

Porovnání provozních nákladů regulovatelných ejektorů a směšovacích čerpadel



Comparison of Operation Costs for Controlled Ejectors and Mixing Pumps

Recenzent
 Dr. Ing. Petr Fischer

Príspevek se zabývá praktickým porovnáním pořizovacích a provozních nákladů směšovacích uzlů s regulovatelnými ejektory a se směšovacími čerpadly. Čerpadla jsou volena jednak s konstantními a jednak s proměnnými otáčkami, aby výsledek odpovídal současným technickým možnostem. Porovnání je nejprve ukázáno pro zdroj s dostatečným tlakem v primární síti a v další části je předvedeno stejné porovnání v případě, že se navrhuje a uvažuje do studie i kotlové čerpadlo. Zde je použita konkrétní případová studie zásobování teplem průmyslového areálu.

Klíčová slova: Regulovatelný ejektor, tlakově závislé připojení, směšovací uzel

The author is engaged in the practical comparison of the acquisition and operation costs of mixing junctions with controlled ejectors and mixing pumps, in his article. Pumps are selected both with invariable revolutions and variable revolutions so as to the result corresponds with existing technical possibilities. The comparison is shown first for the source with a sufficient pressure in the primary circuit and then the identical comparison is demonstrated in the next part in the case when a boiler pump is designed and considered in the study. The existing case study for supplying an industrial facility is used here.

Key words: Controllable ejector, connection dependent on pressure, mixing junction

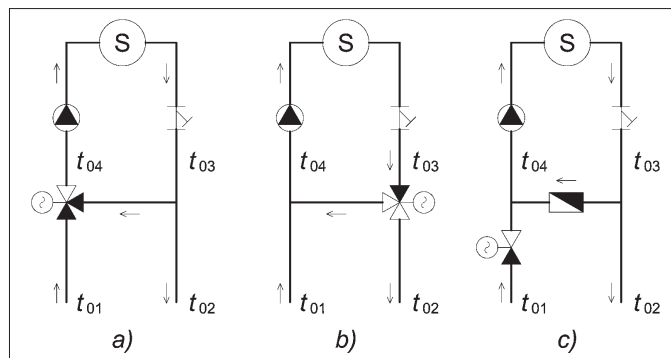
ÚVOD

Směšovací čerpadlo

Směšovacím čerpadlem nazýváme čerpadlo v okruhu spotřebiče, zajišťující návrhový průtok tímto okruhem. Principiálně lze toto čerpadlo instalovat s různými regulačními armaturami, jak ukazuje obr. 1. U všech zapojení zde zobrazených dochází při regulačním zásahu ke snižování teploty t_{04} , neboť se zvyšuje podíl chladnější vody ze zpátečky.

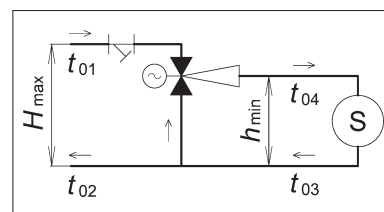
Regulovatelný ejektor

Regulovatelný ejektor je armatura, která využívá dispoziční tlak primárního čerpadla, který se projevuje na tlakové diferenci na primární straně H_{\min} . Za armaturou směrem ke spotřebiči tak již není nutné další oběhové čerpadlo. Teplonosná látka (o teplotě t_{01}) při vstupu do armatury je vedena do konfuzoru (trysky), kde dochází ke zvýšení její kinetické energie na úkor poklesu tlaku. Vysoká kinetická energie na výstupu z trysky způsobí značný podtlak, který je příčinou přísávání a přimíchávání teplonosné látky ze zpátečky (o teplotě t_{03}). Kinetická energie se následně v ustalovacím difuzoru transformuje částečně zpět na tlakovou. Detailní teoretický rozbor lze nalézt např. v [1]. Po smísení je výstupní teplota t_{04} a maximální tlaková diference na sekundáru h_{\max} . Regulace probíhá zasouváním a vysouváním jehly do průtočného průřezu trysky, čímž se mění tlakové poměry v armatuře a směšovací poměr. Regulace ejektorem je z funkčního pohledu někde mezi dvojcestným a trojcestným ventilem (ejektor reguluje kvalitativně i kvantitativně zároveň). Při regulačním zásahu klesá teplota i průtok (klesá dispoziční tlak na sekundáru). Ovšem síť se chová obdobně. S kle-



Obr. 1 Různá schematická zapojení spotřebiče S se směšovacími čerpadly
 1a – směšovací ventil na přívodu, 1b – rozdělovací ventil na zpátečce, 1c – dvoucestný ventil na přívodu)

sající potřebou tepla může klesat průtok (nebo teplota) podle druhu regulace a při změně průtoku klesají i tlakové ztráty. Proto nevadí, že se tlakové podmínky mění. Ejektor způsobí rychlejší reakci na regulační zásah (stačí malá změna polohy jehly pro velkou změnu výkonu) a je tím pádem více náchylný ke kmitání. Proto se osazuje do soustavy s regulátorem, který toto kmitání umí utlumit a není vhodný do soustav s malou akumulací. Typické zapojení ejektoru je obdobné jako v případě trojcestného ventilu (obr. 2).



Obr. 2 Schematické zapojení regulovatelného ejektoru

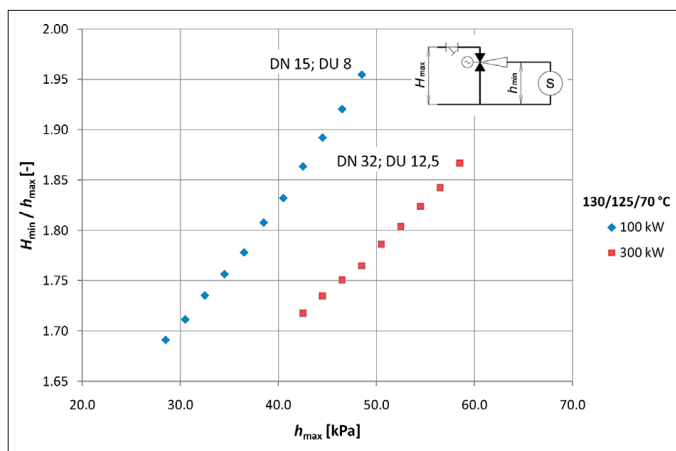
Rozhodující pro funkci ejektoru jsou dva parametry, velikost armatury (DN) a průměr trysky (DU). Těmito parametry je každý ejektor jednoznačně určený (podobně jako je regulační ventil jeho k_{vs} hodnotou).

U směšovacího čerpadla je funkce zřejmá, čerpadlo zajišťuje návrhový průtok vody v okruhu, spotřebič je regulován kvalitativně (mění se teplota teplonosné látky). Regulovatelný ejektor pro svoji správnou funkci vyžaduje jednak pokud možno neměnný diferenční tlak na primární straně (zajistí

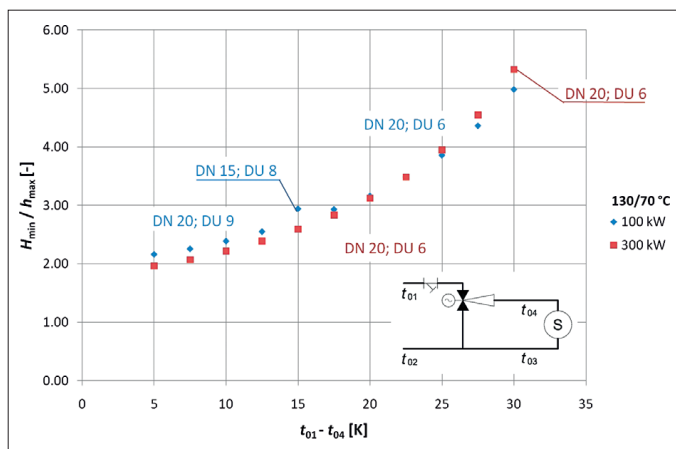


Ing. Ondřej Hojer, Ph.D. (1980)

Absolvent ČVUT v Praze, Fakulty strojní, Ústavu techniky prostředí. Odborná specializace: vytápění a větrání velkoprostorových objektů. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí – výzkum, výuka, projekční činnost.



Obr. 3 Vliv zvyšujícího se maximálního diferenčního tlaku sekundární strany na poměr mezi primárním a sekundárním diferenčním tlakem



Obr. 4 Vliv rozdílu teplot mezi přívodem primární a přívodem sekundární strany na poměr mezi potřebným primárním a sekundárním diferenčním tlakem

regulátor tlakové difference) a jednak dostatečnou absolutní hodnotu dispozičního tlaku. Přibližně můžeme říci, že ejektor ke své funkci "spotřebuje" cca 50 % dispozičního tlaku (pokud je navržen správně).

Z obr. 3 je patrné, jak se mění poměr mezi primární a sekundární tlakovou difference H_{min} a h_{max} v závislosti na změně tlakové difference (tlakové ztráty) sekundární strany. V obrázku jsou zobrazeny vybrané ejektory pro 100 a 300 kW a tlakové rozsahy 28,5 až 48,0 kPa pro 100 kW a 42,5 až 58,5 kPa pro 300 kW. Pro výpočet byl zvolen teplotní spád primární strany 130/70 °C a sekundární 125/70 °C. Je patrné, že potřebný H_{min} by měl být od 1,70 do 1,95 násobku hodnoty h_{max} (h_{max} tvoří od 40 do 50 % dispozičního diferenčního tlaku na primární straně, podle konkrétní tlakové ztráty sekundární strany).

Obr. 4 ukazuje vliv měnící se teplotní difference mezi přívodem primární t_{01} a přívodem sekundární strany t_{04} , na poměr mezi diferenčními tlaky na primární a sekundární straně. Odtud je zřejmé, že bychom se při návrhu měli držet co nejnižší difference, aby požadavky na primární tlakovou difference byly co nejnižší.

Porovnání pořizovacích a provozních nákladů v případě dostatečného diferenčního tlaku

Pokud porovnáme čistě pořizovací náklady na jedné straně regulátoru tlakové difference, trojcestného ventilu s pohonem a směšovacího čerpadla (s konstantními i s proměnnými otáčkami) a na druhé straně regulátoru tlakové difference a ejektoru s pohonem dostáváme srovnání v tab. 1 (130/70 °C) a tab. 2 (90/70 °C).

Tab. 1 Porovnání ročních provozních nákladů jednotlivých řešení při tepelném spádu 130/70 °C

K – čerpadlo s konstantními otáčkami, V – čerpadlo s proměnnými otáčkami, E – regulovatelné ejektory

Q [kW]	Pořizovací náklady [Kč]			Roční potřeba el. energie [kWh]			Provozní náklady [Kč/rok]		
	K	V	E	K	V	E	K	V	E
100	17 700	22 700	29 000	254,6	122,6	6,6	1107,4	533,2	28,7
200	22 100	28 100	32 700	320,6	188,6	6,6	1394,5	820,3	28,7
300	27 800	37 100	33 400	565,7	330,0	6,6	2460,9	1435,5	28,7
400	32 800	42 100	36 800	641,1	490,3	6,6	2789,0	2132,7	28,7
500	32 800	42 100	36 800	678,9	518,6	6,6	2953,0	2255,8	28,7

Tab. 2 Porovnání ročních provozních nákladů jednotlivých řešení při tepelném spádu 90/70 °C

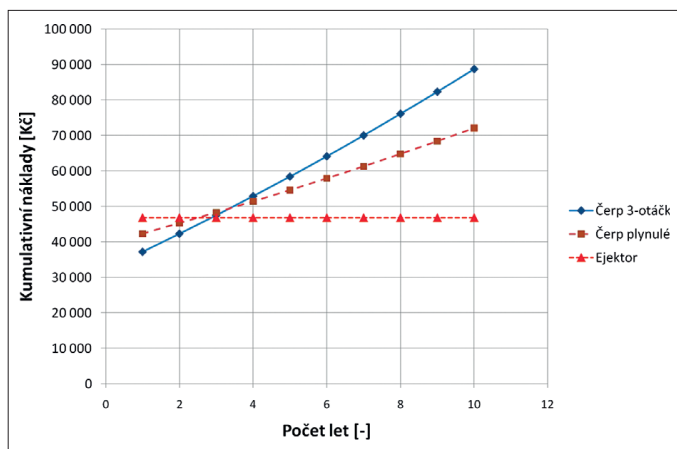
K – čerpadlo s konstantními otáčkami, V – čerpadlo s proměnnými otáčkami, E – regulovatelné ejektory

Q [kW]	Pořizovací náklady [Kč]			Roční potřeba el. energie [kWh]			Provozní náklady [Kč/rok]		
	K	V	E	K	V	E	K	V	E
100	24 200	33 300	29 800	528,0	339,4	6,6	2296,8	1476,5	28,7
200	29 200	38 300	33 200	697,7	471,4	6,6	3035,1	2050,7	28,7
300	32 320	39 400	46 800	1131,1	660,0	6,6	4921,7	2871,0	28,7
400	49 600	63 300	89 000	1603,9	905,1	6,6	6972,4	3937,4	28,7
500	83 000	96 700	89 000	1659,4	1112,6	6,6	7218,5	4839,7	28,7

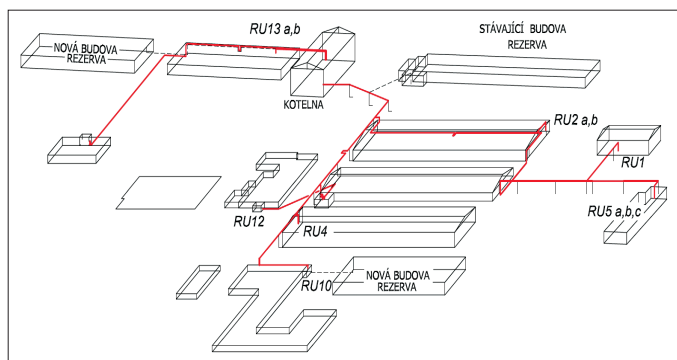
V obou případech vyjdou nejvýhodněji čerpadla s konstantními otáčkami s tím, že u ejektorů a čerpadel s proměnnými otáčkami závisí na konkrétních podmínkách v síti, jak dokazují i tabulky. V tabulkách jsou výpočty pro tlakovou ztrátu sekundárního okruhu 52,5 kPa. Byl navržen trojcestný ventil a regulátor tlakové difference. Zajímavé je i vlastní srovnání mezi tab. 1 a 2 s ohledem na pořizovací náklady. Vzhledem k nižšímu teplotnímu spádu v tabulce 2 (20 K) vychází vyšší průtoky a díky tomu i vyšší cena jednotlivých zařízení.

U provozních nákladů je situace odlišná. Zatímco čerpadla mají dané příkony při definovaných podmínkách, ejektor potřebuje elektrickou energii pouze na pohon regulační jehly a pouze při regulačním zásahu. Pro výpočet provozních nákladů byl uvažován případ provozu na jednu a půl směny, 220 dnů otopného období, 5 dní v týdnu. Výsledky jsou očekávatelné a patrné opět v tabulkách 1 a 2. Provozně nejohospodárnější jsou ejektory, pak čerpadla s proměnnými otáčkami a nakonec čerpadla s konstantními otáčkami. Je třeba si však uvědomit, že v této kalkulaci se počítá s dostatečným tlakem v primární síti. Ejektory mají řádově 1,5 až 2 násobně vyšší požadavek na dopravní tlak kotlového čerpadla než směšovací čerpadla. Provozní náklady na regulovatelný ejektor jsou nulové pouze z pohledu zákazníka. Náklady na provoz kotlového čerpadla hradí totiž zákazník v ceně za dodané teplo. Při kompletním hodnocení celkových nákladů soustavy by měl být uvažován i určitý podíl na provozních nákladech kotlového čerpadla.

Návratnost investice do směšovacího uzlu s regulovatelnými ejektory, v síti s dostatečným dispozičním tlakem (například v teplotní síti), je velmi krátká. Jak ukazuje obr. 5, u varianty 300 kW a 90/70 °C je doba návratnosti při uvažování 3% růstu cen el. energie cca 2,5 až 3 roky. Doba návratnosti vychází z vypočtených kumulativních nákladů (k pořizovacím nákladům se každý rok připočítají roční náklady na provoz a údržbu). Zde bylo uvažováno, že zařízení je nové a není předpoklad jakékoli poruchy v rámci analyzovaného období.



Obr. 5 Porovnání prostých kumulativních nákladů za období 10 let různých druhů směšovacích uzlů pro výkonovou variantu 300 kW

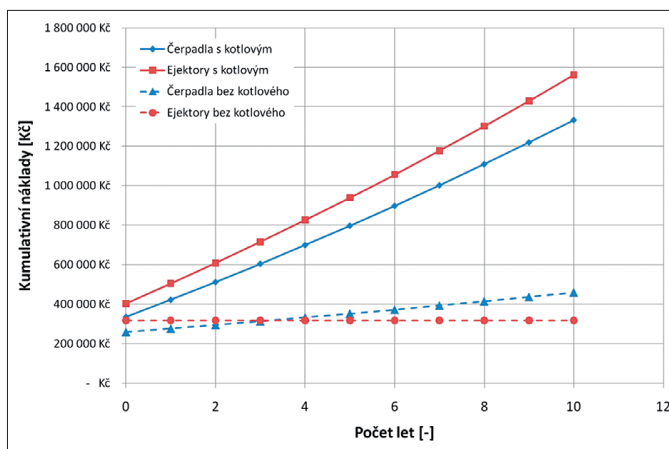


Obr. 6 Schéma distribuční sítě v průmyslovém areálu v Uničově

Pro čistě funkční volbu mezi oběma systémy lze s výhodou použít diagram, který připravil ve své diplomové práci Ing. Průdek [2]. Z diagramu lze na základě předpokladu teplotních a tlakových poměrů před a za směšovacím bodem určit vhodné řešení. Obecně lze konstatovat, že ejektory jsou vhodné všude tam, kde není vyžadována velká teplotní diference mezi primární a sekundární stranou a kde je dostatečný tlakový rozdíl. Vlastní návrh ejektorů (volbu konkrétní dimenze a trysky) buďto přímo zpracovávají odborné firmy, které tato zařízení vyrábějí nebo dovozejí, nebo je možné postup návrhu najít např. v [3].

Porovnání pořizovacích a provozních nákladů v případě dimenzování zdroje diferenčního tlaku (kotlového čerpadla)

Pokud se v projektu řeší porovnání pro celou síť, je situace zcela odlišná. Pořizovací a provozní náklady kotlového čerpadla mohou výrazně ovlivnit celkový výsledek a návratnost vložené investice. Vzhledem k tomu, že by bylo porovnání na obecné úrovni velmi obtížné, byl uvažován konkrétní projekt zásobování teplem výrobního areálu v Uničově (obr. 6). Areál se skládá celkem ze 17 vytápěných objektů o celkovém instalovaném výkonu zdroje tepla 2 300 kW. V tomto srovnání budeme uvažovat pouze směšovací uzly, které budou realizovány v první etapě, celkem 942 kW (seznam a výkony viz tab. 3). Některé objekty mají více regulovaných větví, proto byly tyto větve pro odlišení označeny písmenky a, b, ... Porovnání bylo obdobné jako u základního srovnání. Nejdříve byly dimenzovány armatury, které se u obou řešení lišily (směšovací čerpadla, regulátory tlakové difference, trojcestné ventily a na druhé straně ejektory) [4]. Dále bylo pro obě řešení dimenzováno zdrojové (kotlové čerpadlo) – v tab. 3 označeno "Z.Č." a následně byl z podkladů výrobce stanoven potřebný příkon všech čerpadel. U kotlového čerpadla se uvažuje nepřetržitý provoz v průběhu celého otopného období. Zdrojem v tomto areálu je kotelna na biomasu zajišťující nominální teplotní spád 90/70 °C.



Obr. 7 Kumulativní náklady na směšovací uzly v průmyslovém areálu v Uničově pro řešení se směšovacími čerpadly a s regulovatelnými ejektory ve variantě s a bez kotlového čerpadla

Tab. 3 Porovnání ročních provozních nákladů směšovacích uzlů se směšovacími čerpadly a regulovatelnými ejektory při teplotním spádu 90/70 °C

G [kW]	V [m³/h]	SMĚŠOVACÍ ČERPADLA				REGULOVATELNÉ EJEKTORY					
		Δp_c [kPa]	Roční potřeba el. energie [kWh]	Provozní náklady [Kč]	Pořizovací náklady [Kč]	h_{max} [kPa]	H_{min} [kPa]	Roční potřeba el. energie [kWh]	Provozní náklady [Kč]	Pořizovací náklady [Kč]	
RU 1	75	3,2	27	332	1440	21 100	9	21	7	30	32500
RU 2a	10	0,4	15	125	540	14 900	10	26	7	30	20 900
RU 2b	163	7	57	726	3160	27 900	43	99	7	30	44 800
RU 4	271	11,6	46	788	3430	28 700	32	82	7	30	46 800
RU 5a	50	2,1	36	259	1130	20 300	18	49	7	30	23 600
RU 5b	38	1,6	40	228	990	20 300	23	61	7	30	22 900
RU 5c	12	0,5	26	145	630	26 500	19	51	7	30	27 100
RU 10	140	6	54	602	2620	39 000	40	104	7	30	44 800
RU 12	90	3,9	30	342	1490	22 500	15	39	7	30	32 500
RU 13a	18	0,8	26	135	590	14 900	8	21	7	30	21 800
RU 13b	75	3,2	30	332	1440	23 200	12	32	7	30	33 200
Z.Č.*	1749	75	76	15 972	69 480	76 400	110	23 232	101 060	85 300	
Celkem				19 986	86 940	335 700		23 305	101 390	436 200	

* Z.Č. znamená zdrojové čerpadlo

Již na porovnání v tabulce je zřejmé, že provozní náklady kotlového čerpadla pro případ regulovatelných ejektorů převáží výhody, které mají samotné ejektory jako prvek. Jelikož je potřebná výtlačná výška 11,0 m a ne 7,6 m, dostáváme se s čerpadlem do jiné typové řady (průtok 75 m³/h) a tím pádem i skokově k vyššímu elektrickému příkonu. Na obrázku 7 jsou opět kumulované náklady a to jednak porovnání včetně kotlového čerpadla a jednak bez čerpadla. Zde je zřejmé, že bez úpravy distribuční sítě (za účelem snížení tlakových ztrát na sekundárních větvích) se regulovatelné ejektory pro tuto aplikaci nevyplatí. Při úpravě distribuční sítě (zvětšování dimenzí) by však došlo k dodatečným nákladům (potrubí, izolace, montáž), které by musely být do celé rovnice započítány, aby bylo srovnání úplné a korektní.

Alternativní srovnání použití regulovatelných ejektorů, včetně návrhu kotlového čerpadla je možné nalézt v [4]. Jedná se o vytápění šesti okruhů ve škole s teplotním spádem 75/55 °C. V tomto případě instalace regulovatelných ejektorů vyšla lépe s prokazatelnými úsporami.

ZÁVĚR

Jak článek ukázal, v případě že se navrhuje pouze směšovací uzel s předem daným dispozičním tlakem na primární straně, regulovatelné ejektory jsou více než srovnatelnou alternativou řešení směšovacího

uzlu s trojcestnými ventily a čerpadly. Doba návratnosti se pohybuje řádově od tří do osmi let, podle instalovaného výkonu. Platí, že se zvyšujícím se výkonem, doba návratnosti investice klesá. Na druhou stranu v případě, že se navrhuje i primární čerpadlo, je instalace sítě se 100% osazením všech směšovacími body regulovatelnými ejektory z investičního hlediska problematická.

Záleží na konkrétní síti, její rozlehlosti a rozdělení na samostatné okruhy. Významným faktorem, který vše může ovlivnit je životnost zařízení. Zatímco točivá zařízení jako čerpadla vydrží 10 až 15 let, regulovatelný ejektor nebo trojcestný ventil, pokud bude filtr pravidelně čištěn, může fungovat i dvacet let (závisí na četnostech regulačního zásahu – opotřebení ucpávků vřetene).

Kontakt na autora: Ondrej.Hojer@fs.cvut.cz

Poděkování

Článek byl podpořen z výzkumného záměru VZ MŠMT 684 077 0011.

Použité zdroje:

- [1] Hibš, M., *Proudové přístroje*. SNTL Praha 1981. 183 s.
- [2] Průdek, M., Bašta, J., *Použití regulovatelných ejektorů*. VVI (Vytápění Větrání Instalace) roč. 16, č. 3. ISSN 1210-1389, Praha: STP 2007
- [3] Kotrbatý, M.; Hojer, O., *Využití a návrh regulovatelných ejektorů. Požadavky na potrubní síť*. TZB HAUSTECHNIK, ISSN 1210-356X, č.3, Alfa konti 2004, str. 13-15.
- [4] Bašta, J., *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Ediční středisko ČVUT. 2003. 252 s. 209 obr. ISBN 80-01-02808-9.
- [5] Gebauer, M., *Hydrodynamische Wasser-Wärme-Verteilung mit sechs Regelkreisen und nur eine Umwälzpumpe*. HLK (Heizung Lüftung Klimatechnik). 11/2007. 2007



LUFBERG
CONSTRUCTIVE DECISIONS



Servopohony, ventily a termostaty

tradiční značky Lufberg

aqua-therm
PRAHA
INTERNATIONAL

Hala č. 3, stánek 367

Navštivte náš stánek na výstavě
Aquatherm v Praze
v termínu 22. - 26. 11. 2011

...vaše konstruktivní
rozhodnutí!



info@lufberg.eu

www.lufberg.eu

Máme rádi čerstvý vzduch.
Nejvíce, když jej můžeme regulovat.

www.hoval.cz

TopVent®

Nejvyšší komfort s minimální spotřebou energie

Hoval

Správné klima je rozhodující pro naše pocity. Proto vyvíjíme technicky vylepšené systémy klimatizace hal, které zajišťují příjemné klima vždy tam, kde jste: při nakupování v supermarketu, při práci v průmyslové hale nebo při tréninku ve sportovní hale. TopVent® cirkulační a přívodní jednotky pro vytápění a chlazení vysokých hal jsou vybaveny regulovatelnou výustkou a ventilátorem šetřícím energií. Vířivou výustkou je vzduch rozdělován do haly bez průvanu, teplotní vrstvení vzduchu je odstraněno a spotřeba energie minimální. Můžete se tak cítit opravdu dobře i tam, kde počasí ukazuje svoji moc, například v Alpách.

