

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA V ADMINISTRATIVNÍCH
BUDOVÁCH**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Anotace

V dnešní době je ve všech technických odvětvích jedním z hlavních cílů co nejefektivněji využít všechny dostupné zdroje potřebné pro provoz strojů či výrobních zařízení a pro vytvoření vhodných podmínek k pobytu člověka ve vnitřních prostorech. Cílem této bakalářské práce je popsat dostupné způsoby maximálního využití energie ve formě tepla v odpadním vzduchu zejména při větrání administrativních budov. Důležitým aspektem v oblasti hospodaření s energií se od 1. 1. 2016, díky nové směrnici Evropského parlamentu stává ekodesign (směrnice), který nařizuje používání vzduchotechnických jednotek s definovanými minimálními účinnostmi. Tyto a další specifikace spolu s vyhodnocením nejvhodnějšího návrhu řešení zpětného získávání tepla (dále jen ZZT) v administrativních budovách budou uvedeny v následujících kapitolách.

Abstract

Nowadays, in all branches of industry the most effective use of available resources is being sought. The main target is to create suitable life conditions for human's indoor stay. This bachelor thesis is focused on the means of maximal use of energy, especially the energy accumulated in exhaust air while air-conditioning administrative buildings. The major role in energy management has since January 1, 2016 The EU legislation on Ecodesign and energy labelling. It is a very effective tool for improving the products' efficiency. In the conclusion of this thesis there will be summarized possible ways of heat recovery together with specific designs provided by Czech market.

Obsah

1. Způsoby ZZT.....	1
1.1 Regenerační výměníky	1
1.1.1 Rotační výměníky	1
1.1.2 Přepínací výměníky	2
1.2 Rekuperační výměníky.....	2
1.2.1 Deskové rekuperační výměníky	3
1.2.2 Trubkové výměníky	4
1.3 Výměníky s pomocnou tekutinou	4
1.3.1 Výměníky s kapalinovým oběhem.....	4
1.3.2 Tepelné trubice	4
1.3.3 Chladivové systémy s kompresorem.....	5
2. Ekodesign	6
3. Porovnání způsobů ZZT pro administrativní budovy	6
3.1 Jednotky Bösch.....	7
3.1.1 Poznámky k jednotkám Bösch	14
3.2 Jednotky Denco Happel	14
3.2.1 Poznámky k jednotkám Denco Happel	19
3.3 Jednotky Bösch nesplňující novou směrnici o ekodesignu	19
3.4 Jednotky Denco Happel nesplňující novou směrnici o ekodesignu.....	23
4. Závěr.....	26

Soupis značení

ZZT	zpětné získávání tepla	
V	objemový průtok vzduchu	m ³ /h
V _p	objemový průtok přívod. vzduchu	m ³ /h
V _o	objemový průtok odvod. vzduchu	m ³ /h
SFP _v	měrný příkon ventilátoru	W/(m ³ /s)
η	účinnost rekuperace	%
t _r	teplota po rekuperaci	°C
φ _r	relativní vlhkost po rekuperaci	%
x _r	měrná vlhkost po rekuperaci	g/kg
t _o	teplota po ohřevu	°C
φ _o	relativní vlhkost po ohřevu	%
x _o	měrná vlhkost po ohřevu	g/kg
t _{ch}	teplota po chlazení	°C
φ _{ch}	relativní vlhkost po chlazení	%
x _{ch}	měrná vlhkost po chlazení	g/kg
Q	topný/chladicí výkon	kW
t _v	teplota po vlhčení	°C
φ _v	absolutní vlhkost po vlhčení	%
M _w	zvlhčovací výkon	kg/h
P _{el}	elektrický příkon zvlhčovače	kW

1. Způsoby ZZT

Pojmem ZZT se rozumí využití energie, která je obsažena v odpadním vzduchu odváděného ven z budovy, k úpravě čerstvého přírodního vzduchu. Ve většině případů dochází při zpětném získávání tepla ke změně teplot, ale existují i zařízení schopná přenosu vlhkosti [1].

Základní rozdělení systémů ZZT:

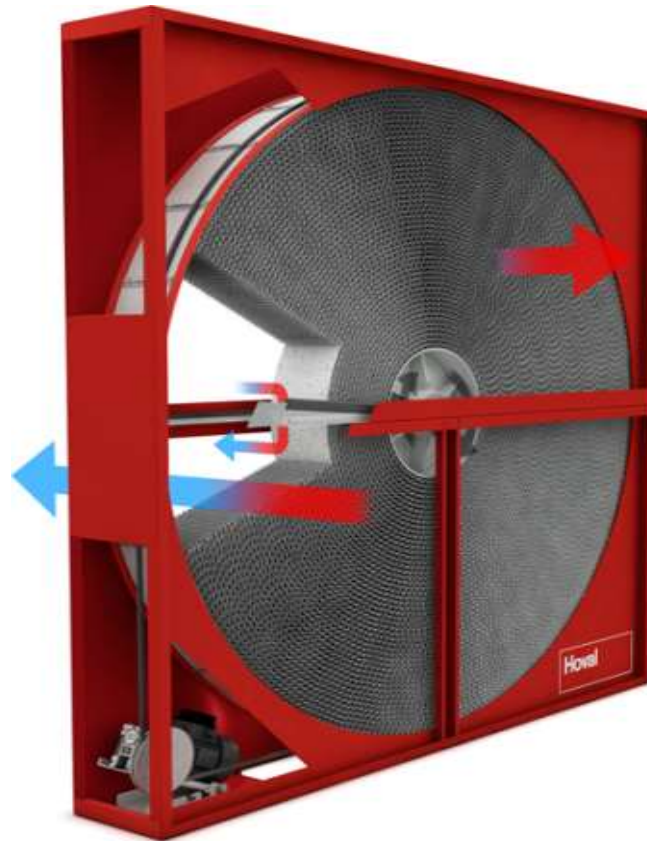
- a) Regenerační
- b) Rekuperační
- c) S pomocnou tekutinou

1.1 Regenerační výměníky

U regeneračních výměníků je prostředníkem pro přenos tepla prvek, který do sebe toto teplo nejprve naakumuluje a pak jej předá do přiváděného venkovního vzduchu. Na tomto principu fungují výměníky rotační a přepínací.

1.1.1 Rotační výměníky

Regenerační výměník se skládá z rotujícího kola, které tvoří vlastní akumulární hmotu, rámu včetně opláštění a elektromotoru sloužícího k pohonu výměníku. Akumulační hmota je nejčastěji vlnitý hliníkový plech stočený do spirály, prokládaný prolamovaným plechem, čímž dojde k vytvoření drobných kanálků, kterými proudí vzduch. Místo hliníku lze využít i plasty nebo tvrzenou papírovinu. Při požadavku na přenos vlhkosti se využívá speciálních úprav povrchu nanesením hydrofobické vrstvy na teplosměnné plochy výměníku. Za pomoci elektromotoru a řemenového převodu se regenerační výměník plynule otáčí ve vzduchotechnické komoře ze sekce, kde proudí vzduch odpadní do sekce, kde je přiváděn vzduch venkovní. Tím dochází k souvislému přenosu tepla popřípadě vlhkosti mezi proudy odsávaného a přiváděného vzduchu. Pro snížení přenosu nežádoucích nečistot z odpadního vzduchu se rotor před vstupem do proudu přiváděného vzduchu profoukne čistým venkovním vzduchem. Je vhodné zajistit malý přetlak přiváděného vzduchu vůči odváděnému, aby se co nejvíce omezilo pronikání škodlivin z odváděného vzduchu netěsnostmi okolo rotoru do vzduchu přiváděného. I přes to je u rotačních výměníků zvýšená pravděpodobnost přenosu škodlivin. Proto nejsou rotační výměníky vhodnou volbou tam, kde je odpadní vzduch znehodnocen významnými škodlivinami, které mohou ovlivnit kvalitu vnitřního prostředí [1].



Obrázek 1: Rotační výměník [6]

1.1.2 Přepínací výměníky

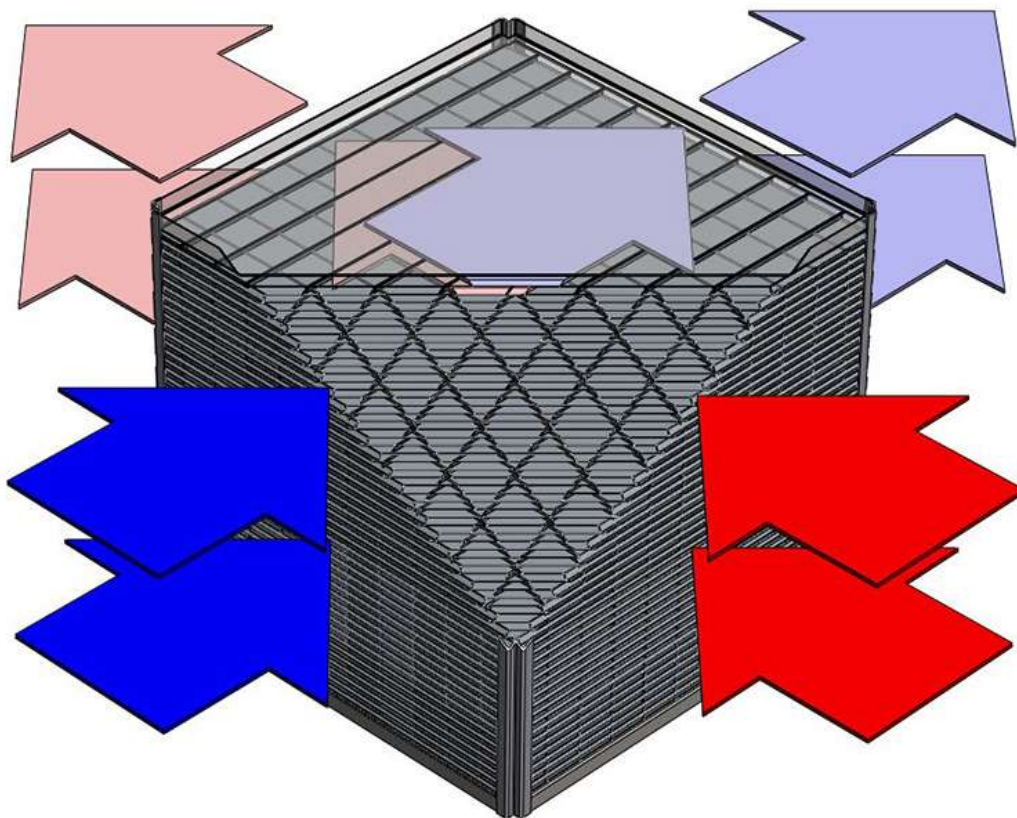
Přepínací regenerační výměník je složen z dvou akumulčních ploch, které zůstávají nehybné a za pomoci klapky dochází pouze k střídavému přepínání proudu přiváděného a odváděného vzduchu mezi dvěma komorami, kde se akumulční plochy nacházejí. Tím dochází k opakovanému nabíjení (akumulaci tepla) a vybíjení (předání tepla) akumulční hmoty. Výhodou u toho typu výměníku je poměrně vysoká teplotní (60-90%) i vlhkostní (50-70%) účinnost. Značnou nevýhodou je přenos škodlivin mezi přiváděným a odváděným vzduchem, které v praxi nejde nijak zabránit. Také je potřeba zohlednit, že se jedná o konstrukčně velice složité a často velmi rozměrné zařízení a proto se používá jen ve speciálních případech. [1]

1.2 Rekuperační výměníky

Rekuperační výměník je založen na principu přenosu tepla přímo přes teplosměnnou plochu výměníku. Tato skupina zahrnuje deskové či trubkové výměníky.

1.2.1 Deskové rekuperační výměníky

Deskové výměníky patří mezi jeden z nejpoužívanějších způsobů k zpětnému získávání tepla. K přenosu tepla zde dochází přímo přes teplosměnné plochy výměníku, které ve většině případů tvoří desky z oceli, hliníku, plastu či jiného dobře tepelně vodivého materiálu. Tyto desky mezi sebou vytváří kanálky, kde vždy z jedné strany desky proudí vzduch přívodní a z druhé strany vzduch odpadní. Jednotlivé desky jsou mezi sebou spojeny mechanicky (svařeny, sešroubovány, slepeny) a jejich počet, rozměry mezery mezi nimi závisí na předpokládaném znečištění vzduchu. Teplotní účinnost u tohoto typu výměníku se pohybuje v rozmezí 40-90%. U běžných provedení nedochází k přenosu vlhkosti, protože proudy vzduchu jsou od sebe odděleny teplosměnnou plochou, která neumožňuje přenos jakýchkoliv tekutin. Pouze ve speciálních případech, kde je teplosměnná plocha vyrobená z materiálu na bázi papíru, dochází jak k přenosu tepla, tak i vlhkosti. Jelikož je výměník trvalou součástí vzduchotechnické trasy, ale neobsahuje žádné mechaniky pohyblivé části, tak jako tomu bylo u předchozích typů, není možné deskové výměníky vypnout ani přímo regulovat. Z tohoto důvodu se vybavují obtokem s regulační klapkou (bypasssem) tak, aby bylo možné regulovat výkon výměníku nebo ho úplně odstavit v době, kdy není potřeba. [2]



Obrázek 2 : Deskový výměník [7]

1.2.2 Trubkové výměníky

Trubkové výměníky jsou ve své podstatě velice podobné deskovým výměníkům. Rozdíl je v tom, že zde není teplosměnná plocha tvořena rovnými deskami ale svazkem trubek, ve kterých protéká vzduch (ve většině případů odpadní) a z vnější strany trubek proudí vzduch přiváděný. Výhodou trubkových profilů je větší pevnost oproti deskám a tím umožňují provedení z materiálů, jako jsou plasty či sklo. Nevýhodou kruhové teplosměnné plochy ve srovnání s rovinou deskou je její menší plocha a tím i menší teplotní účinnost (30-50%). [3]

1.3 Výměníky s pomocnou tekutinou

U těchto typů výměníků slouží tekutina jako přenosové medium mezi odpadním a venkovním vzduchem. K nim patří výměníky s kapalinovým oběhem, tepelné trubice a chladivové systémy s kompresorem.

1.3.1 Výměníky s kapalinovým oběhem

Tento systém ZZT využívá dvojici výměníků vzduch-voda, z nichž jeden je umístěn ve vzduchu přívodním a druhý ve vzduchu odpadním. Oba výměníky jsou navzájem propojeny kapalinovým okruhem, ve kterém proudí nemrznoucí směs, z důvodu využití tohoto typu ZZT zejména pro nízké teploty vzduchu. Nemrznoucí směs proudí mezi výměníky za pomoci oběhového čerpadla, které je nedílnou součástí celého systému, stejně jako expanzní nádoba či regulační prvky. Výhodou je, že při použití kapalinového okruhu nemusí být přívodní a odvodní potrubí přímo u sebe a je tak možný přenos tepla tam, kde nelze potrubí vzájemně propojit a také je zde vyloučen přenos škodlivin mezi přiváděným a odváděným proudem vzduchu. Další výhodou je také možnost volby výměníku vzduch-voda, co se týče počtu lamel či odolnosti materiálu při odvodu například chemicky znečištěného vzduchu. Tato volba se odráží na tepelné účinnosti celého systému, která se v běžných případech pohybuje mezi 30-50%. Ve speciálních případech, za použití víceřadých výměníků, může účinnost vzrůst až na 80%. [2]

1.3.2 Tepelné trubice

U tepelných trubic je pro přenos tepla využit přirozený oběh chladiva za pomoci jeho skupenských změn, není tedy potřeba oběhových čerpadel jako u výměníku s kapalinovým oběhem. Trubice je umístěna v potrubí tak, že její horní polovina se nachází v proudu vzduchu přiváděného a dolní polovina v proudu vzduchu odpadního. Ve spodní části je chladivo v kapalném stavu, odpadní vzduch uvede chladivo k varu a dochází k jeho odpařování. Páry vystoupají do horní části, kde odevzdají své teplo do vzduchu přívodního, tím zkondenzují

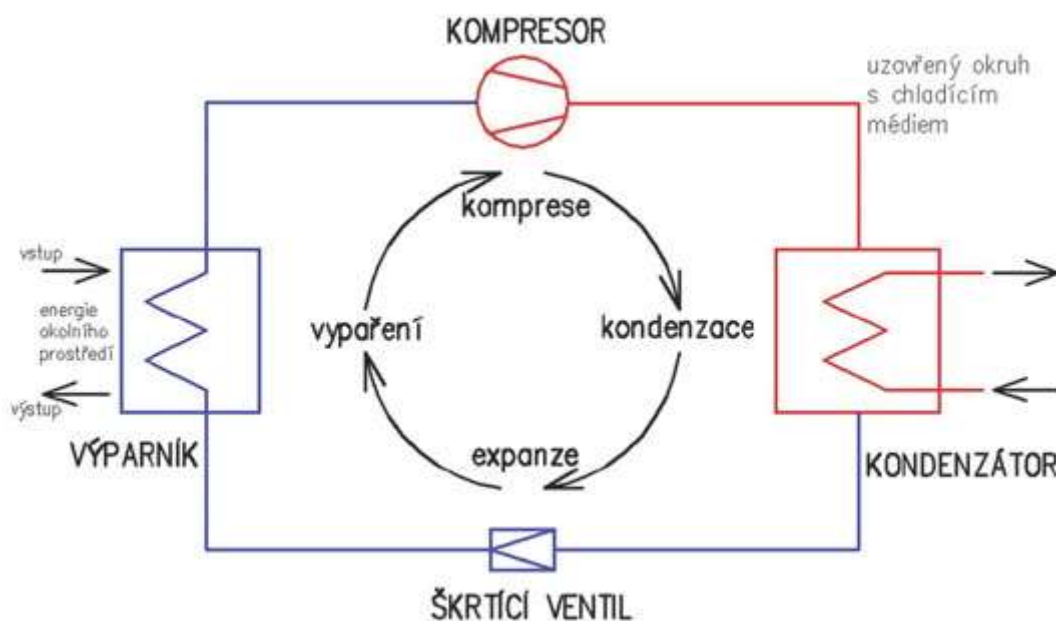
a stékají zpět dolů. Vlastnosti daného chladiva musí vyhovovat teplotnímu rozsahu přiváděného a odpadního vzduchu, tak aby docházelo k varu a následné kondenzaci a celé zařízení pracovalo správně. S využitím žebrování na vnější straně trubice, se dosahuje lepšího přenosu tepla mezi vzduchem a chladivem. U tohoto typu ZZT prakticky nedochází k přenosu škodlivin. Speciální provedení tepelné trubice umožňuje i vodorovné umístění v potrubí, zde zajišťují pohyb chladiva kapilární síly [1].



Obrázek 3 : Princip tepelných trubíc [8]

1.3.3 Chladivové systémy s kompresorem

Chladivové systémy jsou založeny na principu tepelných čerpadel. K přenosu tepla zde dochází pomocí skupenských změn teplotně látky. Samotný systém se skládá ze čtyř částí: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Do výparníku přichází pracovní kapalina, která se díky větší okolní teplotě (odpadní vzduch v zimě) odpaří a stane se nositelem tepla. Dále páry dorazí do kompresoru, kde dojde ke stlačení (zvýšení tlaku i teploty) a následnému vytlačení do kondenzátoru. V kondenzátoru se teplo odevzdá (do studeného přírodního vzduchu) a pracovní látka zkondenzuje. Pomocí expanzního ventilu je kapalina opět dopravena do výparníku a celý cyklus se opakuje. Stejně jako u systému s kapalinovým okruhem, lze tento způsob využít tam, kde nemohou být přírodní a odvodní potrubí umístěna přímo u sebe. [2]



Obrázek 4: Princip tepelného čerpadla [9]

2. Ekodesign

Na počátku roku 2016 vstoupilo v platnost nové nařízení komise Evropské unie č. 1253/2014 týkající se směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, týkající se požadavků na ekodesign větracích jednotek. Toto nařízení ovlivňuje návrh, označování i samotnou výrobu větracích a klimatizačních jednotek. Pro jiné než obytné budovy, kam spadají i administrativní budovy, platí celá řada zvláštních požadavků. Například nově od roku 2016 musí mít všechny obousměrné větrací jednotky systém zpětného získávání tepla, a ten musí mít navíc zařízení umožňující tepelný obtok. Dále jsou kladeny větší požadavky na účinnosti, a to jak na tepelnou, tak na účinnost ventilátoru. Toto nařízení je ale pouze přípravou na rok 2018, kdy má v platnost vstoupit nové nařízení ještě více zpřísnující současné limity na účinnosti a měrné příkony všech větracích systémů uvedených na trh. Důvodem těchto přísných požadavků je zejména významný objem prodeje větracích jednotek a dopad jejich výroby na životní prostředí. [3]

3. Porovnání způsobů ZZT pro administrativní budovy

Druhá část práce se bude zabývat srovnáním jednotlivých druhů ZZT v administrativních budovách. Pro srovnání byly vybrány nejpoužívanější systémy ZZT pro větší budovy a to rotační výměník, deskový výměník v provedení křížovém a protiproudém a kapalinový oběh. Tyto čtyři způsoby jsou navrženy pro tři objemové průtoky (5000 m³/h, 20000 m³/h, 50000 m³/h), ke kterým lze přiřadit malou kancelář, střední a velkou administrativní budovu.

Pro návrh všech sestavných jednotek byly použité společné parametry pro léto a zimu uvedené v tabulce níže. Návrhové podklady sestavných jednotek byly poskytnuty od dvou předních výrobců Bösch a Denco Happel. Dále bude pro rotační a deskový výměník provedeno srovnání návrhu jednotek před a po začátku platnosti nové směrnice Evropského parlamentu o požadavcích na ekodesign větracích jednotek.

Tabulka 1: Společné parametry pro návrh jednotek

Objemový průtok vzduchu		$V = V_p = V_o$	
Externí tlak		300 Pa	
Vodní ohřivač		Teplotní spád	60/40 °C
Vodní chladič		Teplotní spád	13/7 °C
Zima	Venkovní vzduch	Teplota	-15 °C
		Relativní vlhkost	90 %
	Odvodní vzduch	Teplota	21 °C
		Relativní vlhkost	30 %
Léto	Venkovní vzduch	Teplota	32 °C
		Relativní vlhkost	37 %
	Odvodní vzduch	Teplota	25 °C
		Relativní vlhkost	55 %

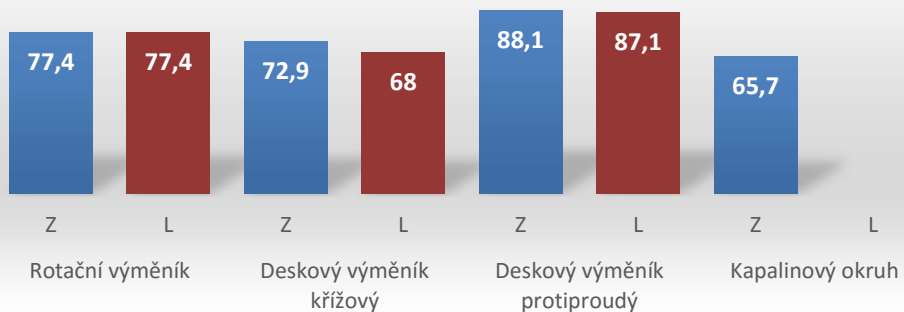
3.1 Jednotky Bösch

V následujících tabulkách jsou shrnuty získané podklady od firmy Bösch, které poskytl Ing. Miloš Pozdník. Každou tabulku doplňují čtyři grafy zobrazující jednotlivé účinnosti, potřebné výkony chladičů a ohřivačů, měrné příkony ventilátorů a potřebný elektrický příkon zvlhčovačů.

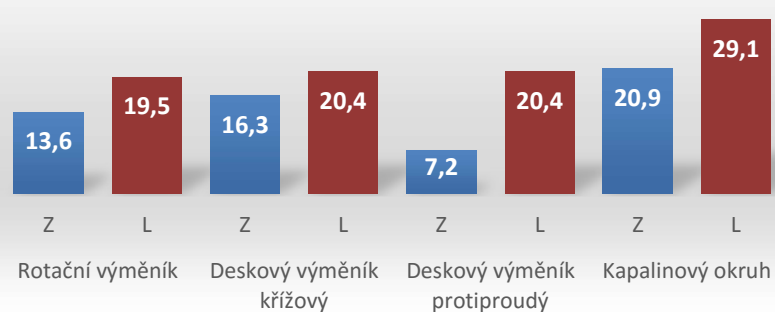
Tabulka 2: Jednotky Bösch pro průtok vzduchu 5000 m³/h

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 5000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	928	3,8	2,9	1386	Z	77,4	12,9	37	3,4	21	22	3,4	13,6	21	30	8,4	6,3
					L	77,4	26,6	50	11	17	81	9,9	19,5	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	961	3,8	3	1455	Z	72,9	11,3	11	0,9	21	6	0,9	16,3	21	30	22,2	16,65
					L	68	27,2	49	11,2	17	81	9,9	20,4	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	1046	3,8	3,2	1560	Z	88,1	16,7	8	0,9	21	6	0,9	7,2	21	30	22,2	16,65
					L	87,1	25,9	53	11,2	17	81	9,9	20,4	-	-	-	-
Kapalinový okruh	1125	3,8	3,4	1675	Z	65,7	8,6	15	1	21	7	1	20,9	21	30	22,2	16,65
					L	-	-	-	-	17	81	9,9	29,1	-	-	-	-

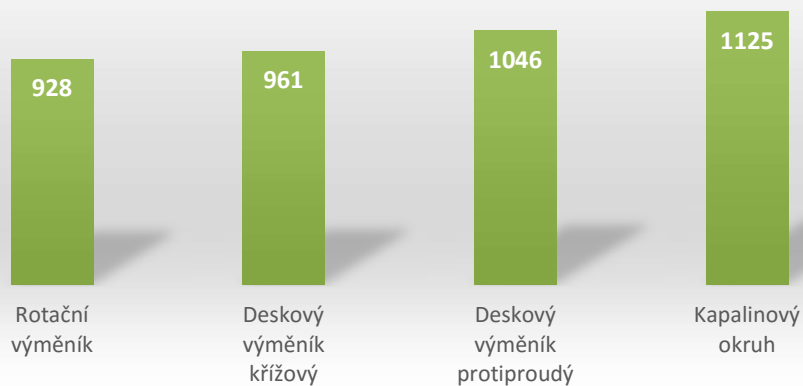
účinnost rekuperace - η [%]



topný/chladicí výkon - Q [kW]



měrný příkon ventilátorů - SFPv
[W/(m³/s)]



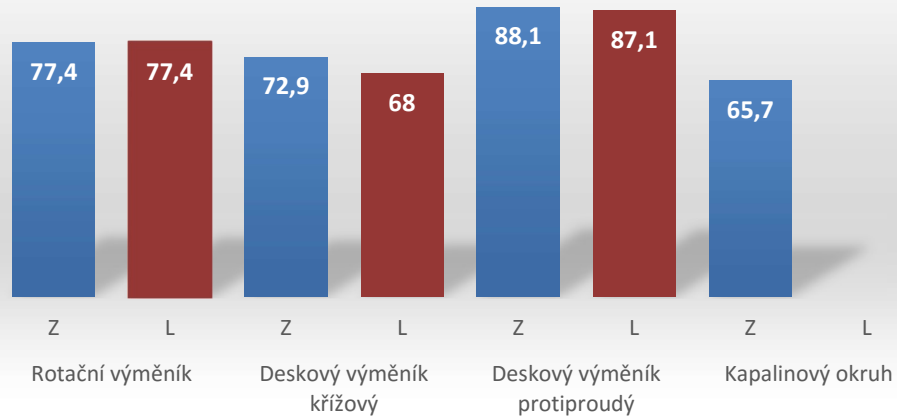
elektrický příkon zvlhčovače - P_{el}
[kW]



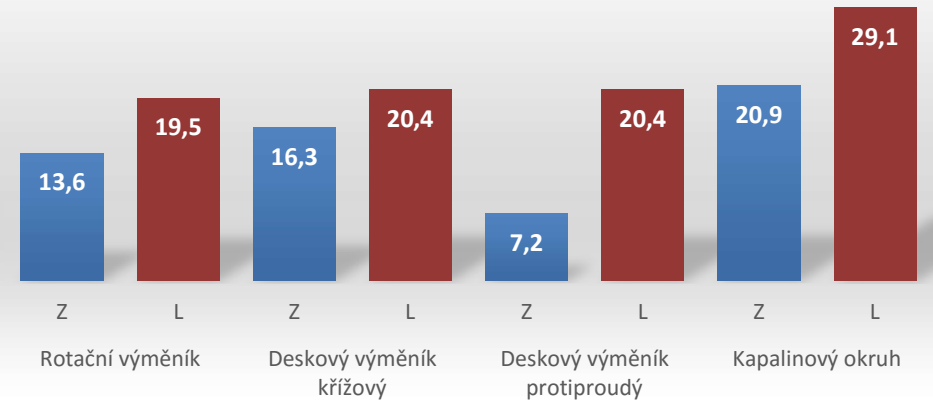
Tabulka 3: Jednotky Bösch pro průtok vzduchu 20000 m³/h

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 20000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	931	13,2	11,6	1476	Z	74,5	11,8	37	3,2	21	21	3,2	61,9	21	30	37,2	27,9
					L	74,5	26,8	50	11,2	17	84	10,3	83,5	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	953	16,6	12,2	1542	Z	72	10,9	12	1	21	6	1	68,0	21	30	88,9	66,7
					L	67,9	27,2	49	11,2	17	83	10,2	85	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	971	13,2	12	1527	Z	88	16,7	8	0,9	21	6	0,9	29,0	21	30	88,9	66,7
					L	87,1	25,9	53	11,2	17	83	10,2	77,2	-	-	-	-
Kapalinový okruh	1010	13,2	12,5	1582	Z	65	8,6	16	1,1	21	7	1,1	83,5	21	30	88,9	66,7
					L	-	-	-	-	17	85	10,4	117,4	-	-	-	-

účinnost rekuperace - η [%]



topný/chladicí výkon - Q [kW]



měrný příkon ventilátorů - SFPv
[W/(m³/s)]



elektrický příkon zvlhčovače - P_{el} [kW]

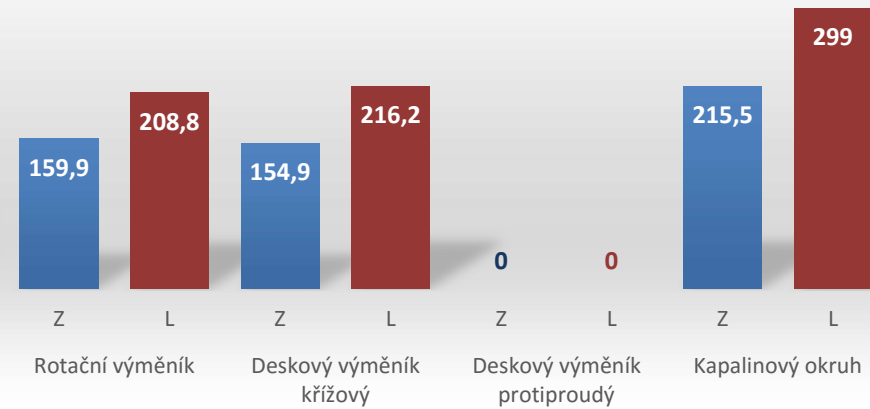


Tabulka 4: Jednotky Bösch pro průtok vzduchu 50000 m³/h

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 50000 m ³ /h			Rekuperace					Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZTZ	SFP _v	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1005	44	31	1549	Z	73,6	11,5	37	3,1	21	20	3,1	159,9	21	30	92,9	69,7
					L	73,6	26,8	50	11,2	17	82	10	208,8	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	974	44	30,8	1541	Z	74,5	11,8	11	0,9	21	6	0,9	154,9	21	30	222,3	166,7
					L	70,1	27,1	49	11,1	17	83	10,2	216,2	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	-	-	-	-	Z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kapalinový okruh	1126	44	34,3	1677	Z	64,4	8,2	15	1	21	7	1	215,5	21	30	222,3	166,7
					L	-	-	-	-	17	82	10	299	-	-	-	-

účinnost rekuperace - η [%]

topný/chladicí výkon - Q [kW]

měrný příkon ventilátorů - SFPv
[W/(m³/s)]elektrický příkon zvlhčovače - P_{el} [kW]

3.1.1 Poznámky k jednotkám Bösch

U kapalinového okruhu pro letní období nejsou uvedeny hodnoty rekuperace z důvodu malých teplotních rozdílů mezi chladicí kapalinou a přívodním vzduchem, provoz výměníku by se nevyplatil. U deskového protiproudého výměníku pro 50000 m³/h nebyla jednotka navržena z důvodu neekonomičnosti a neprakticky velkých rozměrů jednotky. U systému s kapalinovým okruhem pro 50000 m³/h je jednotka na dvě samostatné, neboť má každá výšku 2,5 m. Takto velké jednotky není vhodné umísťovat nad sebe.

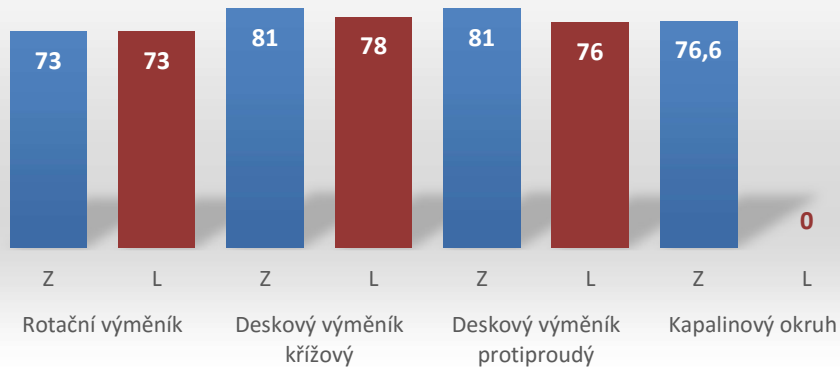
3.2 Jednotky Denco Happel

V následujících tabulkách jsou obdobně jako v kapitole 3.1 shrnuty získané podklady od firmy Denco Happel, které poskytl Ing. Radim Šourek. Každou tabulku doplňují čtyři grafy zobrazující jednotlivé účinnosti, potřebné výkony chladičů a ohřivačů, měrné příkony ventilátorů a elektrický příkon zvlhčovače.

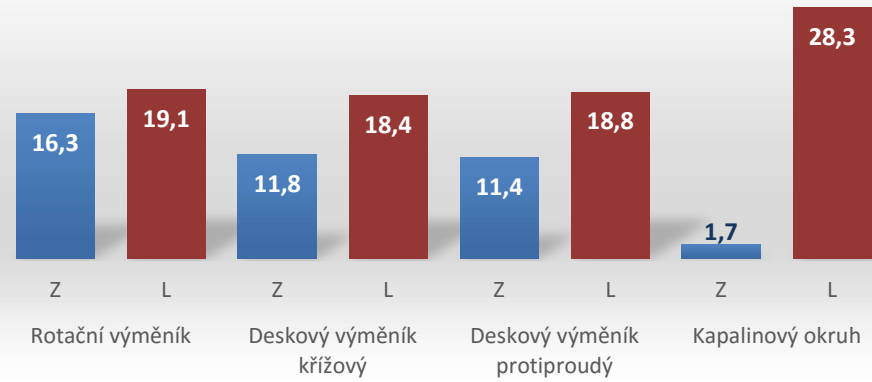
Tabulka 5: Jednotky Denco Happel pro průtok vzduchu 5000 m³/h

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 5000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1290	4,4	3,7	1522	Z	73	11,3	34	2,8	21	18,3	2,8	16,3	21	30	11,4	8,55
					L	73	26,9	50	11	17	87,3	10,6	19,1	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	1140	3,7	3,5	1491	Z	81	14	9	0,9	21	5,7	0,9	11,8	21	30	22,8	17,1
					L	78	26,6	51	11,1	17	78,7	10,6	18,4	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	1110	3,7	3,4	1496	Z	81	14,2	9	0,9	21	5,9	0,9	11,4	21	30	22,8	17,1
					L	76	26,7	68	14,8	17	92,5	11,2	18,8	-	-	-	-
Kapalinový okruh	1310	4,4	4	1708	Z	76,6	20	6	0,9	21	5,6	0,9	1,7	21	30	22,8	17,1
					L	-	-	-	-	17	85,6	10,4	28,3	-	-	-	-

účinnost rekuperace - η [%]



topný/chladicí výkon - Q [kW]



měrný příkon ventilátorů - SFPv
[W/(m³/s)]



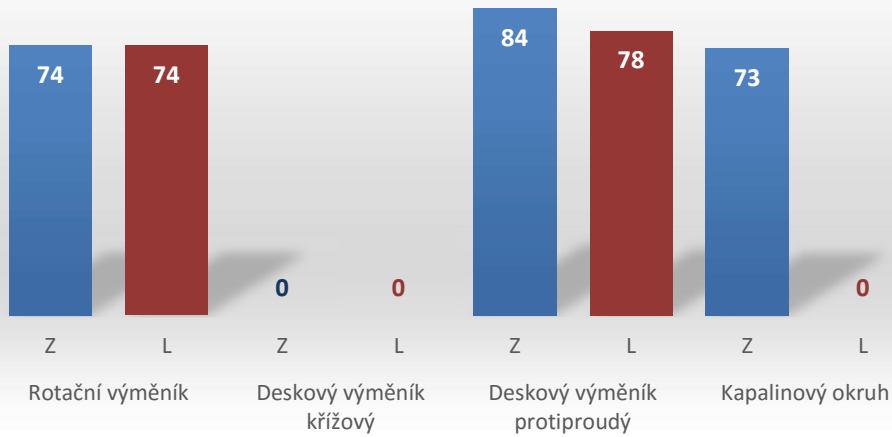
elektrický příkon zvhčovače - P_{el}
[kW]



Tabulka 6: Jednotky Denco Happel pro průtok vzduchu 20000 m³/h

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 20000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1200	16	14,2	1569	Z	74	11,5	34	2,8	21	18,5	2,8	64	21	30	45,6	34,2
					L	74	26,9	50	11	17	87,2	10,6	76,5	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	-	-	-	-	Z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	1200	16	14,6	1760	Z	84	15,3	9	0,9	21	7,3	1,1	38,4	21	30	86,4	64,8
					L	78	26,5	68	14,9	17	88,5	10,7	75,8	-	-	-	-
Kapalinový okruh	1480	19	17,6	2123	Z	73	20	6	0,9	21	5,6	0,9	6,7	21	30	91,2	68,4
					L	-	-	-	-	17	87,4	10,6	109,6	-	-	-	-

účinnost rekuperace - η [%]



topný/chladicí výkon - Q [kW]



měrný příkon ventilátorů - SFPv
[W/(m³/s)]



elektrický příkon zvhčovače - P_{el}
[kW]



3.2.1 Poznámky k jednotkám Denco Happel

U kapalinového okruhu pro letní období nejsou uvedeny hodnoty rekuperace z důvodu malých teplotních rozdílů mezi chladicí kapalinou a přírodním vzduchem, provoz výměníku by se nevyplatil. Srovnání jednotek pro průtok 50000 m³/h nebylo provedeno, protože tak většina z nich překračovala návrhové limity firmy, nebo by se jednalo o kombinované jednotky, které by nebylo možné vhodně porovnat s ostatními systémy.

3.3 Jednotky Bösch nesplňující novou směrnici o ekodesignu

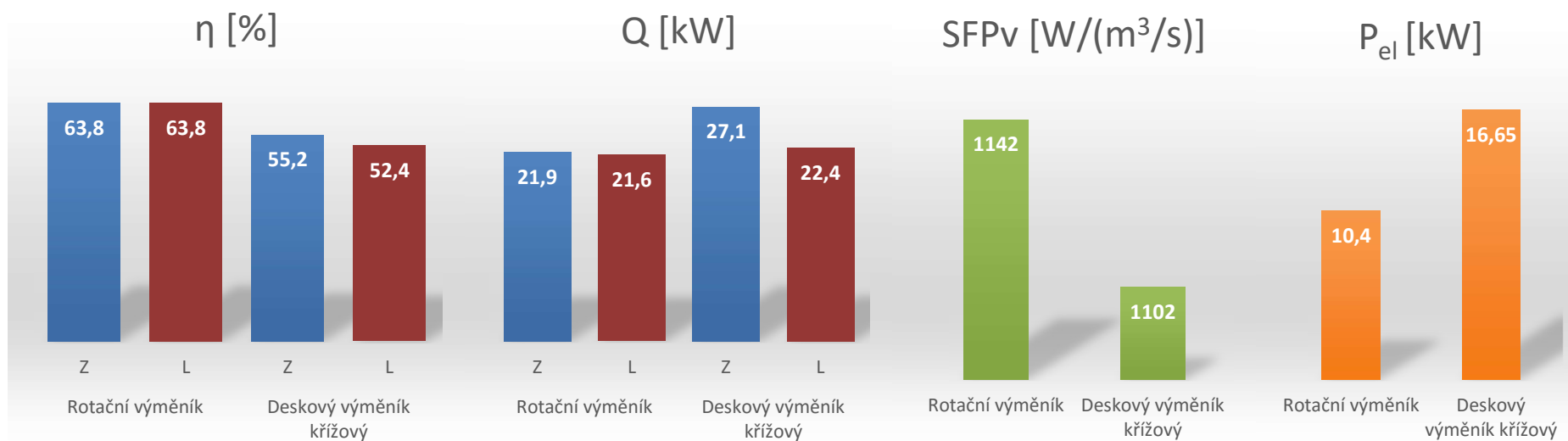
Pro názornost byl zadán požadavek na navržení dvou systémů ZZT před zavedením nové směrnice o ekodesignu od roku 2016, aby bylo možné porovnat, jak se požadavky směrnice projeví na samotném provedení jednotky z hlediska účinnosti, měrného příkonu ventilátoru a dalších sledovaných veličin.

Ke srovnání parametrů před novou směrnicí o ekodesignu byl navržen rotační a deskový křížový výměník pro všechny tři průtoky vzduchu.

Tabulka 7: Jednotky Bösch pro průtok vzduchu 5000 m³/h nesplňující novou směrnici o ekodesignu

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 5000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1142	4,6	3,4	1672	Z	63,8	8	34	2,3	21	15	2,3	21,9	21	30	13,9	10,4
					L	63,8	27,5	48	11,2	17	82	10	21,6	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	1102	4,6	3,4	1652	Z	55,2	4,9	17	0,9	21	6	0,9	27,1	21	30	22,2	16,65
					L	52,4	28,3	46	11,2	17	81	9,9	22,4	-	-	-	-

20



Tabulka 8: Jednotky Bösch pro průtok vzduchu 20000 m³/h nesplňující novou směrnici o ekodesignu

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 20000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1036	22,8	12,7	1607	Z	66,2	8,8	35	2,5	21	16	2,5	82,1	21	30	55,7	41,8
					L	66,2	27,4	48	11,1	17	84	10,3	87,8	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	1011	22,8	12,5	1597	Z	63,8	8	14	0,9	21	6	0,9	87,5	21	30	88,9	66,7
					L	60,4	27,8	47	11,1	17	83	10,2	89	-	-	-	-

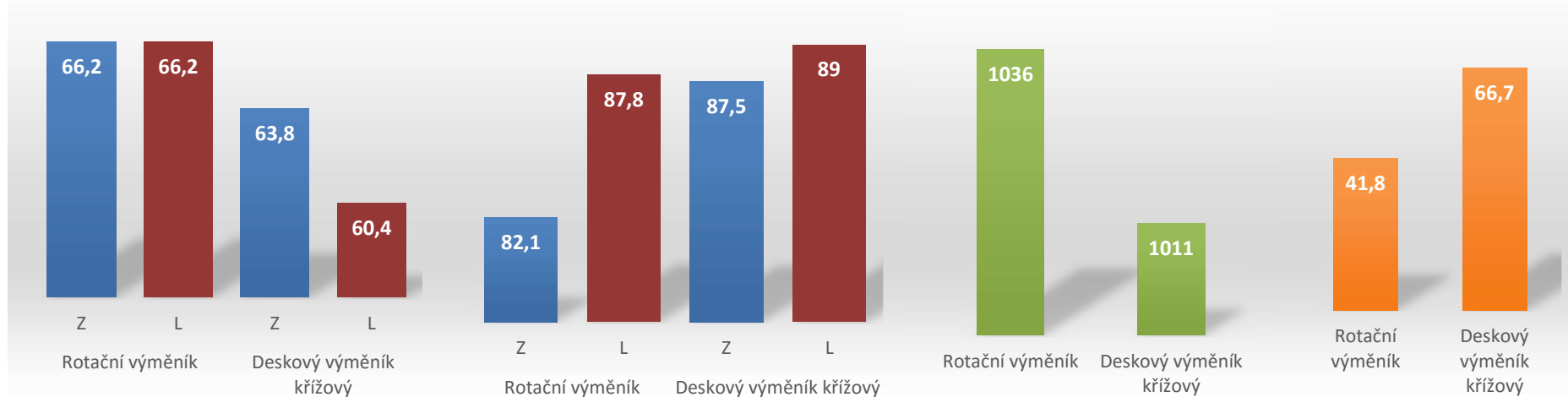
21

η [%]

Q [kW]

SFPv [W/(m³/s)]

P_{el} [kW]



Tabulka 9: Jednotky Bösch pro průtok vzduchu 50000 m³/h nesplňující novou směrnici o ekodesignu

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 50000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1265	52	38,3	1778	Z	63,9	8	34	2,3	21	15	2,3	218,8	21	30	148,5	111,4
					L	63,9	27,5	48	11,2	17	83	10,2	220,5	-	-	-	-
Deskový výměník křížový	1216	60	37,8	1756	Z	74,1	11,7	11	0,9	21	6	0,9	156,6	21	30	222,3	166,7
					L	69,8	27,1	49	11,1	17	83	10,2	212,9	-	-	-	-

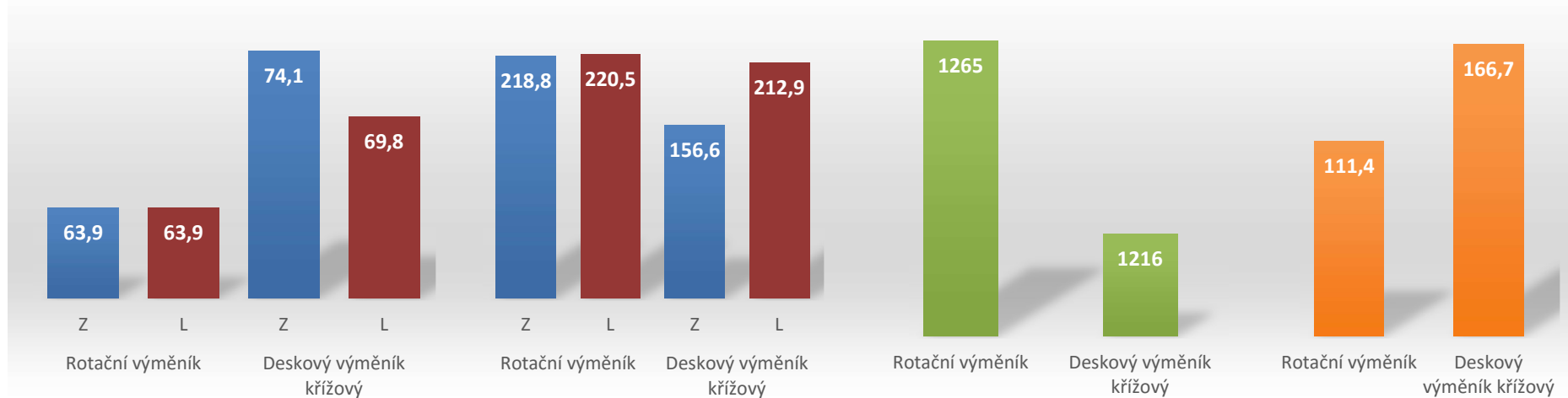
22

η [%]

Q [kW]

SFPv [W/(m³/s)]

P_{el} [kW]



3.4 Jednotky Denco Happel nespĺňující novou směrnicí o ekodesignu

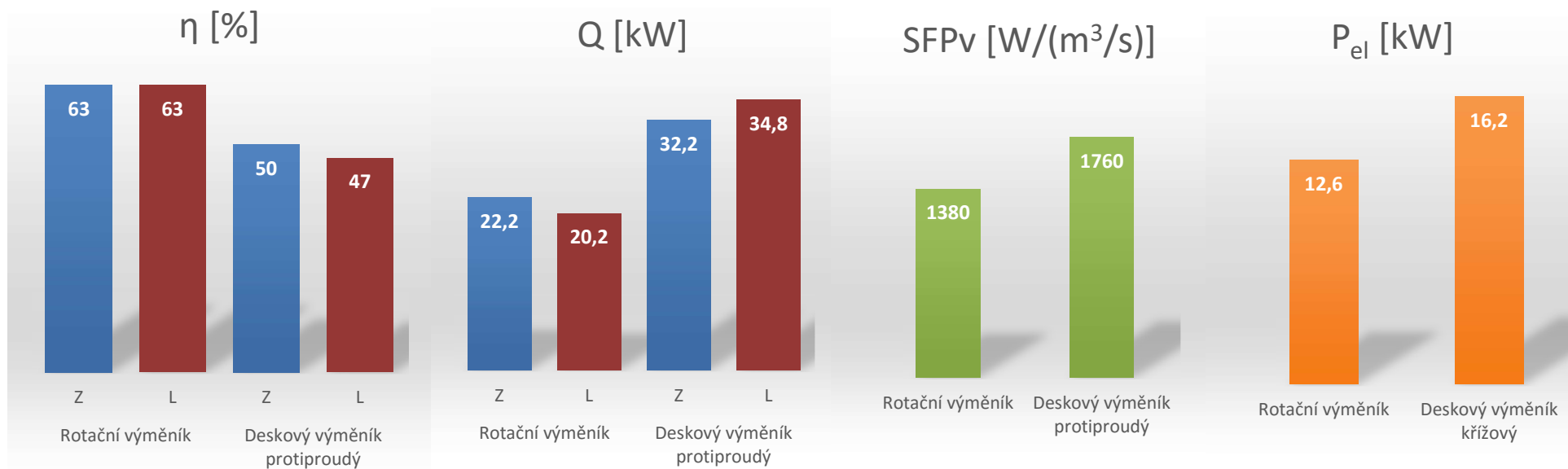
Stejně jako u firmy Bösch byl zadán požadavek na navržení systému před zavedením směrnice o ekodesign, aby bylo patrné, jak se požadavky směrnice projeví na samotném provedení jednotky z hlediska účinnosti, měrného příkonu ventilátoru a dalších sledovaných veličin.

Ke srovnání parametrů před novou směrnicí o ekodesignu byl navržen rotační a deskový protiproudý výměník pro průtoky 5000 a 20000 m³/h.

Tabulka 10: Jednotky Denco Happel pro průtok vzduchu 5000 m³/h nesplňující novou směrnici o ekodesignu

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 5000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1380	4,4	4	1646	Z	63	7,8	29	1,9	21	12,3	1,9	22,2	21	30	16,8	12,6
					L	63	27,6	48	11	17	87,5	10,6	20,2	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	1760	5,2	5,1	2105	Z	50	1,9	24	1,1	21	7,3	1,1	32,2	21	30	21,6	16,2
					L	47	28,7	60	14,9	17	94	11,4	34,8	-	-	-	-

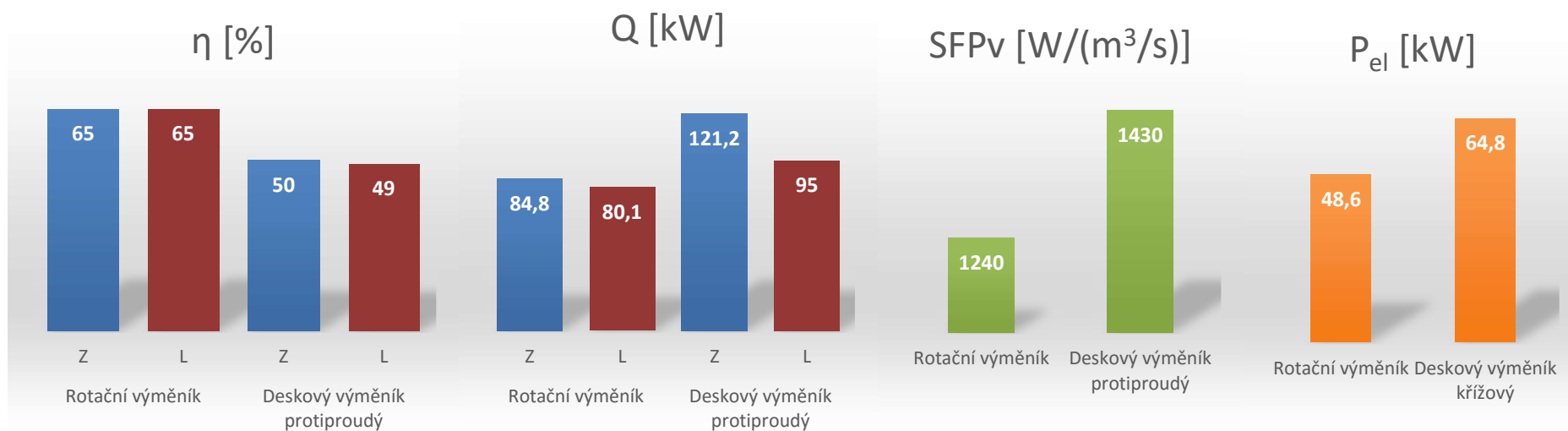
24



Tabulka 11: Jednotky Denco Happel pro průtok vzduchu 20000 m³/h nespĺňující novou směrnicí o ekodesignu

Objemový průtok vzduchu		V _p = V _o = 20000 m ³ /h				Rekuperace				Ohřev (zima)/ Chlazení (léto)				Vlhčení (zima)			
Typ ZZT	SFPv	Jmenovitý výkon motorů	Odebíraný výkon motorů	Interní tlaková ztráta	Období	η	t _r	φ _r	x _r	t _{o,ch}	φ _{o,ch}	x _{o,ch}	Q	t _v	φ _v	M _w	P _{el}
	[W/(m ³ /s)]	[kW]	[kW]	[Pa]	L/Z	[%]	[°C]	[%]	[g/kg]	[°C]	[%]	[g/kg]	[kW]	[°C]	[%]	[kg/h]	[kW]
Rotační výměník	1240	16,5	14,6	1613	Z	65	8,4	30	2,1	21	13,3	2	84,8	21	30	64,8	48,6
					L	65	27,5	48	11	17	86,9	10,5	80,1	-	-	-	-
Deskový výměník protiproudý	1430	18,5	18	1926	Z	50	3	24	1,1	21	7,3	1,1	121,2	21	30	86,4	64,8
					L	49	28,6	61	14,9	17	91,1	11	95	-	-	-	-

25



4. Závěr

Z poskytnutých dat byla vytvořena následující tabulka, která demonstruje rozdíly jednotlivých systémů s uvedením nejdůležitějších parametrů.

Tabulka 12: Výsledné porovnání všech systémů ZZT

V	výrobce	typ výměníku	Měrný příkon ventilátorů SFPv	účinnost systému η	int. tlak. ztráta	rozměry (délka x šířka x výška)	hmotnost	cena
[m ³ /h]	-	-	[W/(m ³ /s)]	[%]	[Pa]	[cm]	[kg]	[tis. Kč]
5000	Bösch	Rotační	928	77,4	1386	317 x 131 x 138	757	587,3
		Deskový křížový	961	70,5	1455	379 x 131 x 138	835	684,2
		Deskový protipr.	1046	87,6	1560	410 x 131 x 138	896	702,3
		Kapalinový okruh	1125	65,7	1675	379 x 100 x 100	941	851,6
		<i>Rotační¹⁾</i>	<i>1142</i>	<i>63,8</i>	<i>1672</i>	<i>348 x 100 x 138</i>	<i>653</i>	<i>550,5</i>
		<i>Deskový křížový¹⁾</i>	<i>1102</i>	<i>55,3</i>	<i>1652</i>	<i>379 x 100 x 138</i>	<i>678</i>	<i>615,6</i>
	Denco Happel	Rotační	1290	73	1522	432 x 108 x 152	1134	591,8
		Deskový křížový	1140	79,5	1491	604 x 108 x 160	1324	623,9
		Deskový protipr.	1110	78,5	1496	560 x 108 x 240	1632	642,3
		Kapalinový okruh	1310	76,6	1708	508 x 140 x 176	2256	1 547,4
		<i>Rotační¹⁾</i>	<i>1380</i>	<i>63</i>	<i>1646</i>	<i>420 x 108 x 152</i>	<i>1084</i>	<i>551,6</i>
		<i>Deskový protipr.¹⁾</i>	<i>1760</i>	<i>48,5</i>	<i>2105</i>	<i>424 x 108 x 152</i>	<i>1051</i>	<i>539,3</i>
20000	Bösch	Rotační	931	74,5	1476	410 x 224 x 262	2088	1 333,5
		Deskový křížový	953	70	1542	534 x 224 x 262	2669	2 025,0
		Deskový protipr.	971	87,6	1527	565 x 255 x 262	2959	2 162,7
		Kapalinový okruh	1010	65	1582	441 x 255 x 131	2910	2 321,7
		<i>Rotační¹⁾</i>	<i>1036</i>	<i>66,2</i>	<i>1607</i>	<i>410 x 193 x 262</i>	<i>1918</i>	<i>1 395,6</i>
		<i>Deskový křížový¹⁾</i>	<i>1011</i>	<i>62,1</i>	<i>1597</i>	<i>534 x 193 x 262</i>	<i>2249</i>	<i>1 835,2</i>
	Denco Happel	Rotační	1200	74	1569	596 x 172 x 304	3170	1 100,0
		Deskový protipr.	1200	81	1760	704 x 200 x 384	4700	1 702,9
		Kapalinový okruh	1480	73	2123	560 x 200 x 320	4579	2 620,1
		<i>Rotační¹⁾</i>	<i>1240</i>	<i>65</i>	<i>1613</i>	<i>564 x 172 x 304</i>	<i>2964</i>	<i>1 147,3</i>
		<i>Deskový protipr.¹⁾</i>	<i>1430</i>	<i>49,5</i>	<i>1926</i>	<i>576 x 172 x 304</i>	<i>2962</i>	<i>1 069,7</i>
50000	Bösch	Rotační	1005	73,6	1549	565 x 379 x 386	6275	3 049,7
		Deskový křížový	974	72,3	1541	751 x 379 x 386	6 842	3 055,3
		Kapalinový okruh	1126	64,4	1677	503 x 317 x 255	6801	3 863,7
		<i>Rotační¹⁾</i>	<i>1265</i>	<i>63,9</i>	<i>1778</i>	<i>565 x 317 x 386</i>	<i>5349</i>	<i>2 771,8</i>
		<i>Deskový křížový¹⁾</i>	<i>1216</i>	<i>72</i>	<i>1756</i>	<i>751 x 348 x 386</i>	<i>6258</i>	<i>2 846,3</i>

¹⁾ jednotka je navržena v souladu s normami předtím, než vstoupila v platnost nová směrnice o ekodesignu z roku 2016

Z analýzy dostupných dat tedy vyplývá, že při průtoku 5000 m³/h je nejlevnější rotační výměník, zatímco u firmy Bösch má dobrou účinnost (77,4 %) a nejnižší tlakovou ztrátu, firma

Denco Happel navrhuje výměník s nejnižší účinností vůči ostatním ve své nabídce, a s jednou z vyšších tlakových ztrát. Nejvyšších účinností dosahují u obou výrobců deskové výměníky, v případě firmy Bösch je to protiproudý, v případě Denco Happel naopak křížové provedení. U firmy Bösch se jeví jako nejhorší systém s kapalinovým okruhem kvůli své nízké účinnosti (65,7 %) a vysokým pořizovacím nákladům. Systém s kapalinovým okruhem Denco Happel se svou účinností vyrovná deskovým výměníkům, což se nejvíce promítne na ceně, jelikož zařízení je složeno z několika víceřadých výměníků.

Při průtoku 20000 m³/h dosahují nejvyšších účinností deskové protiproudé výměníky od obou firem. Na druhém místě za deskovým protiproudým výměníkem je z hlediska účinnosti výměník rotační, který je levnější, v případě firmy Bösch činí úspora 40 %. Nejdražším řešením je opět kapalinový okruh, jehož využití je výhodné ve speciálních případech, kdy nemůžeme umístit přívodní a odpadní potrubí bezprostředně u sebe, přestože účinnost dosahuje řádově 70%.

Pro největší průtok 50000 m³/h se jeví jako nejlepší varianta rotační výměník s nejmenší účinností, nejmenší pořizovací cenou a jednou z nejnižších tlakových ztrát vůči ostatním nabídkám firmy Bösch.

Z hlediska ekodesignu je jasné patrné, že nová směrnice platná od roku 2016 má za následek zvýšení účinnosti systémů s rotačním výměníkem o 10%, s deskovým výměníkem až 30 %. Zvýšení účinnosti a kvality provedení má za následek i zvýšení pořizovacích nákladů, které se ale vrátí na úspore energie.

Velkou předností rotačních výměníků oproti ostatním uvažovaným typům je kromě přenosu energie z odpadního vzduchu také přenos vlhkosti. Protože se jedná o ZZT v administrativních budovách, není zde riziko kontaminace (produkty těžkého průmyslu apod.) přívodního vzduchu. V zimním období je přenos vlhkosti vítán, jelikož snižuje potřebný příkon parního zvlhčovače pro navlhčení vzduchu přiváděného do budovy. Touto výhodou se rotační výměník dostává na pomyslnou první příčku systémů ZZT vhodných pro administrativní budovy.

Úplným závěrem je ale nutno podotknout, že nelze přesně určit nejlepší typ systému pro ZZT, jelikož u každého návrhu je třeba zvážit všechny podmínky a vlivy působící na objekt. Výběr vhodného zařízení také záleží mimo jiné i na zkušenostech projektanta a výrobních možnostech dodavatele.

Citovaná literatura

- [1] F. Drkal a V. Zmrhal, Větrání, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013.
- [2] P. Mastný, „Specifikace tepelných čerpadel pro využití v TZB,“ 11. Prosinec 2007. [Online]. Available: http://www.casopisstavebnictvi.cz/UserFiles/Image/0711_12_special/23_obr2.jpg. [Přístup získán 25 červen 2016].
- [3] Nařízení komise (EU) č. 1253/2014 ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ESm pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek, Brusel.
- [4] M. Lain, „Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci I,“ 20. Listopad 2006. [Online]. Available: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>. [Přístup získán 2. Květen 2016].
- [5] M. Lain, „Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci II,“ 20. Listopad 2006. [Online]. Available: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>. [Přístup získán 5. Květen 2016].

Zdroje obrázků

- [6] HOVAL. Rotační výměník [obrázek]. Hoval [online]. Dostupné z: <http://www.hoval.cz/website/uploads/images/05/340x/schnittzeichnung.png>
- [7] KASTT. Deskový výměník [obrázek]. Kastt výrobky [online]. Dostupné z: http://kastt.cz/wp-content/uploads/2013/08/products_8B.jpg
- [8] GB ENERGY HOLDING. Tepelné trubice [obrázek]. Výměníky tepla – Theramax [online]. Dostupné z: <http://www.gbenergy.eu/gb/images/heat-pipes-scheme.jpg>
- [9] MASTNÝ, Petr. Princip funkce tepelného čerpadla [obrázek]. Specifikace tepelných čerpadel pro využití v TZB [online]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/UserFiles/Image/0711_12_special/23_obr2.jpg