

Dějiny vědy a techniky II – komentáře (JS 2021)

Pozn.: Soubory obrázkových prezentací (.ppt) jsou označeny v záhlaví jako „DVT_II_...“, komentáře a vysvětlující poznámky k jednotlivým snímkům jsou pro lepší orientaci označeny čísly v závorkách za zvýrazněnými názvy odstavců.

DVT_II_6 (6. Strojírenství a obrábění kovů – prezentace 6)

6.1 – Přírodní zdroje energie (snímek 2), zejména voda nebo vítr, byly až do začátku průmyslové revoluce jediné prakticky využitelné síly k pohonu všech zařízení (mlýny, hamry, pily, stoupy atd.). Je ovšem zřejmé, že z dříve uvedených důvodů přestávaly rostoucím nárokům tovární výroby stačit a vyhovovat. Člověk se spoléhal na přírodu, neboť výkon závisel v obou případech na okolnostech, které nemohl ovlivnit. U větru nemohl dělat vůbec nic, pouze velikost zařízení se dala přizpůsobit daným podmínkám. Vodu uměl přivést na místo potřeby pomocí náhonů, kanálů a štol, nebo ji zadržet (akumulovat) v uměle vybudovaných nádržích (tajchy). Takový postup byl nicméně nákladný, zdoluhavý a nespolehlivý.

Proto bylo nezbytné a zcela přirozené, že se vzdělání vědci i praktičtí odborníci snažili nejen zdokonalovat dosavadní pohonná zařízení, ale také vynalézat, sestavovat a zkoušet hnací stroje, které by lépe vyhověly novým potřebám. Vzhledem ke staletým zkušenostem stála samozřejmě na prvním místě energie vody. S filosofií uplatnění vědeckých poznatků souvisí skutečnost, že se na tomto vývoji podíleli učenci, které dobře známe z dějin přírodních věd, zejména matematiky, geometrie nebo fyziky. Na zdokonalení klasického vodního kola tak pracovali např. D. Bernoulli nebo L. Euler. Se jménem J. A. Segnera je spojena reakční vodní turbína, která má přímou souvislost s pokusy o využití reakčních účinků páry už ve starověku (Herónova baňka) nebo v raném novověku (Newtonův parní vozík).

Kromě vodního pohonu různých strojů, továrních zařízení nebo celých průmyslových podniků se vodní síly používalo rovněž k čerpání samotné vody. O vodosloupcových strojích J. K. Hella byla řeč výše. Ty využívaly tlakové vody jako hnacího média působícího na píst, takže přeměňovaly polohovou energii vody na mechanickou práci (pohon čerpadel). Zasluhou J. M. Montgolfiera (mj. jednoho z průkopníků balónového létání) byl na samém konci 18. století sestrojen tzv. trkač, bezpístová pumpa využívající pouze tlaku čerpané vody. J. K. Hell inspirovaný zmíněným Herónem ovšem v polovině 18. století zkonstruoval také „vzdušné“ čerpadlo důlních vod, které pracovalo na principu rozdílu mezi přetlakem páry vháněné do uzavřené nádoby a podtlakem, který vzniká při její kondenzaci po vstříknutí studené vody. Důležitým pomocníkem je tu opět normální atmosférický tlak.

Nespornou výhodou podobných „bezpístových“ zařízení je konstrukční jednoduchost bez pohyblivých mechanických součástí (s výjimkou přepouštěcích kohoutů či ventilů). Jejich nevýhoda spočívala naopak v tom, že využití atmosférického tlaku omezovalo výšku, do které bylo možno vodu vytlačit, na necelých 10 metrů. To samozřejmě značně komplikovalo čerpání vody z dolů, jejichž hloubky běžně dosahovaly desítek až stovek metrů. Navíc nepostačoval ani výkon těchto zařízení, takže vývoj přirozeně směřoval ke konstrukci nezávislých mechanických strojů, které by mohly pohánět pístové pumpy nebo jiné pracovní stroje.

6.2 – Hnací a pracovní stroje (snímky 3 a 4) byly předmětem výzkumu a vývoje většiny předních vědců 17. a 18. století, jako byli I. Newton, Ch. Huygens nebo D. Papin. Tomu se už koncem 17. století podařilo sestrojit odstředivé čerpadlo, tedy rotační stroj (bez posuvného pístu). Ten ovšem vyžadoval odpovídající pohon, který v té době ještě nebyl k dispozici. Proto se Papin, podobně jako třeba T. Savery, současně věnoval konstrukci bezpístových čerpadel, jimž se tehdy říkalo „ohňové stroje“. Kýženého účinku se tu dosahovalo střídavým vháněním páry (přetlak) a studené vody (podtlak) do dvou oddělených nádob se soustavou přepouštěcích ventilů. Kromě odčerpávání důlních vod se ohňových strojů používalo rovněž k napájení fontán v zámeckých zahradách, jak toho využil ruský car Petr Veliký (srv. s gigantickým vodním dílem v Marly pro zámek Versailles).

Nicméně i s pomocí „primitivních“ vodních kol bylo možné přecházet od dosavadní manufaktury ke strojní výrobě v továrnách. Přestože se to zpočátku týkalo hlavně textilního průmyslu, zvýšená potřeba pracovních strojů si brzy vyžádala jejich specializovanou výrobu ve zvláštních podnicích. První dílny tohoto druhu – strojírný – tak často vznikaly při stávajících textilních továrnách. Platilo to nejen v rozvinuté Anglii či Francii, ale také u nás (Liberec, Brno, Praha). Vodní síla už pro pohon těchto podniků nestačila, obrovské, nákladné a těžkopádné atmosférické stroje se rovněž nehodily. Skutečný pokrok by mohl přinést pouze mechanický parní stroj, který by byl kromě čerpání vody schopen pohánět rovněž obráběcí či pracovní stroje a další zařízení.

Tyto požadavky naplnil teprve dvojčinný parní stroj se všemi zdokonaleními J. Watta, k nimž došlo v posledních třech desetiletích 18. století. Průmyslová revoluce tak nastala ve Velké Británii po roce 1780 a trvala zhruba do půlky následujícího století. Díky Wattovu parnímu stroji, který se stal všeobecně použitelným hnacím motorem, začaly koncem 18. století a hlavně po roce 1800 také vznikat specializované strojírný (Boulton&Watt, Murray, Maudslay), jež dokázaly vyrábět hnací i pracovní stroje na odpovídající úrovni a za přiměřené náklady. V českých zemích, které byly pevnou součástí habsburské monarchie, rámuje období průmyslové revoluce zpravidla roky 1800, kdy vypršela platnost omezujících patentů J. Watta, a 1873, neboť tehdy nastala velká hospodářská krize jako následek krachu na vídeňské burze.

6.3 – Obráběcí a zvláštní stroje (snímek 5) mají nezastupitelnou úlohu při zpracování kovových (příp. dřevěných) součástí v rámci tovární výroby. Právě přesné, tzv. třískové obrábění kovů (vrtání, řezání, hoblování nebo broušení) bylo předpokladem správné funkce a dostatečné účinnosti parních strojů jako hnacích motorů, resp. pracovních strojů jako prostředků k zajištění dokonalého výrobního procesu. Také s vývojem na tomto poli jsou spojena známá jména: J. Smeaton nebo J. Wilkinson pracovali na zdokonalení vyvrtávačky pracovních válců atmosférických, resp. dvojčinných parních strojů. Je smutnou, avšak pochopitelnou skutečností, že jejich snaha souvisela s vrtáním dělových hlavních pro vojenské účely. Výroba zbraní byla ostatně jednou z prvních náplní hromadné tovární výroby v Evropě i v Americe.

Stejně jako pro práci se dřevem v truhlářské výrobě je při obrábění kovů ve strojírenství nezbytný soustruh. Na jeho vývoji a úpravách pro tyto účely se podílel např. H. Maudslay. Kromě přechodu od dřevěné ke kovové konstrukci spočívá hlavní Maudslayův přínos v tom, že opatřil soustruh tzv. suportem, který umožnil bezpečné upevnění a přesné vedení rezného nástroje v podélném i příčném směru. Úprava soustruhu pro řezání závitů přispěla k usnadnění masové výroby spojovacího materiálu se závitem (šroub, matka, svorník), který dosud používáme. Vedle třískového obrábění se ovšem vždycky užívalo také tváření kováním, jehož hlavní předností je zhutnění materiálu pro dosažení větší pevnosti a zároveň pružnosti. Také k pohonu obráběcích strojů nebo kovací kladiv (bucharů) se brzy začalo používat parních strojů.

Jiným typickým a současně velmi účelným příkladem využití fyzikálních poznatků ve výrobní praxi je hydraulický lis, který představil J. Bramah na konci 18. století. Konkrétně jde o uplatnění experimentálně ověřeného zjištění, že v kapalinách se tlak šíří všemi směry stejně. Za pomoci dvou válců s písty o nestejném průměru a zdvihu tak můžeme dosáhnout značného tlaku, ať už pomocí ručního nebo strojního pohonu. Lisováním se potom dají za tepla i za studena tvarovat nejrůznější výrobky, upevňovat pastorky na hřídele nebo třeba natahovat obruče na kola železničních vozidel. Také Bramahova vynálezu dodnes využíváme při konstrukci všech strojů s hydraulickým ovládáním nebo pohonem.

6.4 – Tepelné motory (snímky 6–10), k nimž vedle parních strojů patří také motory spalovací nebo výbušné, se vyvíjely prakticky ve stejné době a také se na tom podílely stejné osoby (mj. Huygens, Papin). Princip činnosti tepelného motoru spočívá v působení hnacího média na píst v uzavřeném prostoru za zvýšeného tlaku a teploty. Zatímco u parního stroje (atmosférického nebo dvojčinného) se pára vyvíjí ve zvláštním, odděleném kotli, u spalovacího motoru vzniká hnací médium hořením palivové směsi (střelný prach, líh, plyn) přímo v prostoru pracovního válce. Oba způsoby mají své výhody i nevýhody, což vedlo k využití různých typů hnacích strojů podle konkrétního účelu, požadovaných vlastností nebo možností provozovatele.

Vzhledem k tehdejší úrovni technologie, dostupnosti potřebného paliva (dřevo, uhlí) a způsobu získávání hnacího média dosáhl provozní způsobilosti jako první jednočinný atmosférický parní stroj. Myšlenku využití síly páry ve válci s pístem dovedl k praktickému využití D. Papin pravděpodobně během své spolupráce s R. Boylem na půdě Královské společnosti v Londýně. Závěry publikoval ve spisu *Acta eruditorum* (Lipsko, 1690). Na jejich základě zhotovil nejdřív model a posléze skutečný, spíše pokusný atmosférický stroj, kterým čerpal vodu z hesenského dolu (1706). Papinova pokusu se chopil T. Newcomen a zakrátko se mu podařilo postavit funkční, spolehlivý a tedy prakticky použitelný parní stroj v anglickém hrabství West Midlands (1712). Sloužil pochopitelně opět k vyčerpání vody ze zatopeného dolu.

V souvislosti s rozvojem tovární výroby pozorujeme samozřejmě trvalou snahu o využití parní síly pro pohon strojů a dalších průmyslových zařízení. Kromě důlních závodů (těžba uhlí a rud, čerpání vody) se jednalo především o hutě nebo strojírný. Vědci, inženýři i provozovatelé podniků usilovali v první řadě o zdokonalení těžkopádného atmosférického parního stroje odstraněním jeho četných výše zmíněných nevýhod. Šlo zejména o hospodárnější provoz, zmenšení rozměrů, zvýšení výkonu a spolehlivosti. Ruský mechanik Polzunov sledoval svou konstrukcí dvouválcového atmosférického stroje rovnoměrnější chod nezbytný k pohonu vysokopecních dmychadel. Výše zmíněný J. Smeaton využil ke zdokonalení tohoto stroje výpočtů založených na vědeckých poznatcích.

Rovněž slavný James Watt pracoval jako strojník při obsluze vahadlových strojů na dolech. Jeho zásadní zásluha spočívá v tom, že provedl podstatné úpravy Newcomenova atmosférického stroje. Ve snaze zlepšit tepelný režim, a tím dosáhnout větší hospodárnosti provozu, oddělil proces kondenzace a přesunul jej z pracovního válce do zvláštního zařízení – kondenzátoru, v němž vytvářela podtlak vývěva poháněná od vahadla. Navíc přidal tepelnou izolaci válce, jehož dvojitým pláštěm procházela vstupní pára. Dalším významným krokem byla stavba dvojčinného jednoválcového stroje, který vykazoval pravidelnější chod. Nicméně i zdokonalené Wattovy parní stroje – jak jednočinné, tak dvojčinné – měly vahadlo. Za pozornost stojí skutečnost, že převod přímočarého pohybu pístu na rotační musel Watt řešit např. planetovým soukolím nebo složitou pákovou soustavou, protože klikový mechanismus chránil do roku 1800 patent francouzského mechanika Pickarda.

Zároveň je však třeba dodat, že také samotný Watt blokoval řadou patentů platných do roku 1800 úsilí svých spolupracovníků i dalších techniků o rychlejší vývoj parního stroje a jeho využití. Týkalo se to např. uplatnění parního pohonu v dopravě, neboť si nechal patentovat mj. parní vůz, aniž by se jeho vývojem někdy zabýval. Skutečně masivní rozvoj výroby parních strojů proto nastal až na začátku 19. století. Rozhodujícím faktorem byly tzv. vysokotlaké stroje, u kterých přetlak páry mnohokrát převýšil normální atmosférický tlak. V Anglii se jejich konstrukcí zabýval R. Trevithick, v Americe pak O. Evans. Vedle vlastní pracovní části strojů (válec, píst, převodový mechanismus) se zlepšení týkala i pomocných zařízení, jako byly parní kotle (skříňové, plamencové, vodotrubné), kotelní armatury (tlakoměry, vodoznaky, pojistné ventily) nebo rozvody páry (kohoutové, šoupátkové, ventilové).

6.5 – Doprava a dopravní stavby (snímky 11–16) zůstávají jedním ze základních předpokladů rozvoje průmyslu (surovinové zdroje) i obchodu (výměna zboží). Vývoj se při tom zaměřoval dvěma směry: šlo jednak o rozvoj různých druhů dopravy (pozemní, vodní, vzdušná), resp. s tím spojené budování dopravních cest (silnice, kanály, později železnice), a pak o využití parní síly k pohonu dopravních prostředků (parní vůz, parolod, balón a posléze také lokomotiva). Pozemní (silniční) doprava byla sice nejjednodušší, ale zejména s ohledem na přepravu materiálů a zboží nabízela jen malou kapacitu. Daleko výkonnější byla v tomto směru doprava vodní, ať námořní nebo říční, která se také mohla opírat o staleté zkušenosti. Problémem vnitrozemské dopravy byla poměrně řídká síť, nevyhovující poloha či nedostatečná splavnost toků.

Řešením se stalo budování kanálů (průplavů) mezi jednotlivými řekami, vodními plochami (jezera, moře) nebo mezi místy výroby a spotřeby (typicky uhlí do továren či výrobky k dalšímu zpracování a využití). Došlo k tomu v 17. a hlavně 18. století v hospodářsky vyspělých zemích (Británie, Francie) a stavitelé se neobešli bez technicky náročných inženýrských děl při překonávání terénních překážek, resp. výškových rozdílů. Samotná plavební dráha probíhala zpravidla v rovině a vyžadovala

kromě velkého objemu zemních prací především kvalitní utěsnění koryta pomocí jílu či kamenného obkladu. K vyrovnání výškových rozdílů složila tzv. zdymadla (plavební komory), často jejich soustavy čítající i desítky stupňů, samozřejmě s ruční obsluhou. Kvůli překonávání členitějšího terénu (silnice, vodní toky, údolí, hory, skály) se budovaly tzv. akvadukty (s dřevěným, později plechovým korytem), resp. tunely, které razili horníci převážně za použití ručního náradí, příp. pomocí střílného prachu (Malpas, 1679).

Vzhledem k tehdejším technickým možnostem byly rozměry těchto vodních cest omezené: hloubka kolem 1,5 m, šířka plavební dráhy, zejména ve zdymadlech nebo na akvaduktech, do 2 m. To přirozeně omezovalo také rozměry používaných plavidel, nicméně dřevěné a později plechové čluny tažené zpravidla koňmi měly nosnost desítek tun, což se nedalo srovnat se silniční dopravou. Pokud konkrétní vodní cesta umožňovala stavbu rozměrnějších a tím také kapacitnějších plavidel, nepostačil už jejich pohon plachtami, vesly nebo zvířaty. Je tedy samozřejmé, že se konstruktéři snažili využít k pohonu lodí parní síly, přičemž usilovali o zmenšení parního stroje (kotle) při současném zachování potřebného výkonu. Další problém znamenal přenos hnací síly do vody. Nabízelo se hlavně koleso (převrácený princip vodního kola, J. Hull, 1736), příp. vrtulové kolo (lodní šroub, Bernoulli, 1752) vycházející ze známého Archimédova šroubu. Ojedinele se setkáme také s parním pohonem vesel (Fitch, 1785) nebo pokusy o tryskový pohon (Ramsey, 1793), ten je však mnohem náročnější na provozní otáčky i celkový výkon zařízení.

Pozemní přeprava se koncem 18. století začala přesouvat ze silnice na perspektivnější železnici. Počátky kolejové dopravy můžeme pozorovat v dolech nejpozději od raného novověku. Hlavním účelem zřizování speciálně upravených cest (kolejí) bylo usnadnění dopravy naložených důlních vozíků (huntů), příp. zvýšení hmotnosti a objemu vytěženého materiálu. Konstrukce kolejí spočívala zpravidla v kladení podélných tyčí nebo trámů, později kvůli zpevnění pobíjených železnými pásy. Pro otáčení huntů sloužily plechové plotny. Pohon vozíků byl většinou ruční, při dostatečném profilu štol zvířecí. Síla tažných zvířat se uplatnila také při šikmé dopravě materiálu na tzv. svážnicích nebo při svislé dopravě v šachtách (žentour). Pokud to umožnily přírodní podmínky (blízkost toků, dostatek vody), bylo možno využít k pohonu navijecích bubnů vodního kola (Frolov, kol. 1765).

Kolejové dráhy se postupně začaly budovat rovněž v rámci jiných průmyslových provozů (typicky hutí), resp. k přepravě uhlí a surovin mezi doly a továrnami. Konstrukce a trvanlivost železnic závisela na pokrocích v technologickém vývoji. Použití pásového železa a plechu předpokládalo přítomnost válcoven, pozdější litinové kolejnice pak vyžadovaly patřičně výkonné slévárny (Whiteheaven, 1738). Proto se také budování kolejových drah zpravidla omezovalo na průmyslové účely, ačkoli se jejich délka mnohdy měřila na kilometry (míle). Další nevýhoda spočívala v tom, že parní stroj nedospěl v průběhu 18. století do takové úrovně, aby se dal použít k pohonu železničních vozidel. Vedle zmíněné lodní dopravy tak došlo k využití páry v pozemní dopravě jen zcela ojedinele.

Jistých úspěchů dosáhl pouze francouzský inženýr N. J. Cugnot, který v letech 1769–1772 (i přes omezující Wattovy patenty) postavil dva hřmotné silniční parní vozy pro vojenské účely – měly tahat kanóny. Konstrukce těchto parovozů je dobře známa: dřevěný rám, říditelné přední kolo neslo měděný kotel a dvouválcový atmosférický(!) parní stroj. Celý kolos byl obtížně ovladatelný a k jízdě po silnici se příliš nehodil. Důkazem toho budiž nehoda, při níž jeden vůz narazil do zdi, čímž byl veškerý vývoj rázně ukončen. Přesto můžeme jeden z originálů dodnes obdivovat v pařížském muzeu. Jinak se pokusy o mechanický pohon v silniční dopravě zpravidla omezily na stavbu modelů parních vozů, na nichž se zkoumala dostupná technická řešení (W. Murdock, 1784).

Poslední oblastí, kam se ve druhé polovině 18. století zaměřila pozornost vědců i dobrodruhů, byly snahy o ovládnutí vzduchu. Kromě přirozené touhy po létání, dosud nepoznaném a snad i po slávě musíme vzít v úvahu praktický význam vzdušné dopravy: neomezený prostor umožňuje provoz všemi směry, který vyžaduje pouze malou plochu upravenou pro vzlet a přistání. Na druhé straně jsou tu ovšem četné nevýhody: vysoké nároky na technické řešení při konstrukci létajících strojů, podstatné omezení rozměrů i hmotnosti přepravovaných nákladů (zejména v počátcích) a v neposlední řadě závislost na směru větru, kterou se podařilo odstranit až vynálezem říditelných vzducholodí, resp. letadel těžších vzduchu. Pominout nelze ani značné nebezpečí při nehodě.

Nicméně je zřejmé, že pro úspěšné sestrojení létajících strojů lehčích než vzduch byly rozhodující vědecké poznatky i technická vyspělost jejich konstruktérů. Bylo potřeba vyrobit dostatečně pevný a těsný plášť, který by udržel plyn a unesl zátěž (impregnovaný papír, resp. plátno). Nezbytným předpokladem byla také znalost fyzikálních zákonitostí z oboru aerodynamiky, termodynamiky, mechaniky nebo meteorologie. Konečně muselo být k dispozici dostatečné množství nosného média, tj. plynu s menší hustotou, než má vzduch, aby vznikl potřebný vztlak. Vzhledem k tomu, že vývoj probíhal v mnoha oborech a na různých místech současně, byly ve stejném roce (1783) sestrojeny balóny tří typů naplněné různými médii: horkým vzduchem (Montgolfierové), vodíkem (J. A. Charles), resp. svítiplynem (J. P. Minckelers).

Horký vzduch se získával spalováním slámy na zemi, což vedlo k citelnému omezení trvání letů, jež byly především zpočátku upoutané. První vzlety se také odehrávaly bez posádky, později se zvířaty a teprve po nich následovali vzduchoplavci z řad konstruktérů, novinářů nebo odvážných osobností. Vodík v té době vyvíjeli chemici působením kyseliny na železné piliny, přičemž spotřeba těchto surovin byla mimořádná. Svítiplyn vzniká při výrobě koksu z černého uhlí. Největší problém spočíval v neustálém nebezpečí požáru – buď mohl od hořící slámy vzplát papírový obal montgolfiéry, nebo ho mohl způsobit lehký vodík, který vytváří se vzdušným kyslíkem silně vznětlivou, ba třaskavou směs. Výbornou hořlavinou je přirozeně také svítiplyn.

Navzdory všem rizikům pokračovalo zdokonalování konstrukce balónů velmi rychle a počet jejich vzletů narůstal, včetně pokusů o rekordy. Zakrátko se J. P. Blanchardovi podařilo úspěšně přeletět lamanšský průliv mezi Anglií a Francií. Z Francie se balónové létání rozšířilo do celé Evropy. Nás může těšit, že Blanchard předvedl jeden z prvních horkovzdušných balónů také v Čechách, a to za účasti hraběte Šternberka (1790). Tento nadšený přírodovědec si vzal s sebou mj. několik teploměrů a barometr jako přístroj pro měření výšky. K hromadné přepravě nákladu a osob se však balóny příliš nehodily, a nacházejí tak nadále využití hlavně pro rekreační, sportovní nebo vědecké účely.

Závěrem ještě malá poznámka k dopravním stavbám, jež spojujeme především s pozemní dopravou (silniční a vodní). Jedná se zejména o silnice, které známe od starověku. K jejich systematické výstavbě dochází v 17. a 18. století v souvislosti s rozvojem poštovní sítě za použití koněspřežných dostavníků (diligence), jimiž se s poštou a jinými drobnými zásilkami vozili také cestující. Kromě poštovních sloužily silnice i obchodním, příp. vojenským (strategickým) účelům. Nedílnou součástí těchto „liniových“ staveb jsou tzv. inženýrská díla, zejména mosty nebo tunely. Zatímco s tunely se až do období masivního budování železničních tratí v 19. století setkáváme jen zřídka, neboť jejich ražení vyžadovalo náročnou práci horníků a vysoké náklady, mosty jsou stále hojnější.

Dřevěné či kamenné mosty se stavěly už ve starověku i ve středověku, ale teprve dostupnost nových materiálů (železo, litina, ocel) a technologický vývoj v období průmyslové revoluce (železářny, slévárny, válcovny a strojírny) umožnily vznik nových konstrukcí. Novinkou byly tzv. visuté mosty stavěné ze svářkového železa (J. Finley, 1796) s využitím masivních litinových řetězů nebo lehčích ocelových lan (W. Hancock, 1798). Oproti železným mostům s příhradovou konstrukcí bylo jejich největší výhodou dosažení mnohem většího rozpětí (vzdálenost hlavních pilířů), což umožnilo překonat větší terénní překážky (údolí a široké vodní toky). Řetězové, později i lanové visuté mosty se budovaly rovněž v českých zemích, přičemž jako stavební materiály se kromě kovu uplatnily také kámen (opěry, pilíře) a dřevo (mostovka, zábradlí). Jako poslední se u nás dochoval řetězový most ve Stádleci, který postavil V. Lanna původně přes Vltavu v Podolsku (1848).

Unikátním technickým dílem je dochovaný Schwarzenberský kanál pro plavení dřeva na Šumavě, který byl vybudován na přelomu 18. a 19. století. Když se ve stejné době (znovu) uvažovalo o propojení Dunaje s Vltavou umělým průplavem, působil jako ředitel tzv. hydrotechnické společnosti inženýr F. J. Gerstner. Ten pečlivě proměřil trasu a propočítal náklady na přepravu soli. V porovnání se silnicí a kanálem vyšla jako nejvýhodnější řešení železnice. Tak vznikla naše první koněspřežná dráha z (Českých) Budějovic do Lince (1832).