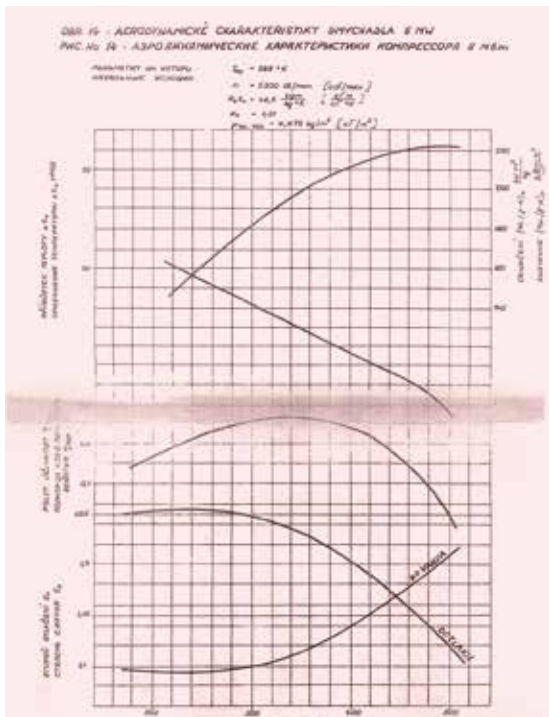


Rozvod extrémního vakua v Praze zahájen

Ing. Petr Crha, CSc.
Jaroslav Tesař, dr. h. c.
 LIRPA – Pražská vakuová a. s.

Na počátku bylo slovo. Tedy spíše spousta slov, na posezení kamarádů v pražském Klubu techniků v dubnu 2012. Nad párem deci Sylvánského se Jaroslav, bývalý pracovník dřívější zkušebny velkých kompresorů zmínil, že se staré zařízení zkušebny ve Vysočanech likviduje, aby budova ustoupila výstavbě komplexu Harfa 4. „Takové krásné mašiny...“ povzdychl a zavzpomínal na zkoušky kompresorů TK61 a TK76, kterými byly vybaveny nejstarší části kompresních stanic tranzitního plynovodu.

Tady je třeba se poprvé zastavit: turbokompresory ČKD TK poháněné brněnskou turbínou GT 750-6 pracovaly se sacím tlakem kolem 50 bar do výtlačku 61 nebo 76 bar a s objemovým výkonem necelého milionu kubických metrů za hodinu. Je pochopitelné, že zkoušky kompresorů za těchto podmínek téměř uprostřed Prahy byly nereálné. Proto se zkoušky prováděly do vakua, kdy se kompresor napojil sáním na komoru, ze které byl mohutnými vývěvami odsát vzduch. A to byly ony „krásné mašiny“.



Obr. 1. Charakteristika turbokompresoru ČKD TK 61 6 MW (převzato z Generálního schématu tranzitního plynovodu v ČSSR, Plynoprojekt 1970)

„Taková škoda“ – a přišla další vzpomínka, tentokrát na článek v dávném čísle časopisu Věda a technika mládeži, časopisu, který mnoho z nás v mládí přivedl do techniky. V čísle 7/1967 [1] zde byl publikován článek popisující vznik extrémně vysokého vakua a jeho využití. Základem této problematiky byl objev tzv. hmoždířového jevu. Tento efekt, ze svého pohledu velmi negativní, objevil kupodivu ne fyzik, ale tehdy velmi známý vídeňský eskamotér a iluzionista Franz Satanek v roce 1907. Jedním z jeho efektních triků bylo vhození žárovky do hmoždíře, kde ji některý z diváků paličkou důkladně rozdrtil. Po několika magických pohybech iluzionista z hmoždíře vyjmul žárovku nepoškozenou. Pochopitelně podstatou triku bylo pohyblivé dno hmoždíře, pod kterým byla ukryta druhá, nepoškozená žárovka. Nicméně aplaus byl velký a proto Franz Satanek nejenže měl trik trvale na programu, ale dokonce ho i vylepšoval. Nejprve nechal diváka rozdrtit dvě žárovky, pak vyrobil větší hmoždíř na pět žárovek – a nastal problém. Mechanismus pohyblivého dna se z neznámých důvodů začal zadírat a pod ním ukryté nové žárovky se proto nedaly vyndat. A bylo po kouzlu. Franz Satanek si nejprve myslel, že nezhotovil pohyblivé dno dost pečlivě, ale kontrola rozměrů ukázala, že zde žádná nepřesnost není. Vhodil tedy do hmoždíře žárovku – a vše fungovalo bez problémů! Zkusil tedy tři – a zase dobré. Zkusil čtyři – a nic. Prostě dokud v hmoždíři rozbíjel nejvíce tři žárovky, všechno bylo v pořádku, jakmile zkusil čtyři a více, dno se zadřelo. Proč?

Začal se svým středoškolským profesorem Erichem Friedlerem problém analyzovat. Naprosto reprodukovatelně prokázali, že při rozbítí čtvrté žárovky došlo k zadření dna. Současně si všimli, že rozbíjení žárovek je stejně jako na jevišti provázeno silným syčením, které je tím hlasitější, čím více žárovek se v hmoždíři rozbíjí a čím více jich praskne najednou. A to je přivedlo k řešení jevu, který nazvali hmoždířovým efektem: žárovka má určitý vlastní objem a je vyplněna vakuem. Jakmile je rozbita, vznikne na krátký okamžik oblast vakua, která je okamžitě vyplněna vzduchem z okolí. Protože je rozbíjená žárovka v hmoždíři, musí do něj vzduch vniknout a vzniká proudění. Vzduch do hmoždíře proudí kritickou rychlostí velmi blízkou rychlosti zvuku (sníženou pouze o vnitřní tření), tedy 330 m/s. Rozbije-li se v hmoždíři jedna žárovka, v které je vakuum, vznikne na jejím místě krátkodobě podtlak téměř –1 bar. Pokud se rozbijí žárovky dvě, vzniká podtlak přibližně –2 bar, u pěti žárovek podtlak blíží se hodnotě –5 bar.

Rychlost proudu vzduchu do hmoždíře je sice konstantní, protože nemůže překročit rychlost kritickou, ale hybnost vzduchového sloupce proudícího do hmoždíře, která je součinem podtlaku a kritické rychlosti, se při rozbítí pěti žárovek zpětinásobila a mechanismus pohyblivého dna takový nápor nevydržel a zadřel se.

Reálně dosaženou velikost podtlaku ještě ovlivňuje poměr součtu objemů baněk žárovek ku celkovému objemu hmoždíře.



Obr. 2. Titulní strana čísla 8/1967 časopisu Věda a technika mládeži, kde vyšel článek „Japonský vysavač na principu hmoždířového efektu“

Výslednou hodnotu dosaženého mžikového podtlaku pak popsali tzv. zjednodušeným Friedlerovým vztahem, platným pouze pro žárovky se stejným objemem

$$p_{vac} = -n_{Lampe} \cdot \left(\frac{n_{Lampe} \cdot V_{Lampe}}{V_{Mörser}} \right) \quad [ATu]$$

- kde
- p_{vac} celkový reálný vzniklý podtlak
 - n_{Lampe} počet žárovek
 - V_{Lampe} objem jedné žárovky
 - $V_{Mörser}$ objem hmoždíře
 - ATu jednotka definovaná profesorem Friedlerem speciálně pro vyjádření velikosti podtlaku Atmosphäre-unterdruck; jeho velikost je právě rovna velikosti současné jednotky tlaku bar a proto v článku pro přehlednost používají autoři současný platný pojem bar, přestože se jednotka ATu používala až do roku 1947

Koeficient $K_{MF} \left(\frac{n_{Lampe} \cdot V_{Lampe}}{V_{Mörser}} \right)$ byl profesorem Friedlerem

nazván Mörseranfüllenkeitskoeffizient a je výrazem korekce hloubky vzniklého mžikového vakua na zbytkový objem vzduchu mezi žárovkami v hmoždíři, který v okamžiku rozbití žárovek svým atmosférickým tlakem mžikové vakuum snižuje. To vede k zajímavé vlastnosti procesu – čím menší jsou rozbíjené žárovky, tím více se hodnota K_{MF} blíží hodnotě 1, protože menší žárovky lépe vyplní vnitřní objem hmoždíře. Tento objev byl vlastně druhým nejdůležitějším v počátcích rozvoje technologie extrémního vakua – menší žárovky rozbíjené v nádobě stejného objemu nejenže umožňují dosáhnout svým vyšším počtem hlubšího vakua, ale díky vyšší hodnotě koeficientu K_{MF} má celý proces vyšší účinnost.

Zjednodušený Friedlerův vztah je však platný pouze za podmínky žárovek stejného objemu. Při různé velikosti žárovek je třeba vycházet z diferenciální formy vztahu a integrovat ho přes parciální objemy různých kategorií žárovek a jejich počet. V případě velkého počtu žárovek je třeba uvážit i nesoučasnost rozbití všech žárovek, což však vede k poměrně

komplikovanému dvojnásobnému integrálu přes parciální objemy žárovek a přes časový interval.

Středoškolský profesor Erich Friedler svůj objev a následné teoretické závěry podrobně publikoval ve významném odborném časopisu Wiener Physikalisch Monatszeitschrift – ročník 23, 1907, č. 4, str. 31–45 (experimentální část) [2], ročník 23, 1907, č. 5, str. 26–38 (odvození zjednodušeného Friedlerova vztahu) [3] a nakonec o rok později i odvození obecného diferenciálního Friedlerova vztahu (ročník 24, 1908, č. 8, str. 3–15) [4] a jeho integrálního řešení (ročník 24, 1908, č. 9, str. 2–25) [5]. Zatímco profesor Erich Friedler publikoval, pro iluzionistu Franze Sataneka byl problém vyřešen – prostě stačí pouze nepřekročit přípustný počet tří současně rozbíjených žárovek.

Autoři článku v časopisu VTM se však po padesáti letech k jevu vrátili a začali hledat směry jeho praktického využití. Je to pochopitelné – v roce 1907 byla jediným zdrojem extrémního vakua rozbíjená žárovka. Ve druhé polovině století však již existovaly výkonné vývěvy, které poskytovaly extrémní vakuum v poměrně velkých objemech, i když jen po relativně krátkou dobu. V článku je popsána první masová aplikace techniky extrémního vakua – japonský vysavač firmy Mishukivi určený pro domácnost, pracující na hladině –50 bar a používající výměnných bombiček s extrémním vakuem –200 bar. Tyto bombičky, velmi podobné tehdejší sifonovým bombičkám, bylo po vypotřebování vakua možné vyměnit za čerstvé v propagační prodejně japonského průmyslu nedaleko od budovy japonského velvyslanectví na pražském Maltézském náměstí. Vysavač byl velmi lehký, protože neměl motor ani přívodní kabel, a i jeho malé rozměry velmi vyhovovaly tehdejší malometrážním bytům.



Obr. 3. Japonské velvyslanectví v Praze

Tento mimořádně úspěšný příklad inspiroval řadu konstruktérů i amatérů k návrhům dalších aplikací extrémního vakua. Vznikla tak myšlenka mobilních zásobníků extrémního vakua, od objemu řádu krychlových centimetrů až po litry. Na tyto zásobníky pak bylo možné napojit různé nástroje, jako například odsávačky na operačních sálech nebo odsávačky oleje z motorů. Pro ty stačily zásobníky velikosti sifonové bombičky, stejně jako u vysavače. Větší zásobníky byly navrženy například pro bezšňůrové vysavače pro větší byty (větší spotřeba vakua krátkodobě), kuchyňské digestoře (dlouhodobý odběr malého objemu vakua) nebo průmyslové odsavače.



Obr. 4. Zásobník vakua střední velikosti při odsávání olejové jímky

Přesto, že tyto aplikace vynikaly především nezávislostí spotřebiče na elektrické síti a jeho velmi tichým chodem, nešlo přehlédnout ani základní nevýhodu systému – i když úroveň podtlaku v zásobnících postupně dosáhla -50 bar, bylo třeba zásobník podle četnosti používání spotřebiče vyměňovat. Navíc s klesající úrovní vakua v zásobníku klesal i výkon spotřebiče – kupříkladu u vysavače byl mezní úrovní podtlak již -2 bar. S narůstajícím počtem spotřebičů pak rostly nároky na rozsah potřebné výměnné sítě zásobníků vakua. Zatímco distribuční síť propan-butanových lahví v té době zahrnovala řadu výměnných míst (v létě dokonce i přímo v rekreačních střediscích) a sifonové bombičky bylo možno vyměňovat v každém železářství, distribuci vakuových zásobníků se, údajně z bezpečnostních důvodů, nepodařilo zavést. Kupříkladu v Praze bylo v té době jediné „plnicí“ místo ve výrobní jednotce vakuových systémů Tesla Elstroj v Sámově ulici ve Vršovicích. Navíc zavedení zařízení na bázi extrémního vakua bylo přímo proti ekonomickým zájmům tehdejších výrobců spotřebičů – podle tehdejšího kalkulačního vzorce ceny, stanoveného Českým cenovým úřadem, vedla absence motoru k radikálně nižší ceně výrobků. Což by zásadně komplikovalo tehdy nutně plnění plánu.

„Bezpečnostní“ důvody kombinované s nezájmem výrobců spotřebičů tak způsobily, že se tento nadějný trend v prostředí centrálního plánování nejenže neprosadil, ale zcela zanikl. „Kdybychom tak mohli to vakuum prodávat, to by bylo,“ uzavřel Jaroslav diskuzi. A v tom přišel nápad.

Zastavení druhé: V roce 2002 byla ničivou povodní poškozena nejen karlínská a libeňská síť nízkotlakých plynovodů, ale i celá pravobřežní část pražské potrubní pošty. Toto technické dílo, jehož první část vedoucí z Malé Strany do Jindřišské ulice byla vybudována v roce 1887, postupně dosáhlo délky 55 km a ještě v devadesátých letech se jím přepravovalo 9 000 zásilkových pouzder měsíčně.

Rámcovou představu o pražské potrubní poště lze získat na https://cs.wikipedia.org/wiki/Pra%C5%BESk%C3%A11_potrubn%C3%AD_po%C5%A1ta, poněkud populárně i na <http://euro.e15.cz/archiv/posledni-roury-na-svete-779970>.

Od zaplavení v roce 2002 je však síť pražské potrubní pošty mimo provoz a několikrát změnila majitele.

Pro tento projekt je zásadních několik informací. Všechny trasy pražské potrubní pošty jsou vybudovány z ocelových trubek jednotného vnitřního průměru 65 mm o tloušťce stěny 2,5 až 3 mm. Pouzdra byla potrubím poháněna v kombinovaném tlakově-sacím režimu, potrubí tedy bylo konstruováno na namáhání jak vnitřním přetlakem (ve vyprošťovacím režimu až 30 bar), tak podtlakem. Provozní úroveň podtlaku byla vzhledem ke konstrukci dmychadel (psal se rok 1887!) podstatně nižší, nicméně potrubí bylo konstrukčně schopno odolat podtlaku přinejmenším stejně velkému jako přetlaku, tedy podtlaku -30 bar. Síť pražské potrubní pošty je poměrně rozsáhlá http://www.o2.cz/_pub/ac/8d/3d/106006_92881__327269_266282_O2_potrubni_posta_Praha_pic4_hi_res.JPG



Obr. 5. Sít' pražské potrubní pošty

Nejdůležitější pro tento projekt však je, že trasa vedoucí do Prahy 10 vede po linii Jindřišská ulice–Florenc–Sokolovská–Křížkova–Palmovka–ČKD !!! a dále na východ. Na základě znalostí, které jsme získali při vysušování rozvaděčů v pražském metru i dalších zaplavených sítí v roce 2002, jsme navíc měli oprávněnou představu, že potrubí karlínsko-vysočanské větve je víceméně průchozí a po definitivním ověření integrity a vysušení by je bylo možno využít k „distribuci vakua“ od zdroje ve Vysočanech k možným odběratelům v centru města, především do hotelů a administrativních budov.

Takže to vakuum by opravdu efektivně prodávat šlo.

Následovala řada jednání a přesvědčování investorů. Po vytvoření investorské skupiny následovala jednání s vlastníky potřebných zařízení a následně projednávání souhlasů vlastníků dotčených objektů a sítí. Nakonec stavební zákon – změna způsobu užívání. Po více než roce jednání se projekt stal reálným a začalo jednání s potenciálními odběrateli. To naopak probíhalo velmi rychle a efektivně. Prakticky všechny objekty v novém Karlíně – jak hotely, tak administrativní budovy – jsou vybaveny vzduchotechnikou a většina z nich i systémem centrálních vysavačů.

Přínos používání vakua se systému distribuce pro vzduchotechnické soustavy je jasný – „hromadná centrální produkce“ extrémního vakua na úrovni podtlaku -25 až -30 bar je energeticky výrazně účinnější ve srovnání s lokální přípravou podtlaku chladicími kompresory. Navíc lze úroveň podtlaku velmi snadno jemně regulovat přísáváním par chladiva do vakua. Hlubší vakuum pak lze využít při sušení vzduchu proudícího v klimatizačních soustavách.

Ještě efektivnější je využití extrémního vakua pro systémy centrálního vysavače. Již existující systémy se pouze napojí přes redukční zařízení úrovně podtlaku $-30/-0,1$ bar na přípojku napojenou na centrální potrubí bývalé potrubní pošty. Nové budovy, které již mají vyřešen systém pro napojení na rozvod extrémního vakua, navíc mohou ve vnitřních rozvodech použít hladinu podtlaku -5 bar a tento rozvod pak může mít podstatně menší dimenze. Je však třeba i zde dodržet potřebný poloměr oblouků alespoň 100 mm. Napojením systémů centrálního vysavače na distribuci extrémního vakua se dosahuje nejen vyšší energetické účinnosti, ale především odpadá potřeba vlastního turbinového dmyhadla, jehož hluk významně ruší klid v okolí budov, které jsou vybaveny centrálními vysavači s lokálním zdrojem podtlaku.

Podíl systémů centrálních vysavačů na celkové napojené kapacitě odběru extrémního vakua předčil naše původní očekávání, avšak současně přinesl kapacitní problém. Zatímco úklid v administrativních budovách a hotelech probíhá ve dvou denních špičkách (hotely mezi 10 a 14 hodinou, administrativní budovy mezi 19 a 23 hodinou), chod vývěv by měl být co nejrovnoměrnější, aby se eliminovaly ztráty drahého těsnicích oleje lamel při najíždění a odstavování strojů. Bylo třeba vytvořit dostatečnou akumulaci kapacitu pro vykrytí odběrových špiček. Avšak štěstí přejí odvážným a připraveným.

Zastavení třetí: Svou návštěvu v Americe v roce 1929 se tehdejší ředitel michelské Pražské obecní plynárny inspiroval při řešení vykrytí narůstajících odběrových špiček průmyslových odběrů ve Vysočanech a Libni. V roce 1930, pouhé 3 roky po vybudování prvního kulového tlakového plynojemu v Chicagu, byla vypsána soutěž na návrh a vybudování plynojemu v Libni. Vítěz soutěže, Vítkovické horní a hutní těžbařstvo, během necelých dvou let vybuvoval plynojem o průměru 20 m a vodním objemu téměř $4\,200\text{ m}^3$, jehož plášť je snýtován z plechů tloušťky 14 mm. Strojní zařízení (kompresorová a regulační stanice) dodala a.s. Českomoravská-Kolben-Daněk, stavební práce a základy provedla firma Ing. Dr. Tomáše Keclíka v Praze. Plynojem byl uveden do provozu v červenci 1932 a sloužil třináct let, až do května 1945, kdy byl během revolučních bojů Němci prostřelen protiletectkým granátem. Plynojem byl v té době již prakticky vypuštěn, takže nedošlo k jeho zamýšlenému výbuchu, pouze vyhořel zbytek plynu a kondenzátů. Po celou dobu provozu pracoval plynojem vzhledem k velikosti vykryvaných špiček na přetlaku 3 bar.

Poškození plynojemu sice bylo opraveno záplatou, která je na jeho jižní stěně dodnes dobře vidět, ale již nikdy nebyl použit pro uskladňování plynu. V roce 1949 ho plynárna věnovala tehdejšímu Leteckému výzkumnému ústavu, který zde vybuvoval laboratoř aerodynamiky vysokých rychlostí. Na plynojem bylo místo výtlačku kompresoru napojeno jeho sání, byla vybuvoována hala pro zkušební aerodynamický tunel

a pomocné prostory. Systém je navržen pro cyklický provoz, kdy je nejprve kompresorem, nyní zapojeným jako vývěva, v kouli vytvořen podtlak a poté je přes zkušební tunel zpět vpouštěn atmosférický vzduch, čímž vzniká potřebné proudění pro zkoušky. Provoz laboratoře byl zahájen v roce 1951 a až donedávna byl komplex plynojemu, nyní vlastně „vakuojemu“, součástí Laboratoře aerodynamiky Výzkumného a zkušebního leteckého ústavu VZLÚ.

Konverzi plynojemu na zásobník podtlaku podrobně popsal proslulý historik českého plynárenství pan Rudolf Novák v letním dvojčísle časopisu Plyn v roce 2005 [6]. Detailnější údaje o plynojemu lze najít na <http://www.praha8.cz/Kulovy-plynojem-v-Libni.html> nebo https://cs.wikipedia.org/wiki/Libe%C5%88sk%C3%BD_plynojem.



Obr. 6. Bývalý libeňský plynojem

S útlumem českého leteckého průmyslu však klesala i potřeba aerodynamických zkoušek nově vyvíjených letadel a Laboratoř aerodynamiky se stávala nevyužívanou. A právě to vytvořilo potřebný poslední článek systému pro rozvod vakua v Praze. Linie potrubní pošty vedoucí z Jindřišské přes Florenc a kolem ČKD do Prahy 10 totiž má libeňský plynojem ve vzdálenosti pouhých 25 metrů! Taková nabídka se prostě nedá odmítnout.



Obr. 7. Trasa linie potrubní pošty Jindřišská – Praha 10 v blízkosti bývalého libeňského plynojemu

Bylo však třeba prověřit statickou únosnost koule bývalého plynojemu pod vakuem. Pro tvorbu podtlaku pro zkušební tunel totiž byl využit pístový kompresor, původně plnicí plynojem akumulovaným plynem. Provozní přetlak plynojemu a tedy

i kompresoru byl 3 bar, a protože pístový kompresor zapojený jako vývěva má velmi nízkou účinnost, nedokázal v kouli vytvořit větší podtlak než $-1,8$ bar, v létě dokonce jen $-1,6$ bar. Naproti tomu vývěvy na bývalé zkušební ČKD sloužily pro měření charakteristik turbokompresorů o maximálním výtlaku 76 bar. Vakuová charakteristika turbokompresoru se vesměs měří při podtlaku odpovídajícím 50% výtlaku, tedy -38 bar, ale poněkud předimenzované vývěvy na zkušební uměly vytvořit podtlak až -42 bar. To už odpovídá kategorii HEV (high extreme vacuum), která byla vytvořena pro podtlaky pod -30 bar. Bezpečnostní požadavky (ochranná a bezpečnostní pásma) jsou však podle nejběžnější používané normy JPNSt 311 pro HEV podstatně přísnější, než pro kategorii EV (extreme vacuum), která má rozmezí -5 až -30 bar. Na druhou stranu použití provozní hladiny HEV podstatně zlepšuje ekonomický výkon projektu, protože potrubím stejného průměru se dá dodat podstatně víc vakua. Přepočítání statické únosnosti koule bývalého plynojemu ukázal, že při zjištěné mezi kluzu materiálu koule by sice koule snesla provozní podtlak až -37 bar při standardním součiniteli bezpečnosti 2, avšak záplata, kterou byl opraven průstřel, má koeficient koncentrace napětí 1,2, což snižuje přípustný provozní podtlak na $-30,8$ bar. Za takové situace by nepatrný přínos $-0,8$ bar nevyvážil významně vyšší náklady vyvolané náročnějšími požadavky platnými pro kategorii HEV. Proto bylo nakonec přijato rozhodnutí zůstat na úrovni provozního podtlaku -30 bar, spadající do kategorie EV, což navíc umožnilo použít lehčí, menší (a levnější) reduktory vakua $-30/-5$ bar, případně $-30/-0,1$ bar u starších objektů.

Po získání stavebního povolení proběhly montážní a zkušební práce. Z páteřního potrubí bývalé linie potrubní pošty Jindřišská – Praha 10 bylo demontováno osm kusů výhybek a naopak muselo být osazeno 16 přípojek DN 25 pro odběrná místa. Následně bylo provedeno ověření integrity potrubí natlakováním na úroveň 208 % meze kluzu, tedy na tlak 99 bar. Většina původní zkušební kompresorů byla zbourána a zůstal pouze podzemní objekt, v němž byly instalovány vývěvy a trafostanice 110/3 kV. Podzemní objekt bylo možno zintegrovat do podzemí nově budovaného komplexu Harfa 4, navíc transformátorová stanice byla využita i pro napájení dalších částí komplexu. V provozním objektu stanice tvorby vakua byla provedena repase tří vývěv a výměna výstupních filtrů. Polovodičová regulace otáček elektromotorů byla převzata z elektropohonů kompresorů 25 MW, které byly v osmdesátých letech instalovány na slovenské části Tranzitního plynovodu. Tato regulace umožňuje efektivně řídit produkci vakua v závislosti na velikosti vakua v akumulačním prostoru bývalého plynojemu. Samotná koule plynojemu byla nejprve odzkoušena vodou na mezní vypočtený přetlak 61 bar. Poté byla voda vypuštěna a koule vysušena. Po napojení na páteřní potrubí rozvodu vakua bylo potrubí postupně zatíženo na podtlak -40 bar. To současně prověřilo i potrubí mezi stanicí tvorby vakua ve Vysočanech a akumulačním zařízením v Libni. Po stabilizaci akumulačního zařízení byl uveden pod vakuum i úsek mezi Libní a Florencí. Tím bylo zařízení zkompletováno a mohl být zahájen zkušební provoz systému.

Rekonstrukce a zkoušky proběhly v období od počátku roku 2014 do srpna 2015, zkušební provoz byl úspěšně ukončen v prosinci 2015. Od počátku roku 2016 již systém pracuje v plně provozním režimu a Pražská vakuová a. s. jím zásobuje prozatím 18 odběrných míst.

Jedním z prvních připojených zákazníků Pražské vakuové je nádraží Praha-Těšnov (dříve Denisovo nádraží). Zde byl již během jeho výstavby v roce 1875 zabudován systém centrálního vysavače od vídeňské firmy Körting. Systém byl provozován až do roku 1966, kdy byl odstaven kvůli nutné výměně motoru při tehdy prováděné změně napětí v pražské elektrické síti ze 110 V na 220 V. Bohužel se tehdy nezdařilo navázat kontakt s nástupcem původního výrobce systému, a tak byl po několika neúspěšných svépomocných úpravách motoru systém definitivně odstaven v roce 1985. Potrubní rozvody i koncovky systému centrálního vysavače se však zachovaly v neprostém pořádku. Proto bylo napojení nádraží na rozvod extrémního vakua velmi jednoduché – stačilo přenastavit standardní reduktor vakua $-30/-0,1$ bar na poněkud netypickou výstupní hodnotu $-0,314$ bar, kterou firma Körting v té době experimentálně použila jako velmi pokrokové řešení potřebného vysokého výkonu centrálního vysavače ve značně znečištěných prostorách nádraží v důsledku vysoké frekvence pohybu osob a zejména vlaků tažených parními lokomotivami.



Obr. 8. Koncovka systému centrálního vysavače v hale nádraží Praha-Těšnov

Pochopitelně chceme naši činnost dále rozvíjet, a to nejen plošně postupným využitím dalších větví pražské potrubní pošty, ale i aplikací technologie extrémního vakua do dalších technických oblastí.

K tomu uvítáme vaše podněty na info@prazska-vakuova.cz.

Literatura

- [1] Tona, K.: Japonský vysavač využívající „hmoždířového jevu“, Věda a technika mládeži, ročník 19, 1967, č. 7, str. 221
- [2] Friedler, E.: Die Zufällige Entdeckung des Moersereffektes, Wiener Physikalisch Monatszeitschrift – ročník 23, 1907, č. 4, str. 31–45
- [3] Friedler, E.: Genauigkeit der Berechnungen des Moersereffektes – Friedler Gleichung, Wiener Physikalisch Monatszeitschrift – ročník 23, 1907, č. 5, str. 26–38
- [4] Friedler, E.: Noch Einmal zur Genauigkeit der Berechnungen den Moersereffekt – Allgemeine Friedler Gleichung, Wiener Physikalisch Monatszeitschrift – ročník 24, 1908, č. 8, str. 3–15
- [5] Friedler, E.: Integrierung des Allgemeine Friedler Gleichung, Wiener Physikalisch Monatszeitschrift – ročník 24, 1908, č. 9, str. 2–25

[6] Novák, R.: Libeňský plynojem dnes, Plyn, ročník 85, 2005, č. 7–8, str. 20–21

Webové odkazy

https://cs.wikipedia.org/wiki/Pra%C5%BESk%C3%A1_1_potrubn%C3%AD_po%C5%A1ta

<http://euro.e15.cz/archiv/posledni-roury-na-svete-779970>

http://www.o2.cz/_pub/ac/8d/3d/106006_92881__327269_266282_O2_potrubni_posta_Praha_pic4_hi_res.JPG

<http://www.praha8.cz/Kulovy-plynojem-v-Libni.html>

https://cs.wikipedia.org/wiki/Libe%C5%88sk%C3%BD_plynojem

https://cs.wikipedia.org/wiki/Libe%C5%88sk%C3%BD_plynojem

www.prazska-vakuova.cz

Článek jako lektor přečetl a stanoviskem doplnil doc. Ing. Václav Koza, CSc.



Jaroslav Tesař, dr. h. c. (*1953)

Absolvent strojírní průmyslovky v pražské Dušní ulici (1971) strávil ZVS na letišti jako technik motorů stíhaček MiG-21. Po vojně nastoupil do pražského ČKD Kompresory, nejprve jako technik výroby turbokompresorů a brzy jako zkušební technik. Celý profesní život strávil zpřesňováním a vylepšováním zkoušených vysokovýkonných kompresorů technologií

do vakua. Nikdy neabsolvoval vysokou školu, přesto se stal světově uznávaným expertem v oblasti extrémního vakua a na sklonku své kariéry byl oceněn čestným titulem dr. h. c. (doctor honoris causa).



Ing. Petr Crha, CSc. (*1953)

Absolvent plynárenství na VŠCHT v Praze, v roce 1976 nastoupil na Tranzitní plynovod jako technolog. Dodnes se věnuje potrubní přepravě, specializuje se na bezpečnost a spolehlivost vtl. potrubí. Tuto svou specializaci využil i v naprosto opačné, v oblasti potrubních systémů pro rozvod a akumulaci extrémního vakua. Věnoval se především návrhu konverze

potrubí bývalé poštovní linky, výpočtům její pevnosti a především výpočtům stability pláště plynojemu a únosnosti záplaty průstřelu.

Summary:

Petr Crha, Jaroslav Tesař:

Extremely Deep Vacuum and Its Use

In their humorous article the authors outline the application of extremely deep vacuum since distant past until today. Starting with the invention of extremely deep vacuum at the beginning of the 20th century, the authors describe the first steps in its practical use in the 1950s. Finally, industrial utilisation was launched at the beginning of this year.

Stanovisko lektora

1. Rovnice prof. Friedlera není rozměrově konzistentní. I když konec konců, byla formulována v epoše, kdy ani ti nejlepší nezačali snít o soustavě SI. Jestliže tedy rovnice ve formě prof. Friedlera má na levé straně jednotku [bar], na pravé straně je to [počet žárovek na druhou]. V rovnici chybí veličina „jednotkové vakuum“ s jednotkou [bar/žárovka]. K jejímu vynechání zřejmě prof. Friedlera svedla okolnost, že má hodnotu jedna, což ovšem nemusí být vždy pravda. Po doplnění o jednotkové vakuum je rovnice v pořádku i podle dnešních měřitek. Přikládám verzi článku s opravenou rovnicí.

$$p_{vac} = -n_{Lampe} \cdot p_{Lampe} \cdot \left(\frac{n_{Lampe} \cdot V_{Lampe}}{V_{Mörser}} \right) \quad [\text{bar}]$$

kde

p_{vac} celkový reálný vzniklý podtlak [bar],

p_{Lampe} jednotkové vakuum [bar/žárovka],

n_{Lampe} počet žárovek [žárovka],

V_{Lampe} objem jedné žárovky [m^3 /žárovka],

$V_{Mörser}$ objem hmoždíře [m^3].

2. Plošná dostupnost vysokého vakua umožní i jeho technologické využití, např. ve fluidačních sušárnách zrnitých materiálů, což je jen logický krok vycházející z už zavedeného vakuového sušení potrubí. Například při fluidačním sušení střešního prachu je nepřítomnost kyslíku ve vakuu bezpečnostní výhodou.

Poznámka ke stanovisku lektora

Lektor správně poukázal na rozměrovou inkonzistenci zjednodušeného Friedlerova vztahu. Tuto skutečnost odhalil i profesor Friedler sám a již v článku [3] vztah upravil doplněním členu E_{GVA} (Einzelglühlampevakuumanstieg) o rozměru $[ATu/Glühlampe]$. Tím nabyl vztah rozměrově korektního tvaru

$$p_{vac} = -n_{Glühlampe} \cdot \left(\frac{n_{Glühlampe} \cdot V_{Glühlampe}}{V_{Mörser}} \right) \cdot E_{GVA}$$

V této souvislosti je zajímavá ještě jedna věc – namísto poněkud neurčitěho pojmu Lampe v prvotním vztahu je zde použit daleko přesnější pojem Glühlampe. Důvod tohoto rozdílu je poněkud kuriózní. V článku [2] prof. Friedler použil vztah tak, jak ho odvodil přímo při práci v laboratoři a zapsal do svého laboratorního deníku. Ten byl, jak v té době bylo zvykem, ve formátu c.k. osmerky, což je zhruba současný formát A5. Na tak malém formátu se však vztah s plným formátem indexů Glühlampe nevešel na jeden řádek, a proto si prof. Friedler zjednodušil práci použitím daleko kratšího slova Lampe. Článek [3] již prof. Friedler psal na stroji na listech formátu c.k. kvarty, odpovídající zhruba A4, takže mu nečinilo problém zapsat vztah s korektním plným formátem indexů. Autoři tohoto článku však úmyslně z víceméně pietních důvodů uvedli vztah ve tvaru jeho prvotního zápisu, učiněného v okamžiku jeho odvození.