

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program:	N2301	Strojní inženýrství
Studijní obor:	2303T004	Strojírenská technologie- technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh výrobního řetězce a montáže spalínových výměníků
kogeneračních jednotek

Autor:	Bc. Jiří Hejduk
Vedoucí práce:	Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
Konzultant na univerzitě:	Ing. Jaroslava Fulemová, Ph.D.
Konzultant ve firmě:	Ing. Jiří Štochl

Akademický rok: 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří HEJDUK**
Osobní číslo: **S16N0043K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Návrh výrobního řetězce a montáže spalinových výměníků kogeneračních jednotek**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do problematiky a cíle řešení
2. Charakteristika a popis současného stavu výroby a montáže spalinových výměníků
3. Návrh výrobního řetězce a montáže nového typu spalinového výměníku ve variantách
4. Hodnocení navržených variant
5. Technicko-ekonomické hodnocení
6. Závěr

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah kvalifikační práce: 50 - 70 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- MM Průmyslové spektrum (www.mmspektrum.com)
- Elektronické zdroje viz. knihovna.zcu.cz
- CIRP ANNALS Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)
- Crowson, Richard : The handbook of manufacturing engineering. Assembly processes : finishing, packaging, and automation /2nd ed.. Boca Raton : 2006. ISBN 0-8247-2341-4 (soubor, sv. 4).
- Product design for manufacture and assembly / Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Knight. 3rd ed., rev. and expanded. – Boca Raton : Taylor & Francis, 2011, 670 s. : il. – (Manufacturing engineering and materials processing). – ISBN 978-1-4200-8927-1

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Štochl
TEDOM a.s.
Ostatní konzultanti: Ing. Jaroslava Fulemová, Ph.D.
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: 16. října 2017
Termín odevzdání diplomové práce: 21. května 2018

Doc. Ing. Milan Ešl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Hejduk	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 Strojírenská technologie-technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh výrobního řetězce a montáže spalínových výměníků kogeneračních jednotek		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	87	TEXTOVÁ ČÁST	75	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato práce je zaměřena na výrobu spalínového výměníku a procesů, které souvisejí s výrobou a technickou přípravou výroby.</p> <p>V práci je popsán současný stav výroby spalínových výměníků a procesů s tím spojených.</p> <p>V práci jsou navržena dílčí opatření, která by měla vést, k zefektivnění výroby spalínového výměníku v podmínkách společnosti TEDOM.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA	spalínový výměník, montáž, procesy, technická příprava výroby

JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	
--	--

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Hejduk	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	2303T004/ Manufacturing Processes-Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Řehoř,Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU – FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of the production chain and assembly of flue gas heat exchangers of cogeneration units		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	87	TEXT PART	75	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This diploma thesis is focused on the production of flue gas exchanger and processes related to the production and the technical preparation of production.</p> <p>The diploma thesis describes the current state of the production of flue gas exchangers and related processes.</p> <p>The diploma thesis proposes partial measures that should lead to the efficiency of the production of the exchanger in conditions of TEDOM.</p>
KEY WORDS	flue gas exchanger, assembly, processes, technical preparation of production

--	--

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D. a konzultantům paní Ing. Jaroslavě Fulemové, Ph.D. a panu Ing. Jiřímu Štochlovi za odborné vedení diplomové práce.

A hlavně bych chtěl poděkovat mé manželce a rodině za nekonečnou trpělivost a vytvoření potřebného zázemí po celou dobu mého studia.

Obsah

1.	Úvod do problematiky a cíle řešení.....	6
1.1.	Kogenerační jednotka-podpora	8
1.2.	Kogenerační jednotka TEDOM-princip.....	11
1.3.	Výměníky	12
1.3.1.	Rozdělení a typy výměníků	12
	Podle pracovního pochodu:.....	12
	Podle účelu a použití:	12
	Podle vzájemného směru proudění:	12
1.3.2.	Základy tepelného výpočtu výměníku	18
1.4.	Přípravky	21
1.5.	Montáž.....	23
1.5.1.	Úvod do montáže	23
1.5.2.	Historie.....	24
1.5.3.	Montážní systémy	26
1.5.4.	Technologičnost konstrukce s ohledem na montáž	28
1.5.5.	Design for Manufacture and Assembly (DFMA)	30
1.5.6.	Jak DFMA funguje	31
1.5.7.	Příklad použití DFMA	32
2.	Charakteristika a popis současného stavu výroby a montáže spalínových výměníku	35
2.1.	Rozdělení vyráběných výměníků	35
2.1.1.	Výměník pro jednotky MICRO	35
2.1.2.	Výměník pro jednotky CENTO	38
2.1.3.	Výměník pro jednotku QUANTO	39
2.2.	Výpočet výměníku.....	40
2.3.	TPV-Tvorba konstrukční dokumentace.....	40
2.4.	TPV – technologická část.....	40
2.5.	TPV–plánování výroby.....	41
2.6.	TPV-oběh dokumentů a konstrukční dokumentace.....	42
2.7.	Díly vyráběné v kooperaci.....	43
2.8.	Výroba trubkovic	44
2.9.	Současný stav výroby spalínového výměníku pro KJ QUANTO (varianta 1)	46
2.10.	Sestavení výměníku (varianta 1).....	46
2.10.1.	Kontrola trubek	46
2.10.2.	Příprava svazku	47
2.10.3.	Příprava pláště	47

2.10.4.	Sestavení svazku	47
2.10.5.	Svařování trubek s trubkovnicemi.....	48
2.10.6.	Přivaření vstupů a výstupů svazku	49
2.10.7.	Kontrola svazku.....	49
2.10.8.	Komory.....	49
2.10.9.	Patky.....	50
2.11.	Zhodnocení stávající výroby (varianta 1)	50
3.	Návrh výrobního řetězce a montáže spalínového výměníku.....	53
3.1.	Výroba svazku-varianta 2	53
3.2.	Konstrukce speciálního přípravku pro variantu 2.....	53
3.3.	Montáž svazku-varianta 2.....	54
3.4.	Výroba svazku-varianta 3	57
3.5.	Zrychlení tvorby modelů trubkovic	57
3.6.	Zefektivnění procesů technického úseku.....	58
3.7.	Implementace systému Vault Professional a Monaco	59
3.7.1.	Vault Professional	59
3.7.2.	Monaco	62
3.7.3.	Schéma	63
3.8.	Technologie výroby přepážek	64
4.	Hodnocení navržených variant.....	67
4.1.	Zhodnocení výroby svazku výměníku (varianta 2)	67
4.2.	Zhodnocení výroby svazku výměníku (varianta 3)	68
5.	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	70
5.1.	Výroba svazku	70
5.2.	Rentability přípravku	71
5.3.	Zhodnocení nástroje iLogic	72
5.4.	Zhodnocení navrženého řešení sdílení interních dat zavedením nového systému a jeho vliv na výrobu spalínových výměníků	72
5.4.1.	Zhodnocení vlivu Vault Professional.....	72
5.4.2.	Zhodnocení vlivu MONACA	73
5.5.	Výroba přepážek.....	74
6.	Závěr.....	75
7.	Zdroje	77
8.	Přílohy	80

Seznam obrázků

Obrázek 1: Využití paliva kogenerační jednotkou [1]	10
Obrázek 2: Princip fungování kogenerační jednotky [1]	11
Obrázek 3: Rozdělení výměníků podle pracovního pochodu [2].....	12

Obrázek 4: Porovnání průběhů teplot souproudého a protiproudého výměníku [5].....	13
Obrázek 5: Principi přenosu tepla ve výměníku [54].....	18
Obrázek 6: Stavebnicový přípravek [8]	21
Obrázek 7: Výrobní časy motorového jističe [10]	23
Obrázek 8: Rozdělení montážních systému dle množství a složitosti výrobku [10]	26
Obrázek 9: Výroba zásuvek ve společnosti ABB [15].....	27
Obrázek 10: Rozdělení montáže dle pohybu výrobku, schémat montážních pracovišť, druhů výroby, stupně mechanizace [10].....	28
Obrázek 11:Montážní systémy z pohledu mechanizace a automatizace [10].....	28
Obrázek 12: Kdo vrhá největší stín [17]	30
Obrázek 13: Původní motorový pohon [17].....	32
Obrázek 14: Motorový pohon po úpravě [17].....	33
Obrázek 15: Kogenerační jednotky vyráběné společností TEDOM, dle rozsahu elektrického výkonu [1]	35
Obrázek 16:Model spalínového výměníku pro jednotku MICRO T30.....	36
Obrázek 17:Schéma průtoku médií ve spalínovém výměníku pro jednotku MICRO	36
Obrázek 18:Obrábění funkčních ploch katalyzátoru na jedno upnutí.....	37
Obrázek 19:Detail výkresu spalínové výměníku s červeně vyznačenou obráběnou plochou (1)	37
Obrázek 20: Konstrukční řešení spalínového výměníku pro jednotky CENTO T120-T200... ..	38
Obrázek 21: Skládání výměníku CENTO v přípravku [1].....	39
Obrázek 22: Vřeteno horizontální vyvrtávačky s vnitřním chlazením [1].....	44
Obrázek 23: Ukázka upnutí trubkovnice na horizontální vyvrtávače [1].....	45
Obrázek 24: Model výměníku o průměru 625 mm a celkové délce 5020 mm číslo výkresu P323959 [1]	46
Obrázek 25: Model sestavení prepážek.....	47
Obrázek 26: Sestava svazku s trubkovnicemi	48
Obrázek 27: Model sestavování svazku	48
Obrázek 28: Čištění pomocí kartáče [1].....	48
Obrázek 29: Zaválcování trubek [1].....	48
Obrázek 30: Svařování pomocí orbitální hlavy [1]	49
Obrázek 31: Výpočet výrobních nákladů svazku v systému SYSKLASS (varianta 1) [1]	51
Obrázek 32: Model přípravku N43231, tak jak byl navržen.....	54
Obrázek 33: Příprava horní části svazku.....	55
Obrázek 34: Skládání svazku	56
Obrázek 35: Formulář tvorby trubkovnice [1]	57
Obrázek 36: Tvorba trubkovnice v prostředí Autodesk Inventor [1].....	58
Obrázek 37: Detail prepážky řezné pomocí laseru.....	65
Obrázek 38: Detail otvorů provedené děrováním	66
Obrázek 39: Detail stříhané hrany prepážky	66
Obrázek 40:Výpočet výrobních nákladů svazku v systému SYSKLASS (varianta 2) [1]	67
Obrázek 41:Výpočet výrobních nákladů svazku v systému SYSKLASS (varianta 3) [1]	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tepelné vodivosti materiálů [3]	15
Tabulka 2: Rozsahy koeficientů přestupů tepla za různých podmínek [3]	16
Tabulka 3: Montážní časy a náklady původní motorového pohonu [17].....	33
Tabulka 4: Montážní časy a náklady upraveného motorového pohonu [17]	34
Tabulka 5: Skutečně vykázané výrobní náklady včetně výrobní režie	50
Tabulka 6: Kalkulované výrobní náklady dle TPV	50

Tabulka 7: Přehled funkcí programu Autodesk Vault [22].....	60
Tabulka 8: Výrobní náklady přípravků [1]	71
Tabulka 9: Soupis přepážek pro výměník MICRO T30	74

Seznam grafů

Graf 1:Struktura kalkulovaných výrobních nákladů (varianta 1).....	51
Graf 2:Struktura kalkulovaných výrobních nákladů (varianta 2).....	67
Graf 3:Struktura kalkulovaných výrobních nákladů (varianta 3).....	69
Graf 4: Porovnání variant výroby svazku spalinového výměníku	70

Seznam diagramů

Diagram 1: Proces návrhu nového výrobku [17]	31
Diagram 2:Procesy a výměna informací v TPV (stávající stav)	43
Diagram 3:Diagram procesu TPV a sdílení dat mezi systémy.....	61
Diagram 4: Procesy a výměna informací v TPV (navrhované řešení).....	64

Seznam příloh

Příloha 1: Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KJET pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem kogeneračních jednotek do 5 MW _e včetně [53]	80
Příloha 2: Doplnková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KJET [53].....	80
Příloha 3:Diagram pro stanovení koeficientu R a P [54]	81
Příloha 4: Diagram pro stanovení vzorce pro výpočet podobnostních čísel [54]	82
Příloha 5: Tabulka pro stanovení podobnostních čísel [54].....	83
Příloha 6: Výkres přípravku pro ustavení svazku spalinového výměníku na stůl horizontální vyvrtávačky [1]	84
Příloha 7: Ukázka výpočtové tabulky SV [1].....	85
Příloha 8: Kusovník svazku varianta 1 [1]	86
Příloha 9: Kusovník svazku varianta 2 [1]	86
Příloha 10: kusovník svazku varianta 3 [1].....	87
Příloha 11: Výkres spalinového výměníku pro jednotku MICRO T30 [1].....	87

Seznam zkratk

TEDOM.....	Teplo domova
KJ	Kogenerační jednotka
POZE.....	Podporovaný zdroj energie
KJET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
ERU	Energetický regulační úřad
ES	Evropské společenství
EHS	Evropské hospodářské společenství
GAU	Georg-August-Universität Göttingen
USA.....	United states of America

ISO	International Organization for Standardization
ČSN	Česká technická norma
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
PNE	Podnikové normy energetiky
FAS.....	Flexible Assembly Systems
DFMA	Design for Manufacture and Assembly
DFM	Design for Manufacture
DFA.....	Design for Assembly
GM	General Motors
PLD	Potvrzovací list dodávky
PDF.....	Portable Document Format
TPV	Technická příprava výroby
CRM.....	Customer Relationship Management
OTD.....	Oddělení technické dokumentace
CNC.....	Computer Numeric Control
SV	Spaliny-Voda
PDM	Product Data Management
CAD	Computer Aided Design
NTU [-].....	Number of transfer units

1. Úvod do problematiky a cíle řešení

Tato práce je věnována technologii výroby a montáže spalinových výměníků ve společnosti TEDOM a.s. (dále jen TEDOM), která se zabývá výrobou kogeneračních jednotek. Kogenerační jednotky slouží ke kombinované výrobě elektřiny a tepla. Elektřina se vyrábí pomocí generátoru, který je poháněn spalovacím motorem. Vedlejším produktem spalovacího motoru je teplo, toto teplo lze efektivně využít. Podstatná část tepla vznikající při chodu motoru odchází společně se spalinami motoru. Teplo v podobě horkých spalin je předáváno ve spalinovém výměníku kapalině topného okruhu. Celkový výkon kogenerační jednotky je dán součtem vyrobené elektrické energie a energie v podobě tepla. Množství předaného tepla ve spalinovém výměníku je ovlivněno konstrukcí výměníku.

Konstrukce a technologie výroby jsou spojitými nádobami, nelze navrhovat jakýkoliv složitější strojírenský produkt bez toho, aby probíhala spolupráce mezi konstruktérem a technologem. Při návrhu spalinového výměníku to platí dvojnásobně. To, jaké bude mít výměník parametry, ovlivňuje mnoho faktorů. První a zásadní je požadavek zákazníka. Na začátku je nutné přesně definovat požadavky zákazníka, aby bylo možné přesně definovat parametry kogenerační jednotky (dále jen KJ). Důležitými vstupními informacemi pro správně navrženou kogenerační jednotku je především požadovaný elektrický a tepelný výkon, druh a složení paliva, geografická poloha KJ (klimatické podmínky, nadmořská výška), požadavky na hlučnost a redukci emisí a mnoho dalších. V tomto první kroku je nutné, aby obchodník byl schopen na základě svých zkušeností nabídnout takový produkt, který bude nevhodnější pro daný provoz a zároveň bude v možnostech společnosti tuto jednotku navrhnout a vyrobit s přijatelnými náklady, které vygenerují zisk. Poté co se podaří definovat parametry KJ začíná práce konstruktéra.

K dalším důležitým faktorům ovlivňujícím konečnou konstrukci výměníku patří konstrukčně technologická příprava výroby. Při této přípravě se nejprve vypočtou základní parametry výměníku, dále se definují materiály dle vhodnosti a dostupnosti, prověřuje se dostupnost vhodných obráběcích strojů a dalších nástrojů, zváží se nutnost použití přípravků a speciálního nářadí. V průběhu návrhu je nutné také spolupracovat se svařovacím technologem, který má potřebné informace ohledně metod svařování a možnostech svářečů. Po schválení konceptu konstruktér připraví výkresovou dokumentaci, kterou přechází dále ke schválení technologovi a výkresy jsou poté uvolněny do výroby. V průběhu plánování výroby a objednávání dílů je třeba vytvořit technologické postupy, navrhnout a nechat vyrobit přípravky, pokud je to dáno vlastnostmi výrobku.

Spalinový výměník tvoří z pohledu výrobních technologií komplexní výrobek, při jehož výrobě se lze setkat s řadou technologií mezi něž patří technologie řezání pomocí laserového paprsku, různé technologie svařování, obrábění austenitických korozivzdorných ocelí, montáž s využitím přípravků aj. Při hledání nových efektivních způsobů výroby čehokoliv se nelze soustředit jen na samotnou technologii výroby, ale i na procesy předcházející samotné výrobě, které se souhrnně nazývají technická příprava výroby (dále jen TPV).

Práce si klade za cíl popsat stávající způsob řešení výroby spalinových výměníků ve společnosti TEDOM, dále vymezit vše co souvisí s návrhem a výrobou spalinového výměníku od výpočtů, konstrukčního návrhu, technologií svařování, obrábění dílů, konstrukce přípravků a technologie montáže. Práce by měla poukázat na provázanost výše uvedených oblastí.

Hlavní cíl práce se nachází v praktické části, kde si práce klade za cíl navrhnout nová dílčí opatření při výrobě spalinových výměníků a činností související s technickou přípravou výroby, a to na základě stávajících zkušeností s výrobou výměníku, především s důrazem na požadavek snížení výrobních nákladů při zachování minimálně stávající kvality a podmínek společnosti

TEDOM. Podmínkami se především rozumí zachování konečné montáže výměníků v režii společnosti z důvodu zachování know-how firmy.

1.1. Kogenerační jednotka-podpora

Kogenerační jednotka slouží ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla. Největší výhodou kombinované výroby tepla a elektrické energie je celková vysoká účinnost těchto zařízení. Proto se také jedná o tzv. podporovaný zdroj energie (dále jen POZE) vycházející ze zákona č. 165/2012 Sb. Tento zákon ze dne 31. ledna 2012 o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů zpracovává příslušné předpisy Evropské unie¹ a upravuje:

- a) podporu elektřiny, tepla a biometanu z obnovitelných zdrojů energie, druhotných energetických zdrojů, **vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla (dále jen KVET) a decentrální výroby elektřiny,**
- b) obsah a formu Národního akčního plánu České republiky,
- c) podmínky pro vydávání, evidenci a uznávání záruk původu energie z obnovitelných zdrojů,
- d) podmínky pro vydávání osvědčení o původu elektřiny vyrobené z KVET nebo druhotných zdrojů,
- e) financování podpory,
- f) odvod z elektřiny ze slunečního záření.

Účelem výše uvedeného zákona je podpora využití zdrojů energií, které jsou šetrnější k životnímu prostředí. Zmocnění k vydávání prováděcích předpisů a mimo jiné ke stanovení výše podpory stanovuje na základě výše uvedeného zákona² Ministerstvo průmyslu a obchodu (dále jen MPO) a Energetický regulační úřad (dále jen ERU).

Vyhláška³ MPO zpracovává předpisy Evropské unie¹ a upravuje:

- a) vzor žádosti o vydání osvědčení o původu elektřiny z KVET nebo z druhotných zdrojů a podmínky pro jeho vydávání,
- b) způsob výpočtu úspory primární energie,
- c) způsob určení množství elektřiny z KVET a elektřiny z druhotných zdrojů.

Vyhláška dále definuje podporované technologie kombinované výroby elektřiny a tepla, mezi které patří:

- a) paroplynové zařízení s dodávkou tepla,
- b) parní protitlaká turbína,
- c) parní kondenzační odběrová turbína,
- d) plynová turbína s dodávkou tepla,
- e) **spalovací motor,**
- f) mikroturbína,
- g) Stirlingův⁴ motor,

¹ Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28 ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/8/ES ze dne 11. února 2004 o podpoře kombinované výroby tepla a elektřiny založené na poptávce po užitném teple na vnitřním trhu s energií a o změně směrnice 92/42/EHS.

Nařízení komise (ES) č. 800/2008 ze dne 6. srpna 2008, kterým se v souladu s články 87 a 88 Smlouvy o ES prohlašují určité kategorie podpory za slučitelné se společným trhem (obecné nařízení o blokových výjimkách) [52].

² §53 odst. 1 a 2 Sb. 162/2012 Zákon z 31. ledna 2012 o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů [51].

³ Vyhláška č.37/2016 Sb. ze dne 21. ledna 2016 o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů [52], [53].

⁴ **Robert Stirling** (1790-1878), skotský duchovní, známý jako vynálezce motoru s vnějším spalováním tzv. „Stirlingův motor“ [46].

- h) palivový článek,
- i) parní stroj,
- j) organický Rankinův cyklus⁵, nebo
- k) kombinace zařízení uvedených v písmenech a) až j), pokud může pracovat v režimu kombinované výroby elektřiny a tepla.

Za elektřinu z KVET se považuje celkové množství vyrobené elektřiny za vykazované období naměřené na výstupu generátorů elektřiny kogenerační jednotky, pokud celková účinnost dosáhla pro podporované zdroje b) a d) až k) nejméně 75 % a a) a c) nejméně 80 %. Kogenerační jednotky TEDOM pracují na principu spalovacího motoru, aby se jednalo o POZE, musí splňovat minimální celkovou účinnost 75 %.

Uvedená vyhláška MPO dále stanovuje způsob stanovení celkové účinnosti, množství mechanické energie a určení množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla. Celková účinnost η_{celk} se stanoví dle vzorce:

$$\eta_{celk} = \frac{(E_{SV} + E_M + Q_{U\check{z}})}{Q_{PALKJ}}, \quad (1)$$

kde:

E_{SV} [MWh] je množství elektřiny vyrobené v kogenerační jednotce měřené na svorkách generátorů

E_M [MWh] je množství mechanické energie získané transformací energie v kogenerační jednotce v procesu kombinované výroby elektřiny a tepla, která není dále transformována na elektřinu

$Q_{U\check{z}}$ [MWh] je množství užitečného tepla

Q_{PALKJ} [MWh] je množství celkového paliva.

Energetický regulační úřad stanovuje tzv. roční zelené bonusy pro elektřinu z KVET. ERU tyto bonusy zveřejňuje ve svém věštníku. Roční zelený bonus se skládá ze dvou sazeb: základní a doplňkové. Sazby platné od 1. ledna 2018 jsou zveřejněny ve věštníku ze dne 21. prosince 2017 jako cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 9/2017 ze dne 20. prosince 2017. (viz. Příloha 1, Příloha 2)

Výsledná podpora z KVET se vypočte podle vztahu:

$$C_{zb} = E_{kvet} \cdot (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl1}) \quad (2)$$

Kde:

C_{zb} celková výše podpory na elektřinu z KVET

E_{kvet} množství elektřiny z KVET

$ZB_{zakl.sazba}$ základní sazba zeleného bonusu

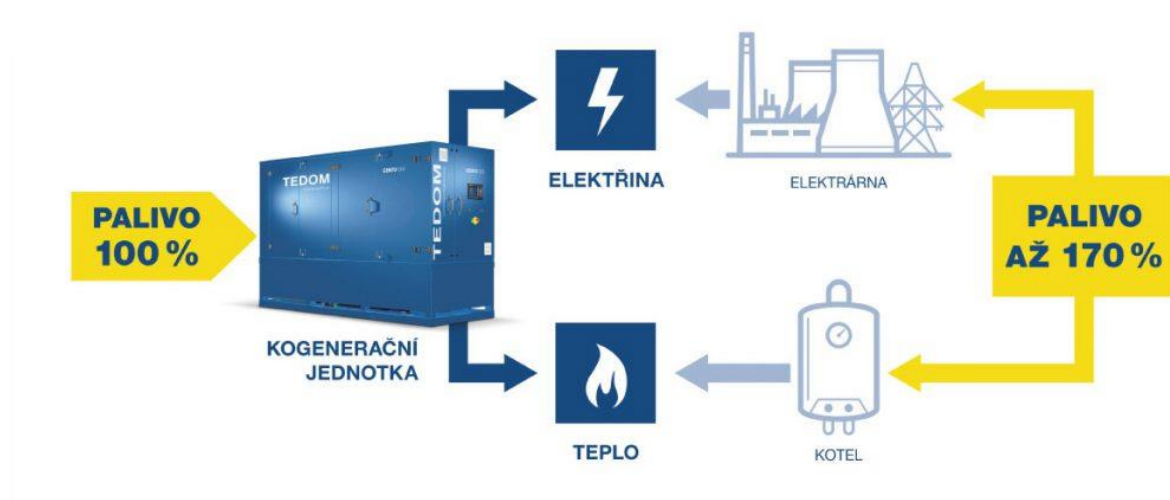
⁵ **OCR**, organický Rankinův cyklus, funguje na stejném principu jako klasické tepelné oběhy s tím rozdílem, že využívá vlastností organických látek, které mají nižší výparné teploty, umožňuje tak energeticky využít i tepelnou energii o nižších teplotách [47].

ZB_{dopl 1} doplňková sazba I k základní sazbě

Jak uvádí Příloha 1, podpora se stanovuje jen na určitý počet provozních hodin v roce u jednotek do 5 MWe. Pro rok 2018 se pohybují od 3000 do 4400 h (což je cca od 125 do 183 dní v roce), tj. zhruba na třetinu až polovina roku. Podpora je tedy nastavena, tak aby byla jednotka provozována pouze část roku, a to v období, kdy má kogenerační jednotka celkovou nejvyšší účinnost, tedy v období topné sezóny, při které se využije jak elektrická, tak i tepelná energie vyrobená kogenerační jednotkou.

Výhody kombinované výroby elektrické a tepelné energie spočívají zejména v následujících skutečnostech:

- zvyšuje se účinnost využití primárního paliva, viz Obrázek 1,
- dochází k umístění KJ v místě spotřeby, čímž dochází ke snížení ztrát přenosem na velkou vzdálenost,
- existence snadného napojení na stávající technologie,
- omezení využívání primárních zdrojů a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů,
- omezení znečištění životního prostředí,
- decentralizace zdrojů a rychlý náběh na provozní výkon [52], [53].

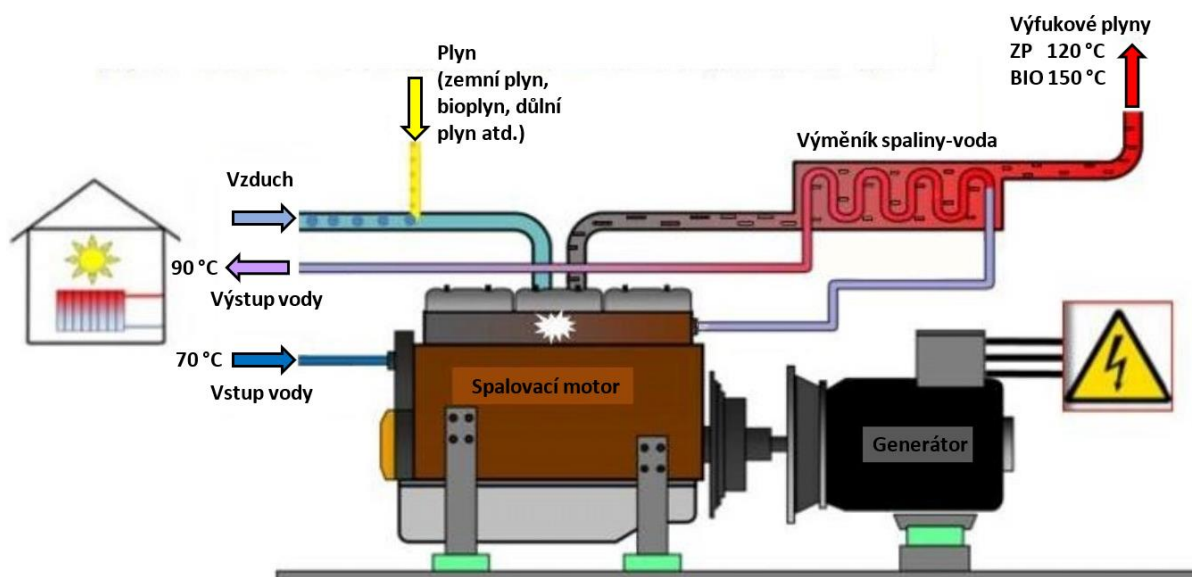


Obrázek 1: Využití paliva kogenerační jednotkou [1]

1.2. Kogenerační jednotka TEDOM-princip

Kogenerace je, jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, je kombinovaná výroba elektrické energie a tepelné energie. Existuje několik typů kogeneračních jednotek dle principu. Rozdělení je také zmíněno v kapitole 1.1 v souvislosti s tzv. POZE (podporovanými zdroji energie). Je také nutno zmínit, že se také vyrábějí tzv. TRIGENERAČNÍ jednotky. Tyto jednotky kromě elektrické energie a tepla vyrábějí také chlad.

Kogenerační jednotky TEDOM jsou postaveny na principu spalovacího motoru. Základní princip fungování kogenerační jednotky je na Obrázek 2. Srdcem celé jednotky je spalovací motor, palivem bývá nejčastěji zemní plyn a bioplyn, který je v požadovaném poměru smíchán se vzduchem. Motor roztáčí generátor, ve kterém se vyrábí elektrická energie. Výroba elektrické energie může probíhat v ostrovním režimu nebo může být KJ připojena k rozvodné síti. Druhým neméně důležitým výstupem motoru jsou horké spaliny, tyto horké spaliny předávají svoje teplo v tzv. spalínovém výměníku. Toto teplo je dále využíváno pro ohřev užitkové vody a vytápění. Kromě tepla ze spalin se ještě využívá teplo chladicího okruhu motoru a tepla z olejového okruhu.



Obrázek 2: Princip fungování kogenerační jednotky [1]

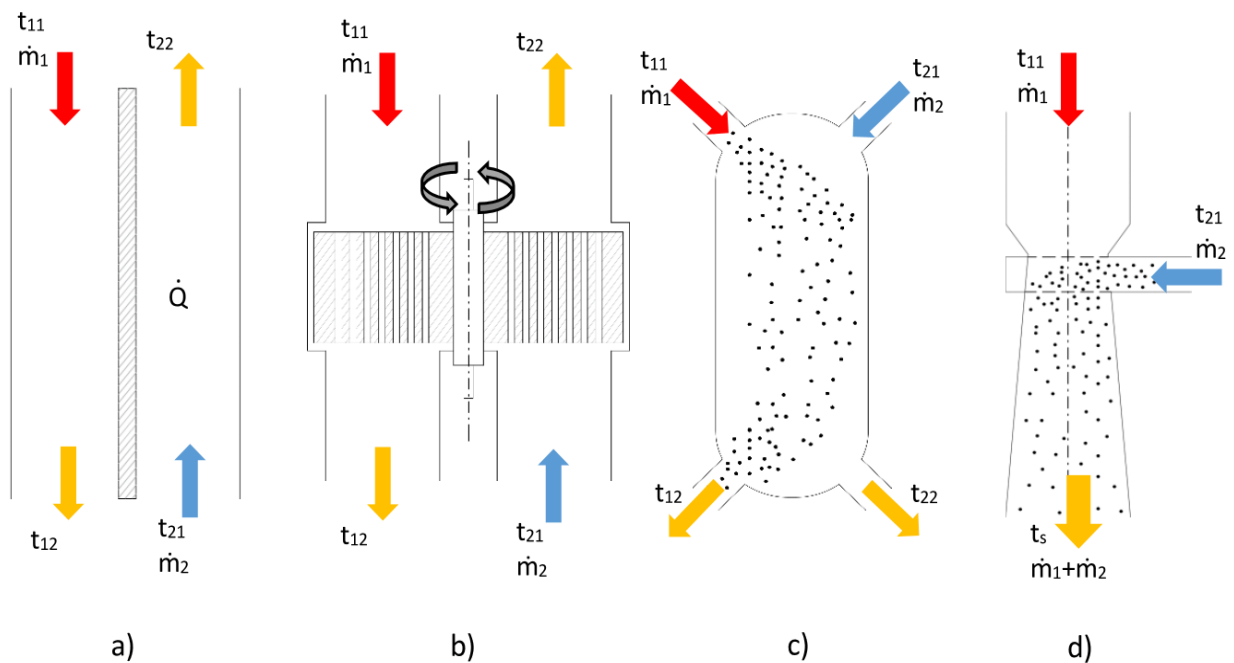
1.3. Výměníky

Výměníky tepla jsou určeny k přenosu tepelné energie. Tepelná energie je předávána pomocí dvou teplotných médií. Dochází zde k předávání z teplého (ohřívacího) do studeného (ohřivaného) média. Toto předávání tepelné energie může probíhat různými způsoby dle typu výměníku.

1.3.1. Rozdělení a typy výměníků

Podle pracovního pochodu:

- rekuperační – teplosměnná média jsou oddělena nepropustnou stěnou, k přenosu tepla dochází prostupem tepla,
- regenerační – v jedné fázi je ohříváno teplo zprostředkující element, ve druhé fázi předává tento element teplo ohřivané teplotné látce,
- kontaktní – teplé a studené médium je rozdílných fází, po vzájemném kontaktu a přenosu tepla jsou média opět rozdělena,
- směšovací – dochází k míšení teplého a studeného média (Obrázek 3).



Obrázek 3: Rozdělení výměníků podle pracovního pochodu [2]

Podle účelu a použití:

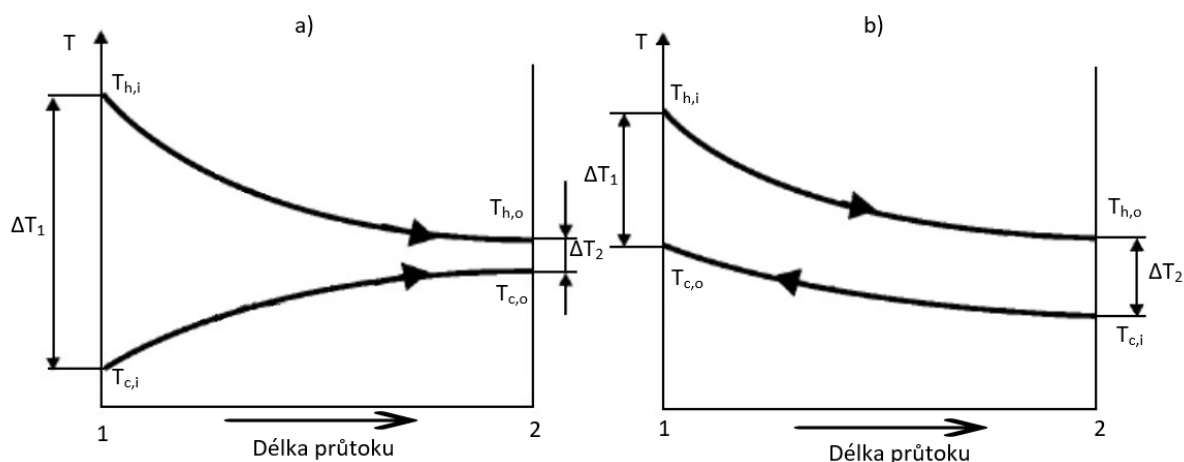
- ohříváky – ohřívání média v nich zvyšuje teplotu, ale nedochází ke změně fáze,
- chladiče – ochlazování média v nich snižuje teplotu bez změny fáze,
- výparníky a odparky – fázová přeměna kapalného média na páru,
- kondenzátory – teplejší médium (parní fáze) se sráží v kapalnou fázi,
- přehříváky a přehříváky – slouží ke zvýšení teploty syté nebo přehřáté páry,
- sušárny – používají se ke snížení vlhkosti látky v pevné fázi,
- termické odplyňovačky vody – ohřevem kapaliny k bodu varu dochází k vylučování plynů,
- topná tělesa – otopná tělesa ohřívají okolní vzduch. [2], [3], [4].

Podle vzájemného směru proudění:

- souproudé – osy proudění ohřivaného a ohřívacího proudu jsou rovnoběžné, ve shodném směru,

- protiproudé – osy ohřivaného a ohřivacího média jsou rovnoběžné a mají opačný směr,
- křížové – osy proudů jsou vzájemně mimoběžné,
- vícenásobné sou proudé, protiproudé a křížové proudění,
- kombinované.

Porovnání průběhu teplot u protiproudého a sou proudého výměníku zobrazuje Obrázek 4. V případě sou proudého výměníku Obrázek 4 (a) obecně platí výrazná nerovnost ($\Delta T_1 \gg \Delta T_2$), velký rozdíl teplot může vytvářet velká napětí v konstrukci výměníku, z tohoto pohledu je tedy výhodnější volit konstrukci protiproudého výměníku Obrázek 4 (b), kde nejsou rozdíly teplot tak výrazné. Velké rozdíly teplot na jedné straně výměníku by mohly způsobovat větší napětí v konstrukci výměníku a s největší pravděpodobností by to mělo nepříznivý vliv na životnost výměníku [2], [3], [4].



Obrázek 4: Porovnání průběhů teplot sou proudého a protiproudého výměníku [5]

Pro další výpočty a tam kde se teplota médií mění podle teplosměnné plochy, se zavádí *střední logaritmický teplotní spád* ΔT_s (někdy také ΔT_{lm}), pro protiproudý výměník platí:

$$\Delta T_s = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)} \quad (3)$$

Vztah (3) platí pro čistý sou proud či protiproud. Pro složitější křížová a kombinovaná proudění médií se střední logaritmický teplotní spád upravuje pomocí součinitele φ [-], který charakterizuje druh vzájemného proudění.

$$\Delta T_s = \varphi \cdot \Delta T_{pr} \quad [\text{K}] \quad (4)$$

Kde:

ΔT_{pr} střední logaritmický teplotní spád „čistého protiproudu“ [K]

Hodnota součinitele φ se určuje pomocí diagramu (Příloha 3) a pomocných parametrů P a R .

$$P = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad [-] \quad (5)$$

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}} \quad [-] \quad (6)$$

Podle způsobu přenosu tepla:

- Vedením tepla (kondukcí) – uskutečňuje se vzájemnou interakcí základních částic hmoty, molekuly s vyšší teplotou (vyšší kinetickou energií), odevzdávají část své energie sousední molekule s nižší teplotou. Vedení tepla se uskutečňuje v tuhých látkách a nepohyblivých tekutinách. Zákon pro vedení tepla se nazývá Fourierův zákon (1822)⁶: hustota tepelného toku vedením je přímo úměrná gradientu teploty:

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (7)$$

Gradient teploty je vektor, který je kolmý k izotermě a je orientován směrem nárůstu teploty. Ustálená jednorozměrná forma v kartézských souřadnicích:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (8)$$

Gradient teploty má opačnou orientaci vůči vektoru hustoty tepelného toku \dot{q} . Koeficient tepelné vodivosti $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ je veličina, která udává množství tepla, které projde za jednotku času při teplotním spádu 1 K na 1 m délky [2], [3], [4].

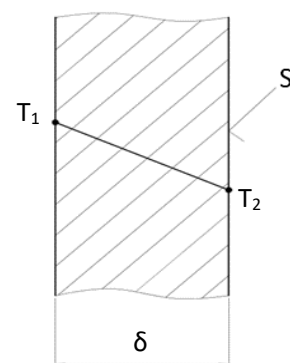
Pro rovinnou stěnu platí:

- skalární forma (tepelný tok teče od vyšší teploty k nižší teplotě):

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} = \lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (9)$$

$$\dot{Q} = \lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{\delta} \quad [W] \quad (10)$$

Q – množství tepla	$[J]$
\dot{Q} – tepelný tok	$[J \cdot s^{-1} = W]$
\dot{q} – měrný tepelný tok	$[W \cdot m^{-2}], [W \cdot m^{-1}]$
S – plocha stěny	$[m^2]$
δ – tloušťka stěny	$[m]$
T_1, T_2 – teploty stěn	$[K]$



Pro válcovou stěnu:

- trubka, jejíž délka je mnohem větší než průměr:

⁶ Jean Batiste Joseph, Baron Fourier (1768–1830), francouzský matematik, fyzik a egyptolog na základě experimentálních výsledků stanovil v roce 1811 závislost hustoty tepelného toku na gradientu teploty rovnicí. Někdy také první Fourierův zákon [31].

$$\dot{q} = \frac{\pi \cdot \Delta T}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{D}{d}} \quad [W \cdot m^{-1}] \quad (11)$$

$$\dot{Q} = \frac{\pi \cdot l \cdot \Delta T}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{D}{d}} \quad [W] \quad (12)$$

D – vnější průměr trubky [m]

d – vnitřní průměr trubky [m]

l – délka trubky [m]

Největší tepelnou vodivost mají čisté kovy, s rostoucím množstvím nečistot a rostoucí teplotou klesá tepelná vodivost. U plynů naopak s rostoucí teplotou a tlakem stoupá tepelná vodivost. Rozsahy tepelných vodivostí u různých materiálů uvádí Tabulka 1 [2], [3], [4].

Tabulka 1: Tepelné vodivosti materiálů (3)

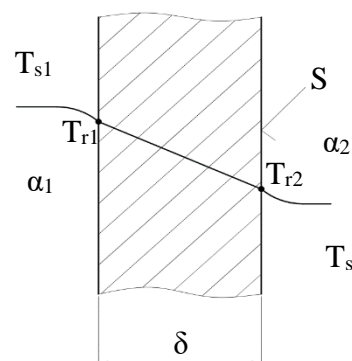
Materiály	Plyny	Kapaliny	Stavební látky	Izolanty	Kovy
$\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	0,005-0,5	0,09-0,7	0,02-3	0-0,2	2-400

- Prouděním tepla (konvekci) – je spojený s pohybem tekutiny (makroskopický pohyb). Pohyb tekutiny může být vyvolán rozdílem teplot média, v tomto případě se jedná o konvekci volnou (přirozenou), v případě uměle vyvolaného pohybu (ventilátor, čerpadlo) se jedná o konvekci nucenou. Základní zákon pro proudění tepla je Newtonův ochlazovací zákon (1701)⁷, který hovoří o závislosti hustoty tepelného toku prouděním na rozdílu teplot mezi teplotou obtékající tekutiny T_r a teplotou obtékaného tělesa T_s .

$$\dot{q} = \alpha(T_s - T_r) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (13)$$

⁷ Sir Isaac Newton (1643 [1642] -1727), anglický fyzik a matematik, významná postava vědecké revoluce 17. století. Na jeho objevech v oblasti optiky, mechaniky a matematiky je postavena moderní věda. Zákony, které stanovil, platí dodnes [32].

T_s – teplota tekutiny	[K]
T_r – teplota stěny	[K]
S – plocha stěny	[m ²]
$\dot{Q} = S \cdot \dot{q}$ – tepelný tok	[J · s ⁻¹ = W]
α – koeficient přestupu tepla	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
δ – tloušťka stěny	[m]



Příčemž konstanta úměrnosti α [W · m⁻² · K⁻¹] je koeficient přestupu tepla, který udává množství tepla, které projde jednotkovou plochou za jednotku času při teplotním spádu 1 K. Koeficient přestupu tepla není definován jako fyzikální vlastnost materiálu. Určuje se pomocí kritériálních rovnic z teorie podobnosti. Orientační intervaly hodnot koeficientu přestupu tepla jsou uvedeny v Tabulka 2 [2], [3], [4].

Tabulka 2: Rozsahy koeficientů přestupu tepla za různých podmínek [3]

Proces přenosu tepla	α [W · m ⁻² · K ⁻¹]
Plyny při volné konvekci	5-35
Plyny při nucené konvekci v trubkách	10-140
Voda při volné konvekci	100-1000
Voda při nucené konvekci	500-10000
Vařící voda	2000-10000
Kondenzující vodní pára	4500-15000

V teorii podobnosti se používají podobnostní čísla. Jak je výše zmíněno, konvekce může probíhat přirozeně nebo nuceně. U nuceného proudění je $Nu = f(Pr, Re)$ a u přirozeného proudění je $Nu = f(Pr, Gr)$ Tato čísla zohledňují míru vlivu fyzikálních a geometrických vlastností soustavy při změně rozměrů soustavy. Podobnostní čísla jsou definována takto:

$$\text{Reynoldsovo číslo}^8 \quad Re = \frac{w \cdot l}{\nu}$$

$$\text{Prandtlovo číslo}^9 \quad Pr = \frac{\rho \cdot c_p \cdot \nu}{\lambda}$$

$$\text{Grashofovo číslo}^{10} \quad Gr = \beta \cdot \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \Delta t$$

⁸ **Osbourne Reynolds** (1842-1912), anglický fyzik a pedagog, narodil se v Irsku a zemřel v Anglii, působil jako profesor strojírenství na Owens College, Manchester, soustředil se na mechaniku tekutin, jeho výzkum v oblasti kondenzace a přenosu tepla mezi pevnými látkami a tekutinami přinesl radikální změny v oblasti konstrukce kotlů. Stal se členem Královské Společnosti (Royal Society) [37]

⁹ **Ludwig Prandtl** (1875-1953), německý fyzik, profesor, věnoval se aerodynamice a hydrodynamice, působil na univerzitě v Göttingenu (Georg-August-Universität Göttingen, GAU) [38]

¹⁰ **Franz Grashof** (1826-1893), německý profesor strojírenství na Technické univerzitě v Karlsruhe (Technischen Hochschule Karlsruhe) [36]

Nusseltovo číslo ¹¹	$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$
α – koeficient přestupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
w – střední rychlost proudu	$\left[\frac{m}{s}\right]$
l – charakteristický rozměr	$[m]$
$\nu = \frac{\eta}{\rho}$ – kinematická viskozita	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
η – dynamická viskozita	$[Pa \cdot s]$
ρ – hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$
λ – tepelná vodivost	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
c_p – měrná tepelná kapacita	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
β – součinitel objemové roztažnosti	$[K^{-1}]$
g – gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$

Pro stanovení hodnot podobnostních čísel lze použít diagram a tabulku, viz Příloha 4, Příloha 5 [2], [3], [4].

- Zářením tepla (radiací) – jev při, kterém se tepelná energie mění v energii záření. Tento proces se označuje jako sálání. Jedná se o dlouhovlnné elektromagnetické záření s vlnovou délkou 800-4000 nm (infračervené záření). Toto záření může probíhat i ve vakuu, není tedy potřeba hmotného prostředí. Pro infračervené záření platí stejné zákony jako pro elektromagnetické záření. Platí tedy zákon odrazu, lomu a pohlcování. Na rozhraní prostředí dochází k odrazu záření (r –reflektance), pohlcování záření (a –absorbance) a průchodu záření (t –transmitance) platí rovnice:

$$r + a + t = 1 \quad [-] \quad (14)$$

Tato rovnice je vyjádřením Kirchhoffova zákona, tj. zákona zachování energie. Při $a=1$ se jedná o dokonale černé těleso (absolutně černé těleso), když je $r=1$ jedná se o dokonale bílé těleso a v případě $t=1$ jde o dokonale transparentní těleso. Je však nutné podotknout, že hodnoty $a=1$, $r=1$ nebo $t=1$ jsou pouze teoretické. Pro potřeby teoretických výpočtů byl zaveden pojem absolutně černé těleso, které pohlcuje veškeré dopadající záření.

Hustota tepelného toku radiací $q_0 [W \cdot m^{-2}]$, tj. intenzita vyzařování $M_{e0} [W \cdot m^{-2}]$ pro dokonale černé těleso je dána Stefan-Boltzmannovým zákonem

$$q_0 = M_{e0} = \sigma_0 \cdot T^4 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (15)$$

¹¹ Ernst Kraft Wilhelm Nusselt (1882-1957), německý fyzik, profesor na technické univerzitě v Mnichově, vytvořil teoretický základ termodynamiky, v roce 1953 se stal členem Bavorské Akademie věd (Bayerischen Akademie der Wissenschaften) [35]

kde $q_0 = (5,67032 \pm 0,00071) \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ je Stefan-Boltzmannova konstanta. Podle tohoto zákona platí, že intenzita záření absolutně (dokonale) černého tělesa je přímo úměrná čtvrté mocnině povrchové teploty.

- Kombinovaně – kombinace vedení a proudění tepla – prostup tepla (tato problematika je podrobněji rozvedena v další kapitole [2], [3], [4].

1.3.2. Základy tepelného výpočtu výměníku

Při výpočtech výměníku se vychází ze dvou základních rovnic:

První z rovnic je vyjádření zákona zachování energie (tj. rovnice tepelné bilance), kdy teplo odevzdané teplejší látkou se rovná teplu odvedenému studenější látkou, při zohlednění tepelných ztrát. V případě, že nenastává změna skupenství, lze rovnici vyjádřit takto:

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_h \cdot c_{p,h} \cdot \Delta T_h \cdot \eta = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \cdot \Delta T_c \quad [\text{W}] \quad (16)$$

Kde:

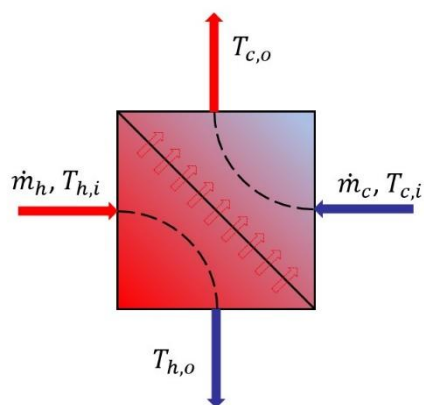
\dot{m}_h, \dot{m}_c – hmotnostní průtok ohřívací a ohřivané látky [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

$c_{p,h}, c_{p,c}$ – střední měrné tepelné kapacity ohřívací a ohřivané látky při konstantním tlaku [$\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

η – tepelná účinnost výměníku ($\eta=0,980-0,999$ v praktických výpočtech se obvykle neuvažuje) [-]

$\Delta T_h = T_{h,i} - T_{h,o}$ – rozdíl teplot ohřívací látky na vstupu a výstupu z/do výměníku [K]

$\Delta T_c = T_{c,o} - T_{c,i}$ – rozdíl teplot ohřivané látky na vstupu a výstupu z/do výměníku [K]



Obrázek 5: Princip přenosu tepla ve výměníku [54]

Druhá rovnice je rovnice prostupu tepla:

$$\dot{Q}_k = k \cdot S \cdot \Delta T_s \quad [\text{W}] \quad (17)$$

Kde:

S – teplosměnná plocha [m^2]

ΔT_s – střední logaritmický teplotní spád viz rovnice (4) [K]

k – součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Součinitel prostupu tepla k vyjadřuje přestup tepla α_h z teplejší tekutiny do stěny, vedení tepla stěnou a přestupem tepla α_c ze stěny do chladnější tekutiny. Tvar vzorce pro výpočet závisí na tvaru teplosměnné plochy (rovinná stěna, válcová stěna, žebrovaná stěna) a počtu vrstev. Pro potřeby této práce je dále uveden vzorec pro válcovou stěnu o jedné vrstvě:

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_h \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_c \cdot r_2}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (18)$$

Kde:

λ – koeficient tepelné vodivosti materiálu teplosměnné plochy [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

r_1 a r_2 – jsou vnitřní a vnější průměr válcové stěny [m]

α_h a α_c – se stanoví pomocí podobnostních čísel.

Na obrázku (Obrázek 5) je naznačen princip přenosu tepla v obecném výměníku [2], [3], [4].

Metoda ε -NTU

Metoda ε -NTU je jedna z metod používaná k analýze a výpočtům výměníků tepla. Postup vychází z bezrozměrné veličiny NTU (*Number of transfer units*), která je závislá na parametrech výměníku a provozních podmínkách. Rovnice pro výpočet NTU je definovaná takto:

$$NTU = \frac{k \cdot S}{C_{min}} \quad [-] \quad (19)$$

Kde:

$$C_{min} = \min(C_h, C_c) \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (20)$$

$$C_{max} = \max(C_h, C_c) \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (21)$$

Přičemž:

tepelné kapacity C_h a C_c se vypočtou takto:

$$C_h = \dot{m}_h \cdot c_{p,h} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (22)$$

$$C_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (23)$$

Pomocí parametru NTU je možné vypočítat účinnost přenosu tepla, ze kterého lze dále dopočítat přenesené teplo a výstupní hodnoty jednotlivých médií. Lze také postupovat obráceně: z teplotních spádů ochlazované a ochlazované látky a požadovaného výkonu dopočítat parametr NTU a poté velikost teplosměnné plochy.

Pro stanovení účinnosti ε se používá několik vzorců v závislosti na uspořádání proudů ve výměníku. Pro následující tři rovnice platí, že nedochází ke změně skupenství během průtoku výměníkem.

Souproudý výměník:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 + C_r)}}{1 + C_r} \quad [-] \quad (24)$$

Protiproudý výměník:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 - C_r)}}{1 - C_r \cdot e^{-NTU \cdot (1 - C_r)}} \quad [-] \quad (25)$$

Křížoproudý výměník:

$$\varepsilon = 1 - e^{\frac{-1 + e^{-NTU \cdot C_r}}{C_r}} \quad [-] \quad (26)$$

Kde:

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (27)$$

Pro poměr $C_r = 1$ platí zvláštní tvar rovnic (24), (25), (26), ty lze nalézt v dostupné literatuře.

Pokud máme vypočítanou účinnost ε a budeme předpokládat zamezení ztrát do okolí výměníku lze definovat přenesený tepelný tok \dot{Q} a výstupní teploty z výměníku pro výše zmíněné uspořádání výměníků za použití následujících vzorců [2], [3], [4], [6]:

Přenesený tepelný tok:

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \dot{Q}_{max} = \varepsilon \cdot C_{min} \cdot (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad [W] \quad (28)$$

Výstupní teplota ochlazované média:

$$T_{h,o} = T_{h,i} - \varepsilon \cdot \frac{C_{min}}{C_h} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad [^\circ\text{C}] \quad (29)$$

Výstupní teplota ohřívaného média:

$$T_{c,o} = T_{c,i} + \varepsilon \cdot \frac{C_{min}}{C_c} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad [^\circ\text{C}] \quad (30)$$

1.4. Přípravky

Pokud jsou použity přípravky, stávají se součástí technologické soustavy **stroj-nástroj-obrobek-přípravek**. Přípravek zajišťuje ustavení obrobku při obrábění, přesné a spolehlivé upnutí, vedení nástroje a ustavení vzájemné polohy při montáži a svařování.

Přípravky slouží především ke zjednodušení, zpřesnění a zkvalitnění vyráběných dílů či celých sestav. Přípravky umožňují především zkrátit přípravné časy ve výrobě. Čím větší podíl na celkové pracnosti tvoří přípravné časy, tím vhodnější je použití přípravku. V mnoha případech je použití přípravku nezbytné. Součásti (sestavy) mohou být již navrhovány s tím, že budou vyráběny (montovány) pomocí přípravků [7].

Rozdělení přípravků:

a) Podle rozsahu použitelnosti

- a. Univerzální přípravky – k upínání více druhů výrobků podobného tvaru, avšak různých velikostí. Některé typy vyžadují jen určitý doplněk pro danou velikost. Patří sem univerzální přípravky normalizované nebo dle katalogu (svěrák, sklíčidlo).
- b. Skupinové přípravky – celý přípravek nebo jeho část jsou společné pro skupinu obrobků. Skládají se obvykle ze stálých a vyměnitelných nebo seřiditelných částí. Těleso přípravku, upínací jednotka a její pohon apod. jsou stálé. Ustavovací a vodící části jsou vyměnitelné nebo stavitelné. Vyměňují se při přechodu na jinou dávku.
- c. Stavebnicové přípravky – sestavují se s typizovaných dílů, jako stavebnice.



Obrázek 6: Stavebnicový přípravek [8]

- d. Speciální přípravky (jednoúčelové) – slouží k upínání jednoho určitého dílu v požadované poloze pro určitou operaci. Upnutí je v tomto přípravku výhodnější oproti upnutí v univerzálním přípravku.
- #### b) Podle operačního určení
- a. Obráběcí přípravky – slouží k upnutí součásti při obrábění.
 - b. Montážní přípravky – slouží k ustavení součásti při spojování. Patří sem i svařovací přípravky.
 - c. Kontrolní přípravek – slouží ke kontrole rozměrů i tvaru. Kontrolovat lze jeden a někdy i více rozměrů současně.

- d. Rýsovací přípravek – například pro rýsování před obráběním.
 - e. Ostatní pomocná dílenská zařízení – patří sem přídavná zařízení obráběcích strojů, nakládací a manipulační zařízení apod.
- c) **Podle zdrojů upínací síly**
- a. Ruční upínání.
 - b. Mechanické upínání (pneumatické, hydraulické, elektromechanické, elektromagnetické nebo kombinované) [7].

Hospodárnost přípravku:

Před zhotovením přípravku je nutno zvážit jeho hospodárnost. Stupeň hospodárnosti lze vyjádřit pomocí *součinitele hospodárnosti X*. Součinitel lze vyjádřit takto:

$$X = \frac{\textit{souhr všech úspor dosažených použitím zařízení}}{\textit{souhrn všech výrobních a udržovacích nákladů na zařízení}} \quad [-] \quad (31)$$

Zařízení bude hospodárně využito, jestliže $X > 1$. V kusové a malosériové výrobě se mohou objevit přípravky, které podmínku hospodárnosti nespĺňují. Jsou to tzv. nezbytné přípravky. Tyto přípravky je někdy potřeba na vyrobení součásti, která by nešla nebo jen velmi obtížně v daných podmínkách vyrobit. Minimálně se předpokládá zkrácení výrobního času.

Rozhodujícími veličinami pro určení hospodárnosti přípravku jsou zejména úspory na mzdách a režie. Na opačné straně jsou to náklady na pořízení, údržbu a amortizace zařízení.

Označí-li se:

- U úspora při použití přípravku [Kč/ks]
- R režijní náklady [%]
- n průměrný počet obrobků za jeden rok pro rentabilní použití [ks/rok]
- Y náklady na údržbu [Kč/rok]
- C pořizovací cena zařízení [Kč]

Přípravek bude rentabilní, bude-li splněn následující vztah:

$$n \cdot U \cdot (1 + R) \geq C + Y \quad [-] \quad (32)$$

$$n \geq \frac{C + Y}{U \cdot (1 + R)} \quad [-] \quad (33)$$

Levou stranu vztahu představují úspory a režii na jeden vyrobený kus a pravou stranu představují náklady na pořízení a údržbu vztahené na jeden vyrobený kus[7].

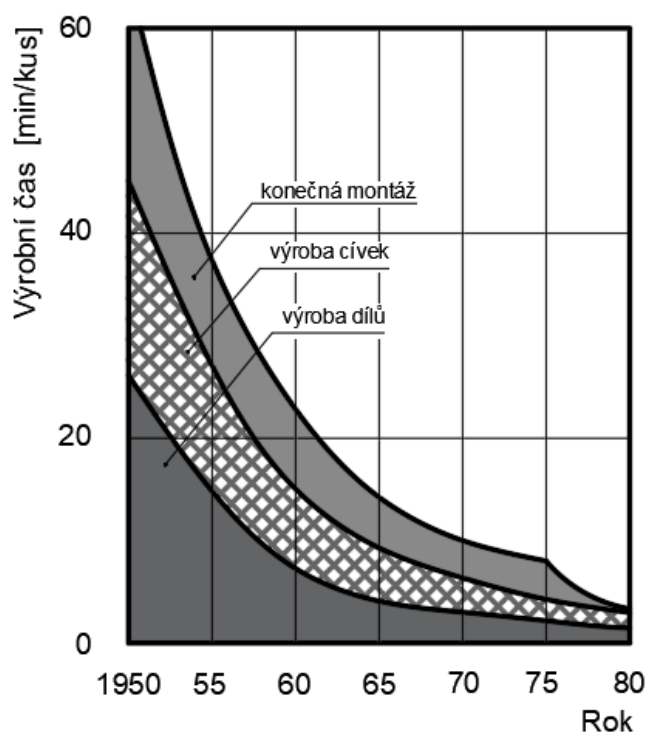
1.5. Montáž

1.5.1. Úvod do montáže

„Monteur (frc.) montér, zručnější dělník strojnický, který stroje ze součástek dodaných továrnou podle plánů na místě sestavuje v patřičný celek (montuje), aby mohly sloužit účelu svému. Vyžaduje se na něm znalost čtení z plánu, technických výkresů a zručnost v řemesle strojnickém a zámečnickém. Spojování součástek stroje nebo jiné konstrukce v patřičný celek sluje montáž, montování.“ [9 str. 581]

Slovo montáž je francouzského původu, *mont* znamená hora nebo také hromada, kupa. Montáž lze tedy česky vyjádřit jako kupit, dávat „do-hromady“. V současné době je montáž koordinovaným souborem činnosti lidí, strojů a dalších zařízení, kde na konci vzniká hotový výrobek. Některé typy montáže mohou být včleněny přímo do procesu výroby. Dále se s montáží můžeme setkat při údržbě strojů a dalších zařízení, kde se musí nejprve provést rozebrání (demontáž) a po opravě smontování (montáž) [10].

V průběhu minulého století významně narostl význam montáže v průmyslu. Dříve byla výroba zaměřena především na racionalizaci výroby dílů a polotovarů, montáž a manipulace se podílela relativně menším dílem na celkovém výrobním čase produktu. Tato změna je patrná například z obrázku, kde je znázorněn vývoj výrobních časů motorového jističe Siemens viz Obrázek 7 [10].



Obrázek 7: Výrobní časy motorového jističe [10]

Racionalizace montáže se proto stala mnohem významnější. V současné době je možné výrobu dílů, polotovarů, ale i výrobu svařenců v sériové výrobě plně automatizovat. Stále častěji se mluví o „Průmyslu 4.0“¹². Avšak v oblasti montáže je stále velký podíl lidské manuální práce

¹² **Průmysl 4.0:** je koncepce systematického budování moderního modelu fungování průmyslové výroby. První představení této koncepce proběhlo na Hannoverském veletrhu v roce 2011 představiteli německé vlády. Oficiálně byla spuštěna a dva roky později jako „Industrie 4.0“. Později se začaly připojovat další státy včetně České

a je velmi problematické některé montážní činnosti automatizovat. Je zde tedy velký prostor pro hledání způsobů usnadnění montážních prací. Obzvláště u kusové nebo malosériové výroby je nutné hledat taková řešení, která usnadní montážní práce při zachování rentability produkce a s tím podpoří konkurenceschopnost. Je tedy nutné hledat chytrá řešení.

Význam montáže ve strojírenské výrobě je především dán tím, že se jedná obvykle o poslední fázi výroby konečného produktu podniku. Montáž je z jedné strany přímo navázána na výrobu dílů a na druhé straně je ovlivněna požadavky zákazníka. Tyto dva vlivy mají v konečném důsledku vliv na produktivitu montáže [11].

Obtížná automatizace montáže je dána především rozmanitostí činností při montáži a malou opakovatelností, která je ovlivněna menší sériovostí. Automatizovat se dnes dá prakticky vše, ale za jakou cenu [11].

Odstranění menších sérií naráží, obzvláště dnes, na požadavky zákazníka. Zákazník je na prvním místě a v případě zakázkové malosériové výroby je ještě obtížnější automatizovat montáž. Řešením může být použití univerzálních robotů, což vyžaduje velké investice do vybavení montáže nebo navržení modulárních výrobků, tj. snadno přestavitelných [11].

Modulární výrobky mají tu výhodu, že mohou mít zároveň pozitivní vliv na technickou přípravu výroby ve všech fázích. Konstruktor může snadno vytvářet různé varianty výrobku, technolog může využívat nástrojů kopírování technologických postupů, obchodní oddělení využije modularitu ke snadnému a rychlému vytvoření nabídky. Všechny tyto výhody jsou dnes již běžně součástí podnikových informačních systémů a jsou na takto koncipované procesy v podnicích připraveny.

1.5.2. Historie

Výroba se postupně vyvíjela od řemeslné k centralizované výrobě. Na konci 17. století vznikají manufaktury, o sto let později dochází k přechodu od manufaktury k tovární výrobě. Společně s rozvojem průmyslu se rozvíjí i vědy zabývající se organizací práce a pracoviště, později ergonomií a psychologií práce atd. Předmětem zkoumání se stává fyziologie člověka, pracovní výkonost, rozložení pracovní doby a přestávek. Zkoumají se například optimální polohy při práci apod. K práci se začíná přistupovat vědecky. Mezi hlavní představitele vědeckého přístupu k práci byl F. W. Taylor¹³. Taylor vycházel z toho, že práce dělníka není maximálně využita, a proto se zabýval tím, jak dosáhnout lepších výsledků. Dosáhnout dané skutečnosti mělo být možné s využitím následujícího:

- na základě stávající situace navrhnout nejlepší způsob práce,
- najít dělníky, kteří tento navržený způsob práce zvládnou,
- provést měření pracovního výkonu těchto dělníků,
- odměnami a regulací mezd vynucovat dodržování pracovního výkonu [12].

Na začátku 20. století byla montáž výhradně ruční záležitostí. V souvislosti s rozvojem automobilového průmyslu docházelo k přechodu na hromadnou a velkosériovou výrobu.

republiky. Průmysl 4.0 podporuje transformaci výroby samostatných výrobních jednotek na plně integrované do výrobního řetězce, které vzájemně komunikují s minimálními zásahy obsluhy. Budou vznikat nové globální sítě tzv. „inteligentních továren“ [33].

¹³ **Frederic Winslow Taylor** (1856–1915), americký vynálezce a inženýr. Byl přijat na Harvardovu univerzitu, z důvodu špatného zraku šel však do učení na strojníka ve společnosti Enterprise Hydraulic Works ve Philadelphii. Po třech letech nastoupil ve společnosti Midvale Steel Company kde začal jako dělník a vypracoval se na hlavního inženýra. Později studoval večerně a získal v roce 1883 titul v oboru strojírenství na Stevens Institute of Technology. Má na svém kontě více než 40 patentů, je považován za průkopníka vědeckého zkoumání práce. Dodnes se výsledky jeho práce uplatňují v moderní průmyslové výrobě [49].

Rozvoj velkosériové výroby souvisel také s válečnou výrobou v první a druhé světové válce. Vznikají montážní linky, které byly zpočátku výhradně koncipované jako ruční montáže. Dělníci vykonávali jednoduché činnosti, které se neustále opakovaly. Později se začala používat částečná mechanizace. Tento přístup byl velmi produktivní, avšak pro samotné dělníky velmi náročný až nehumánní [10].

Taylor svým vědeckým zkoumáním práce přispěl nepochybně k teoretickému rozvoji vědeckého zkoumání výroby. Jeho metody řízení a motivace založené čistě na vědeckém zkoumání práce, někdy také nazýván jako „taylorismus“ byl ve své původní formě aplikován především v USA [12].

V roce 1913 spustil Henry Ford montážní linku, kde použil pohyblivý montážní pás při výrobě automobilů. Dělníci byli rozmístěni na jednotlivá pracoviště spojená pohyblivým pásem, kde na jednotlivých pracovištích vykonávali jednoduché montážní práce. Výhodou tohoto uspořádání bylo, že nebylo potřeba mít kvalifikované pracovníky. Dělníci byli vyškoleni jen na jednu činnost, kterou vykonávali v určitém cyklu, který byl dán rychlostí celé linky. Toto uspořádání výroby významně snížilo výrobní náklady automobilů, což byla zásadní konkurenční výhoda [10].

V období první světové války se stále aplikoval vědecký přístup k práci, později mezi světovými válkami se prosazoval psychologický přístup k organizaci práce a pracovní síly. Mezi válkami se daleko více řešily pracovní podmínky (hluk, osvětlení, mikroklima apod.) Došlo se k poznání, že ani optimální pracovní podmínky nejsou zárukou maximálního pracovního výkonu [12].

Henry Ford zavedl ve své výrobě automobilů systém 3S:

- a) Specialization (specializace) - cílené soustředění na určitou oblast. Může to být zaměření na určité odvětví nebo jen část odvětví nebo jen na určitý výrobek. Pokud se výrobce zaměří například na výrobu elektromotorů v rozsahu od 5 do 100 kW, je zřejmé, že v tomto rozsahu může být mnoho typů elektromotorů.
- b) Simplifikation (zjednodušení) - zjednodušením produkce například na tři typy motorů vyráběných ve velkých sériích vede k významným úsporám.
- c) Standardization (standardizace) - základním principem hromadné výroby. Standardizace umožňuje zaměnitelnost dílů, tj. díl vyrobený na různých místech má pokaždé stejně definované vlastnosti. Standardizace je rozdělena na několik úrovní:
 - mezinárodní např. ISO (International Organization for Standardization),
 - národní, např. ČSN (Česká technická norma) nebo DIN (Deutsche Industrie Norm),
 - v rámci odvětví, např. AISI (American Iron and Steel Institute), SAE (Society of Automotive Engineers),
 - v rámci podniku, např. PNE (Podnikové normy energetiky) [10], [13].

Čistě vědecký přístup k práci byl velmi problematický a v dlouhodobém horizontu pravděpodobně neudržitelný. Pracovní podmínky v tomto systému byly nelidské. Taylorův přístup nerespektoval fyziologické, anatomické a psychologické poznatky o člověku. V meziválečném období se stává hlavním směrem psychologie práce. Při tomto zkoumání se projevuje mnohotvárnost lidského činitele, individuální vlastnosti člověka, které se v praxi projevují absencí, fluktuací, kolísáním výkonu, projevy únavy apod. Ukazuje se skutečnost, že práce je společenská záležitost a nelze ji omezit na samostatný uzavřený celek (E. Mayo¹⁴).

¹⁴ **George Elton Mayo** (1880-1949), americký psycholog, narodil se v Austrálii a zemřel v Anglii, působil v USA na několika univerzitách. Zabýval se průmyslovou sociologií. Jeho nejvýznamnějším dílem je *The Human*

Toto si později uvědomil Ford a v roce 1936 prohlásil, že se doposud věnoval především jen strojům a je potřeba stejnou pozornost věnovat lidem.

Další vývoj by se dal rozdělit do následujících tří oblastí:

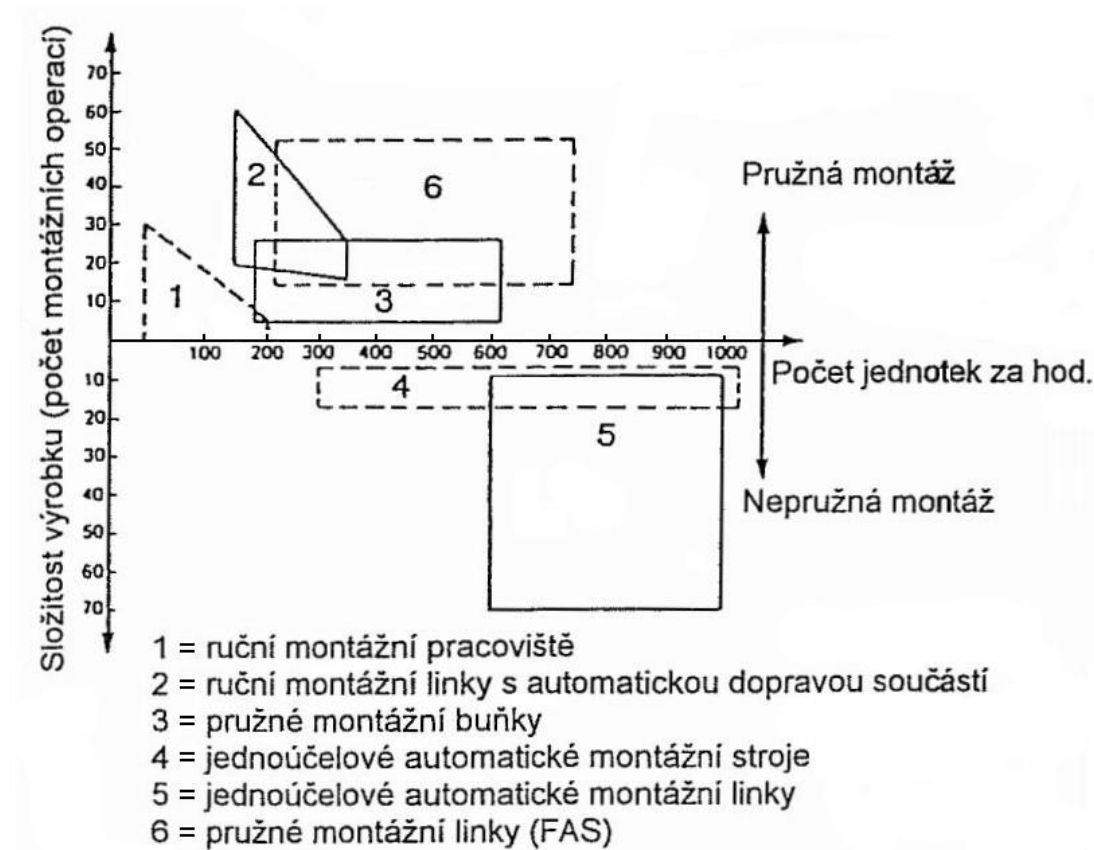
Psychologie práce – zkoumání a výběr člověka (psychotechnika), otázky výkonosti práce, výuka a výcvik a také bezpečnost práce. Řeší dále otázky pracovního režimu a pracovních podmínek.

Inženýrská psychologie – podstatou je přizpůsobení techniky člověku. Stále složitější technika kladla na obsluhu stále větší nároky; zpočátku se jednalo především o vojenskou techniku. Aby nedocházelo k chybám, úrazům nebo haváriím, musela se technika přizpůsobit potřebám člověka. To byl také začátek nového vědního oboru ergonomie.

Sociální psychologie a sociologie – zkoumá vztahy ve výrobě, mezilidské vztahy a vztah člověka k práci. Lze sem zahrnout i otázku personálního řízení [12].

1.5.3. Montážní systémy

Typ montážního systému je závislý především na vyráběném množství, velikosti dávek a variabilitě výrobků, jak je vyobrazeno na následujícím obrázku (Obrázek 8) [10], [14].



Obrázek 8: Rozdělení montážních systémů dle množství a složitosti výrobku [10]

Problems of an Industrial Civilization (1933). Inicioval výzkumný projekt v elektrárně Western Electric Company's Hawthorne Works. Cílem projektu bylo zjistit závislost produktivity práce na pracovních podmínkách. Výsledky výzkumu popsali jeho spolupracovníci v publikaci *Management and the worker* (1939). Na základě experimentů se zjistilo, že sociální vazby mohou mít větší vliv na produktivitu práce než pracovní prostředí a odměna za práci. Tento fenomén je znám jako *Hawthorne effect* [50].

Základní rozdělení montážních systémů:

- ruční systémy,
- strojní systémy,
- kombinované systémy – kombinace ručního a strojního systému, v současné době se vyvíjejí systémy, kdy robot spolupracuje s člověkem. Příkladem takovéto spolupráce je výroba zásuvek Obrázek 9 [10], [14], [15].



Obrázek 9: Výroba zásuvek ve společnosti ABB (15)

Montáž lze dále dělit podle různých hledisek:

Podle místa probíhající montáže:

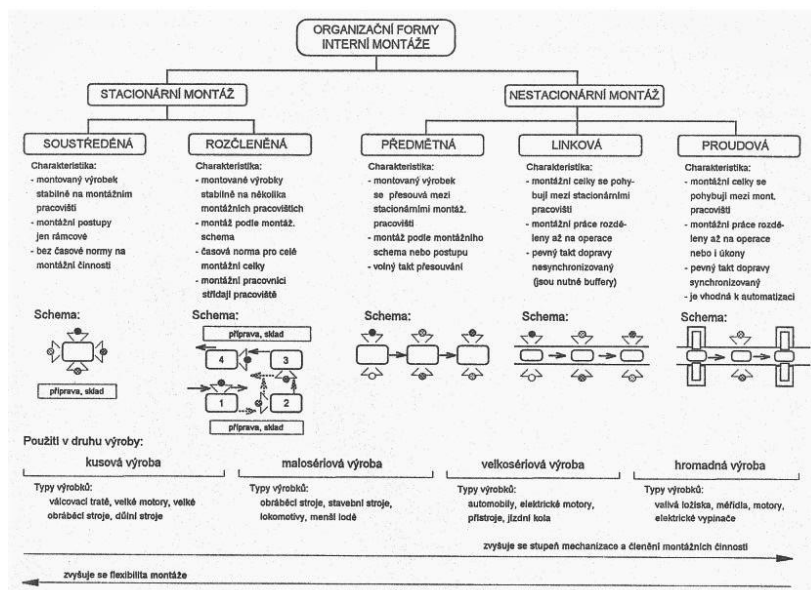
- externí – obvykle jsou to velké celky – výrobní stroje, stavební energetické a dopravní celky, kogenerační jednotky. V interní montáži se připraví jednotlivé celky a ty se pak přepraví na místo instalace, kde se provede konečná montáž. Zkouška a spuštění celku se provede až na místě, obvykle se takto provádí montáž u celků, které nelze v místě výroby úplně složit z prostorových či jiných důvodů. Například u kogeneračních jednotek o výkonech 1 MW a více je velmi problematické zajistit v místě výroby dostatek paliva a odporových zátěží pro plný chod kogenerační jednotky,
- interní – provádí se ve výrobním závodě, obvykle opouští závod již připravený k použití nebo jako část většího celku viz externí montáž. [1], [10]

Z hlediska pohybu montovaného celku (podrobněji viz Obrázek 10):

- stacionární – montovaný celek se v průběhu montáže nepohybuje, montážní skupiny se u něho střídají,
- nestacionární – montovaný celek se pohybuje.

Z hlediska kumulace činností montáže (podrobněji viz Obrázek 10):

- fázová (stacionární),
- skupinová (předmětná),
- proudová (plynulá, linková).



Obrázek 10: Rozdělení montáže dle pohybu výrobku, schémat montážních pracovišť, druhů výroby, stupně mechanizace [10]

Z hlediska stupně mechanizace a automatizace (viz Obrázek 11):

- ruční,
- poloautomatická,
- automatická.

Charakteristika:	Druh montáže			
	ruční	mechanizovaná	automatizovaná	
			tvrdě	pružně
Zdroj energie	člověk	motor	motor	motor
Ovládání nástroje	člověk	člověk	stroj	stroj
Řízení procesu	člověk	člověk	tvrdé řízení	pružné řízení
Kontrola	člověk	člověk	člověk, čidla	čidla

Obrázek 11: Montážní systémy z pohledu mechanizace a automatizace [10]

Dle schopnosti přestavby montážního systému:

- jednoúčelový – (tvrdý) pevně daný účel, když tak velmi nákladný způsob přestavby,
- pružný – (flexibilní) již od počátku se počítá s možností přestavby systému [10], [14].

1.5.4. Technologičnost konstrukce s ohledem na montáž

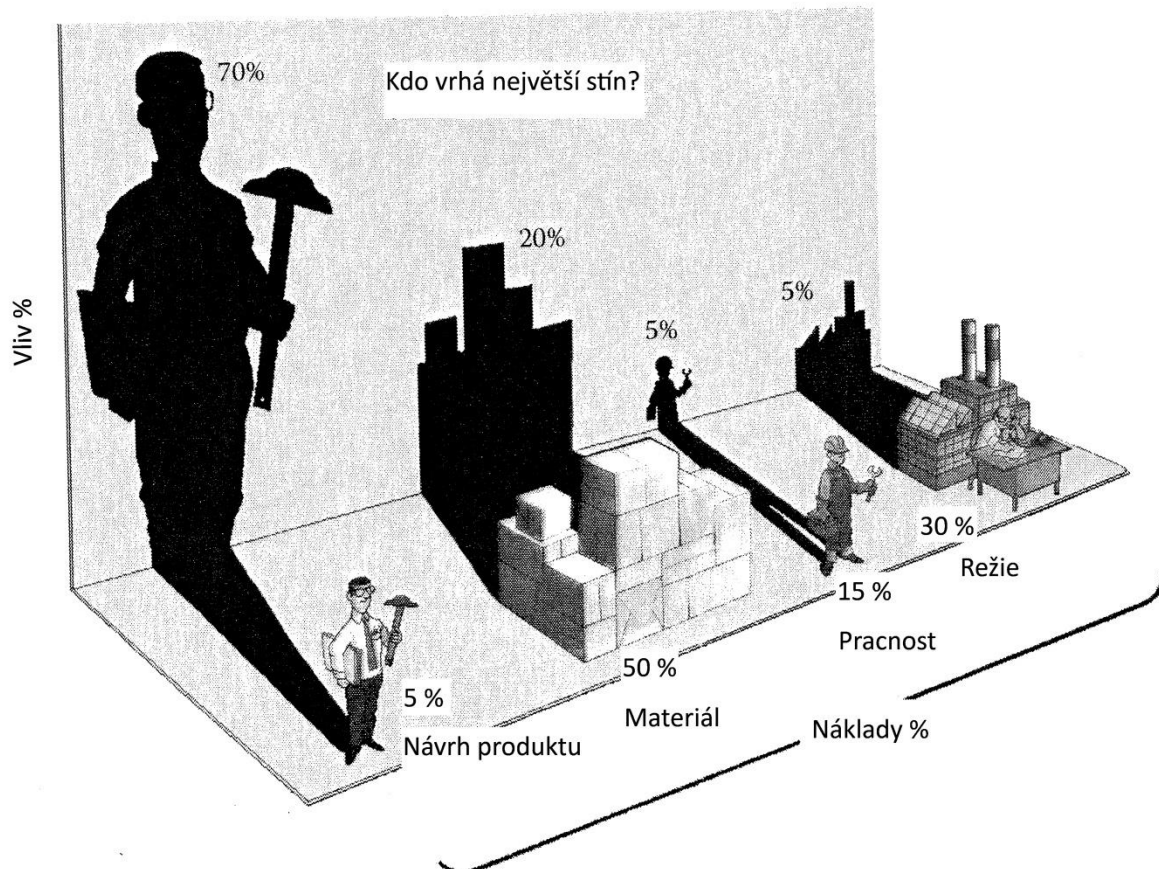
Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technického a také ekonomického charakteru, které tvoří podmínky pro vytvoření funkčního výrobku, který plní spolehlivě svoji funkci, pro kterou byl navržen, je vyrobitelný s přijatelnými náklady hmotnými a lidskými, a také s přihlédnutím ke vlivu na životní prostředí. Tyto vlastnosti jsou dány především konstrukčním řešením, volbou materiálu, hmotností, životností atd. Pro každou vlastnost existuje mnoho použitelných variant, proto je zřejmé, že konstruktér může teoreticky navrhnout nepřeberné množství variant určitého produktu. Proto by měl konstruktér dodržovat některé základní zásady konstruování [16]. Z hlediska montáže se jedná o tyto zásady:

- a) optimalizovat počet součástí,
- b) minimalizovat počet montážních směrů,
- c) navrhovat velikost a hmotnost částí s ohledem na montážní techniku,
- d) zajistit dobrý přístup k montážnímu místu,
- e) volit vhodný způsob spojování,
- f) volit vhodnou rozměrovou a tvarovou přesnost i drsnost ploch a minimum rozměrových řetězců,
- g) zajistit stabilitu a rozlišitelnost polohy montovaných částí,
- h) využívat metody standardizace (typizaci, unifikaci),
- i) volit vhodnou polohu těžiště (výrazně vychýlené těžiště může komplikovat přepravu v rámci podniku či na místo instalace),
- j) tvar součástí volit s ohledem na typ montáže (ruční nebo automatická) [10], [14], [16].

Technologičnost konstrukce je relativní pojem. Za určitých podmínek může být nějaký produkt konstrukčně-technologicky vyhovující a za jiných podmínek to nemusí platit. Proto při posuzování technologičnost je nezbytné vědět, co se od výrobku očekává, jaké je technologické vybavení výroby, zda je možné některé operace zadat kooperační firmě, v jakých dávkách se bude výrobek vyrábět, v jakých podmínkách bude výrobek fungovat (např. v leteckém, dopravním a jaderném průmyslu se požadavky na výrobky výrazně liší od běžných výrobků), dále, jaký je předpokládaný termín dodání zákazníkovi a zejména jaké budou předpokládané výrobní náklady. Aby mohl konstruktér, navrhnou vyhovující konstrukční řešení součástí, musí kromě konstrukčních požadavků na danou součást, znát technologické možnosti výrobního podniku, mít přehled o kooperačních firmách a mimo jiné také o dalších technologických možnostech na trhu, případně o nových, teprve rozvíjejících technologiích v oblasti strojírenství.

Jaký vliv na výrobní náklady mají jednotlivé součásti výrobního systému, zobrazuje Obrázek 12. Z tohoto obrázku je zřejmé, že největší vliv na celkové náklady má předvýrobní příprava, tj. konstrukčně-technologická příprava. Aby konstrukčně-technologická příprava mohla fungovat správně, je důležitá úzká spolupráce konstruktéra a technologa, neboť nefungující spolupráce má nepříznivý vliv nejenom na samotný proces vývoje nového produktu, ale v konečném důsledku prodražuje významně výrobu.

Obrázek 12 dále ukazuje, že vliv výrobních a montážních pracovníků na celkové náklady je výrazně menší než předvýrobní příprava. Z toho logicky vyplývá, že pokud se provádějí racionalizační opatření, je potřeba nejprve hledat úspory tam, kde budou mít změny největší vliv. To se může samozřejmě lišit dle stupně racionalizace v daném podniku, nebo to může být také ovlivněno sériovostí výroby. Například u velkých opakovaných sérií výrobků bude pravděpodobně vliv racionalizace výroby významně větší, naopak u proměnlivého sortimentu významně naroste vliv technické přípravy výroby na celkové výrobní náklady.



Obrázek 12: Kdo vrhá největší stín [17]

1.5.5. Design for Manufacture and Assembly (DFMA)

Metoda DFMA je rozšířením metod DFM (Design for Manufacture) a DFA (Design for Assembly). Metoda DFM se zabývá konstruováním výrobků co nejefektivněji s minimálními náklady a metoda DFA je zaměřena na konstruování s ohledem na co nejjednodušší montáž s minimálními náklady a metoda DFMA spojuje tyto dvě metody a řeší komplexně návrh výrobku s ohledem na celý výrobní proces, tedy jak výrobu, tak montáž [17].

DFMA se používá pro tyto hlavní aktivity:

- redukci výrobních a montážních nákladů,
- hledání lepších řešení hodnocením a analýzou konkurence,
- analýzu alternativních konceptů výroby a montáže [17].

Vývoj DFMA začal počátkem 60. let minulého století, zpočátku byl zaměřen na automatickou montáž. Problematikou se zabýval od roku 1963 Geoff Boothroyd a jeho student Alan Redford, dále jeho kolegové Geoffa Boothroyda Corrado Poli a Laurence Murch na univerzitách Salford University in England a University of Massachusetts. Výsledkem jejich práce byla příručka pro hodnocení orientace a posouvání (zasouvání) malých součástí [18]. Boothroyd a další jeho kolegové metody hodnocení dílů dále rozvíjeli. Postupem času se začaly metody uplatňovat v praxi. Začaly je používat velké americké společnosti Xerox, General Electric, Westinghouse Electric, IBM a další. DFA přinesl obrovské úspory v řádech milionů dolarů. Zásadním zlomem pro zavádění DFA do praxe byla skutečnost, kdy společnost Ford Motor Company v roce 1988 oznámila, že díky novému DFA softwaru se podařilo ušetřit miliardy dolarů při výrobě automobilu Ford Taurus. Později společnost General Motors (dále jen GM) provedla porovnání

dvou montážních linek ve Farfaxu v Kansasu (Pontiac Grand Prix) a montážní linky Ford pro modely Taurus a Mercury Sable nedaleko Atlanty a zjistilo se, že například nárazník Ford se skládal z 10 dílů oproti 100 dílů v Pontiacu od GM [17].

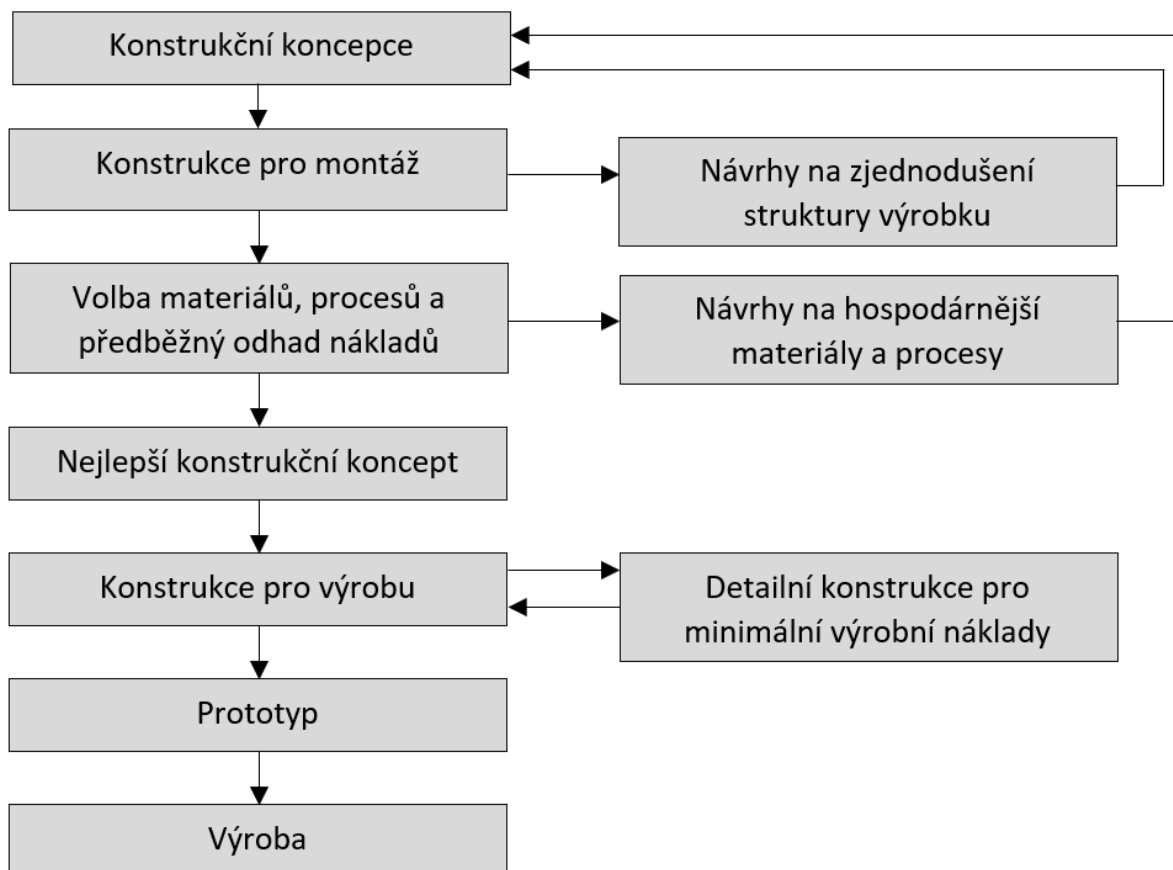
1.5.6. Jak DFMA funguje

DFMA je nástroj pomocí, díky kterým lze systematicky zkracovat dobu výroby a montáže, což vede ke snížení výrobních nákladů. Bylo stanoveno několik základních zásad, které by se měly při návrhu výrobku dodržovat:

- a) Minimalizovat počet a typy dílů v sestavě.
- b) Minimalizovat počet a typy spojovacích součástí.
- c) Standardizovat (požívat standardizované materiály, nářadí, procesy, nástroje).
- d) Vyhýbat se problematickým dílům (velmi malé/špatně uchopitelné).
- e) Používání modulárních podsestav.
- f) Používání multifukčních dílů.
- g) Sestavování ideálně v jednom směru.
- h) Snadná orientace při montáži (zkosení, drážky, zámky).
- i) Pokud to je možné, vyhnout se speciálnímu nářadí a zařízení.
- j) Minimalizovat počet operací.
- k) Díly a sestavy přizpůsobit balení a přepravě (ostré hrany, hmotnost, tvar).
- l) Minimalizovat použití flexibilních součástí (gumové výrobky, těsnění, hadice apod.).
- m) Navrhovat v odpovídajících tolerancích s ohledem na výrobní možnosti [17], [19], [20].

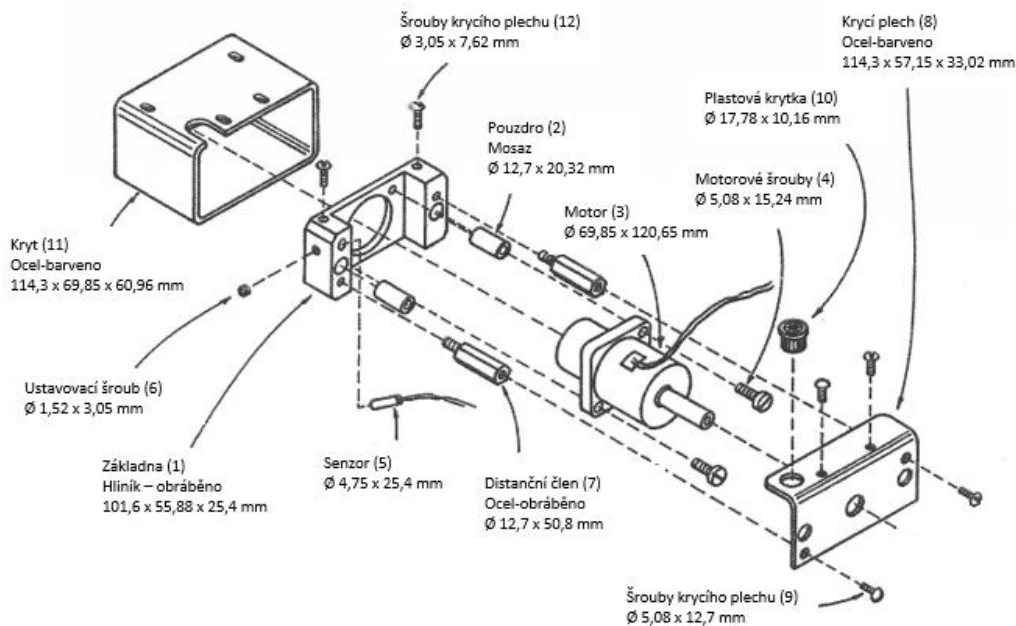
Navrhování výrobku probíhá systematicky v několika krocích, viz Diagram 1.

Diagram 1: Proces návrhu nového výrobku (17)



1.5.7. Příklad použití DFMA

V této kapitole je popsán ukázkový příklad použití metody DFMA při návrhu motorového pohonu viz Obrázek 13.

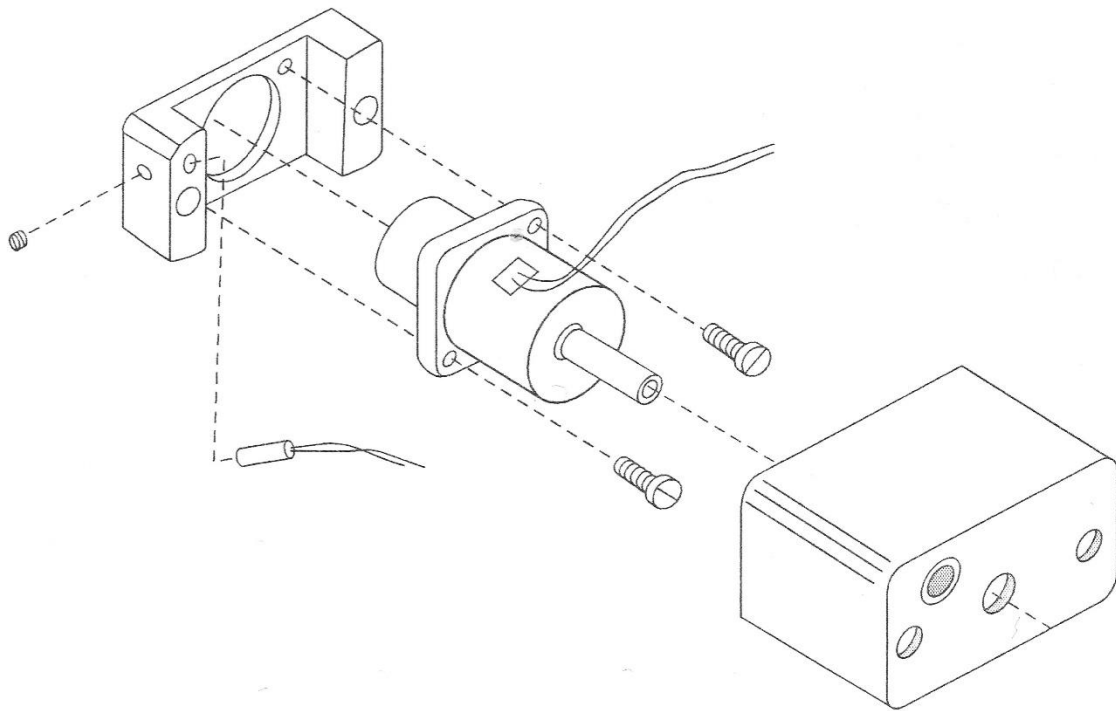


Obrázek 13: Původní motorový pohon [17]

Postup úpravy konstrukčního řešení motorového pohonu:

- **Základna (1):** Vzhledem k tomu, že se jedná o první část, která má být sestavena, nejsou prozatím žádné součásti, se kterými by se mohla kombinovat. Proto je to teoreticky nezbytná součást.
- **Pouzdra (2):** Teoreticky mohou být ze stejného materiálu jako základna.
- **Motor (3):** Jedná se o klasickou podsestavu, která je zakoupena přímo od dodavatele, motor je tedy nepostradatelnou samostatnou položkou.
- **Motorové šrouby (4):** Teoreticky by mohly být integrovány do motoru.
- **Senzor (5):** Toto je další zakoupená součást, která je nezbytnou samostatnou položkou.
- **Ustavovací šroub (6):** Teoreticky není nezbytný.
- **Distanční členi (7):** Mohou být součástí základny.
- **Krycí plech (8):** Musí být oddělen z důvodu montáže ostatních dílů.
- **Šrouby krycího plechu (9):** Teoreticky nejsou nezbytné.
- **Plastová krytka (10):** Mohl by být ze stejného materiálu jako krycí plech.
- **Kryt (11):** Mohl by být spojen s krycím plechem.
- **Šrouby krycího plechu (12):** Teoreticky nejsou nezbytné.

Na dalším obrázku je upravený motorový pohon (Obrázek 14). U těch částí, kde to bylo možné a vhodné, se provedlo sloučení. Některé části musely zůstat samostatné, aby mohly být případně rozebrány. Po návrhu úprav je nutné provést kalkulaci výrobních nákladů a porovnat je s původním návrhem.



Obrázek 14: Motorový pohon po úpravě [17]

Porovnání montážních časů a výrobních nákladů původního a nového řešení motorového pohonu jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tabulka 3, Tabulka 4).

Tabulka 3: Montážní časy a náklady původní motorového pohonu [17]

	Počet kusů	Montážní čas [s]	Montážní náklady [Kč*]
Základna	1	3,5	0,612
Pouzdro	2	12,3	2,152
Motor	1	9,5	1,667
Motorové šrouby	2	21,0	3,693
Senzor	1	8,5	1,498
Ustavovací šroub	1	10,6	1,857
Distanční člen	2	16,0	2,806
Krycí plech	1	8,4	1,477
Šrouby krycího plechu	2	16,6	2,912
Plastová krytka	1	3,5	0,612
Šroubování	-	5,0	0,866
Přeorientování	-	4,5	0,802
Kryt	1	9,4	1,667
Šrouby krycího plechu	4	31,2	5,486
Celkem	19	160,0	28,126

(*přepočteno z amerického dolaru kursem 21,1 Kč při hodinové sazbě 633 Kč/h)

Tabulka 4: Montážní časy a náklady upraveného motorového pohonu [17]

	Počet kusů	Montážní čas [s]	Montážní náklady [Kč*]
Základna	1	3,5	0,612
Motor	1	4,5	0,802
Motorové šrouby	2	12,0	2,110
Senzor	1	8,5	1,498
Ustavovací šroub	1	8,5	1,498
Šroubování	-	5,0	0,886
Plastový kryt	1	4,0	0,696
Celkem	6	46	8,102

(*přepočteno z amerického dolaru kursem 21,1 Kč při hodinové sazbě 633 Kč/h)

Dle porovnání vychází jednoznačně lépe novější varianta motorového pohonu, kterou zobrazuje Obrázek 14. Toto porovnání je pouze ilustrativní, ale jednoznačně ukazuje na výhodnost požití metody DFMA [17].

2. Charakteristika a popis současného stavu výroby a montáže spalinových výměníků

Spalinový výměník je nezbytnou součástí kogenerační jednotky. Část tepelné energie vznikající při práci spalovacího motoru odcházející společně se spalinami je přenášena do otopné soustavy právě pomocí spalinového výměníku. Konfigurace spalinového výměníku je především závislá na velikosti kogenerační jednotky, tj. na požadovaném výkonu. Kogenerační jednotky vyráběné společností TEDOM a.s. se dělí do 3 skupin dle velikosti viz Obrázek 15. Jedná se o výkony elektrické. Množství tepla se liší dle typu a konfigurace jednotky a pohybuje se od 1,5 do 2,5násobku elektrického výkonu.



Obrázek 15: Kogenerační jednotky vyráběné společností TEDOM, dle rozsahu elektrického výkonu [1]

2.1. Rozdělení vyráběných výměníků

Rozdělení vyráběných výměníků v zásadě odpovídá typu kogenerační jednotky.

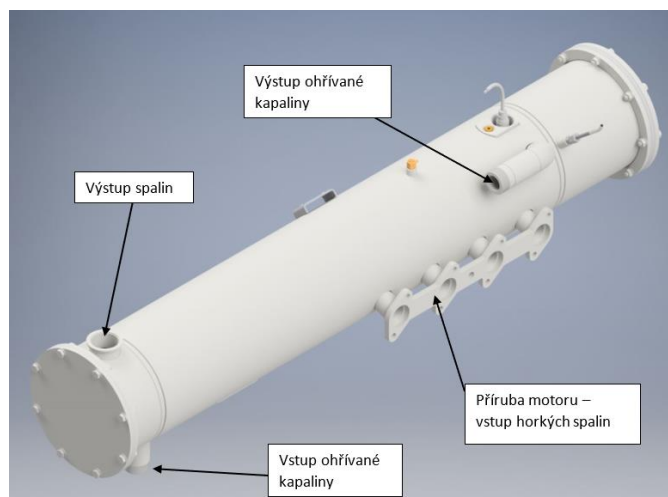
Typově se jedná o rekuperační výměníky s křížovým protiproudým uspořádáním. Médium s vyšší teplotou (spaliny motoru) proudí přes vstupní komoru rovnými trubkami do výstupní komory a dále výfukovým potrubím přes tlumič ven. Trubky, ve kterých proudí horké spaliny, jsou omývány chladicí otopnou vodou. Teplota spalin se pohybuje dle typu kogenerační jednotky od 450 až do 650 °C. U jednotek MICRO se proudění spalin mírně liší od ostatních jednotek. Spalina nevstupují rovnou do vstupní komory, ale procházejí nejprve středovou trubkou a následně vstupní komorou. Princip přenosu tepla je u všech výměníků stejný.

Rozměry výměníků jsou od průměru 153 mm do 1000 mm a u těch největších rozměrů mohou dosahovat délky až 4500 mm. Rozhodujícími parametry, které ovlivňují celkový výkon spalinového výměníku, jsou průměr svazku, počet trubek ve svazku, průměr a délka trubek. Tyto parametry ovlivňují velikost teplosměnné plochy. Dalšími neméně důležitým parametrem je odpor proti proudění spalin způsobený třením o stěny. Maximální přípustný odpor je předepsán výrobcem motoru. Velikost odporu má vliv na celkovou účinnost motoru [1].

Výpočet parametrů spalinového výměníku se provádí pomocí tabulky, viz ukázka (Příloha 7).

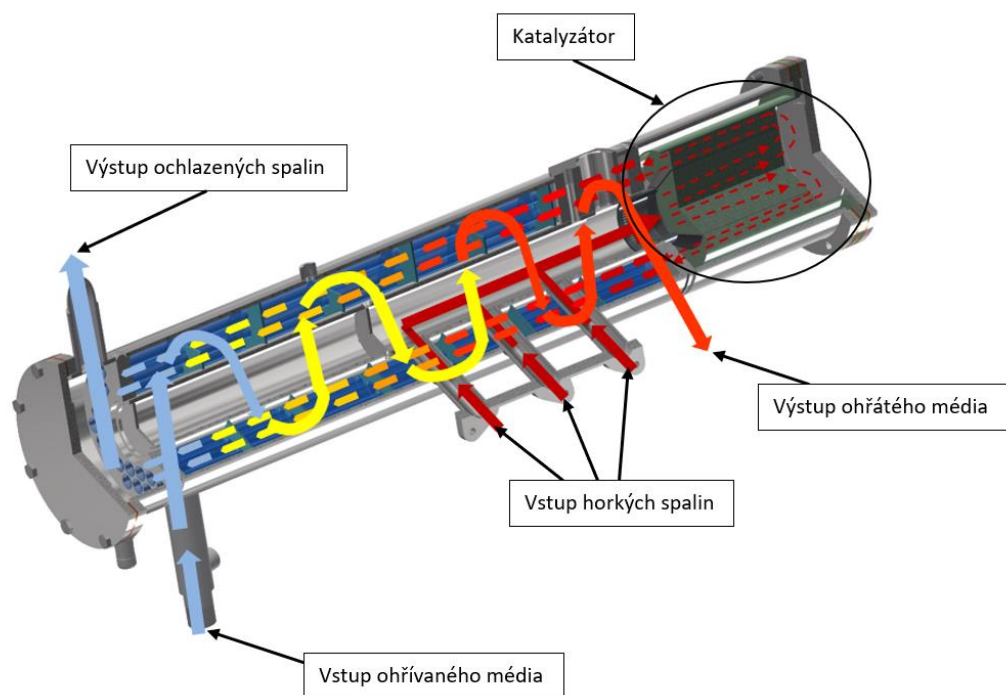
2.1.1. Výměník pro jednotky MICRO

Jedná se o nejmenší typ výměníku. Konstruktivní řešení výměníku uvádí Obrázek 16 a výkres sestavy zobrazuje Příloha 11. V současné době se vyrábějí tři základní typy výměníků pro jednotky Micro. Tyto tři základní typy se liší pouze velikostí, uspořádání je v zásadě u všech tří velikostí totožné. Obvykle se vyrábějí v 5 či 10 kusových sériích.



Obrázek 16: Model spalínového výměníku pro jednotku MICRO T30

Nejmenší výměníky pro jednotky MICRO se mírně liší konstrukčním uspořádáním od ostatních větších typů SV z důvodu úspory místa, spaliny vstupují do výměníku potrubím z motoru přímo do středu výměníku, kde dále pokračují do komory. V komoře projdou katalyzátorem a vracejí se zpět trubičkami, které již ohřívají médium. Spaliny dále pokračují do výstupní komory a následně přes tlumič výfukem ven z kogenerační jednotky (Obrázek 17).

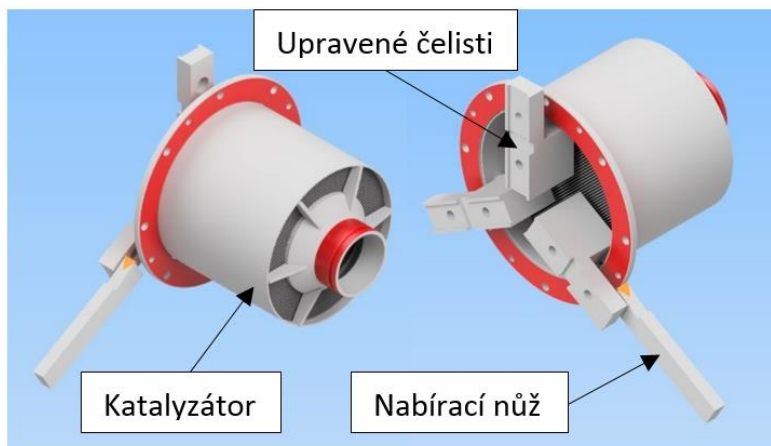


Obrázek 17: Schéma průtoku médií ve spalínovém výměníku pro jednotku MICRO

Všechny plechové díly vyrábí kooperační firma. Tyto díly jsou řezány laserem či plazmou, podrobněji je výroba dílu popsána v kapitole 2.7.

Sestava katalyzátoru je dodávána jako svařenec, který se ještě před montáží upravuje, viz Obrázek 18. Úprava spočívá v oboustranném obrobení příruby a vytvořením zápiců pro těsnící kroužky. Obrábění se provádí na konvenčním univerzální soustruhu za použití

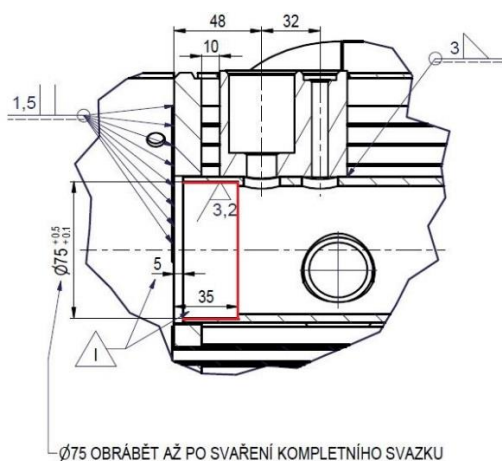
speciálně upravených čelistí. Tento postup umožňuje obrábění všech funkčních ploch na jedno upnutí, obráběné plochy jsou označeny červeně.



Obrázek 18: Obrábění funkčních ploch katalyzátoru na jedno upnutí

Spalinového potrubí se svařuje samostatně ve speciálním přípravku, pomocí kterého se ustaví spalinové potrubí do požadovaných pozic a poté se svaří.

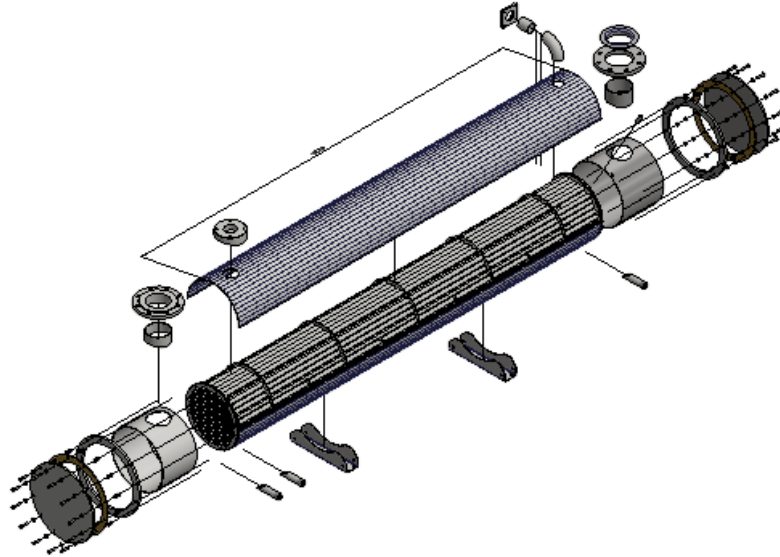
Hrdlo katalyzátoru, které je opatřeno těsnícími kroužky, podobnými jako jsou na pístu spalovacího motoru, se později při montáži zasune do otvoru, který je uprostřed středové trubky. Tento otvor musí být vyroben s požadovanou přesností. Otvor je možné obrábět až po sestavení a svaření svazku spalinového výměníku. Obrábění se provádí na horizontální vyvrtávačce, která je obvykle osazena úhelníkem pro obrábění trubkovnic. Aby nebylo nutné při každém obrábění otvoru pro katalyzátor sundávat pomocí jeřábu upínací úhelník, byl navržen speciální přípravek pro upnutí svazku spalinového výměníku pro jednotky MICRO, pomocí kterého je možné upnout svazek na stůl horizontální vyvrtávačky a při tom je možné ponechat upínací úhelník na stole. Přípravek navíc usnadňuje samotné upnutí a ustavení svazku. Dříve se upnutí provádělo pomocí upínek a vyrovnávání bylo zdlouhavé. Přípravek je určen pro všechny velikosti výměníku pro jednotky MICRO, výkres přípravku zobrazuje Příloha 6. Na Obrázek 19 je zobrazen červeně detail obráběné plochy, do které se později při montáži zasune hrdlo katalyzátoru s těsnícími kroužky [1].



Obrázek 19: Detail výkresu spalinové výměníku s červeně vyznačenou obráběnou plochou [1]

2.1.2. Výměník pro jednotky CENTO

Jedná se o výměníky pro střední řadu kogeneračních jednotek (Obrázek 20). Všechny standardní typy výměníků, respektive jejich svazků, se vyrábějí pomocí speciálního přípravku, který umožňuje svazek výměníku snadno složit. Polotovarem pláště svazku není trubka, ale plech tloušťky 4 mm. Plášť se skládá ze dvou ohraněných plechů, které se pomocí speciálního přípravku složí do jednoho celku a svaří, viz Obrázek 21. Tato metoda se dlouhodobě osvědčila i v současných podmínkách.



Obrázek 20: Konstruktivní řešení spalínového výměníku pro jednotky CENTO T120-T200

Omezením tohoto řešení je potřeba speciálního přípravku, pro každý průměr svazku je nutné mít zhotovený jiný. V rámci interních předpisů byly stanoveny předepsané průměry svazků, které se mají přednostně používat. V současné době jsou předepsány tyto průměry svazků: 257, 356, 410, 530 mm, přičemž celková délka svazku nesmí přesáhnout 3000 mm. Požadovaný výkon výměníku je nutné upravit změnou jiných parametrů (délka svazku, průměr a počet trubek, jimiž proudí spaliny). Předepsané průměry se osvědčily a v tuto chvíli není nutné měnit či přidávat další průměry. Toto platí pouze pro výměníky pro jednotky CENTO. Tato situace neplatí u jednotek QUANTO, tam je situace odlišná. To je dále popsáno v kapitole: 2.1.3 a 2.10. [1].



Obrázek 21: Skládání výměníku CENTO v přípravku [1]

2.1.3. Výměník pro jednotku QUANTO

Tyto výměníky patří k těm největším, které se ve společnosti TEDOM vyrábějí. Rozměry těchto výměníků mají průměr od 500–1000 mm a délku 3000 mm 4500 mm. Princip a návrh největším výměníku je v zásadě totožný s ostatními menšími typy výměníku. Dalo by se konstatovat, že se liší pouze rozměry. V některých ohledech se ale přece jenom liší, jelikož jsou to právě jeho rozměry, které způsobují některé obtíže. Jedná se zejména o omezené možnosti použití některých polotovárů. Koncepce skládaných výměníků tak, jak je navržena u menších pro jednotky QUANTO, nelze bez úprav převzít. Hlavním omezením je velikost standardně dodávaných plechů o rozměrech 3000 x 1500 mm, při délce výměníku nad 3000 nelze složit plášť ze dvou kusů. Druhým omezením jsou větší hmotnosti jednotlivých celků výměníku a tím ztížená manipulace při skládání.

Prozatím se daná skutečnost řešila objednávaním kompletně svařeného a zakrouženého pláště od kooperační firmy. Vzhledem k tomu, že se osvědčila metoda skládaného pláště u výměníků MICRO a CENTO, navrholo se podobné řešení i na výměníky QUANTO. Postup, konstrukční návrh samotného výměníku a konstrukční návrh přípravku pro montáž a postup montáže včetně technickoekonomického zhodnocení jsou mimo jiné náplní této práce.

Hlavní součástí všech spalínových výměníků jsou trubkovnice, jedná se o nejvíce namáhanou součást výměníku, která musí odolávat degradačním procesům za vysokých teplot. Zároveň je nutné, aby byly zároveň obrobitelné a svařitelné. Výroba a speciálně vrtání trubkovic jsou podrobněji rozvedeny v kapitole: 2.8 a kapitole: 2.10.5. Trubkovnice jsou vrtány na horizontální vyvrtávače pomocí vrtacích nástrojů s vnitřním chlazením, výhodnosti volby této technologie je věnována bakalářská práce (Zefektivnění výroby spalínového výměníku) [21], [1].

2.2. Výpočet výměníku

Tepelný výkon výměníku lze vypočítat pomocí postupů uvedených v teoretické části této práce. Pro zjednodušení si firma TEDOM a.s. v rámci diplomové práce zabývající se problematikou výpočtu spalínového výměníku nechala vytvořit tabulku v excelu, která na základě požadovaných parametrů vypočte základní rozměry výměníku. Vzhledem k tomu, že zejména u těch největších jednotek, je nutné provádět výpočty téměř u každé zakázky, urychluje konstrukční přípravu. Další výhodou tohoto řešení je, že konstruktér nemusí mít tak hluboké znalosti z oblasti termomechaniky. Ukázka výpočtové tabulky viz Příloha 7 [1].

2.3. TPV-Tvorba konstrukční dokumentace

Konstrukční návrh výměníku a celé KJ se provádí v programu Autodesk Inventor Professional 2017. Jedná se o konstrukční program pro vytváření kompletní konstrukční dokumentace modelováním ve 3D a následné vytvoření 2D výkresové dokumentace. Součástí licenčního balíku je mimo jiné program AutoCAD Mechanical, který je se využívá pro tvorbu schémat a rozměrových výkresů. Součástí předplatného je také uložisko konstrukční dokumentace Vault Basic, data v tomto uložišti jsou sdílena všemi konstruktéry, součástí uložišť je i knihovna normalizovaných dílů.

Konstrukční dokumentaci zpracovává konstruktér na základě požadavku obchodního oddělení. Požadavek obchodního oddělení se realizuje pomocí dokumentu zvaného Potvrzovací list dodávky (dále jen PLD) jedná se o dokument v Excelu, ve kterém jsou specifikovány klíčové parametry KJ pro danou zakázku včetně důležitých termínů. Oběh tohoto dokumentu probíhá prostřednictvím mailové komunikace, přičemž je dokument dále uložen na společném uložišti přístupném ve webovém prohlížeči.

Konstruktér obvykle nevytváří novou konstrukční dokumentaci najednou, ale dle potřeby po částech, aby mohl souběžně probíhat práce technologie a navazující organizační příprava výroby, jako je například objednávka nakupovaných dílů s dlouhou dodací lhůtou apod.

Hotové výkresy posílá konstruktér ke schválení v dalším systému (CRM¹⁵), kde jsou uloženy ve formě PDF¹⁶ dokumentu. Výkresy schvaluje nejprve vedoucí konstrukční skupiny a následně technolog. Export do PDF dokumentu provádí u každého výkresu a kusovníku. Konstrukční kusovníky obvykle nejsou součástí výkresů, ale vytvářejí se samostatně v systému SYSKLASS¹⁷, který je především určen k technologické části přípravy výroby. V systému SYSKLASS konstruktér také zakládá nové nakupované položky, které se pak po odsouhlasení oddělením logistiky založí i v informačním systému ESO¹⁸.

Poté co konstruktér připraví výkresy a založí konstrukční kusovník, rozešle mailem informaci o archivaci zakázky či její části a dále přichází na řadu práce technologa [1].

2.4. TPV – technologická část

Technologie eviduje čísla zakázek a poté co přijde informace o archivaci položek v systému Sysklass může konstruktér začít zpracovávat technologickou část přípravy výroby. Technolog u jednotlivých položek vyplňuje časové normy a technologické postupy. U položek vyráběných

¹⁵ **CRM (Customer Relationship Management)**: systém pro řízení vztahů se zákazníky, který zahrnuje procesy komunikace se zákazníky, hodnocení a evidence zákazníků. Aby bylo možné budovat dobré vztahy se zákazníky je potřeba mít o nich ucelené informace. Základem těchto informací jsou především identifikační údaje zákazníky, fakturační údaje, údaje o kontaktní osobě, preference zákazníka atd. [39]. Ve společnosti TEDOM je zároveň využíván jako uložisko konstrukční a další dokumentace související s výrobky [1].

¹⁶ **PDF (Portable Document Format)**: formát dokumentu, který je nezávislý na použitém hardwaru, softwaru a operačním systému [44].

¹⁷ **SYSKLASS**: informační systém pro technickou přípravu výroby [28].

¹⁸ **ESO**, podnikový informační systém [48].

v kooperaci zapisuje cenu kooperace dle nabídnutých cen kooperátorů nebo podle dalších podkladů sloužících k výpočtu cen kooperace.

Technolog dále schvaluje zpracovanou konstrukční dokumentaci, jak je zmíněno v kapitole 2.3., v systému CRM. V rámci schvalování technolog posuzuje formální stránku výkresové dokumentace, ale především také proveditelnost výroby daného dílu či sestavy v podmínkách firmy TEDOM a.s., tj. posuzuje technologičnost dílu či sestavy. Výkresy může zamítnout s udáním důvodu, případně navrhnout změny nebo se pokusit najít vhodnou technologii výroby či kontroly buď v rámci vlastních kapacit, nebo ve spolupráci s externí firmou.

Technolog v rámci schvalování výkresové dokumentace sleduje díly, pro které je potřeba připravit program na CNC vyvrtávačku. V rámci technologie se evidují všechny programy dle čísla výkresů, včetně všech revizí. Největší část programů tvoří trubkovnice výměníků SV. Programy se vytvářejí v editoru Autodesk Inventor HSM, v tomto programu se také provede prvotní kontrola programu v simulačním rozhraní programu Inventor HSM. Program se zapisuje ručně dle výkresu. Po prvotní kontrole se program uloží do paměti vyvrtávačky a provede se simulace přímo na stroji. V případě, že je vše v pořádku může se program použít při výrobě, po vyrobení prvního kusu se provede případná úprava řezných podmínek a program se definitivně uloží do paměti vyvrtávačky.

V případě, že technolog vyhodnotí nutnost použití přípravku, začne navrhovat vhodný přípravek. Požadavek na výrobu přípravku může vznést i konstruktér, jestli již ve fázi návrhu produktu předpokládá, že bude potřeba. Požadavky na přípravky dále vznikají i přímo ve výrobním úseku, obvykle je to u nově zavedených dílů do výroby, u kterých se nepředpokládalo, že bude přípravek potřeba. Potom se zvažuje, zda je vhodnější udělat konstrukční změnu, poptat to u externího dodavatele nebo navrhnout přípravek.

Návrh a příprava konstrukční dokumentace přípravků probíhá v oddělení Technologie. Stejně jako konstruktéři vytvářejí i technologové modely přípravku a následné výkresy v programu Inventor [1].

2.5. TPV–plánování výroby

Klíčovým termínem pro plánování výroby je datum expedice KJ. Plánuje se tedy od konce, s tím, že je v prvé řadě nutné mít zpracované technologické postupy a normy časů konečné montáže. Výroba a objednávka dílů se následně plánuje dle zaplánovaného rozvrhu montáží. Přičemž důležité díly a sestavy, které se obvykle nemění a často se opakují, se zařadí to rozpracovanosti a vyrobí se v předstihu ve vhodných výrobních dávkách. Rozpracovávají se takto i díly nebo sestavy, které se vyrábějí i po jednom kuse. Jsou to obvykle díly u KJ, kdy je již znám dostatečně v předstihu termín a zároveň je již zpracována konstrukční dokumentace. U všech rozpracovaných dílů je nutné stanovit předpokládané výrobní náklady, na základě těchto stanovených nákladů se převedou na sklad.

Na základě kusovníků uloženému v systému SYSKLASS se pro každou zakázku vytvoří tabulka, ve které je soupis nakupovaných a vyráběných dílů. Na základě tohoto seznamu se provedou objednávky dílů v informačním systému ESO. Objednávky vystavuje pracovník oddělení logistiky dle seznamu.

Odvádění výroby probíhá pomocí pracovních lístků, které si vyplňuje každý pracovník sám a pak je odevzdává vedoucímu střediska, který odvedené časy jednotlivých operací zadává ručně do informačního systému ESO. Materiál vydaný na zakázku se stejným způsobem eviduje ručně pracovníkem skladu.

2.6. TPV-oběh dokumentů a konstrukční dokumentace

Impulsem pro zahájení technické přípravy výroby je požadavek zákazníka. Vztahy se zákazníky řídí obchodní oddělení, pro tyto účely využívá vlastní systém Řízení vztahů se zákazníky (dále jen CRM). Ještě dříve, než začne TPV, komunikuje v některých nestandardních případech obchodní oddělení s konstruktérem konkrétní produktové řady o detailech nestandardních požadavků zákazníka.

Požadavky zákazníka se v následujícím kroku specifikují v tabulce PLD, kde jsou uvedeny parametry KJ, dle kterých je možné zahájit TPV. Požadavek je rozeslán formou PLD konstrukčnímu oddělení, výrobnímu úseku a oddělení technické dokumentace (dále jen OTD). OTD eviduje všechny dokumenty, které se předávají zákazníkovi společně s KJ. V dokumentech jsou zahrnuty technické informace o technických parametrech KJ, dále obsahují servisní informace, návody na údržbu, soupis náhradních dílů a dle potřeby další dokumenty potřebné pro certifikační autority v místě instalace (protokoly o zkouškách dle norem v místě instalace apod.)

Poté co jsou vyjasněny požadavky zákazníka, pokračuje proces tímto směrem:

Konstrukce → **Technologie** → **Výroba** → **Zákazník**

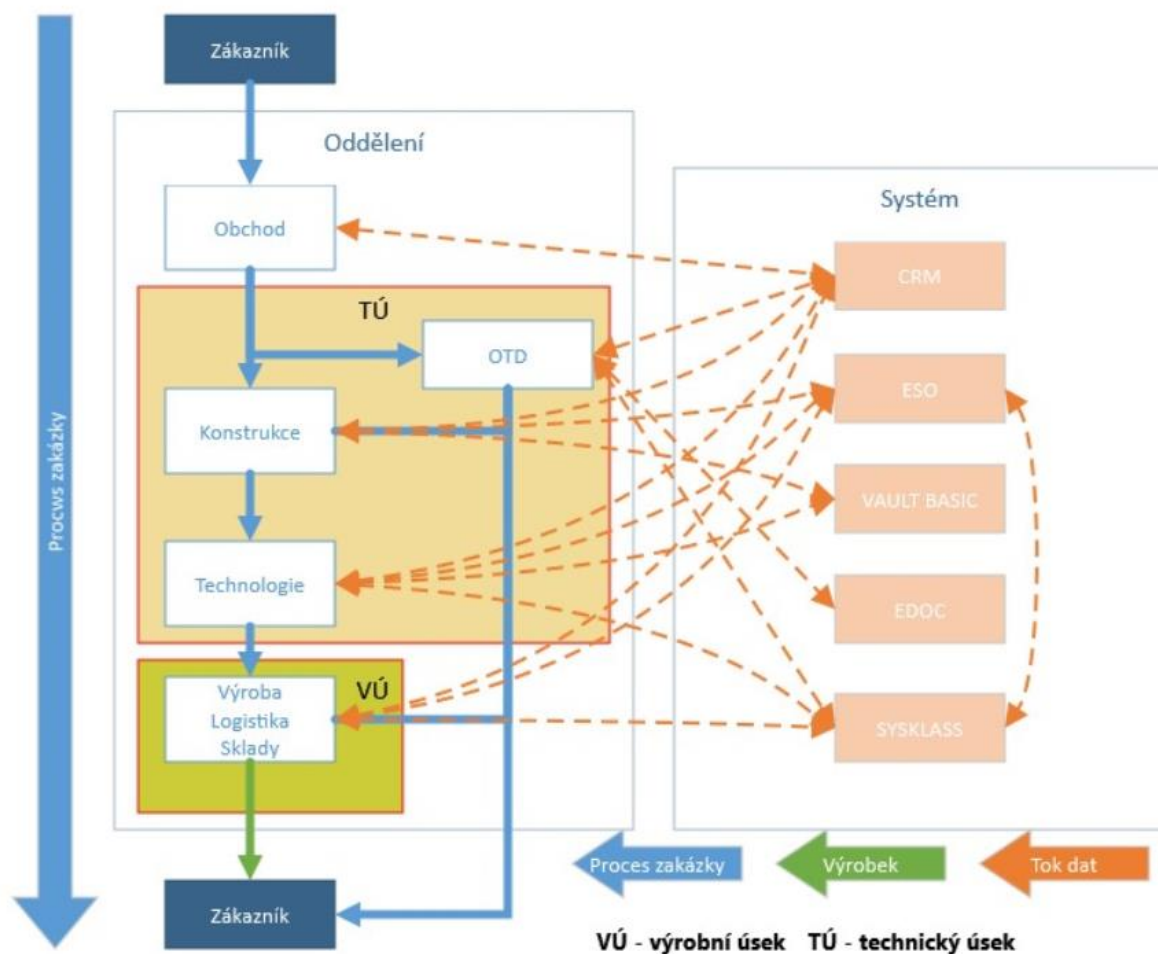
V tomto procesu se sdílejí různé informace prostřednictvím několika vzájemně neprovázaných systémů. Data k zakázce se ukládají v různých systémech, schvalování výkresové dokumentace probíhá odděleně od ostatních systémů, konstruktér musí pro každý výkres generovat PDF ke schválení. Kusovník se tvoří v jiném systému než výkresy (v SYSKLASSu), tyto kusovníky se také musí převádět do PDF a poté odeslat ke schválení odd. Technologie.

Všechna oddělení pracují s několika zdroji informací, v tomto nastavení vznikají duplicitní informace, které zpomalují práce jednotlivých oddělení, což má vliv na celkovou pracovní vytíženost všech technicko-hospodářských pracovníků. Dále mohou vznikat chyby vlivem špatné komunikace mezi jednotlivými odděleními.

Diagram 2 znázorňuje proces zakázky tak, jak probíhá v současné době. CRM používá nejenom obchodní oddělení, ale také konstruktéři jako uložení výkresů v PDF a ke schvalování výkresů. K výkresům v CRM přistupují i další oddělení (Výroba, Technologie, OTD). Konstruktéři využívají pro svou interní správu dat základní verzi produktu Vault verzi Basic [22]. Vault patří mezi tzv. PDM¹⁹ systémy [1].

¹⁹ **PDM:** Product Data Management: řízení výrobních dat, PDM umožňuje spravovat a řídit konstrukční data. Nadstavbou PDM je PLM (Product Lifecycle Management), ve kterém lze spravovat i další dokumentaci, která nesouvisí přímo s výrobní dokumentací. Mohou tu být tvořeny dalšími dokumenty v podobě PDF, word, excel [40].

Diagram 2: Procesy a výměna informací v TPV (stávající stav)



Jak je patrné z výše uvedeného diagramu, jednotlivé systémy spolu vzájemně nekomunikují, nebo jen omezeně. Pokud dojde k nějaké změně a je zohledněna ve více než jednom systému, záleží pouze na pečlivosti pracovníka, zda ve všech systémech změnu zohlední. Toto upořádání může a způsobuje chyby v dokumentech. Tato struktura vznikala postupně dle potřeb společnosti TEDOM, do jisté doby mohla fungovat relativně spolehlivě, ale se zvyšujícím se počtem zakázek, verzí v souvislosti s růstem celé společnosti se čím dál častěji začaly projevovat nedostatky stávajícího systému. Návrh nového uspořádání je součástí praktické části této práce.

2.7. Díly vyráběné v kooperaci

Naprostá většina plechových dílů spalínového výměníku se nechává vyrobit u kooperačních firem. Tyto díly jsou řezány buď pomocí laseru, nebo pomocí plazmy. Řezání laserovým paprskem se dnes stává běžně dostupnou technologií, i když pořízení zařízení na řezání plechů tloušťky 10–15 mm (nerezových a uhlíkových ocelí) je nákladnou záležitostí. Ceny těchto laserů se pohybují v řádech jednotek až desítek miliónů. Aby se vyplatila investice do vlastního zařízení, muselo být zařízení maximálně vytiženo, aby se investice v přiměřené době vrátila.

Při současné množství dílů řezaných laserem by se zdaleka nenaplnila kapacita stroje. Řezání plechů ve vlastní režii navíc vyžaduje nutnost řešit manipulaci a skladování tabulí plechu. Toto vše kooperaci odpadá. V současných podmínkách se objednávání plechových dílů v kooperaci jeví jako neuvěřitelnější řešení.

Dodavatel řezaných plechových dílů zajišťuje také ohranění některých dílů pomocí ohranovacího lisu. Dále je zajišťuje i lakováním dílů práškovou barvou, to se týká, ale pouze kapot kogeneračních jednotek.

Výroba dílů kooperační firmou nemá jen samá pozitiva, zejména je nutné zajistit kvalitu dodávaných dílů a systém předávání informací kooperační firmě (rozviny součástí). Obvykle se využívají historicky prověřené dodavatele. U nových se především u prvních dodaných dílů důkladněji provádí kontrola kvality. Jedním z nástrojů, kterým lze ovlivnit kvalitu dodávaných dílů, jsou tzv. dodavatelské audity, které jsou pravidelně prováděny [1].

2.8. Výroba trubkovic

Konečné obrábění trubkovic probíhá ve vlastní režii společnosti TEDOM. Polotovary obvykle plech tloušťky 15 mm z uhlíkové či nerezové oceli je dodáván jako výpalek. Do výpalku se dále vrtají otvory a provádí se sražení hran. Počet otvorů se pohybuje od několika desítek až po několik stovek dle velikosti trubkovnice.

Velikost otvorů je navržena tak, že jsou vždy větší o 0,5 mm, než je vnější průměr trubek, v nichž proudí spaliny. V současné době jsou nejčastěji používány průměry 10,5 mm; 15,5 mm; 25,5 mm; 30,5 mm; 38,5 mm. Trubkovnice se vrtají na horizontální vyvrtávačce pomocí vrtáků s vnitřním chlazením. Chladicí kapalina je přiváděna pomocí speciálního trnu, který umožňuje vrtání i na stroji, který není vybaven přívodem kapaliny vnitřkem vřetene. Systém přívodu kapaliny je na následujícím obrázku (Obrázek 22)



Obrázek 22: Vřeteno horizontální vyvrtávačky s vnitřním chlazením [1]

Současný stav chlazení je dostatečný s ohledem na předchozí stav, kdy se vrtání otvorů v trubkovicích provádělo pomocí klasického vnějšího chlazení. Vnitřní přívod nástrojem spíše zajistí trvalý přísun chladicího média k místu řezání a zajistí tak kontinuální chlazení v blízkosti místa řezu. Nepravidelné chlazení by způsobovalo poškození nástroje vlivem působení prudkých změn teplot.

Chladicí kapalina má tři hlavní funkce:

- a) chladicí funkci – odvod tepla z místa řezu,
- b) mazací funkci – snižuje tření mezi třecími plochami,
- c) čistící funkci – odvod třísek [23].

Přívod emulze tak, jak je řešen dnes, je prozatím vyhovující. Avšak někdy dochází k rychlému poškození břitové destičky, následnému prasknutí destičky a nárazu tělesa vrtáku do trubkovnice. Toto poškození vyžaduje obvykle komplexní opravu nástroje, která se pohybuje

okolo 50 % pořizovací ceny nástroje. Destičky jsou pravidelně vyměňovány a řezné podmínky se nemění. Tento problém se objevuje nepravidelně. Zvažovalo se několik příčin a jako nejpravděpodobnější se jeví nedostatečný tlak chladicí kapaliny. Chlazení sice probíhá vnitřkem nástroje, avšak tlak kapaliny je stejný jako v případě vnějšího klasické chlazení. Nízký tlak nemá dostatečnou sílu k odvádění třísek a v některých případech může docházet k ucpávání přívodu kapaliny přímo do místa řezu a může dojít ke skokovému zahřátí nástroje a následnému poškození.

Vyšší tlak kapaliny by měl zlepšit proces vrtání a prodloužit životnost břitových destiček (24), [25]. Zvažuje se tedy pořízení zařízení, které vyvine vyšší tlak. Bude nejspíš vyžadována úprava pracovního prostoru horizontální vyvrtávačky z důvodu většího rozstříku kapaliny do okolí. Toto téma není řešeno v rámci této diplomové práce.

Upnutí trubkovnice je na znázorněno na dalším obrázku (Obrázek 23). Pro výrobu trubkovnic byla navržena speciální deska s drážkami pro upínky. Na okrajích je trubkovnice usazena v upínkách, aby obsluha věděla, kam má umístit první dvě upínky (vpravo a vlevo dole) a má v programu od technologa připraveny souřadnice, do kterých najede speciálním trnem, který upne do vřetena, upínky pouze dorazí k trnu a zafixuje je proti posunutí. Poté obsluha usadí trubkovnici do připravených dolních upínek a nasune zbývající upínky a zafixuje je. U větších průměrů (obvykle od 500 mm) se před umístění trubkovnice na desku našroubují speciální podložné šrouby, které se ze zadní strany opírají o trubkovnic a zabraňují tak nežádoucím vibracím, které by mohly způsobit rychlé poškození nástroje vlivem vibrací.



Obrázek 23: Ukázka upnutí trubkovnice na horizontální vyvrtávače (1)

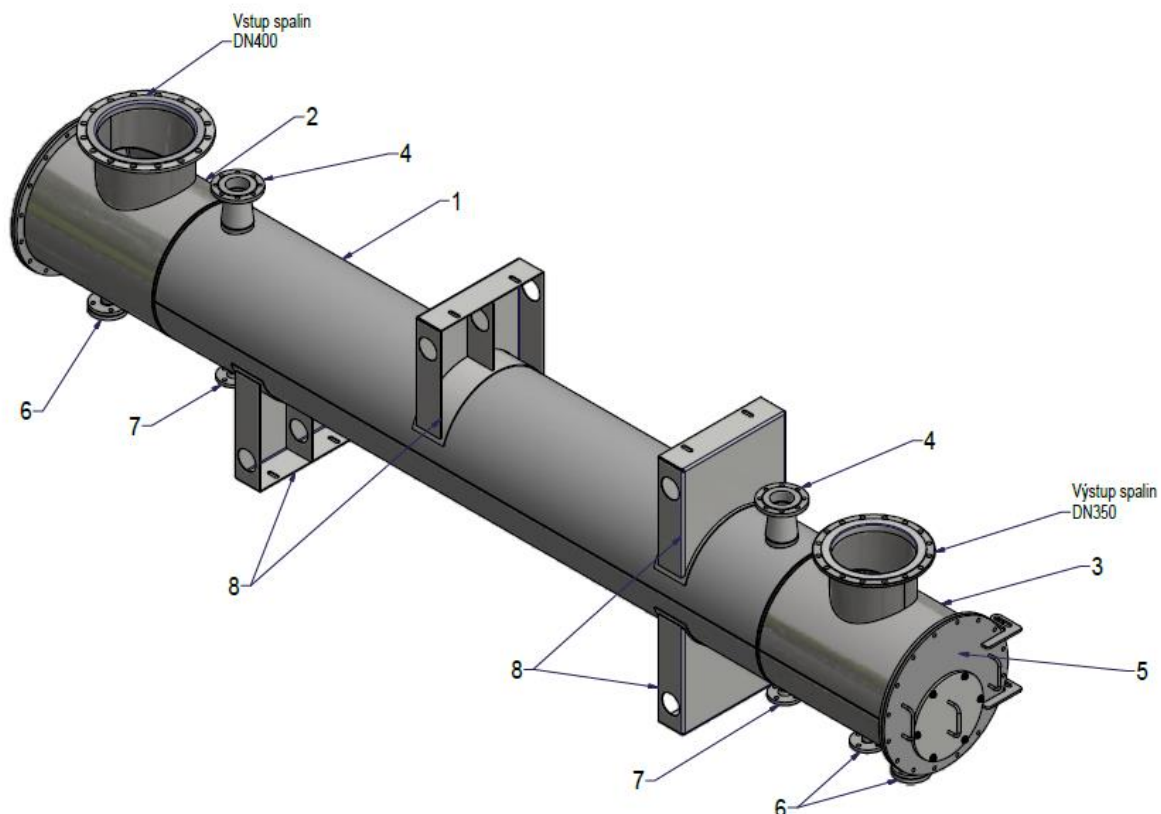
Popis operací při výrobě trubkovnic:

- a) **přijmutí polotovaru od kooperační firmy** – kruhový výpalek (nejčastěji uhlíková ocel dle ČSN 41 1343 nebo austenitická nerezová ocel dle ČSN 41 7248,
- b) **kontrola** – jakosti dodávaného materiálu (dle certifikátu), kontrola rozměrů dle výkresu,
- c) **odstranění otřepů** – jestliže je to potřeba, odstraní se ostří vzniklé při řezání,
- d) **vrtání otvorů** – trubkovnice se upne na upínací desku viz Obrázek 23,
- e) **sražení hran** – sražení hran otvorů $0,5 \times 45^\circ$ se provede na stolní vrtačce srážecím hran, sražení obvodové hrany, obvykle $4 \times 45^\circ$, se provede ručním bruskou na sražení hran.

V tomto stavu je trubkovnice připravena na montáž a ke svaření. Těsně před svařením se provede důkladné nechanické očištění a odmaštění povrchu trubkovnice. Tato operace je prováděna až bezprostředně před svařováním s pláštěm a poté ještě jednou před svařováním s trubkami. Znečištění svařovaný povrch by mohl nepříznivě ovlivnit kvalitu svaru [1].

2.9. Současný stav výroby spalínového výměníku pro KJ QUANTO (varianta 1)

Pro jednotky typu QUANTO se používají SV o průměrech od 530 mm až po 911 mm. Pro účely této práce bude popsána výroba výměníku o vnějším průměru 625 mm, jehož model zobrazuje Obrázek 24. Celková délka spalínového výměníku je 5020 mm. Výměník je složen ze svazku (Obrázek 24; poz. 1) o délce 3500 mm, v prostoru svazku je rozmístěno 316 trubek o průměru 25 mm s tloušťkou stěny 1,5 mm. Svazek je na obou koncích zakončen trubkovnicí. Prostor uvnitř svazku je rozdělen 11 přepážkami. Přepážky jsou ustaveny pomocí vodících tyčí. V horní části spalínového výměníku je vstup a výstup ohřívajícího média (Obrázek 24; poz. 4). V dolní části svazku jsou další dva návarky s přírubou, které slouží k vypouštění a napouštění (Obrázek 24; poz. 7). Plášť svazku tvoří svařenec ocelových zakroužených plechů tloušťky 4 mm. Na obou koncích výměníku jsou komory, jedna vstupní (Obrázek 24; poz. 2), druhá výstupní (Obrázek 24; poz. 3). V dolní části komor jsou návarky s přírubami pro odvod kondenzátu a servisní přístup (Obrázek 24; poz. 6). Obě komory jsou opatřeny servisními víky, která jsou utěsněna pomocí těsnicí šnůry (Obrázek 24; poz. 5). Výměník je opatřen patkami, které slouží k upevnění na rám (dolní patky) a k propojení s dalším výměníkem (Obrázek 24; poz. 8). Pro účely této práce se bude jednat o variantu 1.



Obrázek 24: Model výměníku o průměru 625 mm a celkové délce 5020 mm číslo výkresu P323959 [1]

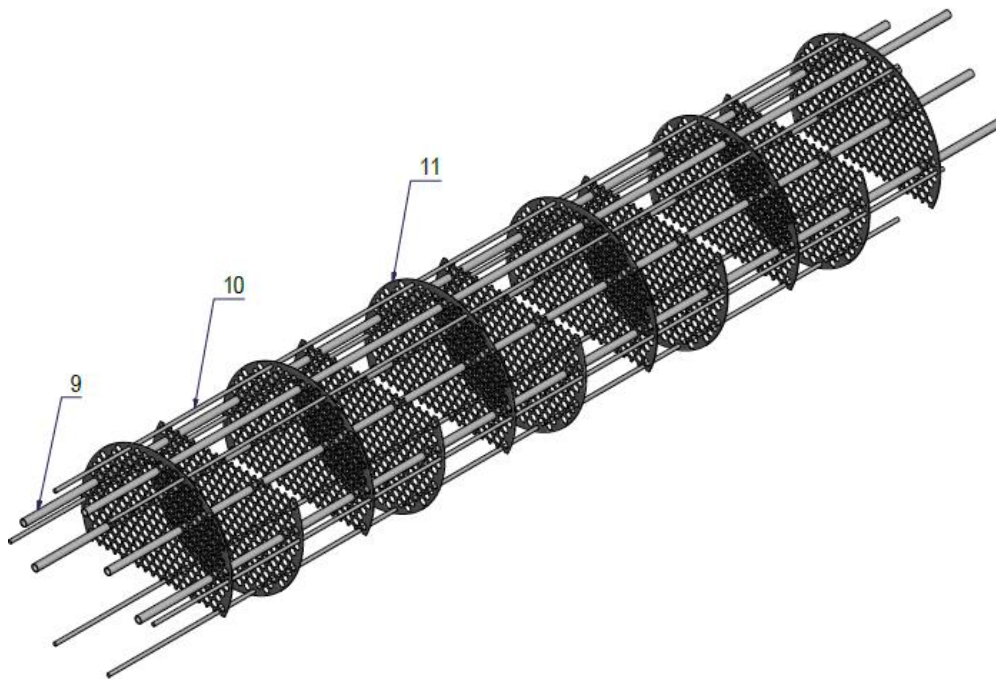
2.10. Sestavení výměníku (varianta 1)

2.10.1. Kontrola trubek

Před sestavováním je nutné zkontrolovat, zda jsou trubky řádně očištěny. Všechny ocelové polotovary jsou obvykle znečištěny vlivem dopravy, konzervací či výrobní technologií a je proto nutné je důkladně očistit. Poté co jsou trubky zkontrolovány a připraveny, se může začít se sestavováním výměníku.

2.10.2. Příprava svazku

Pracovník nejprve zasune vodící tyče (Obrázek 25; poz. 10) do první přepážky, postupně nasune další přepážky (Obrázek 25; poz. 11). Po nasunutí všech přepážek provede vzájemné ustavení přepážek dle vzdáleností předepsaných na výkrese. Přepážky se zatím nefixují. V dalším kroku pracovník zasune několik trubek (Obrázek 25; poz. 9), aby zkontroloval, zda jsou přepážky správně ustaveny. Další trubky se zasunou na své místo až poté, co bude svazek zasunut do pláště, je to z toho důvodu, že svazek by byl výrazně těžší a značně by se tím komplikovala další manipulace. V tuto chvíli provede pracovník přistehování přepážek k vodícím tyčím, aby nedošlo při manipulaci a následném provozu k posunutí přepážek.



Obrázek 25: Model sestavení přepážek

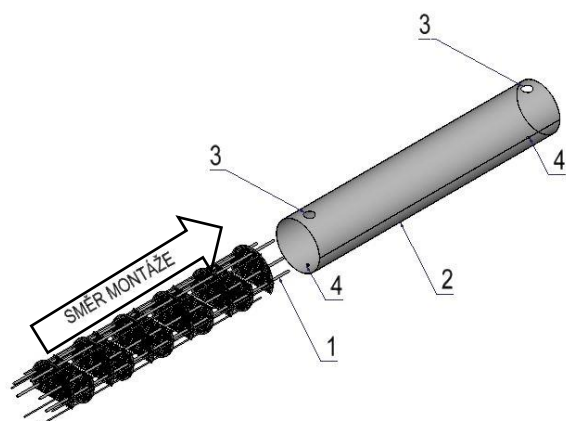
2.10.3. Příprava pláště

V trubce, která bude sloužit jako plášť výměníku (Obrázek 27, poz. 2), je nutné vytvořit otvory pro vstup a výstup ohřívaného média (Obrázek 27, poz. 3) a ve spodní části svazku dva otvory pro návarky (Obrázek 27, poz. 4). Pracovník si nejprve dle výkresu označí místo, kde by měly být otvory, a poté pomocí plazmového hořáku provede vyříznutí otvorů. Vyříznuté otvory zarovná pomocí ruční brusky případně pilníkem. Takto připravený plášť je připravený k montáži.

2.10.4. Sestavení svazku

Dva pracovníci pomocí jeřábu a popruhů provedou zasunutí připraveného svazku do pláště (Obrázek 27, poz. 1). V případě, že není možné svazek zasunout do pláště, je nutné provést obroušení přepážek, k tomu může dojít vlivem nepřesností vyrobených dílů nebo deformací při manipulaci s pláštěm o průměru 625 mm a délce 3500 mm. Aby se předešlo těmto komplikacím při sestavování, je předepsaná vůle mezi přepážkou a pláštěm 4 mm. Po zasunutí svazku do pláště se usadí trubkovnice (Obrázek 26, poz. 1 a 2) na vodící tyče a trubky. Předtím je nutné trubkovnice bezprostředně před použitím důkladně očistit od případné koroze a důkladně odmastit.

Po ustavení trubkovnic se provede jejich přistehování k plášti a následné přistehování. Do takto připraveného pláště se nasounou všechny trubky. V tomto modelovém případě se bude svařovat trubkovnice s pláštěm, přičemž oba základní materiály jsou z uhlíkové oceli.



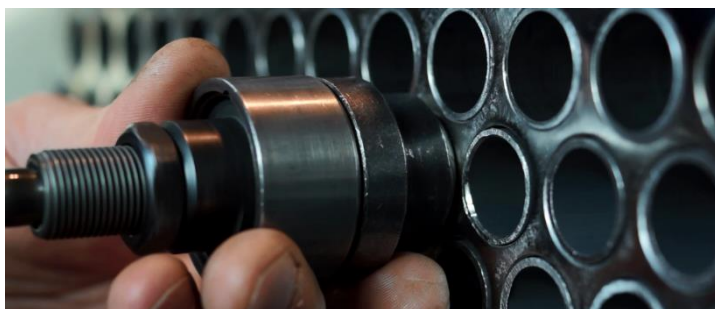
Obrázek 27: Model sestavování svazku



Obrázek 26: Sestava svazku s trubkovnicemi

2.10.5. Svařování trubek s trubkovnicemi

Trubky, ve kterých proudí spaliny, je nutné nejprve ustavit, tak aby na jedné straně byly zároveň s hranou trubkovnice. Na druhé straně by měly všechny trubky být minimálně zároveň nebo spíše přesahovat ven (trubky jsou dodávány minimálně o 3 mm delší, než je celková délka svazku). Nyní se na straně, kde jsou trubky zároveň s trubkovnicí, provede zaválcování trubek (Obrázek 29). Po zaválcování trubek se provede finální očištění základního materiálu před svařováním pomocí kartáče a odmašťovačla (Obrázek 28). Svařované plochy se musí po použití odmašťovačla důkladně osušit pomocí stlačeného vzduchu, aby případné zbytky nemohly ovlivnit kvalitu svaru.



Obrázek 29: Zaválcování trubek (1)



Obrázek 28: Čištění pomocí kartáče (1)

Trubky k trubkovnici jsou svařovány metodou TIG²⁰ bez přídavného materiálu. Svařování je prováděno tak, že pořadí svařovaných trubek je voleno tak, aby nedocházelo k nadměrným

²⁰ **TIG:** Tungsten Inert Gas, metoda svařování pomocí netavící se wolframové elektrody (43), (45).

deformacím vlivem tepelného namáhání v jednom místě. Pořadí svařovaných trubek není striktně stanoveno, pořadí si určuje obsluha orbitální hlavy dle zkušeností.

Metodou TIG se svařují pouze trubky s trubkovnicí ostatní díly spalínového výměníku se svařují metodou MIG/MAG²¹.



Obrázek 30: Svařování pomocí orbitální hlavy (1)

Poté co jsou trubky přivařeny na jedné straně, je nutné trubky, které přesahují zkrátit pomocí speciálního stroje na zkracování trubek. Dále se provede očištění a odmaštění. Nyní se může přikročit ke svařování trubek k trubkovnici. Postup je stejný jako při svařování první strany [1].

2.10.6. Přivaření vstupů a výstupů svazku

Vstupní a výstupní armatury včetně přírub jsou již sestaveny při výrobě dílů. V této fázi se provede pouze ustavení a přivaření. Ustavení přírub se provádí pomocí vodováhy a metru dle rozměrů předepsaných na výkresu [1].

2.10.7. Kontrola svazku

U každého svazku je provedena kontrola těsnosti. Nejprve se provádí kontrola těsnosti stlačeným vzduchem. Kontrolní pracoviště je vybaveno zaslepovacími přírubami. Provede se tedy zaslepení všech otvorů a svazek se připojí k rozvodu stlačeného vzduchu. Tlakuje se na předepsaný tlak na předepsanou dobu. Pomocí mýdlové vody se provádí vizuální kontrola. Mýdlová voda se nanese pomocí štětce na všechny svary a sleduje se, zda se neobjeví bublinky, které signalizují netěsnost svaru. V případě netěsnosti svaru se provede jeho oprava a poté opětovná kontrola. O kontrole se provede záznam do protokolu a uloží se do dokumentace KJ [1].

2.10.8. Komory

Komory se přivařují ke svazku postupně po částech. Jako první se přivaří pláště komor, které jsou zakrouženy a jsou k nim přivařeny příruby, prozatím se provede pouze přistehování, aby bylo možné v případě nepřesností provádět ještě drobné úpravy. V dalším kroku se odstraní zaslepené otvory. Tyto vypálené otvory jsou vyříznuty laserem pouze částečně, na několika místech zůstávají malé můstky, které se později při montáži odstraní. Toto řešení usnadňuje zakružování plášťů komor, bez zaslepených otvorů je zakružování značně komplikované a docházelo by při něm v nežádoucím deformacím pláště [1].

V další fázi se svaří komory s potrubím, kterým přicházejí a odcházejí spaliny z/do komory. Potrubí je vyrobeno ze zakrouženého plechu a je k němu přivařen lemový kroužek. Na toto potrubí se nasune točivá příruba. Příruba se zajistí proti posunutí, aby nepřekážela při svařování. Nyní může být provedeno ustavení vstupu a výstupu spalín dle výkresu. Vyříznutý otvor musí

²¹ **MIG/MAG:** Metal Inert Gas Welding/ Metal Active Gas Welding, obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu/ obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu [43], [45].

odpovídat vnitřnímu průměru otvoru vstupní a výstupní trubky, aby trubka při ustavování svářečem nezapadla do komory. Pracovník provede případné úpravy potrubí v místě styku s komorou tak, aby obě příruby (vstupní a výstupní) byly v jedné rovině. Ještě se provede přivaření potrubí, které slouží k odvodu kondenzátu. Pokud je vše dle v pořádku dle výkresu, je možné provést kompletní svaření všech svarů [1].

2.10.9. Patky

Pro manipulaci a ustavení výměníku na místě instalace slouží patky. Patky jsou již připraveny výrobou dílů, v této fázi se provede jejich přivaření. Na rozdíl od menších typů výměníků se u jednotek QUANTO využívá dvojice spalínových výměníku. Pro tuto variantu je nutné přivařit patky i v horní části výměníku, na tyto patky se později ustaví další, obvykle menší, výměník [1].

2.11. Zhodnocení stávající výroby (varianta 1)

Výroba výměníku o velikosti přesahující průměr 506 mm je, oproti menším výměníkům, problematická zejména v tom, že se nutně manipulovat s díly větších rozměrů a větší hmotností. Se zvětšující se velikostí dílů se snižuje dostupnost polotovarů. V případě pláště výměníku je volba polotovaru a těchto průměrů značně omezena.

Zhodnocení a porovnání u stávající výroby vychází zejména z dat uložených v informačních systémech společnosti TEDOM.

V následujícím přehledu (Tabulka 5) je porovnání předpokládaných a skutečných výrobních nákladů dle dat uložených v interních systémech SYSKLASS (TPV výroby) a ESO (informační systém – skutečně vykázané výrobní náklady).

Tabulka 5: Skutečně vykázané výrobní náklady včetně výrobní režie

Číslo interní zakázky	Datum přijmutí na sklad	Sysklass [Kč]	Eso [Kč]	Rozdíl [Kč]	Rozdíl [%]
212217Q	11. 7. 2017	172951	177499	4548	2,63
212257Q	8. 9. 2017	172951	179968	7017	4,06

Rozdíl mezi předpokládanou cenou a skutečnou je v požadované relaci a odráží drobné odchylky ve výpočtech norem času a změnách cen materiálu v průběhu plánování a realizace výroby. Pro potřeby společnosti TEDOM jsou akceptovány odchylky do 5 %.

Předpokládané náklady stanovené k 1. 3. 2018 jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 6: Kalkulované výrobní náklady dle TPV

Celková cena	Svazek	Komory
173 348,13 Kč	120 613,32 Kč	52 734,81 Kč

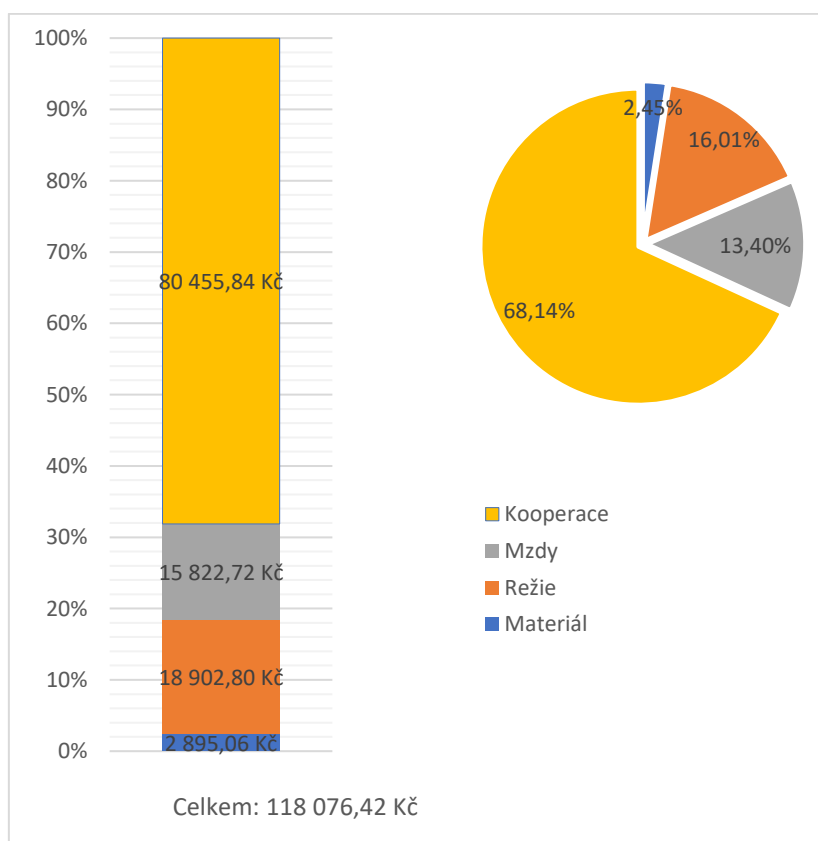
V této části je další rozbor zaměřen především na svazek výměníku.

Pro svazek jsou náklady rozvedeny podrobněji na následujícím Obrázek 31 a Graf 1, kde jsou výrobní náklady uvedeny v Kč a pracnost v hodinách. Přičemž v systému SYSKLASS je nastavena hodinová mzda včetně odvodů v době výpočtu na 160,8 Kč/hod.

Obrázek 31: Výpočet výrobních nákladů svazku v systému SYSKLASS (varianta 1) [1]

Vzhledem k tomu, že navrhované varianty (viz následující kapitoly) výměníku se liší celkovým průměrem a počtem trubek svazku (průměr je o 15 mm menší a trubek je o 12 méně) z důvodu aktualizace výpočtu konstrukčním oddělením, bylo nutné provést korekci výpočtu výrobních nákladů stávajícího řešení, tj. snížení potřebného materiálu a pracnosti. V následující tabulce jsou již upravené výrobní náklady. Pracnost se snížila z 98,9 h na 98,4 h.

Graf 1: Struktura kalkulovaných výrobních nákladů (varianta 1)



Jak je zřejmé z výše uvedeného grafu, největší podíl na kalkulovaných nákladech představují náklady na kooperaci. Je nutné zmínit, že v ceně kooperace jsou zahrnuty i náklady na materiál včetně dopravy. Vlastní materiál tvoří cca 2,5 % [1].

2.12. Shrnutí nedostatků

- Při skládání výměníku pro jednotky QUANTO se manipuluje s díly o hmotnosti cca 200 kg.
- Nejsou využity postupy, které se osvědčily při výrobě menších typů výměníků.
- Konstruktor je zatěžován činností, která nesouvisí s tvůrčí prací.
- Existence mnoha nepochybných informačních systémů způsobuje chyby v TPV.

3. Návrh výrobního řetězce a montáže spalínového výměníku

Kapitola obsahuje souhrn opatření, které by měly vést především ke snížení výrobních nákladů spalínových výměníků a činností související s výrobou výměníků.

3.1. Výroba svazku-varianta 2

Tato varianta vyžaduje použití speciálního přípravku. Tento přípravek umožňuje sestavit plášť výměníku, který se skládá ze dvou dílů. Výhodou tohoto řešení, jak již bylo ověřeno při montáži menších výměníků, je snadnější montáž (není potřeba manipulovat se svazkem pomocí popruhů při zasouvání svazku do pláště tak, jak je popsáno u varianty 1). Dále je možné díky technologii skládání předepisovat menší tolerance mezi přepážkou a pláštěm.

Navrhovaná varianta 2 počítá se stávajícími možnostmi dodavatele (kooperátora), tj. výměník musí být skládán z dílů, které je náš dodavatel schopen vypálit pomocí laseru a ohnout. Co se týče pálení laserem, jde o tabule plechu tloušťky 4 mm o rozměrech max. 1500 x 3000 mm, co se týče ohýbání, platí to stejné, co pro pálení.

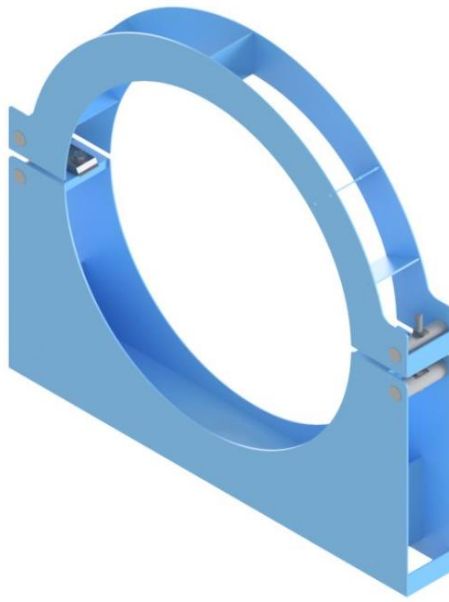
Při požadovaných rozměrech svazku (průměr 610 mm, délka 3500 mm), nelze plášť složit ze dvou kusů, jako je tomu u menších výměníků, jejichž délka nepřesahuje 3000 mm. Navrhované řešení počítá s tím, že plášť bude složen ze 4 částí. Pro takto navržené řešení budou potřeba tabule maximální velikosti 2000 x 949 mm.

3.2. Konstrukce speciálního přípravku pro variantu 2

Jak je zmíněno v předchozí kapitole, pro sestavení svazku u varianty 2 je potřeba použít speciální přípravek číslo N43231 viz Obrázek 32. Přípravek slouží k sestavení dílů svazku spalínového výměníku. Pro sestavení varianty 2 je to nezbytný přípravek, tj. bez tohoto přípravku by nebylo možné sestavit svazek v požadované kvalitě a v požadovaném čase. Pro sestavení svazku budou potřeba 4 ks přípravku.

Přípravek byl navržen na základě zkušeností s montáží menších typů výměníků. Navržená varianta bude sloužit k sestavení svazku o vnějším průměru 610 mm a délce do max 4000 mm. Původní varianta je navržena pro skládání pouze dvou kusů pláště, přičemž maximální délka nemohla přesáhnout 3000 mm. Délka pláště je omezena rozměry dodávaných polotovarů. Navržená varianta toto omezení řeší tak, že plášť bude složen ze 4 kusů.

Přípravek byl navržen oddělením Technologie, které zajišťuje návrh všech speciálních přípravků pro potřeby Výroby, ale také pro potřeby Servisu. Výroba dílu probíhá ve vlastní Výrobě jako samostatná zakázka. Všechny přípravky jsou navrhovány s ohledem na užité vlastnosti s minimálními náklady, obvykle s využitím skladového materiálu. Dále se obvykle využívají plechové díly, jejichž tvar je vytvořen pomocí laseru v kooperaci.

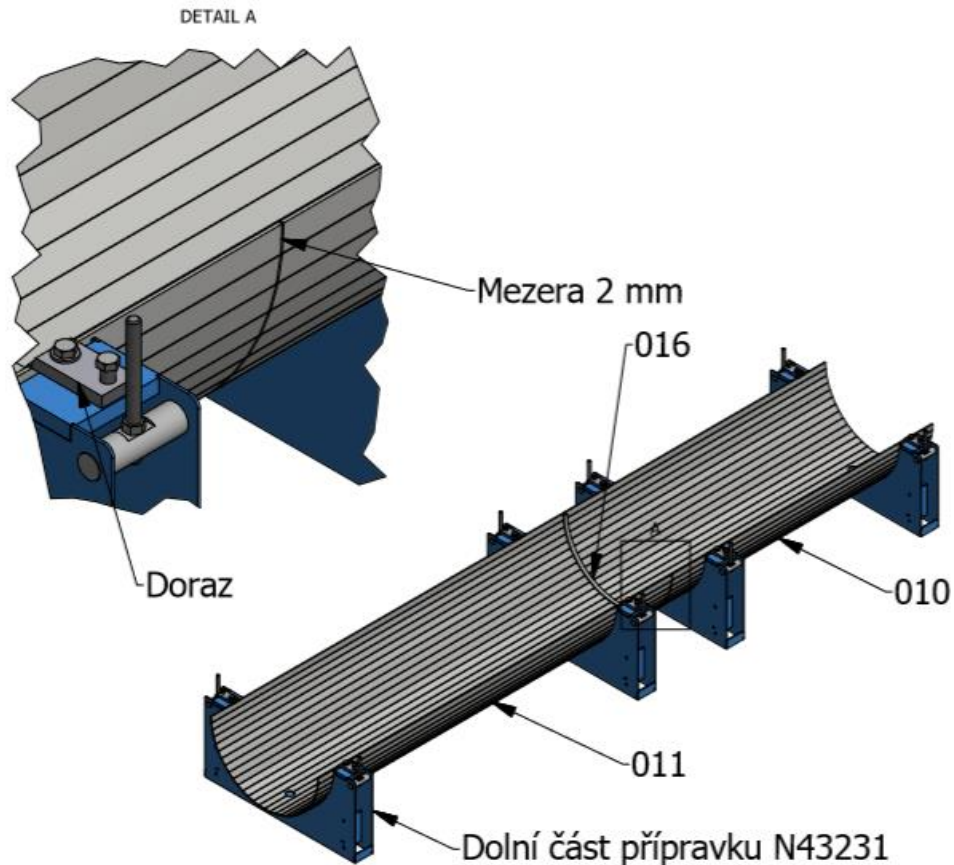


Obrázek 32: Model přípravku N43231, tak jak byl navržen

3.3. Montáž svazku-varianta 2

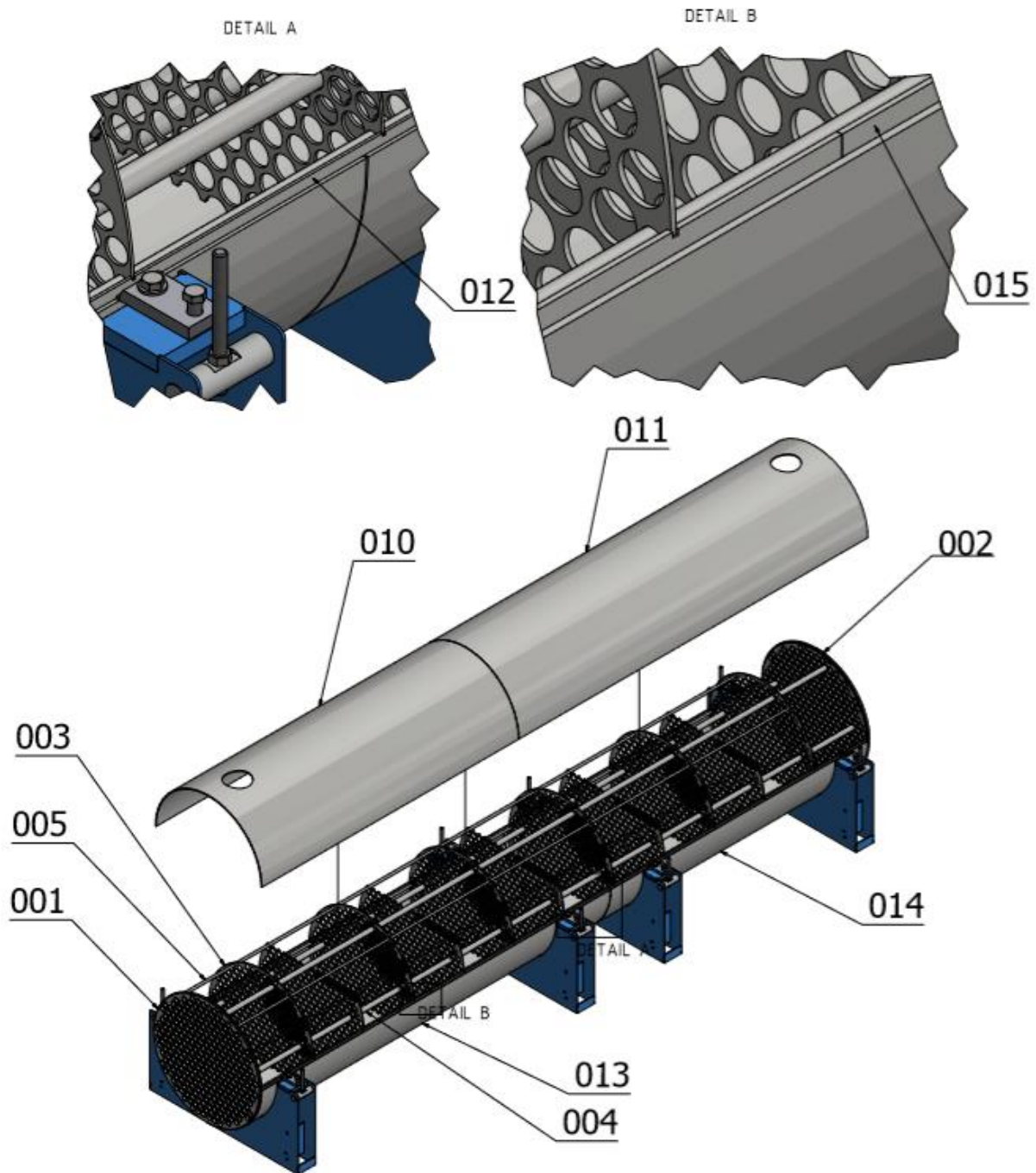
Postup montáže

Nejprve je potřeba připravit 4 kusy přípravku (Obrázek 32), každý přípravek je rozdělen na dolní a horní část. Dolní části přípravku (Obrázek 33) se připraví na montážní stůl do jedné roviny, tak aby bylo možné vložit horní díly pláště výměníku (Obrázek 33, Poz. 011 a 012). Tyto dva díly se pomocí dorazů přitlačí do přípravku a ustaví se mezera mezi díly pláště 2 mm. Tato 2 milimetrová mezera sklouzí k tomu, aby došlo k provaření svaru až k podložnému plechu (Obrázek 33, Poz. 016). Nyní se do budoucího vnitřku svazku vloží zakroužený podložný pás (Obrázek 33, Poz. 016), který se pouze přistehuje, aby kopíroval tvar pláště a zároveň prozatím spojil horní díly pláště k sobě, takto spojené díly se vyjmou z přípravku.



Obrázek 33: Příprava horní části svazku

Stejně jako se vložily díly poz 011 a poz 010 do přípravku, se vloží díly poz 013 a 014 (Obrázek 34), opět se vloží podložný pás poz 016 (Obrázek 33) a přistehuje se k plášťům poz 013 a 014. Do takto připraveného „žlabu“ je možné začít vkládat přepážky poz 003 (Obrázek 34), které se ustaví pomocí podložných plechů poz 012 a 015 (Obrázek 34, DETAIL A, B), tyto podložné plechy mají v sobě zámky, které zapadnou do zámků v přepážkách. K sestavení přepážek se dále použijí vodící tyče poz 005 (Obrázek 34). Nyní se ustaví první trubkovnice poz 001 (Obrázek 34), v této trubkovnici jsou otvory pro vodící tyče poz 005, provede se ustavení trubkovnice a přepážek a poté se trubkovnice přistehuje k plášti. Provede se kontrola svislosti přepážek a svary se zafixují k vodícím tyčím. V dalším kroku je možné ustavit druhou trubkovnici poz 002 (Obrázek 34), ustavení se provede pomocí několika trubek poz 004 (Obrázek 34), které se zasunou skrze všechny přepážky, takto se zajistí správné ustavení. Poté je možné přistehovat druhou trubkovnici k plášti. Provede se kontrola ustavení přepážek a podložných plechů a může se celý svazek uzavřít horní částí poz 010 a 011.



Obrázek 34: Skládání svazku

Nyní je možné celý svazek zakrýt díly poz. 010 a 011. Celý svazek se stáhne pomocí horních částí přípravků. Provede se kompletní svaření všech dílů pláště a přivaření trubkovic k plášti. Zasunutí, zaválcování a přivaření ostatních trubek se provede stejným způsobem, jak je uvedeno v kapitole 2.10.5.

Na konec je možné přivařit návarky s přírubami. U takto svařeného svazku se provede kontrola těsnosti, jak je popsáno v kapitole 2.10.7.

3.4. Výroba svazku-varianta 3

Postup montáže této varianty je totožný jako u varianty 1. Tato varianta se odlišuje pouze změnou materiálu pláště výměníku. Při návrhu se vychází s toho, že cena svařovaného pláště z uhlíkové oceli u varianty 1, dodávané jako polotovary od kooperátora, se velmi těsně blíží nakupované korozivzdorné trubce stejných rozměrů nakupované jako běžně dodávaný polotovar. Návrh vycházel z úvahy, proč si objednat výrobu pláště z uhlíkové oceli, když cena nerezové trubky je téměř totožná. Proto byla tato varianta navržena jako možné řešení.

Při montáži této varianty není potřeba žádného speciálního přípravku.

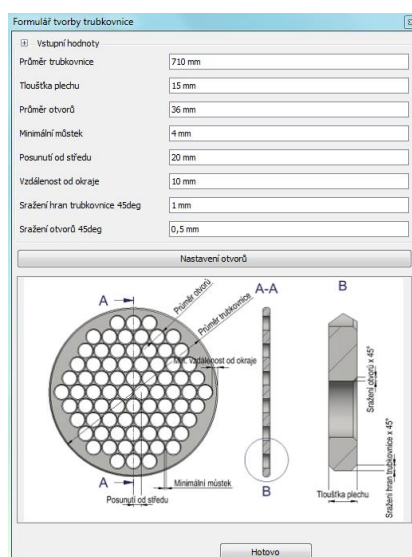
3.5. Zrychlení tvorby modelů trubkovnic

Konstrukční dokumentace je nejprve vytvářena jako model v programu Autodesk Inventor 2017 na základě těchto modelů se vytváří konečná podoba výrobní dokumentace ve společnosti TEDOM.

Programy typu Inventor nabízejí mnoho pokročilých nástrojů, které mohou využívat konstruktéři při návrhu, jako jsou pevnostní analýzy, pohybové studie, prezentace apod. Dalším velmi užitečným nástrojem v programu Inventor je iLogic.

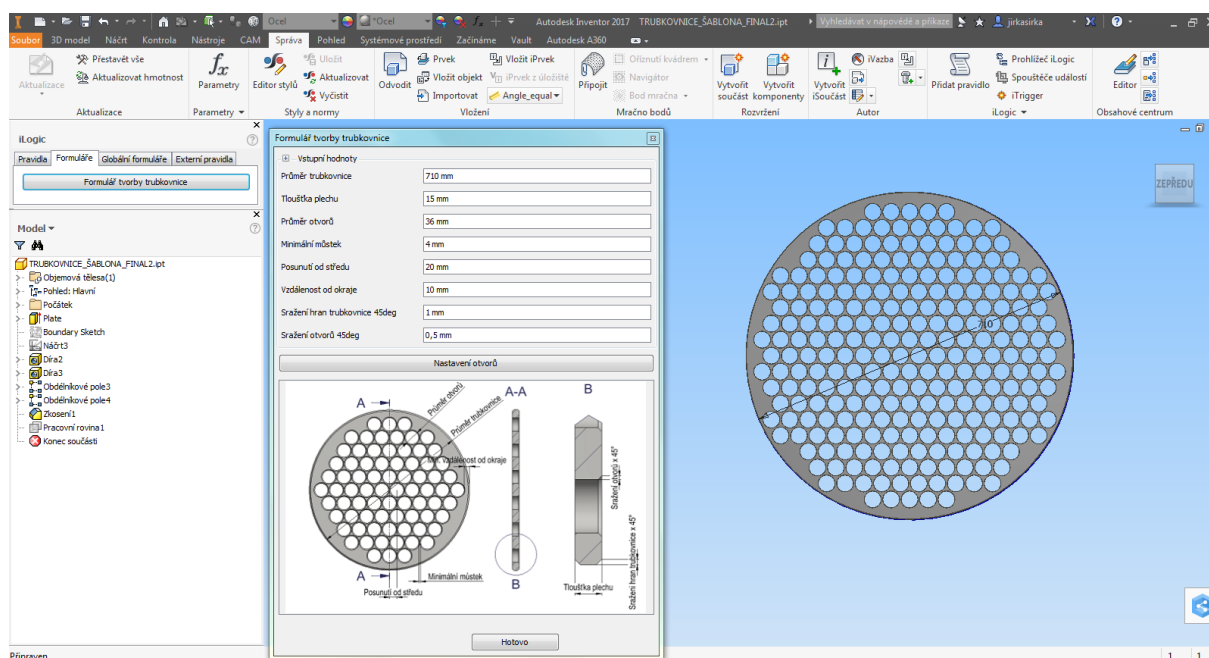
Nástroj iLogic umožňuje vytvářet jednoduchá, ale i velmi složitá pravidla přímo uživatelem programu. Rozšiřuje tak možnosti Inventoru o funkce, které si sám připraví konstruktér. Jednat se může o různá pravidla, jak se má díl či sestava chovat na základě vybraných aspektů. Pravidla či parametry lze také zadávat pomocí programovatelných formulářů. Historicky byla funkce iLogic nabízena jako placená nástavba Inventoru, od roku 2011 je součástí všech nabízených licencí (26).

Následující návrh formuláře vytvořeného v iLogic sloužící k rychlé tvorbě modelu trubkovnice. Trubkovnice je nejpracnější dílem, jak z pohledu konstrukčních prací, tak i při samotné výrobě. Modelování trubkovnice lze výrazně urychlit pomocí jednoduchého formuláře, do které se zadají parametry otvorů tak, jak byly vypočteny v tabulce, viz například Příloha 7. Pravidlo iLogic automaticky vypočte polohy otvorů a rovnoměrně je rozmístí s tím, že dodrží minimální můstky mezi otvory a minimální vzdálenost od kraje včetně dalších důležitých parametrů. Následně si konstruktér otevře výkres, který se dynamicky mění podle aktuálně zadaných parametrů.



Obrázek 35: Formulář tvorby trubkovnice (1)

Dále viz Obrázek 36 je znázorněn formulář trubkovnice. Takto vytvořená trubkovnice je vytvořena během několika minut a je zaručeno, že rozložení děr je bezchybné. Souřadnice otvorů jsou později využity k tvorbě CNC programu i z tohoto pohledu je důležité, aby byly kóty v pořádku zakresleny.



Obrázek 36: Tvorba trubkovnice v prostředí Autodesk Inventor (1)

K vytvoření tohoto nástroje byla použita šablona, která byla původně určena pro kreslení děrovaných plechů [27]. Tato šablona byla upravena pro potřeby TEDOMu. Byl vytvořen formulář pro zadávání parametrů a doplněny některé parametry, zejména sražení hran a vzdálenost od kraje.

3.6. Zefektivnění procesů technického úseku

Podklady pro všechny vyráběné díly jsou ve společnosti TEDOM vytvářeny v konstrukčním programu Inventor 2017 od firmy Autodesk. Díly a celé sestavy se nejprve modelují a následně se z modelů vytvářejí výrobní výkresy, které se dále ukládají na společné úložiště ve formě PDF souboru.

Databáze modelů je uložena na serveru, správa těchto modelů probíhá prostřednictvím klienta Vault Basic, který je součástí balíku programů pro tvorbu konstrukční dokumentace od firmy Autodesk. Databáze nebo také knihovna již vytvořených dílů sestav slouží k tvorbě nových sestav dílů s použitím již těch vytvořených. V této knihovně jsou také uloženy normalizované díly, jako jsou například šrouby, podložky, armatury a podobně. Využití již vytvořených modelů výrazně urychluje tvorbu nových modelů sestav.

Problémem současného stavu tvorby veškeré výrobní dokumentace je roztržitost interních systémů a procesů. Konstruktor musí neustále vytvářet duplicitní dokumenty a ty pak dále ukládat na jiné místo odděleně od původních dat, v případě změny je musí opakovaně vytvářet a ukládat. Konstrukční kusovníky jsou vytvářeny samostatně a je nutné provádět kontrolu souladu kusovníku s výkresem. Všechny tyto činnosti odvádějí pozornost od tvůrčí práce konstruktéra.

Urychlením všech procesů v konstrukčním oddělení a v navazujících odděleních ovlivní pozitivně i rychlost tvorby dokumentace spalínového výměníku a kvalitu výrobní dokumentace.

3.7. Implementace systému Vault Professional a MONACO

V současné době je dlouhodobě stávající stav fungování procesů ve společnosti TEDOM neudržitelný a vyžaduje změnu. Stávající systém vznikl postupným přidáváním různých systémů dle aktuální potřeby. Propojení jednotlivých systémů se buď vůbec neřešilo, nebo to ani nebylo možné s technických důvodů a důvodů omezení daných systémem. Na základě zkušeností s provozem současného systému, z důvodu růstu firmy, kapacitního vytížení pracovníků THP a obecně potřebou neustálého zkvalitňování a zefektivňování procesů ve společnosti TEDOM vznikl požadavek na řešení současného stavu fungování práce s daty zejména v Technickém a Výrobním oddělení [1].

Současný stav fungování procesů TPV a navazujících procesů je popsán v kapitole 2.6. Nová varianta počítá s pořízením vyšší verze PDM programu Vault Professional a pořízením nové verze programu SYSKLASS, a to programu MONACO (28). Upgrade na tyto dva systémy byl zvolen mimo jiné proto, že oba systémy budou dodávány od společností, které jsou nyní dodavateli současných řešení. Program Vault je úzce provázán s CAD řešením Invertor a v případě, že se neuvažuje o změně konstrukčního programu, je řešení Vault a jeho upgrade jediné reálně možné. Systém MONACO je novější verzí systému SYSKLASS a lze proto snadno přenést stávající data do nového systému, navíc používání programu SYSKLASS vyžaduje starší operační systém Microsoft Windows 7²² a funguje na již nepodporovaném databázovém programovacím prostředí Microsoft Visual FoxPro²³ [1].

Pro definitivní rozhodnutí o pořízení nových informačních systémů je nutné zejména posoudit, jaký bude přínos nových systémů a jaké budou náklady na implementaci a provoz nových informačních systémů a v neposlední řadě, zda zvolené systémy budou fungovat dle představ zainteresovaných oddělení. Situace je komplikovaná zejména tím, že se bude jednat o změnu dvou systémů, které budou vzájemně propojeny, proto je nutné provést změnu nejlépe zároveň, či bezprostředně po sobě. I tak se však předpokládá, že bude v omezené míře nutný souběh starého a nového řešení, aby nebyl ohrožen průběh výroby [1].

3.7.1. Vault Professional

Vault Basic slouží k jednoduché správě konstrukčních dat. Vyšší verze Professional dokáže spravovat i tzv. nonCAD²⁴ data včetně řízení jejich revizí. Porovnání Vaultu Basic a Professional je pro názornost v následující tabulce (Tabulka 7) [1], [26].

Očekávané efekty spojené se zavedením Vaultu Professional jsou především: tvorba konstrukčních dat a kusovníkových dat v jednom prostředí, řízení práce (workflow) konstruktérů v jednom prostředí bez nutnosti schvalování výkresů v jiném samostatném prostředí (dnes CRM). Další klíčovou funkcionalitou je práce pouze s nativními daty prostředí CAD bez nutnosti ručního generování PDF a jiných souborů. Řešení Vault Professional umožňuje řízeně zpřístupnit data komukoliv přes webové rozhraní s přesně definovanými právy. Generování PDF souborů, například pro kooperační firmy či pro jiné oddělení, které nemá k dispozici CAD aplikaci je možné na vyžádání přímo z webového klienta. V neposlední řadě umožňuje Vault Professional propojení na ERP a další firemní systémy (MONACO). V praxi se předpokládá, že konstruktér bude v rozhraní Vaultu vyhledávat či zakládat jak nakupované, tak vyráběné položky a všechny tyto změny se zohlední v ostatních systémech [1], [26].



²² **Microsoft Windows 7:** operační systém společnosti Microsoft, který má stanoven svůj životní cyklus [42]

²³ **Microsoft Visual FoxPro:** nástroj pro správu dat webových databázových aplikací, klientských serverů, desktopových klientů [41].

²⁴ **NonCAD:** data, která nejsou vytvořena kreslicím programem. Mohou to být soubory všech běžně používaných formátů (doc, xml, pdf) včetně videofotomátů [22].

Konstruktor bude mít pouze jedno místo, ve kterém bude vytvářet dokumenty a všechny přenosy informací budou řízeny, zjednodušeny či budou nahrazeny automatickou funkcí. Toto uspořádání práce se zdrojovými konstrukčními daty by mělo zabezpečit, že budou přístupny jen aktuální výkresy, které uvolní konstruktor [1], [26].

Tabulka 7: Přehled funkcí programu Autodesk Vault [22]

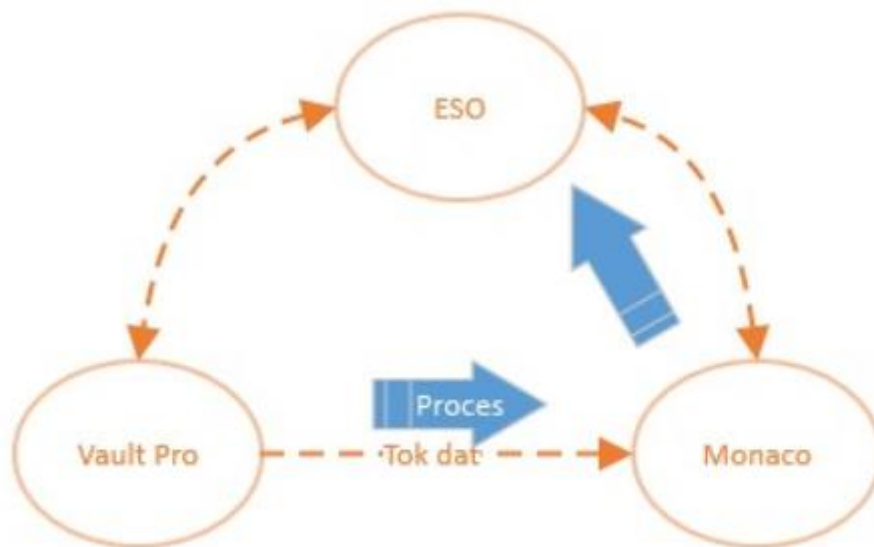
Produkty	 	
	Vault Basic	Vault Professional
Základy správy dat	ANO	ANO
Přímá integrace CAD	ANO	ANO
Podpora technologie AnyCAD	ANO	ANO
Rychlé vyhledávání dat	ANO	ANO
Centrální umístění dat projektů	ANO	ANO
Opakované využívání dat	ANO	ANO
Souběžné navrhování více uživateli	ANO	ANO
Jednoduchá administrace a konfigurace	ANO	ANO
Rychlé a pružné rozmístování	ANO	ANO
Integrace sady Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint)	ANO	ANO
Pokročilá správa dat		
Vizuální správa dat pro aplikaci Inventor		ANO
Automatizace úloh a dodatečné tvorby		ANO
Automatické publikování a správa souborů PDF		ANO
Projekty a reportování		ANO
Revizní kontrola		ANO
Pružná ochrana dat		ANO
Integrace Microsoft Outlook		ANO
Životní cyklus projektu		ANO
Vault Office		ANO
Správa rozpisky materiálu (BOM)		ANO
Automatizované konstrukční změny před výrobou		ANO
Integrace se systémy ERP		ANO

Celý návrh zlepšení spočívá v tom, že se zjednoduší režijní práce konstruktérů, řada těchto činností se v současnosti provádí ručně či duplicitně. Při realizaci změn či přerušení práce konstruktéra může docházet k chybám. Automatizace a zjednodušení práce konstruktéra by mělo vést k celkovému zvýšení kvality práce a dále se předpokládá uvolnění 30 % kapacity práce konstruktéra. Konstruktorům by se uvolnilo více prostoru pro tvůrčí činnost [1], [26].

Aby toto navrhované zlepšení splnilo očekávání, nelze řešit změnu odděleně jen v rámci konstrukčního oddělení. Vstupy do oddělení jsou víceméně dány PLD od obchodního oddělení a jedná se prakticky o jednu tabulku, která je relativně jednoduchá. Naproti tomu výstupy konstruktérů představují relativně velké množství dat, která musí být náležitě a ideálně bezchybně sdílena. Tato konstrukční data, kusovník KJ a výkresy aj., se musí přenést do jiného systému, kde s ním mohou dále pracovat technologové, pracovníci logistiky (plánovači výroby, skladníci), pracovníci výroby (vedoucí výroby a dělníci) [1], [26].

Navrhované řešení počítá s propojením tří hlavních systémů. První část, ta konstrukční, bude řešena ve Vaultu Professional, následně technologická a výrobní část bude zabezpečena v systému MONACO a konečně třetí část bude, tak jak doposud, zajištěna v ekonomickém informačním systému ESO. Na následujícím diagramu je naznačeno vzájemné propojení systému v navrhovaném řešení [1], [26].

Diagram 3: Diagram procesu TPV a sdílení dat mezi systémy



Shrnutí očekávaných přínosů:

- Automatické číslování položek.
- Automatické generování doplňující dokumentace zakázek.
- Automatické propojení s podnikovými informačními systémy ESO a MONACO.
- Automaticky se pracuje nejen s novou dokumentací, ale i se změnami.
- Propojení s informačními systémy zajistí sjednocení popisných informací výrobků ve všech místech využití (nákup, konstrukce, technologie, výroba, ...).
- Zvýšení bezpečnosti dat s ohledem na nechtěné přepsání souborů či jiné lidské opomenutí.
- Zajištění dostupnosti vždy aktuálních výrobních dat pomocí linku na data ve Vaultu z podnikových informačních systémů ESO a MONACO [1], [26].

Implementace:

Implementace Vaultu Professional bude z důvodu složitosti rozdělena na dvě hlavní části. První částí je analýza současného stavu dat, procesů a technických možností propojení s ostatními systémy. Druhá část, implementační, bude na základě zhodnocení, buď bezprostředně, či s odkladem na přípravu dat následovat [1], [26].

Analýza by měla v první řadě odpovědět na otázky, v jakém rozsahu budou muset být upravena stávající konstrukční data, zda je technicky možné realizovat propojení tří systémů a jak bude samotná implementace časově náročná. V rámci analýzy by se měl také zpřesnit počet potřebných licencí a jejich typů. Po odsouhlasení vedení společnosti TEDOM by měla být spuštěna samotná implementace [1], [26].

Průběh implementace bude ještě dále rozdělen na fázi zkušební a ostrý provoz. Po zkušební fázi se provede test uživateli a provede se připomínkování na základě, kterého se provedou případné korekce či opravy. Po definitivních schválení se spustí ostrý provoz a ten se opět otestuje. V případě, že bude takto odsouhlasen, dojde k předání a následnému zaplacení díla. Přičemž cena zakázky bude rozdělena na cenu analýzy a cenu implementace. Cena licencí je řešena zcela samostatně, a to formou pronájmu [1], [26].

3.7.2. MONACO

Systém MONACO je specializovaný software pro tvorbu, evidenci a archivaci technické dokumentace výrobních podniků umožňuje spravovat kusovníky, importovat kusovníky s ostatních CAD systémů, vytvářet normy, kalkulovat výrobní náklady, plánovat úkoly v rámci úseku. Dále umožňuje řídit a plánovat výrobu [1], [28].

Klíčovým požadavkem na systém MONACO byla především možnost propojení na navazující systémy (Vault a ESO) při zachování funkcí, které nabízí současný systém SYSKLASS. Především jsou to funkce tvorby kusovníků, inverzní kusovníky, kalkulace a souhrnné výpočty, změnová řízení atd. Systém SYSKLASS složí především jako datová základna TPV. Některé funkce stávajícího systému jsou nedostačující, zejména s korektním kalkulování nákladů na díly vyráběných v kooperaci nebo možnost hromadných změn atd. Navíc systém SYSKLASS, jak již bylo zmíněno (Kapitola 3.7), nefunguje na novějších systémech a nyní je nutné držet v provozu stále starší softwarové prostředky právě kvůli systému SYSKLASS. Neméně důležité je i samotné rozhraní systému SYSKLASS, ten vznikl v 90. letech 20. století a z tohoto pohledu velmi uživatelsky zastaral [1], [28].

Hlavním požadavkem na systém MONACO je ten, že bude propojen s Vaultem Professional a bude schopen zpracovávat automaticky data přicházející z konstrukčního softwaru. Dále bude sledovat přicházející změny a upozorňovat na přicházející úkoly oddělení technologie. V současném stavu je potřeba aktivně vyhledávat nezpracované technologické postupy a materiálové normy na základě informací přicházejících prostřednictvím mailové komunikace [1], [28].

Nevýhodou starého systému je nemožnost jednoduše měnit a nastavovat vyráběné položky na kooperované nebo vyráběné ve vlastní výrobě. Musí to být již nastaveno v konstrukčním oddělení a změny musejí probíhat opět v rámci konstrukčního oddělení. Tento stav zatěžuje konstruktéry a ve většině případů se změny ani neprovádějí a postupně se data v systému s postupem času spíše více deformují a neodpovídají skutečnosti. Požadavek je tento stav napravit a jednak zjednodušit práci konstruktérům, umožnit technologům měnit atributy položek snadno na kooperované a v konečném důsledku tím usnadnit práci pracovníkům výroby, kteří plánují výrobu a v současné době to dělají na základě nepřesných dat, která musí být neustále tříděna a kontrolována [1], [28].

Výrazně zpřesnění výrobních dat v systému MONACO by umožnilo zpřesnit plánování výroby, současný stav to umožňuje jen v omezené míře. Plánuje se pouze na základě montážních časů konečného výrobku s tím, že se vždy předpokládá, že díly na montáž budou včas objednány či vyrobeny. Navíc neexistuje jednoduchý nástroj, jak případně přeplánovat zakázky dle aktuální potřeby. Plánování výroby by měl také umožnit systém MONACO [1], [28].

Systém MONACO umožňuje odvádění výroby pomocí čárových kódů či dle přidělených identifikačních čísel pracovníků přímo na pracovišti a je tak možné porovnávat skutečně odvedené časy na zakázku s normovaným časem v jednom systému. V současném stavu se normy evidují v systému SYSKLASS, ale kontrolují se až na základě dat ručně vložených do jiného systému ESO. Je tak nutné při porovnávání skutečných a kalkulovaných nákladů složitě

hledat informace ve dvou rozdílných systémech a na samotné posuzování efektivity výroby nezbyvá mnoho času, jelikož je čas věnován spíše hledání administrativních chyb. V některých případech je velmi obtížně dohledat příčiny rozdílných časů výroby u totožných výrobků [1], [28].

Shrnutí očekávaných přínosů:

- Přístup k datům přes internet (plovoucí licence).
- Snížení nákladů a času na tvorbu dokumentace pro TPV.
- Využívání stávajících dat pro rychlou tvorbu nových položek.
- Možnosti vyhledávání položek dle identifikačních parametrů.
- Veškeré technické know-how dostupné na jedno místě.
- Rychlé stanovení cen a termínů dodání.
- Modelování souhrnných kalkulací výrobků.
- Rychlejší a efektivnější zavádění nových výrobků.
- Sledování změn v TPV dokumentech v časových řezech.
- Hromadný import konstrukčních kusovníků.
- U jednotlivých položek odkazy na aktuální výkresy.
- Možnost přikládat k položkám doprovodné dokumenty (návody, video, foto apod.) [1], [28].

Implementace:

Implementace Monaca je, stejně jako u Vaultu, rozdělena na dvě základní fáze, a to část analytickou a implementační. Předběžná jednání ukázala, že z technického hlediska je realizace možná a požadavky na propojení tří hlavních informačních systému jsou realizovatelné.

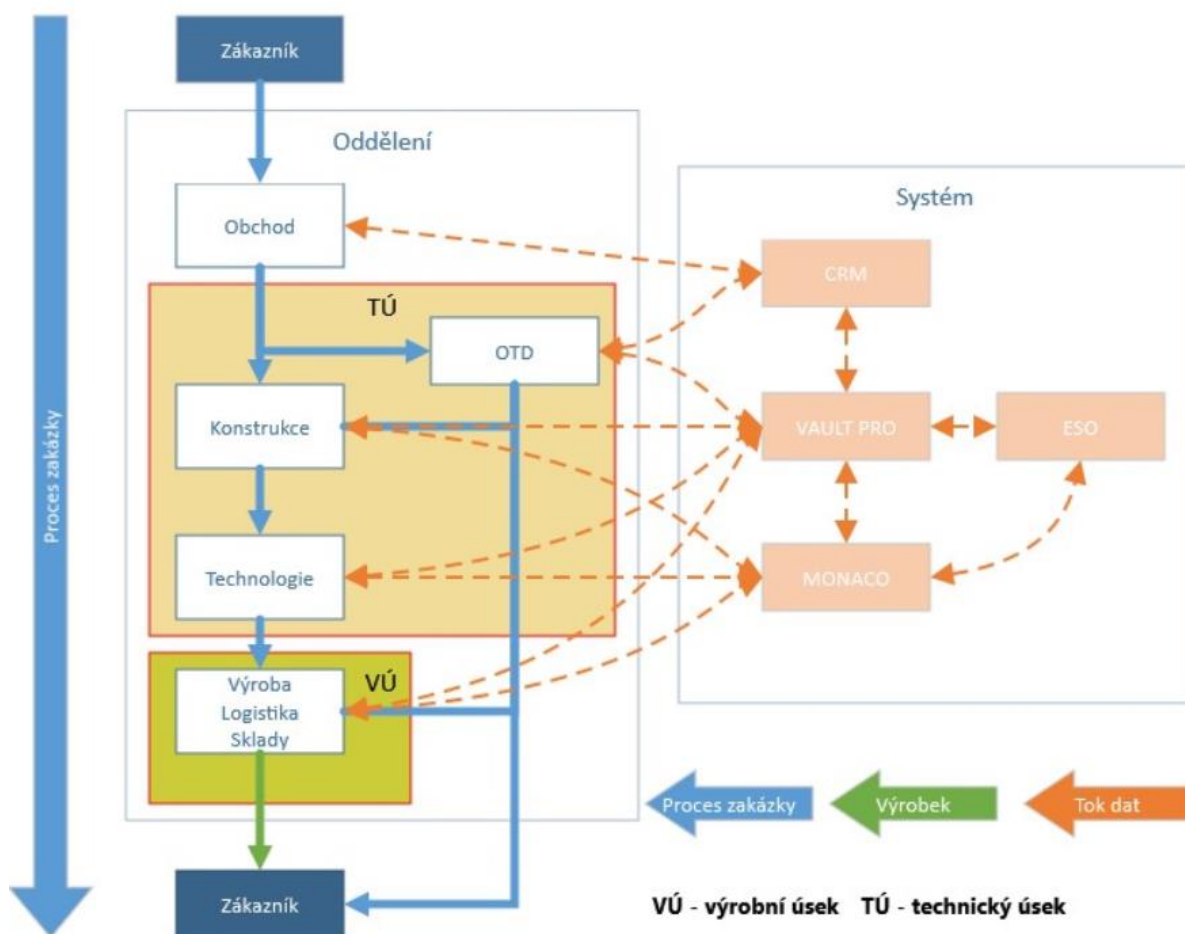
Analýza by měla ukázat, jak bude časově náročná implementace a upřesnit počet a typ licencí potřebných pro fungování systému na požadované úrovni. Od počtu licencí a předpokládané pracovní síly by se měla odvíjet konečná cena celé implementace [1], [28].

3.7.3. Schéma

Na následujícím diagramu je znázorněno, jak by měly fungovat procesy po plánovaném zavedení nových systému. Nejvíce se změny dotknou Technického a Výrobního úseku. Každé oddělení by vstupovalo maximálně do dvou systémů, přičemž jeden by byl hlavní a druhý podpůrný. Například konstruktér by mohl ve Vaultu zakládat a měnit položky a do Monaca by mohl jen nahlížet. Technolog by mohl editovat v MONACu a naopak do Vaultu pouze nahlížet. (Pozn. V odd. Technologie se v současné době navrhuje přípravky a konstrukční dokumentace se ukládá mimo společné úložiště, plánovaná změna počítá s využitím úložiště Vaultu i pro dokumentaci k přípravkům; toto by nezasahovalo do procesů souvisejících se zakázkami).

Důležité pro správné fungování systému bude mimo jiné nastavení oprávnění jednotlivých uživatelů (oddělení) dle předem schváleného schématu, aby nedocházelo k obcházení procesů a nemohlo dojít k nesprávnému přenastavení procesů na základě neznalosti pracovníka, čímž by se mohla později narušovat efektivita celého procesu.

Diagram 4: Procesy a výměna informací v TPV (navrhované řešení)



3.8. Technologie výroby přepážek

Ve všech typech spalínových výměníků jsou přepážky, které slouží k usměrnění toku ohřívaného média v prostoru svazku výměníku. Toto uspořádání je pro danou aplikaci zvoleno jako nejvýhodnější.

Pro přepážky je předepsán polotovar plech tloušťky 2 mm z materiálu dle ČSN 41 7240 – ČSN 425315 nebo z materiálu dle ČSN 41 1373 – ČSN 42 5310 tloušťky 3 mm. Podobně jako většina ostatních plechových dílů jsou tyto přepážky vyráběny kooperátory technologií řezání laserem. Pomocí laseru se řeže jak obrys, tak všechny otvory. Na následujícím obrázku je zobrazen detail přepážky řezané pomocí laseru (Obrázek 37).



Obrázek 37: Detail přepážky řezné pomocí laseru

Vzhledem k tomu, že pro každý výměník je potřeba několik přepážek. V některých případech, je třeba až 13 ks na jeden výměník, což představuje výrobu již řádově ve stovkách kusů ročně, a proto bylo navrženo zaměřit se na hledání alternativ technologie výroby přepážek s požadavkem na snižování výrobních nákladů.

U plechu tloušťky 2-3 mm se nabízí alternativa k řezání pomocí laseru, a to děrování pomocí lisu. Technologie děrování (stříhání) je mnohem starší technologií než řezání pomocí laserového paprsku, přesto se stále honě používá a v některých případech může být stále výhodnější.

Náklady na pálení ovlivňuje tloušťka a kvalita materiálu, délka řezaného obrysu a počet zápalů. Při velké množství otvorů v přepážce, je i více zápalů, a to má velký vliv na celkové náklady na výrobu přepážek. Pomocí laseru je možné řezat konstrukční ocel tloušťky 25 mm, ale i z ušlechtilé oceli tloušťky 25 mm [29]. Řezné rychlosti se pohybují v rozmezí 1 m/min až u těch nejvýkonnějších strojů několik desítek metrů za minutu v závislosti na typu a výkonu laseru a kvalitě a tloušťce materiálu [30].

Náklady na děrování pomocí lisu tvoří zejména strojní čas potřebný k výrobě přepážky a náklady na nástroje. Rychlost lisu je dána počtem úderů za minutu, to může být u těch nejvýkonnějších strojů až 1600 zdvihů za minutu. Maximální tloušťka děrovaných plechů je u těch nejvýkonnějších strojů 8 mm [29].

Byla poptána zkušební série výroby přepážek pro řadu MICRO technologií děrování na lisu. Detail otvoru přepážky je zobrazen na následujícím obrázku, kvalita otvoru je srovnatelná s kvalitou otvorů pálených laserem.

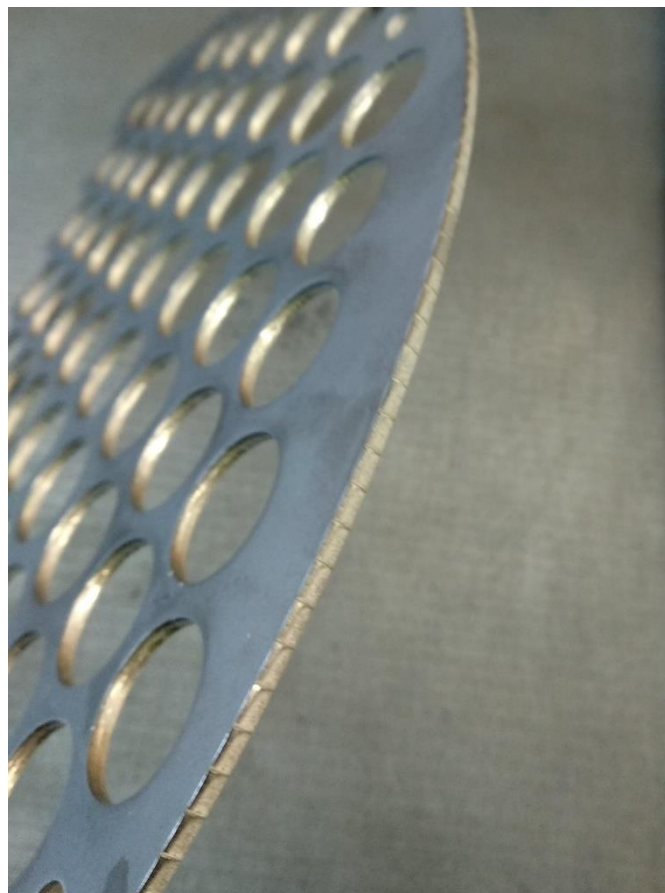
Na dalším obrázku je detail obrysu přepážky. Na obrysu je možné vidět jednotlivé údery lisu, obrys je mírně hranatý, ale v únosných mezích, na funkci přepážky a technologii montáže – svařování to nemá žádný negativní vliv.

Otvory v přepážkách jsou děrovány na jeden úder, tudíž se netvoří žádné nežádoucí ostré hrany jako u děrování obvodu přepážky. V případě, že by se například u větších otvorů použil způsob děrování na více úderů, mohlo by to působit problémy při zasouvání trubek do spalínového výměníku. Trubky by se mohly při nešetrném zasouvání poškrábat o ostré hrany přepážky a mohlo by dojít k narušení trubky a v dlouhodobém provozu by mohlo docházet k rychlejší

degradaci materiálu v místě poškození a v konečném důsledku k nežádoucímu průniku stěnou trubky.



Obrázek 38: Detail otvorů provedené děrováním



Obrázek 39: Detail stříhané hrany přepážky

4. Hodnocení navržených variant

4.1. Zhodnocení výroby svazku výměníku (varianta 2)

Výrobní náklady jsou zpracovány pomocí TPV programu SYSKLASS (Obrázek 31). Rozměry výměníku u stávajícího řešení (varianta 1) se mírně liší od navrhované varianty. Navrhovaná varianta má vnější průměr menší o 15 mm s menším počtem trubek (304 ks oproti 316 ks). Rozdíl je způsoben z důvodu aktualizace výpočtů konstrukčním oddělením. Z důvodu zpřesnění porovnání výrobních nákladů navrhovaných variant s původní variantou o průměru 625 mm a počtu trubek 316 byla provedena korekce, viz Kapitola 2.11.

Id	Scf	Mnoz	Cenaf
00001	27 P410731	1.00	0.00

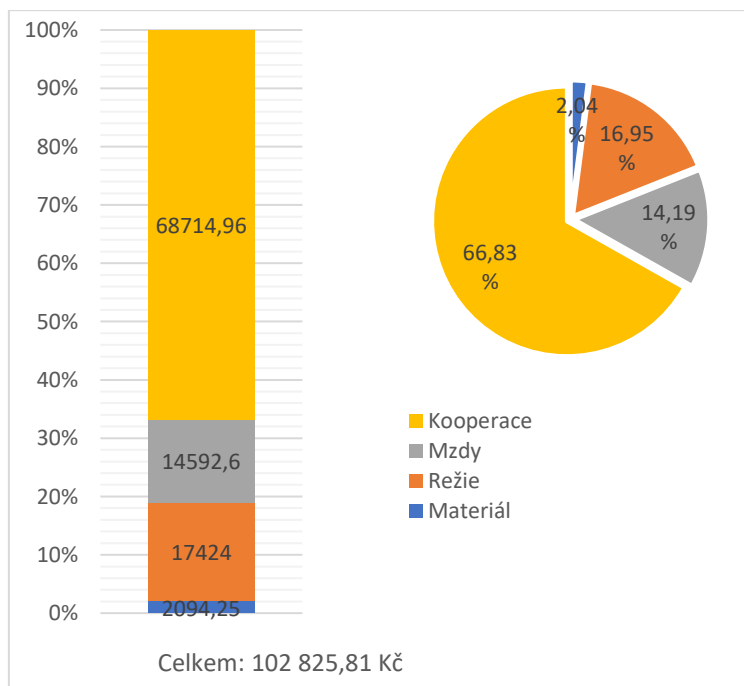
Náklady	
Materiál	2 094.25
Režie	17 424.00
Mzdy	14 592.60
Kooperace	68 714.96
Celkem	102 825.81

Pracnost	
Strojů	90.7500
Pracovníků	90.7500

Obrázek 40: Výpočet výrobních nákladů svazku v systému SYSKLASS (varianta 2) [1]

Struktura výrobních nákladů je podrobněji popsána v následujícím grafu (Graf 2).

Graf 2: Struktura kalkulovaných výrobních nákladů (varianta 2)



Očekávaným přínosem této varianty je snížení celkových výrobních nákladů, což se dle kalkulace potvrdilo.

Vlivem rozdělení pláště na několik menších částí, lze předpokládat, že se zjednoduší manipulace s pláštěm. Nejtěžší část pláště bude mít hmotnost cca 60 kg, oproti původní variantě, u které je hmotnost pláště cca 200 kg. Snížení počtu manipulací s dílem o hmotnosti 200 kg může také vést ke zvýšení bezpečnosti práce.

4.2. Zhodnocení výroby svazku výměníku (varianta 3)

Tato varianta v celkových výrobních nákladech nepřináší výrazné úspory oproti variantě 1. Výhodou této varianty je, že není potřeba použití speciálního přípravku a je proto možné měnit požadovaný průměr dle potřeby a naskýtá se tak možná větší variabilita průměrů výměníků s ohledem na běžně vyráběné průměry korozivzdorných trubek. Kalkulace výrobních nákladů je uvedena na následujícím obrázku (Obrázek 41).

Id	Scf	Mnoz	Cenaf
00001	27 P323960	1.00	0.00

Náklady	
Materiál	27 925.27
Režie	18 892.80
Mzdy	15 822.72
Kooperace	58 254.96
Celkem	120 895.75

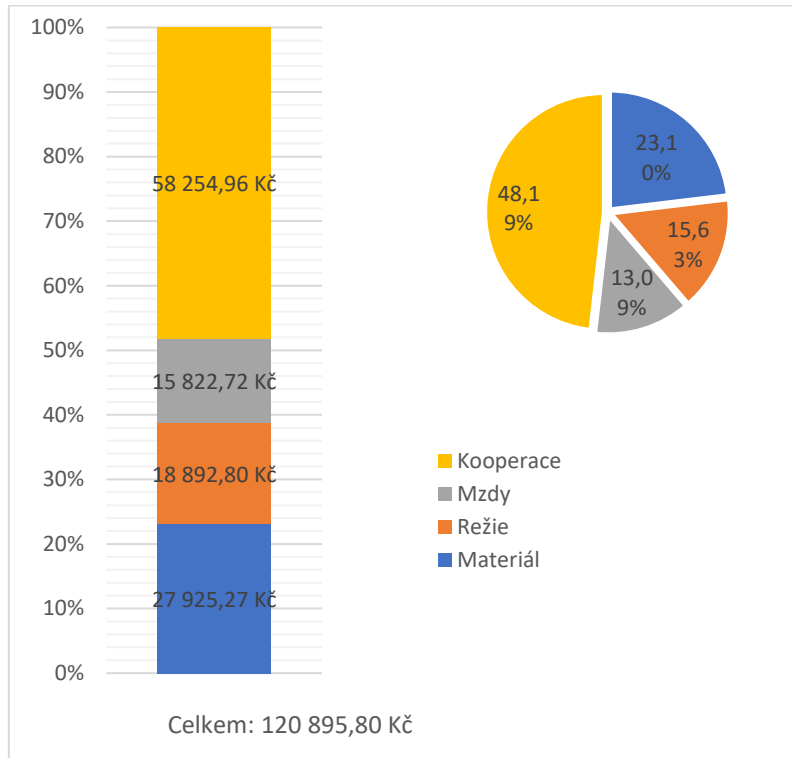
Pracnost	
Strojů	98.4000
Pracovníků	98.4000

Datum výpočtu: 09.03.2018 Režie: 192.0 Kč / hod. Číselník

Obrázek 41: Výpočet výrobních nákladů svazku v systému SYSKLASS (varianta 3) [1]

V následujícím grafu (Graf 3) je uvedena struktura nákladů pro výrobu varianty 3, kdy se oproti variantě 1 a 2 zvětšil podíl vlastního materiálu převážně na úkor kooperačních nákladů, což se dalo i předpokládat volbou nákupu polotovaru korozivzdorné trubky jako pláště. Celkové náklady jsou velmi podobné stávající variantě 1. Použití korozivzdorné trubky může být výhodné v případě potřeby rychlé výroby výměníku, dodávka nerezové trubky je obvykle výrazně rychlejší.

Graf 3: Struktura kalkulovaných výrobních nákladů (varianta 3)



5. Technicko-ekonomické zhodnocení

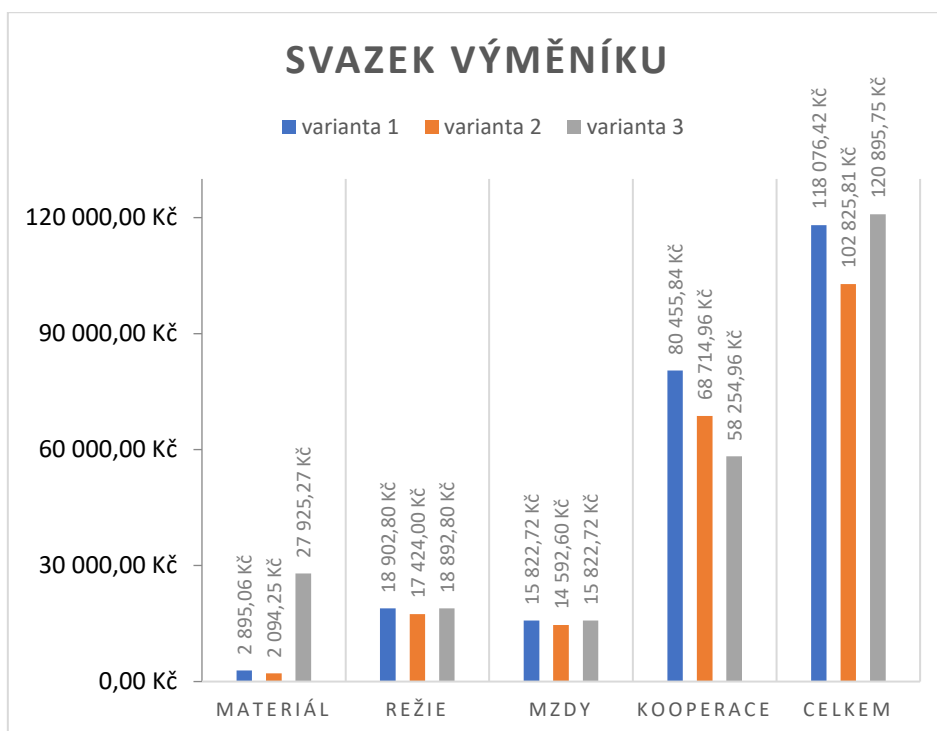
5.1. Výroba svazku

Hodnocené varianty popsané v předchozích kapitolách popisují výrobu svazku spalínového výměníku s přihlédnutím k výrobním možnostem společnosti TEDOM, jejich kapacitám a bez nutnosti investic do nových strojů a zařízení nutných například pro zakružování velkých plechových polotovarů a zároveň při zachování výroby spalínových výměníků převážně ve vlastní režii z důvodu zachování know-how firmy TEDOM.

Ekonomické hodnocení vychází z porovnání skutečných nákladů současné výroby svazku spalínového výměníku (varianta 1) s předpokládanými výrobními náklady navrhovaných řešení (Varianta 2, 3). Náklady jsou rozděleny na přímý materiál (materiál nakupovaný a spravovaný ve vlastní režii společnosti), mzdy (na základě stanovené průměrné mzdy včetně odvodů 160,8 Kč), výrobní režii (stanovená na 192 Kč/h) a kooperaci (zde je zahrnuta cena externě poskytovaných služeb včetně ceny materiálu a dopravy). Dále byla stanovena pracnost u všech tří variant výroby svazku v hodinách. Tyto kalkulace byly provedeny v programu SYSKLASS pomocí souhrnných výpočtů.

Porovnání celkových výrobních nákladů je v následujícím grafu (Graf 4), největší část výrobních nákladů je tvořena náklady na kooperaci. U varianty jedna tvoří 68,14 % z celkových nákladů u varianty 2 je to 66,86 % a u varianty 3 tvoří 48,19 %.

Graf 4: Porovnání variant výroby svazku spalínového výměníku



V navrhovaných řešeních došlo ke snížení nákladů kooperace v absolutních hodnotách. U varianty 2 to vedlo ke snížení celkových výrobních nákladů svazku na 102 825, 81 Kč, přičemž se prakticky nepatrně snížila pracnost. I přesto, že u varianty 2 se zvýšil počet kusů, z kterých se svazek skládá, pracnost se prakticky nezměnila a klesly celkové náklady. Pracnost se v zásadě nezměnila, a to především proto, že byl použit přípravek N43231 (Obrázek 32), dále po složení svazku není nutné řezat plazmovým hořákem otvory pro vstupy a výstupy vody do

svazku, přicházejí již vypálené laserem. U varianty 1 a 3 je nutné tyto čtyři otvory dodělat dodatečně až při montáži.

U varianty 3 se snížily náklady na kooperaci ještě více avšak za cenu zvýšení nákladů na vlastní materiál, přičemž se celková pracnost a celkové náklady oproti variantě 1 nesnížily. V případě většího podílu vlastního materiálu je nutné dále zohlednit to, že je třeba počítat s dodatečným prostorem pro skladování vlastního materiálu a dále je nutné počítat s odpadovým materiálem, zejména s přihlédnutím k tomu, že délka trubky svazku je 3500 mm a obvykle nabízené délky polotovarů jsou 3 000 nebo 6 000 mm.

Varianta 2 v tomto hodnocení vychází jako nejlepší varianta i přesto, že je složena z více dílů oproti ostatním variantám. Ne vždy tedy platí, jak je uvedeno v kapitole 1.5.5, že snižování počtu dílů vede automaticky ke snížení pracnosti při montáži. Varianta 2 vyhovuje požadovanému cíli nejvíce.

Pro usnadnění montáže varianty 2 slouží přípravek N43231. Náklady spojené s výrobou a údržbou přípravku nejsou zohledněny ve výrobních nákladech spalínového svazku. Rentabilita tohoto přípravku je zhodnocena samostatně v následující kapitole tohoto textu.

Předpokládané výrobní náklady varianty 2 jsou oproti variantě 1 nižší o 15 250,61 Kč/ks. Při předpokládané výrobě 10 ks ročně to může přinést úspory 152 506,1 Kč za předpokladu, že bude dodržen technologický postup a bude použit navrhovaný přípravek N43231 a dodavatel ohýbaného pláště bude tyto díly za nabídnutou cenu ochoten vyrábět.

Další možná varianta, která připadá v úvahu, je výroba skládaného výměníku o délce 3 000 – 4000 mm, který by se skládal pouze ze dvou kusů. To vyžaduje najít dodavatele, který by byl schopen jednak ohnout plášť o délce větší, než je 3000 mm, případně dále zajistit vyříznutí otvorů v takto velkém plášti. Dvojdílné řešení pláště, stejně jako se to realizuje u menších typů výměníků typu CENTO, by mohlo přinést další možné úspory, zejména snížení pracnosti při sestavování a svařování svazku. Byl nalezen a osloven potencionální dodavatel takto velkých polotovarů, který má potřebné vybavení, ale neprojevil zájem o výrobu tohoto dílu.

5.2. Rentability přípravku

Za rentabilní přípravek lze považovat ten, u kterého úspora použitím přípravku je vyšší než pořizovací cena přípravku včetně případné údržby. Samotný výpočet vychází ze vzorce uvedeného v kapitole 1.4. Výrobní náklady (cena) přípravku je stanovena na základě průměrné ceny již vyrobených přípravků v minulosti zvýšené o 15 %. Předpokládané výrobní náklady přípravku jsou stanoveny na 25 212 Kč (Tabulka 8). Předpokládaná úspora na jednom kuse se předpokládá ve výši 15 251 Kč. Režijní náklady a náklady na údržbu jsou zanedbatelné, proto se s nimi neuvažuje.

Výrobní náklady přípravku:

Tabulka 8: Výrobní náklady přípravků [1]

Průměr pláště [mm]	Označení/Zakázka	Kusů v sestavě	Cena [Kč]
356	N4075/1130050Q	3	14439
406	N4090/1130058Q	3	14969
530	N4065/1130046Q	3	19923
Průměrná cena 1 části přípravku:			5481
Předpokládaná cena 1 části nového přípravku (+15%):			6303

610	N43231/1130103Q	4	25212
-----	-----------------	---	--------------

Dosazení do vzorce (33):

$$n \geq \frac{C+Y}{U \cdot (1+R)} = \frac{25212+0}{15251 \cdot (1+0)}$$

$$n \geq 1,653 \rightarrow \text{již při dvou kusech v 1 roce dosáhneme rentability}$$

Předpokládaná životnost přípravku je 5 let a předpokládaná produkce dílu v tomto přípravku 10 ks/rok. Při úspoře 15251 Kč/ks při 10 ks/rok a při životnosti 5 let činní celková úspora 761 255 Kč. Pak dle vzorce (31):

$$X = \frac{761\,255}{25212} = 30,19$$

Stupeň hospodárnosti přípravku činní 30,19.

5.3. Zhodnocení nástroje iLogic

Jak již bylo zmíněno výše, nástroj iLogic umožňuje vytvářet přímo v prostředí Invertoru vlastní pravidla a formuláře, které mohou rutinní práci konstruktéra velmi usnadnit.

Čas potřebný na vytvoření modelu a výkresu trubkovnice zabere obvykle 45 minut práce konstruktéra, navržené řešení totožnou prací umožní udělat za 5 minut. Na tomto jednom díle lze tedy uspořit 89 % času. Což představuje při 500 Kč/h zhruba 445 Kč úsporu. Při tvorbě 10 nových trubkovic v roce se jedná o úsporu 4450 Kč při zkrácení pracovní doby o celkem 400 minut ročně na jednom díle.

Tento návrh je pouze pro jeden díl, pokud by se vytvořil formulář na celý výměník, úspory času by byla významnější.

Podobný již připravený nástroj lze pořídit za 1 500 Kč za jednu licenci bez DPH přímo od CAD Studia [1].

5.4. Zhodnocení navrženého řešení sdílení interních dat zavedením nového systému a jeho vliv na výrobu spalinových výměníků

5.4.1. Zhodnocení vlivu Vault Professional

Zhodnocení navrženého řešení vychází z kvalifikovaného odhadu vedoucích pracovníků konstrukčních oddělení ve spolupráci s pracovníky CAD Studia a na základě poznatků a zkušeností konstruktérů.

Odhadovaný přínos by se měl promítnout do navýšení kapacity konstrukčního oddělení až o 30 %. Odhad vychází ze současné struktury pracovního dne konstruktéra. Poměrně velkou část pracovní náplně konstruktéra tvoří ruční vytváření kusovníků během konstrukčních prací a generování PDF a DXF souborů. Toto generování by již nebylo potřebné. Systém Vault Professional umožňuje generování PDF a jiných typů souborů až dle potřeby přímo uživatelem bez potřeby speciálního programu. Jakýkoliv uživatel, který bude mít zřízen přístup, si může vygenerovat výkres dle potřeby a případně vytisknout.

Nákladově lze vyjádřit úsporu na 4 800 000 Kč/rok u týmu 20 konstruktérů. Přičemž výpočet vychází z 200 pracovních dnů, 8 hodin denně, 500 Kč/hodinu režijní náklad, 20 konstruktérů a předpoklad úspory 30 %.

Výkonově to lze vyjádřit navýšením průtoku zakázek o 9 600 000 Kč/rok u týmu 20 konstruktérů. Vypočtený výkon vychází opět z 200 pracovních dnů, 8 hodin denně, při 20 konstruktérech a zvýšení výkonu o 30 % při výkonu 1000 Kč/hod přepočteno na 1 konstruktéra a hodinu.

Předpokládané jednorázové náklady se skládají za dvou částí. Cena analýza v hodnotě 100 000 Kč bez DPH a cena samotné implementace 200 000 Kč bez DPH.

Roční pronájem licencí dle předpokládaného počtu licencí je stanoven na 481 000 Kč bez DPH.

Předpokládaná roční úspora by měla teoreticky pokrýt, jak pořizovací, tak provozní náklady Vaultu Professional. Aby se očekávaná úspora projevila, bude nezbytné, aby spolehlivě fungovalo napojení na systém MONACO a ESO. Dále bude nutné provést důkladné proškolení všech zainteresovaných pracovníků (Pozn. Proškolení formou workshopu by mělo proběhnout v rámci implementace pracovníky CAD Studia).

Pokud se vyčíslí úspory času pouze na konstrukční přípravu SV, dá se předpokládat, že bude tato úspora odpovídat 30 %, zejména proto, že SV je z 90 % vyráběná položka a konstruktér jej celý musí vymodelovat.

Když se přihlédně k teoretickým poznatkům v kapitole 1.5.4, kde se hovoří v souvislosti s technologičností konstrukce o vlivu předvýrobních etap na celkové výrobní náklady a jak naznačuje Obrázek 12, lze předpokládat, že zjednodušení a zkvalitnění práce konstruktéra může pozitivně ovlivnit výrobní náklady a kvalitu výrobků.

Navíc Vault Professional bude možné dále využít pro zpřístupnění servisních informací vlastnímu servisnímu týmu nebo servisním partnerům po celém světě prostřednictvím webového rozhraní [1].

5.4.2. Zhodnocení vlivu MONACA

Zavedení nového systému TPV přinese v první řadě možnost automatického přenosu konstrukčních výkresů a kusovníků z Vaultu Professional do MONACA. To současný stav neumožňuje. V případě, že by se zavedl pouze nový Vault, efekt úspor času by nebyl tak významný.

Úspory vzniklé zavedením obou systémů současně by měly pokrýt pořizovací náklady systému MONACO. Pořizovací náklady jsou předběžně stanoveny na 150 000 Kč bez DPH za analýzu a vypracování implementačního projektu. Jednorázový poplatek za licence činí dle nabídky 329 511 Kč bez DPH a předpokládané náklady na samotnou implementaci činí 400 000 Kč bez DPH. Celkové jednorázové náklady na pořízení programu činí tedy 879 511 Kč bez DPH.

Průběžné náklady na údržbu a aktualizaci licencí včetně technické podpory činí 86 180 Kč bez DPH za rok.

V současné době činí roční poplatky za údržbu systému SYSKLASS 84 000 Kč bez DPH, takže poplatky za údržbu zůstanou prakticky stejné s tím, že nový počet licencí je uvažován i pro Divizi Motory v Jablonci nad Nisou, kde mají zcela jiný systém, který nelze dále udržovat a měl by ho také nahradit systém MONACO.

Lze předpokládat, že se vlivem zavedení nového systému pročistí stávající data, zejména ta týkající se technologie, a celkově se zpřehlední práce technologů. Zcela se přestane využívat stávající systém uložení výkresů v podobě PDF v CRM.

Dále bude možné přejít u všech počítačů na novější operační systém. V současné době nebyl možný přechod na nejnovější Windows 10 Pro na počítačích, na kterých byl používán systém SYSKLASS [1].

5.5. Výroba přepážek

Porovnávala se cena přepážek u stávajícího dodavatele, který používá technologii řezání laserovým paprskem s variantou, která je od jiného dodavatele, který vyrábí přepážky děrovacím lisem.

Zkušební série byla provedena na jedné sadě přepážek pro výměník KJ MICRO T30 viz výkres (Příloha 11). V sadě jsou 4 různé přepážky (pozice: 8, 9, 10, 11). Obvyklá výrobní dávka výměníku je 10 ks. Předpokládaný roční počet dávek je 8 tj. 80 ks spalínového výměníku TYPU MICRO T30. V následující přehledu (Tabulka 9) je soupis přepážek, které jsou ve SV typu MICRO T30 vyráběny dle výkresu číslo P317270H (Příloha 11). V tabulce jsou uvedeny stávající náklady na výrobu přepážek a náklady na navrhovanou technologii výroby přepážek. Celkové číslo vyjadřuje předpokládanou roční úsporu při použití nové technologie výroby přepážek pro SV MICRO T30 [1].

Tabulka 9: Soupis přepážek pro výměník MICRO T30

Název	Číslo výkresu	Poz.	Ks/SV [-]	Ks/Rok [-]	Stávající cena za kus [Kč]	Nová cena za kus [Kč]	Původní cena za rok [Kč]	Nová cena za rok [Kč]	Rozdíl [Kč]
Příčka dolní	P317274	8	6	480	220	60	105600	28800	76800
Příčka horní	P317275	9	5	400	200	70	80000	28000	52000
Příčka pravá	P407629	10	1	80	80	50	6400	4000	2400
Příčka levá	P407630	11	1	80	80	50	6400	4000	2400
								Celkem	133600

Navrhovaná změna nevyžaduje žádnou změnu ve výkresové dokumentaci a vzhledem k tomu, že přepážky se kompletně vyrábějí v kooperaci, není potřeba řešit změnu technologie v rámci vlastní výroby společnosti TEDOM.

Po uskutečnění dalších objednávek a ověření si bezproblémové funkčnosti přepážek by měla být tato technologie výroby rozšířena na další typy výměníku.

6. Závěr

Výroba spalínového výměníku je komplexní proces, v kterém je zahrnuto mnoho činností z několika oborů. Tyto procesy na sebe navazují a jsou vzájemně provázány. Návrh spalínového výměníku začíná výpočtem a návrhem, poté je posouzen technologem, následně jsou vydány výkresy pro výrobu. Průběžně se doplňují technologické postupy a normy pro vyráběné díly, k trubkovnicím se připraví programy pro CNC vyvrtávačku. Oddělení logistiky zajistí objednání dílu v kooperačních firmách a ve vlastní výrobě. Toto vše předchází samotnému zahájení výroby a montáže spalínového výměníku. Při hledání úspor výrobních nákladů je potřeba tuto skutečnost zohlednit. Předvýrobní etapy mohou totiž významně snížit výrobní náklady výrobku, a to jak přímo zkvalitněním výrobní dokumentace, zkrácením časů přípravy konstrukční dokumentace, tak nepřímo snížením režijních nákladů, které jsou mimo jiné tvořeny technickou přípravou výroby.

V práci bylo navrženo několik opatření, která by měla vést ke snížení výrobních nákladů spalínových výměníků ve společnosti TEDOM a dalších souvisejících činností v TPV. Některá opatření ovlivní i procesy přímo nesouvisející s výrobou výměníku, zejména v oblasti TPV výroby.

Prvním opatřením je výroba největších výměníků pro jednotky QUANTO s použitím již používaného způsobu montáže menších typu výměníku. Navržená varianta 2 umožní snížit výrobních náklady i za cenu nutnosti použití přípravku a rozdělení pláště na více částí. Na jednu stranu se zvýší počet dílů, ze kterých se výměník bude skládat, na druhou stranu se tím usnadní manipulace pracovníkům montáže. Nevýhodou tohoto řešení je nemožnost volby jakéhokoliv průměru svazku, protože je nutné připravit a vyrobit potřebný přípravek. Byl zvolen jeden představitel o průměru 610 mm, u kterého se předpokládá výroba 10 ks za rok. U ostatních průměrů je to na zvážení. V rámci navrhovaných variant se nabízela ještě jedna možnost skládání svazku, a to pouze ze dvou kusů pláště. To by však vyžadovalo najít kooperátora, který je schopen a ochoten připravit pláště o rozměrech větších než 3 000 mm. Tento kooperátor by musel být vybaven laserem pro řezání plechů a zároveň ohraňovacím lisem pro plechy nad 3 000 mm. Byl osloven jeden kooperátor s tímto vybavením, avšak neprojevil zájem požadované díly v požadovaném množství dodávat. V budoucnu by bylo vhodné sledovat možnosti kooperátorů a v případě, že by se objevil vhodný, oslovit ho. Navržený přípravek by byl použitelný i v případě, že by se výměník skládal pouze ze dvou kusů.

Dalším opatřením bylo vytvoření jednoduchého nástroje pro rychlou tvorbu modelu trubkovnice. Tento nástroj dokáže velmi významně urychlit práci konstruktéra při tvorbě modelů. V navrženém formuláři konstruktér pouze zadá parametry trubkovnice a ta je během okamžiku vymodelována bez chyb a přesně podle požadovaných parametrů. Pro navrhované řešení byla vybrána trubkovnice, protože hlavní parametry spalínového výměníku ovlivňují především průměry trubek, jejich počet a rozmístění. Většina ostatních dílů je odvozena od trubkovnice. Navržené řešení již funguje a osvědčilo se. Do budoucna by bylo vhodné ještě zvážit, zda nerozšířit tento nástroj na celé spalínové výměníky či dokonce na celé jednotky. Vyžadovalo by to pravděpodobně jistou přípravu konstrukční dokumentace, ale lze předpokládat, že by to mohlo významně urychlit tvorbu konstrukční dokumentace. Zde se nabízejí dvě možná řešení: jít buďto vlastní cestou a v rámci vlastního vývoje si tyto nástroje naprogramovat, nebo oslovit dodavatele CAD aplikací o vytvoření nástroje na míru nebo koupě univerzálního nástroje, který je dnes již k dispozici.

Opatření, které je zaměřeno na procesy a softwarové nástroje v TPV dle návrhu, mohou přinést významné úspory nákladů při všech procesech, nejenom těch souvisejících s výrobou spalínových výměníků. Jedna věc je přesvědčit vrcholný management o nutnosti investovat do moderních nástrojů pro přípravu a řízení výroby a druhá věc je provést samotnou implementaci

nových systémů. Lze očekávat, že to bude vyžadovat zapojení všech ve společnosti TEDOM včetně vrcholného managementu, který by měl především na všech úrovních podpořit proces implementace. Špatně připravená a provedená implementace může vést ve svém konečném důsledku k nedůvěře a případné nechuti pracovat s novými systémy a způsobit tak velké škody.

Navřené opatření změny technologie výroby přepážek vycházelo z návrhu oddělení logistiky. Toto opatření přineslo významné úspory při výrobě přepážek. Pro daný díl je tato technologie použitelná, tj. ostré hrany po obvodu přepážky nebudou mít vliv na funkci spalínového výměníku. Tato změna by se mohla případně dále rozšířit na další typy přepážek. Tato změna mimo jiné ukazuje na to, že je neustále potřeba mít přehled o kooperačních firmách a neustále prověřovat jejich výrobní možnosti.

7. Zdroje

- [1] **TEDOM a.s.** *interní dokumenty*. 2018.
- [2] **Baláš, Marek.** *Kotle a výměníky tepla*. Brno : AKADEMICKÉ VYDAVATELSTVÍ CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [3] **Taraba, Bohumil, Behúlová, Mária a Kraváriková, Helena.** *MECHANIKA TEKUTIN, TERMOMECHANIKA*. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2004. ISBN 80-227-2041-0.
- [4] **Macháčková, Adéla a Kocich, Radim.** *Sdílení tepla a proudění*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012. str. 187. ISBN 978-80-248-2576-2.
- [5] **Neuberger, Pavel, Adamovský, Daniel a Adamovský, Radomír.** *Termomechanika*. Praha : ČZU v Praze, 2009. ISBN 978-20-213-1634-8.
- [6] **Thulukkanam, Kuppan.** *Heat Exchanger Design Handbook, second edition*. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. ISBN 978-1-4398-4213-3 .
- [7] **Břetislav Chvála, Josef Votava.** *Přípravky*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury/ALFA - vydavatel'stvo technickej a economickej literatúry, 1988. 04-240-88.
- [8] **JC Metal.** [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <https://www.jcmetal.cz/>.
- [9] **Otto, Jan.** *Ottův slovník naučný - sedmnáctý díl*. Praha : Otto, Jan, 1901. Sv. 17.
- [10] **Hofmann, Petr.** *Technologie montáže*. Plzeň : Vydavatelství Západočeské univerzity, 1997. ISBN 80-7082-382-8.
- [11] **Dušák, Karel.** *Technologie montáže : základy*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-906-6.
- [12] **Chundela, Lubor.** *Ergonomie*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2013. 978-80-01-05173-3.
- [13] **John R. Bangs, Jr a Hart, C. D.** *Factory Management*. New York : Alexander Hamilton Institute, 1930.
- [14] **Petrů, Jana a Čep, Robert.** *Základy montáže : učební text*. Ostrava : Fakulta strojní VŠB-TUO, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [15] **Farský, Lukáš. ABB.** *Když člověk a robot spolupracují u jednoho stolu*. [Online] 21. červen 2016. [Citace: 2. květen 2018.] <https://www.abb-conversations.com/cs/2016/06/kdyz-clovek-a-robot-spolupracuji-u-jednoho-stolu/>.
- [16] **Jan Mádl, Antonín Zelenka, Martin Vrabec.** *Technologičnost konstrukce*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03288-4.
- [17] **Boothroyd, Geoffrey, Dewhurst, Peter a Knight, Winston A.** *Product Design for Manufacture and Assembly Third Edition*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2011. ISBN 978-1-4200-8927-1.
- [18] **Boothroyd, G., Poli, C.R. a Murch, L.E.** *Handbook of Feeding and Orienting Techniques for Small Parts*. Amherst : University of Massachusetts, 1970.
- [19] **Lai, Edward C. & Associates.** *Introduction to Design For Manufacturing and Assembly (DFMA)*. [Online] 2009. [Citace: 11. prosinec 2017.] http://edwardclai.com/Presentations/DFMA_Website.pdf.

- [20] **Watts, Steve.** Design for Manufacturing & Assenbly (DFMA). [Online] 5. květen 2005. [Citace: 11. prosinec 2017.] <https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2005/garm/thursday/watts.pdf>.
- [21] **Sigmunt, Ota.** Bakalářská práce. *Zefektivnění výroby spalínového výměníku*. Brno : VUT Brno, 2015.
- [22] **CADstudio.** [Online] [Citace: 30. březen 2018.] <https://www.cadstudio.cz/vault>.
- [23] **Hort, Martin.** *Diplomová práce; Technologické, ekonomické a ekologické aspekty obrábění s vysoce výkonným chlazením*. Brno : VUT v Brně, 2009.
- [24] **MM vliv tlaku chlazení na obrábění.** [Online] <https://www.mmspektrum.com/clanek/porovnani-vlivu-vysokotlakeho-a-standardniho-chlazení-na-zivotnost-nastroju-2.html>.
- [25] **Chlazení MM Průmyslové centrum.** [Online] <https://www.mmspektrum.com/clanek/rozhodujici-je-pouziti-efektivniho-chlazení.html>.
- [26] **CAD Studio.** iLogic - inteligentnější modely v Inventoru. [Online] [Citace: 31. březen 2018.] <https://www.cadstudio.cz/illogic-inteligentnejsi-modely-v-inventoru-art1495>.
- [27] **May, Sasha.** Autodesk Community. *Inventor Forum*. [Online] <https://forums.autodesk.com/t5/inventor-forum/collection-of-illogic-models-for-beginner/m-p/7331563#M657074>.
- [28] **GTSystems2.** [Online] [Citace: 13. květen 2018.] <http://www.gtsystems2.sk/sk/Article/448/Category/168/Description.proxia>.
- [29] **TRUMPF.** [Online] [Citace: 14. květen 2018.] https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/2d-laserove-rezaci-stroje/trulaser-8000/.
- [30] **HSG LASER,** Řezné rychlosti vláknových laserů. [Online] https://www.easycnc.cz/ftp/cnc/fiber_laser/rezne_rychlosti_hsg.pdf.
- [31] **Struik, Dirk Jan.** ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. [Online] Encyclopædia Britannica, Inc. [Citace: 9. září 2017.] <https://www.britannica.com/biography/Joseph-Baron-Fourier>.
- [32] **Westfall, Richard S.** ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. [Online] Encyclopædia Britannica, Inc. [Citace: 9. září 2017.] <https://www.britannica.com/biography/Isaac-Newton>.
- [33] **Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.** Iniciativa Průmysl 4.0. [Online] 2016. [Citace: 22. říjen 2017.] <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto--176055/>.
- [34] **May, Pavel.** Diplomová práce - Současné trendy v kombinované výrobě tepla a elektřiny v ČR. [Online] 2017, [Citace: 16. květen 2018.] <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/66872>.
- [35] **Karlsruhe Institute of Technology.** [Online] [Citace: 30. prosinec 2017.] <http://www.mach.kit.edu/seite10204.php>.
- [36] —. [Online] [Citace: 30. prosinec 2017.] <http://www.mach.kit.edu/english/seite10202.php>.

- [37] **The Editors of Encyclopædia Britannica.** ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. [Online] [Citace: 30. prosinec 2017.] <https://www.britannica.com/biography/Osborne-Reynolds>.
- [38] **Vogel-Prandtl, Johanna.** *Ludwig Prandtl A Personal Biography Drawn from Memories and Correspondence.* Göttingen : Universitätsverlag Göttingen, 2014. ISBN 978-3-86395-160-3.
- [39] **Management Mania.** [Online] [Citace: 30. březen 2018.] <https://managementmania.com/cs/customer-relationship-management>.
- [40] **Pagáč, Marek.** Konstrukteur. *Ptáte se, proč PDM? Správu dat byste měli mít už dávno nasazenou.* [Online] [Citace: 30. březen 2018.] <https://www.konstrukter.cz/2012/01/09/ptate-se-proc-pdm-spravu-dat-byste-meli-mit-uz-davno-nasazenou/>.
- [41] **Microsoft.** [Online] [Citace: 31. březen 2018.] <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/mt490117.aspx>.
- [42] —. **Přehled informací o životním cyklu Windows.** [Online] [Citace: 31. březen 2018.] <https://support.microsoft.com/cs-cz/help/13853/windows-lifecycle-fact-sheet>.
- [43] **Kovařík, Rudolf a František, Černý.** *Technologie svařování.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN - 978-80-7082-697-3.
- [44] **Adobe.** [Online] [Citace: 13. květen 2018.] <https://acrobat.adobe.com/cz/cs/acrobat/about-adobe-pdf.html>.
- [45] **Česká svářečská společnost ANB.** [Online] [Citace: 13. květen 2018.] <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=4&i=32>.
- [46] **The Editors of Encyclopædia Britannica.** ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. [Online] [Citace: 13. květen 2018.] <https://www.britannica.com/biography/Robert-Stirling#ref180811>.
- [47] **UCEEB.** Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. [Online] [Citace: 13. květen 2018.] <http://www.uceeb.cz/projekty/organicky-rankinuv-cyklus-orc>.
- [48] **ESO.** ESO-podnikový informační systém. [Online] [Citace: 13. květen 2018.] <http://www.eso9.cz/>.
- [49] **Mee, John, F.** ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <https://www.britannica.com/biography/Frederick-W-Taylor>.
- [50] **The Editors of Encyclopædia Britannica.** ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <https://www.britannica.com/biography/Elton-Mayo>.
- [51] **Poslanecká sněmovna Parlamentu ČR.** [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=165&r=2012>.
- [52] **Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.** [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/>.
- [53] **Energetický regulační úřad.** [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <http://www.eru.cz/cs/poze>.
- [54] **Aplikovaná termomechanika - Přednáška 6. Výměníky tepla.** [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-06.pdf>.

8. Přílohy

Příloha 1: Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem kogeneračních jednotek do 5 MW_e včetně [53]

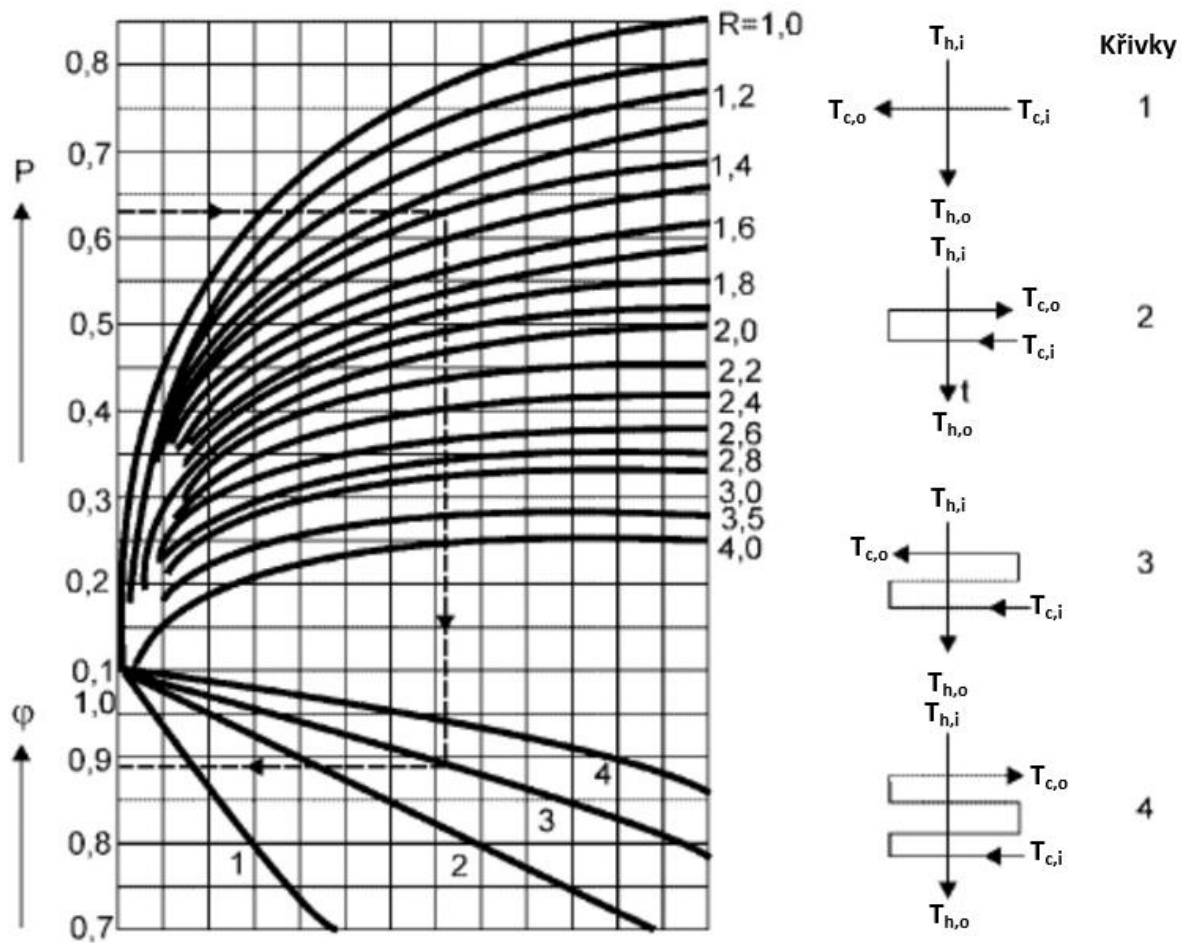
Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad ²⁵	-	31. 12. 2018	0	200	3000	1283
	-	31. 12. 2018	0	200	4400	864
	-	31. 12. 2018	200	1000	3000	915
	-	31. 12. 2018	200	1000	4400	549
	-	31. 12. 2018	1000	5000	3000	626
	-	31. 12. 2018	1000	5000	4400	318
Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31. 12. 2015	0	5000	8400	45

Příloha 2: Doplnková sazba k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET [53]

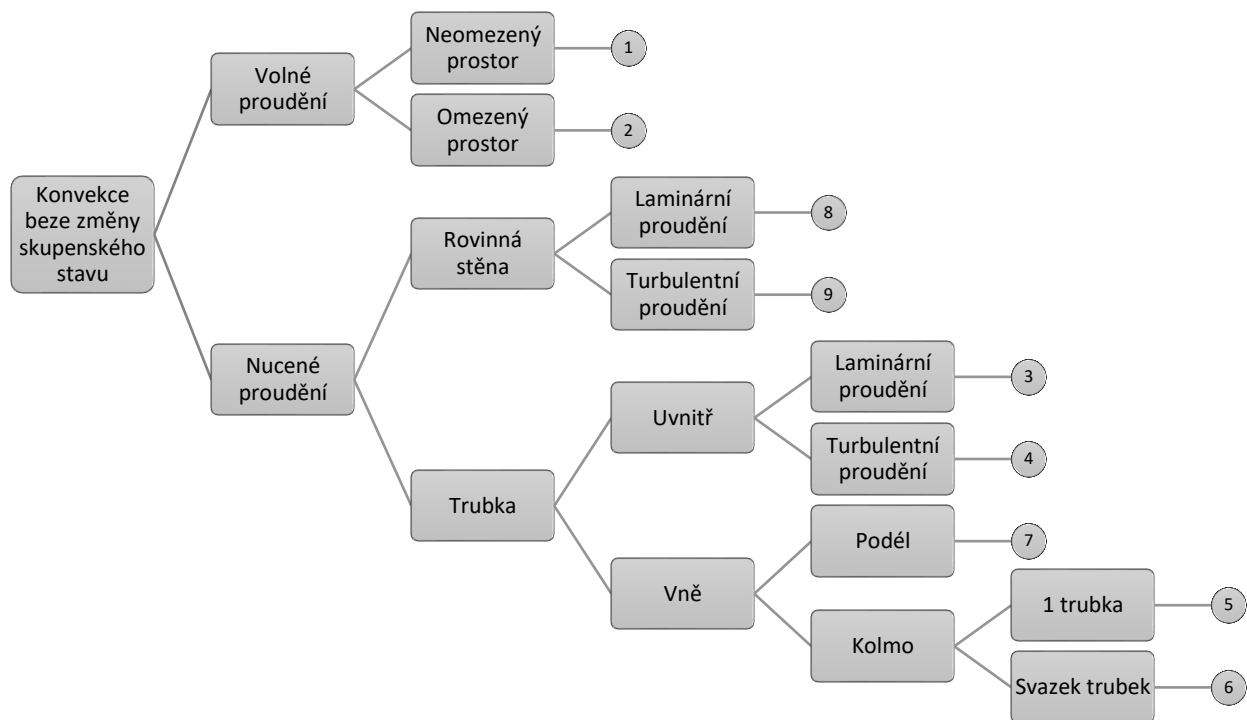
Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od (včetně)	od (včetně)	od	do (včetně)	
Výroba elektřiny spalující čistou biomasu	1. 1. 2013	31. 12. 2013	0	5000	100
Výroba elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1. 1. 2013	31. 12. 2015	0	2500	455
Výroba elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1. 1. 2013	31. 12. 2013	0	2500	455
Výroba elektřiny spalující důlní plyn	1.1.2013	31. 12. 2015	0	5000	455
Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31. 12. 2012	0	5000	155
Výroba elektřiny spalující (samostatně) plynné palivo s výjimkou OZE a DZ	-	31. 12. 2018	0	5000	455

²⁵ V bodě (1) dle cenového rozhodnutí je elektřina z KVET vyrobená z obnovitelných zdrojů a důlního plynu z uzavřeného dolu. V bodu (2.1) jsou dle cenového rozhodnutí myšleny roční zelené bonusy na elektřinu spalováním důlního plynu (z otevřených i uzavřených dolů) [54].

Příloha 3: Diagram pro stanovení koeficientu R a P [54]



Příloha 4: Diagram pro stanovení vzorce pro výpočet podobnostních čísel [54]



Příloha 5: Tabulka pro stanovení podobnostních čísel [54]

1) Sdílení tepla při volném proudění v neomezeném prostoru							
$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n$							
$Gr \cdot Pr$	c		n				
10^{-5} až $5 \cdot 10^2$	1,18		1/8				
$5 \cdot 10^2$ až $2 \cdot 10^7$	0,54		1/4				
$>2 \cdot 10^7$	0,135		1/3				
2) Sdílení tepla při volném proudění v omezeném prostoru							
$\dot{q} = \frac{\lambda_e}{s} \cdot \Delta T, \lambda_e = \varepsilon_\kappa \cdot \lambda$							
s[m] – vodorovná vzdálenost stěn omezeného prostoru							
$Gr \cdot Pr < 10^3$		$\varepsilon_\kappa = 1$					
$Gr \cdot Pr > 10^3$		$\varepsilon_\kappa = 0,18 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}$					
3) Sdílení tepla při nuceném laminárním proudění uvnitř trubky							
$Nu = 0,14 \cdot Re^{0,2} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,1} \cdot Pr^{0,2}$							
Platí pro: $l > 50 \cdot d$ a $Re < 2300$, l[m] – délka trubky, d[m] – délka trubky							
4) Sdílení tepla při nuceném turbulentním proudění uvnitř trubky							
$Nu = 0,0023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$							
Platí pro: $Re > 10^4$							
5) Nucené proudění kolmo k jedné trubce							
$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^{0,4}$ pro kapaliny							
$Nu = c' \cdot Re^n$ pro plyny							
Re	c	c'	n				
5 až 80	0,93	0,81	0,40				
80 až $5 \cdot 10^3$	0,715	0,625	0,46				
$5 \cdot 10^3$ a více	0,226	0,197	0,60				
6) Nucené proudění kolmo ke svazku trubek							
$Nu = c \cdot \varepsilon_m \cdot Re^n \cdot Pr^{0,4}$							
Řada trubek	Trubky za sebou			Trubky vystřídáné			c
	n	ε_m		n	ε_m		
		plyny	kapaliny		plyny	kapaliny	
1	0,60	0,15	0,171	0,60	0,15	0,171	$\frac{s_1}{d} = 1,2 \div 3$ $c = 1 + 0,1 \cdot \frac{s_1}{d}$
2	0,65	0,138	0,157	0,60	0,20	0,228	
3	0,65	0,138	0,157	0,60	0,255	0,290	$\frac{s_1}{d} > 3$ $c = 1,3$
4	0,65	0,138	0,157	0,60	0,255	0,290	
7) Nucené proudění kolem vnějšího povrchu trubek							
$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$							
Charakteristický rozměr $d_e = \frac{4 \cdot S}{\partial h}, S[m^2]$ – průtočný průřez, $\partial h [m]$ – omočený obvod							
8) Přestup tepla při nuceném laminárním proudění kolem rovinné stěny							
$Nu = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,8}$							
Platnost pro: $Re < 1 \cdot 10^5, Pr = 0,1 + 10^3$, charakteristický rozměr: délka stěny ve směru proudění							
9) Přestup tepla při nuceném turbulentním proudění kolem rovinné stěny							
$Nu = 0,057 \cdot Re^{0,78} \cdot Pr^{0,78}$							
Platnost pro: $Re > 5 \cdot 10^5, Pr = 0,722$, charakteristický rozměr: jako 8)							

Příloha 7: Ukázka výpočtové tabulky SV [1]

TEDOM Návrh výměníků						
1. číslo projektu	QD1000 I.st.	Zaměstnanec	Hodaň	Datum	31.1.18	
Vstupy do programu						
<i>Motor</i>						
2. Výrobce motoru		MWM	Typ motoru	TCG2020V12		
3. Souč. přebytku vzduchu	λ	1,63	$c_p=f(\lambda)$	1,179		
4. Tepelný výkon spalin při vyhlazení na		120	°C	485 kW		
5. Hmotnostní průtok spalin	m_{spalin}	5249	kg/h			
<i>Parametry výměníku</i>						
		Vstup	Výstup			
6. Teplota spalin (vstup t za turbodmychadlem)		412	115 °C	rezerva		
7. Teplota chl. kapaliny (H2O + Eth. Glycol 35%)		81	90 °C			
<i>Plášť a trubky</i>						
8. Vnější pr. pláště NORMALIZOVANÝ	$\varnothing D_{vn. Pláště Norm}$	608	mm	Vlastní průn	608	
9. Vnitřní průměr pláště	$\varnothing D_{vnitřní pláště}$	600	mm	Plech tl.	4	
10. Mezera trubek od pláště		6	mm			
11. Průměr trubkového svazku	$\varnothing D_{pláště využitelný}$	594	mm			
12. Vnější průměr trubky	$\varnothing d_{vnější}$	25	mm			
13.	$t_{stěny}$	1,5	mm			
14. Vnitřní průměr trubky	$\varnothing d_{vnitřní}$	22	mm			
15. Velikost můstu	m_{trubek}	6	mm			
16. Požadovaný počet trubek	n_{trubek}	313				
17. Poloha středu prostřední trubky - Lichý		313				
18. Poloha středu prostřední trubky - Sudý		304				
19. Materiál trubek	Konstr. ocel	Souč.pr.tep	$\lambda_{materiál trubek}$	50 W/m K		
20.		Souč.tření	$\lambda_{tření trubek}$	$\lambda_{Mat}=f(Re)$ viz skript		
21. Úroveň znečištění	Žádné	koef.zneč.	$K_{znečištění}$	1		
<i>Hrdla</i>						
22. Průměr vstupního hrdla	$\varnothing d_{hrdla vstupního}$	400	mm			
23. Rychlost spalin vstupní hrdlo	$v_{sp. vstupní hrdlo}$	22,75	m/s			
24. Průměr výstupního hrdla	$\varnothing d_{hrdla výstupního}$	400	mm			
25. Rychlost spalin výstupní hrdlo	$v_{sp. výstupní hrdlo}$	12,49	m/s			
Výstupy z programu						
26. Logaritmický teplotní spád	Δt_{ln}	128,10	°C			
27. Součinitelel prostupu tepla	k	57,58	W/m ² K			
28. Souč. prost. tepla po zanešení	k_{real}	57,58	W/m ² K			
29. Rychlost spalin v trubkách	$v_{trubka vstup}$	24,03	m/s	musí být < 22m/s		
30.	$v_{trubka výstup}$	13,19	m/s			
31. Kontr. výp. výkonu λ motoru	$Q_{kontrola \lambda}$	510,66	kW			
32. Kontr. výp. výkonu popis motoru	$Q_{kontrola popis}$	485,00	kW			
33. Výkon výměníku	$Q_{výměníku}$	482,53	kW			
34. Délka trubek výměníku	l_{trubky}	3024,08	mm			
35. Celkové tlak. ztráty výměníku	$\Delta p_{celkový}$	747,5	Pa	musí být < 800Pa		
36. Tlaková ztráta vstupní komory	$\Delta p_{komora vstup}$	29,6	Pa			
37. Tlaková ztráta v trubkách	Δp_{trubky}	696,7	Pa			
38. Tlaková ztráta výstupní komory	$\Delta p_{komora výstup}$	21,2	Pa			
Poznámky:						

Príloha 8: Kusovník svazku varianta 1 [1]

TEDOM		Konstrukční kusovník			List/listů: 1 / 1	Typ:	Datum: 08.03.2018				
Číslo položky: 27 P323960		Název: SP. VÝMĚNÍK QD1000_SVAZEK			Skupina:	Hmotnost celková: 1270,72					
Změna:					Kreslil: M.MUŽIK	Přezkoušel:	Technolog:				
Poz.	D.P.	Název	Číslo položky	Označení	Materiál	Polotovár	Číslo skl. položky	V.D.	Množství	Mjv	Kg
001	V	TRUBKOVNICE PŘEDNÍ	27 P323961	ČSN 425310.11	11523.1	P 15x625x625	521194	0	1.000	KS	17,49
002	V	TRUBKOVNICE ZADNÍ	27 P323962	ČSN 425310.11	11523.1	P 15x625x625	521194	0	1.000	KS	17,49
003	V	PŘEPÁŽKA	27 P323963	ČSN 425310.11	11373.0	P 3x439x609	520457	0	11.000	KS	24,45
004	V	PLÁŠT PR.625	27 P323960.4	ČSN 425310.11	11373.1	P 4x1945x3466	520118	0	1.000	KS	212,32
005	V	TRKR 25X1,5-3500	27 P323960.5	ČSN 426711.11	11353.1	TRKR 25x1.5x3500	520251	0	316.000	KS	961,588
006	V	KR 12	27 P323960.6	ČSN 426510.12	11523.0	KR 12x3200	520390	0	6.000	KS	17,088
007	V	TRKR 133X4	27 P323960.7	ČSN 425715.01	11353.1	TRKR 133x4x26	520471	0	2.000	KS	0,653
008	V	TRKR 44,5X3,2	27 P323960.8	ČSN 425715.01	11353.1	TRKR 44.5x3.2x108	520001410110350	0	2.000	KS	0,723
009	N	PŘÍRUBA DN100 PN16	580001312290100	ČSN 131231	11 375			0	2.000	KS	9,200
010	N	PŘÍRUBA DN40 PN16	580001131904016	ČSN 131231	11375			0	2.000	KS	3,720
011	N	PŘECHOD 125/100	580000000100125	ČSN 132380	11353.1			0	2.000	KS	6,000

Príloha 9: Kusovník svazku varianta 2 [1]

TEDOM		Konstrukční kusovník			List/listů: 1 / 1	Typ:	Datum: 07.03.2018				
Číslo položky: 27 P410731		Název: SVAZEK CHLADÍCÍ SV			Skupina:	Hmotnost celková: 1226,94					
Změna:					Kreslil: J.Hejduk	Přezkoušel:	Technolog:				
Poz.	D.P.	Název	Číslo položky	Označení	Materiál	Polotovár	Číslo skl. položky	V.D.	Množství	Mjv	Kg
001	V	TRUBKOVNICE PŘEDNÍ	27 P410744	ČSN 425310.11	11523.1	P 15x610x610	521194	0	1.000	KS	15,78
002	V	TRUBKOVNICE ZADNÍ	27 P410745	ČSN 425310.11	11523.1	P 15x610x610	521194	0	1.000	KS	15,78
003	V	PŘEPÁŽKA	27 P410747	ČSN 425310.11	11373.0	P 3x599x459.5	520457	0	11.000	KS	23,65
004	V	TRKR 25X1,5-3500	27 P410731.1	ČSN 426711.11	11353.1	TRKR 25x1.5x3500	520251	0	304.000	KS	925,072
005	V	KR 12	27 P410731.2	ČSN 426510.12	11523.0	KR 12x3200	520390	0	8.000	KS	22,728
006	V	TRKR 133X4	27 P410731.3	ČSN 425715.01	11353.1	TRKR 133x4x26	520471	0	2.000	KS	0,737
007	V	TRKR 44,5X3,2	27 P410731.4	ČSN 425715.01	11353.1	TRKR 44.5x3.2x65	520001410110350	0	2.000	KS	0,443
008	N	PŘÍRUBA DN100 PN16	580001312290100	ČSN 131231	11 375			0	2.000	KS	9,200
009	N	PŘÍRUBA DN40 PN16	580001131904016	ČSN 131231	11375			0	2.000	KS	3,720
010	V	PLÁŠT HORNÍ 1	27 P410749	ČSN 425310.11	11375.0	P 4x949x1472	520641	0	1.000	KS	59,591
011	V	PLÁŠT DOLNÍ 1	27 P410750	ČSN 425310.11	11375.0	P 4x949x2000	520641	0	1.000	KS	43,85
012	V	PÁS 1	27 P410979	ČSN 425301.11	11373.1	P 3x20x2500	520640	0	2.000	KS	1,174
013	V	PLÁŠT HORNÍ 2	27 P410977	ČSN 425310.11	11375.0	P 4x949x2000	520641	0	1.000	KS	59,591
014	V	PLÁŠT DOLNÍ 2	27 P410978	ČSN 425310.11	11375.0	P 4x949x1472	520641	0	1.000	KS	43,85
015	V	PÁS 2	27 P410980	ČSN 425301.11	11373.1	P 3x20x969	520640	0	2.000	KS	0,91
016	V	PÁS 3	27 P410984	ČSN 425301.11	11373.1	P 3x20x919	520640	0	2.000	KS	0,866
017	N	PŘECHOD 125/100	580000000100125	ČSN 132380	11353.1			0	2.000	KS	6,000

Príloha 10: kusovník svazku varianta 3 [1]

TEDOM		Konstrukční kusovník				List/ůstů: 1 / 1	Typ:	Datum: 08.03.2018			
Číslo položky: 27 P323960A		Název: SP. VÝMĚNÍK QD1000_SVAZEK				Skupina:	Hmotnost celková: 1270.72				
Změna:						Kreslil: J. HEJDUK	Přezkoušel:	Technolog:			
Poz.	D.P.	Název	Číslo položky	Označení	Materiál	Polotovár	Číslo skl. položky	V.D.	Množství	Mjv	Kg
001	V	TRUBKOVNICE PŘEDNÍ	27 P323961	ČSN 425310.11	11523.1	P 15x625x625	521194	0	1.000	KS	17.49
002	V	TRUBKOVNICE ZADNÍ	27 P323962	ČSN 425310.11	11523.1	P 15x625x625	521194	0	1.000	KS	17.49
003	V	PŘEPÁŽKA	27 P323963	ČSN 425310.11	11373.0	P 3x439x609	520457	0	11.000	KS	24.45
004	V	PLAŠŤ PR.610	27 P323960.4A	DIN2463	1.4301	TRKR 609.6x4		0	1.000	KS	207.059
005	V	TRKR 25X1,5-3500	27 P323960.5	ČSN 426711.11	11353.1	TRKR 25x1.5x3500	520251	0	316.000	KS	961.588
006	V	KR 12	27 P323960.6	ČSN 426510.12	11523.0	KR 12x3200	520390	0	6.000	KS	17.088
007	V	TRKR 133X4	27 P323960.7	ČSN 425715.01	11353.1	TRKR 133x4x26	520471	0	2.000	KS	0.653
008	V	TRKR 44,5X3,2	27 P323960.8	ČSN 425715.01	11353.1	TRKR 44.5x3.2x108	520001410110350	0	2.000	KS	0.723
009	N	PŘÍRUBA DN100 PN16	580001312290100	ČSN 131231	11 375			0	2.000	KS	9.200
010	N	PŘÍRUBA DN40 PN16	580001131904016	ČSN 131231	11375			0	2.000	KS	3.720
011	N	PŘECHOD 125/100	58000000100125	ČSN 132380	11353.1			0	2.000	KS	6.000

Príloha 11: Výkres spalínového výměníku pro jednotku MICRO T30 [1]

36	2	NÝT TRHACÍ 3x6 (S20103119003006)							0 kg	
35	1	ŠTÍTEK P42552A							0 kg	S30001
31	1	PATKA ŠTÍTKU	P3-35x68				17240.1	0.1 kg		P42594B
30	1	NÁVAREK G1/8"	KR 18				17241.1	0.1 kg		P407656
29	1	NÁVAREK M10x1	TYC KR 18-25				17248	0 kg		P42241
28	2	NÁVAREK M14x1,5	TYC KR 22-20				17241.1	0 kg		P43801
27	1	HADIČNÍK VARNÝ 16	TRKR 18x1-33				1.4301	0 kg		P407573
26	-									
25	-									
24	1	OBLOUK VARNÝ 42,4x2,90° R47,6	AISI 304				1.4301	0.2 kg		S82387
23	1	HRDLO 4 VPP 63	TYC DUTÁ 63x45-32				1.4301	0.1 kg		P407894B
22	2	NÁVAREK GS4" VNĚ	TYC KR 42-30				17241	0.2 kg		P407570
21	1	TRUBKA	TRKR 42,4x2,58				1.4301	0.1 kg		P407832
20	1	TRUBKA	TRKR 42,4x2,58				1.4301	0.1 kg		P407831B
19	2	PATKA VÝMĚNÍKU	P4-60x170				17248.1	0.4 kg		P312807A
18	2	PŘÍRUBA 232_196	P18-232x232				17248	0.9 kg		P405361A
17	1	PLÁŠŤ VÝFUKU	P3-586,9x75				17240.4	1 kg		P317276A
16	1	PLÁŠŤ KATALYZÁTORU	P3-589x174				17248.1	2.5 kg		P317322
15	1	PLÁŠŤ DOLNÍ	P3-966x289.4				17248.1	6.4 kg		P317321A
14	1	PLÁŠŤ HORNÍ	P3-966x289.4				17248.1	6.4 kg		C308839
13	1	PLECH	P3-801x15				17248.1	0.3 kg		P405566
12	78	TRUBKA 10x1,5	TRKR 10x1.5-835				17248	0.3 kg		P407627B
11	1	PŘÍČKA LEVÁ	P2-71x127				17240.4	0.1 kg		P407630
10	1	PŘÍČKA PRAVA	P2-70,5x127				17240.4	0.1 kg		P407629
9	5	PŘÍČKA HORNÍ	P2-126,5x187				17240.4	0.2 kg		P317275
8	6	PŘÍČKA DOLNÍ	P2-121,5x187				17240.4	0.1 kg		P317274A
7	1	TRUBKOVNICE 2	P15-194x194				17248	2.1 kg		P317273A
6	1	TRUBKOVNICE 1	P15-194x194				17248	2.1 kg		P317271A
5	2	KRUH	P3-69x69				17248	0.1 kg		P407628A
4	1	NÁVAREK S.V.	KR78x65				17248	1 kg		P405727B
3	1	PŘÍRUBA MOTORU	P126x4x378				17248	1.3 kg		P317269B
2	4	TRUBKA SVODU	TRKR 38x3-106				17248	0.3 kg		P407634A
1	1	TRUBKA CENTR.	TRKR 88x5-820				17248	8.5 kg		P317272B

POZ. KS NÁZEV ROZMĚR Hmotnost C. VÝKRESU

PROST. NÁZEV - ROZMĚR POLOTOVAR NATAČNĚNÝ MAT. VÝCHOZÍ L. V. HR. ÚH. HR. ÚH. PŘESNOST ISO 2788-1K PŘESN. MALÝ DNE 18.03.2013 PŘEZKOUŠEL TECHNOLOG PŘESNOST ISO 2788-1K

TEDOM TYP MICRO T30 AP SKUPINA SPAL. TRASA STARÝ VÝKRES

MĚŘITČNÝ NÁZEV

TEDOM a.s. 1:6 VÝMĚNÍK SPALINOVÝ - NEREZ P317270H

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36