VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

HODNOCENÍ KVALITY NEREZOVÉHO VLNOVCE
QUALITY ASSESSMENT OF STAINLESS CORRUGATED TUBE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Bc. Petr Vychopeň

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Bc. Petr Vychopeň**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.**
Akademický rok:	2015/16

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

Hodnocení kvality nerezového vlnovce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza možností využití moderních metod hodnocení kvality nerezových vlnovcových trubek, případně hadic, ve výrobě. Navržení a ověření vhodných metod pro řízení a zabezpečování kvality při vývoji a výrobě zvoleného typu nerezové trubky, resp. hadice.

Cíle diplomové práce:

1. Definování kvality nerezového vlnovce
2. Analýza procesu výroby zvoleného výrobku
3. Proces zkoušení vybraných parametrů zvoleného výrobku ve výrobě
4. Analýza vybraných parametrů textury vstupního materiálu
5. Doporučení pro praxi

Seznam literatury:

Juran, J. M. a Godfrey, A. B. (1999): Juran´s Quality Handbook – Fifth Edition. New York, McGraw-Hill, ISBN 0-07-034003-X.

Whitehouse, D. J. (1994): Handbook of Surface Metrology. Bristol, Institute of Physics Publishing Ltd, ISBN 0-7503-0039-6.

Whitehouse, D. J. (2004): Surfaces and their Measurement. London, Kogan Page Ltd, ISBN 1-903--9660-0.

Leach, R. K. (2011): Optical Measurement of Surface Topography. Berlin, Springer-Verlag, ISBN 978-3-642-12011-4.

Normy o výpočtu a analýze profilových a plošných parametrů textury povrchu.

Normy o technických požadavcích na nerezové vlnovce.

Firemní dokumentace výrobce nerezových vlnovců.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan

ABSTRAKT

Nerezové vlnovce jsou používány v celé řadě aplikací, převážně v automobilovém průmyslu, rozvodech různých médií, ve ventilacích apod. Diplomová práce je v první části zaměřena na definování kvality vlnovce, zdůraznění rozdílů mezi vlnovcovou trubkou a hadicí, doporučené materiály pro výrobu a charakterizování hlavních technických parametrů. Dále je popsán obecný výrobní proces nerezových vlnovců, spolu s příklady defektů a mechanických zkoušek. Druhá část klade důraz na porovnání úrovně kvality vybraných polotovarů a hodnocení vlivu částečného opotřebení výrobních nástrojů na texturu povrchu nerezového vlnovce. V poslední části jsou uvedeny výsledky měření a doporučení pro praxi.

ABSTRACT

Stainless corrugated tubes are used in many applications, mainly in automotive industry, distribution of various media, ventilation etc. The first part of the thesis is focused on description of the corrugated tube, identification of differences between corrugated pipe and hose, recommended materials for production and characterization of main technical parameters. The general production process of stainless corrugated tubes and the most common tests of mechanical properties are described. The second part of the thesis is focused on the comparison of the level of quality of the selected raw materials and evaluates the impact of partially degraded tools on the surface texture of the corrugated tube. The last part presents the results of measurements and practical recommendations.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výroba vlnovců, porovnání kvality polotovarů, hodnocení opotřebení nástrojů

KEYWORDS

Production of corrugated tubes, raw materials quality comparison, tools degradation evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VYCHOPEŇ, P. *Hodnocení kvality nerezového vlnovce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 73 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Róbertu Jankových, CSc. a mému otci, panu Petru Vychopňovi, za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Róberta Jankových, CSc., s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. 5. 2016 …….

Petr Vychopeň

OBSAH

ÚVOD **15**

1 KVALITA **17**

1.1 Vliv na prodej 19

1.2 Vliv na náklady 19

2 DEFINOVÁNÍ KVALITY NEREZOVÉHO VLNOVCE **21**

2.1 Vlnovec 22

2.2 Vhodnost použití 24

2.3 Vlnovcová hadice 24

2.4 Vlnovcová trubka 25

2.5 Provozní tlak 26

2.6 Provozní teplota 26

2.7 Rychlost průtoku 27

2.8 Rozměrové a hmotnostní parametry 28

2.9 Spojování potrubí 29

2.10 Doporučené materiály 29

2.11 Související předpisy a normy 31

3 ANALÝZA PROCESU VÝROBY ZVOLENÉHO VÝROBKU **33**

3.1 Identifikace hlavního procesu výroby 33

3.2 Popis jednotlivých výrobních postupů 34

3.3 Defekty vlnovce při výrobě 35

4 PROCES ZKOUŠENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ ZVOLENÉHO VÝROBKU **37**

4.1 Zkouška těsnosti 37

4.2 Zkouška tlakové odolnosti 38

4.3 Zkouška elongace 38

4.4 Zkouška tlaku při roztržení 38

4.5 Zkouška únavové životnosti 39

4.6 Zkouška ohebnosti 40

4.7 Zkouška průhybu 42

5 ANALÝZA VYBRANÝCH PARAMETRŮ TEXTURY POVRCHU VSTUPNÍHO MATERIÁLU **43**

5.1 Hodnocení textury povrchu vzorků dodavatele A 45

5.1.1 Vzorek A_304_ok 45

5.1.2 Vzorek A_304_nok 46

5.1.3 Srovnání drsnosti vzorku A_304_ok a A_304_nok 47

5.1.4 Vzorek A_316L_ok 48

5.1.5 Srovnání drsnosti dobrých vzorků A_304_ok a A_316L_ok 49

5.2 Hodnocení textury povrchu vzorků dodavatele B 50

5.2.1 Vzorek B_304L_ok 50

5.2.2 Vzorek B_304L_nok 51

5.2.3 Srovnání drsnosti vzorků B_304L_ok a B_304L_nok....52
5.3 Závěry k jednotlivým dodavatelům....53
5.4 Hodnocení textury povrchu nástroje korugátoru....54
5.4.1 Výsledky měření parametrů drsnosti nástroje a vlnovce....55
5.5 Závěry k měření parametrů drsnosti nástroje a vlnovce....57
6 ZÁVĚR....59
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ....63
SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK....65
PŘÍLOHY....71

ÚVOD

Vnímání kvality se za posledních sto let významně měnilo nejen díky neustále se zvyšujícím nárokům zákazníků, vývoji statistických metod a systémů řízení kvality, ale také díky značnému technickému rozvoji v oblasti technologií a měřící techniky.

Tento významný pokrok zapříčinil, že se průmyslová výroba neustále zlepšuje a snaží se zajistit optimální využití zdrojů při minimálních investicích, které jsou zároveň v souladu s bezpečným využíváním produktu konečným uživatelem, minimálním dopadem na životní prostředí a ochranou zdraví pracovníků při práci. Ať už jsou vyráběny např. jednoduché předměty nebo složité technické systémy, jejich výroba se dnes neobejde bez komplexního systému řízení kvality.

Nerezový vlnovec na obr. 1 je v současné době používán v celé řadě oblastí. V automobilovém průmyslu, stavebnictví, elektrotechnickém průmyslu, klimatizacích nebo rozvodech vody či plynu. Vyrábějí se ze široké škály materiálů jako např. ocel, měď, plast apod. Jejich nejvýznamnější vlastností je flexibilita. Používají se dva typy zvlnění, paralelní a spirálové. Oba typy mají své specifické vlastnosti a používají se především tam, kde montáž klasických potrubí by byla velice obtížná nebo velmi zdlouhavá.

Po konzultaci s vedoucím diplomové práce a výrobcem vlnovců je předložená diplomová práce zaměřena na úzkou část kvalitativních vlastností vybraného produktu. Text práce je rozdělen do šesti hlavních kapitol. V první kapitole je popsán chronologický vývoj a vnímání kvality. Druhá kapitola definuje kvalitu nerezového vlnovce, spolu s popisem základní terminologie. Dále je v třetí kapitole analyzován výrobní proces a identifikovány nejčastější defekty při výrobě. Ve čtvrté kapitole jsou popsány mechanické zkoušky nerezových vlnovců. Hodnocení parametrů drsnosti pomocí bezkontaktní profilové metody je využito v páté kapitole pro porovnávání kvality povrchu polotovarů (pásků plechů). Pomocí tohoto postupu je zde rovněž zhodnocena změna textury povrchu výrobního nástroje a vyrobeného vlnovce v rozmezí jednoho měsíce výroby. V závěru jsou uvedeny výsledky měření a doporučení pro praxi.

Obr. 1 Nerezový vlnovec [12]

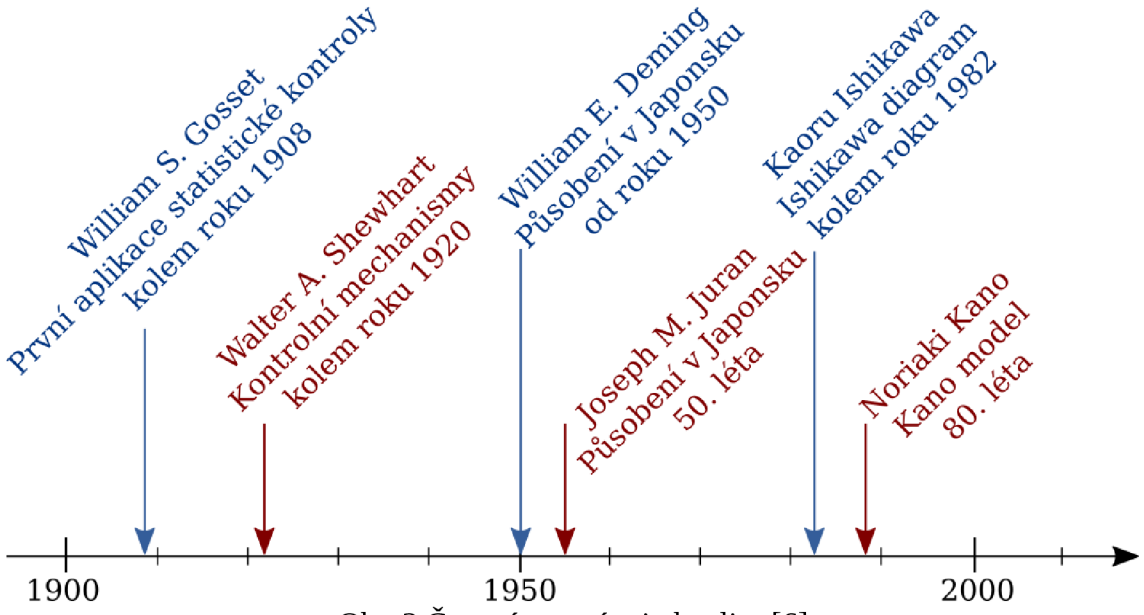
1 KVALITA

Koncepce kvality, tak jak ji známe dnes, vychází z kořenů průmyslové revoluce. Chronologický vývoj kvality je znázorněn na obr. 2. Původně byl výrobek vyráběn jedním řemeslníkem či malou skupinou dělníků v manufaktuře, kteří se přímo podíleli na vylepšování produktu a tím definovali výslednou kvalitu. Jednoduše řečeno, souborem svých činností „otiskli“ kvalitu své práce do výrobku [17].

Masová výroba však začala klást stále vyšší nároky na kvalitu produkce. Komplexní proces výroby od samého počátku až po dokončení tedy nemohl být s jistotou zajištěn pouze jedním pracovníkem či malým týmem lidí [17].

Manažeři úspěšných podniků ve světě, např. ve Spojených státech amerických, pánové Frederick W. Taylor (1856-1915) nebo Henry Ford (1863-1947), včas rozpoznali tyto limity v masové výrobě. F. W. Taylor založil oddělení kvality, které mělo za úkol monitorovat kvalitu produktů a případně napravovat vzniklé chyby, naproti tomu H. Ford zdůrazňoval standardizaci návrhu a součástek k zajištění výroby standardního výrobku. Tím určili odpovědnosti managementu za výslednou kvalitu a zavedli pravidelné kontroly produktů pro eliminaci chyb [17].

Rostoucí trend objemu výroby po první a druhé světové válce přinesl rozvoj statistických teorií použitelných v průmyslové praxi, kdy americký profesor Walter A. Shewhart (1891-1967) položil základy kontroly výrobních procesů pomocí statistických metod, které také publikoval ve své knize „Statistical Method from the Viewpoint of Quality“. Mezi další významné průkopníky patří William E. Deming (1900-1993), který definoval sedm „smrtelných“ chorob firem a poukazoval na to, že výrobek, splňující pouze technologické parametry, nemusí být na trhu úspěšný, jelikož zákazníci zohledňují i další kritéria jako je např. vzhled, spolehlivost, ergonomie apod. S tímto vývojem kvality byl spjat i rozvoj poprodejního servisu a návazných služeb [17].



Obr. 2 Časová osa vývoje kvality [6]

Tuto strategii plně pochopili japonští manažeři a docenili tak teorii W. E. Deminga o komplexním přístupu k řízení kvality a pomocí jeho metod prokázali, že takovéto vnímání kvality je nejen konkurenční výhodou, ale i efektivním nástrojem k firemnímu úspěchu. Z této koncepce se později vyvinul přístup „Total Quality Management“ (zkr. TQM), kde je cílem neustálé zlepšování, na kterém se podílejí všichni zaměstnanci organizace [17].

Až počátkem osmdesátých let minulého století byly vypracovány normalizované přístupy ke kvalitě. Jednalo se o normu, vytvořenou Mezinárodní organizací pro normalizaci, ISO 9000 z roku 1987. Cílem této normy je snaha o dokumentaci systémů kvality. Tyto normy jsou závazné pouze tehdy, když se organizace zaváže, např. svému odběrateli, že zavede systém kvality podle ISO 9000. Pokud organizace neoznámí tento záměr, a tím pádem i svou závaznost, mají normy pouze doporučující charakter [17].

Jestliže se nějaký produkt označí jako „kvalitní“, znamená to, že splňuje obecná očekávání, která byla do výrobku vložena. Je třeba zdůraznit, že kvalita vnímaná lidmi je variabilní a ne každý zákazník bude lpět na vzhledu, barvě, nebo, v extrémním případě, na technických vlastnostech zakoupeného produktu. A právě kombinací těchto očekávání se požadavky zákazníků velice různí. „Kvalitou“ se rozumí [9]:

1. „Kvalita“ zaměřená na splnění požadavků zákazníka, inherentními vlastnostmi produktu, které vedou k jeho uspokojení. Smyslem vysoké kvality je zajištění větší spokojenosti zákazníka, spolu s úmyslem navýšení příjmů organizace. Nicméně, zajištění vyšší kvality produktu vyžaduje navýšení nákladů [9].
2. „Kvalita“ zaměřená na odstranění nedostatků produktu. Chyby, které vyžadují opravy či přepracování, mají za následek např. selhání výrobku, nespokojenost zákazníka, nesplnění požadavků apod. Zajištění vyšší kvality tedy zpravidla „stojí méně“, jelikož opravy či přepracování jsou z větší části eliminovány [9].

Takovéto dvojí vnímání kvality je matoucí a z pohledu laika nelogické, avšak je nutné rozlišovat mezi kvalitou zaměřenou na splnění požadavků zákazníka a kvalitou zaměřenou na odstranění nedostatků produktu, jak lze vidět v tab. 1 [9].

Tab. 1 Rozdělení kvality [9]

Kvalita zaměřená na zákazníka	**Kvalita zaměřená na odstranění nedostatků**
Zvýšení spokojenosti zákazníka	Snížení nespokojenosti zákazníka
Zvýšení prodejnosti výrobků	Snížení výskytu chyb, oprav a plýtvání
Zvýšení podílu na trhu	Snížení selhání výrobků a poplatků za záruku
Zajištění příjmů z prodeje	Snížení frekvence kontroly a testování
Udržování konkurenceschopnosti	Zvýšení výnosů a kapacity
Zajištění vyšší kvality **stojí více**	Zajištění vyšší kvality **stojí méně**

1.1 VLIV NA PRODEJ

Příjmy se mohou skládat z prodejů průmyslového podniku, daní vybraných orgánem státní správy, prostředků získaných prostřednictvím vládní agentury, školného obdrženého školami a darů přijatých na charitu. Výrobky s vynikajícími funkcemi jsou schopné na mnoha trzích zajistit vysoký příjem, ať už díky vyššímu podílu na trhu nebo prémiové ceně. Výrobky, které nejsou konkurenceschopné v oblasti funkčních vlastností, musí být často prodávány za nižší, než obvyklé tržní ceny [9].

Nedostatky produktu mohou mít také vliv na příjem. Zákazník, který narazí na nedostatky, může jednat například těmito způsoby [9]:

- podáním stížnosti na výrobce,
- vrácením výrobku zpět výrobci,
- uplatněním nároku na slevu u výrobce,
- podáním žaloby na výrobce [9].

Dále může zákazník přestat kupovat nekvalitní výrobky od nekvalitního výrobce, ale stejně tak se může rozhodnout pro propagaci nalezených nedostatků a jejich původ (podnik, který tento nedokonalý výrobek vyrobil a prodal). Taková akce většího počtu zákazníků může způsobit vážné škody na jménu a příjmech organizace [9].

1.2 VLIV NA NÁKLADY

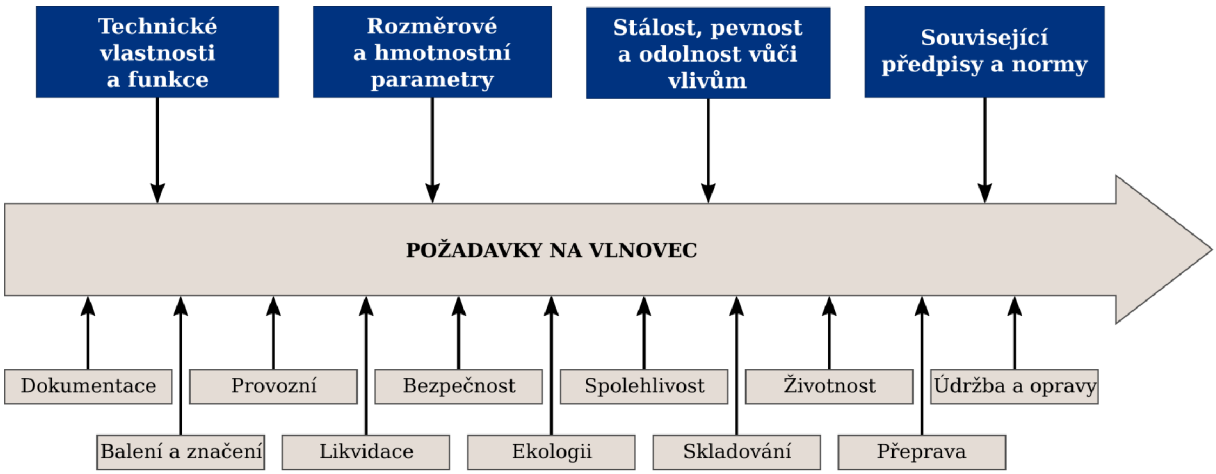
Náklady na nízkou kvalitu se skládají ze všech nákladů, které by zmizely, pokud by na výrobku neexistovaly žádné chyby a s nimi spjatá nutná opatření [9]:

- servis výrobku,
- přepracování výrobku,
- zmetky,
- náklady na prevenci,
- a další [9].

Náklady na tyto prvky nízké kvality jsou překvapivě vysoké. Podle průzkumu na začátku roku 1980 se odhadovalo, že asi jedna třetina vykonané práce ve výrobním průmyslu Spojených států amerických byla podrobena opravám či jiným přepracováním. Nedostatky, které se vyskytují před prodejem a po prodeji samozřejmě dále negativně ovlivňují náklady výrobce [9].

2 DEFINOVÁNÍ KVALITY NEREZOVÉHO VLNOVCE

Kvalitou nerezového vlnovce je možné nazvat soubor jeho inherentních (vložených) vlastností, které mu dávají schopnost splnit definované nebo předpokládané požadavky zákazníků. Jedno z možných členění jednotlivých skupin požadavků na nerezový vlnovec jsou uvedeny na obr. 3. Toto členění rovněž představuje strukturu vlastností, tvořící kvalitu nerezového vlnovce v současném pojetí.



Obr. 3 Schéma členění jednotlivých skupin požadavků na nerezový vlnovec

Na základě požadavků spolupracující firmy a dle pokynů vedoucího diplomové práce jsou v následujících podkapitolách uvedeny požadavky na vlnovce, které jsou na obr. 3 zvýrazněny modrou barvou.

V kapitole 2.1 je popsána charakteristika vlnovce, do jakých skupin je rozdělen, jeho základní terminologie a kde je nejčastěji využíván.

Dále je v kapitole 2.2 uvedena vhodnost jeho použití a výhody oproti klasickému svařovanému potrubí.

Kapitola 2.3 je věnována vlnovcové hadici, jejím typickým mechanickým vlastnostem a obecnému popisu používaných kovových opletů.

Hlavní přednosti vlnovcové trubky jsou uvedeny v kapitole 2.4, spolu s jejími limitacemi.

Kapitoly 2.5, 2.6 a 2.7 zahrnují specifické požadavky na nerezové vlnovce jako např. provozní tlak, teplota a rychlost průtoku dopravovaných médií.

V kapitole 2.8 jsou definovány výrobní tolerance, které jsou obecně stanovovány výrobcem. Požadavky na spojování potrubí jsou uvedeny v kapitole 2.9.

Skupině vlastností „Stálost, pevnost a odolnost vůči vlivům“ je věnována kapitola 2.10, kde je kladen důraz na vhodnou volbu materiálu pro výrobu nerezových vlnovců.

V kapitole 2.11 je uveden seznam souvisejících předpisů a norem, kterých se výroba vlnovců týká.

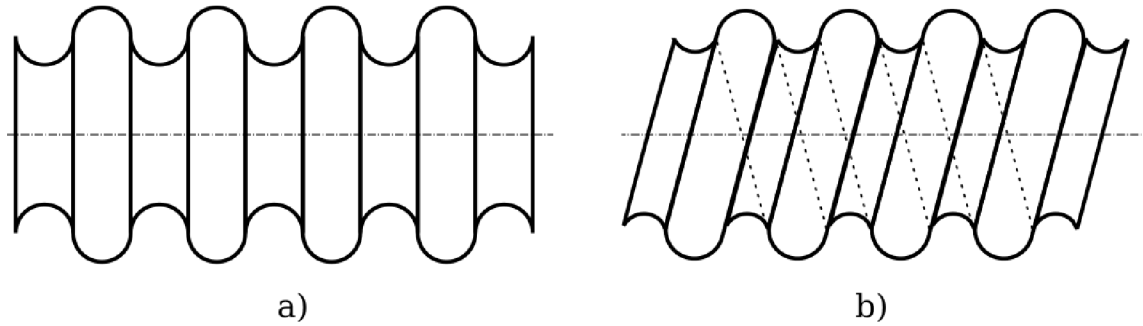
2.1 VLNOVEC

Vlnovec je všeobecné označení pro zvlněnou trubku nebo hadici, která má charakteristický tvar zvlnění. Rozdělují se podle typu provedení: paralelní a spirálové na obr. 4 a způsobu použití: distribuční a ochranné na obr. 5.

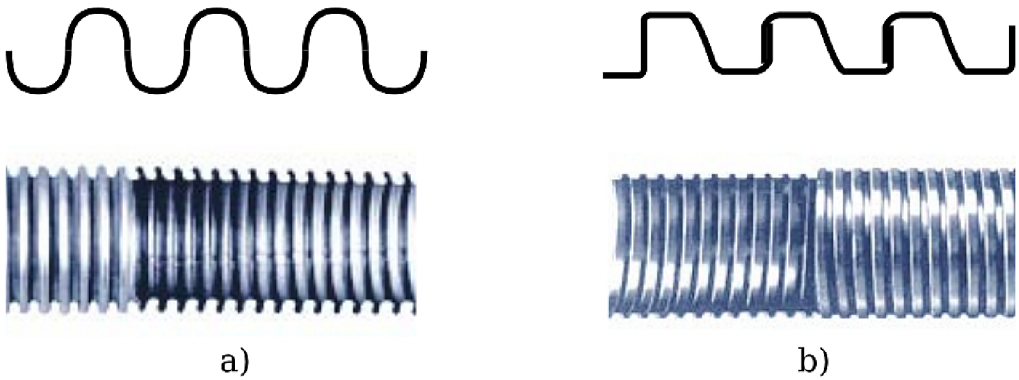
Vlnovec je používán v následujících oblastech:

- doprava různých médií (voda, plyn, chemikálie apod.),
- součást výfukových systémů automobilů,
- ochranná vrstva pro elektrická vedení (kabely apod.),
- tepelné a plynové rozvody, jejich připojení ke spotřebičům (vodovodní baterie,
- sprchové hadice, sifony apod.),
- specifické (ventilace, solární panely, odsávání apod.).

Zatímco vlnovcové hadice jsou navrženy tak, aby byly pružné a flexibilní, vlnovcové trubky se vyznačují vyšší pevností a schopností držet požadovaný tvar [15]. Díky těmto rozdílným mechanickým vlastnostem je třeba zvážit, jakou funkci budou plnit a podle toho zvolit správný typ, velikost průměru, tvar vlnění a také materiál, ze kterého budou vyrobeny.

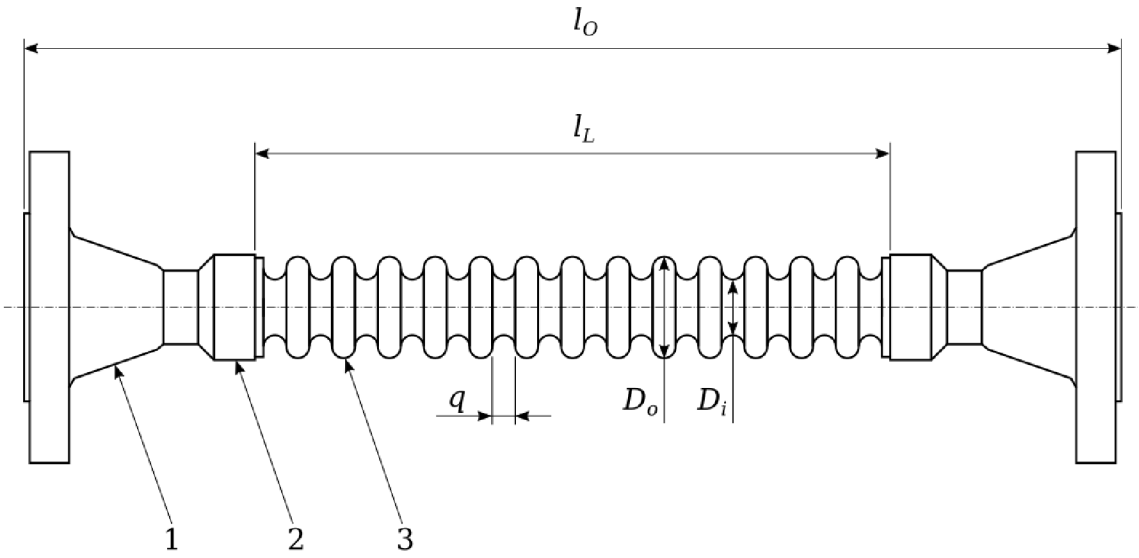


Obr. 4 Provedení vlny (a) prstencové (b) spirálové



Obr. 5 Tvar vlny dle použití (a) distribuční (b) ochranný [11]

Na obr. 6 je znázorněn jeden typ sestavy vlnovce a jeho základní popis. Tělo vlnovce je označeno pozicí č. 3. Pozice č. 2 označuje ochranné koncovky, které jsou také nazývány jako „ferule“. Celá sestava je zakončena koncovou fitinkou na pozice č. 1, která může mít různé tvary, od přírub až po jednoduché závitové spoje [3].



Obr. 6 Obecná sestava vlnovce [3]

Legenda

1 koncová fitinka,

2 ochranná koncovka (ferule),

3 tělo vlnovce,

D_i vnitřní průměr (DN) [mm],

D_o vnější průměr [mm],

l_L aktivní délka [mm],

l_O celková délka [mm],

q rozteč profilu vlny [mm] [3].

Vnitřní průměr D_i je v především v praxi označován jako DN průměr (Diameter Nominal), ve volném překladu do češtiny jako jmenovitý nebo nominální průměr. Je jich celá řada a norma ČSN EN ISO 10380 doporučuje volit velikosti v určitých krocích v rozmezí od DN 4 po DN 300. Je však na domluvě mezi zákazníkem a výrobcem, jaký průměr bude vyroben. V tomto případě nesmí být jmenovitý průměr menší jako 98% požadovaného [3].

Za aktivní délku l_L vlnovce je považována ta část, která je schopna ohybu či deformace a je určena pro opakující se pohyby. Celková délka l_O podléhá toleranci, pokud není zákazníkem nebo výrobcem specifikováno jinak, objednaná délka musí být v toleranci +3% až -1%. Tato tolerance se nevztahuje pro velmi krátké vlnovce, protože vlna profilu musí být řádně ukončena. Celková délka ale nesmí být menší jako 99% délky, podle sjednaných požadavků zákazníka [3].

Rozteč profilu vlny q je ovlivněna způsobem použití vlnovce a také požadovanými mechanickými vlastnostmi [3]. Čím hustší zvlnění, tím je vlnovec flexibilnější a naopak.

2.2 VHODNOST POUŽITÍ

V současné době je stále hojně využíváno klasického svařovaného potrubí, které sice disponuje obrovskou odolností vůči tlaku a vnějším nepříznivým podmínkám, ale jeho instalace a montáž je někdy složitá a zdlouhavá. Neobejde se bez nutnosti častého řezání a zkracování potrubí, nehledě na to, že každá změna směru vedení musí být opatřena fitinkou či tvarovkou. Čím je systém rozvodů složitější, tím více prvků je nutno namontovat a tím se také prodlužuje čas montáže [15].

Problémy s obtížnou instalací vyřeší použití vlnovce. Menší průměry lze snadno ohýbat v rukách, a také odpadá instalace nadbytečného množství fitinek a tvarovek. Rozvody potrubí jsou tak realizovány podstatně rychleji a efektivněji. Díky jeho konstrukci se hodí do prostředí s významnými teplotními rozdíly, protože zvlněné tvarování dynamicky vyrovnává roztažnost ocelí a plní tak funkci kompenzátoru.

2.3 VLNOVCOVÁ HADICE

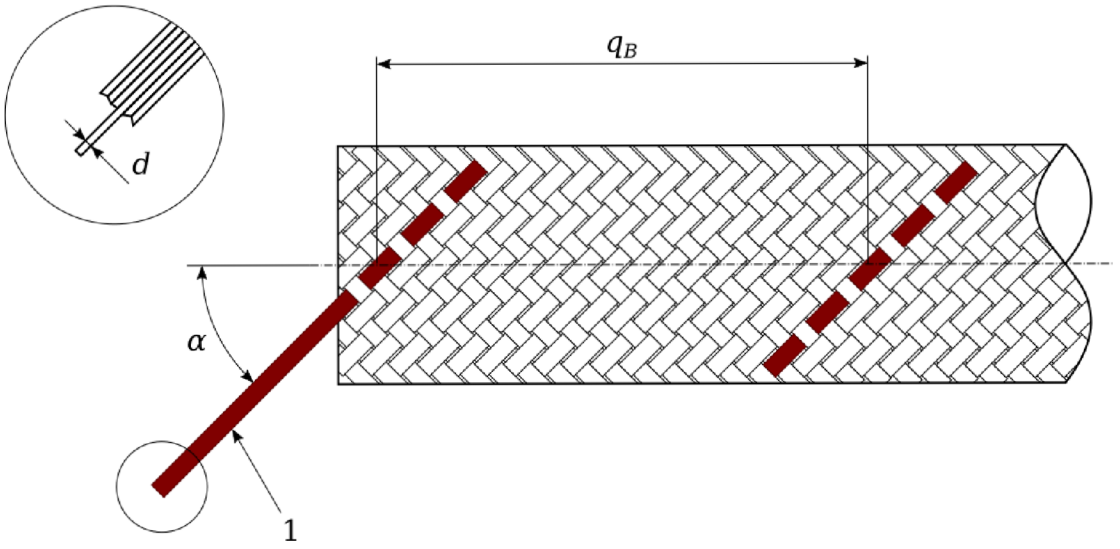
Vysoká flexibilita vlnovcové hadice na obr. 7 (dále jen hadice) je dosažena díky elastickoplastické deformaci zvlnění a je schopna vydržet až desítky tisíc cyklických zatížení. Má schopnost se po deformaci navrátit do své výchozí polohy a deformace je tedy dočasná [15].

Tvar provedení zvlnění se může měnit dle specifických požadavků na mechanické vlastnosti hadice. Vlna může být zhuštěna až na 55% své původní délky a díky této úpravě získá vyšší odolnost vůči dynamickému namáhání. Toto zhuštění nemusí být provedeno po celé délce, ale pouze tam, kde je vyšší pravděpodobnost cyklického zatěžování a tím vyšší náchylnost ke vzniku trhlin či opotřebení [15].

Obr. 7 Vlnovcová hadice [1]

Pro zlepšení mechanických vlastností nebo tepelné izolace se opatřují kovovým opletením, které se vyrábí strojně přímo na hadici anebo samostatně ve formě návleku [3].

Opletení na obr. 8 je sestaveno z jednotlivých pramenů, které jsou označeny pozicí č. 1. Pramen může obsahovat různé množství vláken. Počet vláken není pevně daný a podléhá specifickým požadavkům pro danou aplikaci nebo požadavkům zákazníka. Konec opletení musí být řádně ukončen koncovými fitinkami, jelikož jakékoliv vyčnívající dráty z opletu jsou nepřípustné. Další podmínkou je dokončení alespoň jedné otáčky opletu [3].



Obr. 8 Obecný nákres opletení hadice [3]

Legenda

1 pramen opletení,

d šířka vlákna pramenu [mm],

α úhel opletení [°],

q_B rozteč opletení [mm] [3].

2.4 VLNOVCOVÁ TRUBKA

Vlnovcová trubka na obr. 9 (dále jen trubka) je způsobilá ke snadnému ručnímu ohýbání (malé průměry) s omezeným počtem ohnutí v jednom místě. Tato deformace je plastická a stálá. Trubky jsou navrženy pro nepohyblivé části rozvodů, a proto by měly být ohýbány jen v případě instalace. Časté ohýbání může zapříčinit porušení celistvosti trubky a tím únik dopravovaných médií [15].

Obr. 9 Vlnovcová trubka [16]

2.5 PROVOZNÍ TLAK

Provozní tlak a maximální dovolený tlak vlnovcového potrubí ovlivňují převážně tyto prvky sestavy [14]:

- koncovky,
- spojky,
- svary,
- oplety (pouze hadice),
- stlačení vln (pouze hadice) [14].

Pokud je potrubí vyrobeno z více typů vlnovců o různých materiálech, je nutné maximální dovolený tlak přizpůsobit té části potrubí, která vykazuje nejmenší odolnost vůči tlakovému působení [3].

Na provozní a maximální dovolený tlak nemají vliv například tyto konstrukční prvky [14]:

- opláštění,
- chránička,
- ochranná hadice [14].

Do maximálního provozního tlaku jsou zahrnovány i hodnoty tlakových rázů, které způsobuje proudící médium. Při působení provozního tlaku se vlnovce může prodloužit a toto prodloužení nesmí přesáhnout 1% své původní délky [3].

Orientační maximální provozní tlaky pro trubky a hadice, vybraných průměrů a typů spojení, jsou uvedeny v tab. 2 [14] [15].

Tab. 2 Orientační maximální provozní tlaky [14] [15]

Typ vlnovce	**Médium**	**DN 8 až DN 25**		**DN 32 až DN 50**	
		Typ koncovky			
		Přivařená	Pájená	Přivařená	Pájená
Hadice	Plyn	1-16 barů*	1-5 barů*	1-16 barů*	1-5 barů*
	Ostatní	až 16 barů*	až 25 barů*	až 16 barů*	až 10 barů*
Trubky	Plyn	až 5 barů	až 5 barů	až 5 barů	až 5 barů
	Ostatní	až 16 barů	až 16 barů	až 5 barů	až 5 barů

* záleží na typu hadice

2.6 PROVOZNÍ TEPLOTA

Provozní teplota je ovlivněna především vlastnostmi použitého materiálu, ale také typem těsnění pro dané médium za konkrétních podmínek. Maximální rozsah teplot v provozu je různý v závislosti na použití koncového spojení [15].

Provozní teplota pro trubky [15]:

- svařované koncovky (-40 °C až +350 °C),
- pájené koncovky (-20 °C až +250 °C),
- lisované koncovky (-40 °C až +200 °C) [15].

Provozní teplota pro hadice [14]:

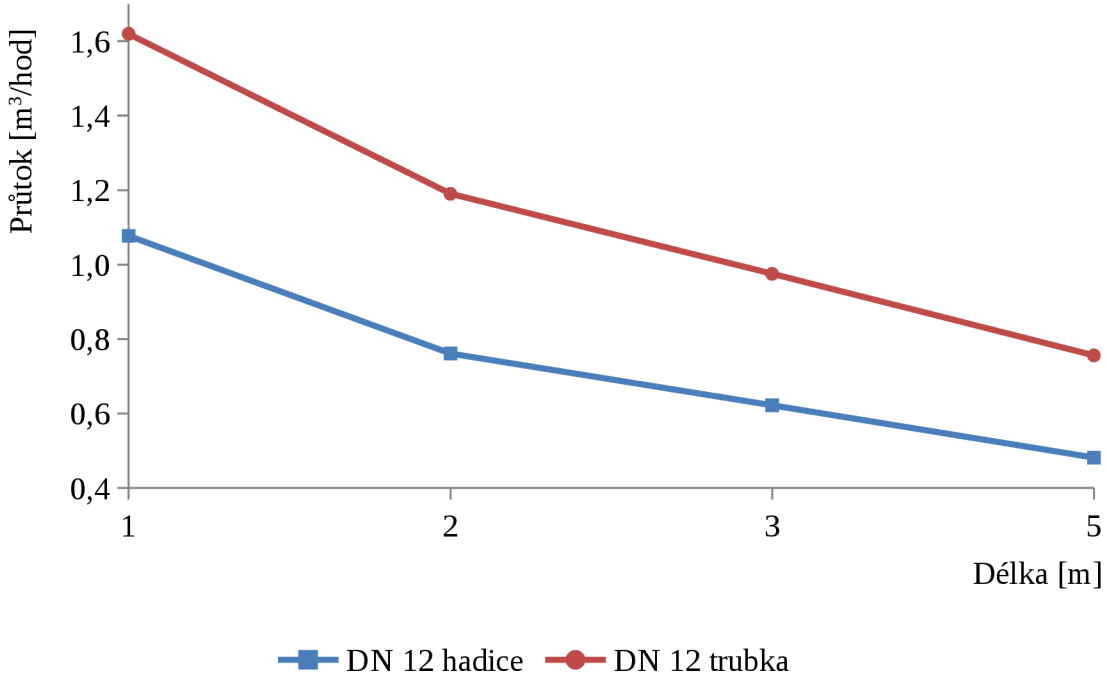
- svařované koncovky (-200 až +550 °C),
- pájené koncovky (-50 až +200 °C),
- převlečná matice (-50 až +250 °C) [14].

Jestliže je použita trubka nebo hadice s opláštěním nebo polypropylenová ochranná vrstva, snižuje se maximální provozní teplota na max. +100 °C [15].

2.7 RYCHLOST PRŮTOKU

Rychlost průtoku není pro všechny nominální průměry stejná [3]. Na obr. 10, kde je uveden konkrétní příklad srovnání poklesu průtoků vody hadice a trubky, průměru DN 12, při dosažené tlakové ztráty 0,5 barů [14] [15].

Volbě nominálního průměru je nutné věnovat patřičnou pozornost, jelikož některé aplikace vyžadují vyšší hodnoty průtoků dopravovaného média.



Obr. 10 Pokles průtoku vody v závislosti na délce [14] [15]

2.8 ROZMĚROVÉ A HMOTNOSTNÍ PARAMETRY

Vlnovce jsou vyráběny v celé řadě velikostí. Tab. 3 uvádí vyráběné nominální délky, spolu s výrobními tolerancemi. Tyto tolerance se odvíjí od velikosti délky a obecně jsou stanovovány výrobcem [14] [15].

Tab. 3 Vyráběné délky a jejich tolerance [14] [15]

Typ vlnovce	Nominální délka	Tolerance
Hadice	do 500 mm	-5 až +10 mm
	od 500 do 2000 mm	-10 až +15 mm
	nad 2000 mm	±1%
Trubky	do 2000 mm	-2 až +10 mm
	nad 2000 mm	±0,5%

Rozměry a tolerance pro nominální průměry jsou uvedeny v tab. 4. Čím větší je DN, tím větší tolerance. Další rozměrový parametr, který podléhá toleranci je rozteč vlny. Její hodnota závisí hlavně na typu zvlnění. Hmotnost 1 m vlnovce je výrobcem uváděna jako informativní. Závisí především od volby velikosti průměru, hustoty zvlnění a tloušťky polotovaru (plechu).

Tab. 4 Rozměrové tolerance [14] [15]

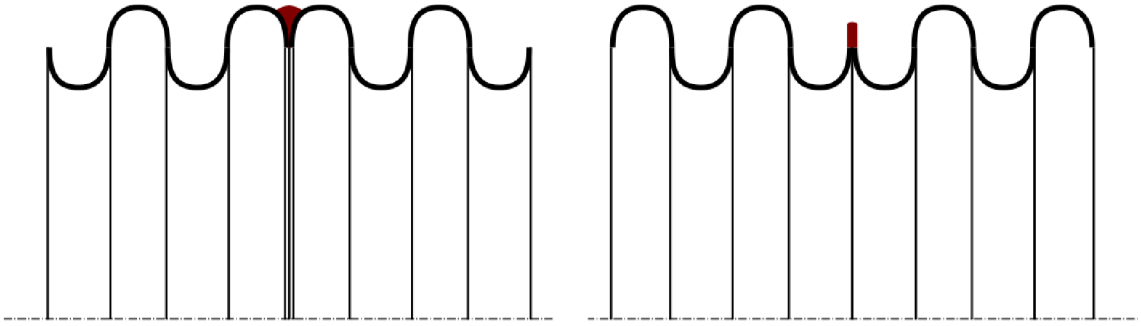
	DN	Vnější průměr [mm]	Vnitřní průměr [mm]	Rozteč vlny [mm]	Tloušťka stěny [mm]	Hmotnost [kg/m]
Hadice	DN 8	12,2 ±0,2	8,2 ±0,2	2,2 ±0,1	0,15 ±0,015	0,087
	DN 12	16,7 ±0,2	12,1 ±0,2	3,1 ±0,1	0,15 ±0,015	0,115
	DN 20	26,8 ±0,2	20,3 ±0,2	3,7 ±0,2	0,18 ±0,015	0,244
	DN 25	32,3 ±0,3	25,3 ±0,3	3,7 ±0,2	0,20 ±0,015	0,337
	DN 32	41,1 ±0,3	40,2 ±0,3	5,0 ±0,2	0,22 ±0,015	0,465
Trubky	DN 8	11,7 ±0,2	8,1 $^{+0,4}_{-0,2}$	4,2 ±0,2	0,26 ±0,02	0,100
	DN 12	15,6 ±0,2	12,0 $^{+0,4}_{-0,2}$	5,5 ±0,2	0,30 ±0,02	0,140
	DN 20	25,0 ±0,2	19,7 $^{+0,4}_{-0,2}$	6,4 ±0,2	0,30 ±0,02	0,230
	DN 25	32,8 ±0,2	26,5 $^{+0,4}_{-0,2}$	7,1 ±0,3	0,30 ±0,02	0,320
	DN 32	41,0 ±0,4	33,0 ±0,4	7,6 ±0,4	0,35 ±0,02	0,480

2.9 SPOJOVÁNÍ POTRUBÍ

Jestliže výrobce využije možnosti spojení dvou potrubí, aby navýšil délku vyrobeného potrubí, musí být tyto spoje provedeny buď formou tupého svaru anebo svarem na hraně, které jsou zobrazeny na obr. 11. [3].

Aby bylo možné připojit vlnovce do systému potrubí, jsou spojovány pomocí různých druhů koncovek: lisované, přivařené, pájené, svěrné otočné kroužky a další. Pro jejich výrobu jsou používány takové materiály, které zaručí dobrý svařený či pájený spoj mezi fitinkou a vlnovcem [3].

Všechny svary musí být provedeny kvalifikovaným zaměstnancem. Svářečská kvalifikace musí být v souladu s normou ČSN EN ISO 9606-1 (Zkoušky svářečů – Část 1: Oceli) a ČSN EN ISO 15614-1 (Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu). Kvalifikace pro pájení pak zastřešuje norma ČSN EN ISO 13585 (Tvrdé pájení – Kvalifikační zkouška páječů a operátorů tvrdého pájení) [3].



Obr. 11 Typy svarů (a) tupý svar (b) svar na hraně [3]

2.10 DOPORUČENÉ MATERIÁLY

Pro výrobu nerezových vlnovců je využíváno mnoha slitin ocelí, převážně však vysoce legované austenitické oceli. V tab. 5 jsou uvedeny typy ocelí v souladu s normou ISO 9328-7 (Požadavky na ploché válcované výrobky pro výrobu nerezových produktů namáhaných tlakem) a jejich ekvivalenty podle označení normou ČSN a W. Nr. (německé označení) [3].

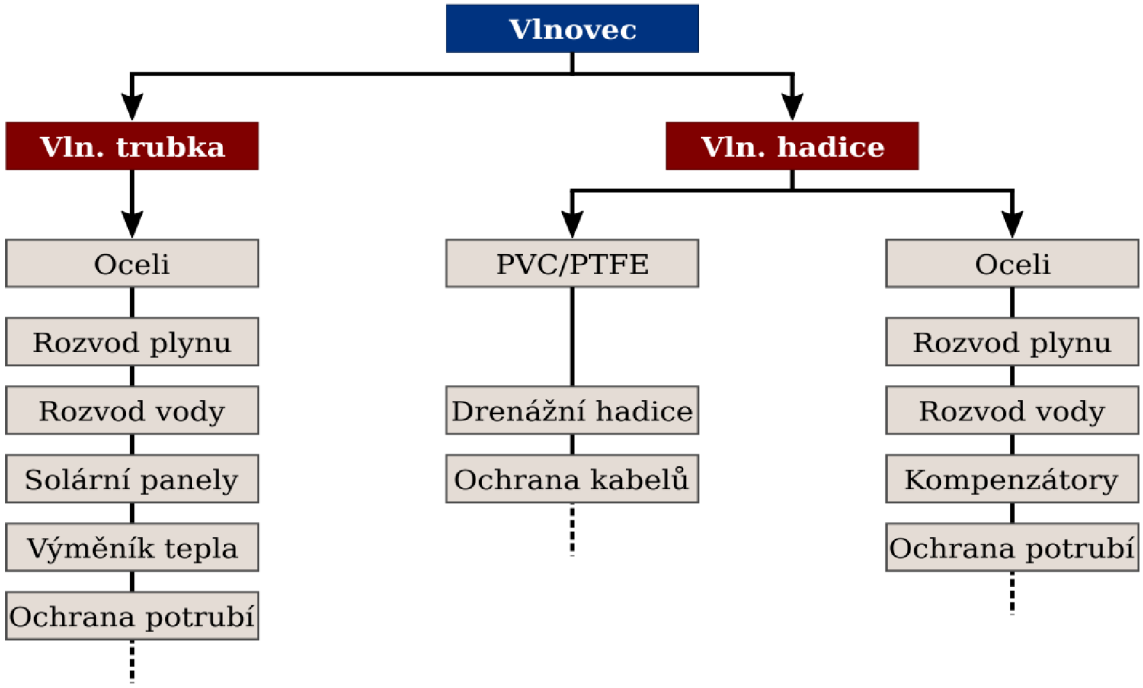
Tab. 5 Doporučené materiály pro výrobu vlnovců [2] [3]

Materiál dle ISO 9328-7	ČSN označení	W. Nr. označení
X2CrNi19-11	17 249	1.4306
X6CrNiTi18-10	17 246	1.4541
X2CrNiMo17-12-2	17 349	1.4404
X5CrNiMo17-12-2	17 346	1.4401
X6CrNiMoTi17-12-2	17 348, 17 353	1.4571
X2CrNiMo18-14-3	17 350	1.4435
X1CrNiMoCuN20-18-7	–	1.4547
X1NiCrMoCu25-20-5	–	1.4539

Mezi další používané materiály jsou např. slitiny na bázi mědi a niklu. Tyto materiály by měly mít adekvátní odolnost ke všem korozním působením, kterým budou vystaveny. Při výběru pro výrobu musí být věnována zvláštní pozornost jejich odolnosti vůči různým druhům korozí, především důlkové korozi, štěrbinové korozi, koroznímu praskání a mezikrystalové korozi. Jsou rozlišovány celkem čtyři skupiny tříd nerezové oceli (A, B, C a D) [3]:

- třída A – základní odolnost (nerezové oceli),
- třída B – dobrá odolnost (nerezové oceli na bázi molybdenu),
- třída C – vyšší odolnost (vysoce legované nerezové oceli),
- třída D – vysoká odolnost (nerezové oceli na bázi niklu) [3].

Každý typ materiálu je specifický pro danou oblast použití. Na obr. 12 je graficky zobrazeno základní rozdělení vlnovců a jejich využití podle použitého výrobního materiálu.



Obr. 12 Rozdělení vlnovců dle použití

Odolnost vůči korozi lze zvýšit použitím různých vnitřních či vnějších ochranných prvků, vedených po celé délce vlnovce. Chrání potrubí před vlivy jako jsou: mechanické, klimatické, biologické a mimořádné (požár, výbuch). Ochranu lze zajistit těmito způsoby [3]:

- instalací anti-abrazivního vinutí z oceli nebo jiného materiálu, vhodného do daných provozních podmínek,
- instalací vnitřního nebo vnějšího pouzdra odolného vůči opotřebení, povětrnostním vlivům a abrazi,
- instalací jiných prostředků ochrany jako např. tepelná izolace, protipožární ochrana nebo ochrana vůči lokální nadměrné deformaci [3].

Korozivzdorné vlastnosti lze zlepšit tepelnou úpravou, na úkor mechanických vlastností vlnovce [3].

2.11 SOUVISEJÍCÍ PŘEDPISY A NORMY

Seznam právních předpisů, souvisejících s problematikou předložené práce [14] [15]:

- 174/1968 Sb. Zákon o státním odborném dozoru nad bezpečností práce, ve znění pozdějších předpisů,
- 85/1978 Sb. Vyhláška o kontrolách, revizích a zkouškách plynových zařízení, ve znění nařízení vlády č. 352/2000 Sb.,
- 21/1979 Sb. Vyhláška, kterou se určují vyhrazená plynová zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti, ve znění pozdějších předpisů,
- 133/1985 Sb. Zákon o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů,
- 360/1992 Sb. Zákon o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, ve znění pozdějších předpisů,
- 634/1992 Sb. Zákon o ochraně spotřebitele, ve znění pozdějších předpisu,
- 22/1997 Sb. Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů,
- 173/1997 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví vybrané výrobky k posuzování shody, ve znění pozdějších předpisů,
- 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů,
- 102/2001 Sb. Zákon o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů (zákon o obecné bezpečností výrobků),
- 46/2001 Sb. Vyhláška o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci),
- 163/2002 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb.,
- 251/2005 Sb. Zákon o inspekci práce, ve znění pozdějších předpisů,
- 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů,
- 361/2007 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci,
- 23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb,
- 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby [14] [15].

Další související předpisy, normy a doporučení jsou uvedeny v příloze P1– Seznam souvisejících předpisů a technických norem.

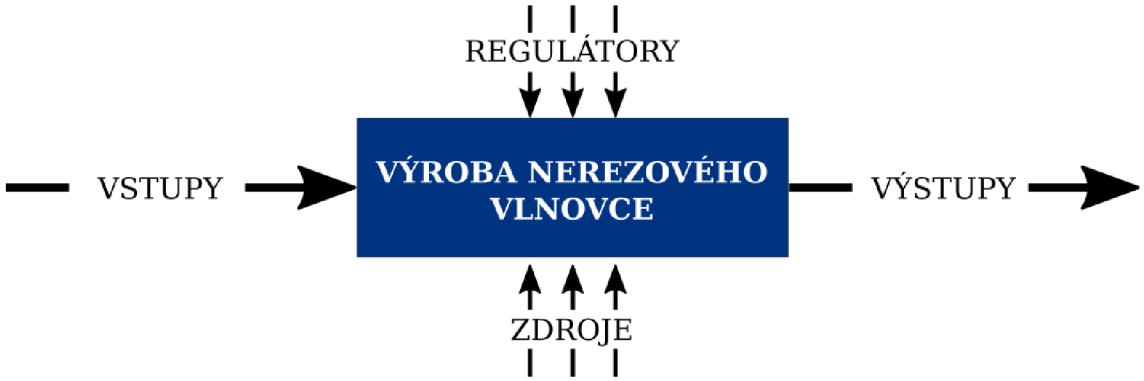
3 ANALÝZA PROCESU VÝROBY ZVOLENÉHO VÝROBKU

Tato kapitola je věnována obecnému popisu výroby nerezového vlnovce, která je roztříděna podle následujících částí:

1. identifikace hlavního procesu výroby,
2. popis jednotlivých výrobních postupů,
3. defekty vlnovce při výrobě.

3.1 IDENTIFIKACE HLAVNÍHO PROCESU VÝROBY

Za hlavní proces je na obr. 13 označena „Výroba nerezového vlnovce“, která je zaměřena pouze na výrobu samotného těla vlnovce, bez montáže přídavných koncovek, opletů či přírub. Aby byla mohla být výroba realizována, je nutné zajistit adekvátní vstupy.



Obr. 13 Identifikace hlavního procesu

Za vstupy na obr. 13 lze označit všechny prvky, nezbytné pro realizaci procesu, tedy výrobu vlnovce. V tomto případě se jedná o polotovar, neboli pásek plechu z nerezové oceli.

Samotný polotovar však k samotné výrobě nestačí, a proto je nutné zajistit adekvátní zdroje. Ty jsou složeny z několika prvků jako [4]:

- finance,
- lidé (kvalifikace, kapacita),
- stroje,
- infrastruktura (layout, údržba, kapacita),
- pracovní prostředí (BOZP – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci, OŽP – Ochrana životního prostředí, technologické podmínky) [4].

Regulátory, také označovány jako „Omezení“, jsou všechny prvky, usměrňující výrobu tak, aby byla zajištěna požadovaná výstupní kvalita výrobku. Patří mezi ně:

- řídící dokumentace (firemní směrnice, výrobní postupy, normy, apod.),
- právní předpisy (zákony, vyhlášky, nařízení vlády apod.) [4].

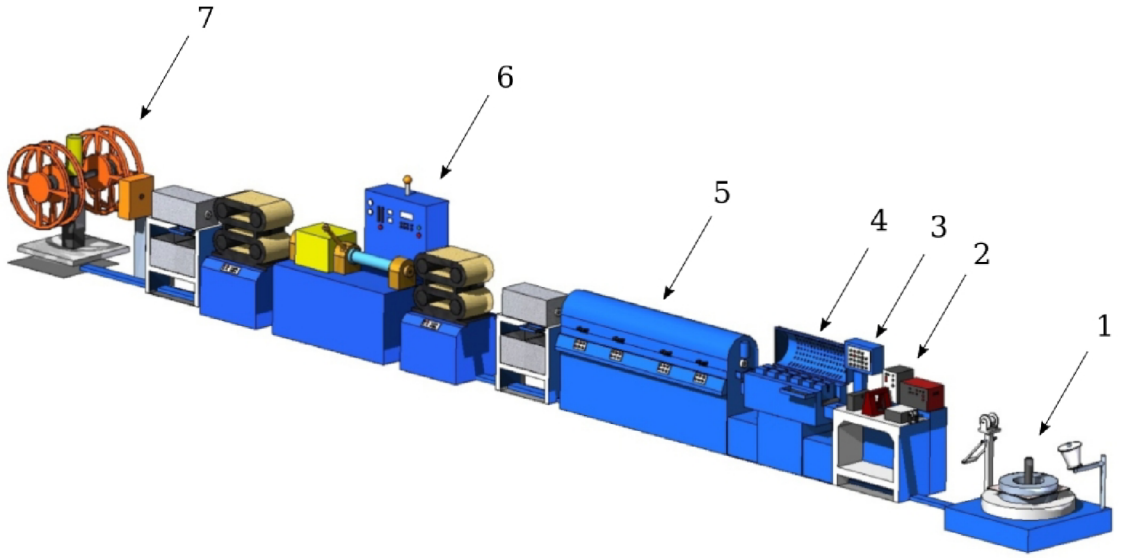
Finální produkt (tělo nerezového vlnovce) je označen jako výstup hlavního procesu výroby. Na takto vyrobený produkt navazují další procesy jako:

- výstupní kontrola (těsnost, tlaková odolnost, elongace apod.),
- skladování,
- montáž (ochranné koncovky, příruby apod.),
- balení a expedice.

3.2 Popis jednotlivých výrobních postupů

V této kapitole je popsán obecný výrobní proces vlnovce. Pro jejich výrobu jsou převážně využívány moderní strojní linky. Jeden z typů zobrazen na ilustračním obr. 14. Linka je složena z několika výrobních segmentů:

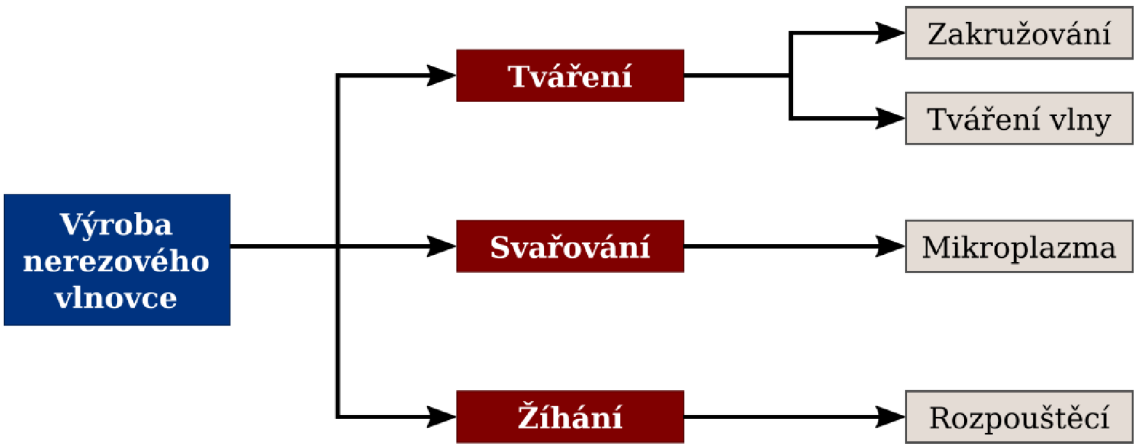
1. podavač polotovaru,
2. zakružovačka plechu,
3. svařovací systém,
4. přidržovač,
5. korugátor,
6. žíhací pec,
7. navíječ.



Obr. 14 Obecný model výrobní linky [10]

Po konzultaci s výrobcem vlnovců, byly vybrány celkem tři nejdůležitější části výrobního procesu, které mají významný vliv na konečnou kvalitu produktu. Hlavní proces („Výroba nerezového vlnovce“), který byl identifikován v předchozí kapitole, je tedy dále rozdělen na tři podprocesy, které jsou graficky znázorněny na obr. 15:

- tváření (zakružování a tváření vlny),
- svařování,
- žíhání.



Obr. 15 Rozdělení hlavního procesu výroby vlnovce

U tváření je nutné rozlišovat mezi dvěma typy: tváření plechu ohýbáním, tzv. zakružování, a tváření pro tvorbu zvlnění. Plech je nejprve vytvarován pomocí technologie postupného zakružování do tvaru válce, který je potřeba následně svařit.

Jako nejvhodnější svařovací metoda pro výrobu tenkostěnných vlnovců je druh plazmového svařování, tzv. mikroplazma. U tohoto typu je nutné dbát na přípravu svarové mezery, která by se měla pohybovat přibližně v rozmezí 10-20% tloušťky plechu. Svařování je prováděno v ochranné atmosféře. Výhody použití mikroplazmy jsou: vysoká stabilita hoření, velmi dobrý provaření svaru, vysoká čistota svarových ploch, dobré mechanické vlastnosti svarového spoje, jednoduchá úprava svarových ploch [10].

Svařenec ve tvaru trubky prochází kalibrací vnitřního průměru, protože při svařování jsou stěny mírně zdeformovány.

Jakmile je zakružený plech svařen a jeho vnitřní průměr zkalibrován kalibračním nástrojem, prochází přes systém vnějších rotujících tvarovacích hlav, tzv. korugátor, který tváří charakteristickou vlnu vlnovce. Celý tento proces je prováděn kontinuálně, jinak řečeno, konstantní rychlostí. Linka je tak schopna, za jednu pracovní směnu, vyrobit stovky až tisíce metrů vlnovce (závisí na typu zvlnění, průměru vlnovce apod.).

I když je materiál, za působení tváření za studena, částečně zpevňován, ztrácí zároveň svou schopnost plastické deformace a stává se méně tažný. Jinými slovy, je méně poddajný a flexibilní. Proto je po tváření za studena žíhán, aby se alespoň částečně obnovila jeho tažnost, zvýšila tuhost a zároveň byl povrch odmaštěn a zbaven přebytečných nečistot.

3.3 Defekty vlnovce při výrobě

Při použití moderních kontinuálních linek pro výrobu vlnovců je nejvíce defektů detekováno v následujících procesech:

- tváření vlny (poškození povrchu vlnovce, prodloužení vlnovce),
- svařování (provaření svaru, netěsnosti).

Technologie svařování může být provedena pouze strojně, protože je nutné zajistit rovnoměrnou rychlost svařování a přesné vedení hořáku středem svaru. Při nedodržení tohoto technologického postupu mohou vznikat nedokonalosti jako např. provaření svaru nebo netěsnosti. Oba typy defektů jsou kontrolovány pomocí indukčního snímače s potlačeným magnetickým polem, využívající principu vířivých proudů.

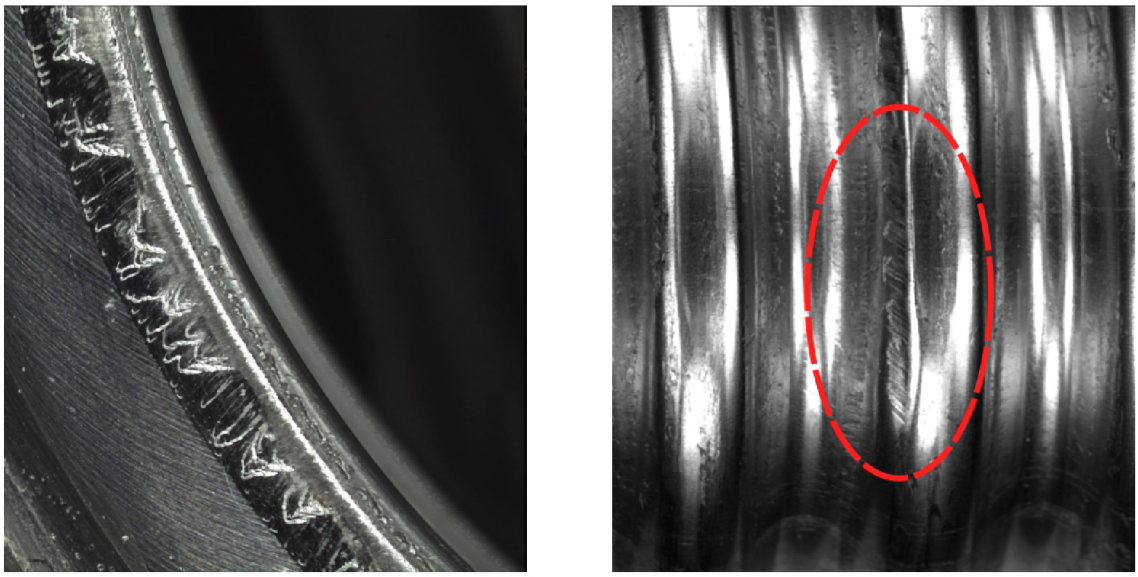
Pro strojní kontinuální svařování jsou obecně využity takové materiály, které jsou dobře až velmi dobře svařitelné. Nejčastěji jsou vybírány tyto materiály:

- chrom-niklová austenitická ocel AISI 304 (1.4301),
- chrom-niklová austenitická nízkouhlíková ocel AISI 304L (1.4306),
- chrom-nikl-molybdenová nízkouhlíková ocel AISI 316L (1.4404).

Technologie tváření vlny je velice komplexní proces, do kterého vstupuje mnoho faktorů, převážně však míra opotřebení výrobního nástroje (formovací hlavy korugátoru).

Při použití opotřebené formovací hlavy dochází k nechtěnému prodloužení vlnovce někdy až o +6% požadované délky. Díky tomuto prodloužení je vlna špatně vytvarována, až zdeformována, a také hrozí nebezpečí, že během tvarování se vlnovec roztrhne a namotá se na rotující nástroje.

Opotřebení nástroje, zobrazeného na obr. 16 a), může zapříčinit zvýšení tření mezi nástrojem a povrchem výrobku. Vznikají tak odřeniny na bocích vlny, které jsou označeny červeně na obr. 16 b). Ačkoliv je pro snížení tohoto tření použito mazivo na vodní bázi, není možné vyloučit postupnou degradaci nástroje. Řešením tohoto stavu je pravidelné přebrušování povrchu nástroje nebo výměna za nový.



a) b)

Obr. 16 Vliv nástroje na povrch výrobku (a) opotřebený nástroj (b) poškozená trubka

Problematice hodnocení textury povrchu nástroje a nerezové trubky je věnována kapitola 5.

4 PROCES ZKOUŠENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ ZVOLENÉHO VÝROBKU

Všechny kovové hadice či trubky s koncovkami musí být pro dané zkoušky reprezentativní, tzn. jsou náhodně vybírány z výroby. Jednotlivé druhy testování je vhodné provést podle následujícího pořadí [3]:

1. těsnost,
2. tlaková odolnost,
3. elongace (poměrné prodloužení),
4. elektrická vodivost,
5. tlak při roztržení,
6. ohebnost,
7. únavová životnost (pouze hadice),
8. těsnost (závěrečný test těsnosti) [3].

Pokud není uvedeno jinak, jsou všechny velikosti vzorků podrobeny výše zmíněným testům s funkčními tolerancemi testovacích zařízení, uvedené v tab. 6. Obsah chlóru ve vodě, která je použita jako testovací médium, nesmí překročit hranici 30 mg/dm^3 [3].

Tab. 6 Funkční tolerance zkušebních zařízení [3]

Parametr	Tolerance
Tlak	±5%
Teplota okolí	±5 °C
Objem	±5%
Čas	±5%

4.1 ZKOUŠKA TĚSNOSTI

Pro každý vzorek je zkouška těsnosti prováděna celkem dvakrát [3]:

1. počáteční – před aplikací jakýkoliv vnitřních či vnějších ochranných prvků (pokud jsou používány či montovány),
2. závěrečná – po aplikaci vnitřních či vnějších ochranných prvků a předchozích zkouškách [3].

Všechny testované vzorky musí být před provedením zkoušky těsnosti zcela vysušeny a zkouška musí být provedena v souladu s určitou metodou, uvedenou v normě EN 1779 (Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení těsnosti – Kritéria pro volbu metod a postupů) [3].

Jako maximální míra netěsnosti je považována hodnota 1×10^{-3} mbar.l/sec. Pokud to vyžaduje daná aplikace, mohou být zvoleny přísnější úrovně maximální přípustné netěsnosti [3].

Dále mohou být využity i srovnávací metody netěsnosti, jako např. testování gradientu tlakového úniku nebo zkouška těsnosti při použití helia. Pro zkoušky těsnosti se vzduchem pod vodou, tzv. bublinkový test, je zapotřebí zajistit kvalifikované pracovníky, jelikož se jedná o čistě subjektivní metodu [3].

4.2 ZKOUŠKA TLAKOVÉ ODOLNOSTI

Kovové hadice nebo trubky, s opletem nebo bez něj, a kovové vlnovcové sestavy musí být schopny odolávat tlakovým testům bez zjevné známky jakékoliv deformace, netěsnosti nebo jiných druhů selhání [3].

Testovací tlak p_T je aplikován a udržován po dostatečně dlouhou dobu, aby bylo umožněno provést vizuální kontrolu všech povrchových spojů, ale v každém případě ne méně jako jednu minutu pro vlnovce do jmenovitého rozměru DN 50, dvě minuty pro vlnovce od DN 50 po DN 100 a tři minuty pro vlnovce o rozměru větším jako DN 100. Testovací tlak je určován podle rovnice (1) nebo (2). Vybírá se hodnota, která je větší [3].

$$p_T = 1{,}43 . p_S \tag{1}$$

$$p_T = 1{,}25 . \frac{p_S}{C_t} \tag{2}$$

kde

p_T je testovací tlak [bar],

p_S je maximální přípustný tlak při 20 °C [bar],

C_t je součinitel teplotní degradace [–] [3].

4.3 ZKOUŠKA ELONGACE

Trvalé prodloužení vlnovce, po vystavení zkušebnímu tlaku, nesmí přesáhnout hranici 1% své původní délky [3].

Opletené testovací vzorky musí mít ukončeny alespoň jednou úplnou otáčku opletení a své konce opatřeny vhodnými fitinkami. Naproti tomu neopletené vzorky musí mít aktivní délku alespoň 0,5 m nebo 3 × DN (je zvolena ta délka, která je větší) [3].

Vlnovec je při provádění testu položen v přímé poloze na rovném povrchu. Přesná hodnota původní délky je zaznamenána s tolerancí ±1 mm. Poté je vzorek pevně ukotven na jednom konci a je hydraulicky natlakován na 1,5 násobek svého maximálního přípustného tlaku, který je udržován po dobu minimálně jedné minuty. Po uplynutí této doby je tlak uvolněn a změřena délka vlnovce. Jakákoliv změna délky je poté porovnána s původní délkou před zkoušením a je vypočteno procentuální trvalé prodloužení [3].

4.4 ZKOUŠKA TLAKU PŘI ROZTRŽENÍ

Zkušební tlak by neměl být menší jako čtyřnásobek maximálního přípustného tlaku při okolní teplotě (20 °C) [3].

Testovaný vzorek je uložen v přímé vodorovné poloze na rovném povrchu a nepohyblivě upevněn na jednom konci. Poté je hydraulicky zatěžován na 1,5 násobek přípustného tlaku, který je udržován po dobu jedné minuty. Následně je tlak postupně navyšován minimálně v deseti krocích, do tlaku čtyřnásobně většího, než je přípustný tlak a držen na této hodnotě jednu minutu. V této fázi zatížení nesmí vlnovec projevovat žádné viditelné známky netěsnosti či poškození jeho komponent. Deformace zvlnění v tomto testu není brána jako druh selhání. Zkoušku lze prodloužit až do úplného roztržení testovaného vzorku, kdy je naměřený tlak, těsně před roztržením, zaznamenán jako bezpečnostní tlaková rezerva [3].

4.5 ZKOUŠKA ÚNAVOVÉ ŽIVOTNOSTI

V zájmu testování životnosti jsou vlnovci rozděleni do čtyř typových skupin [3]:

- typ 1-50 – vysoce ohebná vlnovcová hadice s vysokou únavovou životností,
- typ 1-10 – vysoce ohebná vlnovcová hadice se střední únavovou životností,
- typ 2-10 – středně ohebná vlnovcová hadice,
- typ 3 – ohebná vlnovcová hadice nebo trubka [3].

Tyto skupiny, uvedené v tab. 7, také charakterizují, jaké požadavky jsou kladeny na jejich životnost, i jakým způsobem jsou vlnovce testovány. Typ ocelových hadic 1 a 2 musí zaručovat ohýbání pod tlakem při přiměřené míře očekávaných životních cyklů. Typ 1-50 je testován pro 50 000 cyklů, typ 1-10 a 2-10 pro 10 000 cyklů a typ 3 není na únavovou životnost testován, ale je požadována pouze ohebnost [3].

Tab. 7 Typy vlnovců a jejich zkoušky [3]

Typ vlnovce	Prováděné testy
Typ 1-50 Typ 1-10 Typ 2-10	Ohebnost Únavová životnost U-bend test Průhyb
Typ 3	Ohebnost

V souladu s testovaným průměrem musí typ pro vysoký počet cyklů vydržet průměrně 50 000 cyklů, ne však méně jako 40 000 cyklů. U standardního typu musí vlnovec vydržet průměrně 10 000 cyklů, ne však méně jako 8 000 cyklů. Přehledné rozdělení o prováděných testech je v tab. 8 [3].

Tab. 8 Požadavky na únavovou životnost [3]

Typ vlnovce	Standardní počet cyklů (10 000 cyklů)	Vysoký počet cyklů (50 000 cyklů)
Typ 1-50	–	✓
Typ 1-10	✓	–
Typ 2-10	✓	–
Typ 3	Životnost není testována	Životnost není testována

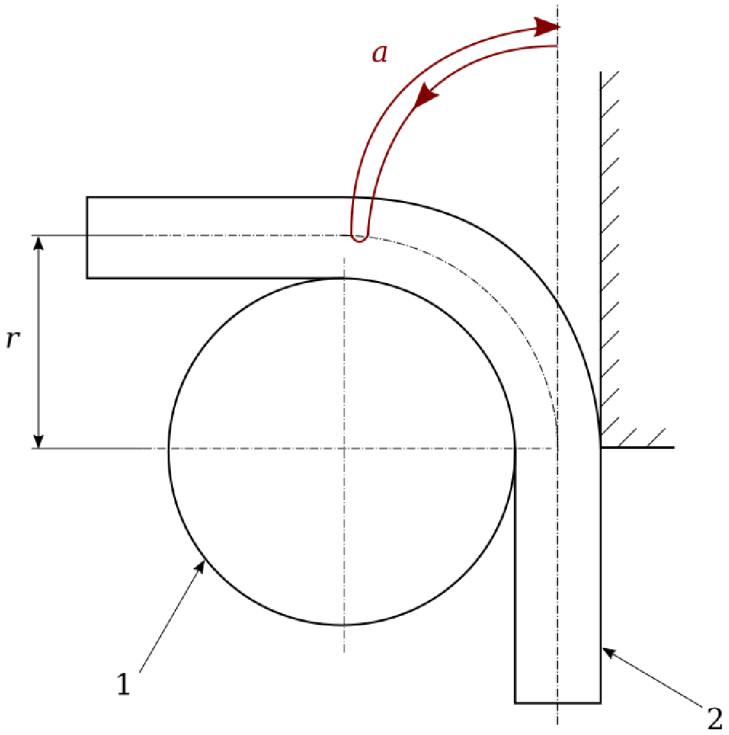
Zkouška životnosti musí být provedena pro každý typ hadice na příslušném nejvyšším dovoleném tlaku a testovací sestava musí být vybavena systémem snímačů, které umožňují detekci a identifikaci poklesu tlaku uvnitř hadice během testovacího cyklu [3].

Ohybový rádius je zvolen na základě jmenovitého rozměru DN a typu hadice. Rozmezí ohybových rádiusů se pohybuje od 100 mm pro nejmenší průměry až po 3 000 mm, kde se testuje hadice až rozměru DN 300 [3].

4.6 ZKOUŠKA OHEBNOSTI

Další testování vlnovců zahrnuje posouzení jejich ohebnosti, kdy testovaný vzorek musí být schopen vydržet 10 ohybů bez porušení těsnosti. Upevnění vzorku je provedeno podle schématu na obr. 17. Jeden z konců vlnovce je zafixován a druhý, volný konec, je ohýbán v kruhovém oblouku okolo trnu o určitém ohybovém průměru *r*. Jeden ohybový cyklus zahrnuje jeden ohyb do polohy 90° a zpět do výchozí rovné polohy. Doporučená frekvence ohýbání je od 5 do 15 cyklů za minutu [3].

Po této zkoušce je pak vlnovec podroben zkoumání, kdy se posuzuje, zda nedošlo k viditelnému poškození těsnosti nebo jakémukoli jinému mechanickému poškození. Testují se jak hadice (s opletem, i bez opletu), tak trubky [3].



Obr. 17 Ohybový test [3]

Legenda

1 trn,

2 vlnovec,

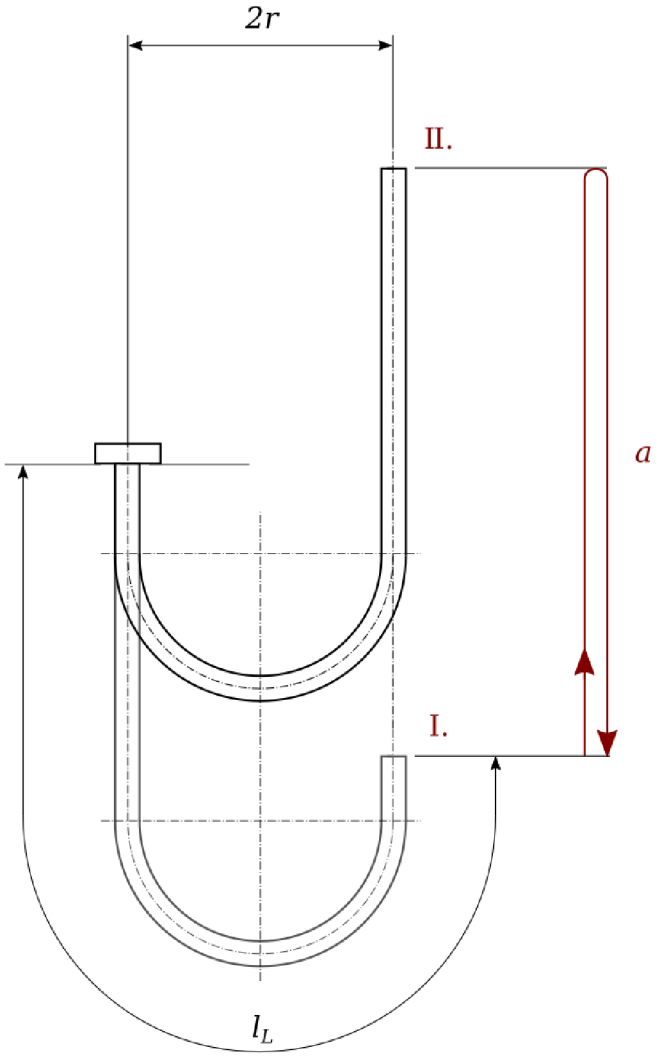
r poloměr ohybu [mm],

a dráha pohybu [–] [3].

Hadice, až do rozměru DN 100 (včetně), jsou dále podrobeny testu „U-bend test“. Jedná se o testování ohybem, kde hadice je namontována tak, aby formovala vertikální smyčku ve tvaru písmene „U“, zobrazená na obr. 18 [3].

Vzorek je na jednom konci pevně ukotven a poté je cyklicky namáhán, kde druhý volný konec se vertikálně pohybuje z výchozí polohy I. do maximální polohy II. Standardní rychlost zatěžování je 5 až 30 cyklů za minutu. Před a během testování se nesmí užívat jakékoli mazací prostředky.

Po této zkoušce je vzorek podroben podrobnějšímu zkoumání. Selhání je pak definováno jako únik tlaku nebo redukce průměru hadice více jak o 50% (porovnává se průměr před a po cyklickém zatěžování) [3].



Obr. 18 U-bend test [3]

Legenda

I. volný konec vlnovce ve výchozí poloze,

II. volný konec vlnovce v maximální poloze,

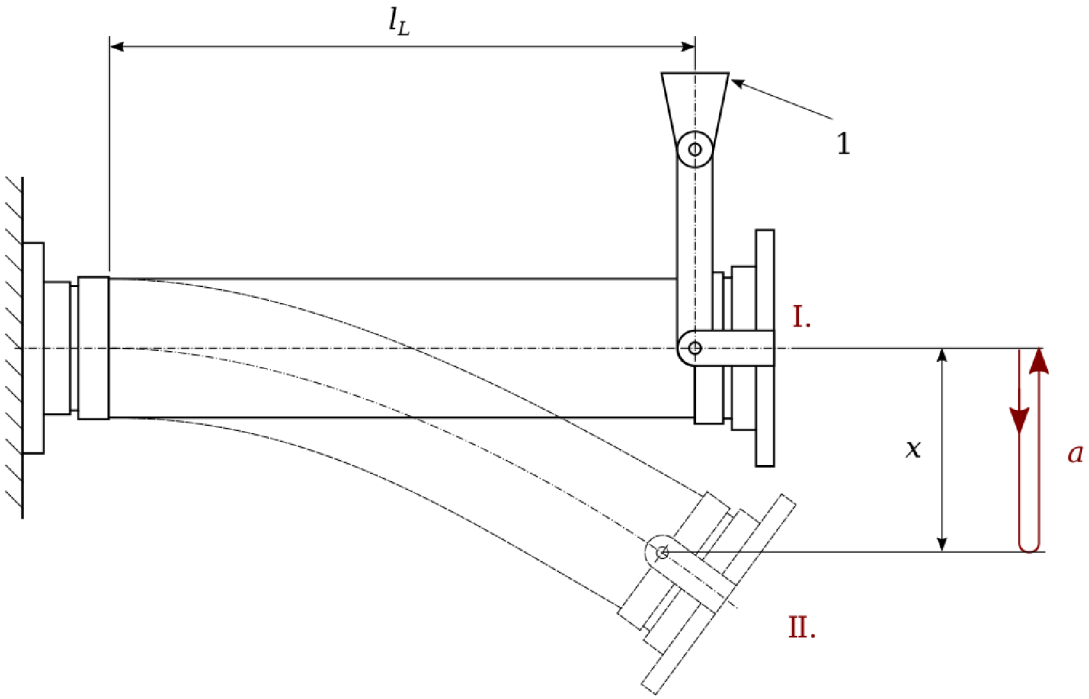
$2r$ průměr ohybu [mm],

l_L aktivní délka [mm],

a dráha pohybu [–] [3].

4.7 ZKOUŠKA PRŮHYBU

Jako poslední cyklický test hadic, který je znázorněn na obr. 19, je zkouška průhybu vetknutého vzorku, kde je jeden konec nepohyblivě upevněn a druhý konec je zatížen silou, kterou je dosaženo laterální výchylky *x*. Aktivní délka l_L musí být šestinásobek jmenovitého rozměru DN. Hadice je tak podrobena střídavému zatěžování s frekvencí od 3 do 15 cyklů za minutu [3].



Obr. 19 Test průhybu [3]

Legenda

1 pohyblivé upevnění volného konce,

I. volný konec vlnovce ve výchozí poloze,

II. volný konec vlnovce v maximální poloze,

x průhyb [mm],

l_L aktivní délka [mm],

a dráha pohybu [–] [3].

5 ANALÝZA VYBRANÝCH PARAMETRŮ TEXTURY POVRCHU VSTUPNÍHO MATERIÁLU

Na základě konzultací s výrobcem nerezových vlnovců a vedoucím diplomové práce byla provedena analýza vybraných parametrů textury povrchu vstupního materiálu.

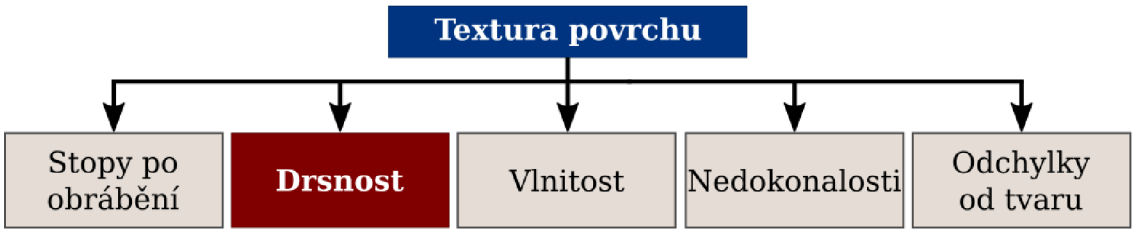
Při výrobě docházelo k rychlejšímu opotřebení kalibračních nástrojů. Tím vzniklo podezření, že kvalita povrchu jednotlivých plechů není stejná. Výrobcem byly z jednotlivých dodávek plechů vyčleněny dobré a špatné pásky, ze kterých byly vytvořeny testovací vzorky, uvedené v tab. 9. Všechny vzorky stejných materiálů mají přibližně podobné chemické složení. Podrobnější závěr by bylo možné provést až po komplexní materiálové analýze [7].

Vzhledem k diskrétnosti nejsou v této práci uvedeny přesné názvy firem dodavatelů polotovarů, nýbrž jsou označeny jako „Dodavatel A“ a „Dodavatel B“.Bylo celkem zajištěno pět vzorků. Tři vzorky od „Dodavatele A“ a dva vzorky od „Dodavatele B“.

Tab. 9 Testované vzorky [7]

Označení pásku	Stav pásku	Rozměry [mm]	Materiál	Výrobce
A_304_nok	Špatný	85,2 × 0,3	AISI 304, 1.4301	Dodavatel A
A_304_ok	Dobrý	60,0 × 0,2	AISI 304, 1.4301	Dodavatel A
A_316L_ok	Dobrý	75,5 × 0,3	AISI 316L, 1.4404	Dodavatel A
B_304L_nok	Špatný	75,5 × 0,3	AISI 304L, 1.4306	Dodavatel B
B_304L_ok	Dobrý	60,0 × 0,3	AISI 304L, 1.4306	Dodavatel B

Hodnocení textury povrchu se dále dělí na menší části jako: stopy po obrábění, drsnost, vlnitost, nedokonalosti a odchylky od tvaru (viz obr. 20) [8].



Obr. 20 Rozdělení textury povrchu

Tato kapitola je výhradně zaměřena na parametry drsnosti, a to především:

- *Rp* – největší výška výstupku profilu [µm],
- *Rv* – největší hloubka prohlubně profilu [µm],
- *Rz* – největší výška profilu [µm],
- *Rc* – průměrná výška prvků profilu [µm],
- *Ra* – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [µm],
- *Rq* – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu [µm],
- *Rsk* – šikmost posuzovaného profilu [–],
- *Rku* – špičatost posuzovaného profilu [–] [8].

Z analýzy byl vypuštěn parametr *Rt*, jelikož v tomto případě odpovídá hodnotě *Rz*, ve smyslu normy ISO 4287. Všechna měření byla provedena s filtrem Cut-off 0,8 mm [7].

Vzorky od byly nasnímány v pořadí:

1. vzorek A_304_ok,
2. vzorek A_304_nok,
3. srovnání vzorků A_304_ok a A_304_nok,
4. vzorek A_316L_ok,
5. srovnání dobrých vzorků A_304_ok a A_316L_ok,

Dodavatel A

6. vzorek B_304L_ok,
7. vzorek B_304L_nok,
8. srovnání vzorků B_304L_ok a B_304L_nok.

Dodavatel B

Analýza uvedených vzorků byla provedena přístrojem Taylor Hobson CCI Lite, který je zobrazen na obr. 21. Jedná se o bezdotykový profilometr, využívající koherentní korelační interferometrie. Vyznačuje se především těmito vlastnostmi:

- přesná kvantitativní charakteristika profilu povrchu,
- automatické nedestruktivní měření součásti,
- rychlé a bezproblémové nastavování měřených vzorků,
- měření širokého sortimentu povrchů různých materiálů,
- vysoká úroveň opakovatelnosti měření,
- hodnocení drsnosti povrchu z jednoho měření.

Profilometr je vybaven snímačem obrazu o rozlišení 1024 × 1024 pixelů a třemi objektivy s optickým zvětšením 10×, 20× a 50×, typu Mirau. Měření povrchu byla provedena s použitím objektivu 20×. Pro vyhodnocení byl využit program TalyMap Gold, který disponuje funkcemi jako: interpolační doplnění nenaskenovaných bodů, vyrovnání skenované oblasti, odstranění tvaru měřené součástky, vyhodnocení parametrů textury povrchu a mnoho dalších [7].

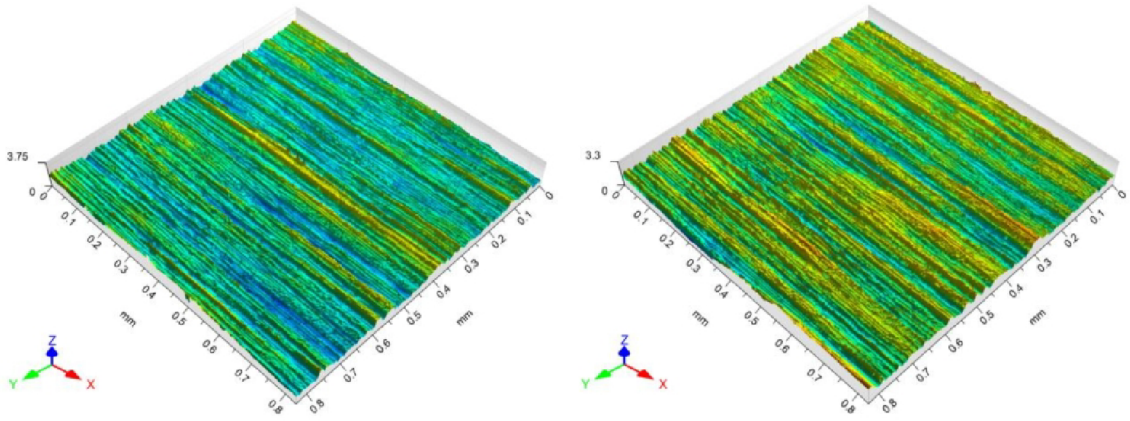
Obr. 21 Optický profilometr Taylor Hobson CCI Lite [5]

5.1 HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU VZORKŮ DODAVATELE A

Tato část srovnává parametry drsnosti vzorků „Dodavatele A“: A_304_ok, A_304_nok a A_316L_ok.

5.1.1 VZOREK A_304_OK

Na obr. 22 je zobrazena naskenovaná textura povrchu obou dvou stran vzorku A_304_ok. Strana 1 na obr. 22 a) a strana 2 na obr. 22 b). Lze předpokládat, že oba povrchy jsou si hodně podobné a mohou vykazovat přibližně stejné parametry drsnosti povrchu [7].



a) b)

Obr. 22 Povrch vzorku A_304_ok (a) strana 1 (b) strana 2 [7]

Jednotlivé naměřené průměrné hodnoty parametrů byly mezi sebou navzájem porovnány v tab. 10. Vhodné parametry pro srovnání jsou především: *Rz* a *Ra*. Srovnání průměrů je provedeno v poměru podle rovnice (3) [7]:

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Strana\ 1}{Strana\ 2} . 100 \qquad (3)$$

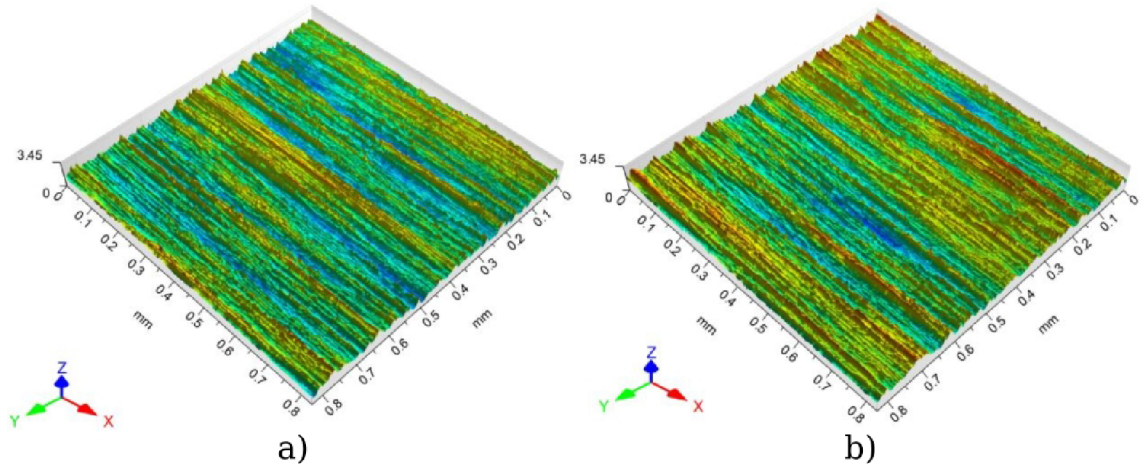
Procentuální rozdíl pro *Rz* je **5%** a *Ra* **1%**. Na základě tohoto srovnání v tab. 10, lze obě strany prohlásit, z pohledu drsnosti, za přibližně shodné [7].

Tab. 10 Parametry drsnosti vzorku A_304_ok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,551	2,084	0,876	0,526	1,409	0,784	12%
Rv [µm]	0,440	1,257	0,645	0,470	1,211	0,666	3%
Rz [µm]	1,186	2,772	1,520	1,040	2,237	1,450	**5%**
Rc [µm]	0,330	0,896	0,562	0,320	0,840	0,571	2%
Ra [µm]	0,187	0,255	0,218	0,172	0,246	0,215	**1%**
Rq [µm]	0,233	0,307	0,273	0,219	0,299	0,264	3%
Rsk [–]	-0,180	1,031	0,475	-0,211	0,550	0,158	201%
Rku [–]	2,311	6,443	3,196	2,171	3,669	2,611	22%

5.1.2 VZOREK A_304_NOK

Na obr. 23 je zobrazena naskenovaná textura povrchu obou dvou stran vzorku A_304_nok. Strana 1 na obr. 23 a) a strana 2 na obr. 23 b). Lze předpokládat, že oba povrchy jsou si podobné a mohou vykazovat přibližně stejné parametry drsnosti povrchu [7].



Obr. 23 Povrch vzorku A_304_nok (a) strana 1 (b) strana 2 [7]

Jednotlivé naměřené průměrné hodnoty parametrů byly mezi sebou navzájem porovnány v tab. 11. Vhodné parametry pro srovnání jsou především: *Rz* a *Ra*. Srovnání průměrů je provedeno v poměru podle rovnice (4) [7]:

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Strana\ 1}{Strana\ 2} . 100 \qquad (4)$$

Procentuální rozdíl pro *Rz* a *Ra* se pohybuje do **1%**. Na základě tohoto srovnání v tab. 11, lze obě strany prohlásit, z pohledu drsnosti, za shodné [7].

Tab. 11 Parametry drsnosti vzorku A_304_nok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,724	1,716	0,966	0,665	1,741	0,962	0%
Rv [µm]	0,555	1,120	0,750	0,520	1,382	0,775	3%
Rz [µm]	1,395	2,541	1,715	1,246	2,700	1,737	**1%**
Rc [µm]	0,425	1,062	0,695	0,498	1,049	0,772	10%
Ra [µm]	0,232	0,303	0,272	0,215	0,336	0,271	**0%**
Rq [µm]	0,295	0,375	0,336	0,272	0,410	0,336	0%
Rsk [–]	0,038	0,652	0,278	-0,050	0,718	0,335	17%
Rku [–]	2,273	3,299	2,650	2,258	3,580	2,687	1%

5.1.3 SROVNÁNÍ DRSNOSTI VZORKU A_304_OK A A_304_NOK

Tato kapitola je zaměřena na srovnání parametrů drsnosti dobrého vzorku od „Dodavatele A“: A_304_ok a špatného vzorku A_304_nok.

Pro snadnější hledání rozdílů v parametrech drsnosti obou vzorků byla vytvořena tab. 12. Tabulka obsahuje průměrné hodnoty vzorků A_304_ok a A_304_nok. Jsou vždy porovnávány hodnoty pro příslušnou stranu vzorku podle rovnice (5) a (6) [7]:

$$Poměr\ 1 = \frac{Strana\ 1(A_304_nok)}{Strana\ 1(A_304_ok)} . 100 \tag{5}$$

$$Poměr\ 2 = \frac{Strana\ 2(A_304_nok)}{Strana\ 2(A_304_ok)} . 100 \tag{6}$$

Tab. 12 Poměry průměrné drsnosti obou stran A_304_nok k hodnotám A_304_ok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2		
	A_304_nok	**A_304_ok**	**Poměr 1**	**A_304_nok**	**A_304_ok**	**Poměr 2**
Rp	0,966 µm	0,876 µm	+10%	0,962 µm	0,784 µm	+23%
Rv	0,750 µm	0,645 µm	+16%	0,775 µm	0,666 µm	+16%
Rz	1,715 µm	1,520 µm	+13%	1,737 µm	1,450 µm	+20%
Rc	0,695 µm	0,562 µm	**+24%**	0,772 µm	0,571 µm	**+35%**
Ra	0,272 µm	0,218 µm	**+25%**	0,271 µm	0,215 µm	+26%
Rq	0,336 µm	0,273 µm	+23%	0,336 µm	0,264 µm	**+27%**
Rsk	0,278	0,475	-41%	0,335	0,158	+112%
Rku	2,650	3,196	-17%	2,687	2,611	+3%

Pokud jsou porovnány parametry *Rp*, *Rv*, *Rz*, *Rc*, *Ra* a *Rq*. Pak u strany 1 na změnu nejcitlivěji reagovaly parametry *Rc* a *Ra*. Nárůsty hodnot pro stranu 1 vzorku A_304_nok jsou [7]:

- *Rc*= **+24%**,
- *Ra*= **+25%** [7].

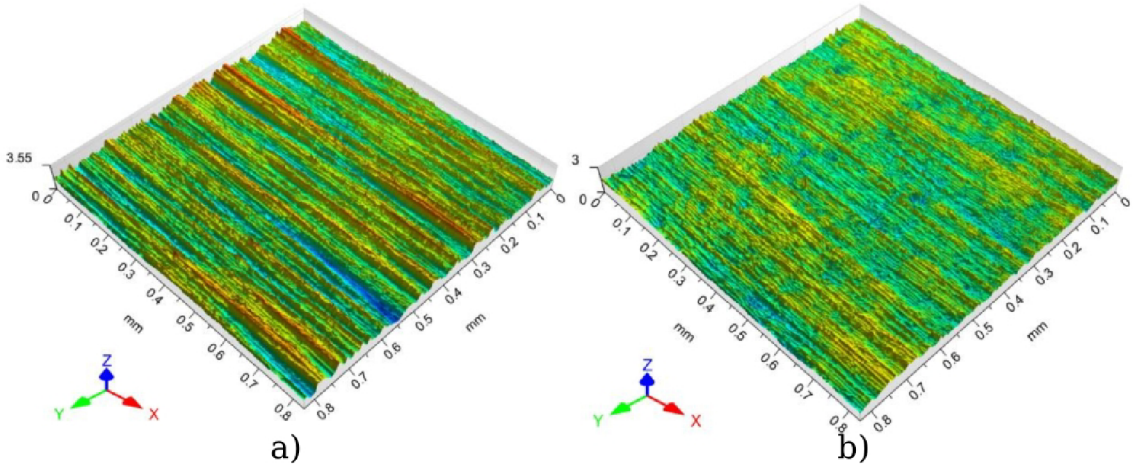
U strany 2 na změnu nejcitlivěji reagovaly parametry *Rc* a *Rq*. Nárůsty hodnot pro stranu 2 vzorku A_304_nok jsou [7]:

- *Rc*= **+35%**,
- *Rq*= **+27%** [7].

Na základě tab. 12 lze konstatovat, že drsnost vzorku **A_304_nok** je obecně **větší** než u vzorku **A_304_ok** [7].

5.1.4 VZOREK A_316L_OK

Na obr. 24 je zobrazena naskenovaná textura povrchu obou dvou stran vzorku A_316L_ok. Strana 1 na obr. 24 a) a strana 2 na obr. 24 b). Lze předpokládat, že oba povrchy jsou si přibližně podobné a mohou vykazovat přibližně stejné parametry drsnosti povrchu [7].



Obr. 24 Povrch vzorku A_316L_ok (a) strana 1 (b) strana 2 [7]

Jednotlivé naměřené průměrné hodnoty parametrů byly mezi sebou navzájem porovnány v tab. 13. Vhodné parametry pro srovnání jsou především: *Rz* a *Ra*. Srovnání průměrů je provedeno v poměru podle rovnice (7) [7]:

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Strana\ 1}{Strana\ 2} . 100 \qquad (7)$$

Procentuální rozdíl pro *Rz* je **3%** a *Ra* **5%**. Na základě tohoto srovnání v tab. 13, lze obě strany prohlásit, z pohledu drsnosti, za přibližně shodné [7].

Tab. 13 Parametry drsnosti vzorku A_316L_ok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,703	1,837	1,006	0,743	1,760	0,995	1%
Rv [µm]	0,579	1,561	0,862	0,678	1,602	0,927	7%
Rz [µm]	1,418	2,627	1,868	1,510	2,677	1,922	**3%**
Rc [µm]	0,450	1,022	0,725	0,507	1,167	0,772	6%
Ra [µm]	0,227	0,318	0,280	0,245	0,337	0,295	**5%**
Rq [µm]	0,290	0,395	0,351	0,311	0,414	0,363	3%
Rsk [–]	-0,081	0,795	0,316	-0,184	0,486	0,116	172%
Rku [–]	2,428	3,730	2,819	2,193	3,341	2,571	10%

5.1.5 SROVNÁNÍ DRSNOSTI DOBRÝCH VZORKŮ A_304_OK A A_316L_OK

Tato kapitola je zaměřena na srovnání parametrů drsnosti dobrých vzorků od „Dodavatele A“: A_304_ok a A_316L_ok.

Pro snadnější hledání rozdílů v parametrech drsnosti obou vzorků byla vytvořena tab. 14. Tabulka obsahuje průměrné hodnoty vzorků A_304_ok a A_316L_ok. Jsou vždy porovnávány hodnoty pro příslušnou stranu vzorku podle rovnice (8) a (9) [7]:

$$Poměr\ 1 = \frac{Strana\ 1(A_316L_ok)}{Strana\ 1(A_304_ok)}.100 \tag{8}$$

$$Poměr\ 2 = \frac{Strana\ 2(A_316L_ok)}{Strana\ 2(A_304_ok)}.100 \tag{9}$$

Tab. 14 Poměry průměrné drsnosti obou stran A_316L_ok k hodnotám A_304_ok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2		
	A_304_ok	**A_316L_ok**	**Poměr 1**	**A_304_ok**	**A_316L_ok**	**Poměr 2**
Rp	0,876 µm	1,006 µm	+15%	0,784 µm	0,995 µm	+27%
Rv	0,645 µm	0,862 µm	**+34%**	0,666 µm	0,927 µm	**+39%**
Rz	1,520 µm	1,868 µm	+23%	1,450 µm	1,922 µm	+33%
Rc	0,562 µm	0,725 µm	**+29%**	0,571 µm	0,772 µm	+35%
Ra	0,218 µm	0,280 µm	+28%	0,215 µm	0,295 µm	+37%
Rq	0,273 µm	0,351 µm	**+29%**	0,264 µm	0,363 µm	**+38%**
Rsk	0,475	0,316	-33%	0,158	0,116	-27%
Rku	3,196	2,819	-12%	2,611	2,571	-2%

Pokud jsou porovnány parametry *Rp*, *Rv*, *Rz*, *Rc*, *Ra* a *Rq*. Pak u strany 1 na změnu nejcitlivěji reagovaly parametry *Rv*, *Rc*, a *Rq*. Nárůsty hodnot pro stranu 1 vzorku A_316L_ok jsou [7]:

- *Rv*= **+34%**,
- *Rc*, *Rq*= **+29%** [7].

U strany 2 na změnu nejcitlivěji reagovaly parametry *Rv* a *Rq*. Nárůsty hodnot pro stranu 2 vzorku A_316L_ok jsou [7]:

- *Rv*= **+39%**,
- *Rq*= **+38%** [7].

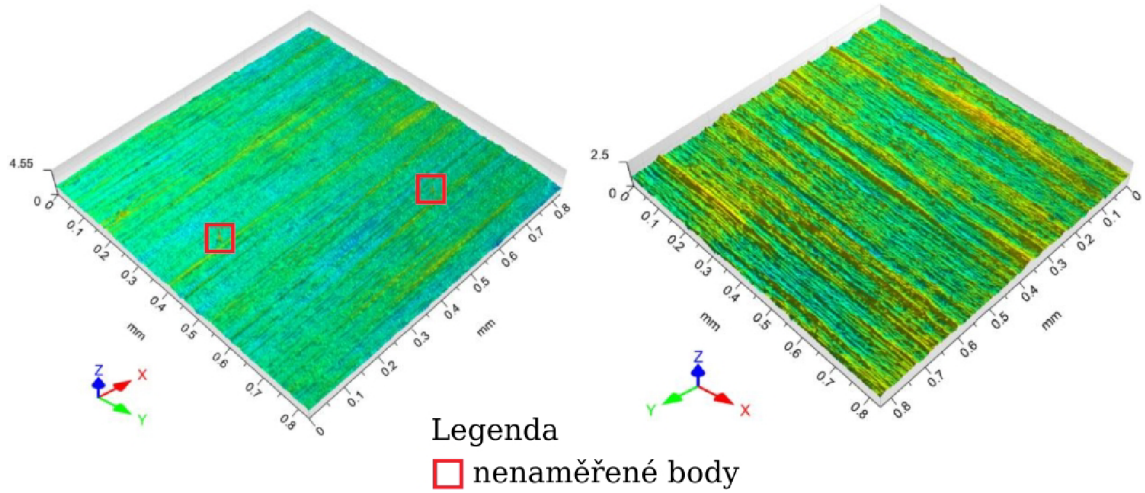
Na základě tab. 14 lze konstatovat, že drsnost vzorku **A_316L_ok** je obecně **větší** než u vzorku **A_304_ok**. I když výrobce oba vzorky označil jako dobré, bylo by vhodné, na základě tohoto měření, aby výrobce stanovil pro různé typy materiálů polotovarů odlišné požadavky na parametry drsnosti. V tomto případě zvlášť pro pásek s označením A_304_ok a A_316L_ok [7].

5.2 HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU VZORKŮ DODAVATELE B

Tato část srovnává parametry drsnosti vzorků „Dodavatele B“: B_304L_ok a B_304L_nok.

5.2.1 VZOREK B_304L_OK

Na obr. 25 je zobrazena naskenovaná textura povrchu obou dvou stran vzorku B_304L_ok. Strana 1 na obr. 25 a) a strana 2 na obr. 25 b). Lze předpokládat, že oba povrchy jsou si přibližně podobné a mohou vykazovat přibližně stejné parametry drsnosti povrchu [7].



Obr. 25 Povrch vzorku B_304L_ok (a) strana 1 (b) strana 2 [7]

Během měření byly u strany 1 zaznamenány dva neměřitelné body, které jsou na obr. 25 a) označeny červeně. Tyto body nebyly do výpočtu zahrnuty [7].

Jednotlivé naměřené průměrné hodnoty parametrů byly mezi sebou navzájem porovnány v tab. 15. Vhodné parametry pro srovnání jsou především: *Rz* a *Ra*. Srovnání průměrů je provedeno v poměru podle rovnice (10) [7]:

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Strana\ 1}{Strana\ 2} . 100 \qquad (10)$$

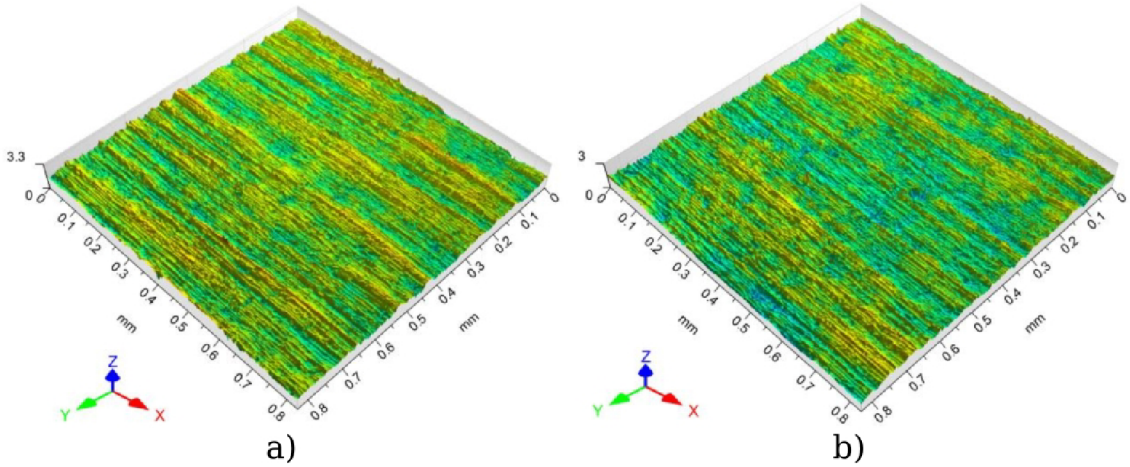
Procentuální rozdíl pro *Rz* je **16%** a *Ra* **12%**. Na základě tohoto srovnání v tab. 15, lze obě strany prohlásit, z pohledu drsnosti, za přibližně podobné [7].

Tab. 15 Parametry drsnosti vzorku B_304L_ok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,407	0,905	0,510	0,342	1,001	0,474	8%
Rv [µm]	0,320	0,975	0,496	0,194	0,931	0,391	27%
Rz [µm]	0,770	1,453	1,006	0,571	1,483	0,865	**16%**
Rc [µm]	0,276	0,480	0,368	0,151	0,671	0,332	11%
Ra [µm]	0,098	0,141	0,122	0,085	0,129	0,109	**12%**
Rq [µm]	0,127	0,181	0,155	0,111	0,172	0,140	11%
Rsk [–]	-0,093	0,847	0,379	-0,213	1,274	0,695	45%
Rku [–]	2,838	4,793	3,387	2,617	5,773	3,632	7%

5.2.2 VZOREK B_304L_NOK

Na obr. 26 je zobrazena naskenovaná textura povrchu obou dvou stran vzorku B_304L_nok. Strana 1 na obr. 26 a) a strana 2 na obr. 26 b). Lze předpokládat, že oba povrchy jsou si přibližně podobné a mohou vykazovat přibližně stejné parametry drsnosti povrchu [7].



Obr. 26 Povrch vzorku B_304L_nok (a) strana 1 (b) strana 2 [7]

Jednotlivé naměřené průměrné hodnoty parametrů byly mezi sebou navzájem porovnány v tab. 16. Vhodné parametry pro srovnání jsou především: *Rz* a *Ra*. Srovnání průměrů je provedeno v poměru podle rovnice (11) [7]:

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Strana\ 1}{Strana\ 2} . 100 \qquad (11)$$

Procentuální rozdíl pro *Rz* je **5%** a *Ra* **17%**. Na základě tohoto srovnání v tab. 16, lze obě strany prohlásit, z pohledu drsnosti, za přibližně podobné [7].

Tab. 16 Parametry drsnosti vzorku B_304L_nok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,464	1,624	0,681	0,408	1,198	0,602	13%
Rv [µm]	0,342	1,470	0,548	0,323	1,188	0,566	3%
Rz [µm]	0,871	2,299	1,229	0,767	1,835	1,168	**5%**
Rc [µm]	0,266	0,817	0,473	0,236	0,656	0,406	17%
Ra [µm]	0,131	0,194	0,163	0,115	0,165	0,139	**17%**
Rq [µm]	0,166	0,237	0,202	0,143	0,206	0,178	13%
Rsk [–]	-0,919	1,067	0,389	-0,987	1,151	0,323	20%
Rku [–]	2,239	8,185	2,951	2,518	7,021	3,408	13%

5.2.3 SROVNÁNÍ DRSNOSTI VZORKŮ B_304L_OK A B_304L_NOK

Tato kapitola je zaměřena na srovnání parametrů drsnosti dobrých vzorků od „Dodavatele B“ B_304L_ok a B_304L_nok.

Pro snadnější hledání rozdílů v parametrech drsnosti obou vzorků byla vytvořena tab. 17. Tabulka obsahuje průměrné hodnoty vzorků B_304L_ok a B_304L_nok. Jsou vždy porovnávány hodnoty pro příslušnou stranu vzorku podle rovnice (12) a (13) [7]:

$$Poměr\,1 = \frac{Strana\,1(B_304\,L_nok)}{Strana\,1(B_304\,L_ok)}.100 \tag{12}$$

$$Poměr\,2 = \frac{Strana\,2(B_304\,L_nok)}{Strana\,2(B_304\,L_ok)}.100 \tag{13}$$

Tab. 17 Poměry průměrné drsnosti obou stran B_304L_nok k hodnotám B_304L_ok [7]

Parametr	Strana 1			Strana 2		
	B_304L_nok	B_304L_ok	Poměr 1	B_304L_nok	B_304L_ok	Poměr 2
Rp	0,681 µm	0,510 µm	**+34%**	0,602 µm	0,474 µm	+27%
Rv	0,548 µm	0,496 µm	+11%	0,566 µm	0,391 µm	**+45%**
Rz	1,229 µm	1,006 µm	+22%	1,168 µm	0,865 µm	**+35%**
Rc	0,473 µm	0,368 µm	+29%	0,406 µm	0,332 µm	+22%
Ra	0,163 µm	0,122 µm	**+34%**	0,139 µm	0,109 µm	+28%
Rq	0,202 µm	0,155 µm	+30%	0,178 µm	0,140 µm	+27%
Rsk	0,389	0,379	+3%	0,323 µm	0,695 µm	-53%
Rku	2,951	3,387	-13%	3,408 µm	3,632 µm	-6%

Pokud jsou porovnány parametry *Rp*, *Rv*, *Rz*, *Rc*, *Ra* a *Rq*. Pak u strany 1 na změnu nejcitlivěji reagovaly parametry *Rp* a *Ra*. Nárůsty hodnot pro stranu 1 vzorku B_304L_nok jsou [7]:

- *Rp*, *Ra*= **+34%** [7].

U strany 2 na změnu nejcitlivěji reagovaly parametry *Rv* a *Rz*. Nárůsty hodnot pro stranu 2 vzorku B_304L_nok jsou [7]:

- *Rv*= **+45%**,
- *Rz*= **+35%** [7].

Na základě tab. 17 lze konstatovat, že drsnost vzorku **B_304L_nok** je obecně **větší** než u vzorku **B_304L_ok** [7].

5.3 ZÁVĚRY K JEDNOTLIVÝM DODAVATELŮM

Podle výsledků provedených měření a vypočtených hodnot parametrů drsnosti pro jednotlivé vzorky je možné formulovat závěry k jednotlivým dodavatelům [7].

Závěry ke vzorkům od „Dodavatele A“ [7]:

- Na základě měření poskytnutých vzorků lze konstatovat, že pásek s označením **A_304_nok** má obecně **větší drsnost**, než **A_304_ok**. Pro stranu 1 byl největší nárůst parametrů drsnosti vzorku A_304_nok byl zaznamenán u hodnot *Rc* (změna o +24%) a *Ra* (změna o +25%) a pro stranu 2 u hodnot *Rc* (změna o +35%) a *Rq* (změna o +27%) [7].
- Na základě srovnání dobrých vzorků A_304_ok a A_316L_ok lze konstatovat, že pásek s označením **A_316L_ok** má obecně **vyšší drsnost** než **A_304_ok**. Pro stranu 1 byla významná změna zaznamenána u parametrů *Rv* (změna o +34%) a *Rc*, *Rq* (změna o +29%). Pro stranu 2 pak na změnu nejcitlivěji reagoval *Rv* (změna o +39%) a *Rq* (změna o +38%). I přesto, že byly vzorky výrobcem označeny jako dobré, na základě provedených měření byl zaznamenám významný rozdíl v jejich kvalitě povrchu. Bylo by proto vhodné, stanovit specifické požadavky na drsnost, pro každý typ pásku, zvlášť [7].

Závěry ke vzorkům od „Dodavatele B“ [7]:

- Na základě poskytnutých vzorků s označením B_304L_ok a B_304L_nok lze konstatovat, že pásek **B_304L_nok** má obecně **větší drsnost** než **B_304L_ok**. Pro stranu 1 byl zaznamenán největší nárůst u parametrů *Rp* a *Ra* (změna o +34%). Pro stranu 2 jsou nejcitlivějším indikátorem parametry *Rv* (změna o +45%) a *Rz* (změna o +35%) [7].

5.4 HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU NÁSTROJE KORUGÁTORU

Tato kapitola je zaměřena na monitorování degradace nástroje a jeho vlivu na kvalitu textury povrchu vlnovce. Nejdříve je popsán experiment a jeho cíle, dále je stanoven měřící postup a vyhodnocení jednotlivých měření.

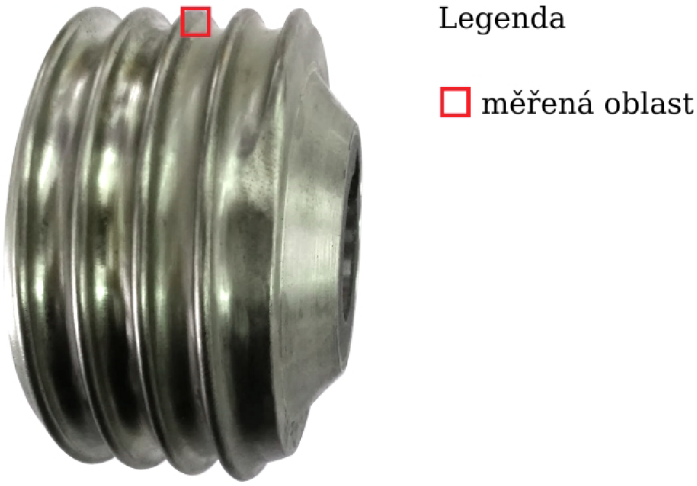
Jelikož povrch polotovaru (plechu) je v neustálém kontaktu s výrobním nástrojem, dochází k postupné degradaci výrobního nástroje a ovlivňuje výslednou kvalitu textury povrchu vlnovce. Tento defekt byl popsán v kap. 3.3 Defekty vlnovce při výrobě (viz obr. 16).

Na základě konzultací s výrobcem byl navržen experiment, kdy je porovnávána kvalita nového (přebroušeného) nástroje s částečně opotřebeným, v přímé souvislosti vzniku odřenin na povrchu vlnovce. Cílem tohoto experimentu je popsat, jak se mění kvalita textury povrchu (nástroje i vlnovce) v čase.

Postup experimentu:

1. výběr nástrojů s největší pravděpodobností výskytu opotřebení,
2. určení nejčastějších oblastí opotřebení,
3. srovnání parametrů drsnosti nástroje a vyrobeného vlnovce po najetí výroby a po měsíci provozu nástroje.

Výrobcem byly stanoveny dva nástroje, u kterých vzniká největší a nejčastější opotřebení. Byly změřeny oba nástroje, ale k hodnocení byl vybrán pouze jeden z nich. Zvolený nástroj č. 5c je zobrazen na obr. 27. Červeně je ohraničena oblast, která byla nasnímána a porovnávána.



Obr. 27 Nástroj korugátoru č. 5c

Na přání výrobce zde nejsou uvedeny bližší technické informace, jako např. technické výkresy a rozměry nástroje.

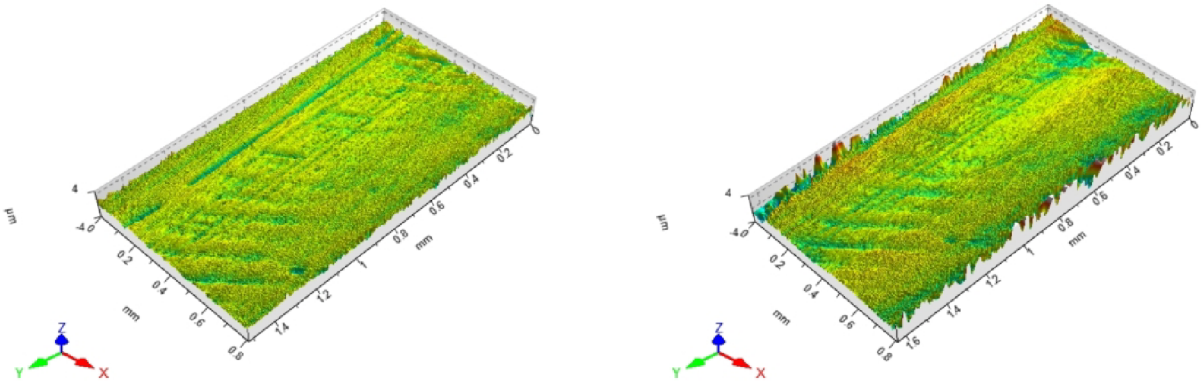
Výchozí stav byl označen jako počátek výroby s nově přebroušeným nástrojem, který byl změřen, spolu s vlnovcem po najetí výroby (DN 20). Po měsíci provozu nástroje bylo vyrobeno přibližně 20 km vlnovce. Poté byl nástroj a vlnovec opět zkontrolován. Výsledky měření jsou uvedeny v následujících kapitolách.

5.4.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI NÁSTROJE A VLNOVCE

NÁSTROJ Č. 5C OD POČÁTKU VÝROBY A PO MĚSÍCI PROVOZU NÁSTROJE

Tato kapitola je zaměřena na srovnání parametrů drsnosti nástroje a vyrobeného vlnovce po najetí výroby a po měsíci provozu nástroje.

Na obr. 28 a) je zobrazen naskenovaný povrch neopotřebeného nástroje č. 5c a na obr. 28 b) částečně opotřebovaného. Oba povrchu vykazují určitou známku variability. Lze pozorovat zvlnění v levé části nasnímané oblasti.



a) b)

Obr. 28 Nástroj č. 5c (a) neopotřebovaný (b) částečně opotřebovaný

Na základě naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tab. 18, lze konstatovat, že všechny parametry drsnosti částečně opotřebeného nástroje vykazují vyšší hodnoty, než u neopotřebeného (přebroušeného). Porovnání průměrných hodnot pro jednotlivé parametry jsou vypočteny dle rovnice (14):

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Částečně\ opotřebený\ nástroj}{Neopotřebený\ nástroj} . 100 \qquad (14)$$

Po měsíci provozu nástroje byla zjištěna významná změna u parametrů *Rp* (nárůst o **+140%**) a *Rz* (nárůst o **+74%**).

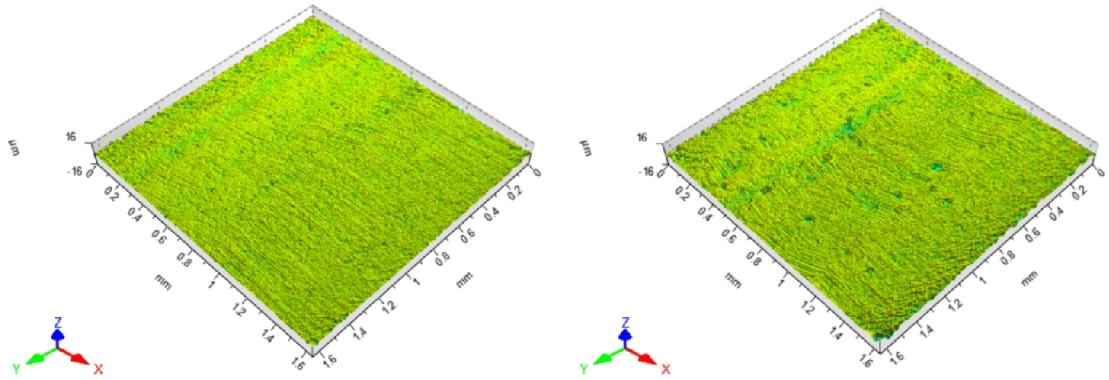
Tab. 18 Parametry drsnosti nástroje č. 5c

Parametr	Neopotřebený nástroj			Částečně opotřebený nástroj			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,378	1,374	0,668	0,640	6,220	1,600	**+140%**
Rv [µm]	0,656	2,269	1,265	0,774	6,426	1,771	+40%
Rz [µm]	1,165	3,217	1,933	1,762	9,734	3,371	**+74%**
Rc [µm]	0,436	1,334	0,647	0,585	4,253	1,054	+63%
Ra [µm]	0,140	0,374	0,208	0,226	0,494	0,339	+63%
Rq [µm]	0,197	0,467	0,278	0,318	0,718	0,464	+67%
Rsk [–]	-3,302	0,418	-1,036	-5,679	2,333	-0,428	-59%
Rku [–]	2,410	18,400	6,203	1,827	55,815	6,236	+1%

VLNOVEC OD POČÁTKU VÝROBY A PO MĚSÍCI PROVOZU NÁSTROJE

V této části jsou vyhodnoceny parametry drsnosti vyrobeného vlnovce od počátku výroby a po měsíci provozu nástroje, aby bylo zjištěno, jaký vliv má opotřebení nástroje na výstupní kvalitu povrchu vlnovce.

Na obr. 29 a) je znázorněn nasnímaný povrch vlnovce po najetí výroby a na obr. 29 b) po měsíci provozu nástroje. Oba povrchy jsou si podobné, s tím rozdílem, že na povrchu vlnovce na obr. 29 b) jsou patrné malé krátery a jejich průměr se pohybuje přibližně kolem 50 µm. Lze tedy předpokládat, že tento povrch má větší parametry drsnosti než je tomu na obr. 29 a).



Obr. 29 Povrch vlnovce (a) po najetí výroby (b) po měsíci provozu nástroje

Na základě naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tab. 19, lze konstatovat, že všechny parametry drsnosti vyrobeného vlnovce po měsíci provozu nástroje vykazují vyšší hodnoty, než u vlnovce po najetí výroby. Porovnání průměrných hodnot pro jednotlivé parametry jsou vypočteny dle rovnice (15):

$$Rozdíl\ průměrů = \frac{Po\ měsíci\ provozu\ nástroje}{Od\ počátku\ výroby} . 100 \qquad (15)$$

Například, změna parametru *Rz* vlnovce je po měsíci provozu nástroje o **+41%** a *Ra* o **+36%**.

Tab. 19 Parametry drsnosti vyrobeného vlnovce

Parametr	Od počátku výroby			Po měsíci provozu nástroje			Rozdíl průměrů
	Min.	Max.	Průměr	Min.	Max.	Průměr	
Rp [µm]	0,505	4,354	1,029	0,662	4,485	1,353	+31%
Rv [µm]	0,598	11,480	1,254	0,819	14,466	1,873	+49%
Rz [µm]	1,230	12,234	2,283	1,675	15,871	3,226	**+41%**
Rc [µm]	0,381	2,910	0,773	0,508	4,873	1,033	+34%
Ra [µm]	0,196	0,589	0,302	0,256	0,696	0,412	**+36%**
Rq [µm]	0,243	0,766	0,384	0,329	1,065	0,541	+41%
Rsk [–]	-10,512	2,167	-0,279	-9,849	2,271	-0,532	+91%
Rku [–]	2,0351	144,450	4,170	1,955	144,900	4,559	+9%

5.5 ZÁVĚRY K MĚŘENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI NÁSTROJE A VLNOVCE

Tato kapitola obsahuje shrnutí měření neopotřebeného, částečně opotřebeného nástroje a vyrobeného vlnovce po najetí do výroby a měsíci provozu. Za měsíc bylo vyrobeno celkem 20 062 m vlnovce.

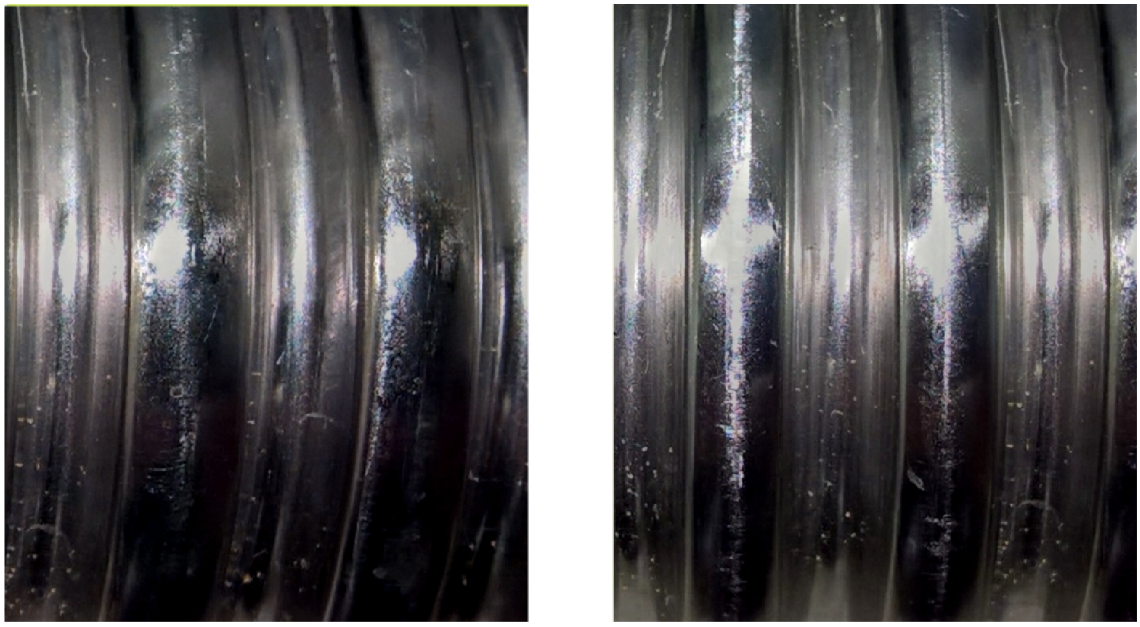
Podle naměřených a vyhodnocených dat, lze formulovat závěry k jednotlivým změnám parametrů drsnosti nástroje a vlnovce.

Nástroj:

- Po měsíci provozu nástroj vykazoval známky opotřebení. Největší změna byla zaznamenána u parametrů *Rp* (největší výška výstupku profilu) – nárůst o **+140%** a *Rz* (největší výška profilu) – nárůst o **+74%**.
- Změny jsou však v řádech mikrometrů a tedy pouhým okem neznatelné.

Vlnovec:

- Po měsíci provozu nástroje byla zaznamenána změna parametrů drsnosti u vyrobených vlnovců. Nejvhodnější parametry pro srovnání jsou *Rz* (největší výška profilu) a *Ra* (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu). U parametru *Rz* byl nárůst o **+41%**, u *Ra* o **+36%** původních hodnot měření.
- Vlnovec po měsíci provozu nástroje nevykazoval vyrobený vlnovec znatelné známky povrchového poškození (viz obr. 30).



Obr. 30 Povrch vlnovce (a) po najetí výroby (b) po měsíci provozu nástroje

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo hodnocení kvality nerezového vlnovce ve výrobě.

V první kapitole je popsán chronologický vývoj vnímání kvality výrobků ve světě. Tato část dále objasňuje pojmy jako: kvalita zaměřená na zákazníka a kvalita zaměřená na odstranění nedostatků. Dále je v této kapitole objasněno, jak nízká kvalita negativně ovlivňuje rozvoj výrobních podniků.

Druhá kapitola je věnována „Definování kvality nerezového vlnovce“. Popisuje jedno z možných členění jednotlivých skupin požadavků na nerezový vlnovec. Pomocí struktury těchto vlastností je objasněno chápání kvality nerezového vlnovce v současné době.

V kapitole 2.1 je popsána charakteristika a hlavní přednosti vlnovce. Kapitola 2.2 zdůvodňuje vhodnost použití vlnovce v praxi. Vlnovec je rozdělen na vlnovcové hadice (kap. 2.3) a trubky (kap. 2.4). Vlnovcové hadice jsou hojně využívány např. jako kompenzátory v automobilovém průmyslu, protože typický tvar zvlnění dokáže odolávat až desítkám tisíc cyklů mechanického zatěžování. Naproti tomu, pro statické potrubí jsou, díky stálé plastické deformaci zvlnění, využívány vlnovcové trubky. Jsou např. využívány pro výrobu solárních panelů nebo výměníků tepla. Pro srovnání jsou zde uvedeny základní technické parametry jako např. provozní tlak (kap. 2.5), teplota (kap. 2.6) a rychlost průtoku (kap. 2.7). Vlnovec musí splňovat určité výrobní tolerance, které jsou obecně stanovovány výrobcem a jsou uvedeny v kapitole 2.8. Doporučené způsoby spojování potrubí pro navýšení délky vlnovce jsou popsány v kapitole 2.9. Pro výrobu nerezového vlnovce jsou používány převážně materiály s dobrou až velmi dobrou svařitelností. V kapitole 2.10 je zahrnut seznam nejčastějších výrobních materiálů, spolu s ekvivalenty ocelí podle značení ČSN a W. Nr. (německé označení). Odolnost vůči korozi lze zvýšit přidáním ochranných prvků jako jsou např. anti-abrazivní vinutí, vnitřní nebo vnější pouzdro nebo ochrana vůči nadměrné deformaci. Seznam souvisejících předpisů a technických norem, kterých se výroba vlnovce týká, je v kapitole 2.11.

V kapitole tři je popsán obecný výrobní proces. Skládá se z několika na sebe navazujících operací: zakružování plechů, svařování trubky, tváření vlny a žíhání vlnovce. Pro vybrané operace byly identifikovány a popsány nejčastější defekty, které při nich vznikají. Jedná se např. o provaření svaru, nechtěné prodloužení a poškození povrchu vlivem výrobního nástroje. Poškození povrchu je nežádoucí a má za následek snížení kvality vyrobeného výrobku. Tyto vady jsou výrobcem hodnoceny jako závažné.

Postupy zkoušek mechanických vlastností, které jsou výrobcem ve výrobě prováděny jsou popsány v kapitole čtyři. Jedná se o zkoušky těsnosti, tlakové odolnosti, prodloužení, tlaku při roztržení, únavové životnosti, ohebnosti a průhybu.

Pátá kapitola je věnována hodnocení povrchů polotovarů (pásků plechu) od dvou různých dodavatelů. Výrobce poskytl celkem pět vzorků. Tři vzorky od „Dodavatele A“ a dva vzorky od „Dodavatele B“, které roztřídil na dobré a špatné pásky. Špatné pásky způsobovaly ve výrobě enormní opotřebení kalibračních nástrojů. U vzorků od „Dodavatele A“ byl mezi sebou porovnán dobrý a špatný pásek stejného materiálu a nakonec byly porovnány pásky různých materiálů, označeny jako dobré. U vzorků od „Dodavatele B“ byl pouze porovnán dobrý a špatný pásek.

Na základě provedených měření je možné formulovat závěry k jednotlivým dodavatelům. Z hlediska jednoduchosti a efektivity měření byly vždy pro jednotlivé srovnání vybrány tři parametry drsnosti podle kritéria největší změny. Maximální hodnoty jsou součtem průměrné hodnoty daného parametru drsnosti a směrodatné odchylky.

Závěry k „Dodavateli A“:

Na základě měření poskytnutých vzorků, uvedených v kapitole 5.1.3, lze tvrdit, že pásek s označením **A_304_nok** má obecně **větší drsnost**, než **A_304_ok**. Pro stranu 1 byl největší nárůst parametrů drsnosti vzorku A_304_nok byl zaznamenán u hodnot *Rc* (změna o +24%) a *Ra* (změna o +25%) a pro stranu 2 u hodnot *Rc* (změna o +35%) a *Rq* (změna o +27%). Tyto hodnoty jsou uvedeny níže v tab. 20.

Tab. 20 Srovnání vybraných parametrů drsnosti vzorku A_304_nok ku A_304_ok

Parametr	Strana 1			Strana 2		
	A_304_nok	A_304_ok	Poměr 1	A_304_nok	A_304_ok	Poměr 2
Rc	0,695 µm	0,562 µm	+24%	0,772 µm	0,571 µm	+35%
Ra	0,272 µm	0,218 µm	+25%	0,271 µm	0,215 µm	+26%
Rq	0,336 µm	0,273 µm	+23%	0,336 µm	0,264 µm	+27%

Bylo by vhodné, aby výrobce stanovil pro „Dodavatele A“ základní požadavky na parametry drsnosti pro vzorky s označením A_304 (materiál AISI 304). Plechy od „Dodavatele A“ nesmí překročit tyto max. hodnoty:

- *Rc*= 0,571+0,077= 0,648 µm,
- *Ra*= 0,218+0,015= 0,233 µm,
- *Rq*= 0,273+0,018= 0,291 µm.

Při dalším odebírání plechů s materiálovým označením AISI 304 od „Dodavatele A“ by bylo vhodné tyto vybrané parametry drsnosti kontrolovat, aby nepřesáhly stanovené limity.

Na základě srovnání dobrých vzorků A_304_ok a A_316L_ok, v kapitole 5.1.5, lze tvrdit, že pásek s označením **A_316L_ok** má obecně **vyšší drsnost** než **A_304_ok**. Pro stranu 1 byla významná změna zaznamenána u parametrů *Rv* (změna o +34%) a *Rc*, *Rq* (změna o +29%). Pro stranu 2 pak na změnu nejcitlivěji reagoval *Rv* (změna o +39%) a *Rq* (změna o +38%). Hodnoty pro srovnání těchto parametrů jsou uvedeny níže v tab. 21.

Tab. 21 Srovnání vybraných parametrů drsnosti vzorku A_316L_ok ku A_304_ok

Parametr	Strana 1			Strana 2		
	A_304_ok	A_316L_ok	Poměr 1	A_304_ok	A_316L_ok	Poměr 2
Rv	0,645 µm	0,862 µm	+34%	0,666 µm	0,927 µm	+39%
Rc	0,562 µm	0,725 µm	+29%	0,571 µm	0,772 µm	+35%
Rq	0,273 µm	0,351 µm	+29%	0,264 µm	0,363 µm	+38%

Oba vzorky jsou výrobcem označeny jako dobré, přesto je vhodné stanovit základní specifické požadavky na plechy od „Dodavatele A“ a jejich parametry drsnosti s označením A_316L (materiál AISI 316L), které nesmí překročit tyto max. hodnoty:

- *Rv*= 0,927+0,118= 1,045 µm,
- *Rc*= 0,725+0,093= 0,818 µm,
- *Rq*= 0,363+0,029= 0,392 µm.

Při dalším odebírání plechů s materiálovým označením AISI 316L od „Dodavatele A“ by bylo vhodné tyto vybrané parametry drsnosti kontrolovat, aby nepřesáhly stanovené limity. Tak bude zajištěna přijatelná úroveň kvality drsnosti.

Závěry k „Dodavateli B“:

Na základě poskytnutých vzorků s označením B_304L_ok a B_304L_nok, uvedené v kapitole 5.2.3, lze konstatovat, že pásek **B_304L_nok** má obecně **větší drsnost** než **B_304L_ok**. Pro stranu 1 byl zaznamenán největší nárůst u parametrů *Rp* a *Ra* (změna o +34%). Pro stranu 2 jsou nejcitlivějším indikátorem parametry *Rv* (změna o +45%) a *Rz* (změna o +35%). Konkrétní hodnoty jsou uvedeny níže v tab. 22.

Tab. 22 Srovnání vybraných parametrů drsnosti vzorku B_304L_nok ku B_304L_ok

Parametr	Strana 1			Strana 2		
	B_304L_nok	B_304L_ok	Poměr 1	B_304L_nok	B_304L_ok	Poměr 2
Rp	0,681 µm	0,510 µm	+34%	0,602 µm	0,474 µm	+27%
Rv	0,548 µm	0,496 µm	+11%	0,566 µm	0,391 µm	+45%
Rz	1,229 µm	1,006 µm	+22%	1,168 µm	0,865 µm	+35%

Aby byla zajištěna požadovaná kvalita povrchu vlnovce, měl by výrobce „Dodavateli B“ stanovit základní požadavky na parametry drsnosti pro vzorky s označením B_304L (materiál AISI 304L). Plechy od „Dodavatele B“ nesmí překročit tyto max. limity:

- *Rp*= 0,510+0,070= 0,580 µm,
- *Rv*= 0,496+0,099= 0,595 µm,
- *Rz*= 1,006+0,117= 1,123 µm.

Při dalším odebírání plechů s materiálovým označením AISI 304L od „Dodavatele B“ by bylo vhodné tyto vybrané parametry drsnosti kontrolovat, aby nepřesáhly stanovené limity. Tak bude zajištěna přijatelná úroveň kvality drsnosti.

Nad rámec zadání bylo provedeno zhodnocení opotřebení nástroje po měsíci v provozu, spolu s analýzou parametrů drsnosti vyrobeného vlnovce. Tato analýza, uvedená v kapitole 5.4, potvrdila, že změna parametrů drsnosti nástroje může vyvolat změnu parametrů drsnosti vyrobeného vlnovce. Byly zaznamenány patrné změny v kvalitě drsnosti povrchu výrobku, v rámci jednoho měsíce provozu nástroje.

Nejvhodnější parametry pro srovnání jsou *Rz* (největší výška profilu) a *Ra* (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu). U parametru *Rz* byl nárůst o **+41%**, u *Ra* o **+36%** původních hodnot, které jsou uvedeny v tab. 23.

Tab. 23 Vybrané parametry drsnosti vyrobeného vlnovce

Parametr	**Od počátku výroby**			**Po měsíci provozu nástroje**			**Rozdíl průměrů**
	Min.	**Max.**	**Průměr**	**Min.**	**Max.**	**Průměr**	
Rz [µm]	1,230	12,234	2,283	1,675	15,871	3,226	+41%
Ra [µm]	0,196	0,589	0,302	0,256	0,696	0,412	+36%

Tyto změny zatím negativně neovlivnily kvalitu povrchu vyrobeného vlnovce, protože např. nárůst průměrné hodnoty *Rz* se pohybuje v jednotkách mikrometrů, které jsou pro lidské oko neznatelné (viz kap. 5.5, obr. 30) a výrobce i zákazníci tuto kvalitu označují jako vyhovující.

Bylo by ale vhodné v tomto sledování pokračovat a zahrnout do analýzy podstatně větší spektrum výrobků (typy trubek a hadic, různé průměry či materiály) v delším časovém horizontu, až do doby vzniku nedovolených změn na povrchu nerezových vlnovců. Tímto sledováním by bylo možné vyhodnotit vliv opotřebeného nástroje na kvalitu textury povrchu vyrobeného vlnovce a snížit míru zmetkovitosti.

Výsledky této práce mohou být použity pro budoucí analýzy srovnávání kvality povrchu vlnovce i nástroje korugátoru.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Corrugated tube expansion joints. In: *HKS: Producer of expansion joints and hoses* [online]. HKS Unternehmensgruppe [cit. 2016-04-17]. Dostupné z:http://www.hks-kompensatoren.de/en/Corrugated-tube-expansion-joints.957.html

[2] *ČSN EN 15266: Sestavy vlnovcových ohebných trubek z korozivzdorné oceli pro rozvod plynu v budovách s pracovním tlakem do 0,5 bar*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.

[3] *EN ISO 10380: Pipework - Corrugated metal hoses and hose assemblies*. 3rd ed. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[4] FIALA, Alois. Management kvality procesů: Učební materiály. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

[5] HARČARÍK, Matej. Taylor Hobson CCI Lite. [fotografie]. Brno, 2013.

[6] Historie řízení kvality. In: *Management Mania* [online]. 2012 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: https://managementmania.com/cs/historie-rizeni-kvality

[7] JANKOVÝCH, Róbert a Vít JAN. *Hodnocení drsnosti nerezového pásku přístrojem Talysurf CCI Lite*. Brno: Vysoké Učení Technické Brno, 2015, 21 s.

[8] JANKOVÝCH, Róbert. Praktická metrologie. Učební materiály. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

[9] JURAN, J a A GODFREY. *Juran's quality handbook*. 5th ed. New York: McGraw Hill, c1999, 1 v. (various pagings). ISBN 007034003X.

[10] KELČA, D. Svařování tenkostěnných trubek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

[11] Metal Hoses. *BOA Group* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.boagroup.com/products/industrial-products/metal-hoses.html

[12] Metal Hoses. In: *BOA Group* [online]. BOA Holding GmbH, 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://www.boagroup.com/products/industrial-products/metal-hoses.html

[13] PALÁN, Zdeněk. Lidské zdroje (LZ). In: *Andromedia.cz: Databanka dalšího vzdělávání* [online]. Asociace institucí vzdělávání dospělých ČR, o.s. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://www.andromedia.cz/andragogicky-slovnik/lidske-zdroje-lz

[14] *PTN 1002 WS: Vlnovcové hadice z korozivzdorné oceli řada WS1xx*. Praha: ČSTZ, 2010.

[15] *PTN 704 06: Montážní systém CATS nerezové ohebné trubky pro rozvod médií*. Druhé. Praha: ČSTZ, 2009.

[16] Stainless Steel Corrugated Tube coil heat exchanger. In: *SmartClima* [online]. Smartclima Co.,Ltd., 2008 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://www.smartclima.com/stainless-steel-corrugated-tube-coil-heat-exchanger

[17] SYSEL, Jiří. Historie a současné koncepce řízení kvality. In: *Citellus* [online]. 2012 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://www.citellus.cz/Akademie/Prednasky/Koncepce-rizeni-kvality-a-cestovni-ruch/4-Historie-a-soucasne-koncepce-rizeni-kvality

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

$2r$	průměr ohybu	[mm]
a	dráha pohybu	[–]
C_t	je součinitel teplotní degradace	[–]
d	šířka vlákna pramenu	[mm]
D_i	vnitřní průměr	[mm]
DN	Diameter Nominal	[mm]
D_o	vnější průměr	[mm]
l_L	aktivní délka	[mm]
l_O	celková délka	[mm]
p_S	je maximální přípustný tlak při 20 °C	[bar],
p_T	je testovací tlak	[bar],
q	rozteč profilu vlny	[mm]
q_B	rozteč opletení	[mm]
r	poloměr ohybu	[mm]
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[µm]
Rc	průměrná výška prvků profilu	[µm]
Rku	špičatost posuzovaného profilu	[–]
Rp	největší výška výstupku profilu	[µm]
Rq	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[µm]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu	[–]
Rt	celková výška profilu	[µm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[µm]
Rz	největší výška profilu	[µm]
x	průhyb	[mm]
α	úhel opletení	[°]

AISI	American Iron and Steel Institut
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CCI	Coherence Correlation Interferometry
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	International Organization for Standardization
OŽP	Ochrana životního prostředí
PTFE	Polytetrafluoretylen
PVC	Poly-Vinyl-Chlorid
TQM	Total Quality Management
W. Nr.	Werkstoffnummer

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Nerezový vlnovec [12].....15
Obr. 2 Časová osa vývoje kvality [6].....17
Obr. 3 Schéma členění jednotlivých skupin požadavků na nerezový vlnovec.....21
Obr. 4 Provedení vlny (a) prstencové (b) spirálové.....22
Obr. 5 Tvar vlny dle použití (a) distribuční (b) ochranný [11].....22
Obr. 6 Obecná sestava vlnovce [3].....23
Obr. 7 Vlnovcová hadice [1].....24
Obr. 8 Obecný nákres opletení hadice [3].....25
Obr. 9 Vlnovcová trubka [16].....25
Obr. 10 Pokles průtoku vody v závislosti na délce [14] [15].....27
Obr. 11 Typy svarů (a) tupý svar (b) svar na hraně [3].....29
Obr. 12 Rozdělení vlnovců dle použití.....30
Obr. 13 Identifikace hlavního procesu.....33
Obr. 14 Obecný model výrobní linky [10].....34
Obr. 15 Rozdělení hlavního procesu výroby vlnovce.....35
Obr. 16 Vliv nástroje na povrch výrobku (a) opotřebený nástroj (b) poškozená trubka.....36
Obr. 17 Ohybový test [3].....40
Obr. 18 U-bend test [3].....41
Obr. 19 Test průhybu [3].....42
Obr. 20 Rozdělení textury povrchu.....43
Obr. 21 Optický profilometr Taylor Hobson CCI Lite [5].....44
Obr. 22 Povrch vzorku A_304_ok (a) strana 1 (b) strana 2 [7].....45
Obr. 23 Povrch vzorku A_304_nok (a) strana 1 (b) strana 2 [7].....46
Obr. 24 Povrch vzorku A_316L_ok (a) strana 1 (b) strana 2 [7].....48
Obr. 25 Povrch vzorku B_304L_ok (a) strana 1 (b) strana 2 [7].....50
Obr. 26 Povrch vzorku B_304L_nok (a) strana 1 (b) strana 2 [7].....51
Obr. 27 Nástroj korugátoru č. 5c.....54
Obr. 28 Nástroj č. 5c (a) neopotřebovaný (b) částečně opotřebovaný.....55
Obr. 29 Povrch vlnovce (a) po najetí výroby (b) po měsíci provozu nástroje.....56
Obr. 30 Povrch vlnovce (a) po najetí výroby (b) po měsíci provozu nástroje.....57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení kvality [9].....18
Tab. 2 Orientační maximální provozní tlaky [14] [15].....26
Tab. 3 Vyráběné délky a jejich tolerance [14] [15].....28
Tab. 4 Rozměrové tolerance [14] [15].....28
Tab. 5 Doporučené materiály pro výrobu vlnovců [2] [3].....29
Tab. 6 Funkční tolerance zkušebních zařízení [3].....37
Tab. 7 Typy vlnovců a jejich zkoušky [3].....39
Tab. 8 Požadavky na únavovou životnost [3].....39
Tab. 9 Testované vzorky [7].....43
Tab. 10 Parametry drsnosti vzorku A_304_ok [7].....45
Tab. 11 Parametry drsnosti vzorku A_304_nok [7].....46
Tab. 12 Poměry průměrné drsnosti obou stran A_304_nok k hodnotám A_304_ok [7].....47
Tab. 13 Parametry drsnosti vzorku A_316L_ok [7].....48
Tab. 14 Poměry průměrné drsnosti obou stran A_316L_ok k hodnotám A_304_ok [7].....49
Tab. 15 Parametry drsnosti vzorku B_304L_ok [7].....50
Tab. 16 Parametry drsnosti vzorku B_304L_nok [7].....51
Tab. 17 Poměry průměrné drsnosti obou stran B_304L_nok k hodnotám B_304L_ok [7].....52
Tab. 18 Parametry drsnosti nástroje č. 5c.....55
Tab. 19 Parametry drsnosti vyrobeného vlnovce.....56
Tab. 20 Srovnání vybraných parametrů drsnosti vzorku A_304_nok ku A_304_ok.....60
Tab. 21 Srovnání vybraných parametrů drsnosti vzorku A_316L_ok ku A_304_ok.....60
Tab. 22 Srovnání vybraných parametrů drsnosti vzorku B_304L_nok ku B_304L_ok.....61
Tab. 23 Vybrané parametry drsnosti vyrobeného vlnovce.....62

SEZNAM PŘÍLOH

P1– Seznam souvisejících předpisů a technických norem.....71

PŘÍLOHY

P1 – SEZNAM SOUVISEJÍCÍCH PŘEDPISŮ A TECHNICKÝCH NOREM

102/2001 Sb. Zákon o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů (zákon o obecné bezpečností výrobků),

133/1985 Sb. Zákon o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů,

163/2002 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb.,

173/1997 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví vybrané výrobky k posuzování shody, ve znění pozdějších předpisů,

174/1968 Sb. Zákon o státním odborném dozoru nad bezpečností práce, ve znění pozdějších předpisů,

183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů,

190/2002 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE, ve znění nařízení vlády č. 251/2003 a 128/2004 Sb.,

21/1979 Sb. Vyhláška, kterou se určují vyhrazená plynová zařízení a stanoví některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti, ve znění pozdějších předpisů,

22/1997 Sb. Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů,

23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb,

251/2005 Sb. Zákon o inspekci práce, ve znění pozdějších předpisů,

26/2003 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení,

268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby,

360/1992 Sb. Zákon o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, ve znění pozdějších předpisů,

361/2007 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci,

458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů,

46/2001 Sb. Vyhláška o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci),

634/1992 Sb. Zákon o ochraně spotřebitele, ve znění pozdějších předpisu,

85/1978 Sb. Vyhláška o kontrolách, revizích a zkouškách plynových zařízení, ve znění nařízení vlády č. 352/2000 Sb.,

89/106/EHS Směrnice Rady o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků,

97/23/ES Směrnice Evropského parlamentu a Rady o sbližování právních předpisů členských států, týkajících se tlakových zařízení,

ČSN EN ISO 10380 Potrubí – Vlnovcové kovové hadice a montáž hadic,

ČSN 01 3450 Technické výkresy – Instalace – Zdravotnětechnické a plynovodní instalace,

ČSN 13 0072 Označování potrubí podle provozní tekutiny,

ČSN 38 6405 Plynová zařízení. Zásady provozu,

ČSN 38 6420 Průmyslové plynovody,

ČSN 38 6462 Zásobování plynem – LPG – Tlakové stanice, rozvod a použití,

ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty,

ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty,

ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení,

ČSN 73 0831 Požární bezpečnost staveb – Shromažďovací prostory,

ČSN 73 0833 Požární bezpečnost staveb. Budovy pro bydlení a ubytování,

ČSN 73 4301 Obytné budovy,

ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání sítí technického vybavení,

ČSN 73 6006 Výstražné fólie k identifikaci podzemních vedení technického vybavení,

ČSN 73 6057 Jednotlivé a řadové garáže. Základní ustanovení,

ČSN 73 6058 Hromadné garáže. Základní ustanovení,

ČSN EN 10226-1 (01 40 32) Trubkové závity pro spoje těsnicí na závitech – Část 1: Vnější kuželové závity a vnitřní válcové závity – Rozměry, tolerance a označování,

ČSN EN 10226-2 (01 40 32) Trubkové závity pro spoje těsnicí na závitech – Část 2: Vnější kuželové závity a vnitřní kuželové závity – Rozměry, tolerance a označování,

ČSN EN 12613 (64 6910) Označovací výstražné fólie z plastů pro kabely a potrubí uložené v zemi,

ČSN EN 13501-1 (73 0860) Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň,

ČSN EN 13501-2 (73 0860) Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení,

ČSN EN 13501-3 (73 0860) Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 3: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti výrobků a prvků běžných provozních instalací; požárně odolná potrubí a požární klapky,

ČSN EN 14291 (63 3004) Pěnotvomý roztok pro detekci úniku plynu v instalacích,

ČSN EN 14585-1 Sestavy vlnovcových kovových hadic na tlaková zařízení – Část 1: Požadavky,

ČSN EN 14800 (13 9020) Bezpečnostní vlnovcové sestavy koncových hadic pro vnitřní zařízení používané na plynná paliva,

ČSN EN 15001-1 Zásobování plynem – Plynovody s provozním tlakem vyšším než 0,5 bar pro průmyslové využití a plynovody s provozním tlakem vyšším než 5 bar pro průmyslové a neprůmyslové využití – Část 1: Podrobné funkční požadavky pro projektování, materiály, stavbu, kontrolu a zkoušení,

ČSN EN 15001-2 Zásobování plynem – Plynovody s provozním tlakem vyšším než 0,5 bar pro průmyslové využití a plynovody s provozním tlakem vyšším než 5 bar pro průmyslové a neprůmyslové využití – Část 2: Podrobné funkční požadavky pro uvádění do provozu, provoz a údržbu,

ČSN EN 15242 (12 7026) Větrání budov – Výpočtové metody pro stanovení průtoku vzduchu v budovách včetně filtrace potrubí,

ČSN EN 15266 (13 8910) Sestavy vlnovcových ohebných trubek z korozivzdorné oceli. pro rozvod plynu v budovách s pracovním tlakem do 0,5 bar,

ČSN EN 1775 (38 6441) Zásobování plynem – Plynovody v budovách – Nejvyšší provozní tlak < 5 bar – Provozní požadavky,

ČSN EN 437 (06 1001) Zkušební plyny – Zkušební přetlaky – Kategorie spotřebičů,

ČSN EN 45020 (01 0101) Normalizace a souvisící činnosti – Všeobecný slovník,

ČSN EN 549 (02 9283) Pryžové materiály pro těsnění a membrány pro spotřebiče plynných paliv a zařízení pro plynná paliva,

ČSN EN 751-1 (02 9285) Těsnicí materiály pro kovové závitové spoje přicházející do kontaktu s plyny první, druhé a třetí třídy s horkou vodou – Část 1: Anaerobní těsnicí prostředky,

ČSN EN 751-2 (02 9285) Těsnicí materiály pro kovové závitové spoje přicházející do kontaktu s plyny první, druhé a třetí třídy s horkou vodou – Část 2: Netvrdnoucí těsnicí prostředky,

ČSN EN 751-3 (02 9285) Těsnicí materiály pro kovové závitové spoje přicházející do kontaktu s plyny první, druhé a třetí třídy s horkou vodou – Část 3; Nespékané pásky z PTFE,

ČSN EN ISO 10806 Potrubí – Koncovky pro vlnovcové kovové hadice,

ČSN EN ISO 228-1 (01 40 32) Trubkové závity pro spoje netěsnicí na závitech – Část 1: Rozměry, tolerance a označování,

ČSN ISO 7-1 Trubkové závity pro spoje těsnicí na závitech – Část 1: Rozměry, tolerance a označování,

DIN 3384 Gasschlauchleitungen aus nichtrostendem Stahl – Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; Hose assemblies of stainless steel for gas – Safety requirements, testing, marking,

TD 938 01 Detekční systémy pro zajištění provozu před nebezpečím úniku hořlavých plynů,

TPG 402 01 Tlakové stanice, rozvod a doprava zkapalněných uhlovodíkových plynů (LPG),

TPG 702 01 Plynovody a přípojky z polyetylenu,

TPG 704 01 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách,

TPG 704 01 Odběrná plynová zařízení a spotřebiče na plynná paliva v budovách,

TPG 800 03 Připojování odběrných plynových zařízení a jejich uvádění do provozu,

TPG 913 01 Kontrola těsnosti a činnosti spojené s problematikou úniků plynu na plynovodech a plynovodních přípojkách,

TPG 942 01 Zkoušení těsnicích materiálů pro závitové spoje plynových zařízení,

TPG 943 01 Pěnotvorné prostředky k vyhledávání úniku plynu [14] [15].