

## 1. Výukový model ET 792

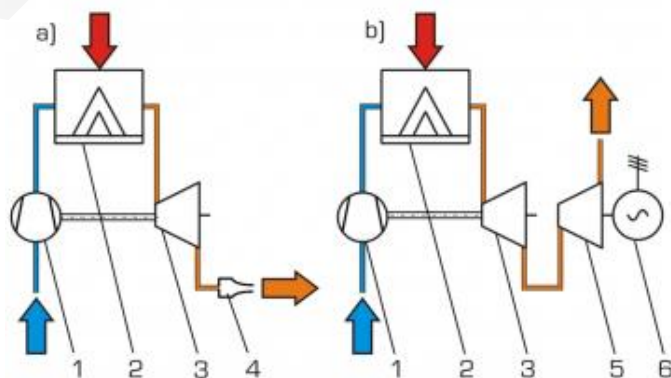
Výukový model ET 792 je model TKM, pomocí kterého lze demonstrovat a studovat základní termodynamické procesy TKM. Jedná se o dvouhřídelovou koncepci s radiálním kompresorem, který je hřídelí spojen s radiální turbínou. Výkonová radiální turbína pohání generátor elektrické energie.



Obr. 1 Demonstrační jednotka TKM – ET 792 [1]

Konstrukce zařízení umožňuje provoz i bez použití výkonové turbíny. Výstupní plyny jsou z plynové turbíny turbokompresoru vedeny výstupní dýzou pouze do atmosféry. Vznikne tak konfigurace zařízení demonstrující základní princip leteckého jednoproudového TKM (viz Obr. 2-a). Jako palivo je použitý technický propan.

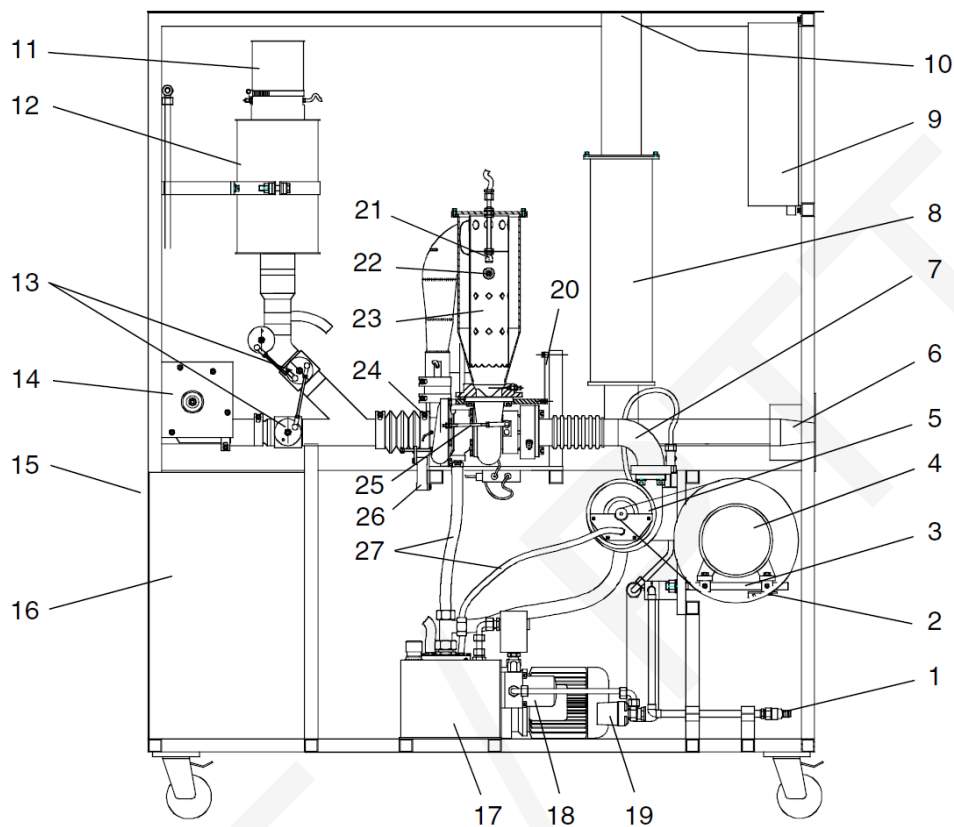
Zařízení je vybavené snímači základních parametrů, systémem pro sběr dat a komunikaci s PC, včetně softwaru pro vyhodnocení naměřených dat.



Obr. 2 Konfigurace jednoproudového TKM (a) a konfigurace s výkonovou turbínou (b) [1]

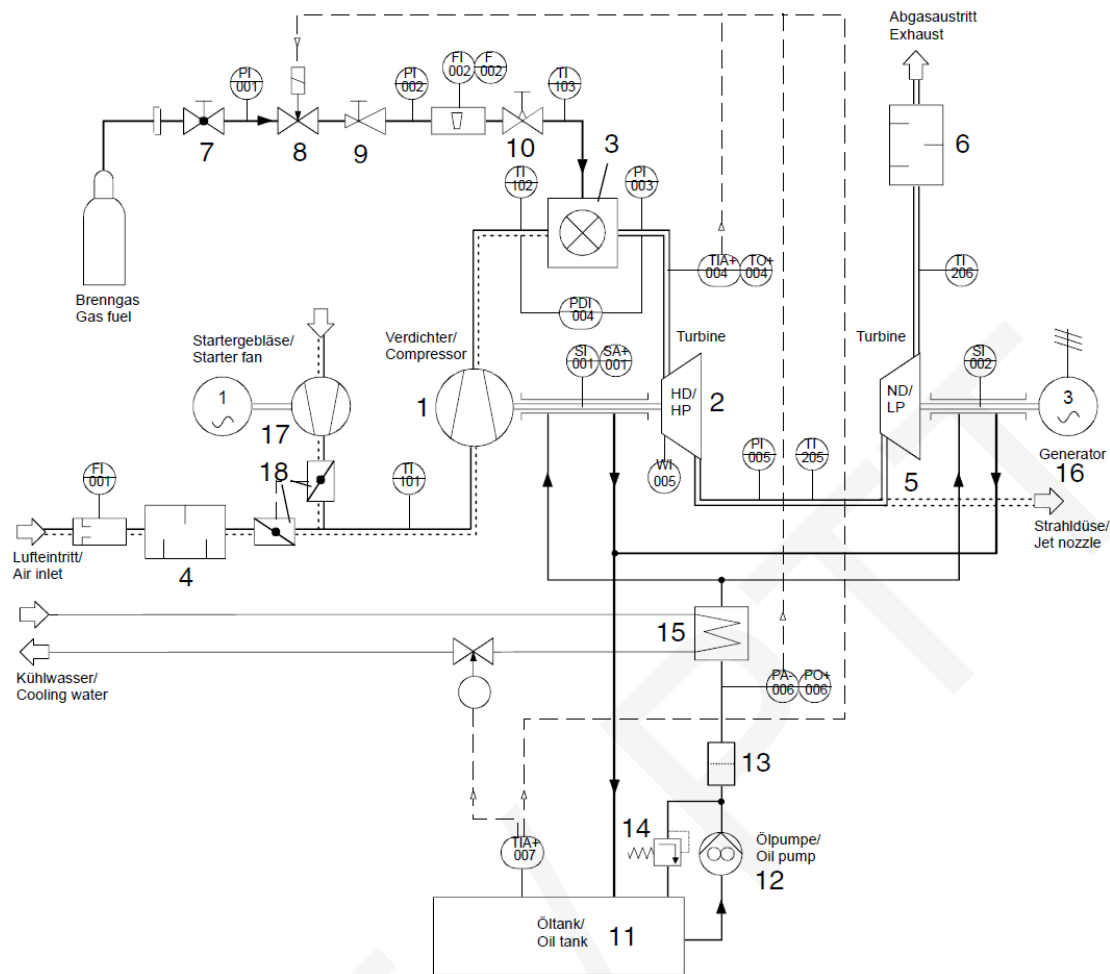
### 1.1. Základní popis zařízení ET 792

Uspořádání jednotlivých částí popisuje *Obr. 3* a základní schéma je na *Obr. 4*. Zařízení je umístěné v ocelovém mobilním rámu, který lze v případě potřeby jednoduše demontovat.



1	Vstup a výstup chladicí vody	15	USB port
2	Snímač otáček výkonové turbíny	16	Rozvodní skříň
3	Napínák řemene	17	Olejová nádrž
4	Generátor	18	Olejový filtr
5	Výkonová turbína	19	Termostat chladiče oleje
6	Výstupní potrubí	20	Pružinový mechanismus
7	Spojovací potrubí	21	Palivová tryska
8	Výstupní tlumič	22	Zapalovací svíčka
9	Elektrické odpory	23	Spalovací komora
10	Výfukové potrubí	24	Snímač otáček
11	Sací potrubí	25	Plynová turbína
12	Vstupní tlumič	26	Síloměr
13	Klapky	27	Zpětné olejové potrubí
14	Spouštěcí ventilátor		

**Obr. 3** Základní části zařízení ET 792 [1]



1	Kompresor	10	Regulační ventil
2	Turbína	11	Olejová nádrž
3	Spalovací komora	12	Olejové čerpadlo
4	Vstupní tlumič	13	Olejový filtr
5	Výkonová turbína	14	Regulátor tlaku
6	Výstupní tlumič	15	Olejový chladič
7	Hlavní ventil	16	Generátor
8	Rychlouzavírací ventil	17	Spouštěcí ventilátor
9	Regulátor tlaku	18	Klapky

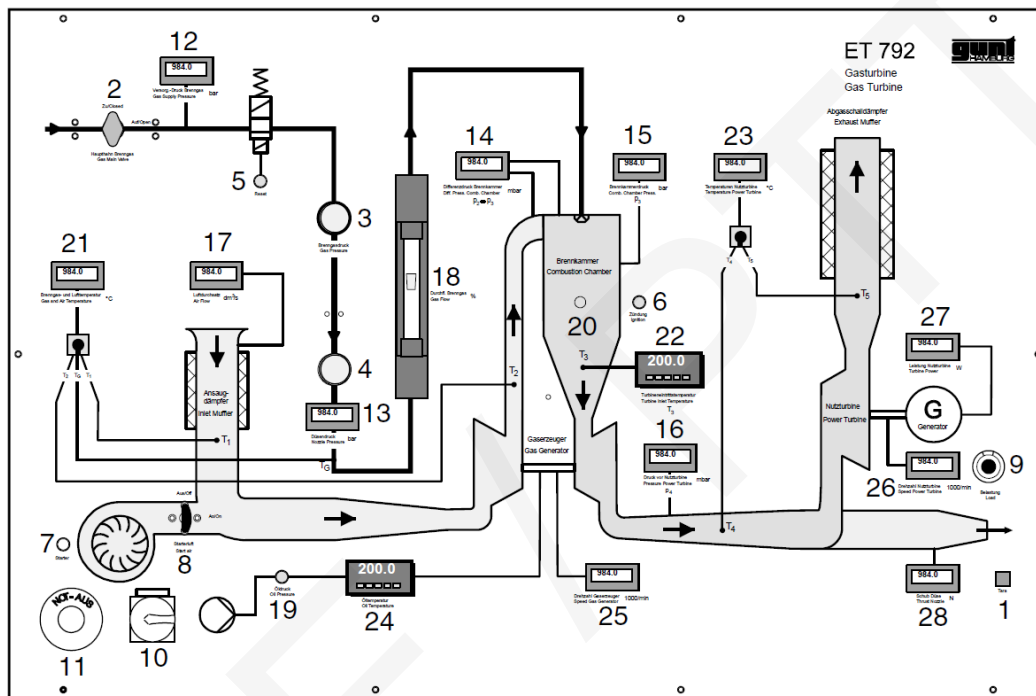
Obr. 4 Základní schéma zařízení ET 792 [1]

Zařízení obsahuje následující podsystémy (viz Obr. 4):

- „**Generátor plynu**“ sestávající z kompresoru (1), plynové turbíny (2), spalovací komory (3) a systému přívodu vzduchu (4).
- **Energetická (výkonová) turbína** (5) s výstupním tlumičem (6) a řemenovým převodem na pohon generátoru.
- **Palivový systém** sestávající s hlavního ventilu (7), rychločinného uzavíracího ventilu (8), regulátoru tlaku (9), regulačního ventilu (10) a palivový trysky.
- **Zapalovací systém**

- **Olejový systém** skládající se z nádrže (11), olejového čerpadla (12), olejové filtru (13), regulátoru tlaku oleje (14) a chladiče oleje (15).
- **Generátor** s elektrickými odpory a indikátorem výkonu.
- **Startovací systém** se spouštěcím ventilátorem (17) a přepínacími klapkami (18).
- **Měřicí a ovládací systém** se snímači teplot, průtoků a tlaků.

Hlavní ovládací panel, včetně popisu jednotlivých částí je znázorněn na Obr. 5.

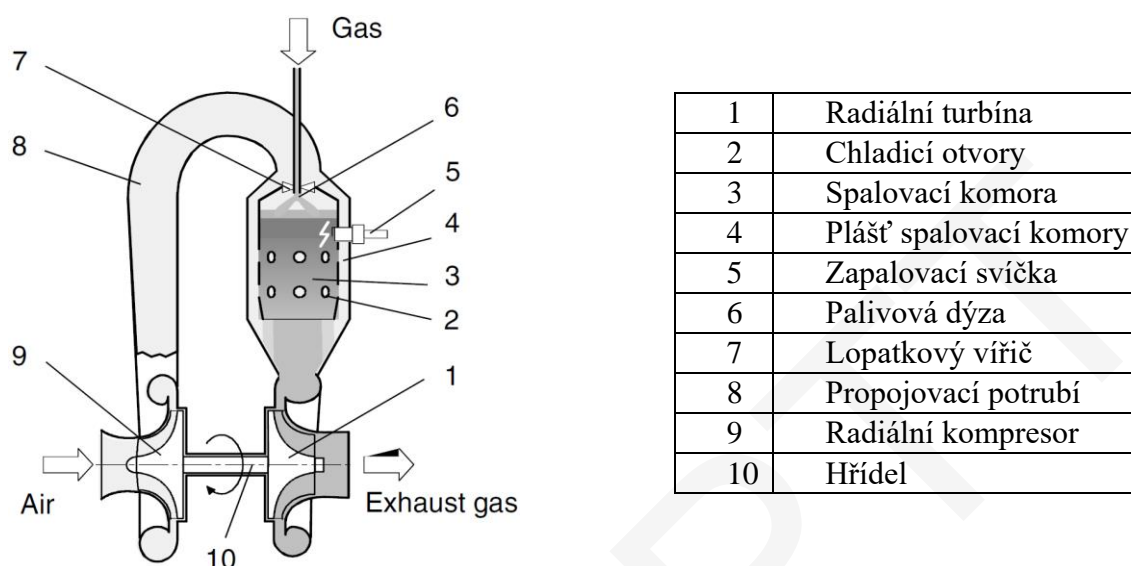


1	Tah proudového TKM	15	Tlak před turbínou
2	Hlavní palivový ventil	16	Tlak před výkonovou turbínou
3	Regulátor tlaku paliva	17	Vstupní průtok vzduchu
4	Regulátor průtoku paliva	18	Průtok paliva
5	Rychlouzavírací ventil	19	Indikátor tlaku oleje
6	Tlačítko zapalování	20	Indikátor zapalovacího systému
7	Tlačítko spuštění ventilátoru	21	Vstupní teplota vzduchu, paliva a vzduchu před kompresorem
8	Přepínač klapky nasávaného vzduchu	22	Teplota na vstupu do turbíny
9	Potenciometr zátěže	23	Teplota na vstupu a výstupu z výkonové turbíny
10	Hlavní vypínač	24	Teplota oleje
11	Tlačítko nouzového zastavení	25	Otáčky turbokompresoru
12	Tlak přivedeného paliva	26	Otáčky výkonové turbíny
13	Tlak paliva palivové trysky	27	Výkon generátoru
14	Diferenční snímač teploty spalovací komory	28	Indikátor tahu

Obr. 5 Hlavní prvky ovládacího panelu ET 792 [1]

## 1.2. Generátor plynu

Jádrem zařízení je již zmíněný tzv. „generátor plynu“, který se skládá z radiální turbíny přímo spojené hřídelí s radiálním kompresorem a ze spalovací komory (viz Obr. 6).



Obr. 6 „Generátor plynu“ zařízení ET 792 [1]

Nasávaný vzduch je stlačován v radiálním kompresoru (9), který je následně veden do spalovací komory. Ve vstupní části spalovací komory se vzduch rozdělí. Primární proud vstupuje do spalovací komory, kde dojde k jeho zpomalení pomocí lopatkového víříče s cílem dosáhnout stabilní hoření palivo-vzduchové směsi. Sekundární vzduch slouží ke chlazení pláště spalovací komory a zároveň přes chladicí otvory (2) ochlazuje spálené plyny, kterých teplota dosahuje až kolem 2000 °C. Ochlazené plyny o teplotě přibližně 600 až 900 °C dále proudí do radiální turbíny (1), kde předávají energii oběžnému kolu pro pohon turbokompresoru. Během expanze jsou plyny ochlazované na teplotu cca 700 °C a mohou být dále přivedené na výkonovou turbínu nebo přes výstupní dýzu vedené do atmosféry.

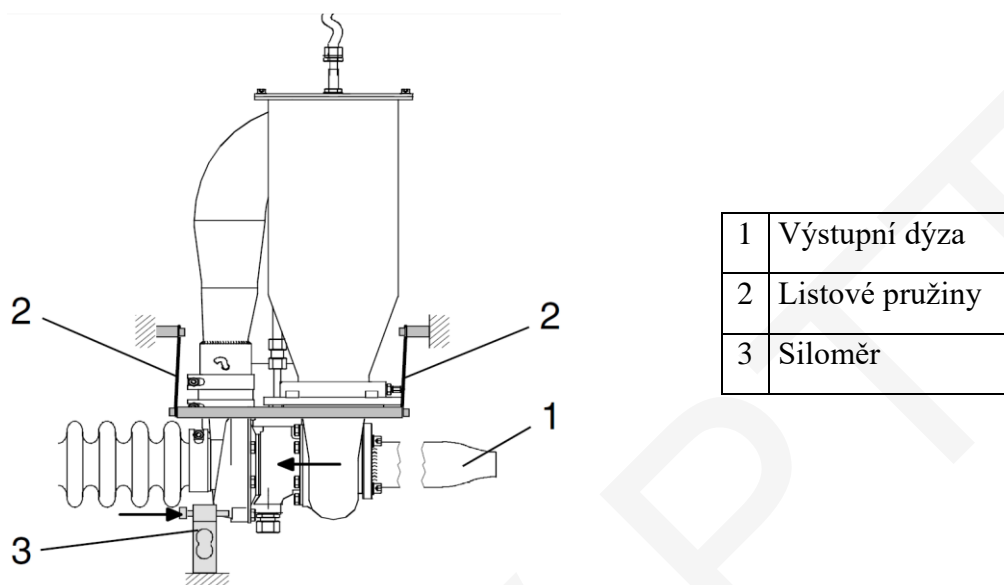
Hřídel turbokompresoru je uložena na kluzných ložiskách, které jsou mazané tlakovým mazáním.

## 1.3. Výkonová turbína a generátor

Výkonová turbína je, stejně jako turbína turbokompresoru, radiálního typu. K přenosu mechanické energie mezi oběžným kolem výkonové turbíny a generátorem je použitý řemenový převod s převodovým poměrem 1:11. Při maximálních otáčkách výkonové turbíny (35000 min<sup>-1</sup>) jsou otáčky generátoru přibližně 3180 min<sup>-1</sup>. Jako generátor je použitý třífázový asynchronní motor s frekvenčním měničem. Vyrobená energie je mařena v elektrických odporech.

#### 1.4. Výstupní dýza

Pokud je zařízení provozováno jako proudový motor, jsou výfukové plyny z turbíny turbokompresoru vedené výstupním potrubím a výstupní dýzou do atmosféry. Protože je turbosoustrojí pružně uložené, lze měřit tahovou sílu.



Obr. 7 Měření tahu ET 792 [1]

#### 1.5. Palivový systém

Jako palivo používá zařízení technický propan. Použití plynného paliva má výhodu v případě poruchy zapalovacího systému, protože nedochází k akumulaci nespáleného paliva v palivovém systému.

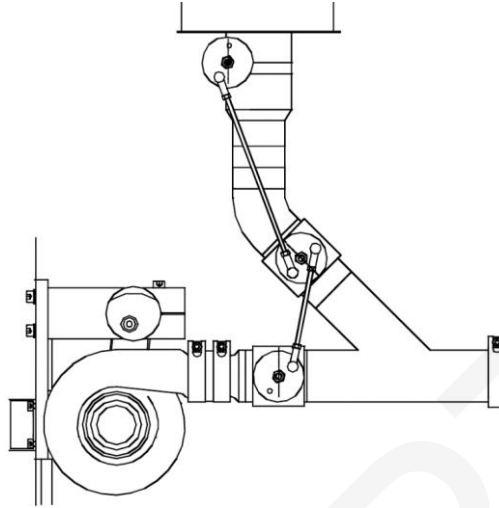
Hlavní plynový ventil je umístěn na vstupu do palivového systému. Za tímto ventilem je nainstalován snímač přívodního tlaku paliva. V případě poruchy je součástí palivové soustavy rychlouzavírací ventil, aby bylo zamezeno dalšímu přívodu paliva. Tlak paliva v palivové dýze je možné regulovat pomocí redukčního ventilu. Dále následuje regulátor průtoku paliva, odkud palivo proudí do spalovací komory a je vstřikováváno pomocí čtyř-otvorové trysky.

#### 1.6. Olejový systém

Olej je z olejové nádrže čerpán přes olejový filtr a chladič pomocí elektricky poháněného zubového čerpadla. Maximální tlak oleje v systému jsou 3 bary. V případě poklesu tlaku oleje pod minimální úroveň (1,5 baru) automaticky dojde k přerušení dodávky paliva do spalovací komory. Kromě minimálního tlaku oleje je taky limitním parametrem teplota oleje. Přívod paliva se přeruší při překročení teploty oleje 100 °C. Chladič oleje je regulován pomocí termostatu. Průtok chladicí vody je regulován na základě teploty oleje.

## 1.7. Spouštěcí a zapalovací systém

Spouštěcí systém se skládá z ventilátoru a systému klapek. Při startu zařízení se standardní přívod vzduchu klapkou uzavře a otevře se větev pomocného ventilátoru.



Obr. 8 Spouštěcí systém ET 792 [1]

Poloha škrticích klapek se ovládá pomocí otočného spínače na čelním panelu zařízení. Pomocný ventilátor nahrazuje ve fázi startu kompresor a dodává vzduch potřebný pro první zapálení palivo-vzduchové směsi ve spalovací komoře. V okamžiku, kdy turbína dosáhne určitých minimálních otáček, přebírá funkci dodávky stlačeného vzduchu hlavní kompresor a pomocný ventilátor je možné vypnout.

Zapalovací systém se skládá ze zapalovací svíčky a zapalovacího transformátoru pro zajištění zapalovacího elektrického napětí. Systém zapalování musí být v provozu, dokud nedojde k zapálení palivo-vzduchové směsi ve spalovací komoře. Po zapálení dojde k navýšení teploty na vstupu do turbíny, kterou je možné na displeji ovládacího panelu sledovat. Po dosažení teploty vyšší než 500 °C lze zapalování vypnout.

## 1.8. Provoz zařízení ET 792

Před zahájením provozu zařízení je potřebné provést následující kroky:

- Zkontrolovat hladinu oleje.
- Zajistit přívod paliva z propanové láhve.
- Zajistit přívod chladicí vody (průtok chladicí vody by se měl pohybovat kolem 3 až 5 l/min).
- Zkontrolovat funkci všech displejů.
- Zajistit dostatečné větrání prostor.

**Použitá literatura:**

[1] MITTASCH, P.: *Experiments Instructions, ET 792 – Gas Turbine, ver. 0.6*. Equipment for Engineering Education, GUNT, Hamburg

KKE/PTT