl kyvně upevněn plovák, na levém konci páky bylo zavěšeno závaží. Při poklesu plováku se zvedalo táhlo "g" na jehož konci byla vzpěra zvedající ventil "l", napájecí voda mohla protékat do kotle. Po zvednutí plováku zpět nahoru se napájecí ventil opět uzavřel. V dalších technických příručkách z 19. století se princip opakoval. Na Obr.156 vidíme vzpěru „B“ upevněnou ve stěně kotle. Vpravo na dvojitou páku byl upevněn dutý plovák „A“, který při nedostatku vody poklesl dolů. Čep „C“ na levém konci páky zvedal táhlem kuželku ventilu, který do kotle dopouštěl vodu z otevřené zásobní nádoby. Po zvýšení hladiny vody v kotli plovák „A“ ventil pákou opět uzavřel. Nad ventilem vidíme průchodku a táhlo se stupnicí na které lze odečíst polohu ventilu. Technická příručka z roku 1840 navíc doporučovala umístit vyústění trubky s napájecí vodou blíže k odtahu spalin, kde je nižší teplota vody (Lit.19). Kotel byl nízkotlaký, jak plyne z výše sloupce napájecí vody. Příručka vydaná v roce 1848 doporučovala automatické napájení kotle podle Obr.157 (Lit.91). Vlevo dole na obrázku vidíme plovák se svislým táhlem, které bylo upevněno vlevo v čepu dvojitou páky. Na levém okraji nádoby s napájecí vodou byla vzpěra opatřená čepem. Páka se kolem čepu mohla otáčet. Pomocí poklesu plováku byl pákou zdvižen ventil umístěný v ose svislého potrubí, voda mohla protékat do kotle. Po doplnění vody do kotle plovák svým zdvihem napájecí ventil uzavřel. Páka byla staticky vyvažována závažím „r“



Obr.156 Regulace hladiny v kotli



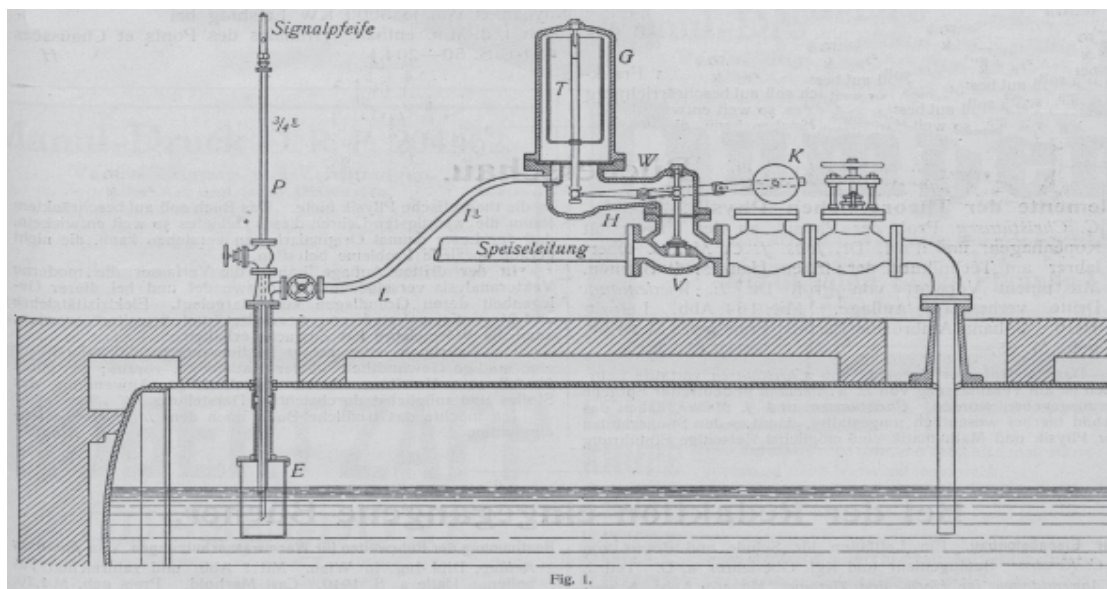
Obr.157 Regulace hladiny v kotli



Obr.158 Regulace hladiny v kotli

Obr.159 Spouštěč elektromotoru

Odborný časopis z roku 1912 doporučoval svým čtenářům na uvážení příklad samočinné regulace hladiny za pomoci plováku zavěšeného přes dvě kladky na závaží (Obr.158)(Lit.51). Pod kladkami byly na lanku dvě narážky, které podle krajních poloh plováku buď zapnuly nebo vypnuly čerpání vody pomocí páčky elektrického rozvaděče se spouštěčem elektromotoru ( vpravo na Obr.158). Soudobé provedení spouštěče elektromotoru k řešení této úlohy regulace hladiny ukazuje Obr.159 (Lit.51).

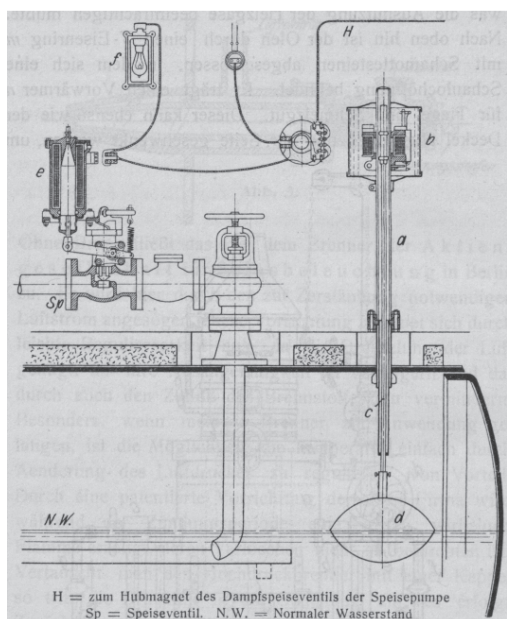


Obr.160

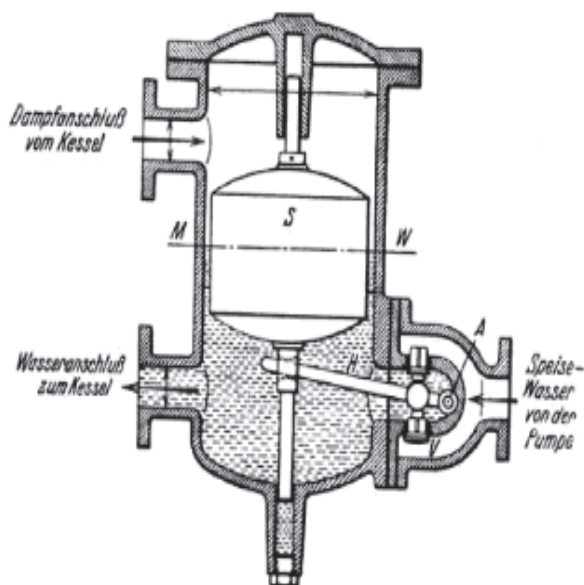
Regulace hladiny v ležatém parním kotli

Odborný článek z roku 1910 seznamoval svoje čtenáře se zapojením k samočinné regulaci hladiny (Obr.160)(Lit.83). Uvnitř kotle byla umístěna sonda „E“, která měla za úkol zjistit pokles hladiny pod úroveň danou polohou právě ukazovanou na Obr.160. Jestliže hladina klesla pod kraj trubky sondy „E“ s větším průměrem, pak se pára dostala do prostoru mezi oběma trubkami a pokračovala potrubím „L“ do zařízení k samočinnému napájení vodou. V tělese „G“ a „W“ došlo ke kondenzaci

páry, kondenzátem byl nadlehčen plovák „T“ upevněný táhlem na levém konci dvojitě vratné páky, která byla staticky vyvažována závažím „K“. Nadlehčená kuželka ventilu „V“ umožnila přítok tlakové napájecí vody z potrubí vlevo od ventilu „V“. Přitékající voda i kondenzát z tělesa „W“ způsobily zvýšení hladiny v kotli nad úroveň danou koncem trubky sondy o větším průměru, tím byl ukončen průtok páry do zařízení k samočinnému doplňování vody. V případě poruchy samočinného doplňování vody poklesla hladina v kotli až pod konec trubky s menším průměrem umístěné v sondě „E“, pára se dostala vzhůru do potrubí „P“ k parní píšťalce namontované nahoře na konci potrubí „P“. Zvuk píšťalky byl určen k zburcování obsluhy kotelny ( Lit.83 ).



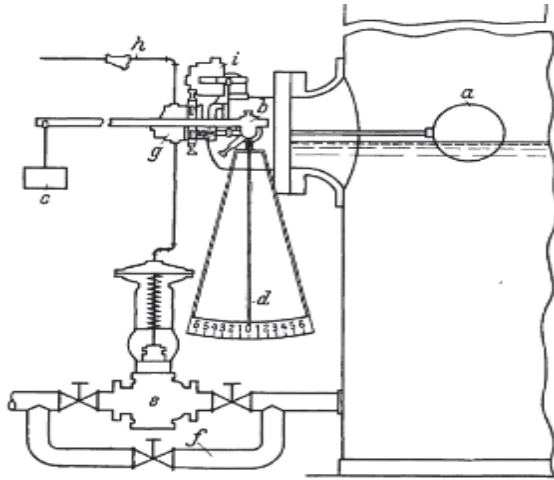
Obr.161 Regulační hladiny v kotli



Obr.162 Přímý regulátor hladiny

Odborná kniha z roku 1934 uvádí ve stručném schématu způsob samočinné regulace hladiny podle náčrtku na Obr.161 (Lit.120). Plovák „d“ je znázorněn v poloze, která nevyžaduje regulační zásah. Další pokles plováku byl přenesen táhlem „c“ vedeným v trubce „a“ do pouzdra „b“, kde byl pokles plováku bezdotykově zjištěn a převeden na elektrický signál. Vedením „H“ se signál dostával do cívkového elektromagnetu „e“. Vtažením jádra do cívkového elektromagnetu byla pomocí jednozvrtné páky nazdvížena kuželka ventilu „Sp“. Ventil potom začal napouštět vodu do kotle. Napouštění vody signalizovala obsluha žárovka „f“. Zvednutím plováku „d“ do původní polohy se proces samočinného napouštění ukončil.

Přímou regulaci hladiny kotle ukazuje výkres z knihy vydané v roce 1936 (Obr.162)(Lit.125). Zde plovák „S“ svým poklesem otáčel páku „H“ kolem čepu „A“. Na páce jsou vlevo od „A“ vidět dva napouštěcí ventily „V“, které se při poklesu plováku otevřely, voda mohla proudit přírubou do kotle (Obr.162 vlevo dole). Při stoupání plováku zpět nahoru došlo k uzavření obou ventilů „V“. Napouštěcí regulátor byl spojen přírubou s parním kotlem k vyrovnání sil nad a pod plovákem (Obr.162 vlevo nahoře). Hladina vody v plovákové komoře musela být po regulačním pochodu totožná s hladinou vody v kotli.



Obr.163 Přímochinná regulace hladiny oleje



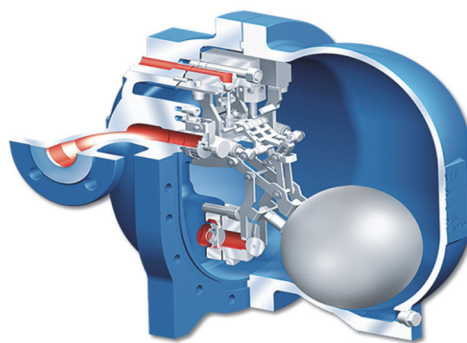
Obr.164 Rtuťové spínače

Odborná příručka z roku 1951 uvádí ukázkou regulace hladiny ve větším zásobníku tlakového oleje (na Obr.163 vpravo), kde je vidět na hladině oleje dutý kovový plovák „a“. Na levém konci dvojitě otočné páky vidíme vyvažovací protizávaží „c“, páka byla otočná kolem čepu „b“. Náklon páky a tím i výšku hladiny ukazoval na stupnici ukazatel „d“. Páka byla spojena táhlem s dvoupolohovým rtuťovým čidlem náklonu páky „i“. Čidlo bylo namontováno v pouzdru vyhovujícím předpisům k ochraně před nebezpečím výbuchu olejových par. Ukázka provedení samotného současného čidla spínajícího dva elektrické kontakty je vidět na Obr.164. Sepnutím elektrického vládacího obvodu byl otevřen solenoidový ventil tlakového vzduchu, který natlakoval horní část pneumatického pohonu regulačního ventilu. Ventil umožnil nátok tlakového oleje do nádrže až do okamžiku, kdy rtuťové čidlo náklonu páky plováku rozpojilo elektrický ovládací obvod. Tím byl uzavřen tlakový vzduch proudící do pohonu regulačního ventilu, pohon regulačního ventilu se sám vrátil do horní uzavřené polohy působením pružiny zvedající kuželku ventilu i pryžovou membránu ventilu. Čidlo výšky hladiny vody s rtuťovým spínačem motoru čerpadla jsme měli v domácí vodárně „Nautila“ ve sklepech až do roku 1958, pak byl do ulice zaveden vodovod. Rtuťovému spínači se lidově říkalo „prasátko“.



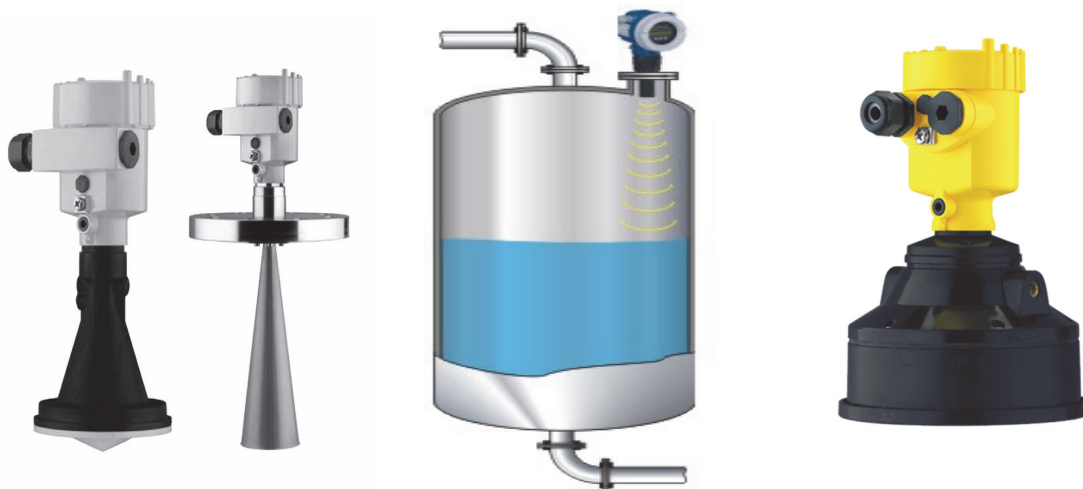
Obr.165

Obr.166



Obr.167 Automatické vypouštění kondenzátu

V současnosti se můžeme setkat s přímochinnými regulátory hladiny novější konstrukce. Na Obr.165,166,167 vidíme zařízení pro přímochinnou regulaci hladiny vodního kondenzátu. Topná pára s kondenzátem vstupuje přírubou shora, kulový plovák spočívající na hladině kondenzátu otevírá ventil, který vypouští kondenzát směrem dolů. Kondenzát je pak vytlačován párou a vrací se potrubím zpět do parní kotelny, aby byl využit jako napájecí voda pro parní kotel.



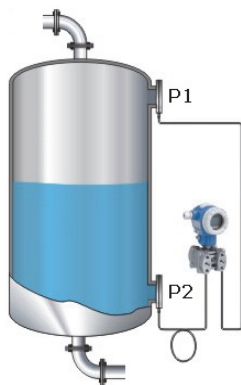
Obr.168 Radarová čidla hladiny Obr.169 Měření hladiny Obr.170 Ultrazvukové čidlo hladiny

V současných průmyslových automatických regulacích hladiny nalezneme čidla radarová (Obr.168) anebo ultrazvuková (Obr.170), která lze upevnit k sledování hladiny kapalin a sypkých materiálů v nádobách podle Obr.169. Čidla mívají nejméně jeden analogový výstup, například 4-20mA, obvyklá je některá ze společných datových sběrnic užívaných v průmyslu, třeba Profibus nebo Modbus.



Obr.171 Indikátor hladiny Obr.172 Indikátor hladiny Obr.173 Elektronický regulátor hladiny

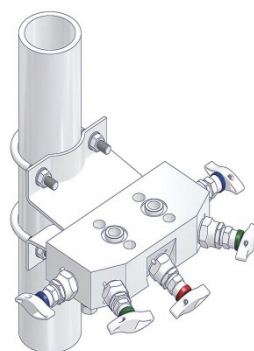
Optické indikátory hladiny prosvěcují zevnitř průhledný kužel na konci čidla (Obr.171,172). Odlišným lomem světla na rozhraní kapalina-průhledný kužel se čidlo aktivuje a elektrický signál může sloužit k samočinné regulaci hladiny. Čidla mají binární výstup (0 nebo 1). Elektronické průmyslové regulátory k regulaci hladiny mívají oba druhy vstupů – analogový i binární (Obr.173). Totéž se týká výstupů regulátorů.



Obr.174



Obr.175



Obr.176

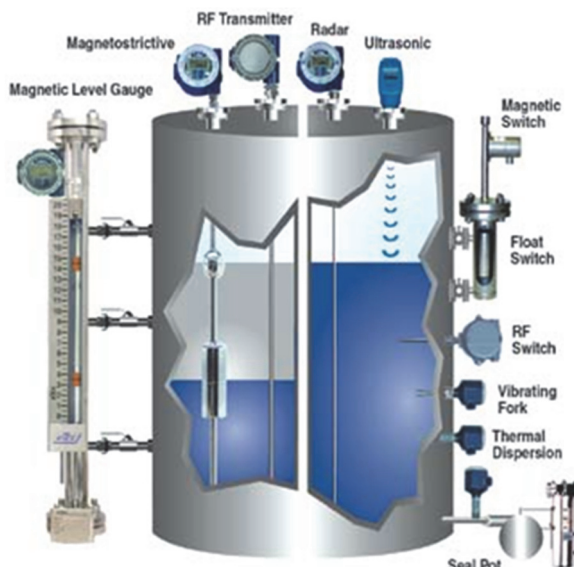


Obr.177

V současnosti je stále běžné užívat k zjištění a regulaci výšky hladiny kapalin diferenčního tlaku na přírubách nádob „P1“ a P2“, jak je vidět na Obr.174. Měřicí přístroje k měření diferenčního tlaku (Obr.175) se připojují pomocí pěticestých (Obr.176,Obr.177) anebo třicestných armatur. Údaj o diferenčním tlaku je úměrný výšce hladiny kapaliny v nádobě.



Obr.178



Obr.179 Přehled metod měření hladiny



Obr.180 Vibrační vidlice

Další metody obvyklé v průmyslu jsou ukázány na Obr.179. Jedna z nich je bezdotykové snímání polohy plováku s magnetem skrz stěnu trubky vyrobené z korozivzdorné nemagnetické oceli (Obr.178 a na Obr.179 zcela vlevo a také vpravo nahoře). Fotografie na Obr.180 ukazuje čidlo sypké látky v podobě elektricky buzené kmitající ladičky. Zасыпání ladičky sypkým materiálem v nádobě se projeví rozladěním ladičky, ze kterého je odvozen elektrický výstupní signál.

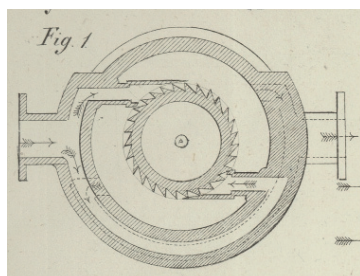


Obr.181 Plovákový ukazatel hladiny

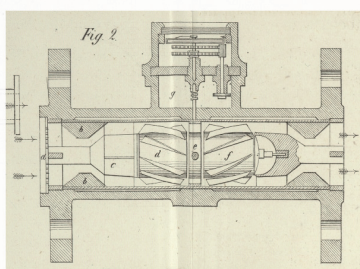


Obr.182 Plovákový ukazatel hladiny

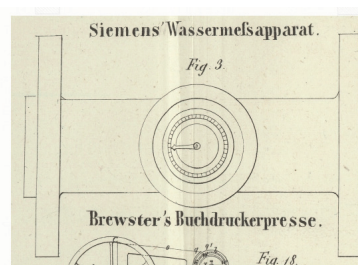
Ani plovákové místní přímočinné ukazatele hladiny neupadly do zapomnutí. Současné konstrukce ukazatelů určených k měření výšky hladiny kapalného paliva vidíme na Obr.181,182



Obr.186 Vodoměr

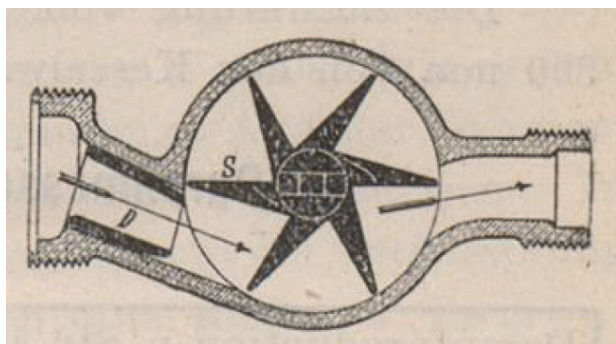


Obr.184 Turbinkový vodoměr

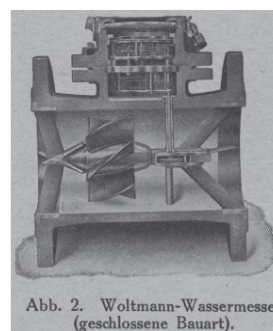


Obr.185 Turbinkový vodoměr

Na otázku zda mohla být průběžně při regulaci hladiny v parních kotlích v 19.století průběžně sledována spotřeba vody lze odpovědět kladně. Odborný časopis z roku 1853 (Lit.70) referoval o použití několika set turbínkových vodoměrů ve Velké Británii (Obr.184,185), v téže době byly provozovány modely poněkud podobné současným domácím vodoměrům ( Obr.186).



Obr.187 Vodoměr



Obr.188 Vodoměr

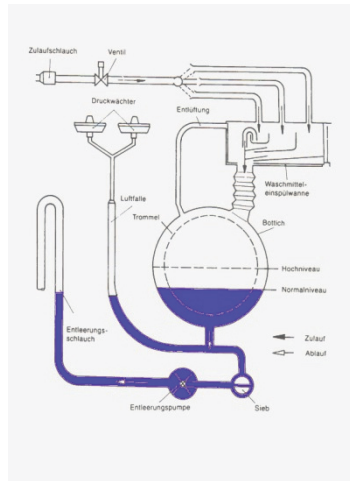
Návrtek vodoměru z roku 1893 ukazuje Obr.187 (Lit 129) , provedení turbínkového vodoměru z roku 1923 je vidět na Obr.188 (Lit.78).

Nyní následuje krátká zmínka o tom jaké regulace hladiny najdeme v současném bytě nebo kanceláři. Regulace hladiny pomocí plováku na konstantní úroveň je v každé domácnosti. Na Obr.189 je vidět přímočinné provedení regulátoru hladiny vody pro vnitřní montáž do nádoby WC. Automatické pračky mají regulaci výšky hladiny vody v pracím bubnu ( Obr.190 ) provedenu pomocí tlakoměrných spínačů (Obr.191). Buben a spojovací potrubí ke dvojitému spínači (Obr.190 uprostřed) působí jako spojitě nádoby. S čerpáním vody do bubnu se zvyšuje hladina, statický tlak v zaslepeném potrubí tlakových snimačů je úměrný výši hladiny. K možnosti nastavit dvojí množství vody mohou být

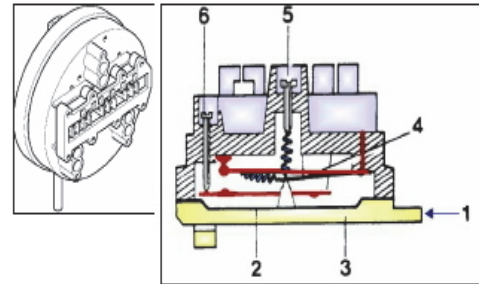
snimače nastaveny na různý tlak sepnutí, automatika programu praní si vybere jeden z údajů. Na Obr.191 je snimač tlaku v řezu. Tlak vzduchu je pozice 1, komora (pozice 3) je vybavena membránou (pozice 2), která musí při zdvihu překonat tlak pružiny nastavený šroubkem (pozice 5). Nyní je pružina s mžikovým kontaktem (pozice 4) v horní poloze, elektrický obvod je tlakem vzduchu rozpojen.



Obr.189 Regulátor hladiny



Obr.190 Automatická pračka



Obr.191 Tlakový spínač

A tím končí výlet do minulosti samočinné regulace hladiny...

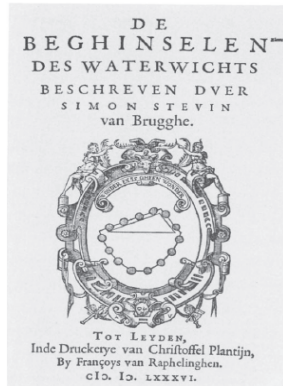
### 3. Automatická regulace tlaku

\*\*\*\*\*

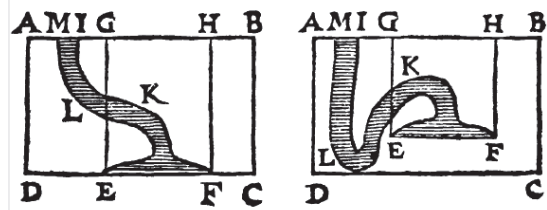
Nejdříve stručně kdo a kdy tlak poznal a zkoumal. Archimedes (287 až 212 před Kr.) pojednával ve svém díle nejen o vzlaku těles a šroubu k čerpání vody, ale také o hydrostatice. Simon Stevin (1548-1620) (Obr.192) , účetní v zaměstnaný v přístavech Antwerpen/Anvers a Brugge/Bruges, se věnoval tlaku v knize o hmotnosti vody ( Obr.193), kde již popsal hydrostatické paradoxon (Obr.194).



Obr.192 Simon Stevin



Obr.193 Kniha



Obr.194 Hydrostatické paradoxon

Evangelista Torricelli ( 1608-1647)(Obr.195,196) změřil tlak již roku 1643. Naplnil skleněnou dole uzavřenou trubicí rtuť, pak ji převrátil, ponořil do nádoby se rtuťí a sledoval pokles hladiny rtuťi v trubici. V trubici se vytvořilo vakuum (Obr.196), výška hladiny „A“ od „B“ byla přibližně 760mm (Obr.199).Torricelli působivě napsal, že žijeme na dně oceánu vzduchu. Jeho tlak mu byl už znám.



Obr.195 Evangelista Torricelli



Obr.196 Evangelista Torricelli

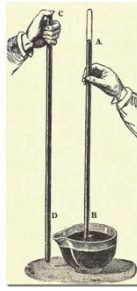


Obr.197 Tlakoměrné trubice

Pokusy s různými zaslepenými trubicemi ve svislé i šikmé poloze ukázaly, že atmosférický tlak je v daném místě stejný, nezávisí na provedení a poloze trubice (Obr.197). Zjištěný tlak 760 mm rtuťového sloupce byl až do 20.století nazýván 1 atmosféra a namísto milimetrů rtuťového sloupce se na počest italského fyzika Evangelisty Torricelliho užívala jednotka nazývaná „ torr “.



Obr.198 Měření barometrického tlaku

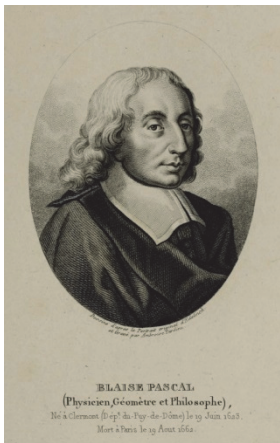


Obr.199



Obr.200 Měření tlaku v závislosti na výšce

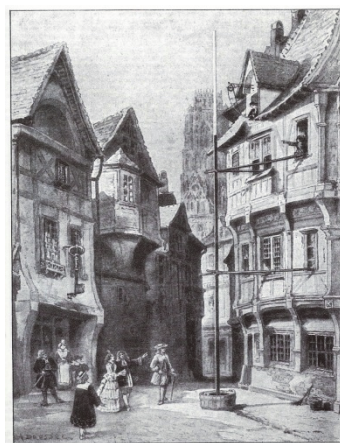
Blaise Pascal (1623-1662) (Obr.201,206) znal pokusy s měřením tlaku, které prováděl Torricelli.



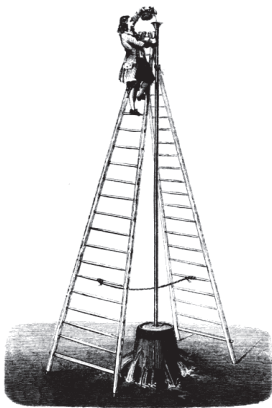
Obr.201 Blaise Pascal



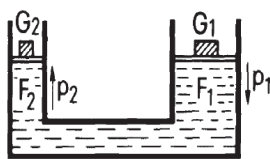
Obr.202 Pascal měří tlak



Obr.203 Vodní sloupec



Obr.204 Roztržení sudu



Obr.205 Násobič sil



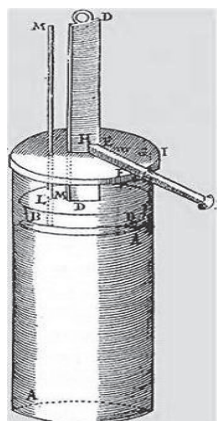
Obr.206 Blaise Pascal

Dne 19.9.1648 zjišťoval Pascalův švagr Florin Périer na hoře Puy de Dôme u města Clermont-Ferrand tlak vzduchu Torricelliho trubicí. Podle návodu Pascala měřil tlak v údolí a na vrcholku hory (Obr.200). Výškový rozdíl asi 1000 metrů způsobil, že tlak na vrcholku hory byl o 84mm rtuťového sloupce nižší. Pascal sám opakovl pokus dokazující úbytek atmosférického tlaku s výškou na věži kostela v Paříži (Obr.202). Pascal obhajoval pojem násobení síly (Obr.205). Rovnost  $G_1 = G_2 \cdot F_1 / F_2$  známe jako násobič sil u pozdějších hydraulických lisů. Pascalův zákon nám říká, že tlak se šíří všemi směry rovnoměrně. Účinky vyššího sloupce vody byly praktickou demonstrací hydrostatického tlaku (Obr.203). Působivý pokus s hydrostatickým tlakem způsobil roztržení dřevěného sudu (Obr.204). Podle tradice měl pokus s praskajícím sudem předvést na veřejnosti sám Blaise Pascal v roce 1646.

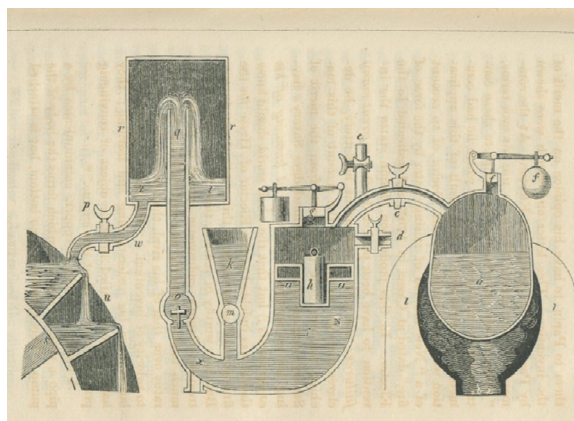
Denis Papin ( 1647-1713) (Obr.207,213,216) ,francouzský lékař a fyzik, navrhnul roku 1690 experimentální parní válec s pístem (Obr.208) a také pokusné zařízení na vodní páru z roku 1707, které mělo sloužit jako čerpadlo na vodu (Obr.209,210)(Lit.12). Z pohledu automatizační techniky vidíme na parním kotli (Obr.210) závaží „G“ na páce „L“. Jednozvrtná páka „L“ přitlačuje ventil umístěný v ose válce „S,T“. Závaží je posuvné, jeho polohou na páce je možno nastavit přítlak na ventil, který můžeme chápat jako pojistovací. Kvůli možnosti přestavení závaží k dosažení různých hodnot tlaku můžeme ventil také nazvat přímočinným regulátorem tlaku. Podobné provedení vidíme na „Papinově hrnci“ na Obr.212, kde je vidět přestavitelné závaží „W“ na páce „G“. Papinův hrnec (Obr.213,214) sloužil v kuchyních v 18.století k přípravě vývarů z masa, právě tak jako dnes.



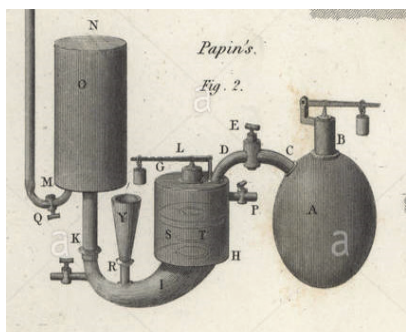
Obr.207 Denis Papin



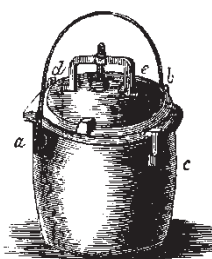
Obr.208 Válec



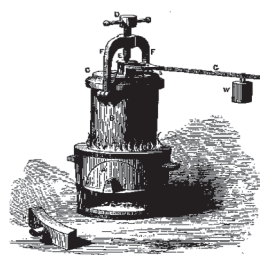
Obr.209 Pokusné parní čerpadlo



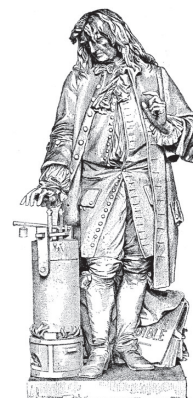
Obr.210 Pokusné parní čerpadlo



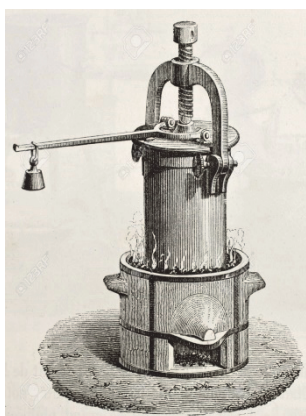
Obr.211



Obr.212



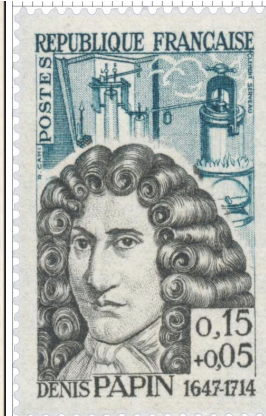
Obr.213 D.Papin



Obr.214 Papinův hrnec

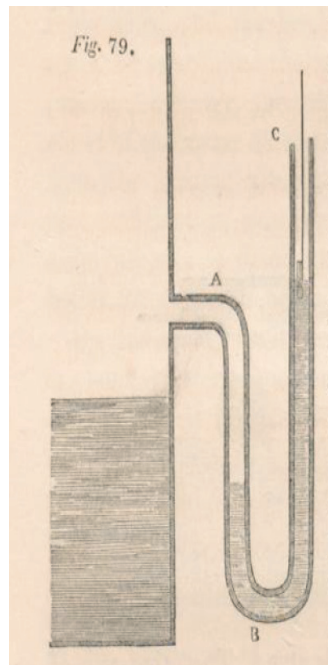


Obr.215 Pokus demonstrující tlak

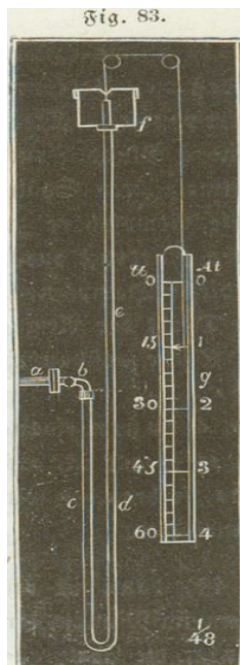


Obr.216 Denis Papin

Nízkotlaké parní kotle byly při měření tlaku odkázány stále na rtuťový sloupec. Technická příručka z roku 1840 informuje čtenáře o prostém tlakoměru ve tvaru písmene „U“ s plovákem „c“, jako běžně užívaném zařízení pro měření přetlaku páry v kotli (Obr.217,Lit.19). Další praktické provedení rtuťového tlakoměru znázornil grafik na Obr.218 (Lit.122). Tlakoměr parního kotle s rozsahem do 4 atmosfér z roku 1848 ukazuje Obr.219 (Lit.91).



Obr.217 Tlakoměr

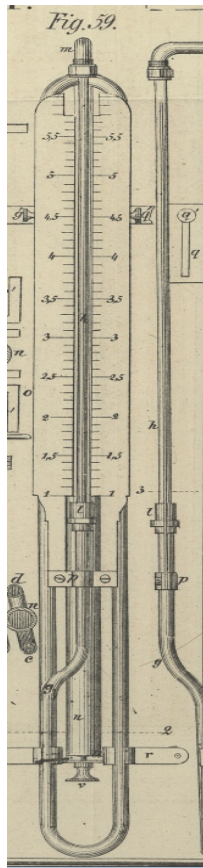


Obr.218 Tlakoměr

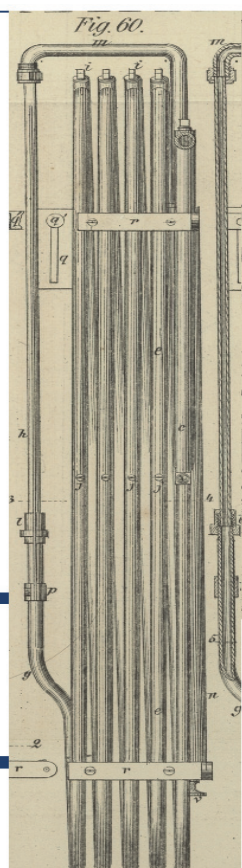


Obr.219 Tlakoměr parního kotle

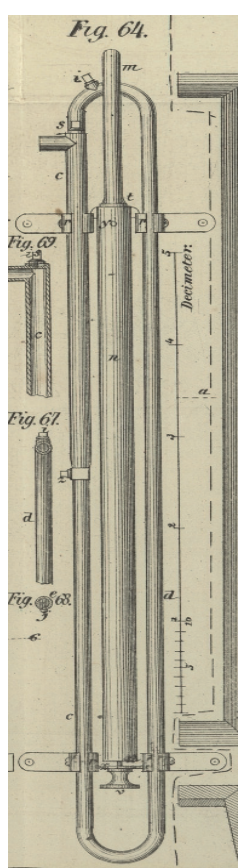
Odborný časopis z roku 1845 zveřejnil článek fyzika Le Chateliera o rtuťovém otevřeném tlakoměru, který sestrojil vynálezce Richard v městě Lyon ve Francii (Lit.72). Přístroj byl vysoký asi 90 cm a mohl měřit tlaky do 5,5 atmosféry (cca 550 kPa, tedy cca 4.180mm rtuťového sloupce). Vynálezce dosáhl tak velkého rozsahu spojením 5 tlakoměrů ve tvaru písmene „U“ za sebe do serie . Přístroj vidíme v nárysu, levém a pravém bokorysu na Obr.220,221,222, zcela vpravo je na Obr.223 půdorys tlakoměru v řezu. Rtuť byla vždy v dolní části, tlak se předával do sousedního tlakoměru „U“ pomocí vodní předlohy nad rtutí. V horním kolenu každého z tlakoměrů vidíme malé šroubení sloužící k plnění tlakoměru vodní předlohou a odvzdušnění. Autor článku uvádí, že tlakoměr byl prakticky ověřen ve Francii na 220 stacionárních parních kotlích, dále jím bylo vybaveno 30 parních kotlů na lodích a také sloužil na 11 železničních parních lokomotivách.



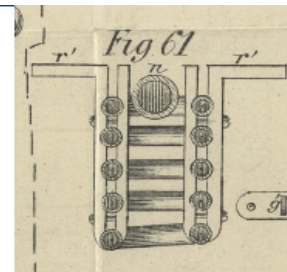
Obr.220



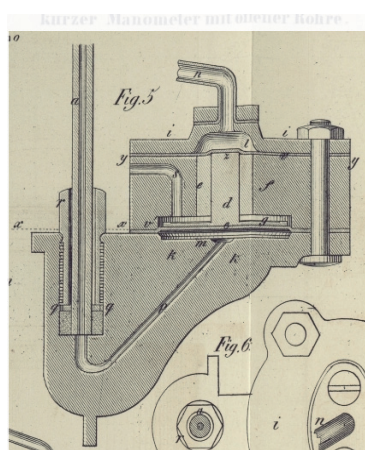
Obr.221



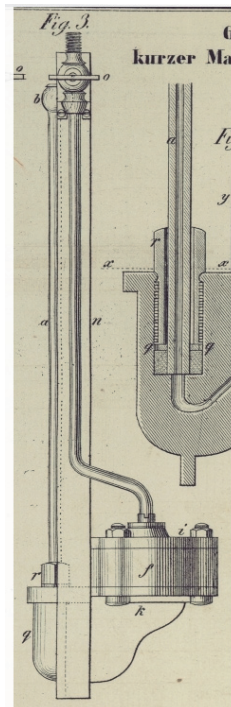
Obr.222



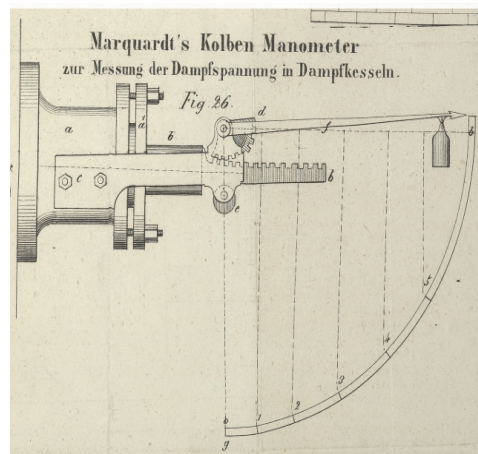
Obr.223



Obr.224 Pístový tlakoměr



Obr.225



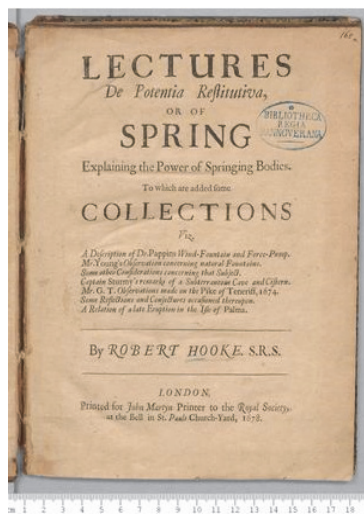
Obr.226 Pístový tlakoměr

Článek v odborném tisku z roku 1847 ukazuje rtuťový manometr určený pro parní lokomotivy (Obr.224,225)(Lit.73), kde byl základové části „f“ umístěn reduktor tlaku. V prostoru „l“ působil tlak páry na malou plochou pístu „d“, která byla utěsněna membránou (Obr.224). Naopak na dolní

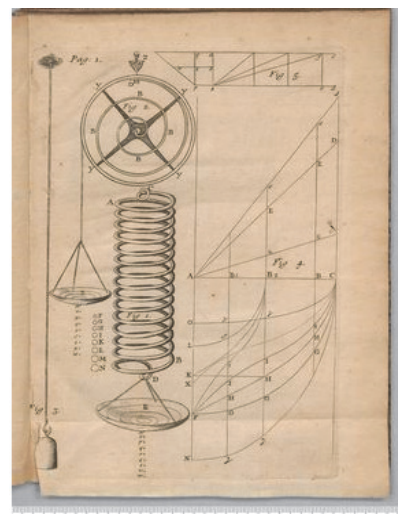
membránu „m“ působil vrtáním „p“ tlak rtuti, membrána se opírala o základnu pístu „d“. U pístu „d“ byl poměr jeho horní plochy vůči dolní ploše 1:19, tím byl dán převod statického tlaku páry na statický tlak sloupce rtuti. Pro přetlak páry v kotli 7 atp (cca 0,7MPa) vycházela výška sloupce rtuti přibližně 280 mm. Tlakoměr byl u každého parního kotle povinností vynučenou zákonem a vyhláškami. V odborném tisku ve 40-tých letech 19.století jsou stížnosti provozovatelů na problémy se rtutí, na její vytékání z manometrů anebo na tvorbu amalgamů. Na Obr.226 z roku 1854 je vidět pístový tlakoměr odlišné konstrukce. Namísto zatížení sloupcem rtuti užíval manometr píst a válec v základové části „a“. Ozubená tyč pístu „b“ otáčela ozubeným segmentem „d“ na který působilo závaží na konci páky „f“. Tam byl také ukazatel tlaku. Stupnice tlakoměru byla nelineární (Lit.71). Úplně nový druh manometrů využil elastické pružnosti kovů a pomohl odstranit rtuť z tlakoměrů.



Obr.227 Robert Hooke



Obr.228 Kniha Lectures (Lit.121)



Obr.229 Vínutá pružina



Obr.230 Eugène Bourdon



Obr.231 Bourdonův tlakoměr

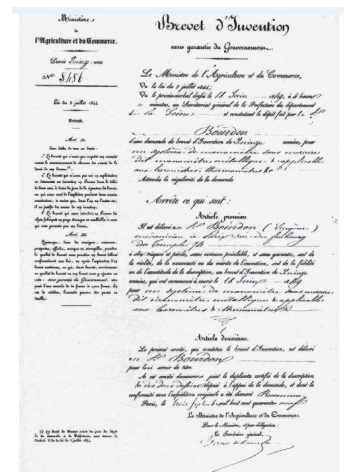
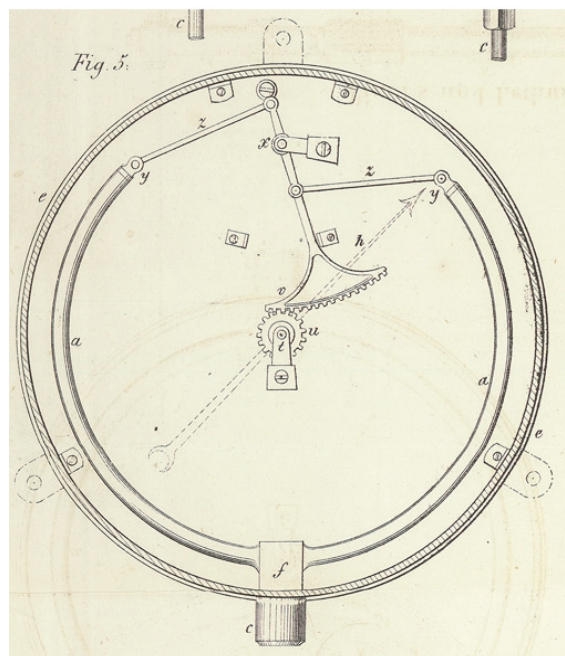


Figura 5- Primera página de la patente del manómetro metálico de Bourdon (1849) [21].

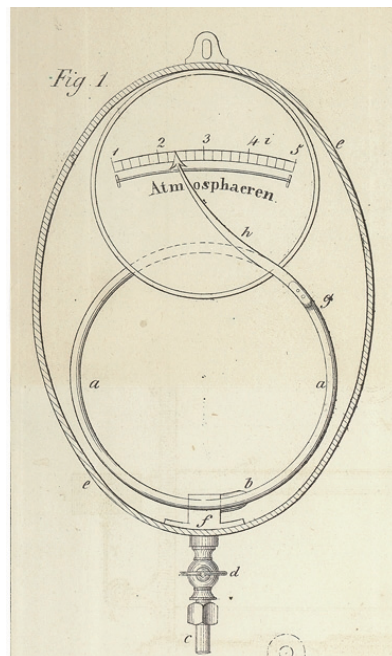
Obr.232 Bourdonův patent

Přímou úměru mezi zatížením pružiny a jejím prodloužením v malém rozsahu pružné deformace zjistil svými pokusy Robert Hooke (1635-1703), člen ( FRS) a kurátor experimentů Royal Society v Londýně. Ve své knize z roku 1678 (Obr.228)(Lit.121) zveřejnil výsledky svých pokusů s vínutou pružinou (Obr.229). Portrét Roberta Hooka neznáme, jeho fiktivní podobizna (Obr.227) pořízená r.2004 podle záznamů současníků ukazuje k připomenutí objevu vínutou pružinu ( Obr.227 vpravo

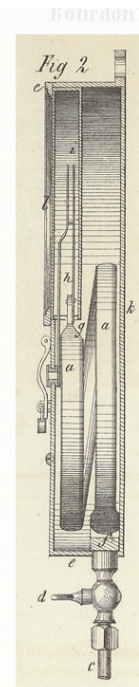
dole). Pařížský hodinář Eugéne Bourdon (1808-1884)(Obr.230) obdržel dne 18.6.1849 francouzský patent Nr.8486 (Obr.232) na dobu 15 let na svůj vynález tlakoměrné duté zakřivené trubice (Obr.231). Eugéne Bourdon využil přímé úměry mezi vnitřním přetlakem působícím uvnitř pružiny s dutým oválným příčným průřezem a pružnou deformací této svinuté trubice. Bourdon vyráběl svoje manometry z mosazi v několika provedeních, jak je uvedeno dále.



Obr.233 Bourdonův tlakoměr

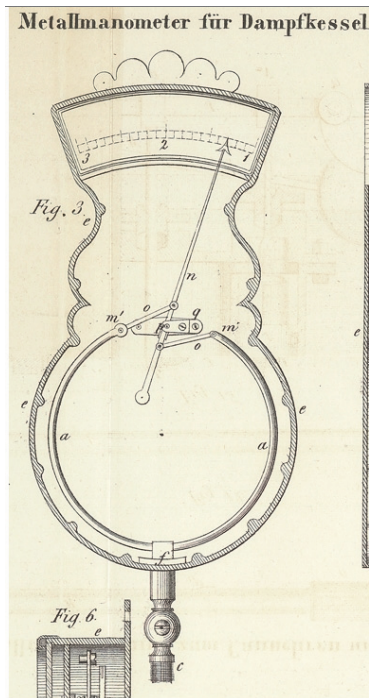


Obr.234 Bourdonův tlakoměr

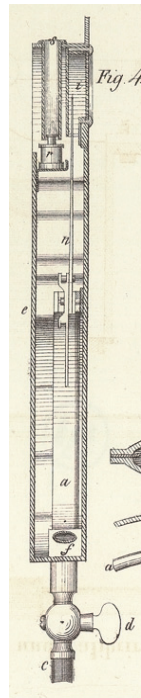


Obr.235

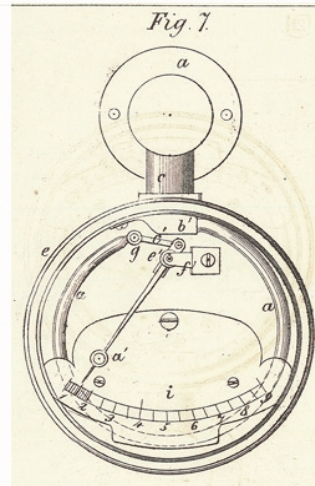
Odborný časopis přinesl v roce 1851 článek o sériové výrobě nových tlakoměrů bez rtuti (Obr.233,234, 235) (Lit.41). Jejich vynálezce a výrobce Eugéne Bourdon ( 1808-1884) (Obr.230) je dodával z Paříže pro parní kotle manometry ve válcovém pouzdru (Obr.233).Tlak páry působil dutým nátrubkem „c“ v místě „f“ na dvě duté pružiny „a“. Při zvýšeném tlaku páry se obě pružiny napřimovaly, čepy „y“ s táhly „z“ na jejich koncích otáčely dvojzvratnou páčkou kolem čepu „x“. Na konci páčky byl ozubený segment „v“ zapadající do ozubeného kolečka „u“ na jehož ose byl upevněn ukazatel „h“. Ukazatel svou šipkou již ukazoval tlak na stupnici přístroje. Na Obr.234,235 vidíme nárys a bokorys manometru bez ozubeného převodu. Tak páry rozvíjel dutou pružinu „a“ na jejímž konci byl upevněna šipka „h“ ukazující tlak páry v atmosférách ( 1 atmosféra = cca 100kPa). Eugéne Bourdon rovněž vyvinul provedení manometru pro parní kotle lodí, je v nárysu a bokorysu na Obr.236,237. Malé rozměry symetrického táhlového převodu „o“ na ukazatel „n“ otočný v čepu „p“ byly zvoleny za účelem dosažení necitlivosti tlakoměru vůči naklánění lodí. Pro servisní techniky parních kotlů dodával Eugéne Bourdon malé přenosné manometry (Obr.238). Bourdon byl rovněž autorem ochranné a ořesy tlumící kapalné náplně manometrů. Obr.239 ukazuje tlak média, který vstupoval do šroubení „a“ a dále pod membránu „s“. Komora složená ze dvou víček „r“ byla rozdělena pryžovou membránou sloužící jako těsnění a jako převodník tlaku. Do horní části nad membránu směrem k manometru byla nalita oddělovací kapalina tvořená roztokem lihu a vody, kterou vynálezce doporučoval pro měření tlaků za nižších teplot.



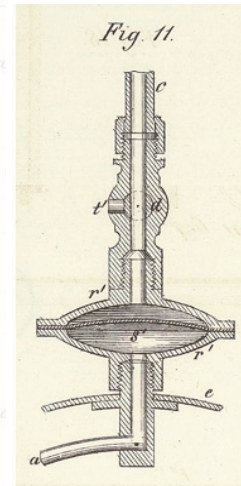
Obr.236 Lodní tlakoměr



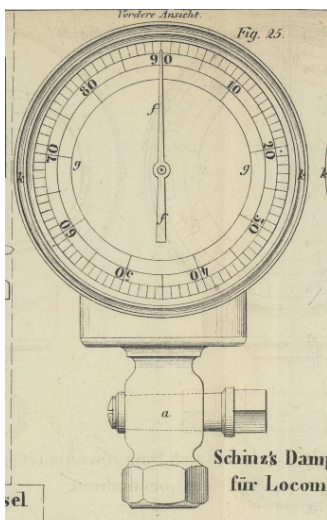
Obr.237



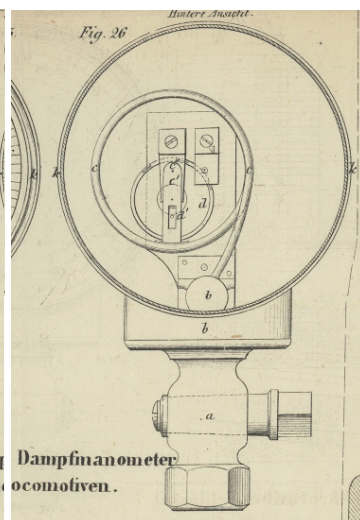
Obr.238 Servisní tlakoměr



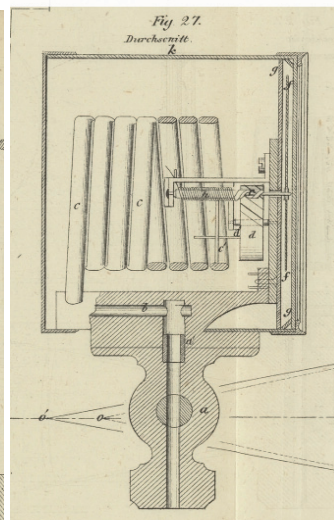
Obr.239 Předloha



Obr.240 Tlakoměr

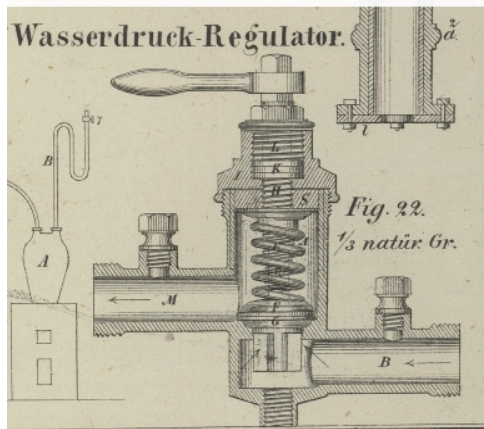


Obr.241 Lokomotivní tlakoměr

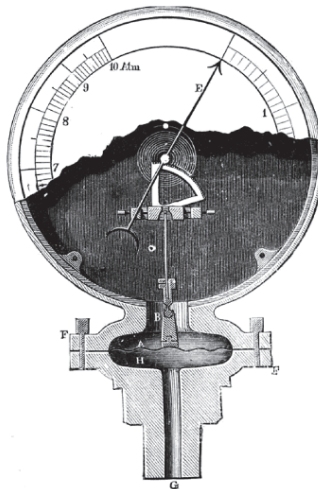


Obr.242 Tlakoměr

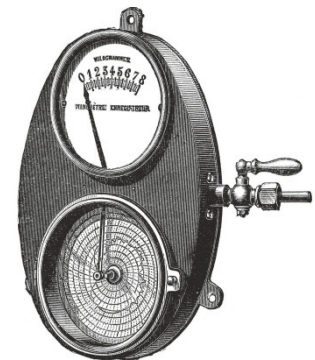
Článek v odborném časopise informoval čtenáře v roce 1849 o přístroji k měření tlaku páry na lokomotivách (Obr.240,241,242)(Lit.74). Tlakoměr nakreslený v řezu na Obr.242 má 6 závitů ploché duté trubice. Existovalo také větší provedení se 40 závity k měření tlaku až do 12 atmosfér. Vynálezce C. Schinz obdržel na tlakoměr pruský a rakouský patent. Francouzský vynálezce Lucien Vivide (1805-1866) využil rovněž elastických vlastností kovů při konstrukci tlakoměru vhodného k měření menších tlaků. Jeho aneroid obsahoval kovovou membránu podepíranou vinutými pružinkami. Vivide na svůj vynález obdržel britský patent č.10157 z roku 1844. Novější aneroidy měly dvě spojené prolisované membrány s převodem průhybu na číselník. V domácnostech v 20.století sloužily aneroidy k zjištění barometrického tlaku a tím k odhadu místní předpovědi počasí. Měli jsme ho doma na verandě také.



Obr.243 Přímochinný regulátor tlaku vody

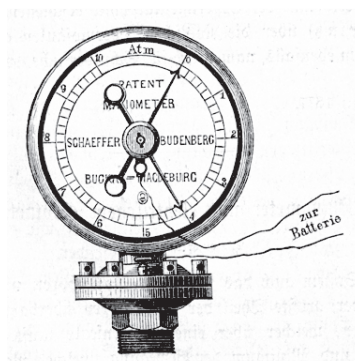


Obr.244 Tlakoměr

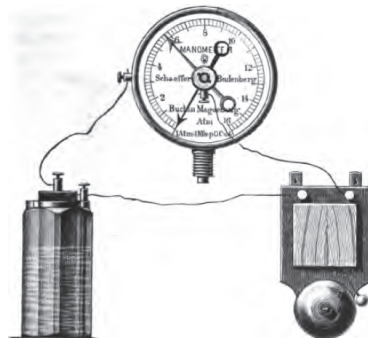


Obr.245 Tlakoměr se zápisem

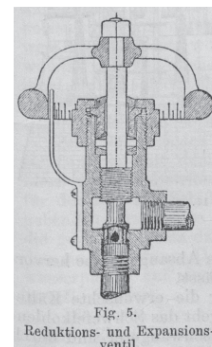
V roce 1849 se objevil mechanický přímochinný regulátor tlaku vody ve vodovodu (Obr.243)(Lit.75), kde se žádaná hodnota tlaku nastavovala zvýšením přítlaku kuželky na sedlo shora pomocí pružiny a šroubu. Kuželku naopak zvedal nahoru tlak vody v potrubí „B“ (Obr.243). V roce 1849 pak následoval vynález manometru s pružnou kovovou membránou (Obr.244)(Lit.122). Vynálezce Bernard Schaeffer (1823-1877) získal na svoje konstrukční řešení tlakoměru pruský patent. Tlakoměr pro průmyslové použití vybavený navíc zapisovačem s kruhovým kotoučem papíru vidíme na Obr.245 .



Obr.246 Tlakoměr s kontakty

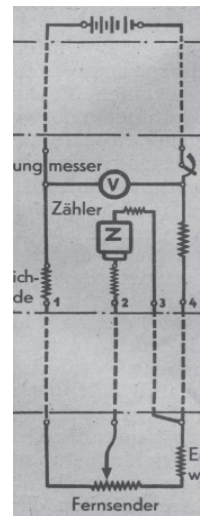
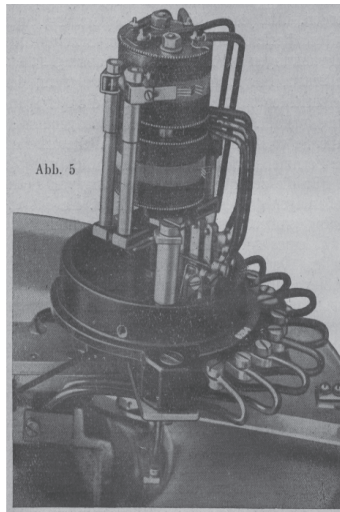
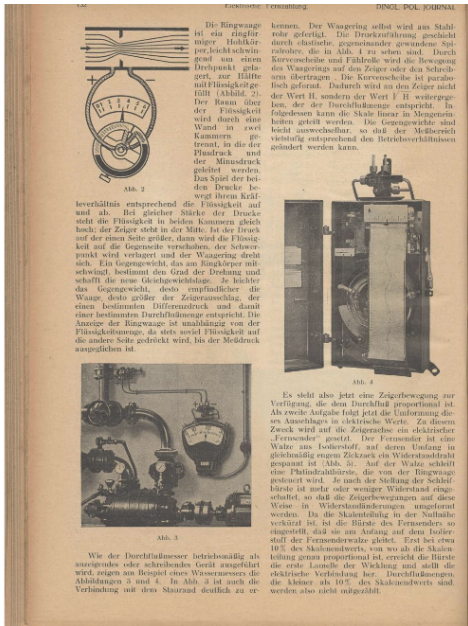


Obr.247 Tlakoměr se zvonkem



Obr.249 Redukční ventil

Článek v odborném časopisu z roku 1877 upozorňoval na možnost využít kontaktu na číselníku a ukazateli tlakoměru k signalizaci dosažení meze tlaku (Obr.246)(Lit.77). Na obrázku bylo nastavení provedeno na tlak 5 atp. Článek také navrhoval využít signálu k ovládní relé, které lze užít k samočinné regulaci. Jiný článek z roku 1907 doporučoval podobné řešení (Obr.247)( Lit.92). V roce 1896 popisoval článek o strojním chlazení redukční ventil tlaku ještě s využitím pouhého škrcení průtoku kapalného čpavku, bez přímochinné regulace tlaku (Obr.249)(Lit.164).



Obr.250 Prstencová váha se rtuť

Obr.252 Vyslač pootčení

Obr.253 Přenos

Odborný časopis z roku 1931 ukazoval nové možnosti dálkového přenosu diferenčního tlaku jako měřítka velkoodběru vodní páry a plynu (Obr.250,Lit.126). Diferenční tlak na měřící cloně umístěné v potrubí (Obr.256) se měřil prstencovou váhou plněnou rtuť, která byla užita jako oddělovací kapalina (Obr.255).Diferenční tlak bylo nutno odmocnit, dělo se tak srpovitou plechovou šablonou a páčkou (Obr.255 uprostřed). Ukazatel na stupnici a rotační odporový snímač (Obr.252) ukazoval a snímal druhou odmocninu z diferenčního tlaku, ta byla již přímo úměrná průtoku clonou. Odporový snímač byl děličem z platinového vodiče (Obr.253 dole, Obr.252) schopným přenést spojitý signál do centrály „Z“ (Obr.253), kde se okamžitý údaj o průtoku sumarizoval v čase pomocí planimetru. Dálkově přenesený signál následně mohl sloužit jako vstupní měřená veličina regulátoru průtoku ve velínu, s výstupem regulátoru na regulační ventil. Na Obr.254 z roku 1954 vidíme připojení prstencové váhy na diferenční tlak na cloně v potrubí pomocí třicesté armatury (Lit.124).

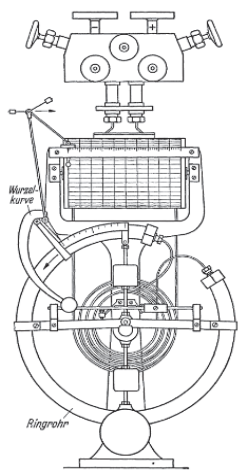
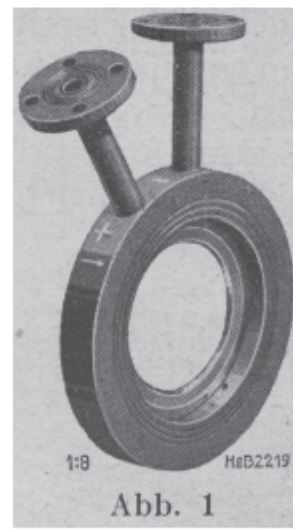
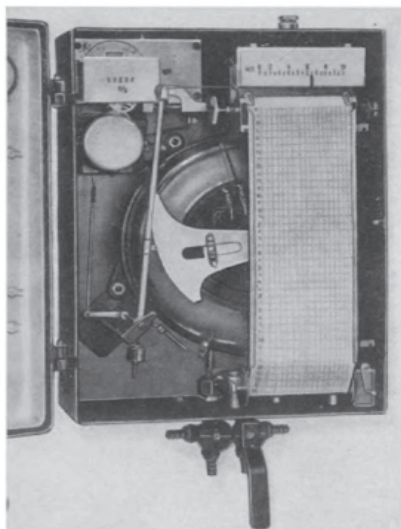


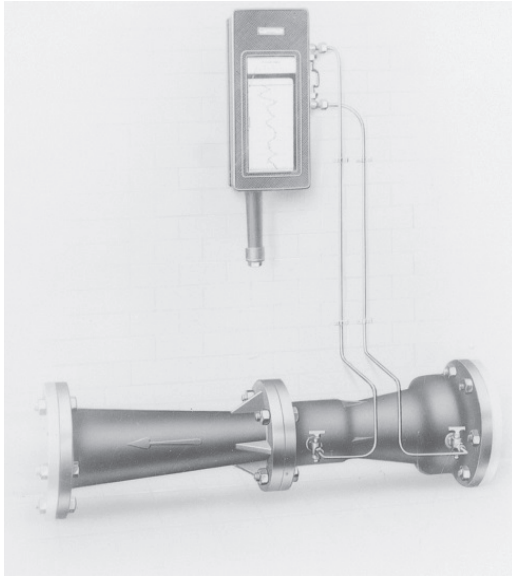
Abb. 206. 10-Ringwaage für hohen Betriebsdruck. Durchmesser 0,7 m, Füllung (nur zum Abschluß) Ringwaage, Wirkdruck fast 1 at. Fünf Ventile wie angegeben sind zweckmäßig. Fa. Eckardt, Vergleichs Abb. 274 rechts.



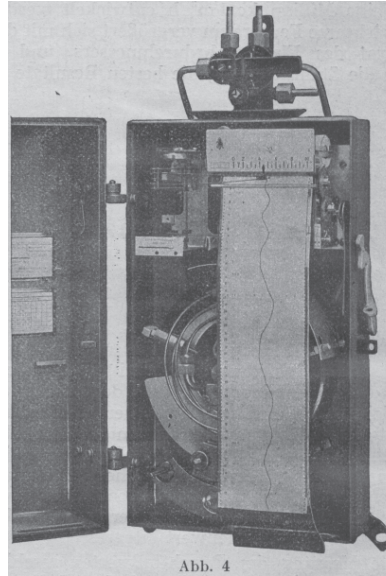
Obr.254 Prstencová váha

Obr.255 Prstencová váha

Obr.256 Clona do potrubí

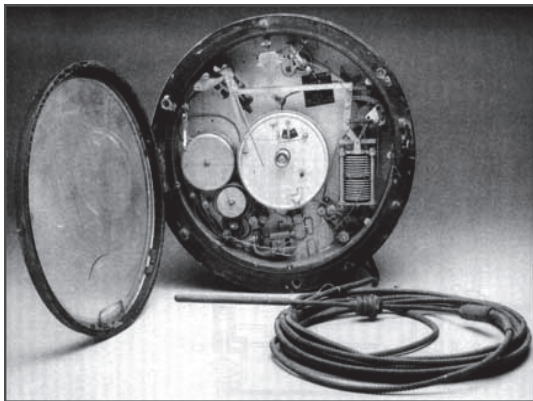


Obr.257 Venturiho trubice

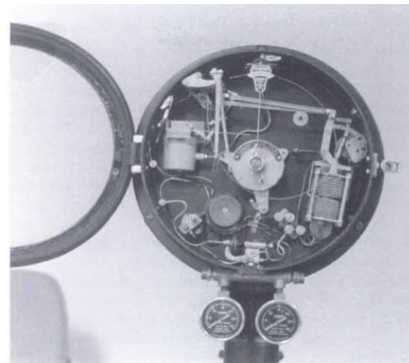


Obr.258 Prstencová váha

Na Obr.257 a Obr.258 z roku 1931 vidíme měření větších průtoků vody pomocí Venturiho trubice. Zapisovací přístroj registroval odmocněný diferenční tlak na trubici, již přímo úměrný průtoku za čas. Clony v potrubí k měření průtoků plynů a par byly v průmyslu a energetice obvyklé už na počátku 20.století (Lit.92).



Obr.259 Pneumatický PI regulátor Stabilog



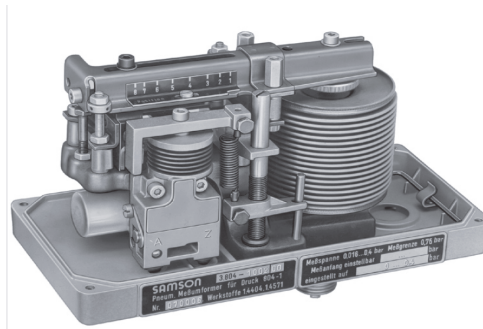
*A Foxboro PID controller, c. 1946*

Obr.260 Pneumatický PID regulátor

První spojitě regulační a zapisovací pneumatické přístroje byly vyráběny od počátku třicátých let 20.století. Na Obr.259 vidíme první pneumatický proporcionálně-integrační regulátor (PI) se zapisovačem z roku 1931. Obr.260 pak ukazuje pneumatický PID regulátor z roku 1946. Starší regulátory měly na vstupu různé signály, třeba termočlánky. K regulaci tlaku a všeobecně k univerzálnímu použití regulátorů bylo vhodné vstupní a výstupní signály sjednotit. Pneumatické regulátory vybavené unifikovanými vstupy a výstupy jsme viděli na Obr.85,86. Mezinárodně sjednocené (unifikované) úrovně pneumatických signálů byly metrické 0,2 až 1 atp (cca 20-100kPa) v Evropě a 3-15 p.s.i. v Severní Americe. S nimi pracovaly i pneumatické vysílače tlaku z výrobního procesu. Vysílače převáděly měřené veličiny jako byly tlak, diferenční tlak, hladina, teplota a další na unifikovaný tlakový signál.

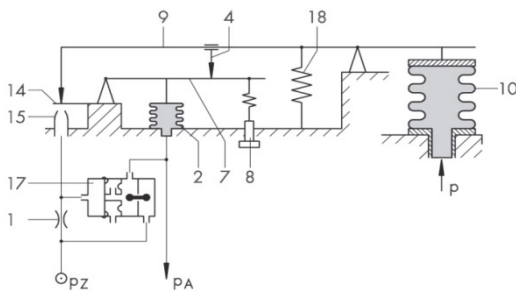


Obr.261 Pneumatický převodník tlaku

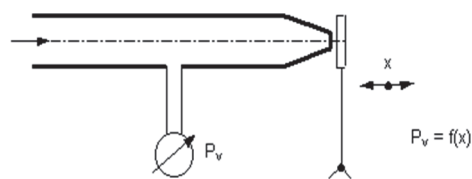


Obr.262 Pneumatický převodník tlaku

V prostředí chemické výroby s nebezpečím výbuchu plynů a par uniklých do ovzduší se od padesátých let 20.století používaly pneumatické vysílací přístroje. Jejich výhodou byla nevířivost. Na Obr.261,262 je vidět převodník tlaku na unifikovaný pneumatický signál 0,2-1 atp (cca 20-100kPa). Konstruční schema převodníku tlaku pracujícího na principu vyrovnání krouticích momentů je znázorněno na Obr.263. Měřený tlak „p“ působil roztahování pružného vlnovce „10“, který zvedal dvojitou páku „9“. Vlevo od otočného bodu působila pružina „18“. Napájecí tlakový vzduch je označen „pz“. Po průchodu škrticí tryskou „1“ vstupoval vzduch do výtokové trysky „15“, proti proudu vzduchu byla přitlačována klapka „14“. Převodní poměr mezi měřeným tlakem a výstupním signálem byl určen polohou jezdece „4“ na dvojitě vratné páce. Výstupní pneumatický signál „pA“ byl výkonově zesílen v zesilovači „17“. Krouticí moment způsobený pružným vlnovcem „10“ byl momentově vyvažován na páce „9“ pomocí přitlaku vyvozovaného pružným vlnovcem „2“. (Lit.123). V pneumatických převodnících byl často použit systém klapka-tryska (Obr.264) u kterého byl laděný tlak v rozmezí linearity přímo úměrný zdvihu klapky. Systém klapka-tryska vynalezl Edgar H. Bristol a získal na něj v USA v roce 1914 patent. Ve dvacátých letech byly na tomto základě zkonstruovány pneumatické zesilovače vybavené právě popsanou zpětnou vazbou. Do běžného průmyslového použití byly pneumatické přístroje dodávány od třicátých do sedmdesátých let 20.století, pak už výjimečně. Elektronické regulátory tlaku pracující s unifikovanými signály se v principu neliší od regulátorů hladiny (např. Obr.173).



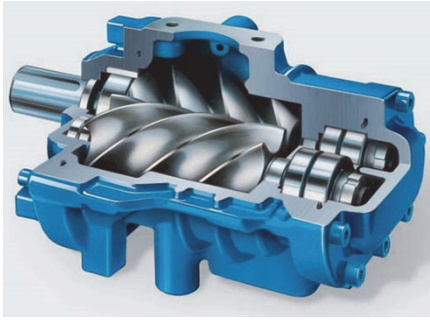
Obr.263 Pneumatický převodník tlaku



Obr.264 Systém klapka-tryska



Obr.265 Pneumatický regulátor tlaku do panelu



Obr.266 Šroubový kompresor



Obr.267 Vzduchový kompresor



Obr.268 Řídicí systém

Se spojitou regulací tlaku se v současnosti setkáme u větších šroubových vzduchových kompresorů (Obr.266,267), které jsou vybaveny elektronickým řízením (Obr.268). Malé pístové kompresory pro domácí užití (např. Obr.269) jsou regulovány na konstantní tlak ve vzdušníku (dole na Obr.269) dvoupolohovými regulátory (Obr.271,272). Snížení tlaku vzduchu ve vzdušníku na nižší provozní tlak se děje v přímočinné redukční stanici s filtrem (Obr.270,273,274).



Obr.269 Pístový kompresor

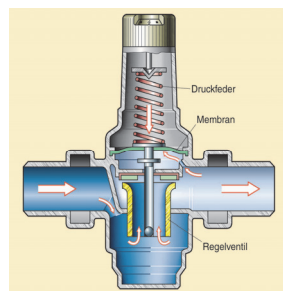


Obr.270 Redukční stanice

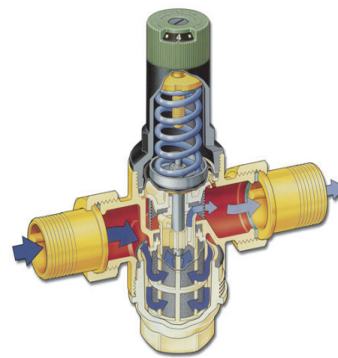
Obr.271 Regulátor tlaku



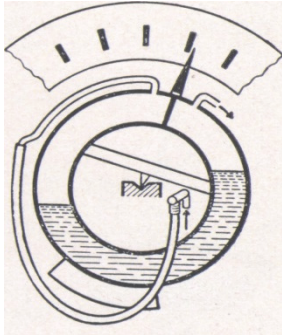
Obr.272 Regulátor tlaku



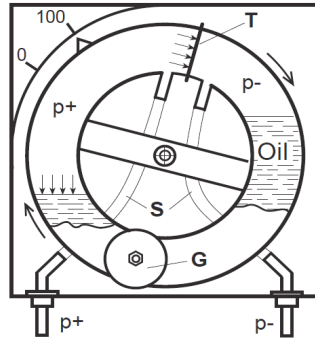
Obr.273 Regulátor tlaku



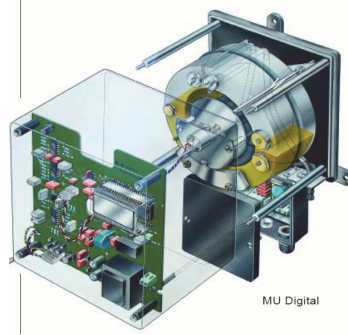
Obr.274 Regulátor tlaku



Obr.275 Prstencová váha



Obr.276 Prstencová váha



Obr.277 Prstencová váha

Staršího principu prstencové váhy k měření diferenčního tlaku se užívá dosud. Na Obr.275,276,277 vidíme princip měření nižších tlaků, jako oddělovací kapaliny se užívá olej. Výhodou je možnost měření velmi malých tlaků (např. 0-50 Pa), s užitím k samočinné regulaci malých přetlaků vzduchu při klimatizaci velkých obytných nebo kancelářských budov.



Obr. 278 Tlakoměr s kontaktem



Obr.279 Tlakoměr



Obr.280 Tlakoměr

Současné průmyslové přístroje k měření tlaku jsou vidět na Obr.278,279,280.

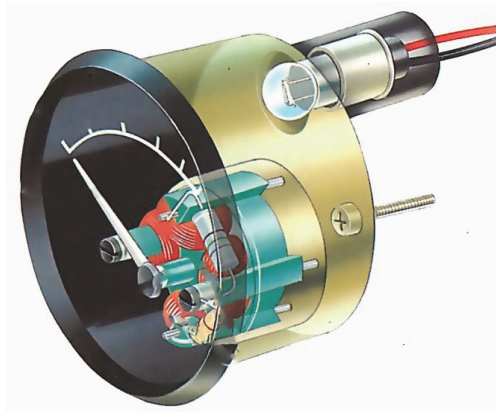


Obr.281 Bezdotykové snímače Obr.282 Bezdotykové snímače Obr.283 Tlakoměr

Z Obr.281,282 je patrné provedení spínačů elektrických dvupolohových regulačních obvodů v tlakoměrech, které reagují bezdotykově na polohu ukazatele tlaku (Obr.283).



Obr.284 Elektronický tlakoměr



Obr.285 Mechanický ukazatel tlaku

Číslicové elektronické tlakoměry (Obr.284 ) mají velkou výhodu, protože nemají rozměrné otočné součásti jako analogové ukazatele s ručkou (Obr.285).



Obr.286 Elektronické tlakoměry Obr.287 Tlakoměr Obr.288 Tlakoměr Obr.289 Tlakoměr

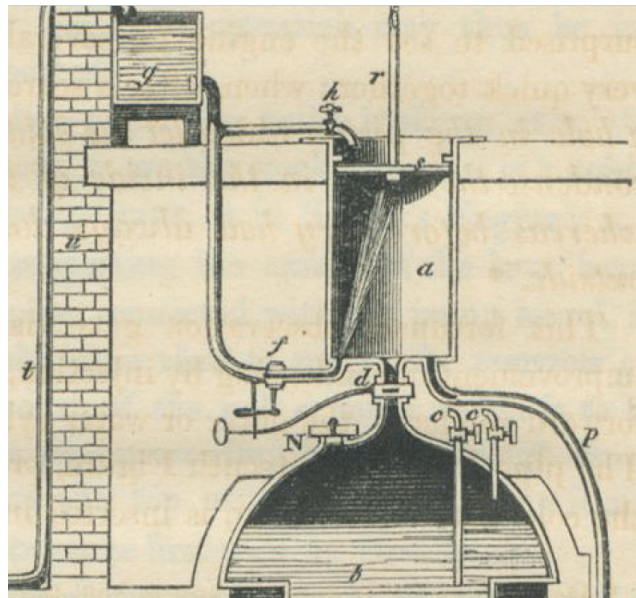
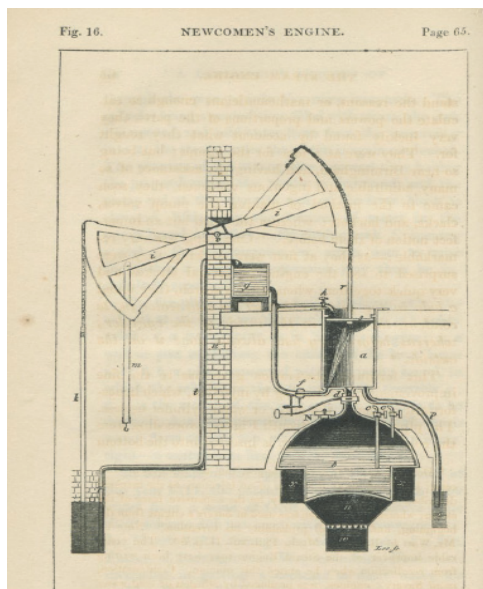
Tlakoměry elektronické vůbec bez ukazatele, určené k převodu tlaku na unifikovaný proudový signál 4-20mA, jsou vidět na Obr.286. Tlakoměr s digitálním výstupem na sběrnici Ethernet vidíme na Obr.287. Tlakoměr vhodný k montáži do desek tišněných spojů ukazuje Obr.288. Tlakoměr s funkcí spínání je vidět na Obr.289.

Tolik k měření a regulaci tlaku.

4 Automatická regulace výkonu a polohy, dopředné řízení výrobního procesu podle programu

\*\*\*\*\*

Thomas Newcomen (1664-1729) byl anglickým vynálezcem, který sestrojil roku 1712 atmosférický parní stroj s ručním ovládáním šoupátek a ventilů. Parní stroj mohl být trvale provozován k pohonu čerpadla důlní vody. Pojem atmosférický znamená, že ve válci byla pomocí nástřiku vody uskutečněna kondenzace vodní páry, tím se ve válci vytvořilo dílčí vakuum. Na vnější plochu pístu přitom působil tlak okolního atmosférického vzduchu, který pohybem pístu dolů konal činnou práci.

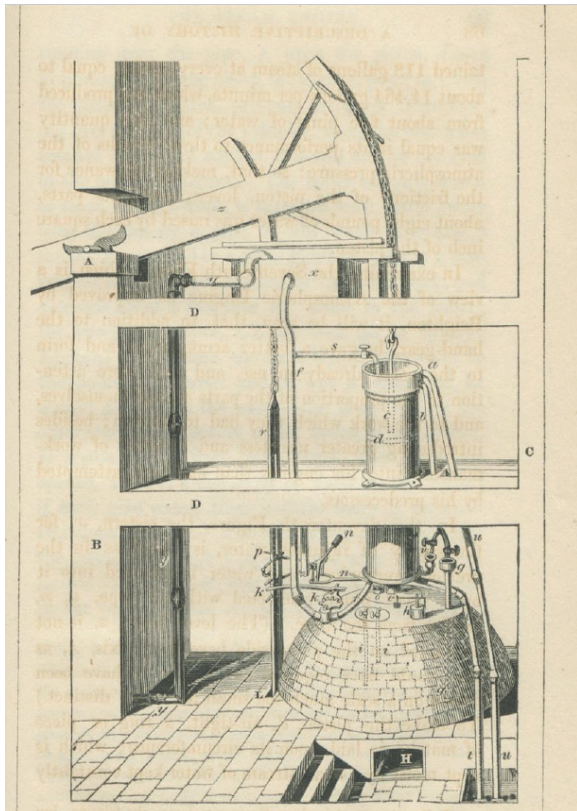


Obr.290 Newcomenův parní stroj

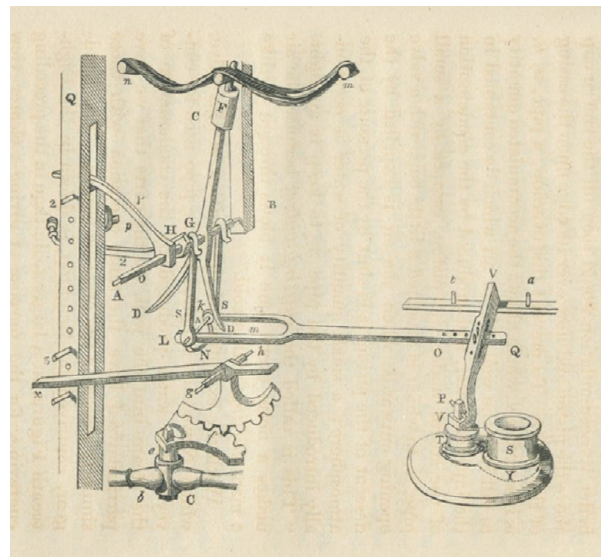
Obr.291 Newcomenův parní stroj – detail nástřiku

Thomas Newcomen obržel na svůj vynález privilegium (patent) už roku 1705. V první verzi stroje byl válec proveden jako plášťový. Do dutiny pláště válce byla přiváděna chladicí voda, která způsobila kondenzaci vodní páry přiváděné do válce z parního kotle. V druhé verzi stroje z roku 1712 (Obr.290) docházelo ke kondenzaci páry ve válci nástřikem studené vody dovnitř válce za pomoci ventilu „f“ (Obr.291). Píst se při kondenzaci páry pohyboval směrem dolů. Vahadlo se svým levým ramenem pohybovalo nahoru a svislým táhlem visícím na řetězu bylo poháněno pístové podzemní čerpadlo na vodu (levá část Obr.290). Po kondenzaci páry byl píst ve válci zcela dole, bylo nutno potrubím „p“ vypustit kondenzát z válce do odpadu, zkontrolovat uzavření ventilu „f“ a otevřením ventilu „d“ napouštět z parního kotle „b“ páru do válce „a“ až do úplného zdvihu pístu „r“ na narážku. Potom mohl být otevřen ventil „f“ a tím nástříknuta studená voda určená ke kondenzaci páry ve válci „a“. Otevírání a uzavírání ventilů prováděl ručně strojník, stroj přitom prováděl v průměru 6 zdvihů za minutu. Pomocí ovládacích závěsů na ventilech bylo možno ručním ovládáním ventilů dosáhnout až 15 zdvihů za minutu. Do termínu uplynutí prodloužené patentové ochrany Newcomenova vynálezu v roce 1733 bylo dodáno 125 strojů (Lit.12). Vynálezce Henry Beighton (1687-1743) odstranil roku 1718 ruční ovládání ventilů svislým řídicím zpětnovazebním mechanismem („hand gear“), který je vidět na Obr.292,293. Velké vodorovné vahadlo vybavil dalším segmentem s řetězem na jehož dolním konci bylo zavěšeno táhlo „Q“ (Obr.293). Do výřezu v táhla „Q“ zapadala páka „P“ opírající se o příčný kolík „1“. Páka „P“ otáčela hřídelem „o“, na něm byla upevněna další páka pohybující vodorovnou vidlicí „O“, která byla kolíkem upevněna v ovládací páce parního otočného šoupátka „PVT“. Z více otvorů pro přestavitelný kolík je možno usoudit, že sloužily k nastavení provozního bodu samočinné

regulace. Pára po otočení šoupátka „PVT“ vstupovala do válce hrdlem „S“. Ventil „C“ nástřikové chladné vody byl natáčen pomocí dvou do sebe zapadajících ozubených segmentů „g“ a „f“, kterými pohybovala další dvojitá páka „x“ ovládaná dvěma kolíky „5“ na boku svislého táhla „Q“. Vypouštění kondenzátu z válce vyřešil Beighton samotížným zdvihem zpětné klapky „t“, najdeme ji na Obr.294 zcela vpravo dole. Klapka zároveň zabraňovala zpětnému nasávání odpadního kondenzátu do válce při vzniku podtlaku způsobeném kondenzací páry. Parní kotel by doplněn pojišťovacím ventilem se závažím „h“ (na Obr.292). Samočinně pracující stroj dosahoval až 16 zdvihů za minutu, byl hlavně určen k čerpání vody v dolech. V letech 1733 až 1800 bylo vyrobeno ve Velké Británii na 2.200 Newcomenových parních strojů (Lit.12), byly oblíbeny pro svou jednoduchost. Atmosférické Newcomenovy parní stroje mohly být vyráběny volně bez překážek kýmkoliv, protože patentová práva vynálezce skončila v roce 1733.



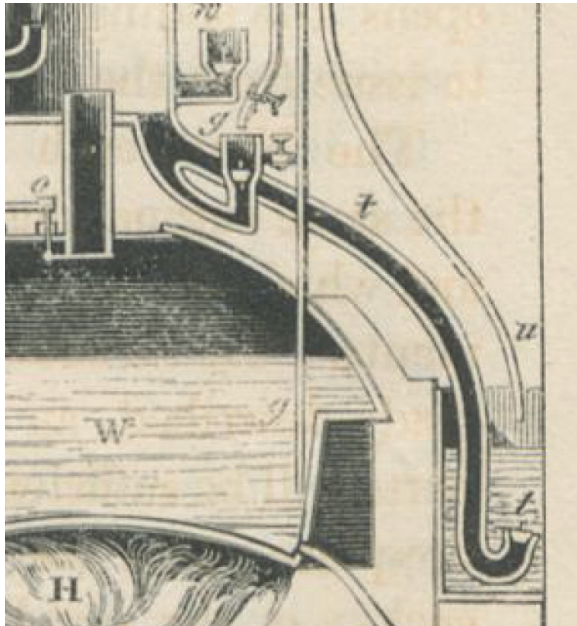
Obr.292 Automatizovaný parní stroj



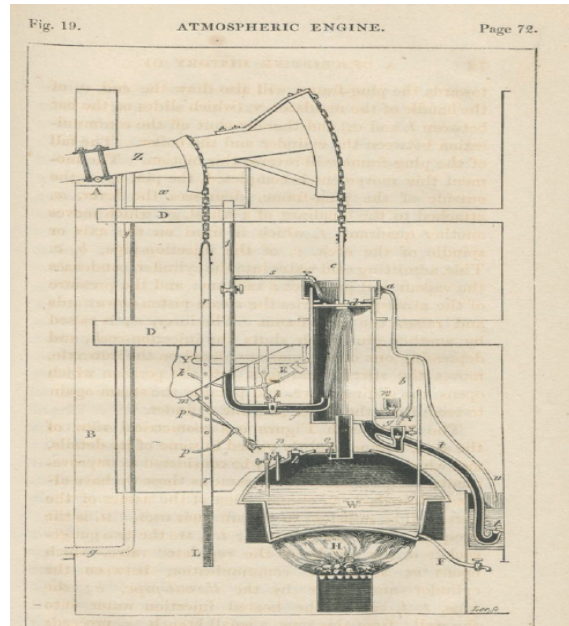
Obr.293 Automatizovaný parní stroj

Zpětnovazební regulace, kterou zavedl Henry Beighton, odstranila ubíjející práci přepínačů ventilů parního stroje a zvýšila produktivitu stroje. První automatizovaný parní stroj, který byl nazván „Griff Engine“, měl značné rozměry. Vnitřní průměr válce byl  $D=22''$  a objem  $V=113$  galonů ( po přepočtu na metrické jednotky  $D=0,559m$ ,  $V=0,5137m^3$ , výška válce  $H=2,1$  metru) ( Lit.12). O velikosti raných Newcomenových parních strojů je možno si udělat všeobecnou představu porovnáním s postavou muže pozorujícího čerpání vody na Obr.296. Obraz je datován rokem 1717. Velkost stroje je možno také odhadnout podle velikosti koňského spřežení na Obr.297. Velké rozměry parního stroje jsou patrné také z Obr.298,299. V roce 1720 byl v Londýně uveden do chodu automaticky pracující atmosférický parní stroj k čerpání vody z řeky Temže. Jeho bronzový válec měl vnitřní průměr  $D=760mm$  a délku  $L=2650mm$ , vykonával 10 až 20 zdvihů/minutu a za jednu hodinu načerpal  $3,1m^3$  vody do výše 38 metrů (Lit.23)( po přepočtu: trvalý průměrný výkon čerpadla byl  $P=0,321kW$ ). Nový

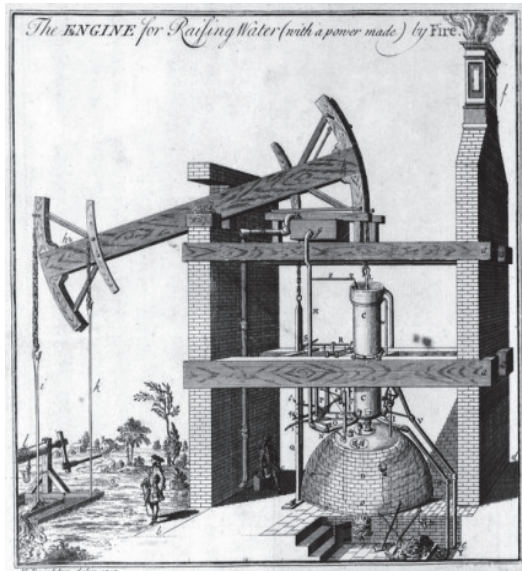
parní stroj si našel rychle cestu na evropský kontinent, také do podunajské monarchie. Již v roce 1724 byl dodán z Anglie parní stroj k čerpání důlních vod, byl uveden anglickým mechanikem do chodu v Banské Štiavnici (Slovensko). Projekt vedl architekt Joseph Emmanuel Fischer von Erlach (1683-1742), syn slavnějšího otce. Parní Newcomenův stroj měl průměr válce 0,85 metru a zdvih 2,1 metru. Tým architektů uvedl roku 1724 ve skutečnost úlohu čerpat vodu do fontán v zahradách předměstského paláce ve Vídni, jehož majitelem byl kníže Schwarzenberg (Lit.23).



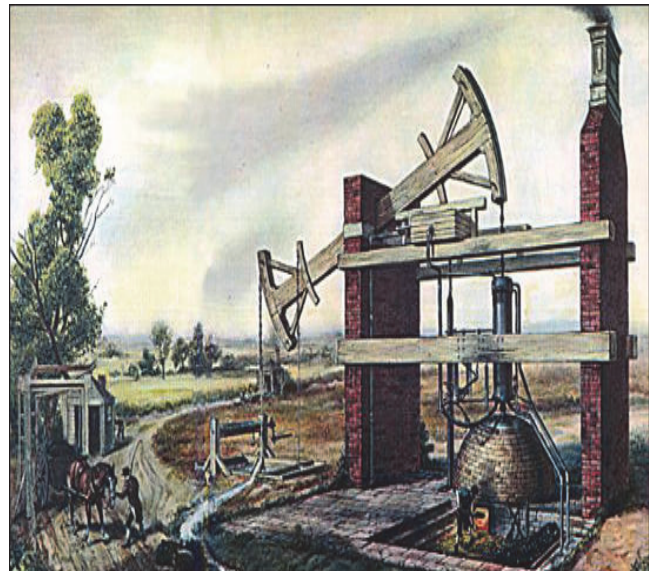
Obr.294 Odvod kondenzátu z válce stroje



Obr.295 Nástržik vody do válce parního stroje



Obr.296 Velikost Newcomenova stroje



Obr.297 Velikost Newcomenova parního stroje



Obr.298 Newcomenův parní stroj



Obr.299 Newcomenův parní stroj

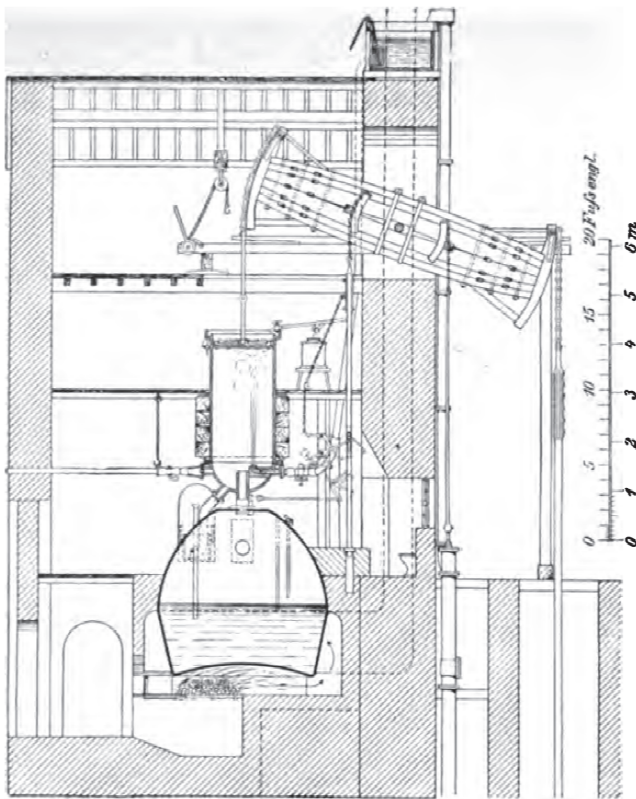
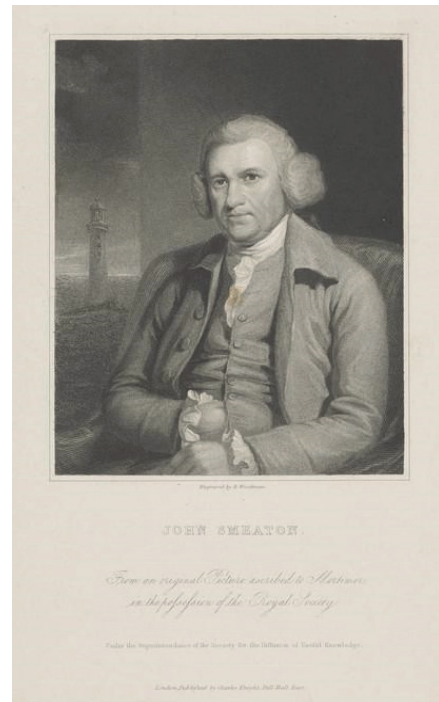


Fig. 9.

Obr.300 Řez atmosférickým parním strojem



Obr. 301 Vynálezce John Smeaton

Vynálezce, konstruktér a projektant John Smeaton ( 1724-1792)(Obr.301) v průběhu šedesátých a sedmdesátých let 18.století významně zlepšil účinnosti parního stroje a jeho technickou úroveň. Na Obr.300 a Obr.302 vidíme jím konstrukčně zdokonalený automaticky pracující parní stroj o průměru válce 1820 mm, se zdvihem pístu 2100mm. Stroj vykonával samočinně 12 zdvihů/minutu (Lit.23). Ve své době byl však John Smeaton hlavně znám svými úspěšnými stavbami majáků a mostů (Lit.188).

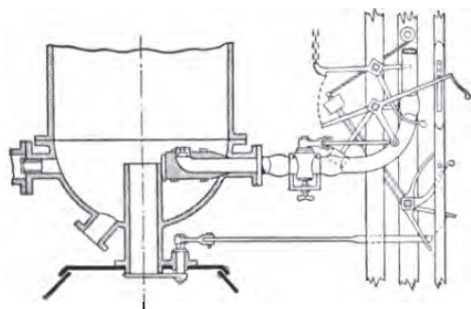


Fig. 11.

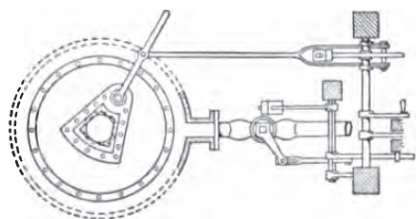


Fig. 12.



Obr. 302 Ovládání armatur parního stroje

Obr. 303 Opuštěný atmosférický parní stroj

Automatiku ovládání ventilu na potrubí nástřiku studené kondenzační vody a automatiku ovládání segmentového šoupátka na výstupu páry z parního kotle nahoru do válce vidíme na Obr.302. Jeden z největších parních strojů postavil John Smeaton v roce 1775. Stroj byl užit k čerpání vody v dole Chacewater v hrabství Cornwall. Celková výška stroje od spodku parního kotle po vrch zásobní nádoby na vodu byla 30 metrů, průměr válce  $D=1,82$  metru, zdvih pístu 3 metry, hmotnost válce 6600 kg. Vodorovné vahadlo mělo výšku 1,8 metru a délku 8,3 metru. Hřídel vahadla měl průměr 210mm a byl uložen kyvně v bronzovém ložisku. Podle soudobých údajů měl stroj výkon 80 koňských sil (HP) (Lit.23). Na fotografii vidíme parní stroj k čerpání důlních vod, který byl opuštěn v roce 1830. Průměr válce byl 0,7 metru, zdvih 1,83 metru, vahadlo bylo 6 metrů dlouhé (Obr.303, Lit.23).



Obr.304 I.I.Polzunov



Obr.305 Model



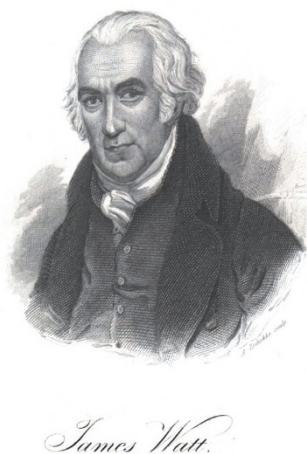
Obr.306 carevna Kateřina II



Obr.307 Parní stroj

Ruský vynálezce I.I.Polzunov (1728-1766) (Obr.304) sestrojil za finanční podpory ruské carevny Kateřiny II ( Obr.306 - Veliké, rozené Sophie Augusta Friederike von Anhalt-Zerbst,dcery pruského generála a knížete) dvouválcový parní stroj (novodobý model na Obr.305), který byl provozován k pohonu dmychadel v městě Barnaul (Obr.307)(Lit.182).Po smrti vynálezce na tuberkulózu již nikdo na zdokonalení a výrobě jím vynalezeného parního stroje nepracoval, vše upadlo v zapomnění.

Parní stroj zdokonalil revolučním způsobem skotský vynálezce James Watt (1736-1819)( Obr.308, Obr. 309,331,332 ). V letech 1763-1764 měl Watt jako mechanik univerzity v Glasgow možnost opravovat Newcomenův parní stroj, seznámil se s jeho funkcí. V letech 1764 až 1767 prováděl Watt pokusy s malým zařízením, které mělo přivodit páry pod a nad píst ve válci, víka s manžetou a otvorem pro pístní tyč, oddělený kondenzátor páry a tepelnou izolaci válce pomocí dřevěného pouzdra (Obr.309). Watt rovněž navrhl mazání pístu ve válci olejem nebo voskem (Lit.12). V roce 1768 byl ve stavbě parní stroj o vnitřním průměru válce 18" (457mm), konstruovaný podle zkušeností s malým modelem. V dubnu 1769 byla podána žádost o udělení patentu. Dr Roebuck byl spolupodílníkem na patentu. Jeho podíl získal roku 1773 Matthew Boulton (1728-1809)(Obr.310,315 vlevo,Obr.316). Matthew Boulton vlastnil manufakturní továrnu na kovové zboží v Soho u města Manchester (Obr.330), kde zaměstnával 600 až 800 řemeslníků. Zaměstnanci manufaktury dovedli kromě výroby kovových knoflíků a řetízků vytvořit díla uměleckého řemesla ceněná sběrateli na aukcích dodnes (Obr.313, 314). Pro britskou vládu vyrobili v letech 1797-1806 v Soho přes 4.200 tun měděných mincí. Mince razili za pomoci parního stroje též pro export (Lit.137). Watt a Boulton dosáhli roku 1775 prodloužení platnosti patentu až do roku 1800. Toto rozhodnutí učinil parlament v Londýně. V roce 1776 byly dodány první dva sériově vyrobené parní stroje. Součástí kupní smlouvy na stroje bylo, že Boulton & Watt obdrží každoročně poplatek ve výši 1/3 ceny uhlí uspořené ve srovnání s atmosférickým parním strojem stejného výkonu. Po zvážení okolností bylo rozhodnuto,



Obr.308 James Watt



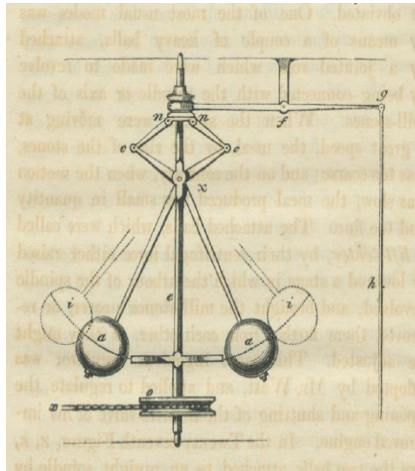
Obr.309 James Watt při pokusech s malým parním strojem

že celkové množství spotřebovaného uhlí je úměrné počtu zdvihů stroje, který bude základem pro vyčíslení úspory uhlí. Na parní stroje byla montována počítadla zdvihů s ozubenými kolečky a číselníkem v uzamykatelném pouzdru. Pouzdro počítadla bylo možno otevřít dvěma sadami klíčů užitými najednou. Jednu sadu klíčů měl vlastník stroje a druhou pánové Boulton a Watt, kteří buď osobně nebo pomocí pověřených zástupců prováděli odečet a zúčtování. Komu takový postup nevyhovoval mohl dohodnout jednorázový paušál. Váhajícím zákazníkům dokonce postavili Boulton & Watt stroj na svůj účet a zákazník úvěr postupně splácel. Vlastníkům atmosférických kondenzačních parních strojů nabízeli jejich odkup za cenu vyšší než tržní a dodali jim svůj nový stroj expanzní. Od roku 1773 do roku 1787 bylo vydáno na vývoj a výrobu parních strojů z pokladny pana Boultona 47.000 liber. Společnost Boulton&Watt svými příjmy za dodávky parních strojů tuto částku vyrovnala až roku 1787(Lit.137). Za 47.000 liber bylo možno zakoupit v Londýně roku 1780 zlato ve váze 11.190

trojských uncí (asi 350kg) (Lit.103).( Roku 2017 byla cena 350 kg zlata přibližně 320milionů Kč).  
Můžeme si udělat představu o tíživosti nákladů na vývoj a uvedení nového parního stroje do praxe.



Obr.310 Matthew Boulton



Obr.311 Odstředivý regulátor



Obr.312 William Murdoch

Do roku 1800, kdy patent skončil svoji platnost , bylo dodáno na 450 strojů (Lit.12). William Murdoch (1754-1839)(Obr.312) byl sám vynálezcem a nejvýznačnějším spolupracovníkem Watta a Boultona.



Obr.313



Obr.314

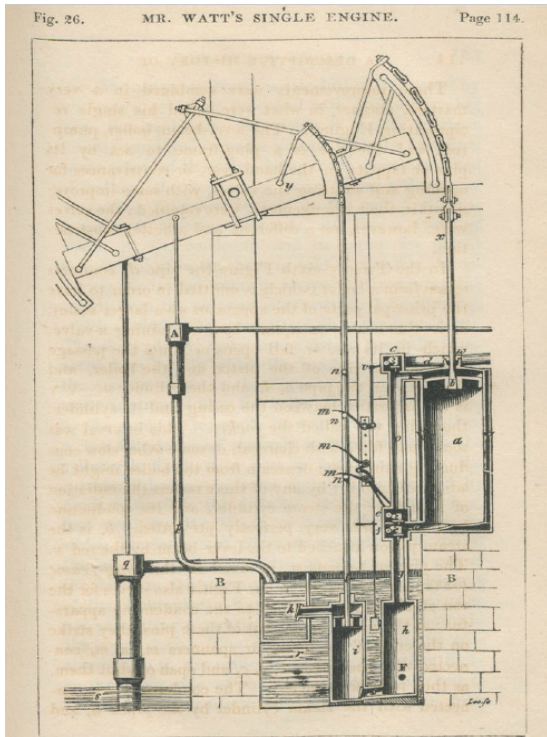


Obr.315 Bankovka 50 GBP

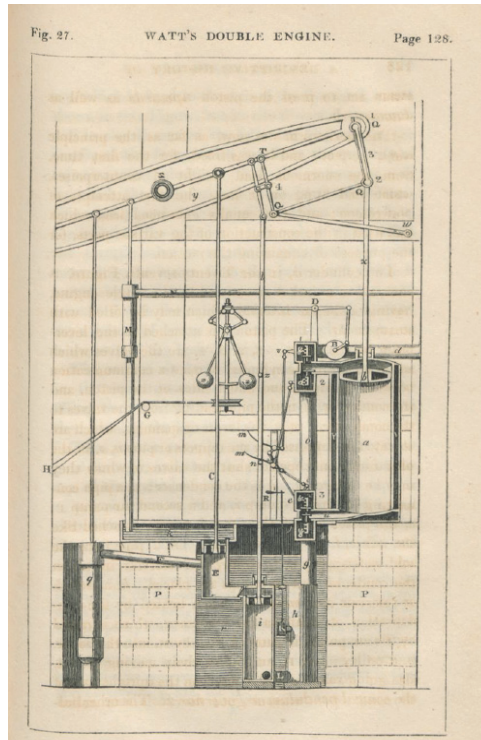


Obr.316 M.Boulton

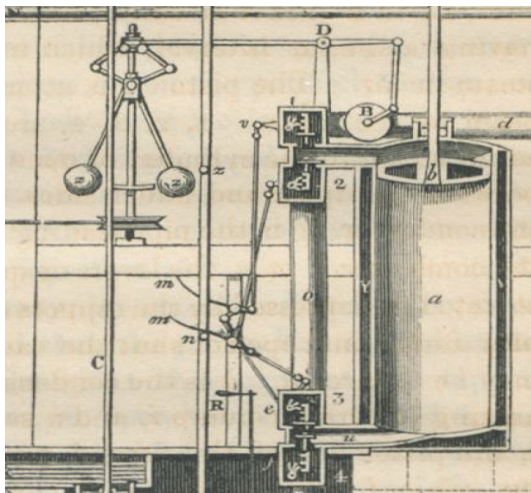
Vraťme se zpátky k automatizační technice. Na Obr.317, 318 je vidět provedení stroje s válcem „a“ a pístem „b“ na pístní tyči „x“ ukončené řetězem na obvodu vahadla „y“. Vlevo na vahadle je další menší segment s řetězem na jehož konci visí svislé táhlo ukončené pístem ve válci „i“. Ovládání ventilů je realizováno tímto táhlem, jak ukazují páky „m“ a „n“, na Obr.318 je vidět zvedání ventilů pomocí ozubených hřebenů a kol. Watt považoval za vhodné doplnit kondenzátor páry „F“ pomocným vysáváním páry pístem ve válci „i“ (Obr.317). Na Obr.318 vidíme zdokonalené provedení parního stroje s odstředivým regulátorem. Koule regulátoru byly připevněny na konci dvojitých pák, které se otáčely v čepu „H“ (Obr.320) . Při rotaci hřídele „D-C“ se koule odstředivou silou zvedaly a natáčely páky, které táhly dolů v bodě „F“ tyče otočně připevněné k pouzdru „K“. Pohybem pouzdra „K“ dolů se zvyšovala a poloha čepu „N“ na dvojitých pákách směrem nahoru. Páka se otáčela kolem čepu „L“. V bodě „N“ zavěšené svislé táhlo pak zavíralo za pomoci páky „M“ průtok páry klapkou „T“. Snížený průtok páry do parního stroje se projevil snížením počtu otáček stroje a tím také poklesem počtu otáček odstředivého regulátoru za jednotku času. Regulátor byl totiž poháněn řetězem od hřídele parního stroje kladkou „A-B“ (Lit.19). Wattovy stroje s rotačním pohybem hřídele na výstupu byly vyráběny teprve od roku 1782 (Lit.137). Do té doby pracovaly s přímočarým pohybem na výstupu k pohonu čerpadel vody, stejně jako atmosférické kondenzační stroje Newcomenovy.



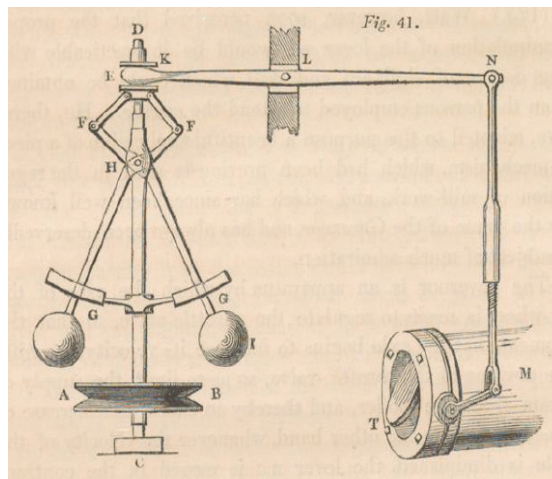
Obr.317 Expanzní Wattův parní stroj



Obr.318 Expanzní Wattův parní stroj



Obr.319 Odstředivý regulátor otáček



Obr.320 Přímočinná regulace průtoku páry

Odstředivý regulátor vycházel z již osvědčeného způsobu nastavení polohy mlýnských kamenů v mlýnech s pohonem vodním kolem (Lit.12). Jestliže začalo přitékat náhonem na vodní kolo mlýna více vody roztočil se mlýnský kámen na vyšší otáčky a zvětšila se mezera mezi kameny, mlýn začal mlít víc nahrubo. Zvedací zařízení se dvěma rotujícími koulemi nazývané „lift-tender“ dokázalo působit proti zvedání rotujícího mlýnského kamene a udržovalo mezery mezi kameny na žádané velikosti. Podobně byla regulována velikost mezery mezi mlýnskými kameny větrných mlýnů.

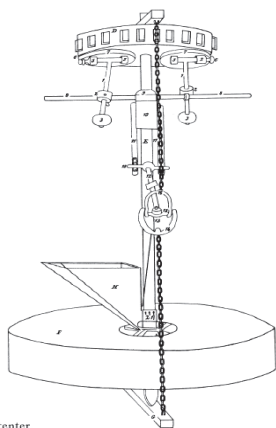


Figure 62 Mead's lift-tenter.

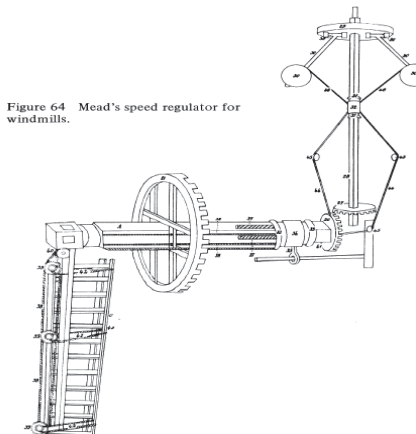
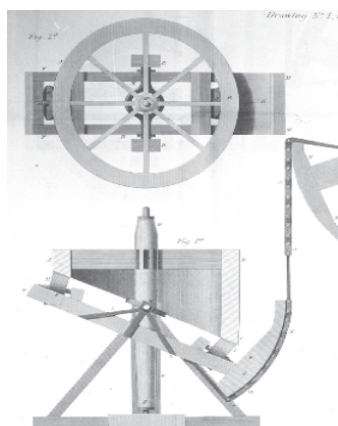


Figure 64 Mead's speed regulator for windmills.

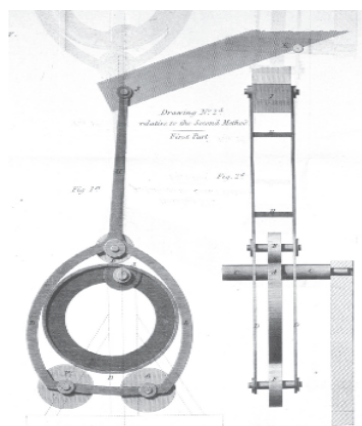
Obr.321 Meadův odstředivý regulátor

Obr.322 Meadův odstředivý regulátor

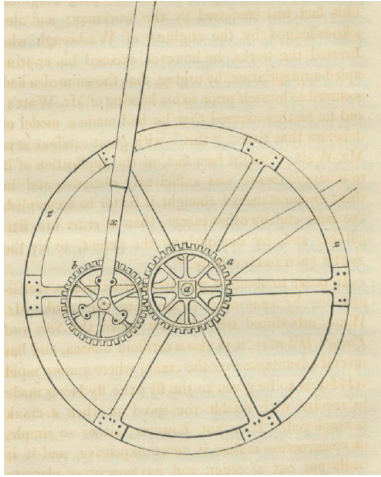
Vynálezce Thomas Mead získal v roce 1787 britský patent č.1628 na odstředivý regulátor (Obr.321,Obr.322, Lit.184). Na Obr.321 vidíme přitahování mlýnského kamene řetězem vzhůru při působení vyšší odstředivé síly působící na dvě rotující koule vedené po vodorovném roztěžníku. Na Obr.322 je vidět odstředivý regulátor, který pomocí pák a převodů přímočinně nastavoval úhel lopatek větrného mlýna k regulaci otáček vodorovného hřídele mlýna. Nového patentovaného vynálezu si povšiml Matthew Boulton a dopisem ze dne 28.května 1788 upozornil na jeho význam. Adresátem dopisu byl James Watt (Lit.184). Watt zkonstruoval roku 1788 regulátor k ovládání škrtkové klapky průtoku páry do stroje, tedy k regulaci jeho výkonu (Obr.320). Regulátor se nestal předmětem patentu. Regulátor byl potřeba k udržování Watterem v letech 1782-1784 postupně zavedeného rotačního pohybu hřídele parního stroje na konstantních otáčkách při kolísající zátěži. Nejdříve však musel Watt najít způsob převodu posuvného pohybu pístu na otáčení hřídele se setrvačnickem. Cizí patent mu zabránil vyřešit úlohu jednoduše použitím klikového mechanismu. Watt vymyslel a nechal roku 1782 patentovat pět různých převodů, aby obešel blokované řešení s klikou (Lit.137). Převody přímočarého pohybu pístu parního stroje na rotaci hřídele připomínající komíhající kotouč a vačkový mechanismus James Watt nepoužil (Obr.323,324, Lit.138).K převodu přímočarého pohybu pístu na rotaci hřídele byl nakonec zvolen převod odvalováním ozubených kol (Obr.325 )(Lit.19).



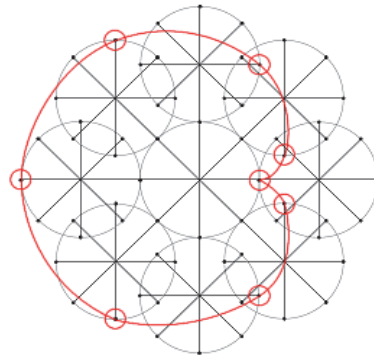
Obr.323 Převod



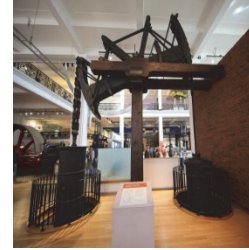
Obr.324 Převod



Obr.325 Odvalovací převod



Obr.326 Kardioida



Obr.327 Muzeum

Ozubené kolo „a“ bylo pevně spojeno s hřídelem, s ojnicí pístu „x“ bylo pevně spojeno ozubené kolo „b“. Při pohybu ojnice vzhůru otáčelo ozubené kolo „b“ pravotočivě hřídelem s připevněným ozubeným kolem „a“ a po dosažení horní úvratě pokračovala ojnice po pravé straně ozubeného kola „a“ v pohybu směrem dolů (Obr.325). K překonání mrtvého bodu úvratě potřeboval parní stroj setrvačnick. Odvalování dvou ozubených kol o stejné roztečné kružnici je geometricky znázorněno na Obr.326. Počáteční styčný bod roztečných kružnic opisuje vzhledem k roztečné kružnici ozubeného kola „a“ křivku zvanou kardioida (srdcovka). V roce 1782 byl první parní stroj s rotujícím hřídelem zralý na provozní uplatnění, ještě bez rotačního regulátoru. V roce 1786 byl stroj užit v trvalém provozu k pohonu mlýna na mouku v Londýně (Lit.23). Parní stroje s odstředivým regulátorem byly vyráběny od roku 1789. Po roce 1800 již byly stroje celokovové, s rozvodem páry válcovými šoupátký, jak ukazuje provedení stroje vyrobeného v továrně v Soho roku 1808 Obr.328,329)(Lit.23). Na území

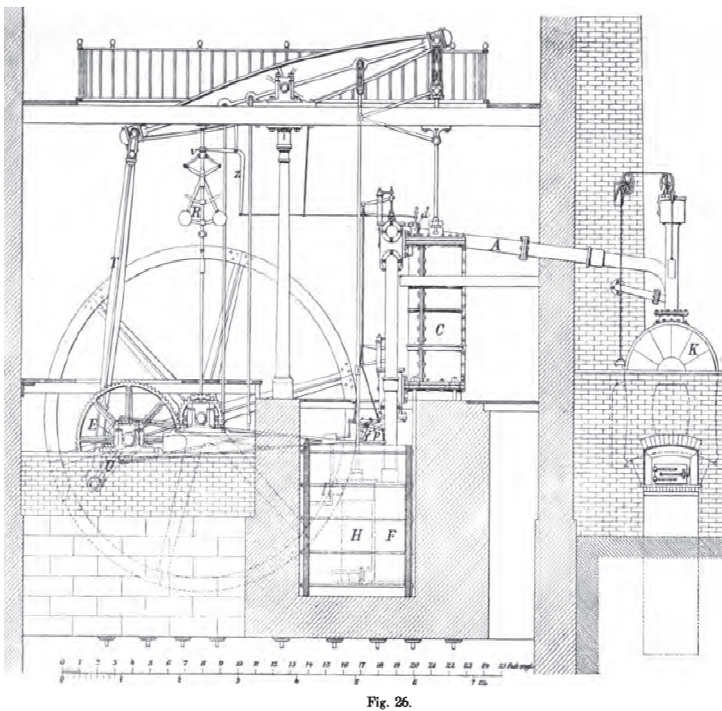


Fig. 26.

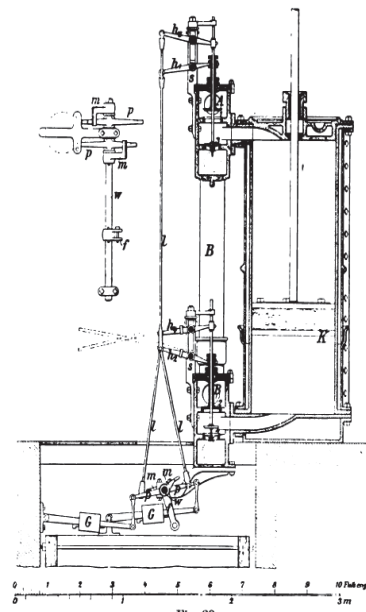


Fig. 28.

Obr.328 Parní stroj s válcovými šoupátký

Obr.329 Parní stroj s válcovými šoupátký

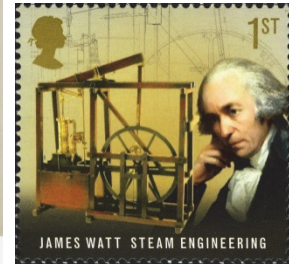
Rakouského císařství byl první Wattův parní stroj dodán do Vídně roku 1815, až po Velké francouzské revoluci, napoleonských válkách a ukončení kontinentální blokády v letech 1806-1814. Následující rok 1816 sloužil týž parní stroj v Brně v tkalcovně (Lit.96). Zbývá podotknout, že v té době parní stroje pracovaly ke spokojenosti svých majitelů již přes 100 let, aniž by někdo přesvědčivě zdůvodnil co se děje uvnitř válce parního stroje. Jako první vydal soustavné a uznávané pojednání na téma expanze páry N.L.Sadi Carnot (1796-1832) a sice jako svou jedinou publikaci v roce 1824 (Lit.118).



Obr.330 Továrna v Soho



Obr.331 James Watt

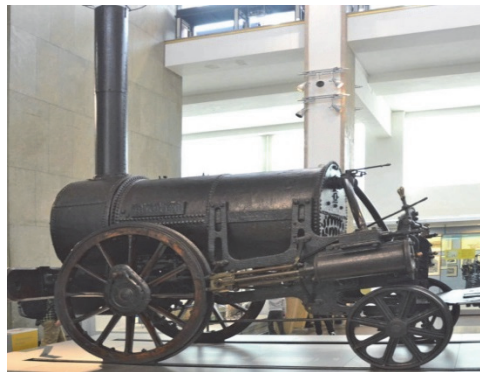


Obr.332 James Watt

Parní stroje našly počátkem 19.století rychle cestu ke konstruktérům kolejových a silničních vozidel.



Obr.333 G.Stephenson



Obr.334 Lokomotiva „Rocket“

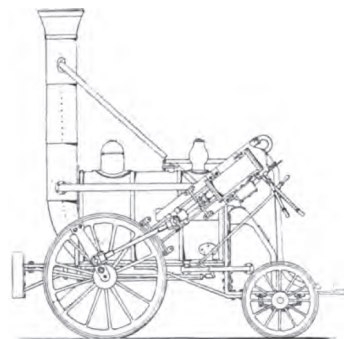
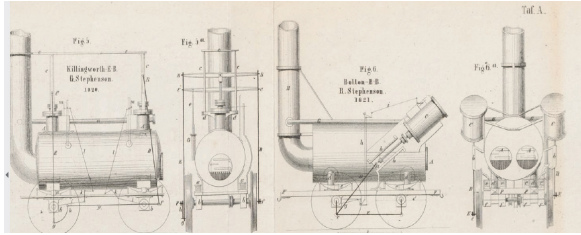


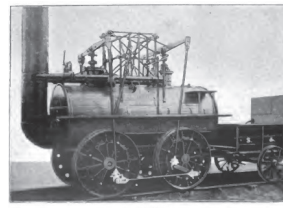
Fig. 91.

Obr.335 Lokomotiva „Rocket“

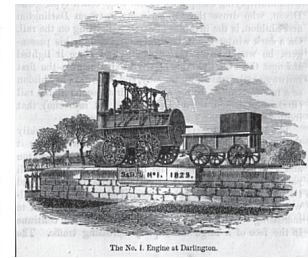
Anglický strojní konstruktér a výrobce lokomotiv George Stephenson (1781-1848)(Obr.333,342) je veřejnosti znám jako autor lokomotivy „Rocket“ (Obr.334,335). George Stephenson byl nejúspěšnějším z četných konstruktérů lokomotiv v Anglii v první čtvrtině 19.století. Osm lokomotiv „Rocket“ z jeho dílny zahájilo pravidelný provoz na trati Liverpool-Manchester dne 15.9.1830, vlak tehdy uvezl až 600 osob. Jeho úspěch však založila „Lokomotiv Nr.1“ (Obr.337,338) provozovaná na trati Stockton-Darlington od 27.9.1825. Tyto lokomotivy zprvu využívaly samočinný rozvod konstruovaný podobně jako u stacionárních parních strojů. V třicátých letech 19.století byly do samočinných rozvodů nově zahrnuty excentry (výstředníky) (Obr.339,340). Vynálezce Howe významně zdokonalil roku 1842 rozvod lokomotiv užitím kývající se součásti nazývané kulisou (Lit.40).



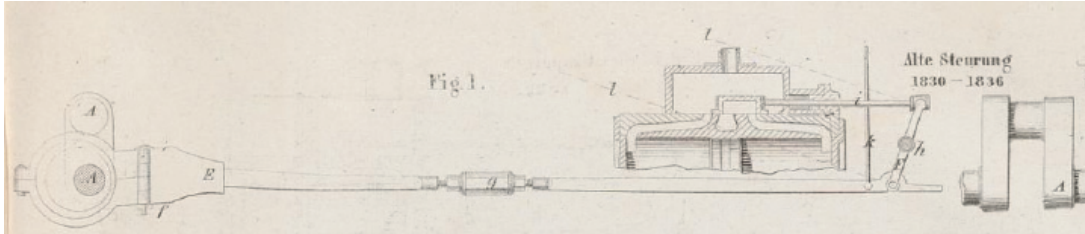
Obr.336 Lokomotivy z let 1820-1821



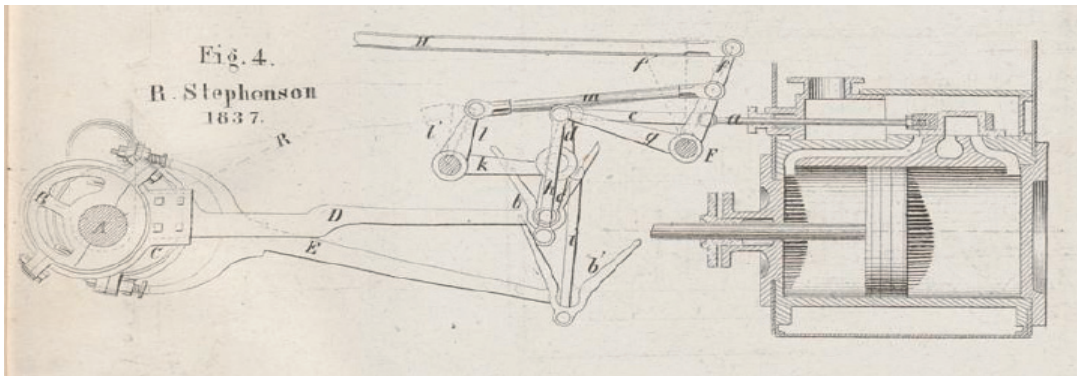
Obr.337 Locomotion Nr.1



Obr.338 Locomotion Nr.1



Obr.339 Samočinné ovládání šoupátka u lokomotivy obvyklé v letech 1830-1836



Obr.340 Samočinný Stephensonův rozvod na lokomotivě bez užití kulisy z roku 1837

Stephenson prvně využil samočinného řízení rozvodů s Howeho kulisou na lokomotivě v roce 1842.

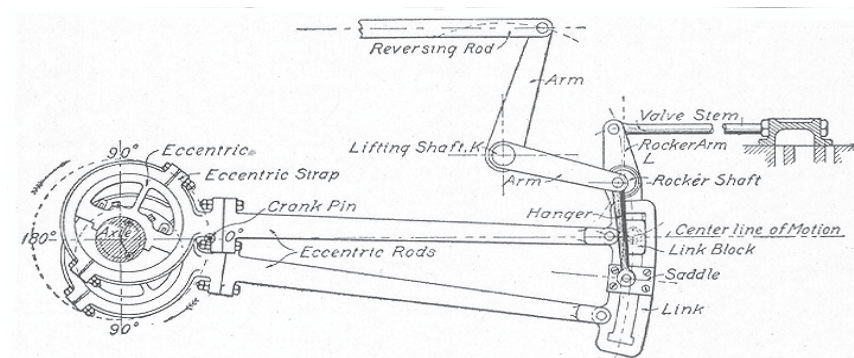


Fig. 64. Standard Stephenson Valve Gear.



Obr.341 Stephensonův automatický rozvod parního stroje s kulisou

Obr.342 G.Stephenson

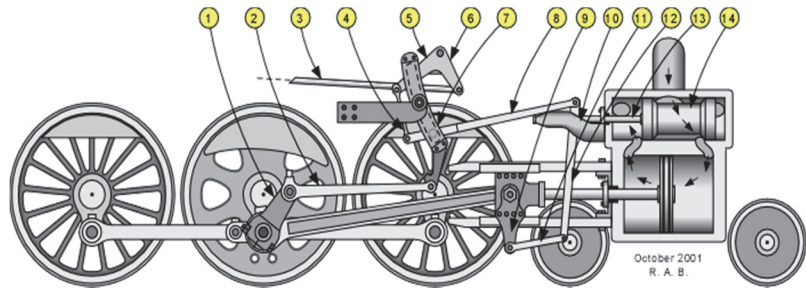
Standardní Stephensonův reverzační rozvod umožnil strojvůdci ručně pákou pomocí bloku připevněného šrouby ke kulise („Saddle“ Obr.341) nastavit polohou kulisy („Link“) dopředný a zpětný chod („Reversing Rod“ Obr.341). Dva úhlově pootočené excentry připevněné kluzně na hřídeli kola lokomotivy („Eccentric“ Obr.341) kývaly pomocí táhel („Eccentric Rods“) kulisou. Díl „Link Block“ uložený kluzně v kulise byl čepem připevněn k páce „Rocker Arm“ otočné na hřídeli „Rocker Shaft“.

Tato páka již pohybovala plochým šoupátkem pomocí táhla „Valve Stem“. Poloha šoupátka určovala směr otáčení kol a výkon parního stroje. George Stephenson byl také autorem rozchodu ocelových kolejnic, jím zvolený rozměr 4'8 ½" (1435mm) můžeme najít u většiny evropských železnic dodnes. Dobrá pověst provozně funkčních lokomotiv se rozšířila z Velké Británie na evropský kontinent. V polovině třicátých let 19.století se anglické parní lokomotivy objevily v Belgii, Německu a později také v Rakouském císařství na první parostrojní železniční trati Vídeň-Brno budované v letech 1837-1839.

Automatický systém řízení parního lokomotivního stroje byl předmětem dalších zdokonalení. Jedním z velmi úspěšných strojních konstruktérů byl belgický vynálezce Egide Walschaerts.



Obr.343 Egide Walschaerts



Obr.344 Walschaertsův rozvod

Egide Walschaerts (1820-1901)(Obr.344,346) působil jako předák a dílovedoucí v železničních dílnách belgických drah v Mechelen. První belgická železnice Brusel-Mechelen v délce 30 kilometrů byla v provozu od roku 1835, vlaky byly taženy lokomotivami dodanými z Anglie. Walschaerts sestrojil v roce 1844 rozvod své vlastní konstrukce, který byl patentován. Egide Walschaerts užil v návrhu svého systému automatického řízení chodu parního stroje rovněž kulisu (pozice „e“ na Obr.345). Kulisa byla otočná kolem bodu „Q“ a kývala se pohybem udělovaným táhlem „E“ od excentru. V kulise byl suvně uložen díl „P“. Strojvůdce mohl přestavit pomocí táhla „R“ polohu čepu v „P“ a tím nastavit chod vpřed anebo vzad a také žádanou hodnotu výkon parního stroje přestavením bodu „J“ doprava nebo doleva. Základní zdvih táhla šoupátka „V“ byl dán zpětnovazebním pohybem křížáku v bodě „H“ přenášeným táhlem „D-H“. Vodorovný pohyb táhla šoupátka „V-G“ byl přímočarý (Lit.17).

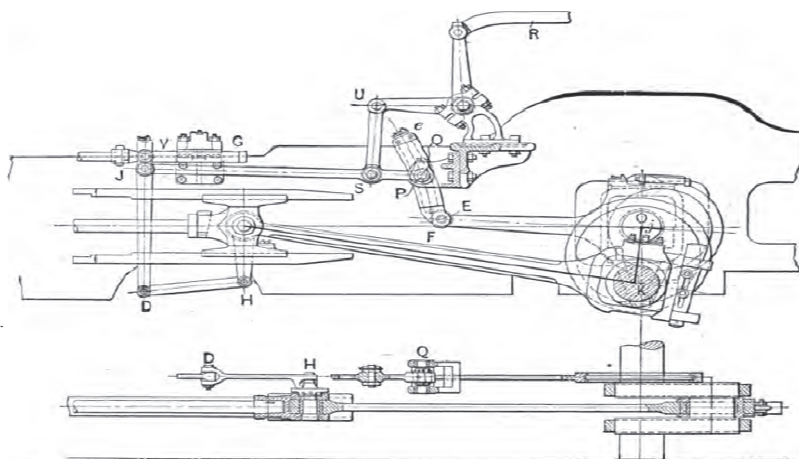
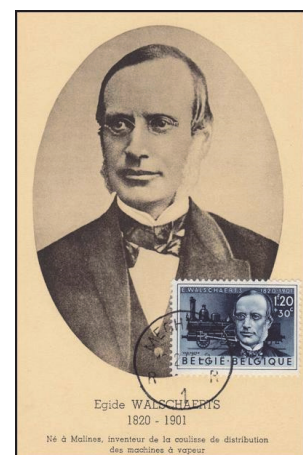


FIG. 18.—Walschaert Valve Gear for Low-Pressure Cylinders of the DeGlehn Compound.

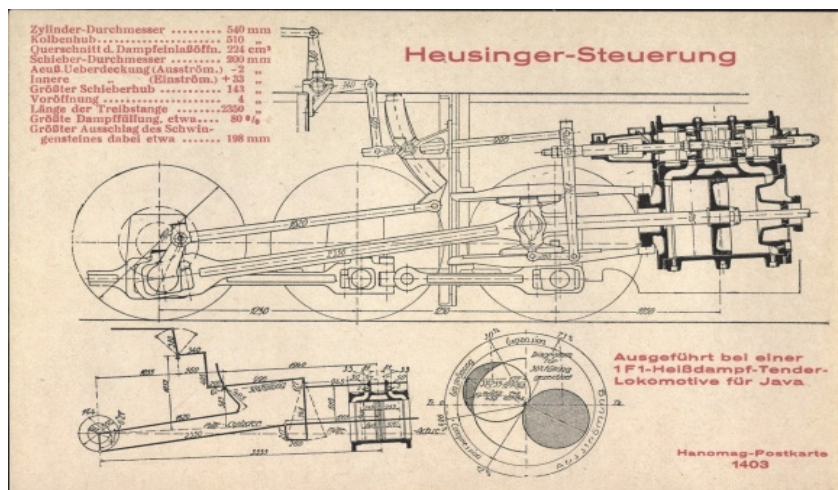


Obr.346 Egide Walschaerts

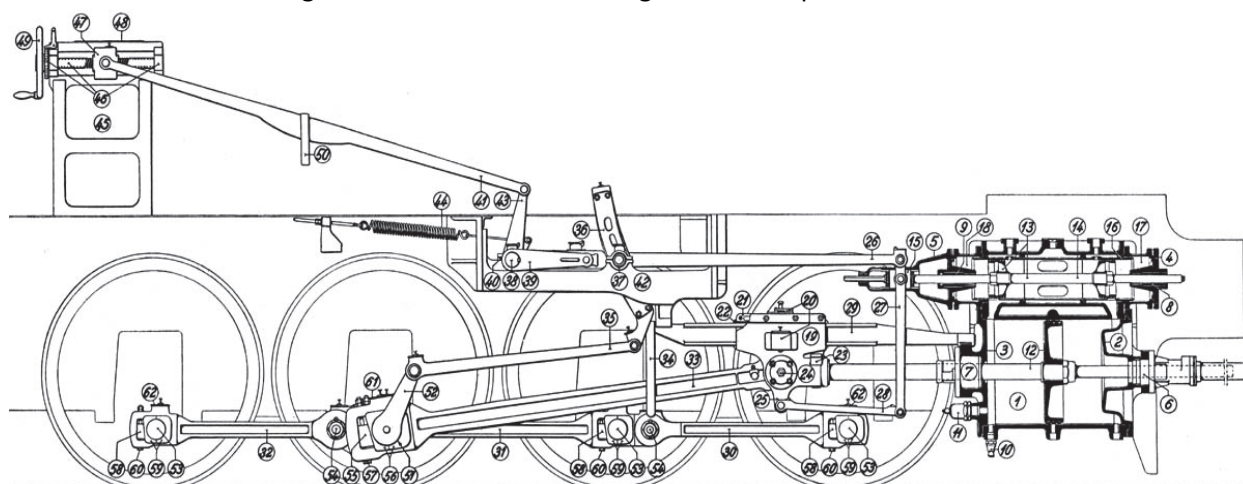
Obr.345 Walschaertsův rozvod v provedení užitém v Severní Americe



Obr.347 Edmund Heusinger



Obr.348 Heusingerův rozvod parních lokomotiv

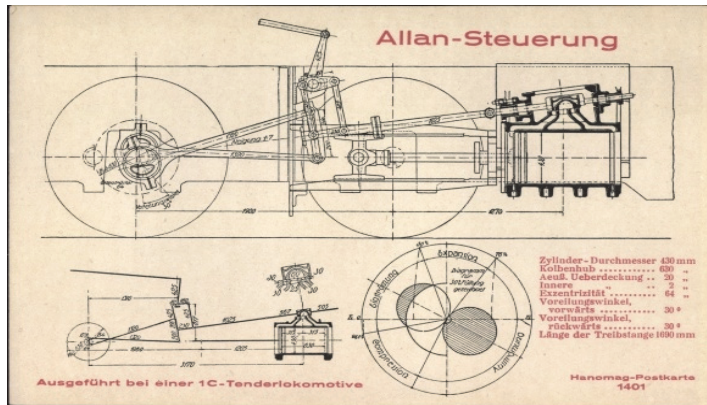


Obr.349 Schéma standardního Heusingerova automatického rozvodu parní lokomotivy

Edmund Heusinger von Wadlegg ( 1817-1866)(Obr.347) byl předákem a vedoucím železničních dílen. V roce 1849 sestrojil rozvod, jehož schéma je vidět na Obr.349. Pozice 1 označuje parní válec, poz. 12 píst s tyčí. Tyč pohybuje křížákem (poz.19) na jehož čepu (poz.24) je kyvně uložena ojnice (poz.33), která klikou pohání kolo. Kliky sousedních kol jsou spřažené táhly (poz.30,31,32). Úhlově potočená klika (poz. 52) přenáší pohyb hlavy ojnice (poz.33) na spojovací táhlo (poz.35), které kýve dolní částí kulisy (poz.36). Kulisa se kýve na hřídeli (poz.37), jehož ložisko je pevně spojeno s rámem lokomotivy (poz.42). V kulise je surně uložen blok spojený s táhlem (poz.26). Výškovou polohu surného bloku určuje zvedací páka (poz.39), která je otočná kolem hřídele (poz.38). Pákou (poz.39) pohybuje táhlo (poz.50) vedoucí do kabiny strojvůdce, který ovládacím kolem (poz.49) šroubu nastavuje polohu matice (poz.47). Stupnice (poz.48) slouží ke kontrole nastavení pozice v kulise (poz.36). Řízení drží v záběru pružina (poz.44). Polohu křížáku přenáší na táhlo šoupátka (poz.14) dvojice táhel (poz.28, 27). K této zpětné vazbě určuje táhlo (poz.26) žádanou hodnotu příkonu páry pomocí válcového šoupátka (poz.13). Kulisa (poz.36) slouží k nastavení příkonu i reverzaci pohybu dvojitinného parního stroje ( pohybu lokomotivy vpřed a vzad) (Lit.104). Popsaný automatický rozvod lokomotivy uvidíme v současnosti při nostalgické cestě parním vlakem. Edmund Heusinger byl současníkem znám jako autor rozsáhlých technických příruček s mnoha výkresy, které popisují snad úplně všechny stroje a zařízení na tehdejší železnici( např.Lit 40,187).

Skotský strojní inženýr Alexander Allan (1809-1891) byl autorem dalšího systému řízení parního stroje

na železničních lokomotivách (Obr.350-352), který zkonstruoval v roce 1855. Ve svém provozně úspěšném návrhu použil rovněž kulisu, jeho systém byl také používán v Rakousku-Uhersku.



Obr.350 Řízení dle Alexandra Allana



Obr.351 Řízení dle Allana

Na fotografiích (Obr.351,354-357) vidíme výrobek strojírný Georg Sigl (Obr.353) ve Wiener Neustadt z roku 1873, lokomotiva sloužila na železnici ČSD do roku 1954, nyní je vystavena v muzeu (Lit.200)



Obr.352 Kulisa řízení



Obr.353 Georg Sigl



Obr.354 Řízení dle Allana



Obr.355 Parní šoupě a válec



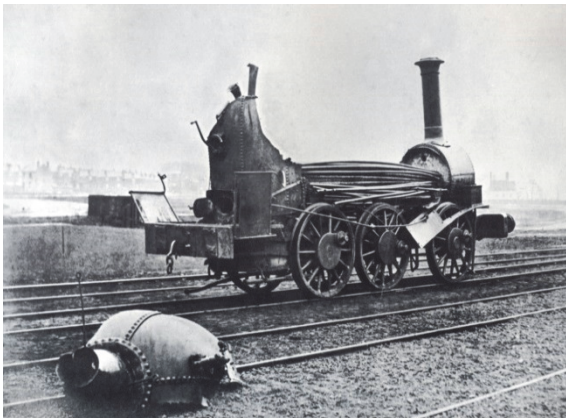
Obr.356 Lokomotiva



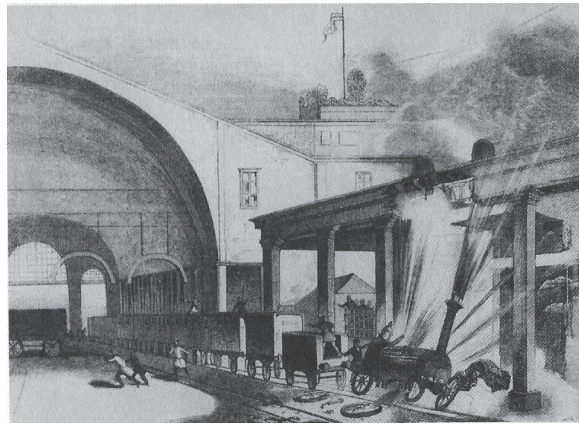
Obr.357 Vymezení vŭle přičným klínem

Objem vody v parním kotli lokomotiv z poloviny 19.století byl značný, tlak páry mohl být až 1MPa. Kotle byly napájeny neupravenou vodou, kotelní kámen vytvořený z vody způsoboval místní špatný přestup tepla mezi spalinami a stěnou kotle či stěnou trubek. Takové závady spolu nadměrným

zvýšením tlaku v kotli vedly v 19.století na železnicích v Evropě k desítkám nehod. Na Obr.358 vidíme havarovanou lokomotivu v Anglii roku 1850. Explozi lokomotivy na nástupišti nádraží v Lipsku (Leipzig) v roce 1846 znázornil grafik na Obr.359. Další následky havárie lokomotivy ukazuje Obr.360.



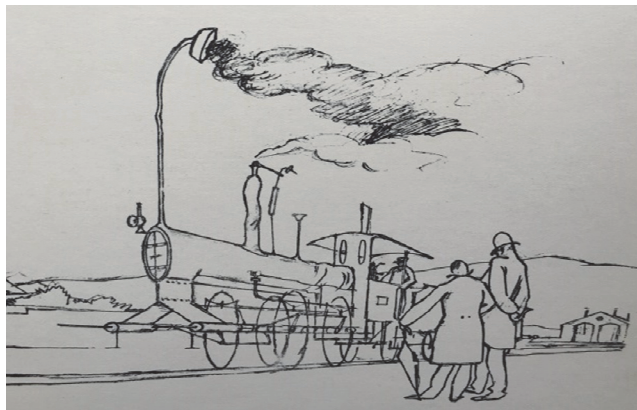
Obr.358 Výbuch kotle lokomotivy



Obr.359 Výbuch kotle lokomotivy

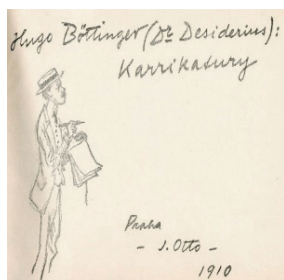


Obr.360 Havarovaná lokomotiva

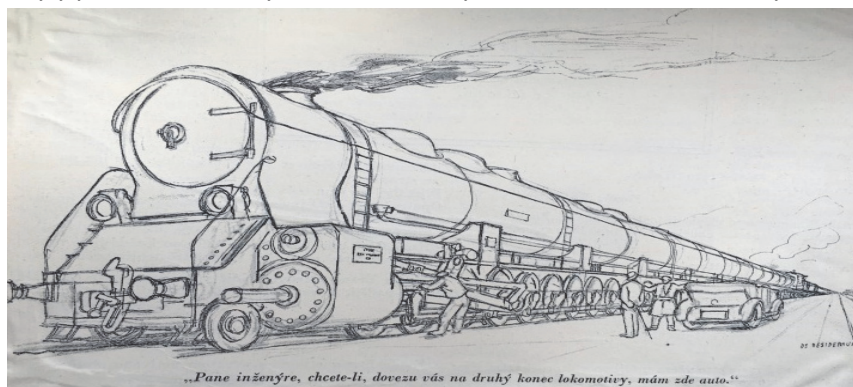


Obr.361 Churavá parní lokomotiva

Většinu cestujících se nikdy nic nestalo, železnice byla jako novinka velmi obdivována. Ve čtyřicátých letech 19.století byla na parních železnicích v dnešním Rakousku, Čechách a na Moravě většina dopravy osobní, jen menší část připadala na dopravu nákladní (Lit. 96). Cestující veřejnost mohla vidět automatické řízení výkonu parních lokomotiv každodenně po dobu 130 let. Teprve počátkem osmdesátých let 20.století byly parní lokomotivy zcela nahrazeny lokomotivami s elektrickým

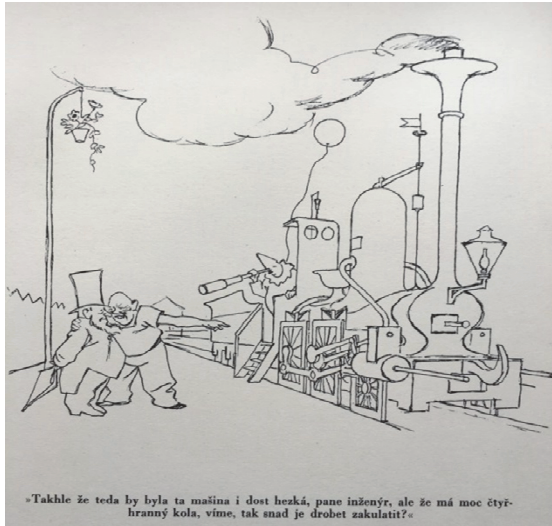


Obr.362 Kreslíř karikatur



Obr.363 Lokomotiva výkonná a moderní

pohonem nebo s dieselovým motorem. Během plynoucích desetiletí se ke slovu se hlásili nejen nadšení obdivovatelé technických vlastností nových strojů, ale také humoristé. Na Obr.361 vidíme očima kreslíře Dr Desideria ( vlastním jménem Hugo Böttinger)(Obr.362) lokomotivu silně churavou. Další kresba na Obr.364 ukazuje lokomotivu chybně konstruovanou a nadsázka přišla ke slovu také na Obr.363 , který znázorňuje karikaturu lokomotivy výkonné a moderní. Ve sbírce karikatur nechybí ani veselá parní lokomotiva ( Obr.365)(Lit.99).

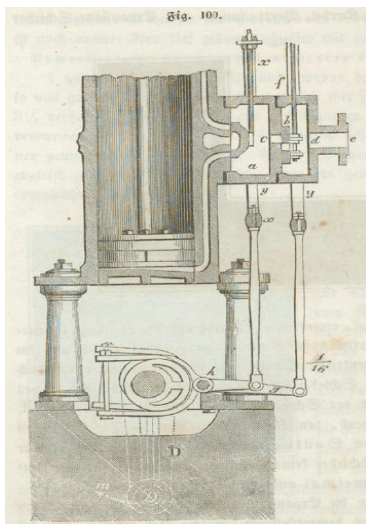


Obr.364 Lokomotiva chybně konstruovaná

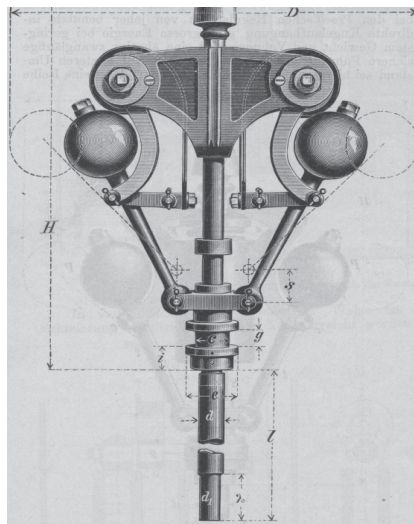


Obr.365 Lokomotiva veselá

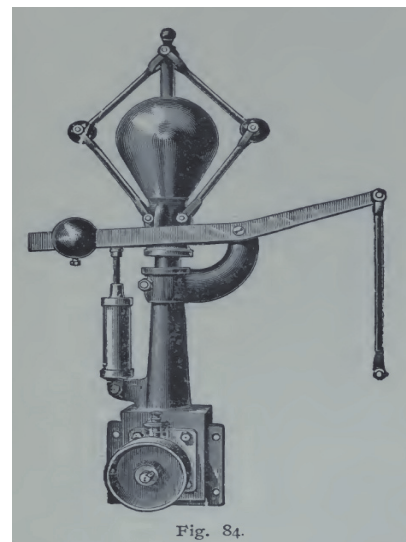
Vraťme se ale zpátky k automatickému řízení stacionárních parních strojů, které jsme opustili v roce 1815. Původní Wattův odstředivý regulátor otáček doznal časem bezpočtu konstrukčních změn. Na Obr.366 vidíme provedení z roku 1848, kde se uplatnila plochá šoupátka ovládaná pomocí excentrů, podobně jako tomu bylo u soudobých lokomotiv (Lit.91) . Konstrukteři se snažili úpravou odstředivých regulátorů dosáhnout co nejpříznivější vlastnosti regulace (Obr.367, 368) (Lit.63,16)



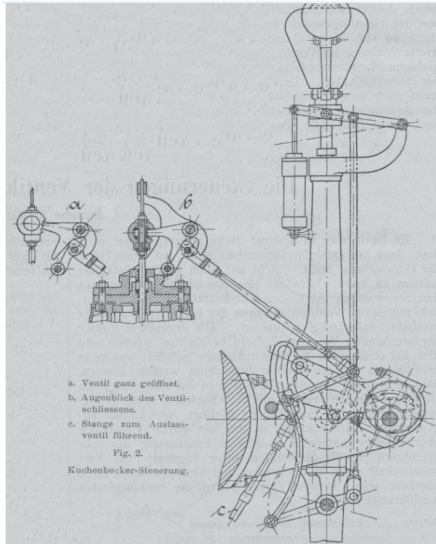
Obr.366 Ovládací excentry



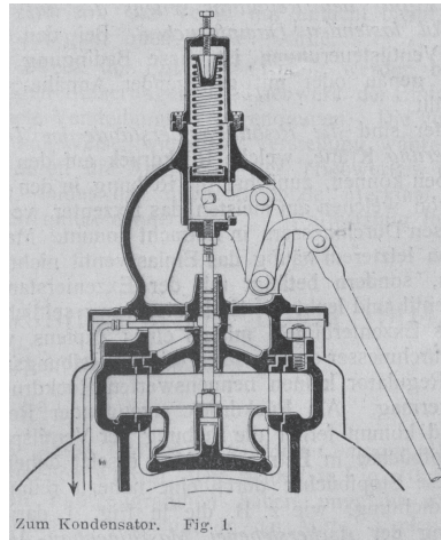
Obr.367 Odstředivý regulátor



Obr.368 Odstředivý regulátor

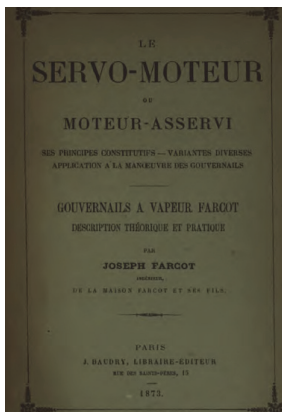


Obr.369 Ovládání parních ventilů

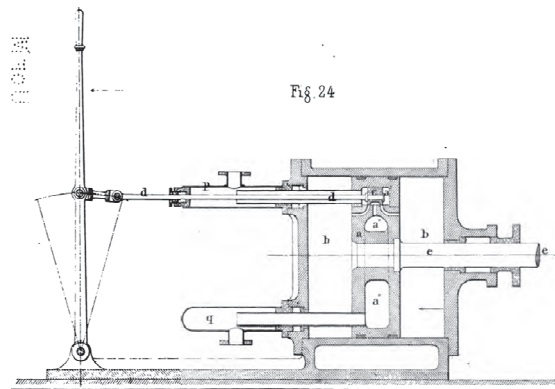


Obr.370 Ovládání parních ventilů

Kromě šoupátek byly užívány parní ventily ovládané zpětnovazebně pákami a excentry na hřídelích strojů ( Obr.369,370), přímochinná automatizace byla však výhradně na mechanickém principu (Lit.62). Ke sklonku 19.století byly popsány z hlediska kinematiky a dynamiky na stovkách stran graficky a výpočetně desítky konstrukčních provedení odstředivých a pružinových regulátorů (např.Lit.144). Souběžně probíhal vývoj a ověřování silových členů, které měly zprostředkovat působení akčních zásahů regulátorů na řízené soustavy o velké hmotnosti a setrvačnosti. Posilovače se zpětnou vazbou nazýváme servomechanismy. Název zavedl francouzský vynálezce a průmyslník Joseph Farcot (1824-1908) (Obr.373) ve své knize vydané roku 1873. Kniha pojednávala o parních, hydraulických a mechanických servomechanismech, které sám vynalezl a prakticky odzkoušel (Obr.371-Lit.182).



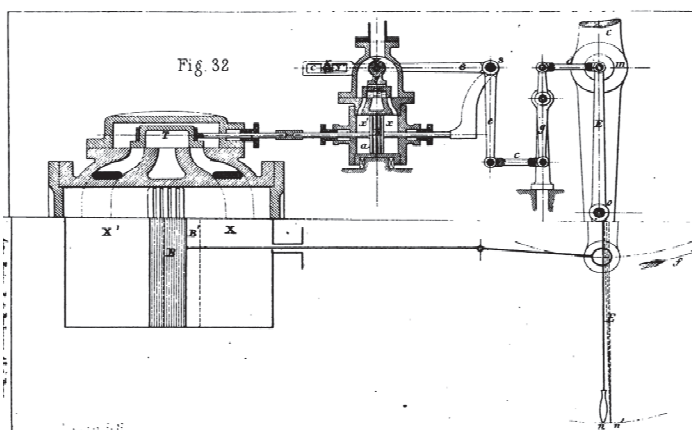
Obr.371 Kniha



Obr.372 Posilovač řízení se zpětnou vazbou

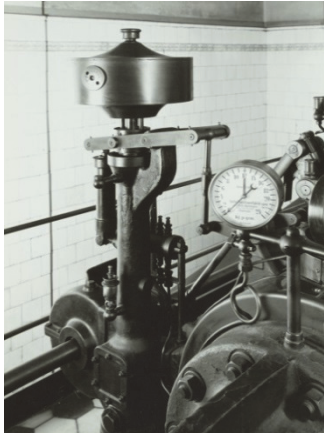


Obr.373 Joseph Farcot

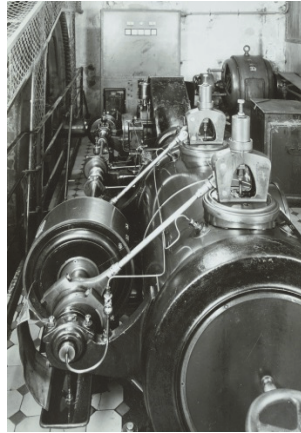


Obr.374 Dvoustupňový servomotor

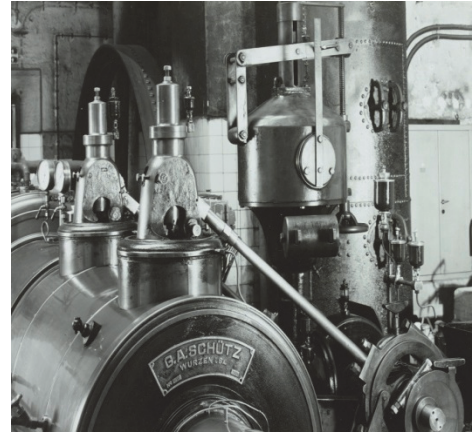
Joseph Farcot servomechanismy použil nejen k polohování kormidla lodi, ale také ke zvedání břemen. Jeho kniha obsahuje zkušenosti získané v padesátých a šedesátých letech 19.století (Obr.372,374). Joseph Farcot byl také úspěšným průmyslníkem v oboru stavby parních strojů pro všeobecné použití.



Obr.375 Pružinový reulátor

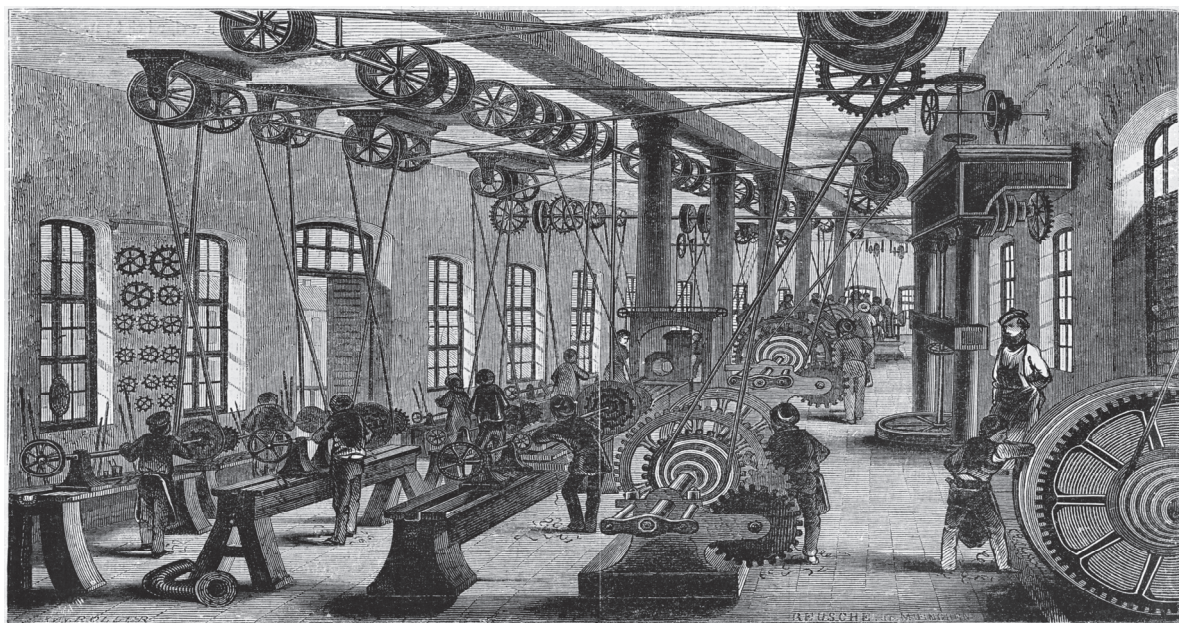


Obr.376 Řízení ventilů

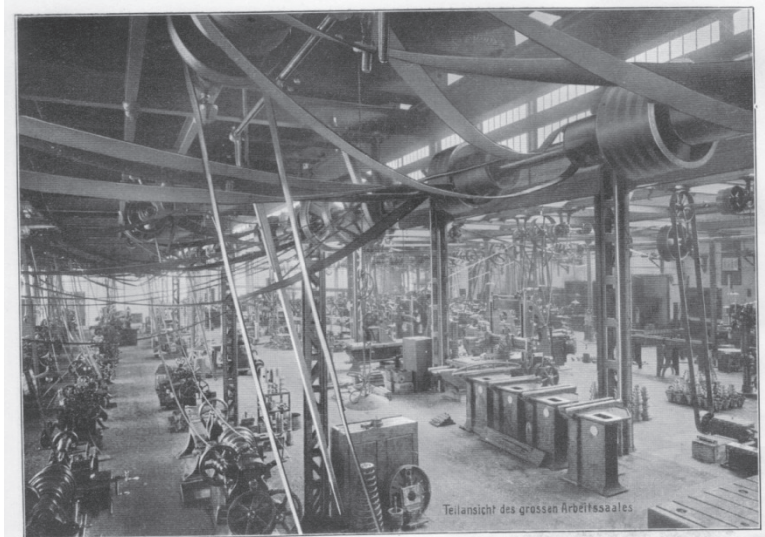


Obr.377 Řízení parních ventilů

Automatická regulace otáček parního stroje nebyla plynule proměnná. Otáčky byly udržovány na pokud možno konstantní hodnotě v provozním bodě kdy výkon stroje vyhověl zátěži (Obr.375, 376,377). Pokud poháněné stroje vyžadovaly více stupňů otáček, pak musely být otáčky změněny přímo na poháněném stroji. Rytina z roku 1848 na ukazuje hřídele transmisí zakotvené ve stropě soustružnického provozu, které se otáčely konstantním počtem otáček za jednotku času (Obr.378). Na soustruhu vidíme více řemenic různých průměrů vedle sebe, kam bylo možno poháněcí řemen za chodu přehodit. Tím se po stupních daly měnit otáčky soustruhu. Podobně vybavenou strojní dílnu z druhé poloviny 19.století vidíme na Obr.379.



Obr.378 Soustružnická dílna se stroji poháněnými transmisemi upevněnými v konstrukci stropu



Obr.379 Pohon strojní dílny za pomoci transmisí



Obr.380 Mechanická tkalcovna

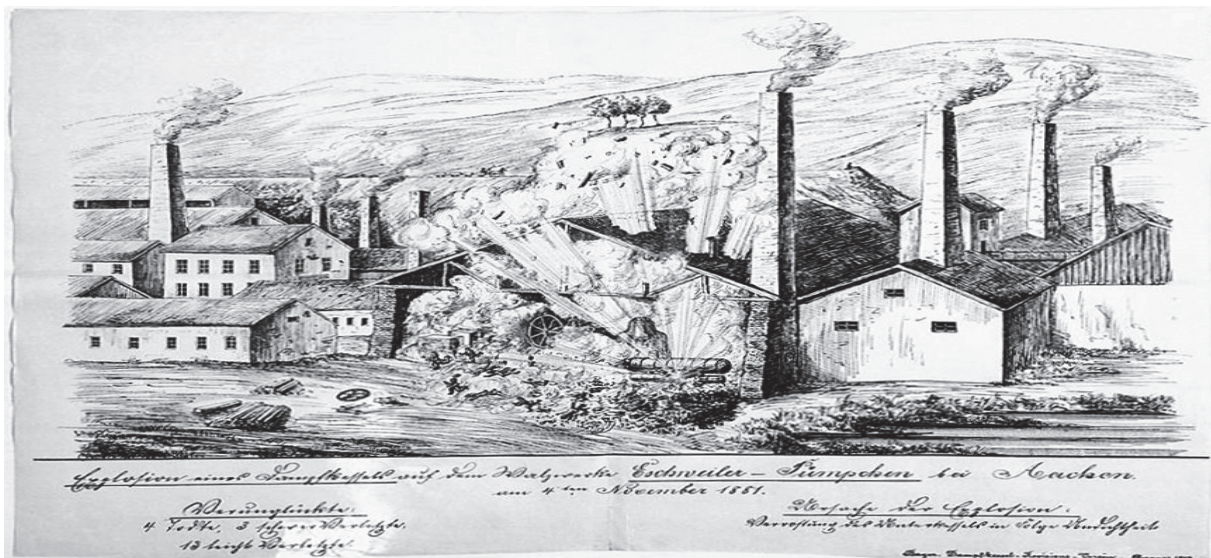
Tkalcovským stavům vyhovely otáčky konstantní. Sál tkalcovny ukazuje provozní stav obvyklý na konci 19.století (Obr.380). Měl jsem možnost jako větší dítě na přelomu padesátých a šedesátých let 20.století navštívit v severovýchodních Čechách tkalcovny bavlny poháněné centrálním parním strojem za pomoci transmisí. V paměti mi zůstává les svislých svištících transmisních řemenů, které na sále poháněly stovky velmi hlučných mechanických tkalcovských stavů. Dole v úrovni procházejících osob byly u řemenů transmisí zábrany z ocelového pletiva jako prevence úrazů, na Obr.378, 379 je ale nevidíme. Suché kožené řemeny se nabíjely statickou elektřinou, případný přeskok jiskry mohl zapálit všude usazené bavlněné chmýří, které bylo proto nutno často odstraňovat....

Nejen požár, ale hlavně nedbání kritických provozních veličin se v minulosti někdy tragicky vymstilo.



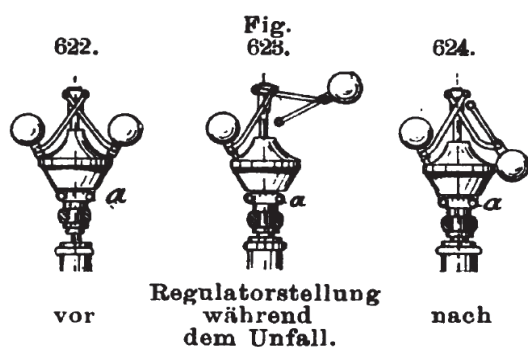
Obr.381 Parní kotelná pivovrau po výbuchu parního kotle

Nehody parních kotelen a strojů byly nebezpečné, zcela chybělo automatické hlídání kritických parametrů. Snímek na Obr.381 ukazuje následky ničujícího výbuchu parní kotelný pivovaru v Německu v roce 1866.

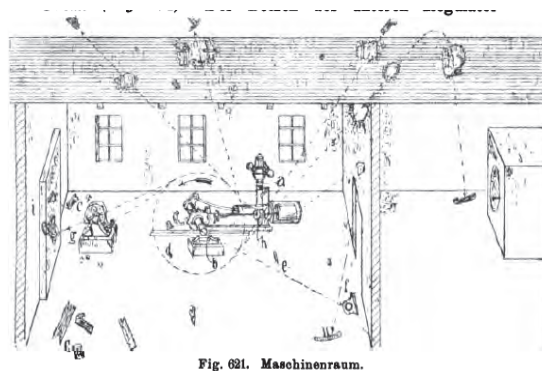


Obr.382 Výbuch parní kotelny ve válcovně oceli očima grafika

Kotelna válcovny oceli v obci Eschweiler-Pümpchen u města Aachen v Německu utrpěla výbuchem parního kotle dne 4.listopadu 1881 (Obr.382).

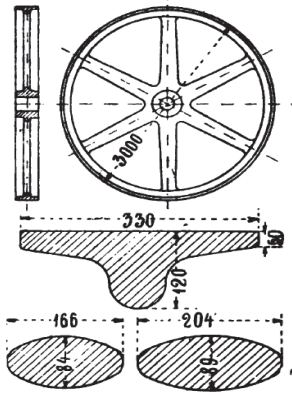


Obr.383 Mechanická porucha regulátoru

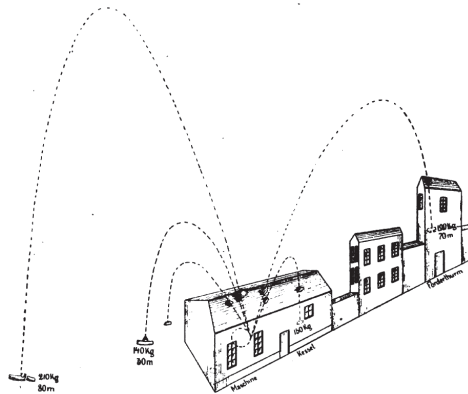


Obr.384 Demolice strojovny s parním strojem

Někdy prokazatelně selhala automatizační technika. Nákres na Obr.383 z knihy vydané roku 1899 ukazuje uvolněné táhlo koule odstředivého regulátoru. Příčinou poruchy regulátoru byl uvolněný pojišťovací šroub čepu táhla, následovalo uvolnění a vypadnutí čepu. Koule pak rotovala v závěsu pouze horního táhla (Obr.383 „a“ uprostřed nahoře). Nákres na Obr.384 zakreslil podle svědectví přítomných zaměstnanců technický vyšetřovatel havárie. Odlehčený parní stroj roztočil setrvačnick (Obr.385) na vysoké otáčky, potom následovalo roztržení setrvačnicku odstředivou silou. Nákresy na Obr.384 a Obr.386 ukazují otvory ve střeše strojovny kudy odletěly části setrvačnicku. Část zakreslená zcela vlevo (Obr.386) vážila 210 kg. Nejdříve přerazila dřevěný trám o profilu 12x12cm ve střeše a odletěla na vzdálenost 80 metrů. Podle svědectví zaměstnanců jiné části vystoupaly do výšky až 80 metrů. Podle závěrů vyšetřovatele dosáhly otáčky po poruše regulátoru (Obr.383) při roztržení setrvačnicku stroje asi 4-násobku jmenovitých 120 ot./minutu. Namísto strojníka s patřičnými zkouškami měl kotelnu s parním strojem v den havárie na starost nezaškolený zaměstnanec ve věku 17 let, který v okamžiku havárie navíc ani nebyl ve strojovně. Naštěstí se nikomu nic nestalo (Lit.22).



Obr.385 Setrvačnick



Obr.386 Dráhy částí roztrženého setrvačnicku



Fig. 681. Befestigung der Regulatorkugel.

Obr.387 Koule regulátoru

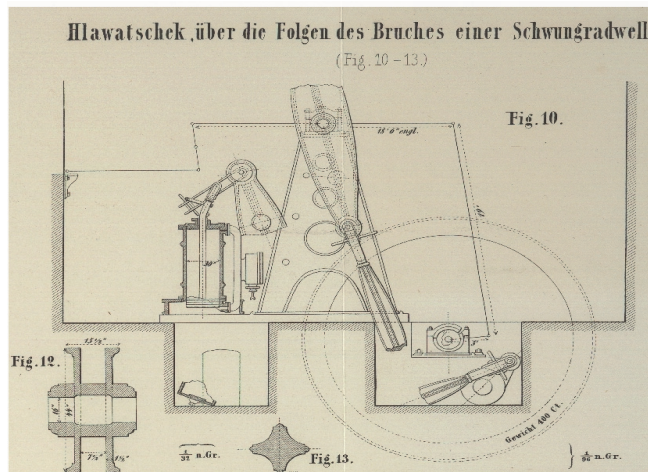
Jindy vyšetřovatel zjistil, že se uvolnila koule odstředivého regulátoru upevněná nedostatečně jen rozrýtváním (rozklepáním) táhla v místě „n“ na jeho konci (Obr.387). Odstředivá síla způsobila odletění koule a následnou havárii parního stroje. Tyto a četné další poruchy automatické regulace se staly v druhé polovině 19.století v Německu (Lit.22,24) . Tabulka na Obr.388 ukazuje statistiku výbuchů parních kotlů v Německu za 15 let, v letech 1877-1891. Hlavní příčinou byl nedostatek vody v kotlích po selhání samočinného napájení nebo z nedbalosti obsluhy při kontrole stavoznaků. Po 225 explozích parních kotlů bylo napočteno 194 zabitých, těžce raněných 109 a lehce 284 (Obr.388).

Dampfkesselexplosionen in Deutschland während der Zeit von 1877—1891.  
Tabelle 137.

Jahr	Zahl der Explosionen	verunglückte Personen			Anzahl der überhaupt vorhand. Kessel ca.
		Anzahl	tot	schwer verletzt	
1891	10	—	3	7	100 000
1890	15	18	7	1	98 000
1889	16	28	6	5	96 000
1888	15	11	4	3	94 000
1887	14	83	17	5	92 000
1886	16	23	10	5	90 000
1885	13	22	11	2	88 000
1884	41	45	12	11	86 000
1883	14	55	23	8	83 000
1882	11	48	19	14	80 000
1881	11	57	8	18	77 000
1880	20	29	10	5	74 000
1879	18	78	36	10	71 000
1878	18	32	10	5	68 000
1877	20	58	21	14	65 000
15 Jahre	225	587	194	109	284

Mutmassliche Ursachen der Kesselexplosionen in den letzten 15 Jahren.  
1. Wassermangel (grösstenteils auch schlechte Wartung) 71 Explosionen  
2. Örtliche Bleeschwächung . . . . . 61 „  
3. Selbstentzündung . . . . . 94 „

Obr.388 Výbuchy parních kotlů



Obr.389 Havarie parního stroje v přádelně

Někdy došlo k selhání strojních součástí následkem chybné volby materiálu. Přádelnu bavlny ve městě Slaný postihl v roce 1865 únavový lom na 1/3 průřezu litinového hřídele setrvačnicku jednoho ze dvou parních strojů, které tam byly v provozu v letech 1850-1865. Kovově čistý lom byl na 2/3 průřezu hřídele (Obr.389) (Lit.65), jak zjistil a náčrtek se zlomeným vahadlem parního stroje pořídil technický vyšetřovatel nehody Prof.Dr Hlawatschek z Prahy.

Nyní je vhodné si položit otázku jakým způsobem byly tak velké kotle a parní stroje vyráběny, jaké technické měření nebo dokonce automatizace přitom byly použity.

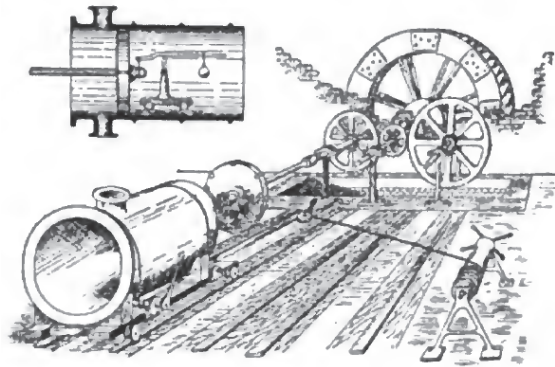


Abb. 2.  
Zylinderbohrmaschine von Smeaton.

Obr.390 Vodorovná vyvrtávačka válců

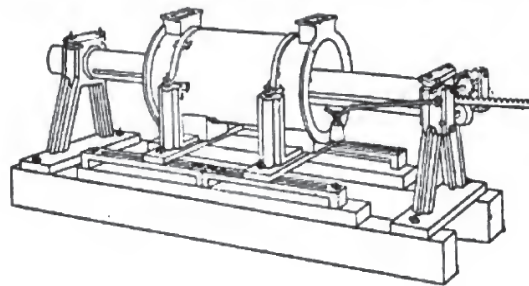


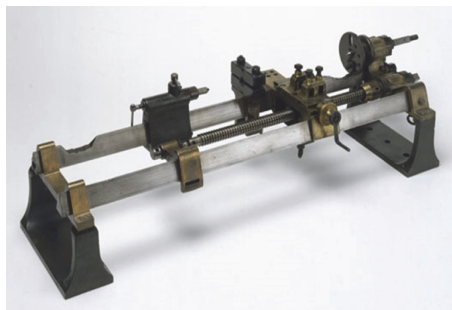
Abb. 4.  
Zylinderbohrmaschine von Wilkinson.

Obr.391 Vodorovná vyvrtávačka válců

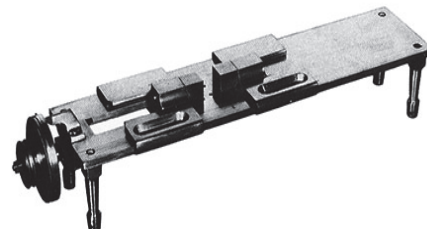
Na Obr.390 vidíme vodorovnou vyvrtávačku válců, kterou sestrojil roku 1769 John Smeaton (1714-1792)(Lit.119), poznali jsme ho při zdokonalení automatizace rozvodu páry pro atmosférický parní stroj (Obr.300,302).Smeaton používal k pohonu vyvrtávačky vodního kola nebo koňského žentouru. Válec parního stroje odlitý ze šedé litiny upnul na vozík tažený do záběru ručním vrátkem (vpravo dole na Obr.390). Rotujícím vrtacím nástrojem byl kotouč s noži upnutými na jeho obvodu, který staticky vyvažoval vozík jedoucí uvnitř válce (vlevo nahoře na Obr.390). Vrtací kotouč kopíroval vnitřní nerovnosti odlitku, byl však pokrokem. Do té doby se odlitky obráběly ručně. James Watt si jednou postěžoval, že takto vrtaný válec pro jeho parní stroj o průměru 18" (457,2mm) měl odchylku kruhovitosti 3/8" (9,5mm). Pro vrtání otvorů menších průměrů do plného odlitku z bronzu k výrobě válců čerpadel nebo parních strojů byla k dispozici vrtací technika známá od 16.století z výroby kanonů. Dokonalejší vyvrtávačku velkých průměrů sestrojil roku 1774 Wilkinson (Obr.391)(Lit.119).



Obr.392 H.Maudslay



Obr.393 Model univerzální soustruhu



Obr.394 Mikrometr

Anglický vynálezce Henry Maudslay (1771-1831)(Obr.392) sestrojil kolem roku 1800 nejen soustruh se suportem pro nože (model na Obr.393), jak ho známe ze školních dílen dosud, ale také stolní mikrometr s dělením na 1/1000" ( 0,0254mm)(Obr.394 Lit.129). Brzo se objevila myšlenka obrábění podle šablony - předzvěst budoucích soustruhů a fréz pracujících samočinně podle programu. Roku 1799 vynálezci Brunel a Bentham vyráběli na 44 kopírovacích frézách dřevěné nosiče kladek pro kladkostroje britského válečného námořnictva (Obr.395). Šablona byla upnuta uprostřed frézy. Sériová výroba nosičů kladek dosáhla počtu až 100.000 kusů ročně a produktivita na frézaře obsluhujícího jednoúčelový stroj se zvýšila asi 10x oproti dosavadnímu kusovému způsobu výroby.

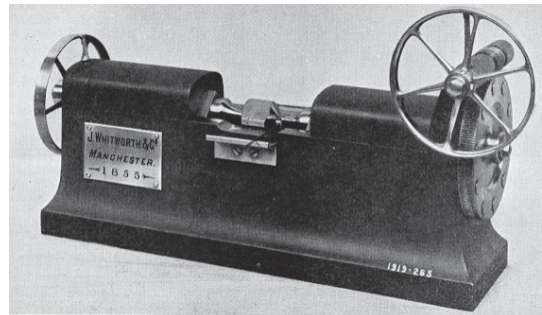
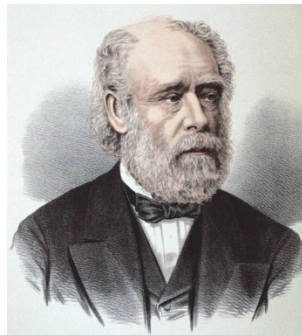
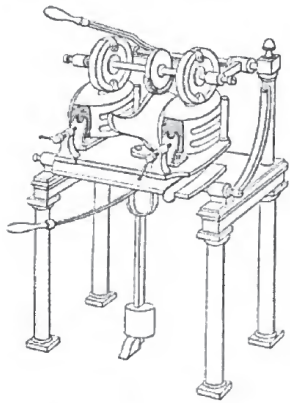


FIG. 3. WHITWORTH 'MILLIONTH' MEASURING MACHINE, 1855

Obr.395 Kopírovací frézka Obr.396 Joseph Whitworth Obr.397 Whitworthův mikrometr

Joseph Whitworth (1803-1887)(Obr.396) vynalezl a od roku 1855 vyráběl přesný stolní mikrometr (Obr.397) s dělením  $1/1.000.000''$  ( 0,0254 mikrometru). Přesné provozní měření délek bylo již k dispozici. Velká Británie vedla v první polovině 19.století v energetice, dopravě na železnici a tím také ve strojírenství. Za rok 1840 dosáhla britská výroba surového železa 1,4 milionu tun a představovala 53% veškeré výroby v Evropě (Lit.96) . Strojírenskou výrobu provozovalo v roce 1840 v Británii na 134.000 dílen a továren. Délka železničních tratí v zemi byla v témže roce 1.350 km . ( V Rakouském císařství byla pro srovnání v roce 1839 v provozu jediná parní železnice Vídeň-Brno v délce 143 km, prvních 6 lokomotiv dodal Stephenson z Anglie v roce 1837. Lokomotivy rozebrané na díly putovaly v bednách z Anglie po moři do přístavu Terst, odtud povozy taženými koňmi přes průsmyk Brenner do Vídně, kde byly pod dozorem anglických mechaniků smontovány a uvedeny do chodu)(Lit.96). V roce 1822 přesáhl počet parních strojů instalovaných v Británii 10.000 (Lit.119). Dalo se očekávat, že mnohé přístroje k měření a automatizaci výroby byly také britské.

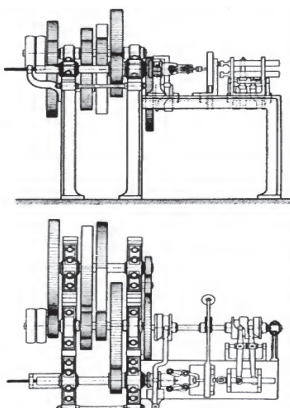
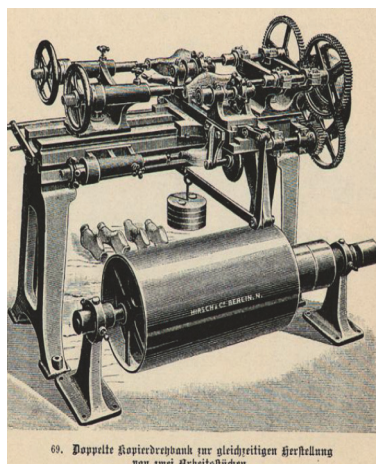
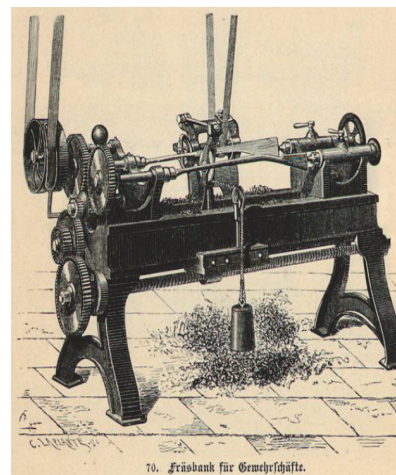


Abb. 24.  
Whitworth' automatische Schraubendrehbank.  
Nach dem englischen Patent Nr. 6380 vom Jahre 1835.  
Die Maschine besteht aus wichtiger Grundmaschine der später besonders in Amerika unter Namen 'Formmaschinen' (Voll-Modell-  
patrone (in Hakenform), Spannapprone (spannenförmit)) mit Spann-



69. Doppelte Kopierdrehbank zur gleichzeitigen Herstellung von zwei Krümmstücken.



70. Fräsbank für Krümmstücke.

Obr.398 Závitořez Obr.399 Kopírovací frézka Obr.400 Kopírovací frézka

Automatizace výrobních strojů na sebe nedala dlouho čekat. Na Obr.398 vidíme Whitworthův samočinný závitořez dle britského patentu č.6380 z roku 1835 (Lit.129). Další Obr.399 a Obr.400 ukazují samočinné obrábění dílů ze dřeva podle šablon na fréze s otáčejícím se obrobkem (Lit.6 – 9.vydání r.1896). Na Obr.399 vidíme frézování polotovarů dřeváků podle upnuté šablony a Obr.400 ukazuje frézování dřevěné pažby armádní pušky. Stroj byl poháněn plochým řemenem transmise. Vraťme se nyní zpátky k regulátorům. Mechanické odstředivé regulátory byly předmětem zájmu matematiků a fyziků. Na Obr.402 vidíme francouzského brigádního generála. Byl jím Jean-Victor Poncelet ( 1788-1867), od roku 1848 ve funkci velitele Ecole Polytechnique. Jean-Victor Poncelet byl

znalcem geometrie a mechaniky o kterých napsal obsáhlé knihy. Vyšetřoval také statické vlastnosti odstředivého regulátoru (Obr.401, 403). Poncelet napsal knihu o projektivní geometrii během svého válečného zajetí v Rusku v letech 1812-1814 (Obr.404)( Lit.147) . Angličan George Bidell Airy (1801-1892)(Obr.405,406) vyšetřoval roku 1840 dynamiku odstředivého regulátoru s hydraulickým tlumením pomocí lineárních diferenciálních rovnic, které řešil. Vlastním povoláním byl G.B. Airy astronom a matematik. Prý se s ním velmi těžko jednalo, snad proto se zachovala jeho karikatura (Obr.407).



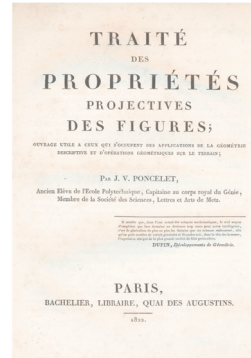
Obr.401 J.V.Poncelet



Obr.402 J.V.Poncelet



Obr.403 J.V.Poncelet



Obr.404 Kniha (Lit.147)



Obr.405 G.B.Airy



Obr.406 G.B.Airy



Obr.407 G.B.Airy



Obr.408 I.K.Brunel

....ve stejné době praxe postupovala dál, ke slovu přišly větší servomechanismy na lodích....



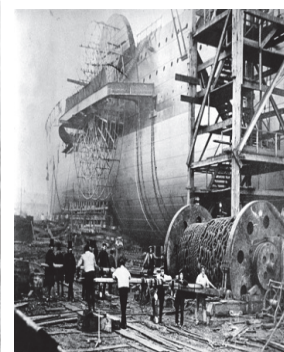
Obr.409 Parník Great Eastern



Obr.410 Great Eastern



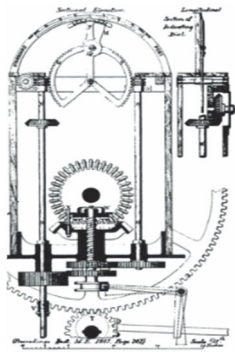
Obr.411 I.K.Brunel



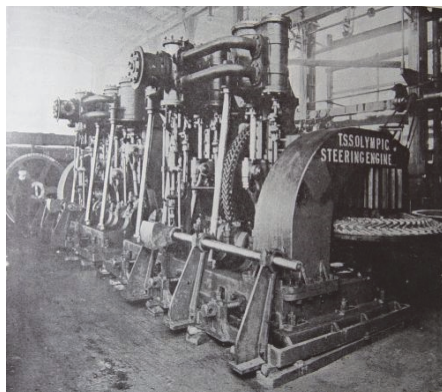
Obr.412 Great Eastern

V letech 1854 až 1858 byl v doku ve čtvrti Millwall v Londýně postaven kolesový parník Great Eastern, největší loď druhé poloviny 19.století. Délka parníku byla 209 metrů, byl určen pro osobní dopravu až 3.800 cestujících a 500 námožníků do Austrálie a Severní Ameriky (Obr.409,410,412). K pohonu lodi byla určena kola o průměru 17 metrů, kterými otáčely 4 parní stroje o výkonu 1.400HP. Lodní šroub měl průměr 7,3 metru a otáčely jím 4 parní stroje o 1.700HP (Lit.197). Kormidlo tak velké lodi již nemohli fyzicky zvládnout kormidelníci ručně otáčením kola. Autor konstrukce a vedoucí stavby lodi

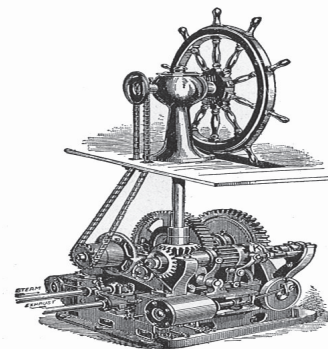
I.K.Brunel (1806-1859)(Obr.408,411) proto hledal posilovač k řízení lodi. Posilovací servomechanismus (zčásti na Obr.413) zkonstruoval vynálezce John McFarlane (1831-1908)(Lit.176). Na mechanický posilovač poháněný parním strojem získal vynálezce McFarlane v roce 1866 britský patent. Pozdější parní posilovače z přelomu 19./20.století jsou vidět na Obr.414,415 (Lit.16).Převod řetězem na Obr.415 sloužil k zadání úhlu pootočení kormidla kormidelníkem. Řetězem se ovládala poloha šoupátka reverzačního parního stroje, který již pomocí převodů buď lany anebo pomocí řetězů pootočil vlastním kormidlem lodi. Otáčení kormidla lodi se zpětnovazebně přenášelo zpět na parní šoupátko, které se po dosažení žádaného úhlu uzavřelo a parní stroj se zastavil (Lit.16). Jednalo se o servomechanismus se zpětnou vazbou. Konečný převod kroutícího momentu na kormidlo mohl být proveden také pomocí ozubených kol, pákového převodu anebo samosvorného šroubu (Lit.189).



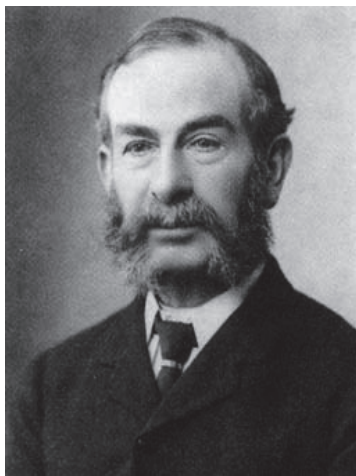
Obr.413 Servo



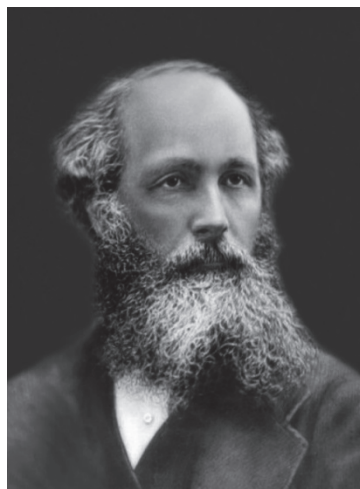
Obr.414 Parní servomechanismus



Obr.415 Servomechanismus



Obr.416 Edward John Routh



Obr.417 James Clerk Maxwell

*Distinction between Moderators and Governors.*  
 In regulators of the first kind, let P be the driving-power and R the resistance, both estimated as if applied to a given axis of the machine. Let V be the normal velocity, estimated for the same axis, and  $\frac{dx}{dt}$  the actual velocity, and let M be the moment of inertia of the whole machine reduced to the given axis.  
 Let the governor be so arranged as to increase the resistance or diminish the driving-power by a quantity  $F \left( \frac{dx}{dt} - V \right)$ , then the equation of motion will be  

$$\frac{d}{dt} \left( M \frac{dx}{dt} \right) = P - R - F \left( \frac{dx}{dt} - V \right) \dots \dots \dots (1)$$
 When the machine has obtained its final rate the first term vanishes, and  

$$\frac{dx}{dt} = V + \frac{P - R}{F} \dots \dots \dots (2)$$
 Hence, if P is increased or R diminished, the velocity will be permanently increased. Regulators of this kind, as Mr. Siemens\* has observed, should be called moderators rather than governors.  
 In the second kind of regulator, the force  $F \left( \frac{dx}{dt} - V \right)$ , instead of being applied directly to the machine, is applied to an independent moving piece, B, which continually increases the resistance, or diminishes the driving-power, by a quantity depending on the whole motion of B.  
 If y represents the whole motion of B, the equation of motion of B is  

$$\frac{d}{dt} \left( B \frac{dy}{dt} \right) = F \left( \frac{dx}{dt} - V \right) \dots \dots \dots (3)$$
 and that of M  

$$\frac{d}{dt} \left( M \frac{dx}{dt} \right) = P - R - F \left( \frac{dx}{dt} - V \right) + Gy \dots \dots \dots (4)$$
 where G is the resistance applied by B when B moves through one unit of

Obr.418 Článek „On Governors“

Skotský matematik James Clerk Maxwell (1831-1879)(Obr.417) předložil dne 20.2.1868 akademii věd (Royal Society of London) článek „On governors“ (Obr.418) . Maxwell byl členem (Fellow-FRS) od roku 1861 . V článku Maxwell popisuje regulátory fyzikálně a matematicky, zavádí pojem „moderator“ a „governor“ ve smyslu dnešního označení proporcionálního (P) a proporcionálně-integračního (PI) regulátoru ( Obr.418). Problem stability regulačního obvodu řešil roku 1877 pomocí diferenciálních rovnic matematik Edward John Routh (1831-1907)(Obr.416). Opíral se o výsledky výzkumu, které před ním publikovali Airy (1840) a Maxwell (1868).



Obr.419 I.A.Vyšněgradskij

Wischnegradski, Ueber directwirkende Regulatoren.

Berechnet man für jeden gegebenen Regulator die Grössen  $x$  und  $y$ , so ist vermittelst dieser Figur leicht zu finden, ob derselbe, wenn er durch Aenderung des Widerstandes aus seiner normalen Gleichgewichtslage

109

110

imaginär sind; dann ist leicht zu ersehen, dass die einzige reelle Wurzel der Gleichung sein wird:

$$\vartheta' = \left\{ \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} + \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} - \frac{x}{3} \right\}$$

dass die imaginären Wurzeln aber sein werden:

$$\vartheta'' = -\frac{1}{2} \left[ \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} + \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} \right] - \frac{x}{3} + \frac{i\sqrt{3}}{2} \left[ \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} - \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} \right]$$

$$\vartheta''' = -\frac{1}{2} \left[ \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} + \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} \right] - \frac{x}{3} - \frac{i\sqrt{3}}{2} \left[ \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} - \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} \right]$$

worin  $x_1$  und  $x_2$  Wurzeln der Gleichung

$$x^2 + \left[ \frac{2x^3}{27} - \frac{xy}{3} + 1 \right] x + \left[ \frac{x^2}{9} - \frac{y}{3} \right] = 0$$

sind, welche, wie bekannt, in diesem Falle reell sind. Vergleicht man diese Wurzeln mit einander und nennt man den, beiden gemeinsamen, reellen Theil  $\alpha$ , so findet man

$$\vartheta' + 2\alpha = -x \sqrt[3]{\frac{KLy}{T\omega_0}} = -M,$$

woraus

$$\vartheta' = -\frac{1}{3} M + 2\alpha \left\{ \right.$$

setzt man diesen Werth für  $\vartheta'$  in die Gleichung

$$\vartheta^3 + M\vartheta^2 + N\vartheta + \frac{KLy}{T\omega_0} = 0.$$

Obr.420 Oblast stability diferenciální rovnice (Lit.183)

Prof.Dr. Ivan Alexejevič Vyšněgradskij (1832-1895)(Obr.419) rovněž vyšetřoval stabilitu regulačních okruhů, působil jako profesor mechaniky na dělostřeleckém institutu v St.Petěrburku v Rusku. Svoje výsledky zveřejnil v roce 1877 v několika publikacích ( např.Lit.183).Pro součinitele jím sestavené diferenciální rovnice 3.řádu zavedl rovinu (Obr.420), kde vztahy součinitelů vymezovaly oblasti stability. Vyšněgradskij byl v letech 1887-1892 ministrem financí carské vlády, podporoval růst exportu. Podle statistik tvořil do roku 1914 podíl exportu obilí asi  $\frac{3}{4}$  z celkového finančního objemu exportu Ruska.



Obr.421 A.M.Ljapunov



Obr.422,423



A.M.Ljapunov

Prof.Dr. Alexandr Michajlovič Ljapunov (1857-1918)(Obr.421-423) vyšetřoval stalibilitu soustav popsaných nelineárními diferenciálními rovnicemi. Jeho teorie je velmi náročná a ponecháme ji proto raději na starosti profesionálním matematikům ( např. Lit.9 a další).



Obr.424 Adolf Hurwitz

Auf Veranlassung meines verehrten Collegen, Herrn A. Stodola, beschäftigte ich mich vor einiger Zeit mit der Frage, wann eine Gleichung  $n^{\text{ten}}$  Grades mit reellen Coefficienten

$$a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_1 z + a_0 = 0$$

nur solche Wurzeln besitzt, deren reelle Bestandtheile negativ sind. Wenn auch die Erledigung dieser Frage nach den Methoden von Sturm, Liouville, Cauchy, und Hermite keine principielle Schwierigkeit bietet, so erlaube ich mir doch das Resultat, zu welchem ich gelangt bin, hier mitzutheilen, weil dasselbe wegen seiner einfachen, für die Anwendungen brauchbaren Gestalt vielleicht einiges Interesse verdient\*).

Die Herleitung des Resultates giebt mir zugleich Gelegenheit, die Methode von Hermite-Jacobi in einer Form darzustellen, in welcher sie eine Verallgemeinerung nach verschiedenen Richtungen zulässt.

Man darf sich, was hier geschehen soll, offenbar auf den Fall beschränken, wo der Coefficient  $a_0$  positiv ist. Denn andernfalls kann man die linke Seite der Gleichung mit dem Factor  $-1$  multipliciren. Man bilde nun die Determinante

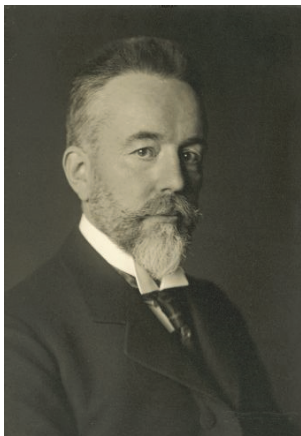
\*) Herr Stodola benutzt mein Resultat in seiner Abhandlung über „die Regulirung von Turbinen“ (Schweiz. Bauzeitung, Bd. 23, Nr. 17, 18), deren Ergebnisse bei der Turbinenanlage des Badertes Davos mit glänzendem Erfolge Anwendung gefunden haben. — Die obige Frage wird auch, worauf mich Herr Stodola aufmerksam machte, in Thomson und Tait's Natural Philosophy (1886. Theil I, pag. 290) aufgeworfen und ihre Erledigung als wünschenswerth bezeichnet.



Obr.426 Adolf Hurwitz

Obr.425 Článek (Lit.136)

Prof. Dr. Aurel Stodola studoval na několika vysokých školách ve Švýcarsku, Maďarsku a Německu. Jeho poslední praxe byla ve v letech 1886-1892 ve strojírně Ruston & Cie v Praze-Libni ( definitivně zbourána r.2016) (Lit.148). Ve věku 33 let se stal profesorem na Polytechnice v Curychu. Do řešení dynamiky regulačních obvodů zasáhl na podnět Aurela Stodoly německý matematik Adolf Hurwitz (1859-1919) (Obr.424, 426), který se stal roku 1892 rovněž ve věku 33 let profesorem matematiky na těžce vysoké škole technické. Škola se v současnosti jmenuje ETH Zürich ve Švýcarsku. Profesor Aurel Stodola (1859-1942)(Obr. 427,429) se narodil na Slovensku, většinu života však působil ve Švýcarsku, soustředil se na svoji práci v laboratoři ETH (Obr.431). Aurel Stodola vydal respektované publikace v oboru termodynamiky a konstrukce parních a plynových turbín ( např. Obr.428 – Lit.135).



Obr.427 Aurel Stodola

### DAMPF- UND GAS-TURBINEN

MIT EINEM ANHANG ÜBER DIE AUSSICHTEN DER WÄRMESCHWELLENMASCHINEN

VON A. STODOLA

DR. TECH. U. ING. PROFESSOR AN DER HOCHSCHULE TECHN. ZÜRICH

SECHSTE AUFLAGE

UNVERÄNDERLICH ERNEUT AUSGEBEN MIT EINEM NACHTRAG ÜBER DIE TURBINEN-FAHRT UND DIE VERWENDUNG DER TURBINEN IN DER KRAFTWERKE

MIT 118 TEXTABBILDUNGEN UND 11 TAFELN



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH 1924

Obr.428 (Lit.135)



Obr.429

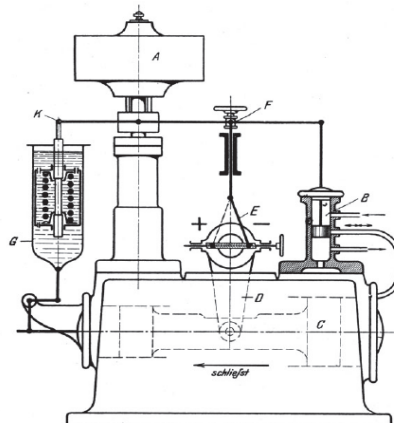
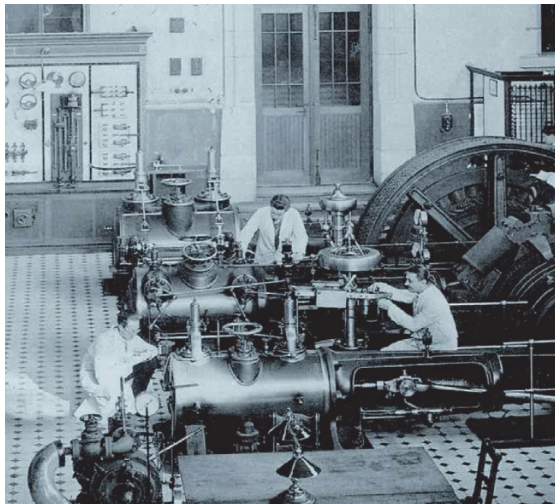


Abb. 499. Kraftgetriebe von Escher, Wyss & Cie. auf negative Ungleichförmigkeit eingestellt.

Obr.430 Regulator turbíny



Obr.431 Laboratoř ETH Zürich

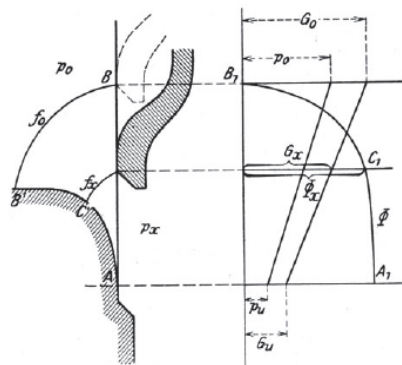
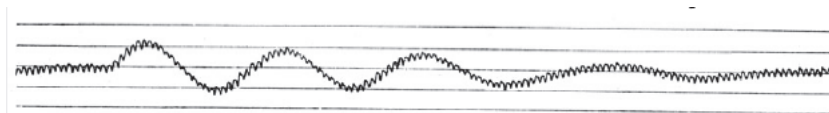


Abb. 502. Drosselventil mit gerader Kraftkurve.

Obr.432 Řez škrticím ventilem

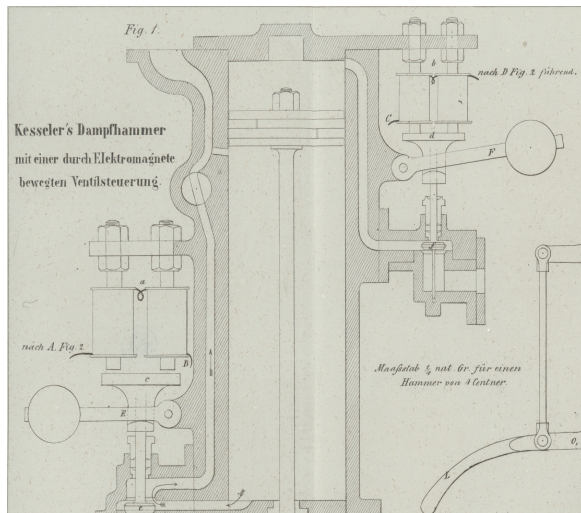
Prof.Dr. Aurel Stodola sestavil během studia regulací parních turbín lineární diferenciální rovnice druhého a vyššího řádu s konstantními koeficienty, které popisovaly dynamiku uzavřeného regulačního obvodu. Hledal pak podmínky stability regulačního pochodu za pomoci koeficientů charakteristické rovnice (Lit.135). Požádal kolegu Prof. Hurwitze o spolupráci, výsledkem příspěvku matematika byl článek do časopisu „Mathematische Annalen“ (Obr.425,Lit.136). Závěry článku slouží jako kritérium stability, které nese Hurwitzovo jméno. Stodola zveřejnil výsledek užití Hurwitzova kritéria v roce 1894 (Lit.146). Prof. Dr.A. Stodola ve své knize (Obr.428,Lit.135) z roku 1924 porovnával regulace turbín různých výrobců, komentoval vliv tlumení na dynamické působení proporcionální zpětné vazby (Obr.430 pozice „G“ olejový tlumič). Jeden z výsledků měření vidíme graficky vyneseny v čase, byl zjištěn při regulaci otáček na konstantní hodnotu (Obr.433).



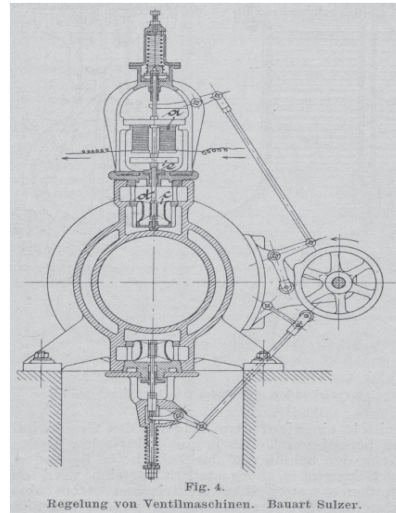
Obr.433 Regulační pochod

Prof. Stodola pojednal také o nestabilitě obvodu zahrnující ventil s lineární závislostí zdvihu kuželky a hmotnostního průtoku páry (Obr.432). Navrhoval využít ventil s nelineární charakteristikou k zamezení kmitů regulačního obvodu. Vědom si složitosti úlohy napsal Prof. Stodola roku 1924 (Lit.135 str. 456), že jeho matematický popis jevů v parní turbíně je pouze přibližný, hlavně kvůli stlačitelnosti páry. Matematik té doby však očekával přesné zadání diferenciálních rovnic, aby mohl analyticky pomoci praxi automatické regulace.

Technici se znalostmi z oblasti elektrotechniky se také snažili přispět k automatizaci svým dílem. V jednom řešení bylo k řízení parních ventilů u bucharu užito elektromagnetů. Patentový spis z Hannoverského království z roku 1859 ukazuje zvolené schéma ovládání bucharu (Obr.434)(Lit.64). Elektromagnety jsou na Obr.434 označeny dvojicemi cívek s vodiči „A,B,C,D, dvojice cívek byly zapojeny do série. Stejnoseměrné napájení mohla v té době dodat galvanická baterie převzatá z běžně provozovaných telegrafních dílen. V klidové poloze byly parní ventily uzavřeny pomocí

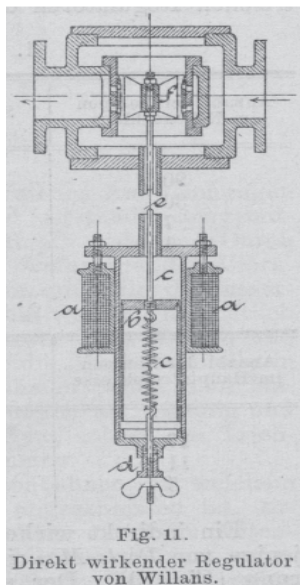


Obr. 434 Řízení parního bucharu

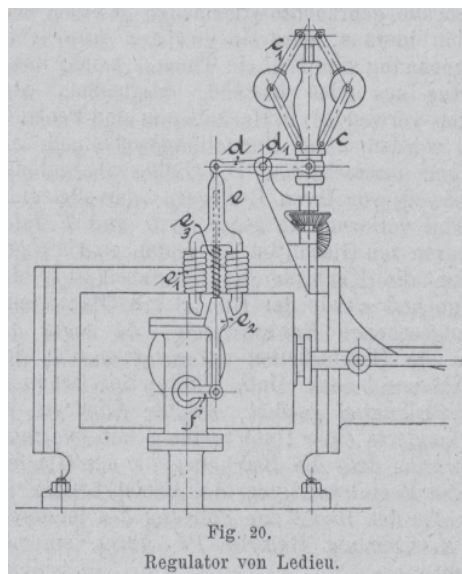


Obr.435 Ovládání parních ventilů

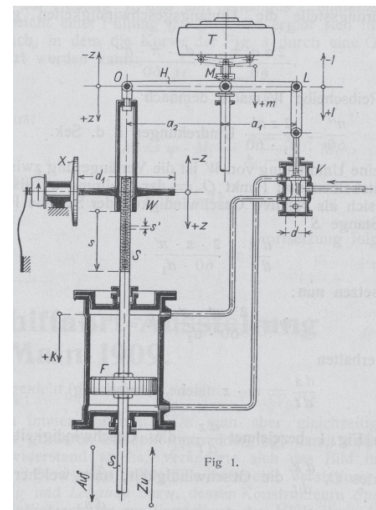
závaží upevněných na pákách „F“ a „E“. Jestliže bylo na vodiče dvojice cívek přivedeno napětí, pak byly ventily otevřeny elektromagneticky pomocí jha „e“ a „d“. Parní ventil ovládaný kombinací páky a elektromagnetu ukazuje následující vyobrazení z roku 1901 (Obr.435)(Lit.61). Kombinaci mechanického a elektrického ovládání parního ventilu ukazují další náčrtky (Obr.436,437) (Lit.129).



Obr. 436 Regulační ventil



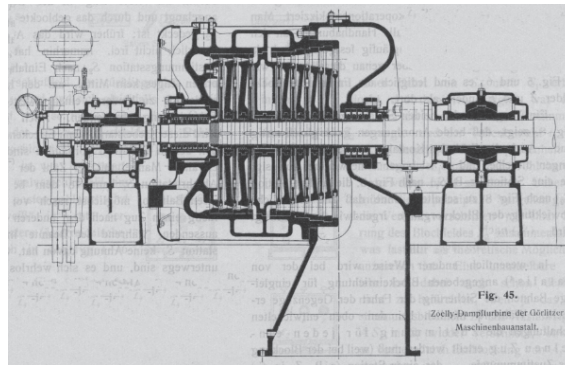
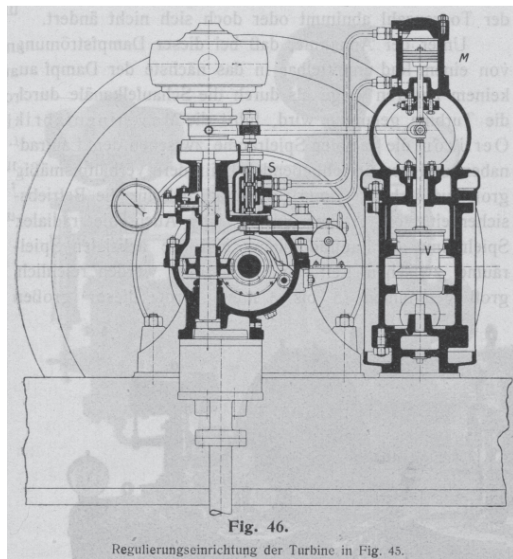
Obr. 437 Regulátor



Obr.438 Regulátor

Technický časopis z roku 1910 popisuje funkci hydraulického regulátoru otáček turbíny (Obr.438)(Lit.59) . Při náhlém odtížení turbíny se rozeběhne na vyšší otáčky odstředivý regulátor „T“ a pomocí pouzdra „M“ zvedne v bodě „L“ svislé táhlo hydraulického ventilu „V“. Ventilem „V“ začne proudit tlakový olej dolním šroubením do válce a píst „F“ bude zvedán, tím dojde k přivření příkonu páry do turbíny. Zvedáním táhla „S“ se bod „O“ vlevo na dvojkřivkové páce regulátoru posune nahoru a pouzdro „M“ bude posunováno též nahoru. Třecí kolo „W“, které je spojeno s táhlem „S“ volně závitem, se dostane mimo osu kotouče „x“, který nuceně rotuje. Celý mechanismus se pohybuje tak dlouho, až pouzdro „M“ dosáhne původní výškové kóty, to znamená žádaných synchronních otáček. Nové zátěži alternátoru se regulačním pochodem přizpůsobilo množství páry pouštěné ventilem do turbíny. Přesná regulace otáček 1500 ot./minutu anebo 3000 ot./minutu je nutná kvůli

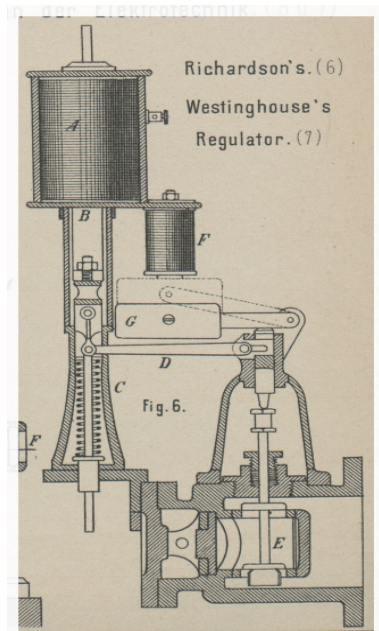
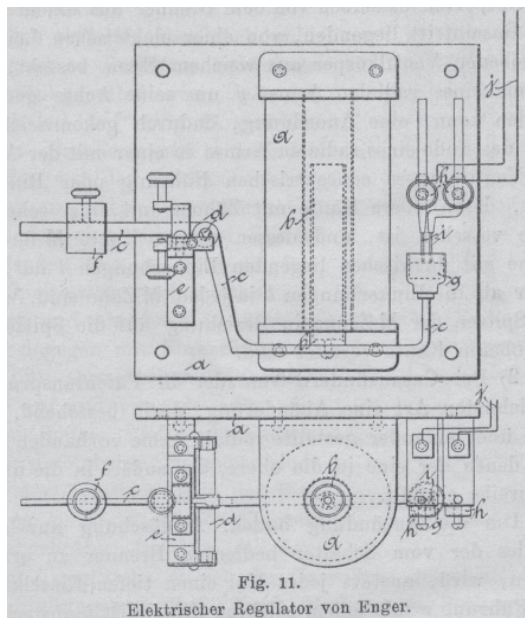
stabilní frekvenci alternátoru, který turbína pohání. Hydraulický regulátor má vlastnosti odpovídající proporcionální a integrační složce, je tedy PI regulátorem.



Obr.439 Regulátor otáček turbíny

Obr.440 Regulátor otáček turbíny

Odborný časopis upozornil v roce 1911 na další způsob regulace parní turbíny pomocí tlakového oleje (Lit.60) . Na Obr.439 vidíme uprostřed hydraulický ventil „S“, od něj vedou tlakové hadice k hydraulickému motoru „M“, který pomocí táhla ovládal parní ventil „V“. Na Obr.440 je pro porovnání velikostí vidět řez parní turbínou, regulátor otáček je zakreslen zcela vlevo.



Obr. 441 Elektrický regulátor dynama

Obr.442 Regulátor

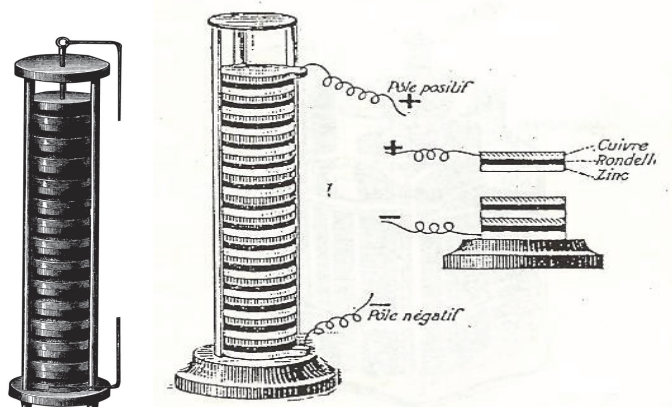
Článek o nových regulátorech z roku 1897 referoval v odborném časopise o dvoupolohové regulaci příkonu parního anebo plynového motoru pohánějícího dynama. Podle proudu dynama se rozvážila váha „c“ uložená na břitech, kontakty vodičů „j“ se sepnuly o hladinu rtuti „g“. Žádanou hodnotu výkonu dynama bylo možno nastavit protizávažím „f“ na páčce „c“ (Obr.441)(Lit.80). Polytechnický

časopis ukazoval v roce 1888 svým čtenářům nové regulátory v elektrotechnice (Obr.442)(Lit.85). Náčrtek znázorňuje regulátor příkonu páry do parního stroje, který poháněl dynamo nebo alternátor.

Na přelomu 19. a 20. století ještě nebyly spojitě mechanické regulátory označovány jako proporcionální (P) nebo proporcionálně-integrační (PI). V poslední čtvrtině 19. století byly vyráběny rotační zdroje elektrické energie velkého výkonu poháněné parními turbínami a parními stroji. Proto se 19. století říkalo století páry a elektřiny. Viděli jsme, že dosavadní přímočinná automatická mechanická regulace byla v té době doplňována elektrickým zařízením. Jaké byly vlastně možnosti slaboproudé elektrotechniky v regulační technice do sedmdesátých let devatenáctého století? Teď jen trochu minulosti pro připomenutí. Luigi Galvani (1737-1798), profesor univerzity v italském městě Bologna, předvedl roku 1791 článek vytvořený z měděného a zinkového vodiče. Elektrolyt tvořilo žabí stehýnko. Napětíovými impulsy vybudil smršťování svalů (Lit.5). Alessandro Volta (1745-1827) (Obr.443), profesor fyziky na gymnasiu v městě Como (Italie), sestavil sloupec z kotoučků ze zinku a stříbra zapojených v sérii, které proložil nasákovými kotoučky navlhčenými roztokem kuchyňské soli (NaCl). Zprávu o baterii a pozorovaných jevech Volta odeslal dopisem ze dne 20.3.1800 do Anglie prezidentu Royal Society of London, které byl členem. V pozdější zprávě vypracované pro francouzskou královskou akademii Volta sděloval, že k dosažení účinku baterie mohou být kombinovány dvojice různých kovů, nejen měď a stříbro. Volta si v dalších zprávách posteskl, že při zapojení 40 článků do série obdržel při dotyku pólů ránu. Volta neměl možnost vzniklé napětí měřit, my však dnes z tabulek elektrochemických potenciálů kovů můžeme spočítat, že při kombinaci mědi a stříbra mohlo být napětí asi 18,4VDC. Pro kombinace kotoučků ze zinku a mědi dostaneme u 40 článků napětí asi 44 VDC (náčrtek na Obr.444). Alessandro Volta nám připomíná, že se můžeme dotknout suchýma rukama vodičů o napětí tak do 12VDC. Na části pod vyšším napětím už raději nesaháme.



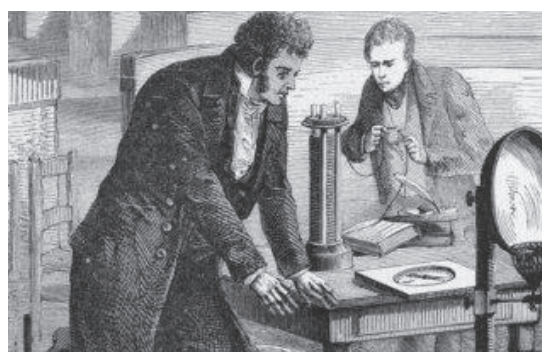
Obr.443 Alessandro Volta



Obr.444 Voltův sloup z měděných a zinkových kotoučků



Obr.445 Napoleon sleduje Voltův sloup

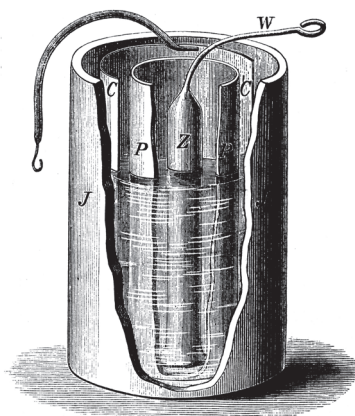


Obr.446 Pokusy s Voltovým sloupem

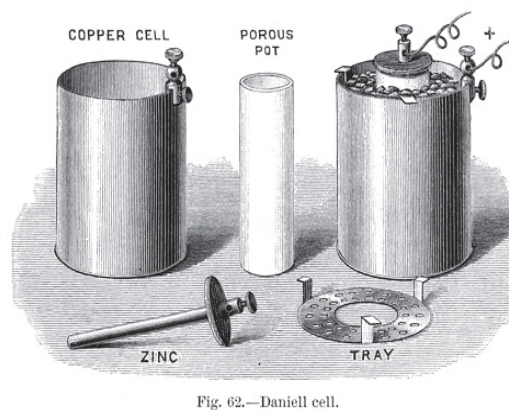
V roce 1836 vynalezl J.F.Daniell galvanický článek s elektrodami ze zinku a mědi, které byly odděleny průlinčitou přepážkou (Obr.447,448,449)(Lit.87). Zinková elektroda v ose článku byla ponořena v síranu zinečnatém a měděná v síranu mědnatém. Baterie z těchto článků doznaly obliby v provozu telegrafů a značného rozšíření v porovnání s jinými konstrukcemi. V roce 1881 byl Danielliho článek prohlášen na první mezinárodní konferenci elektrotechniků v Paříži za normál o napětí 1 Voltu.



Obr.447 Článek

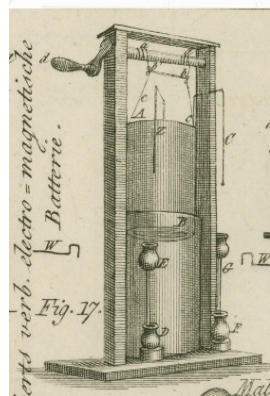


Obr.448 Danielliho článek

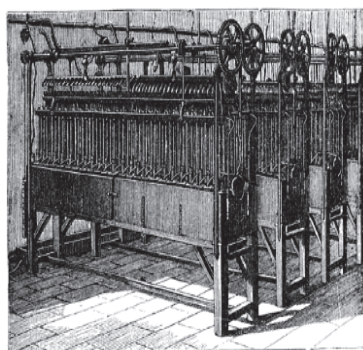


Obr.449 Danielliho článek

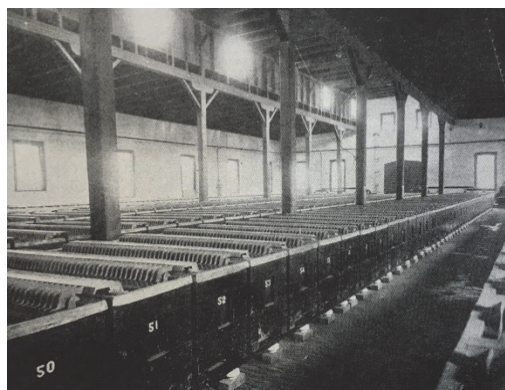
Nechyběly nápady jak regulovat výkon baterie. Na Obr.450 vidíme souosé válcové elektrody z mědi a zinku, pomocí ponořování elektrody malým rumpálem do elektrolytu se zvětšila činná plocha elektrod (Lit.68). Elektrolytem byla kyselina sírová, odběr proudu se děl pohyblivými vodiči s dotykem na hladinu rtuti. Konstrukce pocházela z roku 1831. Jak vidíme z Obr.451,452 dosahovaly galvanické baterie v 19.století úctyhodných rozměrů, jejich dozor a nutná údržba byla stálá.



Obr.450 Článek

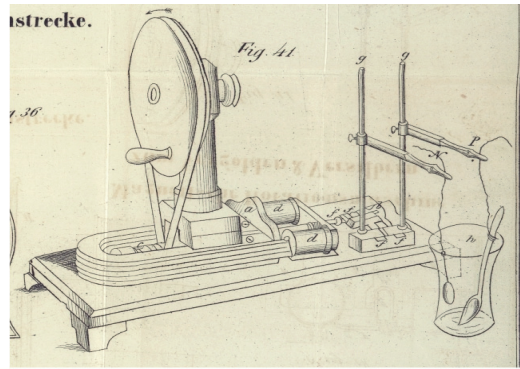
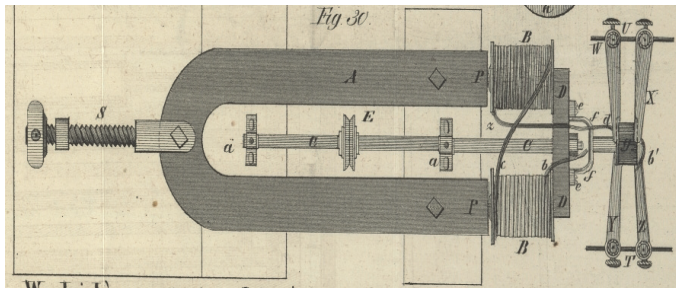
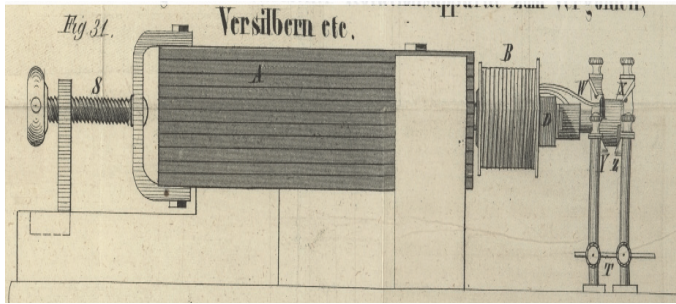


Obr.451 Baterie článků



Obr.452 Hala s bateriemi galvanických článků

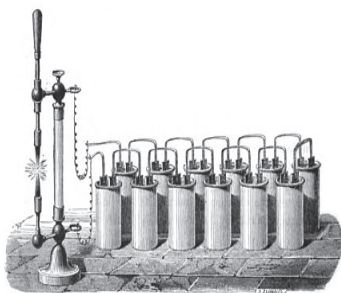
Baterie sloužily ještě dlouho po zavedení magnetodynamických dynam do služby k porovnání výkonů. Vynálezce a průmyslník Werner von Siemens referoval v roce 1869 ředitelům železnic o svém dynamu poháněném parním strojem o výkonu 8 ks (HP), které bylo užito k napájení obloukové lampy o svítivosti 2395 svíček. K porovnání uvedl pro snadnější pochopení výkon dosažený odpovídající galvanickou baterií při napájení obloukové lampy o svítivosti 500 svíček (Lit.66).



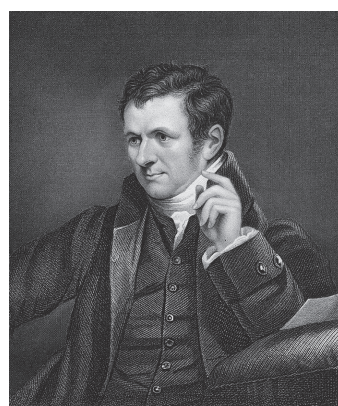
Obr.453 Nahoře nárys, dole půdorys dynama

Obr.454 Pozlacení kovové lžičky

Ve čtyřicátých letech 19.století se objevily rotační zdroje stejnosměrného napětí. Klenotníci používali dynamo s permanentním magnetem na ruční pohon jako přístroj ke zlcení a stříbření kovů v roztoku. Náčrtky dynam vidíme v odborných článcích z roku 1843 (Obr.453)(Lit.89) a roku 1848 (Obr.454)(Lit.108). Vynálezci měli možnost při návrhu samočinné regulace kombinovat strojní a elektrotechnické součásti. Dosud byly zmiňovány příklady regulace parních strojů a turbín. Kromě energetiky a dopravy se vynálezci snažili zdokonalit osvětlení elektrickým proudem pomocí obloukové lampy, jejíž princip byl znám už od počátku 19.století (Obr.455). Baronet Sir Humphry Davy (1778-1829)(Obr.456, 457) jako první spojil v roce 1807 v baterii 2.000 galvanických článků do série a pomocí dvou uhlíků vytvořil oblouk o délce asi 4" (100mm).



Obr.455 Oblouková lampa



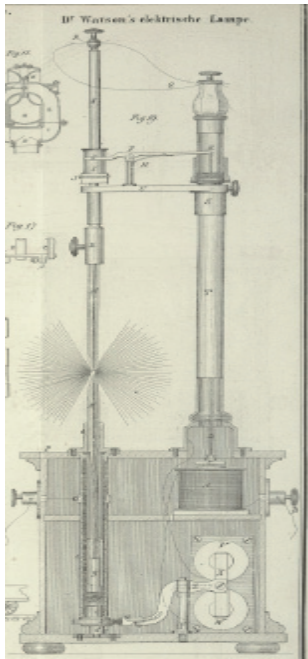
Obr.456 Humpry Davy



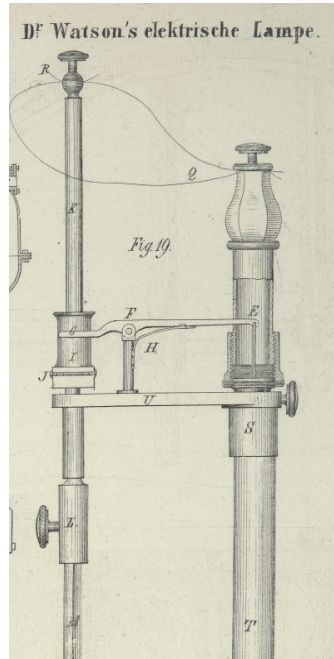
Obr.457 Humpry Davy

Jedním z těch, kdo pro účely regulace výkonu lampy napájené z galvanické baterie navrhli samočinný systém k ovládání pohybu elektrod, byl roku 1853 Dr.Watson (Obr.458,459,460)(Lit.105). V jeho konstrukčním pojetí byla stabilita oblouku regulována kombinací řízeného klesání horní elektrody a nuceného zdvihu elektrody dolní. Na Obr.460 je vidět cívku „A“ a jádrem „C“ zavěšeným na táhle „D“, které bylo upevněno v bodě „E“ (Obr.459) na dvojzvratnou páčku“G-F-E“. Pružina „H“ působila

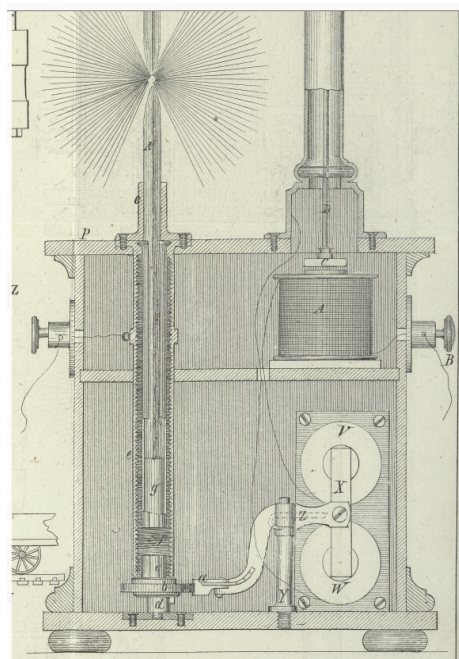
vtažení táhla „D“ do horní pohody tehdy, když cívka „A“ byla bez napětí. Táhl „K“ bylo ukončeno pouzdrem „L“, v něm byla šroubem připevněna uhlíková elektroda „M“. Spodní elektroda byla označena „N“, k pólu baterie byla připojena vodičem a šroubem symetrickým s „B“ ( vpravo na Obr.460), kde byl připojovací vodič druhého pólu baterie. S cívkou „A“ byly seriově zapojeny také cívky „V“ a „W“, které elektromagneticky přitahovaly páčku „Z“ otočnou na čepu „Y“. Na konci páčky „Z“ bylo vidět západku „a“ k pohonu rohatky „b“. Trubka „e“ a trn „g“ byly opatřeny závitem ke zdvihu dolní elektrody „N“. Při poklesu proudu oblouku západka pootočila rohatkou k zdvihu dolní elektrody a uvolněná horní elektroda poklesla k dolní. Po zapálení oblouku se působením zdvihu táhla „D“ oblouk protáhnul a lampa hořela dál až do dalšího poklesu proudu oblouku (Lit.105).



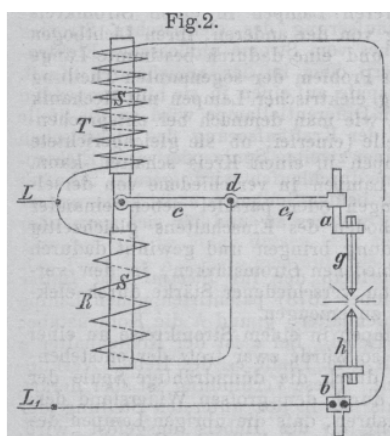
Obr.458 Obloukovka



Obr.459 Obloukovka

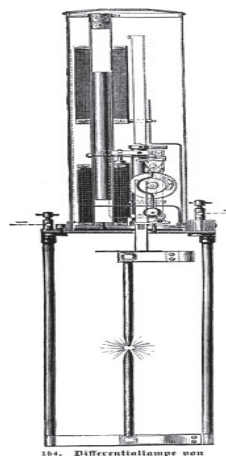


Obr.460 Obloukovka



Lit106

Obr.461 Diferenciální regulace



Obr.462 Obloukovka

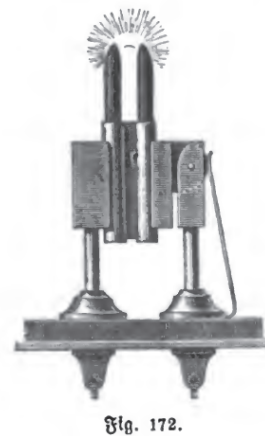
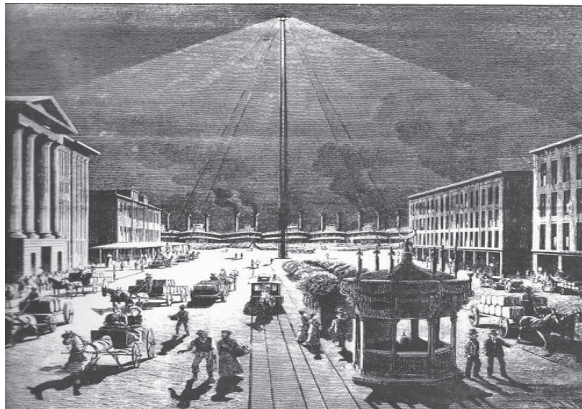


Fig. 172.

Obr.463 Jabložková svíčka

Na světové výstavě v Paříži roku 1878 předvedl ruský vynálezce Jabložkov svoji obloukovou lampu, jejíž uhlíky byly rovnoběžné a oddělené izolantem (Obr.463,466)(Lit.130,6). Lampa byla již napájena dynamem. Vylepšený model z roku 1881 fungoval až 2 hodiny (Lit.196). Záhy se ukázalo, že napájet

více obloukových lamp z jednoho dynama bylo obtížné. Bylo nutno navrhnout automatickou regulaci, která zaručí stejný odpor lamp s hořícím obloukem při jejich paralelním řazení. Při opálení uhlíků rostla jejich vzdálenost od sebe a stouvalo napětí oblouku, bylo nutno uhlíky přiblížit. Při nadměrném přiblížení napětí oblouku pokleslo a zvýšil se nadměrně proud oblouku. Zadáním úlohy automatické regulace polohy bylo vyvažovat napětí i proud k dosažení stálého odporu hořící lampy. Zřejmě bylo nutno snímat velikost napětí a proudu a podle toho nastavovat polohu uhlíků. Autorem provozně úspěšné regulace výkonu obloukové lampy byl konstruktér společnosti Siemens-Halske, který se jmenoval Friederich von Hefner-Alteneck (Obr.465) (Lit.106) . Jeho řešení automatické diferenciální regulace polohy elektrod bylo předmětem patentů DRP 8654 a 8900 z roku 1879. Jeho konstrukční pojetí bylo zveřejněno roku 1880, zvolil válcová železná jádra v osách cívek (Lit.106). Hlavní nádraží v Mnichově bylo roku 1879 vybaveno obloukovými lampami této konstrukce. Provozní obtíž lamp spočívala v tom, že čím více bylo jádro do jedné z cívek vtahováno, tím menší silový účinek byl vybavován, nebyl tedy lineárně úměrný napětí a proudu oblouku. Tuto nesnáz diferenciální samočinné regulace polohy uhlíkových elektrod vyřešil František Křížík, v té době telegrafní technik v Plzni, který přišel roku 1880 s překvapivě jednoduchým řešením. Navrhnul nahradit válcová železná jádra cívek tvarem jiným a sice dvou kuželů se základnami k sobě, vrcholy od sebe (Obr.467).



Obr. 464 Obloukovka pro veřejné osvětlení



Friedrich v. Hefner-Alteneck,  
geb. 27. 4. 1845, gest. 7. 1. 1904.

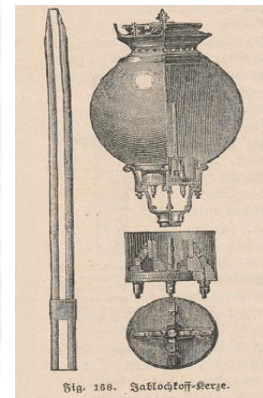


Fig. 108. Gaslichtoff-Serje.

Obr.465 Hefner-Alteneck Obr.466 Obloukovka

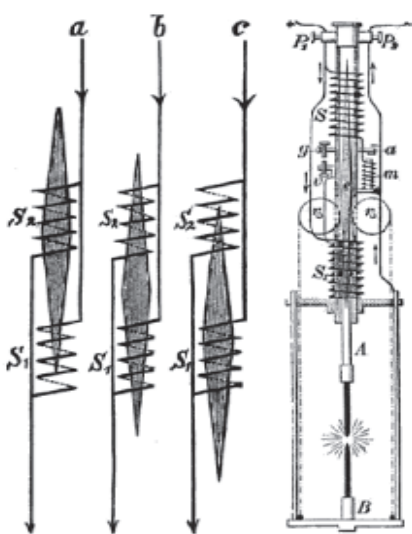


Fig. 174 a.  
Der Eisenfern der Strömungs-Lampe  
in verschiedenen Stellungen zu  
den beiden Spulen.

Fig. 174 b.  
Strömungs-Lampe,  
ältere Form.

Obr.467 Křížíkova obloukovka

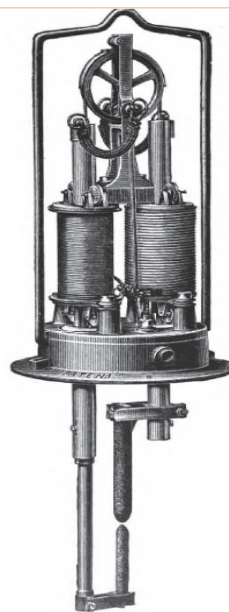


Fig. 118.

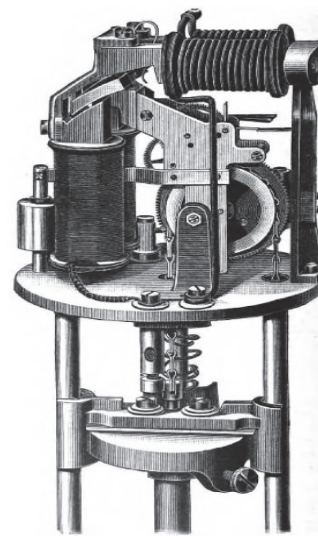
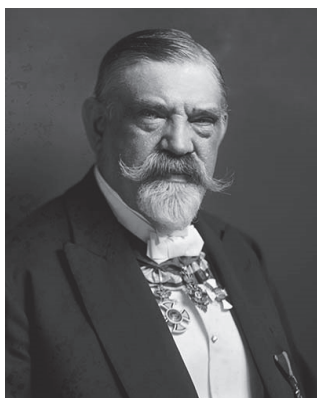
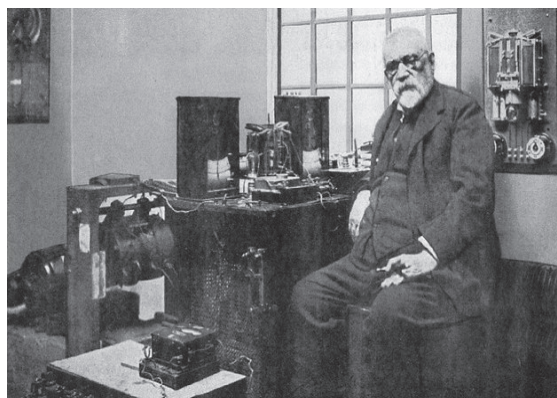


Fig. 119.

Obr.468 Obloukovka Siemens-Halske



Obr.469 František Křižík



Obr.470 František Křižík ve své laboratoři

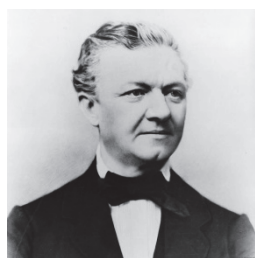


Obr.471 František Křižík

Ing.Dr.h.c. František Křižík (1847-1941)(Obr.469-471,474,475) byl vynálezcem, který zdokonalil automatickou regulaci diferenciální obloukové elektrické lampy. Na Obr.467 z encyklopedie vydané roku 1893 vidíme náčrtek jeho provedení regulace, kde je schematicky vidět v čase rozfázované silové působení cívek S1,S2 na dvojkruželové železné jádro, přitom střední poloha „b“ označuje žádaný rovnovážný stav (Lit.87,202). K praktickému přivedení vynálezu do provozní zralosti získal František Křižík obratného společníka, kterým byl Ludwig (Ludvík) Piette, spoluvlastník papírny v Plzni. Na vynález získali oba společníci dne 15.4.1882 německý patent DRP Kl.21 č. Nr. 16297, se zpětnou platností nároků od podání přihlášky dne 7.4.1880 (Lit.107). Křižíkovo jednoduché řešení regulace mělo jednu vadu, lampa vycházela příliš vysoká. Společnost Siemens-Halske (Obr.472,473) získala po urovnání právních sporů na Křižíkův patent licenci a konstrukci regulace upravila, také jednoduše. Na Obr.468 vidíme nahoře kolo kladky obepínané lankem na jehož obou koncích bylo upevněno jádro ve tvaru kužele, rozdělili Křižíkovo řešení na dva díly. V proudové cívice napravo byl jeden kužel, v levé napěťové cívice byl kužel druhý, oba v mosazných vodicích trubkách (Lit.195). Tahem za lanko byly vyvažovány síly na kladce, funkce zůstala zachována. Křižík se stal později významným výrobcem



Obr.472 W.Siemens



Obr.473 J.G.Halske



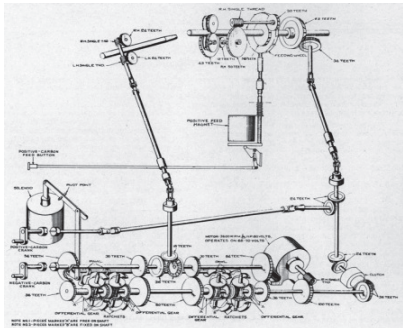
Obr.474 Rodný dům v Plánici



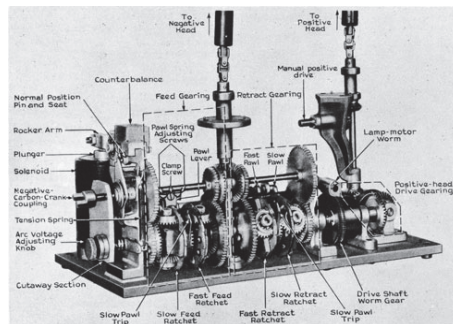
Obr.475 Deska

svých lamp pro Předlitavsko, pro které si patent ponechal. V roce 1881 se v Paříži konala mezinárodní elektrotechnická výstava, kde 19 výrobců elektrického osvětlení vystavovalo 523 obloukových lamp a žárovek. Křižík vystavoval v rakouském pavilonu 6 obloukovek podle svého patentu, které byly společně napájeny jedním dynamem Siemens-Schuckert ( Lit.196). Křižíkova zdokonalená regulace byla na výstavě roku 1881 oceněna zlatou medailí. Od roku 1883 působil Křižík v Praze-Karlíně, mohl si tam zařídit na základě příjmu z patentových práv prodaných do několika desítek zemí vlastní výrobu nejen obloukových lamp, ale také elektromotorů a dynam. Odborná příručka z roku 1904 uvádí, že lampy Křižíkovy konstrukce se stále vyrábějí (Lit. 88). Bylo tomu skutečně tak. Ředitel Křižíkovy společnosti Ing. Karel Kurfürst u příležitosti třicátého výročí trvání Křižíkovy společnosti roku 1913 spočetl, že za tu dobu bylo vyrobeno 4.000 obloukových lamp, 1800 elektromotorů a 800 dynam,

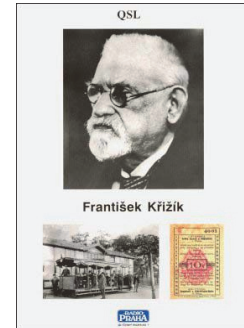
dále bylo vybaveno 112 elektráren a 400 vozů elektrické pouliční dráhy a železnice (Obr.478) (Lit.178). Ještě se vrátíme na chvíli zpátky k obloukovým lampám. Regulaci polohy uhlíkových elektrod vůči sobě k stabilizaci příkonu bylo možno řešit také velmi komplikovaným způsobem, jak ukazují dva náhodně vybrané příklady konstrukcí (Obr.476,477).



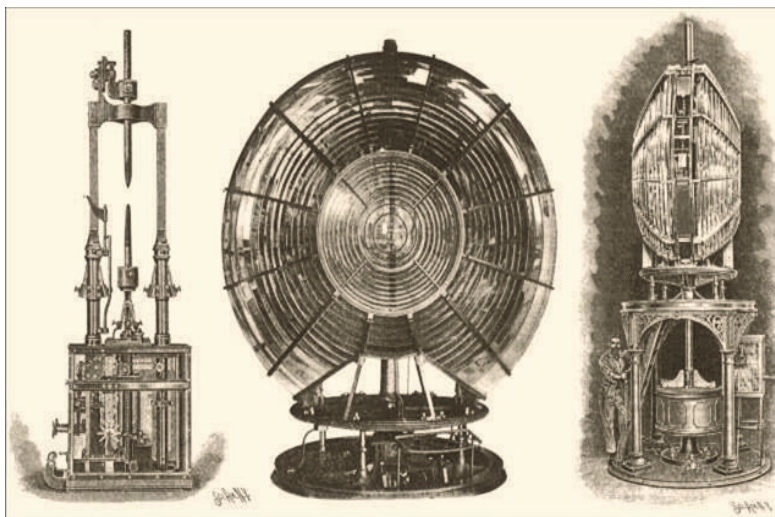
Obr.476 Regulace obloukovky



Obr.477 Regulace obloukovky



Obr.478 F.Křížik



Obr.479 Oblouková ampa s optikou pro pobřežní maják



Fig. 5a. Enclosed Carbon Arc Lamp with Light Opal Glass Inner Globe, Clear Glass Outer Globe, and Street Reflector

Obr.480 Oblouková lampa

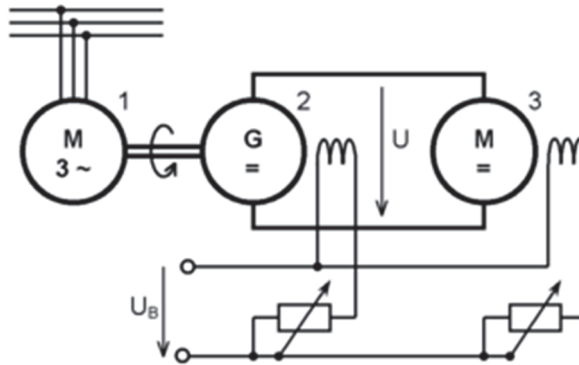
Obloukové lampy byly koncem 19. století též součástí majáků, jak ukazuje Obr.479. Velikost lampy a optiky v majáku můžeme odhadnout podle postavy strážce majáku na Obr.479 vpravo dole (Lit.88). K pouličnímu osvětlení sloužily v USA obloukové lampy ještě počátkem 20-tých let 20. století (Obr.480). V promítacích přístrojích kin bylo možno obloukové lampy najít do konce 60-tých let 20. století. V současnosti se s využitím obloukových lamp setkáme jen výjimečně.

Koncem 19. století byly hledány možnosti jak zdokonalit zapojení točivých stejnosměrných strojů. Americký vynálezce Harry Ward Leonard ( 1861-1915)(Obr. 481) byl autorem úspěšného zapojení (Obr.482), které nese jeho jméno. Na Obr. 482 vidíme vlevo (poz.1) značku střídavého třífázového motoru „M“ , jako pohon však mohl sloužit také spalovací nebo větrný motor. Motor „M“ poháněl stejnosměrné dynamo s cizím buzením „G“ (poz.2), které napájelo napětím „U“ stejnosměrný motor „M“ (poz.3).



H. WARD LEONARD '88  
Founder of The Tech

Obr.481 H.Ward Leonard



Obr.482 Soustrojí Ward-Leonardovo

Buzení obou stejnosměrných strojů bylo provedeno děliči napětí „UB“, poloha jezdce na děliči napětí určovala otáčky motoru „M“. Vynález byl patentován roku 1891 v USA, kde rychle našel užití k pohonu výtahů, pohyblivých schodů a výrobních strojů. Rozšíření vynálezu do Evropy na sebe nenechalo dlouho čekat. Na Obr. 483 vidíme zapojení, které bylo podle odborného časopisu vydaného v roce 1903 využito k pohonu knihtiskařského stroje (Lit.109). V horní části Obr.483 vidíme motor „A“ napájený ze sítě 200VDC, který poháněl dynamo „B“ s cizím buzením „c“. Přepínač odporů „D“ sloužil k nastavení intenzity buzení dynama „B“. Stejnosměrný motor „E“ byl určen k pohonu knihtiskařského stroje, byl dimezován na 400VDC. Jezdec na přepínači „D“ byl (nahore na Obr.483) nastaven až na plnou rychlost otáčení motoru „E“, který dostával téměř napětí 400VDC, jako součet síťového napětí a napětí dynama „B“. Otáčením jezdce proti směru hodinových ručiček bylo možno motor „E“ po stupních až zastavit (Lit.109).

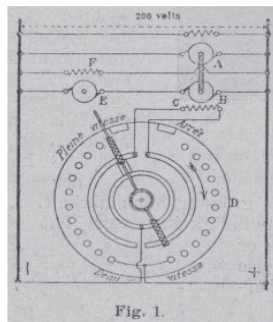


Fig. 1.

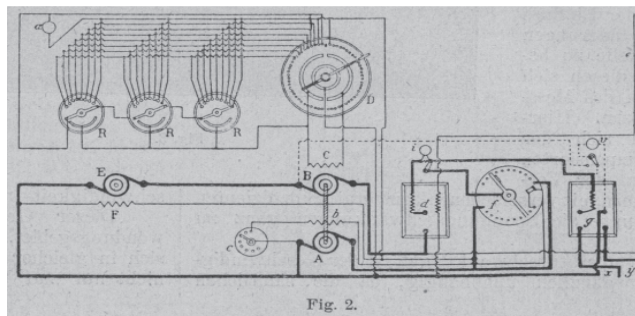
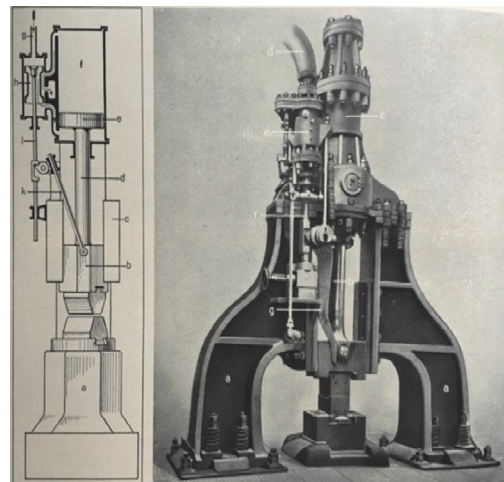


Fig. 2.

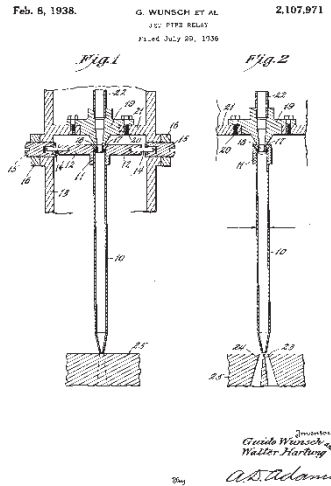
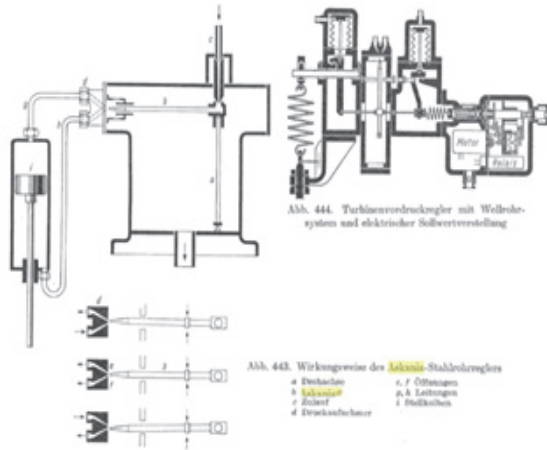
Obr.483 Soustrojí Ward-Leonard pro tiskařský stroj



Obr.484 Parní buchar s regulací

Na uvedeném principu soustrojí Ward-Leonard byl na počátku 20. století k dispozici výkonový zesilovač připravený k přijetí žádané hodnoty výkonu od nadřazeného regulátoru. Byl tak vytvořen základ nových elektrických servomechanismů, přitom výkon soustrojí mohl být v desítkách kW. Ještě ve dvacátých letech 20.století však přes všechny pokroky elektrotechniky vystačily i velké stroje

s jednoduchou mechanickou automatizací (Obr.484)( Lit.139). Parní šoupátko „h“ bylo ovládáno dvěma narážkami upevněnými na táhle „l“. Vačka mezi narážkami byla natáčena jednozvratnou pákou uloženou na čepu v hlavě bucharu „b“. Tím byly zpětnovazebně řízeny opakované rázy parního bucharu na kovadlinu.

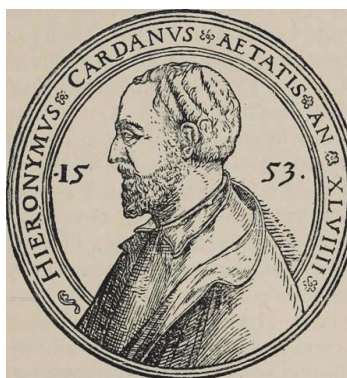
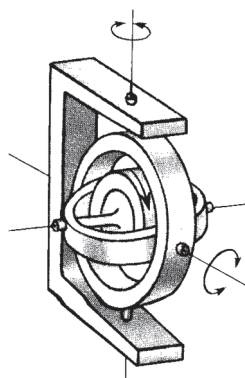


Obr. 485 Hydraulický regulátor „l“

Obr.486 Hydraulický regulátor „l“

Mechanické principy regulace doplnily v průmyslu a provozech elektráren hydraulické regulátory (Obr.485, 486)(Lit.179). Na Obr. 485 vlevo vidíme tlakový válec do kterého byl pod tlakem přiváděn olej pomocí pohyblivé trysky. Jestliže se tryska překlopila do polohy proti otvoru, pak píst ve válci pokračoval v pohybu až na úvrať. Systém se choval jako astatický integrační regulátor „l“. Když byla tryska pomocí zpětnovazebně přiváděné měřené veličiny nakloněna do druhé polohy ke druhému otvoru, pak se píst zase vracel zpět. Na Obr. 486 je náčrt vynálezců regulátoru k patentu US č.2.107.971. Hydraulika se v současnosti používá tam, kde je potřeba velkých přestavných sil. V letectví je hydraulika rozšířena také, protože zaujímá malý prostor a vyvodí velkou sílu.

Nyní se nečekaně obrátíme od elektrotechniky, obloukových lamp a hydrauliky k roztočeným setrvačnickům. Nerušený chod roztočeného setrvačnicku přepokládá zvláštní druh závěsu, který se nazývá Cardanův, podle autora popisu závěsu zveřejněného knižně v roce 1550 (Obr.487,490).



Obr.487 Závěs

Obr.488 H.Cardanus

Obr.489 H.Cardanus

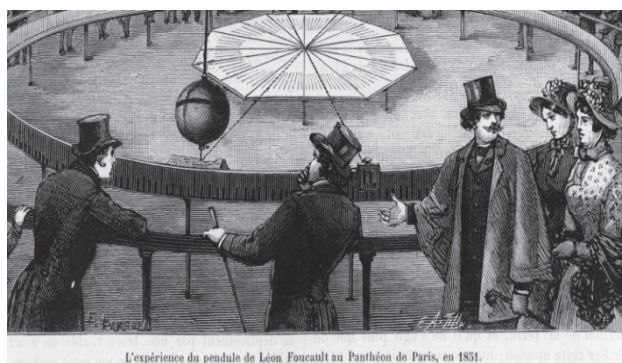
Obr.490 Cardanův závěs

Fyzik Gerolamo Cardano ( Hieronymus Cardanus) žil v letech (1501-1576)(Obr.488, 489). Spojení rotujícího setrvačnicku a Cardanova závěsu využil francouzský fyzik J.B.Léon Foucault (1819-1868)

(Obr.494, 496), kterého si pamatujeme z učebnice fyziky jako autora důkazu zemské rotace pomocí kyvadla v Pantheonu v Paříži v roce 1851 (Obr.491,492). Kyvadlo mělo délku 64,7 metru a hmotnost 31,4 kg (Lit.198). V roce 1852 však Foucault zjistil, že důkaz o zemské rotaci může podat doslova mikroskopickým pokusem, model jeho zařízení je na Obr.495. Pozice 1 je setrvačnick, pozice 2,3 tvoří Cardanův závěs visící na tenkém drátku v pouzdru (pozice 5), které je součástí rámu (poz.4). Pozice 6 je mikroskop k sledování pokusu. Stejně jako stáčení osy kyvu vůči Zemi u kyvadla (Obr.492) bylo při pokusu se setrvačnickem zjištěno stáčení osy setrvačnicku v čase oproti rámu spojeného se Zemí (Obr.495 pozice 4).



Obr.491 Panthéon



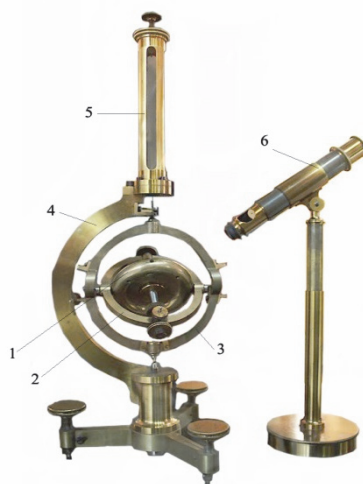
Obr.492 Foucaultův okus s kyvadlem roku 1851



Obr.493 Setrvačnick



Obr.494 J.B.Léon Foucault



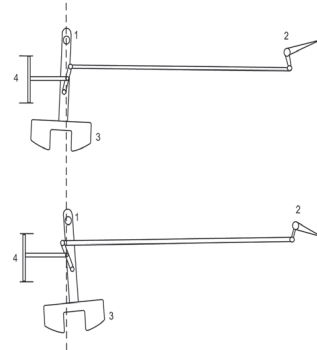
Obr.495 Gyroskop r.1852



Obr.496 J.B.Léon Foucault

Rakouský lodní technik Ludwig Obry (1852-1942) zkonstruoval v letech 1896-1898 Cardanův závěs se setrvačnickem (Obr.503,504) poháněným pružinou, určený ke stabilizaci kurzu torpéd při plavbě pod vodou. Obry prodal svůj patent výrobci torpéd. Kupujícím byl Angličan Robert Whitehead (1823-1905)(Obr.498,509), který se po praxi ve francouzských a italských loděnicích usadil v přístavu Fiume (dnešní Rjeka v Chorvatsku). V průběhu šedesátých let 19.století Whitehead vyráběl první torpéda (Obr.497). V letech 1867/1868 předváděl námořnímu loďstvu Rakouska-Uherska v Rjece první úspěšné cvičné střelby na terč ponořený pod mořskou hladinou (Lit.194). Roku 1868 vynalezl Whitehead přímočinný regulátor hloubky ponoru torpéda, který nazval hydrostatem (Obr.499 až 501). Výkyvné závaží reagovalo na podélný náklon torpéda a pomocí pák a kormidel vracelo torpédo na původní ponor. Hloubku ponoru měřil píst snímající tlak vody (pozice 4 na Obr.499, pozice „h“ na

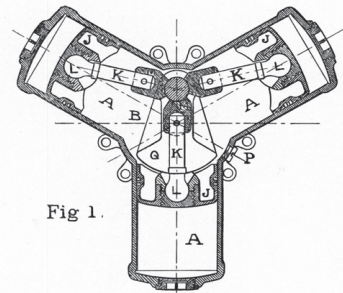
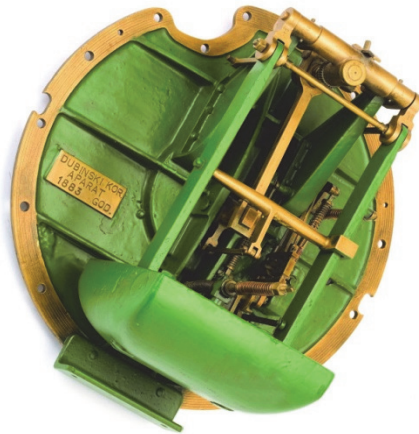
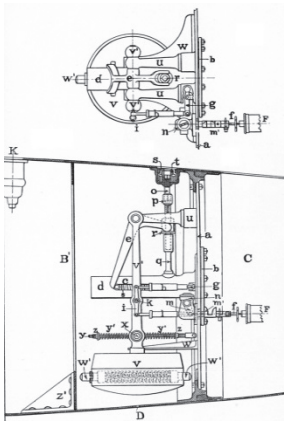
Obr.500). Větší nebo nižší tlak sloupce vody způsobil pohyb pístu a tím opět provedl nastavení kormidel tak, aby torpédo plulo v konstatní hloubce. Konstrukční provedení hydrostatu z roku 1883 vidíme na Obr.501. Hloubka žádaného ponoru stabilizovaná hydrostatem se nastavila zvenku klíčem podle kruhového číselníku.



Obr.497 Rjeka - počátky torpéda

Obr. 498 R.Whitehead

Obr.499 Princip hydrostatu

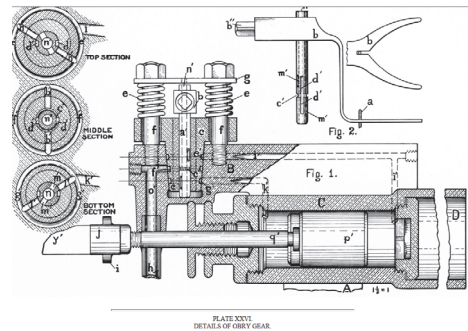
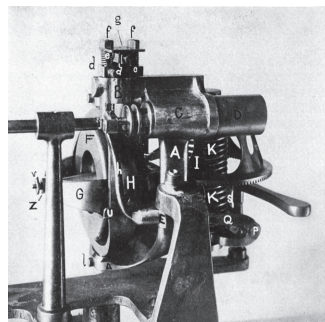
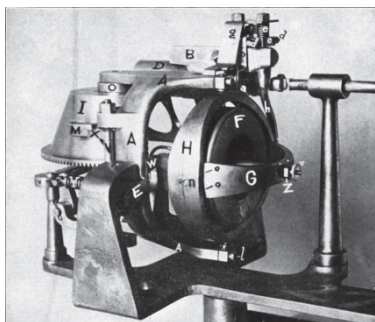


Obr.500 Hydrostat

Obr.501 Hydrostat

Obr.502 Pneumatický motor

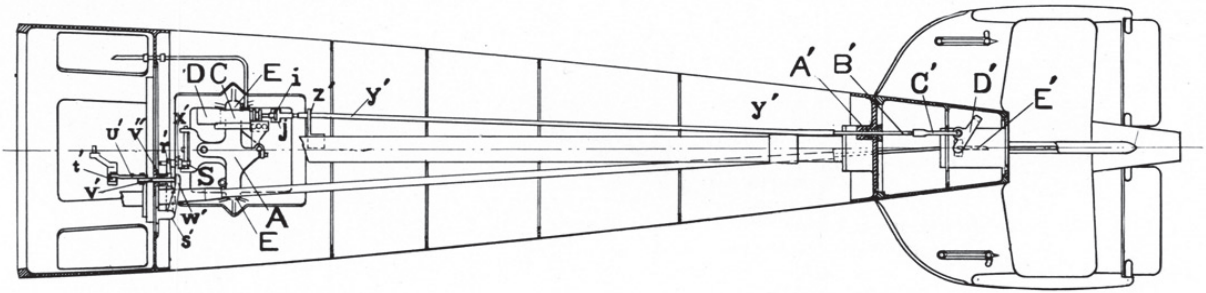
Rakouský vynálezce Ludwig Obry (1852-1942) využil poznatků, které získal Foucault. Ludwig Obry zkonstruoval v letech 1896-1898 gyroskop poháněný pružinou „K“ (Obr.504). Pneumatický pohon na stlačený vzduch byl určen k řízení kormidla (Obr.505,506). Příklad byl vyroben z bronzu, pozice „A“ je rám, „F“ je setrvačnik, „G“ je vnitřní prsteneček Cardanova závěsu, „H“ je vnější prsteneček závěsu. Pozice „B“ je ovládací pneumatický ventil, „C“ je pneumatický pohon řízení s táhlem „y“ k natáčení kormidla sloužícího k stabilizaci kurzu plavby.



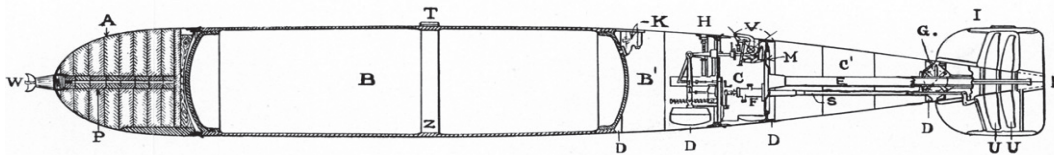
Obr.503 Obryho gyroskop

Obr.504 Obryho gyroskop

Obr.505 Pneumatický pohon řízení

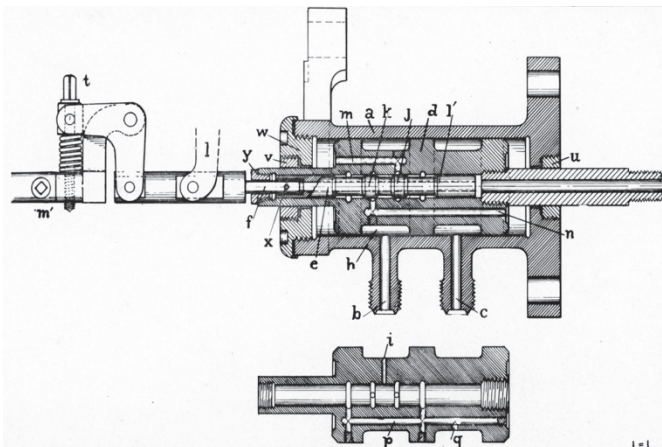


Obr.506 Pohon řízení torpéda s táhlem „y“ k natáčení kormidla

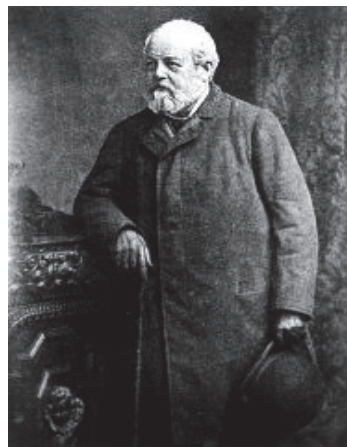


Obr.507 Torpedo Whitehead Model Mark U.S.Navy z roku 1898 (Lit.180)

Na Obr.507 je část „B“ tvořena nádobou na tlakový vzduch, část „A“ je bojová hlavice. Průměr torpéda byl 450mm, délka 3,5 metru. Obrázek 502 ukazuje řez trojválcovým pneumatickým motorem k pohonu protiběžných hnacích šroubů.



Obr.508 Pneumatický servopohon řízení kormidla

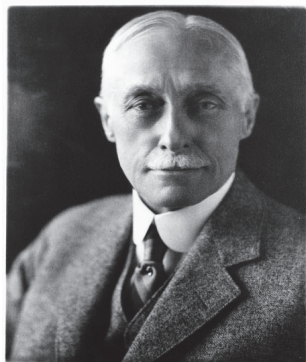


Obr.509 Robert Whitehead

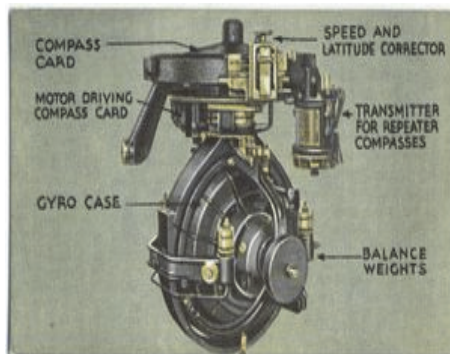
Na Obr.508 je výkres dalšího Whiteheadova pneumatického posilovacího servopohonu se zpětnou vazbou k řízení plavby torpéda. Tlakový vzduch vstupoval šroubením „b“ do drážky „h“ válce „a“ a dále vrtáním pístu „i“ do prostoru „k“ a „j“. Podle polohy řídicího ventilu uvnitř pístu byl tlakový vzduchu přepouštěn vlevo nebo vpravo do válce pomocí kanálků „n“ a „m“ v pístu. Píst tak kopíroval pohyb řídicího ventilu až do pozice, kde si sám uzavřel další přítok napájecího tlakového vzduchu z vrtání „i“. Expanďovaný vzduch odcházal šroubením „c“. Tolik k automatizaci plavby torpéd, která byla zavedena na válečných lodích US Navy v roce 1898 (Lit.180).

V druhé polovině 19.století byly prováděny opakované pokusy s rotujícím setrvačником v Cardanově závěsu na ocelových lodích, přístroj měl nahradit magnetické kompas. Pokusy s rychlostmi otáčení až 5.000 ot./minutu nebyly pro běžnou praxi uspokojující (Lit.176). Ve dvacátých letech 20.století byly řadu let vyráběny kompas pracující na základě stabilní polohy rychleji rotujícího setrvačniku vůči Zemi (stálícím). Podařilo se dosahovat až 15.000 ot./minutu a výsledky byly použitelné (Obr.511).

Americký vynálezce a výrobce kompasů Elmer Ambrose Sperry ( 1860-1930)(Obr.510, 512) přišel s myšlenkou použít gyrokompas s dálkovým přenosem odchylky polohy základny gyrokompasu jako regulační přístroj pro již osvědčené parostrojní posilovače řízení parních lodí (Obr.414,415). Sperry tím sestavil autopilot, který držel loď ve stanoveném kurzu. Sperry také sestavil technické řešení, které podal jako patentovou přihlášku č. US pat. 1.436.280 ze 7.7.1922 (Obr.513)



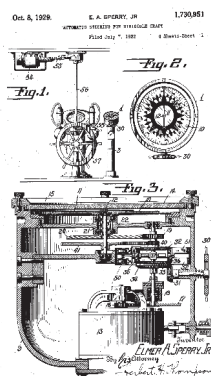
Obr.510 E.A.Sperry



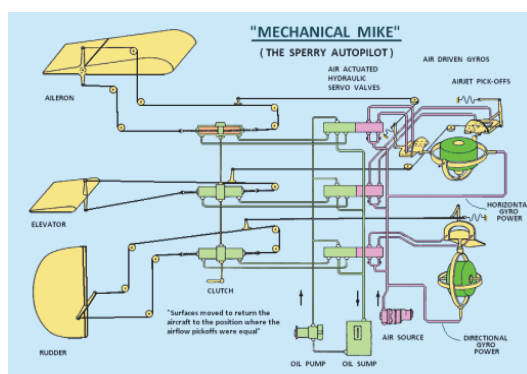
Obr.511 Gyrokompas



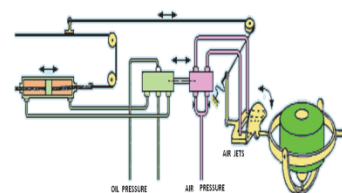
Obr.512 E.A.Sperry



Obr.513 Patent



Obr.514 Autopilot pro letadlo

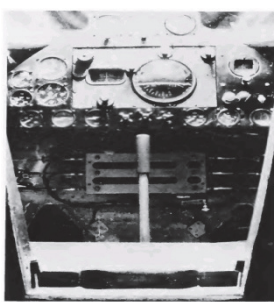


Obr.515 Autopilot

Sperry a jeho syn (Obr.518) se věnovali pokusům s letadly, stabilizace letadla za letu v daném kurzu jimi byla do detailu promyšlena. Patentová přihláška autopilota č.US pat.1.418.335 byla podána již 19.11.1918 a patent byl udělen 6.6.1922 (Lit.175). Náčrtky na Obr.514,515 ukazují jejich technické řešení se dvěma gyrokompasu, odchylky základen od os setrvačnicků snímala pneumatická čidla dále ovládající hydraulické ventily, které přepouštěly tlakový olej do válců přestavujících vztlakové klapky na křídlech (Obr.515 nahoře), dále vodorovné a svislé kormidlo na zádi letadla. Praktické pokusy s autopilotem v dvacátých letech 20. století vyústily v let dvou pilotů kolem světa, přitom autopilot fungoval 85 hodin. V roce 1933 letěl kolem světa s pomocí autopilotu jediný pilot bez navigátora. Pohled do pilotní kabiny té doby ukazuje Obr.517. Nahoře je autopilot k stabilizaci letu v daném kurzu a dole je skříňka s pneumaticko-hydraulickým posilovačem. Ve třicátých letech 20.století již byla tato zařízení určená pro civilní letadla běžně v prodeji (Obr.516).



Obr.516 Gyrokompas



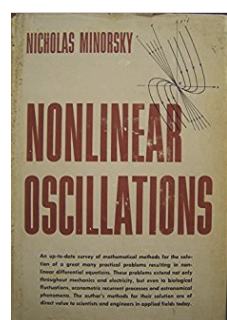
Obr.517 Pilotní kabina



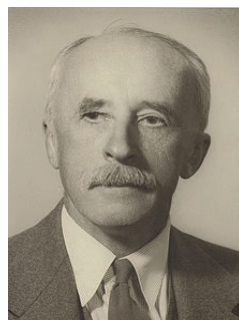
Obr.518 L. & E.A.Sperry



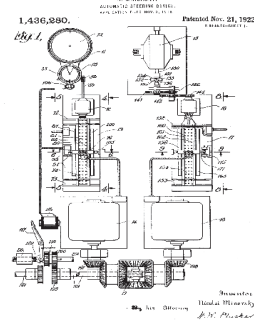
Obr.519 N.Minorskij



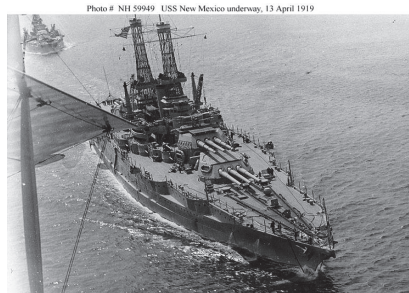
Obr.520 Kniha



Obr.521 N.Minorskij



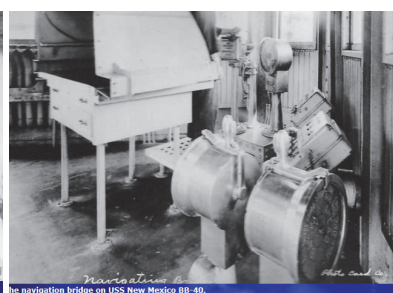
Obr.522 Patent



Obr.523 USS New Mexico r.1919



Obr.524 USS New Mexico



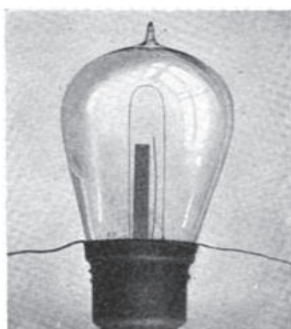
Obr.525 Navigační velín USS N.M.

Důstojník ruského válečného námořnictva na Obr.519 je Nikolaj Fjodorovič Minorskij ( 1885-1970), zodpovídal u carského loďstva za navigační gyroskopické přístroje. Minorskij studoval elektrotechniku ve Francii, kde získal inženýrský diplom. Jeho působení u ruského námořnictva ukončila revoluce v Rusku roku 1917, potom emigroval. Již dne 2.11. 1918 podal v USA patentovou přihlášku č.US pat. 1.436.280 na systém automatického řízení lodí (Obr.522)(Lit.175). Teoretické výsledky získané při identifikaci lodi jako řízené soustavy, závěry z praktických pokusů a pozorování na bitevní lodi USS New Mexico, která byla vybavena elektrohydraulickým posilovačem k otáčení kormidlem (Obr.523, 524,525), shrnul do studie z roku 1922. Studie obsahuje také návrhy funkcí regulátorů (Lit.172,209, 210). Jeho definice ve studii jako první definovala funkce regulátorů, kterým nyní říkáme P,PI a PID regulátory. N.F.Minorskij se v pozdějších letech (Obr.521) věnoval nadále teorii automatického řízení ( např. Obr.520).

V druhé polovině 19.století došlo rozsáhlému rozvoji elektrotechniky, nejen silnoproudé.



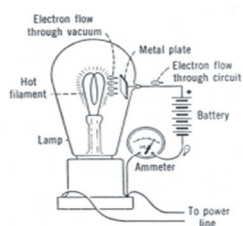
Obr.526 F.Guthrie



Obr.527 Žárovka



Obr.528 T.A.Edison



Electrons will flow from the filament to the plate when the plate is positive, but not when it is negative.

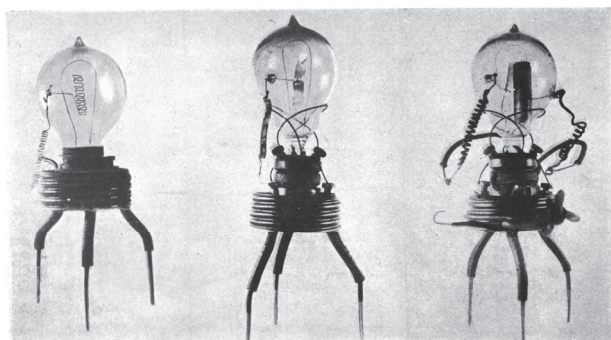
Fig. 1

Obr.529 Edisonův pokus

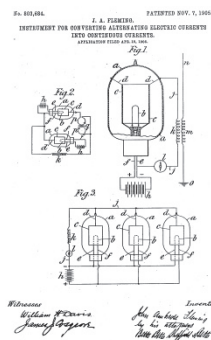
V roce 1873 objevil anglický fyzik Frederic Guthrie (1833-1886)(Obr.526) tepelnou emisi elektronů. Vynálezce Thomas Alva Edison (1847-1931)(Obr.528) umístil do své žárovky plněné plynem (Obr.527) kromě žhavicího vlákna ještě elektrodu, kterou vidíme jako tenký svislý vodič vpravo od tmavého obdélníku na Obr.527. Schéma Edisonova pokusu (Obr.529) ukazuje napojení elektrody na baterii, přitom proud procházel jen tehdy když byl na elektrodu napojen kladný pól baterie. V roce 1904 hledal fyzik John Ambrose Fleming (1849-1945)(Obr.530,533) vakuovanou součástku k detekování radiových vln. Výsledkem výzkumu byla vakuová dioda (Obr.531) patentovaná v roce 1905 (Obr.532).



Obr.530 John Ambrose Fleming a jeho vakuová dioda z roku 1904



Obr.531 Vakuové diody z roku 1904

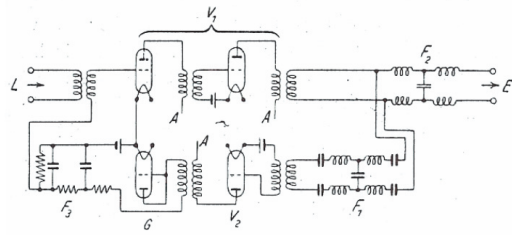
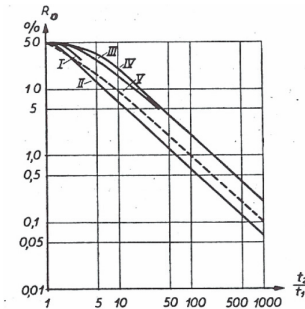


Obr.532 Patent r.1905 Obr.533 J.A.Fleming



Po diodě následovaly další elektronky, před 1.světovou válkou (1914-1918) byly již elektronkové zesilovače užity k zesílení dálkových telefonních hovorů.

Teorie automatické regulace doplňovala praxi. Z výzkumu chování elektronkových zesilovačů ve dvacátých letech 20. století přišel návod na určení stability servomechanismů při uzavřené zpětnovazební regulační smyčce.



Obr.534 K.Kűpfműller

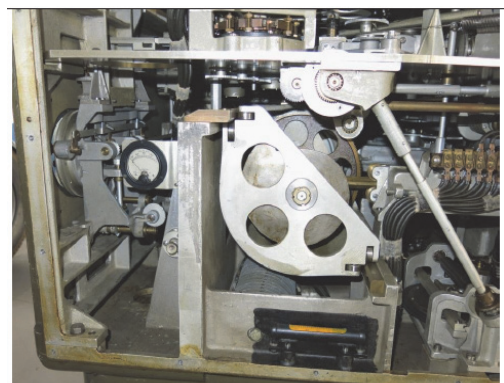
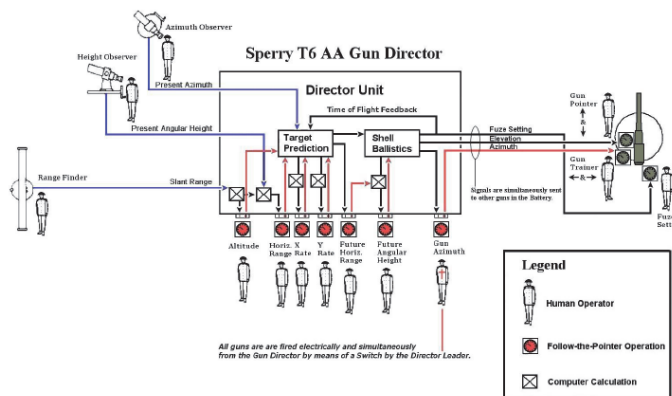
Obr.535 Oblasti stability

Obr.536

Schéma zesilovače

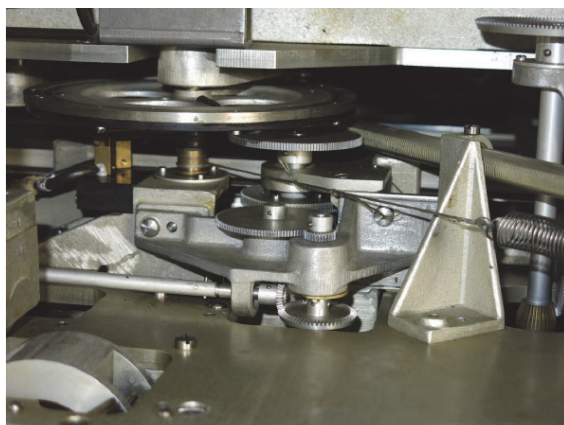
Elektrotechnik Karl Kűpfműller (Obr.534)(1897-1977) zveřejnil v roce 1928 článek na téma stability elektronkových zesilovačů se zpětnou vazbou (Obr.536)(Lit 115). Závěry formuloval do grafu (Obr.535), vodorovně je vynesena poměr času průtahu ( $t_2$ ) k času přechodu ( $t_1$ ) přechodové charakteristiky rozpojeného regulačního obvodu zesilovače a na svislé ose je zesílení. Pod čarou II. je oblast stabilního zesílení rozpojeného obvodu. Volbou z oblasti stabilního zesílení je zaručeno, že uzavřený regulační obvod nezačne kmitat.

V třicátých letech 20.století začalo v Evropě nové vyzbrojování, pozornost se věnovala také budoucí protiletectvé obraně. Na Obr.537 (Lit.116) vidíme schéma elektromechanického zařízení s ruční regulací, které bylo navrženo v USA k výpočtu náměru a odměru protiletectvého kanonu větší ráže (75mm-90mm), který měl hmotnost typicky 7.000 kg a dostup granátu do výšky cca 8000 metrů (Obr.545 vpravo). Stav techniky předpokládal vstup údajů získaných ručním sledováním třech parametrů cíle a sice výšky, odměru a vzdálenosti cíle. Na Obr.537 tuto funkci zastávají tři vojáci vlevo. Měřené hodnoty vstupovaly do elektromechanického počítače (Obr.537 – uprostřed). Úkolem sedmi vojáků u počítače bylo sledovat analogové ukazatele a ručně podle nich nastavovat hodnoty k výpočtu. Výsledek výpočtu směřoval k obsluze kanonu, kde dva vojáci nastavovali dle ukazatelů ručně náměr a odměr kanonu (vpravo na Obr.537), třetí časoval granáty. Vnější balistika kanonu byla k výpočtu uložena na šablonách a vačkách, které mohly být k třídimenzionální (3D). Smyslem celého zařízení bylo výpočtem předpovídat polohu cíle v čase a do předvídaného bodu polohy cíle dopravit včas po balistické křivce správně načasovaný granát.



Obr.537 Elektromechanický počítač k řízení palby

Obr.538 Pohled do počítače



Obr.539 Pohled do počítače

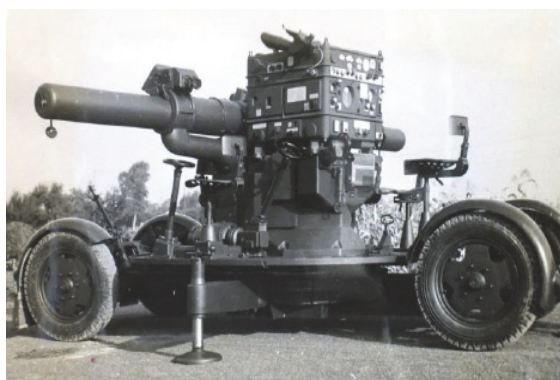


Obr.540 Ukazatele analogových veličin

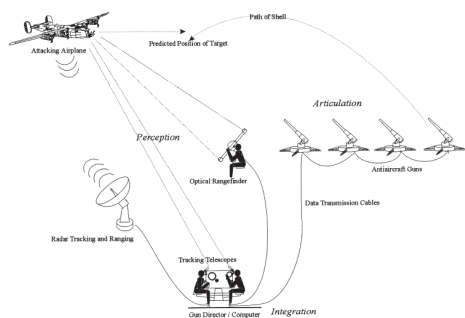
Na Obr.541 vidíme 12 německých vojáků v druhé polovině třicátých let 20.století, jak ručně ovládají podobný elektromechanický počítač protiletectvého dělostřelectva. Na Obr.542 je dálkoměr z roku 1943. V USA cvičila armáda podobným způsobem. Nový impulz k automatizaci přinesl radar. Prakticky prověřený typ je na Obr.545 vlevo a Obr.546. Radar sloužil k samočinnému sledování odměru, výšky a vzdálenosti cíle. Žádaná hodnota náměru a odměru kanonů byla předávána do servomechanismů s patřičně regulovaným výkonem (Obr.547). K polohování os kanonů bylo využito soustrojí Ward Leonard ( amplitdyn ), které ve schématu nalezneme na Obr.548.



Obr.541 Měření vzdálenosti a výpočet



Obr.542 Měření vzdálenosti letadel



Obr.543 Měření za pomoci radaru

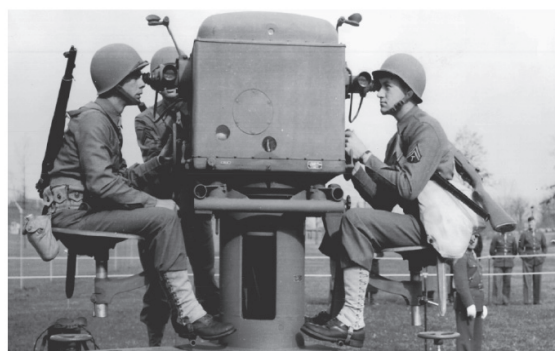
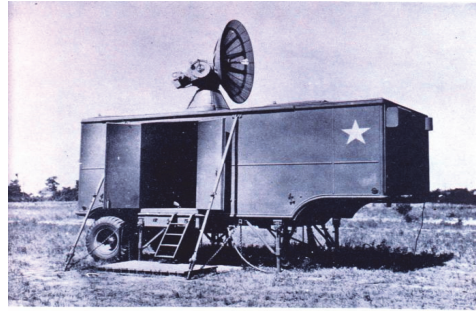


Figure 1.5  
M-9 gun director, tracking head with operators. One follows the target in elevation, the other in azimuth. The unit and the operators rotate with azimuth tracking. (AT&T Archives)

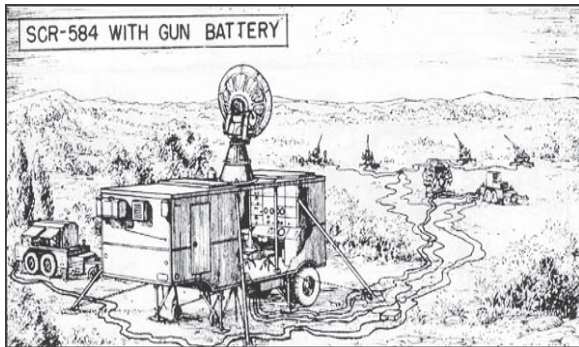
Obr.544 Ruční sledování polohy letadel



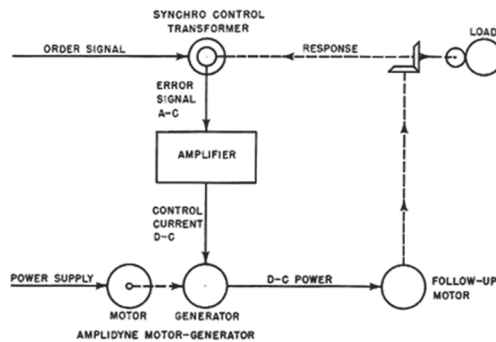
Obr.545 Počítač a měření polohy letadel



Obr.546 Radar v polním provedení

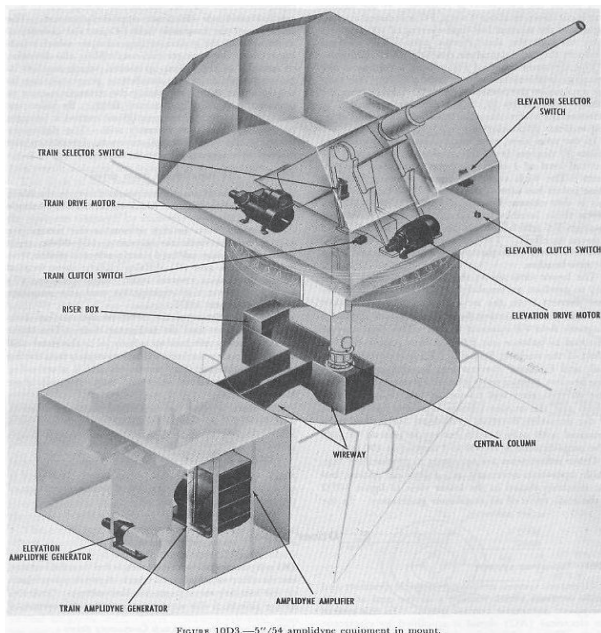


Obr.547 Radar s dělostřeleckou baterií

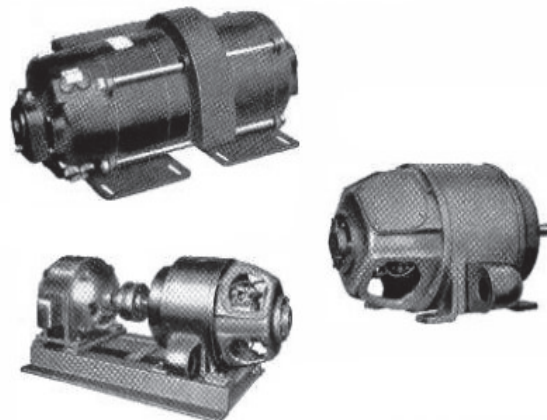


Obr.548 Schéma polohování kanonu

Před rokem 1914 byly na válečných lodích instalovány první analogové mechanické výpočetní přístroje jako pomůcky k řízení palby (Lit.212). Automatizace bylo dosaženo ve třicátých letech a během války (1939-1945). Úloha byla daleko těžší nežli na souši, do výpočtů bylo nutno zahrnout podélné a příčné kolébání lodi, také opravu na polohu jednotlivých kanonů podél lodi. Centralizovaný výpočetní systém pro dělostřelectvo válečné lodi tehdy obsluhovalo až 15 námořníků (Lit.193)

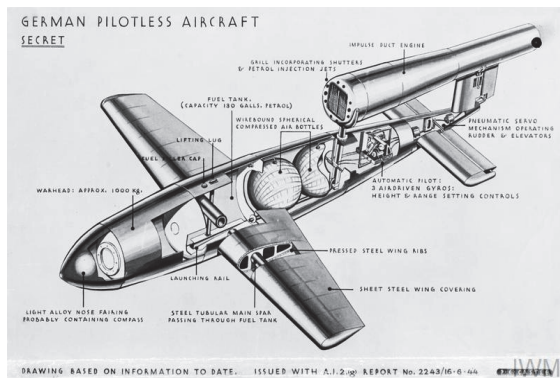


Obr.549 Polohování věže válečné lodi

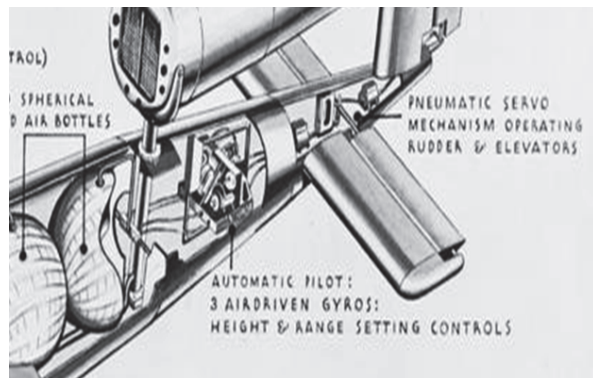


Obr.550 Soustrojí Ward-Leonard (amplidyne)

V konečné fázi byl celý řetězec automatizován a sice od sledování cíle až po ustanovení os hlavní kanonů do žádané polohy (Obr.549). Použitá soustrojí Ward-Leonard vidíme na Obr.550 (Lit.110).



Obr.551 Bezpilotní zbraň V1



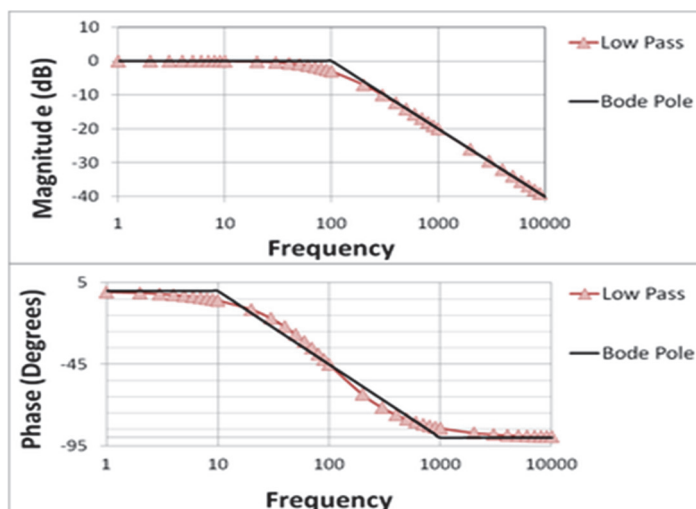
Obr.552 Bezpilotní zbraň V1

V letech 1944/1945 byl automatizovaný dělostřelecký systém použit proti bezpilotní zbraň V1 (Obr.551,552), která byla k stabilizaci letu vybavena inerciálním setrvačnickovým systémem a servomechanismem řízení kormidla a vztakových klapek. Vše bylo poháněno stlačeným vzduchem, jak zjistili britští zpravodajci z trosky V1 (Obr.552). Při obraně Londýna a Antwerp byla po zaměření sestřelena každá druhá zbraň V1. V reálném čase spolu soupeřily dva samočinné systémy (Lit.112).

Při vývoji servochoomechanismů k řízení protiletadlové palby došlo k tomu, že bylo zapojeno do serie více systémů a tím se zvětšilo riziko zkreslení signálů. První automatizované řetězce trpěly nestabilitou, vliv šumu způsoboval zmatené nastavení os hlavní kanonů. Současníci si stěžovali, že každý ze subdodvatelů se věnuje elektrické a mechanické části své dodávky a nikdo řízení jako celku (Lit.112). Zde pomohli teoretici. Jejich úkolem bylo poskytnout metody k zjištění zda bude servomechanismus pracovat stabilně a také optimálně z pohledu časového průběhu regulačního pochodu. Další součástí zadání bylo potlačení šumu a vyhlazení časového průběhu měřené hodnoty. Vše se dělo pod časovým tlakem válečného úsilí v laboratořích v USA.



Obr.553 Hendrik Wade Bode



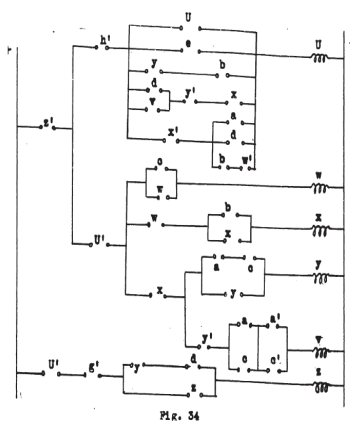
Obr.554 Bodeho diagramy

K řešení úloh přispěl matematik a fyzik Hendrik Wade Bode (1905-1982)(Obr.553), který roku 1938 uveřejnil nový způsob znázornění dynamických vlastností komponent řídicích systémů. Na Obr.554 je nahoře vidět závislost amplitudy a frekvence, oboje v logaritmické stupnici a dole závislost fáze na

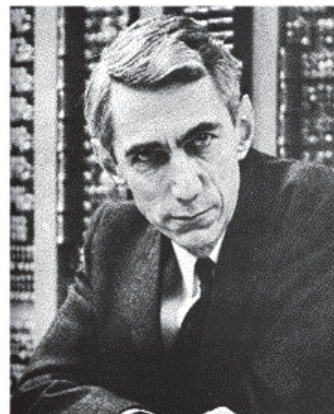
frekvenci. Tyto frekvenční charakteristiky jsou odezvou na buzení vstupní harmonickou funkcí, např. sinusového průběhu v čase. Na Obr.554 regulační technik poznává charakteristiku jednoduše statické soustavy. Nezvyklé znázornění velmi pomohlo při syntéze servomechanismů a jejich ladění během vývoje samočinných systémů řízení protiletadlového dělostřelectva v USA za 2.světové války. Bode se vývoje jako matematik aktivně účastnil a jeho návody pomohly zlepšit funkci a efektivnost systému. Servomechanismy a jejich teorie byly po 2.světové válce přežaty do běžného průmyslového použití, Bodeho diagramy jsou vítanou pomůckou současných vývojářů a konstruktérů, tak jako dříve.



Obr.555 Claude E.Shannon



Obr.556 Kontaktní schéma



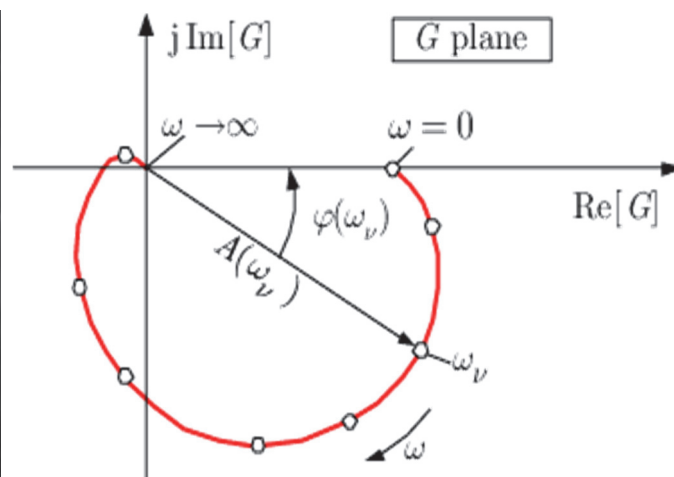
Claude Shannon

Obr.557 Claude E.Shannon

Vývoje servomechanismů se účastnil také Claude E. Shannon (1916-2001)(Obr.555,557). Na Obr.556 vidíme kontaktní schéma, které jako novinku ve spojení s Booleovou algebrou podal Claude Shannon již ve své diplomové práci na MIT v letech 1937-1940.

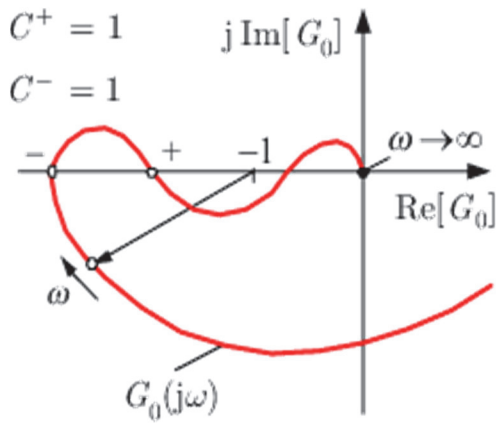


Obr.558 Harry Nyquist

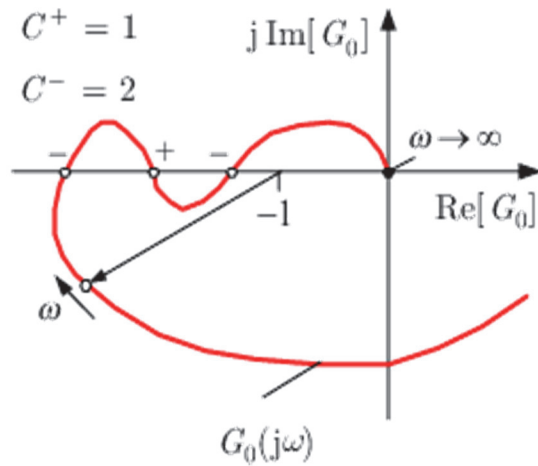


Obr.559 Dynamický děje po transformaci v komplexní rovině

Harry Nyquist ( 1889-1976)(Obr.558) sestavil kritérium stability regulačních obvodů, přitom dynamické děje znázornil v závislosti na frekvenci v komplexní Gaussově rovině (Obr.559 až 561).



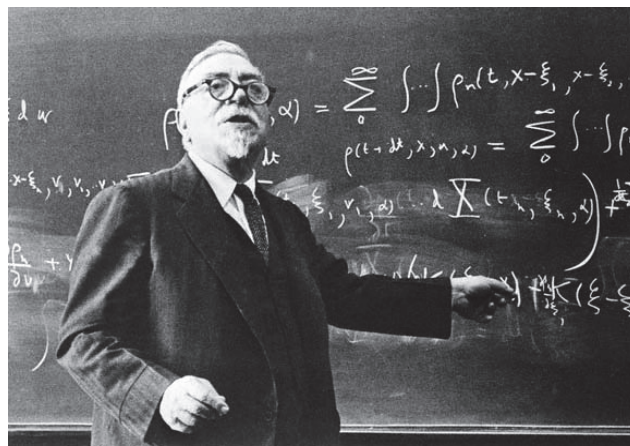
Obr.560 Stabilní obvod



Obr.561 Obvod na mezi stability



Obr.562 N.Wiener



Obr.563 Prof.Norbert Wiener během přednášky



Obr.564 Karikatura

Norbert Wiener (1894-1964)(Obr.562 až 564) byl matematikem, profesorem MIT. K vývoji servomechanismů přispěl predikcí polohy a filtrem signálů. V literatuře je uváděn jako zakladatel pozdější kybernetiky, zejména na základě vlivu jeho knihy „Cybernetics“ z roku 1948 na veřejnost (Lit.190).

V automatizační technice však pomáhají kupodivu výsledky starších matematiků činných v 18. a 19. století. Jako příklad lze uvést Laplaceovu transformaci.



Obr.565 P.S.Laplace

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt$$

Obr.566 Transformace časové funkce



Obr.567 P.S.Laplace

Pierre-Simon Laplace (Obr.565,567)(1749-1827) byl francouzským matematikem, který zavedl transformaci funkcí  $f(t)$  v čase pomocí integrálu (Obr.566), kde „e“ je základ přirozených logaritmů, „t“ je čas a „p“ je komplexní číslo. Funkce  $F(p)$  je nazývána obrazem. Pomocí obrazů lze jednoduše

vyřešit vztahy více funkcí mezi sebou a výsledek je možno převést zpětnou Laplaceovou transformací na závislosti hledaného výsledku v čase. Postup pomáhá v automatizaci například určit časovou odezvu více servomechanizmů zapojených za sebou, z časové odezvy je možno usoudit na stabilitu a jakost regulace. Pro snadnost výpočtu jsou obrazy typických funkcí Laplaceovy transformace tabelovány v literatuře (např. Lit 9 a mnoho dalších).

Ve 40-tých letech 20.století si také praktici lámali hlavu jak zlepšit kvalitu regulačních pochodů. Patřili k nim J.G.Ziegler a N.B.Nichols (Obr.569). Zkoumali časový průběh průtoku kapaliny v místě „K“ (Obr.568 – Lit.113) a empiricky ladili konstanty regulátoru, který reagoval na uměle zavedenou odchylku průtoku kapaliny v místě „K“. Výsledkem zkoumání časových průběhů odezvy regulace a časových konstant řízené soustavy bylo doporučení jak nastavit konstanty regulátorů, aby bylo dosaženo tlumeného regulačního pochodu (Obr.568).

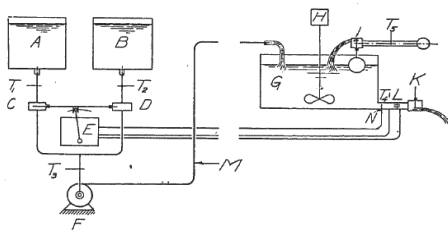


FIG. 9 SINGLE-CAPACITY PROCESS WITH VELOCITY-DISTANCE LAG TO DEMONSTRATE "EXACT CORRECTION"

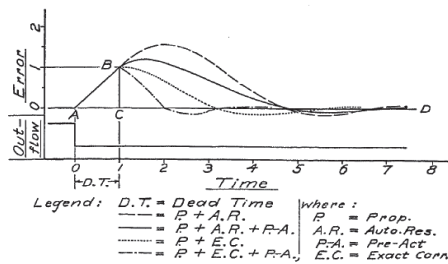
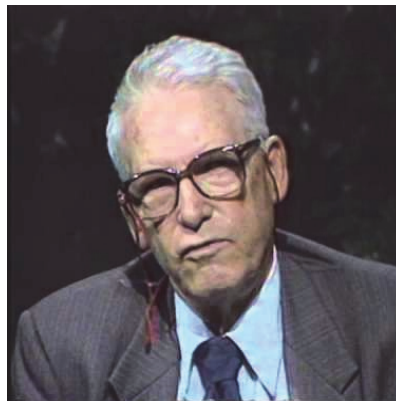


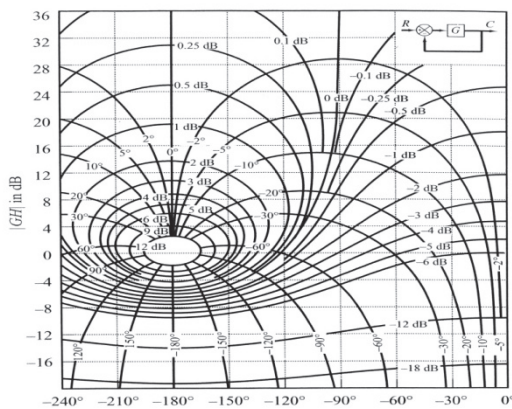
FIG. 10 NONDIMENSIONAL CURVES, SHOWING ADVANTAGES OF "EXACT CORRECTION"



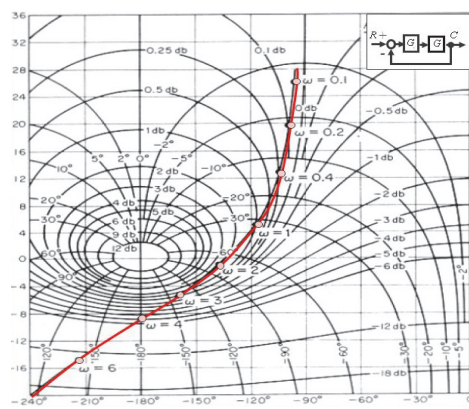
Obr.569 N.B.Nichols

Obr.568 Seřizování regulačního obvodu

Metoda seřizování metodou Ziegler-Nicholse je empirická, sám jsem ji vyzkoušel počátkem 70-tých let 20.století na pomalých regulačních obvodech ve velkém chemickém závodu. Pro jednoduchost a dobré výsledky je možno ji po letech doporučit. N.B.Nichols jako teoretik formuloval a graficky (Obr.570,571) znázornil pomocí diagramů kriterium stability regulačních obvodů.



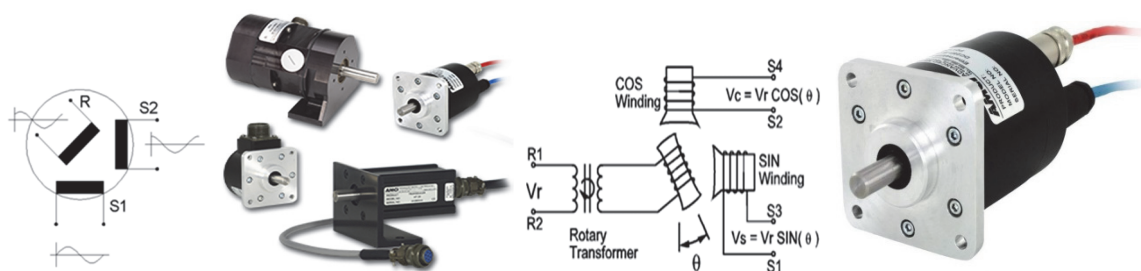
Obr.570 Nicholsův diagram



Obr.571 Nicholsův diagram

Ve čtyřicátých letech 20.století byly vyšetřovány vlastnosti analogových regulačních obvodů, číslíkové řídicí obvody nebyly ještě vynalezeny.

Další rozvoj automatizační techniky pro vojenské účely následoval velmi rychle, brzy po ukončení 2.světové války (1939-1945). Počátkem padesátých let 20.století byl v Sovětském svazu zkonstruován servomechanismus STP-2 Cyklon stabilizující kanony tanků T54B a T55 ve dvou rovinách (Obr.583). Byly použity čtyři setrvačníky s jmenovitými počtem otáček 22.000 ot./minutu, které byly umístěny v jedné skříni (Obr.578). Skříň setrvačnicků byla pevně spojena s lafetou kanonu (Obr.580 nahoře). Výměnný blok jednoho setrvačnicku ukazuje Obr.577. Motory a snímače otáček byly napájeny střídavým napětím cca 40V o kmitočtu 400Hz z bloku střídače (Obr.580 dole, Obr.579 pozice 10), který byl napájen z stejnosměrné sítě 24VDC vozidla. Změny úhlové rychlosti a úhlového zrychlení snímaly ve dvou rovinách rotační transformátory, které se nazývají resolyvery. Současné (rok 2017) resolyvery jsou vidět na Obr.573,575. Rotory resolyverů se otáčejí spolu se setrvačnickými, nemusí mít sběrací kartáče. Vinutí „R“ (Obr.572) indukuje do rotoru napětí, při otáčivém pohybu statoru je ve statorových vinutích S1,S2 indukováno napětí s fázovým posuvem. Čidlo je analogové, z indukovaných napětí lze spočítat úhel pootočení statoru resolyveru vůči původní (nulové) poloze. U zmíněného provedení se výpočet úhlové odchylky a úhlového zrychlení při kymácení vozidla v členitém terénu uskutečňoval v bloku elektroniky, která byla vybavena elektronickým zesilovačem (Obr.580 – dolní pozice). Při zjištění odchylky osy kanonu se samočinně provedly korekce polohy ve vodorovně (odměr) a svislé (náměr) rovině. Vodorovně se věž pootočila kolem svislé osy pomocí Ward-Leonardova soustrojí (aplidyne) (Obr.581 válec vlevo dole).



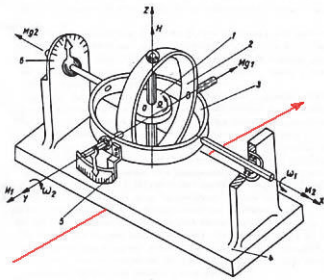
Obr.572

Obr.573 Resolyvery

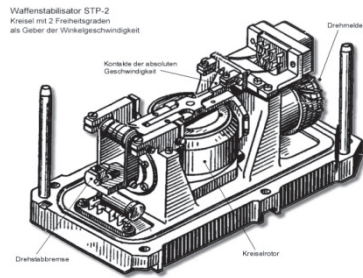
Obr.574 Rotor a stator

Obr.575 Resolver

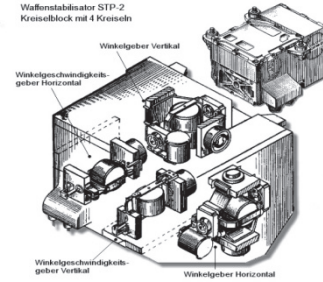
Otáčky soustrojí byly redukovány dopomala převodovkou jejíž koncový ozubený pastorek zabíral do ozubeného věnce spojeného s korbou, úhlová rychlost dosahovala až 15°/vteřinu. Ve svislém směru působil elektrohydraulický mechanismus ( Obr.580 pozice uprostřed) prostřednictvím elektrohydraulického pohonu (Obr.582 ), který byl závěsným okem (Obr.582 vlevo nahoře) spojen se stropem věže a tělesem dole s kanonem D10-T2S ráže 100mm. Pokud střelec po provedeném regulačním pochodu mohl opět vidět v zaměřovači původně zaměřený cíl (viz okuláry na Obr.581), pak byla stabilizace osy kanonu úspěšná. V případě odchylky mohl pomocí ovládací skříňky (Obr.581 vpravo dole) převzít ruční řízení a zadáním nové osy žádané polohy opět navést kanon a spřažený kulomet na cíl.



Obr.576 Cardanů závěs



Obr.577 Setrvačník a resolver



Obr.578 Blok setrvačnicků

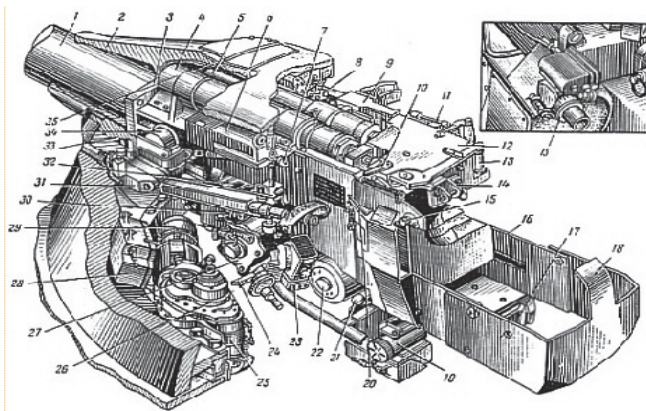
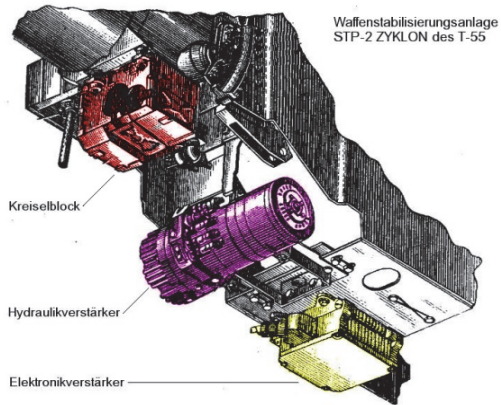


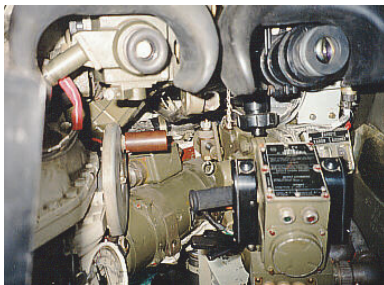
Bild 19 T-55, Waffenanlage, Stabilisator und Richteinrichtungen

Obr.579 Lafetace kanonu tanku T55 Obr.583

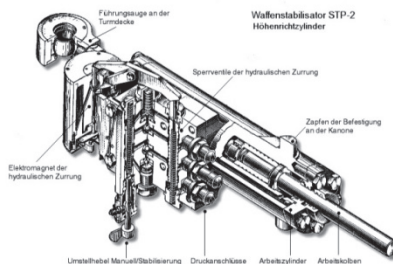


Obr.580 Lafetace T55 při pohledu zesopdu

Podle chování regulace bych regulační pochod označil v obou osách za přetlumený, regulace měla vlastnosti PID regulátoru. Věž měla hmotnost asi 6.000 kg , její těžiště nebylo umístěno v ose její rotace. Kompletní kanon měl hmotnost kolem 1.000 kg. Z toho si můžeme udělat představu o náročnosti úlohy stabilizace polohy osy kanonu při nevypočitatelném kymácení vozidla o hmotnosti asi 36.000 kg za svižné jízdy v členitém terénu (Lit.160,163). Počátkem sedmdesátých let 20.století jsem měl možnost se seznámit s konstrukcí obou modelů T54B,T55 během jednoho roku vcelku podrobněji jako technik a velitel čtyř v opravárenské dílně tankové divize. Vzpomínám si na vysoký tón, který byl slyšet z bzučícího bloku setrvačnicků a také na krátkou dobu mezi poruchami stabilizátoru, v průměru asi 300 hodin provozu. Otáčet věží bylo možno i ručně (kotouč s klikou vlevo na Obr.581), též bylo možno ručně nastavovat náměr kanonu dle libely.



Obr.581 Stanoviště střelce



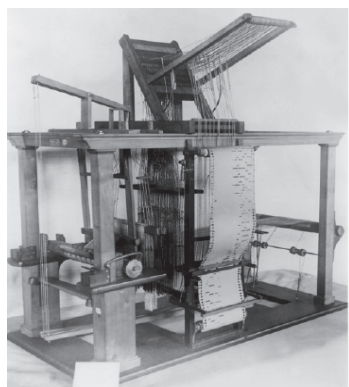
Obr.582 Elektrohydraulický pohon



Obr.583 Tank T55

Otočíme se teď vojenskému použití analogových regulací zády a podívejme se překvapivě na minulost hedvábnického průmyslu. Byla nečekanou kolébkou číslicového řízení a jeho programátorů.

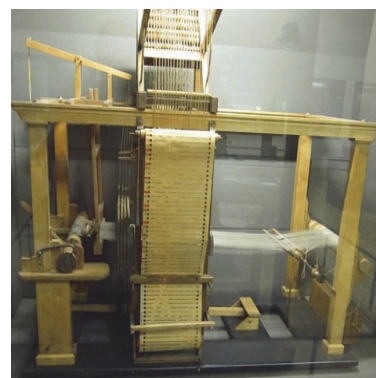
Vrátíme se nejdříve po ose časové z 20. století nazpět do 18. století k zjištění, zda již tehdy existovaly programovatelné stroje, kde bychom mohli vidět funkci číslicového řízení. Druhé největší francouzské město Lyon mělo v předvečer revoluce roku 1789 na 143.000 obyvatel, asi 35.000 osob se věnovalo zpracování hedvábí. Během revoluce v letech 1789-1799 emigrovala nebo byla zabita téměř 1/3 obyvatel. Tradice v oboru hedvábnictví se v Lyonu datuje do počátku 15.století. V důsledku cílené podpory a motivace hospodářských snah vládou starého režimu a městem Lyonem bylo během let 1725-1789 podáno městským a státním úřadům na 116 návrhů k zlepšení tkalcovských strojů (Lit.102). Z předložených návrhů vynikly následující konstrukce:



Obr.584 Model stavu

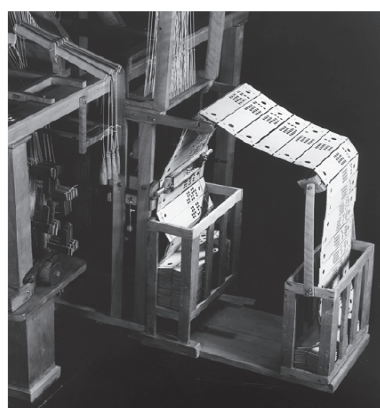


Obr.585 Model Bouchonova stavu



Obr.586 Model stavu

Basile Bouchon sestrojil v roce 1725 tkalcovský ruční stav pracující podle programu uloženého na papírových děrných kartách nebo děrném pásu. Konstrukční provedení stavu ukazují novodobé modely na Obr.584 až 586. Pojem ruční stav znamená, že vyžadoval spolupráci dvou osob. Fyzicky silnější tkadlec prohazoval člunek s útkem a přirážel ho po každém prohozu do vznikající tkaniny. Další osoba, většinou žena nebo dítě, byla odpovědná za výškovou polohu osnovních nití k vytvoření vzoru. Jako pomůcka jim sloužily karty nastavované po každém prohozu člunku na čtecí mechanismus. Úkolem bylo při načtení další karty bezpečně snímat potřebné kombinace zvedání a spouštění jednotlivých osnovních nití, které byly napnuty na stavu vodorovně (vpravo na Obr.586).

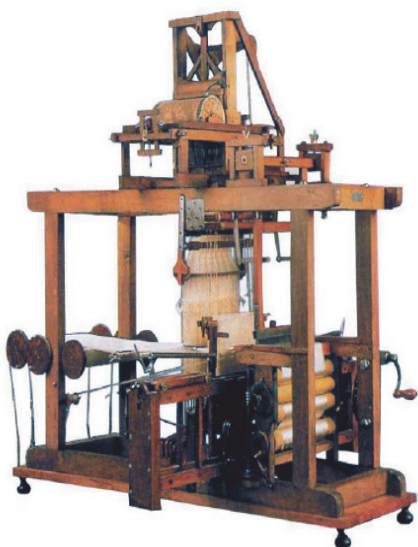


Obr.587 Model Falconova stavu



Obr.588 Model Falconova tkalcovského stavu

Ruční tkalcovský stav, který roku 1728 sestrojil Jean Baptiste Falcon, ukazují novodobé modely na Obr.587,588. Stav pracoval dle programu uloženého na dřerných kartách spojených pomocí úvazků do uzavřené smyčky. Tkalcovský stav byl udržován v provozu ručně dvěma osobami.



Obr.589 Model tkalcovského stavu



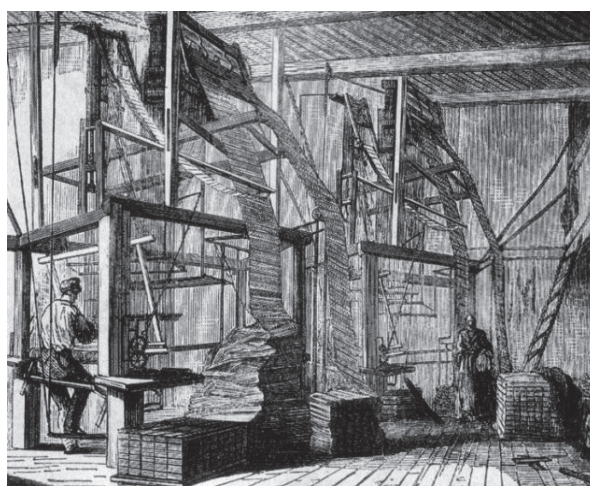
Obr.590 Jacques de Vaucanson

Francouzský vynálezce a konstruktér Jacques de Vaucanson (1709-1792)(Obr.590) byl ve své době veřejnosti znám jako autor luxusních mechanických pohyblivých modelů hráčů na flétnu a buben. Vaucanson také sestavil z přibližně 400 součástí pohyblivý model kačera. Jeho zdokonalení tkalcovského stavu z roku 1745 pracujícího podle programu uloženého v řadách kovových kolíčků na rotujícím dřevěném válci ukazuje model na Obr.589, čtecí mechanismus je umístěn zcela nahoře. Jeho konstrukční řešení nevyžadovalo pomocníka tkalce, jehož úkolem byl pohyb dřerných karet ( Lit.25 ).

Francouzský vynálezce Joseph-Marie Jacquard ( 1752-1834)(Obr.591,594,595) se již jako dítě seznámil s prací na ručním tkalcovském stavu v dílně svého otce v rodném Lyonu. Znal předchozí



Obr.591 Joseph-Marie Jacquard



Obr.592 Jacquardův ruční tkalcovský stav

konstrukce, které navrhli Bouchon, Falcon, Vaucanson a další. V jeho úspěšném řešení byla využita výhoda zřetězených dřerných karet a jejich samočinného podávání do čtecího mechanismu (Obr.592).

Konstrukci částečně vypracoval v letech 1799 až 1804, kdy obdržel po praktickém předvedení dílčího mechanismu za předložený vynález zlatou medaili Společnosti pro podporu novinek v řemeslech. V letech 1804 – 1806 pokračoval ve vývoji, od roku 1806 pak se státní podporou. Svůj vynález v konečné funkční podobě předvedl veřejně v císařském zámku v St. Germain v roce 1808. Obdržel cenu Společnosti pro podporu novinek a jeho vynález obratem zaujal výrobce strojů, brzo začala hromadná výroba nových stavů. V roce 1834 pracovalo ve městě Lyon a jeho okolí již na 30.000 strojů (Lit. 102). Zvýšená produktivita znamenala ztrátu pracovních příležitostí pomocníků tkalců a vůbec narušování dosavadních zvyklostí. Nepokoje a zášť vyvrcholily veřejným rituálním rozbíjením nového stroje a pomluvami vynálezce. Jacquard se však dočkal také uznání a Řádu čestné legie (viz stužka na klopě kabátu - Obr.591). Zřetězení děrných karet do dlouhé uzavřené smyčky bylo příležitostí, aby programátoři ukázali co všechno nový stroj umí. Na Obr.594 vidíme portrét samotného vynálezce zhotovený samočinným tkaním z hedvábné příze datovaný rokem 1841. Na Obr. 593 si významná návštěva prohlíží portrét vynálezce. Obraz vlastní dílny s návštěvníky a „žakárským“ tkalcovským stavem byl proveden stejnou programovanou technikou tkaní hedvábnou nití.



Obr.593 Tkalcovská dílna

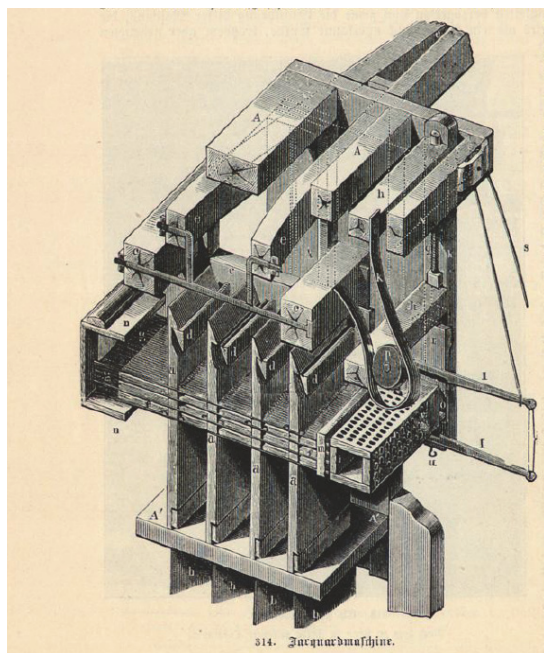


Obr.594 J.M.Jacquard

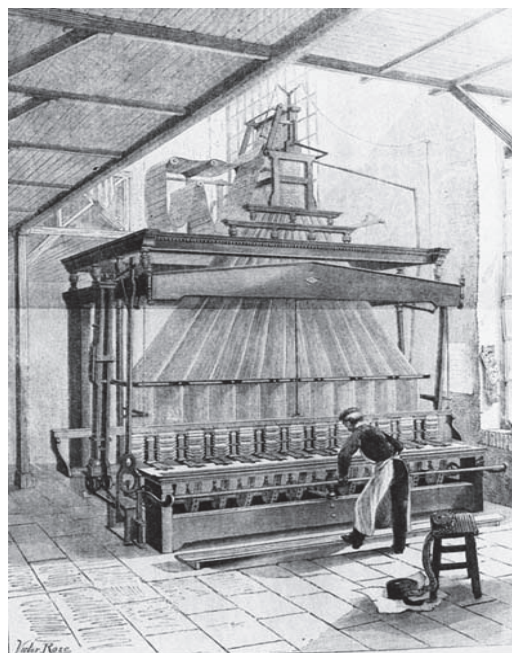


Obr.595 J.M.Jacquard

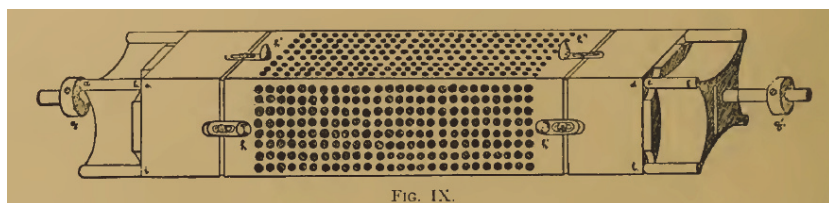
Od třicátých let 19.století byly už výrobcům k dispozici mechanické žakárské stavy. Pojem mechanický stav znamená, že tkadlec svou vlastní silou stroj nepoháněl, ani neobsluhoval ručně posuv nebo čtení děrných karet s programem. K pohonu tkalcovských stavů bylo využíváno vodní kolo nebo parní stroj. Tkadlec dohlížel na práci stroje, napravoval přetrhy nití osnovy a útku (Obr.597). V třicátých letech 19.století byly vyráběny první stroje již kompletně z kovu. Jak můžeme vidět na Obr.596 byla ke stavbě strojů využívána ještě hluboko do 19. století kombinace dřeva a kovu (Lit. 20).



Obr.596 Mechanismus Jacquardova stavu

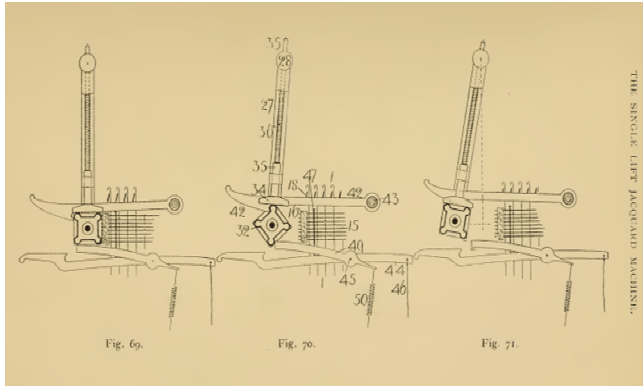


Obr.597 Jacquardův tkalcovský stav

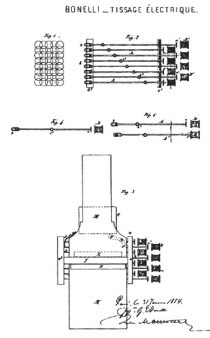


Obr.598 Podávací hranol

Mechanismus na Obr.596 fungoval při čtení děrné karty v krocích (Lit.20).Nejdříve byla do mezery mezi mechanismem a hranolem s otvory (Obr.599)(Lit.25) vtažena otáčením hranolu další karta. Zleva (Obr.596) byla vůči kartě tlačena skupina vodorovných čtecích táhel.V místě otvoru na kartě mohlo táhlo projít dál do otvoru v hranolu.Tam, kde otvor v kartě nebyl, zůstalo odpružené táhlo opřeno o kartu, aniž by ji poškodilo. Zobce svislých svislých táhel se tím nastavily do dvou poloh vůči zvedacím břitům. Tam, kde zobec byl vychýlen doprava, došlo k zvednutí svislého táhla na němž byl upevněn tenký závěs (provázek) vedoucí dolů k nitěnce s otvorem pro niť osnovy. Zobce nevychýlené doprava ( střed Obr.596) zvedací břity minuly a ke zvednutí nitě osnovy nedošlo. Jeden zobec mohl ovládat několik nitěnek najednou, tím vznikaly stejné vzory na tkané látce vedle sebe. Na Obr.597 vidíme dokonce dvanáct stejných vzorů vedle sebe. Složitost vzoru si vynucovala velké množství karet. Podle dobových zpráv z poloviny 19.století bylo ke tkaní slavnostního ornátu z těžkého brokátu pro mexického arcibiskupa potřeba připravit na 60.000 karet (Lit.20). Na Obr.599 z roku 1912 jsou vidět polohy karet při čtení a podávání další karty do čtecího mechanismu (Lit.94). Čtení karet bylo čistě mechanické, nechyběly však pokusy o užití elektromagnetického účinku cívek relé, jak bylo v té době obvyklé u telegrafů. V roce 1853 si nechal patentovat Gaetano Bonelli (Obr.601), ředitel telegrafní společnosti v království Sardinie-Piemont (existovalo 1720-1861 v dnešní Itálii), zařízení k elektromagnetickému zdvihu osnovních nití u žakárských stavů (Obr.600). Program byl uložen na pásu papíru ve formě nalepených vodivých drah ze staniolu, které byly snímány kontaktně elektricky.



Obr.599 Tři fáze čtení papírové děrné karty

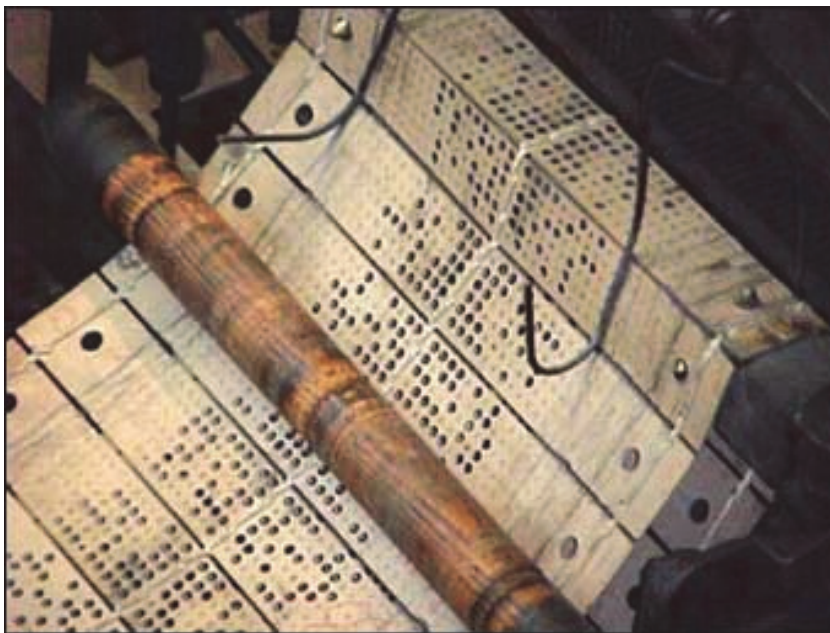


Obr.600 Patent

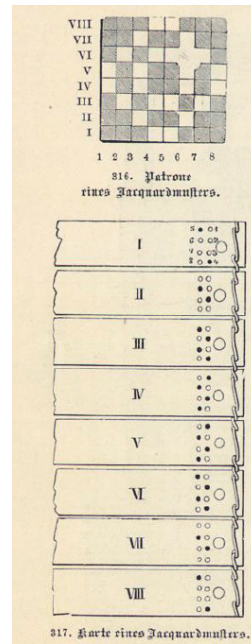


L'ingegnere Gaetano Bonelli

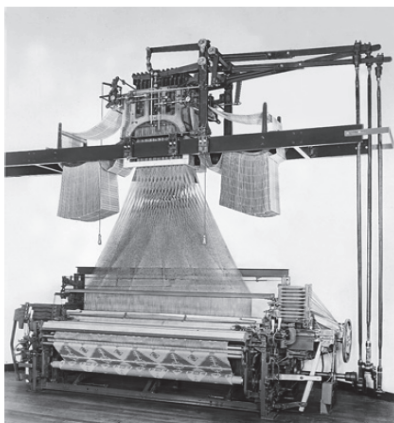
Obr.601 G.Bonelli



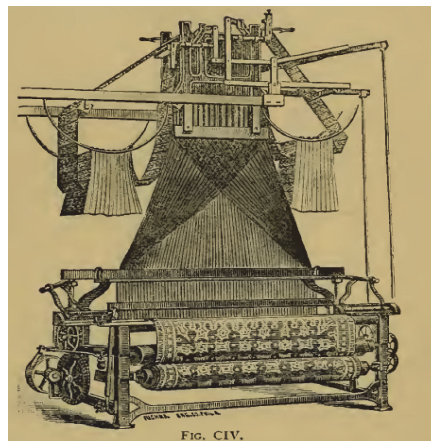
Obr.602 Děrné karty spojené úvazky



Obr.603 Děrné karty



Ob.604 Jacquardův tkalcovský stav



Obr.605 Jacquardův tkalcovský stav

Dvě ukázky samočinného mechanického stavu řízeného programem na kartách z tvrdého papíru, které vidíme v pravé a levé části Obr.604, 605 zavěšeny na vodorovném rámu, pocházejí ze Severní

Ameriky. Tyto tkalcovské stavy se v USA se vyráběly v počtu až 2000 kusů ročně v letech 1893 - 1978. Pohon byl již elektrický, řízení mechanické, na vodorovné konstrukci je vidět mechanizované závěsy s děrnými kartami (Lit.26). Odborná publikace z roku 1888 ukazuje tehdy obvyklé provedení Jacquardova tkalcovského stavu (Obr.605)(Lit.25).

K řízení tkalcovských stavů bylo potřeba velké množství přesně děrovaných karet, takovou práci nebylo možno dělat na koleně. Odborná kniha z roku 1912 nás seznamuje se zařízením, které měl programátor po ruce. Nejdřív musel přenést výtvarný návrh vzoru do schématu, kterému se říkalo patrona (Obr.608). Výtvarný návrh byl rozdělen do malých políček šachovnice o známých souřadnicích. Každý čtvereček značil překřížení osnovní a útkové niti ve tkanině. Polohovou souvislost mezi šachovnicí a polohami otvorů na kartě vidíme na Obr.603. Větší tkalcovny měly k programování stroje na ruční pohon (Obr.606) anebo s pohonem řemenic s plochým koženým řemenem poháněným od transmise zakotvené ve stropě dílny (Obr.607). Programátor upevnil vzor digitalizovaný na jednotlivé body (pixely) na patroně před sebe na tabuli (Obr.606 nahoře) a programoval dle řádků patrony za pomoci tlačítek razicí zařízení upevněné před ním na pracovním stole. Po každém naprogramování razidla pomocí tlačítek vyrazil programátor řádek na papírové kartě nožním šlapadlem (Obr.606 dole) anebo nechal projít razicí cyklus aktivací řemenového transmisního pohonu (Obr.607 dole)(Lit.25). Práce programátora vyžadovala soustředěnou pozornost, aby nepřeskočil řádek na patroně, tím by způsobil chybu na vzorku při jeho tkaní. Zároveň práce vyžadovala fyzickou obratnost při dlouhodobé pracovní zátěži 10-12 hodin. Osmihodinová pracovní doba byla luxusem obvyklým až po roce 1918.



FIG. 20.

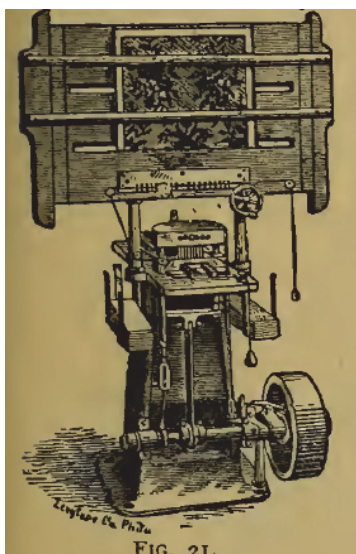
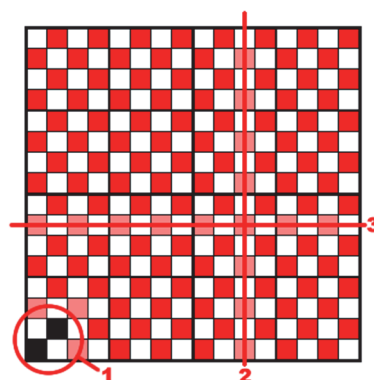
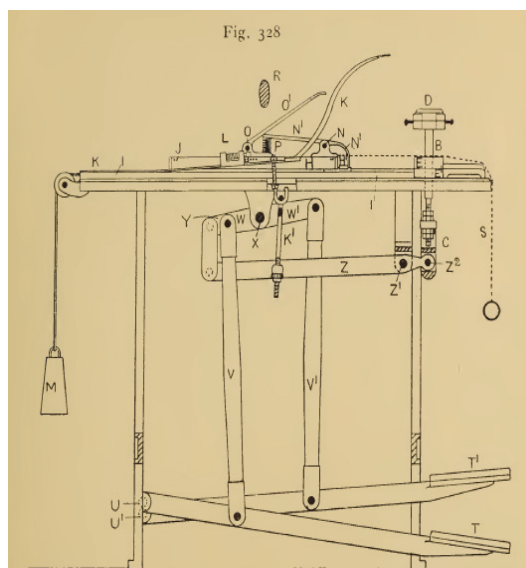
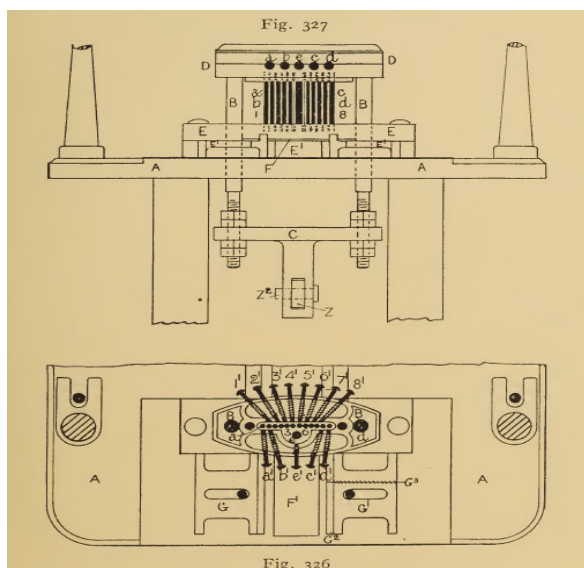


FIG. 21.



Obr.606 Pracoviště programátora Obr.607 Pracoviště programátora Obr.608 Patrona

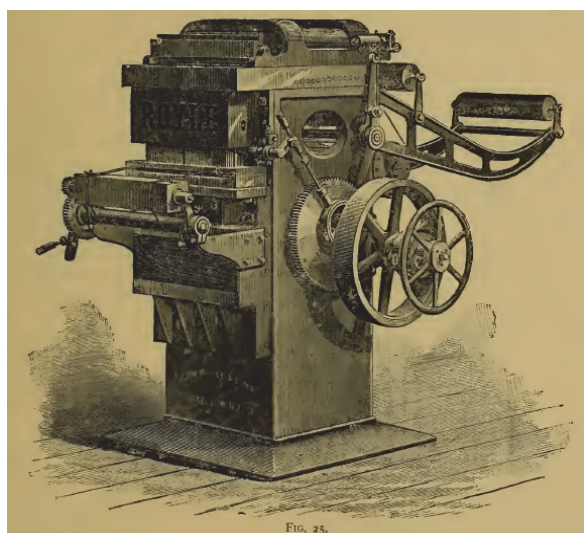
Schéma programovacích strojů ukazují Obr.609 a Obr.610 z odborné knihy vydané v roce 1912 (Lit.94). Na Obr.609 dole jsou patrná programovací tlačítka opatřená čísly 1-8 a písmeny a-d. Pomocí polohy tlačítka programátor uvolnil nebo blokoval razník uvnitř zařízení. Detail nožních šlapadel je vidět na Obr.610 dole.



Obr.609 Pracoviště programátora

Obr. 610 Pracoviště programátora

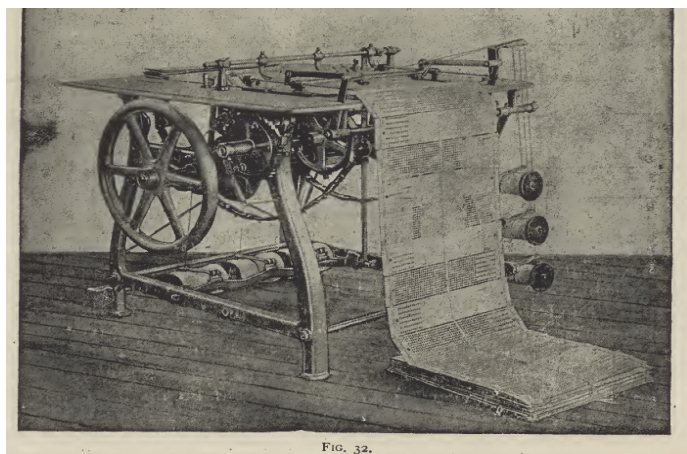
Práci programátorů děrných karet v 19.století ukazuje rytina na Obr.612.



Obr.611 Stroj na kopírování děrných karet

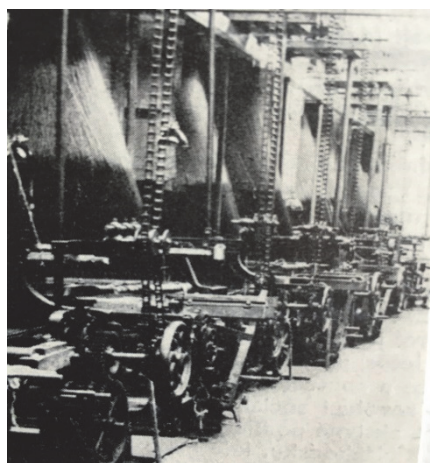
Obr.612 Programátoři děrných karet

Jednou sestavený program bylo třeba rozmnožit na další stavy, k tomu sloužily kopírovací stroje pro děrné karty (Obr.611). Kopírováním byli programátoři osvobozeni od opakovaného sestavování téhož programu ručně. K pohodlnějšímu spojování karet do pasu pomocí úvazků byly provozovány specializované šicí stroje (Obr.613), jak ukazuje fotografie v publikaci z roku 1888 (Lit.25).



Obr. 613 Šicí stroj na karty

Ne každý si mohl dovolit vlastního programátora. V roce 1936 provozoval můj děda Adolf Knoll (1895-1992)(Obr.616) svoji mechanickou tkalcovnu (Obr.614,615). Pokud získal podle výtvarného vzoru na čalounické nebo matracové látky zakázku, pak potřeboval děrné karty. Výtvarný návrh le dobového vkusu (Obr.617,618 a Obr.623) sestavovala moje babička Emilie Knollová (1901-1958) (Obr.620). ( Na oba si velmi dobře pamatuji, svoji vlídnou a energickou babičku jsem měl raději).



Obr.614 Mechanická tkalcovna



Obr.615 Mechanická tkalcovna

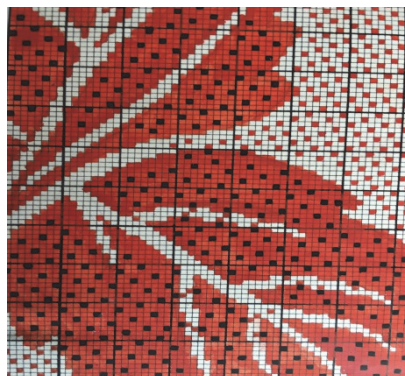


Obr.616 Adolf Knoll

Patrona (Obr.619) a program na kartách byla věc externího dodavatele (Obr.621,622)(Lit.114). Hotové karty byly kvůli váze a rozměrům zásilky převezeny nákladním automobilem. Po založení karet do stavů bylo možno vyrobit objednanou zakázku a expedovat vlakové zásilky, také do zahraničí. Začátkem války 1939-1945 následovalo vyhnání, místo tkalcovských stavů zaujala v letech 1944-1945 bezohledně správárna na frontě poničených vozidel „SS-Kraftfahrpark Ost IIa“ s lágrem pro dělníky. Definitivní vandalizaci strojů a programů provedli soudruzi po znárodnění roku 1948 (Lit.199). V téže době byla postupně zlikvidována firma programátorů děrných karet (Obr.621,622).



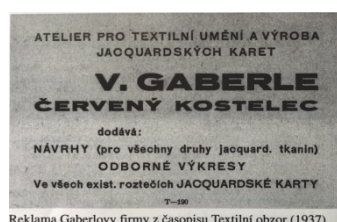
Obr.617,618 Vzory čalounických látek



Obr.619 Patrona



Obr.620 Emilie Knollová



Reklama Gaberlový firmy z časopisu Textilní obzor (1937)



Kresba vily a provozovny Gaberlových (1. pol. 20. stol.)

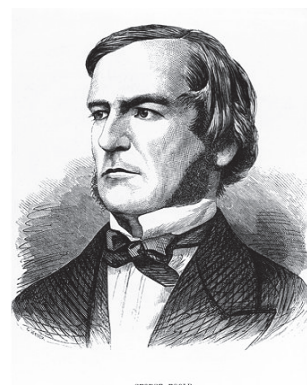
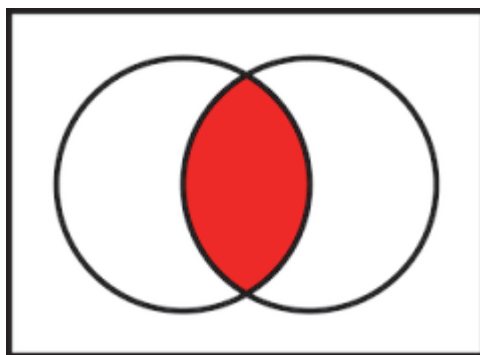


Obr.623 Vzor čalounické látky

Obr.621 Atelier programátorů Obr.622 Atelier programátorů

Nyní zpátky k automatizaci.... Volně programovatelný mechanický Jacquardův automat k ovládání tkacího stavu byl zařízením určeným pro jednoúčelový stroj. Každý otvor anebo ponechané plné místo v děrné kartě byly určeny k pohybu jedné z nití napjaté osnovy jednoho vzoru směrem nahoru nebo dolů. Automat nebyl zařízen k tomu, že by kombinace vstupů mohla volně změnitelným programem adresovat a nastavit jeho výstupy. Takovou vlastnost podstatnou pro automatizační techniku bylo možno uskutečnit až v druhé třetině 20.století. Pomůckou při projekci a programování takových logických elektronických automatů se měla stát Booleova algebra, nazvaná podle svého tvůrce . Angličan George Boole ( 1815-1864)(Obr.626) byl profesorem matematiky, vydal v roce 1854 spis „ The Law of Thought“, v kterém zavedl svoji algebru. Algebra zavedla pravdivé (T) a nepravdivé (F) veličiny, které nenabývají jiných hodnot, rovněž zavádí logické funkce . Logický součin byl zaveden pravdivostní tabulkou (Obr.624). Součin lze také znázornit Vennovým diagramem (Obr.625), můžeme v něm vidět průnik množin. Pro dvě proměnné P a Q obě vyjádření součinu nepřinášejí zvláštní úsporu v porovnání se slovním vyjádřením. Jinak tomu ale bude při velkém množství proměnných a jejich spletích souvislostech, jak je obvyklé v automatizaci. V době zveřejnění Booleovy algebry už prostředek k technické realizaci složitějších logických závislostí mezi vstupy a výstupy řídicího systému existoval. Tím prostředkem bylo relé sestrojené víc jak 20 let před zveřejněním nové algebry.

P	Q	P and Q
T	T	T
T	F	F
F	T	F
F	F	F

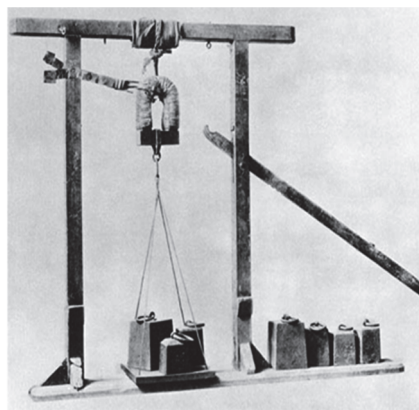


Obr.624 Pravdivostní tabulka

Obr.625 Vennův diagram

Obr.626 George Boole

Vynálezcem elektromechanického relé byl Joseph Henry, který byl od roku 1826 profesorem matematiky a fyziky na škole „The Albany Academy“ v městě Albany, stát New York, USA.



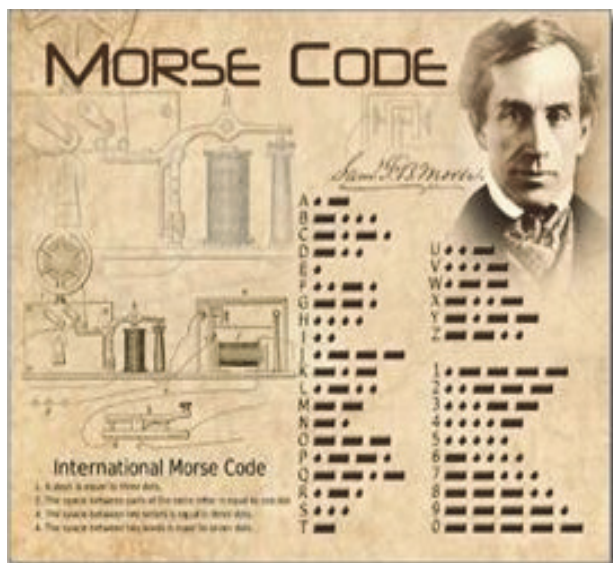
Obr.627 Joseph Henry

Obr.628 Elektromagnet

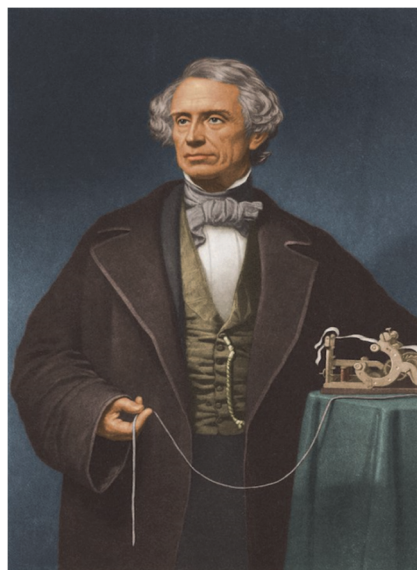
Obr.629 Pokus s elektromagnetem

Prof. Joseph Henry (1797-1878)(Obr.627) rozpoznal a realizoval magnetizaci železného jádra pomocí cívky napájené stejnosměrným zdrojem, tehdy galvanickou baterií. Svým posluchačům ukazoval svůj objev praktickými experimenty. Vybavení laboratoře v třicátých letech 19.století pomůckami ukazují Obr.628,629 (Lit.33). Prof. Henry zkonstruoval v roce 1835 první relé a zároveň dal svému vynálezu

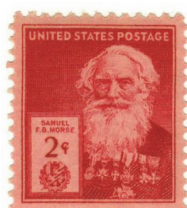
jméno relay (výraz relay znamenal přepřahací stanici pro koně, ve smyslu opakování záprahu Lit.34). Název relé byl pak v 19. století užíván ve smyslu opakováč a zesilovač telegrafního signálu. Na počest vynálezu Prof. Henryho je od roku 1960 v systému jednotek SI užíváno jeho jméno pro odvozenou jednotku indukčnosti (H). Netrvalo dlouho a relé dosáhlo významného praktického uplatnění, prozatím hlavně v provozu železničních telegrafů. Jejich vývoj probíhal od počátku třicátých let 19. století současně na více místech v Evropě i Americe. Kupříkladu Wheatstoneovo řešení v Anglii z roku 1837 vyžadovalo více vodičů, přístroj ukazoval na písmena jehličkou. Od roku 1851 však železnice v kontinentální Evropě přijaly praktičtější jednovodičové provozně ověřené Morseovo řešení telegrafu a jeho abecedu, proto o něm následuje podrobnější zmínka (Obr.633,634).



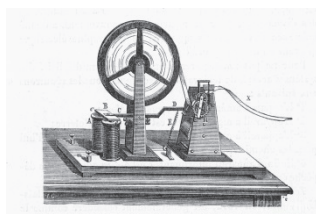
Obr.630 Samuel F.B. Morse a jeho abeceda



Obr.631 Samuel F.B.Morse



Obr.632 Morse



Obr.633 Telegraf

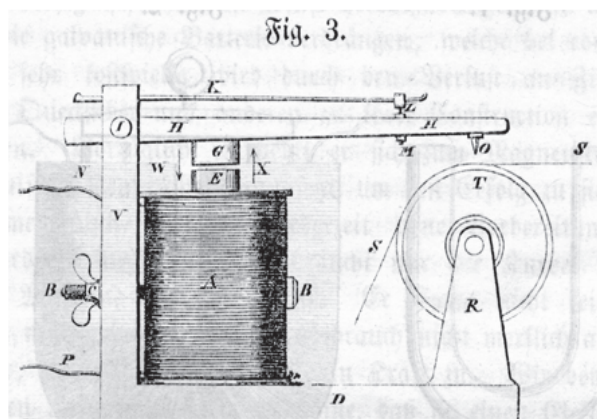


Obr.634 Vedení

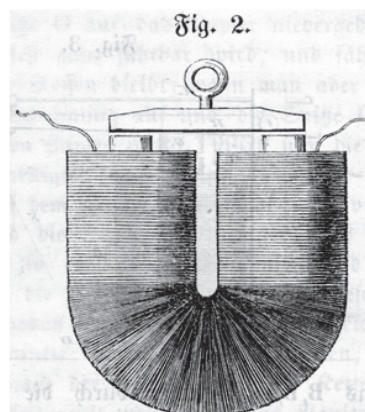


Obr.635 S.F.B. Morse

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872)(Obr.630 až 632,634) sestrojil a předvedl na universitě státu New York v roce 1839 pokus s dálkovým přenosem zpráv telegrafním přístrojem. K napájení použil galvanické baterie s 60 články, jako elektrolyt užil kyselinu sírovou. Měděné vodiče byly opředeny bavlnou jako izolací. Při délce vodičů 10 mil (cca 16km) ukázal přihlížejícím posluchačům laboratorně přenos znaků v Morseově abecedě rychlostí 40-60 znaků za minutu (Lit.67). Morse byl současně úspěšným realistickým malířem portrétů významných osobností Evropy a Severní Ameriky, také dramatických scén. Jeho obrazy nalezneme v muzejních galeriích dodnes.

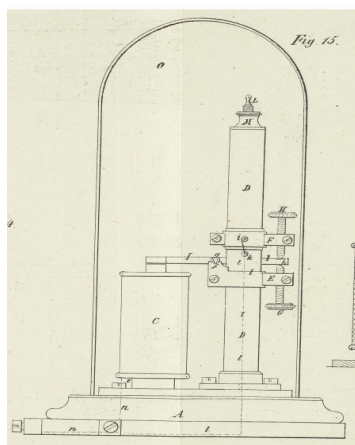


Obr: 636 Detail Morseova telegrafu

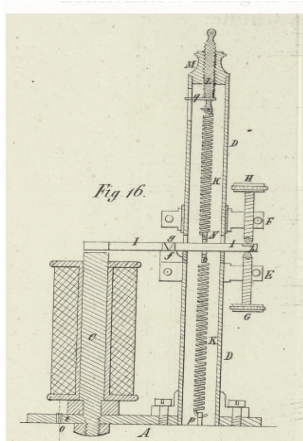


Obr.637 Cívka elektromagnetu

Roku 1845 bylo dosaženo provozně bezporuchového chodu Morseova telegrafu na vzdálenost 38 mil (cca 62km) podél železniční tratě ze stanice Washington D.C. do stanice Baltimore. Provoz byl veden bez opakovacího relé po dobu 8 měsíců, praktická užitná hodnota byla prokázána (Lit.69). Morseův telegraf ukazuje náčrtek na Obr.636. Papírový pásek „s“ byl tažen hodinovým strojem, zápis prováděl hrot „o“, přitah kotvy „H“ byl proveden cívkou relé „A“ s jádrem „E“. Pohyb kotvy je naznačen šipkami a písmeny „W“ a „X“. V horní části náčrtku (Obr.636) je vidět vratnou pružinu „K“ upevněnou v místě „L“. Dobový elektromagnet z roku 1846 ukazuje náčrtek na Obr. 637 (Lit.69).



Obr.638 Relé pro telegraf



Obr.639 Relé pro telegraf

Na Obr.638, 639 vidíme jinou konstrukci relé z dílen švýcarských telegrafů z roku 1852 (Lit.43). Relé se používala do konce 19. století převážně v telegrafii. S příchodem automatických reléových telefonních ústředěn v USA závěrem 19. století došlo ke zlomu. Počátkem 20. století byly instalovány první reléové samočinné ústředny také v Rakousku-Uhersku. Telefonní přístroje už byly vybaveny otočnými číselníky. O telefonní spojení s účastníkem už nebylo nutné po zazvonění pomocí kličky na telefonním přístroji žádat ústně spojovatelku na poště. V třicátých letech 20. století byly v Evropě dodávány automatické ústředny, jejichž provedení je na první pohled jen stěží rozeznatelné od reléových skříní užívaných v automatizační technice.

Reléové skříně k realizaci logických funkcí se udržely jako standard v automatizaci až do sedmdesátých let 20. století, jak ostatně dokládají dobové fotografie na Obr. 640,641,644,645.



Obr.640 Reléová skříň

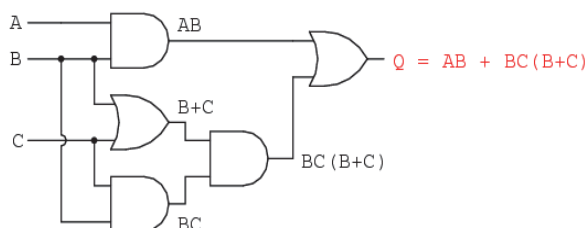


Obr.641 Reléová skříň

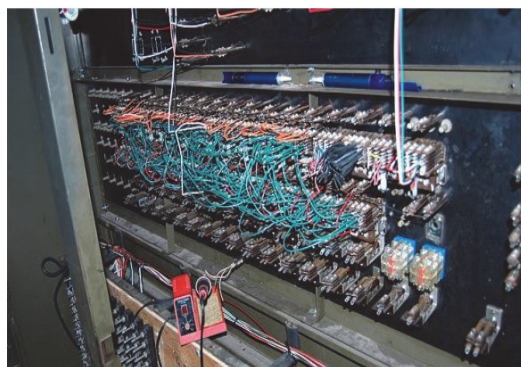


Obr.642 Relé

Bez podrobných schémat a výrobní dokumentace se v reléových skříních nebylo možno pořádně vyznat. Pro údržbu a provoz bylo vhodné vlastními silami sestavit schémata využívající znalostí a grafického vyjádření vztahů mezi vstupními a výstupními signály, na způsob náčrtku na Obr.643.



Obr.643 Logické schéma jako pomůcka



Obr.644 Reléová skříň v automatizaci



Obr.645 Reléová skříň v automatizaci

Snaha pozměnit napevno propojený systém anebo do něj doplnit další logickou funkci či novou vstupní proměnnou hraničila často podle mých vlastních vzpomínek a vlastní zkušenosti s nemožností. Nejinak tomu bylo i jinde. Průlomovým řešením byla převratná myšlenka přivést do volně programovatelného automatu vstupní a výstupní veličiny, posléze je propojit logickými (booleovskými) funkcemi, které budou realizovány volně upravitelným programem. Myšlenkou bylo nechat běžet program opakovaně v rychlých cyklech. Na začátku každého cyklu budou načteny vstupní proměnné a po ukončení cyklu budou na výstupy automatu zapsány výsledky výpočtů v programu. Volně programovatelný automat obdržel prvně název Modular Digital Controller, později pak zobecněný na PLC (Programmable Logical Controller). Prvním takovým volně programovatelným automatem byl model Modicon 084/184 (Obr.649), který vyvinul Richard E.Morley ( Obr.647,648) s kolektivem spolupracovníků letech 1968-1973 v USA (Obr.646).



Obr. 646 Kolektiv konstruktérů



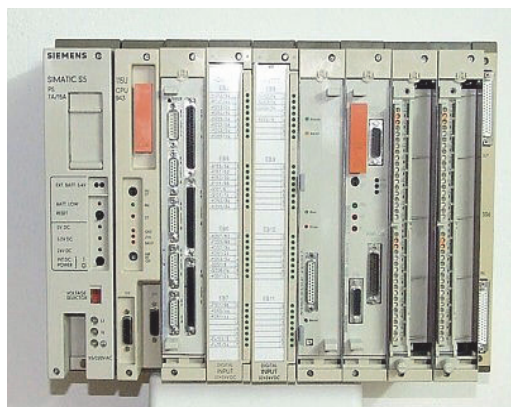
Obr.647 R.E.Morley



Obr.648 R.E.Morley



Obr.649 První volně programovatelný automat - PLC



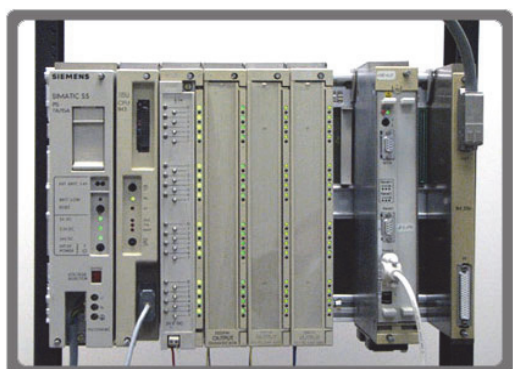
Obr.650 Volně programovatelný automat



Obr.651 Volně programovatelný automat

V Evropě se začaly PLC vyrábět nedlouho potom, jak dokládá např. Model S5-115U zavedený do výroby roku 1979 ( Obr.650 až 652). K programování PLC byly určeny specializované počítače, které ukládaly program na pevný disk, disketu a také do paměti EPROM smazatelné UV zářením (např.Obr.653,654). K programování obráběcích a tvářecích CNC-strojů byly ve stejné době užívány specializované programovací přístroje (Obr.655). Většina CNC-strojů měla jako vstup čtečku děrné pásky, podobně jako řídicí počítače. K spojení programovacího přístroje s více CNC-řídících systémy byl nutný elektronický převodník s výstupem chovajícím se jako čtečka děrné pásky. Měl jsem možnost spolupracovat v roce 1987 na úspěšné realizaci takového zařízení pro soustružnu válců

válčovacíh stolic velkého hutního závodu. Obráběcí programy sestavené v programovacím přístroji byly vyžádány obsluhou soustruhů jako by šlo o načtení děrné pásky. Obousměrnou komunikací po vodičích byly pak obráběcí programy přeneseny do řídicích systémů CNC-soustruhů (Lit.161).



Obr.652 Volně programovatelný automat



Obr.653 Programovací přístroj



Obr.654 Programovací přístroj PLC



Obr.655 Programovací přístroj CNC

Na vstupech PLC se začaly kromě běžných dvoupolohových signálů (např. 0V DC, 24V DC) objevovat také spojité signály (např. 4-20mA, 0-10VDC). Automat začal přebírat funkce spojitých regulátorů, algoritmy PI anebo PID regulátoru byly zahrnuty v dodávce programovacích přístrojů. Vcelku bylo jedno jakou původní fyzikální veličinou byl důsledně unifikovaný signál přivedený na vstup automatu. Mohla to být teplota, hladina vody, tlak plynu v nádobě nebo třeba stav koncového spínače, který signalizoval mezní polohu pohonu regulačního ventilu.

Pro zmíněné programovatelné tkalcovské stavy tím nastala rázná změna. Po 170 letech výroby nesčetněkrát zdokonalovaného, ale stále jednoúčelového programovatelného mechanického automatu, byl vyvinut volně programovatelný automat. V roce 1987 byl zaveden do výroby plně elektronický automat (Obr.656), děrné karty jsou minulostí uloženy v archívech a muzejních sálech. Současný jednoúčelový automat k řízení tkalcovského stavu je vidět na Obr.657 (rok 2017 - Lit.35).



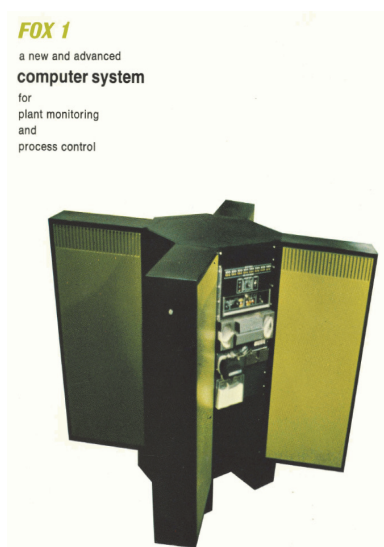
Obr.656 Elektronické ovládání stavu



Jacquardmaschine UNIVAL 100

Obr.657 Elektronické ovládání Jacquardova stavu

V průběhu šedesátých let 20. století začaly být pro civilní průmyslové použití dostupné procesní číslicové počítače. S ohledem na vysokou cenu mohly být využity jen ve velkých výrobních provozech jako byly a jsou výroby plastů, papírny a sklárny. Jejich úlohou bylo zasahovat přímo do řízení výrobního procesu, přitom také bilancovat energetické a hmotnostní toky.



Obr.658 Počítač FOX1



Obr.659 Počítač FOX2-30



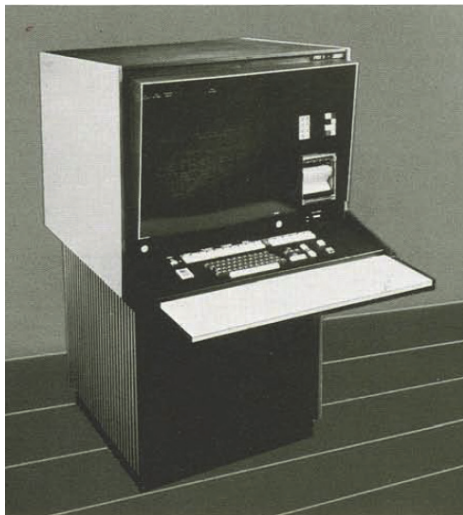
Obr.660 Konzole procesního počítače

Procesní počítač (Obr.658) severoamerického výrobce určený k přímému řízení výrobního procesu měl operační paměť nejvýše  $64 \times 1024 = 65.536$  slov v délce 24 bit ( max 0,197 MB). Operační paměť byla vyrobena z feritových jader (Obr.666, 667). Operace v jazyku Assembler trvaly v centrální jednotce do 10 mikrosekund, vykonalo se jich za 1 vteřinu více jak 100.000 ( asi 0,1 MIPS – milionu operací za sec.). Počítač na Obr.658 pochází z roku 1971, mohl nastavovat žádané veličiny až 300 podřízených elektronických regulátorů pomocí analogových signálů anebo pomocí pulzů do jejich krokových motorků nastavujících žádanou veličinu elektronických regulátorů ( tzv. SPC-set point control). Počítač mohl sám programem vykonávat funkce regulátorů P, PI (DDC-direct digital control). Vstupními hodnotami mohly být např. sjednocené analogové signály 0-1VDC anebo přímo platinová odporová čidla teploty Pt100 ve čtyřvodičovém zapojení. Jako výstupy k řízení výrobního procesu sloužily unifikované analogové a číslicové signály. Z vlastních vzpomínek, zápisků a jako spoluorganizátor konference uživatelů konané v roce 1977 mohu potvrdit, že uživatelé těchto počítačů ve velkých průmyslových závodech v tehdejším Československu byli s užitnou hodnotou procesních řídicích počítačů vcelku velmi spokojeni (Lit.149).

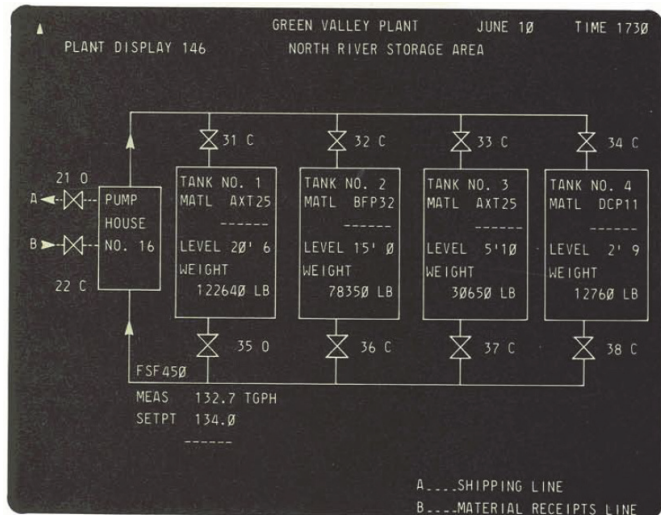


Obr.661 Sálový procesní počítač

Data a programy procesních počítačů řídicích byly často ukládány na papírovou děrnou pásku, na Obr.661 vidíme po levici operátora zásobník se skládanou děrnou páskou.

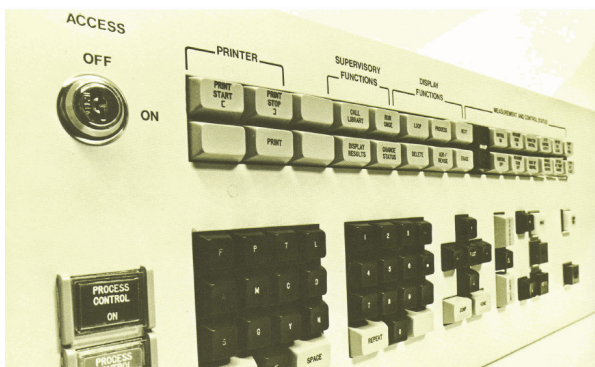


Obr.662 Grafická konzole



Obr.663 Grafika s měřeními a vypočtenými daty

Grafická konzola (Obr.662) byla velmi nákladnou součástí procesního počítače, sloužila k ukazování naměřených a vypočtených dat v jednoduchých grafických schématech (Obr.663).

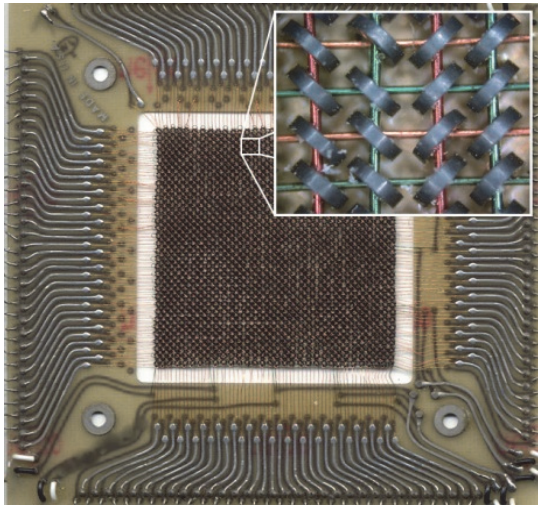


Obr.664 Ovládací panel počítače

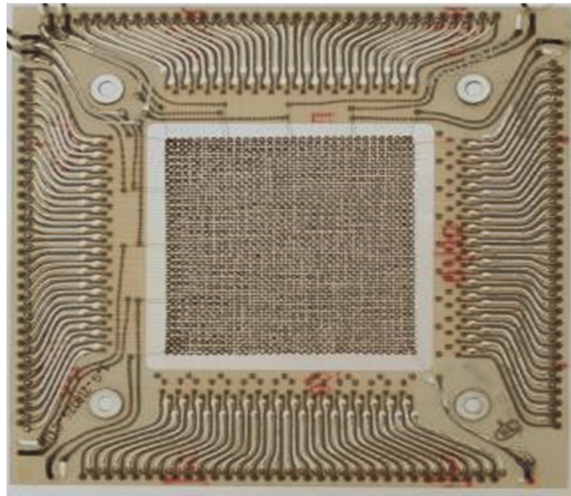
FOX 1 FORTRAN STATEMENTS AND FOX 1 ASSEMBLER INSTRUCTIONS	
<b>FOX 1 FORTRAN</b>	
<b>DATA TYPES</b>	
Integer	LDE 52 Load E Register
Real	LLC 04 Load Logical Complement
Double Precision	LDL 51 Load Long
Scaled Fraction	<b>LOGICAL GROUP</b>
Double Fraction	AND 02 Logical And
Packed Data	IOR 03 Inclusive Or
Complex	XOR 05 Exclusive Or
Hollerith	<b>SHIFT GROUP</b>
<b>SPECIFICATION STATEMENTS</b>	SHF 43 Shift
Dimension	NMS 41 Normalize Short
Common	NML 42 Normalize Long
Equivalence	RLE 40 Rotate Left E Register

Obr.665 Programovací jazyky

K ovládání počítačů sloužily panely s tlačítky a přepínači (Obr.664, Obr.670). Základním programovacím jazykem procesních počítačů byly Assembler a Fortran IV. (Obr.665).



Obr.666

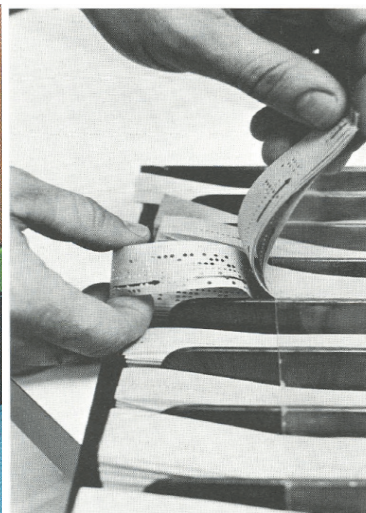


Obr.667

Na Obr.666,667 vidíme operační paměti počítačů vyrobené z prstencových feritových jader (zvětšený detail prstenců se dvěma provléknutými vodiči je vidět na Obr.666 vpravo nahoře).

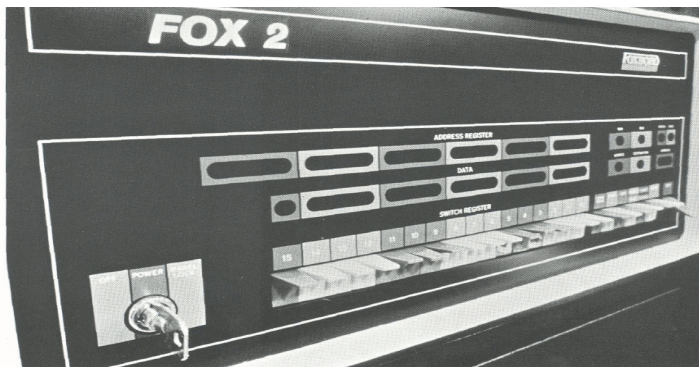


Obr.668 Sestava procesního počítače



Obr.669 Skládaná děrná páska

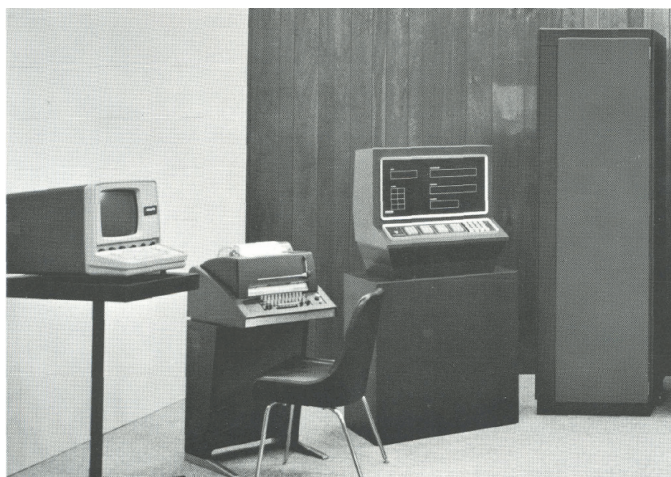
Skládanou papírovou děrnou páskou bylo nutno řádně skladovat, aby se nepoškodila (Obr.669).



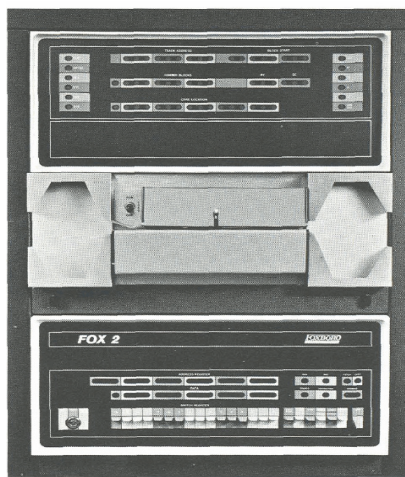
Obr.670 Ovládací panel procesního počítače



Obr.671 Konzole



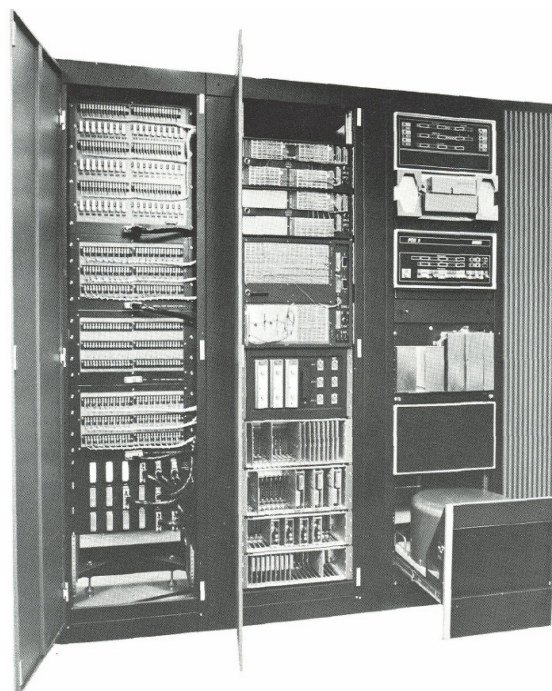
Obr.672 Sestava procesního počítače



Obr.673 Čtečka děrné pásky



Obr.674 Jednotky procesních vstupů/výstupů



Obr.675 Skříň procesního počítače

Počítače mohly přijímat stovky číslicových anebo analogových signálů, výklopné rámy umožnily lepší přístup k místu napojení signálů a jejich kontrole při oživování celého řídicího systému (Obr.674,675). Vpravo dole na Obr.675 vidíme vytažený rám s bubnovou rotační magnetickou pamětí. Vyobrazený typ paměti měl 256 pevných zapisovacích a čtecích hlav, jeho kapacita byla  $512 * 1024 = 524.288$  slov po 24 bitech (asi 1,57 MB). Programátoři řídicích počítačů byli nuceni s pamětí nakládat doslova velmi úsporně. Střední doba přístupu k datům na zobrazené rotační paměti činila cca 10 milisekund.



Obr.676



Obr.677

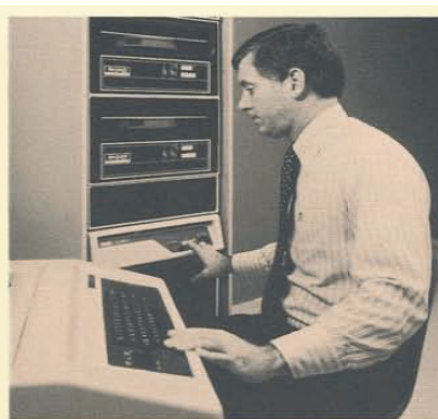


Obr.678

Na Obr.676 až 678 vidíme řídicí počítače dalšího severoamerického výrobce z poloviny sedmdesátých let 20.století.



Obr.679 Světelné pero



Obr.680 Konzole počítače

Světelné pero, které drží operátor na Obr.679, sloužilo je zasahování do obrazu na monitoru.



Obr.681 Operátor



Obr.682 Konzola procesního řídicího počítače



Obr.683 Konzola počítače



Obr.684 Diskety 8", 5.25" a 3.58"



Obr.685 Disketa 8"

Data byla ukládána v sedmdesátých letech 20. století na pružné magnetické diskety o jmenovitém průměru 8" (203,2mm) uložené v papírovém pouzdru, jejich kapacita byla nejvýše 1,2 MB (Obr.684 vlevo a Obr.685). Menší diskety o průměrech 5,25" a 3,5" jsou novějšího data (Obr.684 vpravo).



Obr.686 Výměnný svazek disku



Obr.687 Diskové mechaniky

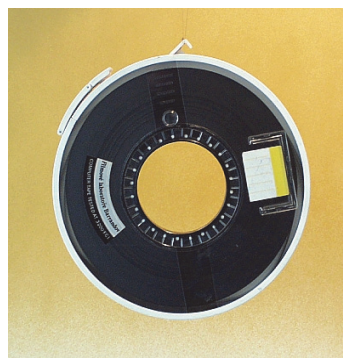
Na Obr.686 vidíme výměnný svazek složeného disku o kapacitě 200MB, který se upínal na vřetena rotačních mechanik, kde běžel pod průhledným sklopným ochranným krytem (Obr.687).



Obr.688 Řídicí počítač

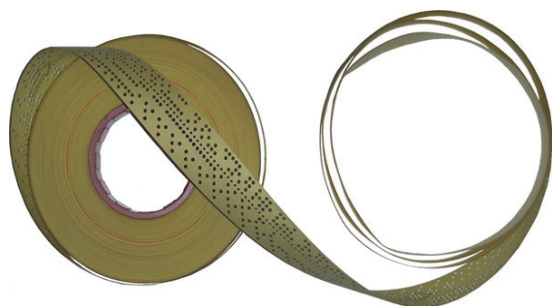


Obr.689 Sklad magnetických pásek



Obr.690 Magnetická páska

Větší množství dat bylo nutno ukládat na výměnnou magnetickou pásku (Obr.690). Magnetické pásky se používaly již od počátku padesátých let, na snímku ze sedmdesátých let 20.století (Obr.689) vidíme provedení o šířce pásky 1/2" (12,7mm), jmenovitém průměru 10,2" (266,7mm), přitom délka pásky mohla být 370-730metrů. Kapacita pásky kolísala dle způsobu osmistopého zápisu a délky pásky od asi 5MB do 140 MB. Při současné (rok 2017) běžné kapacitě paměti soukromých mobilních telefonů kolem 128GB lze říci, že máme po kapsách větší kapacitu paměti nežli mohlo uchovat více jak 1000 velkých kotoučů magnetické pásky (Obr.690).



Obr.691 Děrná papírová páska



Obr.692 Děrný papírový štítek

Procesní řídicí počítače měly jako vstupní a výstupní medium papírovou děrnou pásku skládanou nebo ve svitku (Obr.691). Papírové děrné štítky s kulatými a obdélníkovými otvory bylo možno vidět spíše při zpracování hromadných dat, v účetnictví a statistice (Obr.692).

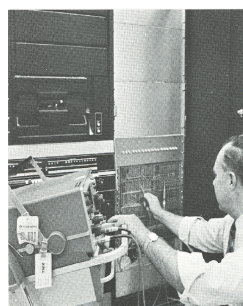


Obr.693 Počítač SMEP



Obr.694 Děrnopásková jednotka

Výrobci procesních samočinných počítačů v tehdejší Československu o sobě v osmdesátých letech 20.století také dali vědět (Obr.693,694). Nepostradatelnou papírovou děrnou pásku vidíme na obou vyobrazeních. U levého kolena oprátora (Obr.693) je vidět vysouvací mechaniku výměnného magnetického disku o kapacitě 2,5MB. Sestavy těchto počítačů obsahovaly také stojany na magnetické pásky a samostatně stojící rotační diskové paměti o kapacitě 30MB. Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit, že počítače plnily vcelku uspokojivě spíše bilanční úlohy jim svěřené. Nevýhodou byla vyšší poruchovost, která silně snižovala jejich užitnou hodnotu při evt. zvažovaném přímém řízení procesu.



Obr.695 Diagnostika



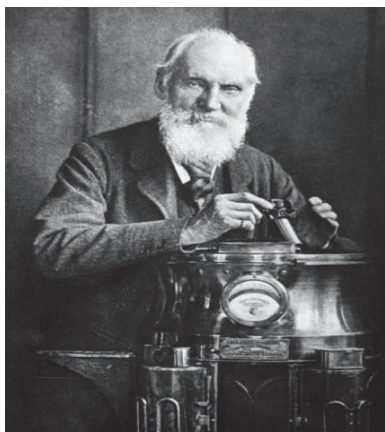
Obr.696 Procesní počítač



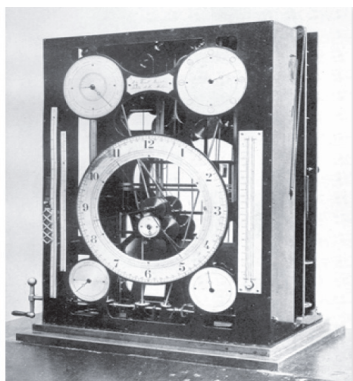
Obr.697 Magnetické pásky

Vzpomínka na číslicové počítače k řízení výrobních procesů zasluhuje doplnit o několik starších údajů týkajících se analogových počítačů, které byly užity k předpovídání dostupnosti námořních přístavů. Již Issac Newton psal koncem 17.století o vlivu Měsíce na příliv a odliv. Francouzský fyzik a matematik Laplace (Obr.565, 567) navrhol v 70-tých letech 18.století považovat odliv a příliv za součet více

harmonických složek. Francouzský fyzik Coriolis (Obr.700) počátkem 19.století opět navrhoval předvídat příliv a odliv jako součet harmonických funkcí. Anglický fyzik William Thompson (Lord Kelvin) navrhl roku 1867 předpovídat výšku hladiny moře v závislosti na 10 harmonických složkách (Obr.698). Analogový mechanický počítač byl dle jeho návrhu sestaven roku 1872. Počítač kalkuloval s gravitačními silami Slunce, Země, Měsíce a dalšími 7 složkami. Willam Ferrel sestrojil v roce 1872 analogový počítač (Obr.699), který pracoval s časovým průběhem 19 harmonických složek.



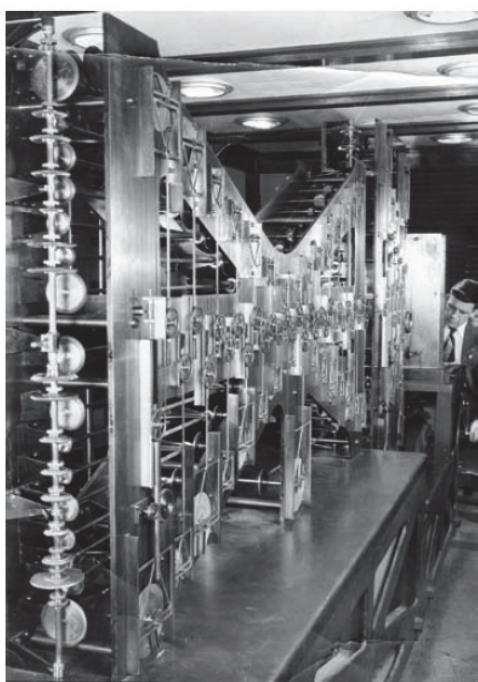
Obr.698 Lord Kelvin



U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY TIDE-PREDICTING MACHINE NO. 1 [THE FERREL MACHINE]

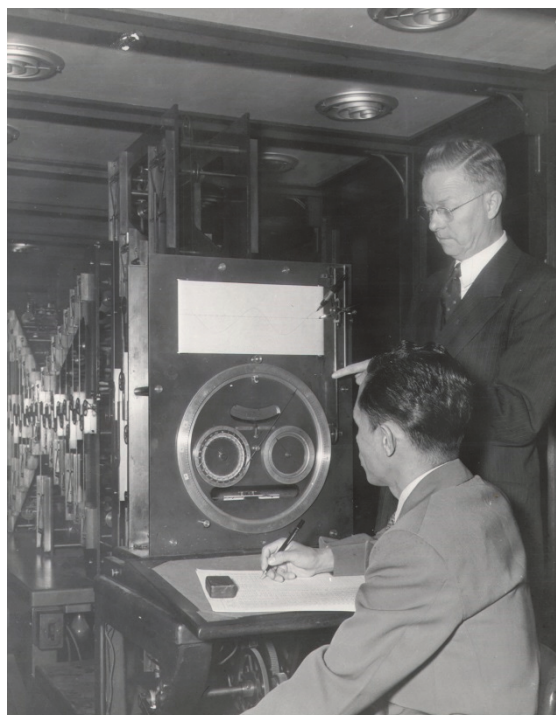


Obr.699 Analogový počítač Obr.700 Gaspard-Gustave Coriolis



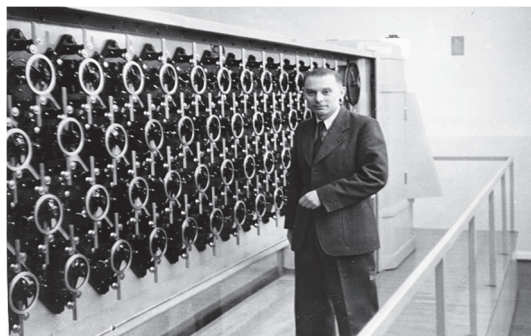
HARRIS-FISHER TIDE-PREDICTING MACHINE [BACK VIEW]

Obr.701 Analogový mechanický počítač

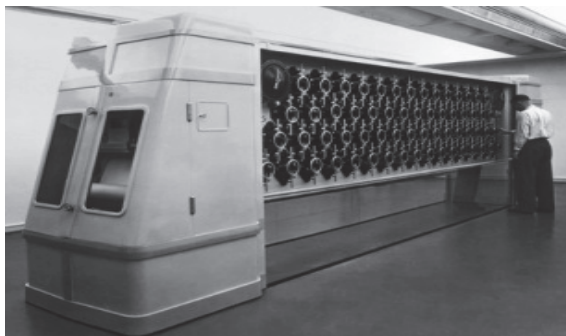


Obr.702 Analogový mechanický počítač

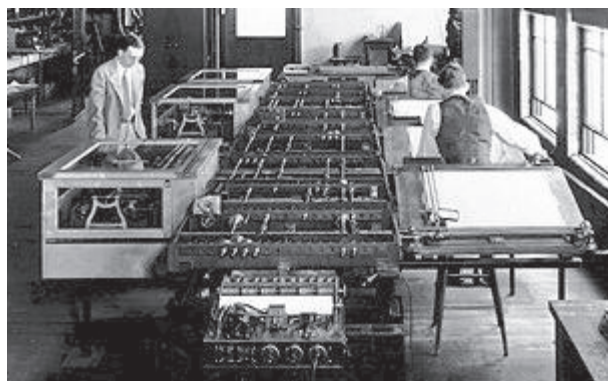
V letech 1895-1910 sestrojili Harris a Ferrel v USA analogový počítač (Obr.701,702), který měl na vstupech už 37 harmonických složek. Přístroj musel být nastavován pro každý přístav a rok zvlášť a výsledky byly zapisovány do tabulky v závislosti na čase. Operátor strávil s jednotlivým výpočtem jeden den. Počítač měl výšku asi 2 metry, délku 3 metry a vážil přes 1.100 kg. Počítač byl v provozu do roku 1965 a je v muzeu stále provozuschopný, byl však dávno nahrazen výpočty na číslicovém počítači (Lit.192). Analogový elektromechanický počítač z roku 1936, také určený k výpočtům časového průběhu mořského přílivu a odlivu, je vidět vystavený v muzeu v Mnichově (Obr.703,704).



Obr.703 Elektromechanický analogový počítač



Obr.704 Elektromechanický analogový počítač

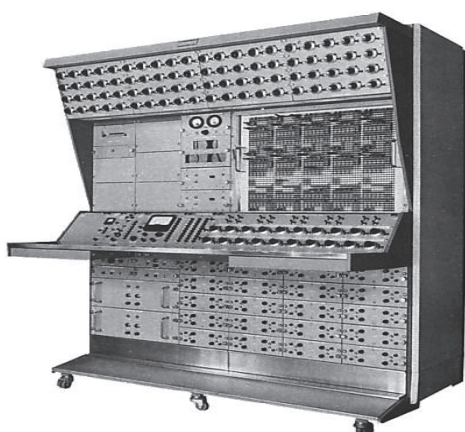


Obr.705 Elektromechanický analyzátor

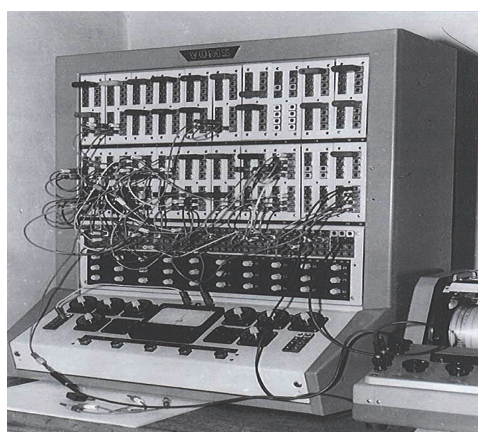


Obr.706 Vannevar Bush a jeho analyzátor

Univerzálnějšími analogovými elektromechanickými počítači byly diferenciální analyzátoři určené k řešení diferenciálních rovnic. Stejná rovnice může popisovat dynamiku a časový průběh různých fyzikálních nebo chemických dějů. Vannevar Bush (1890-1974)(Obr.706) konstruoval od roku 1927 elektromechanické analyzátoři k řešení diferenciálních rovnic vyšších řádů. Počítač na Obr.705,706 sloužil k simulaci dynamického chování elektrorozvodných soustav v USA v třicátých letech 20.století.



Obr. 707 Analogový počítač r.1961



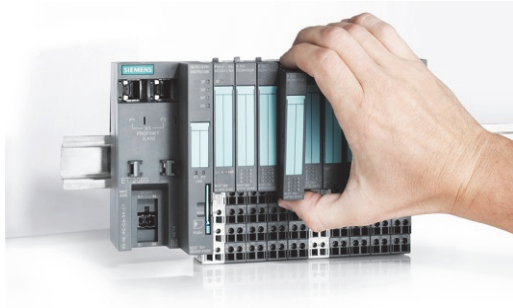
Obr.708 Analogový počítač MEDA

Ukázku čistě elektronického analogového počítače z roku 1961 ukazuje fotografie z USA na Obr.707. V Československu byly sestaveny elektronkové analogové počítače, které byly od roku 1965 nahrazeny úspěšnými elektronickými počítači typové řady MEDA. Jako pamětník ukázek jejich použití v letech 1970-1972 k výpočtu dynamického průběhu regulačních dějů v čase mohu potvrdit jejich nesporné kvality a názornost. Výsledek analogové simulace bylo možno sledovat na osciloskopu nebo samočinně zapsat na papír zapisovačem. V současnosti jsou k dispozici programy pro číslicové

počítače, které mají daleko vyšší užitnou hodnotu. Umožňují velmi podrobně a pohodlně zkoumat dynamiku a stabilitu regulačních okruhů a také podle výsledků navrhnout přenosové funkce regulátorů (například Lit.166,214,215 a mnoho dalších). Můžeme než obdivovat tvůrčí intuici úspěšných automatizačních techniků v minulosti, kterým se o podobných výpočetních možnostech pravděpodobně ani nesnilo.

Tolik k minulosti procesních řídicích počítačů.

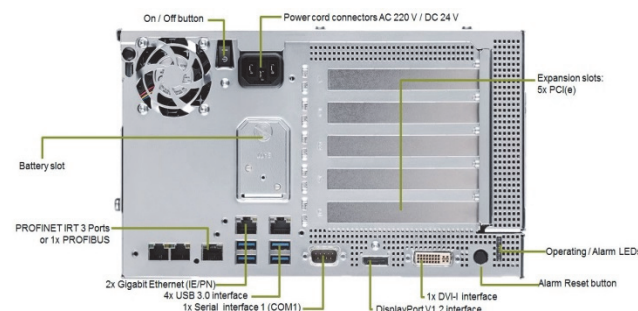
Současné úlohy procesního řízení přebraly z velké části s velkým úspěchem volně programovatelné automaty. Ukázka menších automatů evropského výrobce určených pro drobnější úlohy je vidět na Obr.709, 710. Úlohu velkého sálového procesního počítače ze sedmdesátých let 20.století je schopen převzít malý a zcela nenápadný počítač (Obr.712). Současné průměrné parametry počítače jakými jsou operační paměť SRAM 4GB , nerotační pevný disk SSD 240GB a rozhraní Ethernet 2x 1Gbit/sec , Profibus, 4x USB 3.0 a seriové asynchronní rozhraní (Obr.711) bohatě postačují pro řešení úloh běžné průmyslové automatizace ve spolupráci s podřízenými volně programovatelnými automaty, při stovkách vstupů/výstupů do řízeného procesu. Kapacity operační paměti současných řídicích počítačů (Obr.712 ) jsou asi 1000x větší nežli tomu bylo u největších prvních procesních řídicích počítačů v sedmdesátých letech 20. století (Obr.658). Nejinak je tomu s rychlostí procesorů, které jsou běžně v mnoha desítkách MIPS (miliony operací za sec.). Proti nejstarším řídicím počítačům z přelomu šedesátých a sedmdesátých let 20.století je jejich výpočetní rychlost také přibližně 1000x větší.



Obr.709 Automat - PLC



Obr.710 Automat - PLC



Obr.711 Průmyslový počítač



Obr.712 Průmyslové počítače

Grafické znázornění řízeného procesu s podrobným ukazováním měřených hodnot je možné kdekoli v dosahu komunikační sítě (Obr.713,714).



Obr. 713 Komunikace PLC v sítích



Obr.714 Grafické znázornění výrobního procesu

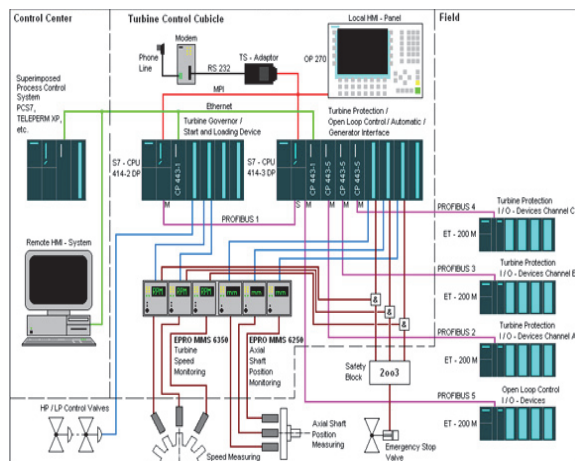
Současné plynové turbíny (Obr.720) a parní turbíny (Obr.718,719) jsou dodávány se specializovaným volně programovatelným automatem (Obr.716), nebo více univerzálními automaty spojenými v síti (Obr.717). V současnosti již zapomenuté Wattovy odstředivé regulátory nahradily elektronické snímače otáček s dalším zpracováním měřených údajů v automatu (Obr.717 dole).



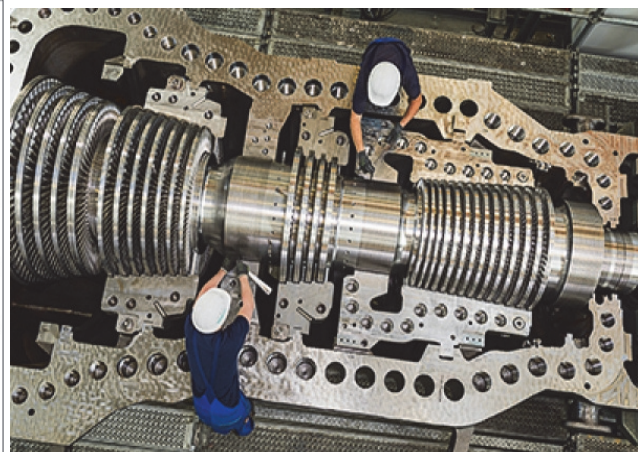
Obr.715 Řídicí systém turbíny



Obr.716 Automat PLC turbíny



Obr.717 Řídicí automaty turbíny

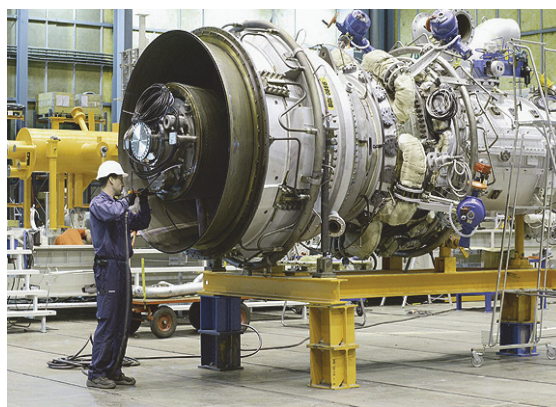


Obr.718 Parní turbína velkého výkonu

Parní lokomotivy můžeme příležitostně vidět při nostalgických jízdách. Mladší cestovatelé nevycházejí z údivu jak vypadaly dřívější vagony. Není divu, moderní vlak sotva připomíná skromné prostředí starších vagonů. Kdo má možnost nahlédnout do kabiny strojvůdce nové lokomotivy neuvidí sálající ohniště kotle a strhaného topiče s pořádnou lopatou na uhlí jako v parní lokomotivě, ale strojvůdce pohodlně sedícího v křesle. (Obr.721,722)



Obr.719 Rotor parní turbíny



Obr.720 Plynová turbína



Obr.721 Kabina strojvůdce lokomotivy



Obr.722 Moderní elektrická lokomotiva

Pokud by John Smeaton (1724-1792)(Obr.301), konstruktér vodorovné vyvrtávačky, měl možnost zavítat do současnosti, pak by si určitě nechal rád vysvětlit funkci a konstrukci počítačem řízené současné vodorovné vyvrtávačky (CNC)(Obr.724). Henry Maudslay (1771-1831)(Obr.392) by po prvním překvapení určitě detailně prostudoval všechny funkce moderního soustruhu (Obr.723). Vrátime se ale raději do přítomnosti a do nejbližšího okolí našeho současného světa.



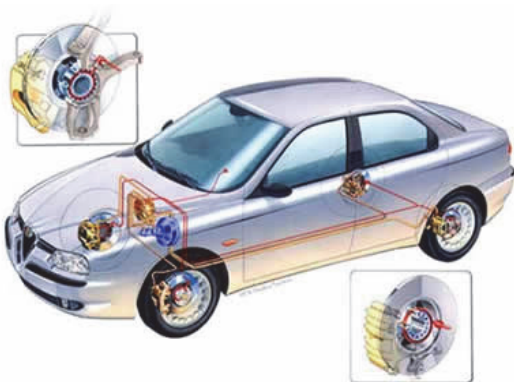
Obr.723 CNC soustruh



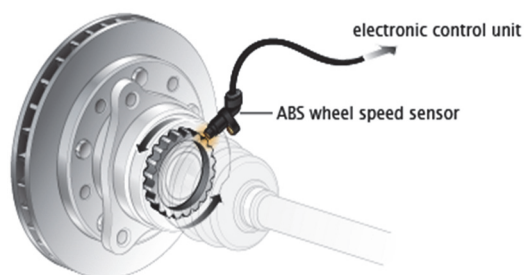
Obr.724 CNC vodorovná vyvrtávačka

Elektronickou regulaci malého výkonu najdeme v našem nejbližším okolí. Novější osobní automobily jsou vybaveny systémem ABS (Antilock Brake System), který přispívá k bezpečné jízdě (Obr.725). Z pohledu automatizační techniky je zde elektronicky optimalizován brzdový výkon. Úkolem a

kriteriem optimalizace je zabránit blokování brzd kol a udržet stabilně jízdu v žádaném směru. Součinitel smykového tření mezi pneumatikou a vozovkou se liší podle druhu povrchu, na suchém asfaltu je vyšší než na ledovatce. Systém ABS měří otáčky každého z kol pomocí snímačů, které využívají elektromagnetismu nebo Hallova jevu (Obr.726). Ventil v hydraulickém brzdovém potrubí kola, které se přestalo otáčet, vypustí část natlakovaného oleje. Funkci ABS poznáme podle vibrací brzdového pedálu pod brzdícím chodidlem. ABS uvolní brzdu blokováného kola, které se opět začne otáčet a tím se předejde stáčení auta z žádaného směru. Brzdná dráha auta nemusí být nutně kratší než by byla bez působení ABS. Když je ABS v poruše pak působí dvojokruhové hydraulické brzdy na dvojice kol křížem a rozsvítí se červené kontrolní světlo označené písmeny ABS. Nákladní automobily užívající k brzdění tlakový vzduch pro posilovače mají systém ABS dost složitý, jak ukazují jeho rozložené díly (Obr.727).

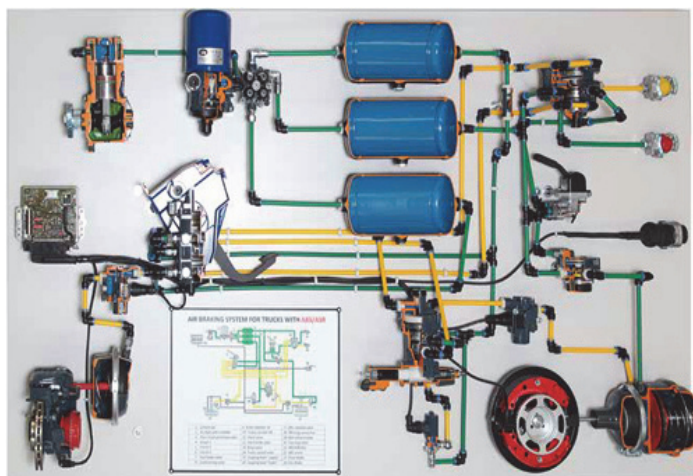


Obr.725 ABS v osobním automobilu



Obr.726 ABS snímač otáček kola

Princip ABS vynalezl letecký a automobilový konstruktér Gabriel Voisin (1880-1973)(Obr.728), který roku 1929 instaloval do hydraulického potrubí brzd kol letadla ventil k vypuštění části tlakového oleje při samočinně zjištěném blokování kola. Větší hodnotu součinitele suchého tření za klidu než za pohybu zjistil již Charles Augustin Coulomb (1736-1806)(Obr.729,731). Coulomb pomocí pokusů stanovil, že třecí síla je rovná součinu síly působící kolmo na třecí plochu a součinitele tření (dole na Obr.732). Na počest fyzika se nazývá zjištěná závislost Coulombovým zákonem. Coulomb provedl rozsáhlé pokusy s různými povrchy, aby našel jejich součinitele tření za sucha (Obr.733).



Obr.727 Systém ABS nákladního automobilu



Obr.728 Gabriel Voisin

Coulomb svoje poznatky a vyobrazení zveřejnil knižně v roce 1781( pozdější vydání Obr.730) (Lit.181). Veřejnost zná Coulomba spíše jako badatele v oboru elektrotechniky a jako autora elektrostatického zákona (přístroj na Obr.720). Na jeho počest byla pojmenována jednotka SI pro elektrický náboj (1 Coulomb se rovná 1 ampérsekundě = 1C).



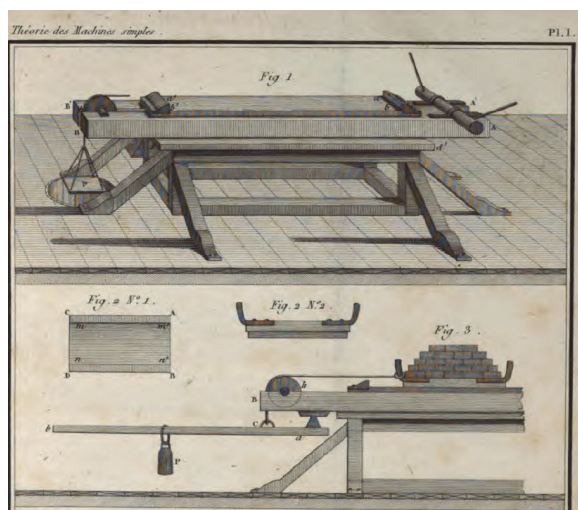
Obr.729 C.A.Coulomb



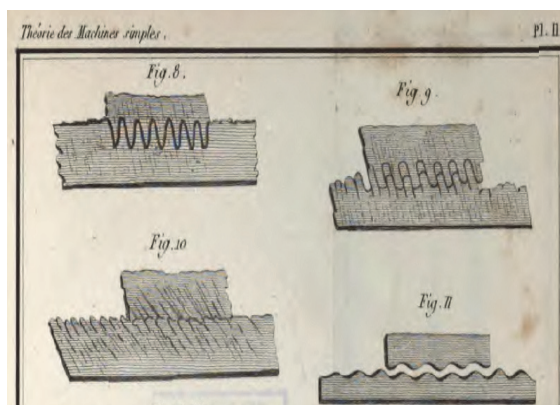
Obr.730 Kniha



Obr.731 Charles Augustin Coulomb



Obr.732 Měření součinitele tření za klidu a pohybu



Obr. 733 Různé povrchy třecích ploch

Zde se uzavírá výlet do dějin automatické regulace výkonu a polohy, dopředného řízení výrobního procesu podle programu.

V automatizační technice patří k měřeným veličinám také výsledky stovek samočinných analýz plyných, kapalných a pevných látek. Měřené veličiny z procesních automatických analyzátorů jsou vstupem uzavřených regulačních smyček a tím přímo působí na řízený proces. Následující výlet se soustředí pouze na minulost analýzy spalín a kyslíčnicku uhlíčitého v okolním vzduchu.

5 Analýza plynů pro automatizační techniku:

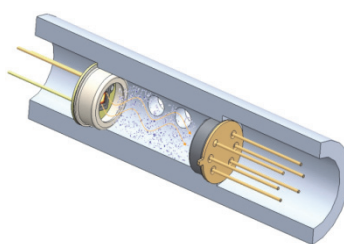
\*\*\*\*\*

V průmyslové automatizaci, ale také v automatizaci moderních kancelářských a obytných budov, má svoje místo analýza plynů. Podívejme se nejdříve na vznik metod k stanovení složek plynů v minulosti.

Francouzský astronom a fyzik Pierre Bouguer (1698-1758)(Obr.736) objevil v roce 1729 zeslabování intenzity světla úměrné s délkou dráhy světla v absorbujícího prostředí. Švýcarský fyzik J.H.Lambert (1728-1777)(Obr.737) věděl o tomto objevu, který popsal v jím vydané knize o fotometrii. Německý fyzik August Beer (1825-1863) měřil absorpci a zjistil, že úbytek intenzity světla je úměrný nejen délce absorbujícího prostředí, ale také koncentraci absorbující plynné složky. Závislost je úbytku intenzity a koncentrace je exponenciální a byla popsána zákonem Lambert-Beerovým (Obr.734),

$$Int_1 = Int_0 \cdot e^{-a \cdot c \cdot d} \quad [W/m^2]$$

Obr.734



Obr.735

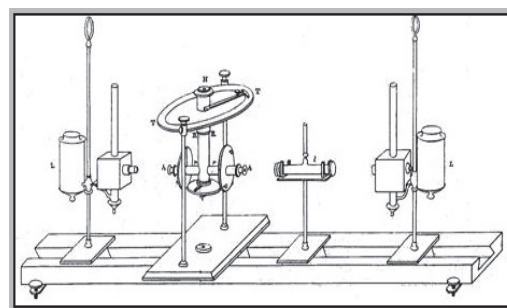
kde „d“ je délka dráhy světla prostředím, „c“ je koncentrace absorbující složky, „a“ je absorpční koeficient, „e“ je základ přirozených logaritmů, „Int0“ je původní intenzita světla o dané vlnové délce a „Int1“ je zeslabená intenzita. Na Obr.738 vidíme sestavu fotometru připisovanou Augustu Beerovi. Schéma s květou ukazuje současné nejjednodušší uspořádání vysílače a čidla fotometru (Obr.735).



Obr.736 Pierre Bouguer



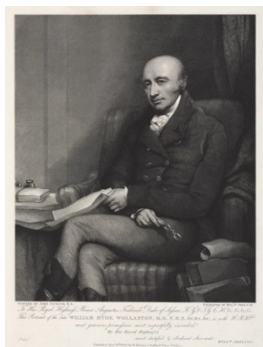
Obr.737 J.H.Lambert



Obr.738 Beerův fotometr

Fotometrická metoda byla ve 20.století užívána k analýze plynů pro automatizaci v energetice a chemickém průmyslu, v zjednodušené verzi (Obr.735) k stanovení obsahu CO2 v okolním vzduchu.

Na Obr.744 vidíme ukázkou zeslabení intenzity záření infračerveného světla o vlnové délce 4,2 mikrometru, která byla při měření koncentrace CO2 ve vzduchu užita.



Obr.739 Wollaston

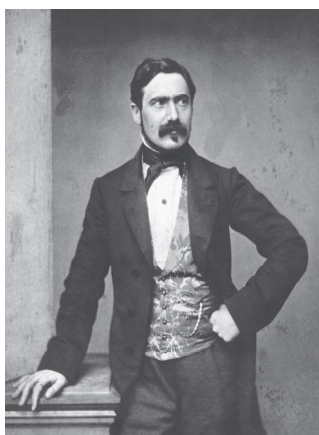


Obr.740 Fraunhofer

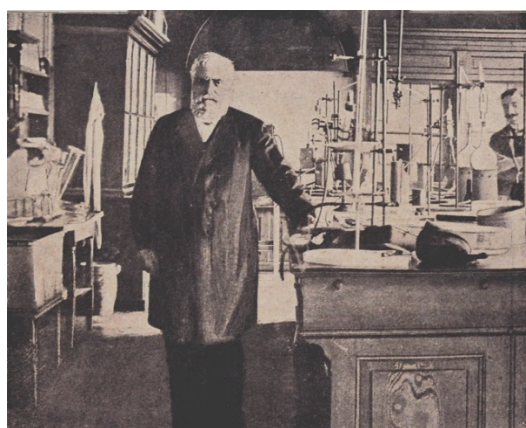


Obr.741 Fraunhoferovy čáry ve spektru

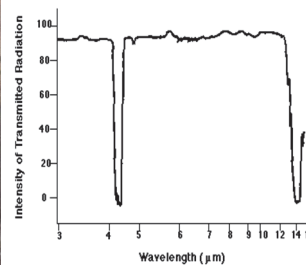
Anglický lékař, chemik a fyzik Dr William Hyde Wollaston (1766-1828)(Obr.739) prováděl a podrobně popisoval pokusy s rozkladem slunečního světla v hranolu, zjistil přítomnost tmavých čar ve spektru a svůj poznatek zveřejnil (Lit.158). Německý fyzik Joseph von Fraunhofer ( 1787-1826)(Obr.740) změřil v letech 1814-1815 vlnovou délku a intenzitu až 570 tmavých čar ve slunečním spektru (Obr.741), byl vynikajícím optikem (Lit.160). Vysvětlení existence čar ve spojitosti s určitým chemickým prvkem podali pro sodík a draslík písemně na základě provedených pokusů až Bunsen a Kirchhoff roku 1859, jednalo se o absorpci. K stanovení obsahu plynů ve vzduchu byly vyvinuty i jiné laboratorní metody.



Obr.742 M.Pettenkofer



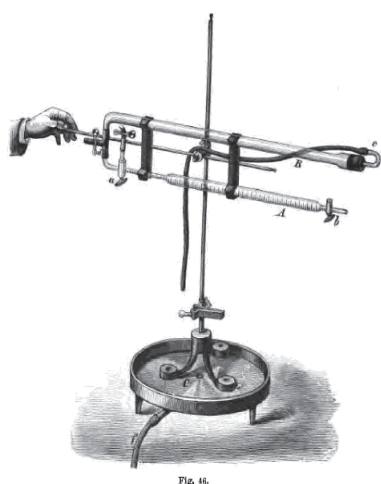
Obr.743 Prof.Dr. Max von Pettenkofer



Obr.744

Prof.Dr. Max Pettenkofer ( 1818-1901)(Obr.742,743) vyvinul vlastní metodu titračního stanovení podílu CO<sub>2</sub> ve vzduchu ( Lit.38,Lit.100,191). Prof.Dr Max von Pettenkofer použil k pohlcení objemu CO<sub>2</sub> ve vzorku okolního vzduchu roztok páleného vápna CaO v destilované vodě, k titraci kyselinu oxalovou (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>+2HO) a pro indikaci lakmus. Zpracoval v padesátých letech 19. století velké množství vzorků vzduchu, které odebíral ve své laboratoři, přeplněných třídách škol a také v mnichovských zakouřených a nevětraných hostincích a pivnicích (Lit.100). Jím stanovené kritérium zdravotní škodlivosti obsahu CO<sub>2</sub> ve vzduchu nad úroveň objemového podílu 0,1% je platné dodnes má stále uplatnění při současné klimatizaci a automatizaci budov.

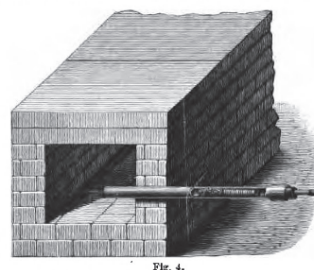
Dr Clemens Winkler zveřejnil roku 1872 svůj vynález otočné byrety ke stanovení objemových podílů složek spalin. Spaliny nejdříve odebral pomocí sondy vložené do kouřovodu (Obr.747) a vzorek spalin přenesl do laboratoře (Obr.746). Plyným vzorkem naplnil cejchovanou trubici „A“, kterou následně uzavřel pod atmosférickým tlakem skleněnými ventily „a“ a „b“. K stanovení podílu CO<sub>2</sub> v plyném vzorku použil roztok louhu draselného, který nalil pomocí pryžové hadičky do skleněného válce „B“. Pomocí pryžového balonku vyvodil malý přetlak v „B“, aby po uvolnění ventilu „a“ mohla část roztoku



Obr.745



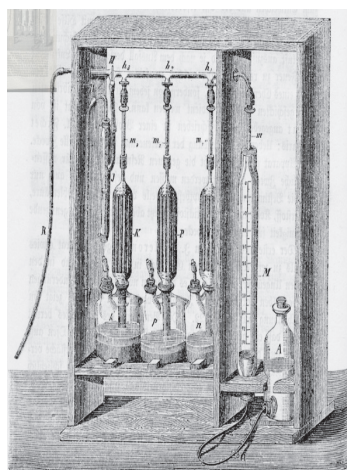
Obr.746



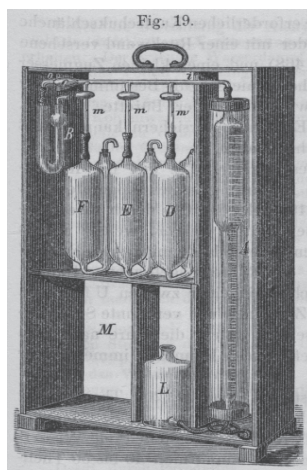
Obr.747

natéct do spodní části „A“. Potom uzavřel ventil „a“ a otočil sestavu do vodorovné polohy (Obr.745) Roztok louhu působil na vzorek plynu a pohltil podíl CO<sub>2</sub>. Po otočení do svislé polohy stoupla hladina v „A“ úměrně k objemu pohlceného CO<sub>2</sub>.

V roce 1874 francouzský chemik Louis Orsat obdržel patent na sestavu k stanovení CO,CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> ve spalinách fosilních paliv (Obr.748,749)( Lit.39). Vynálezce analyzoval spaliny parních železničních lokomotiv ve Francii a poukázal na možnost zlepšení účinnosti spalovacího pochodu. Přístroje tohoto druhu se vyrábějí a prodávají dosud (Obr.750). Sám jsem měl možnost s Orsatovým přístroje měřit počátkem sedmdesátých let 20. století pomocí absorpce objemové složky spalin uhelných kotlů. Přes určitou nepohodlnost při měření dával Orsatův přístroj prakticky použitelné výsledky.



Obr.748 Orsatův přístroj

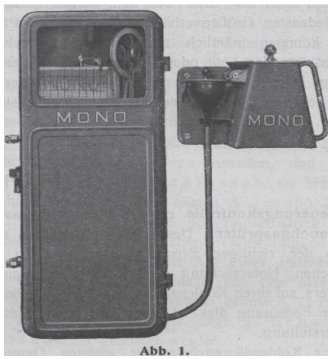


Obr.749 Orsatův přístroj

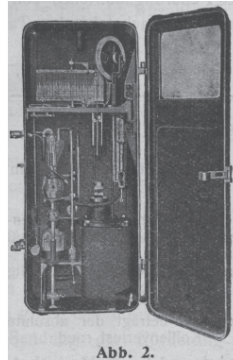


Obr.750 Orsatův přístroj

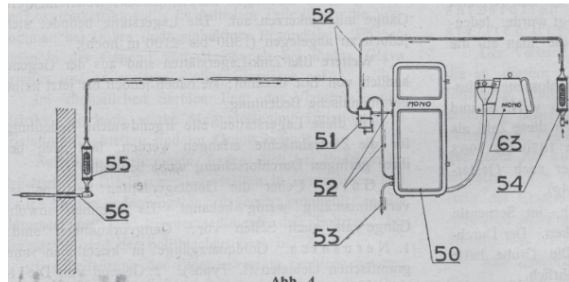
V roce 1916 bylo již možno k analýze CO<sub>2</sub> ve spalinách pomocí absorpce využívat samočinného přístroje s možností zápisu výsledků analýzy na papír, jak ukazuje Obr.751 až 753 (Lit.52) , ale stále bez možnosti použít analyzátor k automatickému řízení.



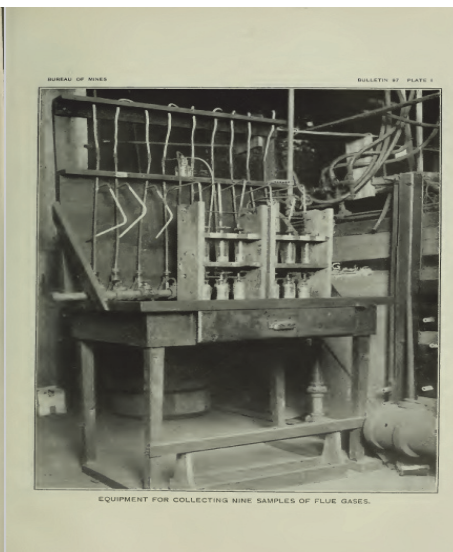
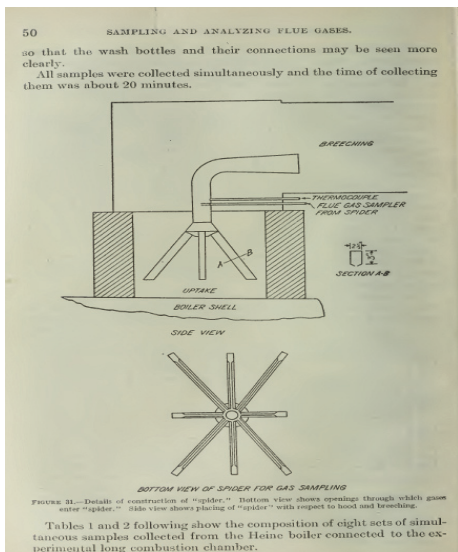
Obr.751 Analýza CO2



Obr.752 Analyzátor



Obr.753 Analýza CO2 absorpcí



Obr.754 Analýza spalin

Tiskárna vlády USA vydala roku 1915 brožuru ukazující standardní ruční provoz analyzační soupravy v uhelné kotelně, spalování mohlo být řízeno dle výsledků analýzy jen ručně (Obr.754)(Lit.93)

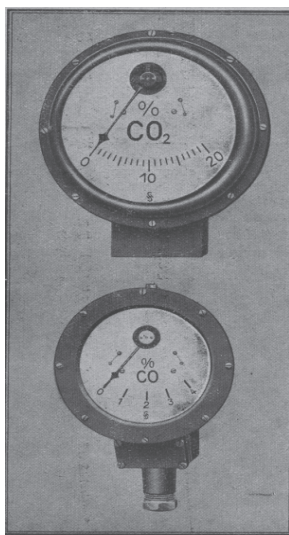


Bild 9. Anzeigensystem des elektrischen Rauchgasprüfers.

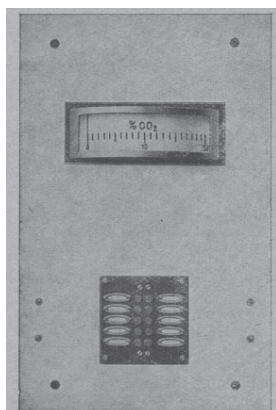


Bild 12. Gemeinsames CO<sub>2</sub>-Anzeigensystem für 9 Kessel, mit Tastenschalter und Profilinstrument.

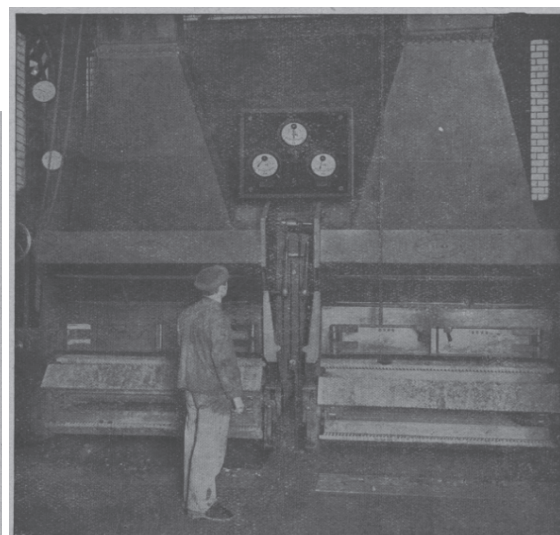


Bild 13. Anzeigensystem am Heizerstand, für CO<sub>2</sub>-Gehalt, Abgas- und Ueberhitzer-Temperatur.

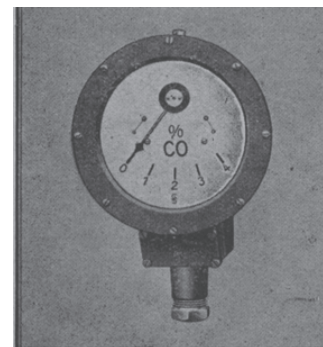
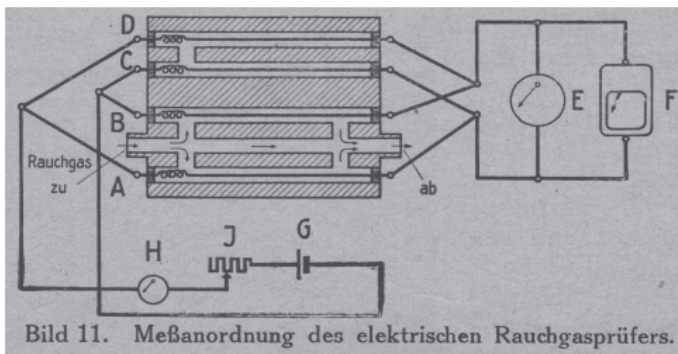
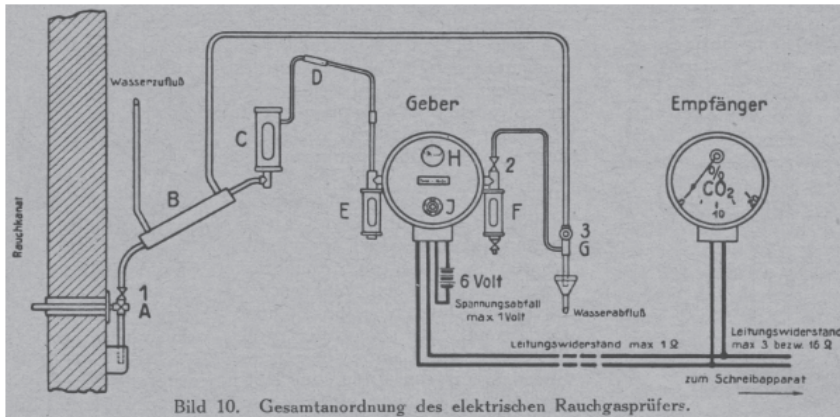
Obr.755

Obr.756

Obr.757

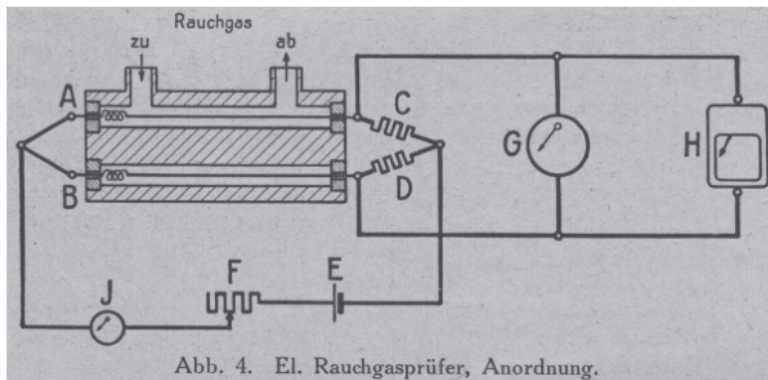
Pro místní informaci o analýze při procesu spalování sloužily ukazovací přístroje (Obr.755,756,757).

V roce 1923 byly již k dispozici analyzační přístroje k stanovení podílu CO<sub>2</sub> ve spalínách pomocí tepelné vodivosti CO<sub>2</sub>, schéma pracující na principu rozvážení můstku je vidět na Obr.758 (Lit.55).



Obr.758 Analýza CO<sub>2</sub> měřením jeho tepelné vodivosti

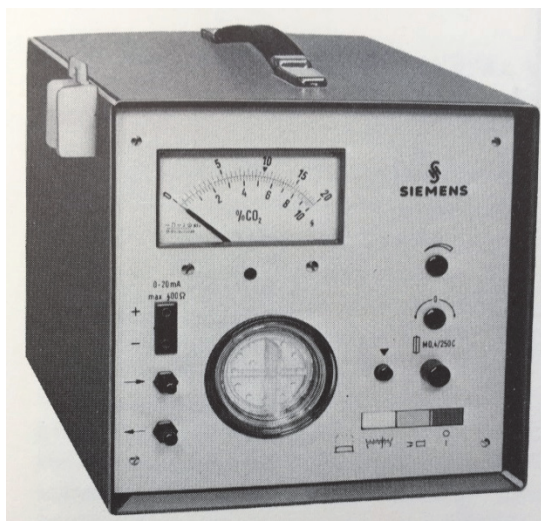
Obr.759 Ukazování CO



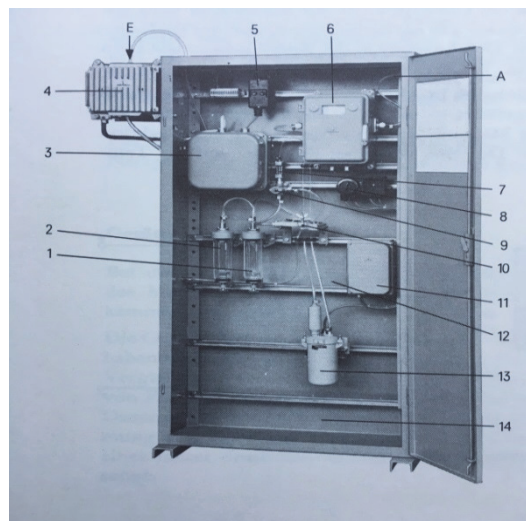
Obr.760 Lit.57

Katalytického spalování hořlavých složek CO+H<sub>2</sub> obsažených ve spalínách využili konstruktéři přístroje dodávaného od roku 1923, s možností elektrického výstupu pro vzdálené ukazování,

ne však pro automatické řízení v uzavřené smyčce (Lit.57) . Na Obr.760 vlevo dole je vidět teplotně stabilizovanou komůrku se dvěma vodiči. Spaliny vstupují do hořejší komůrky vstupem „zu“, proudí podél ohřívaného vodiče a komůrku opouštějí nátrubkem „ab“. Jestli během proudění dojde k oxidaci CO,H2 na povrchu vodiče, pak se teplota i odpor vodiče zvýší. Zvýšený odpor rozváží můstek A-B-C-D, který je napájen baterií „E“. Rozvážení můstku je ukazováno galvanometrem „G“. Uzavřená komůrka vpravo od bodu „B“ (Obr.760) je určena k porovnání a zároveň je v ní umístěno jedno rameno Wheatstoneova můstku.

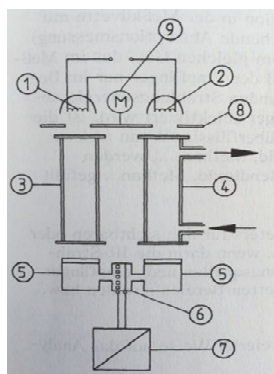


Obr.761 Analyzátor CO2



Obr.762 Analýza plynného vzorku spalin

V šedesátých a sedmdesátých letech 20.století byly k analýze spalin konstruovány rozvaděče, které obsahovaly složitou úpravu plynného vzorku (Obr.762). Analyzační přístroje byly vybaveny elektrickými výstupy k zapojení do systému dálkového měření anebo už sloužily jako čidlo v uzavřené regulační smyčce. Na Obr.762 je vstupní chladnička „4“ se vstupem vzorku spalin „E“, pozice „3“ je elektrické napájení chladničky. Pozice „1“ a „2“ jsou filtry sirovodíku H2S a kyseliny sírové H2SO4. Pozice „9“ je třícestný ventil ke vstupu kalibračního plynu, pozice „10“ je membránový filtr plynného vzorku. Membránové čerpadlo plynného vzorku je označeno „13“ a vlastní magnetopneumatický přístroj ke stanovení podílu O2 ve spalinách má pozici „6“. Vzorek spalin byl po analýze odváděn mimo rozvaděč v místě „A“. Přístroje určené k infračervené nedisperzivní (NDIR) analýze podílů CO,CO2 byly provedeny podobně jako přístroj z šedesátých let 20. století na Obr.761. Současný analyzátor plynného vzorku k preciznímu stanovení CO,CO2 je vidět na Obr.764.

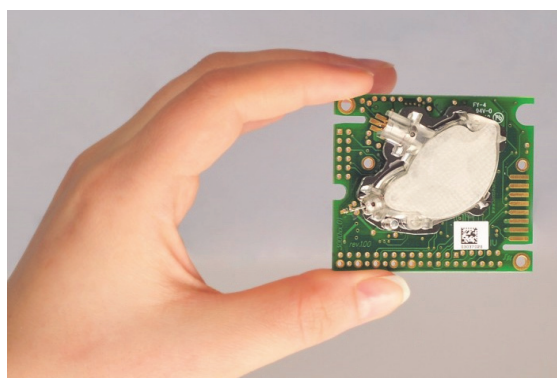


Obr.763 NDIR analýza



Obr.764 NDIR analyzátor dvou složek v plynu

Princip měření spočívá ve vysílání infračerveného záření z reflektorů „1“ a „2“ směrem k okénkům kyvet „3“ a „4“ (Obr.763). Svazek infračerveného záření byl přerušován rotující clonou „8“, která byla poháněna motorkem „M“. Pulzující infračervené záření procházelo kyvetou s porovnávacím plynem „3“ a současně analyzovaným plynem, který protékal kyvetou „4“. Vlnová délka infračerveného záření byla zvolena tak, aby docházelo k pohlcování infračerveného záření analyzovanou složkou vzorku, pro CO<sub>2</sub> je takovou vlnovou délkou 4,2 mikrometru. Energie infračerveného záření způsobila v uzavřených symetrických komůrkách „5“ zahřívání a rozepínání plynu, který působil z obou stran na kondenzátorové čidlo pneumatických pulzů v komůrce „6“. Energie pulzů v pravé komůrce „5“ byla tím menší, čím více infračerveného záření bylo analyzovaným plynem v kyvetě „4“ pohlceno. Elektronika „7“ převedla pulzní signál po linearizaci na analogový výstup, popřípadě nově na digitální signál pro komunikaci v síti (RS485, Ethernet a další).



Obr.765 NDIR modul k analýze CO<sub>2</sub> ve vzduchu

Obr.766 NDIR modul k analýze CO<sub>2</sub> ve vzduchu

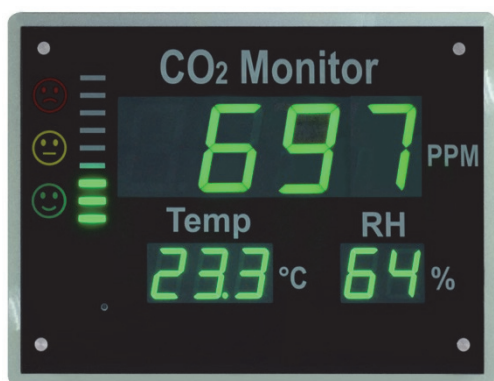
Současné analyzační moduly k stanovení obsahu CO<sub>2</sub> v okolním vzduchu ukazují fotografie na Obr.765,766. Jako součást analyzačních přístrojů slouží k samočinnému zapínání klimatizační jednotky nejen v budovách, ale také třeba ve vagonech (Obr.767 - klimatizace a čidlo CO<sub>2</sub> jsou ve stropu vagonu metra města Seoul, Jižní Korea). K řízení domovní ventilace může v současnosti sloužit přístroj na Obr.768, který měří teplotu, relativní vlhkost vzduchu a obsah CO<sub>2</sub> ve vzduchu. Přístroj je zároveň dvoupolohovým regulátorem, pomocí dvou relé může spínat klimatizační nebo ventilační systém budovy. Ke spojení přístroje s nadřazeným řídicím systémem budovy slouží rozhraní Ethernet. Měřené fyzikální veličiny je možno po komunikační síti předat k dalšímu zpracování.



Obr.767 Klimatizace vagonu



Obr.768 Čidlo teploty, relativní vlhkosti a CO<sub>2</sub>



Obr.769 NDIR monitor CO2 ve vzduchu



Obr.770 NDIR monitor CO2 ve vzduchu

K domácímu měření CO<sub>2</sub> při větrání jen pravidelným otevíráním oken a netěsnostmi budovy se hodí malé monitory se zvukovou signalizací překročení kritické meze koncentrace CO<sub>2</sub> (například na Obr.769,770). O škodlivosti nadměrných koncentrací CO<sub>2</sub> v okolním vzduchu pro lidský organismus je možno se dozvědět podrobnosti z odborné literatury ( např.Lit.131,132,133). Automatická regulace větrání a klimatizace budov za pomoci čidel CO<sub>2</sub> je velmi prospěšná.

Zde končí poslední výlet do minulosti samočinné analýzy plynů a automatické regulace. Zbývá už jen závěr.

## 6 Závěr

\*\*\*\*\*

Autor (\*1948)(Obr.773) navrhuje vypravit se na „Výlety“ všem, kdo se zajímají o dějiny techniky. Autor věří, že k nim v budoucnosti přibude také jeho vnuk Kyle Sabastian Bartlett (\*2013)(Obr.771, 772), kterému proto „Výlety do historie automatizační techniky“ obzvláště rád věnuje.



Obr.771 K.S.Bartlett  
( a jeho sestra Anna )



Obr.772 K.S.Bartlett



Obr.773 J.Hubka

Nakonec otázka pro okřídlenou, avšak nejen dětskou fantazii. Na první straně „Výletů“ je vidět na dřevorytu muž a něco vysvětluje ostatním trosečníkům na smyšleném Tajuplném ostrově (Lit.216). Kdo jím pravděpodobně byl ?

## 7 Literatura

\*\*\*\*\*

1. Geschichte der mechanischen Prinzipien István Szabó Springer AG Basel Schweiz 1979
2. Mechanika tuhých těles a kapalin István Szabó TKI Teoretická knižnice inženýra SNTL Nakladatelství technické literatury , Praha 1967
3. Einführung in die technische Mechanik István Szabó Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1958 ISBN 978-3-662-01373-1
4. A history of control engineering 1930-1955 Stuart Bennett IEEE Control Engineering Series 47 University of Sheffield, Mappin St. , Sheffield UK 1987 ISBN 0-86341-280-7
5. Half-hours with great scientists/The story of physics Charles G.Fraser Reinhold Publishing Corporation 330 West Forty-Second St. New York The University of Toronto Press, Toronto, Canada 1948
6. Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien Ausgabe 1867 e-book Springer –Verlag Berlin Heidelberg GmbH ISBN 978-3-66226158-3
7. Drebbels Athanor and Furnaces Francis Frank June 2013 [www.drebbel.net](http://www.drebbel.net)
8. Galileo Engineer Matteo Valleriani Springer Dordrecht Heidelberg London New York 2010 ISBN 978-90-481-8644-0
9. Teorie automatického řízení Technický průvodce svazek 38, Česká matice technická spis číslo 411, SNTL-Státní nakladatelství technické literatury v Praze roku 1969
10. Jean Simon Bonnemain (1743-1830) and the origins of Hot Water Central Heating , Emmanuelle Gallo, Proceedings of the 2nd Congress on Construction History, Queen's College, Cambridge,UK p.1043-1060 29.3.2005
11. The earliest spirit-in-glass thermometer and a comparison between the earliest CET and Italian Observations Dario Camuffo, Chiara Bertolin, časopis Weather Journal 6/2012,Royal Meteorological Society, 104 Oxford Rd., Reading UK
12. A descriptive history of the steam engine by Robert Stuart London 1824
13. History and Progress of the Steam Engine by Elijah Galloway, Herbert Luke London 1830
14. Handbuch der Regelungstechnik G.Bleisteiner Karlsruhe 1961 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1961 ISBN 978-3-642-52751-7
15. Automatisieren in der Prozesstechnik Siemens AG 1973 Karlsruhe ISBN 3-8009-1139-6
16. New Catechism of Steam Engines N.Hawkins M.E. 1904 Theo Audel & Co Publishers New York, USA
17. The Walschaerts Locomotive Valve Gear W.W.Wood 1907 The Norman W.Henley Publishing Co 132 Nassau Street NY USA
18. Der Petroleum-Ingenieur Hans Umstätter Springer Verlag Berlin Göttingen Heidelberg 1951 ISBN 978-3-642-92558-0
19. The steam engine explained and illustrated Dionysius Lardner London 1840
20. Das Buch der Erfindungen in Gewerbe und Industrien C.Arndt, H.W.Dahlen,G.Ebe Verlag Otto Spamer Leipzig 1896-1901
21. Die neuesten Fortschritte über Dampfkessel – Anlagen L.H.Theilmann Braunschweig-Leipzig 1882 Verlag Karl Scholze
22. Die kranke Dampfmaschine – Erste Hülfe bei Betriebsstörung Hermann Haeder, Duisburg 1899 Selbstverlag Herrmann Haeder

23. Geschichte der Dampfmaschine. Ihre kulturelle Bedeutung, technische Entwicklung und ihre grossen Männer Conrad Matschoss Verlag Julius Springer Berlin 1901
24. Die Dampfmaschine Hermann Haeder Verlag L.Schwann Düsseldorf 1899
25. The Jacquard Machine Analysed and Explained E.A.Posselt 1888 Pennsylvania Museum and School of Industrial Art, 1336 Spring Garden Street, Philadelphia, USA
26. Staeubli – Firmenschrift/firemní tisk – 200 Jahre Jacquard Furrer 2004 pdf.
27. Polytechnisches Journal Jahrgang 1853, Band 130 Anwendung der Elektrizität bei dem Jacquard -Webstuhl , Bonelli , Director der sardinischen Telegraphen
28. Philosophical Transactions Royal Society of London G.D.Fahrenheit, (1727) XXXVII. P.179
29. Die Messung hoher Temperaturen G.K.Burgess , Henri le Chatelier , Verlag Julius Springer Berlin 1913
30. Polytechnisches Journal Jahrgang 1860, Pyrometer von Gauntlett, Neustadt,Belleville und Desbordes
31. Annalen der Physik und Chemie Jahrgang 1828, Verlag J.A.Barth in Leipzig: Dr. T.J.Seebeck Ueber die magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz
32. Polytechnisches Journal Jahrgang 1930, Band 345, S.46-49 Neuheiten der Siemens-Schuckert-Werke AG auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1930
33. Edison Tech Center [www.edisontechcenter.org](http://www.edisontechcenter.org) 136 North Broadway, Schenectady NY 12305 USA 2017
34. The Advanced Learners Dictionary of Current English Hornby, Gatenby, Wakefield 1963/1972 Oxford University Press, London,U.K.
35. [www.staubli.com](http://www.staubli.com) firemní technická informace
36. Prozessanalytik - Grundlagen und Praxis Günter Oesterle R.Oldenbourg Verlag München Wien 1995 ISBN 3-486-22757-2
37. Lehrbuch der technischen Gasanalyse Dr Clemes Winkler , dritte Auflage - Verlag Arthur Felix Leipzig 1901
38. Journal für praktische Chemie Nr.85 Jahrgang 1862 S.165-184 Ueber meine Methode die Kohlensäure in der amosphärischen Luft zu bestimmen Prof.Dr. Max Pettenkofer
39. Polytechnisches Journal Jahrgang 1878 Band 227 S.250-265 Ueber die Untersuchung der Rauchgase Ferdinand Fischer
40. Abbildung und Beschreibung der Locomotive-Maschine Edmund Heusinger von Waldegg Wiesbaden 1858 Verlag Kreidel und Niedner Wiesbaden
41. Polytechnisches Journal Jahrgang 1851, Band 121 Beschreibung von Metallmanometer welches ohne Anwendung von Quecksilber den Dampfdruck im Kessel anzeigt E.Bourdon, Paris
42. Polytechnisches Journal Jahrgang 1828 Band 29, NR.XXXIII Seite 115-121 Ueber künstliches Ausbrüten des Geflügels in Oefen,welche mit warmem Wasser geheizt werden... Bonnemain
43. Polytechnisches Journal Jahrgang 1852, Band 126, Nr.XXXV ( S.193-196) Ueber ein neues Relais von M.Hipp, Vorsteher der eidgenössischen Telegraphen-Werkstätte in Bern
44. Polytechnisches Journal Jahrgang 1875 Band 217 (S.291-297) C.W.Siemens Elektrisches Pyrometer
45. Polytechnisches Journal Jahrgang 1873 Band 209 (S.419-424) LXXII Das elektrische Pyrometer von Dr.L.W.Siemens in London
46. Polytechnisches Journal Jahrgang 1828 Band 29 Nr.CXIX (S.416-417) Daniell's Pyrometer

47. Polytechnisches Journal Jahrgang 1865 Band 177Nr. XIX, (S.85-116) Ueber thermoelektrische Pyrometrie von C.Schinz
48. Polytechnisches Journal Jahrgang 1917 Band 332, (S1-6) ( S.135-138 ) Fernthermometer Prof.Dr.Karl Scheel, Berlin
49. Polytechnisches Journal Jahrgang 1906 Band 321 (S. 698-700) Selbsttätige Temperaturregler Ing.W.Mehl Dresden
50. Polytechnisches Journal Jahrgang 1917 Band 332, Elektrische Messgeräte für hohe Temperaturen G.Bauschulte Charlottenburg
51. Polytechnisches Journal Jahrgang 1912 Band 327 S.775 Selbsttätige Wasserversorgung A.Schacht Berlin
52. Polytechnisches Journal Jahrgang 1916 Band 331 S.331-341 Feuerungskontrolle mittels selbsttätig arbeitender Rauchgasprüfer
53. Polytechnisches Journal Jahrgang 1917 Band 332 S.69-71 Elektrische Temperaturkontrolle in Dampfkesselbetrieben
54. Polytechnisches Journal Jahrgang 1921 Band 336. S.323-325 Ein neues Messgerät für hohe Temperaturen : das Ardometer (Siemens) G.Quaink
55. Polytechnisches Journal Jahrgang 1923, Band 338, S.141-145 Elektrische Messgeräte für Dampfbetriebe G.Quaink
56. Polytechnisches Journal Jahrgang 1923, Band 338, S.109-110 Ein neues Gerät für den Kohlenoxyd Gehalt in Rauchgasen ( Siemens & Halske )
57. Polytechnisches Journal Jahrgang 1922, Band 337, S.197 Ein elektrisches Betriebs-Messgerät für den Kohlenäuregehalt von Rauchgasen. G.Quaink
58. Polytechnisches Journal Jahrgang 1931 Band 346 S.47-50 Neuheiten der Siemens&Halske AG auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1931
59. Polytechnisches Journal Jahrgang 1910, Band 325, S. 4-7 Der Reguliervorgang beim direkt gesteuerten hydrostatischen Turbinenregulator Dipl-Ing.Heinrich Haake
60. Polytechnisches Journal Jahrgang 1911, Band 326, S.458-462 Der heutige Stand im Dampfmaschinenbau Ing.Dr Meuth, Stuttgart
61. Polytechnisches Journal Jahrgang 1901 Band 316 S.373 Elektrische Regulatoren für Dampfmaschinen Fr. Freytag Chemnitz
62. Polytechnisches Journal Jahrgang 1905 Band 320 S.115-117 Die Steuerungen der Ventildampfmaschinen Prof. Straube Karlsruhe
63. Polytechnisches Journal Jahrgang 1900 Band 315 S.729-732 Ein neuer Blattfederregulator Wilhelm Proell
64. Polytechnisches Journal Jahrgang 1859 Band 154 S.1-3 Dampfhammer mit einer durch Elektromagnete bewegten Steuerung C.Kesslerin Greifswald, patentiert für das Königreich Hannover am 26.3.1859
65. Polytechnisches Journal Jahrgang 1869 Band 194 Nr.: XXV. ( S.93-96) Ueber die Folgen des Bruches der Schwungradwelle einer Dampfmaschine von Prof.Dr.Fr.Hlawatschek
66. Polytechnische Journal Jahrgang 1869, Band 192 S.256-257 Die Siemens'sche dynamoelektrische Maschine
67. Polytechnisches Journal Jahrgang 1839, Band 72 S.221-222 Ueber Prof. Morse elektromagnetische Telegraphen
68. Polytechnisches Journal Jahrgang 1831 S.247-248 Albert's verbesserte elektromagnetische Batterien

69. Polytechnisches Journal Jahrgang 1846 Band 99, S.48-55 Morse 's elektromagnetischer Telegraph.
70. Polytechnisches Journal Jahrgang 1854 Band 134, S.243-248 Beschreibung der Apparate zu Wassermessung von Taylor und Siemens Benjamin Fotherhill
71. Polytechnisches Journal Jahrgang 1854 Band 133, S.1-3 Beschreibung eines Kolbenmanometers als zuverlässiges Mittel zur Messung der Dämpfespannung in Dampfkesseln Fr. Marquard
72. Polytechnisches Pournal Jahrgang 1845 Band 97 S.401-406 Ueber das offene Manometer des Hr. Richard Referent: Le Chatelier
73. Polytechnisches Journal Jahrgang 1847 Band 103 S.321-324 Beschreibung eines kurzen Manometer mit offenem Rohre Referent: Galy Cazalat
74. Polytechnisches Journal Jahrgang 1849 Band 113 S.85-90 Das Schinz 'sche Dampfmanometer für Dampflocomotiven , Eisenbahn-Zeitung Nr.14 1849
75. Polytechnisches Journal Jahrgang 1849, Band 114, S.328-329 Wasserdruck-Regulator von Burges, Messinggiesser aus Glasgow
76. Polytechnisches Journal Jahrgang 1867 Band 185 S.350-356 Ueber Leroy und Durands Verbesserungen in der Stearinkerzen Fabrication insbesondere deren selbstthätiges elektrisches Pyrometer zur Regulierung der Temperatur des überhitzten Dampfes für die Destillation der Fettsäuren F.Moigno
77. Polytechnisches Journal Jahrgang 1877 Band 224 S.277-279 Manometer mit elektrischem Contact
78. Polytechnisches Journal Jahrgang 1923 Band 338 S.187-189 Wassermesser für industrielle Betriebe G.Quaink
79. Polytechnisches Journal Jahrgang 1930 Band 345 S.106-108 Neue Messgeräte zur Dampfkesselüberwachung Dipl.-Ing.J.Möller Frankfurt am Main, Deutschland
80. Polytechnisches Journal Jahrgang 1897, Band 303, S.82-88 Neue Regulatoren
81. Polytechnisches Journal Jahrgang 1909 Band 324 S.571-572 Neuere Temperaturregler mit eigenartiger Arbeitsquelle zur Einstellung des Heizventils Dipl.-Ing.Gwosdz
82. Polytechnisches Journal Jahrgang 1909 Band 324 S.813-816 Temperator
83. Polytechnisches Journal Jahrgang 1910 Band 325 S.702-704 Sebttätiger Speisewasserregler
84. Polytechnisches Journal Jahrgang 1867 Speiseregulator von C.L.M.Pinel Maschineningenieur in Rouen
85. Polytechnisches Journal Jahrgang 1888 Band 270, S.16-23 Die Regulatoren in der Elektrotechnik
86. Polytechnisches Journal Jahrgang 1913 Band: 328 S.620-624 Elektrischer Wasserstandsregler
87. Die Elektrizität, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in Industrie und Gewerbe Springer Berlin Heidelberg 1893 ISBN 98-362-2411-4
88. Der elektrische Lichtbogen bei Gleichstrom und Wechselstrom und seine Anwenungen Bethold Monasch J.Springer Verlag Berlin 1904
89. Polytechnisches Journal Jahrgang 1843 Band 88 S 48-51 Woolrich 's magnetoelektrische Rotationsmaschine zum Vergolden und Versilbern der Metalle
90. Polytechnisches Journal Jahrgang 1928, Band 343, S.77-81 Die elektrischen Kessel der Firma Gebrüder Sulzer AG Winterthur
91. Der Führer des Maschinisten E.F.Scholl Braunschweig 1848 Verlag Friedrich Vieweg & Sohn

92. Untersuchung der Dampferzeugungsanlagen auf ihre Wirtschaftlichkeit Paul Koch 1907 Verlag Dr Max Jänecke Hannover
93. Sampling and analyzing flue gases 1915 Bulletin 97 US Department of Interior Government Printing Office Washington USA
94. Jacquard Mechanism and Harness Mounting by Fred Bradbury 1912 , Langdale,Somerset Rd. Belfast UK
95. Technický průvodce Elektrotechnika 1.část ročník XXXI. (1926) Česká matice technická Praha, nakladatel F. Řivnáč v Praze v roce 1926
96. Österreichische Industriegeschichte I. Chaloupek, Legner 2003, Verlag Ueberreuther Wien
97. Polytechnisches Journal Jahrgang 1898 Band 307, S.17-21 Das Pyrometer (Hitzemesser) von le Chatelier
98. Furniere,Lagenhölzer und Tischlerplatten Prof.Ing-Dr Franz Kollmann Springer Verlag Berlin Heidelberg 1962
99. Lidi a lidičky Dr. Desiderius mladým Nakladatel Vladimír Žikeš Praze roku 1941
100. Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden – Besprechung allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen Dr Max Pettenkofer Verlag J.G.Goasche Buchhandlung München 1858
101. Geschichte der Jacquard-Machine Prof.Dr.Friedrich Kohl Chemnitz 1873, Verlag Nicolaische Verlags-Buchhandlung Berlin
102. The Economics of open Technology „ Fabrique Lyonnaise „ D.Foray, L.H.Perez Conference Paper Turin (Italy) 2000
103. Lokace: [www.measuringmoney.com](http://www.measuringmoney.com) 2017
104. Deutsche Gesellschaft für Eisenbahngeschichte - Aufbau und Technik der Dampflokomotiven [http:// dlok.dgeg.de](http://dlok.dgeg.de) 2017
- 105.Polytechnisches Journal Band 130, Jahrgang 1853 S.345-348 Dr Watson´s elektrische Lampe ( Practical Mechanic´s Journal 1853)
106. Polytechnisches Journal Band 236, Jahrgang 1880, S.420-424 Differentiallampe für getheiltes Licht
107. Polytechnisches Journal Band 243 Jahrgang 1882 S.426-421
108. Polytechnisches Journal Band 107 Jahrgang 1848 S.55-57 Ueber die Anwendung der magnetoelektrischen Maschine zum Versilbern und Vergolden der Metalle
109. Polytechnisches Journal Band 318 Jahrgang 1903 S.494 Anwendung elektrischer Motore in Ward Leonard – Schaltung zum Betrieb von Druckerpresse
110. Naval Ordnance and Gunnery Volume 1 1957 US Navy Manual Chapter 10
111. Human and Machine Feedback – Control and Computing before Cybernetics David A. Mindell John´s Hopkins University Press Baltimore London 2004 ISBN 0-8018-6869-5
112. Automations´s Finest Hour: Radar and System Integration in Word War II David A.Mindell

113. Transactions of ASME 64 (November 1942) page 759-768 Optimum Settings for Automatic Controllers J.G.Ziegler N.B.Nichols Rochester N.Y. USA
114. Sborník Rodným krajem – Vlastivědný sborník kraje Aloise Jiráska, Boženy Němcové a bratří Čapků č.48/2014 článek „Firma Václav Gaberle“ str. 27-29 Vlastivědný spolek při MKS Červený Kostelec
115. Ueber die Dynamik der selbsttätigen Verstärkungsregler, Karl Küpfmüller, Elektrische Nachrichtentechnik Vol.5 Nr.11 S.459-467 1928
116. Mechanische Analog-Computer für schwere Flak-Kanonen (1930-1945) André Masson, CH-4900 Langenthal, Schweiz 2005
117. A symbolic analysis of relay nad switching circuits by Claude Elwood Shannon MSc Thesis at MIT, Cambridge Mass. USA, 1937-1940
118. Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers Sadi Carnot (1824) übersetzt von W.Ostwald, Verlag W.Engelmann Leipzig 1892
119. Beiträge zur Geschichte der Technik Prof. Dr.Conrad Matschoss Verein Deutsche Ingenieure VDE 1921 Julius Springer Berlin
120. Dampfkessel-Speisepumpen Ing.Karl Grün Springer Verlag GmbH Wien 1934
121. Lectures de potentia restitutiva or of Spring – explaining the Power of Springing Bodies by Robert Hooke London 1678
122. Das neue Buch der Erfindungen in Gewerbe und Industrien Prof. Dr Birnbaum Springer Verlag Berlin Heidelberg 1877
123. SAMSON – peumatischer Messumformer für Druck Typ 3804-1 10/2015 Samson AG Mess- und Regeltechnik 60314 Frankfurt, Weissmüllerstr. 3
124. Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle Prof.Ing.-Dr. A.Gramberg Frakfurt am Main Springer Verlag Berlin Göttingen Heidelberg 1953
125. Messgeräte im Industriebetrieb G.Wünsch H.Rühle Springer Verlag Berlin 1936
126. Polytechnisches Journal Jahrgang 1931, Band 346 S.131-135 Elektrische Fernzählung grosser Dampf-, Wasser- und Gasmengen Dipl.Ing. Jul. Möller
127. Handbuch der Geschichte der Naturwissenschaften und Technik Prof.Dr Ludwig Darmstaedters Springer Verlag Berlin Heidelberg 1908
128. A History of Automatic Control C.C.Bissell Springer Handbook of Automation 2009, ISBN 978-3-540-78830-0
129. Bau und Betrieb der Dampfkessel Hermann Haeder Duisburg 1893 Verlag L. Schwann Duesseldorf
130. Katechismus der Elektrotechnik Theodor Schwartze Verlag J.J.Weber in Leipzig 1894

131. Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant ? Direct Effects of Low-to Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance U.Sathish Environmental Health Perspectives Volume 120, Number 12 December 2012
132. The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity P.Wargoocki International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, DK-2800 Kongens Lyngby Denmark 2002
133. Raumklima und Schülerleistung Prof.Ing-Dr. Klaus Sedlbauer IBP Fraunhofer Institut für Bauphysik
134. Aurel Stodola and his influence on the ETH and on Mechanical Engineering, Norbert Lang Abt. D-MATV/ETH Zürich, Schweiz 2014
135. Dampf- und Gas-Turbinen Prof. Dr Aurel Stodola 6.Auflage 1924 Springer Verlag Berlin-Heidelberg GmbH 1924
136. Mathematische Annalen Nr.46 1895 S.273-284 Adolf Hurwitz Ueber die Bedingungen unter welchen eine Gleichung nur Wurzeln mit negativen reellen Teilen besitzt
137. Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues Doc.Ing.Theodor Beck TH Darmstadt, Verlag Julius Springer Berlin 1900
138. International Symposium on History of Machines and Mechanisms Hong-Sen Yan, Marco Ceccarelli Springer Science & Business Media 2009
139. Der grosse Brockhaus – Handbuch des Wissens in zwanzig Bänden 15.Auflage F.A.Brockhaus 1932 Leipzig Deutschland
140. Automatické řízení – sylaby a aplikace Prof.Ing.Pavel Zítek, DrSc FSI ČVUT, Česká technika-nakladatelství ČVUT, Zikova ul. 4, Praha 6
141. Automatizace a automatizační technika III. Čtvrté vydání 2009, Computer Press a.s. Brno, Holandská ul.8 ISBN: 978-80-251-252-6
142. Professor Stodola's Contribution to Control Theory by Prof.Dr.Paul Profos ETH Zürich Journal of Dynamic Systems, measurement and Control June 1976
143. Handbuch der industriellen Messtechnik Prof.Dr. Paul Profos ETH Zürich, Prof.Dr.-Ing.Dr. Tilo Pfeifer R.Oldenbourg Verlag München 1994
144. Die Regelung der Kraftmaschinen Prof. Dr. Max Tolle 1905 Verlag Julius Springer Berlin
145. Prozessanalytik – Grundlagen und Praxis Dipl.-Phys.Günter Oesterle 1995 Verlag R.Oldenbourg München-Wien
146. Prof.Dr. Aurel B.Stodola Ueber die Regulierung von Turbinen Schweizerische Bauzeitung 5.Mai 1894 Nr.115
147. Introduction a la mécanique industrielle J.V.Poncelet Metz/Paris 1841

148. Aurel Stodola - Maschineningenieur Schweizerische Bauzeitung Band 121 Nr.7 13.2.1942
149. Sborník „Seminář uživatelů procesních počítačů v papírenském a chemickém průmyslu“ ČSVTS Litvínov 1977
150. Fox 1 Software PUB 264 7/1971 Foxboro Company, 33 Commercial Street, Massachusetts, USA
151. Fox 1 Bulletin L-33-10M 1/1971 Foxboro Company, 33 Commercial Street, Massachusetts, USA
152. Fox 2/30 Bulletin N-111/1972 Foxboro Company, 33 Commercial Street, Massachusetts, USA
153. Digital PDP 11 Variations on a Theme 1977 Digital Equipment Corporation Maynard, Massachusetts, USA
154. Industrial PCs for the Digital Factory 2017 Publication Nr. DFFA-B10291-01-7600 Siemens AG, Nürnberg, Gleiwitzer Str. 555, Germany
155. Catalog ST70 2017 Products for Totally Integrated Automation E86060-K4670-A101-B6-7600 Siemens AG, Nürnberg, Gleiwitzer Str.555, Germany
156. Fahrzeugkühlung – komplettes Wissen für die Werkstatt 2005 Publikation HELLA KGaA&Co Hueck&Co D-59552 Lippstadt, Rickbecher Str.75 / Germany
157. BMW Service-Produktinformation Kühlung Publ.: VS-12 Aftersales Training 2005 München/Germany
158. LuK Kolloquium 2002, LuK GmbH, Industriestr. 3, Bühl/Baden Germany
159. A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection William Hyde Wollaston Philosophical Transaction of the Royal Society Vol.92, p. 365-380 London 1802
160. Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten Joseph Fraunhofer 1814-1815 Verlag Wilhelm Engelmann Leipzig 1905
161. Úkol technického rozvoje TR734 - OA POLDI Kladno Automatický vývoj programů pro CNC stroje SJV Poldi II Kladno-Dříň J.Fischer,J.Hubka,J.Pokorný Kladno 1987/1988
162. Beschreibung und Nutzung Panzer T54/T54A NVA A05/03/103 2017 [www.kotsch88.de](http://www.kotsch88.de)
163. Výňatky z předpisu ČSLA Tank-21-4 Technický popis T55 Praha 1968
164. Polytechnisches Journal Jahrgang 1896 Neuerungen auf dem Gebiete der Eis-und Kühlmaschinen von Prof. Alois Schwarz in Mährisch-Ostrau
165. Elektrotechnika v českých zemích a v Československu do poloviny 20.století – Studie k vývoji elektrotechnických oborů Prof.PhDr Marcela C.Efmertová Nakladatelství Libri v roce 1999, Hořejší nám,17, 15000 Praha 5 ISBN80-85983-99-0
166. Pokročilé metody řízení procesů Doc.Ing.Jiří Macháček,CSc Univerzita Pardubice 2015 ISBN 978-80-7395-937-1

167. Elektřina na dlani – kapitoly z historie elektrotechniky v českých zemích Jan Mikeš Marcela Efmertová Nakladatelství MILPO MEDIA sro v Praze 5, Husinecká ul. 29 roku 2008 ISBN 978-80-87040-08-9
168. Smithonian Annals of Flight Nr.8 / 1971 Washington, USA
169. Synchro/Resolver Conversion Handbook Data Device Corporation, 105 Wilbur Place, Bohemia , New York, USA 2017
170. AMCI Resolver Handbook, 20 Gear Drive, Terryville, CT, USA 2017
171. From Classical to Modern Chemistry – The Instrumental Revolution Peter J.T.Morris Science Museum London UK 2002 ISBN 0-85404-479-5
172. Directional Stability of Automatic Steered Bodies by N.Minorsky Journal of American Society of Naval Engineers Nr.34 1922 p. 280-309
173. US Patent 1.730.951 Automatic steering for dirigible craft by E.A.Sperry podán dne 7.7.1922, zveřejněn 1929
174. US Patent 1.436.280 podán 2.11.1918 zveřejněn 21.11.1922 Automatic Steering device by N.Minorsky
175. US Patent 1.418.335 Automatic pilot for airplanes by E.A.Sperry podán 19.11.1918, zveřejněn dne 6.6.1922
176. A Manual of Naval Architecture for use of officers of the Royal Navy by Sir Willam Henry White 1900 John Murray London UK
177. Osobnosti české elektrotechniky Marcela C. Efmertová, nakladatelství ČVUT v Praze 1998 ISBN 80-01-01758-3
178. Toulky českou minulostí - Kapitoly o technice a podnikání, Petr Hora-Hořejš nakladatelství Via facti v Praze roku 2000, ISBN 80-238-570902
179. Grosse Dampfkraftwerke Ing.Dr h.c. Karl Schröder Springer Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1968
180. The Whitehead Torpedo U.S.Navy MARK I,II,II general Description Naval Torpedo Station 1898
181. Théorie des machines simples par C.A.Coulomb Paris, Bauchelier, Libraire, Quai des Augustines, 1821
182. Le servo-moteur ou moteur asservi par Joseph Farcot 1873 J.Baudry libraire-editeur, Rue des Saints Peres 15, Paris,France
183. Der Civilingenieur ed. E.Hatig Band XXIII. 1877 Verlag A.Felix Leipzig Wischengradski : Ueber direkt wirkende Regulatoren Seite 92-132
184. The Origins of Feedback Control Otto Mayr 1970 MIT Press Cambridge, Massachussets, USA

185. ANOVA Precision Cooker WiFi User Manual 2017 Anova Applied Electronics Inc, San Francisco, California, USA
186. Die Dampfturbinen Prof.Dr. Aurel Stodola 1910 Julius Springer Verlag Berlin
187. Atlas zu dem Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik, Dritter Band , Der Locomotivbau Edmund Heusinger von Waldegg 1882 Verlag Wilhelm Engelmann Leipzig
188. Lives of the Engineers by Samuel Smiles 1862 nakl. John Muray, Albemarle Street, London, U.K.
189. War-Ships by Edward L. Attwood 1904 Longmans,Green and Company, 39 Paternoster Row, London, New York Bombay
190. Cybernetics by Norbert Wiener, second edition 1948,1961 The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA ISBN 0-262-23007-0
191. Ueber Luft in den Schulen und ueber Ermittlung der Grenze zwischen guter und schlechter Zimmerluft Prof. Dr. Max Pettenkofer, München
192. Old Brass Brains (Mechanical prediction of tides) by Todd Ehret page 41-44 ACSM Bulletin June 2009
193. British Mechanical Gunnery Computers by Allan G.Bromley in 1984 Technical Report 223 University of Sidney, Australia
194. Polytechnisches Journal 1869 Nr.XLVI. S. 198-201 Henry Darapsky Ueber den Lupis-Whiteheadschen Propeller-Torpedo (K.K.Fregatten-Capitain Lupis, Ingenieur Robert Whitehead )
195. Polytechnisches Journal 1884 Krizik's elektrische Bogenlampe Band 251 S.68-69
196. Polytechnisches Journal 1882 Band 243 S.426-431 Die elektrische Beleuchtung auf der Ausstellung für Elektrizität in Paris 1881
197. Polytechnisches Journal 1857 Band 145 Nr.39 Seite 161-165 Der Great-Eastern-Dampfschiff von 22.000 Tonnen und für 10.000 Personen, erbaut von Hr.Brunel
198. Polytechnisches Journal 1852 Band 124, S.153-154 Das Foucault'sche Pendel
199. Kronika Zděnka Hubková , Svazek 3 , časové období 1939-1945, strany 933-935
200. Lokace [www.vytopnajaromer.cz](http://www.vytopnajaromer.cz) exponát NTM - Národního technického muzea v Praze , Lokomotivka Georg Sigl Wiener Neustadt , Lokomotiva „Conrad Vorlauf“ 2017
201. A Brief History of Automatic Control by Stuart Bennett IEEE Control Systems June 1996
202. Co daly naše země Evropě a lidstvu - Sborník, SFINX, Bohumil Janda, Praha 1940
203. Das 200-jährige Jubiläum der Dampfmaschine 1706-1906 Kurt Hering, Verlag B.G.Teubner Leipzig 1907
204. Guide to Realisation of the ITS-90 , BIMP Paris 8.12.2015

205. Handbuch der Weberei (Weben,Wirken,Flechten) von Prof. Ernst Müller, Hannover, Verlag Baumgärtner 1896 Leipzig

206. Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik, Edmund Heusinger von Waldegg 1878 Verlag Wilhelm Engelmann Leipzig

207. Die Betriebskontrolle in der Zellstoff - und Papierindustrie von Dr C.G.Schwalbe , Ing.-Dr R.Sieber, 1922 , Verlag Julius Springer Berlin

208. James Watt und die Grundlagen des modernen Dampfmaschinenbaues Prof. Dr Ad. Ernst, TH Stuttgart 1897 Verlag Julius Springer Berlin

209 .Memorial to N.Minorsky by I.Flügge-Lotz , IEEE AC-16 4-AUG-1971

210. Nicolas Minorsky and Automatic Steering of Ships by Steve Bennett IEEE November 1984

211. Anti-Aircraft Fire Control and the Development of Integrated Systems at Sperry 1925-1940 by David A.Mindell, IEEE Control Systems April 1995

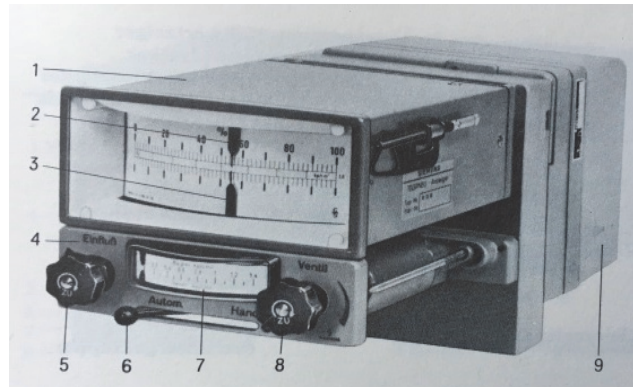
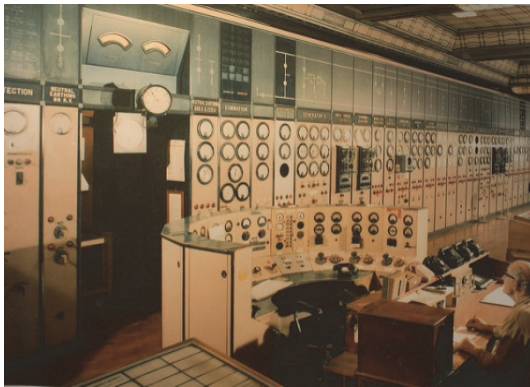
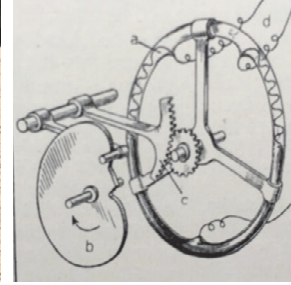
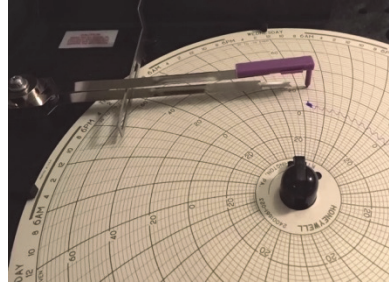
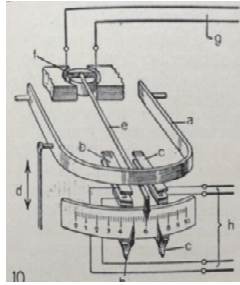
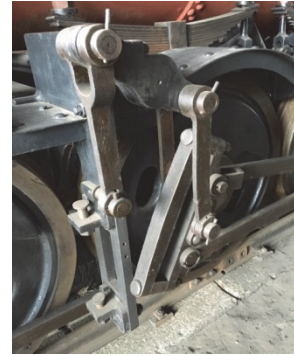
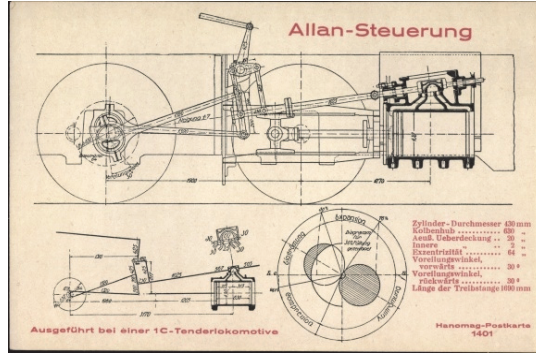
212. Dreadnought Gunnery and the Battle of Jutland – The Question of Fire Control by Dr John Brooks 2005, Routledge, 270 Madison Ave, New Yourk, N.Y 10016 USA ISBN: 0-203-31620-7

213. Eugéne Bourdon and the evolution of the manometer by Simón Reif-Ackerman Revista Brasileira de Ensino de Fisica Vol.32, Nr.1 March 2010

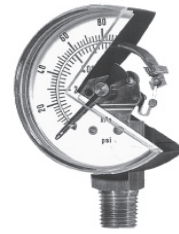
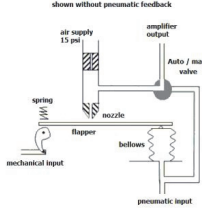
214. Regulační technika v příkladech Jiří Roubal, Petr Hušek a kolektiv 2011 Nakladelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10 ISBN 978-80-7300-260-2 (tištěná kniha)

215. Automatické řízení – učební text, Osvald Modrlák, Lukáš Hubka 2012, Technická univerzita v Liberci, Tiskárna Vysokoškolský podnik Liberec s.r.o, Hálkovba ul. 6, Liberec č. publikace 55-030-12 ISBN 978-80-7372-850-2

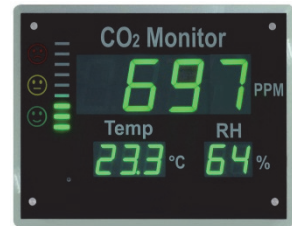
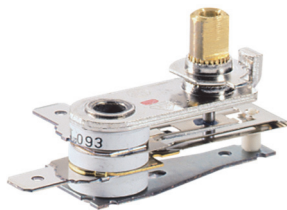
216. Tajuplný ostrov Jules Verne SNDK Praha 1960



The flapper-nozzle analogue pneumatic amplifier shows without pneumatic feedback



**FOX 1**  
A new and advanced  
computer system  
for  
plant monitoring  
and  
process control



SE-0117

