



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

6TT Termomechanika

Návod do laboratorního cvičení

Základy provozu chladicích zařízení a tepelných čerpadel

Garant předmětu:

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Autor textu:

doc. Ing. Lubomír Klimeš, Ph.D.

2025



CC BY-NC-SA 4.0

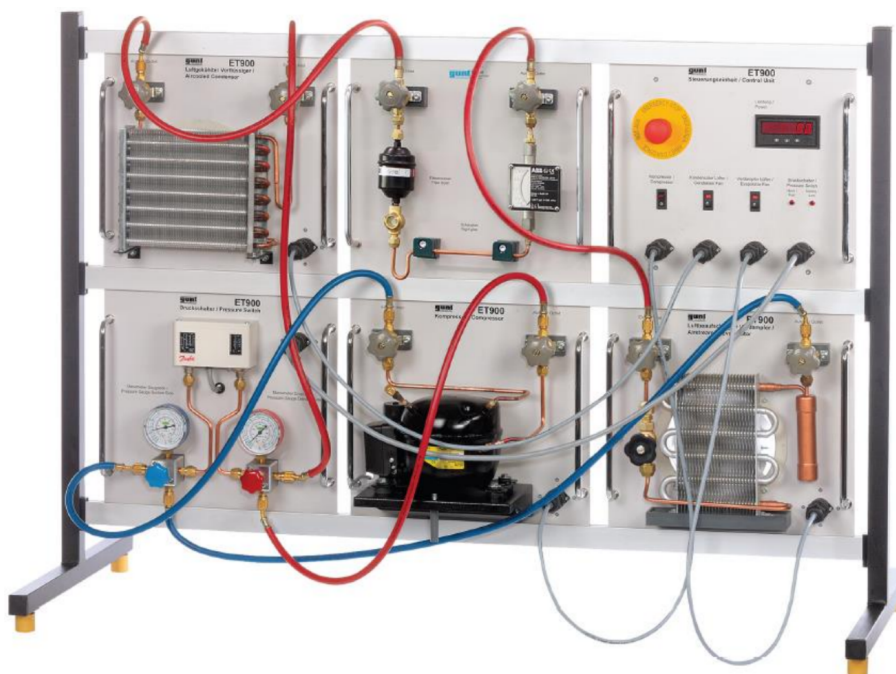
Studijní/výukový materiál vznikl za podpory Národního plánu obnovy v rámci projektu Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT v Brně.

Registrační číslo NPO_VUT_MSMT-2143/2024-5.

1 Úvod

Laboratorní cvičení s výukovým demonstrátorem ET 900 (viz obrázek 1) od společnosti GUNT GmbH slouží k praktickému seznámení a demonstraci fungování chladicího zařízení a tepelného čerpadla. Výukový demonstrátor ET 900 pracuje podle termodynamického cyklu kompresorového chladicího zařízení s odpařováním pracovní látky, kterou je chladivo R513A.

Součástí laboratorní úlohy je vysvětlení funkce jednotlivých komponent zařízení, principu fungování zařízení, demonstrace provozu zařízení ve dvou režimech a stanovení výkonových parametrů zařízení na základě měření a odečtu provozních parametrů.



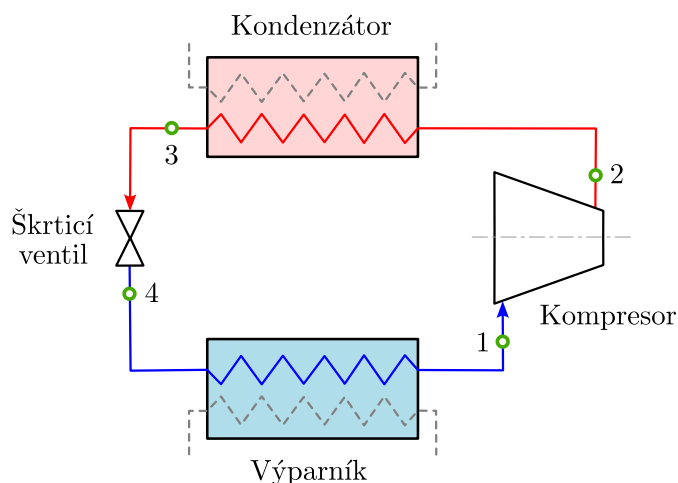
Obrázek 1: Výukový demonstrátor ET 900

2 Bezpečnost

Výukový demonstrátor ET 900 je zařízením pracujícím pod elektrickým napětím a zařízením obsahujícím chladivo o vysokém tlaku, které v případě úniku ze zařízení může způsobit popálení a dýchací potíže. Vyučující vás bezprostředně před laboratorním cvičením poučí o možných rizicích, o způsobech jak jim předcházet a jaké zásady je nezbytné dodržovat při obsluze zařízení. Vyučující vám rovněž před započatím práce s demonstrátorem poskytne ochranné pracovní prostředky, které je zapotřebí používat po celou dobu práce se zařízením.

3 Popis zařízení

Výukový demonstrátor ET 900, který je sestaven (komponenty jsou vzájemně propojeny hadicemi se šroubovacími spojkami a propojeny rovněž elektrickými kabely s ovládací jednotkou) a připraven k provozu (zařízení je naplněno odpovídajícím množstvím chladiva) je zobrazen na obrázku 1. Termodynamické schéma chladicího zařízení odpařovacího, na základě kterého pracuje výukový demonstrátor ET 900, je zobrazeno na obrázku 2.



Obrázek 2: Termodynamické schéma kompresorového chladicího zařízení odpařovacího

3.1 Komponenty

Mezi hlavní termodynamické komponenty potřebné pro činnost zařízení a jeho funkci patří dva tepelné výměníky – výparník a kondenzátor, kompresor a škrticí ventil, viz obrázek 2. Dalšími součástmi zařízení, které jsou nezbytné pro provoz zařízení a identifikaci provozního stavu, jsou ovládací jednotka a tlakový spínač, průtokoměr, tlakoměry a odporové teploměry, viz obrázek 1. Provoz zařízení je řízen ovládací jednotkou, která obsahuje hlavní vypínač a umožňuje ovládat jednotlivé komponenty systému (zapínání a vypínání kompresoru a ventilátorů na kondenzátoru a výparníku). Ovládací jednotka rovněž zobrazuje aktuální elektrický příkon kompresoru.

3.2 Princip činnosti

Hlavní podstatou fungování zařízení je změna skupenství pracovní látky – reálného plynu, který při přechodu mezi jednotlivými komponentami systému mění skupenství z kapaliny na plyn (vypařování) a z plynu na kapalinu (kondenzace). Tyto změny skupenství jsou doprovázeny přiváděním nebo odebíráním tepla pracovní látky a probíhají při dvou odlišných tlacích - nízkém (modrá křivka na obrázku 2) a vysokém (červená křivka na obrázku 2). Hodnoty těchto tlaků jsou úzce provázány s teplotami, při kterých uvedené děje probíhají.



4 Zadání laboratorní úlohy

Cílem úlohy je stanovit hodnoty veličin charakterizující provoz zařízení, zobrazit termodynamický cyklus zařízení v $p-h$ diagramu a porovnat dva různé režimy provozu zařízení s odlišnou intenzitou přenosu tepla mezi chladivem a okolním vzduchem na povrchu výparníku: (a) s vypnutým ventilátorem na výparníku (režim „fan-off“) a (b) se zapnutým ventilátorem na výparníku (režim „fan-on“).

4.1 Hlavní kroky

1. Nasadíte si ochranné pracovní prostředky dle pokynů vyučujícího.
2. Zapněte hlavní vypínač zařízení na ovládací jednotce.
3. Na ovládací jednotce zapněte kompresor a ventilátor na kondenzátoru.
4. Otáčením nastavte škrťící ventil tak, aby teplota vypařování chladiva ve výparníku byla mezi -5°C a 5°C . Tuto teplotu lze odečíst na tlakoměru pro nízkotlakou část cyklu.
5. Ponechte zařízení v chodu, dokud provozní parametry nedosáhnou ustáleného stavu.
6. Zaznamenejte provozní hodnoty do tabulky 1 ve sloupci „fan-off“.
7. Beze změny polohy škrťícího ventilu zapněte ventilátor na výparníku a počkejte, až provozní parametry opět dosáhnou ustáleného stavu.
8. Zaznamenejte provozní hodnoty do tabulky 1 ve sloupci „fan-on“.
9. Vypněte kompresor a oba ventilátory výparníku a kondenzátoru.
10. Vypněte zařízení hlavním vypínačem na ovládací jednotce.
11. Na základě zjištěných hodnot z tabulky 1 zakreslete termodynamické cykly obou režimů do $p-h$ diagramu na obrázcích 3 a 4, stanovte veličiny v tabulkách 2 a 3 a vzájemně porovnejte oba režimy provozu zařízení s vypnutým a zapnutým ventilátorem na výparníku.

4.2 Stanovení hodnot provozních parametrů

Tlak v nízkotlaké a vysokotlaké části lze stanovit přímým odečtem z tlakoměrů. Průtok pracovní látky lze stanovit přímým odečtem z průtokoměru. Elektrický příkon kompresoru lze stanovit přímým odečtem z ovládací jednotky. Teploty pracovní látky lze stanovit nepřímou pomocí odporových teploměrů Pt100, které jsou nainstalovány na zařízení. Principem fungování odporového teploměru je změna elektrického odporu v závislosti na jeho teplotě. Teplotu lze stanovit z naměřeného elektrického odporu pomocí převodní tabulky, která je spolu s termodynamickými tabulkami vlastností chladiva R513A příslušenstvím demonstrátoru. Zbývající parametry v tabulce 3 je třeba stanovit výpočtem.

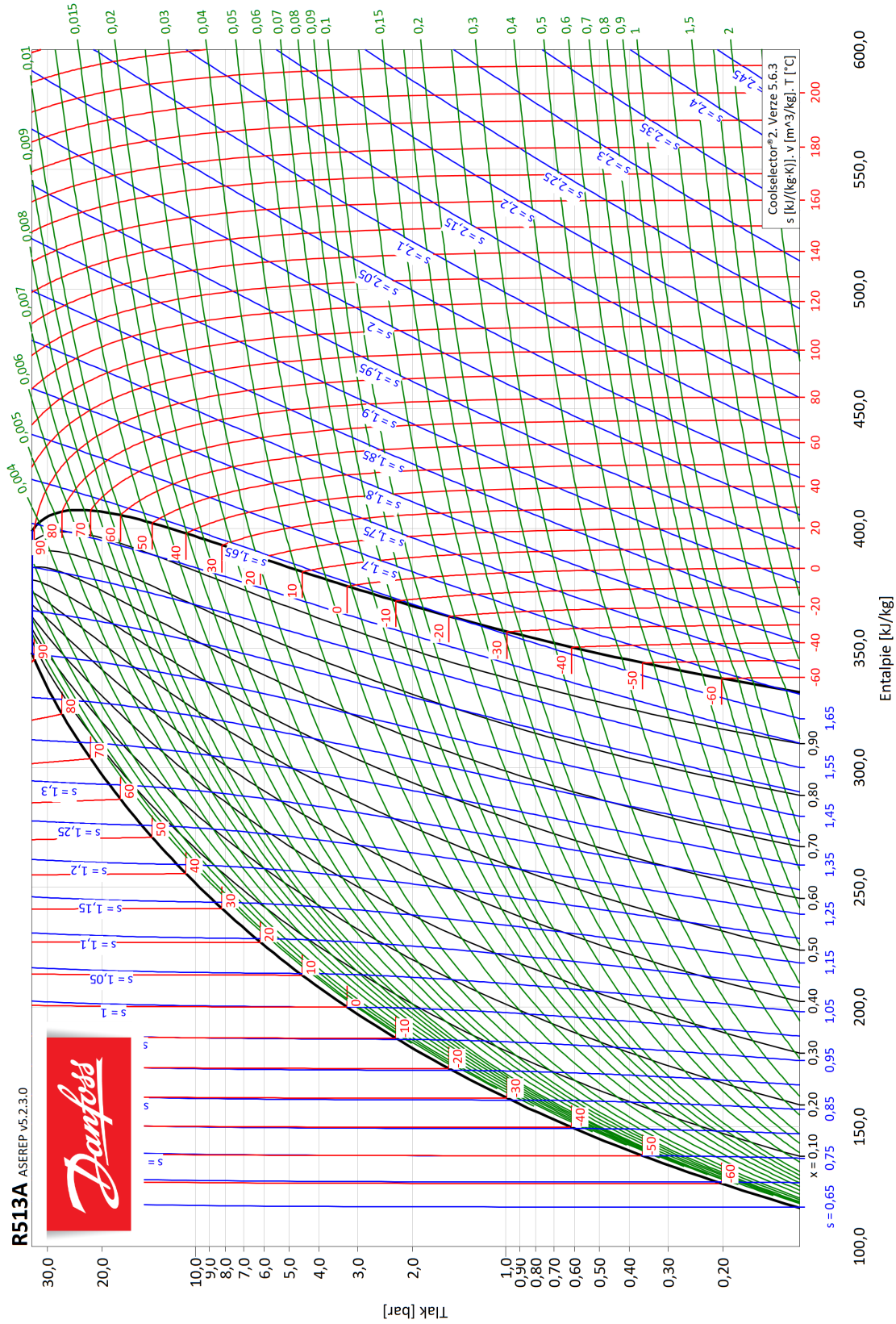
4.3 Rozbor úlohy

Teplota okolí [°C]:

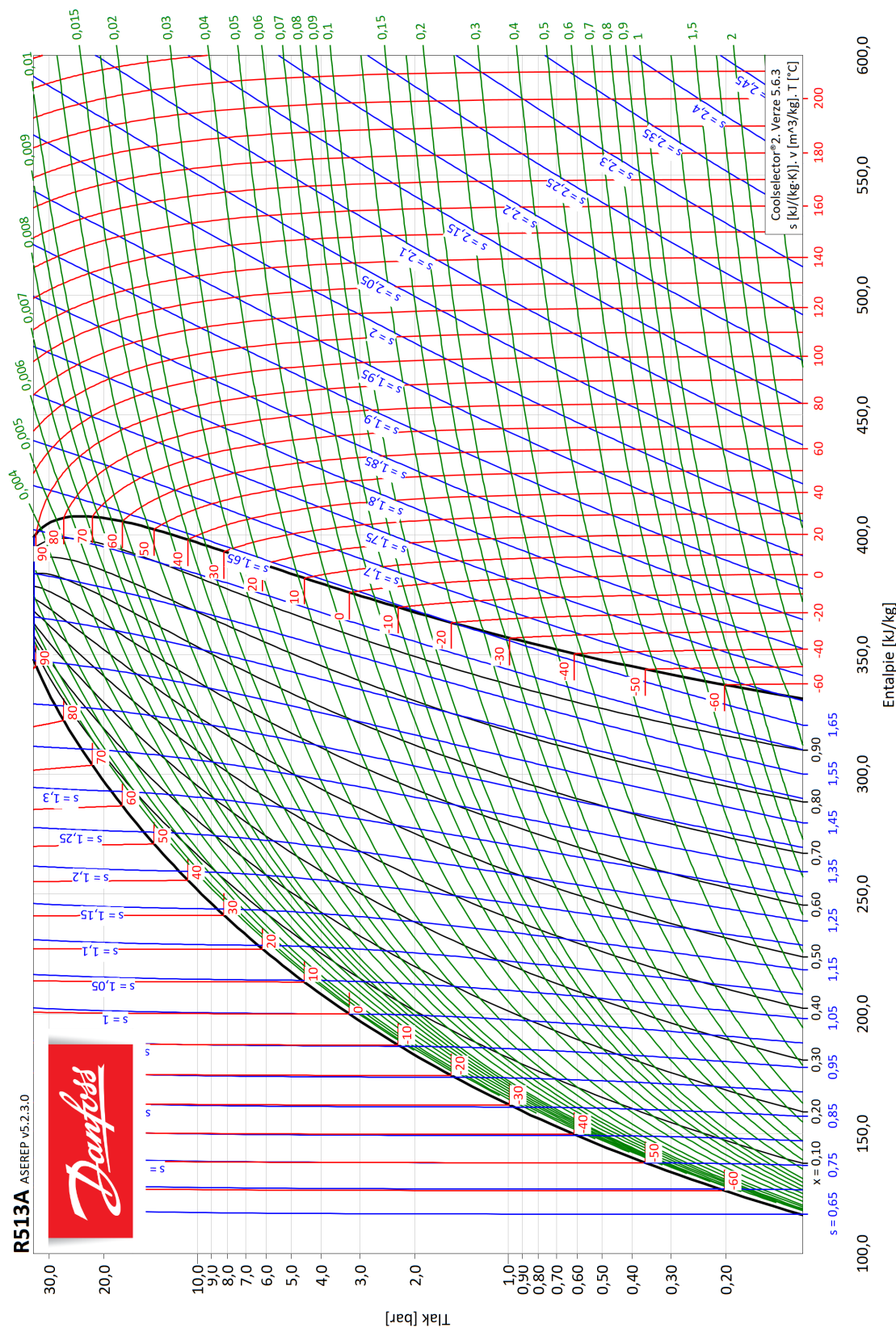
Barometrický tlak [hPa]:

Tabulka 1: Provozní parametry jednotlivých komponent

Komponenta	Veličina	Symbol a rozměr	Režim „fan-off“	Režim „fan-on“
Kompresor	Teplota chladiwa	$t_{in} = t_1$ [°C]		
		$t_{out} = t_2$ [°C]		
	Elektrický příkon	P_{el} [W]		
Kondenzátor	Teplota chladiwa	t_{in} [°C]		
		$t_{out} = t_3$ [°C]		
	Tlak	p_{HP} [kPa]		
	Teplota kondenzace	t_{HP} [°C]		
Škrticí ventil	Teplota chladiwa	t_{in} [°C]		
		$t_{out} = t_4$ [°C]		
Výparník	Teplota chladiwa	t_{in} [°C]		
		t_{out} [°C]		
	Tlak	p_{LP} [kPa]		
	Teplota vypařování	t_{LP} [°C]		
Průtokoměr	Teplota chladiwa	t_{in} [°C]		
		t_{out} [°C]		
	Průtok	\dot{V} [ℓ/h]		



Obrázek 3: Termodynamický $p-h$ diagram chladiva R513A – režim „fan-off“



Obrázek 4: Termodynamický $p-h$ diagram chladiva R513A – režim „fan-on“



Tabulka 2: Měrné entalpie v charakteristických bodech cyklu

Veličina	Symbol a rozměr	Režim „fan-off“	Režim „fan-on“
Měrná entalpie	h_1 [kJ/kg]		
	h_2 [kJ/kg]		
	h_3 [kJ/kg]		
	h_4 [kJ/kg]		

Tabulka 3: Provozní parametry chladicího zařízení

Veličina	Symbol a rozměr	Režim „fan-off“	Režim „fan-on“
Hmotnostní tok chladiwa	\dot{m} [kg/s]		
Měrný chladicí výkon	q_C [kJ/kg]		
Celkový chladicí výkon	\dot{Q}_C [W]		
Měrná práce pro pohon kompresoru	a_k [kJ/kg]		
Výkon pro pohon kompresoru	\dot{A}_k [W]		
Chladicí faktor zařízení	ε_{ch} [1]		
Topný faktor zařízení	ε_t [1]		
Tlakový poměr kompresoru	ε_p [1]		



Výpočet parametrů v tabulce 3: