VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH OBRÁBĚNÍ TRUBKOVNICE A TRUBKOVÝCH PŘEPÁŽEK

MACHINING DESIGN OF TUBE SHEET AND BUFFERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE Libor PODUŠKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Josef SEDLÁK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Libor Poduška

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 bakalářské práce:

Návrh obrábění trubkovnice a trubkových přepážek

v anglickém jazyce:

Machining Design of Tube Sheet and Buffers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Seznámení se s problematikou konstrukčního řešení výměníků tepla
3. Popis, rozbor a charakteristika technologie soustružení a vrtání.
4. Návrh dílenského postupu pro opracování trubkovnice a přepážek
5. Tvorba 3D modelu trubkovnice a zpracování CNC programu pomocí dílenského programování a moderního CAM programu PowerMill
6. Technicko-ekonomické zhodnocení
7. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce bude návrh postupu opracování trubkovnice a trubkových přepážek. Model trubkovnice a trubkových přepážek bude navržen a zkonstruován v parametrickém programu Autodesk Inventor. Tvorba CNC programu pro výrobu trubkovnice a trubkových přepážek bude realizovaná pomocí dílenského programování v řídicím systému Heidenhain iTNC 530 a v moderním CAM programu PowerMill (vytvoření obráběcích strategií). Oba způsoby návrhu výroby budou technicko-ekonomicky zhodnoceny a porovnány s cílem doporučení nejoptimálnějšího výrobního řešení.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vydání 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
3. AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S811 81 Sandviken, Švédsko.
4. KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vydání Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 25.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá tvorbou 3D modelu tepelného výměníku a návrhem výroby jeho hlavních částí, jako jsou trubkovnice a trubkové přepážky. Práce dále obsahuje obecnou rešerši z oblasti konstrukčních řešení tepelných výměníků, ale také obecně rozebírá základy třískového obrábění a to vrtání a soustružení. K tvorbě 3D modelu bylo využito parametrického programu Autodesk Inventor 2010. Po navržení výroby trubkovnice a trubkových přepážek byl sepsán technologický postup. Následně byl zpracován NC program pro základní vrtací operace pomocí CAM programu PowerMill a dílenského programování Heidenhain iTNC 530. Výsledné hodnoty byly porovnány. V CAM programu PowerMill byla navíc navržena kompletní výroba trubkovnice na tříosé frézce.

Klíčová slova

Trubkovnice, trubková přepážka, tepelný výměník, vrtání, návrh výroby.

ABSTRACT

Working with the creation of a 3D model of the heat exchanger and design of production of its main components, such as tube sheet and buffers. The work also contains a general search of the area of heat exchanger design solutions, but also generally discusses fundamentals of metal cutting namely drilling and turning. To create 3D model was used parametric Autodesk Inventor 2010. After designing the production tube sheet and buffers was written technological process. Subsequently was processed NC program for basic drilling operations using PowerMill CAM program and workshop programming Heidenhain TNC 530. The resulting values were compared. In CAM program PowerMill was designed to the complete production tube sheet on a three-axis milling machine.

Key words

Tube sheet, Buffers, Heat exchanger, Drilling, Design production.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PODUŠKA, Libor. *Návrh obrábění trubkovnice a trubkových přepážek.* Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 44 s. 7 příloh. Vedoucí práce: doc. Ing. Josef SEDLÁK, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh obrábění trubkovnice a trubkových přepážek** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28.5.2014

Datum

Libor Poduška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D., Ing. Richardovi Nekvasilovi, Ph.D., panu technologovi Ryšavému a Milanu Rusiňákovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji mé rodině za morální podporu pří studiu.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 9
1 Konstrukční řešení tepelných výměníků 10
1.1 Konstrukce rekuperačních výměníků 10
1.1.1 Výměník typu trubka v trubce 10
1.1.2 Výměníky trubkové, neboli kotlové 10
1.1.3 Výměníky spirálové 12
1.1.4 Výměníky deskové 13
2 Popis, rozbor a charakteristika technologie soustružení a vrtání. 14
2.1 Soustružení 14
2.1.1 Svislé soustruhy (karusely) 14
2.2 Vrtání 15
2.2.1 Nástroje 16
3 Tvorba 3D modelu trubkovnice 19
3.1 Trubkovnice 20
3.2 Přepážka 21
3.3 Sestava trubkového svazku 22
3.4 Sestava tepelného výměníku 23
4 Návrh dílenského postupu pro opracování trubkovnice a přepážek 24
4.1 Návrh výroby Trubkovnice 1 24
4.1.1 Volba polotovaru 24
4.1.2 Návrh obráběcích operací 25
4.1.3 Nástrojový list 28
4.2 Návrh výroby Přepážek 29
4.2.1 Volba polotovaru 29
4.2.2 Návrh obráběcích operací 29
4.2.3 Nástrojový list 31
5 Zpracování CNC programu pomocí dílenského programování a moderního CAM programu PowerMill 32
5.1 Heidenhain iTNC 530 32
5.2 Program PowerMill 33
6 Technicko-ekonomické zhodnocení 36

6.1 Podmínky vrtání Ø33,7 mm 36
6.1.1 Výpočet řezných podmínek 36
6.1.2 Počet potřebných nástrojů 38
6.2 Podmínky vrtání Ø 48 mm 38
6.2.1 Výpočet řezných podmínek 39
6.3 Porovnání CAM aplikace a dílenského programování 39
ZÁVĚR 40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 42
SEZNAM PŘÍLOH 44

ÚVOD

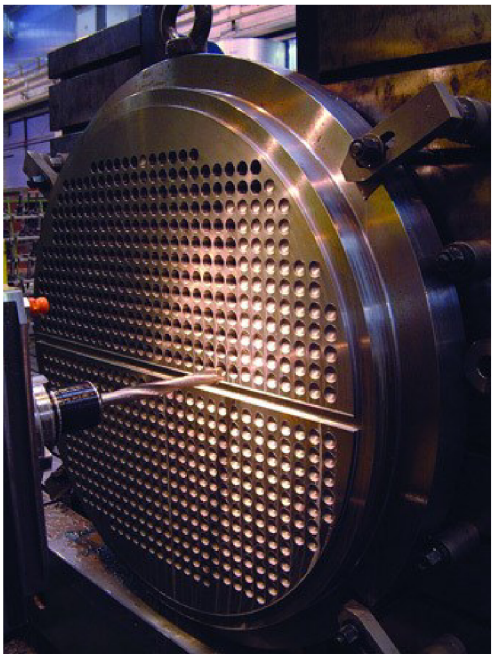
V mnoha směrech lidské činnosti se objevuje potřeba přenosu tepla mezi dvěma látkami o různých teplotách. Ať se jedná o potravinářský průmysl, nebo spalovny odpadu, vždy k tomu slouží tepelné výměníky různých konstrukcí.

Vzhledem k tomu, že do každého provozu se hodí jiné tepelné výměníky, z důvodu rozdílných podmínek, jako jsou pracovní média, teploty, tlaky atd., je také rozdílná konstrukce a výroba většiny částí těchto tepelných výměníků, i kdyby se mělo jednat o konstrukčně stejný typ.

Tato práce se zabývá návrhem výroby trubkovnice a trubkových přepážek do tepelného výměníku, který využívá spalin k ohřevu vody. Tepelné výměníky toho typu bývají běžně označovány jako EKO.

Vzhledem k maximálnímu průměru trubkovnice 1185 mm a tloušťce 71 mm materiálové třídy 11, se nejedná o žádnou atypickou součást trubkovnice a celkově ani o tepelný výměník. Po zpracování celého tepelného výměníku pomocí 3D programu byla navržena kompletní výroba součástí trubkovnice a trubkových přepážek. Z 3D modelu trubkovnice byl pomocí CAM systému PowerMill zpracován program pro vrtací operace a ten následně porovnán s dílenským programováním Heidenhain iTNC 530. Pro vrtané průměry byly vybrány vhodné vrtáky, pro něž se spočetly a stanovily řezné podmínky. Jako přídavek byla navržena kompletní výroba trubkovnice na tříosé frézce v programu PowerMill.

Pro návrh výroby nebyly přesně stanoveny obráběcí stroje a jejich parametry. Skutečná výroba by se odvíjela od dostupných strojů podniku a jejich možností. Na obr. 1 lze vidět vrtací operaci trubkovnice na horizontální vrtačce firmy Varnsdorf TOS [1].



Obr. 1 Vrtací operace trubkovnice [1].

1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ

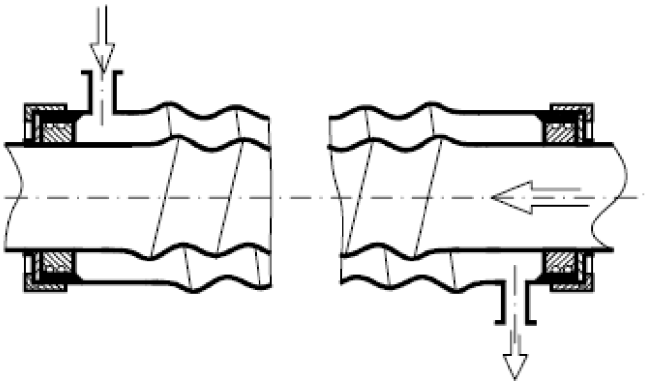
Tepelný výměník je zařízení pracující na principu výměny tepelné energie mezi dvěma, nebo více látkami o rozdílných teplotách. Podle zdroje [2] je lze rozlišovat podle způsobu použití (ohřívače, kondenzátory, vařáky, atd.), podle charakteru výměny tepla (beze změny, či se změnou fáze), nebo také na výměníky směšovací, regenerační a rekuperační, které budou následně uvedeny.

1.1 Konstrukce rekuperačních výměníků

U těchto výměníků jsou proudy odděleny nepropustnou stěnou, která slouží k vzájemné výměně tepelné energie. Podle zdroje [2] se tyto výměníky dají dále dělit na různá provedení.

1.1.1 Výměník typu trubka v trubce

U těchto výměníků proudí obě média souběžně (souproud, nebo protiproud) v trubce, nebo v mezikruhovém prostoru. Často se vyskytují v potravinářství a pivovarnictví. Maximální teploty u toho typu výměníku jsou 180 až 200 °C. Maximální tlaky 5 MPa. Pro zvýšení součinitelů přestupu tepla se používá šroubovicové zvlnění povrchu, viz obr. 1.1.



Obr. 1.1 Trubkový výměník [2].

Dále existuje řada jiných uspořádání, jako jsou například dvě trubky stočené do spirály či šroubovice. Dále se často používají žebrované trubky.

Svařované plášťové dvoutrubkové výměníky jsou vhodné pro nejnáročnější aplikace (nejvyšší tlaky, teploty a požadavky na těsnosti).

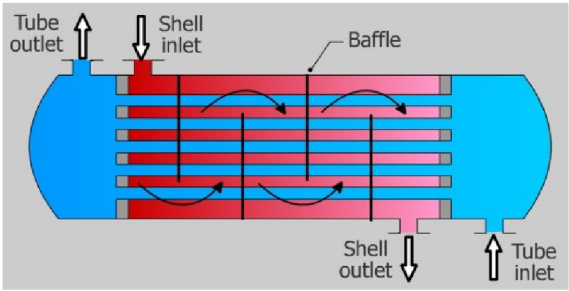
1.1.2 Výměníky trubkové, neboli kotlové

Jedná se o nejčastější typy výměníků, které jsou vhodné i pro vysoké tlaky a teploty. Skládají se z několika desítek až stovek tenkých trubek, které jsou zaválcované do trubkovnic na obou koncích. Tento svazek trubek je opláštěný a tím vzniká mezitrubkový prostor pro druhé médium. Jsou univerzální, použitelné pro kapaliny i plyny, včetně jejich fázových přeměn. Orientace proudů se v různých částech výměníku mění, někde je souproud, jinde protiproud, nebo také křížový tok. Směr toku se ovlivňuje přepážkami, které nutí medium měnit směr toku a tím také využívá celého prostoru k výměně tepelné energie. Přepážky mohou být příčné i podélné. Trubkových výměníků existuje několik provedení.

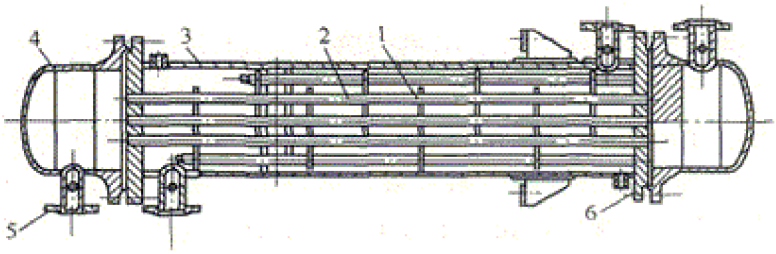
a) Plášťový výměník s rovnými trubkami

Neboli dle zdroje [3] trubkové výměníky s pevnými trubkovnicemi, respektive kompenzátorem v plášti. Používají se pro takové provozní parametry, kdy teploty a tepelná roztažnost materiálu teplosměnných trubek a pláště výměníku nevyvolávají dilatační změny a nedochází tak v důsledku rozdílné roztažnosti k nadměrnému zatížení trubek a trubkovnic. V opačném případě musí být použit kompenzátor v plášti, nebo se používá pružné zvlnění pláště.

Tento typ výměníku je relativně konstrukčně jednoduchý, avšak se příliš nedoporučuje pro aplikování v provozu, kde by v důsledku charakteru média docházelo k usazování nečistot v mezitrubkovém prostoru. V takovém případě by se dalo použít jedině chemické čištění. Princip tohoto výměníku můžeme vidět na obr. 1.2 a jeho konstrukční řešení na obr. 1.3.



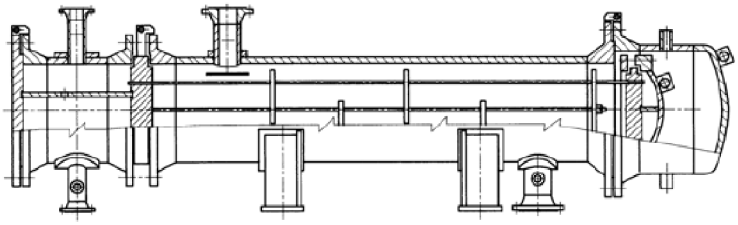
Obr. 1.2 Princip plášťového výměníku s rovnými trubkami [4].



Obr. 1.3 Plášťový výměník s rovnými trubkami [5].

b) Trubkový výměník s plovoucí hlavou

Podle zdroje [3] se tyto výměníky používají pro takové provozní parametry, kde je příliš velká tepelná roztažnost teplosměnných trubek a pláště výměníku. Z toho důvodu by docházelo k nadměrnému zatížení trubek a trubkovnic a také by mohlo dojít k možnému mechanickému poškození. Proto se na jedné straně požívá plovoucí hlava, která zachycuje teplotní dilataci, jak můžeme vidět na obr. 1.4.



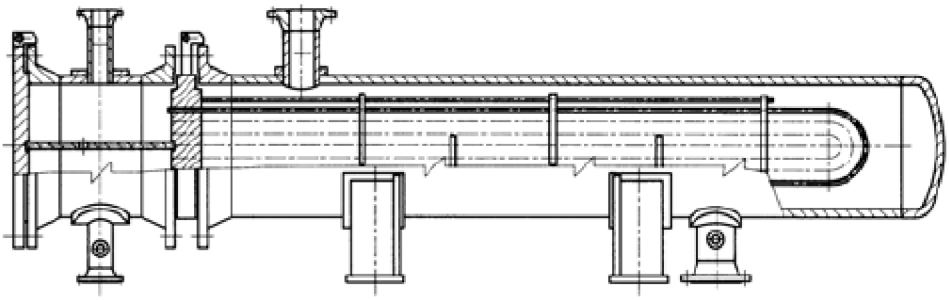
Obr. 1.4 Výměník s plovoucí hlavou [3].

Tento typ výměníku se dále často používá v provozních případech, kde se vlivem charakteru media usazují nečistoty v mezitrubkovém prostoru. Po demontáži trubkového svazku z výměníku je možné očistit vnější povrch teplosměnných trubek.

c) Trubkové výměníky s U trubkami

Nebo též výměníky vlásenkové se podle zdroje [3] používají pro provozní parametry, kdy je vzájemná tepelná roztažnost teplosměnných trubek a pláště výměníku větší, než povolená diference.

Tento typ výměníku se stejně jako výměník s plovoucí hlavou dá použít v provozních případech, kdy se vlivem charakteru media usazují nečistoty v mezitrubkovém prostoru. Výměník s U-trubkami můžeme vidět na obrázku 1.5.

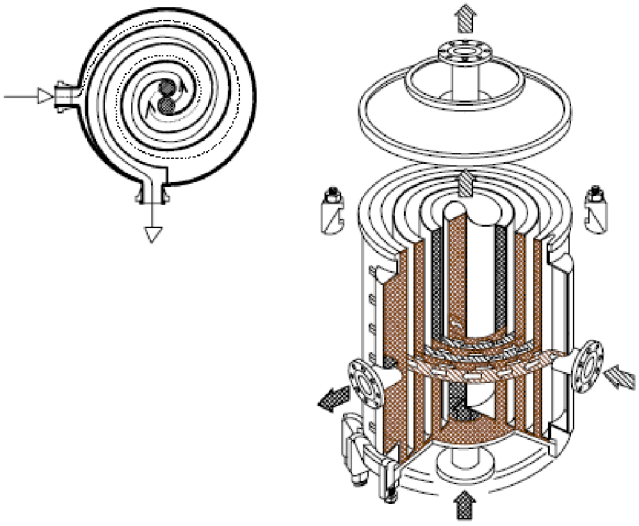


Obr. 1.5 Výměník s U-trubkami [3].

1.1.3 Výměníky spirálové

U tohoto typu výměníku [3] je tok obou medií zpravidla protiproudý ve spirálově zakřivených kanálkách, přičemž zakřivení zvyšuje intenzitu přestupu tepla. Dále se také občas řadí do kategorie výměníků deskových.

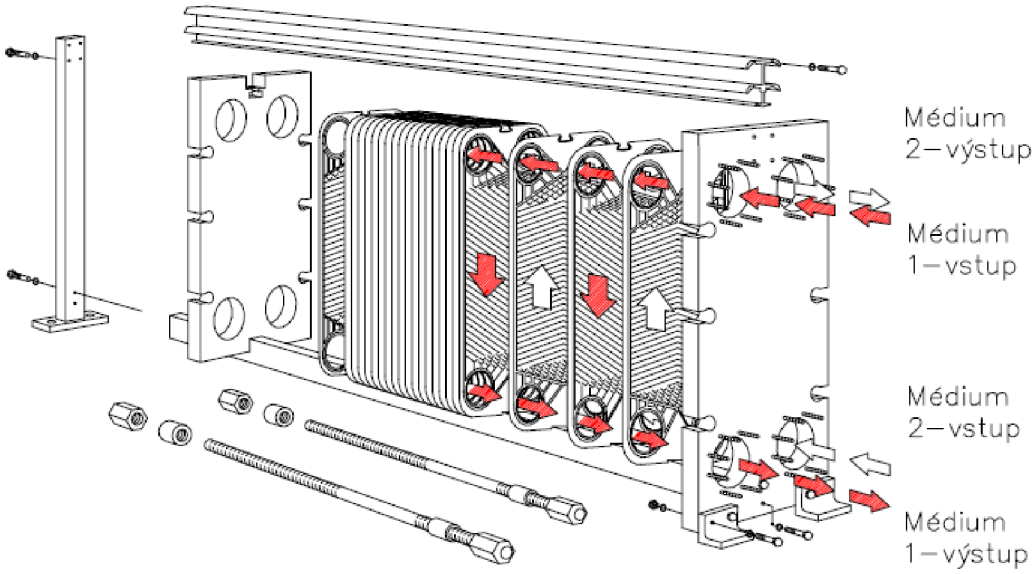
Mezi hlavní přednosti patří relativně nízké tlakové ztráty a velmi malý sklon k zanášení, a to díky hladkým plochám a minimálním mrtvým bodům. Jako příklad lze uvést spirálový výměník na obr. 1.6 (provedení Tetra Laval).



Obr. 1.6 Výměník spirálový (provedení Tetra Laval) [3].

1.1.4 Výměníky deskové

Zdroj [3] uvádí, že daná média (téměř výhradně kapaliny) proudí ve štěrbinách mezi na sobě naskládanými deskami, které jsou profilovány tak, aby přestup tepla byl co nejefektivnější a současně aby nedocházelo k nadměrnému zanášení teplosměnných ploch. U výměníků deskových se běžně dosahuje dvakrát větších přestupů tepla, než u výměníků spirálových. Konstrukční řešení a princip Deskového výměníku je uveden na obr. 1.7 (Tetra Laval).



Obr. 1.7 Výměník deskový (Tetra Laval) [3].

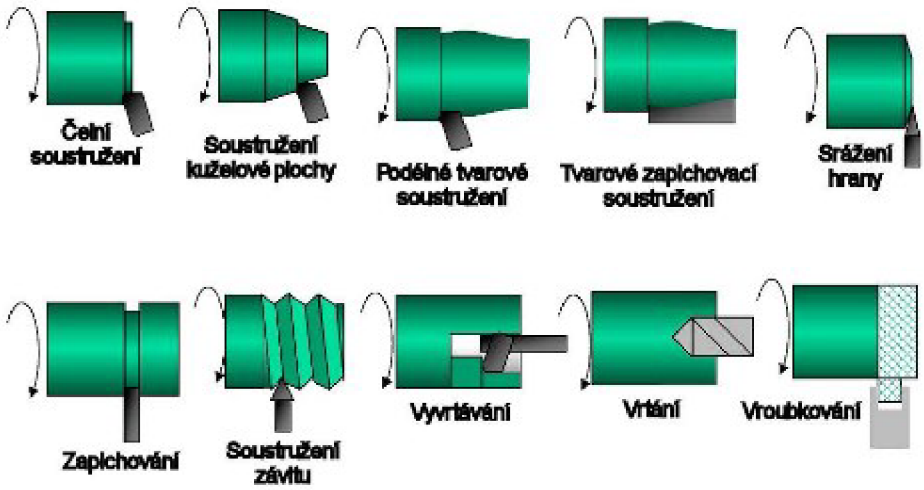
Typická deska výměníku je vylisovaná z nerezového plechu a má v rozích čtyři otvory. Pro každý kanál jsou vždy dva otvory funkční a druhé dva oddělené od průtočného kanálu těsnící lištou. Způsob těsnění, stejně jako tvarování desek je předmětem soustavného vývoje – (ne)těsnost deskových výměníku je totiž hlavním důvodem jejich menšího rozšíření v chemickém průmyslu. Jinde však dominují.

2 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ A VRTÁNÍ.

Základní technologií výroby trubkovnice a trubkových přepážek bude soustružení a vrtání, proto bude následně uvedená stručná charakteristika těchto technologií.

2.1 Soustružení

Podle pramenu [6] je soustružení obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, nejčastěji použitím jednobřitých nástrojů různého provedení. Soustružení představuje nejjednodušší způsob obrábění z mnoha hledisek a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy, viz obr. 2.1. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním.



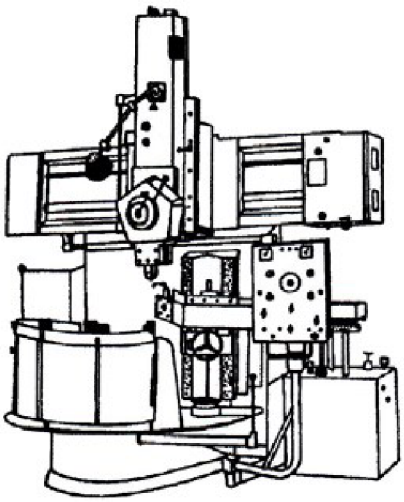
Obr. 2.1 Základní operace na soustruhu [6].

Hlavním pohybem je pohyb rotační, který koná obrobek. Pohyb posuvový koná nástroj a je to pohyb přímočarý.

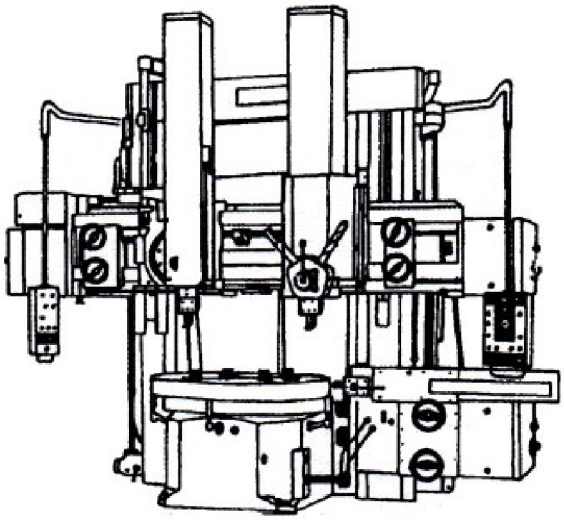
Jelikož je v této práci dále řešeno obrábění trubkovnice, která má průměr cca 1200 mm a šířku 80 mm. Bude dále rozebráno soustružení těchto poměrně velkých součástí.

2.1.1 Svislé soustruhy (karusely)

Dle zdroje [6] se svislé soustruhy (karusely) vyrábějí ve dvou variantách, jednostojanové (malé, do průměru stolu 1200 mm, viz obr. 2.2) a dvoustojanové (velké, do průměru stolu 18000 mm, viz obr. 2.3). Jednostojanové soustruhy mají na příčníku pohybující se po stojanu obvykle suport s pětibokou revolverovou hlavou, druhý suport je pak přímo na stojanu. Dvoustojanové svislé soustruhy mají příčník pohybující se po dvou stojanech, na příčníku jsou většinou dva suporty a další suport je na jednom nebo obou stojanech.



Obr. 2.2 Jednostojanový svislý soustruh [6].



Obr. 2.3 Dvoustojanový svislý soustruh [6].

Podle informací uvedených ve zdroji [6] „se svislé soustruhy používají v kusové, malosériové a některé typy i v sériové výrobě středních a velkých rotačních součástí malého poměru délky k průměru. Hlavními částmi těchto strojů jsou otočný stůl, stojany a příčníky se suporty. Otočný stůl je uložen u menších a středně velkých strojů na valivém vedení, u velkých stolů na vedení prizmatickém.

Na svislých soustruzích se obrábějí vnější a vnitřní válcové plochy, kuželové plochy (při natočených suportech), řežou závity, případně soustruží tvarové plochy, pokud je stroj vybaven kopírovacím zařízením. Jako zvláštní příslušenství mají někdy naklápěcí brousící vřeteník pro broušení vnějších i vnitřních povrchů. Rovněž bývají vybavovány indikací polohy a aplikuje se u nich číslicové řízení. “

2.2 Vrtání

Vrtání je třískové obrábění, kde hlavní pohyb je rotační a zpravidla ho koná nástroj (vrták), méně často obrobek. Podle literatury [7] je osa vrtáku zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Vedlejší pohyb posuvný, ve směru své osy, koná nástroj (vrták).

Charakteristickou vlastností všech nástrojů na díry je, že řezná rychlost se podél hlavního ostří, ve směru k ose nástroje, zmenšuje. V ose dosahuje přímo nulové hodnoty. Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na jmenovitém průměru nástroje. Hodnoty řezné rychlosti v_c, posuvové rychlosti v_f a rychlosti řezného pohybu v_e, se vyjádří na základě vztahů [7]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}\ [m \cdot min^{-1}] \tag{2.1}$$

$$v_f = f \cdot n\ [mm \cdot min^{-1}] \tag{2.2}$$

$$v_e = \sqrt{{v_c}^2 + {v_f}^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2}[m \cdot min^{-1}] \tag{2.3}$$

Kde: D [mm] je průměr obráběné díry,

n [min^{-1}] jsou otáčky nástroje (případně obrobku),

f [mm] je posuv nástroje na jednu otáčku.

2.2.1 Nástroje

Dle druhu a technologie vrtání, konstrukce a geometrie nástroje lze vrtáky dělit do několika hlavních skupin [7]:

- středicí vrtáky (středící důlky, navrtání důlků před vrtáním),
- šroubovité vrtáky (nejpoužívanější),
- kopinaté vrtáky – ploché (nejstarší, nejjednodušší),
- vrtáky s vyměnitelnou špičkou neboli korunkou,
- stupňovité – sdružené (vrtání osazených děr, zahloubení),
- dělové – hlavňové (hluboké díry D/l >1/10),
- vrtací hlavy (díry velkých průměrů),
- vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (velké řezné rychlosti).

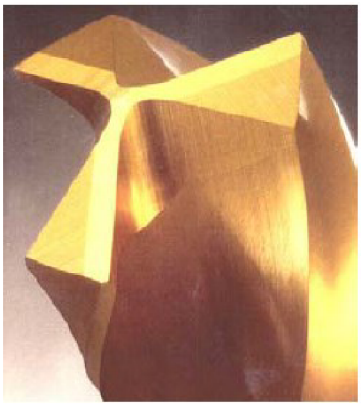
Šroubovité vrtáky

Nejčastěji se jedná o dvoubřité nástroje, se šroubovitými drážkami, které slouží pro odvod třísek a přívod chladicí kapaliny. Nejčastěji používaný vrták pro vrtání krátkých děr. Dvě hlavní ostří vrtáku jsou spojena příčným ostřím, které materiál neodebírá, ale pěchuje, protože je zde nulová řezná rychlost. Na obr. 2.4 lze vidět dvoubřitý šroubovitý vrták a na obr. 2.5 méně častý tříbřitý šroubovitý vrták [7]. Příklad řezných parametrů pro ocel u dvoubřitého vrtáku firmy Kennametal průměru 10 mm je uveden v tab. 2.1.

Obr. 2.5 Monolitní SK vrták firmy Gühring s povlakem TiN [7].

Tab. 2.1 Řezné parametry pro šroubovitý vrták [9].

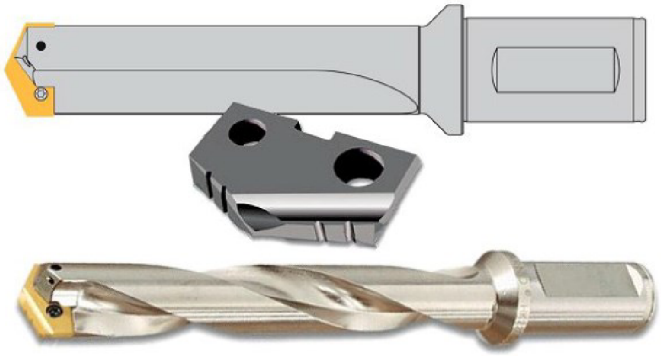
v_c $[m \cdot min^{-1}]$	f [mm]	Ra [μm]	přesnost IT
70 – 150	0,09 – 0,35	6,3	9 – 10



Obr. 2.5 Tříbřitý šroubovitý vrták [7].

Kopinaté vrtáky

Jedná se o nejstarší dvoubřité nástroje. Mají špatný odvod třísky z místa řezu, ale zato vysokou tuhost a umožňují vrtat díry o průměru 10 až 128 mm bez předchozího navrtávání. Do poměru délky k průměru L/D = 3/1. Většina současných kopinatých vrtáků umožňuje vnitřní přívod řezné kapaliny. Vyměnitelné břitové destičky mají speciální tvar a jsou nejčastěji vyrobené z rychlořezných ocelí, nebo slinutých karbidů. Příklad provedení kopinatého vrtáku lze vidět na obr. 2.6 [7]. Příklad řezných parametrů pro ocel u kopinatého vrtáku firmy Kennametal průměru 10 mm je uveden v tab. 2.2.



Obr. 2.6 Kopinaté vrtáky SHARK-Drill německé firmy Arno [8].

Tab. 2.2 Řezné parametry pro kopinatý vrták [9].

v_c $[m \cdot min^{-1}]$	f [mm]	Ra [μm]	přesnost IT
55 – 65	0,13	6,3	10

Vrtáky s vyměnitelnou špičkou neboli korunkou

Vyrábí se ve dvou základních konstrukčních provedení. Se špičkou ve formě řezné destičky, nebo hlavice. V některých případech umožňují centrální přívod řezné kapaliny přímo do místa řezu. Korunky (destičky i hlavice) jsou vesměs vyráběny ze slinutých karbidů (často povlakovaných). Podle požadavku technologické operace a podle obráběného materiálu se liší geometrie hlavice. Na obr. 2.7 jsou uvedeny vrtáky s vyměnitelnou korunkou od firmy Kennametal. Příklad řezných parametrů pro ocel u vrtáku s výměnnou korunkou firmy Kennametal průměru 10 mm je uveden v tab. 2.3.

Obr. 2.7 Vrtáky s výměnnou korunkou firmy Kennametal [9].

Tab. 2.3 Řezné parametry pro vrták s výměnnou korunkou [9].

v_c $[m \cdot min^{-1}]$	f [mm]	Ra [μm]	přesnost IT
90 – 180	0,14 – 0,26	3,2	9 – 11

Vrtáky s výměnnými břitovými destičkami

Tyto vrtáky mají upnuto v tělese držáku několik břitových destiček vyrobených ze slinutých karbidů. Tyto destičky jsou upnuty pomocí šroubů se zápustnou hlavou. Jelikož se řezná rychlost směrem k ose vrtáku snižuje a na obvodu je vyšší, bývají obvodové destičky vyrobeny z materiálů s vyšší odolností proti opotřebení (povlakovaný SK). Díky

tomu je trvanlivost destiček poměrně stejná a po jejich opotřebení se mění všechny destičky na nástroji zároveň.

Tvary břitových destiček se poměrně liší podle pracovních podmínek. Běžně bývají tyto vrtáky vybaveny centrálním přívodem řezné kapaliny. Příklad vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami lze vidět na obr. 2.8. Příklad řezných parametrů pro ocel u vrtáku s výměnnými břitovými destičkami firmy Kennametal průměru 12 mm je uveden v tab. 2.4.

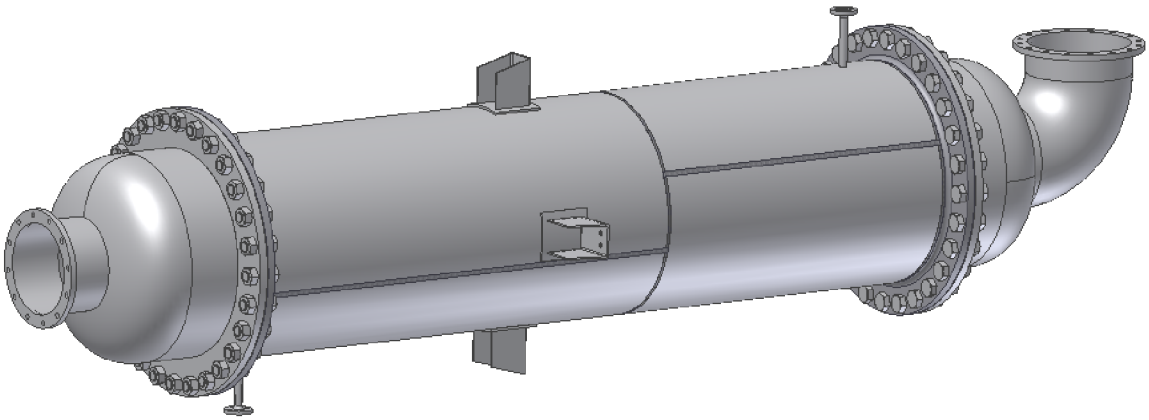
Obr. 2.8 Vrták s výměnnými břitovými destičkami Kennametal [9].

Tab. 2.4 Řezné parametry pro vrták s VBD [9].

v_c $[m \cdot min^{-1}]$	f [mm]	Ra [μm]	přesnost IT
310 – 360	0,16 – 0,3	3,2 – 12,5	9-11

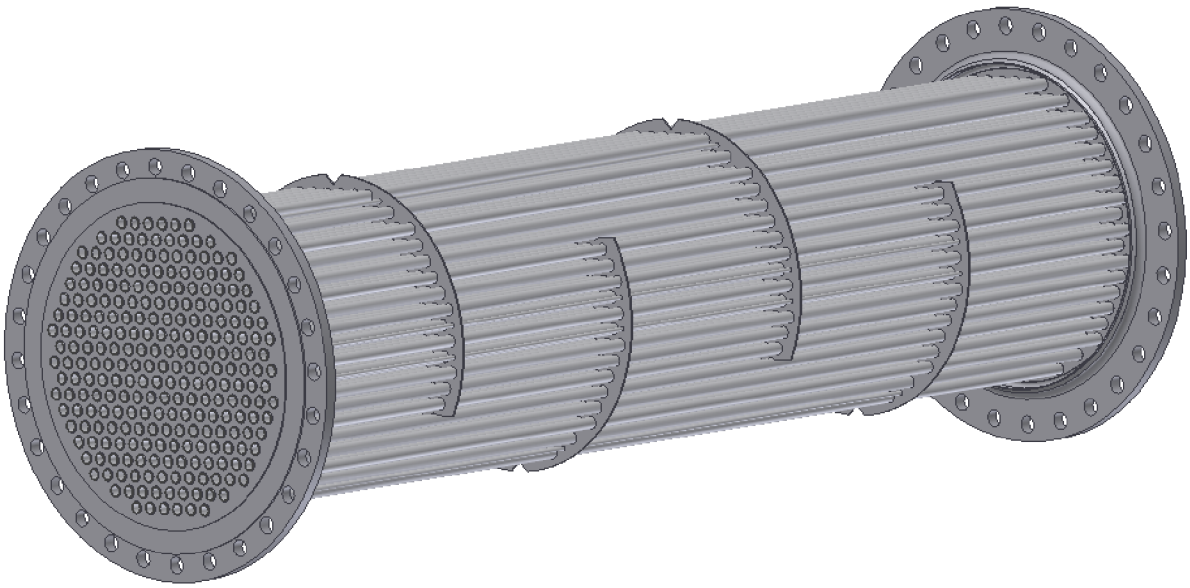
3 TVORBA 3D MODELU TRUBKOVNICE

Pomocí parametrického programu Autodesk Inventor 2010 byl vytvořen 3D model celého tepelného výměníku viz obr. 3.1, v kterém se nachází daná trubkovnice. Tepelný výměník byl vytvořen na základě návrhového výkresu, který se nachází pod přílohou č. 1. Z modelů trubkovnic a trubkových přepážek byla zpětně vytvořena potřebná výkresová dokumentace.



Obr. 3.1 Model tepelného výměníku.

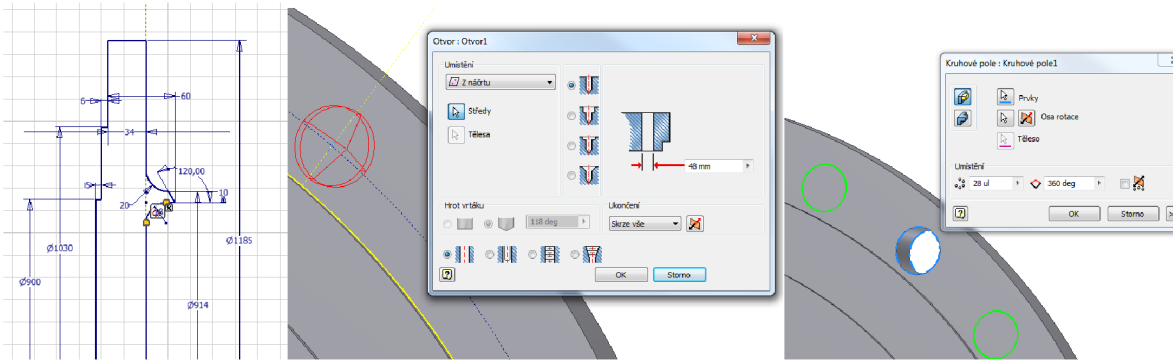
Jak je již z obrázku patrné, jedná se o plášťový výměník s rovnými trubkami, který byl popsán v kapitole 1.1.2. Tento výměník je navržen do provozu, kde ochlazované medium jsou spaliny o maximální teplotě 250 °C při atmosférickém tlaku. Chladicí medium je voda o maximální teplotě 170 °C a nejvyšším pracovním tlaku 11 barů. Obrázek samotného trubkového svazku bez opláštění a okolních přírub lze vidět na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Trubkový svazek.

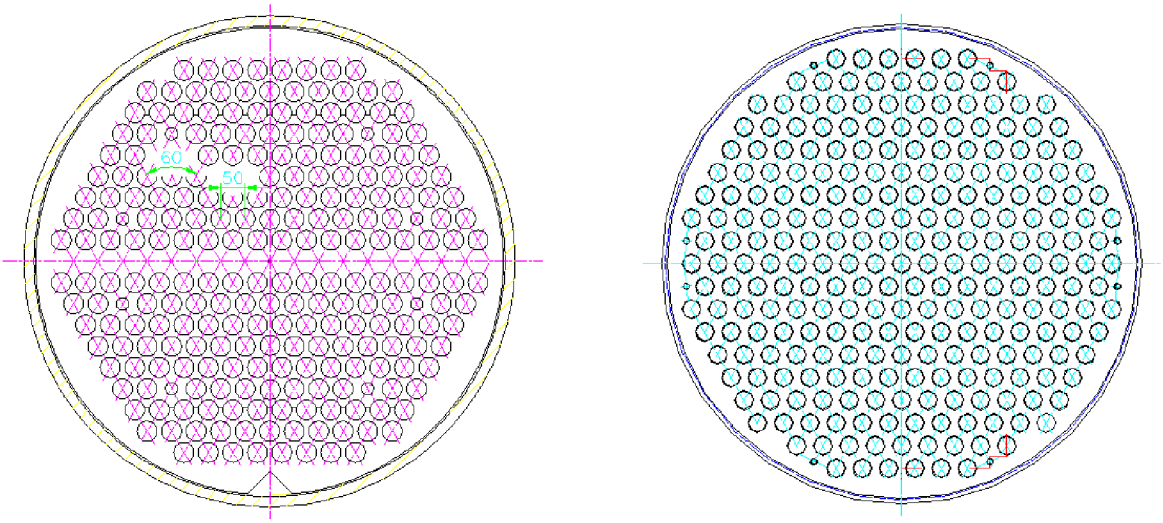
3.1 Trubkovnice

Základní profil trubkovnice byl vytvořen pomocí běžně používané funkce „Rotace“. Následně byla vytvořena díra průměru 48 mm pomocí funkce „Otvor“, která byla pomocí funkce „Kruhové pole“ rozkopírována po vnějším průměru. Výřezy těchto operací lze vidět na obr. 3.3.



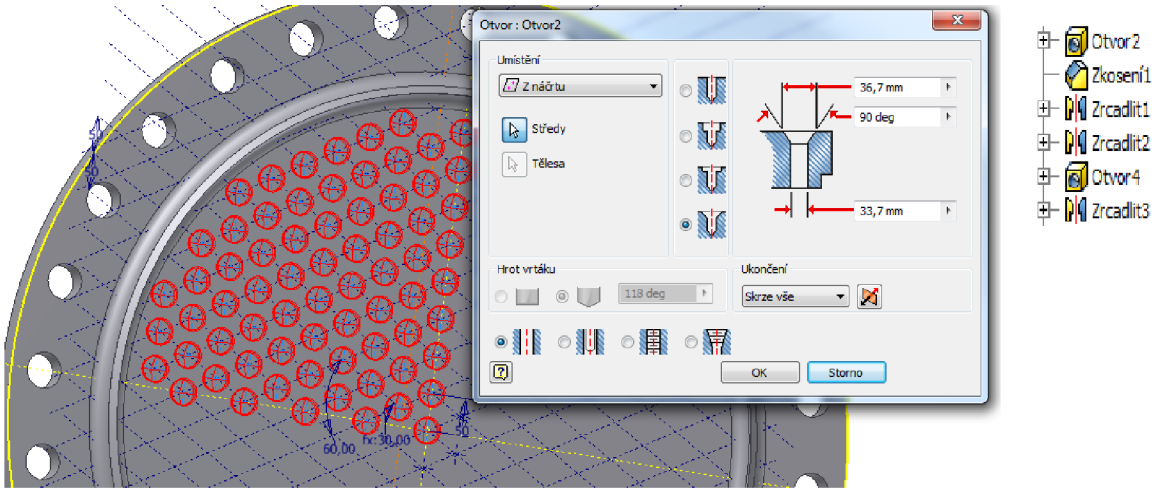
Obr. 3.3 Základní profil trubkovnice.

Dále byl řešen problém s rozvržením požadovaných 253 děr v trubkovnici. Původní rozvržení děr nebylo možné realizovat, protože se nevlezlo do daných rozměrů. Proto bylo rozvržení částečně upraveno, avšak při zachování stejných roztečí a velikostí děr. Rozdíl mezi původním rozvržením (vlevo) a stávajícím rozvržením (vpravo) lze vidět na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Rozmístění otvorů.

Následně bylo vymodelováno pole 253 děr. V odpovídajícím náčrtu bylo v 1/4 plochy kruhu vytvořeno pole přímek dodržující vzájemný úhel 60° a rozteče 50 mm. V průsečících těchto konstrukčních přímek byly umístěny body, podle rozvržení viz obr. 3.4. Následně byla vyvolána funkce „Otvor“ a z těchto bodů vytvořeny díry průměru 33,7 mm. Z druhé strany bylo doděláno zkosení. Následně byla tato hotová 1/4 pomocí funkce „Zrcadlit“ dvakrát rozkopírována do zbývajících 3/4 plochy trubkovnice. Postup této části modelování je zobrazen na obr. 3.5. Stejným postupem byly vytvořeny otvory, o 1 mm větší do hloubky 5 mm v promítnutých bodech již vytvořených otvorů, sloužící jako uvolnění díry.

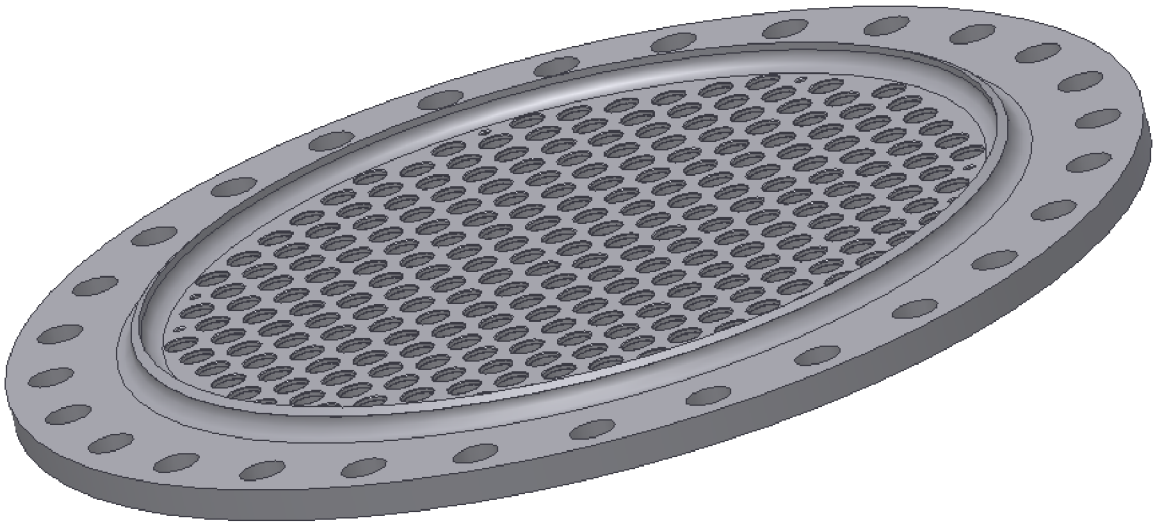


Obr. 3.5 Modelování 253 otvorů.

V závěru byly vymodelovány otvory pro distanční tyče se závity. Použilo se opět základní funkce „Otvor“ vycházející z bodů určených v náčrtu a také funkce „Zrcadlit“.

Druhá trubkovnice byla vytvořena stejným způsobem. Jediný rozdíl je v základním náčrtu pro rotaci. Druhá trubkovnice je totiž opatřena vybráním u líce pro svár. Toto vybrání je zde za účelem uvolnění napětí vznikající v celém tepelném výměníku z důvodu rozdílných teplot obou médií.

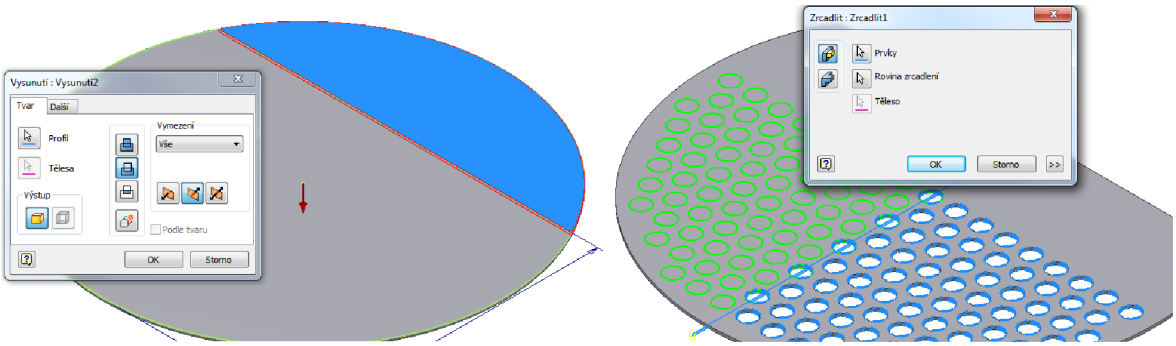
Konečný model trubkovnice lze vidět na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Model trubkovnice.

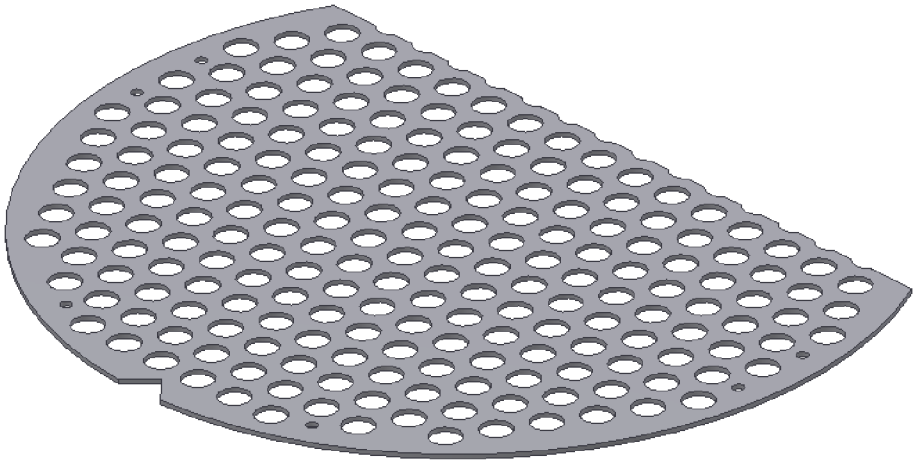
3.2 Přepážka

Základní tvar přepážky byl vytvořen pomocí, asi nejpoužívanější, funkce „Vysunutí“. Prvně byl vysunut základní kruh a následně oříznut na danou šířku přepážky. Otvory pro trubky v přepážce byly vymodelovány naprosto stejným postupem jako u trubkovnice. Prvně 1/4 plochy otvorů a ta následně dvakrát rozkopírována. Stejně tak otvory pro distanční tyče. Výřezy z některých prvků modelování přepážky lze vidět na obr. 3.7.



Obr. 3.7 Modelování přepážky.

Model celé přepážky lze vidět na obr. 3.8.

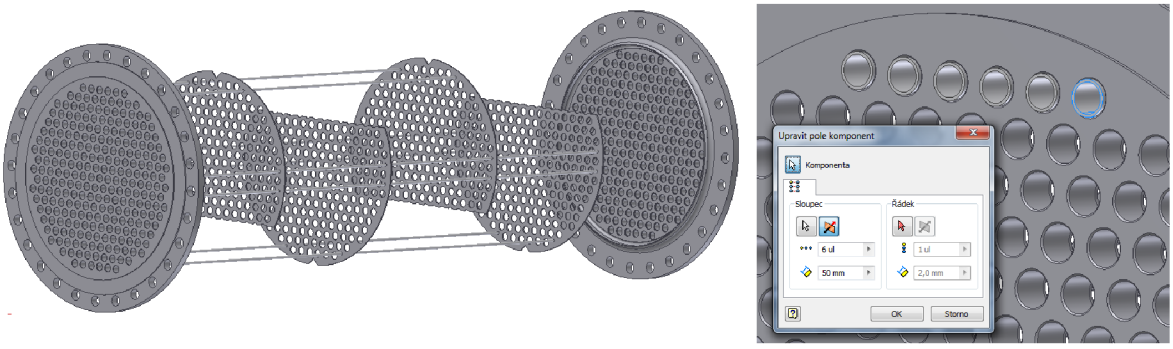


Obr. 3.8 Model přepážky.

3.3 Sestava trubkového svazku

Z pěti součástí: trubkovnice 1, trubkovnice 2, přepážka, trubka Ø 33,7 mm a distanční tyče, byla vytvořena sestava trubkového svazku, viz obr. 3.2.

V počátku byl sestaven základní tvar pouze z obou trubkovnic a distančních tyčí. Následně byly rozmístěny 4 přepážky rovnoměrně vzdálené od sebe. V závěru byly umístěny trubky Ø 33,7 mm a funkcí obdélníkové pole rozkopírovány do odpovídajících otvorů v trubkovnici. Výřez těchto operací lze vidět na obr. 3.9.

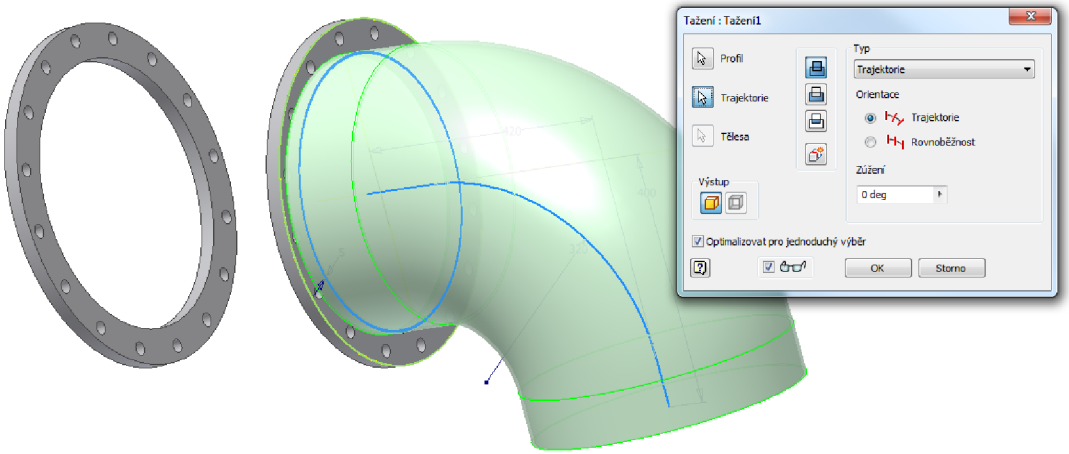


Obr. 3.9 Části sestavy trubkovnice.

3.4 Sestava tepelného výměníku

Zbylé součásti celého tepelného výměníku byly vymodelovány částečně dle dostupných informací z návrhového výkresu a částečně domyšleny. K modelování přírub bylo využito katalogu firmy APD [10], odkud byly převzaty všechny potřebné rozměry. Při modelování šroubů a matic M45 pro spoj víko/trubkovnice bylo využito Strojnických tabulek [11].

Zde je uveden příklad modelování dalších částí výměníku. Na obr. 3.10 je příklad modelování příruby pro výstup spalin, kde bylo využito funkce „Tažení“.



Obr. 3.10 Příruba-výstup spalin.

4 NÁVRH DÍLENSKÉHO POSTUPU PRO OPRACOVÁNÍ TRUBKOVNICE A PŘEPÁŽEK

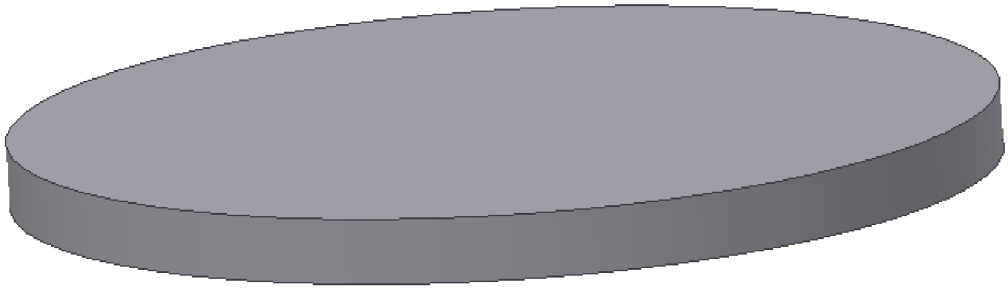
V této kapitole se pojednává o návrhu způsobu výroby trubkovnice a trubkových přepážek v po sobě navazujících operacích. Nejsou zde uvedeny přesné technologické návodky s výpočty strojních časů apod.

4.1 Návrh výroby Trubkovnice 1

Pří návrhu výroby Trubkovnice 1 se vycházelo z výkresu, který lze vidět pod přílohou č. 2. Celý návrh je sepsán do technologického postupu, který se nachází pod přílohou č. 3.

4.1.1 Volba polotovaru

Jako polotovar, viz obr. 4.1, byl zvolen kruhový výpalek průměru 1200 mm o tloušťce 80 mm. Materiál polotovaru je uhlíková ocel dle ČSN 11 418, podle EN 10028-2 je označení P265GH. Podle dodavatele Ferona a.s.[12] se jedná o nelegovanou ocel, jakostní, pro tlakové nádoby. Má zaručené vlastnosti při vyšších teplotách. Dále se požívá na tyče pro tlakové nádoby, které jsou válcované za tepla. Vhodná pro svařování běžně používanými postupy. Čím vyšší je průřez a pevnost výrobku, tím více se vyskytují trhliny za studena. Chemické vlastnosti materiálu viz tab. 4.1. Mechanické vlastnosti viz tab. 4.2 [13].



Obr. 4.1 Polotovar trubkovnice.

Tab. 4.1 Chemické vlastnosti materiálu 11 418 [13].

Označení mat.		Prvky [%]							
EN 10028-2	ČSN	C	Si	Mn	P	S	$Al_{celk.}$	Cr	Mo
P265GH	11 418	max.0,2	0,40	0,5-1,4	0,03	0,025	min.0,02	max.0,30	max.0,08

Tab. 4.2 Mechanické vlastnosti materiálu 11 418 [13].

Označení mat.				
EN 10028-2	ČSN	Mez kluzu R_{eH}	Pevnost v tahu R_m	Tažnost
P265GH	11 418	260 MPa	460-580 MPa	21 %

4.1.2 Návrh obráběcích operací

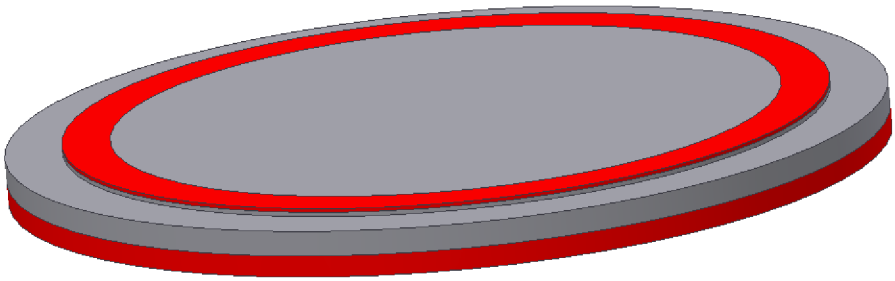
Pro výrobu trubkovnice bylo užito základních obráběcích operací jako je soustružení a vrtání. Jako doplňující část výroby bylo užito i svařování.

1) <u>Soustružnické pracoviště</u>

Protože se jedná o součást velkého průměru, byl pro soustružnickou operaci vybrán stroj karusel. Popis tohoto stroje bylo možno vidět v kapitole 2.1.1. Na tomto pracovišti bude polotovar částečně soustružen na hotovo, jak je popsáno v následujících krocích, nástrojem T1.

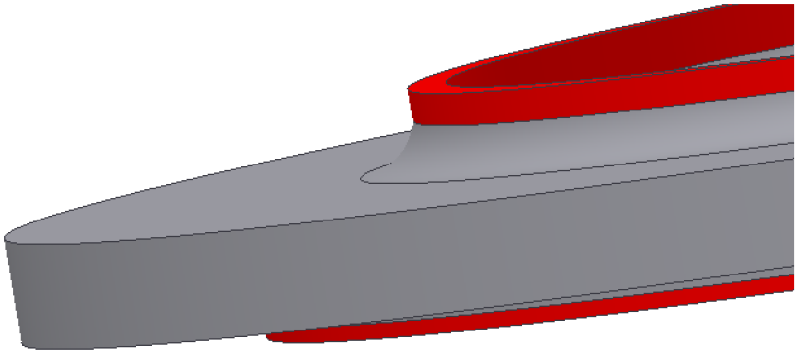
- Zarovnat čelo na celkovou délku 77 mm,
- soustružit Ø 1185 mm na hotovo v délce 46 mm,
- soustružit Ø 1030 mm v délce 11 mm,
- soustružit Ø 900 mm v délce 2 mm.

Na těsnící ploše se nechá přídavek 3 mm, který je opracován až po všech svářečských operacích na trubkovnici, viz obr. 4.2 (Červeně jsou znázorněny plochy, které se budou dále opracovávat.)



Obr. 4.2 Trubkovnice, 1. operace.

- Otočit součást.
- Zarovnat čelo na celkovou délku 74 mm. Ze strany trubkového svazku se nechá přídavek 3 mm.
- Soustružit s přídavkem 3 mm na vnitřním a vnějším průměru líce, viz obr. 4.3. Tento přídavek bude soustružen až po skružení pláště a zjištění skutečného průměru. Zároveň se předejde poškození úkosu při manipulaci s trubkovnicí mezi jednotlivými operacemi.



Obr. 4.3 Trubkovnice, 2. operace.

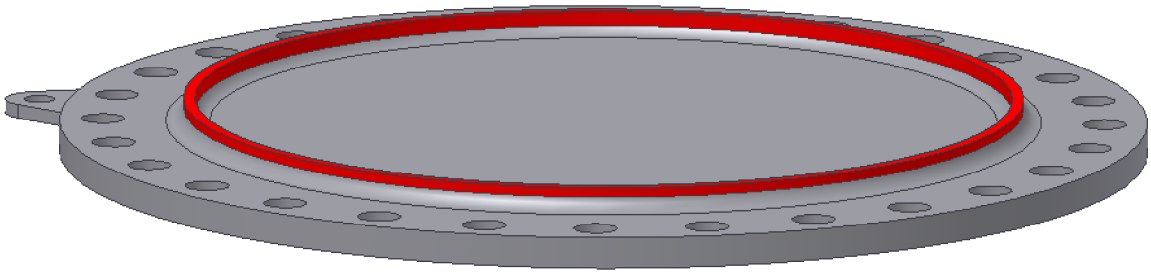
2) <u>Svařovna</u>

Zde je navařeno manipulační oko, které se upálí a zabrousí až po sestavení celého tepelného výměníku. Viz obr. 4.4 vlevo.

3) <u>NC vrtačka</u>

V této operaci budou vrtány přírubové otvory pro šrouby, Ø 48 mm. Viz obr. 4.4. Dále se zde nechají narýsovat osy pro lepší přehlednost a návaznost v následujících operacích.

- Vrtat díru Ø 48 mm - 28x. Na roztečné kružnice Ø1090 mm, po celých 360°. Nástroj T2.



Obr. 4.4 Trubkovnice, 3. operace.

- Výpočet otáček vrtáku odvozený z rovnice 2.1:

$$n = \frac{v_c . 1000}{\pi . D} \tag{4.1}$$

kde: v_c [m. min^{-1}] - řezná rychlost,

D [mm] - průměr vrtáku,

n [min^{-1}] - otáčky vrtáku.

$$n = \frac{310.1000}{\pi . 48}$$

$$n = 2056\ min^{-1}$$

4) <u>NC/CNC vrtačka</u>

Podle 3D modelu bude následovat vrtání pole děr o Ø 33,7 mm. Před samotným vrtáním se nechá program odjet do hloubky 1 mm, kdy se zkontroluje, jestli v programu nenastala nějaká chyba. Po kontrole a schválení se spustí samotný program.

- Vrtat Ø 33,7 mm do plna, za vnitřního přívodu řezné kapaliny. Vrtat po řádcích 253x . Nástroj T3.

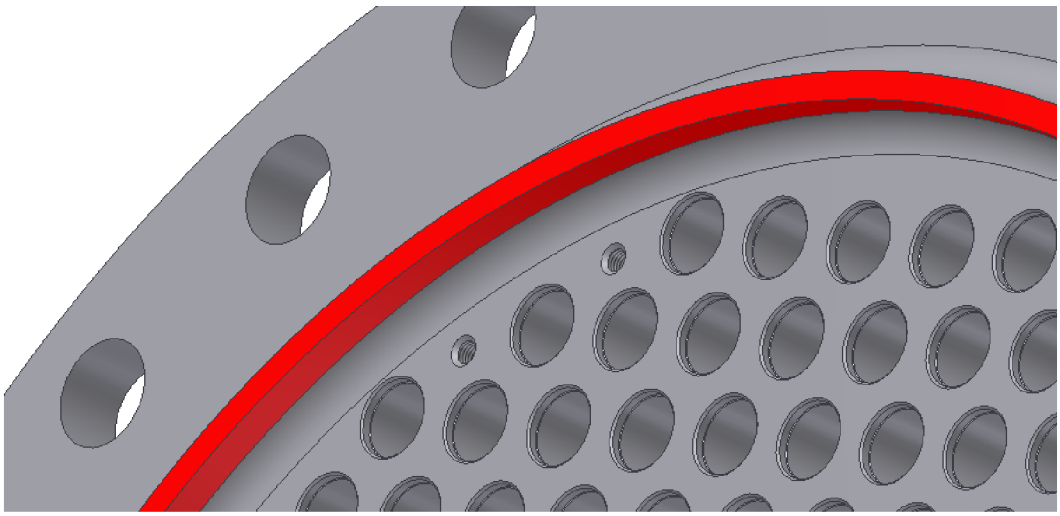
- Dle předchozích souřadnic děr soustružit díry vnitřním nožem na Ø 34,7 mm, v hloubce 5 mm - 253x. Nástroj T3.

Dále bude následovat vrtání otvorů a řezání závitů M12 pro distanční tyče.

- Vrtat díru Ø 10,2 mm do hloubky 20 mm po roztečné kružnici Ø 825 mm. Počet děr 8. Nástroj T5.

- Řezat závit M12 do hloubky 15 mm do předchozích děr. Nástroj T6.

Tyto hotové operace lze částečně vidět na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Trubkovnice, 4. operace.

Výpočet otáček vrtáku: Podle rovnice (4.1)

$$n_{33,7} = \frac{110.1000}{\pi.33,7} \cong 1039\ min^{-1}$$

$$n_{34,7} = \frac{120.1000}{\pi.34,7} \cong 1101\ min^{-1}$$

$$n_{10,2} = \frac{100.1000}{\pi.10,2} \cong 3121\ min^{-1}$$

5) <u>Otočná vrtačka VO50</u>

Zde se srazí hrany z obou stran nástrojem T7.

- srazit vnitřní hrany 1x45° mm, 253x,

- otočit,

- srazit hrany 1,5x45° mm, 253x.

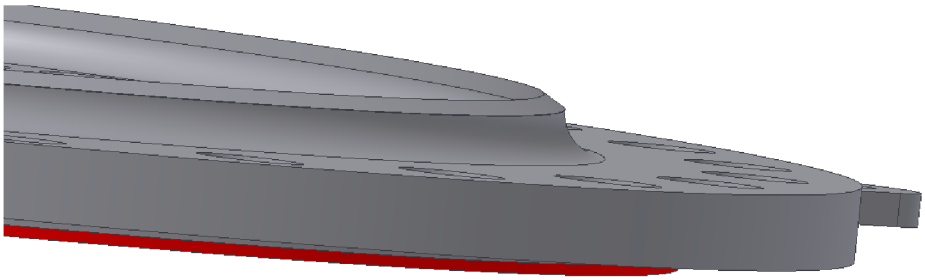
6) <u>Pracoviště kontroly</u>

Na pracovišti kontroly proběhne kontrola trubkového svazku, jak z hlediska tolerancí geometrických, tak rozměrových.

7) **Soustružnické pracoviště**

V poslední operaci bude osoustružen líc s úkosem, podle rozměrů skruženého pláště, viz obr. 4.6. Výkresově odpovídá vnitřní průměr 894 mm.

- Soustružit úkos na hotovo.



Obr. 4.6 Trubkovnice, 5. Operace.

4.1.3 Nástrojový list

V tab. 4.1 je uveden seznam použitých nástrojů pro obrábění trubkovnice pomocí soustružnických operací. V tab. 4.2 jsou uvedeny nástroje pro obrábění trubkovnice, pomocí vrtacích operací.

Tab. 4.1 Nástrojový list pro soustružnické operace na trubkovnici.

VUT FSI BRNO		Nástrojový list				1.4.2014	
Vyhotovil: Poduška Libor		Stroj:	Karusel				
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	vc[m/min] f [mm]	Materiál	Viděno v
T1		Nůž vnější Těžké hrubování	Pramet tools	PCLNR/L 3232 P19 CNMG 190612E-R	195 0,25-0,4	6640	[14]

Tab. 4.2 Nástrojový list pro vrtací operace na trubkovnici.

VUT FSI BRNO		Nástrojový list				1.4.2014	
Vyhotovil: Poduška Libor		Stroj:	Vrtačka				
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	vc[m/min] f [mm]	Materiál	Viděno v
T2		Vrták s VBD	Kennametal	DFS480R2WD40M SPPX15T512HP DFT070408GD	310-360 325 0,18-0,3	KCPK10	[9]
T3		Vrták s výměnnou korunkou	Kennametal	KSEM3370HPGM KC 7315	75-140 110 0,29-0,66	SK s povlakem PVD-TiAlN	[9]
T4		Vrtací nůž/tyč	Pramet tools	A 042 016 S08F SCLCR 06-B destička CCMT 060204E-RF	115-150 fz0,05-0,15	6640	[14]
T5		Šroubovitý vrták	Kennametal	B221A10200HP KCPK 15	70-150 110 0,09-0,35	SK	[9]
T6		Závitník M12	Kennametal	T331M120X175R6HX KC7542 T630_KP6525	50-90 70 -	HSS-S-MP	[9]
T7		Záhlubník kuželový 90°	Stimzet	ZVSE 221626 DIN 335 D (ISO 3293) C269040F000S	22-26 0,5	HSS	[15]

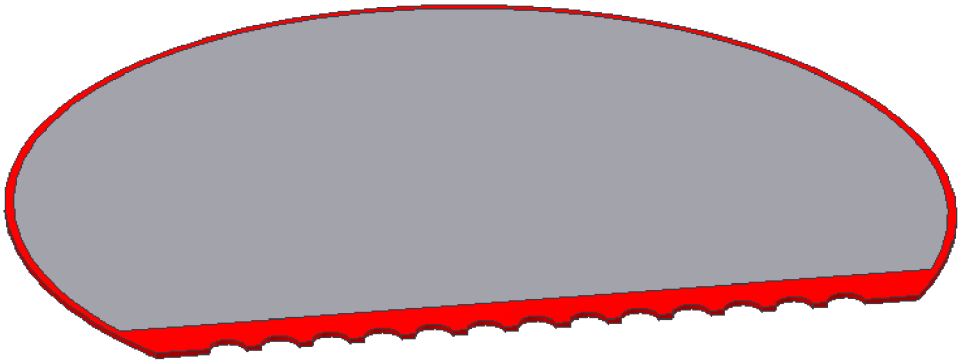
Trubkovnice 2 má prakticky stejný výrobní postup. Rozdíl je pouze ve dvou detailech při soustružení základního tvaru. Dále v tom, že není potřeba vrtat otvory se závity M12. Výkres Trubkovnice 2 se nachází pod přílohou č. 4.

4.2 Návrh výroby Přepážek

Při návrhu výroby Přepážek se vycházelo z výkresu, který se nachází pod přílohou č. 5. Celý návrh výroby přepážek byl sepsán do technologického postupu, který lze vidět pod přílohou č. 6.

4.2.1 Volba polotovaru

Jako polotovar, viz obr. 4.7, byl zvolen kruhový výpalek Ø 905 mm z plechu tloušťky 5 mm. Výpalek byl dále upálen na šířku 712,3 mm. Zároveň do něj byly vypáleny půlkruhy se středy v těch bodech, které odpovídají síti otvorů přepážky. Poloměr kruhu je 18,2 mm, tedy o 1 mm větší než poloměr následně vrtaných otvorů. Materiál polotovaru i dodavatel je stejný jako u Trubkovnice 1 viz kapitola 4.1.



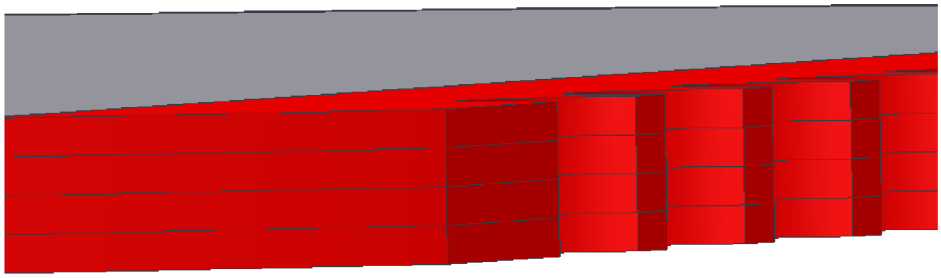
Obr. 4.7 Polotovar Přepážky.

4.2.2 Návrh obráběcích operací

Pro výrobu trubkových přepážek bylo užito základních obráběcích operací, jako je soustružení, vrtání a frézování. V celém trubkovém svazku se nachází 4 trubkové přepážky, které se budou vyrábět společně, závisle na sobě. Postup je popsán následovně.

1) **<u>Svařovna</u>**

V první řadě se všechny 4 polotovary pro výrobu trubkových přepážek naskládají na sebe, viz obr. 4.8. Po pečlivém srovnání se k sobě na vnějším průměru 5x svaří.



Obr. 4.8 Svazek polotovarů.

2) <u>NC vrtačka</u>

Podle 3D modelu bude následovat vrtání pole děr o Ø 33,5 mm. Před samotným vrtáním se nechá program odjet do hloubky 1 mm, kdy se zkontroluje, jestli v programu nenastala nějaká chyba. Po kontrole a schválení se spustí samotný program.

- Vrtat Ø 33,5 mm do plna s výplachem v celé hloubce. Vrtat po řádcích 213x. Nástroj T8.

Dle uvážení by se po dvou, až třech řádcích, v několika vyvrtaných dírách měl celý svazek stáhnout šrouby M20, aby nedocházelo k prohýbání a deformaci plechu vlivem axiálních sil vznikajících při vrtání.

Výpočet otáček vrtáku: Podle rovnice (4.1)

$$n_{33,5} = \frac{310.1000}{\pi.33,5} \cong 2946\ min^{-1}$$

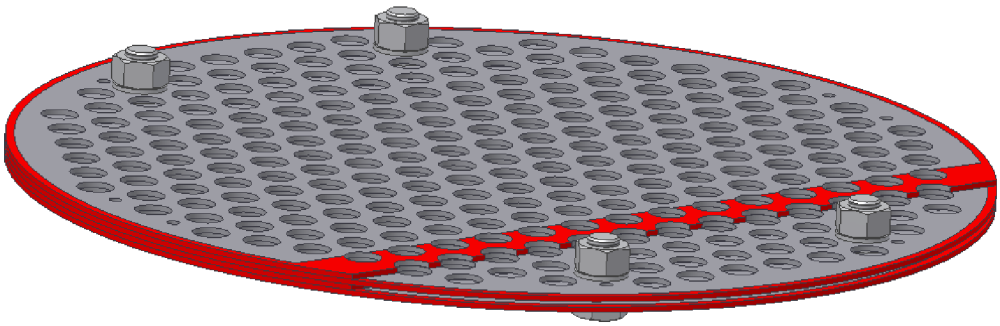
3) <u>Ruční bruska</u>

Dále se v dílně odbrousí svary na vnějším průměru a tím se od sebe přepážky oddělí.

4) <u>NC vrtačka</u>

Po předchozím předvrtání se přepážky poskládají na sebe tak, jak po sobě následují v trubkovém svazku, viz obr. 4.10. Sešroubují se přes předvrtané díry ve vhodných bodech. Označí se čísly, aby nedošlo k záměně při montáži. Následně budou díry obráběny na hotovo.

- Hrubovat Ø 34,6 mm po řádcích, 249x. Nástroj T9,
- přehodit šrouby do hotových děr,
- hrubovat Ø 34,6 mm, počet 4x. Nástroj T9,
- vrtat Ø 13 mm, počet 8x. Nástroj T10.



Obr. 4.9 Přepážky vyvrtané.

Výpočet otáček vrtáku: Podle rovnice (4.1)

$$n_{34,6} = \frac{26.1000}{\pi.34,6} = 239\ min^{-1}$$

$$n_{13} = \frac{80.1000}{\pi.13} \cong 1959 min^{-1}$$

5) <u>Soustružnické pracoviště</u>

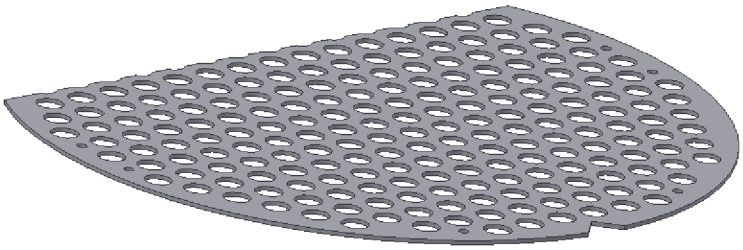
V další operaci se celý svazek 4 přepážek osoustruží na průměr o 5 mm menší, než vnitřní průměr skruženého pláště.

Pomocí čtyř souosých děr se chytne střed přepážek.

- Soustružit na Ø 889 mm dle výkresu, v celé délce. Nástroj T1.

6) <u>Horizontální frézka</u>

V závěru budou všechny 4 přepážky zarovnány na šířku 650 mm a vyfrézována drážka tvaru V viz obr. 4.11.



Obr. 4.10 Přepážka hotová.

4.2.3 Nástrojový list

V tab. 4.3 a 4.4 jsou uvedeny nástroje vhodné pro použití při obrábění trubkových přepážek pomocí uvedeného návrhu výroby.

Tab. 4.3 Nástrojový list pro vrtací operace na přepážkách.

VUT FSI BRNO		Nástrojový list				1.4.2014	
Vyhotovil: Poduška Libor	Stroj:	Vrtačka					
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	vc[m/min] f [mm]	Materiál	Viděno v
T8		Vrták s VBD	Kennametal	DFS330R2WD32M SPPX120408FP DFT06T304GD	310-360 325 0,16-0,3	KCPK10	[9]
T9		Výhrubník	Stimzet	B143460F000S/ ČSN 221414 držák: ČSN 241210	22-26 0,5	HSS	[15]
T10		Šroubovitý vrták	Kennametal	B221A13000HP KCPK15	70-150 110 0,12-0,42	SK	[9]

Tab. 4.4 Nástrojový list pro frézovací operace na přepážkách.

VUT FSI BRNO		Nástrojový list				1.4.2014	
Vyhotovil: Poduška Libor	Stroj:	Frézka					
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	vc[m/min] f [mm]	Materiál	Viděno v
T11		Monolitní stopková fréza	Kennametal	UCDE2500A5ASA HARVI II KCPM15	150-200 0,124	SK	[9]

5 ZPRACOVÁNÍ CNC PROGRAMU POMOCÍ DÍLENSKÉHO PROGRAMOVÁNÍ A MODERNÍHO CAM PROGRAMU POWERMILL

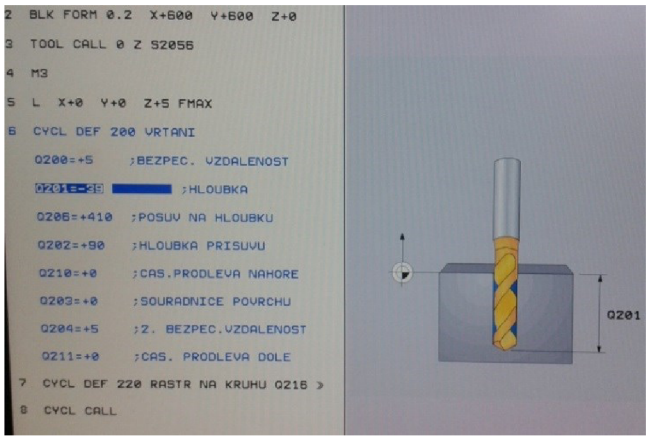
V této kapitole se porovnává výsledný návrh výroby pomocí dílenského programování v řídicím systému Heidenhain iTNC 530 a moderním CAM programu PowerMill. Přesněji se jedná o porovnání výsledných časů vrtacích operací děr Ø 48 mm a Ø 33,7 mm. Dále byla pomocí programu PowerMill navržena kompletní výroba Trubkovnice na tříosé frézce.

5.1 Heidenhain iTNC 530

Ve školní dílně v budově C2 bylo využito tříosé frézky, s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530, pro simulaci vrtání pole děr rozměru Ø 33,7 mm a děr Ø 48 mm.

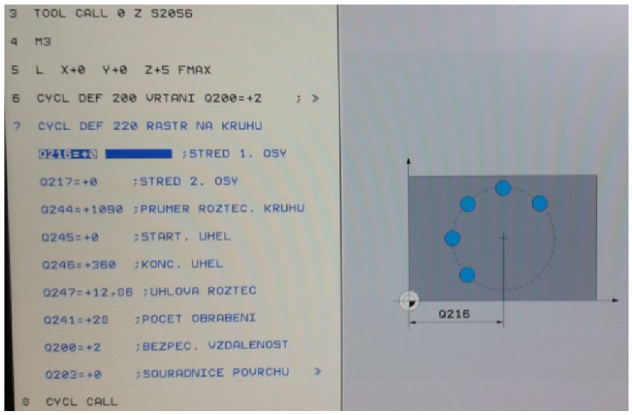
1) Kruhové pole děr Ø 48 mm

Po nastavení základních parametrů jako je polotovar, vyvolání nástroje a nastavení nulového bodu, byl vyvolán cyklus vrtání, kde byly nastaveny parametry vrtání otvoru Ø 48 mm, viz obr. 5.1.



Obr. 5.1 Parametry vrtání Ø 48 mm.

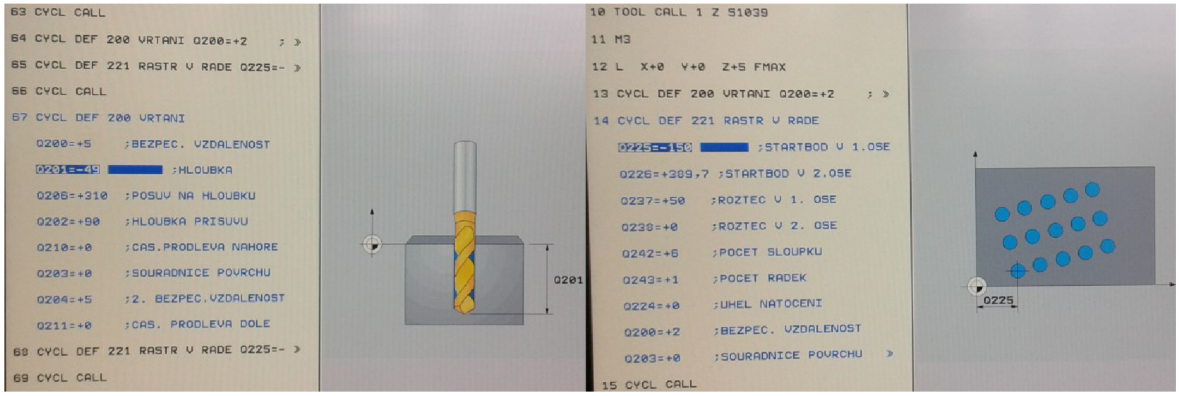
Následně byl vyvolán cyklus kruhové pole, kde byl nastaven střed a průměr roztečné kružnice, počáteční a koncový úhel, úhlová rozteč a počet vrtaných děr. Toto nastavení lze vidět na obr. 5.2. Po té byl program odsimulován a zjištěn čas vrtání 8:34 min.



Obr. 5.2 Cyklus kruhové pole.

2) Pole děr Ø 33,7 mm

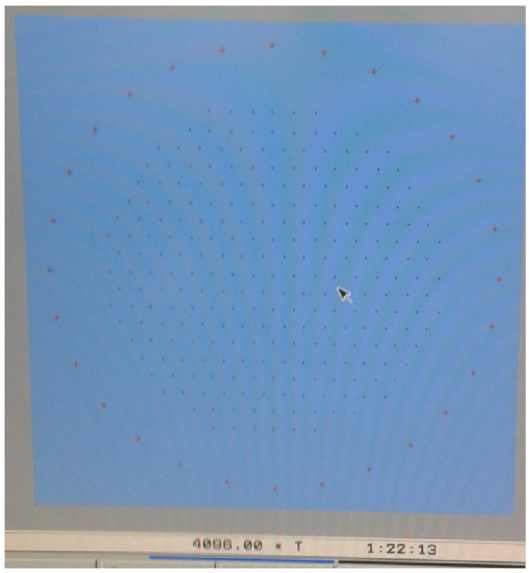
Jako další se vrtalo pole děr Ø 33,7 mm. Postupovalo se obdobně jako u předchozí operace. Byl vyvolán nástroj, a následně cyklus vrtání, kde byly nastaveny parametry, viz obr. 5.3 vlevo. Dále byl vyvolán cyklus obdélníkového pole, viz obr. 5.3 vpravo.



Obr. 5.3 Vrtání Ø 33,7 mm.

V tomto cyklu se nastavoval vždy jeden řádek se souřadnicí počáteční díry, roztečí a počtem děr v řádku. Tento cyklus se dále rozkopíroval do potřebného počtu řádků, vždy se jen upravovala počáteční souřadnice a počet děr v řádku.

Celý program se následně odsimuloval, viz obr. 5.4. Výsledný čas vrtání všech děr je 1 hodina a 22 min. Tudíž vrtání pole 253 děr Ø 33,7 mm je 1 hodina a 13,5 min.



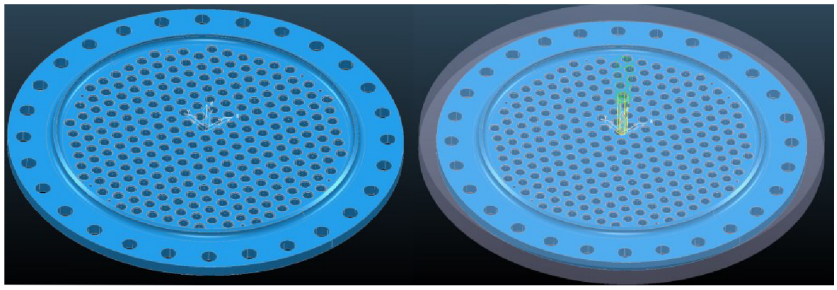
Obr. 5.4 Simulace vrtání.

5.2 Program PowerMill

V programu PowerMill byla navržena kompletní výroba Trubkovnice 1 na tříosé frézce, včetně vrtacích operací, které budou následně porovnány s dílenským programováním.

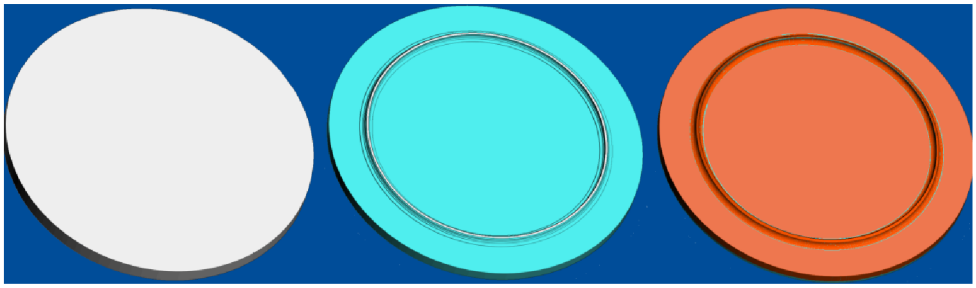
Pomocí programu AutoDesk Inventor 2010 byl vytvořen 3D model Trubkovnice 1. Tento model byl převeden do formátu „step“ a dále do formátu „dgk“, aby ho bylo možné použít jako model pro návrh výroby v programu PowerMill.

Po importu modelu byl spočten a navržen polotovar, který se bude obrábět, viz obr. 5.5



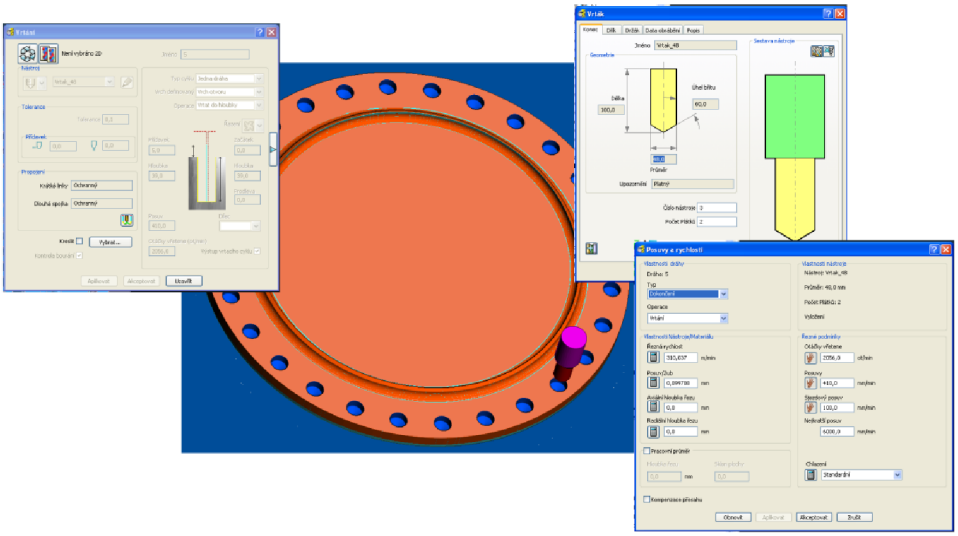
Obr. 5.5 Import modelu s polotovarem.

Nástrojem pro první operaci byla zvolena čelní válcová fréza Ø 100 mm. Tímto nástrojem se vyhrubuje základní tvar ze strany trubkového svazku. Doba této operace je 10,5 hodiny. Jako druhá operace je frézování líce rádiusovou frézou Ø 52 mm s rádiusem 8 mm. Tato operace trvá 4,5 hodiny. Následně se rovné plochy obrobí na hotovo opět čelní válcovou frézou Ø 100 mm. Celková doba těchto operací je 16,5 hodiny. Postup těchto operací lze vidět na obr. 5.6.



Obr. 5.6 Obrobení základního tvaru.

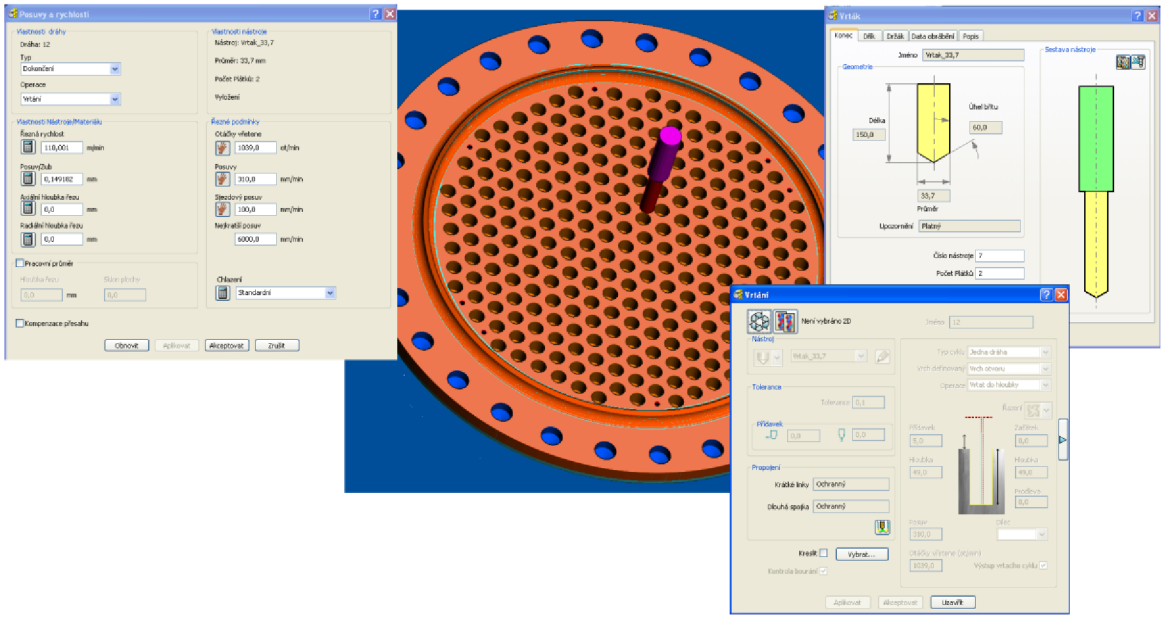
Jako další operace následuje vrtání děr Ø 48 mm. Pro vrtání těchto děr byla vytvořena 2D sada. Dále byl vytvořen nástroj pro vrtání těchto děr a tomuto nástroji byly přiřazeny řezné podmínky. Tyto operace lze vidět na obr. 5.7. V konečné fázi byla vyvolána obráběcí strategie „vrtání“. V této strategii se vybrala již před chystaná 2D sada, nastavil se přídavek na vrtání a hloubka vrtání. Doba vrtání těchto děr je 4 min.



Obr. 5.7 Vrtání Ø 48 mm.

Po vyvrtání obvodových děr pro přírubové šrouby následuje vrtání děr Ø 10,2 mm a řezání závitu M12. Pro tuto operaci byly opět vytvořeny 2D sady a nové nástroje s patřičnými řeznými parametry.

Dále následuje vrtání pole děr Ø 33,7 mm. Postup byl totožný jako u předchozích operací vrtání, viz obr. 5.8. Tato 2D sada je trochu obsáhlejší z pohledu počtu prvků. Přes stejnou 2D sadu se dále provádělo hrubování díry na Ø 34,7 mm a také zahloubení.



Obr. 5.8 Vrtání Ø 33,7 mm.

Čas vrtání 253 otvorů Ø 33,7 mm je 45 min. Vyhrubování do hloubky 5 mm trvalo 19 min. a zahloubení 20 min.

Po kompletním obrobení trubkovnice ze strany trubkového svazku se trubkovnice otočí, přesně ustaví a čelní válcovou frézou Ø 100 mm obrobí zbylé plochy.

Všechny vrtací operace, mimo vrtání děr pro závity, mají nastavenou hloubku vrtání takovou, aby po obrobení ze strany komory byly průchozí.

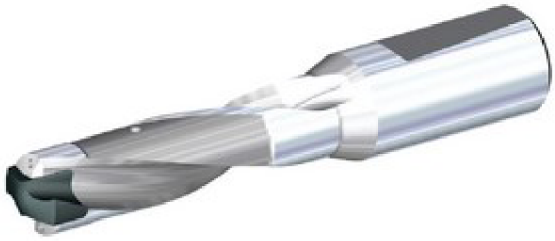
Celkový čas výroby Trubkovnice 1 na tříosé frézce je přibližně 21 hodin.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V následující kapitole je zhodnoceno vrtání děr Ø 33,7 mm a Ø 48 mm, jak z hlediska technického tak i ekonomického.

6.1 Podmínky vrtání Ø 33,7 mm

V této části jsou rozebrány podmínky vrtání pro Ø 33,7 mm, který je funkčně nejdůležitější na součásti trubkovnice. Pro vrtání těchto děr byl vybrán vrták s výměnnou korunkou od firmy Kennametal. Tímto vrtákem lze vyvrtat otvor v požadované toleranci IT9-IT11 i drsnosti povrchu Ra = 3,2 µm. Při použití např. dělového vrtáku by se dosáhlo ještě jemnější struktury povrchu, která je v tomto případě nežádoucí. Použitý vrták lze vidět na obr. 6.1. Vrtání se bude provádět s vnitřním přívodem prosesní kapaliny.



Obr. 6.1 Vrták KSEM3370HPGM [9].

6.1.1 Výpočet řezných podmínek

Parametry vrtáku jsou uvedeny v tabulce 6.1.

Tab. 6.1 Řezné parametry vrtáku KSEM3370HPGM [9].

v_c $[m \cdot min^{-1}]$	f $[mm]$
70 – 140	0,29 – 0,66
110	0,3

Otáčky vrtáku podle vztahu 4.1

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \; [min^{-1}] \tag{4.1}$$

kde: v_c [m. min^{-1}] - řezná rychlost,

D [mm] - průměr vrtáku.

$$n = \frac{110 \cdot 1000}{\pi \cdot 33{,}7} = 1038{,}9 \cong 1039 \; min^{-1}$$

Posuvová rychlost podle vztahu 2.2

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} [m \cdot min^{-1}] \tag{2.2}$$

kde: n $[min^{-1}]$ - otáčky,

f [mm] - posuv na otáčku.

$$v_f = \frac{0{,}3 \cdot 1039}{1000} = 0{,}31\ m \cdot min^{-1}$$

Rychlost řezného pohybu v_e podle vztahu 2.3

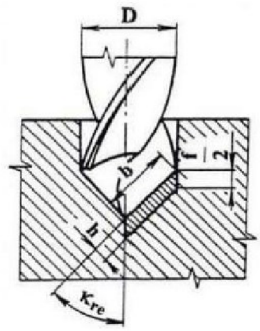
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}\ [m \cdot min^{-1}] \tag{2.3}$$

$$v_e = \sqrt{110^2 + 0{,}31^2} = 110{,}1\ m \cdot min^{-1}$$

Výpočet silové náročnosti vrtání Ø 33,7 mm podle parametrů uvedených v tab. 6.2.
Znázornění počítaných veličin na obr. 6.2.
Vztahy dle literatury [7]

Tab. 6.2 Parametry vrtáku pro výpočet silové náročnosti.

D $[mm]$	v_c $[m \cdot min^{-1}]$	K_{re} [°]	f $[mm]$	k_c $[N \cdot mm^{-2}]$
33,7	110	70	0,3	1500



Obr. 6.2 Průřez třísky [7].

Jmenovitá šířka třísky b, podle vztahu 6.1

$$\sin K_{re} = \frac{\frac{D}{2}}{\mathrm{b}} \tag{6.1}$$

kde: K_{re} [°] - pracovní úhel nastavení hlavního ostří,
D [mm] - průměr vrtáku.

$$b = \frac{D}{2 \cdot \sin K_{re}} = \frac{33{,}7}{2 \cdot \sin 70°}\ [mm]$$

$$b = 17{,}93\ mm$$

Jmenovitá tloušťka třísky h, podle vztahu 6.2

$$\sin K_{re} = \frac{h}{\frac{f}{2}} \tag{6.2}$$

kde: K_{re} [°] - pracovní úhel nastavení hlavního ostří,
f [mm] - posuv na otáčku.

$$h = \sin K_{re} \cdot \frac{f}{2} = \sin 70 \cdot \frac{0{,}3}{2}\ [mm]$$

$$h = 0{,}14\ mm$$

Jmenovitý průřez třísky A_D, podle vztahu 6.3

$$A_D = h \cdot b\ [mm^2] \tag{6.3}$$

$$A_D = 0{,}14 \cdot 17{,}93 = 2{,}51\ mm^2$$

Řezná síla F_c se spočítá podle vztahu 6.4

$$F_c = A_D \cdot k_c [N] \tag{6.4}$$

kde: $k_c\ [N \cdot mm^{-2}]$ - měrná řezná síla.

$$F_c = 2{,}51 \cdot 1500 = 3765\ N$$

Řezný výkon P_c se dále spočítá pomocí vztahu 6.5

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60\ 000} [kW] \tag{6.5}$$

$$P_c = \frac{3765 \cdot 110}{60\ 000} = 6{,}9\ kW$$

6.1.2 Počet potřebných nástrojů

Z praktických zkušeností Královopolské strojírny byla zjištěna trvanlivost daného vrtáku T = 20 až 25 m. Pro výpočet potřebného množství vrtáků byla použita trvanlivost T = 20 m.

Výpočet množství děr vrtaných jedním vrtákem podle rovnice 6.6.

$$Q_T = \frac{T}{l_d} \tag{6.6}$$

kde: $Q_T [ks]$ - množství vrtaných děr,

$l_d [mm]$ - hloubka vrtané díry,

T $[mm]$ - trvanlivost nástroje.

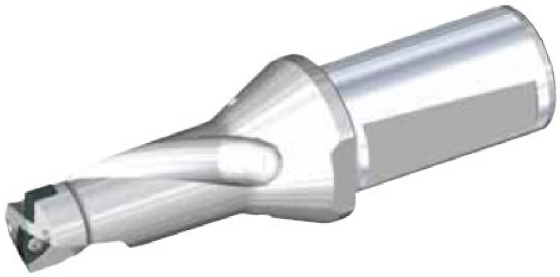
$$Q_T = \frac{20000}{45} = 444{,}4 \cong 445\ děr$$

Na Trubkovnici 1 a Trubkovnici 2 se dohromady nachází 506 děr. Jedním vrtákem lze vyvrtat 445 děr. Z výše uvedeného plyne, že budou zvoleny 2 vrtáky na vrtání děr Ø 33,7 mm.

6.2 Podmínky vrtání Ø 48 mm

V této části jsou rozebrány podmínky vrtání Ø 48 mm. Tyto díry se nachází na přírubě trubkovnice a slouží pro šroubový spoj. Díry jsou tolerovány pouze základní tolerancí ISO2768 - mH. Pro vrtání těchto děr byl vybrán vrták s výměnnými břitovými destičkami od firmy Kennametal. Tento vrták umožňuje vrtání vysokými řeznými

rychlostmi i při velkém průměru do plného materiálu. Vybraný vrták lze vidět na obr. 6.3. Vrtání se bude provádět s vnitřním přívodem procesní kapaliny.



Obr. 6.3 Vrták DFS s VBD [9].

6.2.1 Výpočet řezných podmínek

Parametry vrtáku jsou uvedeny v tabulce 6.3.

Tab. 6.3 Řezné parametry vrtáku DFS s VBD [9].

v_c $[m \cdot min^{-1}]$	f $[mm]$
310 – 360	0,18 – 0,30
310	0,2

Výpočty řezných podmínek jsou uvedeny v příloze č. 7. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.4.

Tab. 6.4 Výsledné hodnoty řezných podmínek pro vrtání Ø 48 mm.

n $[min^{-1}]$	v_f $[mm \cdot min^{-1}]$	v_e $[m \cdot min^{-1}]$	b [mm]	h [mm]	A_D [mm^2]	F_c [N]	P_c [kW]
2056	410	310	24	0,1	2,4	3600	18,6

6.3 Porovnání CAM aplikace a dílenského programování

Při dodržení stejných řezných podmínek a hloubek vrtání u dílenského programování Heidenhain iTNC 530 a moderního CAM programu PowerMill vyšly rozdílné hodnoty v časech vrtání děr Ø 48 mm a Ø 33,7 mm. Výsledné časy jsou uvedeny v tabulce 6.5.

Tab. 6.5 Porovnání časů vrtacích operací.

	Heidenhain iTNC 530	PowerMill
Ø 48 mm	8,5 min	4 min
Ø 33,7 mm	1h 13,5 min	51 min
Σ	1 h 22 min	55 min

Program vrtacích operací vytvořený v PowerMillu je o 27 minut kratší, než program vytvořený pomocí dílenského programování. Příčina je pravděpodobně v tom, že CAM program je efektivnější systém pro návrh a tvorbu obráběcích strategií. Například vrtání Ø 33,7 mm pomocí dílenského programu jde po řádcích, a u moderního CAM programu po tzv. částečných blocích. Nesmírnou výhodou programu PowerMill oproti Heidenhain iTNC 530 je možnost úprav nájezdů a přejezdů mnoha způsoby.

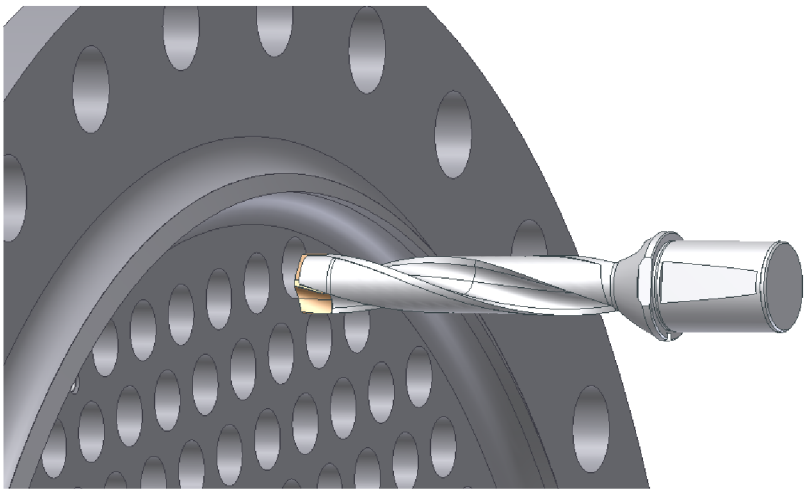
ZÁVĚR

Z obsahu bakalářské práce vyplývá, že byla zaměřena na návrh výroby částí trubkového svazku a to trubkovnice a trubkových přepážek. Trubkový svazek je hlavní částí rekuperačního tepelného výměníku, který slouží pro přestup tepla mezi dvěma médii.

Dosažené cíle bakalářské práce jsou shrnuty v následujících bodech:

- Byla zpracována rešerše konstrukčních řešení tepelných výměníků,
- Byla provedena charakteristika technologie soustružení a vrtání.
- V parametrickém programu Autodesk Inventor 2010 byl navržen a zkonstruován celý tepelný výměník obsahující součásti trubkovnice a trubkové přepážky.
- Byla navržena výroba Trubkovnice 1 a dále výroba trubkových přepážek. Pro tyto návrhy výroby byly sepsány technologické postupy.
- Z návrhu výroby Trubkovnice 1 byly naprogramovány vrtací operace pro otvory Ø 33,7 mm a Ø 48 mm pomocí dílenského programování Heidenhain iTNC 530 a moderního CAM programu PowerMill. Výsledky těchto operací byly vzájemně porovnány s tím, že program PowerMill navrhl výrobu o 27 min. efektivněji.
- V moderním CAM programu PowerMill byla navržena kompletní výroba Trubkovnice 1 na tříosé frézce. Tato výroba by trvala cca 21 hodin. Sepsaný návrh výroby trubkovnice pomocí karuselových soustruhů a NC vrtaček je rozhodně běžnější praxí, než výroba celé trubkovnice na tříosé frézce převážně z ekonomického hlediska.
- Pro vrtací operace byly vybrány vrtáky firmy Kennametal a pro ně stanoveny a spočteny řezné podmínky.

Všechny cíle bakalářské práce byly splněny.



Obr. 7 Trubkovnice s vrtákem KSEM3370HPGM [9].

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Vrtání trubkovnice. In: *Varnsdorf TOS* [online]. 2012 [vid. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/technologie/energetika/
2. ŠESTÁK, Jiří a Rudolf ŽITNÝ. *Tepelné pochody II: Výměníky tepla, odparky, sušení, průmyslové pece a elektrický ohřev*. ČVUT, 1997. In: [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://pet.fsid.cvut.cz/petera/tv/tps_ex2.pdf
3. ALTMANM, Jiří a Jaroslav JAROMĚŘSKÝ. *Tepelné výměníky: Brožura, revize*. 2006, s. 16.
4. ŽITNÝ, Rudolf. *Výměníky*. In: [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/4rocnik/tpo/i_tpo.htm
5. *Shell and tube type heat exchanger*. China-ogpe.com [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupnéz:http://www.china-ogpe.com/buyingguide_content/Fixed_tube_sheet_type_heat_exchanger_1275.html
6. HUMÁR, Anton. *Technologie1: Technologie obrábění-1. část*. 2003. In: [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
7. HUMÁR, Anton. *Technologie1: Technologie obrábění-2. část*. 2003. In: [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/TI_TO-2.cast.pdf
8. ARNO. *Bohrsystem SHARK-Drill*. 2007. [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.mknastroje.cz/images/stories/katalogy/arno/Bohren_SHARK_Drill.pdf
9. KENNAMETAL: *Master, Katalog inovace*. 2013. In: [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: www.kennametal.com
10. NOVOTNY. *APD přiruby: Armatury a potrubní díly*. 2007. In: [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: www.arpod.cz/katalog/apd-priruby.pdf
11. LEINVEBRE, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky. Třetí doplněné vydání*. Praha 1, Biskupský dvůr 5: ALBRA. pedagogické nakladatelství, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
12. FERONA. *Katalog produktů*. 2013. [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze
13. EN 10028-2. In: *Prirucka.bolzano.cz* [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/konstrukcni_oceli/normy_tdp/EN10028_2/
14. PRAMET TOOLS. *Katalog turning*. 2014 [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html
15. STIMZET. *Katalog a ceník nástrojů Stimzet ke stažení*. 2013. [online]. [vid. 2014-04- 28]. Dostupné z: http://stimzet.cz/data/ke_stazeni_cz.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Al	[-]	hliník
C	[-]	uhlík
Cr	[-]	chrom
HSS	[-]	rychlořezná ocel
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
P	[-]	fosfor
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
S	[-]	síra
Si	[-]	křemík
SK	[-]	slinutý karbid
VBD	[-]	výměnná břitová destička
atd.	[-]	atakdále
mat.	[-]	materiál
min.	[-]	minuta
obr.	[-]	obrázek
tab.	[-]	tabulka
tzv.	[-]	takzvaně

Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm^2]	jmenovitý průřez třísky
D/Ø	[mm]	průměr
F_C	[N]	řezná síla
L	[mm]	délka
P_C	[kW]	řezný výkon
Q_T	[ks]	množství vrtaných děr jedním vrtákem
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
Rq	[μm]	střední kvadratická hodnota drsnosti

T	[mm]	trvanlivost nástroje
b	[mm]	jmenovitá šířka třísky
f	[mm]	posuv na otáčku
h	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
$\mathbf{k_c}$	[N.mm^{-2}]	měrná řezná síla
$\mathbf{l_d}$	[mm]	hloubka vrtané díry
n	[min^{-1}]	otáčky
$\mathbf{v_c}$	[m.min^{-1}]	řezná rychlost
$\mathbf{v_e}$	[m.min^{-1}]	rychlost řezného pohybu
$\mathbf{v_f}$	[mm.min^{-1}]	posuvová rychlost
$\boldsymbol{K_{re}}$	[°]	pracovní úhel nastavení hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres - Výměník EKO
Příloha 2 Výkres - Trubkovnice1
Příloha 3 Technologický postup Trubkovnice 1
Příloha 4 Výkres - Trubkovnice 2
Příloha 5 Výkres - Přepážka
Příloha 6 Technologický postup Přepážka
Příloha 7 Výpočty řezných podmínek Ø48 mm.