



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav strojírenské technologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Aplikace nátěrové hmoty do úzkých štěrbin
ocelových konstrukcí**

**Application of paint into
narrow slots of steel structures**

Michal David

Vedoucí práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

2021/2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **David** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **464550**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Aplikace nátěrové hmoty do úzkých štěrbin ocelových konstrukcí

Název bakalářské práce anglicky:

Application of paint into narrow slots of steel structures

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky protikorozi ochrany ocelových konstrukcí
- 2) Rozbor problematiky aplikace nátěrových hmot
- 3) Ověření vhodné technologie aplikace nátěrové hmoty do úzkých štěrbin
- 4) Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering
ISBN: 978-0-87170-384-2

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Kudláček, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svojí bakalářskou práci „Aplikace nátěrové hmoty do úzkých štěrbin ocelových konstrukcí“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Kudláčka Ph.D. s použitím zdrojů, které jsem uvedl na konci své práce v seznamu použitých zdrojů.

V Praze 20.7.2022

Michal David

Poděkování

Velice rád bych poděkoval panu Ing. Janu Kudláčkovi Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, ochotu poskytování odborných rad, připomínek a četných konzultací. Dále bych také rád poděkoval mé rodině a blízkým za podporu během studia.

Anotace

Tato bakalářská práce obsahuje řešení speciálních trysek. Na základě testování trysky R15 od firmy Wagner byla navržena vhodná varianta trysky pro vysokotlaký nástřik nátěrové hmoty do úzkých štěrbin ocelových konstrukcí, jejichž nejmenší teoretický rozměr vzdálenosti ploch je 7 mm. Praktická část obsahuje návrhové, kontrolní výpočty trysky a převlečné matice pro přístroj Graco 17P258.

Abstract

This bachelor's thesis contains a research of special nozzles, based on the testing of the R15 nozzle from the Wagner company, a suitable variant of the nozzle is designed for high-pressure spraying of paint into narrow slots of steel structures, the smallest theoretical dimension of the distance between surfaces is 7 mm. The practical part contains the design, control calculations of the nozzle and cover nuts for the Graco 17P258.

Klíčová slova: vysokotlaký nástřik, převlečná matice, protikorozní ochrana, ocelové konstrukce, štěrbin, nátěrové hmoty, koroze štěrbin, tryška

Keywords: high pressure spraying, union nut, anticorrosive protection, steel structures, slots, paints, corrosion of slots, nozzle

Seznam zkratek a symbolů

Zkratky

ČSN	Československá státní norma
EN	Evropská norma
HEA	High Efficiency Airless, vysoce účinný bez vzduchový
HMH	Huber, von Mises, Hencky energetická hypotéza
ISO	International organisation for standardisation, mezinárodní norma pro standardizaci
NFDT	Jmenovitá tloušťka suchého povlaku.
NH	Nátěrová hmota
NS	Nátěrový systém
OK	Ocelová konstrukce
PKO	Protikoroziční ochrana
PÚ	Povrchová úprava
TKP	Technicko-kvalitativní podmínky
UNF	Unified National Fine Thread, unifikovaný palcový závit jemný

Symboly

A_1	$[mm^2]$	plocha kruhové průřezu přívodu kapaliny
A_2	$[mm^2]$	plocha kruhového otvoru trysky
a	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost šíření zvuku v kapalině
C	$[N \cdot mm]$	obecná tuhost součásti
C_1	$[N \cdot mm]$	tuhost součástí přitěžovaných v oblasti matice
C_{1tr}	$[N \cdot mm]$	tuhost součástí přitěžovaných v oblasti trysky
C_2	$[N \cdot mm]$	tuhost součástí odlehčovaných v oblasti matice
C_{2tr}	$[N \cdot mm]$	tuhost součástí odlehčovaných v oblasti matice
C_{kr}	$[N \cdot mm]$	tuhost kroužku
C_m	$[N \cdot mm]$	tuhost převlečné matice
C_{pn}	$[N \cdot mm]$	tuhost prodlužovacího nástavce
C_{pr}	$[N \cdot mm]$	tuhost přívodu
C_{tea}	$[N \cdot mm]$	tuhost prvního těsnění
C_{teb}	$[N \cdot mm]$	tuhost druhého těsnění
C_{tr}	$[N \cdot mm]$	tuhost trysky
C_{zt}	$[N \cdot mm]$	tuhost oblasti závitů trysky
D_{11M}	$[mm]$	vnitřní průměr idealizované matice
D_{1kr}	$[mm]$	vnitřní průměr kroužku
D_{1pn}	$[mm]$	vnitřní průměr prodlužovacího nástavce
D_{1pr}	$[mm]$	vnitřní průměr přívodu
D_{1tea}	$[mm]$	vnitřní průměr prvního těsnění
D_{1teb}	$[mm]$	vnitřní průměr druhého těsnění
D_{1us}	$[mm]$	vnitřní průměr usazovací plochy prodlužovacího nástavce
D_{1zm}	$[mm]$	vnitřní průměr závitů převlečné matice

D_{1zt}	[mm]	vnitřní průměr závitu trysky
D_{2IM}	[mm]	vnější průměr idealizované matice
D_{2kr}	[mm]	vnější průměr kroužku
D_{2pn}	[mm]	vnější průměr prodlužovacího nástavce
D_{2pr}	[mm]	vnější průměr přívodu
D_{2tea}	[mm]	vnější průměr prvního těsnění
D_{2teb}	[mm]	vnější průměr druhého těsnění
D_{2tr}	[mm]	vnější průměr trysky
D_{2us}	[mm]	vnější průměr usazovací plochy prodlužovacího nástavce
D_{2zm}	[mm]	nosný průměr závitu matice
D_{spt}	[mm]	průměr stříhu prodlužovacího nástavce
D_{vm}	[mm]	vnější průměr převlečné matice
D_{zt}	[mm]	vnější průměr závitu trysky
d_{2zpn}	[mm]	střední průměr závitu prodlužovacího nástavce
d_{tr}	[mm]	průměr otvoru trysky
d_{trv}	[mm]	průměr otvoru výstupu trysky
d_{str}	[mm]	střední průměr difuzoru
E	[GPa]	obecný modul pružnosti v tahu
E_{kr}	[GPa]	modul pružnosti v tahu kroužku
E_m	[GPa]	modul pružnosti v tahu matice
E_{pr}	[GPa]	modul pružnosti v tahu přívodu
E_{tea}	[GPa]	modul pružnosti v tahu prvního těsnění
E_{teb}	[GPa]	modul pružnosti v tahu druhého těsnění
E_{tr}	[GPa]	modul pružnosti v tahu trysky
E_{zt}	[GPa]	modul pružnosti v tahu závitu trysky
e_{zd}	[J · kg ⁻¹]	energetická ztráta vliv difuzoru v oblasti II
e_{zt}	[J · kg ⁻¹]	energetická ztráta vlivem tření v oblasti I
e_{zvl}	[J · kg ⁻¹]	energetická ztráta vliv vstupu v oblasti I
e_{zvlI}	[J · kg ⁻¹]	energetická ztráta vliv vstupu v oblasti II
F_1	[N]	přítěžující síla v oblasti matice
F_{1tr}	[N]	přítěžující síla v oblasti trysky
F_p	[N]	Síla vyvolaná tlakem přívodu
g	[m · s ⁻²]	tíhové zrychlení
h_1	[mm]	výška usazení matice
h_{1h}	[mm]	výška hladiny v oblasti tlaku p_1
h_2	[mm]	výška usazení trysky
h_{2h}	[mm]	výška hladiny v oblasti tlaku p_2
h_3	[mm]	šířka stěny trysky
H_{1m}	[mm]	pracovní výška závitu převlečné matice
H_{1pn}	[mm]	pracovní výška závitu prodlužovacího nástavce
k	[-]	koeficient bezpečnosti
l_d	[mm]	délka trysky
l_{pn}	[mm]	délka prodlužovacího nástavce
L	[mm]	obecný délkový rozměr
L_{kr}	[mm]	délka kroužku
L_m	[mm]	polovina délky závitu matice

L_{tea}	[mm]	délka prvního těsnění
L_{teb}	[mm]	délka druhého těsnění
L_{pn}	[mm]	délka prodlužovací nástavce v oblasti matice
L_{pr}	[mm]	délka přívodu
L_{tr}	[mm]	délka trysky
L_{zt}	[mm]	délka poloviny závitu trysky
M	[–]	Machovo číslo
p_1	[N · mm ⁻²]	maximální tlak z přívodu
p_{1tek}	[MPa]	tlak v oblasti přívodu
p_2	[N · mm ⁻²]	atmosférický tlak
p_{2tek}	[MPa]	tlak v oblasti vstupu do trysky
p_{3tek}	[MPa]	tlak v oblasti výstupu z trysky
p_{Dus}	[N · mm ⁻²]	napětí na otlacení prodlužovacího nástavce
p_{DDus}	[N · mm ⁻²]	dovolené napětí na otlacení prodlužovacího nástavce
p_{Dzm}	[N · mm ⁻²]	dovolené napětí na únosnost závitu matice
p_{Dzpn}	[N · mm ⁻²]	dovolené napětí na otlacení závitu prodlužovacího nástavce
p_{zpm}	[N · mm ⁻²]	napětí únosnosti závitu převlečné matice
p_{zpn}	[N · mm ⁻²]	napětí únosnosti závitu prodlužovacího nástavce
Q_0	[N]	montážní předpjetí v matici
Q_{0tr}	[N]	montážní předpjetí v trysce
Q_1	[N]	maximální provozní síla v matici
Q_{1tr}	[N]	maximální provozní síla v trysce
Q_2	[N]	provozní (zbytkové) předpjetí v oblasti matice
Q_{2tr}	[N]	provozní (zbytkové) předpjetí v oblasti trysky
Q_v	[m ³ · s ⁻¹]	objemový tok kapaliny
q	[N]	koeficient těsnosti
r_{1kr}	[mm]	vnitřní poloměr kroužku
r_{1pn}	[mm]	vnitřní poloměr prodlužovacího nástavce
r_{1pr}	[mm]	vnitřní poloměr přívodu
r_{1tea}	[mm]	vnitřní poloměr A těsnění
r_{1teb}	[mm]	vnitřní poloměr B těsnění
r_{2kr}	[mm]	vnější poloměr kroužku
r_{2pn}	[mm]	vnější poloměr prodlužovacího nástavce
r_{2pr}	[mm]	vnější poloměr přívodu
r_{2tea}	[mm]	vnější poloměr A těsnění
r_{2teb}	[mm]	vnější poloměr B těsnění
Re	[–]	Reynoldsovo číslo
ReI	[–]	Reynoldsovo číslo v oblasti I
$ReII$	[–]	Reynoldsovo číslo v oblasti II
Re_k	[–]	kritické Reynoldsovo
S	[mm ²]	obecná plocha kruhového průřezu
S_{kr}	[mm ²]	plocha kruhového průřezu kroužku
S_m	[mm ²]	plocha kruhového průřezu matice
S_{pn}	[mm ²]	plocha kruhového průřezu prodlužovacího nástavce
S_{pr}	[mm ²]	plocha kruhového průřezu přívodu
S_{tea}	[mm ²]	plocha kruhového průřezu prvního těsnění

S_{teb}	$[mm^2]$	plocha kruhového průřezu druhého těsnění
S_{tr}	$[mm^2]$	plocha kruhového průřezu trysky
S_{zm}	$[mm^2]$	plocha kruhového průřezu závitů matice
v_1	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost tekutiny z přívodu
v_2	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost tekutiny u vstupu trysky
v_3	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost tekutiny z výstupu trysky
v_{str}	$[m \cdot s^{-1}]$	střední rychlost tekutiny v difuzoru
z	$[-]$	počet nosných závitů
ζ	$[-]$	ztrátový součinitel vstupu do potrubí
κ_1	$[-]$	Coriolisův součinitel přívodu
κ_2	$[-]$	Coriolisův součinitel vstupu trysky
κ_3	$[-]$	Coriolisův součinitel výstupu trysky
λ	$[-]$	obecný součinitel třecích ztrát v potrubí
λ_I	$[-]$	součinitel třecích ztrát v potrubí v oblasti I
λ_{II}	$[-]$	součinitel třecích ztrát v potrubí v oblasti II
ν	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinetická viskozita
π	$[-]$	Ludolfovo číslo
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota kapaliny
σ_{DIM}	$[N \cdot mm^{-2}]$	dovolené napětí kroužku
σ_{DKr}	$[N \cdot mm^{-2}]$	dovolené napětí kroužku
σ_{Dpn}	$[N \cdot mm^{-2}]$	dovolené napětí prodlužovacího nástavce
σ_{Dpr}	$[N \cdot mm^{-2}]$	dovolené napětí přívodu
σ_{Dtea}	$[N \cdot mm^{-2}]$	dovolené napětí A těsnění
σ_{Dteb}	$[N \cdot mm^{-2}]$	dovolené napětí B těsnění
τ_{pn}	$[N \cdot mm^{-2}]$	napětí ve střihu prodlužovacího nástavce
τ_{tr}	$[N \cdot mm^{-2}]$	napětí ve střihu trysky
τ_{um}	$[N \cdot mm^{-2}]$	napětí ve střihu usazovací plochy prodlužovacího nástavce

Obsah

1. Úvod	1
2. Ocelové konstrukce	2
2.1 Rozdělení ocelových konstrukcí	2
2.2 Návrh konstrukce vzhledem na korozní ochranu	4
2.3 Popis štěrbin	5
3. Princip povrchové úpravy	7
3.1 Vlastnosti povrchu	7
3.2 Koroze kovů	7
3.3. Ochrana povrchu proti korozi a opotřebení	10
4. Rozbor problematiky nátěrových hmot	11
4.1 Rozpouštědla	14
4.2 Pojiva	15
4.3 Pigmenty a plniva	16
5. Možnosti aplikace nátěrových hmot	17
5.1 Předúprava povrchu	17
5.2 Metody nanášení nátěrových hmot	17
5.3 Kontrola a hodnocení kvality aplikace nátěrové hmoty	20
6. Rešerše trysek	23
7. Aplikace nátěrové hmoty	28
7.1 Volba nátěrové hmoty	30
7.2 Aplikace nátěrové hmoty	31
7.3 Vyhodnocení	31
8. Návrh převlečné matice a trysky	39
8.1 Návrh převlečné matice	43
8.2 Návrh trysky	52
9. Technicko-ekonomické zhodnocení	56
10. Závěr	57
Seznam zdrojů	58
Seznam obrázků	62
Seznam tabulek	64
Seznam příloh	65

1. Úvod

V České republice se nachází na silnicích a železnicích tisíce mostů. Většinou se jedná o mosty z ocelové nebo ocelovo-betonové konstrukce. Mosty procházejí pravidelnou údržbou i kontrolou. Avšak i dnes, a zvláště v příštích letech se budou mosty muset zrekonstruovat nebo dojde ke kompletní výměně. U mostních konstrukcí, u nichž neproběhne kompletní výměna za modernější typ stavby, ať již z důvodu památkové ochrany nebo příliš vysoké ceny kompletní přestavby mostu se bude nutné zabývat otázkou povrchové úpravy ocelových mostů, a zvláště pak štěrbin.

Při konstrukci mostů se v dřívějších letech příliš nepředpokládalo, že budou v budoucnu procházet novou protikorozi povrchovou ochranou. Takže se jednotlivé díly povrchově ošetřily při výrobě a posléze byly smontovány až na místě stavby. Tím vznikla místa, která mohou mít pro opravy a údržbu mostních ocelových konstrukcí kritický dopad. Štěrbiny mostních konstrukcí jsou velice náchylné na korozivní namáhání, jelikož se v nich usazují nečistoty a voda. V dnešní době se používají na proti korozivní ochranu štěrbin tmely, jelikož neexistuje účinný způsob, jak nanést na povrch štěrbin kvalitní a souvislou vrstvu nátěrové hmoty.

Příkladem památkové ochrany mostu je železniční most z Výtoně na Smíchov, který Ministerstvo kultury vyhlásilo jako kulturní památku, tudíž by neměl být nahrazen jinou mostní konstrukcí nýbrž kompletně zrekonstruován. Panuje předpoklad, že většina mostní konstrukce se znovu vyrobí a spojí se spolu se zbylou částí mostu, která byla vyhodnocena jako vyhovující. Nahrazení aktuální konstrukce její replikou však nevyřeší původní konstrukční nedostatky. Kvalitní protikorozi ochrana zvláště namáhaných míst, může značně zvýšit životnost mostní konstrukce a snížit náklady na opravy a rekonstrukce v budoucích letech.

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem a volbou parametrů vysokotlakého nástřiku nátěrové hmoty na kvalitu ochranného povrchu štěrbin. Cílem mé práce je zvolit nejvhodnější parametry pro možnost vyhotovení kvalitní vrstvy nátěrové hmoty, které budou splňovat požadavky předepsané normami či předpisy PKO.

2. Ocelové konstrukce

2.1 Rozdělení ocelových konstrukcí

Ocelová konstrukce se skládá z ocelových prvků, které se používají jako nosné. Existuje několik typů konstrukce, nejčastěji:

- příhradová (obr. 1)
- rámová (obr. 2)
- trémová (obr. 3) [1]

Konstrukce má plnit funkci nosnou, musí mít zaručenou tuhost, dlouhodobou trvanlivost, musí přenášet zátěžné síly a v neposlední řadě se musí vyvarovat ztráty stability nebo jiným kritickým deformacím. [1]

Při navrhování OK se vychází ze tří kroků, které je nutno pro správnou a dlouhodobou funkčnost splnit. Koncepce vychází z návrhu konstrukce, volby vhodných prvků s ohledem na zatížení, volbu materiálu v závislosti na mechanických, ekonomických a ekologických vlastnostech, dalším nezbytným krokem se stává montáž konstrukce a schopnost její následné údržby. [2]

Volbu materiálu popisuje norma, kterou musí ocelová konstrukce splnit ČSN EN 1090-0+A1, jedná se o požadavky na shodu výrobních dílů, svařování, tolerancí, konstrukční charakteristiky. [3]



Obrázek 2 Rámová konstrukce haly v systému VEDE [26]



Obrázek 1 Příhradová konstrukce ocelového mostu [27]



Obrázek 3 Trámová konstrukce střechy [28]

U předepsaných OK se v závislosti na zařazení do tříd CC1, CC2 a CC3 provádějí pravidelné údržby. Tyto třídy představují technické požadavky na OK. Čím vyšší stupeň zařazení tím má častější interval kontrol, kontroly lze rozdělit na běžné a podrobné. [3] [4]

Tyto požadavky vycházejí z normy ČSN EN 1090-2. Běžná kontrola spočívá pouze ve vizuální kontrole, kontroluje se povrchová vrstva ochranného nátěru, korozní poškození, mechanická deformace, hlučnost a kvalita spojů. [4]

U konstrukce při podrobné prohlídce dochází ke zcela stejné kontrole jako u běžné kontroly, navíc se však zaměřuje na měření korozních úbytků materiálu. Pokud je OK namáhána dynamicky, tak se kontrolují defoskopicky svary této konstrukce. Norma pro kontrolu OK je ČSN EN 73 2604. [4]

Navíc u ocelových konstrukcí mostů musí být splněn předpis TKP-19, jedná se o souhrn technicko-kvalitativních podmínek, jež vydalo Ministerstvo dopravy. TKP-19 je rozdělena na tři části. Část A se zabývá ocelovými mosty a konstrukcemi, kdežto část B, C jejich povrchovou ochranou. TKP -19 doporučuje tloušťky nátěrových systémů v závislosti na prostředí a době trvání protikorozní ochrany nátěrové hmoty. Například pro akrylové pojivo při systému A1.03 pro nízkolegovanou ocel, příprava povrchu Sa 2 1/2, při počtu dvou nanesených vrstvách musí mít základní nátěr o tloušťce NFDT 80 μm , poté následující nátěry NFDT 120 μm ve třech vrstvách. [3]

Příklad ocelové konstrukce mostu je uveden na obrázku č. 4.

Tabulka 1: Třídy zařazení budov v závislosti na potřebě údržby

Třídy následků	Popis	Příklady pozemních nebo inženýrských staveb
CC1	Velké následky s ohledem na ztráty na lidských životech nebo významné následky ekonomické, sociální nebo pro životní prostředí	Stadióny, budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy vysoké (např. koncertní sály)
CC2	Střední následky s ohledem na ztráty na lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro životní prostředí	Obytné a administrativní budovy a budovy určené pro veřejnost, kde jsou následky poruchy středně závažné (nap. kancelářské budovy)
CC3	Malé následky s ohledem na ztráty na lidských životů nebo malé / zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí	Zemědělské budovy, kam lidé běžně nevstupují (např. budovy pro skladovací účely, skleníky)

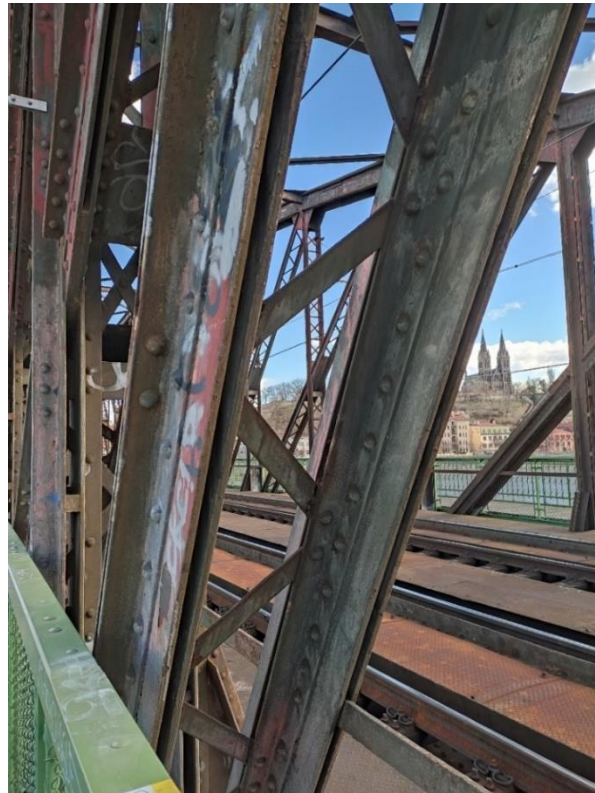
2.2 Návrh konstrukce vzhledem na korozní ochranu

Existuje celá řada ochranných opatření (OK) proti korozi. Celkové konstrukční řešení by mělo brát ohled na usnadnění přípravy povrchu, nanášení vhodného nátěru, pozdější pravidelnou inspekci ocelové konstrukce a její údržbu. [5]

Tvar konstrukce je velmi zásadní z pohledu protikorozní ochrany. Určuje rychlost a míru koroze dané OK. Podle normy ČSN EN ISO 12944-3 mají být konstrukce obecně navrhovány jako malé z hlediska rozměrů, je velice vhodné, když neobsahují velké množství nepravidelností. [7]

Přístupnost OK má zásadní vliv na pozdější údržbu. Konstruktor již při návrhu musí zajistit dostatečné možnosti pro údržbu a inspekci. Obvykle je tvoří systémem kladek, či pohyblivých plošin. Pro bezpečnost zde mají být umístěny oka nebo háky. Návrh a realizace dodatečných přístupů by měl obsahovat již původní návrh, pozdější realizace je velice obtížná. [7]

Návrh konstrukce musí obsahovat opatření proti zadržování vody. Je třeba tyto místa vyloučit, pokud je to v možnostech návrhu. Při lokálním zadržování vody vzniká lokální koroze, která značně snižuje životnost OK. Norma doporučuje vyloučit shora otevřené díly, kapsy a prohlubně a navrhovat konstrukce s nakloněnými nebo zkosenými povrchy. [7]



Obrázek 4 Železniční most z Výtoně na Smíchov

2.3 Popis štěrbin

Za štěrbinu lze pokládat velmi malou vzdálenost dvou sousedních těles. Ve strojírenství se nacházejí v celé řadě výrobků a konstrukcí. Na každou z těchto konstrukcí a výrobky působí vlivy prostředí, jež mají za následek postupnou degradaci materiálu zejména z hledisek mechanických a technologických vlastností. Nelze také zcela opomíjet dekorativní prvek. [1]

U mostních OK, které jsou spojeny po částech, které byly předem vyrobeny a na místě až spojeny například nýtováním nebo svařováním, dochází k vytvoření značného počtu otevřených (obr. 5 a 6) nebo uzavřených štěrbin. [3]

V prvotní fázi zatěžování konstrukce toto nepředstavuje tak výrazný problém. Ovšem po určité době, která převážně závisí na prostředí, typu povrchové ochrany a typu namáhání dochází, k výše zmíněné korozi. [1]

Jelikož každý most by měl být pravidelně opravován, dochází k problému, jenž představuje čištění povrchu a následnému nanášení nových povrchových úprav. [3]

V České republice se bude v následujících letech zvyšovat počet mostů u kterých bude nezbytná renovace nebo kompletní výměna. Vliv kvality PÚ může být naprosto kritický pro dlouhodobou funkčnost mostní konstrukce. [6]

Norma ČSN ISO 12944-3 upozorňuje na úzké štěrbiny, trhliny a přeplátování. Jsou to potenciální místa pro vznik koroze. Tomuto jevu je možné předejít utěsněním, avšak těsnicí materiál musí být slučitelný s PÚ. [7]



Obrázek 5 Otevřená štěrbina



Obrázek 6 Otevřená štěrbina II.

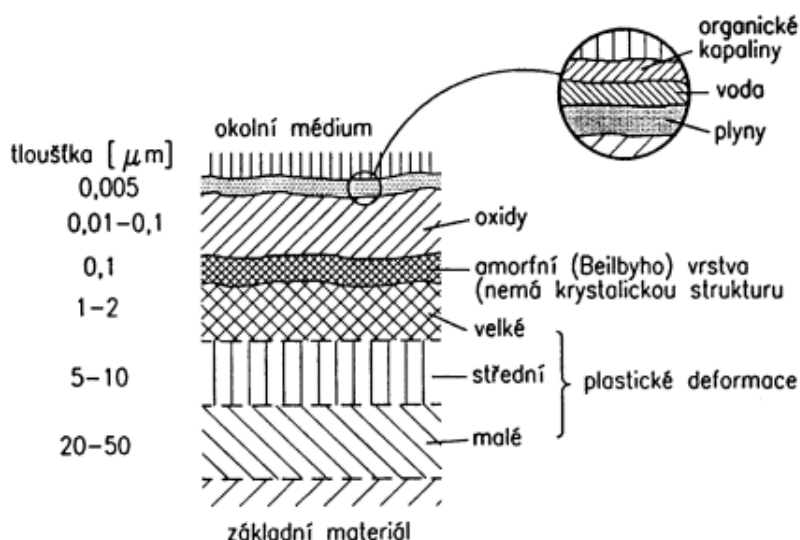
3. Princip povrchové úpravy

3.1 Vlastnosti povrchu

Výsledné povrchové atributy ovlivňují hned několik vlastností výrobku. Vzniká potřeba návrhu, jenž splňuje technické, užité a vzhledové vlastnosti za přijatelnou ekonomickou cenu a ekologickou zátěž. Celá řada vlastností součástí souvisí s vlastnostmi jeho povrchu. Například se jedná o opotřebení, odraz světla či drsnost. [11]

Mechanické vlastnosti povrchu určují geometrii povrchu nebo určitou tloušťku daného povrchu. Povrch z vlastností krystalografických mřížek nebude nikdy dokonale rovný. Geometrie povrchu ovlivňuje zejména lom světla, koeficient tření a únavu materiálu. [9]

Struktury povrchu po procesu obrábění ukazuje obrázek č. 7. Zde lze poukázat na nehomogenní struktury povrchů po strojírenských operacích.



Obrázek 7 Schéma řezu povrchovými vrstvami obrobenej stykové [9]

3.2 Koroze kovů

Ocelové konstrukce jsou primárně namáhány na mechanické zatěžování, nelze ovšem zanedbat ostatní vlivy mezi něž patří zejména návrh konstrukce, vysoké teploty, interakce mezi tělesy (např. tření, nebo agresivní prostředí). Při nevhodném návrhu nebo opomenutí těchto vlivů může dojít ke značnému zkrácení životnosti konstrukce. [9]

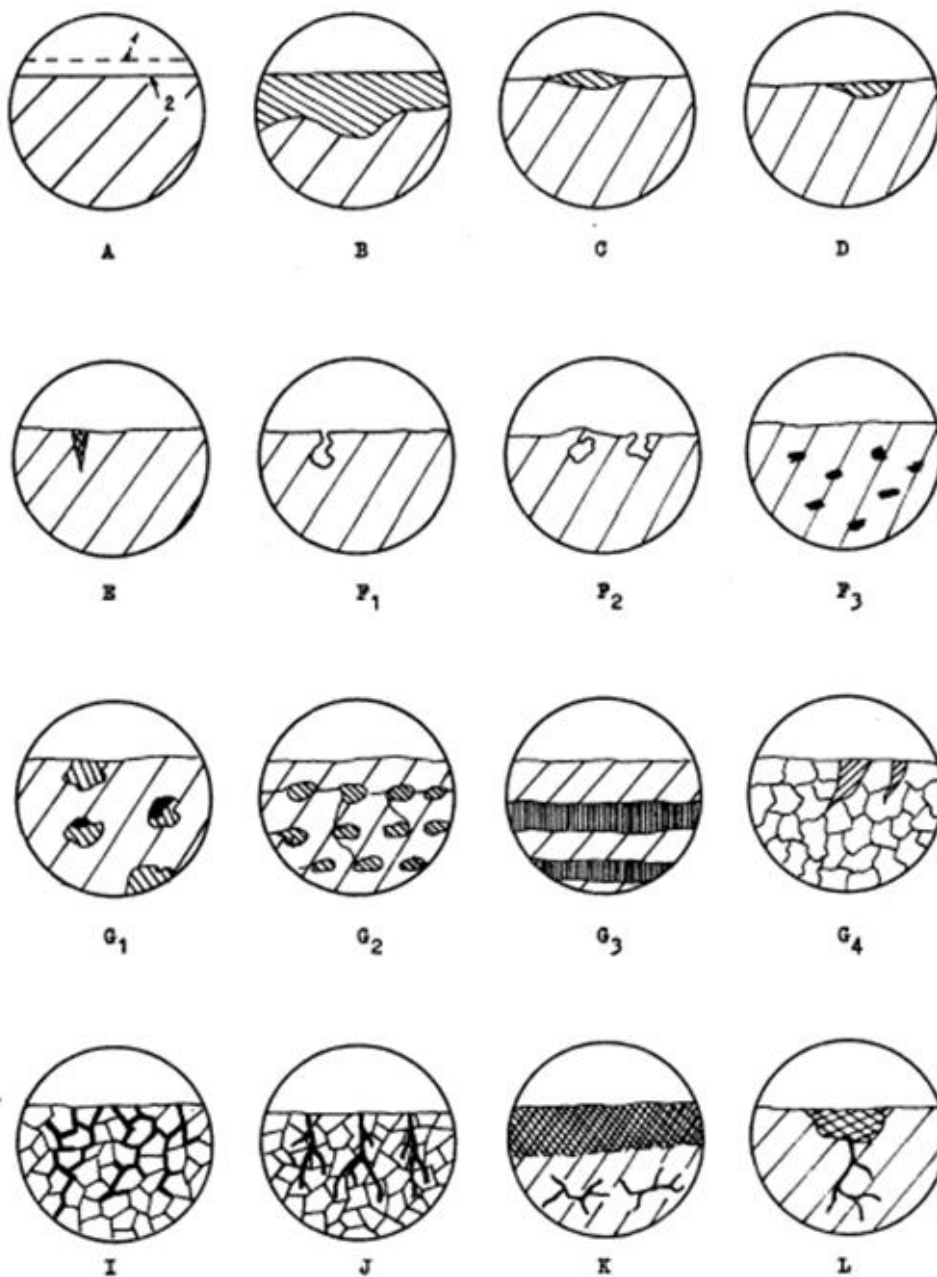
Koroze je děj, při kterém dochází k postupnému narušování a znehodnocování výrobku, tento děj probíhá samovolně. Korozní děj je důsledkem působení chemických a fyzikálně chemických vlivů. Při korozi kovů ztrácí kov své elektrony. Dochází k postupnému úbytku materiálu či změně vzhledu. [11]

Korozi dělíme na chemickou a elektrochemickou. Koroze chemická je takový děj, při kterém dochází k interakci materiálu kovu a jeho prostředí. Elektrochemická koroze se vyskytuje pouze v elektrolytech, kde je možnost pohybu iontů a elektronů. [9] [10]

Rozdělení typu korozního namáhání:

- Rovnoměrná koroze – vznikají rovnoměrné úbytky materiálu buď na celém povrchu nebo na lokálních částech. Z hlediska životnosti materiálu se jedná o tu nejméně nepříznivou korozi.
- Nerovnoměrná koroze – jedná se o typ koroze při níž je materiál povrchu napadán pouze lokálně.
- Důlková a bodová koroze – nejčastěji u pasivních materiálů, dochází k porušení vrstvy v malých lokacích, kde poté dochází k hluboké korozi.
- Mezi krystalická koroze – po hranách zrn obvykle dochází k rychlejší korozi než na samotných zrnech.
- Podpovrchové napadení – vzniká jen malé poškození povrchu, nicméně pod povrchem dochází k rozsáhlému úbytku materiálu vlivem koroze.
- Selektivní napadení – slitiny s různými fázemi. Koroze vzniká na fázích, které mají rozdílné složení.
- Extrakční napadení – vzniká v jediné chemické složce struktury.
- Štěrbínová koroze – důsledek koroze ve štěrbině je rozdílná koncentrace elektrolytu ve štěrbině a mimo ni. [9] [10]

Vizuální příklady korozního napadení jsou zobrazeny na obrázku č.8.



- A - rovnoměrné napadení (1 - původní povrch, 2 - povrch po korozi)
 B - nerovnoměrné napadení
 C - skvrnité napadení
 D - důlkové napadení
 E - bodové napadení
 F - podpovrchové napadení
 G - selektivní napadení
 I - mezikrystalové napadení
 J - transkrystalové napadení
 K - extrakční napadení
 L - korozní trhliny

Obrázek 8 Některé druhy korozního napadení [9]

3.3. Ochrana povrchu proti korozi a opotřebení

Ochrana povrchu ocelových konstrukcí zpravidla závisí na konstrukčním uspořádání a rychlosti určitých chemických nebo fyzikálně chemických reakcí. Rozdělit je lze podle těchto parametrů:

- Úprava prostředí – pokud je předem známo působení dané konstrukce, lze v závislosti na určení agresivních činitelů přizpůsobit danou konstrukci. Za prostředí se považujeme voda, půda, vzduch atp. Příkladem může být snaha o snížení vlhkosti zvýšením teploty, odvlhčováním vzduchu a větráním. Důležitým předpokladem je zabezpečení konstrukce např. při přepravě na moři, kde vzniká vlhký solný roztok, který extrémně namáhá danou konstrukci vlivem koroze.
- Volba povrchové úpravy a materiálu – každý materiál při konstantních podmínkách má specifickou korozní odolnost, která má vliv na typ a rychlost koroze. Odolnost je funkcí prostředí, charakteru kovu, typu korozního systému. Posuzuje se podle termodynamické stálosti, stupně chemické čistoty či schopnosti pasivace.
- Vhodná konstrukce a výroba – vhodnou konstrukce je nezbytná tvoří základ životnosti ocelové konstrukce. Shrnuje ji norma ČSN EN ISO 12944-3. Při výrobě daných ocelových konstrukcí dochází k změně vlastností materiálu. Nejčastěji k tomuto jevu dochází při tepelných úpravách nebo operacích. Např. při svařování vzniká namáhaná oblast kolem svarové lázně i uvnitř jí. Je třeba používat při výrobě ochrany proti korozi, např. při svařování ochranné plyny. Je zde obecný předpoklad se při výrobě snažit potlačit na přijatelnou úroveň veškerá vnitřní pnutí.
- Elektrochemická ochrana – mění potenciál základního materiálu vůči elektrolytu. Obecně se dělí na dvě třídy – ochranu katodickou a anodickou. Při katodické ochraně je základní materiál ve stavu imunním, při anodické ochraně ve stavu pasivním. Katodická ochrana využívá obětované anody. Pro ocel se používají méně ušlechtilé materiály. Anodická ochrana využívá možnosti pasivace materiálu, kdy se na povrchu vytvoří pasivní ochrana proti korozi. [9] [10]

4. Rozbor problematiky nátěrových hmot

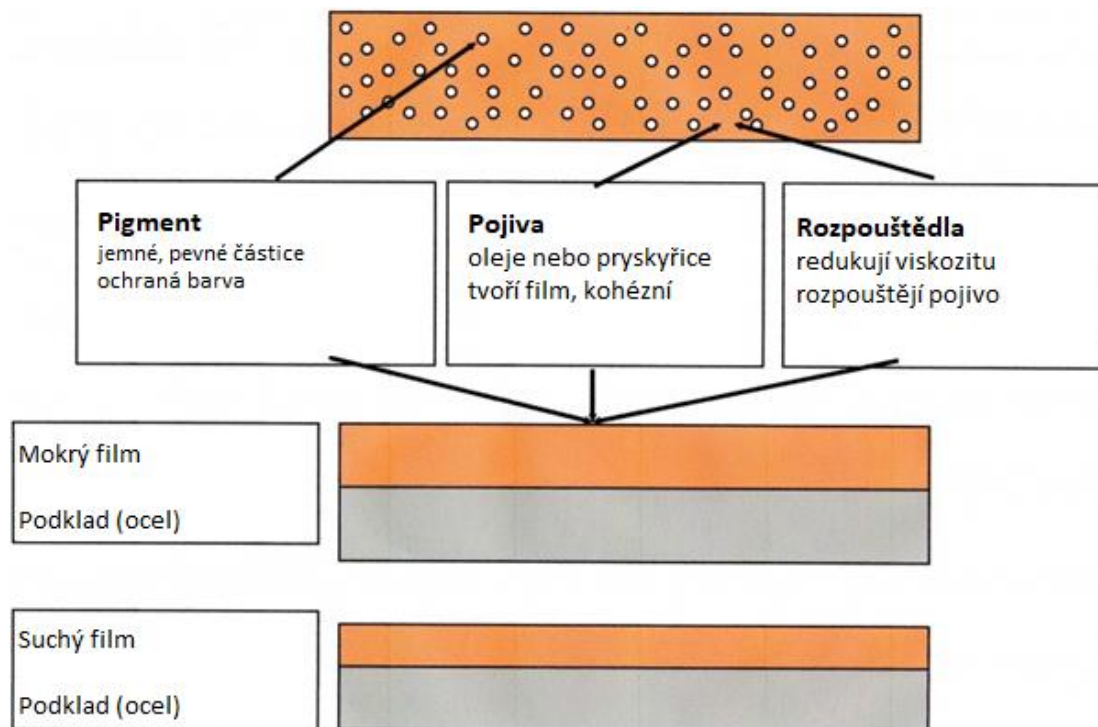
Za nátěrovou hmotu či nátěrový systém pokládáme vrstvu jenž působí na vnější straně materiálu. Je tvořena téměř výhradně filmotvornými látkami. Obvykle se NH nanáší třemi strukturami – v tekuté formě, práškové nebo těstovité. Základní dělení rozděluje NH na transparentní, který tvoří průhledný film nebo pigmentové, které jsou neprůhledné. Vrstvy NH a strukturu popisují obrázky č. 9 a 10. [13] [17]

Nátěrový systém tvoří převážně:

- Filmotvorná látka – organická nebo minerální struktura, netěkavá, tvoří samotný nátěr, rozpuštěna pomocí rozpouštědel.
- Pojivo – tvořeno z filmotvorných látek, dále může obsahovat aditiva a změkčovadla. Smyslem pojiva je svázat částice na spojitou strukturu.
- Aditiva – nátěr ho obvykle obsahuje nižší množství, zlepšuje vybrané vlastnosti nátěru. Např. roztíratelnost, lesk nebo dobu zasychání.
- Barva – tvořena z pigmentů, jedná se o neprůhledný film.
- Lak – neobsahuje pigment, je to krycí průhledná vrstva.
- Email – obsahuje nižší obsah pigmentu, jedná se též o krycí vrstvu.
- Tmel – vyplňovací nátěrová hmota tvořena převážně pigmentem. [13] [15]



Obrázek 9 Struktura povrchu nátěrové hmoty [14]



Obrázek 10 Složení nátěrové hmoty [14]

Vlastnosti NS určuje zejména doba zasychání, která se určuje pro určitou tloušťku nátěru za specifických podmínek – jemnost tření, strukturu a rozměr rozptýlených pevných částic nátěru. Schopnost tvořit krycí vrstvu podle stanovených podmínek určuje charakteristika kryvosti. Dalším důležitým parametrem je ředitelnost, tu určuje možnost a schopnost NH interagovat s ředidly. Správná roztíratelnost zaručuje snadné nanesení definované vrstvy na daný materiál určitým způsobem. [13] [15]

Z pohledu použití můžeme NS rozdělit na:

- vnitřní (např. na nábytek, omítky)
- venkovní (odolávají atmosférickým vlivům)
- speciální (použití např. pod vodou, v toxické prostředí)

Jelikož se nátěrové složky skládají z celé řady vrstev, jsou rozděleny na:

- Napouštěcí vrstvu – obvyklé použití u savých materiálů (např. dřevo, textil, papír).
- Základní vrstvu – jedná se o první spodní nátěr.
- Vyrovnávací vrstvu – používá se k vyrovnání podkladových vrstev.
- Vrchní vrstvu – poslední vrstva nejčastěji obsahuje pigment.
- Speciální – např. vojenské maskování. [15]

Dále je možnost dělit NS podle způsobu a podmínek zasychání. Existují NS, které zasychají pouze na základě chemických reakcí, u některých k zasychání dojde fyzikálními vlivy, např. ztuhnutím hmoty nebo odpařením rozpouštědel. Často se však vyskytují NS, u nichž dochází k chemicko-fyzikálnímu zasychání. Podmínky zasychání zohledňují místo, teplotu a proces zasychání. [15]

Nátěrový systém obsahuje široké spektrum látek v různých skupenstvích a rozdílných směsích či roztoků. Primární dělení rozlišuje složky těkavé a netěkavé. Mezi těkavé složky patří rozpouštědla a ředidla. Netěkavé složky jsou filmotvorné látky, pigmenty, plniva, aditiva a další pomocné netěkavé látky. [14]

Jelikož NH značně napomáhají odolávat nejrůznějšímu typu namáhání jejich oblast použití je v podstatě nevyčerpatelná. Zde jsou uvedeny některé oblasti použití:

- Nátěry odolávající vlhku a sladké vodě
- Nátěry odolávající olejům, naftě, petroleji a benzínu
- Nátěry pro distribuci pitné vody
- Nátěry odolávající chemickým vlivům
- Nátěry určené pro vyšší teploty, toxické prostředí, omezujícímu ohřívání
- Antikoroziční nátěry
- Odolávající organickým vlivům (houbám, plísním)
- Elektrovodivé nátěry
- Zdravotně nezávadné nátěry [13]

Oblast použití je velice rozsáhlá. Proto je návrh NS komplexní záležitostí, kde je třeba volit aspekty z několika oblastí a často velmi protichůdných vlastností. Prvním krokem by měla být volba podle prostředí, dále způsobu a možnosti zasychání, druhu vrstev, pořizovací ceně a také následné rentabilitě z hlediska údržby. [13] [17]

4.1 Rozpouštědla

Použitím rozpouštědel je zaručen aplikační stav filmotvorné látky jako roztoku. Tato skutečnost je primárním důvodem přidání rozpouštědel do filmotvorných látek, zvyšujeme tím zlepšené vlastnosti pro nanášení nátěru. Rozpouštědla je možné použít u základních skupenstvích – kapalného, plynného a pevného. U nátěrových hmot se převážně využívá změna pevné látky na kapalnou vlivem působení rozpouštědla. Nejpoužívanějším typem rozpouštědla při základních triviálních procesech je voda. Z NH je odstraněna během procesu schnutí. Pevně se používá u organických látek. [13] [18]

Základními vlastnostmi rozpouštědel jsou: Rozdělení podle chemického složení:

- Rozpouštěcí síla
- Těkavost
- Stabilita
- Toxicita
- Hořlavost
- Barva [13]
- Alifatické uhlovodíky (např. benzin)
- Aromatické uhlovodíky (např. toluen)
- Chlorované (např. chlorbenzen)
- Alkoholy (např. etylalkohol)
- Étery (např. ethylacetát)
- Glykoly (např. etylenglykol) [13]

Dále je možno dělit rozpouštědla podle bodu varu a odpařivosti rozpouštědla. Charakter mezimolekulárního vzájemného působení molekul a rozpouštědla má zásadní vliv na konečnou rozpouštěcí schopnost. Charakter rozpouštědla se liší podle schopnosti přímo působit na filmotvorné látky. Ta, co sama tyto látky rozpouštějí se nazývají pravá rozpouštědla. Nepravá rozpouštědla rozpouštějí jen a pouze s pravými, používají se jako doprovodné složky pro získání požadovaných vlastností rozpouštědel. Vlastnosti také mění ředidla, používají se na snížení viskozity nebo ředění filmotvorných látek a aditiv. [13]

Základní obecné požadavky na rozpouštědla jsou bezbarvé, nehořlavé nebo jen mírně hořlavé, bez obsahu vody, netoxické a se stálou chemickou stabilitou po určitou dobu. [14]

4.2 Pojiva

Základní vlastnosti NH definují z větší části pojiva, jež obsahují filmotvorné látky. Jedná se o nejdůležitější část NS. Definují se zde vlastnosti jako např. pevnost, pružnost, lesk a přilnavost k podkladu. [15] [18]

Pojiva lze podle principu zasychání a způsobu vytvrzování charakterizovat na dvě skupiny:

- Pojiva zasychají vlivem fyzikálního jevu odpařování, nátěry jsou soudržné vlivem přitažlivosti molekul filmotvorných látek. Příklad těchto pojiv např. bitumeny, akryláty, vinyly.
- Pojiva chemicky vytvrzující. Nejčastěji vytvrzování probíhá vlivem chemické reakce dvou látek nebo odpařováním dané látky a chemické interakci se sekundární látkou. [15]

Na základě počtu látek, které pojivo obsahuje jsou pojiva dělena na:

- Jednosložkové – obsahují pouze jednu složku filmotvorné látky, např. silikony, akryláty.
- Vícesložkové – obsahují dvě a více složek, např. epoxidy, polyuretany. [15]

Pojiva lze dělit také na organické a anorganické. [15]

Základní typy pojiv:

- Alkydové pryskyřice
- Akrylátové
- Epoxidové pryskyřice
- Silikony
- Polyuretany
- Olejové
- Asfaltové [15]

4.3 Pigmenty a plniva

Různobarevné prášky, které nejsou rozpustné ve filmu (pojivu) a ani v rozpouštědle, se nazývají pigmenty. Určují u nátěru vlastnosti jako barevný odstín či lesk, kryvost. [14]

Nosnou a vyplňující složkou NH tvoří plnivo. Jejich funkce již plyne z názvu, nicméně upravují vlastnosti nátěrového systému jako je síla struktury nebo cena nátěru. Používá se zejména mramorová drť, skelné granule, těživec, písek, kaolin nebo síran barnatý. Podmínkou použití je chemická a barevná stálost. [12] [15]

Pigmenty lze dělit na:

- Bílé anorganické pigmenty – např. titanová běloba.
- Barevné anorganické pigmenty – např. železité pigmenty.
- Antikoroziční pigmenty – např. fosforečnan zinečnatý, kovový zinek. [12]

5. Možnosti aplikace nátěrových hmot

5.1 Předúprava povrchu

Prvním a velice důležitým krokem k aplikaci NH je vhodně zvolená a kvalitně provedená předúprava povrchu ocelové konstrukce. Předúpravy povrchu lze rozdělit na mechanické nebo chemické. [20]

Chemickou předúpravou povrchů může být odmaštění, které se obvykle provádí vodným roztokem, alkalicky, organickými rozpouštědly, konverzními prostředky nebo vodní emulzí. Dále lze použít moření, jenž se provádí pomocí kyselin či alkálií. Chemicky se odstraňují i staré nevyhovující nátěry. [9]

U chemických předúprav povrchu je nutno provádět kontroly po dané operaci z důvodu možného znečištění povrchu, nebo schopnosti snižovat adhezi nátěrových hmot. [16]

Mechanické předúpravy povrchu lze dělit na mechanické čištění, tryskání, omílání, leštění, ruční čištění nástroji nebo plamenem či vodním paprskem. Výhodou mechanických předúprav povrchu je zvýšení schopnosti adheze povrchové vrstvy. Nevýhoda spočívá v nutnosti zakončit operaci čištěním. [8]

Předúprava povrchu je nejdůležitější operací povrchových úprav. [10]

5.2 Metody nanášení nátěrových hmot

Při volbě metody nanášení nátěrových hmot je třeba uvažovat počet kusů, velikost a složitost dané OK. Použití moderních prostředků musí zaručit časová a ekonomická dlouhodobá konkurenceschopnost výrobku. [20]

Za nejjednodušší metodu nanášení nátěrové hmoty lze považovat nanášení štětcem. Štětec je tvořen syntetickými nebo prasečími štětinami, které jsou spojeny s držadlem. Dle konstrukce je možnost volit štětce ploché, rohové nebo pěstní. [24]

Mohou být použity v případech kdy je potřeba nanést NH na jednotky kusů ocelových konstrukcí. Častěji při obnovování NH.

Výhodou jsou jistě nízké pořizovací náklady, malá spotřeba ředidel a NH a kvalitní přilnavost k povrchu. Nízká výkonnost a vyšší nároky na obsluhu jsou na druhé straně nevýhodou této metody. [24]

Nanášení NH na rovinné a rozměrově větší objekty se používá váleček. Metoda spočívá v působení tlaku a rotačního pochybu, který nanese na objekt kvalitní povrchovou vrstvu NH. Výhodou metody použití válečku spočívá v úspoře materiálu NH a vyšší produktivitě práce. Značnou a velice omezující nevýdouhou je nemožnost natírat složité profily. Příklad aplikace NH pomocí válečku je uveden na obrázku č.11. [24]



Obrázek 11 Aplikace protikorozi ochrany válečkem [29]

Další metodou nanášení NH stříkáním je pomocí vysokotlaké pistole (obr. 12). Nátěrová hmota tvoří vhodný roztok, který je pomocí tlaku vyprašován z ústní hrdla tlakové pistole. Nespornou výhodou tato metoda obsahuje ve vysoké produktivitě práce, nízké fyzické náročnosti a nanášení stejné vrstvy filmu. Nevýhoda spočívá ve vyšší nákladech na pořízení strojů a přístrojů a ve vyšší spotřebě NH. [19]

Nespornou výhodou je možnost nastavení tlaku nástřiku. Velká variabilita výběru a možnosti trysek zaručuje možnost nalézt optimální podmínky pro různé druhy aplikací nástřiku. [25]



Obrázek 12 Aplikace NH pomocí vysokotlaké pistole

Při průmyslových aplikacích se využívá metody povlakování v bubnu. NH se nanáší na vyšší počty kusů rozměrově menších výrobků. V bubnu se obalí tyto výrobky rozpouštědly a barvou, která se později za chodu odpaří. Později se musí nechat ještě zaschnout a vypálit. Výhodou je vysoká produktivita práce, minimální pracnost a nízká spotřeba NH. Nevýhodou je omezení tvarové složitosti a hlavně rozměrové velikosti a hmotnosti. [19]

Další průmyslovou metodou je metoda navalování. Princip spočívá v nanášení NH hmoty z rotujících válců na posouvající objekt. Tato metoda se převážně používá u plechů či desek. Metoda vyniká vysokou produktivitou, úsporou NH, potřebou použít speciální NH a vysokými pořizovacími náklady stroje. [19]

Speciální metoda nanášení NH je pomocí clonování. Využívá se pouze u rovinných předmětů. Vytvoří se clona, která je složena z NH, výrobek jí projde a získá souvislou vrstvu NH. Metoda zaručuje nízké ztráty a stejnosměrnou vrstvu NH, nicméně nelze použít pro tvarově složitě díly. [24]

Nejčastější průmyslovou metodou je metoda namáčení. Využívá se u tvarově složitých dílů ve vysokém rozsahu. Ocelové díly jsou zavěšeny a postupně máčeny ve vaně, která obsahuje směs NH. Vany musí být řádně promíchávány, aby zde nedošlo k znehodnocení struktury NH. Poté se díl musí nechat odkapat, vyschnout nebo vypálit. Jedná se o velmi jednoduchou, ale produktivní metodu. Nevýhoda spočívá v nutnosti důkladně očistit díly vstupující do vany. V automatizovaných procesech se využívá kontinuálního nanášení, kdy je linka schopna vykonat všechny potřebné operace v sousledném režimu (obr. 14). Diskontinuální nanášení ukazuje obrázek č.13. [24]



Obrázek 13 Kontinuální nanášení [24]



Obrázek 14 Diskontinuální nanášení [24]

5.3 Kontrola a hodnocení kvality aplikace nátěrové hmoty

V průmyslové praxi existuje celá řada možností PÚ na dané typy výrobků, v závislosti na volbě materiálu, polotovaru, aplikaci apod.

Pro shodnost a kvalitativní reprodukovatelnost byly zavedeny sady norem zabývajících se systémem zkoušení PÚ. Normy ČSN EN ISO 28144-1, ČSN EN ISO 28144-2, ČSN EN ISO 28144-3 se touto problematikou zabývají. Vyznačují se zde pojmy jako:

- Puchýř – vzniká odpařením látek, vyskytuje se v porušeném nebo neporušeném stavu.
- Stálost – schopnost nátěru udržet svůj pigment na povrchu v určitých mezích.
- Mrakovitost – vyznačuje se tvorbou vizuálně nesymetrických ploch, tyto plochy se liší odstíny.
- Pórovitost – určuje obsah pórů na povrchu nebo ve filmu.
- Krycí tloušťka – jedná se o minimální šířku nátěru, jenž plní požadované vlastnosti. [21]

Normy nadále určují uspořádání měření, diagramy pro dynamický a statický nástřik, rozložení nátěrových hmot po aplikaci, výsledný estetický vzhled, smáčivost, přípravu vzorku apod. [21] [22] [23]

Vzhledové vlastnosti se posuzují podle řady komplexních charakteristik. Zejména se jedná o celkový vzhled vizuální homogenity. Dále se určuje lesk, matnost a zobrazivost. Tyto parametry se určují podle lomu světla. Barva je dána vyzařovanou vlnovou délkou, měří se pomocí kolorimetrů nebo spektrofotometrů. [21]

Určují se také funkční vlastnosti povrchu. Měří se před PÚ a následně některé po aplikaci PÚ. Posuzuje se drsnost povrchu, mastnota a celková čistota povrchu. Neméně důležitá je zkouška tvrdosti a pevnosti povrchu. Jedná se o základní kontrolu u namáhaných strojírenských výrobků. Dále se destruktivně kontroluje struktura a složení, vnitřní pnutí a deformace. [21] [22]

Z hlediska dlouhodobé ochrany povlaku, který je schopný odolat interakci s prostředím charakterizují ochranné vlastnosti. Měří se tloušťka povrchové vrstvy, korozní zkoušky, pórovitost povrchu a filmu a schopnost odolat opotřebení. [21] [22]

Vlastnosti povlaku významně přímo ovlivňuje tloušťka. Na základě šířky lze předpokládat schopnost ochrany, bariérový efekt, celistvost, pórovitost a další aspekty. Zkoušky lze rozdělit na destruktivní a nedestruktivní. [21] [22] [23]

Časté destruktivní metody:

- Metoda snímací – měří se snímáním hmotnosti výrobku před a po chemickém rozpuštění povlaku.
- Metoda kapková – rozšířená a primitivní metoda. Možnost měřit lokální tloušťku povrchu. Na povrch, který je vyčištěn a odmaštěn nanese se určitý počet kapek roztoku. Měří se čas proleptání vrstvy.
- Metoda výbrusu – princip spočívá v měření výbrusu vzorku pod mikroskopem. Toto měření lze považovat za jedno z nejpřesnějších.
- Metoda délkových měření – jedná se o místní zkoušku. Roztokem se odstraní povlak a vpichovacím měřením se určí rozdíl. [9]

Časté nedestruktivní metody:

- Metoda magnetická – nejjednodušší měření tloušťky povlaků. Ovšem limitováno podmínkou nemagnetických povlaků. Lze snadno provádět tuto metodu v rozsáhlé průmyslové praxi. Měří se na magnetickém podkladu, vyhodnocení probíhá měřením magnetického toku a magnetického pole. Výsledná přesnost měření je ovlivněna magnetickými vlastnostmi materiálu.
- Metoda elektromagnetická – v této metodě se také využívá změna magnetického toku, který je buzen elektrickým zdrojem sekundární energie. Metoda je podobná jako magnetická – nicméně je přesnější a zároveň pracnější.
- Metoda vířivých proudů – používá se pro měření tloušťky nevodivého povrchu vodivých nemagnetických podkladů základního materiálu. [9]

Měření nedestruktivní metody je podmíněno tloušťkou vrstvy, základního materiálu a typem nátěrové hmoty. [9]

V agresivním prostředí je mimo jiné ukazatel kvality povrchové ochrany jeho pórovitost. Pórovitost je definována jako mikroskopické, makroskopické, submikroskopické nepokrytí povrchu podkladu. Dělení pórovitosti určuje místo a velikost. [9]

- Průchozí – vzniká zde vysoké riziko vážné koroze.
- Neprůchozí – po určitém čase schopnost stát se průchozí z důvodu namáhání.
- Inherentní – vzniká v procesu nanášení. [9]

Kontroly pórovitosti se provádějí:

- Fyzikální – lze kontrolovat póry např. opticky, snímáním nebo průchozím plynem.
- Chemické – látka způsobí vlivem interakce povrchu základního materiálu a NH barevné skvrny.
- Elektrochemické – materiál podkladu anodicky rozpuštěn, ionty proudí póry na pomocnou proti elektrodu. [9]

Zkouška koroze

Korozní zkouška zkoumá rychlost a typ úbytku materiálu. Rychlost a typ úbytku závisí převážně na materiálu a prostředí. Zkoušky lze provádět v laboratořích za podmínek, které zrychleně simulují průběh koroze, nebo je lze provádět v místě působení. [9]

Zkouška opotřebení

Jelikož se ve strojírenství často vyskytují prvky, jejichž povrchy mezi sebou bezprostředně působí třením, odíráním, korozí atd. – vyskytuje se potřeba tento děj kontrolovat. [9]

6. Rešerše trysek

Jelikož se tato bakalářská práce zabývá speciální technologií, která není dostupná běžně na trhu, tak proběhla rešerše, jejíž cílem bylo vyhledání různých a speciálních typů trysek v porovnání s klasickými běžně dostupnými pro přímý nástřik.

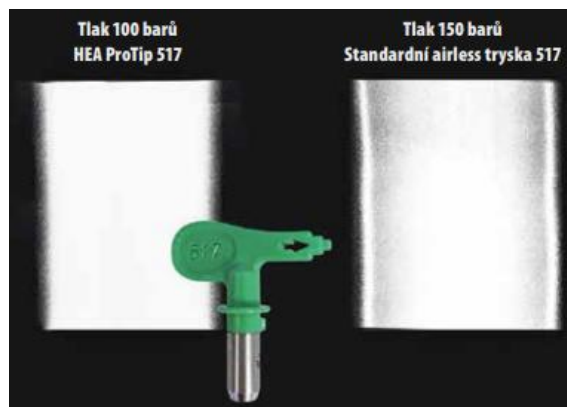
Trysky pro vysokotlaké nanášení NH hmot nebo rozstříku vody se dělí zejména podle typu rozstříku. Existují rozstříky jako je např. dutý kužel, plný kužel, plochý rozstřík a rozprach. Dále se liší zejména úhlem daného rozstříku a otvorem trysky (obr. 15). [25]

Na základě rešerše zde bude ukázáno sedm pro tuto práci nejzajímavějších typů trysek z katalogů firem Wagner, Graco, BETE a BEX.



Obrázek 15 Schéma rozstříku a teoretického pokrytí v závislosti na vzdálenosti mezi tryskou a povrchem [25]

První je tryska od firmy Wagner Airless HEA ProTip. Jedná se o výkonnou technologii trysek, jsou určeny pro klasické stříkání paralelně s osou stříkací vysokotlaké pistole. Konstrukce trysky je vyrobena z tvrzených karbidů. Úhel rozstříku je od 20° do 60°. Šířka paprsku je od 120 do 270 mm. Tyto hodnoty byly odečteny ve vzdálenosti 300 mm od objektu a při tlaku 10 MPa. [32]



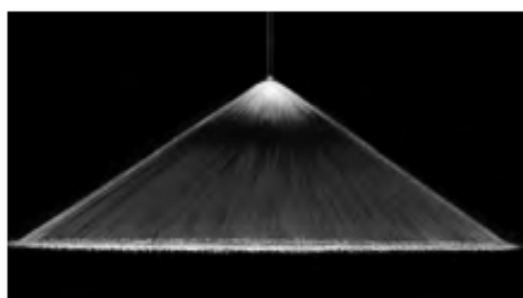
Obrázek 16 Tryska Wagner ProTip517 [32]

Další výrobce na trhu klasických trysek je firma Graco. Jejich tryska TrueAirless 619 obsahuje technologii Softspray. Tryska obsahuje materiál karbidu wolframu. Maximální velikost vějíře je 305 mm, 60° úhel nástřiku a maximální tlak 248 barů. Hodnoty byly odečteny přibližně při tlaku 100 bar a vzdálenosti od povrchu 300 mm. Trysky této třídy nabízejí velmi rozsáhlou škálu maximálních velikostí teoretického pokrytí. [33]

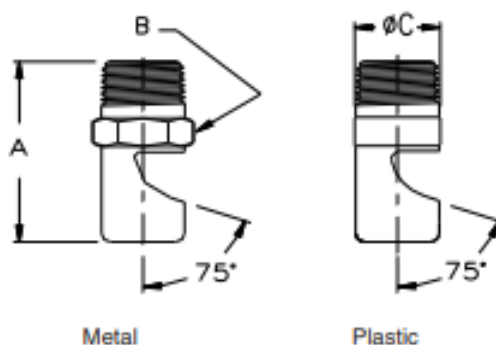


Obrázek 17 Tryska Graco TrueAirless 619 [33]

Tryska od firmy BETE model FF je dodávána s úhlem rozstříku 105 ° nebo 145 °. Obvykle je lze pořídit z těchto materiálů – korozivzdorná ocel, mosaz, PVC. Typ rozstříku je obdélníkový a doporučený rozsah tlaku 0.02 až 1 MPa. Nejmenší dodávané rozměry trysky jsou A 25,4 mm, B 11,2 mm, C 12,7 mm. [34]



Fan 145°

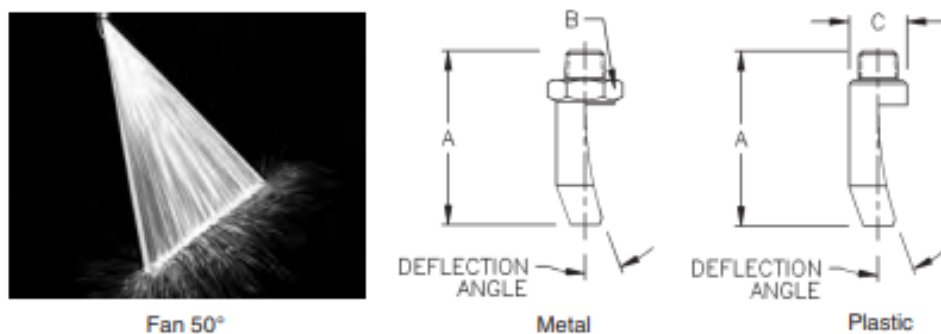


Obrázek 18 Zobrazení úhlu rozstříku, geometrie trysky FF od firmy BETE [34]



Obrázek 19 Tryska FF od firmy BETE [34]

Dalším modelem od firmy BETE je model SPN. Možnost úhlu rozstříku může být z široké palety možností 15°, 25°, 35°, 40°, 50°. Možnost výroby z korozi-vzdorné oceli, mosazi nebo PVC, PTF. Doporučený rozsah tlaků se pohybuje kolem 0,07-1,5 MPa. V nejmenší verzi má úhel rozstříku 35° a geometrické rozměry A 17,8 mm, B 12,7 mm a C 14,2 mm. [35]

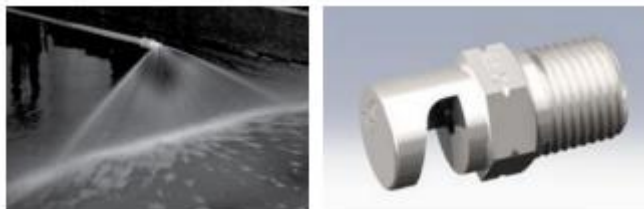


Obrázek 20 Zobrazení úhlu rozstříku, geometrie trysky SPN od firmy BETE [35]



Obrázek 21 Tryska SPN od firmy BETE [35]

Kanadská firma BEX dodává také trysky, kterými by bylo možné teoreticky nanést nátěrovou hmotu na stěny ve štěrbinách. Konkrétně se jedná o model Serie FL. Minimální rozstřík je 75° a posléze závisí na tlaku. Standardně jsou dodávány z materiálu ocel, mosaz a nerezová ocel. Délka trysky je 16 mm a šířka 11 mm. Doporučené tlaky nabývají hodnot 0,02 až 0,4 MPa. [36]



Obrázek 22 Zobrazení rozstříku, tryska Serie FL od firmy BEX [36]

Firma BEX dodává také na evropský trh model Serie FP. Úhel rozstříku hmoty je závislý na úhlu D. Pohybuje se pro rozměr trysky A 17 mm a L 21,1 - 73,0 mm od 33° do 52° . Doporučený tlak má velikosti přibližně 0,1 až 0,6 MPa. Standardně bývají vyráběny z mosazi a korozivzdorné oceli. [37]



Obrázek 23 Zobrazení rozstříku, tryska Serie FL od firmy BEX a její geometrie [37]

Speciální tryska do úzkých štěrbin byla vyrobena firmou Wagner, jedná se o trysku R15 s objemovým průtokem trysky $0,38 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}^{-1}$ a průměrem paprsku ve vzdálenosti 300 mm od objektu při tlaku 10 MPa 250 mm. Tryska a nástavec (obr. 27) jsou díky převlečné matici kompatibilní se stříkací pistolí 17P258 Ultramax Airless Handheld. Na jedné straně je nástavec vybaven závitem pro trysku. Opačnou stranou se zakládá do převlečné matice. Je vyroben z nerezové oceli, o délce 120 mm. Převlečná matice byla vyrobena z převlečné matice se závitem $7/8''-14 \text{ UNF}$ (unifikovaný palcový závit jemný) a uzpůsobena pro nástavec od firmy Wagner. Nicméně toto řešení se neukázalo jako příliš vhodné, jelikož těsnost matice nebyla dostatečná.



Obrázek 24 Tryska R15 s prodlužovacím nástavcem od firmy Wagner

Po rozsáhlé rešerši, kdy byly prohledávány katalogy výrobců trysek, jsem dospěl ke zjištění, že není na trhu dostupná tryska, která by splňovala parametry pro nástřik do štěrbin užších méně než 10 mm. Navíc je zde další problém, který se vyskytl ve spojení mezi prodlužovací trubicí a stříkacím zařízením od firmy Graco. Jelikož závit přístroje je konstruován jako 7/8-14 UNF, bude třeba navrhnout vhodnou převlečnou matici s dostatečným těsněním. Na základě této rešerše je cílem návrh speciální trysky určené do štěrbin širších a včetně 7 mm.

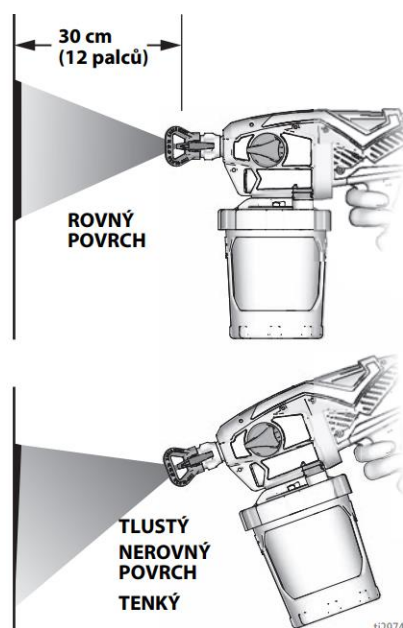
7. Aplikace nátěrové hmoty

Při nástřiku byla použita stříkací zařízení od firmy Graco. Jedná se o model 17P258 Ultramax Airless Handheld (obrázek č.25). Jedná se o verzi s baterií. Obrovskou výhodou tohoto modelu je možnost používat vodou nebo ředidlem naředěné nátěrové hmoty. Používá se ručně, pro těžko přístupná místa nebo v případech, kdy se nevyplatí instalovat výkonnější zařízení. Stříkací pistole Graco má rozsah tlaku pro aplikaci 3,4-13,8 MPa.

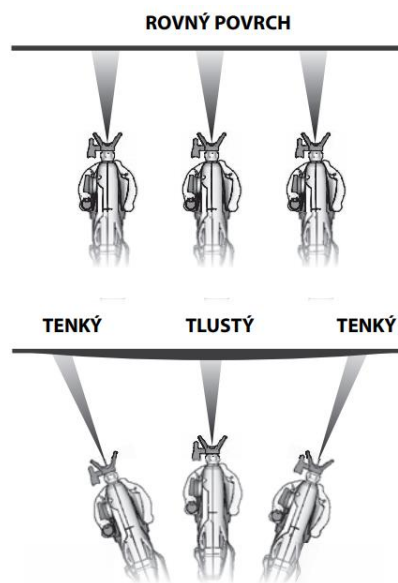


Obrázek 25 Ruční stříkací zařízení Graco-ultramax airless handheld [30]

Výrobce v manuálu obsluhy přístroje naznačuje ideální vzdálenost od plochy nástřiku a také směry nanášení ze stříkacího zařízení. Jak je vidět na obrázcích č.26 a č.27, doporučuje se udržovat směr nástřiku trysky kolmo k povrchu podkladu.



Obrázek 26 Doporučení úhlu nástřiku I.



Obrázek 27 Doporučení úhlu nástřiku II.

Povrch pro testování aplikace nátěrové hmoty tvořily destičky (obr. č.28), které byly vyrobeny z oceli o rozměrech 10x15x3. Destičky byly před aplikací NH řádně odmaštěny rozpouštědlovým přípravkem Aceton čistič R7003 od firmy Colorlak.



Obrázek 28 Ocelová destička

Pro experimentální ověření možností aplikace NH bylo nutné použít vhodný přípravek.

Přípravek (obr. 29) byl zhotoven 3D tiskem firmou TECHTEST. Skládá se ze dvou polí, kam lze umístit ocelovou destičku o rozměrech 10x15x2. Konstrukce zaručuje možnost posouvat vzdálenost desek libovolně od sebe po vzdálenosti 6 mm.



Obrázek 29 Přípravek zhotoven 3D tiskem od firmy TECHTEST

7.1 Volba nátěrové hmoty

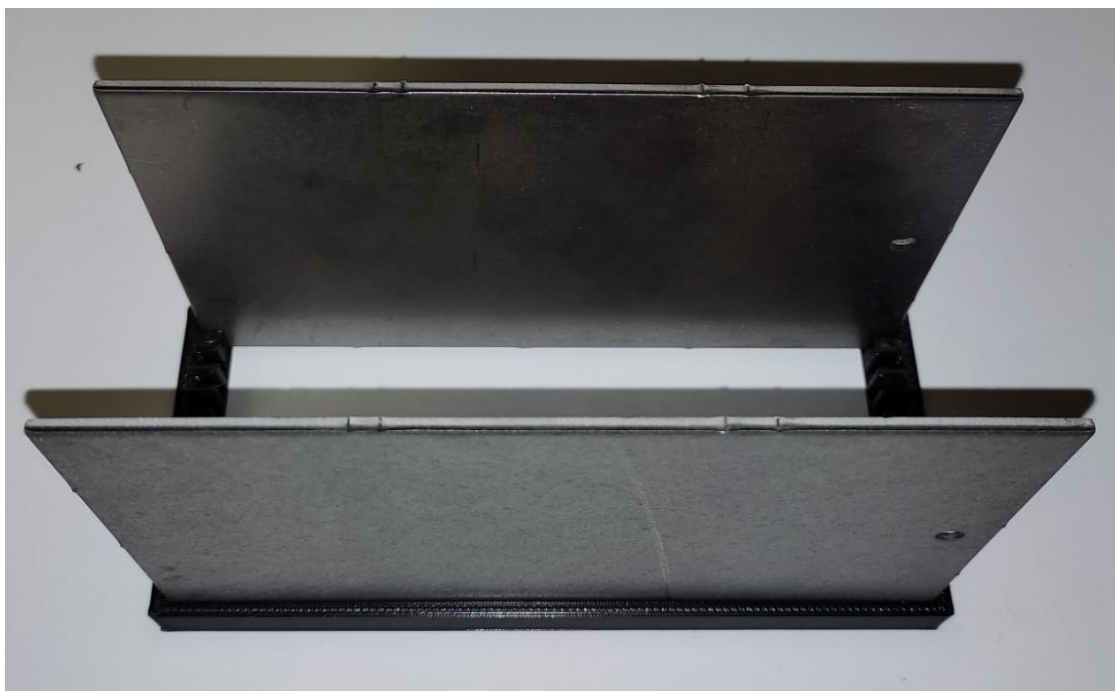
Nátěrová hmota byla zvolena od firmy Sokrates „Anticor“. NS má základ na akrylové bázi s pigmenty proti korozi. NH je vodou ředitelná 5-7 % objemu, může tvořit jak vrchní, tak základní vrstvu, je vhodná na ocelové plochy. Tvoří odstín barvy červenohnědý. Specifická hustota $1,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$. [41]



Obrázek 30 Nátěrová hmota Sokrates "Anticor" [41]

7.2 Aplikace nátěrové hmoty

Před zahájením nástřiku bylo třeba připravit nátěrovou hmotu. Zvolená nátěrová hmota „Barakryl Antikor“ byla zředěna s 5% vody. Experiment spočíval v nástřiku na ocelové destičky, které simulovaly štěrbinu. Na přípravek, který byl popsán výše byly nainstalovány ocelové zkušební destičky ve vzdálenost od 12, 18, 30, do 48 mm, volba tlaků byla v rozsahu 3, 6 a 9 MPa.



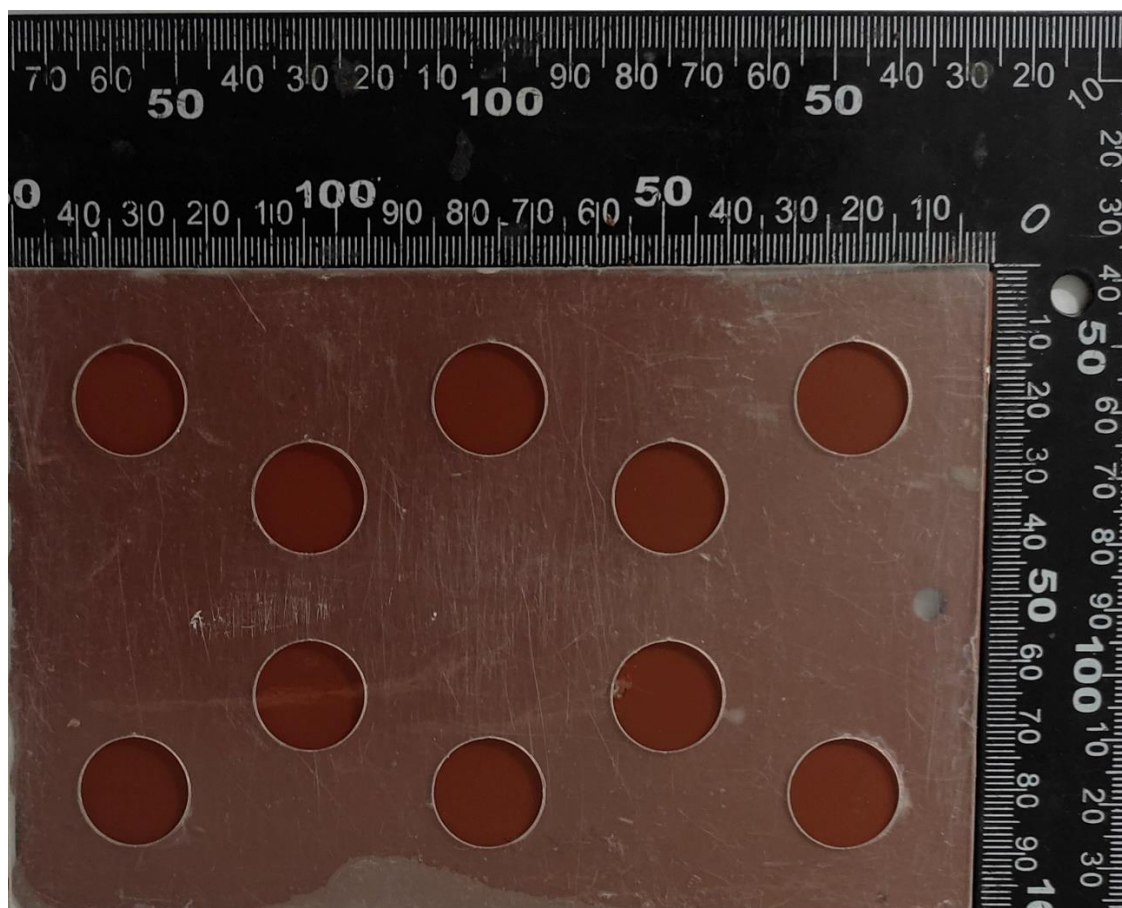
Obrázek 31 Přípravek s vloženými destičkami

7.3 Vyhodnocení

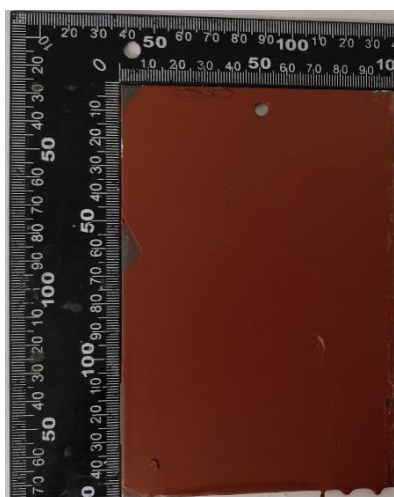
Vyhodnocení probíhalo pomocí přístroje od firmy ELCOMETER, jednalo se o metodu elektromagnetického měření. Přístroj pro měření tloušťky povrchu ELCOMETER 456 obsahuje skenovací sondu, automatický výpočet průměrné hodnoty a uložení dat z měření. Výrobce zaručuje přesnost měření s odchylkou ± 1 % dle normy. Podmínky měření popisuje tabulka č. 2. Na obrázcích 35 až 58 jsou ukázány povrchy ocelových destiček po nanesení nátěrové hmoty. Legenda k popisku: *vzdálenost destiček od sebe x nastavený tlak na stříkací pistoli x pozice v přípravku, levá nebo pravá strana*. Na obrázku 32 lze vidět přípravek na měření pomocí přístroje ELCOMETER 456. Do destičky s 10 otvory se do každé mezery postupně vloží sonda a odečte průměrná hodnota tloušťky povrchu. [42]

Tabulka 2: Podmínky při aplikaci NH

Datum	12.05.2022
Čas	9:40
Relativní vlhkost RV	55,20 %
Teplota povrchu T_p	20,1 °C
Teplota vzduchu T_v	20,7 °C
Rosný bod RB	11,4 °C
ΔT	8,7 °C



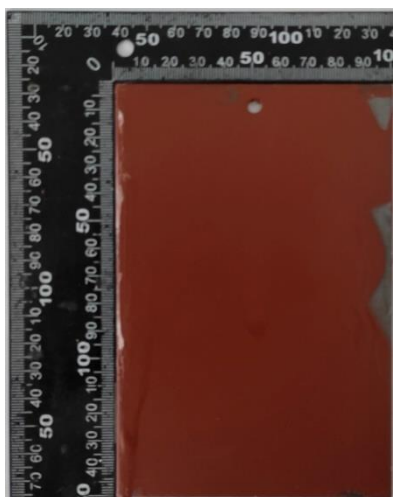
Obrázek 32 Přípravek na měření



Obrázek 33 12-3-L



Obrázek 34 12-3-P



Obrázek 35 12-6-L



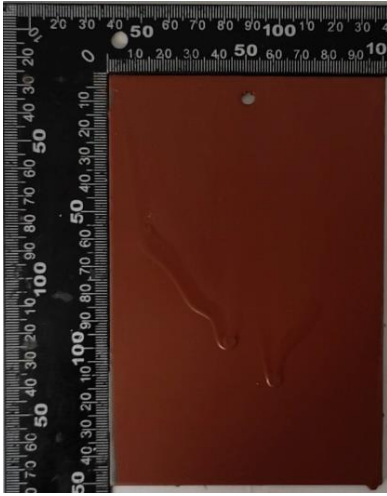
Obrázek 36 12-6-P



Obrázek 37 12-9-L



Obrázek 38 12-9-P



Obrázek 39 18-3-L



Obrázek 40 18-3-P



Obrázek 41 18-6-L



Obrázek 42 18-6-P



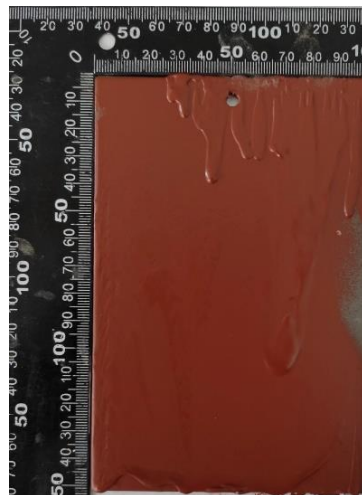
Obrázek 43 18-9-L



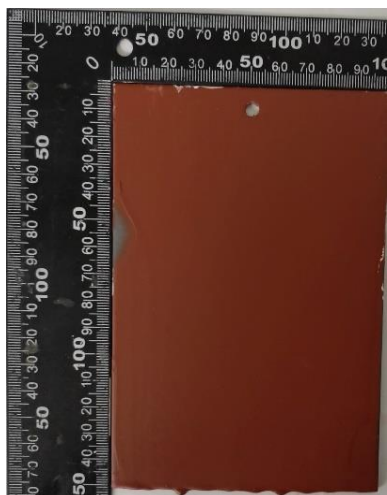
Obrázek 44 18-9-P



Obrázek 45 30-3-L



Obrázek 46 30-3-P



Obrázek 47 30-6-L



Obrázek 48 30-6-P



Obrázek 49 30-9-L



Obrázek 50 30-9-P



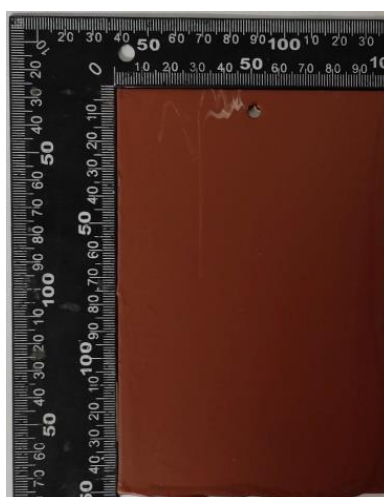
Obrázek 51 48-3-L



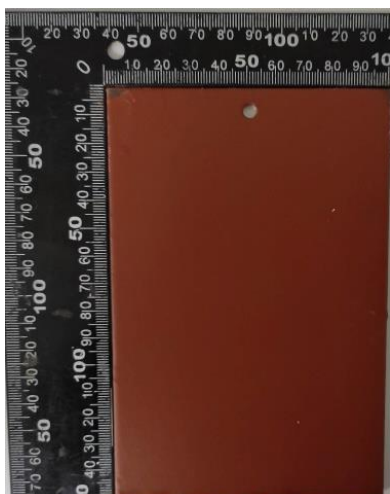
Obrázek 52 48-3-P



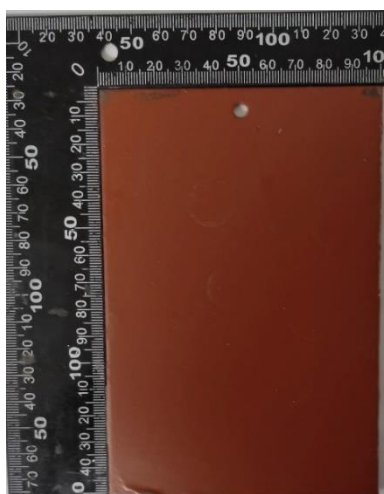
Obrázek 53 48-6-L



Obrázek 54 48-6-P



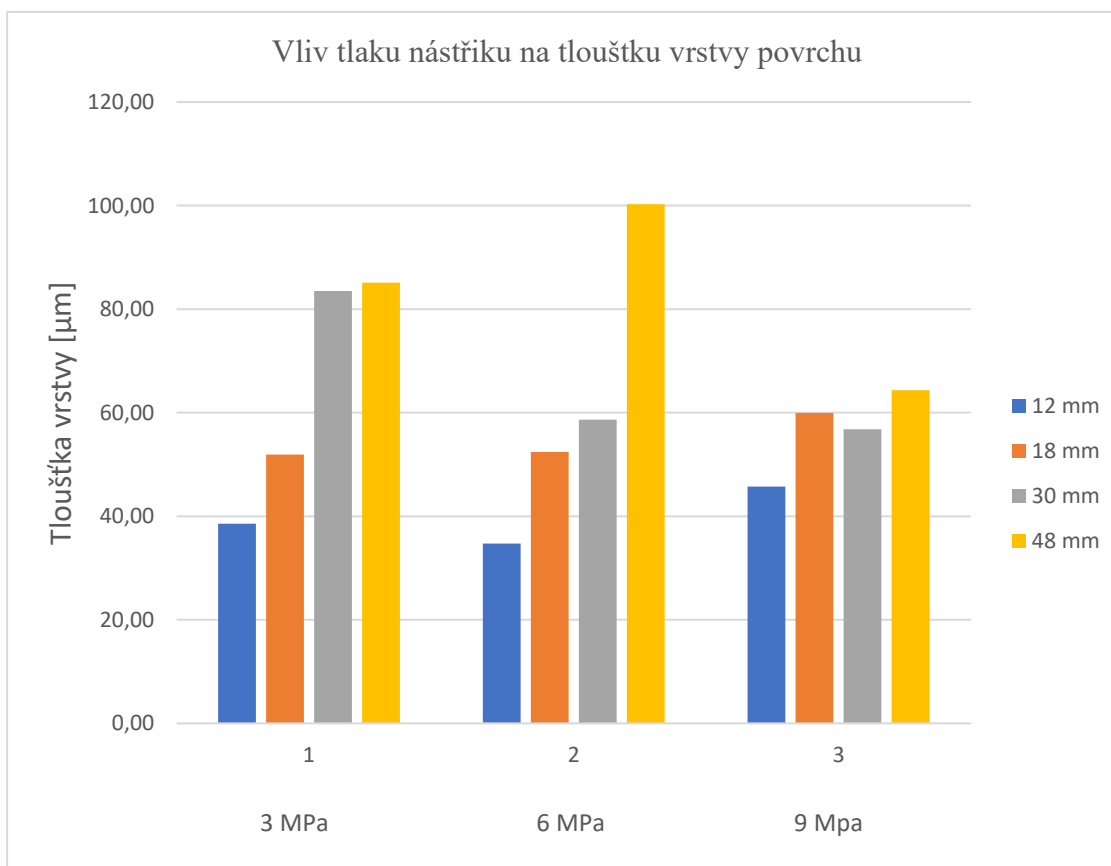
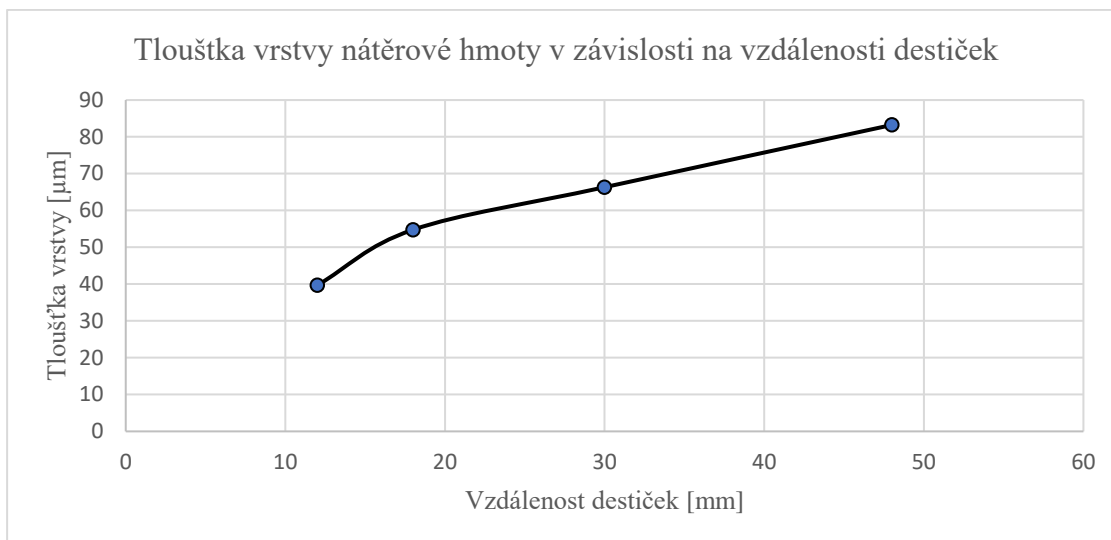
Obrázek 55 48-9-L



Obrázek 56 48-9-P

Tabulka 3: Naměřené hodnoty suchého filmu

Popis měření	Tloušťka jednotlivé vrstvy [μm]	Průměr tloušťky vrstev ve štěrbině [μm]
12-3-L	30,90	38,58
12-3-P	46,26	
12-6-L	30,80	34,73
12-6-P	38,66	
12-9-L	48,47	45,77
12-9-P	43,06	
18-3-L	49,23	51,90
18-3-P	54,57	
18-6-L	55,57	52,44
18-6-P	49,31	
18-9-L	59,01	59,98
18-9-P	60,94	
30-3-L	69,43	83,51
30-3-P	97,59	
30-6-L	65,84	58,66
30-6-P	51,48	
30-9-L	54,20	56,81
30-9-P	59,41	
48-3-L	84,03	85,10
48-3-P	86,16	
48-6-L	100,60	100,26
48-6-P	99,91	
48-9-L	62,15	64,36
48-9-L	66,56	



Vzhledem k výsledkům měření lze předpokládat, že závislost mezi tlakem a kvalitou nástřiku ve štěrbině není výrazná, ale lze předpokládat vyšší teoretické pokrytí. Za výraznou je možné pokládat šířku vrstvy a vzdáleností destiček. Čím vyšší vzdálenost, tím jsou lepší parametry nanesené vrstvy. Je možné však předpokládat, že nastane mezní stav, kdy bude již štěrbinu příliš široká pro kvalitní nástřik, v tomto okamžiku ale přestává být tento prostor štěrbinou.

8. Návrh převlečné matice a trysky

Na základě rešerše v oblasti trysek bylo zjištěno, že se nevyrábí speciální trysky do velmi úzkých prostor, bude nutné navrhnout speciální trysku do úzkých štěrbin. Dalším nevyřešeným problémem je převlečná matice do zařízení od firmy Graco, konkrétně pro model 17P258. Matice je zde potřeba k připojení prodlužovacího nástavce od firmy Wagner. Současná matice účinně netěsní ani při přidání různých typů těsnění, zejména z důvodu konstrukce závitu u stříkacích zařízení. Výpočty budou vycházet ze zdrojů [25] [26] [38] [39] [40].

Z výše zaznamenaných dat vyplývá schopnost tvořit kvalitní povrchovou vrstvu pod úhlem 130° a při tlaku od 3 MPa. Z důvodu rychlosti teoretického pokrytí byla zvolena hodnota 10 MPa.

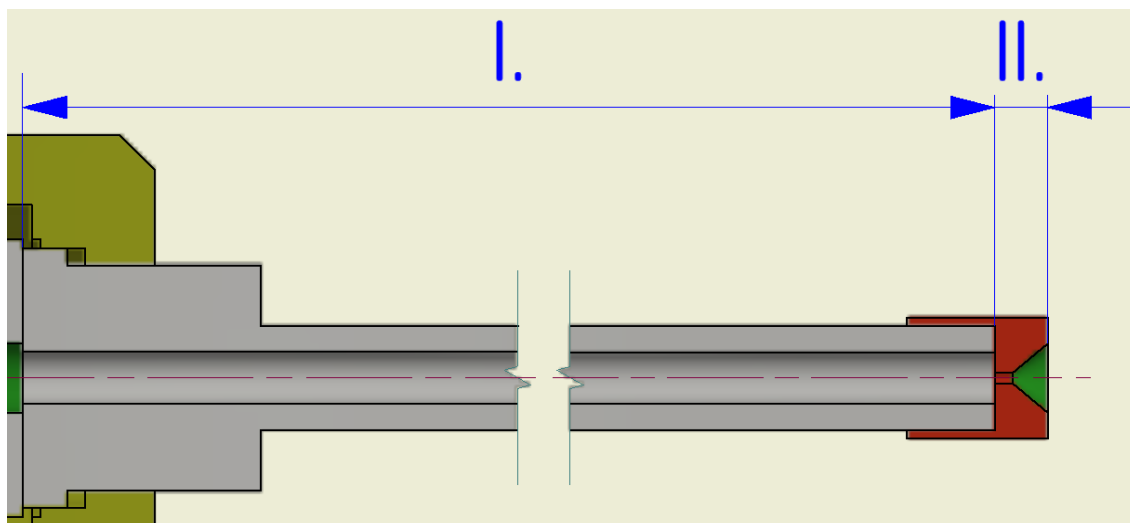
Nejprve budou určeny tlaky a geometrii trysky. Na základě hodnoty objemového průtoku, jenž byl v aplikaci je dopočítán průměr otvoru trysky a rovnice (1).

Hlavní inovativní návrhy trysky obsahují snížení maximálního průměru pouzdra trysky a zvýšení objemového toku, navýšení úhlu rozstříku je minimální. Zvýšení trysky o přibližně o čtvrtinu se projeví na průměru d_{tr} při rychlosti nástřiku vhodném pro vysokotlaké nanášení $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2).

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = Q_v \quad (1)$$

$$d_{tr} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot v_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,48 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 25}} = 0,66 \text{ mm} \quad (2)$$

Zvolený průměr d_{tr} je roven 0,66 mm.



Obrázek 57 Rozdělení oblastí prodlužovacího nástavce a trysky

Hodnoty tlaků se výrazně liší v závislosti na konstrukci. Výpočty byly rozděleny na dvě oblasti, konkrétně oblast I. a oblast II. U oblasti I. je třeba počítat se ztrátami na vstupu a ztráty třením. V oblasti II. se nacházejí také ztráty na vstupu, ale také ztráta difuzoru. Avšak ztráta třením tekutiny je zde zanedbatelná vzhledem k délce difuzoru. Oblasti jsou znázorněny na obrázku číslo 57.

Jelikož je třeba znát třecí ztráty prodlužovacího nástavce a vstupu v oblasti I., je nutné vypočítat Reynoldsovo číslo a určit typ proudění (3). Základním předpokladem je tixotropní látka, kterou lze v prvních desetínách sekundy považovat za Newtonskou kapalinou. Z technického a bezpečnostního listu byly odečteny hodnoty kinematické viskozity a hustoty nátěrové barvy Sokrates „Anticor“. Tyto hodnoty lze považovat za podobné ke vztahu k většině antikoročních nátěrových systémů vodou ředitelných na akrylové bázi. V technickém nebo bezpečnostním listu je obvykle uvedena specifická hustota a dynamická viskozita. Kinematická viskozita je závislá na teplotě, v tomto případě se jedná o teplotu 18°C.

$$Re_l = \frac{D_{1pn} \cdot v_1}{\nu} \quad (3)$$

$$Re_l = \frac{0,003 \cdot 1,2}{1,45 \cdot 10^{-4}} = 24,83$$

Na základě hodnoty Reynoldsova čísla lze konstatovat proudění za laminární. Kritická hodnota $Re_l < Re_k$ se obvykle pohybuje v rozmezí $\langle 1000; 10000 \rangle$ v závislosti na typu použití. Je možné tedy prohlásit, že toto kritérium není dosaženo.

K výpočtu třecích ztrát v potrubí a určení místních ztrát potrubí je zapotřebí hodnota λ_l vyjadřující součinitel třecích ztrát a ztrátový součinitel ξ závislý na geometrii vstupu. Pomocí rovnice (4) lze v případě laminárního proudění snadno vypočítat hodnotu λ_l .

$$\lambda_l = \frac{64}{Re} \quad (4)$$

$$\lambda_l = \frac{64}{24,83} = 2,58$$

Z výše vypočteného součinitele třecích ztrát dopočítáme hodnotu ztráty tření (5).

$$e_{zt} = \lambda_l \cdot \frac{L_{pn}}{D_{1pn}} \cdot \frac{v_1^2}{2} \quad (5)$$

$$e_{zt} = 2,58 \cdot \frac{0,125}{0,003} \cdot \frac{1,2^2}{2} = 77,4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Ztrátový součinitel ξ pro ostrohranné pravoúhlé vstupy má hodnotu 0,5. S touto konstantou ξ vypočítáme místní ztráty vstupu (6).

$$e_{zvl} = \xi \cdot \frac{v_1^2}{2} \quad (6)$$

$$e_{zvl} = 0,5 \cdot \frac{1,2^2}{2} = 0,36 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Z výsledků je patrné, že ztráty třením v potrubí jsou vyšší nežli místní ztráty vstupu do nástavce.

Z rozšířené Bernoulliho (7) rovnice pro stacionární proudění nestlačitelných tekutin o ztráty je vypočítán tlak p_{2tek} (8). Coriolisův součinitel má hodnotu přibližně 2 pro laminární proudění.

$$gh_{1h} + \frac{p_{1tek}}{\rho} + \kappa_1 \frac{v_1^2}{2} = gh_{2h} + \frac{p_{2tek}}{\rho} + \kappa_2 \frac{v_2^2}{2} + e_{zvl} + e_{zt} \quad (7)$$

$$p_{2tek} = \left[\frac{p_{1tek}}{\rho} + \kappa_1 \frac{v_1^2}{2} - \kappa_2 \frac{v_2^2}{2} - e_{zvl} - e_{zt} \right] \cdot \rho \quad (8)$$

$$p_{2tek} = \left[\frac{10^7}{1320} + 2 \cdot \frac{1,2^2}{2} - 2 \cdot \frac{25^2}{2} - 0,36 - 77,4 \right] \cdot 1320 = 9,1 \text{ MPa}$$

Výsledný tlak p_{2tek} odpovídá přibližnému tlaku z ústí trysky bez dalších ztrát. Další ztráty se nacházejí v oblasti II.

Prvním výpočtem bude opět ztráta na vstupu v tomto případě do trysky (9).

$$e_{zvII} = \xi \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad (9)$$

$$e_{zvII} = 0,5 \cdot \frac{25^2}{2} = 156,25 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

K výpočtu difuzoru jsou také potřeba hodnoty Reynoldsova čísla a hodnota λ . Avšak jejich hodnoty nenabývají konstantních hodnot vlivem měnícího se průřezu. Zjednodušený model počítá se středním průměrem difuzoru (10).

$$d_{str} = \frac{(d_{tr} + d_{trv})}{2} \quad (10)$$

$$d_{str} = \frac{(0,66 + 4)}{2} = 2,33 \text{ mm}$$

Zde je potřebné dopočítat rychlost v_{str} (11). Postup je zde již obdobný jako předchozím případě, výpočet Reynoldsova čísla (12) a hodnota λ (13). Dále je nezbytné vypočítat hodnotu rychlosti v_3 (14). Pro výpočet ztrát difuzoru existuje zjednodušená rovnice (15).

$$v_{str} = Q_v \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_{str}^2} \quad (11)$$

$$v_{str} = 8,48 \cdot \frac{4}{\pi \cdot 2,33^2} = 1,99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Re_{II} = \frac{d_{str} \cdot v_{str}}{\nu} \quad (12)$$

$$Re_{II} = \frac{0,0023 \cdot 1,99}{1,45 \cdot 10^{-4}} = 31,57$$

$$\lambda_{II} = \frac{64}{Re} \quad (13)$$

$$\lambda_{II} = \frac{64}{31,57} = 2,03$$

$$v_3 = Q_v \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_{trv}^2} \quad (14)$$

$$v_3 = 8,48 \cdot \frac{4}{\pi \cdot 4^2} = 0,68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$e_{zd} = \frac{\lambda_{II}}{4} \cdot \frac{l_d}{d_{trv} - d_{tr}} \cdot \left[\left(\frac{d_{trv}}{d_{tr}} \right)^4 - 1 \right] \cdot \frac{v_3^2}{2} \quad (15)$$

$$e_{zd} = \frac{1,98}{4} \cdot \frac{0,002}{0,004 - 0,00066} \cdot \left[\left(\frac{0,004}{0,00066} \right)^4 - 1 \right] \cdot \frac{0,68^2}{2} = 92,39 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Ted' již máme vše potřebné pro konečný výsledek hodnoty tlaku p_{3tek} (16).

$$p_{3tek} = \left[\frac{p_{2tek}}{\rho} + \kappa_2 \frac{v_2^2}{2} - \kappa_3 \frac{v_3^2}{2} - e_{zVII} - e_{zd} \right] \cdot \rho \quad (16)$$

$$p_{3tek} = \left[\frac{8,71 \cdot 10^6}{1320} + 2 \cdot \frac{25^2}{2} - 2 \cdot \frac{0,68^2}{2} - 225 - 92,39 \right] \cdot 1320 = 9,12 \text{ MPa}$$

Pro kontrolu stlačitelnosti tekutiny je potřeba vypočítat rychlost zvuku v tekutině (17) a výpočet Machova čísla (18). Předpokládáme nejvyšší hodnotu Machova čísla při vstupu do trysky.

$$a = \sqrt{\frac{dp_{2tek}}{d\rho}} \quad (17)$$

$$a = \sqrt{\frac{9,1 \cdot 10^6}{1320}} = 83,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M = \frac{v_2}{a} = \frac{25}{83,03} = 0,3 \quad (18)$$

Jak lze z výpočtu vypožorovat rychlost proudění dosahuje jedné třetiny Machova čísla. Lze tedy predikovat na tomto mezním bodě ještě kapalinu za nestlačitelnou.

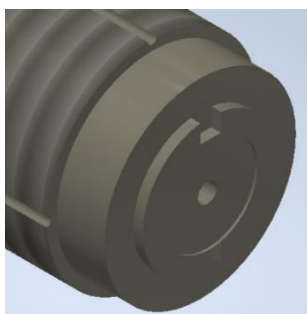
V případě delšího nástavce by mohla být provedena kontrola na ohyb. Nicméně v tomto případě, kdy tekutina působí ve všech směrech stejným tlakem a uložením typem vetknutí, lze očekávat naprosto minimální ohyb.

Za další dílčí výpočet je možné pokládat výpočet vlastních frekvencí. Vzhledem ke složitosti výpočtu v tomto případě a výsledné tuhosti součástí je také tento výpočet zanedbán.

8.1 Návrh převlečné matice

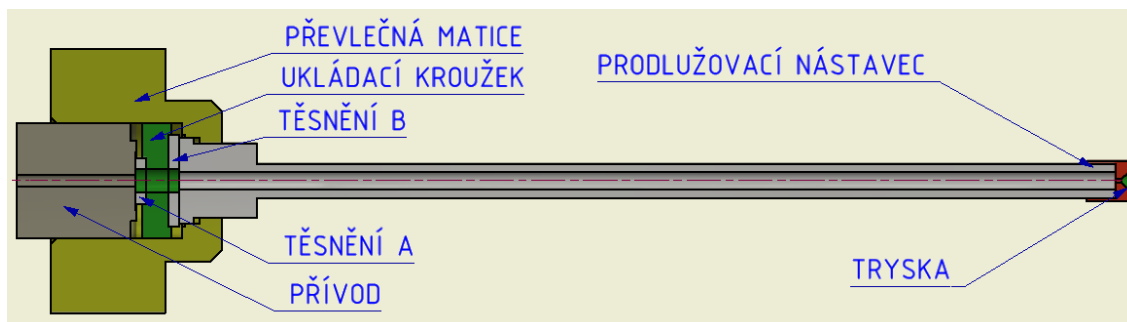
Převlečná matice bude navržena s ohledem na zvýšení těsnosti šroubového spoje a kompatibilitu se zařízením Graco 17P258. S ohledem na dlouhodobou životnost převlečné matice byl zvolen materiál korozivzdorná ocel ČSN 17 140. Vzhledem ke konstrukci výchozí trysky na stříkacích zařízeních Graco (obr. 58) je potřeba navrhnout takový systém těsnění, aby se zamezilo protékání NH přes vyfrézovanou oblast závitů.

Matice musí být opatřena vnitřním závitem 7/8" – 14 UNF. Utahování matice bude řešeno šestihranným profilem na vnější straně matice. V matici na straně pro usazení trysky a prodlužovacího nástavce bude umístěn kroužek ve kterém budou uložena těsnění.



Obrázek 58 Závit přívodu 17P258

Nezbytným dílčím výpočtem je kontrola dovoleného napětí přívodu, těsnění, kroužku na uložení těsnění a prodlužovacího nástavce. Samotná tryska je přitlačena na prodlužovací nástavec trysky, takže lze zanedbat toto tečné a radiální napětí. Na obrázku 59 vidíte řez těchto prvků.



Obrázek 59 Řez prvky matice, těsnění, usazovacího kroužku, prodlužovacího nástavce a trysky

Kontrolu napjatosti převlečné matice není třeba vykonat z důvodu teorie nalisovaných nádob, kdy je namáhán nejvíce materiál závitové přívodové trubky.

Systém výpočtů bude využívat teorii tlustostěnných nádob. Parametry atmosférického tlaku p_2 a vnitřního přetlaku p_1 mají všechny prvky stejné. Tlak p_1 je volen jako maximální možný tlak, jež je schopná na tekutinu pistole Graco model 17P258 vyvolat.

Trubka přívodu byla vyrobena firmou Graco, materiál je vyroben pravděpodobně z polyamidu PA 6, napětí na mezi kluzu materiálu nabývá hodnot přibližně $80 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, jako rozměr r_{2pr} byla zvolena polovina střední hodnoty závitů. Rozměr r_{1pr} je vnitřní poloměr otvoru přívodu. Maximální dovolené napětí přívodu se vypočítá podle rovnice (19).

$$\sigma_{Dpr} \geq \frac{(p_1 - p_2)}{1 - \left(\frac{r_{1pr}}{r_{2pr}}\right)^2} \quad (19)$$

$$\sigma_{Dpr} \geq \frac{(15 - 0,1)}{1 - \left(\frac{1,27}{10,59}\right)^2}$$

$$\sigma_{Dpr} \geq 15,12 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Při bezpečnosti $k=2$, materiál vyhovuje $\sigma_{Dpr} = 40 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

Prodlužovací nástavec je podle výrobce dimenzován na maximální tlak $35 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, vnitřní poloměr r_{1tr} a vnější poloměr r_{2tr} geometrické parametry trysky. Tryska je vyrobena pravděpodobně z korozivzdorné oceli ČSN 17 140. Mez kluzu $210 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Postupuje se zde podle obdobného vzorce (20).

$$\sigma_{Dpn} \geq \frac{(p_1 - p_2)}{1 - \left(\frac{r_{1pn}}{r_{2pn}}\right)^2} \quad (20)$$

$$\sigma_{Dpn} \geq \frac{(14 - 0,1)}{1 - \left(\frac{1,5}{3}\right)^2}$$

$$\sigma_{Dpn} \geq 19,86 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

σ_{Dpn} při bezpečnosti $k=2$ a hodnotě pevnosti na mezi kluzu vychází $105 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, lze tedy konstatovat, že pevnost je dostatečná.

Nutný kontrolní výpočet dovoleného napětí se nachází také u A těsnění. Těsnění je vyrobeno z materiálu expandovaný grafit, obchodní název Novaphit MSP, dimenzovaný pro dovolené napětí (21) v mezi kluzu vyšší nežli $30 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Vnitřní poloměr těsnění r_{1tea} a vnější poloměr r_{2tea} charakterizuje rozměry. [43]

$$\sigma_{Dtea} \geq \frac{(p_1 - p_2)}{1 - \left(\frac{r_{1tea}}{r_{2tea}}\right)^2} \quad (21)$$

$$\sigma_{Dtea} \geq \frac{(14 - 0,1)}{1 - \left(\frac{2}{4}\right)^2}$$

$$\sigma_{Dtea} \geq 19,87 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

σ_{Dtea} zaručuje výrobce s bezpečností $k=1,5$ hodnotu $20 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Vzhledem k uložení do kroužku je tato hodnota dostačující.

Stejný postup a materiálové hodnoty je použit ve vztahu pro výpočet druhého B těsnění (22). Avšak rozměry vnitřního poloměru r_{1teb} a vnější poloměr r_{2teb} jsou rozdílné.

$$\sigma_{Dteb} \geq \frac{(p_1 - p_2)}{1 - \left(\frac{r_{1teb}}{r_{2teb}}\right)^2} \quad (22)$$

$$\sigma_{Dteb} \geq \frac{(15 - 0,1)}{1 - \left(\frac{2}{8}\right)^2}$$

$$\sigma_{Dteb} \geq 15,89 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Volba materiálu v závislosti na volbě geometrie je i v tomto případě dostačující při bezpečnosti $k=1,5$.

Posledním výpočtem teorie nádob v naší aplikaci je kontrola kroužku k usazení těsnění. Kroužek je vyroben z materiálu ČSN 17 140 s minimální pevností v tahu $240 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Hodnoty r_{1kr} a r_{2kr} opět charakterizují vnitřní a vnější poloměr.

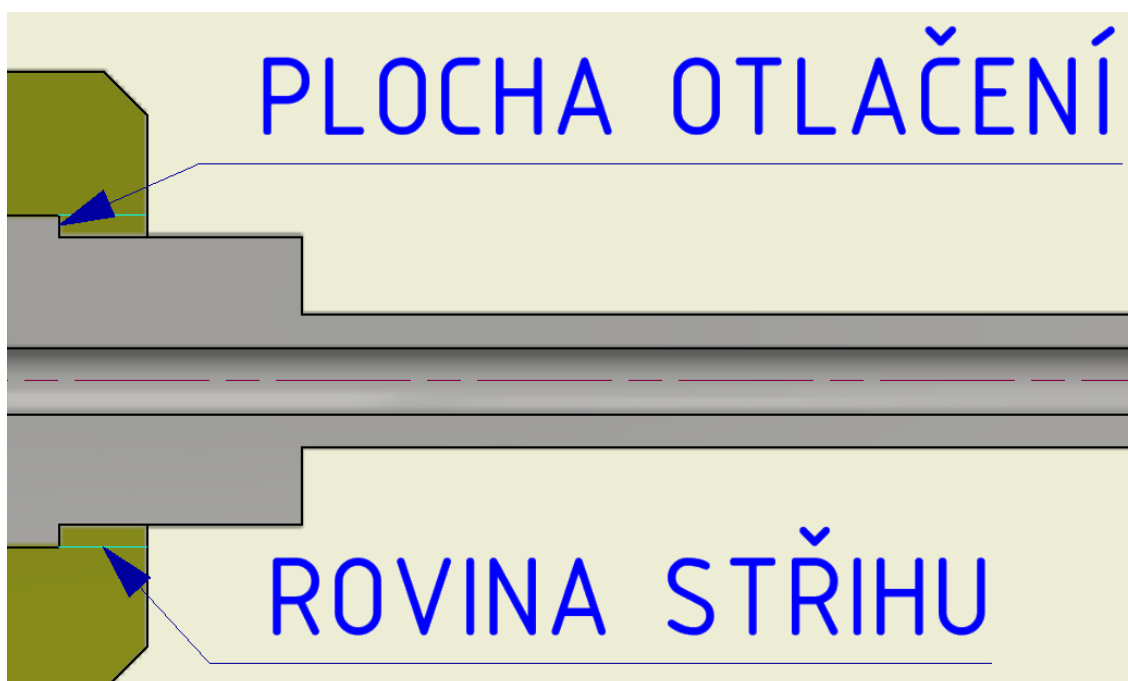
$$\sigma_{Dkr} \geq \frac{(p_1 - p_2)}{1 - \left(\frac{r_{1kr}}{r_{2kr}}\right)^2} \quad (23)$$

$$\sigma_{Dkr} \geq \frac{(15 - 0,1)}{1 - \left(\frac{2}{10}\right)^2}$$

$$\sigma_{Dkr} \geq 15,52 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

σ_{Dkr} při bezpečnosti $k=2$ je rovno $120 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Dle výpočtu se zdá materiál předimenzován, ale byl také volen na základě doprovodných vlastností odolnosti proti korozi.

Další kontrolou je ověření součástí na stříh a na otláčení (obr.60). Výpočty budou zahrnovat usazení prodlužovacího nástavce trysky a usazení prodlužovacího nástavce trysky v matici. Síla F_p reprezentuje sílu vyvolanou tlakem $15 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ na průměru vstupu do nástavce 4 mm.



Obrázek 60 Detail usazení trysky v převlečné matici

Kontrola usazení prodlužovacího nástavce trysky v matici na otláčení (24). Rozměry D_{2us} a D_{1us} popisují vnější a vnitřní průměr usazení.

$$p_{Dus} = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{\pi \frac{(D_{2us}^2 - D_{1us}^2)}{4}} \quad (24)$$

$$p_{Dus} = \frac{125,66}{\pi \frac{(15^2 - 13^2)}{4}} = 2,86 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

p_{DDus} dovolené má při bezpečnosti 2 hodnotu $105 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

Kontrolu prodlužovacího nástavce na otláčení není nutno provést, jelikož je totožná s předchozí kontrolou na usazení. Mění se zde pouze hodnota dovoleného tlaku, která vychází pro bezpečnost $k=2$ přibližně $172,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Napětí je minimální, vyhovuje jak pro materiál prodlužovacího nástavce trysky, tak pro materiál matice.

Ovšem rozdílná bude již v tomto místě kontrola na střiž (25). Parametr h_1 popisuje výšku usazení matice.

$$\tau_{um} = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{\pi \cdot D_{2us} \cdot h_1} \quad (25)$$

$$\tau_{um} = \frac{125,66}{\pi \cdot 15 \cdot 4} = 0,67 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Napětí vychází jako minimální hodnota. Dovolené napětí vychází podle HMH $103,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

Druhá část tohoto exponovaného místa je kontrolována na střiž (26) přímo v širším vnějším průměru D_{spt} prodlužovacího nástavce. Výška tohoto místa je rovna h_2 .

$$\tau_{pn} = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{\pi \cdot D_{spt} \cdot h_2} \quad (26)$$

$$\tau_{pn} = \frac{125,66}{\pi \cdot 12,50 \cdot 2,5} = 1,28 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

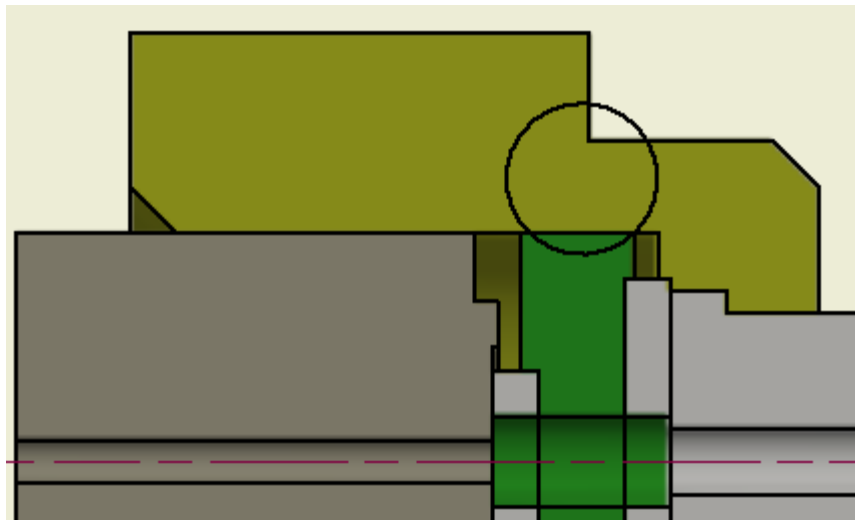
Opět je napětí ve střiž minimální. Dovolené napětí střiž τ_{dpn} podle HMH má hodnotu $63 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Obě napětí ve střiž byly počítána s bezpečností 2.

Dalším exponovaným místem je okolí vrubu matice (obr. 61). Zde byla výpočetní metoda idealizována a výpočet se zjednodušil na namáhání prostým tlakem zúženého průměru převlečné matice.

$$\sigma_{DIM} = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{\pi \frac{(D_{21M}^2 - D_{11M}^2)}{4}} \quad (24)$$

$$\sigma_{DIM} = \frac{125,66}{\pi \frac{(28^2 - 22^2)}{4}} = 0,54 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Dovolené napětí v tomto exponovaném místě je z bezpečností $k=4$ rovno $26,25 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.



Obrázek 61 Exponované místo matice – vrub

Pro výpočet tlaku v závitech matice je potřebné vypočítat provozní předpětí. To je možné stanovit na základě Rötcherova diagramu. Prvním dílčím výpočtem je zapotřebí vypočítat tuhosti daných prvků.

Tabulka č. 4 vyznačuje, které části jsou přitěžované „1“ a které odlehčované „2“, závislosti na síle předpětí Q_0 a pracovní zátěžné F_p .

Tabulka 4: Rozdělení prvků na části přitěžované/odlehčované v závislosti na působících silách

Části	Q_0	F_p	Určení
Matice	+	+	„1“
Těsnění A	-	+	„2“
Těsnění B	-	+	„2“
Kroužek	-	+	„2“
Přívod	-	+	„2“
Nástavec trysky	-	+	„2“

Samotná tuhost každého prvku se vypočítá ze vztahu (27). C značí tuhost, E modul pružnosti v tahu, S plochu prvku a l značí délku prvku.

$$C = \frac{E \cdot S}{l} \quad (27)$$

Tuhost matice C_m (28) lze vypočítat z předchozího vztahu. Délku l_M lze uvažovat jako polovinu délky závitu. Rozměr D_{vm} je vnější rozměr matice. Modul pružnosti nerezové oceli ČSN 17 140 se rovná přibližně 200 GPa.

$$C_m = \frac{E_m \cdot S_m}{L_M} = \frac{E_M \cdot \frac{\pi(D_{vm}^2 - d_{2zpn}^2)}{4}}{L_M} \quad (28)$$

$$C_m = \frac{200 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(46^2 - 21,18^2)}{4}}{7,5} = 3,4922 \cdot 10^{13} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Tuhost A těsnění (29) se počítá obdobným způsobem modul pružnosti expandovaného grafitu se rovná přibližně 1,5 GPa.

$$C_{tea} = \frac{E_{tea} \cdot S_{tea}}{L_{tea}} = \frac{E_{tea} \cdot \frac{\pi(D_{2tea}^2 - D_{1tea}^2)}{4}}{L_{tea}} \quad (29)$$

$$C_{tea} = \frac{1,5 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(8^2 - 4^2)}{4}}{2} = 2,8274 \cdot 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Výpočet B těsnění proběhne stejným způsobem (30), ale s jinou geometrií.

$$C_{teb} = \frac{E_{teb} \cdot S_{teb}}{L_{teb}} = \frac{E_{teb} \cdot \frac{\pi(D_{2teb}^2 - D_{1teb}^2)}{4}}{L_{teb}} \quad (30)$$

$$C_{teb} = \frac{1,5 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(16^2 - 4^2)}{4}}{2} = 1,4137 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Tuhost kroužku je možné spočítat dle rovnice (31). Kroužek je navržen z materiálu korozivzdorné oceli ČSN 17 140, má modul pružnosti 200 GPa.

$$C_{kr} = \frac{E_{kr} \cdot S_{kr}}{L_{kr}} = \frac{E_{kr} \cdot \frac{\pi(D_{2kr}^2 - D_{1kr}^2)}{4}}{L_{kr}} \quad (31)$$

$$C_{kr} = \frac{200 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(20^2 - 4^2)}{4}}{1} = 6,0319 \cdot 10^{13} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Rovnice (32) popisuje tuhost přívodu. Firma neposkytuje na základě svého patentu přesnou hodnotu modulu pružnosti. Hodnota je odečtena z tabulek na základě materiálu a pevnosti v tahu.

$$C_{pr} = \frac{E_{pr} \cdot S_{pr}}{L_{pr}} = \frac{E_{pr} \cdot \frac{\pi(D_{2pr}^2 - D_{1pr}^2)}{4}}{L_{pr}} \quad (32)$$

$$C_{pr} = \frac{1,4 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(8^2 - 4^2)}{4}}{2} = 1,0599 \cdot 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Posledním výpočtem tuhosti jednotlivého prvku je výpočet tuhosti prodlužovacího nástavce trysky (33).

$$C_{pn} = \frac{E_{pn} \cdot S_{pn}}{L_{pn}} = \frac{E_{pn} \cdot \frac{\pi(D_{2pn}^2 - D_{1pn}^2)}{4}}{L_{pn}} \quad (33)$$

$$C_{pn} = \frac{200 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(15^2 - 3^2)}{4}}{2,5} = 1,3572 \cdot 10^{13} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

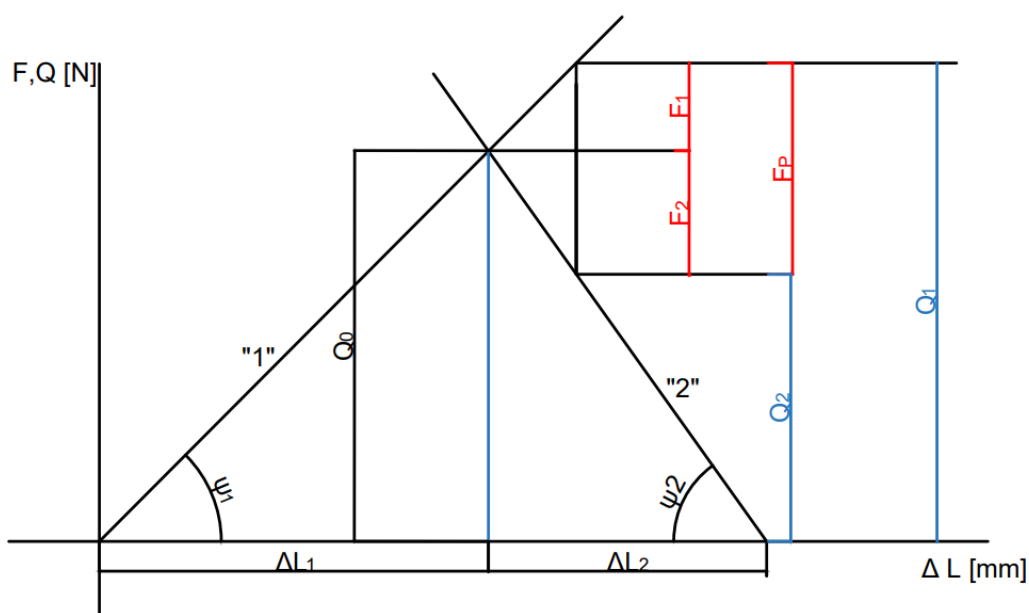
Výsledné tuhosti se vypočítají ze vztahů (34) a (35). C_1 odpovídá části přitěžované a C_2 odlehčované.

$$C_1 = C_m \quad (34)$$

$$C_1 = 3,4922 \cdot 10^{13} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_{te1}} + \frac{1}{C_{te2}} + \frac{1}{C_{kr}} + \frac{1}{C_{pn}} + \frac{1}{C_{pr}} \quad (35)$$

$$C_2 = \left[\frac{1}{2,8274 \cdot 10^{10}} + \frac{1}{1,4137 \cdot 10^{11}} + \frac{1}{6,0319 \cdot 10^{13}} + \frac{1}{7,7410 \cdot 10^{12}} + \frac{1}{1,0599 \cdot 10^{10}} + \frac{1}{1,3572 \cdot 10^{13}} \right]^{-1} = 2,9301 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}$$



Obrázek 62 Rötscherův diagram pro statické zatížení

Obrázek 62 popisuje Rötscherův diagram pro statické zatížení. Síla Q_0 charakterizuje minimální montážní předpjetí. Síla Q_1 popisuje maximální zatížení šroubového spoje. Síla Q_2 (36) je dopočítána z koeficient těsnosti q , který se obvykle pohybuje v mezích (1,5-2,0) v závislosti na volbě materiálu těsnění.

$$Q_2 = q \cdot F_p \quad (36)$$

$$Q_2 = 1,5 \cdot 125,66 = 188,49 \text{ N}$$

Dále určíme z rovnic (37), (38) a (39) montážní a provozní předpjetí.

$$F_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} F_p \quad (37)$$

$$F_1 = \frac{3,4922 \cdot 10^{13}}{3,4922 \cdot 10^{13} + 2,9301 \cdot 10^{11}} \cdot 125,66 = 124,62 \text{ N}$$

$$Q_0 = Q_2 + F_p \quad (38)$$

$$Q_0 = 188,49 + 125,66 = 314,15$$

$$Q_1 = Q_0 + F_1 \quad (39)$$

$$Q_1 = 314,15 + 124,62 = 438,77 \text{ N}$$

Teď je již známa hodnota pracovního předpjetí s níž lze vypočítat otláčení a únosnost závitu. Rovnice (40) popisuje nosnou plochu závitu. Dosazením vypočtených hodnot a zvolením maximálního počtu nosných závitů 3 dopočítáme únosnost závitu (41).

$$S_{Zm} \approx \pi \cdot D_{2zm} \cdot H_{1m} \quad (40)$$

$$S_{Zm} \approx \pi \cdot 21,05 \cdot 2,117$$

$$S_{Zm} = 140 \text{ mm}^2$$

$$p_{zm} = \frac{Q_1}{z \cdot S_{Zm}} \leq p_{Dzm} \quad (41)$$

$$p_{zm} = \frac{438,77}{3 \cdot 140} \leq p_{Dzm}$$

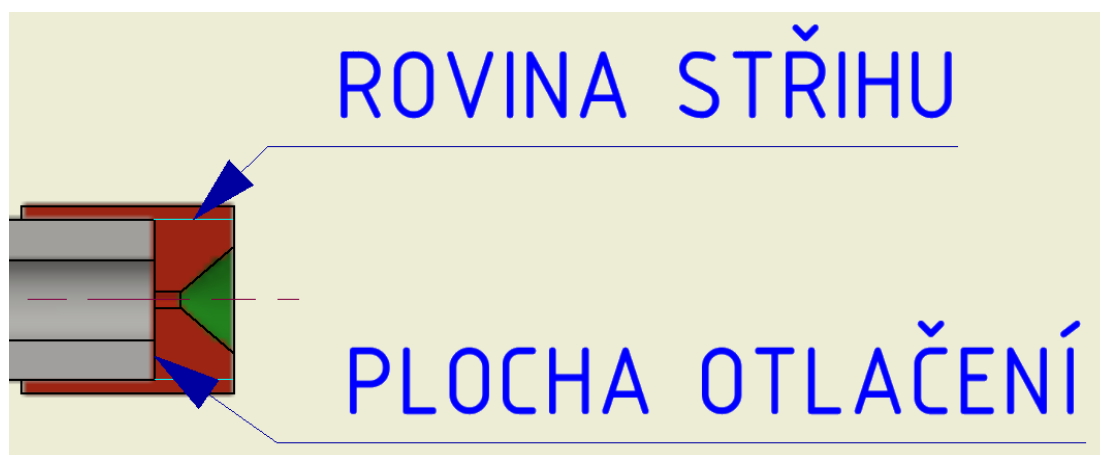
$$p_{zm} = 1,04 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq p_{Dzm}$$

Napětí vychází pod hodnotu $105 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Pevnost materiálu je vyhovující.

8.2 Návrh trysky

Průměr pouzdra trysky nemůže být větší než 7 mm v průměru z důvodu manipulace ve štěrbině, která bude mít maximální rozměr přibližně 10 mm. Tryska bude vyrobena z korozivzdorné oceli ČSN 17 042. Která má dobré vlastnosti zaručující odolnost trysky. Maximální velikost úhlu rozstříku lze vhodnou geometrií dosáhnout 130° .

Z možností typu nástřiku trysky je vybrán plný kužel, zejména z důvodu rychlosti operace nanášení NH. V úvahu bylo možné využít tzv. dutý kužel, ale jeho značná nevýhoda spočívá v nízké rychlosti aplikace NH. Tryska má rovnoběžný směr s prodlužovacím nástavcem. Lze samozřejmě vyrobit tryšku paralelní k nástavci, ovšem z geometrie vyplývá opět malá rychlost nanášení NH z důvodu minimální vzdálenosti ke stěně povrchu.



Obrázek 63 Detail trysky rovina stříhu a plocha trysky

Kontrola otláčení trysky (42) vychází opět ze síly F_p a ploše mezikruží. Mezikruží lze vypočítat z hodnot D_{1tr} a D_{2tr} .

$$p_{Dtr} = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{\pi \frac{(D_{2tr}^2 - d_{tr}^2)}{4}} \quad (42)$$

$$p_{Dtr} = \frac{125,66}{\pi \frac{(3^2 - 0,66^2)}{4}} = 18,68 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Lze vidět že otláčení v trysce je mnohonásobné vyšší nežli v usazení. Materiál má dovolené napětí na mezi kluzu při hodnotě 2 hodnotu $130 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, lze konstatovat, že pevnostně materiál vyhovuje.

Kontrolu střihu v trysce popisuje rovnice (43), hodnota h_3 popisuje šířku pouzdra trysky ve směru rovnoběžném s prodlužovacím nástavcem.

$$\tau_{tr} = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{\pi \cdot D_{2tr} \cdot h_3} \quad (43)$$

$$\tau_{tr} = \frac{125,66}{\pi \cdot 3 \cdot 3} = 4,45 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Volba materiálu v závislosti na geometrii a zatěžovaném tlaku vyhovuje, maximální napětí ve střihu pro materiál trysky vychází $78 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

Výpočet provozního předpjetí probíhá stejně jako v přechozím případě. V tabulce č. 4 jsou části rozděleny na přitěžované „1“ a odlehčované „2“. Síla F_p je totožná, celkové předpjetí Q_{otr} trysky bude jiné.

Tabulka 5: Rozdělení prvků na části přitěžované/odlehčované v závislosti na působících silách

Části	Q_{otr}	F_p	Určení
Tryska	+	+	„1“
Prodlužovací nástavec	-	+	„2“

Tuhost trysky C_{tr} (44).

$$C_{tr} = \frac{E_{tr} \cdot S_{tr}}{L_{tr}} = \frac{E_{tr} \cdot \frac{\pi(D_{zt}^2 - d_{tr}^2)}{4}}{L_{tr}} \quad (44)$$

$$C_{tr} = \frac{200 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(7^2 - 0,66^2)}{4}}{2} = 3,8142 \cdot 10^{12} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Tuhost závitu prodlužovacího nástavce (45).

$$C_{zt} = \frac{E_{zt} \cdot S_{zt}}{L_{zt}} = \frac{E_{zt} \cdot \frac{\pi(D_{2zt}^2 - D_{1pn}^2)}{4}}{L_{zt}} \quad (45)$$

$$C_{zt} = \frac{200 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi(7^2 - 3^2)}{4}}{2,5} = 2,4253 \cdot 10^{12} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Výsledné tuhosti se vypočítají ze vztahů 46 a 47. C_{1tr} odpovídá části přitěžované a C_{2tr} odlehčované.

$$C_{1tr} = C_{tr} \quad (46)$$

$$C_{1tr} = 3,8142 \cdot 10^{12} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$C_{2tr} = C_{zt} \quad (47)$$

$$C_{2tr} = 2,5132 \cdot 10^{12} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

V technice těsnění se volí obvykle koeficient těsnosti $q \sim (1,5-2,0)$. Dle vzorce (48) je dopočítán Q_{2tr} . Zde volím hodnotu $q=2$.

$$Q_{2tr} = q \cdot F_p \quad (48)$$

$$Q_{2tr} = 2 \cdot 125,66 = 251,32 \text{ N}$$

Dále z rovnic (49) a (50) je možné určit montážní předpjetí Q_{otr} a sílu F_{1tr} .

$$F_{1tr} = \frac{C_{1tr}}{C_{1tr} + C_{2tr}} \cdot F_p \quad (49)$$

$$F_{1tr} = \frac{3,8142 \cdot 10^{12}}{3,8142 \cdot 10^{12} + 2,5132 \cdot 10^{12}} \cdot 125,66 = 75,75 \text{ N}$$

$$Q_{otr} = Q_{2tr} + F_p \quad (50)$$

$$Q_{otr} = 251,32 + 125,66 = 376,98 \text{ N}$$

Výsledné provozní předpjetí bude součtem montážního předpjetí a síly vyvolané tlakem. Tuto skutečnost charakterizuje rovnice (51).

$$Q_{1tr} = Q_{otr} + F_{1tr} \quad (51)$$

$$Q_{1tr} = 376,98 + 75,75 = 452,73 \text{ N}$$

Nosnou geometrii závitu popisuje rovnice (52).

$$S_{pn} \approx \pi \cdot d_{zpn} \cdot H_{1pn} \quad (52)$$

$$S_{pn} \approx \pi \cdot 5,675 \cdot 1,083$$

$$S_{pn} = 19,31 \text{ mm}^2$$

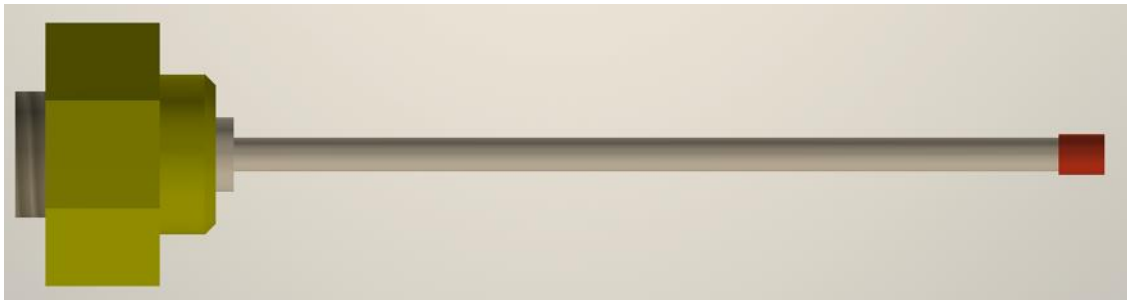
Znovu zde spočítáme kontrolu na nosnost závitů (53).

$$p_{zpn} = \frac{Q_{1tr}}{z \cdot S_{pn}} \leq p_{Dzpn} \quad (53)$$

$$p_{zpn} = \frac{452,73}{3 \cdot 19,31} \leq p_{Dzpn}$$

$$p_{zpn} = 7,82 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq p_{Dzpn}$$

Maximální tlak při bezpečnosti 2 vyhovuje z hlediska volby materiálu a geometrie. Maximální únosný tlak nabývá hodnot $130 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.



Obrázek 64 Model Řez prvky matice, tesnění, usazovacího kroužku, prodlužovacího nástavce a trysky

9. Technicko-ekonomické zhodnocení

Původní nosnou myšlenkou této práce bylo nalezení vhodné metody aplikace nátěrové hmoty do štěrbin ocelových konstrukcí pomocí vysokotlakého nástřiku tím, že se nechá objednat několik kusů speciálních trysek které by svými rozměry nebránily aplikaci nátěrové hmoty do štěrbin širších než 10-15 milimetrů. Po rešerši nebylo nalezeno žádné řešení, které by plně vyhovovalo. Ústav strojírenské technologie ČVUT si nechal vyrobit na zakázku prodlužovací nástavec s tryskou. Cenou téměř odpovídala tryskám, výše zmíněných v rešerši k přihlídnutí k tomu, že má již vlastní prodlužovací nástavec. Nevýhoda byla v nalezení spojovacího prvku k pistoli GRACO model 17P258. Původní převlečná matice ani v nejmenším nesplňovala podmínku na těsnost. Což velice negativně ovlivňovalo proces aplikace. Vlastní tryska byla navržena z důvodu zvýšení objemového toku nátěrové hmoty. Dalším cílem bylo zmenšení vnějšího průměru pouzdra trysky, které je u původní trysky výborně řešeno vzhledem k možnosti snadného povolení závitu, nicméně značně snižoval manipulaci v mezeře štěrbin. Tryska je navržena zejména pro proudění viskózních nátěrových hmot, pro kvalitní manipulaci ve štěrbinách o šířce 10-15 mm. Otázka aplikace nátěrových hmot do štěrbin v maximální vzdálenosti 5 milimetrů od sebe je značnou konstrukční výzvou. Jelikož zde musí být splněny podmínky výstupní rychlosti tekutin, objemového toku a dodržení značně vysokých pevnostních podmínek. Trysky s prodlužovacím nástavcem by měly být vyrobeny jako jeden kus z důvodu snížení rozměru, kdy nebude řešena problematika šířky závitu mezi tryskou a nástavcem. To ovšem znamená značně pokročilé přesné obrábění. Nezbytným parametrem, který bude třeba vyřešit, by byla rychlost teoretického pokrytí. S nižším rozměrem vzdáleností štěrbin klesá kvalita nanesené povrchové vrstvy. Což lze sice kompenzovat zvýšením počtu nátěrů, ale prodlouží se pracovní čas o každý nátěr a jeden proces schnutí, což v některých případech může být i přes 6 hodin. Z ekonomického hlediska je určitě výrazně výhodnější neaplikovat nový nátěr do štěrbin užších nežli 10 milimetrů, ale použít konvenční metodu tmelu. Vzhledem k památkové ochraně některých mostů v České republice bude od této konvenční metody opuštěno. Tudíž bude zcela nezbytné navrhnou trysku s prodlužovacím nástavcem v maximálním průměru pouzdra 4 milimetry pro kvalitní aplikaci nátěrové hmoty do hlubokých úzkých štěrbin.

10. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo řešení aplikace nátěrové hmoty do úzkých štěrbin ocelových konstrukcí. Vzhledem k minimálnímu rozměru štěrbin se nepředpokládala jiná aplikace nežli vysokotlakým nástřikem, která je nejvýhodnější z hlediska tloušťky povrchové vrstvy za přiměřený čas aplikace. Nejprve proběhla rešerše na možnost koupě a testování speciálních trysek, jež by zadanou problematiku mohla řešit. Vzhledem k minimální dostupnosti speciálních trysek, jimiž by se daná problematika dala řešit, bylo přistoupeno k testování trysky R15 od firmy Wagner. Na základě výsledků experimentu byla navržena vlastní tryska, která by měla zaručit možnost mírné manipulace a kvalitní aplikaci materiálu ve štěrbinách širších než 10 milimetrů. U trysky byly vypočteny nezbytné pevnostní kontroly. Vzhledem ke kompatibilitě prodlužovacího nástavce a trysky byla navržena převlečná matice pro prodlužovací nástavec a stříkací přístroj od firmy Graco model 17P258. Převlečná matice obsahuje také systém těsnění kompatibilní s tvarem závitů přístroje. U převlečné matice byly vypočteny nutné kontroly na pevnost. V pokračování této práce by měla být testována tryska ve štěrbinách. Pro aplikaci nátěrových hmot do štěrbin užších méně než 5 milimetrů je třeba navrhnout trysku spolu s prodlužovacím nástavcem jako jednu komponentu.

Seznam zdrojů

- [1] KARMAZÍNOVÁ, Marcela, Karel SÝKORA a Milan ŠMAK. Konstrukce a dopravní stavby: Konstrukce – Základní typy konstrukcí. Konstrukční řešení staveb, mosty. [online]. Brno: VUT v Brně, 42 s. [cit. 2022-3-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8672084-Konstrukce-a-dopravni-stavby.html>
- [2] KARMAZÍNOVÁ, CSC., doc. Ing. Marcela. Kovové mosty I: Materiál kovových mostů, stability polohy, mostní svršek a mostovka [online]. Brno, 2006 [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO09-Kovove%20mosty%20IOpory/BO09_M02.pdf
- [3] MRÁZ, Václav, Ivan BATAL, Dagmar ŠIMLEROVÁ, et al. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 19 Ocelové mosty a konstrukce část A [online]. Ministerstvo dopravy Odbor pozemních komunikací, 2015, (TKP 19 A), 120 s. [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_19_A___15.pdf
- [4] Kontrola ocelových konstrukcí. <https://www.tzb-info.cz/> [online]. 13.10.2021 [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/revize-a-kontroly/22904-kontrola-ocelovych-konstrukci>
- [5] C.R., Hendy C.R. a Iles D.C. Guidance notes on best practice in steel bridge construction [online]. 6. Silwood park, Ascot, Berkshire, Spojené království: SCI, 2015 [cit. 2022-01-27]. ISBN ISBN 13: 978-1-85942-217-5. Dostupné z: https://www.steelconstruction.info/images/1/10/SCI_P185.pdf
- [6] MAŇÁK, Vratislav. Česká televize: Počet mostů ve špatném stavu se od roku 2004 zdvojnásobil. Nyní jich jsou skoro tři tisíce [online]. 24.9.2020 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3191154-pocet-mostu-ve-spatnem-stavu-se-od-roku-2004-zdvojnasil-nyni-jich-jsou-skoro-tri>
- [7] ČSN EN ISO 12944-3. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy: Část 3: Navrhování. Česká agentura pro standardizaci. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2017.
- [8] KREIBICH, Viktor. Teorie a technologie povrchových úprav. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-X.
- [9] KRAUS, Václav. Povrchy a jejich úpravy. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.
- [10] Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy). Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2351-6.
-

- [11] DRONSKÁ, Jana. Ocel, která zraje do krásy. Silnice-železnice [online]. 5.6.2021 [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://silnice-zeleznice.cz/zajimavosti/ocel-ktera-zraje-do-krasy-patinujici-ocel-ze-spolecnosti-vitkovice-steel-je-atraktivni-vzhledove-ekonomicky-i-ekologicky-527>
- [12] ... konference Pigmenty a pojiva: ... Seč = The ... Conference on Pigments and Binders: ... Seč, Czech Republic. Pardubice: Chemagazín, [2008] -. ISBN 978-80-260-7210-2.
- [13] KALEDOVÁ, Andrea. Technologie nátěrových hmot I.: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-719-4576-5.
- [14] Paint coatings [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: https://www.steelconstruction.info/Paint_coatings
- [15] KREJČÍ, Ing. Stanislav. PROTIKOROZNÍ OCHRANA OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ POMOCÍ NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ A ISO NORMY [online]. 29.5.2013 [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://www.tlakinfo.com/t.py?t=2&i=1933>
- [16] PEŠEK, Ing. Libor. Chyby v nanášení nátěrových hmot. <https://www.pesektechnology.cz> [online]. 2/2019 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: https://www.pesektechnology.cz/data/folders/PU_2019-2-Chyby%20v%20nan%C3%A1%C5%A1en%C3%AD%20NH-f9.pdf
- [17] KUBÍČEK, J. Nátěrové hmoty. [Http://ust.fme.vutbr.cz](http://ust.fme.vutbr.cz) [online]. VUT FSI Brno, 2018 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_natero_ve_hmoty_2018_kubicek.pdf
- [18] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5.
- [19] KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. *Technologie nátěrových hmot I.: stroje a procesy ve výrobě nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-625-7.
- [20] ENVIROS CONSULTING a MCLELLAN AND PARTNERS. Cost-effective paint and powder coating: application technology. *Ec.europa.eu* [online]. 1997 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/archives/air/stationary/solvents/activities/pdf/d029_paint_and_powder_coating.pdf
-

[21] ČSN EN ISO 28199-1. Nátěrové hmoty – Hodnocení vlastností nátěrových systémů závisících na postupu nástřiku – Část 1: Terminologie a příprava zkušebních vzorků. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2021, 44 s. Třídící znak 673131.

[22] ČSN EN ISO 28199-2. Nátěrové hmoty – Hodnocení vlastností nátěrových – Část 2: Stálost barevného odstínu, krycí tloušťka, narušení předchozí vrstvy, absorpce přestřiku, smočení povrchu, struktura povrchu a mrakovitost. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2022, 28 s. Třídící znak 673131.

[23] ČSN EN ISO 28199-3. Nátěrové hmoty – Hodnocení vlastností nátěrových systémů závisících na postupu nástřiku – Část 3: Posouzení tvorby proteklin, tvorby bublinek, pórovitosti a kryvosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2022, 32 s. Třídící znak 673131.

[24] PAVLÍK, Ing. Zdeněk. *Učební text pro obor Malíř a lakýrník 2. ročník* [online]. Brno, 2009 [cit. 2022-04-19]. ISBN 978-80-88058-45-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/166/Impresum.html>

[25] Katalog70M-CZECH. *Spray* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.spray.cz/Assets/CZ/Katalog70M-CZECH.pdf>

[26] FEMONT OPAVA S.R.O. Stavba průmyslové haly v systému VEDE. In: *TZB-info* [online]. 15.12.2015 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/ocelove-konstrukce/13589-ocelovy-konstrukcni-system-vede>

[27] Ocelové mosty. In: *Mosty-unas* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <http://www.mosty.unas.cz/tisnov.html>

[28] HÁJEK, Petr. Ocelové a ocelobetonové mosty. In: *Docplayer* [online]. 2009 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/107103708-Ocelove-a-ocelobetonove-stropy.html>

[29] ZINGA antikoroziční nátěr na kov 1,0kg. In: *Nako* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.nako.cz/10194-zinga-antikorozni-nater-na-kov-10kg.html#!prettyPhoto>

[30] Ultra Cordless Handheld Airless Sprayer, 230V. In: *Graco* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.graco.com/gb/en/contractor/product/17m366.html>

[31] UltraMAX Cordless Handheld Airless Sprayer, 230V. In: *Graco* [online]. [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.graco.com/gb/en/contractor/product/17p258.html>

- [32] Wagner: Sortiment Wagner trysek. *Aplikace barev: prodej stříkacích systémů* [online]. 2017 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://www.aplikacebarev.cz/out/pictures/wysiwigpro/Trysky_2017_CZ_bro%C5%BEura.pdf
- [33] Airless trysky: Malá součástka s velkým významem. *Graco* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.graco.com/content/dam/graco/emea/literature/leaflet/300666/300666CS-D.pdf>
- [34] FF: EXTRA-WIDE ANGLE. *BETE* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://bete.com/wp-content/uploads/2022/01/BETE_FF-metric.pdf
Zkopírovat citaci
- [35] SPN: High impact/Narrow Fan Spray. *BETE* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://bete.com/wp-content/uploads/2022/01/BETE_FF-metric.pdf
- [36] Gewindedüsen - Flachstrahldüsen Serie FL. *Bex* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://bex-europe.eu/media/pdf/bex-flachstrahlduesen-fl.pdf>
- [37] Gewindedüsen - Flachstrahldüsen Serie FP. *Bex* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://bex-europe.eu/media/pdf/bex-flachstrahlduesen-fp.pdf>
- [38] DOC.ING. MICHALEC CSC., Jiří. *Pružnost a pevnost II. 2*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02375-3.
- [39] NOŽIČKA, Jiří. *Mechanika tekutin*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-2865-8.
- [40] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2533-0.
- [41] Technický list: Sokrates Anticor. *Sokrates: Barvy, Laky, Lazury* [online]. 09/2017 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://pemi.cz/uploads/0/TechnicalDatasheets/techlist-tl_sokrates_anticor.pdf
- [42] GAMIN: Technický list. *GAMIN* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z: https://www.elcometer.cz/fileadmin/user_upload/Digitalni_tloustkomer_Elcometer_456_se_sondami_03.pdf
- [43] Novaphit MST: vysokotlaký těsnicí materiál z expandovaného grafitu pro nejvyšší požadované parametry s výbornou zpracovatelností. *TECHSEAL* [online]. 1.6.2010 [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: https://techseal.cz/wp-content/uploads/2018/11/novaphit_mst_techseal.pdf
-

Seznam obrázků

Obrázek 1 Příhradová konstrukce ocelového mostu [27]	2
Obrázek 2 Rámová konstrukce haly v systému VEDE [26]	2
Obrázek 3 Trámová konstrukce střechy [28]	2
Obrázek 4 Železniční most z Výtoně na Smíchov	5
Obrázek 5 Otevřená štěrbina	6
Obrázek 6 Otevřená štěrbina II.	6
Obrázek 7 Schéma řezu povrchovými vrstvami obrobené stykové [9]	7
Obrázek 8 Některé druhy korozního napadení [9]	9
Obrázek 9 Struktura povrchu nátěrové hmoty [14]	11
Obrázek 10 Složení nátěrové hmoty [14]	12
Obrázek 11 Aplikace protikorozní ochrany válečkem [29]	18
Obrázek 12 Aplikace NH pomocí vysokotlaké pistole	18
Obrázek 13 Kontinuální nanášení [24]	19
Obrázek 14 Diskontinuální nanášení [24]	19
Obrázek 15 Schéma rozstříku a teoretického pokrytí v závislosti na vzdálenosti mezi tryskou a povrchem [25]	23
Obrázek 16 Tryska Wagner ProTip517 [32]	23
Obrázek 17 Tryska Graco TrueAirless 619 [33]	24
Obrázek 18 Zobrazení úhlu rozstříku, geometrie trysky FF od firmy BETE [34]	24
Obrázek 19 Tryska FF od firmy BETE [34]	25
Obrázek 20 Zobrazení úhlu rozstříku, geometrie trysky SPN od firmy BETE [35]	25
Obrázek 21 Tryska SPN od firmy BETE [35]	25
Obrázek 22 Zobrazení rozstříku, tryska Serie FL od firmy BEX [36]	26
Obrázek 23 Zobrazení rozstříku, tryska Serie FL od firmy BEX a její geometrie [37]	26
Obrázek 24 Tryska R15 s prodlužovacím nástavcem od firmy Wagner	26
Obrázek 25 Ruční stříkací zařízení Graco-ultramax airless handheld [30]	28
Obrázek 26 Doporučení úhlu nástříku I.	29
Obrázek 27 Doporučení úhlu nástříku II.	29
Obrázek 28 Ocelová destička	29
Obrázek 29 Přípravek zhotoven 3D tiskem od firmy TECHTEST	30
Obrázek 30 Nátěrová hmota Sokrates "Anticor" [41]	30
Obrázek 31 Příprave s vloženými destičkami	31
Obrázek 32 Přípravek na měření	32
Obrázek 33 12-3-L	32
Obrázek 34 12-3-P	33
Obrázek 35 12-6-P	33
Obrázek 36 12-6-L	33
Obrázek 37 12-9-L	33
Obrázek 38 12-9-P	33
Obrázek 39 18-3-L	34
Obrázek 40 18-3-P	34
Obrázek 41 18-6-L	34
Obrázek 42 18-6-P	34
Obrázek 43 18-9-L	34
Obrázek 44 18-9-P	34
Obrázek 45 30-3-L	35
Obrázek 46 30-3-P	35
Obrázek 47 30-6-L	35
Obrázek 48 30-6-P	35

Obrázek 49 30-9-L	35
Obrázek 50 30-9-P	35
Obrázek 51 48-3-L	36
Obrázek 52 48-3-P	36
Obrázek 53 48-6-L	36
Obrázek 54 48-6-P	36
Obrázek 55 48-9-L	36
Obrázek 56 48-9-P	36
Obrázek 57 Rozdělení oblastní prodlužovacího nástavce a trysky	39
Obrázek 58 Závit přívodu 17P258	43
Obrázek 59 Řez prvky matice, těsnění, usazovacího kroužku, prodlužovacího nástavce a trysky	44
Obrázek 60 Detail usazení trysky v převlečné matici	46
Obrázek 61 Exponované místo matice – vrub	48
Obrázek 62 Rötšcherův diagram pro statické zatížení	51
Obrázek 63 Detail trysky rovina stříhu a plocha trysky	52
Obrázek 64 Model Řez prvky matice, těsnění, usazovacího kroužku, prodlužovacího nástavce a trysky	55

Seznam tabulek

Tabulka 1: Třídy zařazení budov v závislosti na potřebě údržby	4
Tabulka 2: Podmínky při aplikaci NH	32
Tabulka 3: Naměřené hodnoty suchého filmu	37
Tabulka 4: Rozdělení prvků na části přitěžované/odlehčované v závislosti na působících silách	48
Tabulka 5: Rozdělení prvků na části přitěžované/odlehčované v závislosti na působících silách	53

Seznam příloh

Příloha 1: Výrobní výkres převlečné matice

Příloha 2: Výrobní výkres trysky