



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

CHLADIČ OLEJE NÁKLADNÍHO VOZIDLA

TRUCK OIL COOLER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Pobořil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Erik Bartuli, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Martin Pobořil
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Erik Bartuli, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Chladič oleje nákladního vozidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Návrh olejového chladiče z polymerních dutých vláken
2. Výroba prototypu chladiče nákladního vozidla na zařízení X-Winder
3. Testování vyrobeného chladiče

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce je zaměřená na vývoj chladiče oleje z polymerních vláken, které mají oproti konvenčním chladičům výrazně nižší hmotnost čímž přispívají k výkonnostním parametrům vozu. Těžiště práce leží ve vlastním návrhu chladiče oleje nákladního vozidla včetně výroby prototypu na programovatelném zařízení X-Winder který je pro řešení práce plně k dispozici. Samotné parametry výměníku budou ověřeny

Seznam doporučené literatury:

SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

BERGMAN, Theodore L. a INCROPERA, Frank P. Fundamentals of heat and mass transfer (7): Hoboken, NJ: Wiley, 2011, ISBN 978-0470-50197-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na návrh, zhotovení a testování chladiče převodového oleje nákladního vozidla z polymerních dutých vláken. Byla provedena literární rešerše v oblasti současně používaných vozidlových převodovek a také byl představen přehled vlastností a rozdělení olejů, které v převodovce plní zejména mazací, hydraulickou a chladicí funkci. Práce zahrnuje návrh chladiče dle zadaných parametrů a jeho výrobu technologií navíjení vláken pomocí zařízení X-Winder, pro které byl sestaven program řídicí všechny pohyby stroje a parametry navíjení. Hotový chladič prošel testy na roztržení a dále podstoupil měření charakteristických parametrů. Byly měřeny tlakové ztráty na straně vody při teplotě 80 °C. Měření probíhající při teplotách 60 a 70 °C mělo za cíl získat tlakové ztráty na straně oleje a výkon chladiče. Bylo zjištěno, že závislost tlakové ztráty na průtoku pláštěm je pro obě teploty téměř totožná, z čehož vyplývá, že vliv teploty na tlakové ztráty chladiče je zanedbatelný. Při stejných podmínkách jako tlaková ztráta v plášti byl měřen i výkon a jeho maximální dosažená hodnota byla 4,8 kW při průtoku pláštěm 100 litrů za hodinu a teplotě 59 °C. Dosažený tepelný výkon je srovnatelný s výkonem standardních kovových chladičů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chladič převodového oleje, plášťový tepelný výměník, polymerní dutá vlákna, X-Winder, navíjení vláken

ABSTRACT

This diploma thesis deals with designing, fabrication and testing of transmission oil cooler of a truck made of polymeric hollow fibers. Literary research was done in the field of currently used vehicle gearboxes. An overview of properties and a distribution of oils was presented. Oils perform mainly lubricating, hydraulic and cooling function in the gearbox. The thesis contains a design of a cooler according to the specified parameters and its manufacturing process which was done by fiber winding technology. The device X-Winder was used. The program controlling all movements of the machine was programmed. The manufactured cooler passed tear tests and a measurement of characteristic parameters was taken. The pressure drop in fibers was measured at 80 °C. The aim of measurement at 60 and 70 °C was to get a pressure drop in shell and a thermal performance of the cooler. It was found out that the pressure drop dependence on a the shell flow is almost identical for both temperatures, which implies that the effect of the temperature on the pressure drop is negligible. The measurement of thermal performance was done under the same conditions as the measurement of the shell pressure drop. Its maximum achieved reading was 4,8 kW, at shell flow 100 liters per hour and at the temperature 59 °C. The achieved thermal performance is comparable to the thermal performance of standard metal coolers.

KEYWORDS

Transmission oil cooler, shell and tube heat exchanger, polymeric hollow fibers, X-Winder, fiber winding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POBOŘIL, Martin. *Chladič oleje nákladního vozidla*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140133>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Erik Bartuli.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Erika Bartuliho, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Bc. Martin Pobořil

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Eriku Bartulimu, Ph.D. za cenné rady a připomínky týkající se zpracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval rodině, přítelkyni a kamarádům za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

Úvod.....	7
1 Převodovky vozidel.....	8
1.1 Automatizovaná převodovka.....	8
1.2 Dvouspojková převodovka.....	8
1.3 Hydrodynamická převodovka.....	9
1.4 Převodovka s plynulou změnou převodu.....	10
2 Mazací soustava.....	12
2.1 Převodové oleje.....	12
2.1.1 Rozdělení dle původu.....	14
2.1.2 Rozdělení dle kvality.....	14
2.1.3 Rozdělení dle viskozity.....	15
2.1.4 Rozdělení dle výkonnosti.....	15
3 Chladicí soustava.....	17
3.1 Chladiče olej-vzduch.....	17
3.2 Chladiče olej-voda.....	18
4 Přenos tepla.....	19
4.1 Kondukce.....	19
4.2 Konvekce.....	20
4.3 Radiace.....	21
4.4 Druhy tepelných výměníků.....	22
4.4.1 Trubkový.....	23
4.4.2 Plášťový.....	23
4.4.3 Deskový.....	24
4.5 Výměníky z polymerů.....	25
4.6 Materiálové vlastnosti polymerů.....	25
4.6.1 Polymery tekutých krystalů.....	25
4.6.2 Polypropylen a polyethylen.....	26
4.6.3 Polyamidy.....	26
5 Návrh a zhotovení chladiče.....	27
5.1 Chladič převodového oleje vozidla Ford F-150.....	28
5.2 Návrh tepelného výměníku z dutých vláken.....	29
5.3 X-Winder.....	30
5.4 Vložka výměníku.....	32
5.4.1 Proces navíjení vložky výměníku.....	33
5.4.2 G-kód pro navíjení vložky výměníku.....	35
5.5 Vnější vrstva.....	36
5.5.1 Proces navíjení vnější vrstvy.....	36
5.5.2 G-kód pro navíjení vnější vrstvy.....	37
6 Testování chladiče.....	39
6.1 Tlaková ztráta ve vláknech.....	39
6.2 Tlaková ztráta v plášti.....	40
6.3 Výkon chladiče.....	41



Závěr.....	42
Použité informační zdroje.....	43
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	49

ÚVOD

Základním principem fungování vozidla se spalovacím motorem je zažehnutí či samovznícení směsi paliva se vzduchem, čímž dochází k uvolnění tepelné energie, což má za následek rozpohybování klikového mechanismu motoru. Zprostředkovatelem přenosu točivého momentu od klikové hřídele motoru na kola vozidla je převodovka společně s dalšími částmi převodového ústrojí. V současné době neustále vzrůstá počet vozidel s automatickými převodovkami, které mají vysoké nároky na převodový olej, který plní mimo jiné funkci mazací, hydraulickou i chladicí. Aby byl olej schopný plnit všechny tyto funkce, je nutné udržovat jeho optimální provozní teplotu. Za tímto účelem lze použít vzduchový chladič fungující na podobném principu jako chladič chladicí kapaliny, která udržuje správnou teplotu motoru. Rozdílem však je, že chlazené médium je v tomto případě olej místo chladicí kapaliny.

Kromě chlazení oleje proudícím vzduchem je používán chladič převodového oleje ve formě tepelného výměníku olej-voda s využitím tzv. plášťového výměníku, který se skládá z více trubek uzavřených ve větší nádobě, přičemž chladicí voda proudí uvnitř trubek a zahřátý olej vně trubek v rámci nádoby. Tyto výměníky jsou standardně vyrobeny z hliníkových či měděných slitin, avšak existuje i alternativní řešení v podobě polymerů.

Polymerní materiály mají sice výrazně nižší tepelnou vodivost než kovy, ale také disponují oproti kovům mnohými výhodami. Nepodléhají korozi, jsou více odolné proti znečištění, mají výrazně nižší hmotnost, jsou levnější a též ekologicky přívětivější, jelikož jejich zpracování je jednodušší než u kovů, tudíž není spotřebováno tolik energie na jejich výrobu. Díky těmto vlastnostem začali vznikat návrhy na tepelné výměníky z polymerních vláken a s výhodou byla použita dutá vlákna o velmi malých průměrech, čímž je zajištěno navýšení povrchu teplosměnných ploch, tudíž i vyšší konkurenceschopnost v oblasti přenosu tepla ve srovnání s kovovými výměníky.

Výrobu chladiče převodového oleje z polymerů lze realizovat navíjením materiálu dle přesně zadaných parametrů, což umožňuje zařízení X-Winder. Jedná se o první stolní stroj tohoto typu, díky kterému je umožněno navíjení vláken i v malých prostorách. Všechny informace o procesu zhotovení a parametrech výměníku jsou zadávány G-kódem obdobně jako u standardních CNC strojů.

1 PŘEVODOVKY VOZIDEL

Převodovým ústrojím jsou označovány všechny součásti vozidla, které se podílejí na přenosu sil od motoru k hnaným kolům. Jeho hlavními úkoly jsou zvětšení či zmenšení točivého momentu, krátkodobé či dlouhodobé přerušování přenosu točivého momentu a také zmenšení, zvětšení nebo změna smyslu otáček hnacích kol. Klasická koncepce převodového ústrojí je tvořena spojky, spojovacími a kloubovými hřídelemi, stálými převody a diferenciály, avšak nejkomplexnější komponentou je zpravidla převodovka, která již často bývá poloautomatická či automatická. [1][2]

1.1 AUTOMATIZOVANÁ PŘEVODOVKA

Tento typ převodovky může být považován za mezistupeň mezi manuální a automatickou převodovkou, jelikož funguje jako standardní manuální převodovka s tím rozdílem, že ovládání spojky a řazení rychlostních stupňů je automatizováno, tudíž není zapotřebí spojkový pedál a řadicí páka jako je tomu u pokročilejších automatických převodovek. Místo toho jsou zde instalovány elektronicky řízené akční členy, které mají na starost aktivaci či deaktivaci spojky i proces řazení včetně synchronizace. Možnost manuálního řazení je zprostředkována pomocí pádel pod volantem. V porovnání s manuální převodovkou je automatizovaná převodovka schopná řídit rychleji a přispívá k menší spotřebě paliva, přičemž je konstrukčně jednodušší a levnější než ostatní automatické převodovky, které mají většinou schopnost plynulejšího chodu. Zástupci tohoto typu převodovky jsou například Easysyntronic od firmy Opel (*obr. 1*) nebo SMG od BMW. [1][2][3]

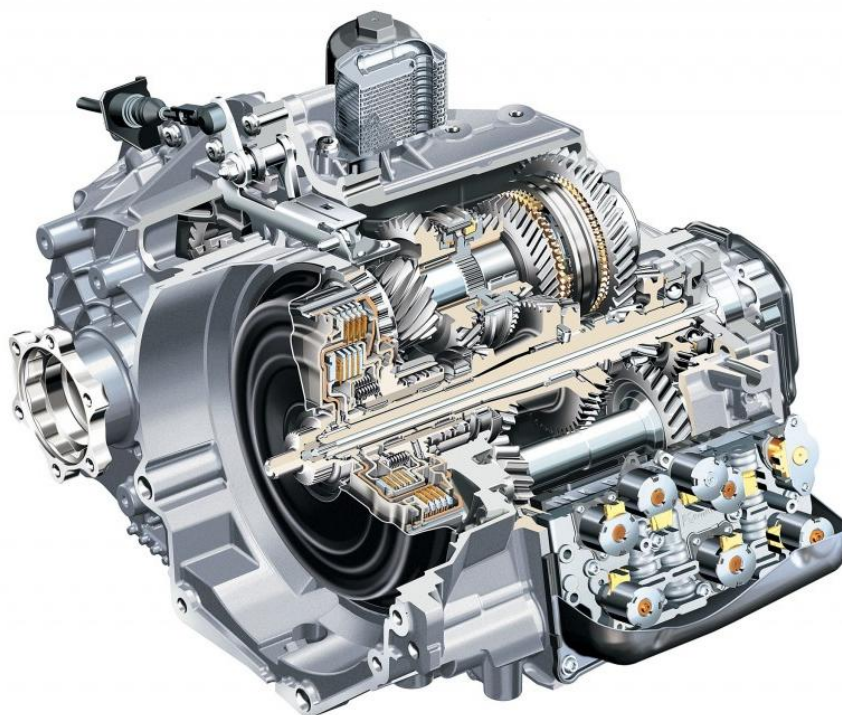


Obr. 1 Automatizovaná převodovka Opel Easytronic [4]

1.2 DVOUSPOJKOVÁ PŘEVODOVKA

Stejně jako automatizovaná převodovka, i dvouspojková částečně vychází z klasické manuální převodovky. Hlavním rozdílem je použití dvou spojek, tudíž i dvou dílčích

převodovek, které vzájemně spolupracují k obsazení celého spektra požadovaných převodových stupňů. Princip spočívá v tom, že je sepnutá vždy jen jedna ze dvou spojek, přičemž první soustava ozubení zajišťuje řazení lichých převodových stupňů a zpětného chodu a druhá část ozubených soukolí má na starost sudé převodové stupně. Tento mechanismus umožňuje, aby byla jedna soustava soukolí sepnuta první spojkou a využívána k pohonu vozidla a zároveň aby byl na druhé dílčí převodovce ve stejný čas již dopředu zařazen rychlostní stupeň, který bude následně aktivován sepnutím druhé spojky a odpojením první spojky. Největší výhodou dvouspojkové konstrukce je velmi rychlé řazení bez výskytu nespojitostí mezi jednotlivými rychlostními stupni. Jedná se však o zařízení poměrně náročné na elektroniku zajišťující řízení převodovky, což společně s komplexností celého systému znamená poměrně vysoké náklady na případné opravy. Tyto převodovky jsou pod názvem DSG (Direct Shift Gearbox), viz *obr. 2*, součástí mnoha vozidel koncernu Volkswagen, ale vyskytují se i u jiných výrobců pod různými označeními jako například Power Shift od Fordu. [1][2][3]

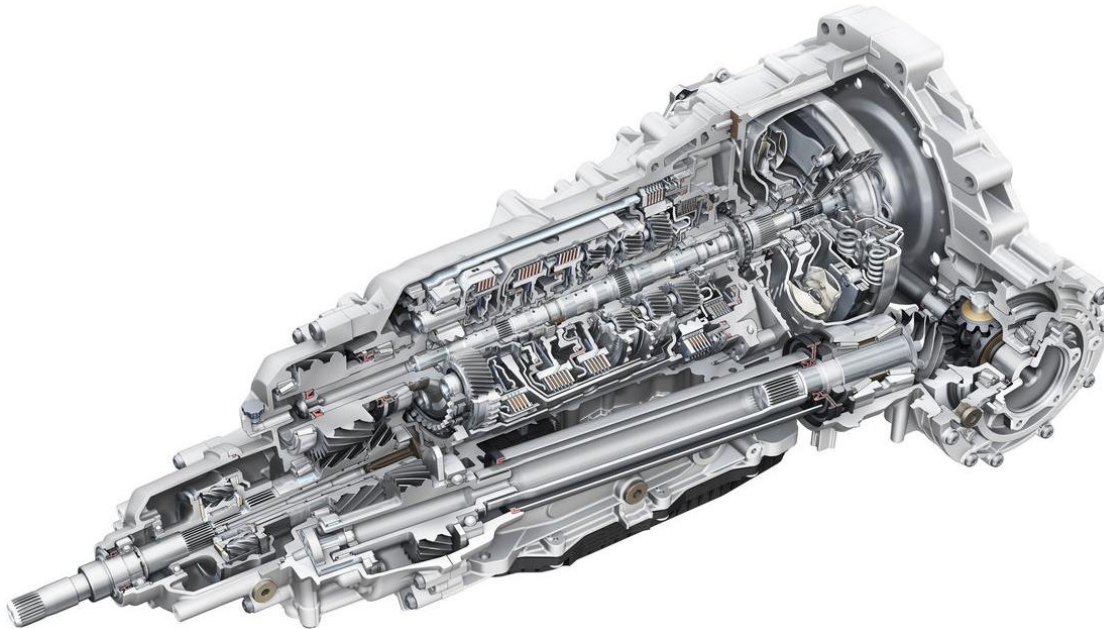


Obr. 2 Dvouspojková převodovka DSG [5]

1.3 HYDRODYNAMICKÁ PŘEVODOVKA

Jedná se o nejběžněji používaný typ automatické převodovky, jejíž stěžejními částmi jsou hydrodynamický měnič točivého momentu a planetové soukolí. Hydrodynamický měnič je zařízení schopné přenášet točivý moment od klikové hřídele poháněné motorem k hřídelím planetového soukolí v převodovce, ale je také schopný deaktivovat přenos momentu podobně jako spojka u manuální převodovky, avšak s tím rozdílem, že není nutné toto rozpojení manuálně zprostředkovávat pomocí sešlápnutí spojkového pedálu. Hlavními funkčními částmi hydrodynamického měniče jsou čerpadlové, turbínové a rozváděcí kolo, které mají po svém obvodu každé jinak tvarované lopatky k usměrňování proudění kapaliny vyplňující prostor mezi koly. Čerpadlové kolo je spojeno s klikovou hřídelí, tudíž poháněno motorem.

Otáčející se čerpadlové kole působí svými lopatkami na převodovou kapalinu, která se následně pohybuje směrem k turbínovému kolu a způsobuje jeho rotaci. Kapalina se poté vrací směrem k čerpadlu a celý proces se opakuje za pomoci vnitřního rozváděcího kola sloužícího k usměrňování proudu kapaliny a zvýšení nebo snížení síly působící na lopatky turbíny, čímž je provedena změna točivého momentu. Turbína je spojena s hřídelí vstupující



Obr. 3 Hydrodynamická převodovka Tiptronic [7]

do převodovky, kde se nachází planetové soukolí umožňující změnu převodových stupňů. Hydrodynamické převodovky jsou dobře zavedenou a spolehlivou technologií s poměrně plynulým a rychlým řazením. Nevýhodou je menší efektivita přenosu energie hydrodynamickým měničem, což vede k vyšší spotřebě paliva. Často používanými hydrodynamickými převodovkami jsou např. Steptronic od BMW nebo Tiptronic koncernu Volkswagen, která je zobrazena na obr. 3. [1][2][3][6]

1.4 PŘEVODOVKA S PLYNULOU ZMĚNOU PŘEVODU

Plynulá změna převodu u této převodovky je umožněna, protože se zde nenachází ozubená soukolí jako u ostatních převodovek. Přenos sil je realizován pomocí dvou kuželových kladek, z nichž jedna je připojena k motoru a jedna k výstupům, kterými jsou poháněna kola. Tyto kladky jsou spojeny klínovým řemenem z ocelových elementů a mohou se vzájemně přibližovat a vzdalovat v závislosti na otáčkách motoru, čímž je dosaženo změny převodu. Jedná se tak o velmi jednoduchý, spolehlivý a efektivní systém zajišťující udržování optimálního převodu v daných otáčkách, což vede k vysoké efektivitě přenosu výkonu motoru na kola a tím k nízké spotřebě paliva. Negativní vlastností převodovek s plynulou změnou převodu může v některých případech být vysoká míra hluku z důvodu udržování vyšších otáček motoru než u jiných převodovek. Tento typ převodovek je používán především asijskými výrobci jako jsou Honda, Mitsubishi nebo Nissan, přičemž nejčastěji se označují zkratkou CVT (Continuously Variable Transmission) nebo názvem odvozeným, např. CVT-X (obr. 4). [1][2][3]

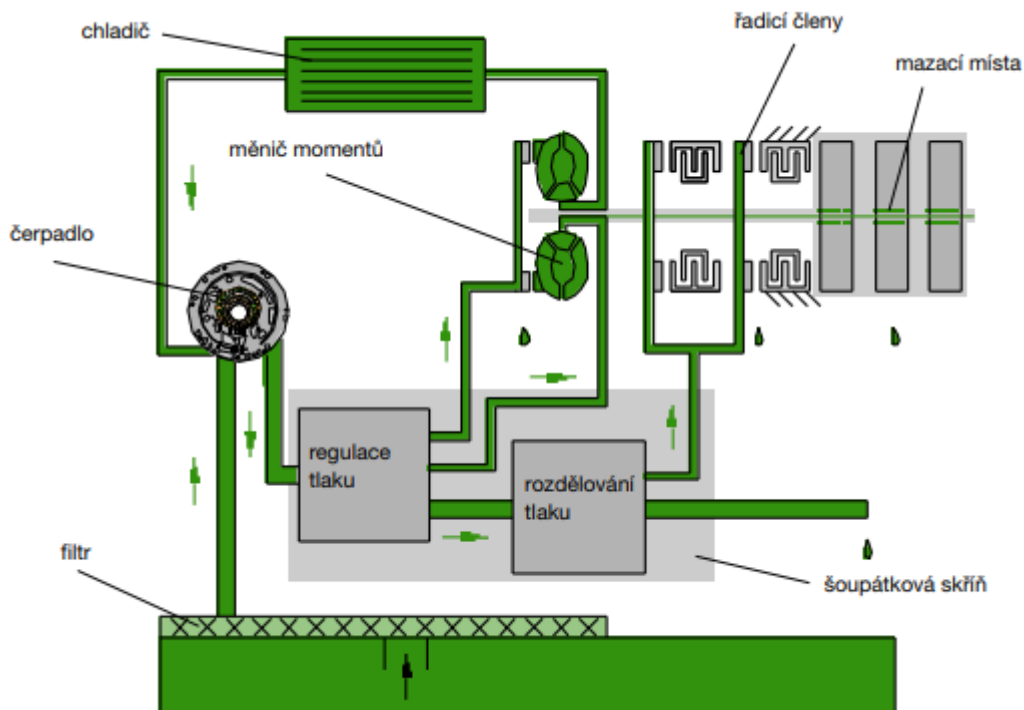


Obr. 4 Převodovka s plynulou změnou převodu Jetco CVT-X [8]

2 MAZACÍ SOUSTAVA

Stejně jako je zapotřebí mazání motoru, je nezbytné také mazání převodovky, aby bylo sníženo tření v pohybujiících se kontaktních místech jako jsou plochy ložisek nebo samotná ozubená soukolí. V souvislosti se sníženým třením dochází k menšímu opotřebení a poškozování pohybujiících se součástí. Na rozdíl od mazací soustavy motoru plní oběh maziva v převodovce navíc jednu velmi důležitou funkci, kterou je hydraulické ovládnání akčních členů za účelem zařazení správného rychlostního stupně.

Mazivo se v převodovce shromažďuje, podobně jako v motoru, v olejové vaně, která se nachází ve spodní části. Odsud je olej nasáván přes filtr pomocí čerpadla, viz *obr. 5*. Většinou se jedná o excentrické zubové čerpadlo, jehož vnitřní kolo je spojeno s pláštěm měniče točivého momentu, tudíž jsou jeho otáčky shodné s otáčkami motoru. Rotací vnitřního kola je otáčeno i vnější kolo čerpadla a v prostorech mezi zuby dochází ke stlačení kapaliny a následnému výtlaku do ventilové skříně, což je část převodovky skládající se z velkého množství nerovnoměrně tvarovaných kanálků pro vedení oleje. Ovládacím prvkem ventilové skříně jsou solenoidy, které fungují jako elektrohydraulické ventily a na základě informací z řídicí jednotky usměrňují tok oleje k jednotlivým součástem převodovky podle jejich funkce, což například znamená, že tlak pro mazání má jinou hodnotu než řídicí tlak. Kromě využití pro mazání a ovládnání řazení je olej veden také do měniče točivého momentu a následně do chladiče. [9][10][11]



Obr. 5 Okruh proudění převodového oleje [12]

2.1 PŘEVODOVÉ OLEJE

V závislosti na typu převodového ústrojí vozidla se rozlišují převodové oleje do manuálních nebo automatických převodovek, které se označují zkratkou ATF (Automatic Transmission

Fluid). Požadavky na převodový olej jsou velmi vysoké, protože musí plnit více různých funkcí. Zejména je potřebné zajistit správnou funkci hydrodynamického měniče točivého momentu, mazání primárně ložisek a ozubených soukolí a udržení správného tlaku v kanálcích ventilové skříně. Další důležitou funkcí je zajištění aktivace a deaktivace lamelových spojek a brzdících pásů vyrobených z pružných ocelových slitin a z vnitřní strany pokrytých třecím materiálem. Tyto součásti slouží k zablokování otáček centrálního nebo korunového kola v planetovém soukolí. Převodový olej chrání jednotlivé díly proti opotřebení i korozi a také se podílí na odvodu přebytečného tepla, k čemuž napomáhá chladič zapojený v olejovém okruhu. [13][14]

Jednou ze základních charakteristik převodového oleje je viskozita. Udává míru odporu molekul kapaliny vůči jejich vzájemnému pohybu. Obecně jsou rozlišovány dva druhy viskozity: dynamická a kinematická. Dynamická neboli absolutní viskozita se definuje jako schopnost tekutin odolávat proudění pod vlivem vnější síly. Oproti tomu kinematická viskozita představuje odpor tekutiny proti proudění pouze pod vlivem gravitace. Dynamická viskozita je konstantou úměrnosti pro výpočet smykového napětí v tekutině, na kterou je působeno vnější silou. Tuto závislost lze vyjádřit vztahem [16]

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dx}, \quad (1)$$

kde η je dynamická viskozita, v je rychlost toku a x souřadnice ve směru kolmém na tok, tudíž dv/dx je gradient rychlosti. Dynamickou viskozitu je tedy možné vyjádřit vztahem

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dx}}, \quad (2)$$

kteřý je platný pouze pro Newtonovské tekutiny, mezi které se řadí i převodový olej. Znamená to, že rychlost deformace těchto tekutin je přímo úměrná napětí. Kinematická viskozita je následně získána pomocí dynamické viskozity vztažené k hustotě tekutiny dle vztahu [16]

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (3)$$

kde ρ je hustota. Z důvodu této závislosti mohou mít dvě látky stejnou dynamickou, ale rozdílnou kinematickou viskozitu. [17]

Nežádoucím jevem může být skutečnost, že viskozita je obecně závislá na teplotě. U olejů platí, že s rostoucí teplotou klesá jejich viskozita. Měření kinematické viskozity probíhá nejčastěji pomocí kapilárních viskozimetrů, zatímco dynamická viskozita je měřena rotačními viskozimetry. Funkce kapilárních viskozimetrů spočívá ve sledování objemového průtoku oleje kapilárou o předepsaných rozměrech. Platí, že oleje s větší viskozitou protékají daným prostorem kapiláry pomaleji než oleje s menší viskozitou. U rotačních viskozimetrů je olej umístěn v nádobě a je do něj ponořeno těleso, které rotuje stálými otáčkami. Měří se točivý moment potřebný k rotaci tělesa a na základě vnitřního odporu oleje je stanovena viskozita. [15][16]

2.1.1 ROZDĚLENÍ DLE PŮVODU

Z hlediska původu existují tři hlavní skupiny olejů a to minerální, syntetické a polosyntetické.

O minerální oleje se jedná, pokud jsou vyrobeny z ropy. Základem pro výrobu takového oleje je základový olej, který je směsí uhlovodíků získaných rafinací ropy. Pomocí chemických procesů se odstraňují nežádoucí látky jako např. síra. Filtrováním jsou ze směsi odstraněny nečistoty vznikající při teplotním zpracování. Přidáním aditiv následně vzniká olej použitelný pro mazání motoru. Benefit minerálních olejů spočívá v jejich nízké ceně, což je důsledkem jednodušší výroby.

Syntetické oleje se vyrábí z chemických sloučenin, které mají podobné vlastnosti jako maziva z ropy. Jde o syntézu více různých látek vhodných pro dané použití, tudíž vykazují celkově lepší vlastnosti než minerální oleje. Jedním z důvodů je, že u syntetických olejů mají molekuly na rozdíl od olejů minerálních velmi podobný tvar a hmotnost, což přispívá ke snížení tření mezi nimi. Jednou z hlavních výhod syntetických olejů oproti minerálním je jejich snazší proudění i za nízkých teplot. Naopak při vysokých teplotách odolávají změnám viskozity. Další výhodou je zvýšená doba mezi výměnami oleje. Hlavní nevýhodou syntetických olejů je výrazně vyšší cena.

Speciální skupinou jsou polosyntetické oleje, které vznikají přimícháním syntetického oleje k minerálnímu, čímž se zlepší některé z jeho vlastností a zároveň zůstane cenově výhodnější než ryze syntetický olej. [18][19][20]

Aditiva, která se přidávají do převodového oleje lze rozdělit na chemicky aktivní a neaktivní. Chemicky neaktivní neboli inertní aditiva zlepšují fyzikální vlastnosti oleje. Cílem použití těchto přídatných látek bývá získání vhodnější viskozity, snížení teploty bodu tuhnutí či zabránění pění oleje. Chemicky aktivní aditiva jsou schopná reagovat s kovovými součástmi a vytvářet tak ochranné vrstvy. Patří zde například disperzanty, díky kterým se olej lépe rozptýlí a zároveň je bráněno jeho usazování. Dalším podstatným aditivem jsou detergenty, jejichž úkolem je udržovat olej co možná nejčistější. Přidávané látky maziva fungují často také jako ochrana proti korozi či nežádoucí oxidaci. Dále je účelem některých aditiv snižovat bod tuhnutí, aby v nízkých teplotách nedocházelo ke vzniku drobných částic a tudíž k nekonzistentnosti maziva. Naopak ochranu ve vysokých teplotách zprostředkovávají aditiva proti stárnutí oleje, které degradují oxidační činidla a zamezují tak vzniku nežádoucích chemických sloučenin zkracujících životnost oleje. Z důvodu kontaktu oleje se součástmi jako jsou například těsnění, jsou přidávána aditiva bránící chemické degradaci elastomerů, které jsou obsaženy v gumových či umělohmotných součástech a zajišťují jejich elasticitu. Některá aditiva se používají také k potlačení pěnivosti oleje. Tento jev má negativní vliv na vlastnosti oleje, protože při tvorbě pěny dochází k míchání oleje se vzduchem, čímž se urychluje oxidace, tudíž i stárnutí, Také může růst stlačitelnost oleje, což je potenciální problém zejména pro hydraulickou funkci oleje. [21][22]

2.1.2 ROZDĚLENÍ DLE KVALITY

Dle kvality se oleje rozdělují do pěti skupin. První skupinou jsou nejméně kvalitní oleje vyrobené frakční destilací ropy a extrakcí rozpouštědlem za účelem zlepšení některých vlastností. Skupiny II a III jsou od první rozdílné tím, že zde bylo použito hydrokrakování, čímž se dosahuje vyšší kvality, přičemž třetí skupina má oproti druhé ještě lepší koeficienty viskozity. Skupina IV zahrnuje syntetické polyalfaolefiny (PAO). Do skupiny V se řadí

všechny oleje, které nejsou zahrnuty v žádné z předchozích skupin. Jedná se například o polyolestery (POE) nebo polypropylenglykoly (PAG). [18]

2.1.3 ROZDĚLENÍ DLE VIZKOZITY

Dalším ze způsobů klasifikace převodových olejů je dělení na základě jejich viskozity dle Society of Automotive Engineers (SAE), viz *tab. 1*. Tato organizace sdružuje technické odborníky v oblasti automobilového průmyslu a kosmonautiky. Jejimi hlavními činnostmi jsou vzdělávání a tvorba norem na základě globálního konsensu. Rozlišují se třídy viskozity od SAE 65 až po SAE 250, přičemž čím je číslo vyšší, tím je olej viskóznější. Pro vícerozsahové oleje se používají dvě čísla a písmeno „W“, např. 80W–90. Tyto oleje mají v chladných podmínkách viskozitu odpovídající číslu před písmenem „W“ a v teplém prostředí je viskozita určena číslem za pomlčkou.

Tab. 1 Viskozitní třídy převodových olejů

Viskozitní třída SAE	Maximální teplota pro viskozitu 150 Pa.s (°C)	Kinematická viskozita při 100°C	
		min. (mm ² /s)	max. (mm ² /s)
70W	-55	4,1	-
75W	-40	4,1	-
80W	-26	7	-
85W	-12	11	-
80	-	7	< 11
85	-	11	< 13,5
90	-	13,5	< 24
140	-	24	< 41
250	-	41	-

2.1.4 ROZDĚLENÍ DLE VÝKONNOSTI

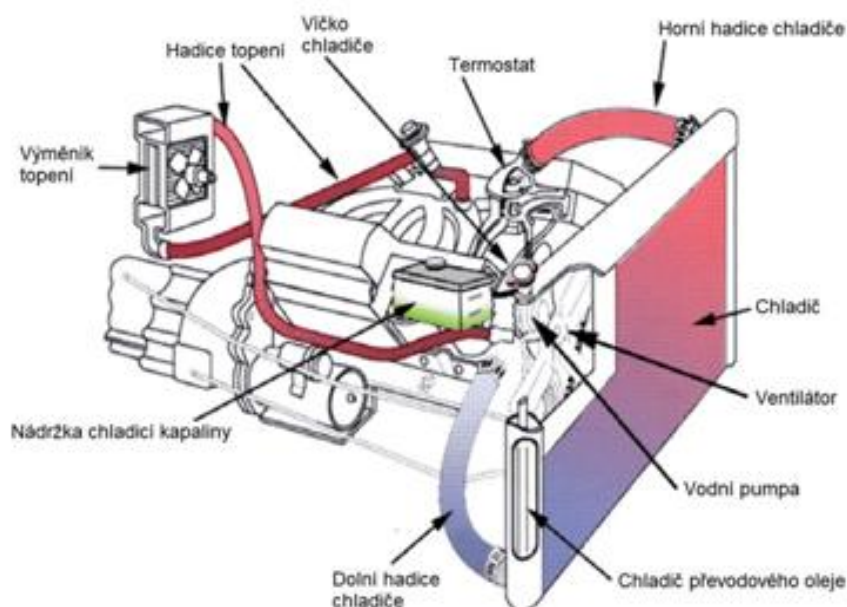
Výkonnostní specifikace se udává nejčastěji dle API (American Petroleum Institute) s označením zkratkou GL (Gear Lubricant) v kombinaci s číslem příslušné výkonnostní skupiny. Třídy GL-1, GL-2 a GL-3 obsahují nedostatečné množství aditiv a jsou již zastaralé, tudíž se v moderních převodovkách nevyskytují. Skupiny GL-4 a GL-5 obsahují více aditiv a jsou vhodné i pro vysoce zatížené převody, přičemž pro hypoidní převody s velkým přesazením os jsou vhodnější oleje třídy GL-5. V případě ještě většího přesazení a zátěže je možné použít olej s označením GL-6, avšak takový typ konstrukce již není příliš využíván, čímž se vytrácí využití této třídy olejů u moderních vozidel. Poslední skupina má specifické označení MT-1 a využívá se pro nesynchronizované manuální převodovky provozované pod vysokým zatížením. Vyznačuje se odolností proti vysokým tlakům a má zvýšenou teplotní stabilitu. [23][24][25]

Klasifikace dle SAE a API poskytují základní přehled o vlastnostech daného oleje, avšak konkrétní parametry oleje jsou dány až výrobcem. Pro vozidla s automatickou převodovkou

jsou hlavními výrobci firmy General Motors a Ford, jejichž specifikace GM DEXRON a Ford MERCON se stali standardem i pro mnohé jiné výrobce. Jedny z nejmodernějších olejů pro automatické převodovky jsou DEXRON ULV, respektive ekvivalentní MERCON ULV, přičemž zkratka ULV (Ultra Low Viscosity) v názvu značí velmi nízkou viskozitu oleje. Tento olej se nachází mimo jiné také v desetistupňové automatické převodovce Ford 10R80. [23][26]

3 CHLADICÍ SOUSTAVA

Dle způsobu přenosu tepla z motoru se rozdělují chladicí systémy na vzduchové a kapalinové. U moderních automobilů jednoznačně dominuje kapalinové chlazení s nuceným oběhem pomocí čerpadla. Při tomto typu chlazení dochází k cirkulaci chladicí kapaliny mezi motorem, chladičem a výměníkem topení, přičemž součástí tohoto okruhu může být i chladič převodového oleje, viz *obr. 6*. [27][28][29]



Obr. 6 Chladicí soustava vozidla [27]

Za účelem redukce teploty převodového oleje se běžně používají dva druhy zařízení, kterými jsou chladiče typu olej-vzduch nebo tepelné výměníky olej-voda.

3.1 CHLADIČE OLEJ-VZDUCH

Chladiče olej-vzduch (*obr. 7*) fungují velmi podobně jako standardní chladiče chladicí kapaliny proudící z motoru. Olej je z převodovky dopravován pomocí čerpadla do chladiče umístěného často před chladičem chladicí kapaliny nebo na podobném místě, které je co možná nejvíce vystaveno proudění okolního vzduchu. Tímto prouděním je urychlován přenos tepla mezi konstrukcí olejového chladiče a chlazeným olejem. Jedná se o poměrně levné řešení s jednoduchým principem funkce. Výhodou těchto chladičů je také vysoký teplotní rozdíl mezi olejem a okolním vzduchem, což hraje významnou roli v efektivitě přenosu tepla. Mezi negativní vlastnosti chladičů olej-vzduch patří závislost na proudění vzduchu a taktéž možnost výskytu nadměrného chlazení oleje ve specifických podmínkách jako je například dlouhá jízda z kopce, která představuje velký nápor proudícího vzduchu, avšak při velmi nízkém zatížení převodového ústrojí. Z tohoto důvodu a také kvůli rychlejšímu zahřátí oleje na provozní teplotu při studeném startu je vhodné zapojit do chladicího okruhu termostat. [30][31]



Obr. 7 Chladič převodového oleje typu olej-vzduch [31]

3.2 CHLADIČE OLEJ-VODA

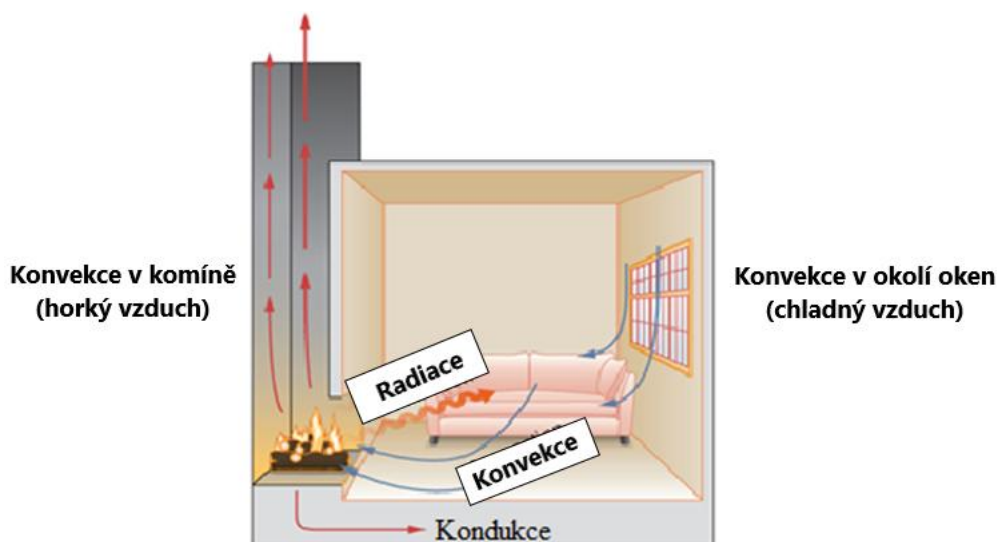
Druhý způsob chlazení převodového oleje je pomocí tepelného výměníku olej-voda (obr. 8). Přenos tepla zde probíhá mezi olejem chladicí kapalinou skrze stěny kanálů výměníku, kterými obě kapaliny odděleně proudí. Takový výměník může být umístěn bezprostředně u chladiče chladicí kapaliny, viz obr. 6, nebo na podobném místě v přední části vozidla. Je však možné jej připevnit přímo do oblasti kolem převodovky, což je umožněno, protože tento typ chladiče není nutné vystavovat velkému proudu vzduchu jako je tomu u chladiče olej-vzduch. Další výhodou chladiče olej-voda je, že z principu jeho fungování olej je buďto chlazen nebo vyhříván automaticky dle aktuální potřeby, respektive jeho teploty. Na rozdíl od předchozího typu chladiče tedy není vyžadováno použití přídavného termostatu. Nevýhodou může představovat menší teplotní spád mezi oběma kapalinami než mezi olejem a vzduchem. Z hlediska konstrukce spočívá riziko v úniku chladicí kapaliny do oleje či naopak, což by mohlo způsobit značné snížení účinnosti jak chladicího, tak olejového systému nebo i jejich poškození. [30]



Obr. 8 Chladič převodového oleje typu olej-voda [32]

4 PŘENOS TEPLA

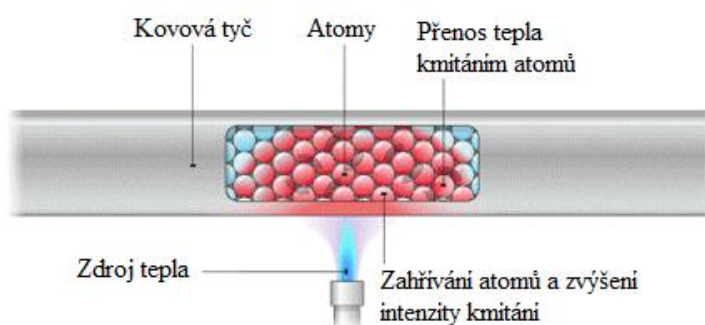
Díky teplotním rozdílům jakýchkoliv dvou entit mezi nimi dochází k výměně tepelné energie. Tento jev je označován jako přenos tepla a jeho snahou je vždy vyrovnání teplot obou médií. Je tedy zřejmé, že teplejší médium teplo odevzdává a chladnější přijímá. K tomuto přenosu dochází třemi hlavními způsoby, viz *obr. 9*. V pevných látkách je dominantní konduktce (vedení) tepla, kapaliny a plyny přenáší teplo zejména konvekcí (prouděním) a třetím způsobem je radiace, která má charakter elektromagnetických vln. [33][34][35]



Obr. 9 Způsoby přenosu tepla v místnosti [35]

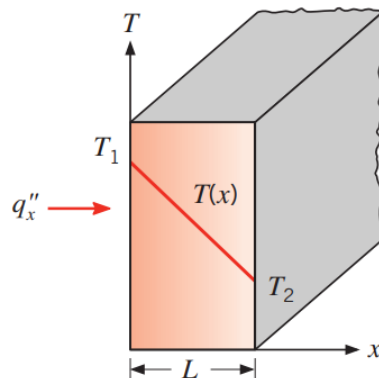
4.1 KONDUKCE

Mechanismus konduktce spočívá v pohybu částic. Částice teplejšího média v sobě mají uschovanou vyšší energii, kterou pomocí neustálého kmitavého pohybu předávají chladnější látce opakovanými srážkami s jejími částicemi, které jsou v dosahu. Na *obr. 10* je zobrazen přenos tepla kondukcí skrze kovovou tyč. Jednotlivé atomy se postupně zahřívají, zvyšuje se intenzita jejich kmitavého pohybu, tudíž i srážek s okolními atomy, čímž dochází k prostupu tepla materiálem. Tento princip přenosu tepla se vyskytuje i u kapalin a plynů, avšak částice v těchto médiích jsou zpravidla dále od sebe a konduktce zde nemá tak majoritní vliv jako v pevných látkách. [33]



Obr. 10 Mechanismus konduktce [36]

Příkladem jednodimenzionálního vedení tepla může být tepelná výměna mezi vnějším a vnitřním povrchem zdi skrze její tloušťku, což zobrazuje diagram na *obr. 11*.



Obr. 11 Přenos tepla kondukcí skrze zeď [33]

Tepelný tok touto stěnou ve směru x se vypočítá jako [33]:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}, \quad (4)$$

kde k je tepelná vodivost, dT/dx teplotní gradient.

Tepelná vodivost vychází z charakteristiky materiálu dané stěny. V případě ustáleného stavu, při kterém je průběh teploty lineární, viz *obr. 11*, lze vyjádřit teplotní gradient takto [33]:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}, \quad (5)$$

kde L je šířka stěny. Následně tedy platí

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (6)$$

a tudíž po úpravě

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L}. \quad (7)$$

4.2 KONVEKCE

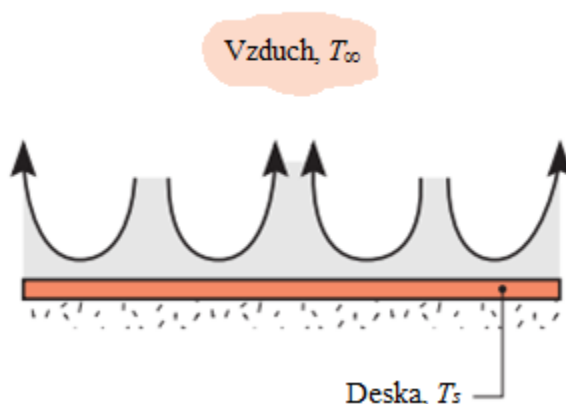
Hlavním mechanismem přenosu tepla konvekcí je souhrnný pohyb částic tekutiny, díky kterému dochází k výměně tepla mezi tekutinou a okolím. Menšinovou část distribuce energie zajišťuje neustálý kmitavý pohyb částic. Konvekce může být přirozená i nucená. V technické praxi lze nucené konvekce docílit například pomocí čerpadel nebo ventilátorů. Běžným případem přirozené konvekce je proudění tepla do místnosti od radiátoru topení. Vzduch v okolí teplého radiátoru se zahřívá a klesá jeho hustota, tudíž stoupá vzhůru místností a chladnější vzduch se přesouvá dolů, kde je mu předáno teplo z radiátoru, čímž dochází k neustálému proudění vzduchu místností v podobě souhrnného pohybu částic vzduchu. Tento princip nenucené konvekce lze analogicky popsat i na desce, která má vyšší teplotu než okolní

vzduch, viz *obr. 12* Má-li horní strana desky teplotu T_S a vzduch rozdílnou teplotu T_∞ , vzniká mezi těmito místy tepelná mezní vrstva. *Obr. 12* zobrazuje případ, kde $T_S > T_\infty$, tudíž dochází k proudění tepla od desky směrem do vzduchu, který následně stoupá vzhůru díky nižší hustotě v porovnání s chladným vzduchem.

Tepelný tok pro přenos tepla prouděním je přímo úměrný rozdílu teplot mezi stěnou a tekutinou a lze jej vypočítat dle Newtonova zákona chlazení definovaného vztahem [33]

$$q_x'' = h(T_S - T_\infty), \quad (8)$$

kde h je součinitel přestupu tepla závislý na podmínkách v mezní vrstvě, které ovlivňuje například geometrie povrchu či termodynamické vlastnosti tekutiny. [33]



Obr. 12 Přenos tepla konvekcí mezi horkou deskou a vzduchem [33]

4.3 RADIACE

Radiací vyzařují teplo všechny entity o teplotě vyšší než absolutní nula, přičemž se jedná o uvolňování tepla všemi směry a šíření fotonů elektromagnetických vln rychlostí světla. Zdrojem může být tedy pevná látka, kapalina i plyn, avšak samotný přenos tepla je realizován ve formě elektromagnetických vln vyřazovaných díky tepelné energii ukryté v daném tělese či látce. Pro existenci přenosu tepla radiací tedy není nutný výskyt média v podobě pevné látky či tekutiny, nýbrž je postačující i vakuum. Tepelná radiace probíhá při vlnových délkách 0,1 až 100 μm , což zahrnuje kompletní viditelné a infračervené spektrum a také část ultrafialového [37]. Intenzita přenosu tepla radiací je definována Stefan-Boltzmannovým zákonem [33]:

$$E_b = \sigma T_{S,a}^4, \quad (9)$$

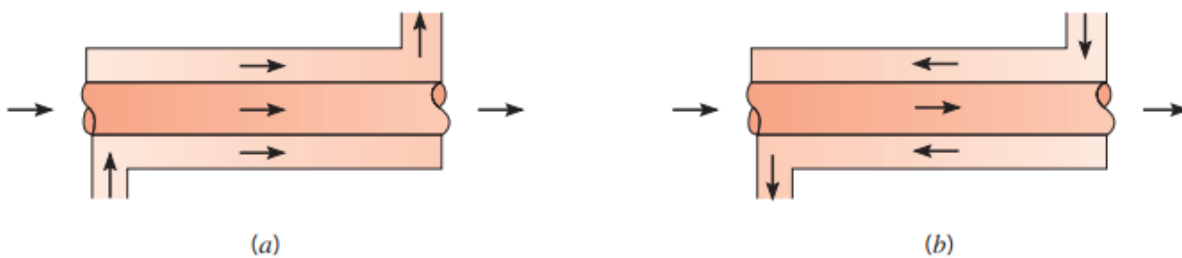
kde σ je Stefan-Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) a $T_{S,a}$ je absolutní teplota povrchu. Rovnice (6) platí pro černé těleso, které představuje entitu dokonale vyřazující, respektive dokonale pohlcující veškeré elektromagnetické záření, které na něj dopadá. Reálná tělesa mají při stejné teplotě vždy nižší intenzitu vyzařování a platí pro ně vztah [33]

$$E = \varepsilon \sigma T_{S,a}^4, \quad (10)$$

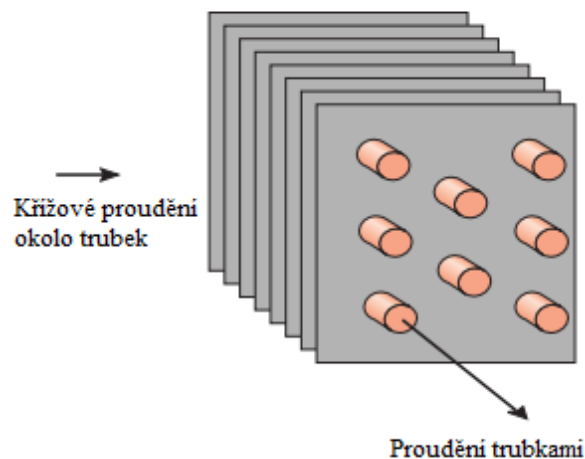
kde ε je vlastnost povrchu zvaná emisivita. Nabývá hodnot od 0 do 1 a představuje, jak dobře daný povrch dokáže produkovat či pohlcovat záření v porovnání s černým tělesem. Tato veličina je závislá zejména na materiálu a opracování povrchu. [33]

4.4 DRUHY TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ

Tepelný výměník je zařízení sloužící k přenosu tepla mezi tekutinami. V závislosti na směru proudění obou médií se rozlišují tři hlavní druhy výměníků. Nejjednodušším z nich je souproudý výměník (*obr. 13a*), do kterého vstupují obě tekutiny stejným koncem, proudí skrze výměník stejným směrem a vystupují na opačném konci. Druhým typem je protiproudý výměník (*obr. 13b*), do kterého vstupuje chladná tekutina opačným koncem než teplá a dochází k proudění navzájem opačnými směry. Tento způsob je efektivnější než souproudá konstrukce a také je méně náchylný na poškození v místě vstupu do výměníku, protože zde vznikají menší teplotní rozdíly. Třetí variantou je tzv. křížové proudění tekutin (*obr. 14*), což znamená kolmo vůči sobě, případně pod jiným než pravým úhlem. [33]



Obr. 13 Tepelný výměník a) souproudý, (b) protiproudý [33]

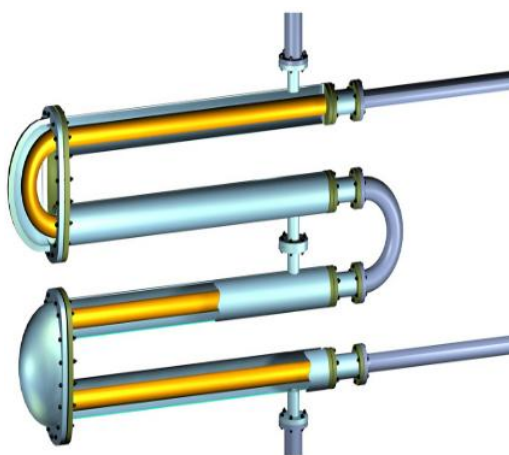


Obr. 14 Tepelný výměník s křížovým prouděním [33][33]

Dle konstrukce se rozlišují tři základní typy tepelných výměníků: trubkový, plášťový a deskový. U všech třech typů nedochází k míšení obou médií. Přenos tepla probíhá prostřednictvím materiálu, ze kterého jsou vyrobeny teplosměnné plochy výměníku. [33][38]

4.4.1 TRUBKOVÝ

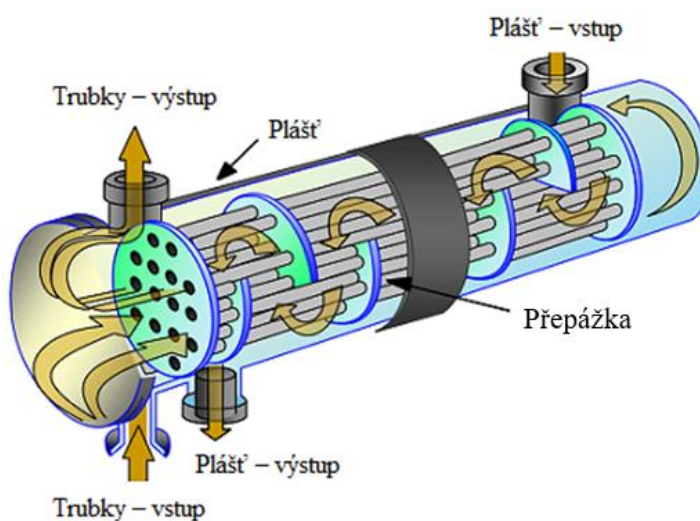
Trubkový výměník je zjednodušené označení pro výměník s uspořádáním tzv. trubka v trubce. Jedná se tedy o dvě sousední trubky, z nichž jedna má menší průměr a proudí v ní jedna z tekutin, zatímco druhá trubka je většího průměru a druhá tekutina proudí v oblasti uvnitř této trubky, ale vně užíší trubky. V prostoru mezi trubkami jsou v některých případech žebra, která slouží jako zpevnění konstrukce a zabránění deformace trubek a také přispívají k přenosu tepla mezi trubkami. Běžně se používá více trubkových výměníků spojených za sebou (*obr. 15*), čímž dochází k více průchodům obou tekutin a tudíž i k většímu přenosu tepla mezi nimi, přičemž více je používán protiproudé uspořádání z důvodu vyšší účinnosti. Tyto výměníky jsou principiálně i konstrukčně jednoduché a relativně levné, avšak nedosahují takové efektivity přenosu tepla jako zbylé dva typy výměníků. [39][40]



Obr. 15 Trubkový výměník s vícenásobným průchodem tekutin [41]

4.4.2 PLÁŠŤOVÝ

Druhým typem tepelného výměníku je plášťový výměník. Stejně jako v prvním případě jde o systém trubek, avšak s mírně komplikovanější konstrukcí. Středovou část tvoří soubor většího množství trubek s malým průměrem, kterými proudí jedna z tekutin. Tento soubor trubek je uzavřen ve větší nádobě, do které je přiváděná druhá tekutina a prostupuje okolo jednotlivých trubek, které jsou v několika místech navzájem spojeny přepážkami, viz *obr. 16*.

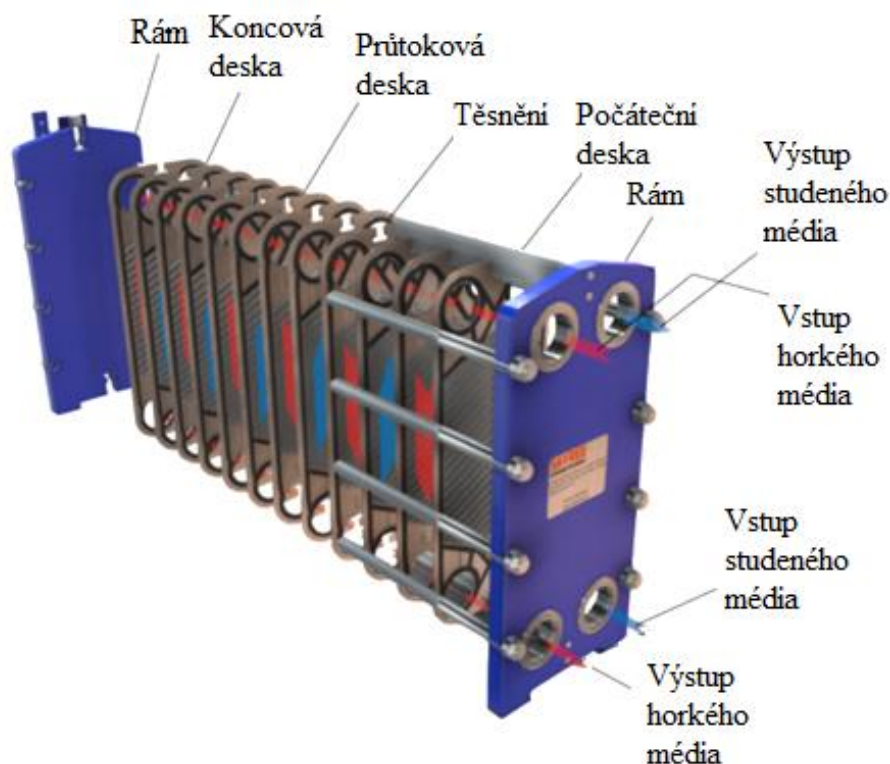


Obr. 16 Plášťový tepelný výměník [42]

Tyto přepážky zpevňují konstrukci výměníku a zároveň napomáhají ke vzniku turbulentního proudění v plášti, což vede ke zvýšení efektivity přenosu tepla. Proudění tekutin může být dle použití souproudé, protiproudé i křížové a také lze realizovat více průchodů trubkami. Plášťové výměníky jsou v porovnání s deskovými levnější, vhodnější pro vyšší tlaky a teploty a mají menší tlakové ztráty. Naopak nevýhodami jsou nižší efektivita a vyšší nároky na prostor. [39][43]

4.4.3 DESKOVÝ

Třetím hlavním typem jsou deskové tepelné výměníky. Jejich jádro tvoří navzájem spojené drážkované desky, mezi nimiž jsou ponechány velmi úzké mezery, kterými proudí tekutiny. Tyto desky jsou stlačeny k sobě pomocí okrajových rámců a mezi každou deskou jsou umístěna speciálně tvarovaná těsnění, která umožňují proudění v každé mezeře vždy jen jednomu médiu a v následující mezeře zase médiu druhému. Tímto způsobem je za sebou umístěno požadované množství desek a příslušných těsnění, viz *obr. 17*. Desky jsou drážkované za účelem vzniku turbulentního proudění a tím zvýšení intenzity přenosu tepla. Kromě toho slouží drážky též jako zpevnění desky a prevence usazování nečistot díky potlačení laminárního proudění. Deskové výměníky jsou proti plášťovým efektivnější, méně prostorově náročné a při srovnatelné velikosti mají nižší hmotnost, avšak jsou i nákladnější na zařízení. Výhodou je také možnost snadného rozebrání a případné výměny desek. U aplikací s vyššími tlaky může docházet k poškození těsnění. Proto jsou vyráběny i svařované či pájené deskové výměníky. [39][44]

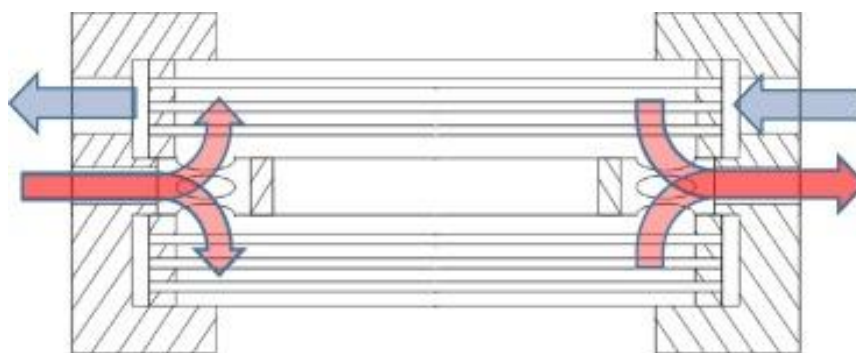


Obr. 17 Komponenty deskového tepelného výměníku [44]

4.5 VÝMĚNÍKY Z POLYMERŮ

Přestože standardním materiálem pro výrobu tepelných výměníků motorových vozidel jsou převážně hliník, měď či konstrukční ocel, lze využít i alternativní materiály jako například polymery. Oproti kovům disponují mnohými výhodami, z nichž těmi hlavními jsou, že nepodléhají korozi, mají nižší hmotnost a jsou odolnější proti znečištění díky hladšímu povrchu. Podstatnou vlastností polymerů je jejich jednodušší zpracování a tvarování než v případě kovů, z čehož vyplývají nižší náklady jak na výrobu, tak následně v kombinaci s nižší hmotností i na dopravu. Celkově je tedy použití polymerů pro výrobu tepelných výměníků méně energeticky náročné a tudíž i ekologičtější než v případě kovových materiálů.

Limitujícím faktorem polymerních vláken je jejich výrazně nižší tepelná vodivost oproti kovovým materiálům. Přesto lze i u tepelných výměníků z polymerních vláken dosáhnout výkonu srovnatelného s výměníky například z hliníkových slitin. Nízká tepelná vodivost vláken je zastoupena velkou teplosměnnou plochou vytvořenou pomocí dutých vláken o malých průměrech do 1,5 mm a tloušťce stěny přibližně 0,1 mm [45]. Tyto tepelné výměníky se označují zkratkou PHFHE (Polymeric Hollow Fiber Heat Exchangers). Specifickou skupinou jsou PHFHE s navíjenými vlákny. Skládají se z vnitřní vložky z dutých polymerních vláken, z pláště uvnitř kterého je tato vložka uzavřena a z přírub. Princip funkce spočívá v proudění jedné kapaliny skrze vlákna ve vložce výměníku a druhé kapaliny v opačném směru uvnitř pláště, tedy kolem vnitřních vláken, viz *obr. 18*. [39][46][47]



Obr. 18 Schéma principu funkce plášťového PHFHE [45]

4.6 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ

Polymer je makromolekula skládající se z mnoha opakujících se podjednotek. Převažující složkou bývají atomy vodíku a uhlíku sestavené do dlouhých řetězců. Polymery se vyznačují velkou houževnatostí a viskoelastickými vlastnostmi. Přírodně vyskytující se polymery mohou být nalezeny ve formě dřeva, kaučuku či bavlny. Velké využití v průmyslu však mají zejména syntetické polymery jako například teflon, polypropylen nebo polyvinylidenfluorid.

4.6.1 POLYMERY TEKUTÝCH KRYSTALŮ

Polymery tekutých krystalů (Liquid Crystal Polymers – LCP) mají specifickou strukturu s dlouhými tuhými tyčovými molekulami, z čehož plynou jejich mimořádné vlastnosti. Jsou velmi stabilní a chemicky odolné, mají vysokou tuhost a tepelnou odolnost i při malé tloušťce stěny. Oproti jiným termoplastům je výroba těchto polymerů ekonomicky náročnější. Využívají se mimo jiné pro výrobu kabelů, jako výztuha pneumatik, kryty proudových

motorů, třecí členy brzd a převodovek nebo též jako těsnění. Pro použití ve výměnících tepla jsou vhodné také z důvodu nízkého součinitele teplotní roztažnosti. [49]

4.6.2 POLYPROPYLEN A POLYETHYLEN

Polypropylen (PP) řadí se do skupiny termoplastů je velmi chemicky, mechanicky i tepelně odolný materiál. Jedná se o druhý nejpoužívanější polymer, který je odolný vůči praskání, kyselinám a organickým rozpouštědlům a je také rigidnější. V automobilovém průmyslu se využívá mimo jiné na výrobu nárazníků, přístrojových desek, částí dveří či izolaci kabeláže. [50][51]

Polyethylen (PE) je také termoplast skládající se z dlouhých uhlovodíkových řetězců a obecně nejpoužívanější polymer. Nevýhodou mohou být jeho nižší maximální operační teploty mezi 115 °C a 130 °C. Naopak lépe obstojí při nízkých teplotách, oproti polypropylenu pevnější a používá se často i jako elektrický izolátor. [52]

Polypropylen a polyethylen jsou v mnohém podobné materiály. Oba jsou velmi tvárné a mají vysokou odolnost proti nárazu. Jsou vyráběny tak, aby byly lehké a zároveň odolné. Polypropylen lze vyrobít opticky transparentní, zatímco polyethylenové materiály průsvitné nejsou. [51]

4.6.3 POLYAMIDY

Polyamid (PA) se taktéž řadí do kategorie termoplastů. Vyznačuje se krystalickou strukturou a opakujícími se amidovými vazbami v řetězci. Je velmi tepelně i chemicky odolný a také pevný, obzvláště pokud je dodatečně zpevněný pomocí skelných vláken. Podstatnými vlastnostmi jsou také vysoká odolnost proti otěru, nízký součinitel tření a dobrá tlumicí schopnost. V technické praxi se polyamid používá v automobilovém průmyslu (vzduchové potrubí, kryty motoru, stěrače atd.), elektronickém průmyslu (opláštění kabelů, vypínače, zásuvky atd.) a napříč mnoha dalšími odvětvími.

Nejvýznamnějšími amidovými polymery jsou alifatické polyaminy (nylony), které jsou velmi univerzální ať už jako vlákna nebo jako plasty. Jako vlákno jsou využívány pro výrobu pneumatik, bezpečnostních pásů, lan, ale také v textilním průmyslu. Jako technický plast se uplatňují pro výrobu ložisek, kladek, ozubených kol či větráků. Mezi významné zástupce nylonů patří Nylon 6.6 a Nylon 6. Jejich přednosti jsou především vysoká pevnost v tahu, pružnost, houževnatost a značná rezistence proti tečení. Vysoká odolnost proti opotřebení je podmíněna nízkým koeficientem tření. Jsou odolné vůči olejům, zásadám a rozpouštědlům, avšak citlivé na vlhkost, díky níž se významně snižuje například pevnost ve srovnání se suchým polyamidem. Lepší odolnost proti vlhkosti má například Nylon 6.12, ale jeho mechanické vlastnosti jsou naopak horší.

Další skupinou polyamidů jsou aromatické polyamidy (aramidy). Oproti nylonu mají vyšší odolnost vůči rozpouštědlům a vysokým teplotám. Jsou ale dražší a jejich výroba je složitější. Třetí skupina polyamidů jsou semi-aromatické polyamidy neboli polyftalamidy. Představují přechod mezi alifatickými a aromatickými polyamidy, čemuž odpovídají jejich vlastnosti. [53][54]

5 NÁVRH A ZHOTOVENÍ CHLADIČE

Olejový chladiče z polymerních dutých vláken byl navržen na základě parametrů chladiče převodového oleje používaného v automobilu Ford F-150, který se řadí do kategorie lehkých nákladních vozidel a dlouhodobě patří k nejprodávanějším automobilům na světě. Jedná se o vozidlo s karoserií typu pick-up, což znamená, že se skládá z kabiny pro posádku, na kterou navazuje zpravidla otevřený nákladový prostor. Ford F-150 disponuje širokým rozsahem motorizací a rozložení kabiny a nákladového prostoru, avšak téměř ve všech modelech vyrobených v roce 2018 a později se vyskytuje chladič převodového oleje v podobě tepelného výměníku voda – olej. V *tab. 1* jsou uvedeny základní rozměrové a hmotnostní parametry vozidla Ford F-150 5,0 L Ti-VCT V8 s pohonem kol 4x4 a karoserií SuperCab 8,0 ft.

Tab. 2 Rozměrové a hmotnostní parametry vozidla Ford F-150

Délka [mm]	6358
Šířka [mm]	2431
Výška [mm]	1958
Objem nákladového prostoru [l]	2192
Pohotovostní hmotnost [kg]	2241
Užitečná hmotnost [kg]	1254
Maximální hmotnost přívěsu [kg]	4717

Vybraná pohonná jednotka 5,0 L Ti-VCT V8 je osmiválcový motor s přirozeným sáním a uspořádáním do V pod úhlem 90°, jehož výkon dosahuje 298 kW při 6000 otáčkách za minutu a maximální točivý moment se rovná 556 Nm v 4250 otáčkách za minutu. Jedná se o mírně nadčtvercový motor s vrtáním 92,96 milimetrů, zdvihem 92,71 milimetrů a kompresním poměrem 12:1. Vstřikování benzínu je kombinované, tedy jak do sacího potrubí, tak přímo do spalovacího prostoru. Otevírání a zavírání ventilů řídí systém variabilního časování Ti-VCT (Twin independent Variable Camshaft Timing), čímž jsou navýšeny výkonové parametry vozidla a také se optimalizuje spotřeba paliva. [55]

Přenos sil od motoru na kola je realizován pomocí desetistupňové automatické převodovky Ford 10R80, která přinesla oproti předešlé 6R80 zvýšení efektivity a plynulejší jízdu, přičemž rozměrově jsou obě převodovky srovnatelné, přestože je mezi nimi rozdíl čtyř rychlostních stupňů. I s deseti rychlostními stupni má převodovka hmotnost přibližně jen 105 kilogramů zejména díky hliníkové konstrukci skříně. Převodové poměry jsou navrženy od 4,696 pro první stupeň po 0,636 pro desátý stupeň, přičemž díky velkému počtu převodových stupňů jsou přechody mezi nimi rychlé a plynulé a pokles otáček při řazení je pouze asi 20 %. S těmito parametry jde o převodovku blízkou se fungování převodovek se spojitě proměnlivým převodem CVT (Constant Variable Transmission). Hlavní část celého systému se skládá ze čtyř planetových soukolí ovládaných šesti spojkami a dvou hydraulických čerpadel, z nichž jedno je řízeno elektronicky a umožňuje aplikaci systému start-stop. [56][57]

5.1 CHLADIČ PŘEVODOVÉHO OLEJE VOZIDLA FORD F-150

Ford používá pro chlazení převodového oleje v modelu F-150 deskový tepelný výměník, viz *obr. 19*, který je umístěn pod převodovkou v těsné blízkosti olejové vany. Jedná se o výměník s diagonálním křížovým prouděním, přičemž jak chladicí kapalina, tak olej mají shodně devět průchodů výměníkem. Jako předloha pro návrh chladiče z polymerních dutých vláken byla zvolena základní varianta s označením Baseline o délce 367 milimetrů a šířce 62 milimetrů. Pro vybranou variantu chladiče jsou výkonnostní parametry uvedeny v *tab. 3*.



Obr. 19 Deskový chladič převodového oleje vozidla Ford F-150 [58]

Jedním ze základních parametrů tepelného výměníku je samozřejmě výkon, respektive měrný chladicí výkon vztažený k rozdílu vstupních teplot obou médií. Důležité je však uvažovat též tlakové ztráty. V případě výskytu velkých tlakových ztrát vznikají větší požadavky na čerpadlo, které pohání kapalinu skrz chladič i navazující oběžný systém, tudíž toto čerpadlo spotřebovává více energie a může dojít i k překročení jeho výkonového limitu, kdy už nebude schopné zajistit dostatečný tlak v celé soustavě. Přibližně platí, že v případě turbulentního proudění je tlaková ztráta přímo úměrná druhé mocnině průtoku [59], což poměrně koresponduje i s hodnotami v *tab. 3*. Například tlaková ztráta chladicí kapalina narostla přibližně čtyřikrát po navýšení průtoku zhruba na dvojnásobek.

Tab. 3 Výkonnostní parametry chladiče převodového oleje vozidla Ford F-150

		Průtok [l/min]
Měrný chladicí výkon [kW/°C]	0,213	Olej – 10 Chladicí kapalina – 6
	0,245	Olej – 10 Chladicí kapalina – 13
Tlaková ztráta oleje [kPa]	13,8	1 (při teplotě 60 °C)
	60,0	5 (při teplotě 60 °C)
Tlaková ztráta chladicí kapaliny [kPa]	2,4	6 (při teplotě 80 °C)
	9,3	13 (při teplotě 80 °C)

5.2 NÁVRH TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU Z DUTÝCH VLÁKEN

Primárním rozměrem, ze kterého bylo při návrhu polymerního výměníku vycházeno, byla délka původního chladiče 367 milimetrů, což v případě vyráběného chladiče představuje délku aktivní oblasti. Na okrajích jsou navíc přidány příruby, díky nimž je celkový rozměr výměníku větší. Jelikož vlákna nejsou umístěna rovnoběžně s osou součástí, ale jsou při navíjení skloněna pod úhlem 20° , bylo nutné vypočítat délku jednoho vlákna navinutého po délce 367 milimetrů a skloněného pod tímto úhlem.

$$L_{uhel} = \frac{L_B}{\cos(\alpha)}, \quad (11)$$

kde L_B je délka teplosměnné plochy a α je úhel sklonu navíjených vláken. Základem pro další výpočet bylo stanovení teplotního rozdílu na vstupu oleje dle vztahu [60]

$$\Delta T_1 = T_{H_IN} - T_{C_OUT}, \quad (12)$$

kde T_{H_IN} je teplota oleje na vstupu do pláště a T_{C_OUT} teplota chladicí kapaliny na výstupu z trubek. Obdobný výpočet pro teplotní rozdíl byl proveden i na straně výstupu oleje podle vztahu [60]

$$\Delta T_2 = T_{H_OUT} - T_{C_IN}, \quad (13)$$

kde T_{H_OUT} je teplota oleje na výstupu z pláště a T_{C_IN} teplota chladicí kapaliny na vstupu do trubek. Jelikož teplotní rozdíly mezi oběma médii jsou po délce výměníku různé, nebylo možné uvažovat aritmetický průměr teplotních rozdílů (MTD – Mean Temperature Difference), který by se mohl od skutečnosti výrazně lišit. Bylo zapotřebí použít logaritmický průměr teplotních rozdílů (LMTD – Logarithmic Mean Temperature Difference) určený vztahem [60]

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}. \quad (14)$$

S rostoucí hodnotou LMTD narůstá i tepelný tok. [59] Ten lze stanovit za pomoci rozdílu teplot oleje na vstupu a výstupu dle vztahu [60]

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{H_IN} - T_{H_OUT}), \quad (15)$$

kde m je hmotnostní tok a c_p měrná tepelná kapacita. Avšak tepelný tok lze vypočítat také s využitím LMTD a vztahu [60]

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD, \quad (16)$$

kde U je součinitel přestupu tepla a A je obsah celková teplosměnná plocha, která lze následně vyjádřit jako

$$A = \frac{Q}{U \cdot LMTD}. \quad (17)$$

Z geometrického pohledu se jedná o součet obsahů obdélníků, které představují pláště válcových trubek rozvinuté do roviny. Tudíž lze obsah teplosměnné plochy určit také dle vztahu

$$A = \pi \cdot D \cdot L_{uhel} \cdot N, \quad (18)$$

kde D je vnější průměr jedné trubky uvnitř výměníku a N je celkový počet trubek ve výměníku, který lze následně vyjádřit vztahem

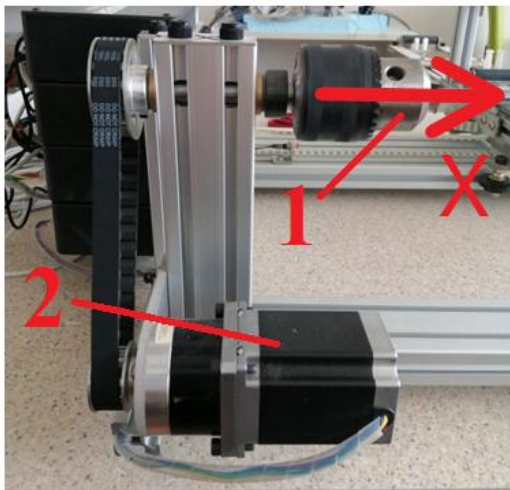
$$N = \frac{A}{\pi \cdot D \cdot L_{uhel}}. \quad (19)$$

5.3 X-WINDER

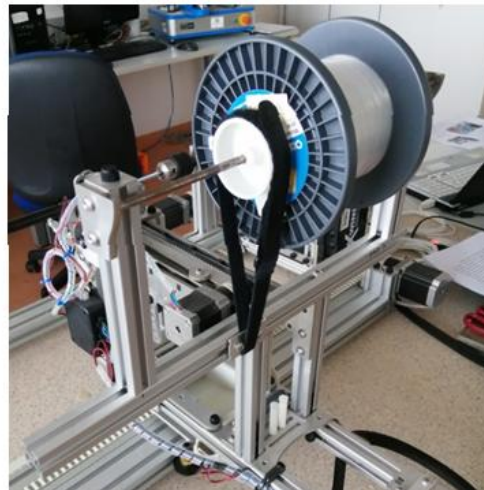
První stroje pro navíjení vláken byly vyvinuty již v 60. letech 20. Století. Sloužili zejména k výrobě trubek a tlakových nádrží, ale jednalo se o velmi drahá a rozměrná zařízení. Přibližně v 80. letech začalo i do tohoto odvětví pronikat počítačové řízení, až vznikly první CNC (Computer Numerical Control) navíjecí stroje. Postupným vývojem byl v roce 2011 zhotoven X-Winder, což je malý stolní stroj sloužící primárně k výrobě tlakových nádob, avšak v Laboratoři přenosu tepla a proudění, která je součástí FSI VUT, byl modifikován za účelem výroby plášťových výměníků. Jde o technologii částečně podobnou 3D tisku, jelikož principem je také kladení filamentu vrstvu po vrstvě, v tomto případě tedy navíjení na rotující trn.

X-Windery se vyrábí ve dvouosém a čtyřosém provedení. Dvěma základními pohyby jsou rotace trnu, na který jsou vlákna navíjena a horizontální lineární pohyb podávací hlavy podél trnu. Kooperací těchto dvou pohybů dochází k postupnému navíjení vrstev vlákna na trn. Čtyřosý stroj je navíc schopný rotovat podávací hlavou a vykonávat její lineární pohyb ve směru kolmém na trn, což zpřesňuje navíjení a umožňuje plynule oddalovat podávací hlavu od trnu s rostoucím průměrem výrobku. Vláknem je navíjeno kontinuálně, což přispívá k jeho celkové tuhosti. [61][62][63]

Zařízení se skládá z více funkčních bloků. První blok obsahuje sklíčidlo a elektromotor zajišťující změnu směru a rychlosti rotace trnu kolem osy X (*obr. 20a*). Druhý blok zahrnuje držák pro špulku s navíjeným materiálem (*obr. 20b*), vaničku s lepidlem a nůž pro odstranění přebytečného lepidla (*obr. 21a*), podávací hlavu a dva elektromotory (*obr. 21b*), které řídí rotaci a lineární pohyb podávací hlavy v ose Y.



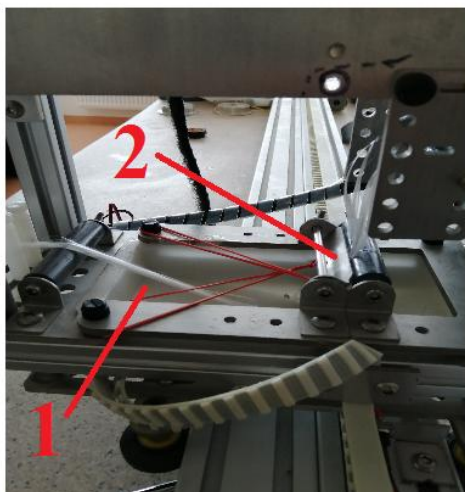
a)



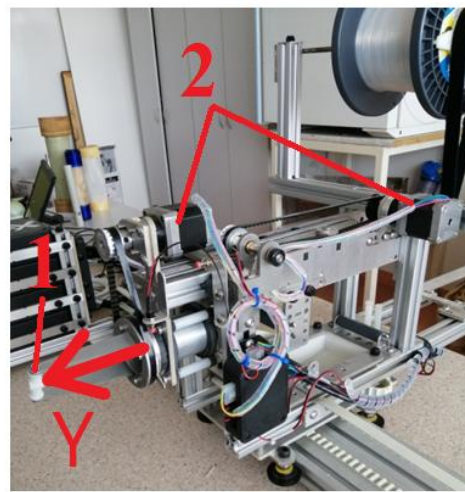
b)

Obr. 20 a) Sklíčidlo (1) a elektromotor pro rotaci kolem osy X (2)

b) Držák pro špulku s navíjeným materiálem



a)



b)

Obr. 21 a) Vanička s lepidlem (1) a nůž pro odstranění přebytečného lepidla (2)

b) Podávací hlava (1) a dva elektromotory řídící lineární pohyb a rotaci podávací hlavy kolem osy Y (2)

Další blok má na starost pohyb jednotky s navíjeným materiálem a podávací hlavou ve směru osy X. Všechny pohyby generované elektromotory jsou realizovány řemenovým pohonem. Podstatnou součástí zařízení tvoří také koncové senzory řídicího systému.

Softwarovou podporu tohoto stroje je program X-Winder Designer, který slouží k nastavení geometrie součásti, rychlosti navíjení, počtu navíjených vrstev a tloušťky i šířky navíjeného materiálu a v neposlední řadě lze zadat také způsob navíjení konců výrobku. Všechny tyto

informace jsou následně zahrnuty ve vygenerovaném G-kódu. Přestože je tento program velmi nápomocný při výrobě tlakových nádob, pro výrobu tepelných výměníků není až tak vhodný. Z tohoto důvodu je pro navíjení tepelného výměníku výhodnější sestavit vlastní G-kód, který lze dále manuálně editovat a řídit tak všechny pohyby stroje. Tento program je následně nahrán do softwaru X-Winder Executer, pomocí kterého je i realizován.

G-kód představuje způsob programování CNC strojů, mezi které se řadí zejména obráběcí centra nebo vodní a laserové řezačky, avšak patří zde i X-Winder. Program řídicí CNC stroj se skládá z dílčích řádků neboli bloků obsahujících všechny informace o geometrii a průběhu daného výrobního procesu. Jednotlivé příkazy jsou zadány postupně na řádku a mají vždy formát složený z písmene a k němu příslušného čísla. Dominantní zastoupení ve většině programů mají příkazy s písmeny G a M. G funkce jsou přípravné představují nejčastěji všechny druhy pohybu a operace související s geometrií. Příkazy začínající písmenem M jsou funkce pomocné a slouží například k aktivaci či deaktivaci motorů nebo k pozastavení programu. Ostatní písmena jako jsou například X, Y, Z nebo A, B, C označují osy pro posuv, respektive rotaci a například písmena D, E, F nebo I, J, K slouží k vyjádření rychlostí nebo zrychlení jednotlivých pohybů. [64][65]

Na základě úrovně komunikace mezi zařízením a řídicí jednotkou se rozlišují CNC stroje s otevřeným či uzavřeným okruhem. Otevřený znamená, že signály vysílané z ovladače jsou pomocí motorů realizovány, ale správnost jejich provedení už není dále kontrolována a nevzniká tak zpětná vazba, tudíž není možné zjistit, zda nedošlo k odchylce například v důsledku nadměrného zatížení nebo zvýšené teploty. V případě systému s uzavřeným okruhem jsou monitorovány všechny pohyby stroje a následně jsou tyto informace posílány zpět do řídicí jednotky, která vyhodnotí odchylky od zadaného programu a případné nepřesnosti mohou být na základě těchto informací opraveny. Uzavřené systémy jsou náročnější na konstrukci a vyžadují více jednotlivých snímačů a dalších kontrolních zařízení, tudíž jsou i dražší, avšak poskytují větší přesnost a kontrolu nad celým systémem. [66]

CNC programování lze dále rozdělit dle způsobu zadávání rozměrů na absolutní a inkrementální. V absolutním programování jsou parametry zadávány vzhledem k jednomu konkrétnímu bodu, označovanému jako počátek nebo nulový bod, případně k jinému předem zadanému referenčnímu bodu. Inkrementální programování spočívá v zadávání vzdáleností vždy ve vztahu k předchozímu bodu. [67]

5.4 VLOŽKA VÝMĚNÍKU

Rozměry vložky výměníku vycházejí zejména z požadované délky teplosměnné plochy výměníku, která činí 367 milimetrů a z průměru použitého polymerního vlákna 1 milimetr. Jedná se o vlákno z polyamidu. Návrhovým výpočtem byl stanoven přibližný počet 600 vláken potřebný pro dosažení požadovaných parametrů výměníku, přičemž sklon vláken vůči ose závitové tyče byl nastaven na 20°, který byl volen na základě dosavadních poznatků ve vývoji tepelných výměníků z polymerních dutých vláken. Bylo zjištěno, že tepelný výměník s vlákny skloněnými o 22,5° vůči proudění média dosahuje o 12,5 % vyšší hodnoty součinitele přestupu tepla než výměník s vlákny rovnoběžnými s proudem tekutiny [68]. Toto navýšení lze zdůvodnit tím, že ve skloněných vláknech spíše vzniká turbulentní proudění namísto laminárního [45]. Vložka výměníku byla navíjena na 500 milimetrů dlouhou trubku o průměru 20 milimetrů, která byla vyrobena z karbonového vlákna (*obr. 22*), což je materiál vyznačující se velmi nízkou hmotností a vysokou pevností. V této trubce byly vyvrtány na obou koncích čtyři otvory o průměru 7 milimetrů ve vzdálenosti 70 milimetrů od konce

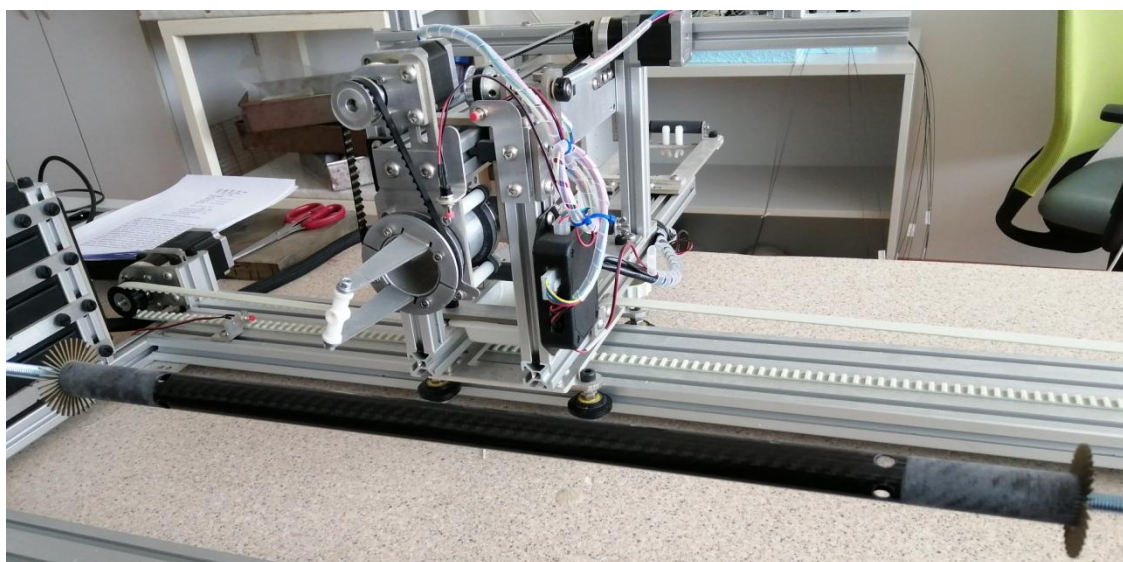
trubky. Příprava středové trubky zahrnovala také zarovnání jejích konců pomocí soustruhu a úpravu hran po vrtání děr.



Obr. 22 Karbonová trubka s připravenými otvory a zdrsňeným koncem

5.4.1 PROCES NAVÍJENÍ VLOŽKY VÝMĚNÍKU

Do sklíčidel zařízení X-Winder byla vložena a upevněna závitová tyč, na kterou byla uchycena karbonová trubka pomocí speciálních hvězdiček, viz (*obr. 23*), sloužících, mimo uchycení trubky, pro lepší vedení vlákna v koncových částech vložky výměníku a také zabránění jejich skluzu a uvolnění.



Obr. 23 Karbonová trubka upevněná na závitové tyči pomocí hvězdiček

Pro začátek navíjení bylo nutné upevnit do držáku X-Winderu špulku s voleným materiálem a vlákna upevnit na začátek závitové tyče. V koncových oblastech muselo být na trubku a vlákna nanášeno lepidlo (*obr. 24*), aby došlo po jeho zatuhnutí k uchycení všech vláken do jednoho celku a vložka výměníku si tak mohla zachovat svou strukturu. Použito bylo dvousložkové lepidlo skládající se z epoxidové pryskyřice LH 301 a tužidla H 513 a bylo namícháno v poměru 100:22. Při takové konfiguraci dosahuje lepidlo teplotní odolnosti až 160 °C. Pro dosažení optimální viskozity lepidla bylo přidáno zahušťovadlo [69]



Obr. 24 Navíjení vložky výměníku v okrajové části s naneseným lepidlem

Epoxidová pryskyřice je syntetický materiál řadící se do skupiny reaktoplastů neboli termosetů. U těchto materiálů dochází k vytvrzení působením tepla, avšak není možné provést reverzní děj v podobě zahřívání vytvrzeného polymeru stejnou teplotou a dosažení kapalného skupenství polymeru. V materiálu dochází k vytvoření sítě chemických vazeb, které se tvoří prostorově do třech směrů. Epoxidy jsou cyklické ethery obsahující alespoň jednu epoxidovou skupinu tvořenou třemi atomy uspořádanými v kruhu. Hlavními výhodami epoxidů jsou jejich vysoká pevnost, nízká úroveň smrštění při vytvrzování, velmi dobrá adheze s různými materiály a nízká cena. [70][71]

Lepidlo bylo v průběhu navíjení nanášeno na konce trubky, aby byla všechna vlákna dostatečně upevněna. Operační čas tohoto lepidla byl přibližně dvě hodiny, poté již začínají složky lepidla prudceji reagovat, což se projevuje výrazným zvýšením teploty a následným tuhnutím hmoty. Po dokončení navíjení se nechal přípravek s navinutými vlákny a lepidlem dále rotovat kolem své osy, aby bylo před úplným vytvrzením lepidla zajištěno jeho rovnoměrné rozložení po celém obvodu koncových částí a nedošlo k jeho stečení. Tato rotace výrobku probíhala několik hodin. Hotová vložka výměníku s vytvrzeným lepidlem je zobrazena na *obr. 25*.



Obr. 25 Hotová vložka výměníku

5.4.2 G-KÓD PRO NAVÍJENÍ VLOŽKY VÝMĚNÍKU

Na základě požadovaných parametrů vložky výměníku byl sestaven G-kód zahrnující jak navíjení součásti, tak přípravu stroje, která tomuto navíjení předchází. Celý program se skládá z několika částí, které obsahují vždy několik bloků G-kódu. První část se skládá pouze ze dvou bloků, z nichž první blok nastavuje jako jednotku délky milimetry pomocí příkazu G21 a druhý blok značí absolutní programování příkazem G90.

Druhou část tvoří devět bloků, viz (*obr. 26*), které řídí přípravu stroje před navíjením. Prvním blokem se aktivují motory. Druhý blok obsahuje nastavení zrychlení posuvných i rotačních pohybů v jednotlivých osách. Se třetím blokem se zařízení pohybuje ve všech osách až ke koncovým sensorům a v tomto bodě je pomocí čtvrtého bloku nastavena časová prodleva jedna sekunda. V pátém bloku je změněno nastavení posuvného i rotačního zrychlení v osách Y a Z. Následuje opět časová prodleva jedna sekunda zadaná šestým blokem. Sedmý blok nastavuje zařízení do polohy, ze které bude zahájeno navíjení. Osmý blok zajišťuje prodlevu do doby, než je operátorem potvrzeno pokračování programu stiskem příslušného tlačítka v softwaru X-Winder Executer. Poslední devátý blok obsahuje označení počátečního úhlu natočení trnu.

M17	[2_1]
G1 I10 J10 K10 N10 O10 T10	[2_2]
G28 E50,800 R4 F25,400 C0,00	[2_3]
G4 P10000	[2_4]
G1 J1,250 K1,250 O1,250 T10	[2_5]
G4 Z P10000	[2_6]
G1 F25,400 Z214,26 Y32 E25,400 B67,93 R10 S0	[2_7]
M0	[2_8]
M601	[2_9]

Obr. 26 Druhá část G-kódu pro navíjení vložky výměníku

Třetí část programu obsahuje 300 iterací, z nichž každá zajišťuje průjezd na konec výměníku a zpět, tudíž navinutí dvou vláken, čímž je dosaženo celkového počtu 600 vláken. Na *obr. 27* je zobrazena jedna z těchto iterací, která obsahuje šest bloků, z nichž každý na konci obsahuje údaj o celkovém natočení trnu v daný moment. První blok udává parametry pohybu podávací hlavy podél trnu, tedy vzdálenost, která má být uražena a rychlost pohybu. Dále je zadána rychlost rotace trnu a úhel, o který se trn během tohoto bloku otočí. Druhý blok představuje příjezd podávací hlavy až k závitové tyči těsně za součást a následnou prodlevu v tomto bodě, aby bylo zajištěno správné navinutí vláken v koncové části u hvězdičky. Třetí blok obsahuje příkazy k návratu do pozice téměř shodné se stavem po vykonání prvního bloku, přičemž jediným rozdílem je natočení podávací hlavy o stejně velký, ale opačný úhel. Čtvrtý blok řídí pohyb trnu a podávací hlavy, při jejím návratu na začátek součásti. Pátý a šestý blok vykonávají stejné úkony jako bloky dva a tři, akorát na opačném konci vyráběné součásti.

G1 F101,60 Z694,00 S17,88 C464,33 A542,75	[3_1]
G2 K40,00 F2,50 Z709,00 E18,43 Y10,00 R1,56 B34,29 U22,00 V15,00 H694,00 W10,00 S4,00 C150,00 A692,75	[3_2]
G5 K2,00 F15,00 Z694,00 E22,00 Y32,00 R20,44 B-67,93 U22,00 V15,00 H694,00 W10,00 S4,00 C30,00 A722,75	[3_3]
G1 F101,60 Z140,00 S17,88 C542,75 A1265,50	[3_4]
G3 K40,00 F2,50 Z125,00 E18,43 Y10,00 R1,56 B-34,29 U22,00 V15,00 H140,00 W10,00 S4,00 C150,00 A1415,50	[3_5]
G6 K2,00 F15,00 Z140,00 E22,00 Y32,00 R20,44 B67,93 U22,00 V15,00 H140,00 W10,00 S4,00 C30,00 A1445,50	[3_6]

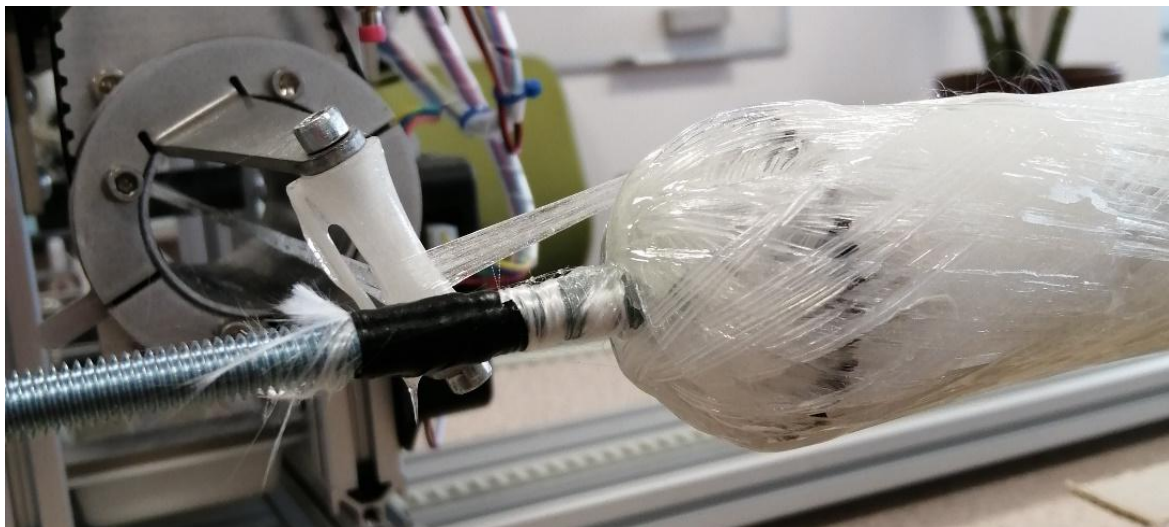
Obr. 27 Třetí část G-kódu pro navíjení vložky výměníku

5.5 VNĚJŠÍ VRSTVA

Po úplném vytvrzení lepidla na vložce výměníku mohlo být zahájeno navíjení vnější vrstvy, kterou tvoří skelná vlákna. Jedná se o materiál na bázi křemíku často používaný v průmyslu jako zpevňující prvek kompozitních materiálů zejména díky své pevnosti a houževnatosti, ale také pro vysokou chemickou odolnost a stabilitu. Běžná skelná vlákna se skládají z 50 až 60 procent z oxidu křemičitého (SiO_2) a menší část zaujímají oxidy boru, vápníku, sodíku a jiné. Dle množství jednotlivých příměsí se skelná vlákna dělí do mnoha skupin v závislosti na jejich specifických vlastnostech. Přibližně 90 % produkce skelných vláken tvoří skupina E, jejíž hlavní předností je fungování jako elektrický izolant, ale kvůli dobré pevnosti a rozumnému Youngově modulu pružnosti slouží pro všeobecné použití napříč technickými obory. Dalšími typy skelných vláken jsou například skupina S s vyšším obsahem křemíku, která je ještě pevnější a má schopnost odolávat vyšším teplotám, nebo skupina C vytvořena pro lepší vzdorování chemickému porušení povrchu. [72]

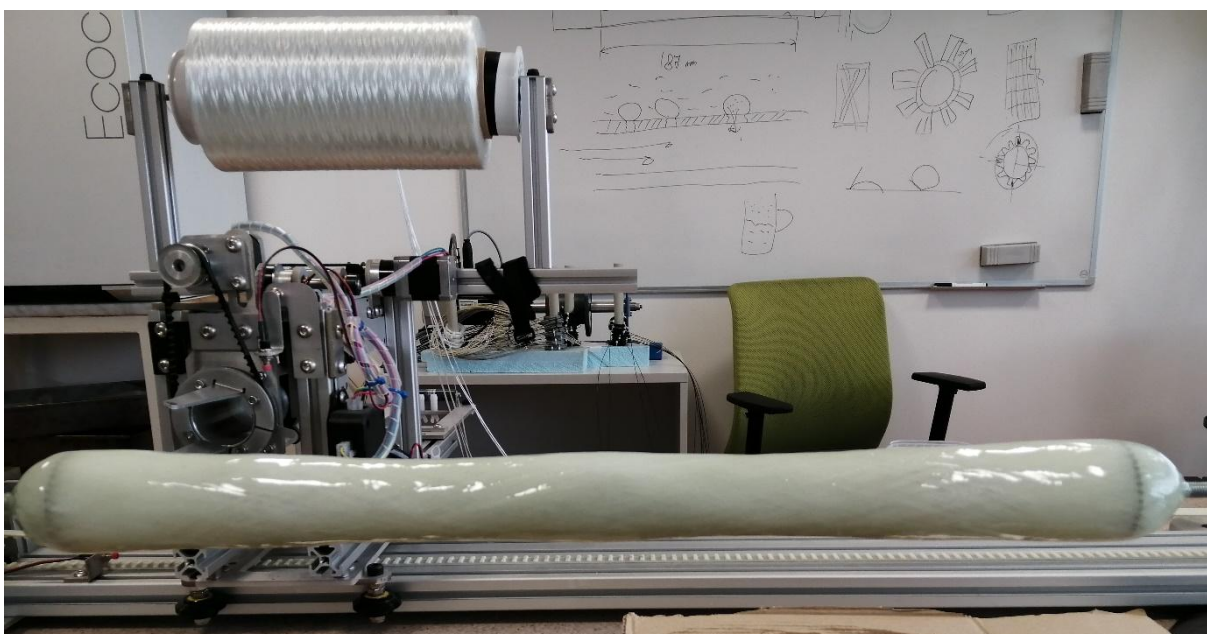
5.5.1 PROCES NAVÍJENÍ VNĚJŠÍ VRSTVY

Navíjení vnější vrstvy probíhalo částečně podobně jako zhotovení vložky výměníku. Skelná vlákna o šířce 3 milimetry a tloušťce 0,1 milimetru byla pro začátek navíjení upevněna k jednomu konci závitové tyče a kladena přímo na polymerní vlákna vnitřní části výměníku. Skelná vlákna procházela přes systém kladek také nádobkou s lepidlem, tudíž byla před průchodem podávací hlavou a před samotným navíjením po celém povrchu pokryta lepidlem, viz *obr. 28*.



Obr. 28 Navíjení skelných vláken pokrytých lepidlem

Opět byla použita epoxidová pryskyřice LH 301 a tužidlo H 513, avšak bez zahušťovadla, aby byla viskozita lepidla co nejnižší. Vyměněna byla také podávací hlava, která je přizpůsobena k plynulému vedení skelného vlákna. Vložka výměníku má přibližně stejný průměr jako upevňovací hvězdičky, tedy 44 milimetrů. Na tento průměr bylo možné přímo navíjet skelná vlákna bez použití dalších hvězdiček, protože skelná vlákna na rozdíl od polymerních vláken nejsou kulatá a nemají tendenci při navíjení sklouzávat z výrobku. Vnější vrstva byla navíjena pod úhlem 15° a je tvořena třemi dílčími vrstvami, přičemž každá obsahuje 46 vláken. Celkově je tedy ve vnější vrstvě 138 skelných vláken. Výměník s kompletně navinutou vnější vrstvou, viz *obr. 29*, byl opět ponechán v rotaci kolem své osy až do úplného ztuhnutí lepidla, čímž je zajištěno rovnoměrné rozložení lepidla a též je zabráněno penetraci lepidla do prostoru pláště mezi polymerní vlákna.



Obr. 29 Výměník s kompletně navinutou vnější vrstvou

5.5.2 G-KÓD PRO NAVÍJENÍ VNĚJŠÍ VRSTVY

Vnější vrstva byla navinuta pomocí podobného programu jako vložka výměníku. V prvním bloku byly jednotky nastaveny na milimetry opět příkazem G21 a příkazem G90 bylo definováno absolutní programování.

Druhá část zobrazená na *obr. 30* opět obsahuje přípravu stroje před navíjením v podobě zapnutí motorů, nastavení jednotlivých rotačních i posuvných zrychlení, dosažení polohy v koncových bodech a následné umístění podávací hlavy do výchozí polohy před začátkem navíjení, kde je program pozastaven a pokračuje až po potvrzení operátorem. Na konci první části je označen počáteční úhel natočení trnu. Od navíjení vložky výměníku je rozdílná výchozí poloha podávací hlavy, která je umístěna v ose X blíže ke středu výměníku a v ose Y blíže jeho osy, přičemž natočení podávací hlavy bylo také upraveno za účelem vhodnějšího vedení skelného vlákna.

```

M17
G1 I10 J10 K10 N10 O10 T10
G28 E50,800 R4 F25,400 C0,00
G4 P10000
G1 J1,250 K1,250 O1,250 T10
G4 Z P10000
G1 F25,400 Z231,65 Y27 E25,400 B74,92 R10 S0
M0
M601

```

Obr. 30 Druhá část G-kódu pro navíjení vnější vrstvy výměníku

Ve třetí části programu, viz *obr. 31*, bylo pro jednu ze tří dílčích vrstev zahrnuto 23 průjezdů podávací hlavy na konec výměníku a zpět, tudíž 46 navinutých vláken. Stejně jako předchozí části je i třetí část podobná jako u navíjení vložky výměníku s drobnými rozdíly v délkových rozměrech a v natočení podávací hlavy. Jedná se tedy opět o šest bloků zajišťujících průjezd podávací hlavy podél součásti na její konec, navinutí zakončení pomocí příjezdu blíže k závitové tyči do oblasti za okrajem výrobku, návrat do původní vzdálenosti od tyče, průjezd zpět na začátek součásti a navinutí okraje stejným způsobem.

```

G1 F101,60 Z674,00 S11,88 C296,38 A367,71

G2 K40,00 F4,03 Z709,00 E18,43 Y10,00 R1,46 B46,68
U17,00 V35,00 H674,00 W10,00 S4,00 C145,00 A512,71

G5 K2,00 F28,97 Z674,00 E14,07 Y27,00 R20,13 B-74,92
U17,00 V35,00 H674,00 W10,00 S4,00 C35,00 A547,71

G1 F101,60 Z150,00 S11,88 C367,71 A915,42

G3 K40,00 F4,03 Z115,00 E18,43 Y10,00 R1,46 B-46,68
U17,00 V35,00 H150,00 W10,00 S4,00 C145,00 A1060,42

G6 K2,00 F28,97 Z150,00 E14,07 Y27,00 R20,13 B74,92
U17,00 V35,00 H150,00 W10,00 S4,00 C35,00 A1095,42

```

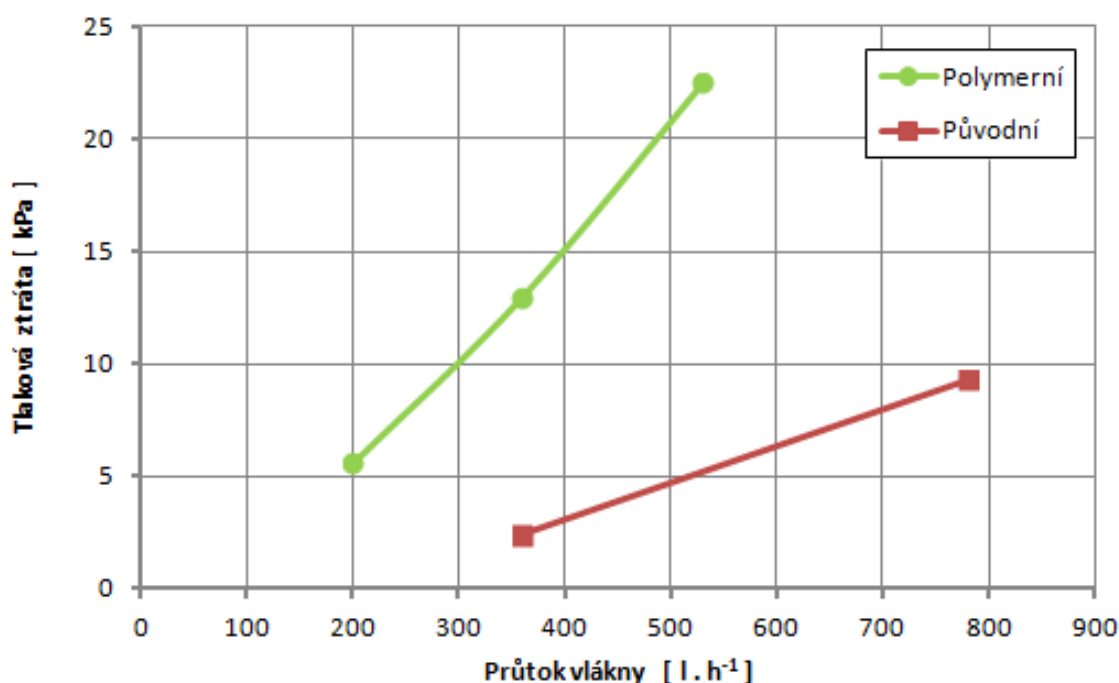
Obr. 31 Třetí část G-kódu pro navíjení vnější vrstvy výměníku

6 TESTOVÁNÍ CHLADIČE

Po úplném vytvrzení lepidla ve vnější vrstvě výměníku byly jeho konce obrobeny a byly zde opět pomocí lepidla připevněny příruby ze sklotextitu, do kterých byly umístěny vývody pro připojení proudu kapaliny do vnitřních vláken. Vtok do pláště i výtok z něj byl zajištěn prostřednictvím karbonové trubky, na kterou je výměník navinutý. Testování chladiče bylo provedeno v Laboratoři přenosu tepla a proudění, přičemž olej byl nahrazen teplou vodou a chladicí kapalina studenou vodou, což bylo dostačující pro účel zjištění, zda je výměník schopný provozu a nedochází k úniku kapalin a také ke změření hlavních parametrů, na základě kterých bylo dále rozhodnuto, jestli je chladič schopný podstoupit pokročilejší testování firmou Hanon Systems nebo je nutné provést úpravy v konstrukci chladiče. Před samotným měřením byl chladič testová na pevnost a těsnost konstrukce při teplotě 80 °C a tlaku 3 bary po dobu jednoho dne. Tomuto testu chladič vyhověl bez viditelné deformace či vzniku netěsností.

6.1 TLAKOVÁ ZTRÁTA VE VLÁKNECH

Měření tlakových ztrát na straně vláken bylo realizováno pro průtoky 200, 360 a 530 litrů za hodinu a teplota vody byla nastavena na 80 °C. Závislost tlakové ztráty ve vláknech na průtoku je zobrazena na *obr. 32*. Z grafu je patrné, že výměník z polymerních vláken dosahuje výrazně horších hodnot než původní výměník, avšak možným řešením je úprava konstrukce v podobě zvětšení průměru výměníku, což umožní použít více vláken a zkrátit celý výměník, čímž dojde k poklesu tlakových ztrát.



Obr. 32 Závislost tlakové ztráty ve vláknech na průtoku

6.2 TLAKOVÁ ZTRÁTA V PLÁŠTI

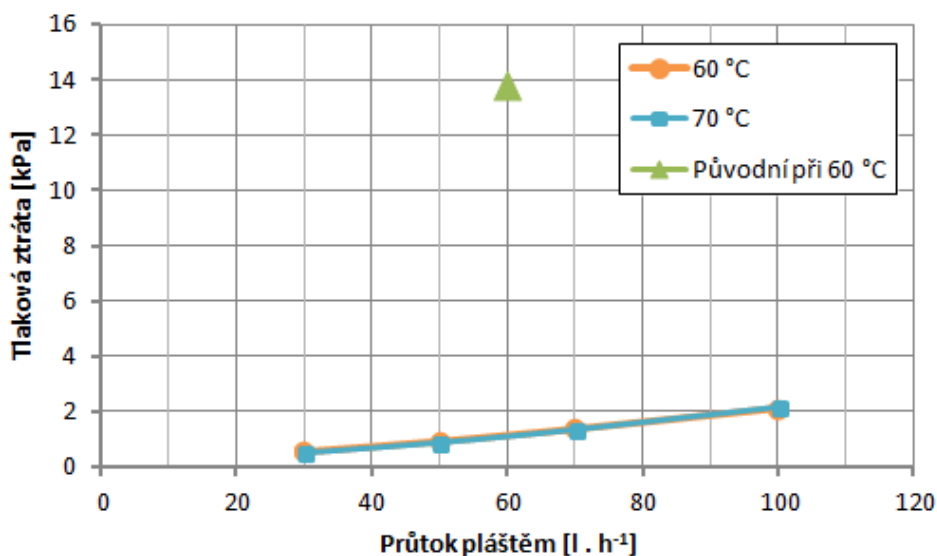
Pro měření bylo nutné k výměníku připojit celkem čtyři potrubí, z čehož dvě tvořila okruh teplé vody prostupující pláštěm a další dvě potrubí byla součástí okruhu chladné vody proudící skrz polyamidová vlákna opačným směrem než teplá voda v plášti. Uspořádání vstupů a výstupů je znázorněno na *obr. 33*.



Obr. 33 Hotový chladič s oběma vstupy i výstupy
 1) vstup do pláště 2) výstup z pláště
 3) vstup do vláken 4) výstup z vláken

Měření bylo provedeno pro průtoky pláštěm od 30 do 100 litrů za hodinu při vstupních teplotách teplého média 60 °C a 70 °C. Avšak při průtoku 100 litrů za hodinu nebyl výkon laboratorního zařízení dostačující pro ohřátí vody na požadované teploty, tudíž při tomto průtoku měření probíhalo za teplot 58 °C a 59 °C. Chladné médium mělo vstupní teplotu 10 °C a průtok byl nastaven na 1260 litrů za hodinu. Při tomto průtoku dochází k maximálnímu odvodu tepla na straně vláken a jeho další zvyšování již nevede ke zvýšení celkového výkonu výměníku. Jednotlivé stavy měření byly udávány příslušnými hodnotami průtoku pláštěm a sledovanými hodnotami byly teploty na vstupu a výstupu z pláště, výkon chladiče a tlaková ztráta. Tyto hodnoty byly vždy zaznamenávány po dosažení ustáleného stavu. Chyby měření se po celou dobu pohybovaly v rozmezí do 5 %.

Tlaková ztráta byla měřena mezi vstupem teplé vody do pláště a jejím výstupem z výměníku. Závislost této tlakové ztráty na průtoku znázorňuje *obr. 34*.



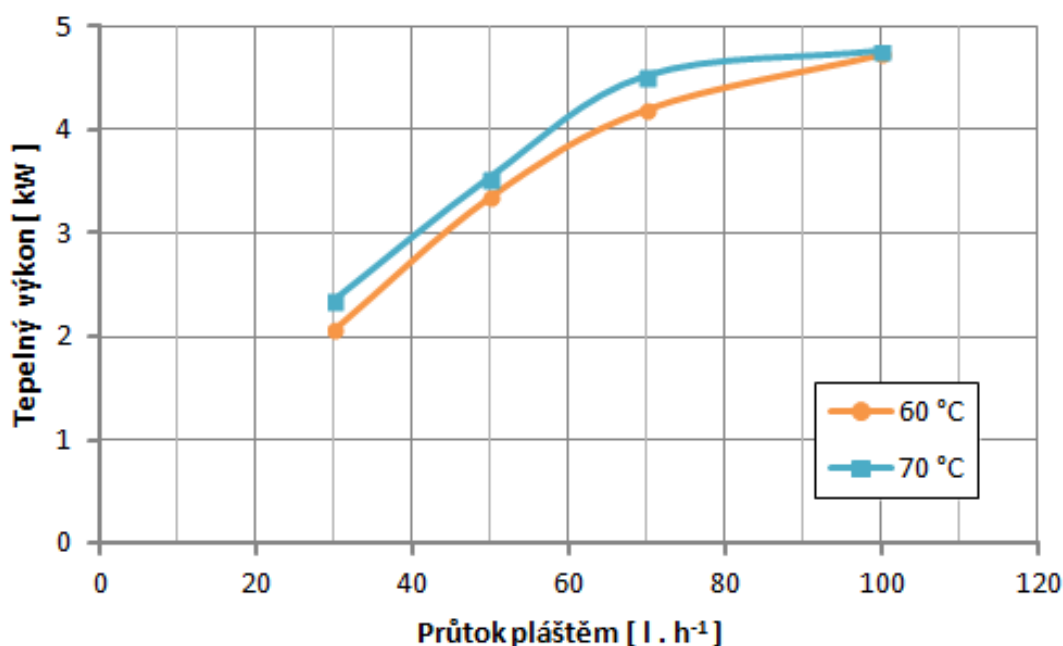
Obr. 34 Závislost tlakové ztráty v plášti na průtoku

Z tohoto grafu je viditelné, že průběh tlakové ztráty narůstá se zvětšujícím se průtokem, ale je při obou teplotách téměř totožný, což značí, že závislost tlakových ztrát v plášti na vstupní teplotě je zanedbatelná. Je to způsobeno i tím, že hustota vody se při těchto teplotách téměř neliší.

Hodnoty tlakových ztrát se pro obě teploty pohybují v rozmezí 0,5 až 2,2 kPa. Srovnání s chladičem z vozidla Ford F-150 je možné provést pro teplotu 60 °C, při které byly tlakové ztráty tohoto chladiče na straně teplého média měřeny. U původního chladiče byla při dané teplotě a průtoku 60 litrů za hodinu naměřena tlaková ztráta 13,8 kPa. Zatímco u chladiče z polymerních vláken byla při stejné teplotě a srovnatelném průtoku 70 litrů za hodinu naměřena tlakové ztráta jen 1,4 kPa, avšak tato hodnota může být značně ovlivněna nižší viskozitou vody oproti oleji.

6.3 VÝKON CHLADIČE

Současně s tlakovou ztrátou v plášti byl měřen i tepelný výkon, jehož závislost na průtoku pláštěm je zobrazena na obr. 35. Hodnoty tepelného výkonu se pohybují v rozsahu 2 až 5 kW, což jsou hodnoty srovnatelné s kovovými chladiči. Z grafu je patrné, že pro teplotu 70 °C je výkon vyšší než při teplotě 60 °C. Výjimku tvořilo měření při největším průtoku 100 litrů za hodinu, u kterého byly hodnoty výkonu téměř totožné, což bylo způsobeno tím, že teploty v tomto bodě byly z důvodu nedostatečného výkonu laboratorního zařízení téměř shodné a nižší než 60 °C. Toto se projevilo také na průběhu obou křivek, jejichž růst je mezi třetím a čtvrtým měřeným bodem značně zpomalen oproti svému předchozímu průběhu.



Obr. 35 Závislost tepelného výkonu na průtoku pláštěm

ZÁVĚR

Práce předkládá přehled jednotlivých druhů vozidlových převodovek a v souvislosti s nimi jsou probrány charakteristiky a dělení převodových olejů, které v těchto převodovkách plní zejména mazací, hydraulickou a chladičskou funkci. V nákladních vozidlech jsou převodovky vystavovány zvýšenému zatížení, tudíž je nutné převodový olej chladit, aby byly zachovány jeho optimální provozní vlastnosti. Proto byly popsány dva základní typy chladičů převodového oleje, kterými jsou chladič olej-vzduch a olej-voda. Také byla provedena literární rešerše mechanismů přenosu tepla a základních druhů tepelných výměníků používaných pro chlazení oleje pomocí jiné kapaliny. Speciální pozornost byla věnována výměníkům z polymerních dutých vláken a vlastnostem polymerů.

Cílem práce bylo navrhnout způsob chlazení převodového oleje, který by byl alternativou ke konvenčním chladičům z kovových materiálů. Pro tento účel byla využita polymerní dutá vlákna, jejichž hlavními výhodami oproti kovům jsou nižší hmotnost, odolnost proti korozi, menší míra zanášení se nečistotami, jednodušší zpracování a také široké možnosti recyklace.

Navržený chladič se skládá ze dvou hlavních částí. První z nich je vložka výměníku vyrobená z polyamidových vláken. Druhou částí je plášť, který je tvořen skelnými vlákny. Na okrajích výměníku jsou připevněny příruby umožňující napojení chladiče do okruhu s proudícími médii. Funkce chladiče spočívá v přenosu tepla mezi chladnou kapalinou proudící polymerními vlákny a teplou kapalinou proudící v plášti okolo těchto vláken. Pro výrobu tepelných výměníků tvořených dutými polymerními vlákny se využívá zařízení X-Winder, což je malý stolní stroj umožňující navíjení vláken i v malých laboratorních prostorech. Na základě požadovaných parametrů byl vytvořen speciální program, který řídil výrobu tepelného výměníku pomocí zařízení X-Winder. Tento program byl sestaven z G-kódu, který se běžně používá u CNC strojů.

Hotový výměník byl podroben testům na roztržení, kterými úspěšně prošel bez zaznamenání deformace. Dále byly měřeny tlakové ztráty na straně vody, přičemž bylo zjištěno, že výměník vykazuje v tomto okruhu značný odpor proti proudění, což je způsobeno tím, že průměr výměníku je malý, tudíž se v něm nachází málo vláken, která musí být pro dosažení potřebné teplosměnné plochy dlouhá, čímž dochází k navýšení tlakových ztrát. Na straně oleje se tlakové ztráty pohybují v rozmezí 0,5 až 2,2 kPa, což jsou hodnoty nižší než u kovového výměníku, avšak zde byla použita voda na místo oleje, který je více viskózní. Dalším měřeným parametrem byl výkon chladiče. Maximálního výkonu 4,8 kW bylo dosaženo při teplotě 59 °C a průtoku pláštěm 100 litrů za hodinu. Průtok studené vody skrz vlákna byl stejně jako v ostatních bodech nastaven na 1260 litrů za hodinu při teplotě 10 °C. Dosažená hodnota tepelného výkonu je srovnatelná s konvenčními chladiči.

Cílem měření bylo zjistit, zda je chladič schopný provozu a zda dosahuje parametrů, které budou dostačující jako výchozí bod pro další optimalizaci a testování výměníku. Díky dosažení konkurenceschopného tepelného výkonu a tlakových ztrát, které nejsou natolik rozsáhlé, aby kritickým způsobem ovlivnili funkci výměníku, je možné stanovit, že chladič je vhodný pro komplexnější testování firmou Hanon Systems. Je však nutné chladič dále optimalizovat především z hlediska tlakových ztrát na straně vody. Jednou z možností jak tyto ztráty snížit je redukce délky výměníku. Pro zachování stejného výkonu je však nutné společně se zkrácením výměníku zvětšit jeho průměr přidáním více vláken, což má za následek navýšení hydraulického průměru.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SRINIVAS, Harshit. Types of automatic transmissions explained. *EVO India* [online]. 28 Jan, 2021 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.evoindia.com/features/types-of-automatic-transmissions-explained>
- [2] Automatic gearboxes - everything you need to know. *What Car* [online]. c2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.whatcar.com/advice/buying/automatic-gearboxes-everything-you-need-to-know/n17022>
- [3] DE MESMAEKER, David. Introduction to automatic transmission systems. *Q8Oils* [online]. 19 October 2017 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.q8oils.com/automotive/automatic-transmission-systems/>
- [4] FALCHENKO, Alexander. Struktura a princip činnosti převodovky Easytronic. *AvtoTachki* [online]. 04.05.2021 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://avtotachki.com/cs/ustroystvo-i-princip-raboty-korobki-peredach-easytronic/>
- [5] BOBER, Isaac. How does a DSG work?. *Practical Motoring* [online]. 28 Apr 2017 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://practicalmotoring.com.au/car-advice/how-does-a-dsg-work/>
- [6] MCINTOSH, Jil. How It Works: Automatic transmissions. *Driving* [online]. February 7, 2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://driving.ca/auto-news/news/how-it-works-automatic-transmissions>
- [7] Eight-speed tiptronic. *Audi Media Center* [online]. 01. 01. 2016 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacenter.com/en/photos/detail/eight-speed-tiptronic-42114>
- [8] Jatco develops the new Jatco CVT-X. *Jatco* [online]. 2021-06-30 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.jatco.co.jp/english/release/2021/20210630_1247.html
- [9] PIRRO, Don M., Martin WEBSTER a Ekkehard DASCHNER. Automotive Transmissions and Drive Trains. *Lubrication Fundamentals*. 3rd edition. Boca Raton: CRC Press, 2016, s. 269–299. ISBN 978-131-5367-03-3.
- [10] NICE, Karim. How Automatic Transmissions Work. *HowStuffWorks* [online]. Feb 11, 2021 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission.htm#pt10>
- [11] MANN, Adam. 8 Parts of an Automatic Transmission (and What Each Does). *Car Treatments* [online]. January 4, 2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://cartreatments.com/parts-of-automatic-transmission/>
- [12] Automatická převodovka 01M. *Střední škola automobilní Ústí nad Orlicí* [online]. 1998-02-02 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2017/09/Automaticka_prevodovka_01M.pdf

- [13] What is transmission fluid and what does it do?. *Universal Technical Institute* [online]. Jul 12, 2020 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.uti.edu/blog/automotive/transmission-fluid>
- [14] Brake Band in Automatic Transmission: Purpose, Principle of Operation and Special Aspects of Its Adjustment. *Go4Trans* [online]. Nov 15, 2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://go4trans.com/technical-transmission-general-articles/brake-band-in-automatic-transmission-purpose-principle-of-operation-and-secrets-of-its-adjustment/>
- [15] Oil Viscosity – How It's Measured and Reported. *Machinery Lubrication* [online]. c2022 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/411/oilviscosity#:~:text=The%20viscosity%20is%20typically%20reported,constant%20supplied%20for%20each%20tube.>
- [16] ELERT, Glenn. Viscosity. *The Physics Hypertextbook* [online]. c1998–2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://physics.info/viscosity/>
- [17] Kinematic Vs. Dynamic Viscosity. *SGS Polymer Solutions* [online]. November 28, 2018 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.polymersolutions.com/blog/kinematic-dynamic-viscosity/>
- [18] CHANDLER, Nathan. Why would I upgrade to a synthetic motor oil?. *HowStuffWorks* [online]. 19 May 2010 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/synthetic-motor-oil2.htm>
- [19] *Construction Mechanic Basic: Cooling And Lubricating Systems* [online]. Integrated Publishing [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://constructionmanuals.tpub.com/14264/css/Purposes-of-Lubrication-232.htm>
- [20] CAINES, Arthur J. a Roger F HAYCOCK, HILLIER, John E., ed. *Automotive Lubricants Reference Book*. 2nd ed. Warrendale: SAE International, 2004. ISBN 0-7680-1251-1.
- [21] MORAVEC, Jan. Automobilová maziva. *Anzdoc: Document Professional Platform* [online]. c2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://adoc.pub/automobilova-maziva-motorove-oleje.html>
- [22] ABOU-ZIYAN, Hosny Z. Heat transfer characteristics of some oils used for engine cooling. *Energy Conversion and Management* [online]. September, 2004, **45**(15–16), 2553–2569 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0196890403003042>
- [23] Transmission oil specifications. *ADDINOL* [online]. c2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://addinol.de/en/products/lubricants-for-the-automotive-sector/automotive-transmission-oils/specifications/>
- [24] Výkonnostní třídy automobilových převodových olejů. *Oleje.cz – Svět maziv* [online]. c2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vykonnostni-tridy-automobilovych-prevodovych-oleju>

- [25] *Specifikace olejů* [online]. 16. 02. 2006 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.pneu-asistent.cz/oleje/specifikaceOLEJU.pdf>
- [26] Motorcraft Transmission Fluid. *USA – Motorcraft* [online]. c2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.motorcraft.com/us/en_us/home/our-products/chemicals-and-lubricants/transmission-fluid/mercon-ulv-automatic-transmission-fluids.html
- [27] GOGINENI, Prudhvi, Vinay GADA a Babu G. SURESH. Cooling Systems in Automobiles & Cars. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* [online]. 2013, 2(4), 688–695 [cit. 2022-03-02]. ISSN 2249 – 8958. Dostupné z: <https://www.ijeat.org/wpcontent/uploads/papers/v2i4/D1447042413.pdf>
- [28] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 4. přeprac. vyd. Brno: AVID, 2007. ISBN 978-80-903671-7-3.
- [29] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [30] HAZEN, Eric. Oil Cooling – A Deeper Look. *Versus Engineering* [online]. 10 July, 2016 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://www.verus-engineering.com/blog/informative-8/oil-cooling-a-deeper-look-29>
- [31] Transmission coolers. *Hayden Automotive* [online]. c2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.haydenauto.com/en/marketing/transmission-coolers?fbclid=IwAR2a0UuuuTgixnss5T-uQlk63QtHcvSZkg9TDRGgAW5MsUU90SjMyycvERI>
- [32] Ford Transmission Oil Cooler. *Jefferson Ford Parts* [online]. c2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.jeffersonfordparts.com.au/ford-transmission-oil-cooler-assembly>
- [33] INCROPERA, Frank P, Theodore L. BERGMAN, Adrienne S. LAVINE a David P. DEWITT. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 7th ed. New York: John Wiley, 2011, 997 s. : il. ISBN 978-0470-50197-9.
- [34] The Theory behind Heat Transfer. *Alfa Laval* [online]. 2004 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/alfa_laval_heating_and_cooling_hub_the_theory_behind_heat_transfer.pdf
- [35] Mechanisms of Heat Transfer. NIEDERRITER, Charles. *Mechanical Universe* [online]. 2019 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://cnx.org/contents/0GWxEUU0@1.37:6EiQTxeh@14/Mechanisms-of-Heat-Transfer>
- [36] Ways of thermal energy transfer. *GCSE Physics* [online]. October 25, 2010 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <http://olevelphysicsblog.blogspot.com/2010/10/ways-of-thermal-energy-transfer.html>
- [37] BAUDOUY, Bertrand. *Heat Transfer and Cooling Techniques at Low Temperature* [online]. January 2015 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/figure/The-electromagnetic-radiation-spectrum-showing-the-thermal-radiation-zone-in-yellow_fig11_271532101

- [38] Types of Heat Exchangers. *Turnbull & Scott* [online]. [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.turnbull-scott.co.uk/about-us/types-of-heat-exchanger/>
- [39] KHAYAL, Osama. Fundamentals of Heat Exchangers. *International Journal of Research in Computer Applications and Robotics* [online]. December, 2018, **6**(12), 1–11 [cit. 2022-03-04]. ISSN 2320–7345. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/329163292_Fundamentals_of_Heat_Exchange_rs
- [40] Working Principle of Double Pipe Heat Exchanger. *Mechanical Boost* [online]. c2020–2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://mechanicalboost.com/double-pipe-heat-exchanger/>
- [41] PARISHER, Roy A. a Robert A. RHEA. Mechanical Equipment. *Pipe Drafting and Design*. Fourth Edition. Gulf Professional Publishing, 2021, s. 119–153. ISBN 978-0-12-822047-4.
- [42] Basics of shell and tube heat exchangers. *Arveng* [online]. c2021 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://arvengtraining.com/en/basics-of-shell-tube-heat-exchangers/>
- [43] Shell and Tube Type Heat Exchanger. *SaVRee* [online]. c2020 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://savree.com/en/encyclopedia/shell-and-tube-type-heat-exchanger>
- [44] Plate Heat Exchanger (PHE). *SaVRee* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://savree.com/en/encyclopedia/plate-heat-exchanger-phe?fbclid=IwAR0q_4Kgc6Z7ZyrvCTJ1Mtr5BRdyaHkHD5DWzBPQ24ERY7vOKT2L3xSIBKw
- [45] BARTULI, Erik, Tereza KŮDELOVÁ a Miroslav RAUDENSKÝ. Shell-and-tube polymeric hollow fiber heat exchangers with parallel and crossed fibers. *Applied Thermal Engineering* [online]. January 2021, **182**(5) [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431120334827>
- [46] YAN, Xiujuan, Baoan LI, Baoliang LIU, Jie ZHAO, Yue WANG a Hao LI. Analysis of improved novel hollow fiber heat exchanger. *Applied Thermal Engineering* [online]. June, 2014, **67**(1–2), 114–121 [cit. 2022-03-04]. ISSN 1359-4311. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114001963?via%3Dihub>
- [47] CHEN, Xiangjie, Yuehong SU, David REAY a Saffa RIFFAT. Recent research developments in polymer heat exchangers – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. July, 2016, **60**, 1367–1386 [cit. 2022-03-04]. ISSN 1364-032. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116002598?via%3Dihub>
- [48] KŮDELOVÁ, Tereza, Tereza KROULÍKOVÁ, Ilya ASTROUSKI a Miroslav RAUDENSKÝ. The influence of the fibres arrangement on heat transfer and pressure drop of polymeric hollow fibre heat exchangers. *Acta Polytechnica* [online]. 2020, **60**(2), 122–126 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z:

- <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/93773/6053-1-19181-1-10-20200506.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [49] LCP – Polymery tekutých krystalů. *RESINEX* [online]. c2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: [https://www.resinex.cz/polymerove-typy/lcp.html#:~:text=LCP%2C%20polymery%20tekut%C3%BDch%20krystal%C5%AF%20\(Liquid,jsou%20ovliv%C5%88ov%C3%A1ny%20strukturou%20tekut%C3%BDch%20krystal%C5%AF](https://www.resinex.cz/polymerove-typy/lcp.html#:~:text=LCP%2C%20polymery%20tekut%C3%BDch%20krystal%C5%AF%20(Liquid,jsou%20ovliv%C5%88ov%C3%A1ny%20strukturou%20tekut%C3%BDch%20krystal%C5%AF).
- [50] MORITOMI, Satoru, Tsuyoshi WATANABE a Susumu KANZAKI. *Polypropylene Compounds for Automotive Applications* [online]. 2010 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/rd/report/files/docs/01_2010-1e.pdf
- [51] The Definitive Guide to Polypropylene. *Omnexus: The material selection platform* [online]. c2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>
- [52] Polyethylene Thermoplastic Characteristics. *Dielectric Manufacturing: Custom Plastic & Metal Solutions* [online]. c2022 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://dielectricmfg.com/knowledge-base/polyethylene/>
- [53] Polyamide (PA) or Nylon: Complete Guide (PA6, PA66, PA11, PA12...). *Omnexus: The material selection platform* [online]. c2022 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyamide-pa-nylon>
- [54] Polyamides. *Polymer database* [online]. c2015–2022 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyamide%20type.html>
- [55] 2021 Ford F-150 technical specifications. *Ford Media Center* [online]. The Ford Motor Company, 2021 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://media.ford.com/content/dam/fordmedia/North%20America/US/product/2021/f150/pdfs/2021-F-150-Technical-Specs.pdf>
- [56] HUNT, Nikia. Here's Why The 10R80 Is The Best 10 Speed Transmission. *HotCars: News and Informative Reviews on the Automotive Industry* [online]. June 28, 2021 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.hotcars.com/10-speed-transmission-why-best/>
- [57] Ford 10R80 10-Speed Automatic Transmission. *Blue Oval Trucks* [online]. c2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.blueovaltrucks.com/tech-articles/ford-10r80-10-speed-automatic-transmission/>
- [58] Oil Cooler Assembly. *The Ford Parts Site* [online]. c2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://parts.ford.com/shop/en/us/clutch-parts/oil-cooler-assy-8343751-1>
- [59] Pressure drop. *SWEP braze plate heat exchangers* [online]. c2019 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/1.-basic-heat-transfer/as/>
- [60] CONNOR, Nick. What is Logarithmic Mean Temperature Difference: LMTD – Definition. *Thermal Engineering* [online]. 2019-05-22 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.thermal-engineering.org/what-is-logarithmic-mean-temperature-difference-lmtd-definition/>

- [61] About X-Winder. *X-Winder: The Original Desktop Filament Winder* [online]. X-Winder, c2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://xwinder.com/about/>
- [62] X-Winder, LLC Information. *Rocket Reach* [online]. c2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://rocketreach.co/x-winder-llc-profile_b5f4a01ef42d2b59
- [63] HALTERMAN, TE. X-Winder Offering New 4-Axis Filament Winder. *3D Print* [online]. March 25, 2015 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://3dprint.com/53440/x-winder-filament-winder/>
- [64] SUH, Suk-Hwan, Seong-Kyoon KANG, Dae-Hyuk CHUNG a Ian STROUD. *Theory and Design of CNC Systems*. Springer London, 2008, 456 s. ISBN 1848003358.
- [65] KARBON, Dan a Tom HERR. What is G-Code? What is M-Code? What Do They Mean in CNC Machining?. *Stecker Machine Company* [online]. 2021-07-13 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.steckermachine.com/blog/g-code-and-m-code-programming>
- [66] ZHANG, Peng. Industrial control engineering. *Advanced Industrial Control Technology*. William Andrew Publishing, 2010, s. 41-70. ISBN 978-1-4377-7807-6.
- [67] RADHAKRISHNAN, P., S. SUBRAMANYAN a Venkitaswamy RAJU. *CAD/CAM/CIM*. 3rd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2008 [cit. 2022-05-15]. ISBN 978-8-122-42236-8.
- [68] BARTULI, Erik, Tereza BROŽOVÁ a Miroslav RAUDENSKÝ. Influence of hollow fibers orientation inside the polymeric hollow fiber heat exchanger on the heat transfer intensity. *Engineering Mechanics 2018* [online]. Svratka, May 2018, 61-64 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.engmech.cz/improc/2018/61.pdf>
- [69] Epoxidová pryskyřice LH 301 - zvýšená teplotní odolnost. *Havel Composites* [online]. c2018-2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/cs/produkty/epoxidova-pryskyrice-lh-301-zvysena-teplotni-odolnost-3182729#:~:text=Epoxidov%C3%A1%20prysky%C5%99ice%20LH%20301%20je,odolnost%2C%20v%C3%BDborn%C3%A9%20teplotn%C3%AD%20vlastnosti%20atd.>
- [70] ALMAADEED, Mariam Al Ali, Deepalekshmi PONNAMMA a Ali Alaa EL-SAMAK. Chapter 1 - Polymers to improve the world and lifestyle: physical, mechanical, and chemical needs. *Polymer Science and Innovative Applications: Materials, Techniques, and Future Developments* [online]. 2020, s. 1-19 [cit. 2022-04-27]. ISBN 978-0-12-816808-0. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128168080000019>
- [71] Epoxy Resins: A to Z Technical Review of Thermosetting Polymer. *Omnexus: The material selection platform* [online]. c2022 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/epoxy-resins-a-to-z-technical-review-of-thermosetting-polymer>
- [72] CHAWLA, Krishan K. Glass Fibers. *Fibrous Materials* [online]. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2016, s. 199-229 [cit. 2022-04-29]. ISBN 9781107029729. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpFME00031/toc?issue_id=kt010YG7XE

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>API</i>	American Petroleum Institute
<i>ATF</i>	Automatic Transmission Fluid
<i>CNC</i>	Computer Numerical Control
<i>CVT</i>	Continuously Variable Transmission
<i>DSG</i>	Direct Shift Gearbox
<i>GL</i>	Gear Lubrication
<i>LCP</i>	Liquid Crystal Polymers
<i>PA</i>	Polyamid
<i>PAG</i>	polypropylenglykoly
<i>PAO</i>	polyalfaolefiny
<i>PE</i>	Polyethylen
<i>PHFHE</i>	Polymeric Hollow Fiber Heat Exchangers
<i>POE</i>	polyolestery
<i>PP</i>	Polypropylen
<i>SAE</i>	Society of Automotive Engineers
<i>Ti-VCT</i>	Twin independent Variable Camshaft Timing
<i>ULV</i>	Ultra Low Viscosity

<i>A</i>	[m ²]	celková teplosměnná plocha
<i>c_p</i>	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
<i>D</i>	[mm]	vnější průměr vlákna
<i>E</i>	[]	intenzita vyzařování reálného tělesa
<i>E_b</i>	[]	intenzita přenosu tepla radiací
<i>h</i>	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla
<i>k</i>	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelná vodivost
<i>L</i>	[mm]	šířka stěny
<i>L_B</i>	[mm]	délka teplosměnné plochy
<i>LMTD</i>	[°C]	Logarithmic Mean Temperature Difference
<i>L_{uhel}</i>	[mm]	délka vlákna skloněného pod úhlem 20°
<i>m</i>	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok
<i>MTD</i>	[°C]	Mean Temperature Difference

N	[-]	celkový počet vláken
Q	[W·m ⁻²]	tepelný tok chladičem
q_x''	[W·m ⁻²]	tepelný tok
T_1	[°C]	počáteční teplota
T_2	[°C]	koncová teplota
T_∞	[°C]	teplota vzduchu
T_{C_OUT}	[°C]	teplota chladicí kapaliny na výstupu z vláken
T_{C_IN}	[°C]	teplota chladicí kapaliny na vstupu do vláken
T_{H_IN}	[°C]	teplota oleje na vstupu do pláště
T_{H_OUT}	[°C]	teplota oleje na výstupu z pláště
T_S	[°C]	teplota horní strany desky
T_{S_a}	[°C]	absolutní teplota povrchu
U	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	součinitel přestupu tepla chladiče
v	[m·s ⁻¹]	rychlost toku
x	[mm]	souřadnice ve směru kolmém na tok
α	[°]	úhel sklonu navíjených vláken
ΔT_I	[°C]	rozdíl teplot na vstupu oleje
ΔT_O	[°C]	rozdíl teplot na výstupu oleje
ε	[-]	emisivita
η	[Pa·s]	dynamická viskozita
ν	[m ² ·s ⁻¹]	kinematická viskozita
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota
σ	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]	Stefan-Boltzmannova konstanta
τ	[MPa]	smykové napětí