

popis výsledku k projektu FW03010481

Prototyp přímého kondenzátoru

Vypracoval: Marek Vondra, VUT v Brně

Leden 2023

Prototyp přímého kondenzátoru byl navržen a zkonstruován pracovníky VUT v Brně. Snahou řešitelského týmu bylo najít alternativní řešení ke konvenčním nepřímým kondenzátorům. A to řešení, které by bylo investičně a provozně méně nákladné.

V původní koncepci technologie pro zahušťování digestátu, jejíž vývoj je hlavní náplní výzkumného projektu, měla mít každá z odpařovacích komor vlastní nepřímý kondenzátor, tj. konvenční výměník deskový nebo trubkový. Toto řešení bylo investičně i provozně náročné – vzhledem k požadované teplosměnné ploše a při plánovaném počtu šesti odpařovacích komor by bylo nutné pořídit šest plochou velkých kondenzačních výměníků. Kromě investičních nákladů je toto řešení zátěží i pro provozní náklady, a to z důvodu celkově vyšších tlakových ztrát na průchodu chladicího média, které musí být kompenzovány dostatečným výkonem čerpadel.

Hledané technické řešení muselo vyhovět následujícím požadavkům:

- Zajištění plné kondenzace brýdových par tvořených zejména vodou, amoniakem a nekondenzujícím plyny (vzduchem)
- Mechanická, teplotní a chemická odolnost
- Nízké investiční a provozní náklady
- Zachování tlakových poměrů v odpařovacích komorách
- Maximální rekuperace kondenzačního tepla v zahušťovacím procesu (tento požadavek mimo jiné implikuje požadavek na maximální přiblížení teplot v kondenzátoru, max. 3 °C)

Navržené řešení s jedním přímým („direct contact“) kondenzátorem je pro vícekomorové odparky netradiční, ale slibuje značné snížení investičních i provozních nákladů. Kondenzace brýdových par z jednotlivých komor probíhá přímo v objemu kapaliny a nevyžaduje tedy rozsáhlou teplosměnnou plochu. Kondenzátor je koncipován jako protiproudý, tj. pohyb par, respektive nekondenzujících plynů, je v opačném směru vůči chladicí vodě, která je při průchodu kondenzátorem shora dolů postupně ohřívána kondenzující parou. Zkondenzované páry (voda + amoniak ve zkoumaném případě) jsou z důvodu zachování materiálové bilance postupně odváděny mimo chladicí okruh. V plném provozu by mělo následovat oddělení amoniaku z vody na stripovací koloně tak, jak bylo v původním technickém záměru.

Výroba prototypu přímého kondenzátoru

Výroba prototypu DC kondenzátoru proběhla na VUT v Brně v Laboratoři energeticky náročných procesů. Výroba a následné úpravy prototypu probíhaly v období března až září 2022. **Prototyp přímého kondenzátoru byl v konečném stavu tvořen:**

- Tělesem kondenzátoru
 - Válcovou polypropylenovou tlakovou nádobou s vnitřním průměrem 200 mm
 - Teplotními, tlakovými a hladinovými senzory na vstupních a výstupních hrdlech
 - Dvěma vstupními hrdly DN100 pro brýdové páry
 - Distributorem páry na vstupních hrdlech brýdových par

- Sypaným výplňovým materiálem pro zajištění turbulentního proudění
- Zásobní nádrží pro odpadní vodu
- Elektrokotlem s příslušenstvím
- Dvěma deskovými výměníky
 - Pro ohřev odpadní vody
 - Pro chlazení kondenzátoru
- Dvěma odpařovacími komorami
- Třemi čerpadly
 - Čerpadlo odpadní vody (odstředivé)
 - Čerpadlo chladicí vody (odstředivé)
 - Čerpadlo koncentrátu (membránové)
- Vakuovým systémem pro odtah vzdušiny
 - 4 vodní ejektory
 - 2 odstředivá čerpadla
 - Nádrž ejektorové vody
- Systémem pro měření (teploměry, tlakoměry, průtokoměry, hladinoměry) a regulaci (proporcionální ventil)
- Systémem potrubí, armatur a ventilů
- Elektroinstalací

Fotografie jednotlivých částí prototypu jsou na Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5.

Zapojení a testování prototypu

Schématické zapojení prototypu je zřejmé z blokového schéma na Obr. 1. Následující text popisuje technologii přímé kondenzace včetně provozních parametrů, které byly dosaženy při posledním testu dne 23. 9. 2022, kdy bylo ověřování prototypu na VUT v Brně úspěšně ukončeno. Důležité provozní parametry dále shrnuje Tab. 1. Průběhy teplot během experimentu ilustruje Obr. 2.

Odpadní voda (cca 200 L/h) byla na deskovém výměníku ohřívána na teplotu cca 70 °C a dopravována čerpadlem do první z odpařovacích komor. Jako zdroj tepla sloužil elektrokotel BOSCH s maximálním výkonem 42 kW. V první odpařovací komoře došlo k odpaření části brýdových par při rovnovážné teplotě cca 51 °C a tlaku cca 0,15 bara. Následně byla odpadní voda expanzně ochlazena v druhé odpařovací komoře při teplotě cca 42 °C a 0,08 bara. Tlakový rozdíl mezi odpařovacími komorami byl nastaven výškou vodního sloupce v kondenzátoru. Koncentrát odpadní vody byl ze systému odveden membránovým čerpadlem.

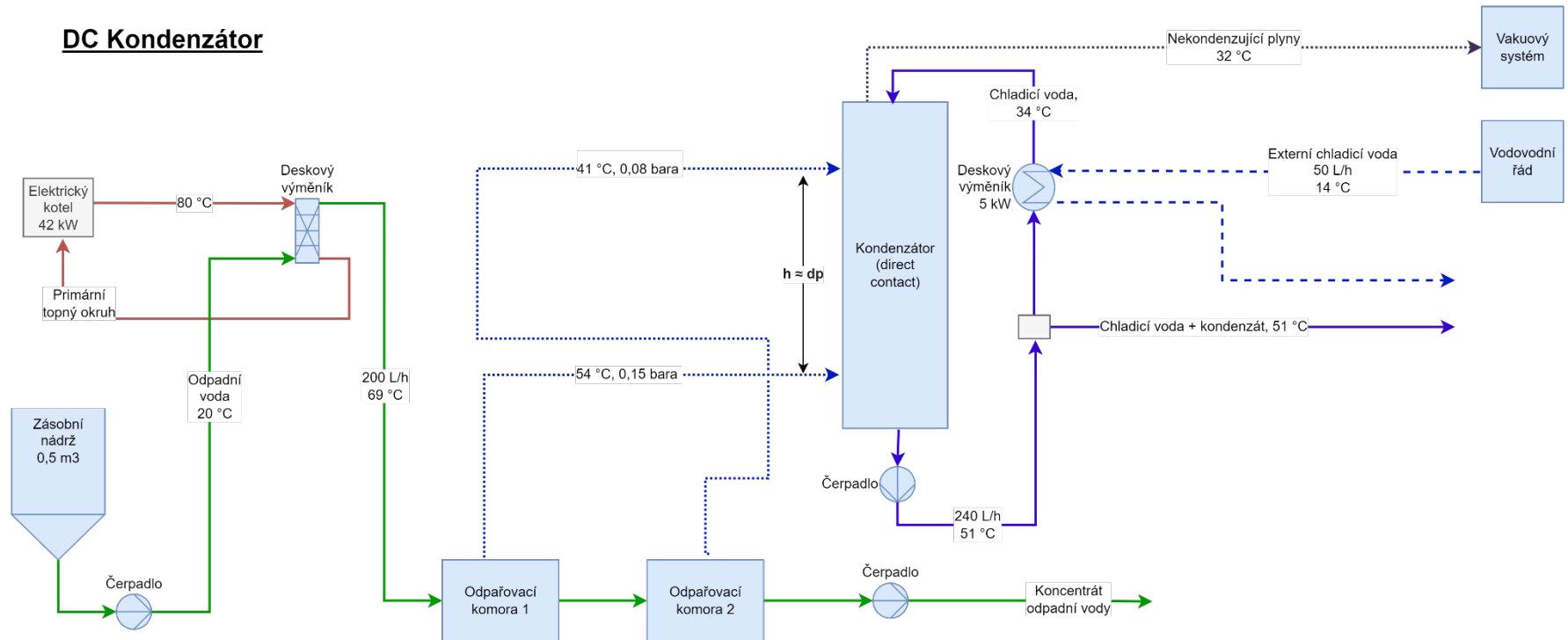
Brýdové páry byly v kondenzátoru kondenzovány v přímém kontaktu s chladicí vodou, který intenzifikovala sypaná výplň. Chladicí voda byla kondenzací ohřáta z cca 34 °C na cca 51 °C. Bylo tedy dosaženo požadovaného teplotní přiblížení cca 3 °C. Z kondenzátoru odčerpaná chladicí voda byla z větší části recirkulována přes výměník s externí chladicí vodou a z menší části odváděna ze systému tak, aby byl celkový objem chladicí vody (hladina v kondenzátoru) zachován.

Nezkondenzované plyny byly z kondenzátoru odváděny vakuovým systémem při teplotě cca 32 °C.

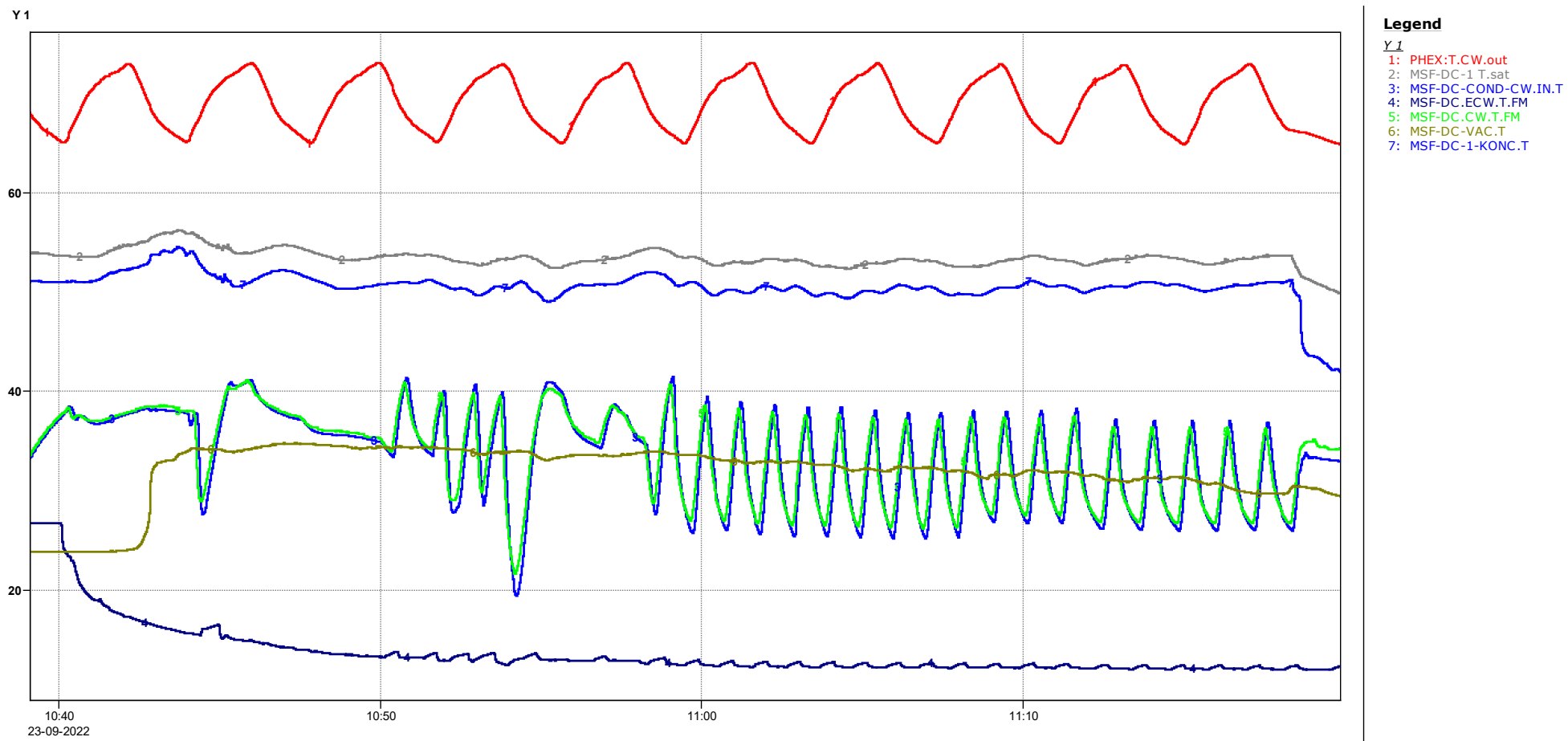
Tab. 1: Vybrané provozní parametry ze dne 23. 9. 2022

Popis	Jednotka	Průměr	Minimum	Maximum
Teplota OV za výměníkem	°C	69.00	64.93	73.04
Teplota páry na vstupu do DC-HEX	°C	53.60	52.40	56.20
Průtok OV	m ³ /h	0.20	0.18	0.24
Podtlak v DC-HEX (hlava)	barg	-0.92	-0.95	-0.88
Teplota chladicí vody - vstup	°C	34.11	19.45	41.43
Průtok externí chladicí vody	m ³ /h	0.05	0.00	0.40
Vstupní teplota ext. chladicí vody	°C	14.34	12.17	26.76
Průtok chladicí vody	m ³ /h	0.24	0.00	0.27
Teplota plynů na výstupu z DC-HEX	°C	32.12	23.77	34.77
Tlak na vstupu páry do DC-HEX	barg	-0.85	-0.86	-0.83
Teplota chladicí vody - výstup	°C	50.89	49.06	54.52
Chladicí výkon	kW	4.68		

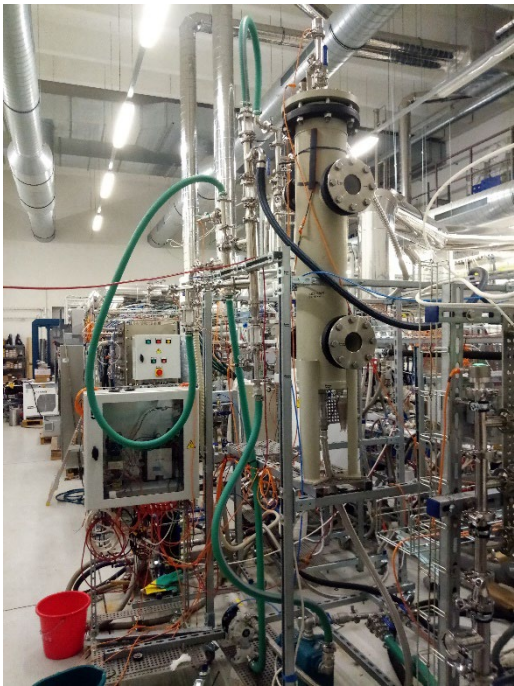
DC Kondenzátor



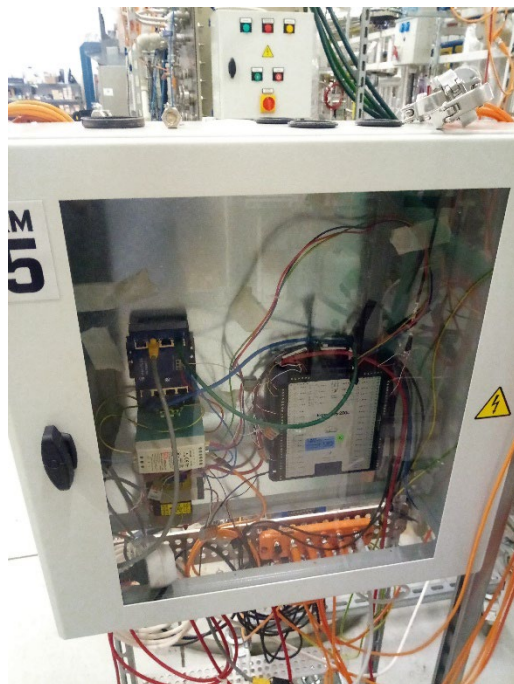
Obr. 1: Blokové schéma zapojení prototypu přímého kondenzátoru na VUT v Brně



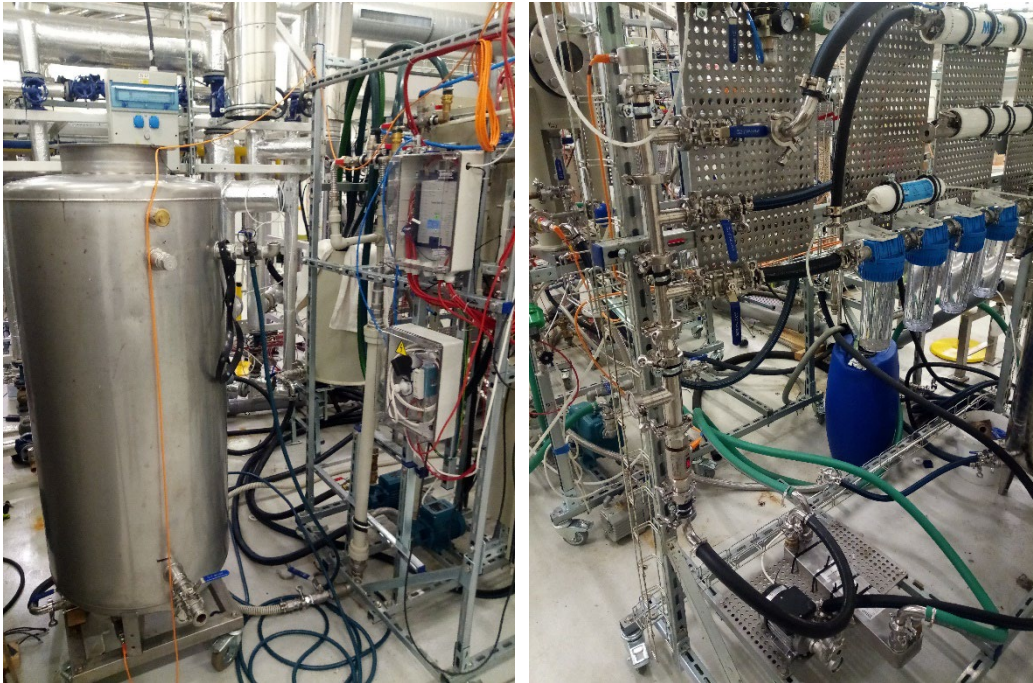
Obr. 2: Průběh teplot během experimentálního testu prototypu na VUT v Brně ze dne 23.9.2022



Obr. 3: Přímý kondenzátor v Laboratoři energeticky náročných procesů na VUT v Brně



Obr. 4: Dílčí komponenty prototypu: elektrokotel a deskový výměník (vlevo), systém pro měření a regulaci (vpravo)



Obr. 5: Dílčí komponenty prototypu: zásobní nádrž a vakuový systém (vlevo), deskový výměník a rozvody chladicí vody (vpravo)

V Brně dne 26. 1. 2023

M. Vondra

.....
Ing. Mgr. Marek Vondra, Ph.D.
vědecký a výzkumný pracovník FSI VUT v Brně

(konec dokumentu)