



Zvyšování měrného tepelného toku v tepelném výměníku z polymerních dutých vláken pomocí vytvořeného programu v jazyce Python

Filip LANG^{1}, Erik BARTULI¹, Jiří HVOŽDA¹*

¹ *Laboratoř přenosu tepla a proudění, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika*

* **Email:** Filip.Lang@vut.cz

Vlastnosti tepelných výměníků z polymerních dutých vláken naznačují potenciál pro možné nahrazení konvenčních kovových výměníků v určitých aplikacích. Polymerní dutá vlákna jsou lehká, snadno tvarovatelná a méně energeticky náročná na výrobu (nižší produkce CO₂). Jejich další výhodou je odolnost proti korozi, respektive chemická odolnost, a elektrická nevodivost. Za účelem zvyšování měrného tepelného toku, respektive součinitele prostupu tepla, ve výměníku z polymerních dutých vláken, a tedy i růstu konkurenceschopnosti v porovnání s kovovými tepelnými výměníky byl v rámci práce navržen program v jazyce Python řídící navíjecí zařízení vyrábějící tepelné výměníky z polymerních dutých vláken. Program generuje řídící G-kód na základě parametrů zadaných uživatelem. Správná funkčnost navíjecího zařízení zajistí zvýšení součinitele prostupu tepla, respektive tepelného výkonu, a snadnější aplikaci optimalizace struktury vláken jádra výměníku.

Klíčová slova: tepelný výměník, polymerní dutá vlákna

1 Úvod

První tepelný výměník z polymerních dutých vláken byl představen ve studii [1] v roce 2004. Stimul pro vytvoření takového výměníku byla snaha o vytvoření tepelného výměníku z nekovových materiálů a redukci negativní vlastností polymerů, respektive jejich nízké tepelné vodivosti, pomocí nižší tloušťky stěny oproti polymerním chladičům, které byl již dříve prezentovány.

Polymerní dutá vlákna používána pro konstrukci tepelných výměníků jsou vyráběna nejčastěji z polyamidu (PA) a polypropylenu (PP), pro aplikace s vyšší teplotou teplotnosného média bývají využívána vlákna z polyetereterketonu. Vnější průměr vláken je obvykle v rozmezí 0,8 až 1,2 mm s tloušťkou stěny o hodnotě 10–15 % vnějšího průměru vláken.

Polymerní materiály mají výrazně nižší tepelnou vodivost, [2] uvádí tepelnou vodivost PA6 (při 100 °C) na hodnotu 0,27 Wm⁻¹K⁻¹ a pro PP (při 100 °C) uvádí hodnotu 0,20 Wm⁻¹K⁻¹. Naopak tepelná vodivost kovových materiálů používaných pro konstrukci konvenčních výměníků dosahuje hodnot 236 Wm⁻¹K⁻¹ (při 0 °C) pro hliník a 401 Wm⁻¹K⁻¹ (při 0 °C) pro měď. Výsledný tepelný odpor stěny polymerního dutého je ale díky výrazně nižší tloušťce stěny



oproti kovovým tepelným výměníkům poměrně nízká a tedy negativní jev ve formě nízké tepelné vodivosti je zanedbatelný.

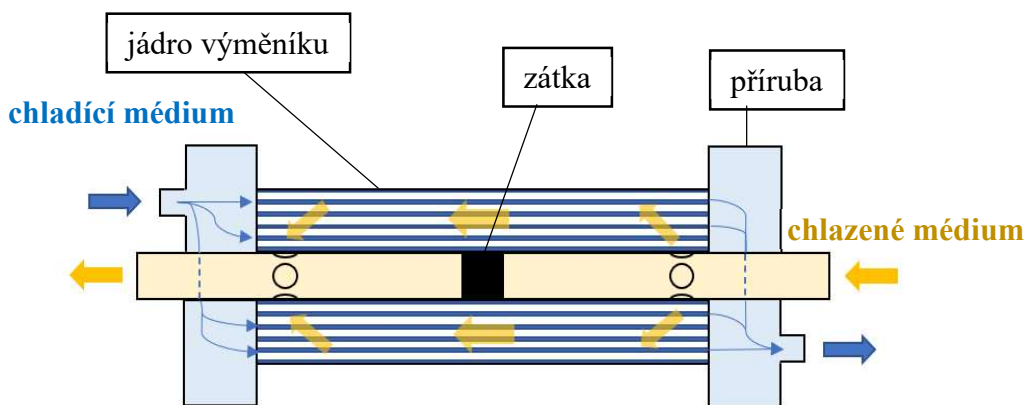
Konkrétní aplikace využití polymerních dutých vláken v chemickém průmyslu byly prezentovány ve [3] a [4], kde byly využity pro odsolování. Polymerní dutá vlákna jeví perspektivu budoucího využití v chemickém průmyslu z několika důvodů, jako je chemická odolnost materiálu, antikoroziční vlastnosti, kompaktnost a vysoká účinnost.

Použití tepelného výměníku jako chladiče motoru v automobilu bylo prezentováno v [5] v roce 2016. Tepelný výměník dosahoval průměrně o 20 % vyšší tepelný výkon v různých provozních stavech a jeho hmotnost bylo o 20 % menší oproti běžné využívanému motorovému chladiči.

Možnému využití tepelných výměníků v elektronickém průmyslu se věnovaly také studie [6] a [7], kde bylo prezentováno zvláště využití technologie pro chlazení LED světlometů a baterií.

2 Navržení konstrukce tepelného výměníku

Konstrukčně je navržený chladič podobný svazkovému tepelnému výměníku a výměníku typu trubka v trubce. Obr. 1 zobrazuje princip funkce navrženého chladiče a na Obr. 2 je zobrazena konstrukce vyráběného tepelného výměníku z polymerních dutých vláken. Chladicí kapalina vstupuje na okraji výměníku do příruby, ze které je následně rozvedena do jednotlivých polymerních dutých vláken. Po průchodu skrz vlákna kapalina vstupuje do příruby na druhé straně výměníku. Chlazené médium vstupuje do tepelného výměníku karbonovou trubkou. V karbonové trubce je ustanovena přepážka, která neumožní přímý průtok teplotnosného média trubkou. Ve stěně karbonové trubky byly vytvořeny dvě série otvorů. První 4 otvory umožňují vstup pracovní látky do aktivní části výměníku, kde dochází k přenosu tepla z chlazeného média, proudícího vně vláken, do chladicího média proudícího ve vláknech. Druhá série 4 otvorů slouží pro odvod chlazeného média z aktivní části do karbonové trubky.



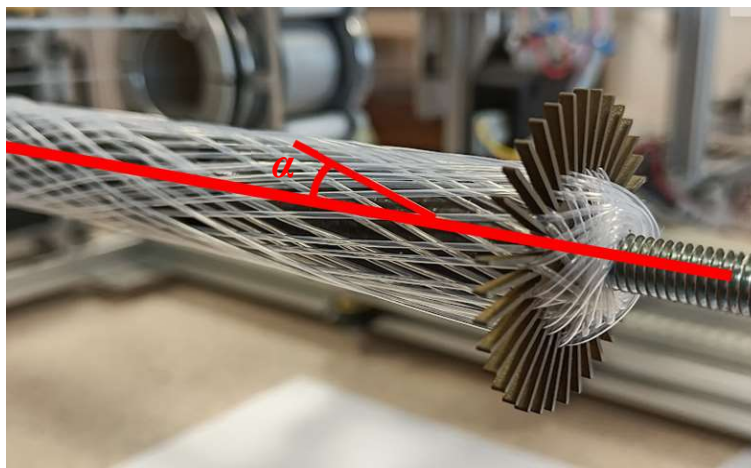
Obr. 1 Princip funkce navrženého tepelného výměníku.



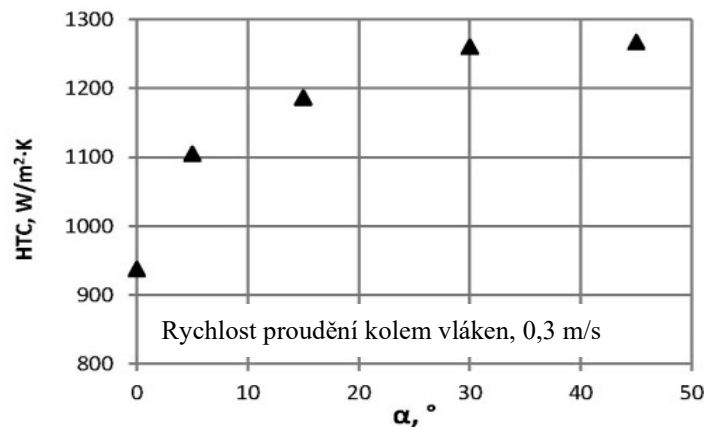
Obr. 2 Konstrukce svazkového tepelného výměníku z polymerních dutých vláken.

Protiproudé tepelné výměníky oproti souproudým tepelným výměníkům se obecně vyznačují vyšším měrným tepelným výkonem, jak je prezentováno i v [8]. Navržený tepelný výměník je tedy za účelem dosažení vyššího tepelného výkonu navržen jako protiproudý s křížovým prouděním při vstupu pracovních médií do aktivní části tepelného výměníku.

Dalším důležitým parametrem zajišťující vyšší měrný tepelný výkon je sklon vláken vzhledem k ose výměníku (Obr. 3). Podle [9] sklon vláken, značený jako úhel α , o pouhých 5° způsobí značný nárůst součinitele přestupu. Obr. 4 dokazuje, že vliv sklonu vláken na součinitel přestupu tepla je výrazný do hodnoty sklonu vláken 30° . U navrženého tepelného výměníku byla vytvořena struktura vláken s hodnotou sklonu vláken v rozmezí 5° až 30° , kde první vrstva vláken, nacházející se nejbližší ose výměníku, má sklon vláken 5° a poslední vrstva vláken, tvořící obal výměníku, má sklon vláken 30° . Změna sklonu vláken v průběhu navíjení zajistí pravidelnost struktury ve všech vrstvách i přes měnící se navíjecí průměr.



Obr. 3 Sklon vláken tepelného výměníku.



Obr. 4 Vliv sklonu vláken na součinitel přestupu tepla na vnější straně vláken [9].

3 Výroba tepelného výměníku

Jádro výměníku je vyráběno na navíjecím zařízení X-Winder 4X-C disponující čtyřmi osami pohybu. Navíjecí zařízení je originálně ovládáno pomocí softwaru X-Winder Desinger, který je dodáván společně s navíjecím zařízením. Navíjecí zařízení ale nebylo navrženo pro výrobu tepelných výměníků, a proto využití daného softwaru pro účely výroby tepelných výměníků je značně obtížné.

V rámci práce byly navrženy program v jazyce Python umožňující výrobu jádra na základě parametrů zadaných uživatelem. Obr. 5 Úvodní část programu v jazyce Python. zobrazuje úvodní část programu vytvořenou v jazyce Python.

```

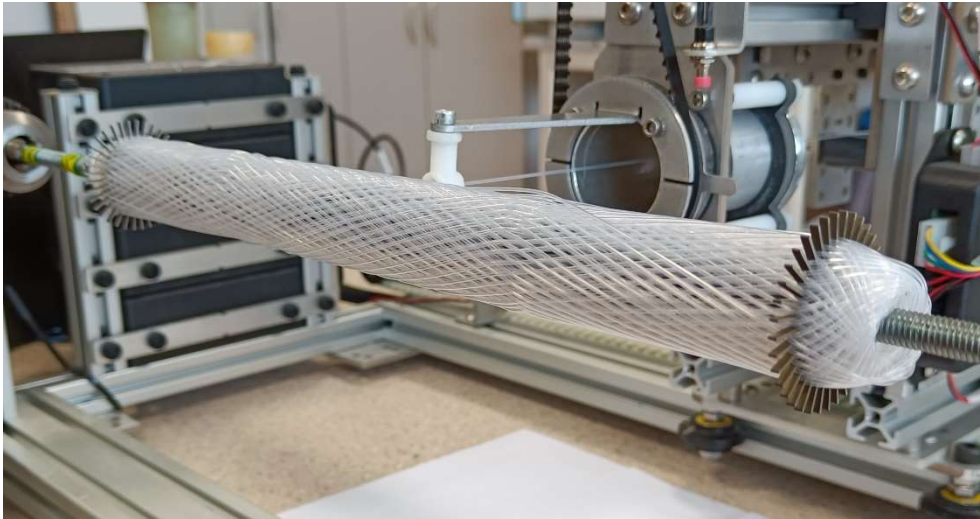
1 import csv
2 from datetime import datetime
3 import os #FilePath
4 import math #pi
5
6 control = 0
7
8 while control == 0:
9     try:
10        name = input("Zadejte název souboru: ")
11        popis = input("Vložte krátký popis: ")
12        filDiameter = float(input("Vložte hodnotu vnějšího průměru navíjeného vlákna [mm]: "))
13        pos_1 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 1 [mm]: "))
14        pos_2 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 2 [mm]: "))
15        pos_3 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 3 [mm]: "))
16        pos_4 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 4 [mm]: "))
17        pos_5 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 5 [mm]: "))
18        pos_6 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 6 [mm]: "))
19        pos_7 = float(input("Zadejte hodnotu na pozici 7 [mm]: "))
20        correction1 = float(input("Zadejte hodnotu korekce (doporučeno → 2°): "))
21        numbersAngle = int(input("Zadejte počet mezer přípravku: "))
22        a = float(input("Zadejte uhel otočení vřetene v koncovém bodě výměníku [°]: "))
23        c = float(input("Zadejte uhel otočení vřetene v průběhu navíjení funkční části výměníku [°]:"))
24        fibers_1 = int(input("Celkový počet vláken: "))
25        star2 = input("Bude použit 2. přípravek? (Odpověď Ano/Ne): ")

```

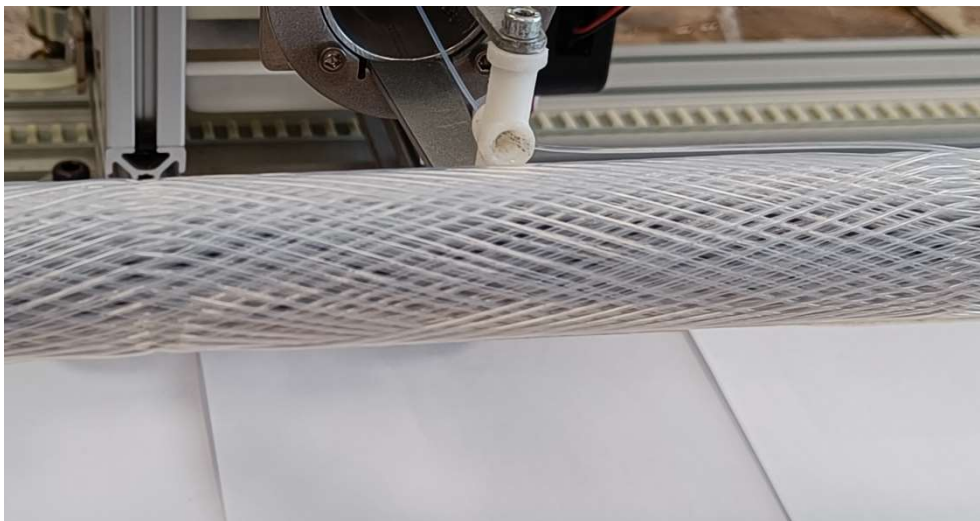
Obr. 5 Úvodní část programu v jazyce Python.



Program umožňuje vytvoření pravidelné struktury jádra výměníku (Obr. 6 a Obr. 7) a tedy dosažení vyšších měrných tepelných výkonů. Opakovatelnost vytvořené struktury umožňuje také možnost snadnějšího vyhodnocení výsledků a aplikování implementací na základě změřených dat.



Obr. 6 Pravidelná struktura vytvářeného jádra výměníku pomocí navrženého programu.



Obr. 7 Detail struktury vytvářeného jádra výměníku pomocí navrženého programu.

Po navinutí jádra výměníku dochází k navinutí pláště výměníku ze skelného vlákna a následnému odstranění okrajových částí jádra výměníku, respektive dojde k otevření polymerních dutých vláken, a připojení přírub.



4 Ověření funkčnosti

Funkčnost tepelného výměníku byla ověřena v tepelné komoře, kde byly použity jako pracovní média voda. Jako chlazené médium byla použita voda o vstupní teplotě 70 °C a průtoku 0,1 m³h⁻¹. Chladicí médium vstupovalo do chladiče o teplotě 9,1 °C a průtoku 0,1 m³h⁻¹. V průběhu testování nedošlo k porušení funkčnosti.

5 Závěr

V rámci práce byl vyroben tepelný výměník na základě vytvořeného programu v jazyce Python na navíjecím zařízení X-Winder. Navíjecí zařízení disponuje softwarem pro jeho ovládání, avšak jeho použití pro výrobu tepelných výměníků je poměrně obtížné. Vytvořený program v jazyce Python generuje G-kód, který následně řídí navíjecí pohyb zařízení, na základě parametrů zadaných uživatelem. Vytvořený program umožňuje vytvoření pravidelné a opakovatelné struktury vláken v jádru výměníku. Přesné stanovení počtu vláken, sklonu vláken a geometrii umožňuje zvětšení měrného tepelného toku výměníku a zajištění konkurenceschopnosti mezi konvenčně používanými kovovými tepelnými výměníky.

Funkčnost tepelného výměníku byla ověřena ve zkušební komoře. V rámci dlouhodobého testování nedošlo k porušení funkčnosti výměníku. Využití vytvořeného programu proto dokáže výrazně zvýšit měrný tepelný tok výměníku a snadnější aplikaci implementací.

Poděkování

Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci grantu OP VVV číslo CZ.02.1.01/ 0.0/0.0/16_019/0000753 „Centrum výzkumu nízkouhlíkových energetických technologií“.

Použitá literatura

- [1] ZARKADAS, Dimitrios M. and Kamalesh K. SIRKAR. 2004. Polymeric Hollow Fiber Heat Exchangers: An Alternative for Lower Temperature Applications. 43(25), 8093-8106.
- [2] VDI Heat Atlas. 2010. Second Edition. Berlin: Springer.
- [3] SONG, Shasha, Huiting SHAN, Jun LIU and Baoan LI. 2018. Heat transfer study of PVDF hollow fiber heat exchanger for desalination process. Desalination. 446, 1-11.
- [4] SONG, Liming, Baoan LI, Dimitrios ZARKADAS, Saskia CHRISTIAN and Kamalesh K. SIRKAR. 2010. Polymeric Hollow-Fiber Heat Exchangers for Thermal Desalination Processes. 49(23), 11961-11977.
- [5] KRÁSNÝ, Ivo, Ilya ASTROUSKI and Miroslav RAUDENSKÝ. 2016. Polymeric hollow fiber heat exchanger as an automotive radiator. Applied Thermal Engineering. 108, 798-803.
- [6] MRAZ, Krystof, Erik BARTULI, Tereza KROULIKOVA, Ilya ASTROUSKI, Ondrej RESL, Jan VANCURA and Tereza KUDELOVA. 2021. Case study of liquid cooling



- of automotive headlights with hollow fiber heat exchanger. Case Studies in Thermal Engineering. 28.
- [7] BOHACEK, Jan, Miroslav RAUDENSKY and Ebrahim KARIMI-SIBAKI. 2019. Polymeric hollow fibers: Uniform temperature of Li-ion cells in battery modules. Applied Thermal Engineering. 159.
- [8] Fundamentals of heat and mass transfer. c2011. 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- [9] BARTULI, E. and M. RAUDENSKY. 2018. Numerical investigation of heat transfer on the outer surface of polymeric hollow fibers. Materiali in tehnologije. 52(4), 459- 463.