



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OPTIMALIZACE PROCESU PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ S
VÝSLEDKEM SNÍŽENÍ PRACNOSTI KONEČNÉ ÚPRAVY
KOMPONENT PLYNEM IZOLOVANÝCH ROZVODEN - GIS**

OPTIMIZATION OF POWDER-COATING PROCESS RESULTING IN A REDUCTION OF LABOR INTENSITY
OF FINISHING COMPONENTS IN GAS INSULATED SUBSTATION - GIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Tomáš Svoboda**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA**
Akademický rok: 2015/16

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

Optimalizace procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent plynem izolovaných rozvodů - GIS

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta je, provést rozbor současného stavu procesu práškového lakování při výrobě dílů pro plynem izolované rozvodny velmi vysokého napětí - GIS ve společnosti ABB, s.r.o.

Cíle diplomové práce:

1. Úvod
2. Plynem izolované rozvodny velmi vysokého napětí - GIS
3. Teorie práškového lakování a rozbor současného stavu ve firmě ABB
4. Analýza technologického postupu lakování komponent GIS
5. Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin
6. Návrh a realizace optimalizačních řešení
7. Výběr a hodnocení optimální varianty

Seznam literatury:

HLAVENKA, B. Projektování výrobních systémů: Technologické projekty I. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.

HLAVENKA, B. Manipulace s materiálem: Systémy a prostředky manipulace s materiálem. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 163 s. ISBN 978-80-214-3607-7.

KOŠTURIK, J., GREGOR, M., MIČIETA B., MATUSZEK, J. Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. 397 s. ISBN 9788071005537.

SMETANA, J. Projektování technologických pracovišť. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1990. 195 s. ISBN 80-7078-033-9.

ZELENKA, A. Projektování výrobních procesů a systémů. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. 136 s. ISBN 978-80-01-03912-0.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá optimalizací procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent pro plynem izolované rozvodny (GIS). Vlastní práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol, v nichž je popsána charakteristika a funkce plynem izolovaných rozvodů (GIS), teorie práškového lakování včetně mechanické i chemické předúpravy povrchů, studie současného stavu lakovacího procesu ve firmě ABB s.r.o. s rozdělením komponent GIS na základě jejich funkce a detailní analýzou dílčích úkonů při zpracování vybraných součástí (pouzder neboli trubek a vodičů). Práce dále obsahuje podrobnou analýzu maskování ploch lakovaných součástí se specifikací nejčastějších vad a stanovením kořenových příčin, které jsou znázorněny přehlednými tabulkami, dále také návrh, popis a realizaci optimalizačních opatření s výběrem a hodnocením finální varianty. Součástí práce je také ekonomické srovnání současného stavu lakovacího procesu s navrženým optimalizačním řešením.

Klíčová slova

Práškové lakování, ABB, maskování, optimalizace, plynem izolované rozvodny, GIS

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the optimization of powder-coating process resulting in a reduction of labor intensity during finishing components in gas insulated switchgear (GIS). The thesis is divided into five main chapters that describe characteristic and function of gas insulated switchgear (GIS), the theory of powder-coating, including mechanical and chemical pretreatment of surfaces, the studies of contemporary quality of coating process in the company ABB s.r.o. with classification of components of GIS according to their function. This chapter also contains detailed analysis of section of coating process during the processing of selected parts (housing and conductor). The thesis also contains detailed studies of masking of surfaces at coating parts, specifies the most common defects and determines the main cause presented in a well-arranged chart, design, description and realization of optimization solutions with selection and evaluation of final version. An economic comparison of contemporary condition of powder-coating process with designed optimization solution is stated at the end of the thesis.

Key words

Powder-coating, ABB, masking, optimization, gas insulated switchgear, GIS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, T. *Optimalizace procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent plynem izolovaných rozvodů – GIS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 144 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Strejček, Ph.D., MBA..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma *Optimalizace procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent plynem izolovaných rozvodů – GIS* vypracoval samostatně, pod vedením odborného konzultanta pana Bc. Václava Holečka a vedoucího práce pana Ing. Jana Strejčka, Ph.D., MBA, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce. Prohlašuji také, že jsem v práci uvedl pouze veřejně dostupné nebo zástupcem firmy ABB s.r.o. panem Bc. Václavem Holečkem schválené informace a fotografie.

Datum

Bc. Tomáš Svoboda

PODĚKOVÁNÍ

Své veliké díky bych rád věnoval panu Bc. Václavu Holečkovi, technologovi práškové lakovny ve firmě ABB s.r.o., za odborné konzultace, profesionální vedení, vstřícnost a veškeré informace, které mi poskytl během zpracování praktické části diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Janu Strejčkovi, Ph.D., MBA za vědecký dohled, konstruktivní připomínky a rady při zpracování teoretické části práce. Neméně děkuji všem, kteří se jakkoli podíleli na výrobě prototypů. Na závěr bych také rád poděkoval rodičům a celé rodině za veškerou podporu v průběhu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH.....	9
ÚVOD	11
1 PLYNEM IZOLOVANÉ ROZVODNY VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ - GIS.....	13
1.1 Charakteristické prvky konstrukce GIS.....	14
1.2 Izolační plyn SF ₆	16
2 TEORIE PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ A ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VE FIRMĚ ABB s.r.o.	18
2.1 Povrchová předúprava	18
2.1.1 Mechanické úpravy povrchu	19
2.1.2 Chemické úpravy povrchu	21
2.2 Práškové nátěrové hmoty (PNH).....	28
2.2.1 Termoplastové PNH.....	29
2.2.2 Termosetové PNH	30
2.3 Technologie nanášení PNH.....	31
2.3.1 Fluidní lože	32
2.3.2 Elektrostatické fluidní lože	32
2.3.3 Elektrostatické a elektrodynamické naprašování	33
2.4 Recyklace PNH	38
2.5 Vytvrzování PNH	39
2.5.1 Předehřev součástí	40
2.5.2 Vytvrzovací pece.....	40
2.6 Rozbor současného stavu lakování v ABB.....	41
3 ANALÝZA TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU LAKOVÁNÍ KOMPONENT GIS.....	45
3.1 Slitiny a vlastnosti hliníku užívané pro výrobu GIS komponent	45
3.2 Rozdělení komponent GIS	46
3.3 Mechanická předúprava povrchu	49
3.4 Oplach v mycím boxu	51
3.5 Navěšování	51
3.6 Chemická předúprava	54
3.7 Sušení	55
3.8 Maskování	55
3.9 Aplikace práškového laku.....	56

3.10 Vypékání a chlazení.....	58
3.11 Svěšování	59
3.12 Odmaskování a čištění - konečná úprava.....	59
4 ANALÝZA MASKOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH PLOCH, SPECIFIKACE NEJČASTĚJŠÍCH VAD A STANOVENÍ KOŘENOVÝCH PŘÍČIN.....	65
4.1 Maskování pouzder.....	66
4.2 Maskování vodičů	68
4.3 Časová analýza maskování pouzder (trubek) a vodičů.....	69
4.4 Specifikace nejčastějších vad - komplexní analýza	69
4.5 Specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin.....	73
4.5.1 Stanovení kořenových příčin	76
5 NÁVRH A REALIZACE OPTIMALIZAČNÍCH ŘEŠENÍ.....	81
5.1 Návrh optimalizačních řešení pro lakování pouzder (trubek)	81
5.1.1 Úprava stávajících maskovacích přípravků	81
5.1.2 Návrhy nových maskovacích přípravků	85
5.1.3 Návrhy optimalizačních řešení pro odstranění nálitku závitových otvorů.....	95
5.2 Návrh optimalizačních řešení pro lakování vodičů	97
5.2.1 Závěsný hák s maskovacími kleštěmi	97
5.2.2 Závěsná tyč s maskovací silikonovou zátkou / kartonovou výsečí ..	99
5.2.3 Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky	103
6 VÝBĚR A HODNOCENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY	115
6.1 Výběr a hodnocení optimální varianty - pouzdra (trubky).....	115
6.1.1 Maskování vnitřní plochy pouzdra (trubky)	116
6.1.2 Maskování čelní plochy příruby pouzdra (trubky)	117
6.1.3 Testování a hodnocení prototypových jednorázových přípravků ...	119
6.1.4 Maskování závitových otvorů příruby pouzdra (trubky)	120
6.2 Výběr a hodnocení optimální varianty - vodiče	122
7 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	126
7.1 Finanční náklady současného stavu - pouzdra (trubky).....	126
7.2 Finanční náklady současného stavu - vodiče	128
7.3 Finanční náklady navrženého optimalizačního řešení - pouzdra	129
7.4 Finanční náklady navrženého optimalizačního řešení - vodiče	131
DISKUZE	134
ZÁVĚR.....	136
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	139
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	142
SEZNAM PŘÍLOH	144

ÚVOD

Aplikace práškového lakování jako dokončovací proces je stále se rozvíjející způsob zvyšování technické úrovně, jakosti, užitné hodnoty a spolehlivosti strojírenských výrobků. Vysoce kvalitní povrchová úprava přispívá nejen k lepšímu estetickému vjemu, výraznému prodloužení životnosti, korozní odolnosti a celkovému snížení degradace povrchu vlivem opotřebení, ale také k výraznému zvýšení produkce, snížení výrobních nákladů a ochraně životního prostředí v porovnání s metodami mokrého lakování produkující emise z těkavých organických látek a rozpouštědel. Výhodou práškového lakování je také snadná automatizace celého procesu, absence nákladného systému odvodu vzduchu, rekuperace a filtrování těžkých organických látek tzv. systému VOC, pigmenty neobsahující těžké kovy, vysoká výtěžnost práškových nátěrových hmot (PNH) s možností recyklace a ekologické likvidace.

Povrchová úprava komponent plynem izolovaných rozvodů (GIS – Gas Insulated Switchgear) firmy ABB s.r.o. práškovými barvami je jednou z klíčových operací k dosažení vysoké kvality, spolehlivosti a funkčnosti s dlouhodobou životností celého produktu. Vysoké nároky jsou především kladeny na úpravu funkčních ploch zapouzdření a tzv. aktivních dílů neboli vodičů. Cílem je dosažení dokonalé celistvosti lakovaného povrchu bez nežádoucích pórů, zateklin, tzv. pomerančové kůry, nerovností, rýh, defektů odlitků (vměstků, staženin atd.), záprachu a zalakovaných nečistot tvořící ostré hrany nebo vyvýšeniny představující vysoké riziko přeskočení elektrického výboje během vysokonapěťové zkoušky celého zařízení. Předepsané požadavky na jakost povrchu lakovaných komponent GIS se dosahují především striktním dodržováním postupů konečné úpravy zahrnující kontrolu a eliminaci vzniklých vad v procesu lakovacího cyklu, přičemž její náročnost je dána rozsahem těchto vad. Optimalizací procesu práškového lakování s výsledkem snížení pracnosti konečné úpravy komponent plynem izolovaných rozvodů (GIS) se tedy rozumí docílení minimální četnosti výskytu a rozsahu vznikajících vad. Podnětem optimalizace je snaha firmy ABB s.r.o. o navýšení produktivity, zkrácení výrobních časů, snížení nákladů a zefektivnění celého procesu.

Práce je zpracována ve výrobním závodu divize PGHV – Power Grids High Voltage firmy ABB s.r.o. na ulici Tuřanka 106A v Brně Slatině, kam byla v roce 2013 přesunuta výroba komponent GIS. Prvotní sídlo PGHV (dříve PPHV – Power Product High Voltage) bylo v Brně Dolních Heršpicích na ulici Vídeňská 117/113A, kde se komponenty GIS vyráběly od 20. listopadu roku 2007. Nové prostory se rozléhají na ploše 12 500 metrů čtverečních, pracuje na nich 200 zaměstnanců a zaujímají oddělení řízení dodavatelského řetězce, inženýrské centrum, moderní práškovou lakovnu, montáž, testování a oddělení logistiky. Jsou zde vyráběny produkty s napěťovými úrovněmi od 72,5 kV do 550 kV. Závod je certifikován dle systému řízení kvality ISO 9001, systému řízení ochrany životního prostředí ISO 14001 a systému řízení ochrany zdraví při práci a bezpečnosti OHSAS 18001 [1,2,3].

Společnost ABB s.r.o., dále jen ABB (Asea Brown Boveri), je přední švédsko-švýcarskou korporací působící v oblasti energetiky a automatizace s ústředním sídlem ve švýcarském Curychu. Zaměstnává okolo 140 000 lidí ve 100 zemích světa. Organizačně je rozdělena do čtyř divizí: Elektrotechnické výroby, Automatizace výroby a pohony, Procesní automatizace a Energetika. Její vznik se

datuje do roku 1988 sloučením tehdejších dvou významných elektrotechnických firem ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget) a BBC Brown Boveri. Formální vznik ABB v ČR je datován od roku 1992, kdy byla založena první společnost s názvem ABB, přestože prostřednictvím svých výrobků a služeb zde působilo již od roku 1970. V současnosti se nachází v osmi lokalitách, kde jsou zastoupeny nejvýznamnější inženýrská výzkumná centra a šest výrobních závodů. ABB nalezneme v Brně, Praze, Ostravě, Jablonci a Trutnově. Brněnský závod na ulici Vídeňská 117/113A s výrobou rozvaděčů, transformátorů a senzorů vysokého napětí je se svojí výrobní kapacitou největší závod tohoto druhu ve světě. Přibližně 80 % celkové produkce ABB v ČR se exportuje do celého světa [1,2,3].

Vlastní struktura práce je rozdělena do pěti hlavních částí. První kapitolou jsou popsány charakteristické vlastnosti, funkce a význam plynem izolovaných rozvodů (GIS). Jsou zde popsány typy konstrukčního provedení zapouzdření (jednofázové, trojfázové), základní popis funkce, vlastnosti a alternativy izolačního plynu SF₆. V další části práce je detailně popsána teorie práškového lakování s jednotlivými možnostmi mechanické i chemické předúpravy povrchu součástí. Je zde také uvedeno rozdělení práškových nátěrových hmot (PNH) s charakteristickým popisem jejich vlastností, metody nanášení PNH (fluidní lože, elektrostatika – Corona, elektrokinetika – Tribo), recyklace přestříknutého prášku, postup vytvrzování laku a druhy vytvrzovacích pecí. Dále je provedena detailní studie současného stavu lakovacího procesu ve firmě ABB s.r.o. s rozdělením komponent GIS do charakteristických skupin na základě jejich funkce a detailní analýza dílčích úkonů lakovacího postupu pro vybrané součásti s největším ročním objemem zpracování, resp. největší četností výskytu vad a vysokou pracností konečné úpravy (pouzdra neboli trubky a vodiče). Ve čtvrté části práce je popsána metodika maskování ploch nežádoucích pro aplikaci práškových nátěrových hmot, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin, které jsou znázorněny v přehledných tabulkách. Vyhodnocení četnosti výskytu vypočítaných vad je podloženo sesbíranými daty, které byly čerpány v průběhu pravidelné návštěvy výrobních prostor. Poslední kapitolou práce jsou popsány návrhy optimalizačních řešení pro jednotlivé plochy vybraných součástí (pouzder, vodičů) se zdůvodněním jejich vhodnosti či důvodů zavrnutí, realizace a testování vyrobených prototypů a dílčí závěry návrhů. V úplném závěru práce je pak uveden výběr a hodnocení finální varianty návrhu optimalizačního opatření a ekonomické srovnání stávajícího stavu lakovacího procesu s navrženým řešením.



Obr. 1 Výrobní prostory ABB PGHV Brno – Slatina [1].

1 PLYNEM IZOLOVANÉ ROZVODNY VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ – GIS

Elektrizační soustava je tvořena třemi základními odvětvími:

- výroba elektrické energie,
- **přenos a rozvod elektrické energie,**
- spotřeba elektrické energie.

Rozvod elektrické energie se uskutečňuje prostřednictvím elektrických stanic a elektrických sítí, které jsou definovány jako souhrn všech galvanicky propojených částí o téže napětí. Sítě dílčích proudových a napěťových soustav jsou vzájemně odděleny transformovnými neboli elektrickými stanicemi. Ty transformují střídavé třífázové napětí do hodnot normalizovaných napěťových úrovní viz Tab. 1.1, přičemž volba těchto hodnot je dána technicko-ekonomickými výpočty. Vstupními hodnotami výpočtu jsou rozvodná vzdálenost a přenášený výkon. Pro každou napěťovou úroveň je udána jmenovitá a provozovací hodnota, tj. nejvyšší napětí, při kterém lze síť ještě provozovat. Obecně platí, čím větší vzdálenost, tím větší je volené přenosové napětí a tím menší ztráty elektrické energie během přenosu [4].

Tab. 1.1 Napěťové úrovně v elektrických sítích [4].

Nízké napětí (NN) [kV]	jmenovitě	0,4 / 0,23			0,5	0,69
	max. provozovací	0,42 / 0,241			-	0,73
Vysoké napětí (VN) [kV]	jmenovitě	3	6	10	22	35
	max. provozovací	3.6	7.2	12	25	37
Velmi vysoké napětí (VVN) [kV]	jmenovitě	110		220	400	-
	max. provozovací	123		245	420	-
Zvlášť vysoké napětí (ZVN) [kV]	jmenovitě	750				
	max. provozovací	787 (předp. se zvýšení na 800)				

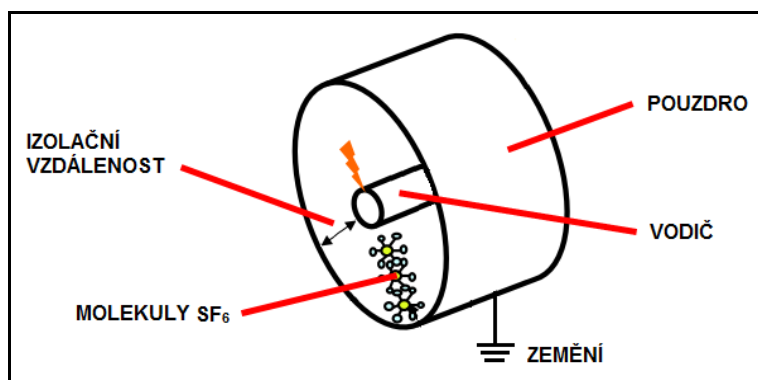
Hlavní částí elektrické stanice je rozvodné zařízení (rozvodna), které je charakterizováno hodnotami jmenovitého napětí, zkratové odolnosti, zatížením, způsobem zapojení a počtem základních částí, jako jsou přípojnice a odbočky. Parametry jednotlivých rozvodů jsou závislé na jejich významu, schématu zapojení, napěťové úrovni a stupni zabezpečení dodávky elektrické energie. Bezpečnost provozu je dána algoritmem základních blokovacích podmínek, kterými jsou upravovány spínací operace. Hlavními funkcemi rozvodů jsou připojení a odpojení elektrického okruhu, směrování energie v elektrických přenosových a distribučních sítích, odpojení vadných částí systému a měření proudů a napětí. Trendem současného vývoje rozvodných zařízení je dosažení optimálního poměru cena/výkon, zajištění výroby takzvaně zákazníkům na míru, odolnost vůči vysokým zkratovým hodnotám, minimální údržba a nulové výpadky spojené s vysokými finančními ztrátami při jejich odpojení (podmínky dodávky elektrické energie jsou řízeny dle ČSN 34 1610). Dále pak minimalizace jednotlivých částí rozvodny, která je spojena s celkovou zastavěnou plochou a jejími pořizovacími náklady, přičemž musí být splněny technicko-ekonomické požadavky dle ME41/01. Na základě těchto požadavků se stále více dostávají do popředí zapouzdřené rozvodné zařízení VVN (velmi vysokého napětí), tzv. GIS [4,5].

GIS (Gas Insulated Switchgear) neboli plynem izolované rozvodny se používají ke spínání, ochraně a regulaci toku elektrické energie v přenosových a rozvodných sítích VVN. Pro svoje kompaktní rozměry, extrémní spolehlivost a odolnost jsou nejčastěji budovány v oblastech s omezenými instalačními prostory (městská zástavba), v náročných podmínkách silného průmyslového znečištění či pásmech s proměnlivými a agresivními klimatickými podmínkami. Dobré technické vlastnosti těchto rozvodů jsou vykoupeny podstatně vyššími investičními náklady v porovnání s pořízovacími náklady AIS (Air Insulated Switchgear) neboli vzduchem izolovaných rozvodů se stejnými elektro-technickými parametry [4,6].

Vznik GIS se datuje do roku 1966 kdy byla zprovozněna první plynem SF_6 izolovaná rozvodna VVN v Paříži. Tomu předcházela objev SF_6 , který byl učiněn roku 1900 pařížskou laboratoří *Faculté de pharmacie de Paris* a následné odhalení jeho vysoké dielektrické pevnosti (tří až pětinasobná v porovnání se vzduchem) za přispění společnosti *General Electric Company* roku 1937. Odhalením jedinečných izolačních vlastností SF_6 byla zahájena minimalizace vzdáleností mezi fázemi až na současných několik centimetrů. Prvními komerčními výrobci plynu SF_6 se stali roku 1948 američtí výrobci *Allied Chemical Corporation* a *Pennsalt* [7].

1.1 Charakteristické prvky konstrukce GIS

Konstrukce GIS rozvodů VVN je charakterizována uzavřením jednotlivých částí (přípojníc, odpojovačů, uzemňovačů i měničů) do oddělených samostatných pouzder, které jsou naplněny izolačním plynem SF_6 . Vodiče pod velmi vysokým napětím jsou osazeny do podpurných izolátorů z epoxidové pryskyřice a umístěny do středu hliníkového (resp. jeho slitin) pouzdra, které je uzemněno. Izolace mezi živou a uzemněnou částí je docílena naplněním okolního prostoru izolačním plynem SF_6 o hustotě 30 až 50 g/dm³ a tlaku 0,25 až 0,45 MPa. Rozměry vodičů i pouzder jsou limitovány kapacitou a jmenovitým napětím. Každé pole v plynem izolované rozvodně GIS je složeno z několika spínacích prvků (vypínače, odpojovače, uzemňovače atd.), prvků měření a ochrany (přístrojové transformátory, svodiče přepětí atd.), přechodových prvků (přechod na kabelové či vzdušné vedení, přímý přechod na transformátor) a spojovacích prvků (zapouzdržené vodiče a tvarovky). Konstrukcí jednotlivých dílů je umožněna univerzálnost propojení, resp. realizace rozvodů s jedním, dvěma či třemi systémy přípojníc a rozvodů s větším počtem vypínačů na odbočku. Zásadní výhodou konstrukce je možnost křížení přípojníc v několika výškových hladinách s minimální vzdáleností mezi fázemi (v řádech centimetrů oproti bezpečné vzdálenosti u AIS, která se udává v řádech metrů) [5,7].

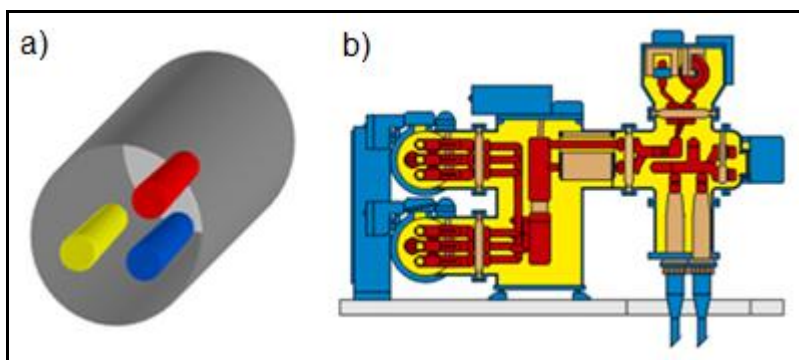


Obr. 1.1 Konstrukce plynem izolovaného zapouzdrění [5].

Primárně se rozlišují dvě koncepce konstrukčního řešení rozveden GIS:

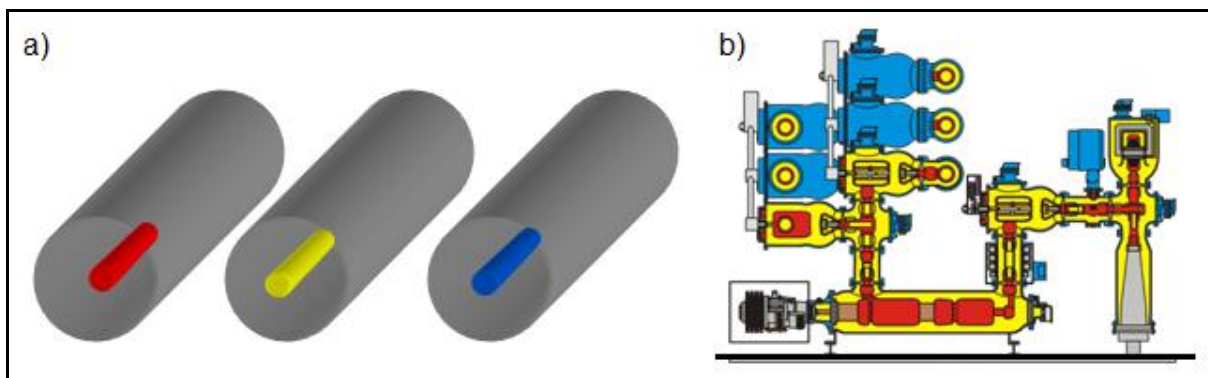
- úplné jednofázové zapouzdření,
- úplné trojfázové zapouzdření.

Úplné trojfázové zapouzdření (tři fáze jsou umístěny v jednom společném plynovém prostoru) se provádí u menších rozveden s parametry VVN do 170kV, resp. 245kV. Mezní napěťové hladiny jsou stanoveny na základě konstrukčních předpisů mezinárodních standardů pro velmi vysoké napětí a impulzní schopnost s ohledem na ekonomické aspekty realizované rozvodny (rentabilita pro $U_n < 300\text{kV}$). Mezinárodními standardy se upravuje – jednopólové zapojení jističů, odolnost spínacího impulsu vůči rychlým přechodovým jevům, zkratové úrovně, mechanická odolnost hliníkových pouzder (6 až 7 bar na povrch) apod. Hlavní výhodou úplného trojfázového zapouzdření (v porovnání s jednofázovým) je kompaktnost dispozičního řešení, nižší počet plynových prostor – méně SF_6 , méně prvků monitorujících tlak plynu, méně přírubových spojů a těsnění až o 35 %. Dalšími výhodami jsou redukce zpětných proudů a jednoduché elektromagnetické pole díky kompenzaci dílčích elektromagnetických polí ve stejném prostoru třífázového zapouzdření. Nevýhodou je pak velké množství energie, která je rozptýlena uvnitř pouzdra, přičemž vzniklý zkrat jedné fáze způsobí zkrat všech [5].



Obr. 1.2 Třífázové zapouzdření GIS [5]. a) vodič, b) rozvodna.

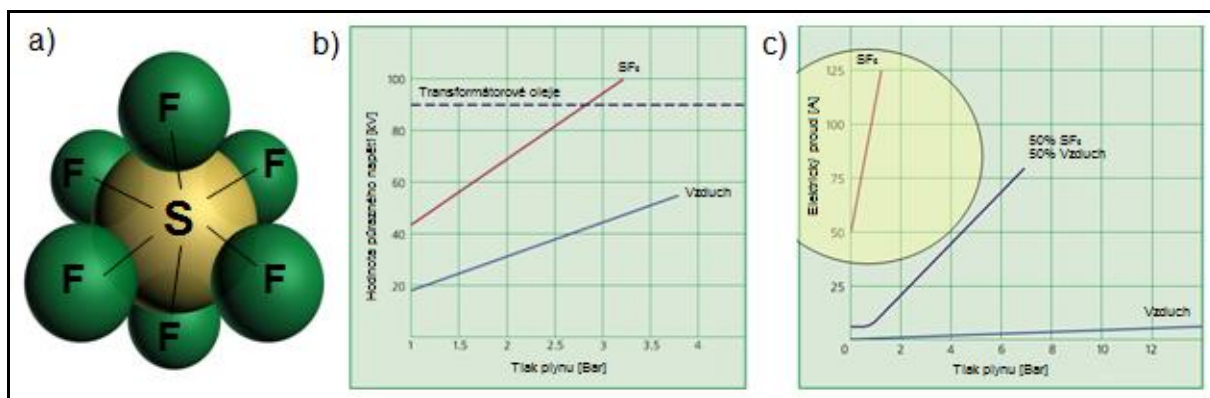
Jednofázové uspořádání (každá fáze je vedena odděleně ve vlastním plynovém prostoru) se využívá pro realizaci rozveden s vyššími hladinami napětí ($U_n > 245\text{ kV}$) zejména z důvodu potřeby delších izolačních vzdáleností. Hlavními výhodami jednofázového uspořádání jsou téměř neomezené konstrukční možnosti s ohledem na požadované izolační vzdálenosti, méně objemné pouzdra vodičů a prakticky nemožné šíření zkratu mezi fázemi. Další výhodou oproti třífázovému uspořádání je snadná realizace nezávisle na fázi pracujících jističů a libovolný počet zhášecích komor [5].



Obr. 1.3 Jednofázové zapouzdření GIS [5]. a) vodiče, b) rozvodna.

1.2 Izolační plyn SF₆

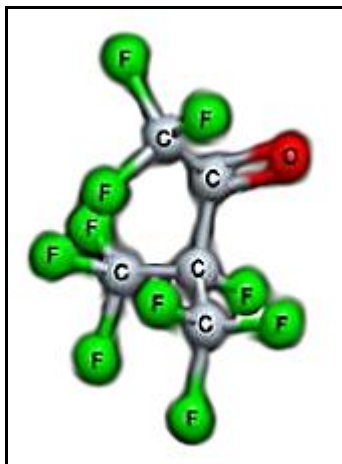
Hexafluorid sírový neboli SF₆ je nejedovatá, chemicky stálá, nehořlavá látka, která se za normální teploty a tlaku vyskytuje v plynném stavu. Plyn je nedýchatelný, protože molekula SF₆ neobsahuje kyslík. V normálních podmínkách je jeho hmotnost přibližně pětkrát větší než hmotnost vzduchu. Absolutně čistý SF₆ není komerčně prodáván, maximální úroveň nečistot pro elektrotechnické účely jsou stanoveny dle IEC 376. Jeho hustota se za normálních podmínek udává 6,07 g·l⁻¹ a rovnovážný tlak 2,2 MPa při 20 °C. Hexafluorid sírový je tedy syntetická sloučenina, která je tvořena jedním atomem síry a šesti atomy fluoru, na základě silné vazby mezi těmito atomy je označován jako plyn inertní (chemicky stabilní). Každoročně je vyprodukováno okolo osmi tisíc metrických tun plynu SF₆ z nichž je asi osmdesát procent je použito v elektrotechnickém průmyslu k izolaci, chlazení a zhašení oblouku. Navzdory svým výborným izolačním vlastnostem byl mezivládním panelem pro změnu klimatu (IPCC) neboli institucí OSN monitorující změny klimatu zařazen mezi mimořádně škodlivé skleníkové plyny a jeho množství je regulováno ustanoveními Kjótského protokolu. Pro stanovení podílu skleníkových plynů byla zavedena výpočetní jednotka GWP (Global Warming Potential, potenciál globálního oteplování), kterou je vyjádřena míra příspěvku plynu k vytvoření skleníkového efektu vztažená k jeho hmotnosti. Tato míra je vyjádřena jako ekvivalent oxidu uhličitého (CO₂). GWP plynu SF₆ je 23 000, tedy hexafluorid sírový je přibližně 23 000 krát nebezpečnější oproti oxidu uhličitému (1 kg SF₆ se rovná příspěvku 22 800 kg CO₂). Za další nevýhody SF₆ se udává jeho rozklad na toxické látky (HF, SOF₂, SF₄, a S₂F₁₀) v případě spalování nebo vzniku vnitřního oblouku v rozvaděči a jeho dobrá stálost, kvůli které se uchovává rozptýlený v atmosféře i stovky let po jeho úniku. Na základě těchto vlastností jsou kladeny velmi vysoké nároky na kvalitu výroby, montáže, instalaci a údržbu plynem izolovaných rozvodů (GIS). Těsnost spoju jednotlivých komponent je striktně dána normou IEC 62271, která stanovuje míru netěsnosti 0,5 % ročně pro jeden uzavřený plynový prostor obsahující SF₆ [7,8,9].



Obr. 1.4 Vlastnosti plynu SF₆ [5]. a) molekula, b) izolační vlastnosti, c) zhašení oblouku.

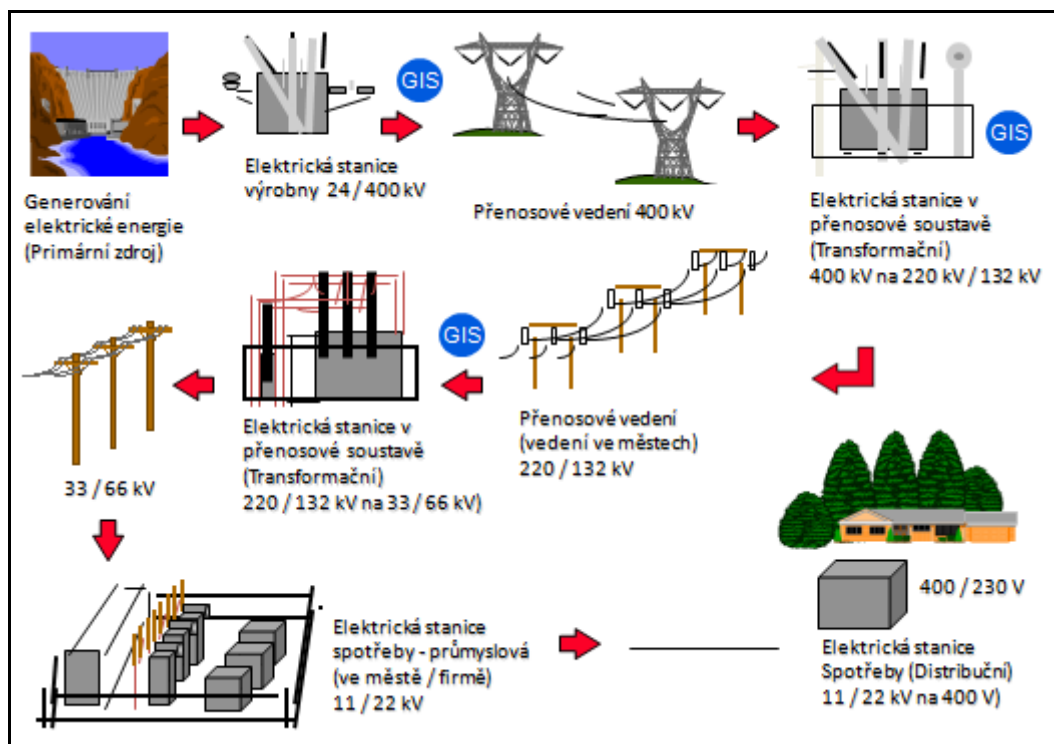
Na základě ustanovení Kjótského protokolu o nutnosti minimalizace emisí skleníkových plynů, včetně SF₆, jsou výrobci GIS tlačeni ustupovat od jeho užívání. V některých zemích světa je v současné době užívání hexafluoridu sírového omezeno či dokonce zakázáno. Vlivem této situace a významných nákladů na likvidaci GIS po skončení její životnosti byli vedoucí firmy energetického průmyslu nuceni pracovat na vývoji ekologicky šetrnější náhrady SF₆. Ta vznikla ve spolupráci ABB s průmyslovou společností 3M. Plyn označovaný jako g³ je tvořen

směsí na bázi fluorketonů s chemickým složením $C_5F_{10}O$ (*Poznámka:* ketony jsou nazývány organické sloučeniny, které obsahují karbonylovou skupinu $C=O$ uprostřed uhlíkového řetězce). Přesné chemické složení je rozdílně upraveno pro užití ve vysokonapěťových GIS na směs fluoroketonu (C5-PFK), oxidu uhličitého (CO_2) a kyslíku (O_2) a pro středonapěťové GIS na směs tvořenou fluoroketonem (C5-PFK), dusíkem (N_2) a kyslíkem (O_2). Nový plyn g^3 je elektricky nevodivý, izolační vlastnosti a schopnosti zhasení elektrického oblouku jsou srovnatelné s SF_6 a jeho potenciál snížit emise oxidu uhličitého je udáván až okolo 50 % (GWP poloviční oproti SF_6). Jako první ve světě využila ekologickou náhradu plynu SF_6 firma ABB pro realizaci tzv. Eco-GIS rozvodny Oerlikon švýcarské energetické společnosti v Curychu (uvedení do provozu v srpnu 2015) [6,7,10].



Obr. 1.5 Molekula g^3 [6].

Oblasti využití plynem izolovaných rozvodn s jednotlivými napěťovými hladinami jsou znázorněny v následujícím schématu (rozvodna je označena jako GIS):



Obr. 1.6 Oblast využití GIS technologie ve výrobě a rozvodu el. energie [5].

2 TEORIE PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ A ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VE FIRMĚ ABB s.r.o.

Práškové lakování je stále více užívaný proces povrchové úpravy v širokém spektru strojírenských odvětví, jeho výsledkem je vysoce kvalitní jednotný povlak s dobrými mechanickými, ochrannými i estetickými vlastnostmi. Tradiční mokré způsoby lakování s použitím rozpouštědel a pryskyřicového pojiva jsou postupně vytlačovány ekologickými předpisy snižující emisní dopady na životní prostředí (při práci s kapalnými rozpouštědly je vyžadován systém odvětrávání, rekuperace a filtrování těžkých organických látek, tzv. VOC). Technologie práškového lakování je suchá metoda nanášení jemně mletých elektrostaticky nabitých částic pigmentu a pryskyřice na povrch kovových (vodivých) součástí. Díly určené k pokrytí nátěrovým práškem jsou neutrálně uzemněny, díky čemuž nabité částice přilnou k povrchu a jsou drženy elektrostatickou silou do okamžiku jejich natavení ve vytvrzovací peci. Proces nanášení částic je prováděn manuálně nebo plně automaticky a není vyžadován systém VOC [11].

Práškové lakování tvoří zvláštní skupinu povrchových úprav, svojí charakteristikou je řazeno do skupiny tzv. průmyslových nátěrových hmot se speciálními vlastnostmi blízkými plastům. Materiály užívané v práškovém lakování jsou označovány jako práškové nátěrové hmoty (PNH), práškové pasty nebo KOMAXIT (původní označení z 90. let od firmy Balakom a.s.). Prvotním určením práškových laků byla povrchová úprava kovových materiálů (odolávajících teplotám min. 150 °C), dnes jsou využívány také pro hliník, měď, sklo, některé druhy keramiky a plastů. Metoda se nedá použít pro výrobky s nízkou odolností vytvrzovacím teplotám obsahující vlhkost nebo na materiály s vysokou pórovitostí, u kterých se nedá vytvořit celistvá vrstva nátěru. Mezi nejznámější výhody práškových laků se řadí absence ekologicky a zdraví škodlivých těkavých látek, pigmenty neobsahující těžké kovy a snadná likvidace. Další výhodou je minimální množství odpadu při aplikaci prášků (2 až 3 %), které mohou být opětovně použity, snadná recyklace, dobré fyzikálně-chemicko-mechanické vlastnosti epoxidových barev, korozivzdornost a v neposlední řadě estetický vzhled a nižší výrobní náklady oproti klasickým způsobům lakování. Proces práškového lakování je tvořen povrchovou předúpravou, maskováním, nanášením prášku, vytvrzením a konečnou úpravou (odmaskováním a v některých případech mechanickým odstraněním laku z nežádoucích míst) [12,13].

2.1 Povrchová předúprava

Výsledná kvalita celého procesu práškového lakování (obecně jakékoli metody povrchových úprav) je ovlivněna vlastnostmi povrchu zpracovávaných součástí, ty mohou způsobit malou přilnavost nátěrových hmot, povrchové vady, nestejný vzhled či předčasnou korozi. Povrchovou předúpravou materiálu je rozuměno odstranění všech okujů, oxidů, maziv, prachových částic, olejů a tuků tak, aby byla zajištěna maximální adheze nanášených hmot. Obvykle je prováděna jako dvoustupňová a dělí se na předúpravu mechanickou a chemickou [14,15,16].

2.1.1 Mechanické úpravy povrchu

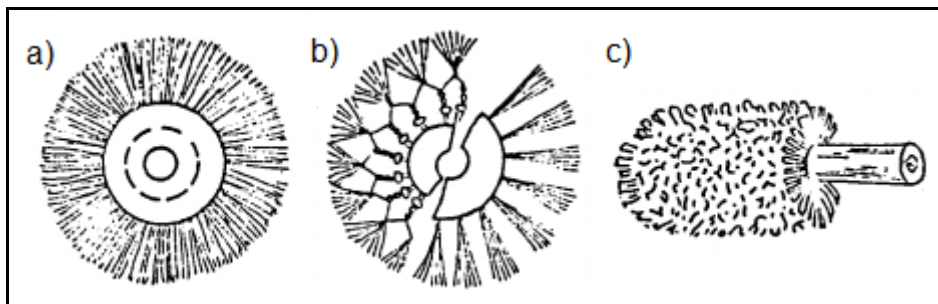
Mechanickými úpravami povrchu jsou odstraněny hrubé nečistoty, zlepšeny mechanické vlastnosti, zvýšena korozivzdornost a přilnavost materiálů. Základními metodami mechanických úprav jsou broušení, leštění, kartáčování a omílání, během nichž je dosaženo sjednocení kvality povrchu a požadovaná drsnost součástí. Metody broušení a leštění se volí z ekonomických důvodů pouze u součástí s maximálními nároky na jakost povrchu [11,14,15].

Broušení:

je postupný úběr materiálu k odstranění hrubých nerovností, je prováděno za sucha brusivem se zrnitostí od 24 do 100 pro hrubé broušení, 120 až 240 vyhlazování a 280 až 500 předlešťování povrchů. Užívají se kotouče s pevnou nebo volnou vazbou abraziva a brusné pásy. Kotouče jemného broušení (zrnitost od 120 a více) jsou přimazávány ke snížení koeficientu tření a s tím spojeného nežádoucího zahřívání opracovávaných součástí. Zrnitost je velikost brusných zrn v matrici brusného nástroje a její hodnota je udána buď v desetinách mikrometrů, tedy např. zrnitost 200 odpovídá velikosti zrn větších jako $2\,000\,\mu\text{m}$ (čím větší hodnota, tím větší zrno), a nebo zrnitostí značenou dle FEPA (Federation of European Producers of Abrasives). Ta udává počet ok síta na plochu jednoho palce, kterým ještě brusivo během prosívání propadne, to znamená čím větší číslo, tím hutnější síto a tím jemnější brusivo (výše použitý případ značení) [15,17].

Kartáčování:

je proces mechanické předúpravy povrchu vedoucí k odstranění hrubých nečistot, rzi a starých nátěrů. Kartáčovací kotouče jsou vyrobeny z ocelového drátu (vlnitého nebo rovného) pro ocelové materiály nebo z mosazi, mědi, fosforového bronzu a přírodních či umělých vláken pro neželezné kovy. Kartáčování je určeno ke sjednocení povrchu a odstranění jemné oxidické vrstvy vzniklé předchozím broušením. Touto metodou nejsou obvykle odstraněny korozní zbytky a vrstvy nátěru z pór materiálu, přičemž poddajností kotouče je umožněno opracování členitých povrchů součástí [15,18].



Obr. 2.1 Druhy kartáčů [15]. a) fibrový, b) drátový c) válcový.

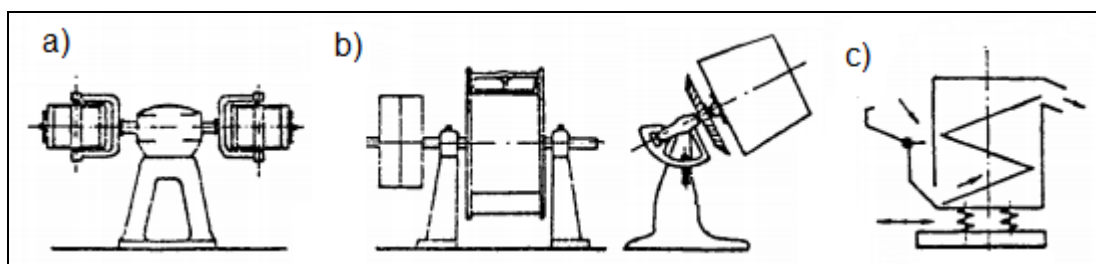
Leštění:

je proces velmi malého úběru materiálu a částečné plastické deformace v povrchové vrstvě součástí. Leštěním jsou odstraněny jemné stopy nástrojů z předchozích operací (broušení, kartáčování), vyhlazen a sjednocen povrch s velmi nízkou drsností ($R_a\,0,1$) a leskem. Velikost lesku je dána druhem leštícího nástroje, obvodovou rychlostí a také složením leštící pasty. Ty jsou vyrobeny z tuků a abrazivních látek – oxidu chromitého (leštící zeleň), oxidu železitého (leštící červeň), umělého korundu (oxid hlinitý), vídeňského vápna (oxid vápenatý), jemné

křemeliny, pemzy apod. Kotouče jsou vyrobeny z látky, plsti nebo kůže. Velké obvodové rychlosti se užívají pro předlešťování a malé rychlosti s jemnějšími pastami pro dolešťování povrchu součástí [15,18].

Omílání:

je mechanický úběr materiálu a proces vyhlazování povrchu působením omílacích prostředků (chemických látek) na povrch součástí vedoucí k odstranění okují, ostřin a korozních částic, zaoblení hran a povrchovému zpevnění. Přidáním chemických prostředků se dá také odmašťovat, pokovovat, sušit i lakovat. Podstatou metody je vzájemné tření součástí s brusivem uzavřeným v rotujícím bubnu, přičemž výsledný stav povrchu je závislý na průměru bubnu, tvaru a velikosti součástí, době omílání ($3/4$ otáčky při plnění 40 až 60 %), tvaru a velikosti omílacích těles, chemickém složení omílací kapaliny a poměrným množstvím opracovávaných součástí vzhledem k brusným tělesům (standardně 1:3 až 1:20). Používají se přírodní i umělé kameny (umělý korund, čedič, vápenec, křemen) nebo kovová tělesa, kožené odpady, organické hmoty, dřevěné piliny, skořápky ořechů atd. Provádí se za sucha nebo v kapalném prostředí, při kterém dochází k ovlivnění smáčivosti povrchu, tlumení nárazových sil mezi součástmi a snížení brusného účinku omílacích těles. Metoda se užívá ke zpracování drobných tvarově složitých součástí vyráběných ve velkých sériích. Zvláštním druhem omílání je tzv. kuličkování, jehož podstatou je dosažení sklovitě lesklého povrchu chemickým účinkem omílací kapaliny a třením mezi kalenými ocelovými kuličkami [15,18].



Obr. 2.2 Metody omílání [15]. a) odstředivé, b) rotační c) vibrační.

Otryskávání:

je proces čištění, mechanického zpevnění a sjednocení drsnosti povrchové vrstvy materiálu. Urychlené abrazivní částice jsou vrhány s vysokou kinetickou energií na povrch součástí, jejichž účinkem jsou odstraněny okuje, rez, staré nátěry, zbytky formovacích směsí odlitků atd. Úběr materiálu je regulován velikostí zrn, dopadovým tlakem, úhlem a vzdáleností tryskání, velikostí trysky a druhem otryskávaného materiálu. Po dopadu částice na povrch součásti je část kinetické energie převedena na teplo (cca 90 %), spotřebována na plastickou deformaci povrchové vrstvy a zbylá část energie setrvává v částici po odražení. Pro výrobu tryskacích částic se nejčastěji užívá litinová drť, křemičitý písek, sekaný patentovaný drát, broky, sklo, karbid křemíku, korund a další umělé a speciální materiály. Mechanického zpevnění povrchové vrstvy je dosaženo tryskáním tupými tvrdými zrny se zaoblenou hranou, naopak ostré částice se zasekávají do povrchu součástí a oddělují část povrchové vrstvy v okolí svého dopadu (dochází k úběru materiálu). Urychlení částice je dosaženo mechanicky metacímí koly nebo proudícím plynem (nejčastěji vzduchem) či kapalinou [15,18].

Hydrofinišování:

je určitým druhem otryskávání kapalinou s brusivem, která je urychlována vzduchem ze směsných pistolí. Užitím jemného brusiva je dosaženo vysoce kvalitního hladkého a stejnoměrného povrchu [15].

Oklepávání:

je proces mechanického odstranění silných vrstev korozních produktů a okují z rozměrných obtížně zpracovatelných součástí. Je určeno pro předměty, u nichž nemůže během oklepávacího procesu nastat jejich trvalá deformace (robustní předměty). K opracování se používají pneumaticky poháněná zařízení s ocelovými dráty, kladívky, trny atd. nebo rotační brusky s ohebnou hřídelí a kladívkovým kotoučem [15].

Opalování plamenem:

je způsob mechanického odstranění rzi tepelným účinkem plamenového hořáku. Povrch velkých hmotných součástí je zahříván speciálním hořákem. Vlivem rozdílné tepelné roztažnosti základního kovu a korozních produktů dochází k uvolňování rzi a jejímu následnému odstranění z povrchu součásti působením proudového tlaku spalovaného plynu [15].

Čištění vodním paprskem:

je méně užívaná metoda odstranění hrubých nečistot z povrchu součásti vlivem vysokotlakého vodního paprsku. Technologie je omezena procesními podmínkami a nutností čištění odpadních vod [15].

2.1.2 Chemické úpravy povrchu

Chemické resp. elektrochemické předúpravy se užívají k odstranění zbylých nečistot z povrchu materiálu bezprostředně před jejich následným zpracováním některou z metod povrchových úprav. Tyto nečistoty můžeme rozdělit na:

- a) *ulpěné nečistoty* – jsou vázány k povrchu pouze adhezními silami. Jsou to zbytky mastných látek (emulzí, past, olejů apod.), kovové nečistoty (třísky, prach), anorganické nerozpustné sloučeniny (grafit, brusiva) atd. Chemický proces jejich odstranění je označován jako odmašťování,
- b) *vlastní nečistoty* – jsou s kovem vázány chemickou vazbou (chemisorpcí). Jsou to korozní zplodiny, okuje, rez apod. Chemický resp. elektrochemický proces jejich odstranění je označován jako moření [15].

2.1.2.1 Odmašťování

Odmašťováním jsou souhrnně označovány všechny metody chemického odstraňování ulpělých nečistot z povrchu součástí. Ty jsou vázány fyzikální adsorpcí (tuky) nebo adhezními silami (anorganické nečistoty, prach, kovové třísky atd.). Ulpěné nečistoty jsou vlivem odmašťovacích prostředků převedeny do roztoku nebo emulze a odstraněny tak, aby se zabránilo jejich zpětnému vyloučení na kovovém povrchu [15,16,19].

Poznámka: Adsorpce je proces hromadění plynné látky ze směsi plynů nebo rozpuštěné látky v kapalině (adsorbátu) na povrchu pevné látky (adsorbentu) vlivem mezipovrchových přitažlivých sil [20].

Podle druhu probíhajících pochodů se odmašťování dělí na:

- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- odmašťování ve vodných alkalických roztocích,
- odmašťování emulzí [15].

Podle způsobu aplikace se odmašťování dělí na:

- odmašťování ponorem,
- odmašťování postřikem,
- odmašťování v parách,
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování ultrazvukem,
- odmašťování mechanické a tepelné [15].

Odmašťování v organických rozpouštědlech:

je jednoduchý chemický proces s vysokými čistícími účinky. Užívají se rozpouštědla na bázi chlorovaných uhlovodíků (CHC), alkoholů, ketonů benzenu, lakového benzínu, trichlorethylen a perchlorethylen, která se vyznačují vysokou schopností rozpouštět tuky a oleje, jsou nehořlavá, poměrně stálá a nenapadají kov. Vlivem vysokých narkotizačních účinků je užívání těchto látek omezeno předpisy na ochranu zdraví a životního prostředí. Jejich vdechováním je ovlivňována centrální nervová soustava, mohou mít karcinogenní účinky a nejsou snadno ekologicky zlikvidovatelné (možné znečištění vod a emise do ovzduší). Látky se mohou vlivem tepelného a světelného působení rozkládat na chlorovodík (nebo fosgen), který způsobuje korozi, a proto je nutná pravidelná kontrola pH spolu s přísadami stabilizátorů roztoku. Volba rozpouštědla se provádí na základě zpracovávaného materiálu a typu znečištění, např. chlorované etany a etylény nemohou být použity na součásti z hliníku a dichloretyany tvoří ve styku s mědí výbušné acetylidy. Odmašťování lze provádět ponorem, postřikem, za studena nebo v parách. Odmašťování za studena se provádí ponorem součástí do rozpouštědla, naopak během odmašťování v parách se rozpouštědlo odpaří z vestavěné nádrže a následně zkondenzuje na studeném povrchu součásti. Zkondenzovanými parami se rozpustí mastnota a odkape z povrchu (součást zůstane čistá a suchá), přičemž páry chlorovaných uhlovodíků jsou těžší než vzduch, tedy neunikají do okolního prostředí, ale zůstávají v nádrži [15,16,19].

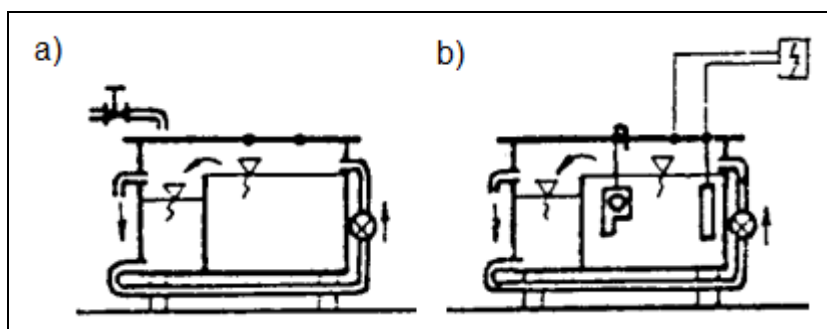
Odmašťování ve vodných alkalických roztocích:

je založeno na koloidně chemických pochodech tj. emulgaci a dispergaci nečistot, přičemž jsou rozpouštěny i heteropolární sloučeniny, které jsou ve vodě nerozpustné. Rostlinné, živočišné tuky a oleje jsou během odmašťování chemicky měněny, tzv. zmýdelňují a naopak látky minerálního původu jsou rozptýleny ve formě jemných kapiček (emulgují), čímž dochází k jejich odstranění z povrchu součástí. Vlivem suspenzační a antiredepoziční schopnosti lázně jsou tuhé látky rozptýleny v roztoku a nedochází k jejich zpětnému usazení na čistěném povrchu. Při odmašťování hliníku, cínu a zinku jsou do lázně přidávány křemičitany, které zmírňují korozní účinky alkálií. Ty obsahují buď volný hydroxid (louh), nebo zásadité soli jako jsou uhličitany, křemičitany a fosforečnany. Lepší smáčivosti se docílí přísadami ve formě tenzidů, kterými je sníženo povrchové napětí. Jsou to tedy emulgační přísady, které sbalují tuky a vytěsňují je na hladinu. Odmašťování je nejčastěji prováděno ponorem při teplotách 60 až 90 °C, koncentraci 1 až 10 % a době setrvání v lázni od 5 do 10 minut. Vodné odmašťování (za tepla) se uskutečňuje alkalickými, neutrálními nebo kyselými roztoky, jejichž hlavní složkou je

hydroxid NaOH nebo kyseliny NaCO_3 , Na_3PO_4 , uhličitany, křemičitany a polyfosfáty, nebo se uskutečňuje sodou, fosforečnany, boritany a komplexotvornými látkami se smáčedly. Vodné odmašťovací roztoky jsou nestabilními emulzemi (tzv. de-emulzní) nebo stabilními a nahrazují dříve užívaná rozpouštědla. Jejich účinnost a životnost je závislá na typu použitých chemikálií, koncentraci, množství zpracovávaných dílů a jejich znečištění. Oplach součástí se provádí demineralizovanou vodou (tzv. demivodou), která je zbavena minerálních látek (solí) a příměsí, protože tyto látky se během procesu neodpařují, ale vytváří usazeniny na povrchu součástí [15,16,19].

Elektrolytické odmašťování:

je druhem alkalického odmašťování s užitím elektrického proudu, přičemž podstata chemicko-fyzikálního působení elektrolytu je totožná, avšak působením stejnosměrného elektrického proudu na lázeň se disociují látky v roztoku. Nečistoty jsou z kovu oddělovány působením plynů, které se uvolňují na povrchu elektrod a následně ruší adhezni síly, jimiž jsou nečistoty k povrchu součásti vázané. Podle způsobu zapojení (umístění předmětu v lázni) se rozděluje na katodické, anodické a katodicko-anodické neboli reversní. Účinnější katodické odmašťování je založeno na mechanickém účinku vyvíjeného vodíku, který je asi dvojnásobně větší oproti kyslíku na anodě. Standardně se volí teplota lázně $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, proudová hustota min. $10\text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$ a napětí 7 až 9 V. Nevýhodou tohoto zapojení je nebezpečí vzniku vodíkové křehkosti, která je způsobena difuzí vodíku do povrchu materiálu. Během procesu je také vylučován (na katodě) alkalický kov, který je nestálý a sloučením s vodou tvoří alkalický hydroxid. Intenzita odmašťování je řízena stupněm alkality v katodovém prostoru. Barevné kovy jako Pb, Sn, Zn, Cu mohou s užitím silné alkality korodovat. Při anodickém odmašťování je povrch součásti částečně naleptán působením uvolňujícího se kyslíku. Ten má menší mechanický účinek (v porovnání s katodickým zapojením), za jistých okolností způsobuje oxidaci mastnot, ale nedochází jeho vlivem ke vzniku vodíkové křehkosti. Kombinace obou metod se zakládá na odmaštění součásti působením katodické polarity a následném naleptání povrchu účinky anodického zapojení, přičemž naleptání povrchu je vyžadováno pro dobré přilnutí naneseného povlaku. Elektrolytické odmašťování je nejúčinnější metodou chemického čištění povrchu a zařazuje se těsně před povrchovou úpravou [15,16,19].



Obr. 2.3 Odmašťování [15]. a) v alkalických roztocích, b) elektrolytické.

Emulzní odmašťování:

je založeno na organických rozpouštědlech, které obsahují určitý počet organických emulgátorů jako jsou sulfonáty a mýdla. Obvykle se užívají organické rozpouštědla ve formě destilační ropné frakce s vyšším bodem vzplanutí. Odstranění nečistot se provádí ponorem nebo nástřikem rozpouštědla s mírnou alkalitou na povrch součástí, jimiž jsou rozpuštěny mastnoty (snižuje se jejich viskozita) a následným

oplachem odvedeny z povrchu součásti v podobě vodné emulze. Penetrace rozpouštědla do znečištěné vrstvy je podporována přísadovými emulgátory. Odmašťování je prováděno za normálních teplot (bez ohřevu lázně) [15].

Odmašťování parou:

se užívá k hrubému očištění velmi znečištěných rozměrných součástí. Nečistoty jsou odstraněny působením páry s obsahem emulgátoru nebo alkalického roztoku. Následně je povrch očištěn čistou párou. Výroba páry se zajišťuje pojízdnými generátory páry s naftovým ohřevem [15].

Odmašťování spalováním:

je používáno k hrubému odstranění tenkých vrstev mastnot ze součástí tenkostěnného charakteru. Mastnoty se ohřevem na vhodnou teplotu mění na plynné zplodiny, vodu a prachové nečistoty, které jsou snadno odstranitelné. Teplota spalování je volena dle druhu čištěného materiálu a typu znečištění (mastnoty) tak, aby nevznikla oxidická vrstva [15].

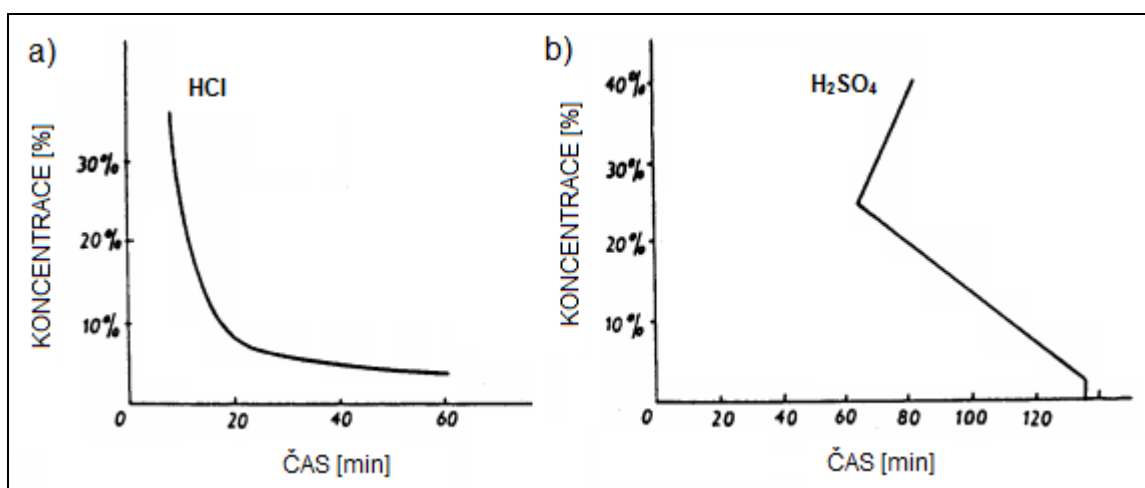
Odmašťování ultrazvukem:

se provádí u vysoce profilovaných a tvarově složitých součástí. Metoda je založena na ultrazvukovém vlnění v alkalické odmašťovací lázni, jehož vlivem jsou zhušťovány a zředovány oblasti o rozdílném tlaku. Vlivem toho jsou generovány mikrokavitační dutiny, které v průběhu svého zániku rozšiřují rázové vlny a jejich následkem jsou odstraněny mikroskopické částice mastných nečistot. Vysoká účinnost odmašťování je regulována intenzitou ($2 \text{ až } 5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$) a frekvencí ultrazvukového vlnění (25 až 50 kHz) [16].

2.1.2.2 Moření

Moření je metoda chemické předúpravy, při níž jsou odstraňovány korozní produkty z povrchu kovu vlivem chemického nebo elektrochemického působení kyselin, kyselých solí či alkalických činidel. K odstranění okují ze součástí vyrobených z oceli nebo litiny je nejčastěji používána kyselina sírová (H_2SO_4) díky své nízké ceně, malé spotřebě a téměř zanedbatelné exhalaci do okolí. Ta proniká póry skrz vrstvy okují, kde je rozpouštěn oxid železnatý FeO a kovový prach na: $\text{FeO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$ a uvolňován vodík, kterým je způsobeno jejich odprýskávání a následné odloupení. Okuje se zbavují svého základu a klesají ke dnu. Účinnost procesu je závislá na koncentraci a teplotě lázně, přičemž maximální rychlosti moření se dosahuje při koncentraci 25 %. Standardně užívaná koncentrace se pohybuje v rozmezí od 8 do 14 % při teplotách 60 až 80 °C, přičemž doba moření se za těchto podmínek udává okolo 5 až 10 minut. Čas moření je závislý na struktuře, tloušťce okují a čistotě roztoku, přičemž se stoupajícím znečištěním klesá účinnost lázně, snižuje se koncentrace, stoupá obsah železa a prodlužuje se doba moření. Dalším druhem užívané kyseliny je kyselina chlorovodíková (solná, HCl), která rozpouští kysličníky železa na chlorid železnatý: $\text{FeO} + \text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Její spotřeba je v porovnání s H_2SO_4 mnohem větší, avšak zpracovávané součásti jsou méně povrchově napadány za podmínek, že rychlost moření je vyšší. Používá se v koncentraci 10 až 20 %, přičemž nesmí být přesazena horní hranice, za kterou prudce stoupá exhalace chlorovodíku. Z těchto důvodů je prováděno moření za studena, tedy bez ohřevu lázně. Okuje legovaných ocelí jsou odstraňovány směsicemi kyselin (např. 20 až 40 % HNO_3 , 3 až 10 % HCl nebo HF a H_2SO_4), protože jsou v nich přítomny těžce rozložitelné oxidy legujících

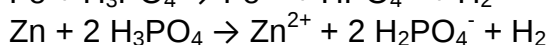
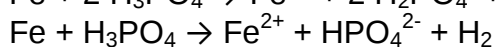
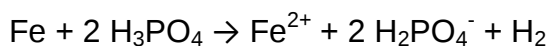
přísad a oxid chromitý. Během procesu moření je uvolňován atomární vodík, který je pohlčován povrchem součásti a vede ke snížení mechanických vlastností (tzv. vodíková křehkost). Ta je následně odstraňována žháním. Vzniku vodíkové křehkosti je možné předcházet snížením rychlosti napadání kovu kyselinou a tím vnikání vodíku do povrchu kovu. Snížení rychlosti je prováděno přidáním inhibitorů (vysokomolekulární organické povrchově aktivní látky), které se sorbují na čistý povrch železa, blokují jej a brání průniku vodíku. Účinnost inhibitoru je vyjadřována tzv. inhibičním koeficientem, tedy poměrem rychlosti rozpouštění oceli v lázni bez a s přidáním inhibičních látek (až 99,9 %). Moření mědi a jejích slitin se provádí tzv. opalováním, tedy ponořením součásti do směsi kyselin dusičné (HNO_3), sírové (H_2SO_4) nebo solné (HCl). Doba setrvání v lázni je velmi krátká, protože je naleptáván i základní kov. Nevýhodou je uvolňování jedovatých oxidů ve formě červenohnědého dýmu, který je nezbytné během procesu odvětrávat. Moření hliníku a jeho slitin se provádí v kyselých lázních (zředěné kyselině sírové, chlorovodíkové, fosforečné apod.) nebo v alkalických lázních (10 až 15 % hydroxidu sodném) po dobu několika vteřin za zvýšené teploty (zvýšením mořicí teploty o 10 °C se zvýší rychlost moření o 100 % a naopak). Zvláštními druhy moření jsou pak dekapování, sdružené moření s odmaštěním, elektrolytické moření a elektrochemické a chemické leštění [15,16,18,19].



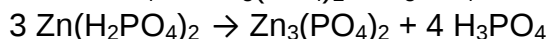
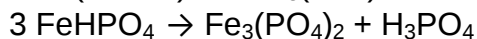
Obr. 2.4 Vliv koncentrace lázně na rychlost moření [15]. a) HCl , b) H_2SO_4 .

2.1.2.3 Fosfátování

Fosfátování je nejrozšířenějším způsobem chemické úpravy povrchu, při kterém je na povrchu vytvořena vrstva nerozpustných krystalických terciálních fosforečnanů zinku, železa, vápníku a manganu. Podstatou je přeměna hlavní složky fosfatizačního přípravku (rozpustného dihydrogenfosforečnanu) na nerozpustný hydrogenfosforečnan a fosforečnan příslušného kovu. Během prvotní reakce se působením volné kyseliny v lázni rozpouští kov a vzniká vodík:



Na rozhraní kovu s fosfátovací lázní se spotřebovává volná kyselina, čímž je zvyšováno pH a narušena hydrolytická rovnováha lázně. V důsledku toho se změní dyhydrogenfosforečnan na nerozpustný fosforečnan a volnou kyselinu fosforečnou:



Vzniklou kyselinou je obnovena rovnováha pH v lázni, nerozpustný (terciální) fosforečnan zinečnatý krystalizuje na povrchu oceli, čímž je vytvořena ochranná vrstva. Fosfatizační přípravky jsou vyrobeny na bázi zinku (bonderizace), železa (walterizace) nebo manganu (parkerizace) a vápníku. Urychlení procesu je dosaženo použitím tzv. urychlovačů (dusičnany, chlornany apod.), kterými je zajištěna stabilita lázně a snížení teploty. Např. lázeň bez urychlovačů o teplotě 95 až 98 °C s dobou fosfatizace 45 až 60 minut je urychlovači snížena na teplotu 50 až 60 °C se zkrácenou dobou expozice na 5 až 10 min. Vyloučená vrstva fosfátu se pohybuje v rozmezí 0,5 až 8,0 g·m⁻², tedy okolo 0,25 až 4,0 μm. Větší vrstvy nejsou užívány z důvodu jejich pórovitosti, křehkosti a hrubého zrna. Proces fosfatizace se zařazuje za mechanickou předúpravu povrchu, odmaštění a moření. Je prováděn postřikem nebo máčením ve vyhřívaných ocelových vanách, přičemž jeho aplikace se využívá ke korozní ochraně, úpravě před tvářením za studena, zlepšení záběhu, vytvoření izolační vrstvy a vytvoření podkladové vrstvy pod organické nátěry. Fosfát vytváří na povrchu součástí šedou a na dotek sametově působící vrstvu. Korozní odolnost organických nátěrů je způsobena jejich zvýšenou přilnavostí ke kovovému materiálu, která brání tzv. podrezavěním nanesené vrstvy laku. Velmi dobrého zakotvení nátěrových hmot je dosahováno nejen u součástí z oceli, ale i zinku, manganu, hliníku a jiných neželezných kovů. Hliník a jeho slitiny jsou upravovány za pokojových teplot a nanesená fosfátová vrstva dosahuje od 5 do 30 mg·dm⁻² [15,16].

2.1.2.4 Chromátování

Chromátováním je označován nejrozšířenější způsob pasivace vedoucí ke zvýšení korozní odolnosti oceli a neželezných kovů. Je hojně využíváno jako konečná úprava povrchu pro lehká korozní prostředí i jako mezivrstva pod organické nátěry. Ta se podílí na výrazném zvýšení přilnavosti nátěrových hmot a pronikání protikorozního média do povrchu základního materiálu. Je ekonomicky méně náročné (v porovnání s fosfátováním) a jsou rozeznávány dva základní druhy chromátovací lázně:

- chromátovací lázně alkalického typu,
- chromátovací lázně kyselého typu.

Méně užívané alkalické chromátování je založeno na reakci kovu s chromany za vzniku hydroxidu kovu, hydroxidu chromitého, sodné soli a vodíku. Nerozpustitelné hydroxidy se usazují na povrchu součástí, následkem čehož je utvořena nerozpustitelná vrstva chromátového povlaku. Chromové či zásadité soli nebo křemičitany, které jsou obsaženy v alkalických lázních způsobují utěsnění vytvořené pasivační vrstvy. Hlavní složka kyselých chromátovacích lázní je tvořena kyselinou chromovou a komplexotvornými látkami, kterými jsou vázány kovové ionty k urychlovacím přísadám (tzv. urychlovačům). Tyto lázně jsou stálé, odolné a dají se regenerovat (kyselé pH 1 až 2,5). Mechanismus, kterým je vytvářena chromátovací vrstva se zakládá na reakci šestimocného iontu chromu (Cr⁶⁺) s kovovým povrchem součástí, při níž je redukován šestimocný iont chromu na trojmocný (Cr³⁺) a také na vzrůstajícím pH lázně. Následkem toho je na povrchu materiálu utvořena chromátová vrstva, která je složena ze směsi chromu a základního materiálu.

Chromátování oceli je prováděno ve vroucí lázni s obsahem 1 až 2 g·dm⁻³ oxidu chromového. K chromátování hliníku a jeho slitin se užívá kyselých lázní bez ohřevu. Nanesené vrstvy se vyznačují interferencí barev tvořící žlutý, modrý, zelený, hnědý, černý či bezbarvý povrch součástí [15,16,18].

Užívání šestimocného chromu (Cr⁶⁺) je od 1. 7. 2003, kdy v zemích EU vstoupila v platnost směrnice EU2000/53/EG (End of Life Vehicles) pro recyklaci automobilů sledující ochranu zdraví a životního prostředí, zcela zakázáno. Sloučeniny chromu Cr⁶⁺ jsou toxické a podle IARC (International Agency for Research on Cancer) jsou s dostatečnou průkazností považovány za karcinogenní pro člověka. Šestimocný chrom (Cr⁶⁺) je v EU považován za nebezpečný od platnosti první směrnice 78319/EEC. Předúpravy pasivací tzv. modrým chromátem obsahující trojmocný chrom (Cr³⁺) se za karcinogenní dosud nepovažují, jsou směrnici bez omezení přípustné stejně jako povlaky tvořené kovovým chromem. Náhradou za užívání zakázaného šestimocného chromu (Cr⁶⁺) jsou tzv. zelené technologie, které neobsahují fosfáty, fluoridy ani těžké kovy. Jsou jimi např. úpravy Delta-Protekt nebo Geomet, tedy povlaky mikrolamelárního zinku nebo sloučeniny zinku a hliníku s ekologickými pojivy organických titanátů, zirkonátů a silikátů na vodní bázi, které jsou nanášeny neelektrickými procesy. Dále pak elektrolytické povlaky zinku s pasivačními povlaky bez Cr⁶⁺. Nevýhodou nových procesů je vyšší cena, avšak výhodou je vyšší životnost s lepší odolností proti korozi. Pasivační novinkou nahrazující zakázané užívání Cr⁶⁺ je taktéž metoda tzv. multimetalické pasivace ECLPS. Ta je určena jako efektivní předúprava povrchu před práškovým lakováním vedoucí k výraznému zvýšení protikorozií odolnosti lakovaných součástí. Výhodou je probíhající proces za pokojových teplot a úspora energetických, resp. finančních nákladů [21,22].

2.1.2.5 Eloxování

Eloxování neboli anodická oxidace hliníku je technologický proces elektrochemického vytváření oxidické vrstvy na povrchu hliníku a jeho slitin. Jeho podstatou je chemická reakce mezi ionty Al³⁺ a OH⁻, kterou je na povrchu těles vytvořena vrstva nerozpustného hydroxidu hlinitého Al(OH)₃. Ta zabraňuje průchodu elektrického proudu, čímž dochází k zahřívání součásti (vlivem odporu), dehydrataci a přeměně hydroxidu hlinitého na oxid hlinitý. Eloxovaná součást je ponořena do elektrolytu, následným průchodem stejnosměrného proudu mezi anodou (součástí) a katodou (hliníkovým nebo olověným plechem) se rozpouští hliník na anodě a stoupá počet hydroxylových iontů OH⁻ potřebných pro vznik reakce, která probíhá za pokojových teplot (bez ohřevu). Před samotným eloxováním je nezbytné, aby zpracovávaná součást byla mechanicky očištěna, odmaštěna a mořena. Tloušťka a vlastnosti naeloxované vrstvy jsou dány složením základního materiálu, použitou lázní, proudovými podmínkami, teplotou a dobou setrvání v lázni. Vzniklá vrstva je vyznačována stejnou tloušťkou na povrchu celé součásti bez ohledu na její členitost, přičemž se udává v rozmezí od 15 do 20 μm, zabraňuje korozi, významně zvyšuje přilnavost organických nátěrů a má výborné izolační vlastnosti. Eloxované dráty jsou používány jako náhrada měděných vodičů [15,16].

Anodická oxidace je prováděna těmito základními způsoby:

Eloxování v kyselině sírové stejnosměrným proudem:

je prováděno v lázni kyseliny sírové o koncentraci 15 až 27 %, při napětí 12 až 18 V a proudové hustotě 1 až 2 A·dm⁻². Metoda se provádí bez ohřevu lázně a doba ponoru součásti se pohybuje mezi 20 až 30 minutami dle požadované tloušťky

naeloxované vrstvy (max. 0,025 mm). Výsledkem procesu je povlak transparentního až mléčného odstínu [15,16].

Eloxování v kyselině sírové střídavým proudem:

se užívá pro méně korozně namáhané součásti, proces oxidace je pozvolný, naeloxovaná vrstva dosahuje menších vrstev (0,005 mm) a je pórovitá. Hustota střídavého proudu je 2 až 6 A·dm⁻² za nízkých teplot lázně. Aplikace metody se provádí před tvářením za studena, při němž nedochází k poškození oxidické vrstvy (vysoká tvrdost eloxované vrstvy). Barva vytvořeného povlaku je šedého až černého odstínu [15,16].

Tvrdé eloxování:

je prováděno u vysoce namáhaných součástí otěrem. Technologie je postavena na modifikaci metody eloxování kyselinou sírovou (o koncentraci 15 %) s užitím stejnosměrného proudu (2,5 až 5 A·dm⁻²) při chlazení lázně až na rozmezí hodnot od -7 do +5 °C a současného intenzivního míchání lázně. Užívané napětí je 70 V, přičemž na konci oxidace je zvýšeno na 200 V. Tvrdost naeloxovaných vrstev se pohybuje od 700 do 1 100 HV při tloušťce 25 až 75 µm. Barva naeloxované vrstvy je šedá až černá [15,16].

Eloxování v kyselině chromové:

se provádí u součástí, které jsou vysoce namáhány korozním prostředím. Výhodou metody je snadné odstranění zbytků lázně z pórů, spojů, členitých prvků součástí a netvořící se tzv. vykvétání a hloubková koroze. Proudová hustota je volena v rozmezí 0,3 až 1 A·dm⁻². Barva povlaku je mléčná. Metoda se nehodí jako předúprava před lakováním organickými barvami [15,16].

Barevné eloxování:

neboli dekorativní eloxování je vytvářeno v lázni s kyselinou šťavelovou nebo sírovou, která je doplněna organickými kyselinami jako je například kyselina sulfosalicylová, maleinová, apod. Odstíny naeloxovaných vrstev se vyznačují dobrou stálostí proti vlivům slunečního záření a povětrnostním podmínkám [15,16].

2.2 Práškové nátěrové hmoty (PNH)

Práškové nátěrové hmoty (PNH) neboli práškové barvy, práškové pasty či KOMAXIT jsou materiály z oblasti tzv. průmyslových nátěrových hmot. Tyto hmoty se vyznačují svými speciálními vlastnostmi blízkými plastům, absencí ekologicky a zdraví škodlivých látek, pigmenty neobsahujícími těžké kovy, dobrými fyzikálně-chemicko-mechanickými vlastnostmi, korozivzdorností a snadnou likvidací. Výhodou je také minimální množství odpadu při jejich aplikaci (2 až 3 %), opětovné použití a snadná recyklace. Jsou tvořeny převážně ze směsi pryskyřic, pigmentů a dalších látek, kterými je dodáván lesk, mat, tvrdost a jiné specifické vlastnosti. Velikost práškových částic se pohybuje od 10 do 500 µm. Částice jsou naneseny na povrch lakované součásti (nejčastěji stlačeným vzduchem) a následně spečeny a vytvrzeny v souvislou vrstvu za vysokých teplot (150 až 200 °C) [12,13,14].

PNH se dle svého určení dělí na:

- *Ochranné povlaky* – odolnost vůči atmosférické a chemické korozi (mořský vzduch, kyselé nebo zásadité prostředí),

- *Elektrické nebo tepelné izolátory* – plasty vyznačují dobrými izolačními vlastnostmi, nevýhodou je odolnost proti nízkým teplotám,
- *Potravinářské nátěry* – vybrané prášky jsou vyrobeny z plastů splňující platné normy a nařízení pro užití v potravinářském či farmaceutickém průmyslu,
- *Dekorativní povlaky* – práškovou barvou lze vytvořit vrstvu jakékoli barvy, odstínu a charakteru (lesklá, matná, strukturní atd.) [23].

Standardně jsou PNH složeny z: 50 až 60 % pojiva, pryskyřice a tvrdidla,
40 až 50 % pigmentu a nabíjecích částic,
1 až 2 % přísad [23].

2.2.1 Termoplastové PNH

Termoplastové práškové hmoty jsou tvořeny třemi základními pryskyřicemi: vinylem, nylonem a polyesterem. Vyznačují se vysokou molekulovou hmotností, díky které jsou vyžadovány vysoké tavicí teploty a nanášení pomocí fluidního lože. Tyto materiály jsou používány pro některé potravinářské aplikace, vybavení dětských hřišť, nákupní vozíky, nemocniční lůžka apod. Nevýhodou je nízká teplota tavení (termoplasty se zvyšující teplotou přechází do plastického až kapalného stavu), tloušťka vrstvy vždy větší jak 100 μm a poměrně omezené spektrum použití [11].

Polyvinylchloridové (PVC) PNH:

se vyznačují dobrou chemickou odolností, vodotěsností a některými FDA (FDA – certifikát pro kontakt s potravinami) atestacemi. Povlak je měkký, lesklý, pružný a poměrně odolný širokému rozsahu teplot. Používá se pro úpravu mrazicích boxů, košů myček atd. [11].

Polyethylenové PNH:

se vysoce podobají pevnému polypropylenu. Povlak je měkký, voskový, trvanlivý a odolný některým chemikáliím (i čistícím prostředkům). Jeho hlavní výhodou jsou výborné elektrické izolační schopnosti [11].

Nylonové PNH:

neboli nylonová pryskyřice či polyamid je využíván pro výrobu povlaků o vysoké tvrdosti, které odolávají mechanickému oděru a chemickým rozpouštědlům, jsou celistvé s vysokou hladkostí a mohou být užívány ve styku s potravinami (FDA certifikace). Pro zaručení dokonalých vlastností je nezbytné před nanesením prášku zvýšit adhezi některou z metod chemické předúpravy. Nylonové povlaky se nejčastěji užívají pro venkovní aplikace jako jsou: svítidla, sedadla, regály apod. [11].

Polyestrové PNH

se vyznačují vysokou adhezní přilnavostí a odolností vůči UV (ultrafialovému) záření. Z těchto důvodů jsou používány jako krycí vrstva venkovních zařízení, zahradního nábytku apod. Nevýhodou je poměrně složitá aplikace na povrch součástí [11].

Polyvinylidenenfluoridové (PVDF) PNH:

jsou užívány pro povlaky s vysokou odolností vůči povětrnostním vlivům a chemikáliím, vyjma uhlovodíkových rozpouštědel. Užívají se k povrchové úpravě potrubí, armatur a rozvodného zařízení pro chemický průmysl. Před nanesením prášku z polyvinylidenenfluoridu musí být povrch součástí chromátován [11].

2.2.2 Termosetové PNH

Termosetové neboli reaktoplastové práškové hmoty jsou tvořeny z pevné pryskyřice s vysokou molekulovou hmotností a zesíťovacích látek. Tyto látky se vlivem chemické reakce (polyamidace nebo polykondenzace) podílí na tzv. chemickém zesíťování, tedy procesu, při němž termoplasty ztrácejí své plastické vlastnosti. Jsou vytvrzovány za poměrně vysoké teploty od 120 do 200 °C, nanášejí se elektrostaticky a jsou využívány jako ochranná či dekorativní úprava v širokém spektru aplikací. Požadované vlastnosti povlaku jsou dány kombinací třech základních pryskyřic (epoxidové, polyesterové a akrylové) s různým typem zesíťovacího, resp. vulkanizačního činidla (aminy, anhydridy, melaminy, izokyanáty atd.). Termosetové prášky jsou nejčastěji užívaným typem PNH [11].

Epoxidové PNH:

Tyto práškové laky jsou tvořeny základní složkou (nosičem) z epoxidové pryskyřice, tavidel, aditiv a barevných pigmentů. Vyznačují se vysokou adhezní schopností, chemickou a korozní odolností, otěruvzdorností, houževnatostí a výbornými krycími schopnostmi. Jsou nanášeny v tenkých vrstvách a vytvrzovány za relativně nízkých teplot. Jejich zásadní nevýhodou je téměř nulová odolnost UV (ultrafialovému) záření, jehož vlivem dochází k degradaci mechanických vlastností (drolení, křídovatění atd.). Křídovatěním je označován proces rozpadu polymerního filmu, který způsobuje úbytek nanesené vrstvy dosahující až 10 µm za jeden rok. Degradace se projevuje zmatněním povrchu. Epoxidové práškové laky jsou náchylné k tzv. přepalování, které se projevuje zbarvením nanesené vrstvy do žlutého odstínu vlivem vysokých vytvrzovacích teplot. Vytvrzování se provádí při teplotách 121 až 232 °C po dobu 3 až 25 minut. Jsou užívány jako funkční nebo estetická úprava především interiérových prvků. Díky svým výborným izolačním vlastnostem jsou používány jako izolace elektrických zařízení, elektromotorů, alternátorů, rozvodných skříní, jako ochrana prutů do betonu či některých komponent pod kapotou automobilů (mimo dopad paprsků UV záření). Mezi estetické využití jsou řazeny povrchové úpravy elektrických spotřebičů, armatur, kancelářských potřeb, nábytku, interiéru aut, hraček apod. Jsou vyráběny v celé škále odstínů, barev, textur a lesku, resp. matu [11,23,24].

Epoxipolyesterové PNH:

Epoxipolyesterové práškové laky neboli hybridy či mixy jsou vyrobeny kombinací epoxidové a polyesterové pryskyřice v poměru 30:70 až 50:50, který je přesně stanoven dle požadovaných vlastností povrchové úpravy. Jsou užívány v mnoha stejných aplikacích jako epoxidové PNH. Jejich výhodou je zvýšená odolnost před UV zářením a křídovatěním. Další výhodou je snadnější nabíjení částic při elektrostatickém nanášení a nepatrně vyšší odolnost povětrnostním podmínkám. Naopak nevýhodou je snížená odolnost vůči působení chemikálií, rozpouštědel a jejich nižší tvrdost [11,23,24].

Polyesterové (PES) PNH:

Jsou vyrobeny z polyesterové pryskyřice a vhodného tvrdidla. Dříve byly užívané urethanové polyesterové nebo triglycidylisokyanuráty (TGIC), které byly pro své mutagenní vlastnosti omezeny a následně nahrazovány netoxickou formou B-hydroxyalkylaminů. Tento typ prášku se vyznačuje velmi dobrou stabilitou vůči povětrnostním vlivům a UV záření, snadným nanášením, odolností proti přepečení a křídovatění (zežloutnutí povrchu), přičemž méně odolávají působením chemických rozpouštědel. Vytvrzení je prováděno v rozmezí teplot od 149 do 204 °C po dobu

10 až 30 minut. Jsou používány jako povrchová úprava hliníkových dveřních i okenních ráků, ráků jízdních kol, příslušenství motorových vozidel, zemědělské techniky a dalších převážně venkovních zařízení [11,23,24].

Polyuretanové (PUR) PNH:

Základní báze těchto prášků je tvořena polyesterovou pryskyřicí s různými druhy tvrdidel. Síťování polyesterové pryskyřice je blokováno kaprolaktamovým činidlem, jehož aktivace je uskutečněna překročením tavicí teploty 182 °C (adiční reakce). Díky obsahu kaprolaktamu jsou mechanické vlastnosti citlivé na tloušťku nanesené vrstvy. Se zvětšující se tloušťkou povlaku se zhoršují mechanické vlastnosti a uvolňují se emise těkavých látek kaprolaktamu. Polyuretanové PNH jsou řazeny mezi nejstabilnější a nejodolnější materiály, používají se převážně v dopravním průmyslu (povrchová úprava vlaků, nákladních i osobních automobilů apod.), jsou vysoce odolné chemikáliím, rozpouštědlům a ultrafialovému záření. Jsou nanášeny v tenkém filmu, který se dobře rozleje po povrchu součásti a vytvoří tak hladký houževnatý a celistvý povrch. Polyuretanové pryskyřice se také vyznačují vysokou čírostí, díky čemuž jsou využívány k výrobě vysoce kvalitních transparentních povlaků. Povrchové úpravy z polyuretanových materiálů jsou kvalitativně srovnatelné s nejlepšími nátěrovými hmotami mokrého způsobu lakování [11,23,24].

Akrylátové PNH:

Prášky jsou tvořeny akryláty (hydroxylovou pryskyřicí tvořící bází), akrylovými kyselinami (hybridy hydroxylové pryskyřice) a glycidylmethakrylátovými akryláty (GMA) epoxidové pryskyřice. Jsou vytvrzovány stejně jako polyuretanové PNH adiční reakcí při teplotě 182 °C. GMA akryláty jsou vysoce odolné povětrnostním vlivům, korozi, UV záření a chemickým rozpouštědlům, dosahují vysoké tvrdosti při tenkých vrstvách, nevykazují emise těkavých látek a nejsou kompatibilní s ostatními druhy práškových nátěrových hmot. Vyznačují se hladkými lesklými povrchy s dobrou odolností proti poškrábání. Díky své stálosti jsou řazeny mezi nejodolnější PNH. Akrylové hybridy jsou složeny z akrylové pryskyřice a epoxidového pojiva. Hlavními výhodami těchto materiálů jsou vysoká flexibilita, tvrdost, výtečná elektrostatika, dlouhá životnost, chemická odolnost a mechanická pevnost. Jsou používány u produktů s vysokými nároky na jakost povrchu, jako například kola osobních automobilů, karoserie, prodejní automaty apod. Výhodou je také čírost povlaků vhodná pro některé druhy exteriérových aplikací [11,23,24].

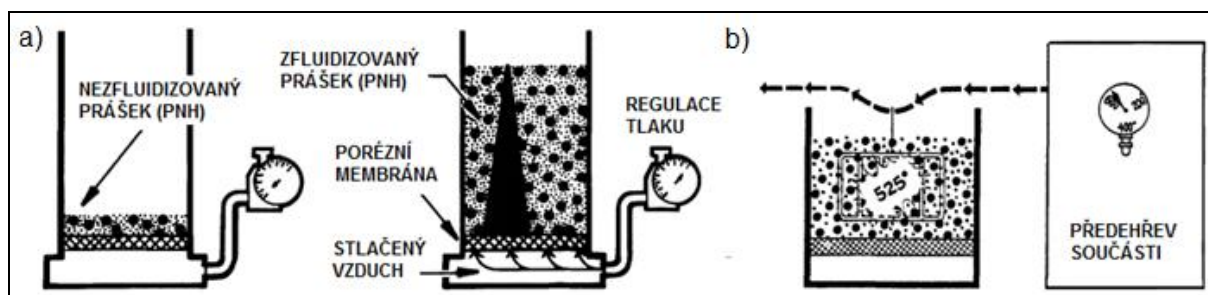
2.3 Technologie nanášení PNH

Podstatou práškového lakování je nanesení PNH na povrch součásti, jejich ukotvení, zasíťování a vytvrzení za určitých teplot. Nanesení PNH je založeno na tzv. zkapalnění prášku (jeho smísením s tlakovým vzduchem) a jeho částečným natavením (aplikace ve fluidním loži) nebo nabitím elektrostatickou energií (metody Corona a Tribo). K nabití částic prášku je využívána schopnost elektronu nést elektrický záporný náboj (proton nese stejný náboj opačné polaroty, je kladný). Kladné a záporné náboje se vzájemně přitahují do okamžiku vyrovnání jejich nábojů, tedy hmota tvořená práškovými částicemi má tendenci shlukovat se do skupin o určitém obsahu protonů a stejném počtu elektronů (a několika neutrálních částic). Je obecně známo, že hodnota elektrického napětí Země je 0 V a kladně nabitá částice je přitahována k nejbližší částici záporné. Tato skutečnost způsobuje přitahování nabitých částic prášku (kladně nebo záporně) k povrchu dokonale

uzemněné součásti (s nábojem 0 V) vlivem gradientu mezi náboji. Nabití prášku je prováděno přidáním nebo odebráním elektronů (přebytek elektronů – záporně nabitý = *metoda Corona*, přebytek protonů – kladně nabitý = *metoda Tribo*), přičemž kladné nabíjení se netvoří přidáním protonů z důvodu složitosti a nebezpečnosti procesu (nebezpečí výbuchu prášku) [23].

2.3.1 Fluidní lože

Nanášení práškových hmot pomocí fluidního lože bylo vyvinuto roku 1953 německým vědcem Dr. Erwinem Gemmerem a je založeno na částečném natavení zkapalněného prášku (směsi práškové barvy se stlačeným vzduchem). Předehřátý díl je ponořen do fluidního lože, vlivem vysoké teploty je prášek nataven na povrch součásti a následně vytvrzen v peci (3 až 5 min. při teplotách od 204 do 260 °C). Tloušťka nanesené vrstvy je závislá na teplotě předehřáté součásti, velikosti částic prášku a době setrvání ve fluidním loži (200 až 250 μm). Fluidní lože je nádoba s otvorem v horní části pro vstup součástí, je rozdělena do dvou sektorů, horní, který je naplněn práškovou hmotou a spodní, kde je shromažďován stlačený vzduch (čistý, suchý, normální teploty). Ten je regulován a rozptýlen průchodem přes porézní membránu do prostoru horní části naplněné PNH. Objem fluidního lože je dán velikostí lakovaných součástí. V některých případech jsou nádobe dodávány mechanické vibrace ke zvýšení fluidizace a zabránění tvorby práškových shluků. Stěny nádoby jsou vyrobeny beze švů, s nízkou drsností povrchu, přičemž musí být zbaveny statického náboje (uzemněny). Tato metoda je určena pro plně automatické nanášení termoplastických PNH na tvarově jednoduché díly. Nevýhodou je vysoká spotřeba prášku a velmi komplikovaná změna barvy (zdlouhavé čištění fluidního lože) [11,14].

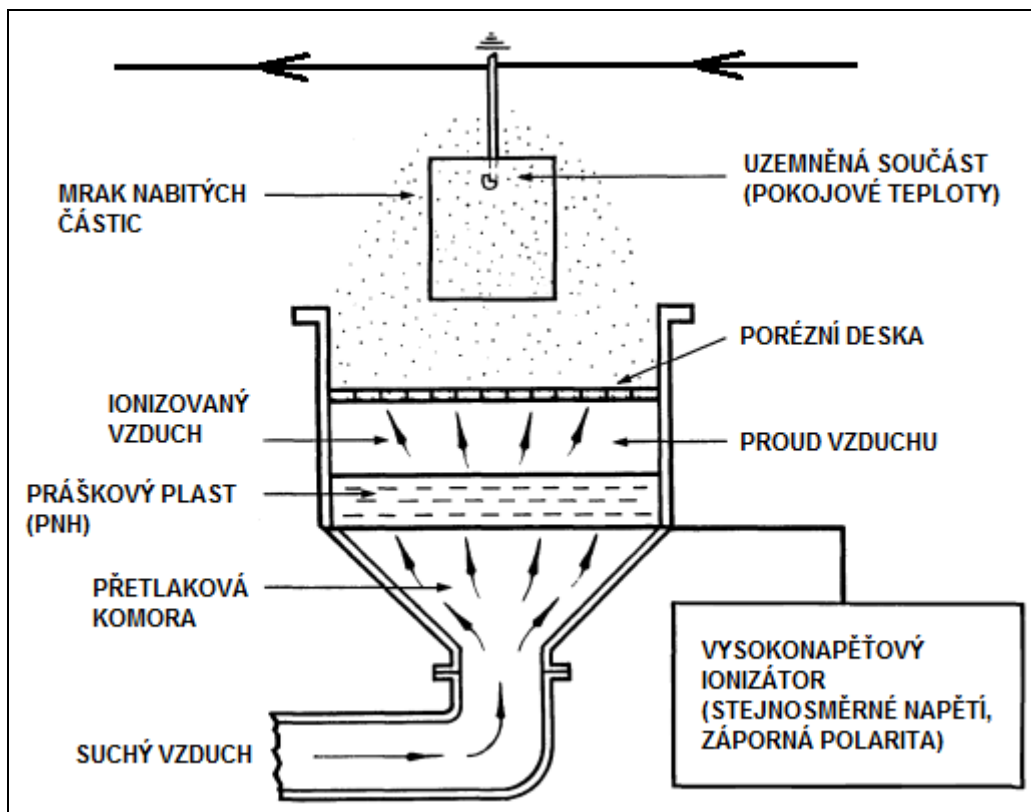


Obr. 2.5 Fluidní lože [11]. a) popis konstrukce, b) princip nanášení PNH.

2.3.2 Elektrostatické fluidní lože

Tato metoda je založena na kombinaci tzv. zkapalnění a elektrostatického nabíjení částic PNH ve fluidním loži. Stejně jako v případě metody 2.3.1 *Fluidní lože* je práškový materiál fluidizován průchodem stlačeného vzduchu přes porézní membránu, nanesen na povrch součásti a následně nataven ve vytvrzovací peci. Stlačený vzduch je průchodem přes vysokonapěťový stejnosměrný ionizátor (30 až 100 kV) nabíjen elektrostatickou energií, která je následně předána částicím prášku. Takto nabité částice se vlivem stejné polarity vzájemně odpuzují a společně se stlačeným vzduchem stoupají vzhůru nad okraj fluidizační nádoby, kde je vytvářen tzv. částicový mrak. Nanášení prášku je dosaženo průchodem součásti (dokonale uzemněných) skrz částicový mrak. Čím vyšší je napětí nabitých částic, tím hustší je mrak a tím větší je nanesené množství prášku. Tloušťka nanesené vrstvy je také ovlivněna rychlostí průchodu součásti a provzdušněním mraku

(obsahem částic ve vzduchovém oblaku). Tato metoda se využívá k plně automatické povrchové úpravě tvarově jednoduchých dílů jako jsou plechy, drátěné programy, trubky, armatury apod. Výhodou (oproti fluidnímu loži, kde jsou součásti ponořeny) je možnost nanesení prášku z jedné strany dílu, pozbytí přehřevu a vhodnost pro více druhů materiálů (epoxidovou pryskyřici, polyesterové hybridy, polypropylen, polyetylen, akryl, polyester, nylon a konstrukční termoplasty jako PFA, PPS, PEEK, PVDF). Nejčastěji je užívána kladná polarita částic [11,14].



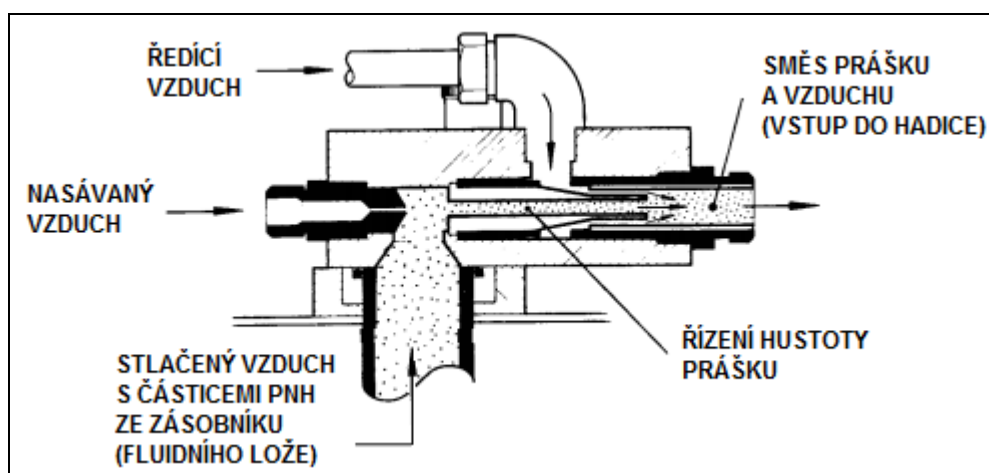
Obr. 2.6 Fluidní lože – elektrostatické nanášení PNH [11].

2.3.3 Elektrostatické a elektrodynamické naprašování

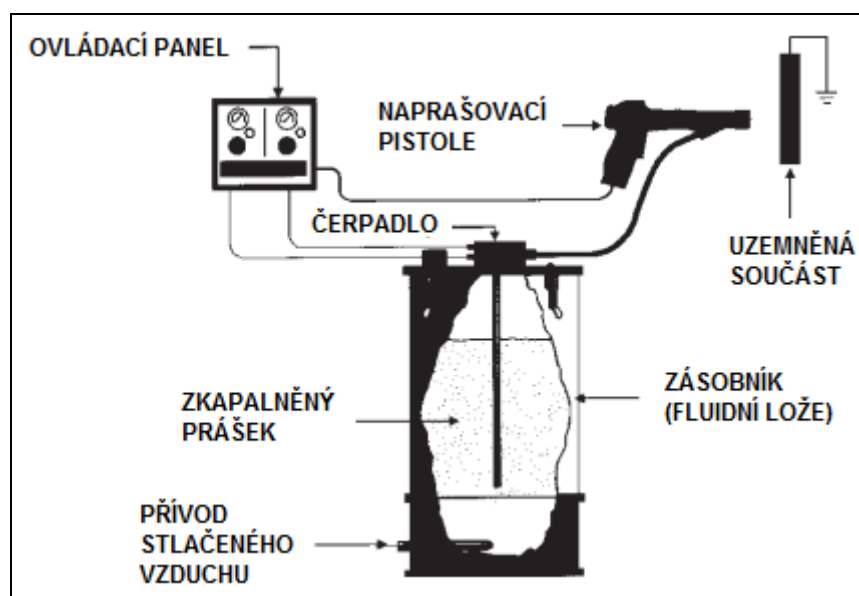
Elektrostatické naprašování neboli stříkání je proces využívající fluidní lože k tzv. zkapalnění prášku. Zkapalněný prášek je stlačeným vzduchem čerpán do naprašovací pistole, kde je mu předán elektrický náboj a vlivem proudícího vzduchu je vystřelen na povrch uzemněné součásti. Elektrostatický náboj je obecně předáván dvěma způsoby buď pomocí napětí (zdrojem napětí je generován proud, který je pomocí vodiče přenesen do špičky naprašovací pistole, kde vytváří elektrostatické pole) tzv. Corona (elektrostatické) nabíjení, nebo třecím kontaktem částic o vnitřní povrch naprašovací pistole tzv. Tribo (elektrodynamické) nabíjení. Systém elektrostatického i elektrodynamického naprašování je složen ze vstupního zásobníku (fluidní lože), naprašovací pistole, hadic, ovládacích prvků, případně zdroje elektrostatické energie a rozvodných kabelů [14].

Fluidizace je proces míšení stlačeného vzduchu s částicemi PNH vedoucí k jejich rozbíjení, odstranění vlhkosti a tzv. zkapalnění, tedy konzistenci umožňující přepravu prášku prostřednictvím hadic. Stlačený vzduch je zbaven vlhkosti, nečistot, olejů, maziv i vyšších teplot v důsledku jeho stlačení. Používá se o teplotě okolo 4 °C, s méně než 0,1 ppm (1 ppm = 0,0001 %) maziva a prachovými částicemi

nepřesahujícími velikost $0,3 \mu\text{m}$. Stlačení je prováděno pístovým nebo rotačním kompresorem s dochlazovačem, separátorem částic, tlakovou nádobou, předsoušečem, vysoušečem a filtrem vzduchu. Zásobník je tvořen porézními dlaždicemi pro oddělení malých přetlakových komor v jeho dolní části, kam je přiváděn stlačený vzduch, ten je usměrňován přes porézní desku do prostoru prášku, odkud jsou unášeny částice směrem k hornímu okraji zásobníku resp. Venturiho čerpadlu. Zásobník je vybaven odvětrávacím ventilem zamezujícím vzniku přetlaku, a to díky vlivu nepřetržitě přiváděnému stlačenému vzduchu. Princip Venturiho čerpadla je založen na dvou nezávislých proudech stlačeného vzduchu, první je do útrobu čerpadla přiváděn z prostoru zásobníku prášku (včetně podílu částic PNH), druhý je nezávisle čerpán mimo prostory zásobníku a přiváděn kolmo k orientaci prvního proudu. Výsledným podtlakem je ze zásobníku odčerpáván prášek a přiváděn (pomocí hadic) do naprašovací pistole. Rychlostí druhého proudu vzduchu je regulován rovnoměrný průtok a množství prášku. Zásobníky jsou vyráběny v různých objemech dle potřebného množství PNH. Malé zásobníky pro ruční nanášení prášku se nazývají boxy a umožňují rychlou změnu barvy (5 až 15 min.) [11,14].



Obr. 2.7 Princip Venturiho čerpadla v oblasti naprašování PNH [14].

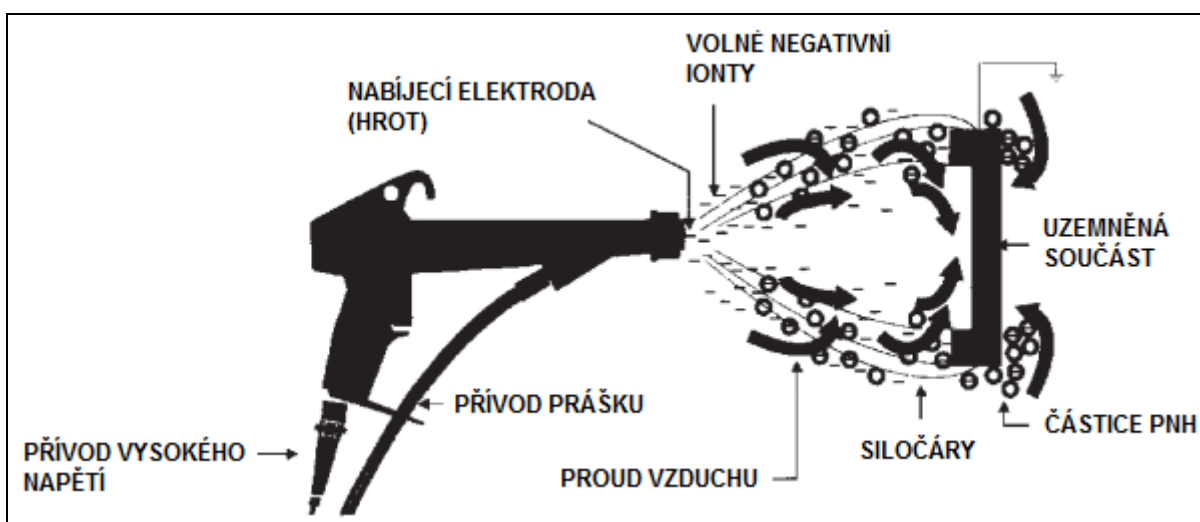


Obr. 2.8 Schéma naprašovacího zařízení [14].

Recyklace prášku u automatických systémů je prováděna jeho odsáváním z naprašovacího prostoru (boxu) odkud je přiváděna zpět do zásobníku PNH. Přiváděný prášek je filtrován pomocí vibračních či rotačních sít v horní části zásobníku. Hrubé nečistoty by vytvářely shluky, bránily průtoku prášku, ovlivňovaly elektrostatické nabíjení částic a snížily výslednou kvalitu povrchu. Takto ošetřený prášek je možné použít i opakovaně díky čemuž je dosahováno vysoké efektivity procesu s 2 až 3 % ztrát PNH [11,14].

2.3.3.1 Nabíjení částic metodou CORONA – Elektrostatika

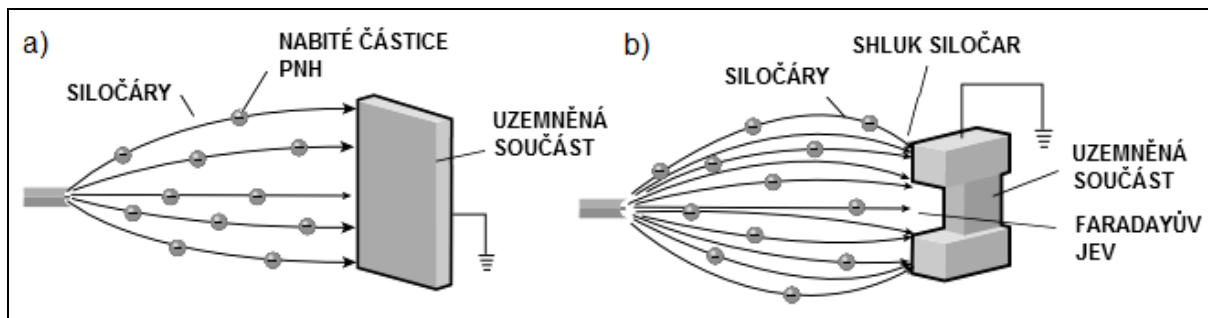
Nabíjení částic pomocí metody Corona je nejrozšířenějším typem elektrostatického naprašování PNH. Prášek je pomocí Venturiho čerpadla odsáván ze zásobníku (fluidního lože) a prostřednictvím hadic přiváděn do naprašovací pistole. Hrot naprašovací pistole je připojen ke generátoru vysokého napětí (až 90 kV), který v případě sepnutí spínače na pistolí začne vytvářet silně nehomogenní elektrické pole mezi hrotem a okolím uzemněné součásti. Vytvořenými siločarami mezi povrchem uzemněné součásti a hrotem pistole jsou rozpožehovány volné elektrony a ionty ve vzduchu. Kombinací vysokého napětí a elektrodou vytvořeného elektrického pole, které převyšuje průrazné síly vzduchu, je generován tzv. Coronův výboj. Ten rozdělí molekulu vzduchu na dva negativní a jeden pozitivní iont. Postup štěpení molekul vzduchu se opakuje do okamžiku vytvoření dostatečného počtu volných iontů. Záporné ionty jsou urychleny ve směru siločar na uzemněnou součást, kladné ionty jsou urychleny podél siločar v opačném směru (směrem k pistolí), přičemž prostor mezi naprašovací pistolí a uzemněnou součástí je vyplněn miliony volných elektronů a iontů, uzemněná součást vytváří přijímací elektrodu a vzniká silné elektrostatické pole. Průchodem prášku tímto polem jsou nabity jeho částice negativními ionty a vlivem coulombových sil spolu s proudem stlačeného vzduchu přichyceny k povrchu uzemněné součásti. Takto nanesené částice PNH jsou následně nataveny, zesíťovány a spečeny ve vytvrzovací peci [11,14].



Obr. 2.9 Nabíjení částic PNH metodou Corona – elektrostaticky [14].

Velikost nabití částic je ovlivněna jejich velikostí, materiálem, intenzitou napětí a rychlostí proudění částic elektrostatickým polem. Částice jsou před dopadem na povrch součásti vystaveny účinkům elektrických sil (přitahují je k součásti – pozitivní efekt), odporových sil vzduchu (negativní účinek), aerodynamických sil (pozitivní účinek) a gravitačních sil (negativní účinek). Pro kvalitní nanesení prášku na povrch

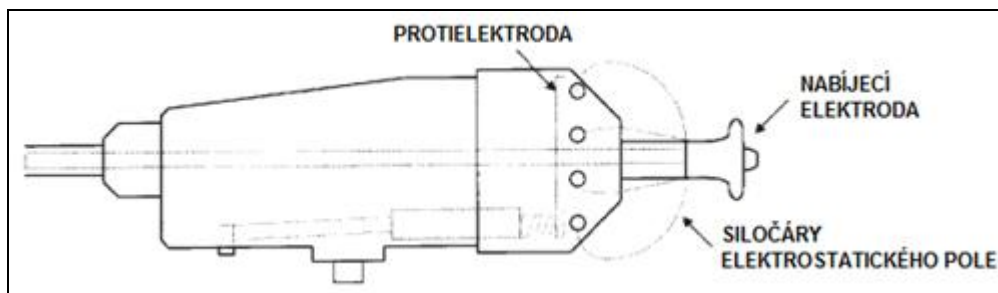
součásti (malé ztráty) musí být elektrickou silou překonány všechny negativní síly. Účinnost nanesení prášku je také dána vzdáleností pistole od přijímací elektrody (uzemněné součásti). Generované siločáry vždy směřují kolmo k povrchu uzemněné součásti. Nevýhodou je jejich shluk v místech ostrých rohů, kterými je způsobena vyšší depozice PNH. U součástí se složitou geometrií je zaznamenáván tzv. efekt Faradaovy klece. Tento jev se vyskytuje v oblasti vnitřních rohů, otvorů a vybrání. Elektrické siločáry mají tendenci se shlukovat na okrajích těchto prvků v důsledku menšího odporu (oproti vnitřku dutiny, nevýhodou je také víření vzduchu) [11,14].



Obr. 2.10 Nabíjení PNH metodou Corona – siločáry elektrostatického pole [23].

a) homogenní plocha, b) tvarová součást.

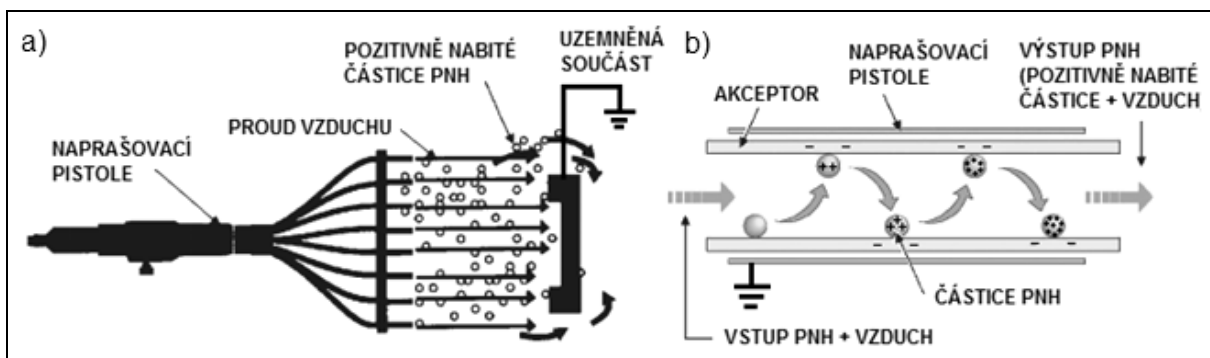
Na základě faktu, že siločáry se pohybují cestou nejmenšího odporu, tedy k náběžným hranám dutin, je v jejich okolí vytvořeno intenzivní elektrostatické pole spolu s generováním určitého počtu kladně nabitých iontů. Těmito kladnými ionty je sníženo nabití proudících částic, které tak nejsou zachyceny siločarami na hranách vybrání, ale pokračují do jejich útrob. Nabíjecí napětí je obecně voleno vyšší (maximálně možné) pro rovné tvarově jednoduché dílce a co nejnižší pro složité členité díly s kapsami, otvory a vybráním (nižším napětím je snižován Faradayův jev, tedy odpuzování částic v oblasti vnitřních rohů). Pro naprašování prášku na tvarově složité součásti jsou užívány pistole s protielektrodou, díky které jsou ionty generované na elektrodě pohlceny protielektrodou, čímž dojde k odstínění siločar mimo uzemněnou součást. Odstíněním siločar mezi elektrodou naprašovací pistole a uzemněnou součástí je umožněno proniknutí nabitých částic PNH do vnitřních otvorů součásti. Napětí pro naprašovací pistole s protielektrodou se pohybuje mezi 35 až 40 kV, elektrický proud 80 μ A, nízký průtok prášku, který ovlivňuje nabití částic, tedy nízký průtok znamená větší náboj na částici a krátká expozice Corona výboje. Nevýhodou těchto pistolí je jejich malá produktivita. Polarita nabíjecí elektrody (hrotu) je buď pozitivní, nebo negativní. Nejčastěji se volí negativní polarita z důvodu většího počtu generovaných iontů za působení menšího oblouku. Nabíjení metodou Corona lze použít pro vodivé i nevodivé částice materiálů, přičemž lepšího výsledku je dosaženo u polyesteru, polesterepoxidové pryskyřice a hybridních materiálů oproti epoxidu [11,14].



Obr. 2.11 Naprašovací pistole s protielektrodou metody Corona [14].

2.3.3.2 Nabíjení částic metodou TRIBO – Elektrodynamika

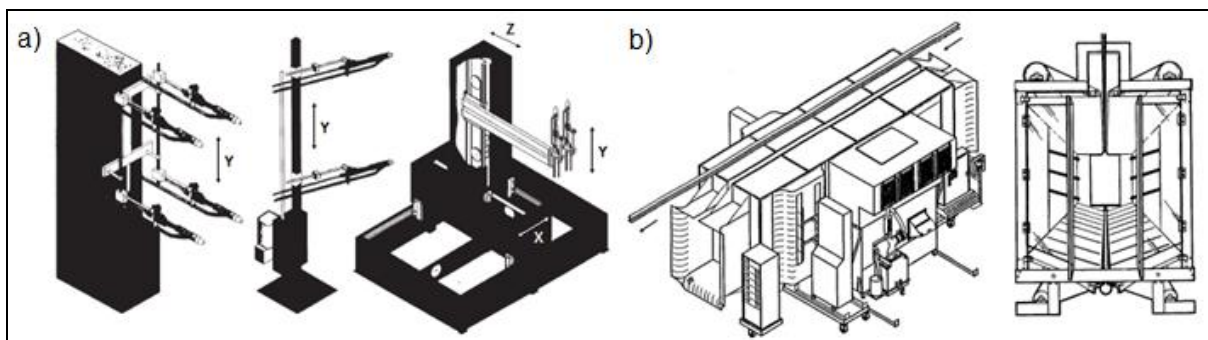
Nabíjení PNH pomocí metody Tribo (elektrodynamicky) je založeno na třecím kontaktu částic o akceptor elektronů. Práškové hmoty jsou Venturiho čerpadlem odsávány ze zásobníku (fluidního lože), rozvodnými hadicemi přivedeny do útrobu naprašovací pistole a aplikovány na povrch dokonale uzemněné součásti. Těleso naprašovací pistole je vyrobeno z materiálu pohlcující elektrony (teflon). Průchodem směsí stlačeného vzduchu s PNH jsou částice prášku třeny o stěny akceptoru (teflonového tělesa), čímž jsou zbaveny negativně nabitých iontů, resp. je vytvořena jejich kladná polarita. Negativní ionty (elektrony) jsou z akceptoru odvedeny zemnicím kabelem. Nabíjení částic je závislé na setrvačné síle stlačeného vzduchu (rychlosti průchodu prášku akceptorem), jejich velikosti (čím větší částice, tím větší kontaktní plocha a tím větší náboj) a relativní chemické slučitelnosti materiálu PNH s akceptorem. Velikost náboje je také dána počtem odrazů částice v akceptoru, čím více odrazů, tím více odebraných elektronů a tím větší náboj (z těchto důvodů je delší pistole oproti metodě Corona). Materiály pro nabíjení se vyznačují dobrými vlastnostmi předávat elektrony, tyto donory jsou vyrobeny nejčastěji z nylonu nebo epoxidu. Výhodou metody je práce bez vysokonapěťového generátoru (elektrody), tedy bez elektrického pole, čímž je zamezen vznik tzv. Faradayova jevu u tvarově složitých součástí (kapes, rohových přechodů, vybrání apod.) a je docílena rovnoměrnost nanášených vrstev PNH. Další výhodou je snadná aplikace druhé vrstvy bez zpětné ionizace, resp. bez interferenčních sil od velmi vysokého napětí. Nevýhodou je menší depozice prášku (oproti metodě Corona) a nemožnost zpracování některých kovových materiálů [11,14,23].



Obr. 2.12 Nabíjení PNH metodou Tribo – elektrodynamicky [14,23]. a) technologie naprašování, b) princip nabíjení částic PNH.

2.3.3.3 Automatizace v procesu naprašování PNH

Pro zvýšení produktivity a efektivity naprašování PNH na povrch součástí byly vyvinuty lakovací boxy. Tyto boxy jsou vybaveny automatizovanými rameny s naprašovacími pistolami, jimiž je zajištěno od 80 do 100 % celkové produkce, a manuálními operátory pro pokrytí zbylé části, kontrolu, opravy a nedodělky. Automatické pistole (ramena) jsou statické, pohyblivé mezi dorazy nebo inteligentní, kterými je přizpůsoben rozsah pohybu dle velikosti zpracovávaných součástí. Dělí se na základě orientace na horizontální nebo vertikální a dle počtu na dvou, čtyř, šesti atd. ramenové jednotky. Rychlost a rozsah pohybů se stanovuje technologickými požadavky výroby. V jednom boxu mohou být kombinovány různé metody nabíjení částic (Corona i Tribo). Nejmodernější boxy jsou vybaveny plně automatizovanými lakovacími roboty [11,14].



Obr. 2.13 Automatizace v procesu naprašování PNH [11,14]. a) naprašovací ramena, b) lakovací box.

2.4 Recyklace PNH

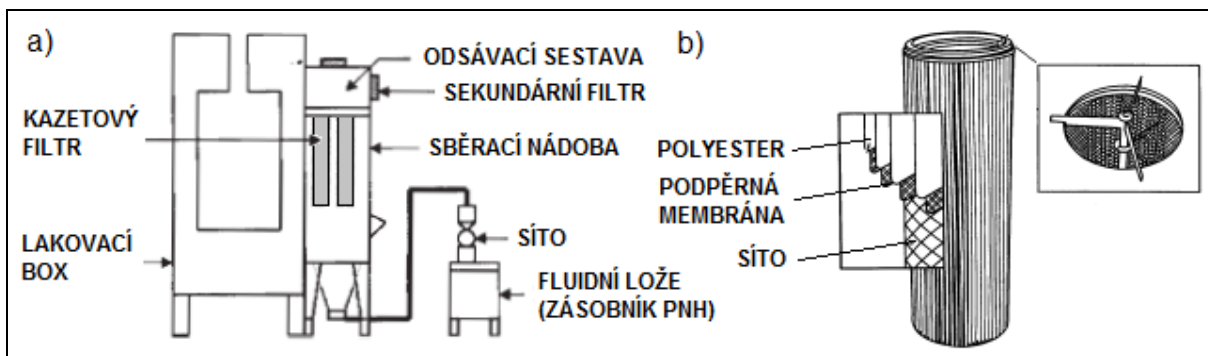
Automatizované naprašovací boxy jsou vybaveny vzduchotechnikou (sestavou ventilátorů a filtrů) k odsávání vzduchu z přiváděných PNH. Vytvořeným podtlakem je zachycen tzv. přestřík (částice PNH, které nebyly zachyceny na povrchu součásti) a přiveden do prostor primárního filtru, kde jsou odděleny práškové částice od nasátého vzduchu. Ty jsou dopraveny do sekundárního filtru, kterým se separují částice nečistot a recyklované PNH je smíšeno s novými prášky ve fluidním loži (zásobníku). Filtrace prášku je nejčastěji prováděna cyklonovými, pásovými, kazetovými nebo modulovými filtry. Nevýhodou systémů recyklace je komplikovaný postup čištění v případě změny barvy PNH, jsou tedy převážně využívány u naprašování velkého objemu dílů stejné barvy. Recyklace více barev se provádí tzv. mini-cyklony [11,14].

Recyklace pásovými filtry:

Recyklace pásovými filtry neboli metodou Twin-Air-Belt je prováděna dvěma vzduchovými obvody, jeden pro omezení úniku a druhý pro recyklaci. Prvním obvodem je vytvořen podtlak, odsáván přestřík PNH a přiváděn do rotačního horizontálního textilního filtru tzv. pásového filtru. Druhým obvodem je odsáván vzduch skrz plenum pod pásem, na který je přiváděn recyklovaný PNH. Prášek je pohybem pásu přiveden do sekundárního filtru, kde jsou odděleny částice nečistot. Takto zbavený prášek nečistot je rotačním podavačem smíšen s novým PNH ve fluidním loži (zásobníku). Vysoká účinnost recyklace pásovými filtry je až 99 % [14].

Recyklace kazetovými filtry:

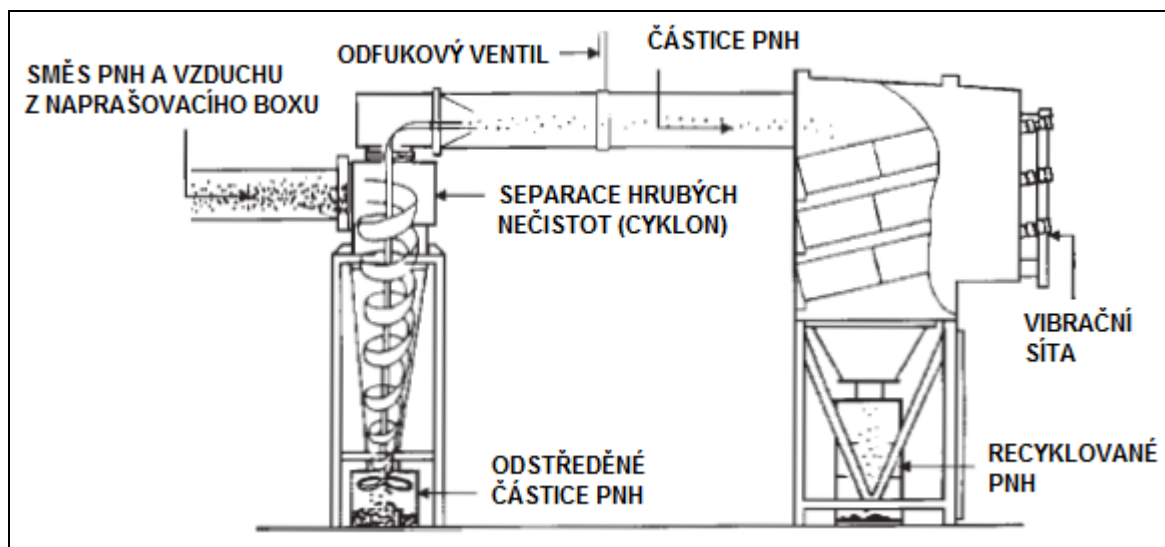
Pro tento typ recyklace PNH jsou používány vyměnitelné kazetové filtry jako primární separace prášku od vzduchu. Filtry jsou vyrobeny z porézních zvlněných materiálů, čímž je zvýšena jeho separační plocha. Odsávané částice PNH jsou přiváděny na kazetový filtr, kde jsou zbaveny nasátého vzduchu. Ulpěné částice prášku na kazetovém filtru jsou pulzními účinky střásány do spodní části sběrače, smíchány s novým práškem a následně přes síto zavedeny do fluidního lože. Výhodou kazetových filtrů je jejich snadná (rychlá) výměna při změně barvy PNH. Výhodou je také možnost připojení více sběracích nádob (různých objemů) pro více druhů recyklovaných barev. Při maloobjemové sérii dílů odlišných barev jsou recyklované prášky separovány jedním filtrem. Směs barevných prášků je uchovávána ve spodní části sběrače jako odpadní materiál, tedy není míšen s novými PNH ve fluidním loži [14].



Obr. 2.14 Recyklace PNH kazetovým filtrem [14]. a) recyklační jednotka, b) kazetový filtr.

Recyklace cyklonovými filtry:

Odsávaný prášek z naprašovacího boxu je velkou rychlostí tangenciálně přiváděn do válcové komory (cyklonu). Zde je vlivem setrvačnosti utvořen vzduchový vír, čímž jsou působením odstředivé síly odděleny těžší částice nečistot (odstředivou silou jsou tlačeny ke vnějšímu okraji válce, odkud padají do spodní části komory). Zbylá směs prášku, drobných nečistot a vzduchu putuje do sběrače se sekundárním filtrem, kde je ze směsi oddělen vzduch. Takto odstředěné a přefiltrované částice PNH jsou rotačním ventilem přiváděny (přes síta) do zásobníku nových práškových hmot (fluidního lože) [14,24].



Obr. 2.15 Recyklace PNH cyklonovým filtrem [14].

2.5 Vytvrzování PNH

Vytvrzování neboli vypalování práškových nátěrových hmot (PNH) je konečným stádiem technologického postupu práškového lakování. Kvalitou vytvrzení jsou významně ovlivněny mechanické, chemické a protikorozní vlastnosti naneseného povlaku. Vytvrzování je proces polymerizace termosetických plastů vzniklou reakcí mezi molekulami pryskyřice a tvrdidla ve směsi PNH. Termosetický prášek je po určitou dobu vystaven zvýšené teplotě, mění se jeho viskozita (měkne), uvolňují se polymery s vyšší molekulovou hmotností a vzniká chemická reakce, jejími účinky jsou zasíťovány trojrozměrné makromolekuly PNH. Vytvrzení termoplastických materiálů se provádí endotermní reakcí (spotřebovávající teplo), tedy roztavením příslušného polymeru bez vzniku chemické reakce. Základním předpokladem

vytvrzování PNH je konstantní teplota součásti tzn., že teplo odebírané reakcí je stále doplňováno. Vytvrzovací teplota a čas působení je stanoven na základě užitého materiálu PNH [14,24].

2.5.1 Předehřev součástí

Součásti určené k nanesení práškových nátěrových hmot některou z výše uvedených metod, viz 2.3 *Technologie nanášení PNH*, jsou před samotnou aplikací PNH předehřívány. Předehřev součástí je v technologickém postupu zařazen za mechanickou a chemickou předúpravu povrchu, přičemž úkolem je dokonalé vysušení povrchu součástí (zbytky kyselin, alkálií a deionizované vody z chemické předúpravy ulpěné v pórech odlitků). Maximální teplota předehřevu je 88 °C. Důležitou součástí předehřívacích pecí je odvětrání, tedy odvod vodní páry, která by mohla kondenzovat. Předehřev je nezbytný u nanášení PNH ve fluidním loži, přičemž jeho značnou výhodou je také snížení Faradayova jevu u naprašování PNH metodou Corona (elektrostaticky) [11].

2.5.2 Vytvrzovací pece

Obecně se jedná o izolovaný uzavřený prostor se zdrojem tepelné energie. Dle velikosti a konstrukčního uspořádání jsou rozděleny na komorové neboli zavážecí a průběžné. Zavážecí pece jsou využívány pro vytvrzování povlaku na silnostěnných materiálech. Jsou vyráběny v různých velikostech jako vratné (s jedním uzavíratelným otvorem) nebo průběžné se dvěma otvory v jedné ose. Výhodou vratného provedení je krátká doba vytopení na požadovanou teplotu, přičemž jsou určeny pro maloobjemovou výrobu. Naopak průběžné pece jsou využívány v automatizovaných lakovacích linkách. Svou konfigurací jsou buď přímočaré, nebo vratné s jedním i více záhyby trajektorie dopravníku. Výhodou těchto pecí je plně automatizovaný chod a zpracování součástí ve velkých sériích. Nevýhodou je prostorová náročnost a relativně vysoké úniky tepla. Dle technologie vytvrzování (zdroje tepla) jsou rozeznávány konvenční pece (plynové nebo elektrické) a pece s vytvrzováním účinky infračerveného nebo ultrafialového záření [12,13].

Konvenční:

neboli horkovzdušné pece. Jako zdroj tepla se nejčastěji využívá plyn (plynový hořák) nebo elektrická energie (odporové zářiče). Plynové pece jsou vyráběny s přímými hořáky nebo tepelným výměníkem. Výměníkem ohřátý vzduch je rozváděn systémem ventilátorů tak, aby jeho teplota v prostorách pece byla konstantní (± 10 °C). Nevýhodou konvenčních pecí s plynovými hořáky je možnost úniku spalin, které mohou snížit kvalitu povlaku. Jedná se o nejuniverzálnější a nejužívanější metodu vytvrzování všech druhů materiálů PNH [11,14].

Pece s infračervenými zářiči:

jde o způsob vytvrzování PNH infračervenými paprsky. Ty jsou přenášeny na povrch dílce prostřednictvím elektromagnetických vln, které se šíří rychlostí světla. Elektromagnetické záření je spektrum třech vlnových délek (nízké, střední a vysoké) infračerveného záření nacházející se mezi viditelným světlem a mikrovlnami. Část vyzařované energie se odrazí od povrchu, část se vstřebá do polymerů a zbylá část je pohlcena materiálem součástí. Přímým přenosem energie je způsobena okamžitá reakce v polymeru termosetu (zesíťování PNH) nebo endotermní roztavení částic

termoplastů. Jako zdroj infračerveného záření se nejčastěji užívají wolfram-křemenové lampy. Nevýhodou je nízká účinnost u tvarově složitých součástí (tvar součásti brání přístup elektromagnetických vln). Kvalita vytvrzení je také závislá na vlnové délce infračerveného záření, vzdálenosti součásti od zářiče, její velikosti a hmotnosti. Metoda je používána převážně pro mohutné silnostěnné díly jako rychlý předehřev povrchu. Vytvrzování infračervenými zářiči není zcela efektivní, proto je často kombinováno s místními plynovými hořáky. Vytvrzování infračerveným zářením bez plynových hořáků je používáno pro méně tepelně odolné podkladní materiály jako např. MDF nebo papír (minimální ohřev součásti) [11,14].

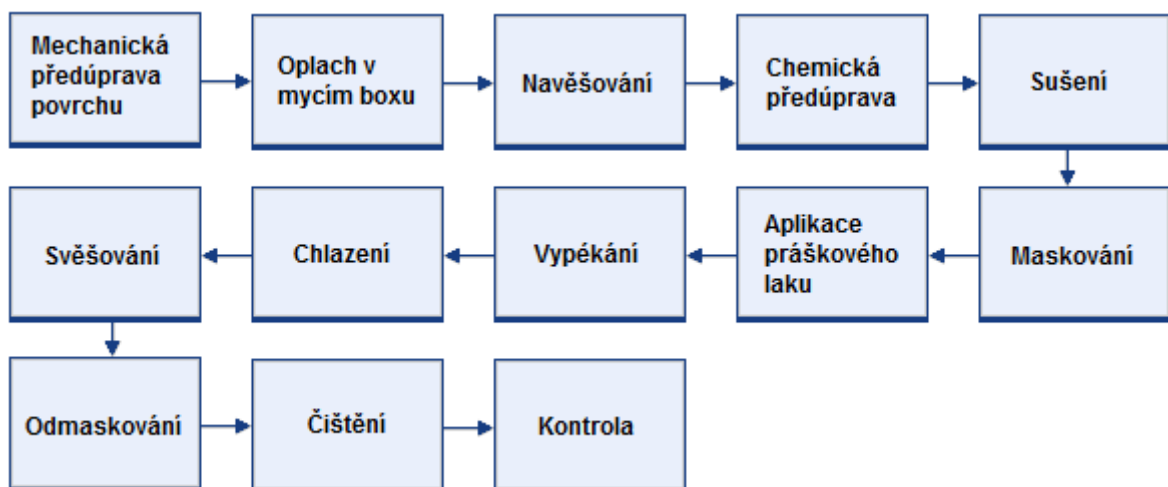
Pece s UV vytvrzováním:

je metoda vytvrzování PNH u součástí s nízkou tepelnou odolností (plasty). Ty jsou předehřáty na nízké teploty v rozmezí 90 až 120 °C působením elektromagnetických vln infračervených zářičů a následně vytvrzeny působením ultrafialového záření po dobu několika desítek vteřin (fotopolymerační reakce). Výhodou jsou velmi krátké časy a malá tepelná zátěž základního materiálu. Nevýhodou je nutnost speciálních prášků, které jsou vyrobeny z nenasyčené polyesterové pryskyřice (často obohaceny o další nenasyčené složky), urychlovačů toku, barevných pigmentů a látek pohlcujících ultrafialové světlo, tzv. fotoiniciátorů. Ty vytváří vysoce reaktivní volné radikály, kterými je vyvoláno zasíťování pryskyřice [12,13].

2.6 Rozbor současného stavu lakování v ABB

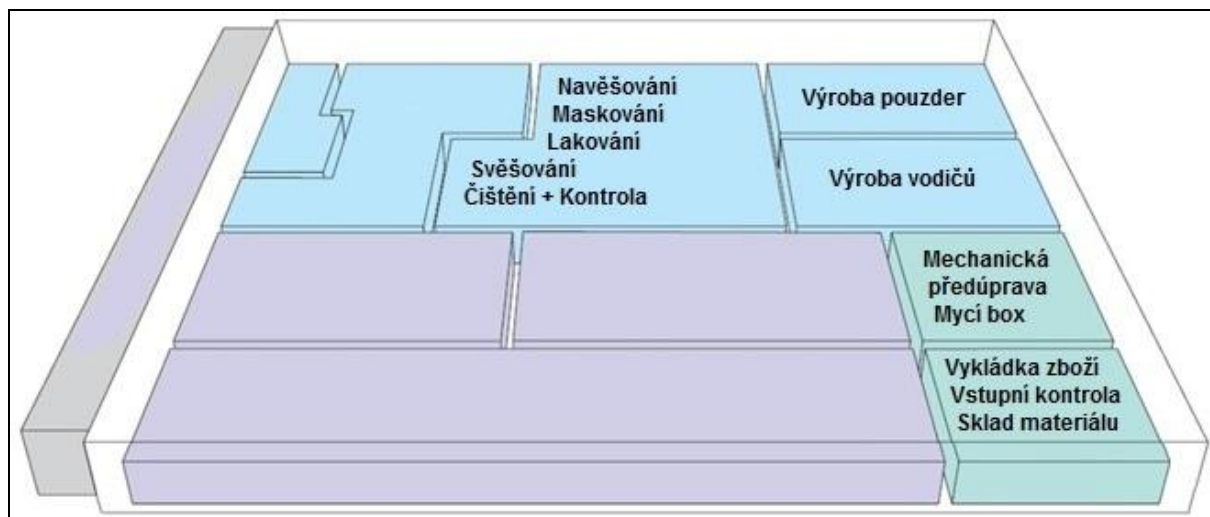
Technologie povrchové úpravy práškovými barvami ve firmě ABB je rozdělena do tří standardizovaných procesů, tedy na povrchovou předúpravu, aplikaci práškových barev a konečnou úpravu nalakovaných dílů. Tyto základní procesy jsou dále rozděleny dle vykonávaných operací na:

- *Předúprava povrchu:* mechanická předúprava, oplach v mycím boxu, navěšování, chemická předúprava a sušení,
- *Aplikace práškových barev:* maskování, aplikace práškového laku, vypékání, chlazení a svěšování,
- *Konečná úprava nalakovaných dílů:* odmaskování, čištění a kontrola.



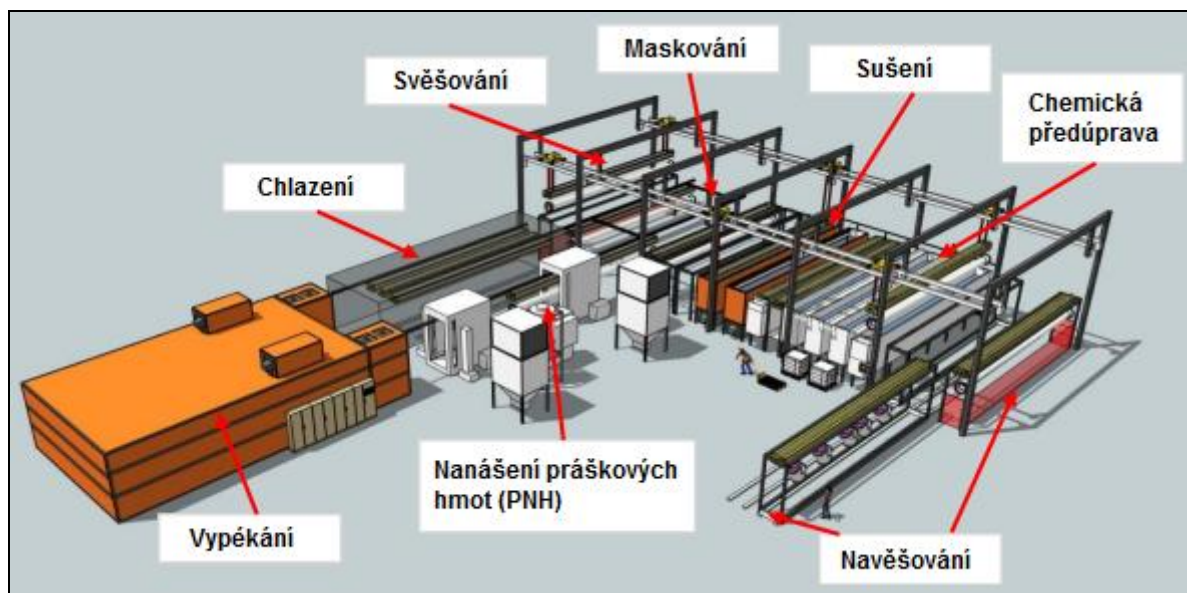
Obr. 2.16 Návaznost dílčích operací v lakovacím procesu komponent GIS firmy ABB.

Jednotlivé procesy jsou vykonávány na oddělených pracovištích splňující nejmodernější trendy štíhlé výroby pro zajištění vysoké kvality zpracování nejen konečných produktů GIS rozveden, ale především dílčích operací, kterými je výsledná kvalita podmíněna. Tok zpracovávaného materiálu je realizován tahovým výrobním systémem s metodami Just In Time (JIT), 5S, Poka-yoke, buňkovou výrobou, Kaban, Kazein, Jidoka a nástroji omezující plýtvání. Transport materiálu mezi jednotlivými pracovišti je zajištěn vysokozdviznými vozíky a manipulátory.



Obr. 2.17 Mapa výrobních prostor ABB PGHV Brno – Slatina [25] (vlastní zpracování).

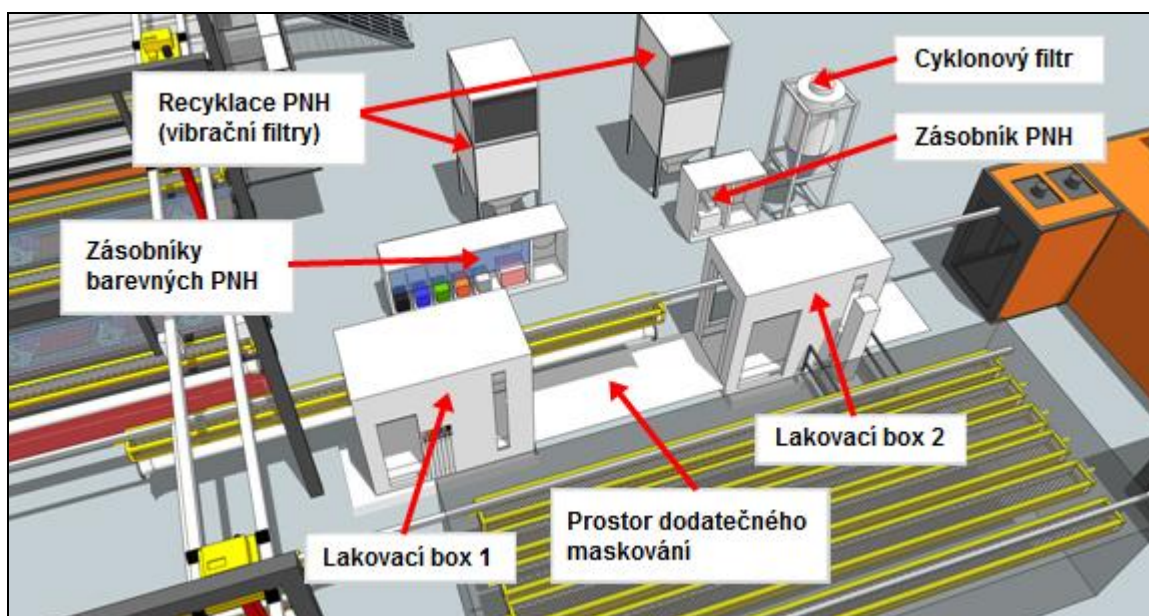
Práškové lakování komponent GIS je zajištěno poloautomatickou linkou zahrnující dílčí technologické procesy jako jsou chemická předúprava, sušení, maskování, aplikace PNH, vypékání a chlazení. Na jejím začátku a konci jsou prostory mechanického navěšování a svěšování [25].



Obr. 2.18 Poloautomatická linka práškového lakování v ABB PGHV Brno – Slatina [25].

Aplikace práškových hmot na povrch komponent GIS je prováděno kontinuálně ve dvou plastových lakovacích kabinách, které jsou řazeny lineárně za sebou a fungují v automatickém provozu (pouze fyzická kontrola + oprava nezalakovaných míst). První kabina je určena pro ruční (v případě lakování vodičů automatické) nanášení práškové nátěrové hmoty *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz příloha 1,

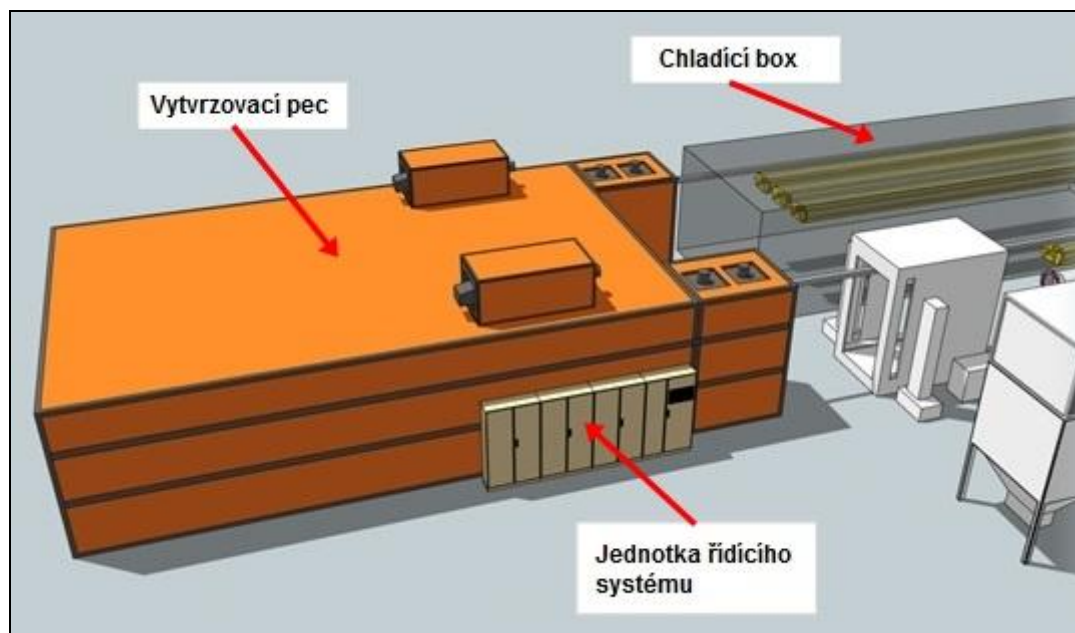
na vnější plochy vodičů a vnitřní plochy ostatních dílů. Dále je využívána pro ruční aplikaci PNH *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, u nestandardních odstínů a vnější plochy tvarovek, zapouzdření a traf. Druhá lakovací kabina je určena pro automatické nanášení PNH *Interpon D1036 Mat (30)* na vnější povrchy tvarovek, zapouzdření a transformátorů. Mezi kabinami je umístěn prostor pro odmaskování, přemaskování či zamaskování součástí dle technologických požadavků výroby. Obě kabiny jsou vybaveny přívodem stlačeného vzduchu (vzduchovými pistolemi) a odsávacími hadicemi k předběžnému čištění těsnících ploch součástí během jejich přemaskování. Aplikace PNH je realizována ručními nebo automatickými elektrostatickými pistolemi (firmy Sames) metodou Corona. Informace o navěšeném projektu, odstínu a tloušťce vrstvy nanášeného laku jsou obsluze zobrazovány prostřednictvím LCD monitoru. V případě nestandardních podmínek u dílčích součástí jsou tyto informace uvedeny na kovové visače u závěsu součástí. Užívané odstíny PNH jsou umístěny v centru zásobníků (fluidních loží). Jednotlivé odstíny jsou vybaveny samostatnou přípojkou naprašovací pistole, přičemž požadované parametry jsou regulovány systémem automatického ovládání. Rozvod práškových nátěrových hmot je zprostředkováván stlačeným vzduchem v hadicích, které jsou umístěny v kovových chráničkách nad úrovní poloautomatické lakovací linky. Recyklace práškových hmot je prováděna odsáváním tzv. přestříku (částic PNH, které nebyly zachyceny na povrchu součástí) ve spodní části lakovacích boxů (přes podlahový rošt) a následnou filtrací v cyklonovém filtru. Odstředěné a přefiltrované částice cyklonovým filtrem jsou zbaveny jemných nečistot vibračními sítí a smíchány v zásobníku nových PNH. Prostory poloautomatické lakovací linky jsou hlídány bezpečnostními světelnými branami. Výrobní takt je s ohledem na technologické podmínky výroby regulován programem řídicího systému [25].



Obr. 2.19 Prostory aplikace PNH v poloautomatické lakovací lince firmy ABB PGHV Brno – Slatina [25].

Vytvrzování práškových nátěrových hmot je prováděno v automatických pecích s přímým ohřevem vzduchu dvěma plynovými hořáky. Požadovaná teplota a doba vytvrzování je automaticky regulována řídicím systémem a je stanovena z materiálových listů práškových nátěrových hmot, viz *příloha 1 a 2*, přičemž standardně se vytvrzuje za teploty 200 °C po dobu 15 až 20 minut. Řízené chlazení vytvrzených dílů je prováděno v chladícím boxu s nucenou cirkulací ochlazeného

vzduchu. Vytvrzovací pec i chladicí box je součástí poloautomatické lakovací linky a transport dílů mezi operacemi je prováděn okružním dopravníkem s navesnými nosíky [25].



Obr. 2.20 Vytvrzovací pec poloautomatické lakovací linky ve firmě ABB PGHV Brno – Slatina [25].

3 ANALÝZA TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU LAKOVÁNÍ KOMPONENT GIS

Výchozím materiálem pro výrobu komponent plynem izolovaných rozvodů (GIS) je hliník. Hliník je v porovnání s mědí třikrát levnější, dvojnásobně lehčí a dokáže lépe odolávat mechanickému, elektrickému a tepelnému namáhání. Má také jeden a půl krát horší měrnou vodivost a lépe odolává vlhkosti, které jsou GIS rozvodny během svého provozu vystavovány. Komponenty jsou pak rozuměny vodiče, pouzdra (trubky), spojovací prvky neboli tvarovky (kolena, kříže, T-součásti), kompenzátory atd. Upevnění vodičů uvnitř pouzder (trubek) je prováděno izolačním materiálem, resp. epoxidovou pryskyřicí EN 50089 [7].

3.1 Slitiny a vlastnosti hliníku užívané pro výrobu GIS komponent

Hliník se nachází v přírodě přibližně ve 250 různých minerálech jako jsou: (uvedené nejvýznamnější příklady jsou seřazeny dle obsahu Al_2O_3 od nejobsáhlejšího po nejméně obsáhlé) korund (100 % Al_2O_3), diaspor, boehmit, spinel, gibbsit, kyanit, andaluzit, silimanit, kaolinit, alunit a nefelín (32,3 až 35,9 Al_2O_3). Ekonomicky nejvýznamnějším minerálem pro výrobu hliníku je bauxit, tedy hornina kolísavého složení, jejíž podstatnou složkou je kysličník hlinitý Al_2O_3 . Bauxit je definován jako hornina tvořená z hydratovaných oxidů hliníku, zejména gibbsitu, boehmitu a diasporu, vyskytuje se převážně v tropech, subtropích a oblastech s dobrým odvodněním. Název bauxit byl zaveden roku 1921 geologem Pierem Berthierem, který analyzoval jílovité horniny v oblasti naleziště Le Baux ve Francii. Nalezená hornina se skládala z 52 % Al_2O_3 , 27 % Fe_2O_3 a 20,4 % H_2O , na základě čehož jsou horniny srovnatelného chemického složení nazývány bauxitem. V závislosti na bohatosti je jedna tuna hliníku získána ze čtyř až šesti tun bauxitu [26].

Vlastnosti elektrovedného hliníku jsou stanoveny dle ČSN 42 4004, přičemž specifické vlastnosti tvářeného hliníku pro elektrotechniku (Al 99,5) jsou závislé na jeho stavu zpracování, viz Tab. 3.1 [4].

Tab. 3.1 Vlastnosti elektrovedného hliníku [4].

Stav	Měkký	Polotvrdý	Tvrdý
Min. konduktivita [$\times 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$]	34 až 35	33 až 34	32 až 33
Max. rezistivita [$\times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$]	0,02899	0,02985	0,3077
Min. pevnost v tahu [MPa]	240 až 190	300 až 250	400 až 300

Porovnáním s mědí je teplotní součinitel elektrovedného hliníku o něco vyšší, ten je dle ČSN 38 1754 je uváděn $0,00438 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, přičemž uvedená hodnota je závislá na jeho čistotě (min. 99,5 %). Srovnáním vlastností vodičů vyrobených z mědi a hliníku o stejné vodivosti byly pak stanoveny tyto závěry:

- z poměru vodivosti Cu ku Al $= 56 / 34 = 1,64$ plyne o 64 % větší průřez vodiče vyrobeného z hliníku,
- hmotnost vodiče Al je jen $1,64 \cdot 2,70$ ku 8,89, tj. přibližně 50 % hmotnosti vodiče vyrobeného z mědi,
- pevnost v tahu hliníkových vodičů je průměrně 70 % pevnosti vodiče vyrobeného z mědi o stejném stavu zpracování (měkký, polotvrdý, tvrdý) [4].

Tab. 3.2 Slitiny hliníku užívané pro výrobu komponent GIS [27].

Označení dle chemického složení	Stav	Číselné označení dle ČSN EN 1706	Číselné označení dle EN 573	Označení dle ČSN 10088
AlSi7Mg0,3	T6	EN AC-42100	-	-
AlMg3	H11	-	EN AW-5754	-
AlSi1MgMn	T6	-	EN AW-6082	-
AlSi10Mg(a)	T6	EN AC-43000	EN AW-6083	3.2371.61
AlMgSi0,5		-	-	-
AlMgSi0,7	T4	-	EN AW-6063	-
AlMg4,5Mn0,7	H11	-	EN AW-5083	-
GK-AlSi12g		-	-	3.2581.45
Al99,5	H11	-	EN AW 1050A	-
AC-AlSi12(Fe)	-	EN AC-44300	-	-

3.2 Rozdělení komponent GIS

Základní rozdělení komponent plynem izolovaných rozvodů (GIS) je provedeno na základě jejich funkce na vodiče, pouzdra (trubky) a spojovací prvky neboli tvarovky (kolena, kříže, T-součásti). Tvarové plochy jednotlivých součástí jsou dále děleny dle prostředí na tzv. Indoor (vnitřní), resp. Outdoor (vnější) a dle použití na tzv. Typ A – plochy aktivních dílů a vnitřní plochy zapouzdrění (plochy, které budou v kontaktu s izolačním plynem SF₆, tedy tzv. živé části) a tzv. Typ B – ostatní vnější plochy (všechny plochy, které nepřicházejí do styku s izolačním plynem SF₆). Tyto plochy se liší druhem užívaných PNH a požadovanou tloušťkou nanášené vrstvy. Indoor díly jsou určeny pro kryté GIS rozvodny pracující v normálním klimatickém prostředí, outdoor bývají naopak vystaveny vnějšímu i vnitřnímu koroznímu prostředí, přičemž povrchová úprava je řízena dle ISO 2028 [25].

Rozdělení ploch komponent GIS na základě jejich funkce, pracovního prostředí, tloušťky vrstvy PNH a příslušné barvy je znázorněno v následující tabulce:

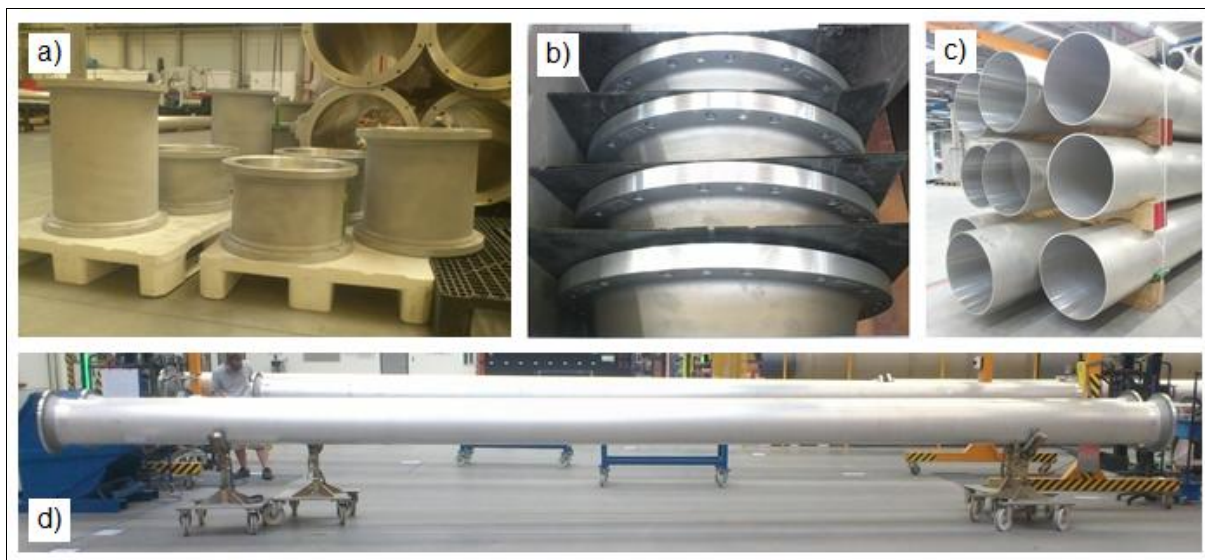
Tab. 3.3 Parametry PNH dle rozdělení komponent GIS [31].

Typ lakované plochy		Typ A		Typ B	
		Povrch v kontaktu s plynem SF ₆		Indoor	Outdoor
Tloušťka vrstvy	Barva	500 μm > vrstva > 60 μm		500 μm > vrstva > 35 μm	500 μm > vrstva > 70 μm
Typ PNH	Barva	Interpon 100 AG0152 RAL 3015		Interpon D1036 (různé odstíny)	Interpon D1036 (různé odstíny)

Pouzdra (trubky):

Krátká a tvarově složitá pouzdra jsou odlévána z hliníkových slitin viz Tab. 3.2. Slitiny hliníku užívané pro výrobu komponent GIS, přičemž jednotlivé odlitky jsou testovány tlakovou zkouškou vodou (s dvojnásobkem konstrukčního tlaku) a následně podrobeny zkoušce těsnosti heliem dle normy IEC 60068-2-17. Vnitřní

povrch pouzdra je funkční v celé své délce a jsou kladeny vysoké požadavky na jeho kvalitu, která je ovlivněna pórovitostí odlitku. Povrch nesmí obsahovat póry větší než 2 mm (liší se dle oblastí dielektrického napětí, těsnicích ploch a kontaktních míst), žádné částice, výčnělky a jiné vady, kterými je narušena jeho homogenní struktura (EN 50052). Dlouhá pouzdra (max. délky 12 m) a spojovací prvky jako přípojnice a odbočky jsou svařovány z vytlačovaných nebo spirálově svařovaných trubek a montážních přírub. Svařence jsou testovány totožnými zkouškami jako odlitky včetně nedestruktivního ověření min. 10 % každého svaru dle EN 50068/9 [7].



Obr. 3.1 Pouzdra (trubky). a) odlévané, b) příruby, c) vytlačované polotovary, d) svařence.

Vodiče:

Jsou nosičem velmi vysokého napětí (až 1 200 kV), tedy funkční částí je jejich vnější plocha. Stejně jako v případě pouzder (trubek) jsou kratší a tvarově složitější vodiče odlévány a dlouhé rovné vodiče jsou vyráběny z vytlačovaných profilů. Při výrobě jsou kladeny stejné požadavky na kvalitu povrchu jako u pouzder (EN 50052) [7].



Obr. 3.2 Vodiče. a) dlouhé, b) krátké.

Tvarovky:

Jsou spojovací a přechodové prvky pouzder jako například kolena, T-díly, křížové přechody apod. Jsou odlévány z hliníkových slitin viz Tab. 3.2. *Slitiny hliníku užívané pro výrobu komponent GIS*, s vysokými požadavky na kvalitu zpracování a jakost povrchu. Každý díl je podroben tlakové zkoušce vodou o dvojnásobku konstrukčního tlaku a zkoušce těsnosti heliem (IEC 60068-2-17), kterou je ověřena těsnost odlitků (póry, trhliny atd.). Kvalita vnitřních funkčních povrchů je ovlivněna pórovitostí, přičemž povrch nesmí obsahovat póry větší než 2 mm, částice a staženiny, které by

se mohly během provozu uvolnit, a výběžky, kterými by byla narušena homogenita povrchu atd. Jakost povrchu je řízena taktéž dle EN 50052 [7].



Obr. 3.3 Tvarovky (kolena, T-díly, křížové přechody atd.).

Jiné a drobné díly:

Jsou spojovací a přechodové prvky vodičů a pouzder, přetlakové ventily, přírubové a deklkové součásti, které jsou odlévány nebo obráběny z hliníkových slitin viz Tab. 3.2. *Slitiny hliníku užívané pro výrobu komponent GIS.* Jakost a požadavky na strukturu povrchu odlévaných dílů jsou řízeny dle EN 50052 [7].



Obr. 3.4 Jiné a drobné díly (přechodové prvky vodičů a pouzder, příruby, deklky atd.).

Izolátory:

Jsou vyráběny z epoxidové pryskyřice vstřikováním do forem. Homogenní struktura povrchu nesmí obsahovat vměstky, dutiny, praskliny a póry, kvalita povrchu je dána dle EN 50089, přičemž jednotlivé díly jsou testovány rentgenem a vysokonapěťovou zkouškou [7].

Pohyblivé části:

Jsou výkonové vypínače, odpojovače a uzemňovače, konstrukce je dána tvarovými a izolačními požadavky s ohledem na vzdálenost pouzdra. Životnost jednotlivých komponent je navržena pro 10 000 spínacích cyklů, přičemž každý mechanismus je otestován padesáti cykly zavřeno/otevřeno. Výkonové parametry jsou stanoveny dle IEC 62271 [7].

Povrchová úprava všech výše uvedených komponent plynem izolovaných rozvoden (GIS) podléhá vysokým požadavkům na kvalitu zpracování. Funkční plochy jsou lakovány (dle ISO 2028) jako protikorozní ochrana, z estetického hlediska (vnější plochy) a pro zvýšení strukturní homogenity povrchu vodivých resp. izolačních ploch (vnitřní plochy přicházející do styku s plynem SF₆). Pouzdra vnějších rozvoden jsou lakována na bílo z důvodu lepšího odvodu tepla, vyjma těsnicích a kontaktních míst. Ty jsou povlakovány stříbrem (EN 1403, EN 4521) jako ochrana proti oděru a korozi dynamicky zatěžovaných prvků, ale především pro zlepšení vodivostních parametrů a homogenity struktury (malý přechodový odpor, povrch bez kontaminace). Funkční povrchy součástí nesmí být během montáže poškozeny, uvolněné částice laku, trhliny, vměstky, prachové částice, vlas nebo jiné nečistoty by mohly způsobit přeskok v průběhu vysokonapěťové zkoušky, resp. destrukci celého zařízení [7].

Poznámka:

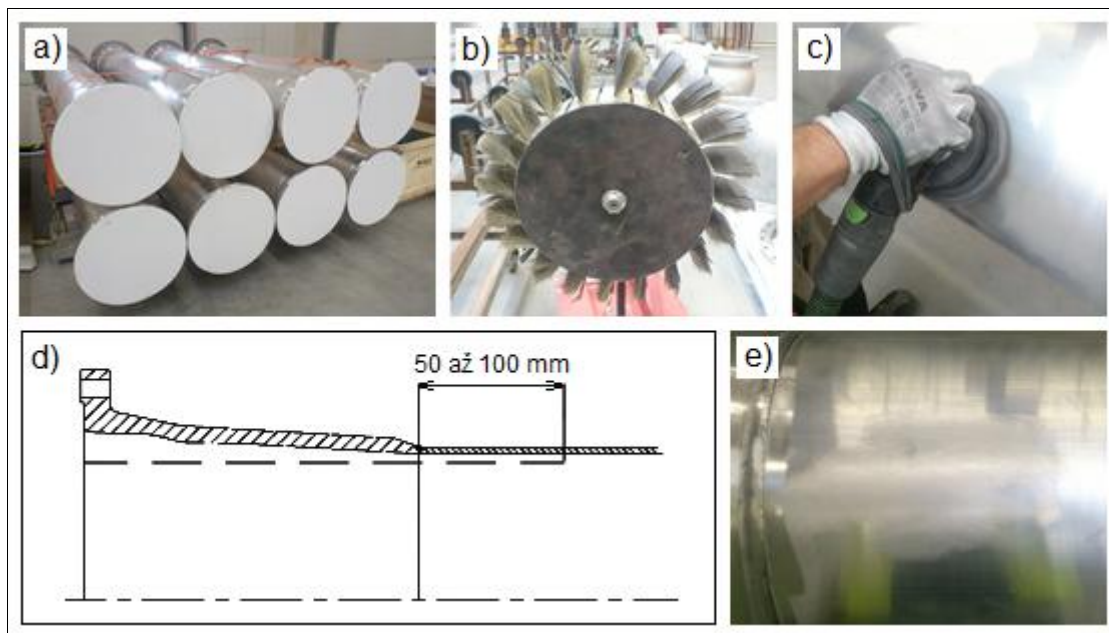
Praktická část diplomové práce bude zaměřena na povrchovou úpravu (práškové lakování) vodičů a pouzder (trubek). Ty byly určeny na základě největšího výrobního objemu, resp. četnosti výrobních (procesních) vad viz kapitola 4. Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin. Následující kapitoly se tedy nebudou zabývat lakováním tvarovek ani jiných a drobných dílů.

3.3 Mechanická předúprava povrchu

Pouzdra neboli trubky jsou dodávány do skladu materiálu jako hotové výrobky, u nichž je provedena vstupní kontrola (vybalení, odstranění ochranných krytů, rozměrová a jakostní kontrola povrchu), po níž následuje mechanická předúprava povrchu nebo jako polotovary ve formě montážních přírub a vytlačovaných či spirálově svařovaných trubek. Ty jsou taktéž podrobeny vstupní kontrole, zařezány na požadovanou délku, svařeny, obroušeny a otestovány nedestruktivní zkouškou svaru dle EN 50068/9. Po otestování svarů jsou pouzdra připravena k mechanické předúpravě. Ta spočívá ve vizuální kontrole povrchu (přestože jsou polotovary i pouzdra dodávány broušené, během transportu mohou být mechanicky poškozeny) a odstranění odhalených vad broušením (ruční bruskou, brusným papírem, brusnou houbou MEDIUM/FINE). Kontrolují se oděrky, rýhy, výčnělky, svary, stopy lepidel a integrity povrchu. U všech vnějších i vnitřních ploch určených k lakování nesmí být vadami překročeny tyto mezní hodnoty a jakostní požadavky:

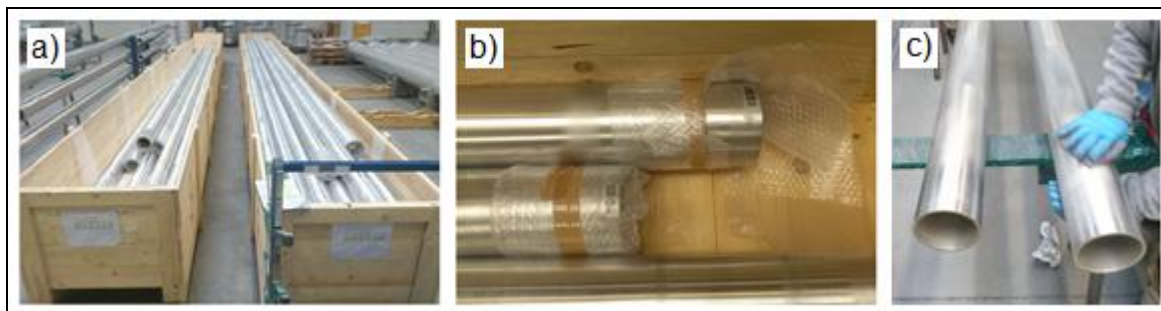
- vystouplé plochy větší jako 2 mm,
- ostré výčnělky větší jako 1 mm,
- prohlubně větší jako 1 mm,
- póry o průměru větším jako 2 mm,
- veškeré otřepy, šupiny a odlupující se částice materiálu.

Kontrolou odhalené vady povrchu u pouzder (trubek) jsou rovnoměrně odbroušeny ruční bruskou s výměnnými papírovými kotouči požadovaných drsností a začištěny brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE. Maximální drsnost obroušeného povrchu nesmí překročit hodnotu Ra 3,2. Vnější plochy jsou broušeny v celém rozsahu své délky (jsou lakovány po celé délce). Vnitřní plochy jsou začištěny v délce 180 až 230 mm od čelní plochy příruby odlévaných pouzder a 50 až 100 mm za svár svařovaných trubek (oblast pro nanesení laku). Výjimečně jsou vnitřní plochy trubek broušeny v celém rozsahu délky (nevyhovují-li jakostní požadavky povrchu) rotačním kartáčem se smirkovými pásy a leštícími vlákny. Obroušené povrchy jsou očištěny jednorázovou textilní utěrkou TORK s čistícím přípravkem METAFLUX od brusného prachu (u rotačních brusek je prach odsáván, přesto je nutné tyto plochy očistit). Během mechanické předúpravy nesmí být poškozeny těsnicí plochy příruby s drsností Ra 1,6 [25,28].



Obr. 3.5 Mechanická předúprava pouzder. a) skladování, b) vnitřní brusný kartáč, c) broušení vad, d) rozsah broušení vnitřních ploch, e) obroušený povrch.

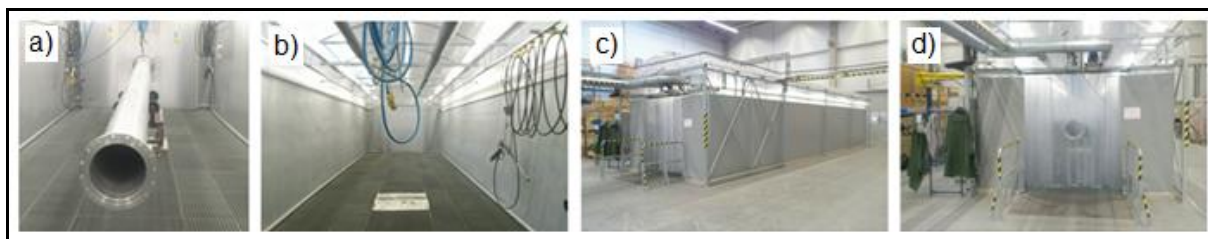
Vodiče jsou dodávány jako hotové výrobky z přesných vytlačovaných trubek zabalené v dřevěných transportních bednách, které brání jejich mechanickému poškození během převozu. Ve skladu materiálu jsou podrobeny vstupní kontrole (vybalení, odstranění ochranných fólií, rozměrová a jakostní kontrola povrchu), po které následuje mechanická předúprava povrchu. Ta spočívá v ručním obroušení vnějšího povrchu celé délky vodiče brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE pro odstranění drobných oděrek vzniklých během převozu jejich vzájemným kontaktem. Vnitřní postříbřená část na obou koncích vodiče nesmí být během předúpravy mechanicky poškozena, tedy vnitřní část vodiče není za žádných okolností broušena. Obroušené povrchy jsou očištěny od brusného prachu jednorázovou utěrkou TORK s čistícím přípravkem METAFLUX. Postříbřené plochy jsou taktéž ošetřeny chemickým odmašťovačem METAFLUX [25,28].



Obr. 3.6 Mechanická předúprava vodičů. a), b) transportní balení a skladování, c) broušení vad.

3.4 Oplach v mycím boxu

Pouzdra i vodiče jsou po mechanické předúpravě povrchu převezeny do mycího boxu, kde jsou důkladně omyty od prachových a jiných nečistot vzniklých broušením. Oplachování je prováděno vodou z řádu (bez alkálií) o teplotě 60 °C. Po omytí jsou součásti osušeny tlakovým vzduchem [25].



Obr. 3.7 Mycí box. a) oplach pouzdra, b) vnitřní prostor, c), d) vnější pohled.

3.5 Navěšování

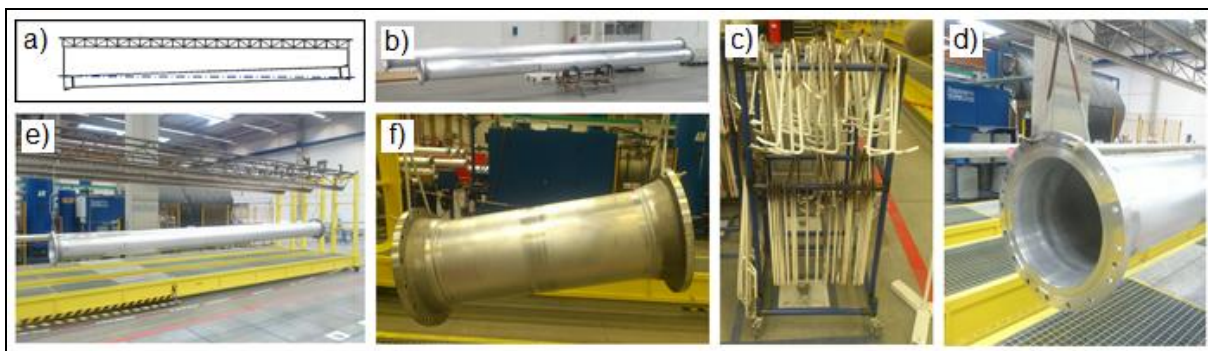
Mechanicky očištěná pouzdra a vodiče jsou vysokozdvíhnými vozíky nebo pomocí ručních manipulátorů převezeny do prostoru navěšování poloautomatické lakovací linky. Ta je vybavena třemi zavážecími a jedním manipulačním nosníkem s nosností max. 500 kg. Jednotlivé nosníky jsou rozděleny do kategorií dle lakovaných dílů:

- 1. nosník / *Trubky*: je určen k zavěšení všech druhů zapouzďení bez ohledu na jejich délky (max. 12 m),
- 2. nosník / *Vodiče*: je určen k zavěšení vodičů délky 1 až 12 m,
- 3. nosník / *Tvarovky*: je určen k zavěšení všech typů tvarovek,
- 4. nosník / *Třafa*: je určen k zavěšení všech drobných a jiných dílů.

Pořadí vstupujících nosníků do procesu chemické předúpravy, maskování, lakování atd. je v automatickém chodu určováno řídicím systémem HI Vision dle zpracovávaných zakázek, přičemž pravidelný takt linky je 30 minut. Pracovník navěšování je prostřednictvím LCD obrazovky informován o lakovacím plánu, na jehož základě provede zavěšení součástí do příslušného nosníku. Je-li u některého z dílů vyžadována změna barvy či tloušťka vrstvy oproti standardu, je označen kovovým informačním štítkem s požadovanými parametry jako informační nosič pro pracovníka lakovacího boxu. Navěšování je technologický krok, při kterém jsou součásti mechanicky upevněny (zavěšeny) pomocí háků, přípravků nebo jiných

zařízení na rameno nosníku, přičemž musí být zajištěno jejich dostatečné elektrické uzemnění (spojení se zemí) [25,29].

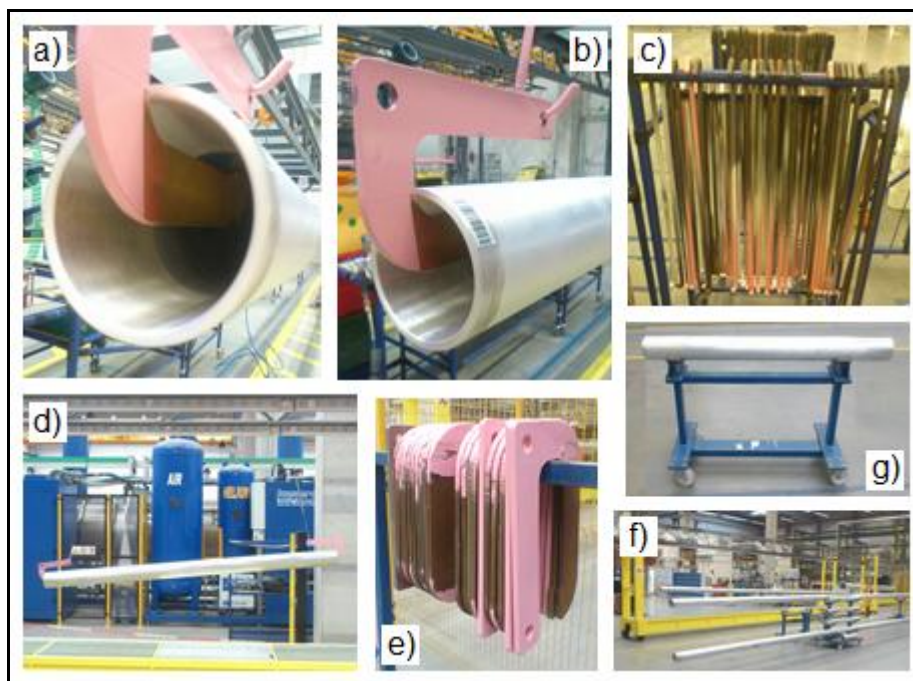
Pouzdra neboli trubky mohou být navěšovány dvěma způsoby. U prvního jsou přivezeny na ručním manipulátoru (kolečkovém vozíku) do prostoru zavázacího nosníku, osazeny zavěšovacími háky (do otvorů příruby) s pojistkou, uloženy do kolíčky (speciálního přípravku) vysokozdvížného vozíku, vyzdvižnuty pod rameno nosníku a zavěšeny prostřednictvím osazených háků. Druhým způsobem jsou pouzdra zavěšována s využitím manipulačního nosníku, který je umístěn na boku poloautomatické linky (mimo prostory zavázacích nosníků). Pouzdra jsou přivezena na kolečkovém vozíku pod manipulátor, osazena závěsnými háky (do otvorů příruby) s pojistkou a zavěšena na rameno nosníku, který je zachycen automatickým zdvižným manipulátorem. U zavěšení je nutné dodržet mírný sklon pouzdra (v ose) pro odtok chemických roztoků z jeho vnitřní části během chemické předúpravy, ale i snížení jeho styčné plochy s hladinou, resp. snížení vztahové síly, rychlejší plnění vnitřního otvoru a rychlejší ponor pouzdra. Sklon je zaručen dvěma druhy závěsných háků o délce 600 a 800 mm a je směřován do zadní části linky z důvodu bezpečnosti obsluhujících pracovníků. Zajištění součástí je prováděno nasunutím silikonových kroužků na konec závěsných háků, jimiž je předcházeno vyklouznutí háku během manipulace. Ukončení navěšovacích úkonů je obsluhou potvrzeno na dotykové obrazovce řídicího systému a prostor navěšování je uzamčen bezpečnostními světelnými branami [25,29].



Obr. 3.8 Navěšování pouzder (trubek). a) sklon zavěšení, b) manipulační vozík s pouzdry, c) závěsné háky, d) osazení háku s pojistkou, e), f) zavěšené poudro.

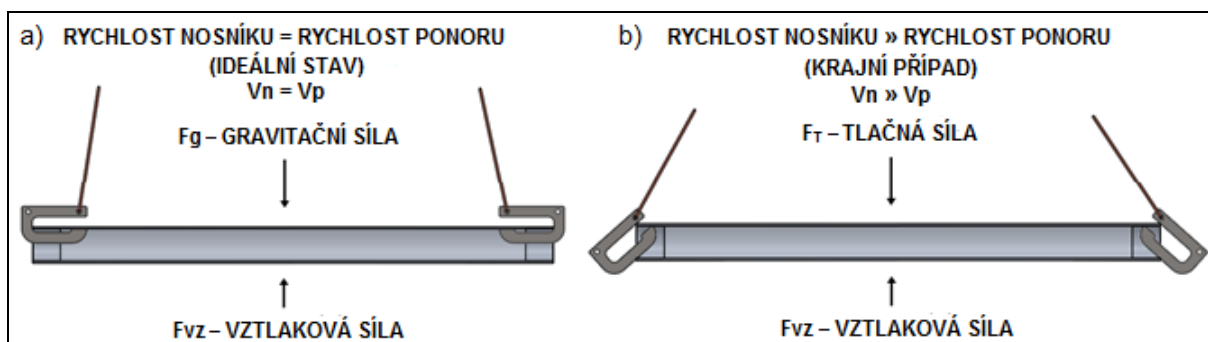
Mechanicky očištěné a omyté vodiče jsou přivezeny na ručním manipulátoru (zásobníkový kolečkový vozík) do prostoru zavázacích nosníků. Ze zásobníku jsou ručně přemístěny dvěma obslužnými pracovníky na navěšovací stojan (kolečkový manipulátor) a převezeny do prostoru pod rameno zavázacího nosníku. Na rameno jsou zavěšeny návěsné háky s přípravkem pro uchycení vodiče. Ten je vyzdvižen obslužnými pracovníky na jedné straně navěšovacího vozíku a nasunut na uchycovací přípravek, přičemž nesmí být poškozena jeho vnitřní postříbřená část. Postup vyzdvižení a uchycení je následně opakován i na druhém konci vodiče. Při navěšování je nutné dodržet sklon součásti (směrem k zadní straně poloautomatické linky) užitím dvou délek závěsných háků 600 a 800 mm z důvodu vtékání a vytékání chemické lázně do a z vnitřní části vodiče během chemické předúpravy. Po ukončení navěšovacích úkonů je potvrzeno připravení zakázky na dotykové obrazovce řídicího systému HI Vision a uzamčen prostor světelnými bránami. Přípravek pro uchycení vodiče je vyroben z nerezového plechu tloušťky 10 mm. Jedná se o vypálený tzv. C tvar na vodním paprsku s vyvýšenou dosedací plochou pro ochranu postříbřené části vodiče. Závěsný otvor je umístěn nad dosedací plochou z důvodu vyvážení přípravku jako ochrana proti kontaktu s postříbřenou

plochou. Přípravek je součástí celého procesu lakování, tedy materiál musí odolávat degračním účinkům chemické lázně, elektricky uzemnit součást (vodivě spojit součást se závěsným ramenem) a vydržet vysoké vytvrzovací teploty laku (200 °C). Jeho výhodou je nízká pořizovací cena díky jednoduchosti řešení, snadná výroba, dlouhá životnost a téměř úplná bezúdržbovost (neobsahuje pohyblivé části) [25,29].



Obr. 3.9 Navěšování vodičů. a), b) princip zavěšení, c) závěsné háky, d) zavěšený vodič, e) C přípravky, f) zásobníkový vozík, g) navěšovací stojan.

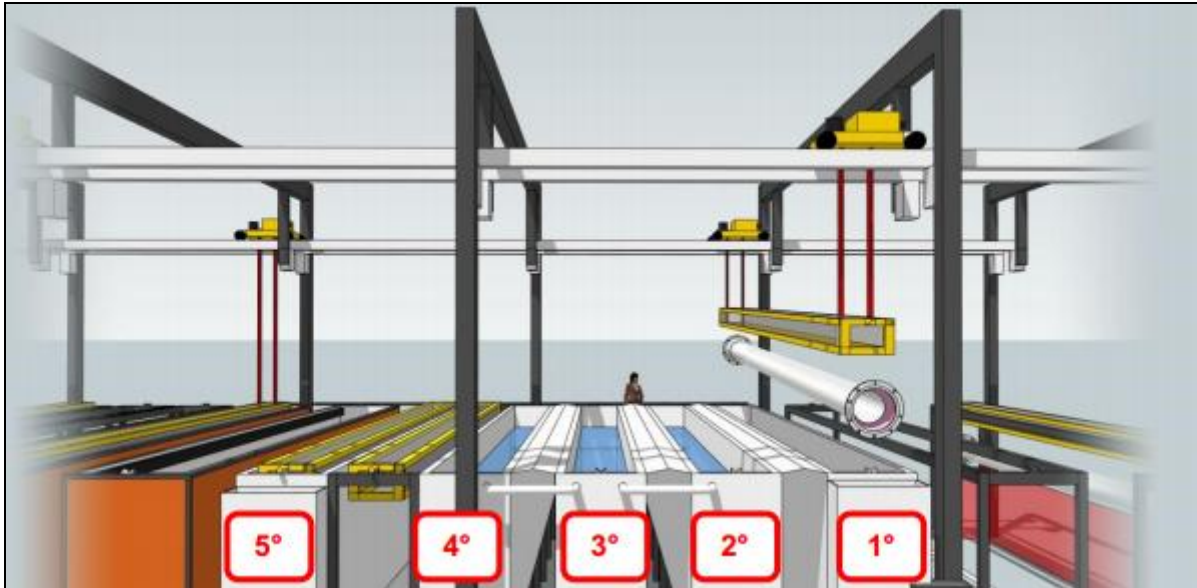
Nevýhodou tzv. C závěsných přípravků je nízká prevence před mechanickým poškozením postříbřené části během navěšování, kontakt čelní plochy vodiče s hranou přípravku, relativně složité maskování a plování vodiče během ponoru do lázně chemické předúpravy, při níž je pětkrát ponořen a vnořen z různých roztoků (viz 3.6 *Chemická předúprava*). Vlivem vztlakové síly kapaliny je vodič nadnášen, tedy rychlost ponoru je zcela závislá na rozdílu gravitační a vztlakové síly působící ve směru ponoru a nesmí tak být překročena rychlostí svislého pohybu závěsného nosníku. Při vyšší rychlosti pohybu nosníku oproti ponoru vodiče se závěsný přípravek vychyluje ze své polohy, přičemž dochází k mechanickému poškození postříbřené plochy a v krajním případě ke kontaktu vodiče se spodní hranou přípravku. Těmito negativními jevy je ovlivňován výrobní takt poloautomatické linky, který činí 30 minut (pozdvolný ponor vodiče, pomalý takt) a dodatečné náklady na opravy mechanicky poškozených postříbřených ploch [25,29].



Obr. 3.10 Ponor vodiče do lázně chemické předúpravy. a) ideální stav, b) krajní případ.

3.6 Chemická předúprava

Pouzdra i vodiče jsou po navěšení zaváženy automatizovanými manipulátory do procesu chemické předúpravy. Ta je rozdělena do systému pětistupňové úrovně ponorných lázní:



Obr. 3.11 Chemická předúprava – pětistupňová lázeň [25].

1. stupeň / Kyselé odmaštění s dezoxidací:

Povrch součásti je zbaven mastnot, tuků, zbytků mechanických nečistot, oxidů hliníku a připraven pro tvorbu konverzní vrstvy. Tou je způsobeno tzv. uzavření povrchu jako antikoroziní ochrana a zvýšení adheze práškových hmot před i po jejich vytvrzení. Lázeň je tvořena směsí Alfideoxu 74 (amonium hydrogensulphatu, kyseliny fluorovodíkové, glycollicacidu a kyseliny sírové) s koncentrací 20 až 35 g·l⁻¹, Alfisidu 16/3 (chlormethylisothiazolonu, methylisothiazolonu s chloridem hořečnatým a dusičnanem hořečnatým, aminesu, cocoalkylu a ethoxylatedu) o koncentraci 4 až 10 g·l⁻¹ a Beschleunigeru 96. Teplota lázně je 50 až 60 °C a doba expozice 5 až 10 minut. Celkový objem lázně je 14,9 m³, kontrolní měření teploty a koncentrace je prováděno dvakrát denně. Obsah rozpuštěného Al a fluoridů je měřen jednou měsíčně, přičemž hodnoty nesmí překročit 8,0 g·l⁻¹ u Al a 500 až 700 mg·l⁻¹ u fluoridů [25].

2. stupeň / Oplach:

Povrch součásti je hrubě opláchnut od zbytků kyselin, tenzidů, mastnot apod. ulpělých na povrchu z předchozího stupně chemické předúpravy ve vodní lázni z řádu o objemu 16,5 m³. Teplota je RT (Real Time) neboli aktuální teplota daná okolním prostředím a ohřevem od zpracovávaných součástí. Jejich doba setrvání je 1 až 2 minuty. U lázně je dvakrát denně kontrolována vodivost, která nesmí přesáhnout 1 500 μS·cm⁻¹ (mikro siemens na centimetr) [25].

3. stupeň / DEMI oplach:

Povrch součásti je zbaven stopových prvků předchozí lázně a zabraňuje kontaminaci finálního roztoku nežádoucími zbytky solí. Lázeň o objemu 17 m³ je tvořena demineralizovanou vodou o teplotě RT (Real Time) a dobou expozice 1 až 2 minuty. Maximální hodnota vodivosti měřená dvakrát denně je 2 000 μS·cm⁻¹ [25].

4. stupeň / DEMI oplach s ostřikovým rámem:

Součást je finálně opláchnuta od zbytků roztoků a během vyjmutí ostříknuta proudem demineralizované vody o teplotě RT (Real Time). Objem lázně je 17,5 m³ a doba expozice 1 až 2 minuty. Maximální vodivost, která je kontrolována dvakrát denně, je 30 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [25].

5. stupeň / Pasivace:

Na povrchu součásti je vytvořena konverzní vrstva účinky kyselé lázně Alficoatu 748, který je tvořen směsí chlormethylisothiazolonu a methylisothiazolonu s chloridem hořečnatým a dusičnanem hořečnatým. Je způsobeno tzv. uzavření povrchu jako antikorozi ochrana a zvýšení adhezních vlastností práškových nátěrových hmot (před i po jejich vytvrzení). Koncentrace lázně je 8 až 15 g·l⁻¹, pH 2 až 4, teplota 20 až 30 °C a doba expozice 1 až 3 minuty. Celkový objem lázně je 14,9 m³ a maximální hodnota vodivosti, která se měří dvakrát denně, nesmí překročit 20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [25].

Hlavní parametry dílčích stupňů chemické předúpravy jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3.4 Parametry chemické předúpravy [31].

Stupeň	Operace	Lázeň	Koncentrace [g·l ⁻¹]	Teplota [°C]	Čas [min.]
1.	Kyselé odmaštění s dezoxidací	Alfideox 74	20 - 35	50 - 60	5 - 10
		Alfisid 16/3	4 - 10		
		Beschleuniger 96	-		
2.	Oplach	Voda z řádu	-	RT	1 - 2
3.	DEMI oplach	Demineralizovaná voda			
4.	DEMI oplach s ostřikem	Demineralizovaná voda			
5.	Pasivace	Alficoat 748	8 - 15	20 - 30	1 - 3

Povrchová předúprava vodičů a pouzder je řízena dle ASTM D 1730 (postupy pro přípravu povrchu hliníku a hliníkových slitin před lakováním), čistota povrchu je posuzována dle ISO 8502-3 a smáčivost dle ISO 8296 [30].

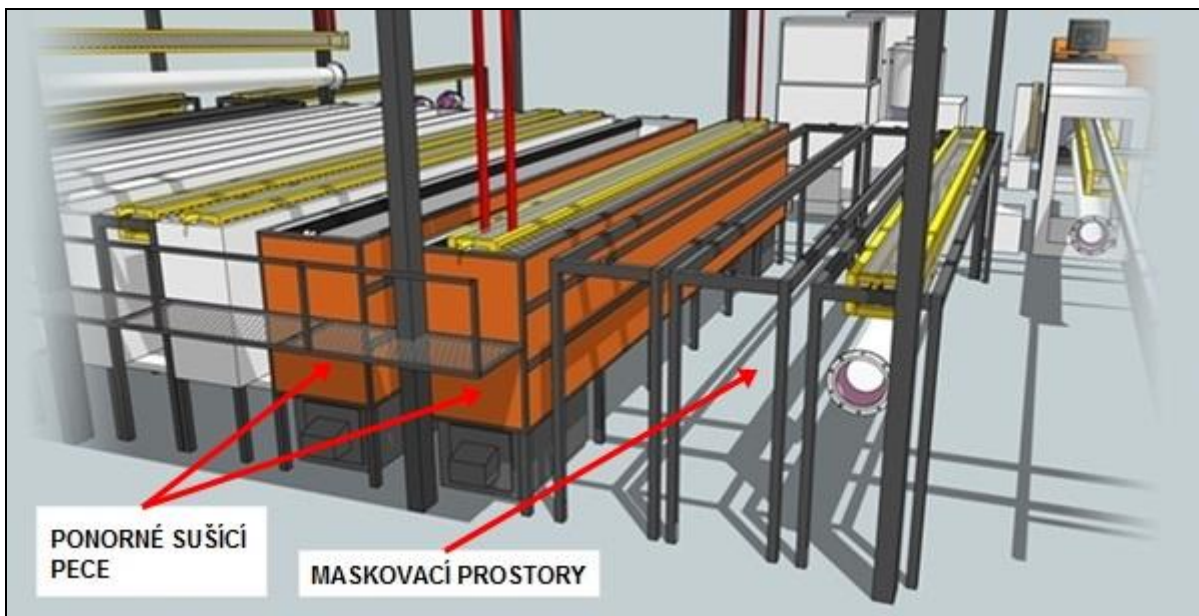
3.7 Sušení

Sušení je konečná operace chemické předúpravy, při níž je povrch součásti vysušen (odpařováním) od zbytků oplachových lázní, resp. demineralizované vody. Je prováděno ve dvou ponorných horkovzdušných pecích za teploty 65 °C, přičemž čas setrvání součástí v peci je regulován automatickým řídicím systémem na základě taktu lakovacího procesu [25].

3.8 Maskování

Po chemické předúpravě a osušení povrchu jsou navěšené vodiče a trubky s nosníkem dopraveny do prostoru maskování. Zde je provedena vizuální kontrola osušení a případné vyfoukání zbytků oplachových lázní ze závitů, otvorů a těsnicích

drážek v přírubách pouzder pomocí stlačeného vzduchu (před nanesením PNH musí být povrch dokonale suchý). V případě nedostatečného odmaštění některých ploch (tmavé skvrny, mapy) nebo stop zbytkových solí z pasivační lázně (bílé skvrny, mapy) je provedeno dodatečné očištění isopropylalkoholem či lihem s jednorázovou utěrkou TORQ. Následně je ověřena hodnota povrchového napětí dočištěné oblasti. Maskování je technologický proces ochrany některých částí lakovaných dílů před přístupem nátěrových hmot prostřednictvím jednorázových, víceúčelových nebo speciálních přípravků, krycích pásek a silikonových zátek. Provádí se u dosedacích a těsnicích ploch přírub, závitových otvorů a vnitřních částí pouzder i vodičů. Maskování pouzder je také prováděno v průběhu lakování (mezi lakovacími boxy) při změně typu nanášených PNH (vnitřní plochy práškem *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, nebo vnější plochy *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*). Detailním rozбором maskování se bude zabývat následující kapitola *4 Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin*. Při maskování je nezbytné užívat speciální rukavice, aby nedošlo ke znečištění odmaštěného povrchu a konverzní vrstvy mastnotou, potem či jinými tělesnými stopami, které by způsobily sníženou adhezi PNH nebo zhoršení antikorozi odolnosti [25].

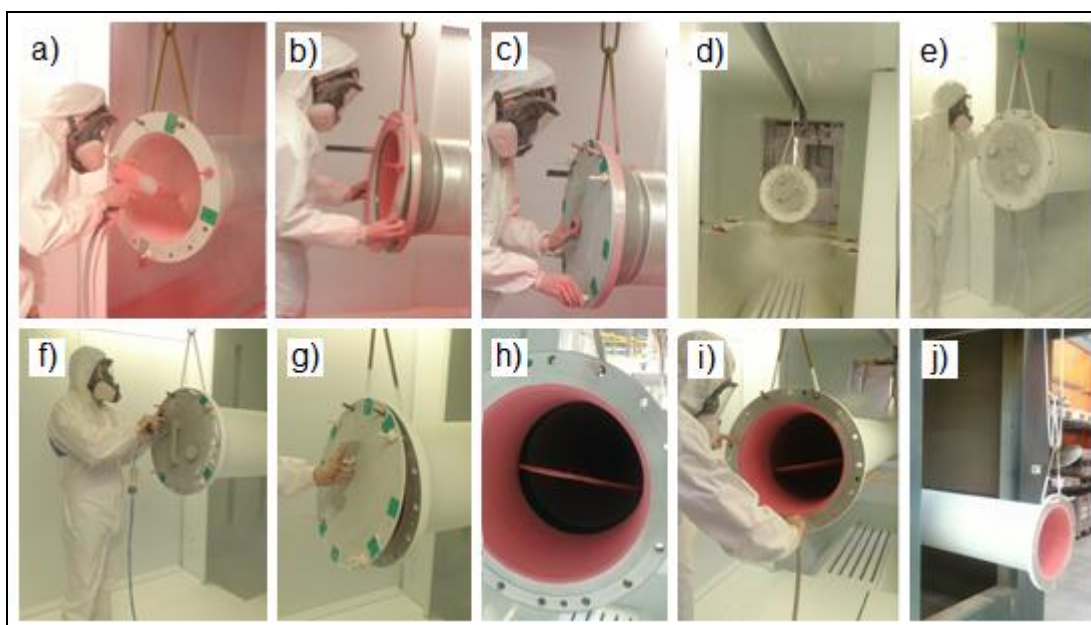


Obr. 3.12 Sušící pece a prostory maskování v komplexu poloažmatické lakovací linky [31].

3.9 Aplikace práškového laku

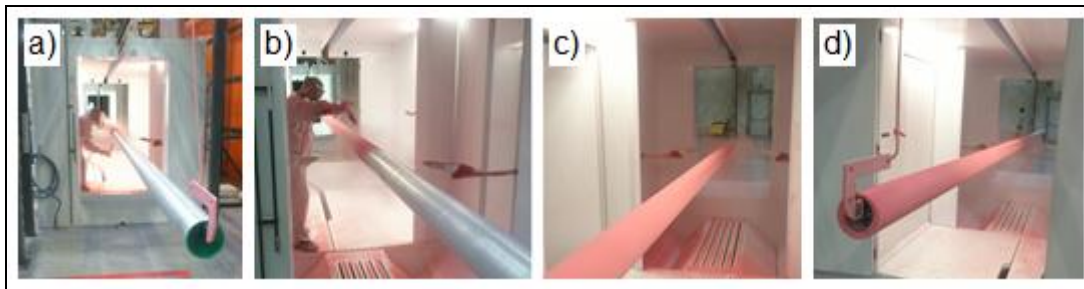
Lakování pouzder (trubek) je dle lakovaných ploch rozděleno do dvou kroků. V prvním jsou práškové hmoty nanášeny na plochy tzv. Typu A (plochy aktivních dílů a vnitřní plochy zapouzdrnění), tedy vnitřní část pouzdra v délce 180 až 230 mm, resp. 50 až 100 mm za hranu vybroušeného sváru mezi přírubou a vytlačovanou trubkou. Tyto plochy jsou lakovány PNH růžového odstínu *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, s tloušťkou vrstvy od 60 do 500 μm , přičemž je provedena kontrola správné funkčnosti maskovacích přípravků (viz kapitola *4 Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin*). PNH je elektrostaticky nanášeno v prvním lakovacím boxu obsluhým pracovníkem metodou Corona (ruční naprašovací pistolí s elektrodou). Užívané

hodnoty napětí jsou od 40 do 80 kV a proudu 10 až 70 μA (dle použitého nástavce pistole – plochá tryska, deflektor atd.). Následně je tlakovým vzduchem nebo odsávací hadicí očištěn maskovací přípravek (plastová příruba) přírubové části, závěsné háky a upevňovací prvky přípravku (silikonové úchyty). Očištěný přípravek je v prostoru přemaskování (mezi lakovacími boxy) nahrazen krycím plastovým dekle, kterým je zamezen přístup PNH *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, do vnitřních prostor pouzdra, tedy smíšení prášků (záprach) při jeho aplikaci na vnější plochy pouzdra, která se provádí v boxu číslo 2 při automatickém chodu dvou naprašovacích ramen vždy se dvěma elektrostatickými pistolemi metody Corona. Nanesená vrstva je kontrolována pracovníkem boxu, který v případě nutnosti opraví nevyhovující místa ruční pistolí. Po průchodu přírubové části mezi naprašovacími rameny jsou ofoukány (stlačeným vzduchem) závěsné háky a odstraněny maskovací přípravky. Následně jsou těsnicí plochy zbaveny nežádoucího záprachu (vada v podobě zatečeného prášku) odsávací hadicí [30].



Obr. 3.13 Lakování pouzder. a) aplikace růžového PNH na vnitřní plochy, b), c) přemaskování, d), e) nanášení bílého PNH na vnější plochy, f) očištění stlačeným vzduchem, g) odmaskování, h) uvolnění silikonové záslepky, i) odsávání záprachu, j) vstup do vytvrzovací pece.

Lakování vodičů se uskutečňuje jejich plynulým průchodem mezi automatickými naprašovacími rameny v boxu číslo 1. Práškový lak *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, je nanášen na vnější plochu vodiče v celé jeho délce, přičemž je nutné zkontrolovat správnou funkci maskovacích přípravků (viz kapitola 4 *Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin*). Tloušťka nanesené vrstvy se pohybuje v rozmezí od 60 do 500 μm a je kontrolována pracovníkem boxu, který v případě nutnosti opraví nevyhovující místa ruční elektrostatickou naprašovací pistolí Corona. Užívané hodnoty napětí a proudu jsou 40 až 80 kV a 10 až 70 μA (dle užitého nástavce pistole – plochá tryska, deflektor atd.). Po průchodu závěsného přípravku mezi naprašovacími rameny jsou ofoukány závěsné háky od naprašovaných PNH. Při lakování vodičů nesmí dojít ke kontaminaci nanesené vrstvy růžového laku v druhém boxu, tedy jeho naprašovací pistole jsou vypnuty a prostory boxu očištěny od zbytkových bílých PNH *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2* [30].

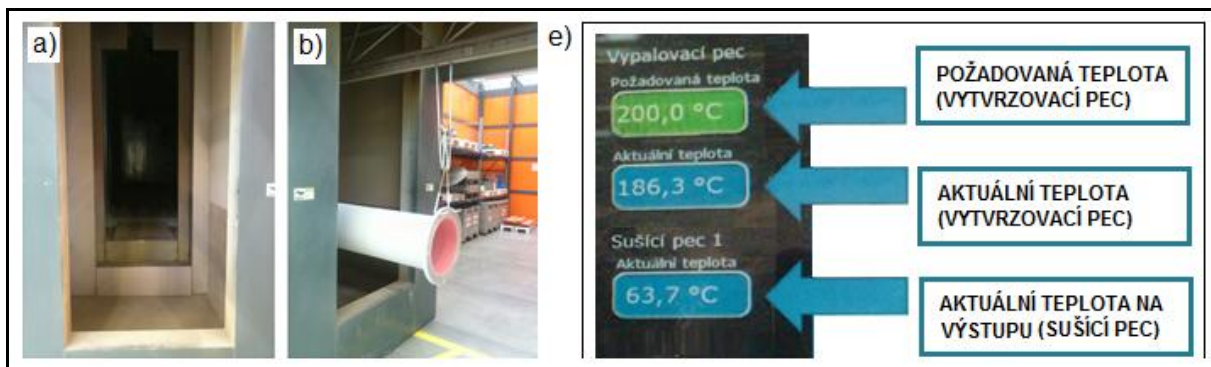


Obr. 3.14 Lakování vodičů. a) vstup do lakovacího boxu 1, b) ruční naprašování, c) automatické naprašování, d) výstup z lakovacího boxu 1.

Veškerá povrchová úprava práškovými barvami je řízena dle ISO 2028. Tloušťky nanesených vrstev jsou kontrolovány dle ISO 2360 pro nevodivé povlaky na nemagnetickém elektricky vodivém základu a ISO 2178 pro nemagnetické povlaky na magnetickém podkladu [30].

3.10 Vypékání a chlazení

Vodiče i pouzdra jsou ihned po nanesení PNH zaváženy do průběžné automatizované vytvrzovací pece s přímým ohřevem vzduchu dvěma plynovými hořáky. Teplota a doba vypékání je stanovena na základě materiálových listů PNH tak, viz *příloha 1 a 2*, aby byly splněny požadavky obou typů nanesených prášků (*Interpon 100 AG0152 RAL 3015, Interpon D1036 Mat (30)*). Vytvrzování tedy probíhá za teploty 180°C, po dobu 15 min, přičemž požadované hodnoty jsou automaticky regulovány řídicím systémem HI Vision. Kapacita vytvrzovací pece je dána osmi závěsnými nosíky. Před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece je pootočen vnitřní maskovací přípravek (silikonová ucpávka) zamezující průniku PNH během lakování za požadovanou vzdálenost dle výkresové dokumentace, viz *příloha 3*, z důvodu cirkulace vzduchu a jeho expanze ve vnitřní části pouzdra. Rozpínáním vzduchu by mohlo dojít k samovolnému posunutí či pootočení přípravku, tedy deformaci přechodové hrany nanesené vrstvy. Po vytvrzení naneseného PNH jsou navěšené vodiče a pouzdra automatizovanými nosíky převezeny do chladicí komory, kde jsou řízenou cirkulací ochlazovaného vzduchu zchlazeny pro možnost další manipulace. Kapacita chladicí komory je taktéž osm závěsných nosníků [25].



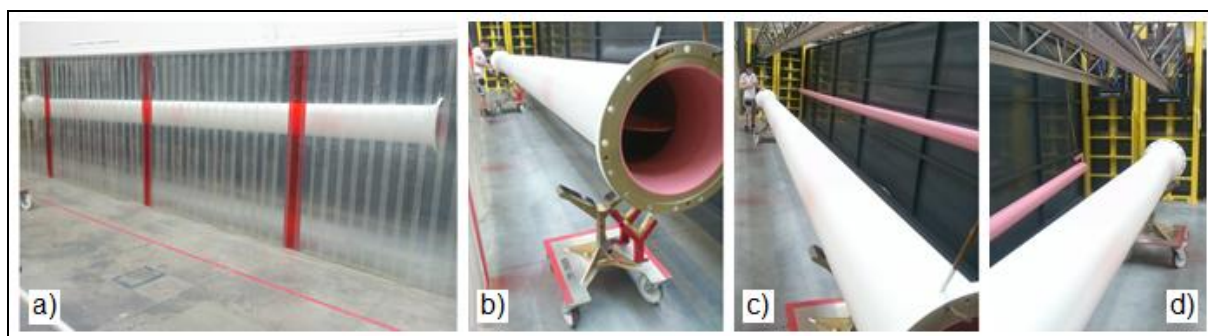
Obr. 3.15/1 Vytvrzování, resp. chlazení vodičů a pouzder – část první. a) vstup do pece, b) zavážení pouzdra do vytvrzovací pece, e) parametry řídicího systému HI vision.



Obr. 3.15/2 Vytvrzování, resp. chlazení vodičů a pouzder – část druhá. c) zavážení pouzdra do vytvrzovací pece, d) chladicí komora.

3.11 Svěšování

Vodiče i pouzdra jsou po ochlazení vyvezeny automatizovanými navěšovacími nosníky do prostoru svěšování. Ty jsou umístěny v odděleném boxu, který je vybaven výškovým manipulátorem. Svěšené díly jsou umístěny na ruční kolečkový vozík a obsluhou převezeny na pracoviště konečné úpravy. Během celého procesu nesmí být poškozen žádný z nalakovaných povrchů, ani postříbřené plochy vodičů. Závěsné přípravky a háky jsou odkládány na zásobníkové regály, které jsou po zaplnění přesunuty do prostor navěšování, kde jsou připraveny k opětovnému použití [25].



Obr. 3.16 Svěšování vodičů a pouzder. a) svěšovací box, b) svěšování pouzdra, c), d) svěšování vodiče.

3.12 Odmaskování a čištění – konečná úprava

Konečná úprava je rozdělena do dvou částí. V první jsou nalakované vodiče a pouzdra podrobeny kontrole tloušťky nanesené vrstvy PNH dle ISO 2360, resp. ISO 2178, a ve druhé odmaskovány, zbaveny vzniklých vad (záprachu) během procesu lakování a očištěny chemickým přípravkem [25].

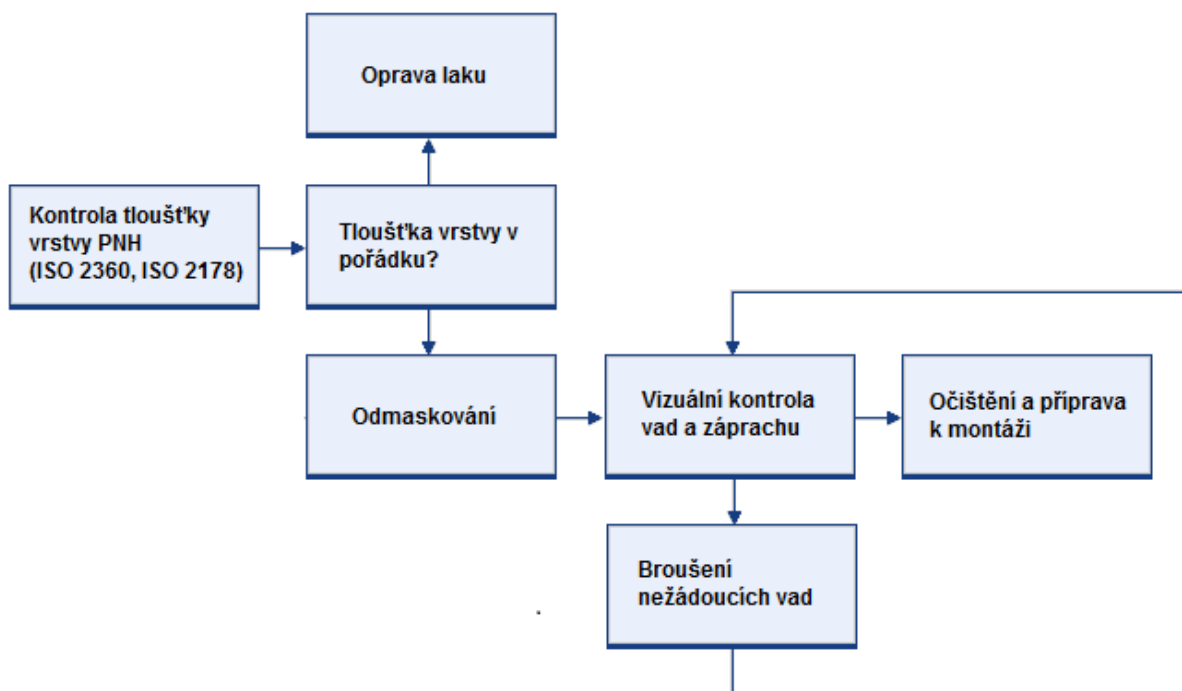
Kontrola tloušťky laku je prováděna digitálním ultrazvukovým tloušťkoměrem Elcometer 456 s pracovním rozsahem do 30 mm a odchylkou měření ± 1 %. Měřením (přiložením neferomagnetické sondy na povrch nanesené vrstvy laku) je odečteno pět hodnot v různých oblastech součásti, které jsou zaznamenány do počítače, resp. protokolu o měření tloušťky vrstvy nátěru s označením F-0045. Záznam je prováděn prostřednictvím datového výstupu USB na tloušťkoměru nebo

odesláním dat prostřednictvím Bluetooth. Je-li alespoň jedna z naměřených hodnot pod požadovaným minimem viz *Tab. 3.3 Parametry PNH dle rozdělení komponent GIS*, je kontrolovaný díl vyhodnocen jako vadný a musí být opraven lokální opravou nebo kompletním přelakováním [25].



Obr. 3.17 Kontrolní měření tloušťky laku.

Návaznost jednotlivých úkonů konečné úpravy vodičů a pouzder (trubek) je popsána v následujícím diagramu:



Obr. 3.18 Návaznost dílčích úkonů v procesu konečné úpravy vodičů a pouzder (trubek).

Součásti, u nichž je dodržena předepsaná tolerance tloušťky laku, jsou převezeny na pracoviště konečné úpravy, kde jsou odmaskovány a podrobeny vizuální kontrole. Lakované plochy aktivních dílů (vodičů) a vnitřních částí zapouzdrnění, tzv. plochy Typu A (viz kapitola 3.2 *Rozdělení komponent GIS*) nesmí obsahovat žádné cizí částice, póry, tzv. pomerančovou kůru, drsný povrch ani suchý jemný prach. Vnější ostatní plochy tzv. Typu B nesmí obsahovat cizí částice větší jako 1 mm, póry větší plochy jako $2 \times 150 \text{ mm}^2$, zatekliny větší jak $2 \times 100 \text{ mm}$, pomerančovou kůru na ploše větší jako $2 \times 100 \text{ mm}^2$ a naopak mohou v malém rozsahu obsahovat drsný

povrch a suchý jemný prach. U obou typů součástí dále není dovolen záprach (obvykle způsobený špatnou funkcí maskovacích přípravků či nedodržením předepsaných postupů), rýhy a jiné defekty, ostré hrany a vyvýšeniny laku a jiné nečistoty v podobě skvrn, map a změny integrity povrchu [25,31].

Předepsané parametry kontroly jakosti povrchu lakovaných součástí (pouzder, resp. trubek i vodičů) jsou uvedeny v následující tabulce:

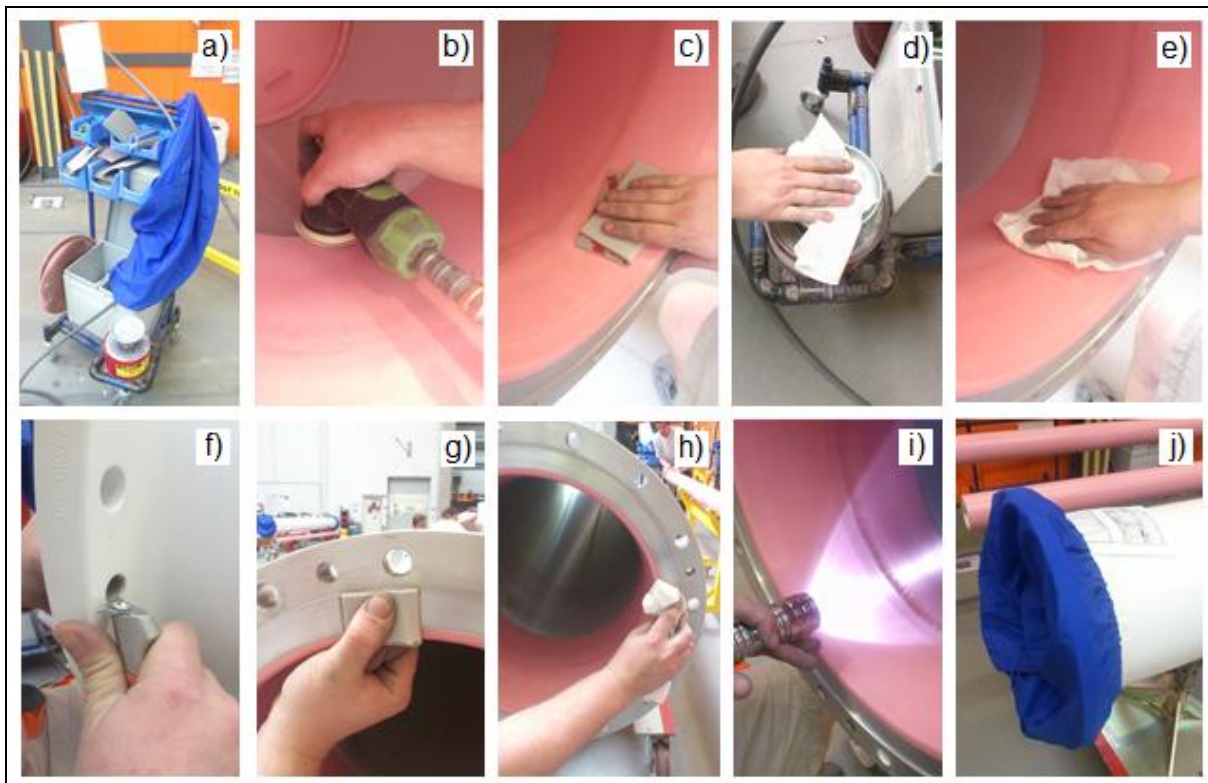
Tab. 3.5 Parametry kontroly lakovaných ploch [25].

Typ vady	Typ A – aktivní díly a vnitřní plochy zapouzdrnění	Typ B – ostatní vnější plochy
Cizí částice	Nedovoleno	$\leq 1 \text{ mm}$
Póry		$2 \times 150 \text{ mm}^2$
Zatekliny		$2 \times < 100 \text{ mm}$
Pomerančová kůra		$2 \times 100 \text{ mm}^2$
Drsný povrch		Dovoleno
Suchý jemný prach		Dovoleno
Záprach	Nedovoleno (není-li stanoveno jinak dle výkresové dokumentace)	
Rýhy a jiné defekty	Nedovoleno	
Ostré hrany a vyvýšeniny laku		
Jiné nečistoty (skvrny, mapy, změna integrity povrchu)		

Není-li u součásti odhalena žádná z výše uvedených vad, je očištěna jednorázovými utěrkami TORQ s užitím čistícího přípravku METAFLEX (zředěného Thinneru nebo Isopropylalkoholu) a připravena k montáži, přičemž 0 % z výrobního objemu vodičů a pouzder nesplňují tyto požadavky bez jejich konečné úpravy broušením. Nežádoucí vady vyskytující se u 100 % výrobního objemu pouzder a vodičů, které jsou způsobeny nízkou účinností maskovacích přípravků nebo nedodržením technologického postupu, jsou odstraňovány níže popsanými postupy. Konkretizace příčin a procentuální zastoupení dílčích vznikajících vad v procesu lakování jsou popsány v následující kapitole viz kapitola 5. *Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin.*

Závitové otvory přírubových částí pouzder jsou maskovány silikonovými zátkami, po jejich odstranění je na náběžné hraně otvoru zanechán přechodový otřep laku, který je odstraněn trojhranným šábrem s vyměnitelnými noži. Následně je provedeno zkušební osazení kalibračního šroubu M12 nebo M14, případně prořezání závitu sadou ručních závitníků (předřezacím, řezacím a kalibračním) s přestavitelným vratidlem. Uvolněné částice laku jsou z prostor závitu vyfoukány tlakovým vzduchem. Nálitek na vnější obvodové hraně příruby je také seříznut trojhranným šábrem. Záprach (stopy laku) na dosedacích plochách je obroušen excentrickou brusku s vyměnitelnými brusnými kotouči a následně zahlazen brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE, přičemž broušením nesmí být překročena požadovaná drsnost povrchu Ra 3,2. Ostrý přechod vnitřního laku Interpon 100 AG0152 RAL 3015 na čelní straně dosedací plochy příruby (včetně těsnicí plochy, dle výkresové dokumentace 2GHV012364, viz *příloha 3*), je začištěn brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE ve směru obvodové kružnice příruby, přičemž nesmí být překročena požadovaná drsnost Ra 1,6. Přechod laku na vnitřní ploše pouzdra včetně vzniklého

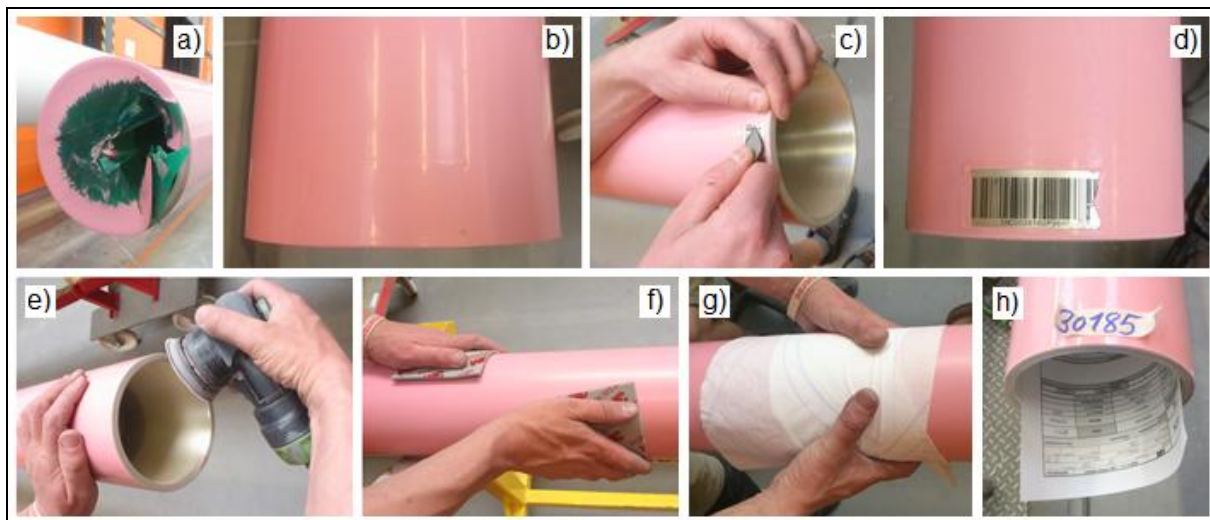
záprachu za touto hranou je zabroušen excentrickou bruskou a brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE. Všechny lakované plochy tzv. Typu A jsou v celé ploše začištěny brusnou houbou FINE pro odstranění jemných částic, ostrých hran, vyvýšenin a dosažení sjednoceného povrchu. Všechny obroušené plochy jsou následně očištěny jednorázovými utěrkami TORK s užitím čistícího přípravku METAFLEX (zředěného Thinneru nebo Isopropylalkoholu) od brusného prachu a vizuálně zkontrolovány za přímého osvětlení zdrojem bílého světla (LED svítilny). Postup je opakován do úplného odstranění všech nežádoucích vad. Po dokončení všech kroků konečné úpravy jsou oba přírubové konce pouzder opatřeny krycími textilními vaky proti přístupu prachových částic a jiných nečistot do vnitřních částí [31].



Obr. 3.19 Konečná úprava pouzder (trubek). a) pracovní pomůcky, b) hrubé broušení záprachu na vnitřní ploše, c) odstranění špiček v laku brusnou houbou (MEDIUM, FINE), d) nanesení čistícího přípravku METAFLEX na utěrku TORK, e) čištění obroušených ploch, f) odstranění otřepu (nálitku) závitových otvorů, g) odstranění záprachu na těsnicí a dosedací ploše brusnou houbou (MEDIUM, FINE), h) čištění těsnicí a dosedací plochy utěrkou TORK s přípravkem METAFLEX, i) podrobná vizuální kontrola pod přímým osvětlením, j) zakrytí očištěného pouzdra textilním vakem s přiložením protokolu o konečné úpravě.

Vnější obvodová hrana na čele vodiče je po odstranění maskovacího přípravku (polyesterové pásky) zbavena ostrého otřepu pomocí trojhranného šábru nebo rotační brusky. Krycí páska čárového kódu na vnější ploše je odstraněna žiletkovým nožem, přičemž nesmí být poškozen okolní lakovaný povrch. Záprach vzniklý v případě netěsnosti maskovacího přípravku (polyesterové pásky) na čelní postříbřené ploše je odstraněn leštící houbou FINE. Dojde-li nebo je-li v průběhu celého procesu poškozena některá z postříbřených částí (rýhy, oděrky, masivní záprach atd.), je vodič označen jako vadný kus a určen k opravě těchto ploch. Vnější lakované plochy (tzv. Typu A) jsou obroušeny v celém rozsahu brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE pro odstranění vyvýšenin, cizích částic, pórů a sjednocení

povrchu. Následně je povrch broušených ploch očištěn jednorázovou utěrkou TORK s čistícím přípravkem METAFLEX (zředěným Thinnerem nebo Isopropylalkoholem) od brusného prachu a zkontrolován za přímého osvětlení zdrojem bílého světla (LED svítidla). Postup je opakován do úplného odstranění všech nežádoucích vad [31].



Obr. 3.20 Konečná úprava vodičů. a), b), c) odmaskování, d) odmaskovaný čárový kód, e) obroušení otřepu na vnější hraně rotační bruskou, f) odstranění špiček v laku brusnou houbou (MEDIUM, FINE), g) očištění broušených ploch utěrkou TORK s přípravkem METAFLEX, h) očištěný vodič s protokolem o konečné úpravě.

Každý díl (pouzdro i vodič) je vybaven výstupním protokolem, který je využíván v případě neshody jakosti povrchu u výstupní kontroly kvality se zavedenými standardy jako podklad pro odhalení příčin a učinění nezbytných kroků nápravy (vrácení součásti konkrétnímu pracovníkovi apod.). Výstupní kontrola je řízena dle ISO 2859-1 postupy odběru vzorků pro kontrolu srovnáním, ISO 3951-1 a ISO 3951-2 specifikace indexovaného limitu charakteristických kvalit. Testování mechanických a fyzikálních vlastností nátěru je prováděno na základě ISO 9227 korozní zkoušky v umělých atmosférách, ISO 6270-2 stanovení odolnosti proti vlhkosti, ISO 11507 odolnosti vůči stárnutí, expozicí UV lampy a vody a mezinárodních předpisů GSB kvalitativních standardů povrchových úprav hliníku. Dále pak hodnocení degradace nátěrů, klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu dle ČSN EN ISO 4628, hodnocení odolnosti povlaků k oddělení od podkladu, tzv. mřížková metoda dle ČSN EN ISO 2409 a stanovení tloušťky nátěru dle ČSN EN ISO 2808 [25,32].

Pracnost konečné úpravy je dána její časovou náročností, která je závislá na rozsahu a četnosti vzniklých vad, resp. dílčích úkonech vedoucích k jejich odstranění. Pro stanovení časové náročnosti byla provedena časová analýza zahrnující pět vstupních vzorků s různým rozsahem a četností vzniklých vad. Z naměřených hodnot byl následně stanoven průměrný čas konečné úpravy jednoho kusu pouzdra (trubky), resp. vodiče a tyto hodnoty byly následně porovnány s normativními výrobními časy. Analýza byla provedena v průběhu pravidelné návštěvy výrobních prostor ABB během zimního semestru od 21. 9. do 18. 12. 2016, měřením a zaznamenáváním časů do *Formuláře analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy vodičů*, viz příloha 4, resp. *Formuláře analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy pouzder (trubek)*, viz příloha 5.

Výsledky časové náročnosti konečné úpravy pěti vybraných vzorků (pouzder, resp. trubek a vodičů) jsou uvedeny v následující tabulce, přičemž je zřejmé, že redukcí vznikajících vad dojde ke snížení časové náročnosti, tedy požadovanému snížení pracnosti konečné úpravy.

Tab. 3.6 Časová náročnost konečné úpravy pouzder (trubek) a vodičů.

Lakovaná součást	Čas [min.]						
	Číslo vzorku					Průměr na 1 ks	Normativ na 1 ks [33]
	1	2	3	4	5		
Pouzdro	27,2	22,6	18,4	31,1	26,8	25,2	28,5
Vodič	12,8	9,1	8,9	12,4	13,7	11,4	14,6

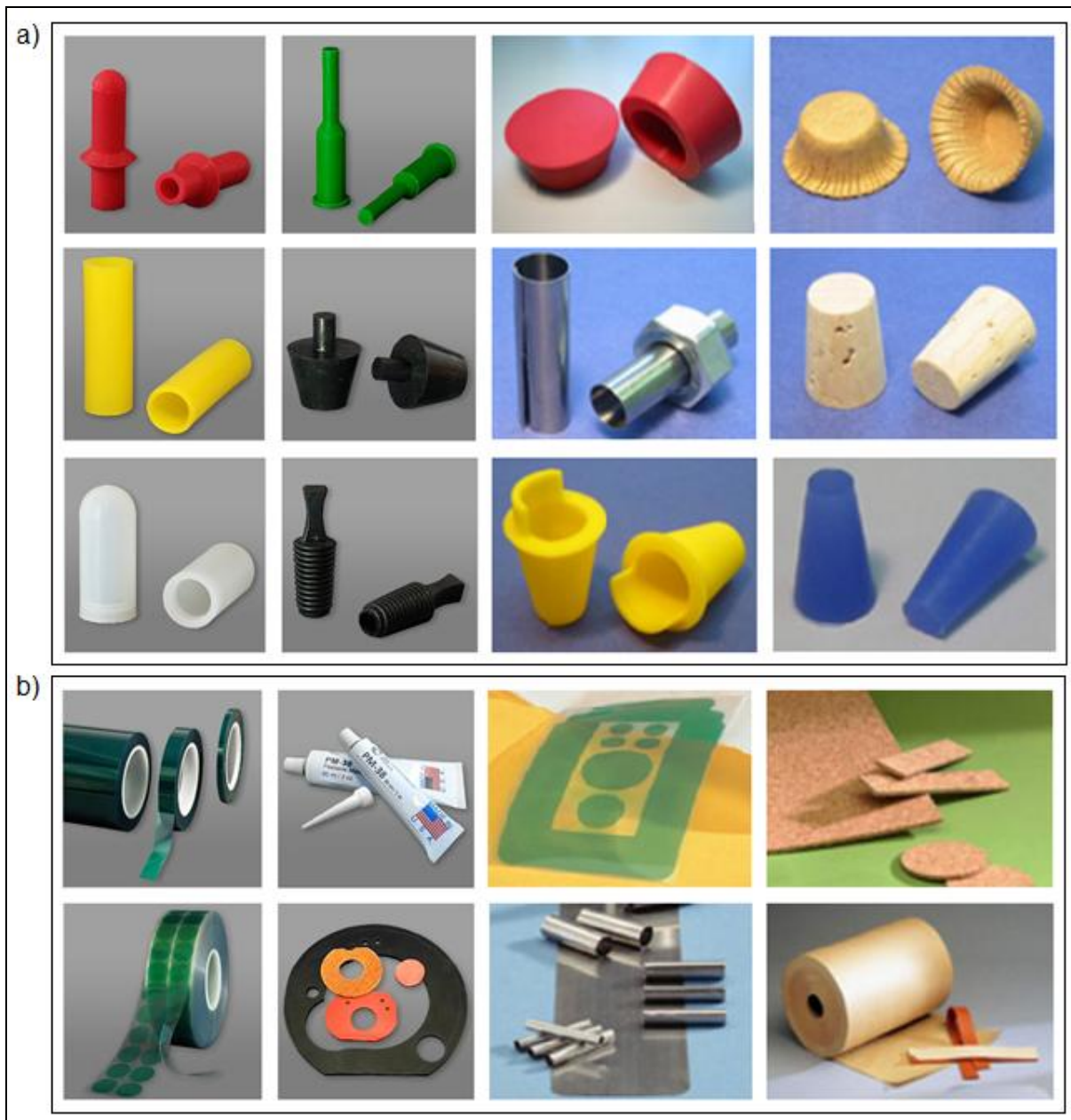
4 ANALÝZA MASKOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH PLOCH, SPECIFIKACE NEJČASTĚJŠÍCH VAD A STANOVENÍ KOŘENOVÝCH PŘÍČIN

Maskováním je obecně označován technologický proces ochrany některých částí lakovaných dílců (dle příslušné výkresové dokumentace) před přístupem nátěrových hmot práškového i mokrého způsobu lakování, prostřednictvím jednorázových, víceúčelových nebo speciálních maskovacích přípravků. Je užíván i ve spojení s jinými druhy povrchových úprav jako je tryskání, eloxování, galvanické pokovení, chemické niklování, chromátování, žárové nástřiky atd. Dle geometrie maskovaných prvků součásti se dělí na maskování os a děr (závitových i hladkých) a maskování ploch a hran [34,35].

Maskování os a děr se nejčastěji provádí tvarovými krytkami nebo zátkami ze silikonové pryže Ultrabake s vysokou teplotní a chemickou odolností. Tento materiál se vyznačuje nízkou přilnavostí práškových nátěrových hmot, díky čemuž je zaručena opakovatelnost použití s maximální pracovní teplotou 315 °C a zaručenou životností dvanácti vytvrzovacích cyklů (při této teplotě). Životnost za teplot 200 až 220 °C, kterým jsou maskovací přípravky vystaveny v procesu práškového lakování komponent GIS, je stanovena v průměru na 50 vypalovacích cyklů. Dalšími materiály pro jejich výrobu jsou: měkčené PVC (210 °C), EPDM pryž (180 °C), TPR pryž (125 °C), pružinová ocel (250 až 450 °C, dle materiálu), přírodní korek (150 °C) a papír (205 °C), ten je výhodný zejména z ekonomického a ekologického hlediska díky recyklaci a snadné likvidaci [34,35].

K maskování ploch a hran se nejčastěji užívají polyesterové, polyamidové, silikonové, PVC, vinylové a sklotextilové pásy s vrstvou silikonového lepidla, které na povrchu kryté plochy nezaněchávají adhezni zbytky. Pásy jsou vyráběny v různých variantách teplotní odolnosti až do 300 °C, navinuté do rolí po 33 nebo 66 metrech a šířkách od 2 do 1000 mm s dělením po 1 mm. Dalšími možnostmi jsou tvarové výseky z těchto fólií, magneticko-silikonových gum (250 °C), korku a maskovacího papíru (oboustranně potažený papír vrstvou tepelně odolného materiálu), které jsou prováděny pro konkrétní požadovaný tvar dle příslušné výkresové dokumentace. Ty jsou vysekávány planžetovými noži či vyřezány na řezacím plotru, jehož výhodou je nastavitelný prořez vrstvy materiálu. Méně užívaným způsobem maskování je užití nátěrové silikonové pasty nebo magnetického filmu. Pasta je nanášena štětcem, či aplikátorem a krátkodobě odolává maximálním teplotám 260 °C. Doba schnutí je 24 hodin, přičemž odstranění je prováděno ručně seškrábnutím nebo sloupáním. Magnetický film se vyrábí také dle příslušné výkresové dokumentace pro konkrétní plochu, nevýhodou je nízká tepelná odolnost, kvůli které musí být film před vstupem do vytvrzovací pece odstraněn [34,35].

Samostatnou kategorií maskování je výroba speciálních jednorázových nebo víceúčelových přípravků, které jsou vyráběny pro konkrétní součást nebo její prvek (osu, otvor, plochu) dle příslušné výkresové dokumentace. Návrh je prováděn technologem výroby a není součástí normalizovaného sortimentu. Materiály a aplikace jsou voleny dle technologického postupu povrchové úpravy s ohledem na možnosti celého procesu. Mnohdy jsou konstrukční možnosti spjaté s metodou navěšování, materiálem součásti, chemickou předúpravou, způsobem aplikace nátěrových hmot a s vysokými vytvrzovacími teplotami, jimž musí být přizpůsobeny.

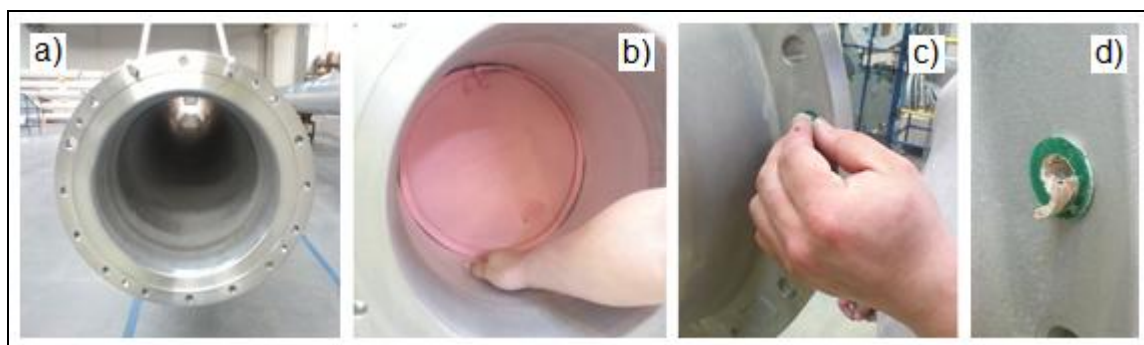


Obr. 4.1 Charakteristické příklady maskovacích přípravků [34,35]. a) os a děr, b) ploch.

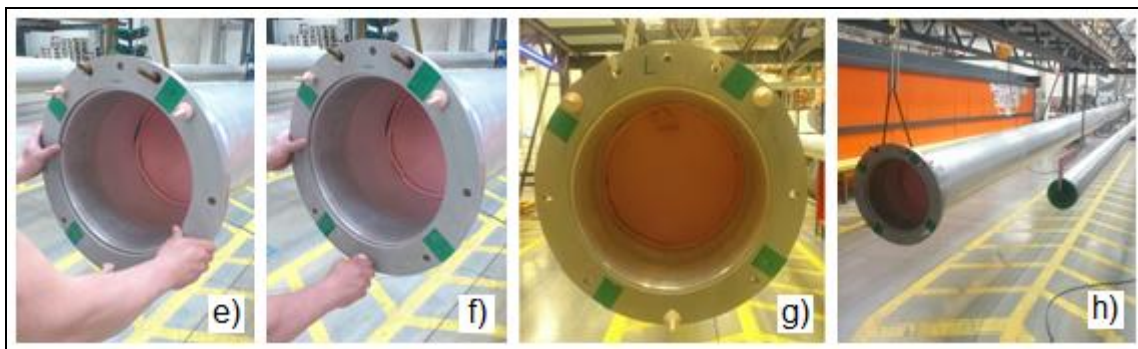
4.1 Maskování pouzder

Maskování pouzder je rozděleno do tří částí. První a druhá je prováděna na pracovišti maskování, kde jsou zamaskovány těsnicí a dosedací plochy přírub, závitové otvory, průchozí díry šroubů a vnitřní plochy trubky. Těsnicí a dosedací plochy se kryjí speciálními plastovými přípravky (přírubami), které jsou vyrobeny jako negativ čelní části příruby dle jejich výkresové dokumentace s ohledem na požadavky lakování. Prstenec je šroubovými otvory nasazen na závěsný hák pouzdra a zajištěn na čtyřech místech s pravidelnými rozestupy pomocí silikonových úchytů. Ty jsou vsunuty skrz otvory přípravku do šroubových otvorů příruby a následně tahem ruky za jejich opačný konec předepruty (tahovou elastickou deformací) tak, aby bylo docíleno těsného kontaktu přípravku s čelní plochou příruby. Vnitřní plochy trubky se zaslepují taktéž atypickým přípravkem, který je

vyroben ze silikonové pryže (pro její teplotní odolnost 230 °C) a pružinového drátu. Tato záslepka je vyrobena jako kruhová záslepka s okrajovým lemem, v němž je osazena tvarová rozpínací se pružina o rozměru vnitřního průměru trubky 380 mm dle její výkresové dokumentace, viz *příloha 6*. Maskování se provádí stlačením pružiny (rukou pracovníka) a vsunutím záslepky do útroby pouzdra ve vzdálenosti 180 až 230 mm od čelní plochy příruby, resp. 50 až 100 mm za hranu vybroušeného sváru mezi přírubou a vytlačovanou trubicí. Uvolněním pružiny dojde k předepnutí silikonové záslepky o stěnu trubky, utěsnění prostor mezi přípravkem a trubicí a zamezení přístupu nátěrových hmot za požadovanou vzdálenost dle výkresové dokumentace, viz *příloha 3*. Tyto přípravky jsou určeny k ochraně ploch před přístupem PNH *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, při jejich aplikaci na plochy tzv. Typu A (plochy aktivních dílů a vnitřní plochy zapouzdření), která je prováděna v lakovacím boxu číslo 1. Po aplikaci PNH je přírubový přípravek spolu se závěsnými háky a silikonovými úchyty opatrně ofoukán stlačeným vzduchem nebo odsán prášek odsávací hadicí a v prostoru přemaskování nahrazen krycím deklm (jedná se o třetí část maskování). Krycí dekl je vyroben ze stejného materiálu s totožným způsobem jako prstenec, přičemž zabraňuje přístupu PNH *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, do vnitřních částí pouzdra a na těsnicí, resp. dosedací plochy příruby, který je nanášen na plochy tzv. Typu B (ostatní vnější plochy) v lakovacím boxu číslo 2. Upevnění krycího deklu je realizováno stejnými postupy jako v případě přírubového přípravku. Po průchodu trubky lakovacím boxem číslo 2, tedy nanesení PNH na jeho vnější plochy, je opět dekl i závěsný hák se silikonovými úchyty ofoukán stlačeným vzduchem od ulpěných částic prášku a odmaskován. To je prováděno z důvodu nízké teplotní odolnosti plastových přípravků, které by byly v průběhu vytvrzování roztaveny, čímž by došlo k poškození naneseného laku, těsnicích ploch atd., tedy celkovému znehodnocení lakovaného pouzdra (trubky). Po odmaskování je taktéž provedeno částečné odstranění nežádoucího záprachu z krytých ploch, který byl způsoben nízkou účinností přípravku, nedodržením předepsaného postupu či nedbalostí maskovacích a lakovacích pracovníků. Dále je uvolněna vnitřní silikonová záslepka z důvodu cirkulace vzduchu a jeho expanze v útrobach pouzdra. Rozpínáním vzduchu by mohlo dojít k jeho samovolnému posunutí nebo pootočení, čímž by byla způsobena deformace přechodové hrany laku. Maskování závitových otvorů příruby se uskutečňuje silikonovými kónickými zátkami ze zadní části příruby. Čelní část závitů je kryta plastovým prstencem, resp. deklm. Silikonová zátka brání přístupu PNH *D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, do prostor závitů při lakování vnějších ploch pouzdra a je součástí procesu vytvrzování [25,30,36].



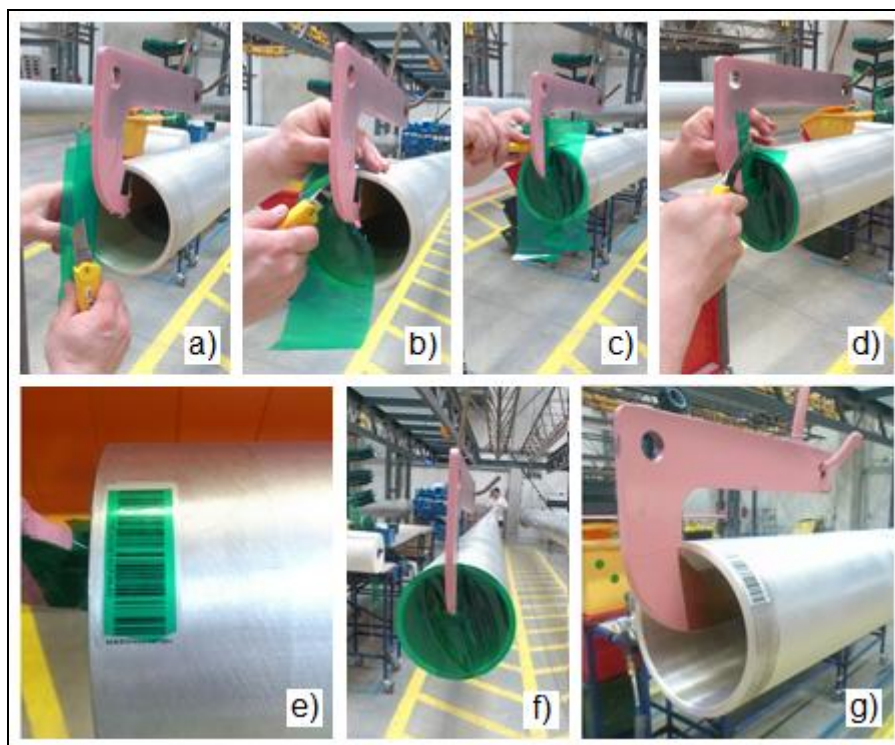
Obr. 4.2/1 Maskování pouzder. a) pouzdro, b) vsunutí silikonové záslepky do vnitřního otvoru pouzdra, c), d) osazení maskovacích zátek do závitových otvorů.



Obr. 4.2/2 Maskování pouzder. e) nasazení plastové krycí příruby, f) zajištění příruby silikonovými úchyty, g, h) zamaskované pouzdro.

4.2 Maskování vodičů

Maskování vodičů se provádí standardní polyesterovou maskovací páskou s odolností do 205 °C a šířkou 60 mm. Ta je nalepena na čelní plochu vodiče v několika pruzích s přesahem min. 10 mm tak, aby bylo zajištěno dokonalé překrytí vnitřního otvoru. Během maskování je nezbytné spojit pásku se závěsným přípravkem vodiče tzv. C hákem a krátkými odřezky polyesterové pásky utěsnit prostor mezi čelní plochou vodiče a závěsným přípravkem. Následně jsou nalepené pruhy pásky oříznuty žiletkovým nožem po vnější obvodové hraně vodiče tak, aby kopírovaly vnější obvodovou hranu vodiče. Při maskování je také přelepen čárový kód na vnější ploše vodiče pruhem 20 mm široké polyesterové pásky a taktéž oříznut žiletkovým nožem dle vnějších rozměrů čárového kódu [25,30,36].



Obr. 4.3 Maskování vodičů. a), b) lepení pruhů polyesterové pásky, c) ořezání pruhů pásky, d) utěsnění závěsného přípravku, e) přelepení čárového kódu pruhem polyesterové pásky, f) zamaskovaný vodič, g) navěšený vodič.

4.3 Časová analýza maskování pouzder (trubek) a vodičů

Pracnost maskování je dána jeho časovou náročností, která je závislá na rozsahu maskovaných ploch a způsobu aplikace maskovacích přípravků, resp. dílčích úkonech celého procesu. Pro stanovení časové náročnosti stávajícího způsobu maskování byla provedena časová analýza zahrnující pět vstupních vzorků s předepsanými úkony maskování dle pracovní instrukce 2GPH000079, viz 4.1 *Maskování pouzder* (instrukce 2GPH000079 není součástí příloh z důvodu ochrany interních materiálů firmy ABB). Z naměřených hodnot byl následně stanoven průměrný čas zamaskování jednoho kusu pouzdra (trubky), resp. vodiče, který byl porovnán se zavedenými normativními časy. Ty jsou dány prodlevou mezi chodem jednotlivých navěšovacích nosníků, které jsou řízeny výrobním taktem poloautomatické lakovací linky. Například normovaný čas maskování vodiče činí tři minuty, ale časová prodleva je padesát minut, tedy využití maskovacího pracovníka na tuto operaci je pouze 6 %. Analýza byla provedena v průběhu pravidelné návštěvy výrobních prostor během zimního semestru od 21. 9. do 18. 12. 2016, měřením a zaznamenáváním časů do *Formuláře časové analýzy maskování vodičů*, viz příloha 7, resp. *Formuláře časové analýzy maskování pouzder (trubek)*, viz příloha 8.

Výsledky časové náročnosti maskování pěti vybraných vzorků (pouzder, resp. trubek a vodičů) jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4.1 Časová náročnost maskování pouzder (trubek) a vodičů.

Maskovaná součást	Čas [min.]						
	Číslo vzorku					Průměr na 1 ks	Normativ na 1 ks [33]
	1	2	3	4	5		
Pouzdro	1,9	2,4	2,7	2,9	3,2	2,6	3,5 / 20
Vodič	2,4	2,9	3,3	3,5	4,1	3,2	3 / 20

4.4 Specifikace nejčastějších vad – komplexní analýza

Souhrnná analýza vad po aplikaci laku byla provedena v průběhu jednoho týdne od 10. 11. 2014 do 14. 11. 2014 na všech výrobních pracovních směnách (ranní, odpolední, noční), přičemž soubor dat byl získán záznamem odhalených vad vyskytujících se u všech druhů lakovaných součástí do *Formuláře o četnosti výskytu vad po lakování*, viz příloha 9. Záznam byl prováděn pod dohledem mistra směny formou vizuální kontroly během konečné úpravy součástí. Účelem analýzy bylo definování četnosti vznikajících vad u dílčích typů komponent GIS (pouzder, vodičů, tvarovek a jiných a drobných dílů), jako podklad ke stanovení kritických oblastí lakovacího procesu, resp. návrhu optimalizačních řešení vedoucí k jejich eliminaci [37].

Analýza vad byla rozdělena do dvou základních kategorií:

- vady vznikající na lakované ploše,
- vady vznikající na nelakované ploše [37].

Konkretizace vznikajících vad během procesu lakování s určitou opakovatelností jejich výskytu na lakovaných plochách všech druhů součástí jsou uvedeny s charakteristickým popisem v následující tabulce.

Tab. 4.2 Konkretizace vad vznikajících na lakovaných plochách [37].

Vada	Definice
Záprach	Konzistentní vrstva nebo skvrny částic PNH na nelakovaných plochách (těsnících, dosedacích apod.)
Nálitek	Výrazně zvýšená vrstva laku nad rámec tloušťky lakované vrstvy vznikající zejména na okrajích či hranách maskovacích přípravků
Špičky na lakované ploše	Nedefinované nečistoty zalakované ve vrstvě laku
Schodek laku	Ostrý přechod mezi lakovanou a nelakovanou plochou

Konkretizace vznikajících vad během procesu lakování s určitou opakovatelností výskytu na nelakovaných plochách všech druhů součástí, jsou uvedeny s charakteristickým popisem v následující tabulce.

Tab. 4.3 Konkretizace vad vznikajících na nelakovaných plochách [37].

Vada	Definice
Rýhy a jiné defekty	Všechny druhy mechanického poškození
Bílé mapy na ploše	Znečištění povrchu materiálu usazeninami světlého odstínu
Černé mapy na ploše	Znečištění povrchu materiálu usazeninami tmavého odstínu

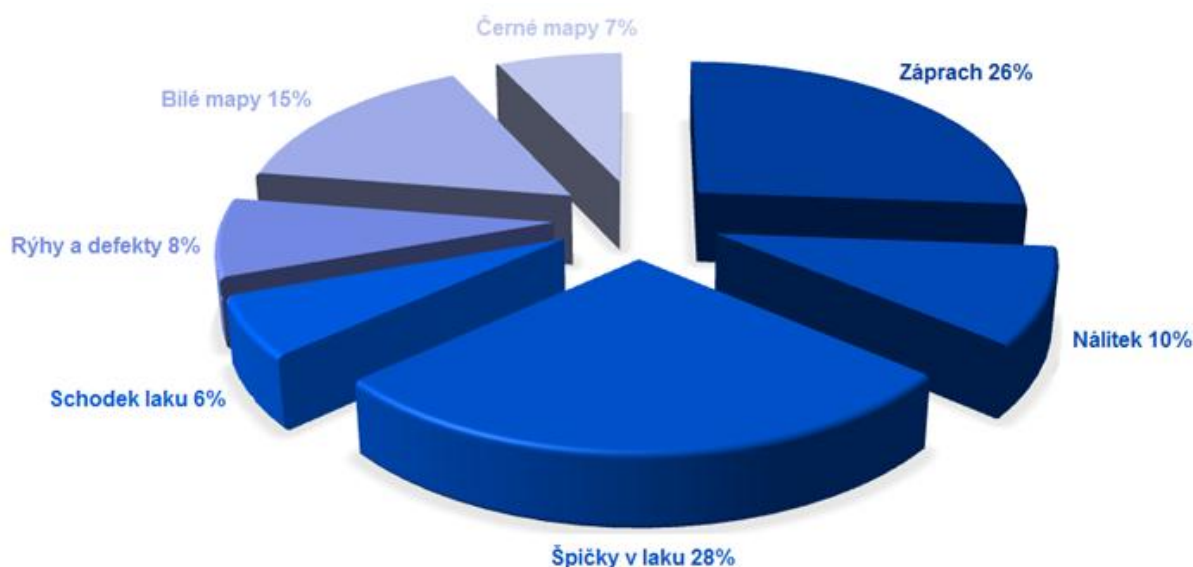
Výsledky analýzy četnosti výskytu vznikajících vad u konkrétních komponent GIS (pouzder, vodičů, tvarovek a jiných a drobných dílů) jsou uvedeny v následující tabulce. Ta je rozdělena do příslušných kategorií dle typu lakovaných GIS komponent a druhu zaznamenané vady. Z tabulky je patrné, že největší zpracováváný objem s 39 % celkové produkce je tvořen trubkami neboli pouzdry s maximální četností výskytu 31 % vad typu záprach. Uvážíme-li typovou rozmanitost komponent tvarovky, které při sběru dat nebyly dále děleny do podkategorií kolena, T-díly, křížové přechody apod., dojdeme k závěru, že druhým největším objemem lakovaných komponent jsou vodiče s hodnotou 20 % z celkové produkce, které vykazují maximální četnost výskytu 70 % vad typu špičky na lakované ploše, tedy nedefinované nečistoty zalakované ve vrstvě laku [37].

Tab. 4.4 Analýza četnosti výskytu vad po aplikaci laku [37].

Druh vady	Trubky [ks]	Trubky [%]	Vodiče [ks]	Vodiče [%]	Tvarovky [ks]	Tvarovky [%]	Ostatní [ks]	Ostatní [%]	Celkem [ks]	Celkem [%]
Záprach	73	31	2	2	69	40	11	16	155	26 %
Nálitek	26	11	4	3	8	5	20	29	58	10 %
Špičky v laku	54	23	83	70	23	13	2	3	162	27 %
Schodek laku	15	6	2	2	6	4	13	19	36	6 %
Rýhy a defekty	18	8	1	1	28	16	0	0	47	8 %
Bílé mapy	29	12	14	12	28	16	20	29	91	15 %
Černé mapy	18	8	13	11	9	5	2	3	42	7 %
Celkem [ks]	233		119		171		68		591	
Podíl celkového objemu [%]	39 %		20 %		29 %		12 %			

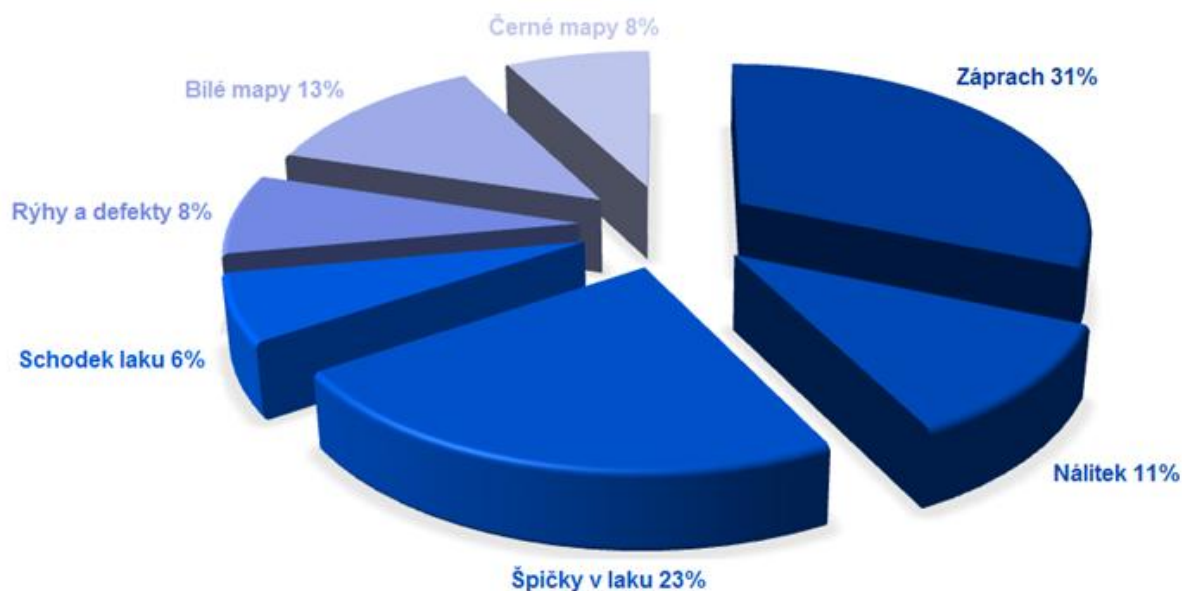
Výsledky komplexní analýzy byly také znázorněny pomocí přehledných výsečových grafů, které jsou rozděleny dle typu lakovaných komponent GIS (pouzdra, vodiče, tvarovky a jiné a drobné díly), resp. druhu zaznamenaných vad.

V následujícím grafu je znázorněna četnost výskytu charakteristických druhů vad vznikajících v procesu lakování u všech typů komponent GIS.



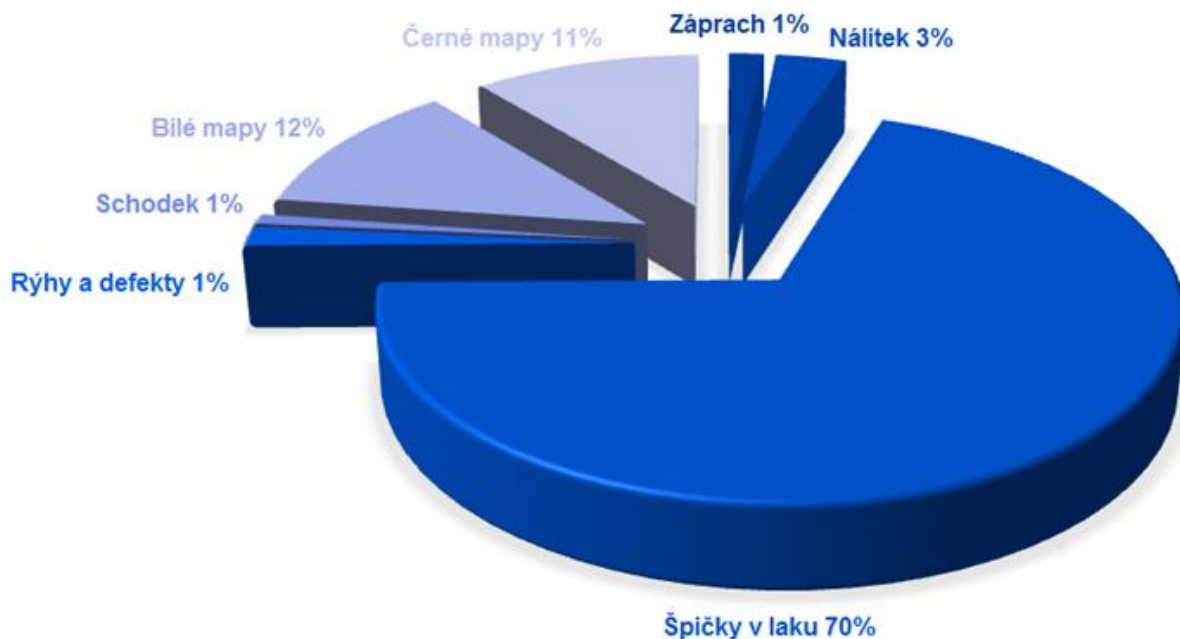
Obr. 4.4 Graf četnosti výskytu charakteristických druhů vad vznikajících u všech komponent GIS v průběhu procesu lakování [37].

Následujícím grafem je znázorněna četnost výskytu charakteristických druhů vad vznikajících v procesu lakování pouzder neboli trubek.



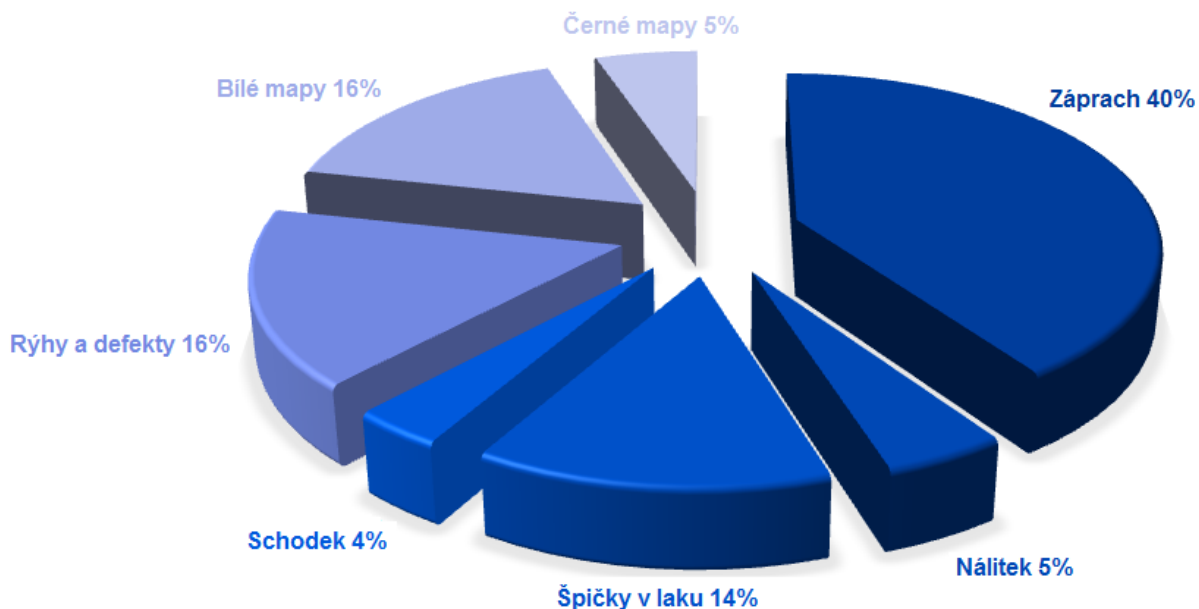
Obr. 4.5 Graf četnosti výskytu charakteristických druhů vad vznikajících u pouzder (trubek) v průběhu procesu lakování [37].

Dalším výsečovým grafem je znázorněna četnost výskytu charakteristických druhů vad vznikajících v procesu lakování vodičů.



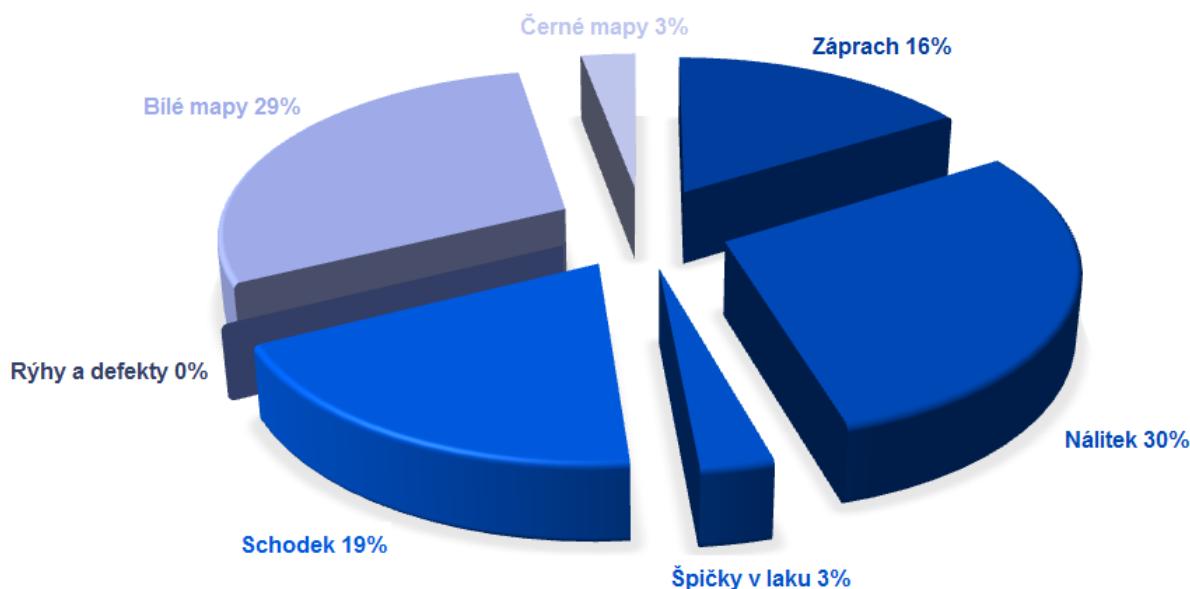
Obr. 4.6 Graf četnosti výskytu charakteristických druhů vad vznikajících u vodičů v průběhu procesu lakování [37].

Nadcházejícím grafem je znázorněna četnost výskytu charakteristických druhů vad vznikajících v procesu lakování tvarovek (kolen, T-dílů, křížových přechodů apod.).



Obr. 4.7 Graf četnosti výskytu charakteristických druhů vad vznikajících u tvarovek (kolen, T-dílů, křížových přechodů apod.) v průběhu procesu lakování [37].

Posledním grafem je znázorněna četnost výskytu charakteristických druhů vad vznikajících v procesu lakování jiných a drobných dílů (spojovacích a přechodových prvků vodičů a pouzder, přetlakových ventilů, přírubových a deklových součástí atd.).



Obr. 4.8 Graf četnosti výskytu charakteristických druhů vad vznikajících u jiných a drobných dílů (spojovacích a přechodových prvků vodičů a pouzder, přetlakových ventilů, přírubových a deklových součástí atd.) v průběhu procesu lakování [37].

4.5 Specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin

Na základně výše uvedené komplexní analýzy z roku 2014 vykazující největší výrobní objem, resp. četnost vad u trubek neboli pouzder (39 %) a vodičů (20 %), byla provedena podrobná studie vznikajících chyb v průběhu procesu lakování těchto komponent, definování kořenových příčin a následné stanovení eliminačních opatření (viz kapitola 5. *Návrh a realizace optimalizačních řešení*). Specifikace byla provedena seznámením se s lakovacím procesem, sběrem informací a zkušeností při pravidelné přítomnosti ve výrobních prostorách v průběhu zimního semestru od 21. 9. do 18. 12. 2016. Výstupem se stal soubor konkrétních vad, které nevznikají jako náhodné jevy, ale s určitou (měřitelnou) četností opakování, a jsou způsobeny definovatelnými příčinami. Pro konkretizaci těchto vad byly sestaven formulář analýzy *Formulář analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy vodičů*, viz příloha 4 a *Formulář analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy pouzder (trubek)*, viz příloha 5, kterými byla měřena četnost jejich opakování a časová náročnost jejich konečné úpravy. Analýza se zabývala pouze vadami vzniklými procesem lakování, resp. maskováním a funkcí přípravků k tomu užívaných. Práce se tedy dále nezabývá výskytem a příčinami vzniku vad na nelakovaných plochách vybraných součástí (pouzder a vodičů) viz Tab. 4.3 *Konkretizace vad vznikajících na nelakovaných plochách*.

Konkretizace vznikajících vad v průběhu procesu lakování pouzder neboli trubek vyskytujících se s určitou (měřitelnou) opakovatelností jsou uvedeny včetně charakteristického popisu v následující tabulce.

Tab. 4.5 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování pouzder (trubek).

Vada	Definice
Nálitek na hraně závitového otvoru	Výrazně zvýšená vrstva bílého laku nad rámec tloušťky lakované vrstvy po obvodu závitového otvoru

Záprach bílé barvy na čelní ploše příruby	Konzistentní vrstva nebo skvrny bílých částic PNH na čelní ploše příruby, převážně v okolí šroubových otvorů a vnější obvodové hrany
Záprach růžové barvy na čelní ploše příruby	Konzistentní vrstva nebo skvrny růžových částic PNH na těsnicí ploše příruby za požadovanou vzdáleností dle výkresové dokumentace 2GHV012364, viz <i>příloha 3</i>
Záprach na vnitřní ploše trubky (za maskovací záslepkou)	Konzistentní vrstva nebo skvrny růžových částic PNH na vnitřní ploše trubky za požadovanou vzdáleností dle výkresové dokumentace 2GHV012364, viz <i>příloha 3</i>
Záprach bílé barvy do růžové (bílé tečky)	Konzistentní vrstva nebo skvrny či tečky bílých částic PNH ve vrstvě růžového laku, převážně zviditelněné po vytvrzení
Poškození přechodové hrany laku na vnitřní ploše trubky	Narušení linie přechodové hrany růžového laku na vnitřní ploše trubky, převážně místní deformace
Ostrá hrana přechodu laku (schodek) na vnitřní ploše trubky	Ostrý přechod (hrana) mezi lakovanou a nelakovanou vnitřní plochou trubky (PNH růžového odstínu)
Zalakované nečistoty na vnitřní ploše trubky (špičky v laku)	Nedefinované nečistoty zalakované ve vrstvě růžového laku na vnitřní ploše trubky, převážně ve spodní části obvodu
Jiné vady	Jiné přesněji nedefinované vady vzniklé v procesu lakování

Konkretizace vznikajících vad v průběhu procesu lakování vodičů vyskytujících se s určitou (měřitelnou) opakovatelností jsou uvedeny včetně charakteristického popisu v následující tabulce.

Tab. 4.6 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování vodičů.

Vada	Definice
Špičky v laku na vnější ploše (v celé délce)	Nedefinované nečistoty zalakované ve vrstvě růžového laku na vnější ploše vodiče, v jeho celé délce
Otřep na vnější obvodové hraně čela	Ostrá hrana (otřep) nebo zvýšená vrstva růžového laku na obvodové vnější hraně čela
Záprach na postříbřené ploše	Konzistentní vrstva nebo skvrny či tečky růžových částic PNH na povrchu postříbřené plochy
Záprach na čelní ploše	Konzistentní vrstva nebo skvrny či tečky růžových částic PNH na čelní ploše
Jiné vady	Jiné přesněji nedefinované vady vzniklé v procesu lakování

V průběhu analýzy byla také vyhodnocena konkrétní četnost jednotlivých vad, přičemž výsledky jsou pro soubor pěti vybraných součástí (trubek, vodičů) uvedeny v následujících tabulkách. Analýza byla provedena v průběhu pravidelné návštěvy výrobních prostor ABB během zimního semestru od 21. 9. do 18. 12. 2016 zaznamenáváním výskytu vad do *Formuláře analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy vodičů*, viz *příloha 4*, resp. *Formuláře analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy pouzder (trubek)*, viz *příloha 5*. Z výsledků plyne,

že vady, které jsou způsobeny nízkou účinností funkce maskovacích přípravků se vyskytují u všech testovaných součástí se 100% četností výskytu a nejsou tak náhodnými jevy. Rozsah těchto vad je pak závislý na velikosti opotřebení maskovacích přípravků (deformace tvaru, ztráta pružnosti, množství nanesených vrstev laku apod.) či lidském faktoru v podobě nedodržení předepsaných postupů. Z uvedených tabulek je také patrné, že jedinou možností vedoucí k požadovanému snížení pracnosti konečné úpravy je dosažení vyšší účinnosti maskovacích přípravků, resp. eliminace vad vznikajících při aplikaci PNH na povrch součástí (trubek a vodičů).

Tab. 4.7 Analýza konkrétní četnosti výskytu vad u pouzder (trubek) po aplikaci PNH.

Zaznamenaná vada	Četnost výskytu						
	Vzorek číslo					Celkem	Celkem
	1	2	3	4	5	[ks]	[%]
Nálitek na hraně závitového otvoru	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %
Záprach bílé barvy na čelní ploše příruby	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %
Záprach růžové barvy na čelní ploše příruby	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %
Záprach na vnitřní ploše trubky (za maskovací záslepkou)	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	4	80 %
Záprach bílé barvy do růžové (bílé tečky)	NE	ANO	NE	NE	ANO	2	40 %
Poškození přechodové hrany laku na vnitřní ploše trubky	NE	NE	NE	ANO	NE	1	20%
Ostrá hrana přechodu laku (schodek) na vnitřní ploše trubky	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %
Zalakované nečistoty na vnitřní ploše trubky (špičky v laku)	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %
Jiné vady	NE	NE	NE	NE	NE	0	0 %

Tab. 4.8 Analýza konkrétní četnosti výskytu vad u vodičů po aplikaci PNH.

Zaznamenaná vada	Četnost výskytu						
	Vzorek číslo					Celkem	Celkem
	1	2	3	4	5	[ks]	[%]
Špičky v laku na vnější ploše (v celé délce)	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %
Otřep na vnější obvodové hraně čela	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	5	100 %

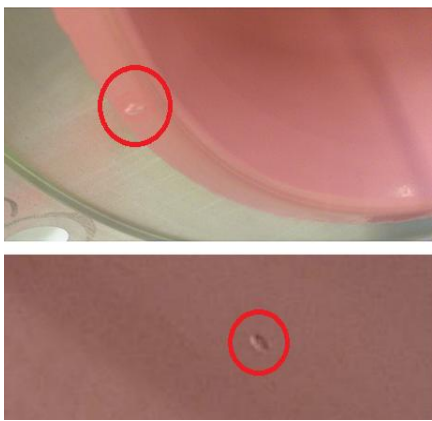
Záprach na postříbřené ploše	NE	NE	NE	NE	ANO	1	20 %
Záprach na čelní ploše	NE	NE	NE	NE	ANO	1	20 %
Jiné vady	NE	ANO	NE	NE	NE	1	20 %

4.5.1 Stanovení kořenových příčin

Příčiny vzniku vad v průběhu lakovacího procesu jsou obecně definovány jako systematické či náhodné jevy vedoucí k jejich vzniku. Náhodně vznikající vady byly v průběhu výše uvedené analýzy vyselektovány na základě neměřitelné opakovatelnosti jejich výskytu a tedy nemožnosti systematicky konkretizovat jejich příčiny. Systematicky vznikající vady vykazující značnou opakovatelnost (viz *Tab. 4.7 Analýza konkrétní četnosti výskytu vad u pouzder (trubek) po aplikaci PNH, resp. Tab. 4.8 Analýza konkrétní četnosti výskytu vad u vodičů po aplikaci PNH*) byly specifikovány v *Tab. 4.5 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování pouzder (trubek)*, resp. *Tab. 4.6 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování vodičů* a lze jim přiřadit konkrétní příčiny vzniku. Ty mohou být obecně způsobeny nesprávným technologickým postupem, nedodržením technologického postupu, lidským faktorem nebo nevhodnými či méně účinnými maskovacími přípravky. Účinnost maskovacích přípravků může být taktéž snížena nedodržením předepsaných postupů (lidský faktor – pečlivost a zodpovědnost pracovníka) či jejich znečištěním. Odstraněním nebo alespoň částečnou eliminací (některé vady není možné zcela odstranit) těchto příčin povede k omezení výskytu a rozsahu vad, tedy snížení pracnosti konečné úpravy a s tím spojených finančních nákladů.

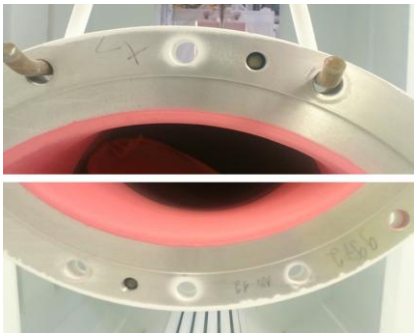
Konkrétní příčiny vzniku jednotlivých vad vyskytujících se u obou typů lakovaných součástí (pouzder i vodičů) dle *Tab. 4.5 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování pouzder (trubek)*, resp. *Tab. 4.6 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování vodičů* jsou uvedeny v následující tabulce.

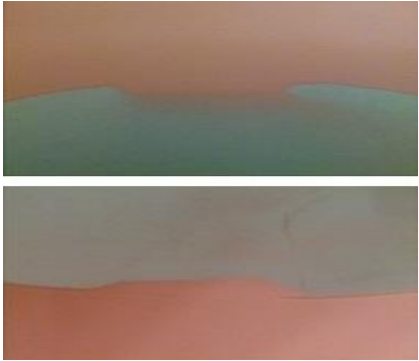
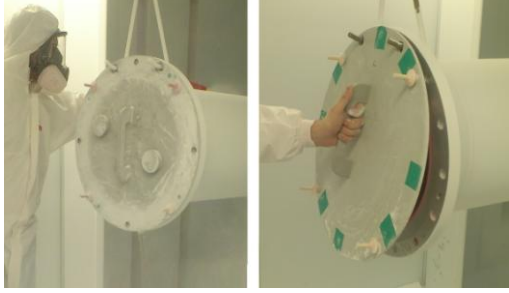
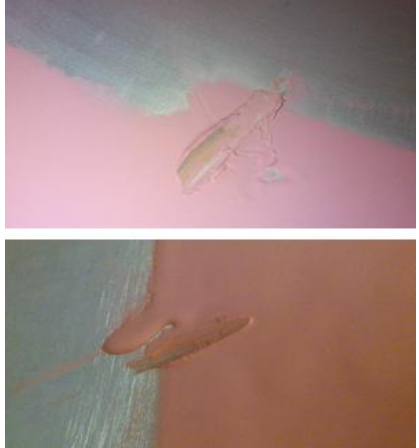
Tab. 4.9 Příčiny vzniku vad vyskytujících se v průběhu lakování pouzder (trubek) i vodičů.

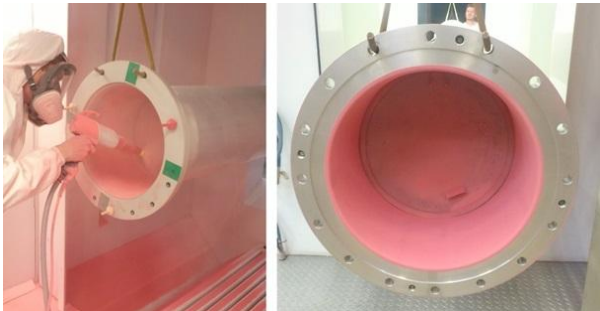
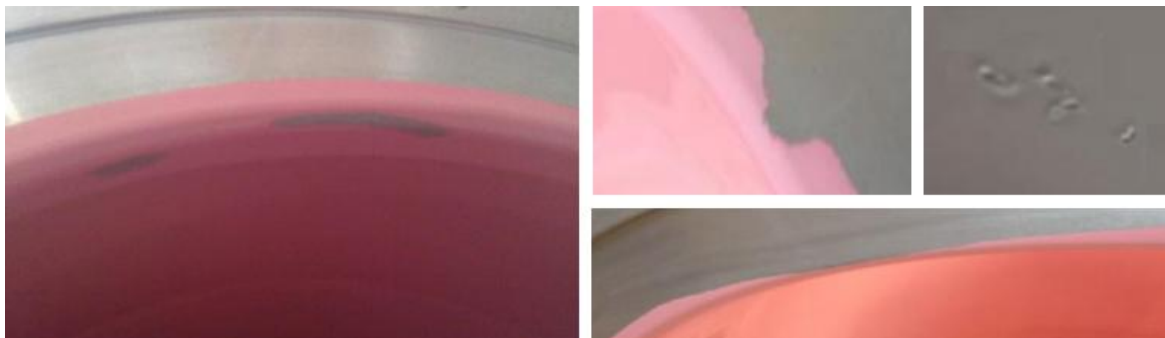
Vada	Příčina
Ilustrační foto	Ilustrační foto
Špičky v laku (zalakované nečistoty)	Nedostatečná předúprava povrchu, prašnost (obecně pracovní prostředí), největší vliv má znečištění maskovacích přípravků (opadávající částice nalakované vrstvy během manipulace s přípravkem)
	

Konkrétní příčiny vzniku jednotlivých vad vyskytujících se u lakovaných pouzder neboli trubek dle *Tab. 4.5 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování pouzder (trubek)* jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4.10 Příčiny vzniku vad vyskytujících se v průběhu lakování pouzder (trubek).

Vada	Příčina
Ilustrační foto	Ilustrační foto
Nálitek na hraně závitového otvoru	Zalakování přechodové hrany mezi maskovací zátkou a plochou přírubou, souvislá vrstva laku přecházející z plochy příruby na maskovací zátku, negativní úhel osazení zátky vytvářející záhyb po její obvodové hraně
	
Záprach bílé barvy na čelní ploše příruby	Netěsnost přípravku nepředepnutím silikonových úchytů (lidský faktor), prohnutím přípravku vlivem zvýšené teploty po chemické předúpravě nebo nevhodným skladováním (netěsnost opotřebením), opadání prášku z vnější obvodové plochy během odmaskování, víření částic PNH v lakovacím boxu po odmaskování
	
Záprach růžové barvy na čelní ploše příruby	Netěsnost přípravku nepředepnutím silikonových úchytů (lidský faktor), prohnutí přípravku (vlivem zvýšené teploty po chemické předúpravě/skladování – netěsnost opotřebením), opadání prášku z vnější/vnitřní obvodové plochy během přemaskování, víření částic prášku v lakovacím boxu během přemaskování
	

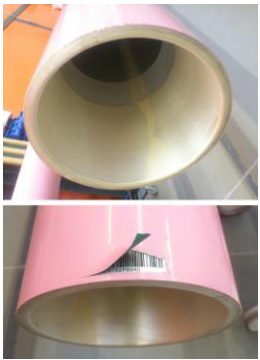
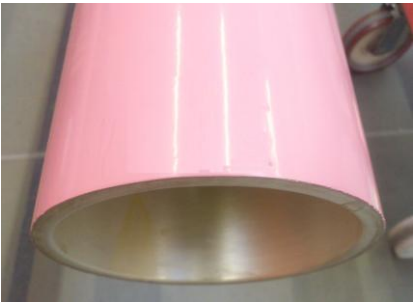
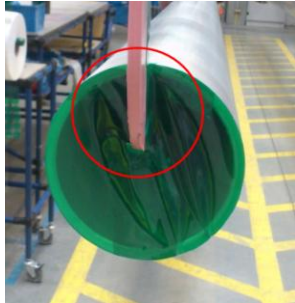
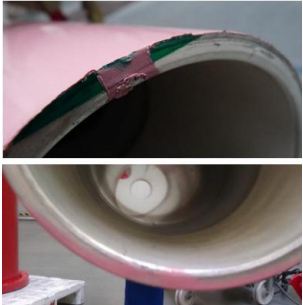
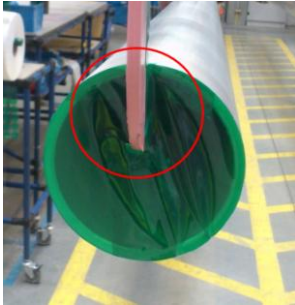
Záprach na vnitřní ploše trubky (za maskovací záslepkou)	Netěsnost maskovacích záslepek způsobená deformací, opotřebením, šířkou tolerančního pole trubky o velikosti 6 mm dle 2GHV003992, viz <i>příloha 6</i>, snížením tuhosti pružiny vypalovacími cykly, ztráta pružnosti silikonové pryže vlivem nalakovaných vrstev, nedodržením maskovacího postupu
	
Záprach bílé barvy do růžové (bílé tečky)	Opadání bílého prášku z obvodové plochy maskovacího deklu při jeho odmaskování, víření částic PNH v lakovacím boxu, nedostatečně očištěný přípravek, zaprášení při ofukování, resp. odsávání záprachu, jiná manipulace během odmaskování
	
Poškození přechodové hrany laku na vnitřní ploše trubky	Nesprávná manipulace, resp. neopatrnost pracovníka během uvolňování maskovací záslepky (lidský faktor), velká vrstva naneseného prášku v oblasti přechodové hrany mezi maskovacím přípravkem a plochou trubky
	

Ostrá hrana přechodu laku (schodek) na vnitřní ploše trubky	Výrazně zvýšená vrstva laku v oblasti přechodové hrany mezi maskovací záslepkou a plochou trubky, zalakování přechodové hrany (souvislá vrstva laku přecházející z maskovacího přípravku na plochu trubky v případě neuvolnění maskovací záslepky)
	
Zalakované nečistoty na vnitřní ploše trubky (špičky v laku)	Viz Tab. 4.9 Příčiny vzniku vad vyskytujících se v průběhu lakování pouzder (trubek) i vodičů.
Jiné vady	Nedodržení technologického postupu (lidský faktor), porucha, nedbalost pracovníků, nevyhovující parametry nabíjení částic PNH apod. (konkrétní příčina je vždy stanovena na základě studie vzniklé vady)
	

Konkrétní příčiny vzniku jednotlivých vad vyskytujících se u lakovaných vodičů dle Tab. 4.6 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování vodičů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4.11 Příčiny vzniku vad vyskytujících se v průběhu lakování vodičů.

Vada	Příčina
Ilustrační foto	Ilustrační foto
Špičky v laku na vnější ploše (v celé délce)	Viz Tab. 4.9 Příčiny vzniku vad vyskytujících se v průběhu lakování pouzder (trubek) i vodičů.
Otřep na vnější obvodové hraně čela	Zalakování sražené hrany vodiče, resp. větší vrstva naneseného prášku, přelakování přechodové hrany mezi čelní plochou vodiče a maskovací páskou (souvislá vrstva laku přecházející z vodiče na maskovací pásku vedoucí po odtržení ke vzniku ostré hrany)

	
Záprach na postříbřené ploše	Nedodržení technologického postupu maskování (lidský faktor), nedostatečné překrytí pruhů maskovací pásky, neslepení pruhů pásky, neoblepení okolí závěsného háku, trhlina v maskovací pásce
	
Záprach na čelní ploše	Nedodržení technologického postupu maskování (lidský faktor), nedostatečné překrytí pruhů maskovací pásky, neslepení pruhů pásky, neoblepení okolí závěsného háku, trhlina v maskovací pásce
	
Jiné vady	Nedodržení technologického postupu, lidský faktor, porucha, nedbalost pracovníků, nevyhovující parametry nabíjení částic PNH apod. (konkrétní příčina je vždy stanovena na základě studie vzniklé vady)
	

5 NÁVRH A REALIZACE OPTIMALIZAČNÍCH ŘEŠENÍ

Návrhy optimalizačních opatření vedoucí ke snížení konečné úpravy, resp. eliminaci vad vznikajících v průběhu procesu lakování, jsou podloženy podrobnou analýzou podmínek jejich vzniku (viz kapitola 4 *Analýza maskování jednotlivých ploch, specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin*). Optimalizační řešení jsou navrženy s ohledem na komplexnost celého procesu a přizpůsobeny technologickým podmínkám jeho dílčích operací (navěšování, chemická předúprava, sušení, maskování, lakování, vypékání a svěšování), přičemž při tvorbě návrhů bylo nezbytné uvažovat s návazností těchto operací, tedy, že se změnou maskování a přípravků k tomu určených jsou spjaty přípravky závěsné, resp. postupy navěšování, svěšování a musí být těmto návrhům přizpůsobeny nebo nově uzpůsobeny. Materiály přípravků jsou voleny dle pracovních podmínek dílčích operací, přičemž platí, že závěsné přípravky musí plnit svoji funkci i po několika pracovních cyklech bez změny efektivity, nesmí poškodit povrch součástí, musí odolávat degradačním účinkům chemických lázní předúpravy (kyselinám), vydržet vysoké teploty vytvrzovací pece (200 °C) atd. Materiály maskovacích přípravků a prvky jejich upevnění nesmí taktéž mechanicky ani jiným způsobem poškodit povrch součástí v celém průběhu lakovacího procesu a nesmí zanechávat adhezní zbytky, mastnoty, chemické stopy ani jiné nečistoty na povrchu součástí. Maskovací přípravky určené k odmaskování až po vytvrzení laku musí odolávat vysokým pracovním teplotám (200 °C) bez změny mechanických, fyzikálních i chemických vlastností. Návrhy jsou řešeny pro úplnou eliminaci nebo maximální omezení výskytu konkrétní vady u vybraných součástí, tedy pouzder neboli trubek a vodičů, přičemž dosažení úplné eliminace všech vad není z důvodu technologických podmínek možné.

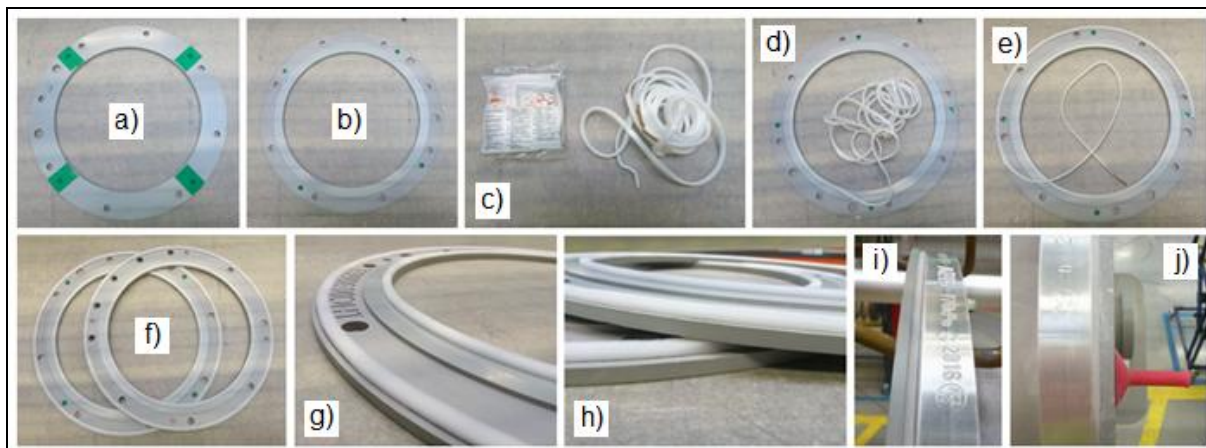
5.1 Návrh optimalizačních řešení pro lakování pouzder (trubek)

Optimalizační opatření byla zaměřena na eliminaci vad s největší četností výskytu dle provedené analýzy, viz *Tab. 4.7 Analýza konkrétní četnosti výskytu vad u pouzder (trubek) po aplikaci PNH*, a rozsahu časové náročnosti jejich konečné úpravy, resp. nákladů s tím spojených. Cílem optimalizačních opatření je tedy eliminace, resp. maximální možné omezení výskytu vznikajícího záprachu na čelní ploše příruby a vnitřní části trubky, který je způsoben netěsností maskovacích přípravků, opadáním a vířením částic PNH během přemaskování, viz *Tab. 4.10 Příčiny vzniku vad vyskytujících se v průběhu lakování pouzder (trubek)*, a je neoddelitelnou součástí stávajícího procesu lakování, tedy nastává u každého lakovaného pouzdra. Finální rozsah odstraňovaného záprachu v konečné úpravě pouzder je dán taktéž časovými možnostmi a pečlivostí pracovníka odsávajícího zaprášené PNH před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece, resp. soustavně pohybující se poloautomatickou lakovací linkou v intervalu výrobního taktu. Eliminace vznikajícího záprachu je předpokládána úpravou stávajících nebo návrhem nových maskovacích přípravků.

5.1.1 Úprava stávajících maskovacích přípravků

Prvotním návrhem optimalizačních kroků vedoucích ke snížení záprachu na čelní ploše příruby se stala úprava stávajících maskovacích přípravků (plastové příruby

i deklu), kterou mělo být docíleno absolutní utěsnění přípravku s přírubou pouzdra. Realizace návrhu byla provedena dvěma svépomocí vyrobenými (resp. upravenými) kusy od každého, které byly otestovány v reálném provozu. Úprava přípravku byla realizována oblepením jeho obvodových hran samolepicím těsněním z mikroporézní pěny o obdélníkovém profilu 9×5 mm. Ta se při osazení přípravku na přírubu pouzdra a předepnutí silikonových úchytů elasticky zdeformuje, čímž dojde k dokonalému utěsnění jejího kontaktu s plochou příruby.

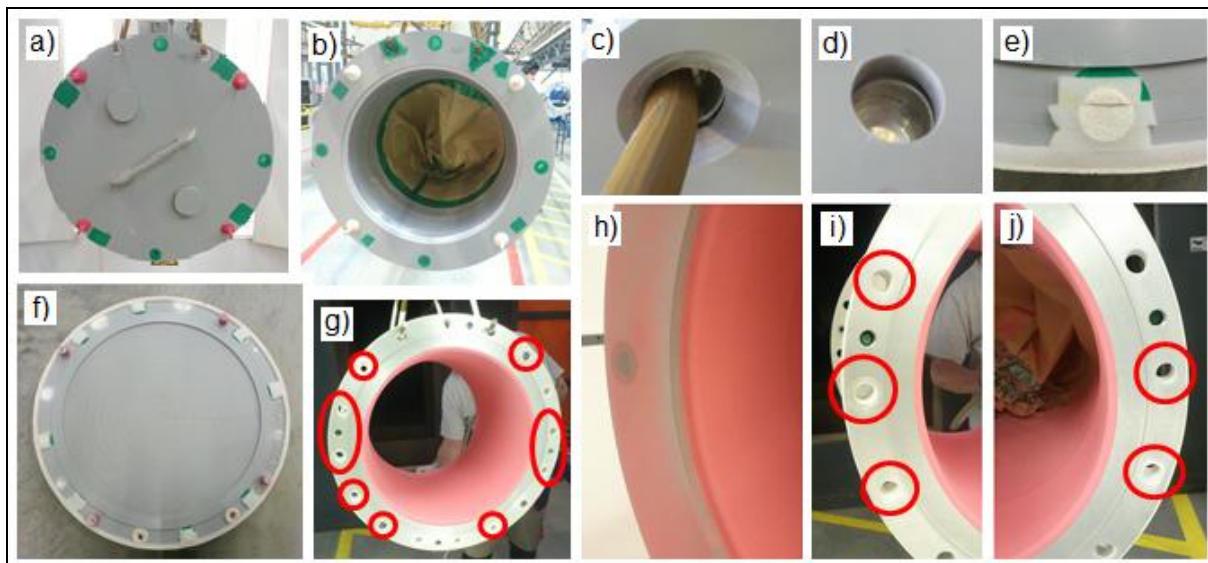


Obr. 5.1 Maskovací příruba s těsněním – výroba prototypu. a), b) maskovací příruba, c) těsnění, d), e) lepení těsnění na obvodové hrany příruby, f), g), h) příruba s nalepeným těsněním, i) osazení příruby na pouzdro, j) zajištění silikonovými úchyty.

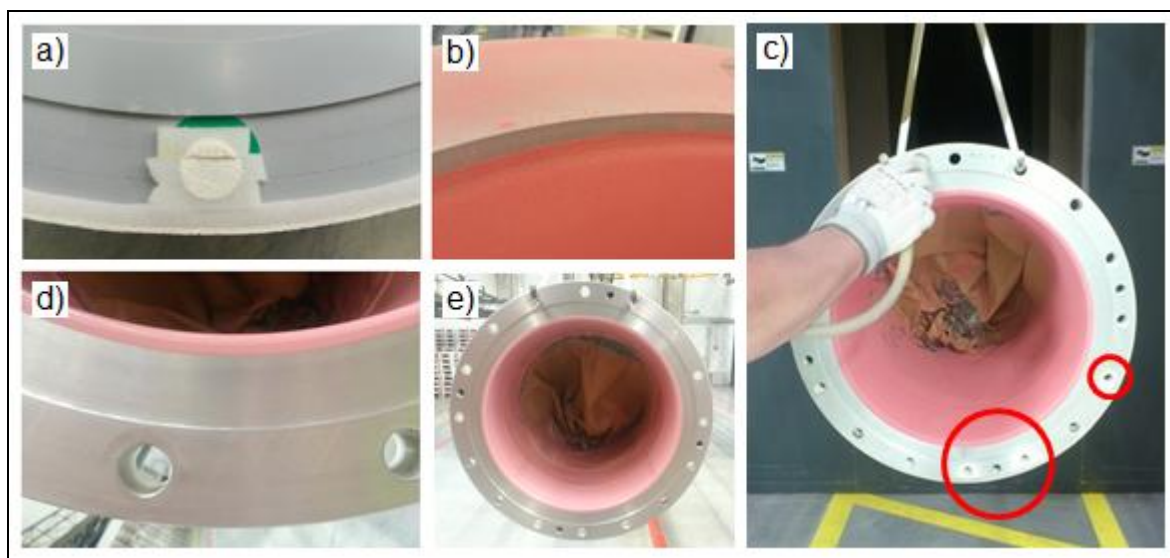
V průběhu testování byla odhalena konstrukční závada, kterou byl způsoben masivní záprach v oblasti šroubových otvorů (vyšší než u stávajícího řešení). Ten byl způsoben odsazením přípravku od povrchu čelní plochy příruby o tloušťku zdeformovaného těsnění, kvůli čemuž naprašovaný prášek pronikal do těchto míst. Závada u plastového prstence pro maskování pouzdra v průběhu aplikace růžového laku *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, na plochy tzv. Typu A byla odstraněna přelepením nežádoucích otvorů polyesterovou páskou, kterou bylo docíleno eliminace růžového záprachu a kvalitní přechodová hrana laku na těsnicí ploše příruby. Pro odstranění závady u maskovacího deklu bylo nezbytné nejen přelepit nežádoucí otvory polyesterovou páskou, ale také doplnit těsnění k jejich obvodovým hranám jako zábranu proti průniku bílého prášku *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, na těsnicí plochy pouzdra ze zadní strany jeho příruby. Pruhem samolepicího těsnění nebo částmi polyesterové pásky byly také utěsněny otvory závěsných háků, viz *Obr. 5.2 Maskovací příruba s těsněním - konstrukční vady prototypu*.

Odstraněním netěsnosti maskovacího přípravku bylo docíleno snížení výskytu bílého záprachu na čelní ploše příruby pouzdra (ne však více jako u stávajícího řešení), nikoli jeho úplné odstranění, tedy vznikající záprach musí být nadále před vstupem do vytvrzovací pece (po odmaskování) odsáván sací hadicí. Nevýhodou realizovaného prototypu je ulpívání částic PNH v pórech těsnicí pěny, jimiž byl během opakovaného použití znečišťován povrch lakovaného pouzdra, nízká účinnost a velmi krátká životnost. Pro zvýšení účinnosti a životnosti by bylo pěnové těsnění nahrazeno plošnou (po celé ploše přípravku) silikonovou pryží, čímž by však nebylo zabráněno vzniku záprachu během přemaskování a znečištění přípravku PNH (bylo by nutné dbát na kvalitní čištění, které není v průběhu taktu poloautomatické lakovací linky reálné). Z těchto důvodů byl optimalizační návrh úpravy stávajících maskovacích přírub zavržen. Náklady na výrobu prototypu činily

125 Kč (pořizovací cena těsnění), viz *Obr. 5.3 Maskovací příruba s těsněním – testování.*

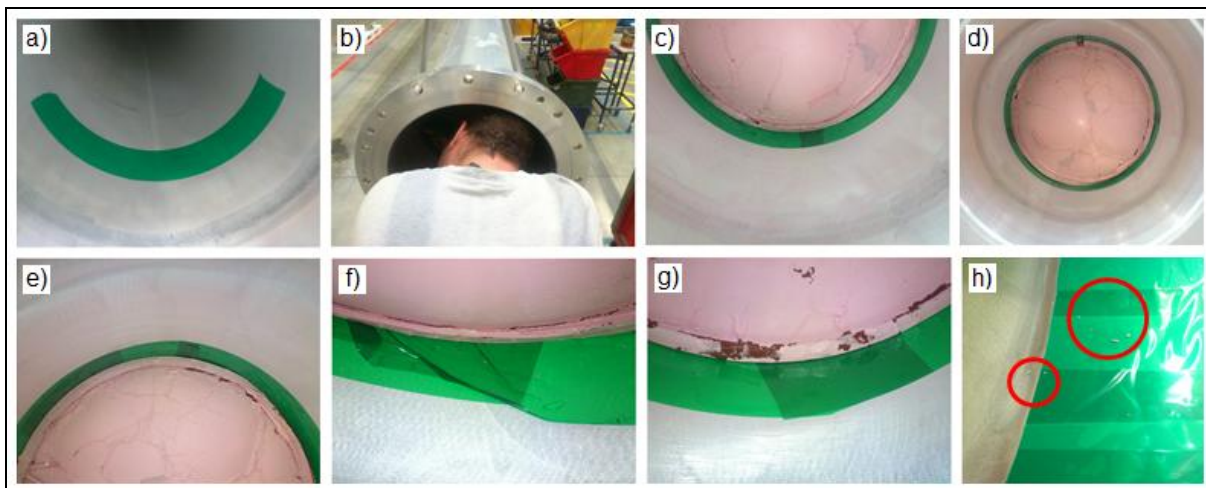


Obr. 5.2 Maskovací příruba s těsněním – konstrukční vady prototypu. a), b) přelepení otvorů páskou, c), d) netěsnost v oblasti šroubových otvorů odsazením příruby, e), f) utěsnění otvorů, g), i), j) záprach vlivem netěsnosti, h) princip funkce těsnění.



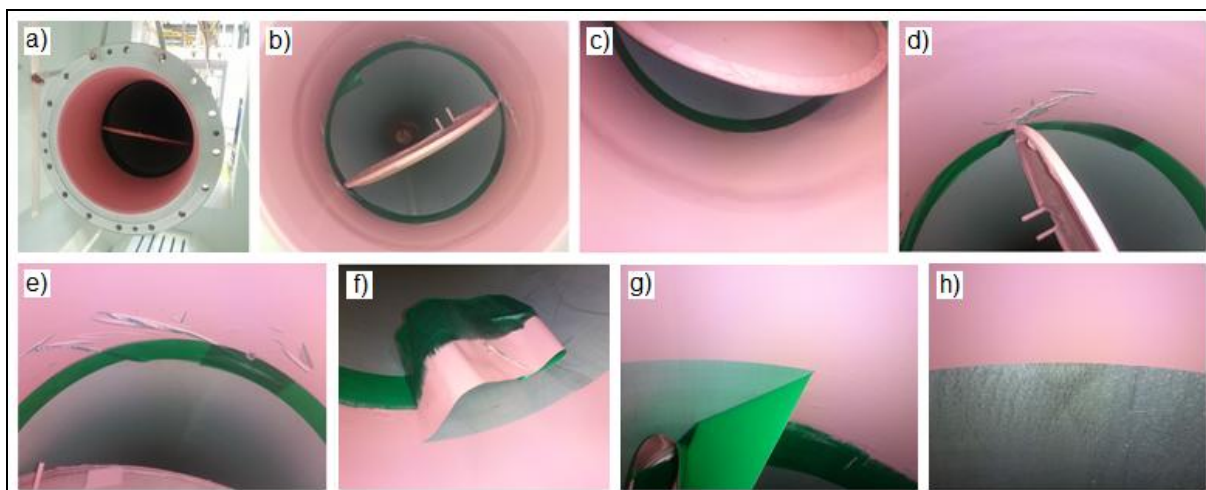
Obr. 5.3 Maskovací příruba s těsněním – testování prototypu. a), b) ulpěné částice PNH v pórech těsnění, c) odsávání vzniklého záprachu, d), e) přechodová hrana růžového laku na čelní ploše příruby pouzdra.

Pro odstranění záprachu na vnitřní ploše trubky bylo navrženo podlepení silikonové záslepky pruhem maskovací pásky, kterou bude zachycen prošlý prášek v místech netěsností a odstraněn náletek na přechodové hraně přípravku. Realizace návrhu byla provedena lepením kusů polyesterové maskovací pásky po vnitřním obvodu trubky v požadované vzdálenosti dle výkresové dokumentace 2GHV012364, viz *příloha 3*, přičemž bylo nutné dbát na plynulé navázání dílčích kusů pásky a její překrytí s minimálním 20 mm přesahem. Kvalita nalepení pásky, resp. vzniklé přechodové hrany laku, je zcela závislá na pečlivosti pracovníka, který maskování provádí. Po nalepení pásky je do otvoru pouzdra, na střed šířky polyesterové pásky vsunuta stávající silikonová maskovací záslepka.



Obr. 5.4 Maskovací záslepka s podlepenou polyesterovou páskou – testování.
a), b) lepení pruhů pásky, c), d), e) nalepená páska se silikonovou záslepkou,
f), g) nevyhovující návaznost nalepených pruhů pásky, h) opadané částice laku ze
silikonové záslepky.

Nalepením pásky byla docílena úplná eliminace záprachu za maskovací záslepkou, přičemž zásadní nevýhodou tohoto návrhu je pracnost, která by mohla být snížena návrhem aplikačního přípravku pásky. Další nevýhodou je nalakování maskovací záslepky a vznik vad s tím spojených, tedy opadávání částic laku, ztráta její pružnosti, nutnost nákladného odlakování a degradace vlivem vytvrzovacích cyklů. Poslední nevýhodou je vytvoření ostrého přechodu laku po odtržení pásky, který je nutné srazit brusnou houbou MEDIUM (resp. FINE) během konečné úpravy. Z těchto důvodů byl tento optimalizační návrh s podlepením silikonové záslepky polyesterovou páskou zavrhnut, přičemž prodloužení maskovacích časů vlivem pracnosti aplikace pruhů pásky nebyla závadou, protože taktem lakovací linky je dle normativních časů pro tuto operaci stanoven interval 20 min. Testování návrhu nevyžadovalo nadbytečné investice (páska je standardní maskovací pomůckou výrobního procesu).



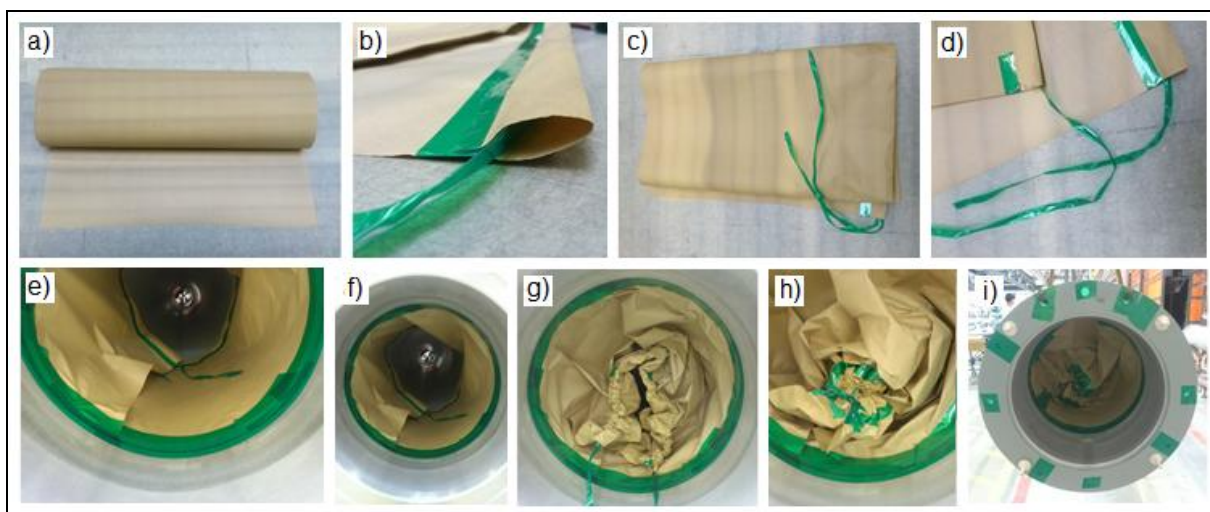
Obr. 5.5 Maskovací záslepka s podlepenou polyesterovou páskou – výsledky testování.
a) nanesený prášek, b), c) vytvrzení laku, d), e) zalakovaná páska, f), g) odmaskování,
h) výsledná přechodová hrana laku bez vzniklého záprachu.

5.1.2 Návrhy nových maskovacích přípravků

Návrhy nových maskovacích přípravků vedoucích k eliminaci vad vznikajících v procesu lakování vycházejí z výsledků testování konstrukčně upravených stávajících maskovacích přípravků, viz 5.1.1 *Úprava stávajících maskovacích přípravků*, tedy efektivního krytí nelakovaných ploch polyesterovou páskou jako jediného způsobu k dosažení nulového záprachu. Z těchto důvodů jsou uvedené návrhy řešeny jako jednorázové samolepicí přípravky, které budou vyrobeny z recyklovatelného materiálu s ohledem na provozní podmínky lakovacího procesu. Jejich zásadní výhoda je spatřena nejen v eliminaci záprachu, ale také vad vznikajících vlivem zalakování přípravků několika vrstvami vytvrzeného PNH. Další výhodou je odstranění údržby, kontroly, obnovy a zejména nákladné odlakování maskovacích přípravků, které je prováděno specializovanou externí firmou mimo prostory ABB a vede k degradaci, snížení životnosti a funkčnosti maskovacích materiálů působením vysoce agresivních chemických prostředků.

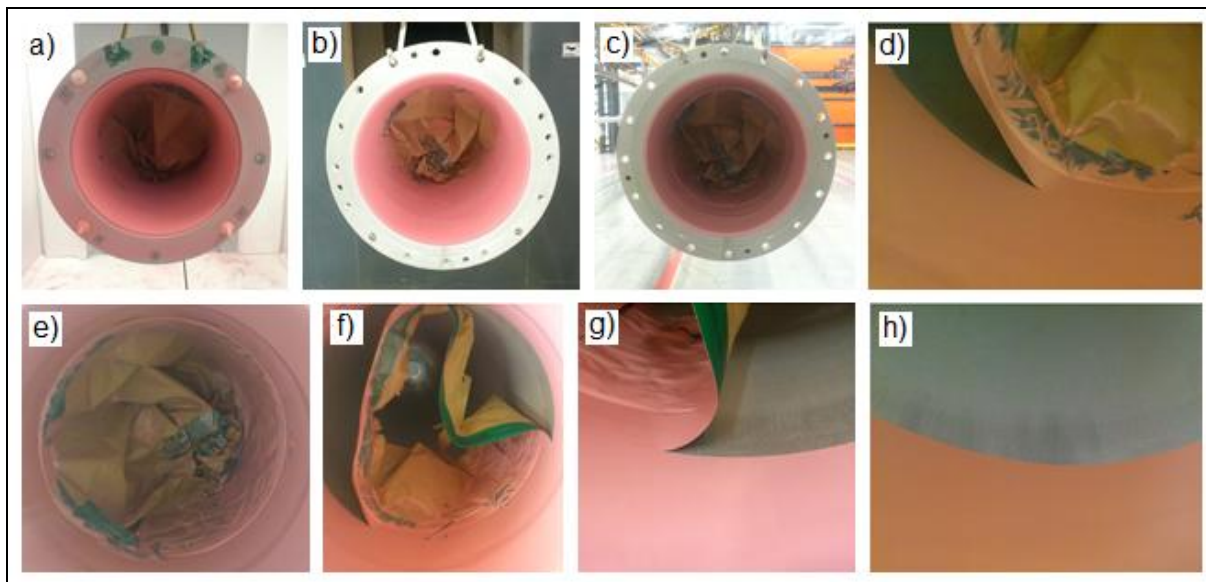
5.1.2.1 Maskování vnitřní plochy trubky pruhem maskovacího papíru

Maskovací přípravek je navrhnut jako pruh maskovacího papíru o délce obvodové hrany vnitřní plochy pouzdra, tedy 1,2 m s přídavkem na překrytí o délce 20 mm se samolepicí páskou na jedné podélné straně a zahnutým lemem s motouzem (provázkem) k jeho stažení na straně druhé. Samolepicí oboustranná páska, lepidlo i motouz použitá pro výrobu tohoto návrhu musí odolávat vytvrzovacím teplotám 200 °C, přičemž nesmí zanechat adhezni a chemické zbytky na povrchu součásti. Pro výrobu testovacího prototypového kusu byl použit standardní maskovací papír a polyesterová páska různých šířek (60, 20 a 10 mm). Prototypový kus byl vyroben ustřížením potřebné délky maskovacího papíru (1,22 m), zahnutím jedné z jeho podélných hran v šířce 20 mm a přelepením záhybu maskovací páskou šířky 10 mm. Motouz byl nahrazen slepeným pruhem maskovací pásky o šířce 20 mm, který byl provlečen skrz dutinu vytvořeného lemu. Maskování spočívá v nalepení prototypu na vnitřní plochu pouzdra do požadované vzdálenosti dle 2GHV012364, viz příloha 3, stažení papíru prostřednictvím motouze a zavázání a odstřížení jeho přebývajících částí. Při testování prototypu byla pro nalepení papíru na vnitřní plochu trubky použita maskovací polyesterová páska o šířce 60 mm.



Obr. 5.6 Maskování vnitřní plochy pouzdra pruhem maskovacího papíru – výroba prototypu.
a) ustřížení papíru, b) vytvoření lemu, c), d) maskovací přípravek, e), f), g), h) maskování, i) zamaskované pouzdro.

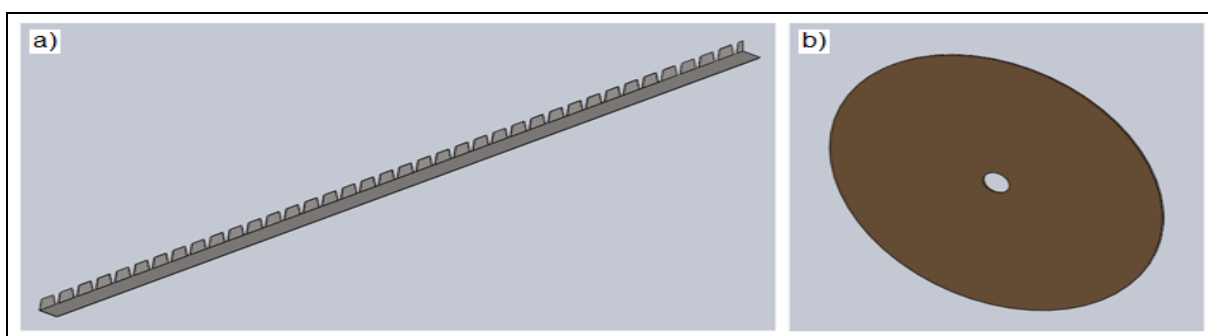
Výsledkem testování bylo úplné odstranění záprachu na vnitřní ploše trubky a vytvoření jednotné přechodové hrany laku, přičemž následná konečná úprava spočívala pouze ve sjednocení povrchu a sražení přechodové hrany laku brusnou houbou MEDIUM, resp. FINE. Nevýhodou návrhu je relativně velká spotřeba papíru, pracnost maskovacího postupu a ostrá přechodová hrana laku. Na základě těchto důvodů byla realizace tohoto optimalizačního řešení zamítnuta. Výroba prototypu, který byl vyroben ze standardních maskovacích pomůcek stávajícího procesu, nevyžadovala žádné nadbytečné investice.



Obr. 5.7 Maskování vnitřní plochy pouzdra pruhem maskovacího papíru – výsledky testování. a) nanesené PNH, b), c), d), e) vytvrzené PNH, f), g) odmaskování, h) výsledná přechodová hrana laku bez vzniklého záprachu.

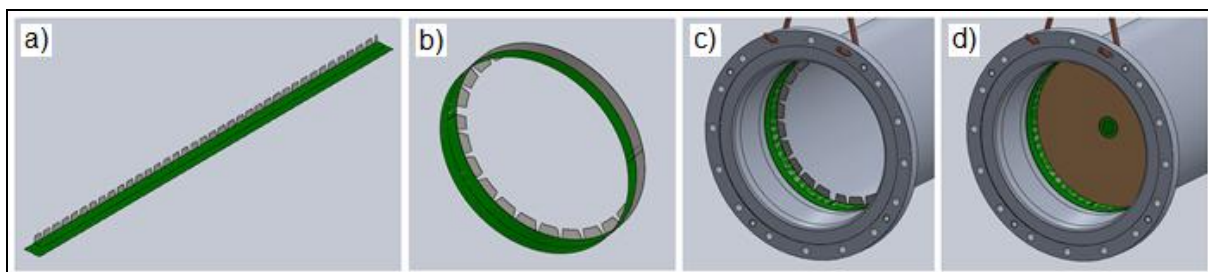
5.1.2.2 Maskování vnitřní plochy trubky maskovací páskou s kartonovým víkem

Návrh maskování vnitřní plochy pouzdra užitím maskovací pásky s kartonovým víkem byl vytvořen taktéž s návazností na výše uvedené testování, viz kapitola 5.1.1 *Úprava stávajících maskovacích přípravků*, kde bylo k odstranění záprachu použito podlepení silikonové záslepky maskovací páskou. Cílem tohoto návrhu je snížení pracnosti při aplikaci polyesterové pásky a eliminace vad, resp. aspektů spojených s vícenásobným nalakováním záslepky, tedy s náročným a nákladným odlakováním, degradací opotřebením, ztrátě funkčnosti a odlupování částic laku vedoucích k tvorbě nežádoucích špiček. Snížení pracnosti je docíleno aplikačním přípravkem usnadňujícím lepení polyesterové pásky na vnitřní plochu trubky, který je navržen z plechového pásu s tvarovou pamětí, resp. pružinové oceli šířky 40 mm a délky obvodové vzdálenosti vnitřní hrany trubky, tedy 1193 mm. Pružinový plech je normalizovaným polotovarem firmy ITS IDEAL-Trade Service (www.hangon.cz) zabývající se maskovací technologií. Do jedné z podélných hran pružinového pásu jsou vyseknuty zubové profily výšky 10 mm, které jsou následně ohnuty v úhlu 90° tak, aby byl vytvořen hranový lem, který je následně určen jako opěra kartonového víka v průběhu maskování. Kartonové víko je vyrobeno jako kruhová výseč se středovým otvorem z recyklovaného papíru, resp. kartonu s gramáží 250 g·m⁻², a silikonovým povlakem zaručující zvýšenou tepelnou odolnost (min. 200 °C).



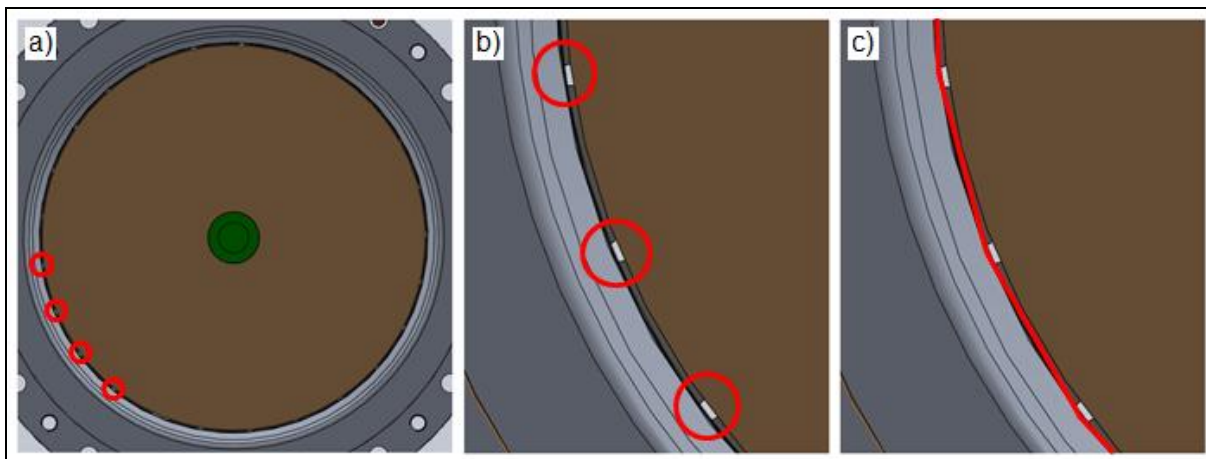
Obr. 5.8 Maskování vnitřní plochy pouzdra maskovací páskou s kartonovým víkem – maskovací přípravky. a) pružinový plech, b) kartonové víko.

Aplikace maskovací pásky šířky 60 mm se provádí nalepením jejího pruhu na plochu pružinového plechu v celé délce s 20 mm přídavkem na jednom konci pro překrytí spoje. Pružinový přípravek s páskou je následně rukama obsluhy stočen do kruhu resp. spirály tak, aby nedošlo ke slepení pásky, a vložen do vnitřního prostoru pouzdra. V požadované vzdálenosti dle 2GHV012364, viz *příloha 3*, je pružinový pás rozvinut po obvodu vnitřní plochy, čímž dojde vlivem jeho elastické pružnosti k přichycení maskovací pásky na vnitřní ploše trubky, přičemž páska je dodatečně dokonale přilepena jejím uhlazením rukou obsluhy. V posledním kroku maskování je vsunuto kartonové víko, které je opřeno o zubové profily pružinového pásu, a přelepen středový otvor kartonové výseče kruhovou polyesterovou páskou. Středový otvor je určen jako technologický prvek usnadňující maskování, odmaskování, skladování na středovém trnu a zejména pak k odvodu vzduchu vnitřní části trubky během vytvrzování, přičemž před vstupem do pece musí být odlepena nebo proříznuta jeho krycí páska z důvodu cirkulace a expanze ohřátého vzduchu ve vytvrzovací peci. Kartonové víko je navrženo k jednorázovému užití, tedy po odmaskování je určeno k likvidaci, resp. recyklaci.



Obr. 5.9 Maskování vnitřní plochy pouzdra maskovací páskou s kartonovým víkem – postup maskování. a), b), c) lepení pásky, d) vsunutí víka a přelepení středového otvoru.

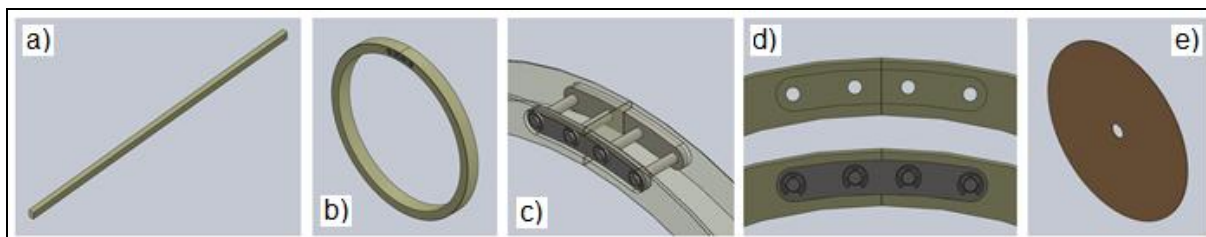
Výhodou tohoto návrhu je usnadnění aplikace maskovací pásky (snížení pracnosti), eliminace vad zalakovanou silikonovou záslepkou a odstranění jejího odlakování. Další výhodou je opakovatelné použití aplikačního přípravku (pružinového pásu) bez zalakování a nutnosti údržby s tím spojené. Nevýhodou je pak netěsnost přechodové hrany polyesterové pásky s kartonovým víkem (vznik záprachu), která je způsobena šířkou tolerančního pole vnitřního průměru trubky ± 3 mm dle 2GHV003992, viz *příloha 6*, a členitou deformací pružinového pásu, která je zapříčiněna délkou zubových výseků a netvoří tak hladký kruh, ale pravidelný mnohohran. Z důvodu těchto nevýhod plynoucích k nízké efektivitě navrženého řešení byl tento návrh zamítnut před realizací funkčního prototypu. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D dokumentaci.



Obr. 5.10 Maskování vnitřní plochy pouzdra maskovací páskou s kartonovým víkem - nevýhody návrhu. a), b) netěsnost přípravku, c) členitá deformace pružinového plechu.

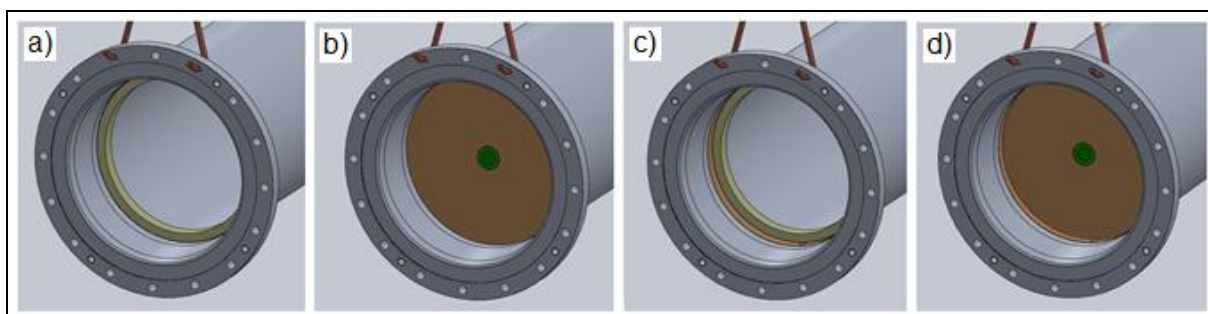
5.1.2.3 Maskování vnitřní plochy trubky silikonovou obručí s kartonovým víkem

Optimalizační řešení s užitím silikonové obruče vzniklo z výše uvedeného návrhu, viz 5.1.2.2 *Maskování vnitřní plochy trubky maskovací páskou s kartonovým víkem*. Jeho cílem je odstranění netěsnosti přechodové hrany maskovací pásky s kartonovým víkem, resp. vznikajícího záprachu. Návrh je uvažován ve dvou testovacích provedeních, a to s a bez užití lepicí oboustranné pásky. Jako náhrada pružinového plechu pro aplikaci pásky byla navržena silikonová obruč o průměru horního mezního rozměru vnitřního průměru trubky, tedy 385 mm dle 2GHV003992 tak, viz *příloha 6*, aby po jejím vsunutí došlo k částečné elastické deformaci, resp. průměrovému stlačení, čímž by bylo dosaženo utěsnění kontaktní plochy mezi obručí a trubicí. Materiál obruče je navržen ze silikonové pryže KSIL GP60 od firmy GUMEX, spol. s r.o. pro svoje dobré mechanické vlastnosti a odolnost teplotám od -60 do +230 °C. Výroba prototypového kusu byla uvažována z pruhu silikonové pryže šířky 30 mm odříznutého z polotovaru tloušťky 20 mm pro maximální finanční úsporu, protože cena 1 m² tohoto profilu činí 13 122 Kč bez DPH. Komplikací při výrobě prototypu je nemožnost slepení konců obruče z důvodu nízké tepelné odolnosti užívaných lepidel s maximální výdrží 70 °C. Z tohoto důvodu byla navržena mechanická ocelová spojka pro spojení silikonového pásu v kruhovou obruč a otestování prototypového kusu. Spojka je složena ze čtyř válcových čepů s drážkou pro pojistný třmenový kroužek dle ČSN 02 2929, třmenových kroužků a dvou plechových půlměsíců, přičemž konce silikonového pásu jsou opatřeny vybráním se čtyřmi otvory pro její osazení. Cena silikonového pásu byla firmou GUMEX, spol. s r.o. stanovena na 394 Kč bez DPH. Kartonové víko bylo bez změny přežato z předcházejícího návrhu, viz *kapitola 5.1.2.2*.



Obr. 5.11 Maskování vnitřní plochy pouzdra silikonovou obručí s kartonovým víkem – maskovací přípravky. a) silikonový pruh, b) obruč, c), d) ocelová spojka, e) kartonové víko.

Maskování se provádí vsunutím silikonové obruče do vnitřního otvoru trubky v požadované vzdálenosti dle výkresové dokumentace 2GHV012364, viz *příloha 3*, a překrytím tohoto otvoru kartonovým víkem, které je opřeno o čelní plochu obruče. Středový otvor kartonového víka je přelepen kruhovou polyesterovou páskou jako v předcházejícím případě, viz 5.1.2.2 *Maskování vnitřní plochy trubky maskovací páskou s kartonovým víkem*. Utěsnění kontaktní plochy obruče, resp. kartonového víka s pouzdem je docíleno předeprnutím obruče vlivem elastické deformace průměru, které způsobeno jejím uložením s přesahem. Ve druhém testovacím provedení je uvažováno podlepení silikonové obruče oboustrannou lepicí páskou pro docílení dokonalého utěsnění přechodové hrany mezi obručí a vnitřní plochou trubky, resp. vytvoření rovnoměrné přechodové hrany laku. Pro tento případ byla navržena transferová oboustranná lepicí páska 904 od firmy 3M s akrylovým lepidlem do 240 °C. Páska je nalepena na obvodovou plochu obruče před jejím vsunutím do trubky, přičemž je nezbytné taktéž odlepit část krycí fólie lepicí vrstvy tak, aby po umístění obruče do požadované vzdálenosti tahem této fólie došlo k jejímu odstranění v celém obvodu. Kartonové víko je u obou variant návrhu určeno k jednorázovému užití jako v předcházejícím návrhu, viz 5.1.2.2 *Maskování vnitřní plochy trubky maskovací páskou s kartonovým víkem*.



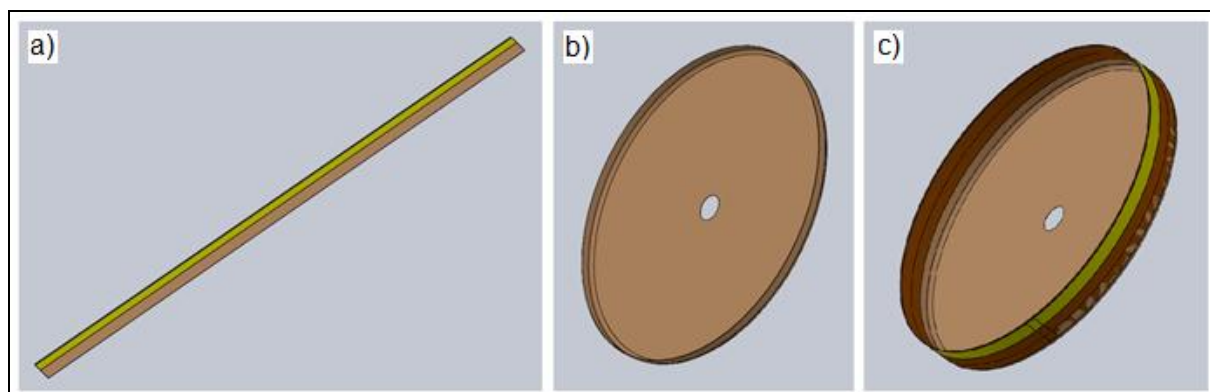
Obr. 5.12 Maskování vnitřní plochy pouzdra silikonovou obručí s kartonovým víkem – postup maskování. a), vsunutí silikonové obruče, b) zatěsnění otvoru trubky kartonovým víkem, c) nalepení obruče oboustrannou lepicí páskou do trubky, d) zatěsnění otvoru trubky kartonovým víkem.

Nevýhodou návrhu bez užití oboustranné lepicí pásky je vznik nálitku (výrazně zvýšené vrstvy laku nad rámec tloušťky lakované vrstvy) v oblasti přechodové hrany kartonového víka a vnitřní plochy trubky. Další nevýhodou je možnost vzniku záprachu vlivem místní výrazné deformace, resp. prohnutí silikonové obruče, která může nastat při krajní poloze mezního rozměru vnitřního průměru trubky dle 2GHV003992, viz *příloha 6*, tedy bude-li průměr trubky 377 mm, přičemž průměr obruče je 385 mm. Možnost deformace obruče je dána tuhostí silikonové pryže 60° sh (Shoreho). Výhodou druhé varianty s užitím oboustranné lepicí pásky je vytvoření dokonale těsného spoje a kvalitní přechodové hrany laku. Značná nevýhoda tohoto návrhu je dána šířkou tolerančního pole trubky, dle 2GHV003992, viz *příloha 6*, o velikosti 6 mm, kterou je výrazně ovlivňována těsnost silikonové obruče, která musí být navržena pro maximálně možný rozměr trubky, tedy 383 mm. Naopak bude-li trubka vyrobena na hranici dolního rozměru, resp. s průměrem 377 mm, nebude možné použít oboustrannou lepicí pásku z důvodu velkého přesahu obruče, čímž bude znemožněno odstranění krycí fólie oboustranné pásky (trhala by se). Poslední nevýhodou návrhu je vysoká pořizovací cena silikonové obruče, jako kruhového výřezu bez užití mechanických spojek, která je dána cenou silikonového polotovaru tloušťky 20 mm a to 13 122 Kč bez DPH. Z důvodu těchto nevýhod vedoucích k nízké efektivitě navrženého řešení byl tento

návrh zamítnut před realizací funkčního prototypu. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D i výkresovou dokumentaci, která není z důvodu jejího rozsahu součástí práce.

5.1.2.4 Maskování vnitřní plochy trubky kartonovou záslepkou

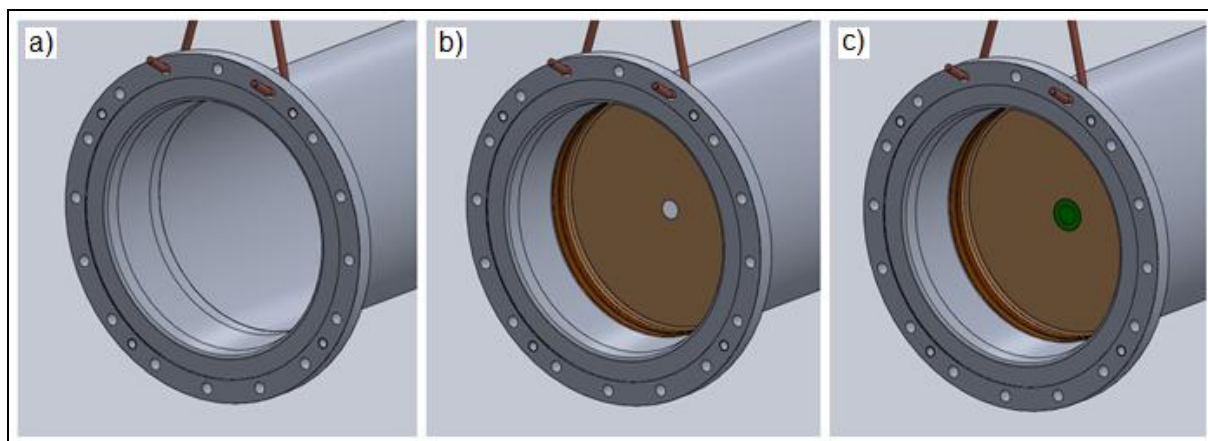
Tento návrh vznikl zdokonalováním všech výše uvedených návrhů, přičemž byl kladen důraz na odstranění nežádoucí netěsnosti přípravků s ohledem na mezní rozměry tolerance vnitřního průměru trubky dle 2GHV003992 tak, viz *příloha 6*, aby byla zaručena efektivní funkce přípravku i v jejich krajních mezích. Maskovací přípravek tohoto řešení byl navržen jako jednorázová kartonová záslepka se samolepicím lemem. Ta je složena ze dvou částí, přičemž první je tvořena kruhovým kartonovým výliskem s obvodovým lemem a druhá pásem maskovacího papíru se samolepicí páskou. Výlisek je vyroben vtláčením kartonové kruhové výseče do konstrukčně jednoduché lisovací formy s užitím hydraulického lisu, přičemž jako polotovar kruhové výseče je volen karton z recyklovaného papíru s gramáží $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a silikonovým povlakem pro zvýšení jeho tepelné odolnosti (min. $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Ve středové ose výlisku je umístěn otvor průměru 30 mm jako technologický prvek pro vystředění polotovaru v lisovací formě, skladování na trnu a usnadnění manipulace během maskování, resp. odmaskování. Úkolem otvoru je taktéž odvodu vzduchu a cirkulace vzduchu uvnitř pouzdra při vytvrzování laku. Pás maskovacího papíru šířky 40 mm s pruhem oboustranně lepicí pásky šířky 15 mm je nalepen po obvodu vylisovaného lemu na kartonové výseči, přičemž je odsazena 2 mm od horního okraje pásu z důvodu umožnění rozlití přechodové hrany laku během jeho vytvrzování, resp. odstranění ostrého přechodu mezi lakovanou a nelakovanou plochou. Materiály pro výrobu maskovacího přípravku, tedy karton, páska i lepidlo pro spojení papírového pásu s kartonovým výliskem, jsou voleny dle technologických požadavků procesu a musí tak odolávat teplotám min. $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, nezanechávat adhezni zbytky a jiné chemické stopy na povrchu lakované součásti (pouzdra). Použitý maskovací papír je standardizovaným polotovarem firmy ITS IDEAL-Trade Service vyráběný v šířkách od 100 do 600 mm s tepelnou odolností $220 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a transferová oboustranná páska typu 904 je od firmy 3M s odolností $240 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a výrobou v šířkách od 6 do 20 mm.



Obr. 5.13 Maskování vnitřní plochy pouzdra kartonovou záslepkou – maskovací přípravek. a) pás maskovacího papíru s oboustrannou lepicí páskou, b) kartonový výlisek, c) kartonový přípravek.

Maskování je prováděno odlepením části krycí fólie oboustranně lepicí pásky v délce asi 40 mm tak, aby po vsunutí přípravku do útrobu pouzdra tahem této fólie

došlo k jejímu odlepení v celém obvodu. Papírová záslepka je vsunuta do pouzdra v požadované vzdálenosti dle výkresové dokumentace 2GHV012364, viz *příloha 3*, přičemž po odstranění krycí fólie je rukou pracovníka uhlazen obvodový maskovací papír tak, aby došlo k dokonalému přilnutí oboustranné lepicí pásky k vnitřní ploše trubky. Na závěr je přelepen středový otvor přípravku polyesterovou kruhovou páskou, kterou je nutné před vstupem do vytvrzovací pece odstranit z důvodu umožnění cirkulace a expanze vzduchu uvnitř pouzdra během vytvrzování.



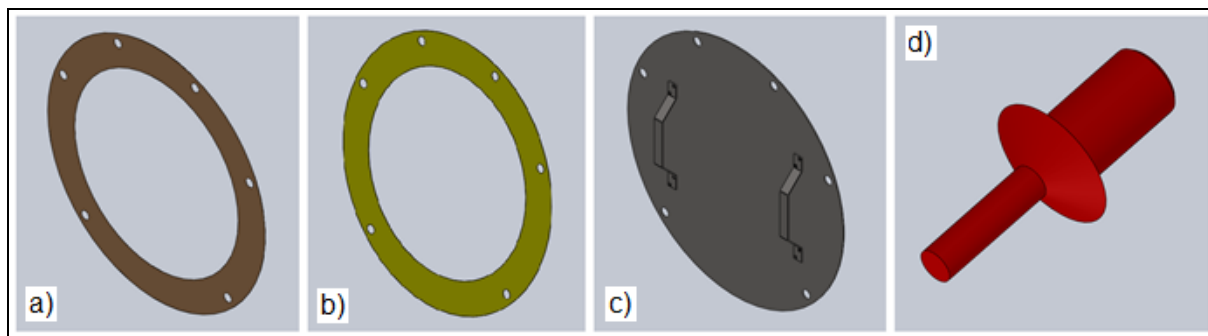
Obr. 5.14 Maskování vnitřní plochy pouzdra papírovou záslepkou – postup maskování.
a) pouzdro, b) lepení kartonového přípravku, c) přelepení středového otvoru.

Výhodou tohoto návrhu je odstranění spojovací hrany mezi maskovací páskou na vnitřní obvodové ploše trubky a kartonovou výsečí sjednocením těchto prvků, čímž došlo k úplné eliminaci záprachu způsobené vlivem netěsnosti tohoto spoje. Další výhodou je odsazení oboustranné lepicí pásky o hodnotu 2 mm od hrany maskovacího papíru, kterým je umožněno rozlití laku během jeho vytvrzování, resp. odstranění ostré přechodové mezi lakovanou a nelakovanou plochou. Navržený maskovací přípravek je určený k jednorázovému použití, čímž je odstraněna jeho údržba a vznik vad vlivem jeho zalakování. Výhodou je taktéž jeho snadná likvidace, resp. recyklace. Nevýhodou realizace prototypového kusu je relativně komplikovaná výroba vyžadující konstrukci jednoduché lisovací formy a hydraulický lis, přičemž výroba takto navrženého přípravku se při oslovení těchto firem: Model Obaly a.s. (www.modelgroup.com), STAMPO-KARTON s.r.o. (www.stampo.cz), PRO MASK PRODUCTS s.r.o. (www.pro-mask.com), IDEAL-Trade Service, spol. s r.o. (www.itsbrno.cz), Novák-papír s.r.o. (www.papir-novak.cz) a G3 s.r.o. (www.g3.cz) nepodařila zajistit z atypických požadavků na vlastnosti užitých materiálů. Optimalizační návrh je přesto pokládán za jediný možný způsob úplné eliminace záprachu a vznikajících vad v průběhu procesu lakování vedoucí k požadovanému snížení pracnosti konečné úpravy. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, viz *příloha 11*.

5.1.2.5 Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s nerezovým poklopem

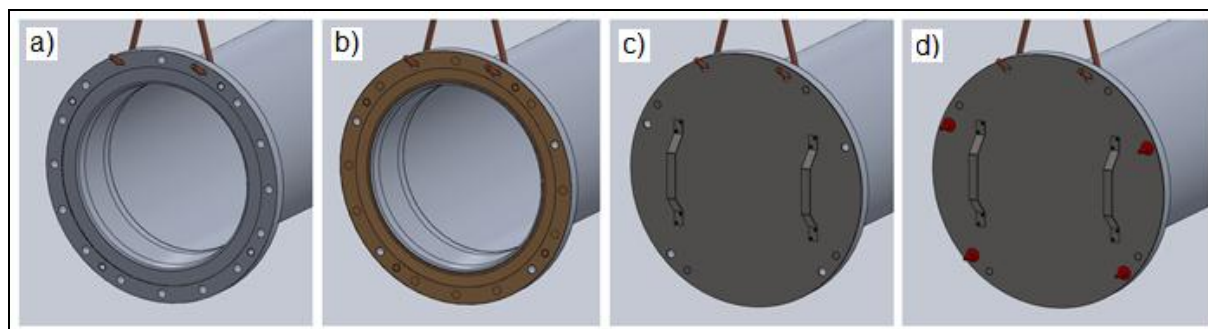
Pro maskování čelní plochy příruby byl navržen jednorázový samolepicí prstenec z recyklovaného kartonu o gramáži $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a silikonovou povrchovou úpravou z důvodu zvýšení jeho tepelné odolnosti, min. 200°C . Této vytvrzovací teplotě musí taktéž odolat použité lepidlo samolepicí plochy, které nesmí zanechat žádné

adhezní a jiné chemické stopy na povrchu součástí. Prstenec je navržen jako krycí samolepka s rozměry vnějšího průměru příruby dle 1HC0026214, viz *příloha 10*, tedy $550 \pm 0,3$ mm a vnitřního průměru 415 ± 1 mm dle požadavku lakované plochy stanovené ve výrobní dokumentaci 2GHV012364, viz *příloha 3*. V navrženém prstenci je umístěno šest otvorů o průměru 18,5 mm, které jsou určeny k jeho osazení na závěsné háky pouzdra, resp. vystředění prstence vůči přírubě pouzdra a uchycení nerezového poklopu jako ochrana proti průniku PNH do vnitřního otvoru trubky během lakování ploch tzv. Typu B (vnějších ploch pouzdra) bílým PNH typu *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*. Poklop je vyroben z nerezového plechu tloušťky 2 mm vyříznutého do kruhu o průměru $550 \pm 0,3$ mm se dvěma úchopnými madly a šesti otvory, dle 1HC0026214, viz *příloha 10*, o průměru 18,5 mm pro jeho uchycení. Navržený papírový prstenec je určen k ochraně těsnících a dosedacích ploch příruby dle 2GHV012364, viz *příloha 3*, při aplikaci růžového laku *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, na plochy tzv. Typu A (vnitřní plochy pouzdra). Kartonový prstenec je navržen k jednorázovému použití, tedy po odmaskování je určen k likvidaci, resp. recyklaci.



Obr. 5.15 Maskování čelní plochy příruby papírovým prstencem s nerezovým poklopem – maskovací přípravy. a), b) kartonový prstenec, c) nerezový poklop, d) silikonový úchyt.

Maskování se provádí odlepením krycí fólie lepicí plochy prstence, jeho nasazením na závěsné háky a přilepením na čelní plochu příruby. Při lepení je nutné dbát na dokonalé spojení celého obvodu, převážně v oblasti přechodové hrany dosedací a těsnící plochy příruby dle 1HC0026214, viz *příloha 10*. Po nalakování vnitřní plochy pouzdra je na pracovišti přemaskování (mezi lakovacími boxy) osazen nerezový poklop na závěsné háky a zajištěn silikonovými úchyty jako ochrana vnitřní části pouzdra před přístupem bílých PNH nanášených na jeho vnější plochy. Maskovací poklop je odmaskován a ofoukán stlačeným vzduchem před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece, resp. je připraven pro opětovné použití.



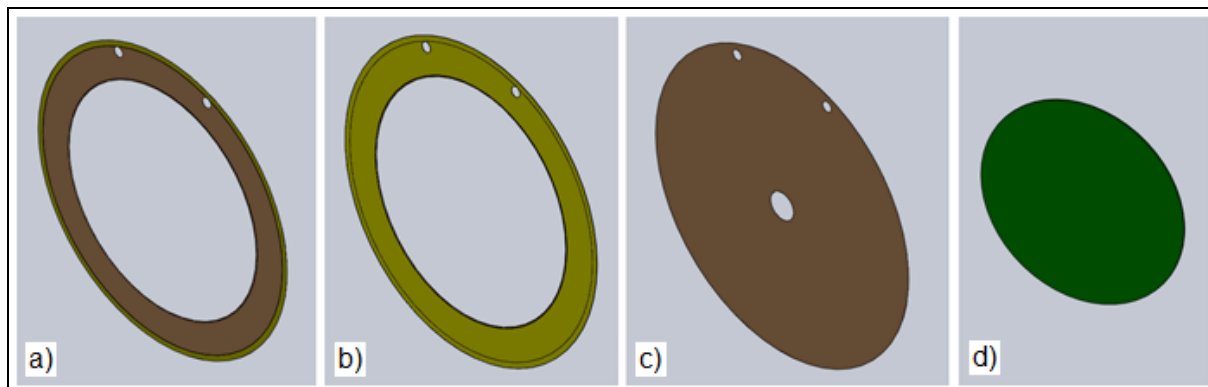
Obr. 5.16 Maskování čelní plochy příruby papírovým prstencem s nerezovým poklopem – postup maskování. a) pouzdro, b) nalepený kartonový prstenec, c) osazený poklop, d) uchycení poklopu silikonovými úchyty.

Výhodou tohoto návrhu je úplná eliminace záprachu růžového i bílého laku na čelní ploše příruby a s tím spojené broušení během konečné úpravy. Výhodou je také odstranění odmaskování a čistících úkonů této plochy před nanášením bílého laku na vnější plochy pouzdra, kterým byl z velké části záprach způsobován. Další výhodou je také časová úspora, opakovatelnost použití nerezového poklopu bez jeho zalakování a jeho dlouhá životnost. Nevýhodou je vznikající záprach růžového laku v nekrytých otvorech příruby, které jsou určeny k uchycení poklopu (možnost jeho odstranění krycími silikonovými zátkami). Další nevýhodou je ostrá přechodová hrana růžového laku vznikající na čelní ploše příruby a její vnější obvodové hraně, kterou je nutné následně srazit brusnou houbou MEDIUM (resp. FINE) během konečné úpravy. Hlavní nevýhodou návrhu je nutné odmaskování poklopu před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece, během kterého je způsobován záprach bílého PNH z vnější části poklopu do růžového laku na vnitřních plochách pouzdra, což by bylo možné eliminovat zrušením odmaskování, tedy, že krycí poklop by setrval na součásti během vytvrzení laku, přičemž nevýhodou by pak bylo jeho nalakování, resp. jeho údržba a vznik vad s tím spojených. Do poklopu by bylo také nutné umístit středový otvor pro cirkulaci vzduchu uvnitř pouzdra během vytvrzování. Z uvedených důvodů bylo toto optimalizační řešení s užitím nerezového poklopu zahrnuto bez výroby prototypového kusu, přičemž návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, která není z důvodu jejího rozsahu součástí práce.

5.1.2.6 Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem

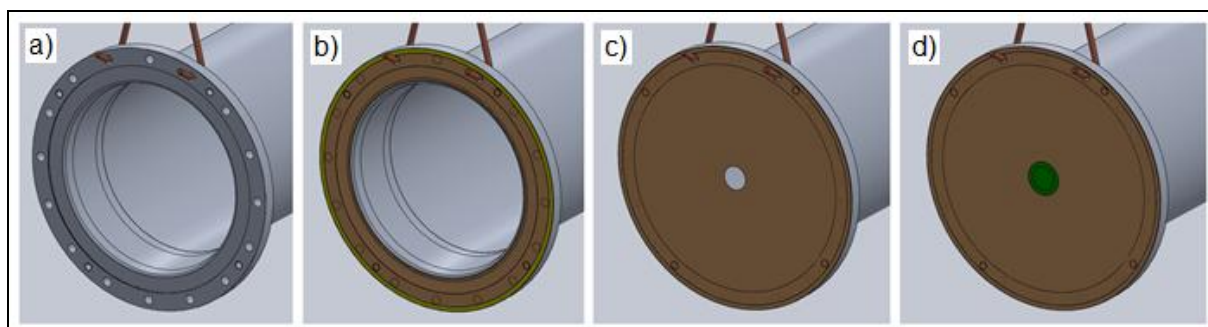
Návrh vznikl zdokonalením výše uvedeného optimalizačního řešení, viz kapitola 5.1.2.4 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s nerezovým poklopem*, a jeho cílem je odstranit přemaskování nerezového poklopu, resp. vad s tím spojených. Pro maskování čelní plochy příruby je navržen tvarově totožný papírový prstenec jako v předcházejícím případě, přičemž byly odstraněny otvory pro silikonové úchyty k zajištění nerezového poklopu (otvory pro osazení prstence na závěsné háky nebyly odstraněny). Prstenec je navržen z recyklovaného kartonu o gramáži $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a silikonovým povlakem pro zvýšení jeho teplotní odolnosti (min. $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Na vyseknutý prstenec je nanášeno lepidlo s krycí fólií nebo oboustranná lepicí páska tak, aby jej pokrývala na jedné z jeho stran celoplošně s požadovaným odsazením 2 mm od vnitřní hrany průměru $415 \pm 1 \text{ mm}$ dle 2GHV012364, viz *příloha 3*. Odsazení lepicí plochy je určeno k možnosti rozlití laku během jeho vytvrzování a tím odstranění ostré přechodové hrany mezi lakovanou a nelakovanou plochou příruby dle 2GHV012364, viz *příloha 3*. Na opačné straně prstence je taktéž nanášeno lepidlo nebo oboustranná lepicí páska v šířce 10 mm po jeho vnější obvodové hraně, a to z důvodu následného uchycení a utěsnění krycího poklopu před nanášením bílého PNH typu *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, na plochy tzv. Typu B, resp. vnější plochy pouzdra. Krycí poklop je vyroben z kartonového výseku o průměru $550 \pm 0,3 \text{ mm}$ s gramáží $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a silikonovým povlakem. Na poklopu jsou umístěny dva otvory průměru 18,5 mm dle 1HC0026214, viz *příloha 10*, pro jeho osazení na závěsné háky a středový otvor o průměru 50 mm, kterým je umožněna cirkulace a proudění vzduchu uvnitř pouzdra během vytvrzování laku. Veškeré použité materiály pro výrobu navrženého maskovacího přípravku (karton, oboustranná lepicí páska i lepidlo) musí odolávat pracovním podmínkám lakovacího procesu, resp. teplotám $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, a nesmí na

povrchu lakované součástí (pouzdra) zanechat adhezní zbytky a jiné chemické stopy.



Obr. 5.17 Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem – maskovací přípravy. a), b) kartonový prstenc, c) kartonový poklop, d) kruhová polyesterová páska.

Maskování je prováděno odlepením krycí fólie z celoplošně kryté strany prstence, nasazením prstence na závěsné háky, čímž dojde k ustavení jeho polohy vůči přírubě, a následným nalepením prstence na čelní plochu příruby, přičemž během lepení je nutné dbát na spojení celého obvodu, a to převážně v oblasti přechodové hrany dosedací a těsnicí plochy příruby dle 1HC0026214, viz *příloha 10*. Po aplikaci růžového laku na vnitřní plochu pouzdra je na pracovišti přemaskování (mezi lakovacími boxy) odlepena krycí fólie lepidla na čelní ploše nalepeného prstence, nasazen krycí poklop na závěsné háky pouzdra a následně přilepen na lepicí plochu maskovacího prstence, přičemž je nutné také přelepit středový otvor kartonového poklopu pomocí kruhové polyesterové pásky, která musí být po nanesení bílého PNH na vnější plochy pouzdra odlepena z důvodu expanze a cirkulace vzduchu uvnitř trubky během vytvrzování laku. Navržený maskovací přípravek je určen k jednorázovému použití, tedy po jeho odmaskování je ekologicky zlikvidován nebo recyklován.



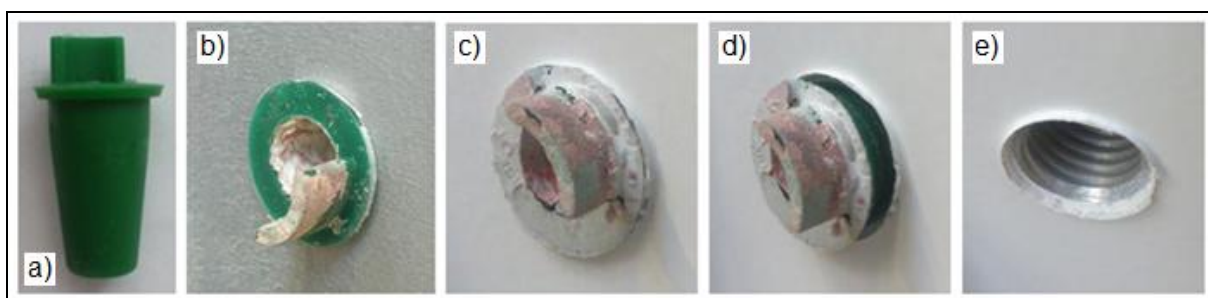
Obr. 5.18 Maskování čelní plochy příruby papírovým prstencem s kartonovým poklopem – postup maskování. a) pouzdro, b) nalepený kartonový prstenc, c) nalepený kartonový poklop, d) přelepený středový otvor kruhovou polyesterovou páskou .

Výhodou tohoto optimalizačního řešení je odstranění přemaskování nerezového poklopu oproti předcházejícímu návrhu, viz kapitola 5.1.2.5 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s nerezovým poklopem*, a tím odstranění vznikajícího záprachu bílého laku do růžového na vnitřní ploše pouzdra. Další výhodou je odstranění záprachu růžového laku ze šroubových otvorů vznikajícího taktéž v případě návrhu 5.1.2.5 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s nerezovým poklopem*, odstranění čištění, údržby, odlakování a vad spojených

s opakovaně užívanými přípravky. Nevýhodou je relativně složitá výroba spojená s nanášením lepidla či aplikací oboustranné pásky pouze na některé části kartonového prstence, přičemž výroba takto navrženého přípravku se při oslovení těchto firem: Model Obaly a.s. (www.modelgroup.com), STAMPO-KARTON s.r.o. (www.stampo.cz), PRO MASK PRODUCTS s.r.o. (www.pro-mask.com), IDEAL-Trade Service, spol. s r.o. (www.itsbrno.cz), Novák-papír s.r.o. (www.papir-novak.cz) a G3 s.r.o. (www.g3.cz) nepodařila zajistit z důvodu atypických požadavků na použité materiály. Takto navržené optimalizační řešení je přesto považováno za jediný možný způsob úplné eliminace záprachu a vznikajících vad během procesu lakování přírubové části pouzder, resp. vedoucí k požadovanému snížení pracnosti jejich konečné úpravy. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, viz *příloha 12*.

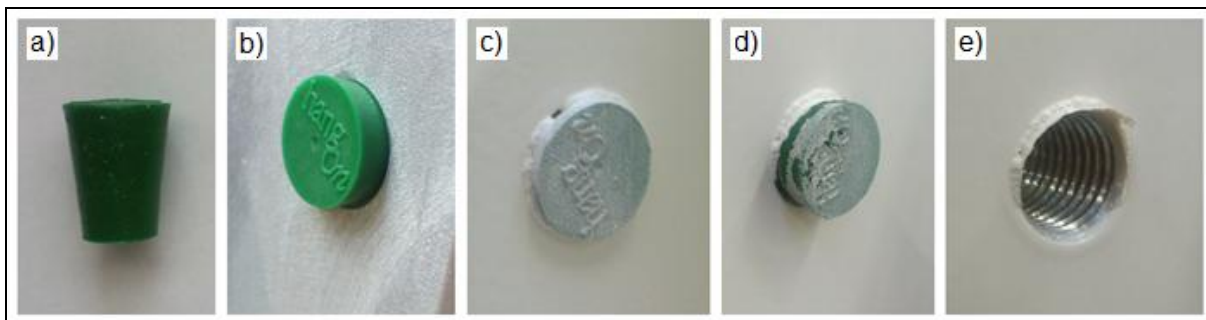
5.1.3 Návrhy optimalizačních řešení pro odstranění nálitku závitových otvorů

Náletek neboli výrazně vyvýšená vrstva laku nad rámec tloušťky lakované vrstvy na vstupní hraně závitového otvoru je způsobena zalakováním maskovací zátky a její osazené obvodové hrany. Po vytvrzení laku a vyjmutí zátky je pak na hraně otvoru zanechán výrazný otřep, který je nutné během konečné úpravy odstranit trojhranným šábrem. Pro eliminaci vznikajícího nálitku bylo navrženo použití jiného typu maskovací zátčky, tedy z katalogu standardizovaných maskovacích přípravků firmy IDEAL-Trade Service, spol. s r.o. byla vybrána a objednána kuželová zátka bez osazené obvodové hrany s označením GK0625×0813. Během testování docházelo u všech maskovaných otvorů touto zátkou ke tvorbě totožného nálitku jako v případě maskování se stávajícím typem zátčky (v nepatrně menším rozsahu). Testování bylo provedeno v průběhu ranní směny dne 1. 2. 2016 na jednom lakovaném pouzdru, resp. osmi závitových otvorech. Nevýhodou byl také jejich kuželový tvar bez úchopového prvku, čímž bylo znesnadněno a časově prodlouženo jejich odmaskování, které bylo nutné realizovat s užitím úchopných kleští. Z uvedených důvodů byla náhrada stávajících maskovacích zátek, viz *Obr. 5.19 Maskování závitových otvorů – současný stav* novým typem GK0625×0813, viz *Obr. 5.20 Maskování závitových otvorů – zátkou GK0625×0813*, zamítnuta.



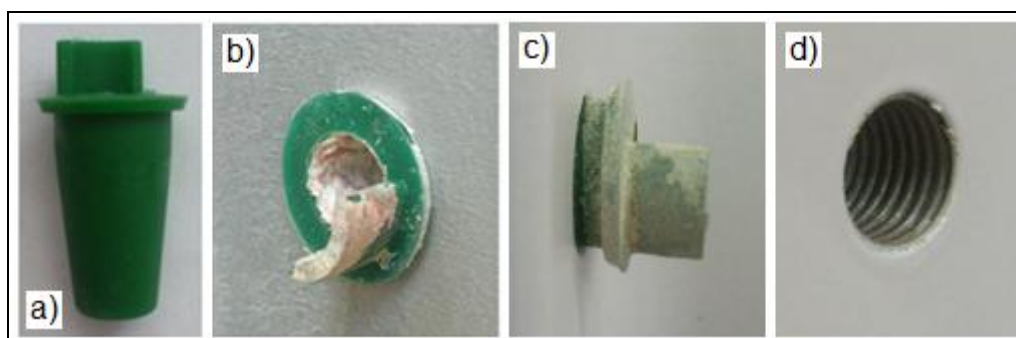
Obr. 5.19 Maskování závitových otvorů – současný stav. a) stávající maskovací zátka, b) osazení zátčky do závitového otvoru, c) zalakování zátčky, d) odmaskování, e) náletek.

Testováním bylo tedy zjištěno, že vznik nežádoucího nálitku v oblasti závitového otvoru nastane i v případě změny geometrie maskovací zátčky, resp. u všech jejích druhů, kterými je přesahována zadní plocha příruby a vyčnívají tak ze závitového otvoru. Vznik nálitku je pak způsoben zalakováním přechodové hrany mezi závitovým otvorem a kuželovou zátkou, protože ulpívání práškových částic nanášeného PNH *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, na povrchu vyčnívající části maskovací zátčky ze závitového otvoru nelze nikterak zabránit.



Obr. 5.20 Maskování závitových otvorů – zátkou GK0625×0813. a) zátká GK0625×0813, b) osazení zátky do závitového otvoru, c) zalakování zátky, d) odmaskování, e) nálietek.

Jediným způsobem, kterým lze eliminovat vznikající nálietek je odmaskování závitových otvorů před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece. To lze provádět dvěma způsoby, prvním případem je povytažení maskovací zátky ze závitového otvoru tak, aby došlo pouze k oddělení jejich přechodové hrany, resp. nanesené vrstvy PNH na maskovací zátku a ploše příruby. Výhodou tohoto řešení je setrvávající ochrana vstupního závitu před zatečením laku během jeho vytvrzování, který by bylo nutné následně vyčistit ručními závitníky během konečné úpravy. Nevýhodou je vytvrzení naneseného laku na povrchu maskovací zátky, resp. její znečištění, které vede ke vzniku vad (špiček v laku, viz kapitola 4.4 *Specifikace nejčastějších vad – komplexní analýza*) vlivem odlupování nalakované vrstvy při jejich opětovného použití.



Obr. 5.21 Maskování závitových otvorů s odmaskováním před vstupem do vytvrzovací pece – povysunutí zátky. a) maskovací zátká, b) zamaskování, c) odmaskování povysunutím zátky, d) vstupní hrana závitu bez náliťku.

Z těchto důvodů byl navržen druhý způsob optimalizačního řešení, který je založen na principu předchozí varianty, tedy maskování užitím stávající zátky, viz *Obr. 5.19 Maskování závitových otvorů – současný stav*, a následným odmaskováním před vstupem do vytvrzovací pece, které je provedeno jejím úplným vyjmutím ze závitového otvoru. Jako ochrana proti zatečení vytvrzovaného laku do vstupního závitu bylo navrženo sražení vnější hrany závitového otvoru o velikosti $2 \times 45^\circ$, které je nutné realizovat během výroby, resp. obrábění příruby. Tímto sražením je tak vytvořena dostatečná plocha pro rozlité vytvrzovaného laku mimo funkční část závitu, čímž dojde k eliminaci vznikajícího náliťku bez nutnosti čištění závitu pomocí ručního závitníku během konečné úpravy. Výhodou tohoto řešení je tedy úplné odstranění vznikajícího náliťku, resp. jeho konečné úpravy vedoucí k požadovanému snížení její pracnosti. Další výhodou je opakované použití neznečištěných zátek vytvrzenou vrstvou laku, odstranění jejich nákladného odlakování a vznikajících vad s tím spojených. Nevýhodou je možnost poškození nanesené vrstvy PNH v okolí závitových otvorů během odmaskování zátky, které může být způsobeno

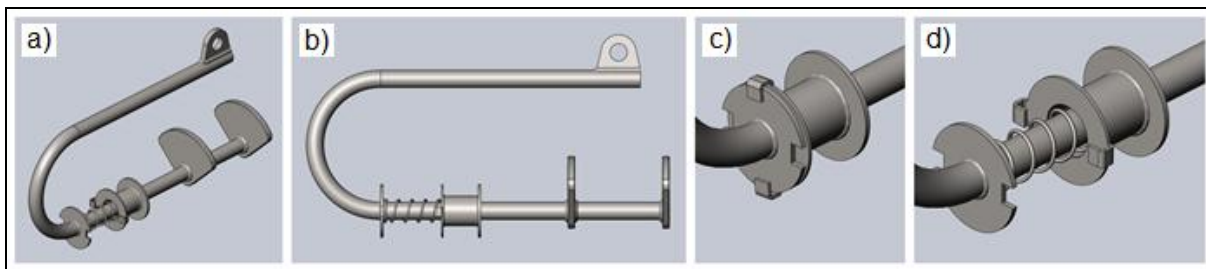
neopatrnou manipulací nebo nedodržením stanoveného postupu (lidský faktor). Komplikací v realizování uvedeného návrhu je také úprava výkresové dokumentace příruby 1HC0026214, viz *příloha 10*, resp. změnové řízení obsahující zavedení navrženého sražení závitových otvorů. Ověření funkčnosti navrženého řešení bylo provedeno bez možnosti realizace předepsaného sražení $2 \times 45^\circ$ závitových otvorů, tedy variantou s povysunutím maskovacích zátek, a to v průběhu ranní směny dne 1. 2. 2016 na jednom lakovaném pouzdru, resp. osmi závitových otvorech. Výsledky testování vykazují úplnou eliminaci vznikajícího nálitku na všech testovaných závitových otvorech, resp. úplné odstranění jejich konečné úpravy a významnou časovou úsporu, viz *Obr. 5.21 Maskování závitových otvorů s odmaskováním před vstupem do vytvrzovací pece – povysunutí zátky*.

5.2 Návrh optimalizačních řešení pro lakování vodičů

Optimalizační řešení jsou navrhována ke snížení pracnosti konečné úpravy vodičů, resp. eliminaci nejčastějších vad vznikajících v průběhu jejich lakování dle provedené analýzy viz. *Tab. 4.6 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování vodičů*, tedy odstranění, resp. maximálně možnému snížení výskytu záprachu na čelní a postříbřené ploše vodiče dle jeho výkresové dokumentace 1HC0026162, viz *příloha 13*. Ten je způsoben nedodržením maskovacího postupu při aplikaci pruhů maskovací polyesterové pásky (lidský faktor) nebo jejím mechanickým poškozením. Cílem návrhu je také snížení pracnosti a zefektivnění stávajícího postupu maskování, přičemž je nezbytné brát ohled na komplexnost celého lakovacího procesu, resp. navěšování, chemickou předúpravu, aplikaci a vytvrzování PNH a svěšování. Při návrhu nového způsobu maskování, je taktéž nutné provést návrh nových závěsných přípravků vodiče.

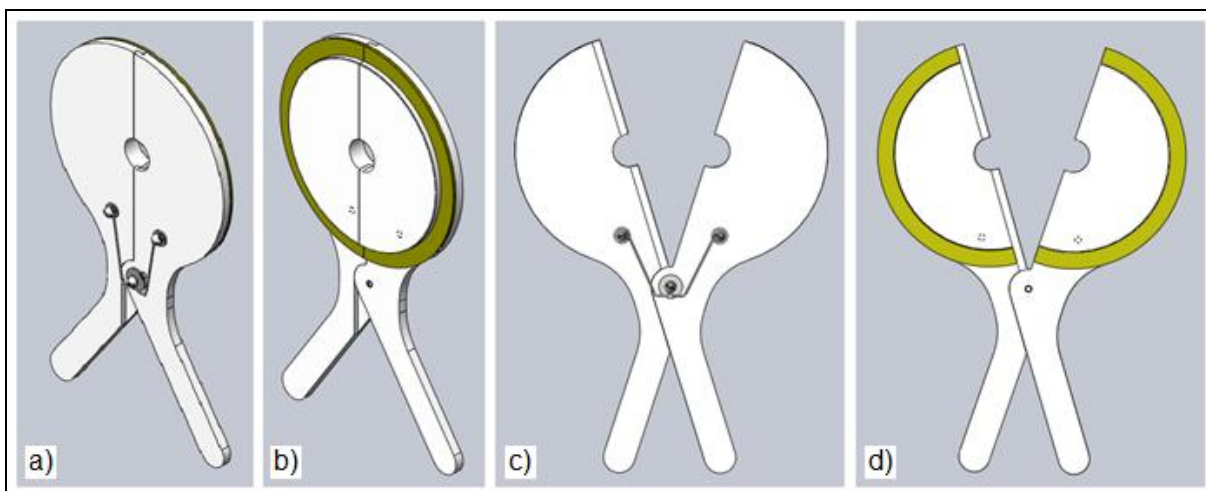
5.2.1 Závěsný hák s maskovacími kleštěmi

Prvotním návrhem nového způsobu maskování bylo vytvoření atypického maskovacího přípravku ve tvaru kleští zabírající přístup PNH na čelní plochu a do vnitřní části vodiče. Kleště byly navrženy s ohledem na jejich rychlé a opakovatelné použití s odmaskováním před vstupem do vytvrzovací pece. Při návrhu bylo nezbytné pracovat taktéž na vývoji nového závěsného přípravku vodiče umožňujícího užití navržených maskovacích kleští. Ten je navržen jako závěsný hák s tlačným mechanismem, který je svařen z nerezové oceli 1.4301 dle ČSN 10080-1 a je tvořen zahnutou kruhovou tyčí o průměru 20 mm s opěrnými patkami velikosti vnitřního průměru vodiče 124 mm, dle 1HC0026162, viz *příloha 13*, a závěsným okem. Pro zajištění maskovacích kleští v pracovní poloze je hák opatřen tlačným mechanismem s aretací, který je tvořen zámkovým plechovým prstencem a nerezovou tlačnou pružinou pohybující se v opěrné trubce. Aretační zámek je pak tvořen zahnutými zobáčky na vnějším obvodu opěrné trubky a tvarovými výřezy v plechovém prstenci. Navržený závěsný hák vodiče, resp. materiály, ze kterých je vyroben, musí odolávat pracovním podmínkám celého lakovacího procesu, především kyselinám chemické předúpravy a vysokým teplotám vytvrzovací pece 200 °C. Výhodou takto navrženého závěsného háku oproti stávajícímu tzv. C háku je umístění nosné tyče do středové osy vodiče, čímž je umožněno efektivní maskování jeho čelní plochy v celém obvodu.



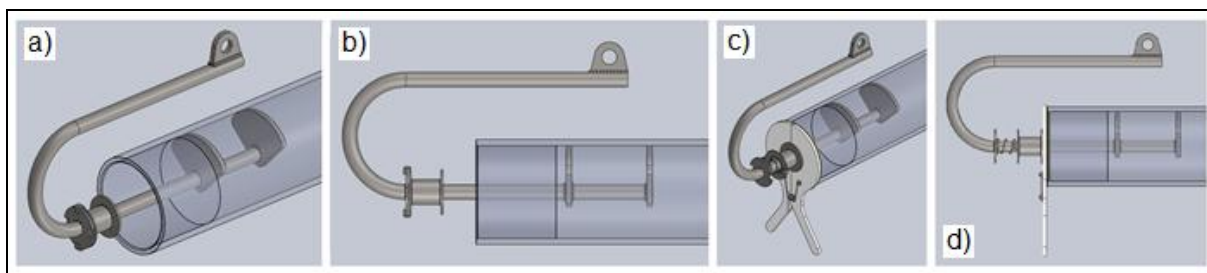
Obr. 5.22 Maskování vodiče závěsným hákem s kleštěmi – závěsný hák. a), b) konstrukce závěsného háku, c) tlačný mechanismus zajištěn, d) tlačný mechanismus odjištěn.

Maskovací kleště jsou navrženy jako tvarový výřez z polyvinylchloridových (PVC) kleštin s těsnícím osazením, ergonomickými rukojetmi, otvory pro tvarovou nerezovou pružinu, silikonovým těsněním a středovým otvorem pro jejich osazení na závěsný hák vodiče. Vnější i vnitřní průměr osazení kleštin 145 mm, resp. 123 mm jsou dány dle výkresové dokumentace vodiče 1HC0026162, viz *příloha 13*. Sevření kleští je zajištěno tvarovou pružinou z nerezové oceli 1.4301, dle ČSN 10080-1.



Obr. 5.23 Maskování vodiče závěsným hákem s kleštěmi – maskovací kleště. a), b) sevřené, c), d) rozevřené.

Navěšování vodiče je realizováno vsunutím závěsného háku do jeho vnitřního otvoru, přičemž je nutné dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k mechanickému poškození postrříbřené plochy, resp. aby se hák během manipulace nedotýkal této plochy do okamžiku jejího překročení. Po vsunutí závěsného háku je vodič zavěšen stávajícím způsobem na návěsný nosník, viz kapitola 3.5 *Navěšování*. Maskování je prováděno stlačením rukojetí maskovacích kleští, čímž dojde k rozevření jejich kleštin a následným nasazením na nosnou tyč závěsného háku, přičemž musí být opřeny obvodovým osazením se silikonovým těsněním o čelní plochu vodiče a zajištěny tlačným mechanismem tak, aby došlo k dokonalému utěsnění přechodové hrany. Uvolnění tlačného mechanismu je provedeno pootočením aretačního zámku a uvolněním záchytných zobáčků. Po aplikaci růžového laku *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, na vnější plochu vodiče je ofoukán závěsný hák stlačeným vzduchem a provedeno odmaskování kleští v opačném postupu (uvolněním tlačného mechanismu, stlačením a vyjmutím maskovacích kleští). Maskovací kleště jsou následně taktéž ofoukány stlačeným vzduchem a připraveny pro jejich opětovné použití.



Obr. 5.24 Maskování vodiče závěsným hákem s kleštěmi – postup maskování.
a), b) navěšení, c), d) maskování.

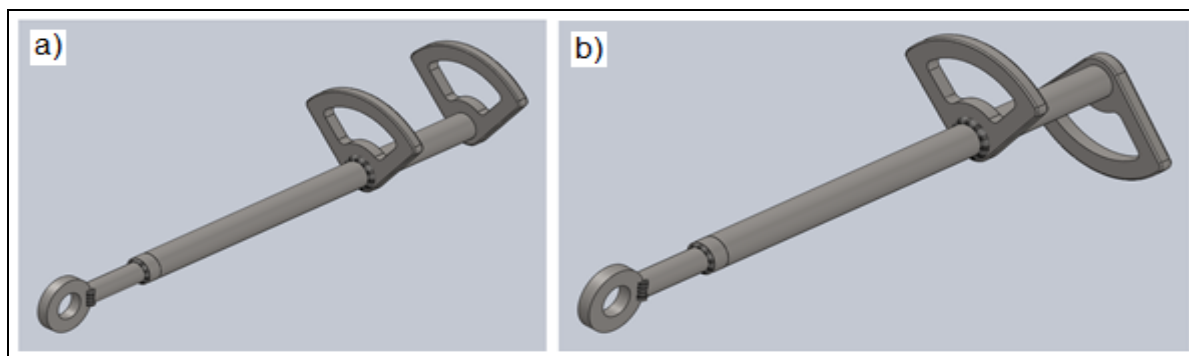
Výhodou tohoto návrhu je snadná a rychlá aplikace maskovacího přípravku a jeho opakovatelné použití bez nutnosti nákladného odlakování díky jeho odmaskování před vstupem do vytvrzovací pece. Nevýhodou je pak vznik záprachu během odmaskování vlivem opadání a víření nanesených částic PNH na vnější obvodovou plochu maskovacích kleští. Další nevýhodou je zatečení laku na čelní plochu vodiče během jeho vytvrzování a relativně složitá a drahá výroba navržených přípravků. Na základě těchto důvodů bylo takto navržené optimalizační řešení s užitím nového závěsného háku a maskovacích kleští zavrženo před realizací prototypu. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, která není z důvodu jejího rozsahu součástí práce.

5.2.2 Závěsná tyč s maskovací silikonovou zátkou / kartonovou výsečí

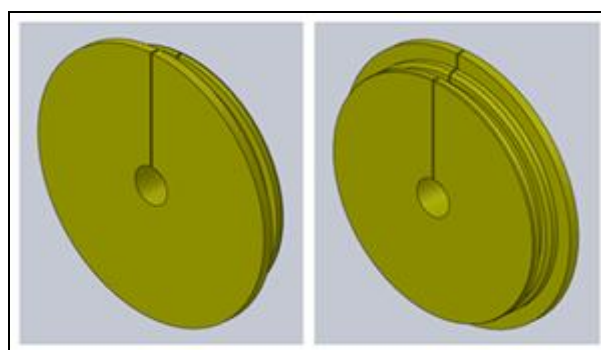
Návrh maskování vodiče prostřednictvím závěsné tyče se silikonovou zátkou je založen na zdokonalení prvotního návrhu, viz 5.2.1 *Závěsný hák s maskovacími kleštěmi*. Cílem je odstranění vznikajícího záprachu na postříbřené i čelní ploše vodiče vlivem opadávajícího prášku během odmaskování kleští a nežádoucího rozlití laku na čelní plochu vodiče při jeho vytvrzování. Cílem je také úprava konstrukce závěsného háku vedoucí k ochraně postříbřených ploch vodiče proti mechanickému poškození. Ten je navržen jako otočný mechanismus umožňující zaklínění háku ve vnitřním otvoru vodiče (po navěšení) a tak zamezení jeho samovolného posunu během zavážení navěšovacích nosníků do chemické předúpravy, čímž by mohlo dojít ke zmiňovanému mechanickému poškození (poškrábání) postříbřené plochy. Závěsný přípravek vodiče (resp. závěsná tyč) je navržen taktéž jako svařenec z korozivzdorné oceli 1.4301, dle ČSN 10080-1 z důvodu jeho odolnosti účinkům kyselin chemické předúpravy a vysokým teplotám vytvrzovací pece 200 °C, přičemž je tvořen kruhovou nosnou tyčí o průměru 15 mm s délkou 350 mm, navařeným závěsným okem a prstencovým dorazem. Na nosnou tyč je nasunuta trubka o rozměru 20 × 2,5 mm délky 280 mm s opěrnou tvarovou výsečí o rozměru vnitřního průměru vodiče 124 mm, dle 1HC0026162 viz *příloha 13*. Na vyčnívající část nosné tyče je nasunuta a přivařena čelní opěrná výseč taktéž o vnitřním průměru vodiče a tloušťce 8 mm. Konstrukcí přípravku je umožněna volná rotace vnitřní tyče vůči vnější trubce, viz *Obr. 5.25 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou / papírovou výsečí – závěsná tyč*.

Maskovací zátka je navržena jako tvarový výřez ze silikonové pryže KSIL GP60 tloušťky 20 mm od firmy GUMEX, spol. s r.o. pro svoje dobré mechanické vlastnosti a odolnosti vysokým teplotám až 230 °C. Zátka je tvořena kruhovým osazením šířky 5 mm o vnějším průměru vodiče 145 mm, dle 1HC0026162, viz *příloha 13* a těsnicím labyrintem. Ten je navržen jako uložení s přesahem o velikosti 1 mm pro utěsnění přechodové hrany vlivem předpětí, které je docíleno elastickou deformací

silikonové pryže. Ve středu zátky je umístěn otvor o průměru 20 mm s dělicím řezem umožňující osazení maskovací zátky na navrženou závěsnou tyč vodiče, viz *Obr. 5.26 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou / papírovou výsečí – silikonová zátka.*

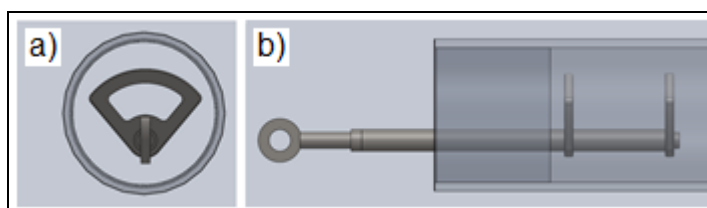


Obr. 5.25 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou / papírovou výsečí – závěsná tyč. a) navěšovací orientace tyče, b) pracovní orientace tyče.

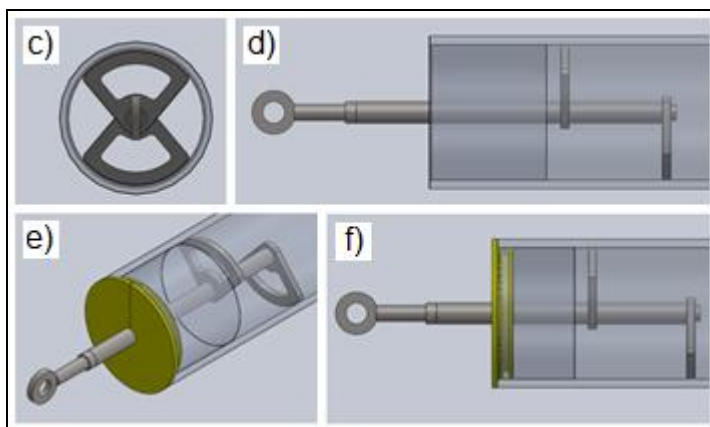


Obr. 5.26 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou / papírovou výsečí – silikonová zátka.

Navěšování vodiče je prováděno vsunutím závěsné tyče do jeho vnitřního otvoru za postříbřenou část, otočením závěsného oka o 180° vůči trubce závěsné tyče, čímž dojde k ustavení opěrných výsečí a následným zavěšením pomocí závěsných háků dle instrukcí stávajícího postupu, viz 3.5 *Navěšování*. Při navěšování je nutno dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k mechanickému poškození (poškrábání) postříbřené plochy vodiče. Aretace polohy opěrných prstenců je zajištěna umístěním závěsného háku do oka závěsné tyče a navěšením vodiče na zavážecí nosník. Maskování je realizováno nasazením silikonové zátky na závěsnou tyč a vsunutím jejího těsnicího labyrintu do vnitřního otvoru vodiče tak, aby osazení bylo v kontaktu s čelní plochou vodiče, čímž dojde k utěsnění přechodové hrany. Nasazení zátky na závěsnou tyč je prováděno skrz její dělicí řez, kterým je umožněno rozevření zátky. Silikonová zátka je součástí vytvrzovacího procesu, resp. její odmaskování je prováděno po vytvrzení laku.



Obr. 5.27/1 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou. a), b) vsunutí závěsné tyče do otvoru vodiče.

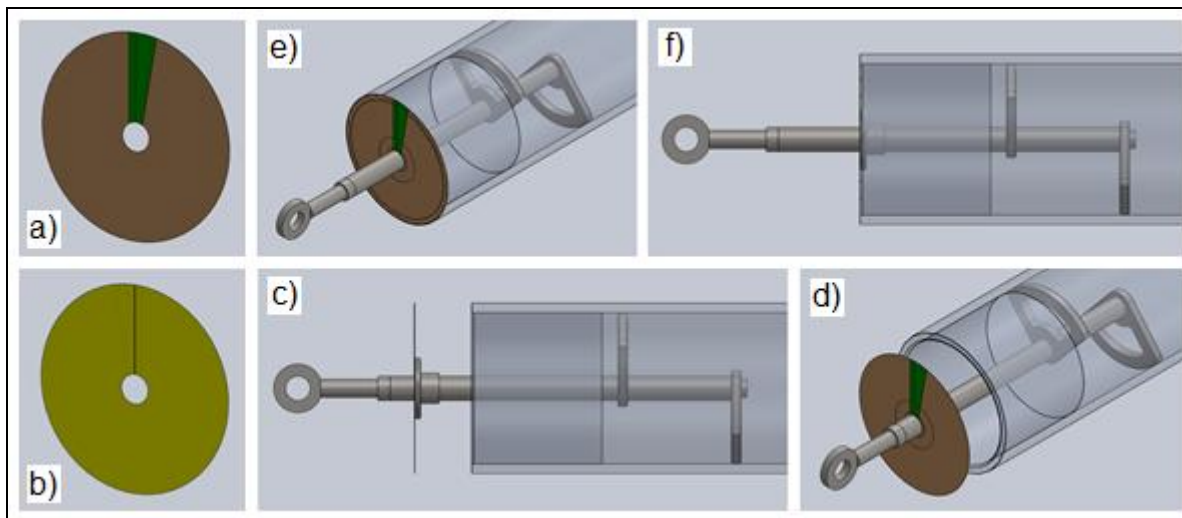


Obr. 5.27/2 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou.

c), d) aretace závěsné tyče v otvoru vodiče, e), f) maskování silikonovou zátkou.

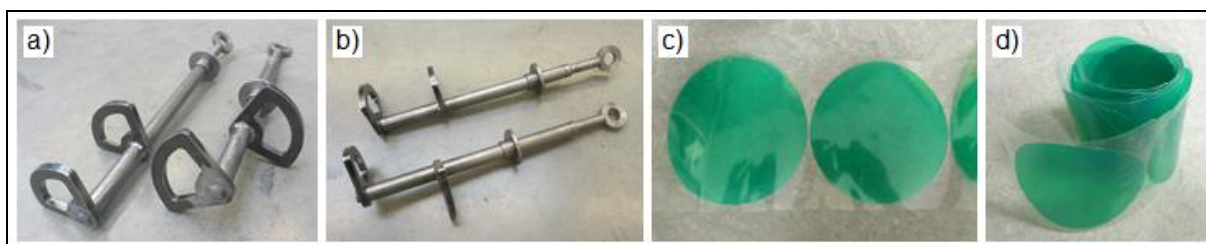
Výhodou tohoto návrhu je zaklínění závěsného přípravku ve vnitřním otvoru vodiče po jeho zavěšení, čímž je předcházeno jeho samovolnému pohybu v ose vodiče a tak poškrábání postříbřené části. Nevýhodou je vysoké riziko mechanického poškození postříbřené plochy během vsouvání závěsné tyče do otvoru vodiče, které může být způsobeno nedodržením stanoveného postupu nebo nedbalostí navěšovacího pracovníka. Nevýhodou navržené silikonové zátky je vznik nálitku na přechodové hraně jejího osazení a vnější plochy vodiče, který je nutno následně odstranit během konečné úpravy. Další nevýhodou je vytvrzení naneseného prášku na povrchu zátky během průchodu vytvrzovací pecí a vznik vad s tím spojených (špičky v laku), resp. nutnost nákladného odlakování. Zásadní nevýhodou je také vysoká cena prototypového kusu zátky, která byla stanovena firmou GUMEX, spol. s r.o. na 13 122 Kč bez DPH, a to z důvodu nutnosti objednání požadované tloušťky silikonového polotovaru. Z těchto důvodů byla výroba takto navržené silikonové zátky zavržena a byl vytvořen návrh jednorázového maskovacího přípravku, který je tvořen samolepicím kartonovým výsekem o průměru vnějšího rozměru vodiče 140 mm, dle 1HC0026162, viz příloha 13, s gramáží $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a vrstvou silikonového povlaku pro zvýšení jeho tepelné odolnosti (min. 200°C). Čelní plocha kartonového výseku je opatřena krycí přelepku ze samolepicí polyesterové fólie pro překrytí jeho dělicí hrany po zamaskování vodiče. Použité lepidlo i karton pro výrobu jednorázového přípravku musí odolávat pracovním podmínkám vytvrzovací pece, resp. teplotě 200°C , přičemž nesmí na povrchu vodiče zanechat žádné adhezní zbytky ani jiné chemické stopy. Výroba takto navrženého jednorázového přípravku se při oslovení těchto firem: Model Obaly a.s. (www.modelgroup.com), STAMPO-KARTON s.r.o. (www.stampo.cz), PRO MASK PRODUCTS s.r.o. (www.pro-mask.com), IDEAL-Trade Service, spol. s.r.o. (www.itsbrno.cz), Novák-papír s.r.o. (www.papir-novak.cz) a G3 s.r.o. (www.g3.cz) nepodařila zajistit z důvodu atypických požadavků na vlastnosti užitých materiálů (lepidel). Uvedený návrh je přesto považován za jediný možný způsob úplné eliminace záprachu a vznikajících vad během procesu lakování vodiče, tedy snížení pracnosti jeho konečné úpravy. Pro aplikaci maskovacího výseku na čelní plochu vodiče byl návrh závěsné tyče, viz Obr. 5.25 Maskování vodiče závěsnou tyčí se silikonovou zátkou / papírovou výsečí – závěsná tyč, rozšířen o posuvný opěrný kroužek usnadňující postup maskování a především utěsnění přechodového spoje mezi závěsnou tyčí a kartonovým výsekem. Maskování se provádí sejmutím krycí fólie lepicí plochy jednorázového kartonového přípravku, jeho nasazením na závěsnou tyč pomocí rozevření dělicího řezu a nalepením na posuvný kroužek závěsného přípravku. Následně je nalepený

maskovací přípravek společně s posuvným kroužkem přisunut k čelní ploše vodiče a přilepen uhlazením lepicí plochy rukou maskovacího pracovníka. V posledním kroku je dělicí hrana kartonového přípravku překryta lepicí polyesterovou přelepku, čímž je zamezeno vniknutí nanášeného PNH *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, do vnitřního otvoru vodiče.



Obr. 5.28 Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí. a), b) kartonová výseč, c), d) maskování, e), f) zamaskovaný vodič.

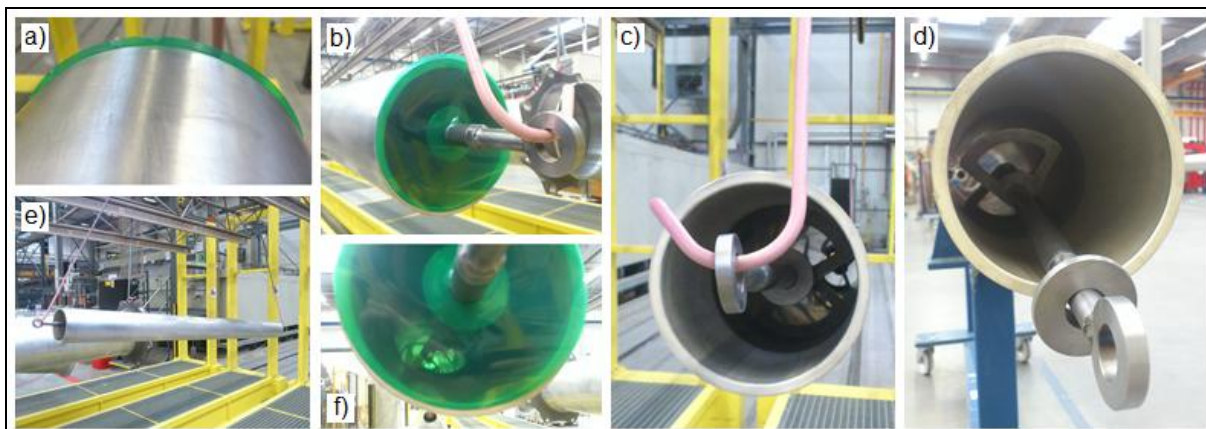
Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, na jejímž základě byla provedena výroba testovacího prototypu. Náklady na výrobu jednoho kusu závěsné tyče činily 3 600 Kč, tedy sadu testovacího páru 7 200 Kč, přičemž při výrobě 20 ks série byla cena jednoho kusu stanovena na 1 480 Kč. Navržený jednorázový kartonový maskovací přípravek byl z důvodu neúspěšného zajištění jeho výroby nahrazen testovacími výřezy z polyesterové maskovací pásky od firmy PRO MASK PRODUCTS s.r.o. (www.pro-mask.com), přičemž cena jednoho kusu při celkové výrobě 10 ks činila 7,48 Kč včetně DPH.



Obr. 5.29 Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – vyrobený prototyp. a), b) závěsná tyč, c), d) výřez z polyesterové maskovací pásky.

Při testovacím navěšení vodiče na vyrobený prototyp závěsné tyče byla zjištěna nežádoucí nepřesnost ustavení přípravku vůči ose vodiče, která byla způsobena jejími výrobními tolerancemi. Tato nepřesnost způsobila výrazné odsazení maskovacího výřezu z polyesterové pásky mimo vnější obvodovou hranu vodiče, čímž by v průběhu jeho lakování došlo ke vzniku rozlehlého záprachu na čelní ploše vodiče. Nevýhodou vyrobeného prototypu závěsné tyče byla možnost plování vodiče během ponoru do lázni chemické předúpravy jako v případě stávajícího závěsného tzv. C háku, viz *Obr. 3.10 Ponor vodiče do lázni chemické předúpravy*, resp. vysoké riziko mechanického poškození (poškrábání) jeho postříbřené plochy. Na základě

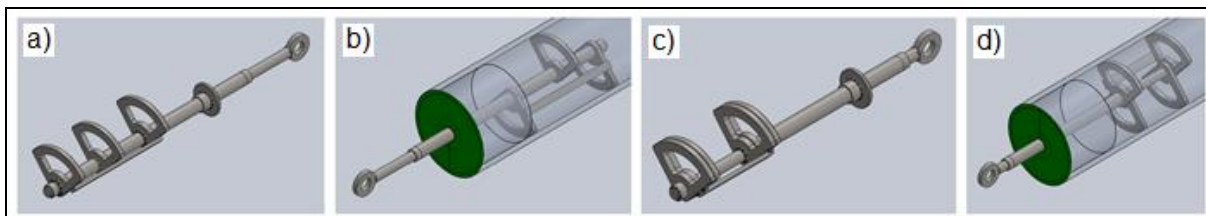
těchto důvodů bylo testování neúspěšně ukončeno již před aplikací PNH na vnější plochu vodiče a takto navržená konstrukce závěsné tyče byla zavržena.



Obr. 5.30 Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – testování prototypu.

a), f) vyosení maskovacího výřezu, b) zamaskovaný vodič, c), e) navěšený vodič, d) nežádoucí pohyb závěsné tyče ve vertikálním směru umožňující plování vodiče.

Pro odstranění konstrukčních nedostatků vyrobené závěsné tyče bylo provedeno několik návrhů úprav rozšiřující vyrobenou závěsnou tyč o opěrné body, kterými by bylo docíleno jeho přesnějšího ustavení v otvoru vodiče a především zamezeno plování vodiče během ponoru do lázni chemické předúpravy. Vzniklé návrhy byly z důvodu konstrukční složitosti, velkého počtu svarů, výrobních nákladů a setrvávajícího vysokého rizika mechanického poškození postříbřené plochy vodiče během jeho navěšování zavrhnuty. Níže uvedené návrhy byly vytvořeny ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahují kompletní 3D dokumentaci.



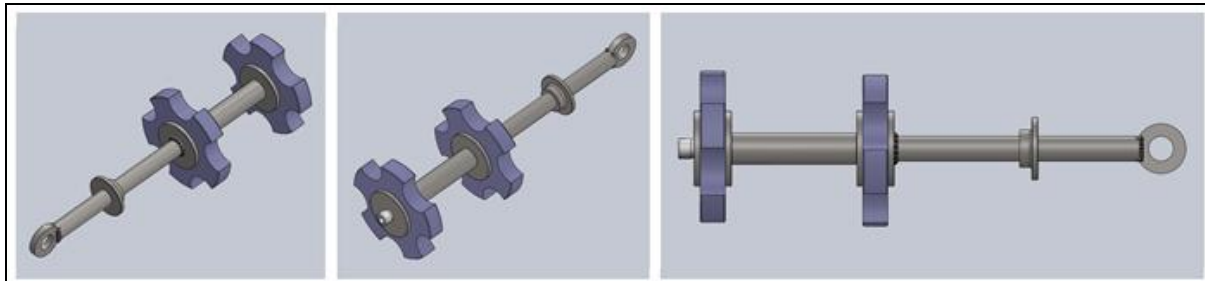
Obr. 5.31 Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – návrhy oprav prototypu.

a), b) tříramenná závěsná tyč, c), d) čtyřramenná závěsná tyč.

5.2.3 Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky

Cílem tohoto návrhu je konstrukční zdokonalení závěsného přípravku určeného pro maskování vodiče s užitím tvarového výřezu z polyesterové pásky viz *Obr. 5.30 Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – testování prototypu*. Výroba závěsného trnu byla navržena z polytetrafluoretylenového materiálu (PTFE) neboli teflonu, který se vyznačuje vysokou chemickou odolností ve spojení s širokým rozmezím pracovních teplot od -200 do $+260$ °C a tvrdostí 50 až 60 sh, díky čemuž je umožněn kontakt přípravku s postříbřenou plochou vodiče bez vzniku jejího mechanického poškození. Výhodou PTFE je také jeho dobrá otěruvzdornost, nenasákavost, kluznost, pružnost a rázová pevnost. Navržený závěsný trn je tvořen nosnou částí z korozi-vzdorné oceli 1.4301, dle ČSN 10080-1 a teflonových opěr o průměru 123 mm s půlkruhovitými výřezy, kterými je umožněn průtok kapaliny do vnitřní části vodiče během procesu chemické předúpravy. Nosná část závěsného trnu je tvořena kruhovou tyčí o průměru 20 mm s navařeným závěsným okem

a opěrným prstencem z nerezového plechu tloušťky 5 mm, přičemž mezi závěsným okem a opěrným prstencem je před svařením umístěn posuvný maskovací kroužek. Na nosnou tyč jsou následně nasunuty teflonové opěry, podložky a rozpěrná trubka, kterou je určena vzdálenost těchto opěr na 100 mm. Zajištění nasunutých dílů na nosné tyči je provedeno normalizovaným šroubem s vnitřním šestihranem M10 × 30 ČSN 021143 a pružnou podložkou.



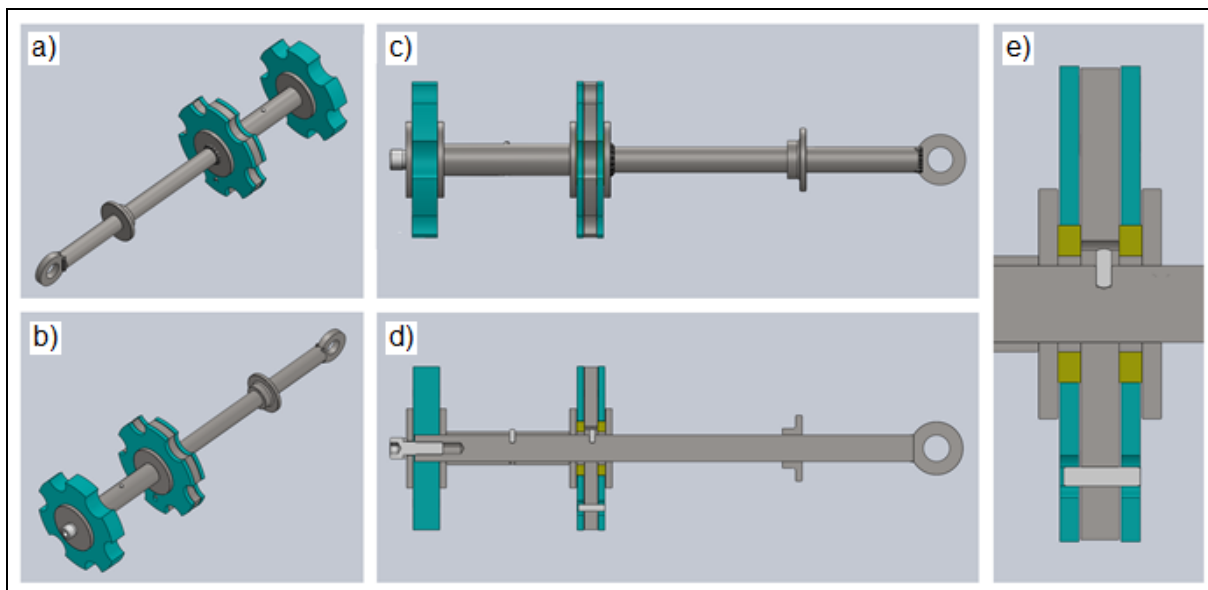
Obr. 5.32 Maskování vodiče závěsným trnem s výřezem z polyesterové pásky – závěsný trn.

Zásadní nevýhodou tohoto konstrukčního návrhu závěsného přípravku je jeho elektricky nevodivý kontakt s navěšeným vodičem, kvůli čemuž nedojde k uzemnění vodiče a splnění technologických podmínek pro aplikaci práškového laku elektrostatickou metodou Corona, viz 2.3.3.1 *Nabíjení částic metodou CORONA - Elektrostatika*. Na základě tohoto důvodu byl takto navržený závěsný trn zamítnut a další vývoj byl zaměřen na doplnění teflonových opěr o prvek zaručující uzemnění vodiče po jeho navěšení. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, která není z důvodu jejího rozsahu součástí práce. Výroba dvou kusů teflonových opěr byla firmou KAJMAN K CZ s.r.o. naceněna na 1590 Kč včetně DPH, přičemž v případě odběru 20 kusů by cena za jeden kus činila 711 Kč včetně DPH.

5.2.3.1 Závěsný trn s pružným zemnicím mechanismem

Nosná část závěsného trnu je přejata z výše uvedené varianty, viz kapitola 5.2.3 *Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky*, přičemž byla doplněna o dva otvory průměru 5 mm pro zajištění polohy některých součástí sestavy zalisovaným válcovým kolíkem. Zadní teflonová opěra (v pohledu od pojistného šroubu M10 × 30 ČSN 021143) je nahrazena pružným mechanismem s vložkou z korozivzdorné oceli 1.4301, dle ČSN 10080-1 pro dosažení vodivého kontaktu závěsného trnu s vodičem, resp. jeho uzemnění. Pružný mechanismus je tvořen dvěma distančními kroužky šířky 6 mm o vnějším průměru 25 mm a tloušťce stěny 2,5 mm. Ty jsou nasunuty na nosnou tyč o průměru 20 mm a na ně je navlečen pružný kroužek z mikroporézní silikonové pryže KSIL FDA400 od firmy GUMEX, spol. s.r.o. o vnějším průměru 41 mm, vnitřním průměru 25 mm a tloušťce 5 mm. Na kroužek z mikroporézní pěny je dále nasunuta teflonová ochrana šířky 5 mm a totožném tvaru jako v případě výše uvedeného návrhu, viz 5.2.3 *Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky*. Mezi teflonové ochrany je umístěna nerezová vložka shodného tvaru o průměru 120 mm, tedy o 3 mm menším oproti teflonovým ochranám, jejíž rotační poloha je zajištěna drážkovým výřezem se zalisovaným válcovým kolíkem o průměru 5 mm, přičemž poloha nerezové vložky vůči teflonovým ochranám je taktéž jistěna válcovým kolíkem. Zbylá část sestavy závěsného trnu byla přejata bez konstrukčních úprav z kapitoly 5.2.3 *Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky*, přičemž rozpěrná trubka je opatřena

aretačním válcovým kolíkem o průměru 5 mm zamezujícím jejímu axiálnímu posuvu, kterým by došlo k vyvození tlakové síly na krycí podložky pružného mechanismu, resp. ztrátě jeho pohybové funkce.

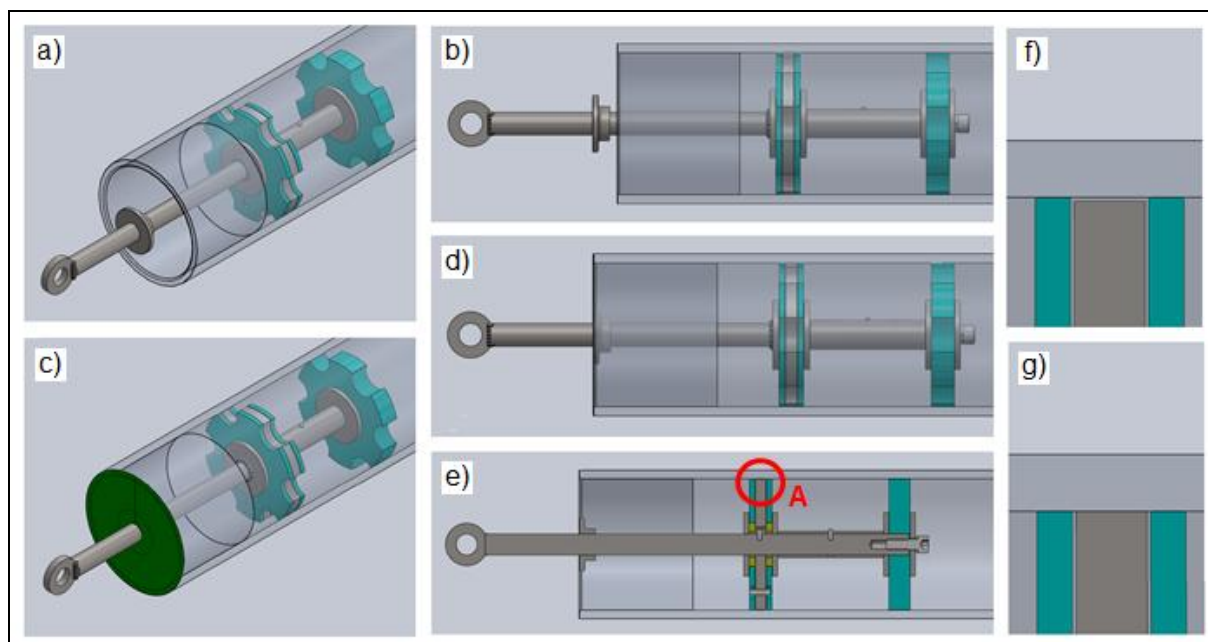


Obr. 5.33 Závěsný trn s pružným zemnicím mechanismem – závěsný trn. a), b) c) základní pohledy, d) řez, e) pružný mechanismus.

Navěšování se provádí vsunutím závěsného trnu do otvoru vodiče za jeho postříbřenou část, dle 1HC0026162, viz *příloha 13*, a jeho následným zavěšením dle standardního postupu, viz kapitola 3.5 *Navěšování*. Po zavěšení vodiče dojde k zaklínění a zatížení závěsného trnu, čímž bude vyvozena tlačná síla na teflonové ochrany, díky které dojde k elastické deformaci pružného kroužku z mikroporézní pryže a tak vertikálnímu posuvu nerezové vložky k ploše vodiče, resp. vyosení základní tyče vůči teflonové ochraně. Takto vzniklým vyosením nerezové vložky dojde k jejímu kontaktu s vnitřní plochou vodiče, resp. tíha vodiče je přenášena touto vložkou, čímž dojde k jeho požadovanému uzemnění. Maskování je realizováno výřezem z polyesterové pásky totožným způsobem jako v případě testování vyrobeného prototypu závěsné tyče viz kapitola 5.2.2 *Závěsná tyč s maskovací silikonovou zátkou / kartonovou výsečí*, resp. *Obr. 5.30 Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – testování prototypu*.

Výhodou tohoto řešení je poměrně jednoduchá konstrukce závěsného trnu s minimálním počtem svarů, univerzálnost jeho pracovní polohy pro dosažení uzemnění vodiče (nelze zaměnit jeho natočení vůči závěsnému háku) a efektivní ochrana proti mechanickému poškození postříbřené plochy vodiče během navěšování. Nevýhodou je vyosení závěsné tyče o vzdálenost 2 mm ze středu vodiče po jeho navěšení, které je způsobeno nezbytným přesazením nerezové vložky teflonovými ochranami jako prvek předcházející mechanickému poškození postříbřené plochy vodiče během navěšování, čímž dojde taktéž k vyosení maskovacího polyesterového výřezu, resp. záprachu na čelní ploše. Zásadní nevýhodou je pak velmi nízká životnost pružného mechanismu, která je dána kontaktem (i přes částečnou ochranu krycími podložkami) silikonové mikroporézní pryže KSIL FDA400 s roztoky chemické předúpravy, která neodolává degradačním účinkům kyselin, tedy nesmí s nimi přijít za žádných okolností do styku. Na základě těchto důvodů byla výroba prototypu takto navrženého závěsného trnu se zemnicí vložkou zamítnuta. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks

2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, která není z důvodu jejího rozsahu součástí práce.

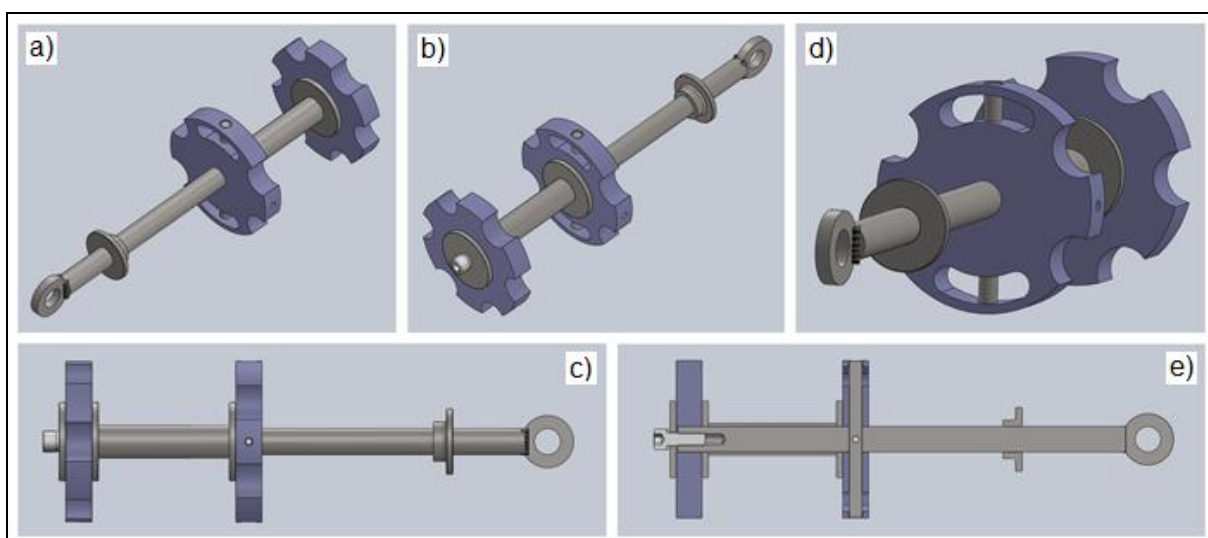


Obr. 5.34 Závěsný trn s pružným zemnicím mechanismem – maskování vodiče.

a), b) navěšování, c), d) maskování, e) řez, f) detail A při navěšování (vůle zemnicí vložky), g) detail A po navěšení (vodivý kontakt zemnicí vložky).

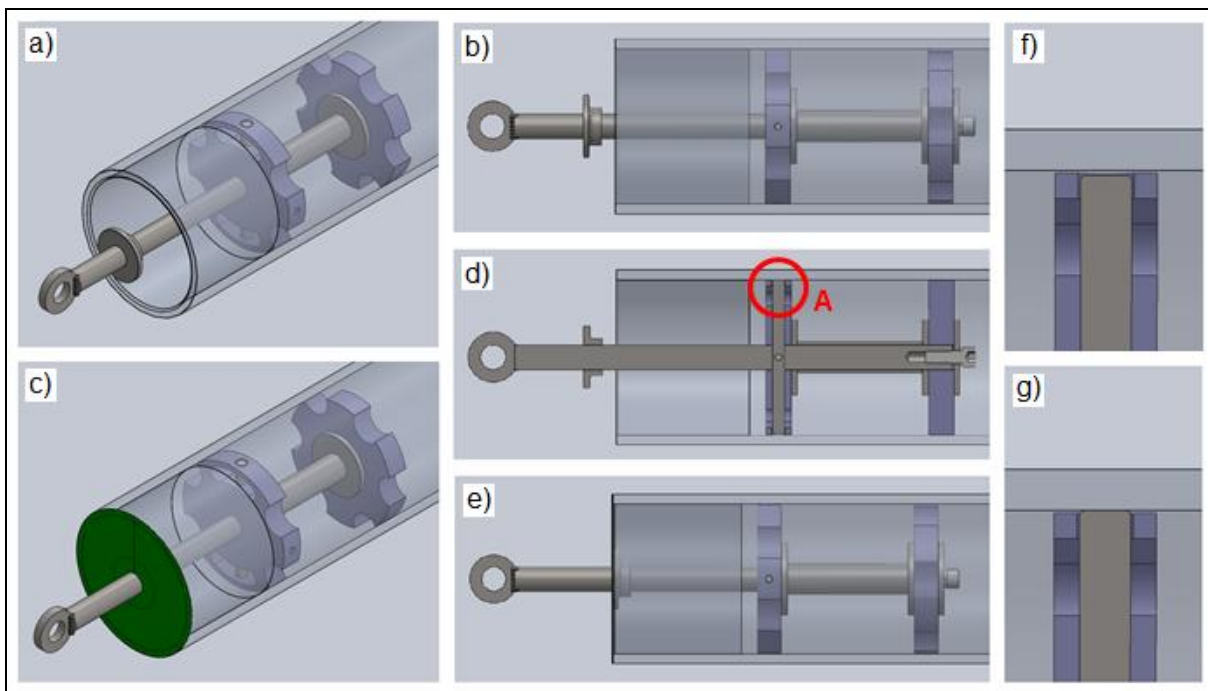
5.2.3.2 Závěsný trn se zemnicím kolíkem

Návrh je založen na výše uvedené variantě, viz kapitola 5.2.3 *Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky*, resp. Obr. 5.32 *Maskování vodiče závěsným trnem s výřezem z polyesterové pásky – závěsný trn*, odkud byly přejaty hlavní prvky závěsného trnu, jako jsou nosná tyč se závěsným okem, maskovací kroužek, opěrné podložky, rozpěrná trubka, pojistný šroub i přední teflonová opěra (z pohledu od pojistného šroubu M10 × 30 ČSN 021143). Zadní teflonová opěra je navržena taktéž z polytetrafluoretylenového materiálu (PTFE) neboli teflonu tloušťky 20 mm, který je vyřezán vodním paprskem do kruhového tvaru s průměrem 123 mm a opatřen půlkruhovitými výřezy po jeho obvodu umožňující průtok roztoků do vnitřního otvoru vodiče během chemické předúpravy. Do teflonové opěry jsou taktéž umístěny dva otvory ve tvaru obloukové perové drážky šířky 15 mm s jejich odsazením 5 mm od vnější hrany obvodové kružnice teflonové opěry. Drážky jsou navrženy jako cílené snížení tuhosti dosedacích ploch PTFE opěry ve vertikálním směru, resp. zvýšení pružnosti těchto míst v oblasti její elastické deformace. Do obvodové plochy ochrany jsou dále umístěny kolmé montážní otvory o průměru 10 a 5 mm a do nosné tyče závěsného trnu pak dva kolmé otvory taktéž o průměru 10 mm a 5 mm s toleranční úchylnou H7 pro nalisování (uložení s přesahem) zemnicího a pojistného kolíku. Zemnicí kolík délky 122 mm s průměrem 10 mm a tolerancí r6 je nalisován do otvoru průměru 10H7 na střed své délky a zajištěn zalisovaným pojistným kolíkem 5 × 24 mm ČSN EN 22 338B. Sestavení ostatních dílů závěsného trnu je provedeno totožným způsobem jako ve výše uvedeném návrhu závěsného trnu bez zemnicího kolíku, viz 5.2.3 *Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky*, resp. Obr. 5.32 *Maskování vodiče závěsným trnem s výřezem z polyesterové pásky – závěsný trn*.



Obr. 5.35 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – závěsný trn. a), b), c) základní pohledy, d) drážkové výřezy v ochranném teflonu, e) řez sestaveným závěsným trnem.

Navěšování vodiče se provádí vsunutím závěsného trnu do jeho vnitřního otvoru za hranici postříbřené plochy a jeho následným zavěšením na zavázací nosníky dle kroků standardního postupu, viz kapitola 3.5 *Navěšování*. Uzemnění vodiče je docíleno po jeho zavěšení částečnou elastickou deformací teflonové opěry vlivem jejího zatížení tíhovou silou vodiče, při níž dojde k vodivému kontaktu zemnicího kolíku s vnitřní plochou vodiče, resp. jeho uzemnění. Maskování vodiče je pak realizováno výřezem z polyesterové pásky totožným způsobem jako v případě testování vyrobeného prototypu závěsné tyče, viz kapitola 5.2.2 *Závěsná tyč s maskovací silikonovou zátkou / kartonovou výsečí*, resp. Obr. 5.30 *Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – testování prototypu*.



Obr. 5.36 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – postup maskování. a), b) navěšování vodiče, c), e) maskování, d) řez, f) detail A při navěšování (krytý zemnicí kolík), g) detail A po navěšení (vodivý kontakt zemnicího kolíku).

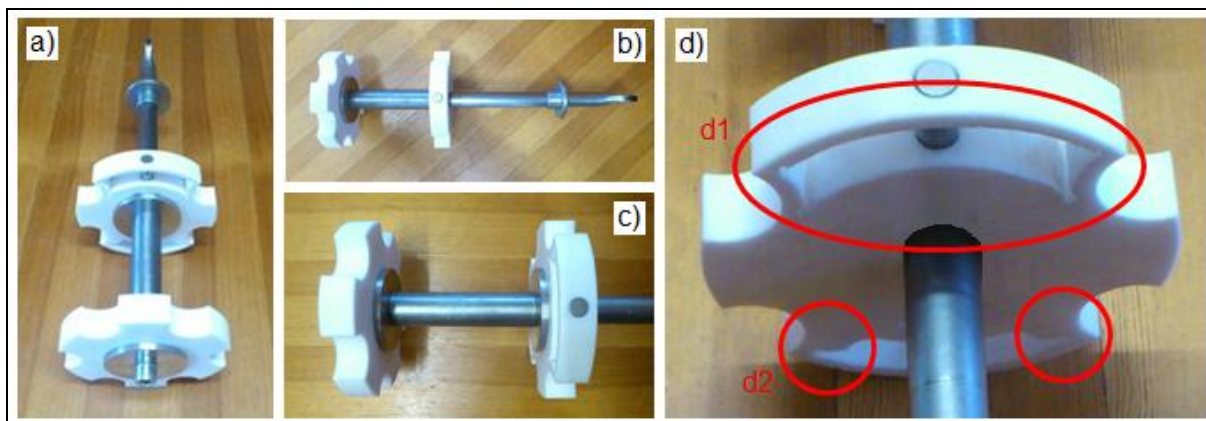
Výhodou tohoto návrhu je jednoduché efektivní a bezporuchové řešení závěsného trnu s užitím jediného svarového spoje (závěsného oka se základní tyčí), snadná výměna opotřebených dílů a relativně nízké pořizovací náklady, které jsou dány převážně cenovou položkou PTFE materiálu. Další výhodou je dokonalá ochrana postříbřené plochy vodiče před mechanickým poškozením během procesu jeho navěšování, resp. svěšování. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, na jejímž základě byl vyroben prototypový testovací pár závěsného trnu se zemnicím kolíkem. Náklady na výrobu teflonových opěr s nerezovými dosedacími prstenci činily 7 900 Kč včetně DPH, přičemž zbylé díly sestavy byly vyrobeny vlastní svépomocí a nebyly do výrobních nákladů zahrnuty. Zásadním zjištěním po obdržení vyrobených teflonových opěr byla vysoká pevnost polytetrafluoretylenového materiálu, kterou nebyla umožněna jeho předpokládaná elastická deformace o požadované velikosti průhybu dosedací plochy 1 mm, při jejím zatížení minimální tíhovou silou vodiče 45 N (hmotnost 1 m vodiče činí cca 9 Kg) vedoucí k dosažení vodivého kontaktu zemnicího kolíku s vnitřní plochou vodiče, resp. uzemnění vodiče. První viditelné elastické deformace vedoucí k průhybu dosedací plochy a tak požadovanému kontaktu zemnicího kolíku byly zaznamenány při kolmém zatížení teflonové opěry silou 420 N. Na základě tohoto důvodu byl vyrobený prototyp závěsného trnu se zemnicím kolíkem označen jako nefunkční a byla zahájena tvorba nápravných kroků vedoucích k odstranění vzniklé závady, resp. uvedení zemnicího kolíku do jeho požadované funkce. Pro účely pořízení níže uvedené fotografie byl závěsný trn sestaven bez zalisování zemnicího a pojistného kolíku.



Obr. 5.37 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – vyrobený prototyp. a) jednotlivé součásti sestavy, b), c) sestavení bez zalisování zemnicího a pojistného kolíku.

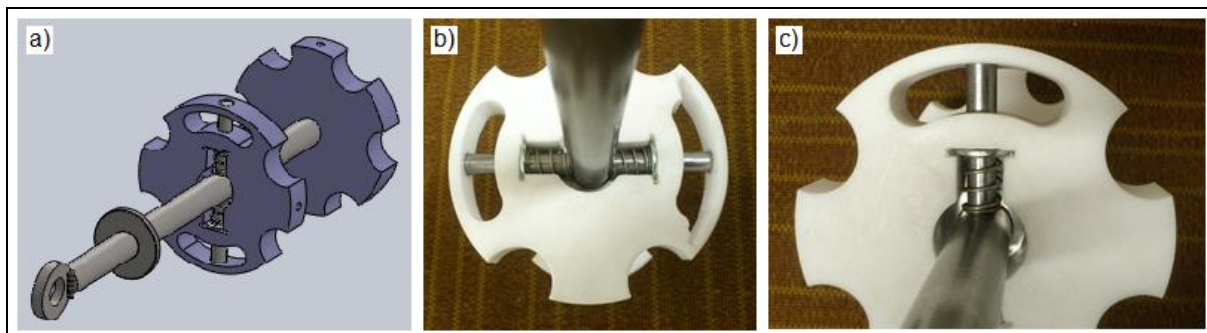
První a zároveň nejsnadněji realizovatelnou úpravou vyrobeného prototypu bylo snížení tuhosti pružné dosedací oblasti teflonových opěr, která byla provedena oslabením těchto míst tvarovými výřezy. Ty byly provedeny ve dvou konstrukčních variantách na jedné z vyrobených teflonových opěr, přičemž první varianta byla založena na vytvoření vrubového koncentrátoru napětí narušením plynulého rádiusového přechodu mezi nosnou plochou a původním drážkovým vybráním. Požadované snížení tuhosti nosné části teflonové opěry však tímto oslabením nebylo dosaženo. Druhou variantou bylo předpokládáno rozložení působící vertikální tíhové síly od zavěšeného vodiče do horizontálního směru vlivem nejnižší reakční (odporové) složky síly, resp. vytvořením koncentrátoru napětí v tomto směru. To bylo provedeno rozsáhlým oslabením nosné části teflonové opěry až pod hranici středové osy půlkruhových perových vybrání na jejím obvodu, čímž došlo k požadovanému snížení tuhosti dosedací plochy PTFE opěry. Nevýhodou tohoto řešení bylo již nadměrné oslabení nosné části opěry a nízká elasticita teflonového materiálu, kterou nebyla zdeformovaná oblast po jejím odtížení vrácena do

původního tvaru, čímž nedošlo k požadovanému překrytí zemnicího kolíku a tak ochraně postříbřené plochy vodiče před jejím mechanickým poškozením. Na základě těchto důvodů bylo pokračováno na vývoji dalších nápravných řešení vyrobeného prototypu závěsné tyče se zemnicím kolíkem tak, aby došlo k uvedení zemnicího kolíku do jeho požadované funkce. Realizované úpravy prototypového přípravku byly provedeny vlastní svépomocí v domácích podmínkách a jsou znázorněny v následujícím obrázku, viz *Obr. 5.38 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – snížení tuhosti teflonové opěry*.



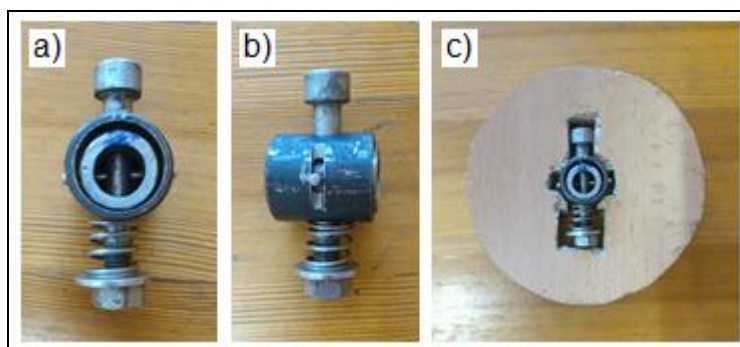
Obr. 5.38 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – snížení tuhosti teflonové opěry. a), b) c) sestavení závěsného trnu, d1) oslabení nosné části rozsáhlým zvětšením perového vybrání, d2) oslabení nosné části narušením přechodového rádiusu perového vybrání.

Další úpravou vyrobeného prototypu s cílem zajistit jeho požadovanou funkci bylo osazení teflonové opěry tlačnými pružinami. Ty jsou umístěny symetricky radiálně vůči nosné tyči závěsného trnu a umožňují její vyosení, resp. vysunutí zemnicího kolíku po navěšení vodiče. Tlačné pružiny s označením DR2050 jsou zvoleny z koroziuvzdorného materiálu 1.4301, dle ČSN 10080-1 s průměrem drátu 1,0 mm, maximální vyvíjenou silou 18,3 N a délkou v nezátíženém stavu 24 mm. Do prototypové teflonové opěry byly dodatečně vyrobeny tvarové výřezy pro osazení pružin s opěrnou podložkou a její středový otvor byl zvětšen na průměr 30 mm pro umožnění posuvného pohybu opěry, resp. vyosení nosné tyče závěsného trnu. Nevýhodou toho řešení byl kyvný pohyb teflonové opěry kolem osy zemnicího kolíku, který byl způsoben zvětšením středového otvoru a musel by být následně zajištěn opěrnými podložkami rozpěrné trubky. Další nevýhodou byla nepřesnost ustavení teflonové opěry vzhledem ke středu délky zemnicího kolíku, resp. nízká efektivita jeho krytí a s tím spojené riziko mechanického poškození postříbřené plochy vodiče během navěšování a svěšování. Nevýhodou byla také nízká tuhost pružin, kterou by bylo možné odstranit užitím jiného typu pružin s větší tuhostí. Na základě těchto důvodů byla navržená a realizovaná úprava závěsného trnu vyhodnocena jako nevhodná a pokračovalo se na vývoji řešení vedoucí k dosažení jeho požadované funkčnosti. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, na jejímž základě byly provedeny úpravy vyrobeného prototypu, které byly realizovány vlastní svépomocí v domácích podmínkách. Použité nerezové pružiny s označením DR2050 byly zakoupeny od firmy ALCOMEX Spring Works, s.r.o., přičemž cena jedné pružiny činila 86,50 Kč včetně DPH. Osazení závěsného trnu tlačnými pružinami je znázorněno na níže uvedeném obrázku, viz *Obr. 5.39 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – osazení tlačnými pružinami*.



Obr. 5.39 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – osazení tlačnými pružinami. a) konstrukční návrh, b), c) upravený prototyp.

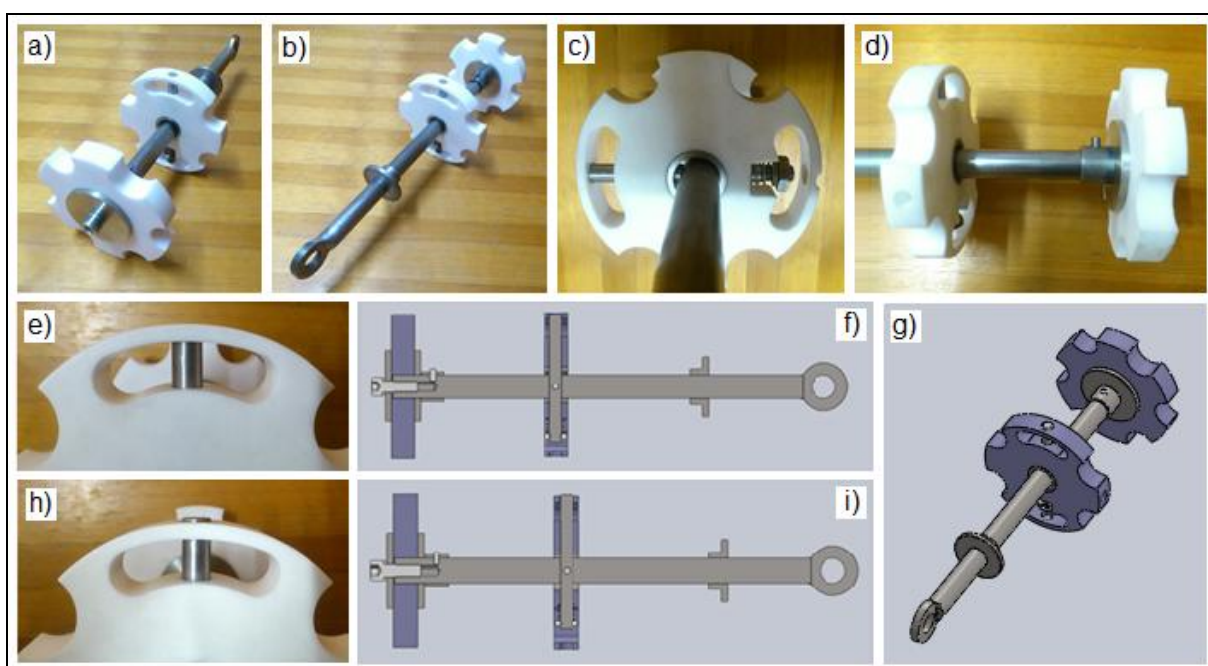
Posledním návrhem úpravy konstrukce vyrobeného prototypu závěsného trnu se zemnicím kolíkem bylo vytvoření pohybového mechanismu, kterým je umožněno vyosení jeho nosné tyče, resp. zemnicího kolíku a tak docílení jeho požadované funkčnosti. Pohybový mechanismus je složen z nerezového vodícího pouzdra o vnitřním průměru 23 mm, vnějším průměru 30 mm a šířce 20 mm, které je zalisováno do středového otvoru teflonové opěry. Do radiální osy pouzdra uprostřed jeho šířky je umístěn otvor o průměru 10,5 mm pro vedení zemnicího kolíku, přičemž kolmo k ose tohoto otvoru jsou umístěny vodící drážky jeho pojistného kolíku o průměru 5 mm. Skrz otvor vodícího pouzdra je vsunuta nosná tyč závěsného trnu o průměru 20 mm, tedy o 3 mm menším oproti pouzdru, čímž je umožněno vyosení nosné tyče ze středu pouzdra o vzdálenost 1,5 mm. Radiálním otvorem pouzdra je následně osazen zemnicí kolík a zajištěn zalisováním pojistného kolíku skrz vodící drážky pouzdra. Krytí zemnicího kolíku teflonovou ochranou je pak dosaženo tlačnou pružinou umístěnou v jeho dolní části, kterou je držena nosná tyč závěsného trnu v navěšovací poloze, tedy ve vzdálenosti 1,5 mm pod středovou osou pouzdra, přičemž tlačná pružina je na zemnicím kolíku jištěna samosvornou maticí. Pro ověření funkčnosti navrženého pohybového mechanismu byl vlastní svépomocí vyroben jeho zkušební prototyp, který je uveden na následujícím obrázku, viz *Obr. 5.40 Pohybový mechanismus – vyrobený prototyp*.



Obr. 5.40 Pohybový mechanismus – vyrobený prototyp.
a) čelní pohled, b) boční pohled, c) ověření funkčnosti.

Po úspěšném ověření funkčnosti navrženého pohybového mechanismu byla provedena finální úprava vyrobeného prototypu závěsného trnu se zemnicím kolíkem. Ta spočívala ve zvětšení středového otvoru teflonové opěry na průměr 30 mm, do kterého bylo zalisováno vodící pouzdro a převrtání otvoru průměru 6 mm v obvodové ploše teflonové ochrany na průměr 9 mm pro umožnění posuvného pohybu pojistného kolíku. Teflonová opěra se zalisovaným pouzdrem byla nasunuta na nosnou tyč závěsného trnu a následně byl osazen zkrácený zemnicí kolík

s vyřezaným závitem M10 v jeho spodní části, který byl zajištěn zalisováním pojistného kolíku 5 × 24 ČSN EN 22 338B. Na závitovou část zemnicího kolíku byla vložena tlačná pružina z nerezové oceli s označením DR2250 a zajištěna samosvornou maticí M10, přičemž průměr drátu pružiny je 1,25 mm, maximální vyvozuující síla 5,75 Kg a byla zakoupena od firmy Alcomex Spring Works, s.r.o. s pořizovací cenou 91 Kč včetně DPH. Sestavení ostatních dílů závěsného trnu je provedeno totožným způsobem jako v případě návrhu závěsného trnu bez zemnicího kolíku, viz kapitola 5.2.3 *Závěsný trn s maskovacím výřezem z polyesterové pásky*, resp. Obr. 5.32 *Maskování vodiče závěsným trnem s výřezem z polyesterové pásky – závěsný trn*, přičemž rozpěrná trubka byla nahrazena opěrným kroužkem s pojistným kolíkem o průměru 5 mm. Návrh byl vytvořen ve studentské verzi programu SolidWorks 2014 a obsahuje kompletní 3D a výkresovou dokumentaci, na jejímž základě byly provedeny úpravy vyrobeného prototypu, které byly realizovány vlastní svépomocí v domácích podmínkách.

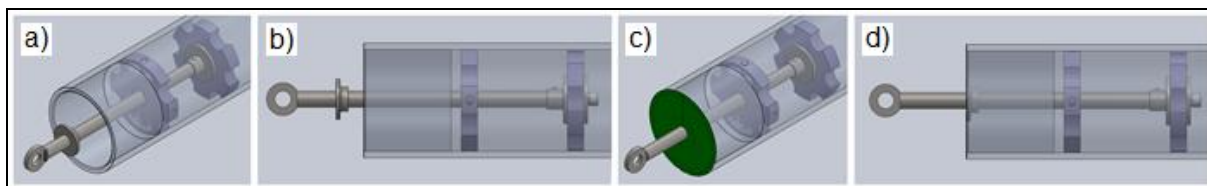


Obr. 5.41 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – prototyp s pohybovým mechanismem.

a), b), c), d) sestavení závěsného trnu, e), f) navěšovací poloha zemnicího kolíku (kolík krytý teflonovou ochranou), h), i) poloha zemnicího kolíku po navěšení (zemnicí kontakt), g) návrh konstrukčních úprav.

Navěšování vodiče je realizováno vsunutím závěsného trnu do jeho otvoru za hranici postříbřené plochy a jeho následným zavěšením na zavážecí nosníky dle kroků standardního postupu viz kapitola 3.5 *Navěšování*. Uzemnění vodiče je docíleno po jeho zavěšení stlačením pružiny, vlivem působení tíhové síly vodiče, přičemž dojde k vodivému kontaktu zemnicího kolíku s vnitřní plochou vodiče, resp. jeho uzemnění. Maskování vodiče je pak realizováno výřezem z polyesterové pásky totožným způsobem jako v případě testování vyrobeného prototypu závěsné tyče, viz kapitola 5.2.2 *Závěsná tyč s maskovací silikonovou zátkou / kartonovou výsečí*, resp. Obr. 5.30 *Maskování vodiče závěsnou tyčí s kartonovou výsečí – testování prototypu*. Výhodou takto navrženého závěsného trnu s pohybovým mechanismem je jeho jednoduchá konstrukce, kterou je umožněna snadná výměna nebo údržba jednotlivých dílů, nízké výrobní náklady mechanických částí z nerezové oceli a zaručená funkčnost zemnicího kolíku s nastavitelnou tuhostí dle užití pružiny. Zásadní výhodou návrhu je pak efektivní ochrana postříbřené části vodiče během

navěšování i svěšování, přičemž nevýhodou vyrobeného prototypu je možnost záměny pracovní polohy závěsného trnu při navěšování, resp. navěšení vodiče bez jeho uzemnění. Tato nevýhoda lze odstranit umístěním závěsného oka na vrchní část nosné tyče, čímž dojde k zamezení záměny její pracovní polohy.

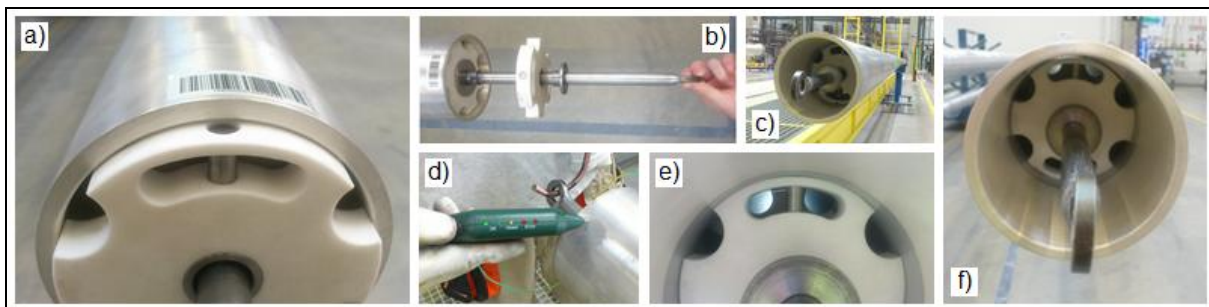


Obr. 5.42 Závěsný trn se zemnicím kolíkem a pohybovým mechanismem – postup maskování. a), b) navěšování, c), d) maskování výřezem z polyesterové pásky.

Testování upraveného prototypu závěsného trnu se zemnicím kolíkem bylo provedeno v průběhu ranní směny dne 19. 4. 2016, kdy byla nejprve ověřena funkčnost pohybového mechanismu jako ochrana proti mechanickému poškození postříbřené plochy vodiče. To bylo realizováno v několika opakování vsunutím závěsného trnu do otvoru (na obou koncích) dvanácti vodičů s různou přesností výroby v mezích tolerance $124 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$, dle 1HC0026162, viz *příloha 13*. Po ověření funkčnosti, resp. rozměrové přesnosti vyrobeného prototypu, následovalo testovací navěšení vodiče dle standardního postupu, viz kapitola 3.5 *Navěšování*, a ověření jeho uzemnění pomocí kontrolního měření. Měření bylo provedeno zemnicím měřičem se signalizačními kontrolkami třech základních stavů:

- OK, resp. uzemnění v pořádku (zelená LED dioda),
- CHECK, resp. dostatečné uzemnění (žlutá LED dioda),
- STOP, resp. nedostatečné uzemnění (červená LED dioda).

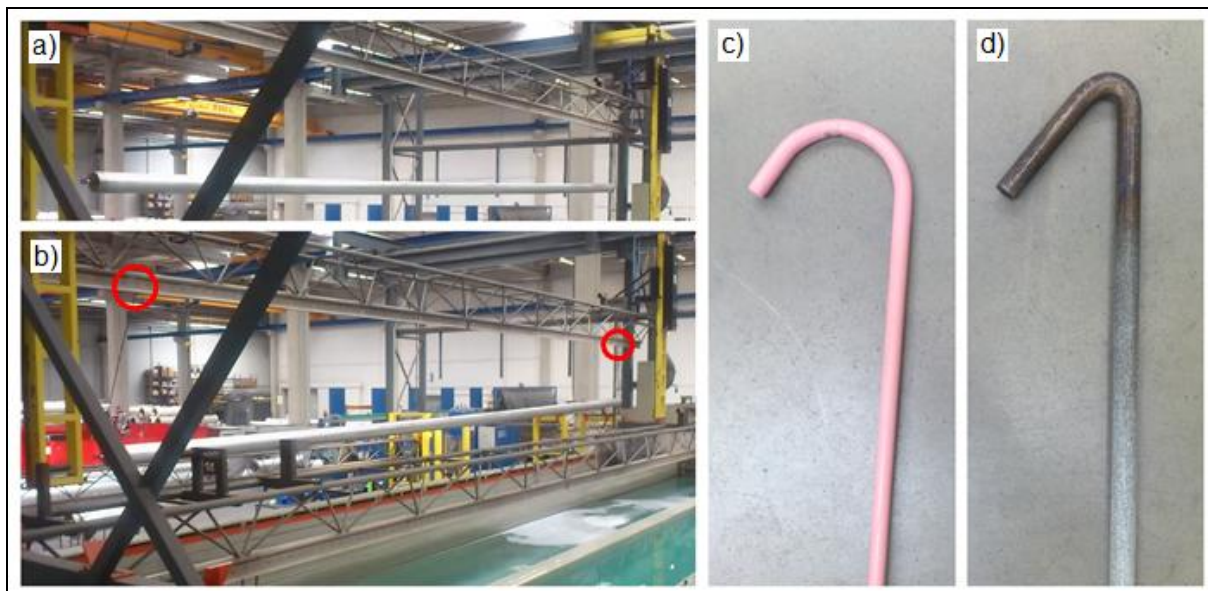
Výsledkem kontrolního měření uzemnění vodiče bylo rozsvícení zelené LED diody měřicího přístroje označující stav OK neboli zcela vyhovující uzemnění.



Obr. 5.43 Závěsný trn se zemnicím kolíkem a pohybovým mechanismem – testování prototypu. a) krytí zemnicího kolíku, b), e), f) testování pohybového mechanismu, c) navěšování, d) kontrolní měření uzemnění vodiče.

Během automatizovaného zavážení návěsného vodiče do prvního stupně chemické předúpravy, viz kapitola 3.6 *Chemická předúprava*, došlo k nečekané kolizi, která byla způsobena vyháknutím závěsného háku vodiče z ramene zavážecího nosníku, čímž bylo způsobeno uvíznutí vodiče na dně chemické lázně kyselého odmaštění s dezoxidací a tak odstavení poloautomatické lakovací linky na dobu nezbytnou pro odstranění vzniklé nehody. Z důvodu přísných bezpečnostních opatření vztahujících se k pracovišti chemické předúpravy se nepodařilo vylovit jeden z prototypových závěsných trnů, kterými byl vodič navěšen, čímž bylo znemožněno opakování testovacího cyklu a především zkušební maskovací, lakovací a vytvrzovací proces s požadovanými výsledky vykazující snížení pracnosti konečné úpravy vodičů.

Během zpětné studie záznamových materiálů (videí a fotografií), které byly pořízeny v průběhu testování, byla odhalena příčina závady, která byla způsobena užitím nevhodného typu závěsného háku, tedy, že závada byla způsobena lidským faktorem, nikoli nefunkčností navrženého závěsného trnu. Za příčinu vyháknutí závěsných háků bylo označeno výrazné snížení průtoku kapaliny chemické předúpravy do vnitřního otvoru vodiče vlivem nedostatečného odlehčení teflonových opěr, které vedlo ke vzniku vzduchové kapsy v dutině vodiče a tak významnému omezení rychlosti jeho ponoru vůči rychlosti vertikálního pohybu závěsného nosníku, viz *Obr. 3.10 Ponor vodiče do lázni chemické předúpravy*. V případě užití vhodného tlačného závěsného háku, který je vyroben s větším nosným průřezem pro překonání vztlačkové síly vodiče a tvarově odlišnou zahnutou částí, kterou je bráněno jeho samovolnému vyháknutí, by s jistotou k této kolizi nedošlo. Uvažovanou nevýhodou vyrobeného prototypu bylo snížení rychlosti výtoku kapalin chemické předúpravy z vnitřního otvoru vodiče během jeho vynořování a tak možná kontaminace následujícího stupně chemické předúpravy přenosem vytékajícího roztoku, přičemž k ověření této hypotézy nedošlo z důvodu vzniklé kolize.

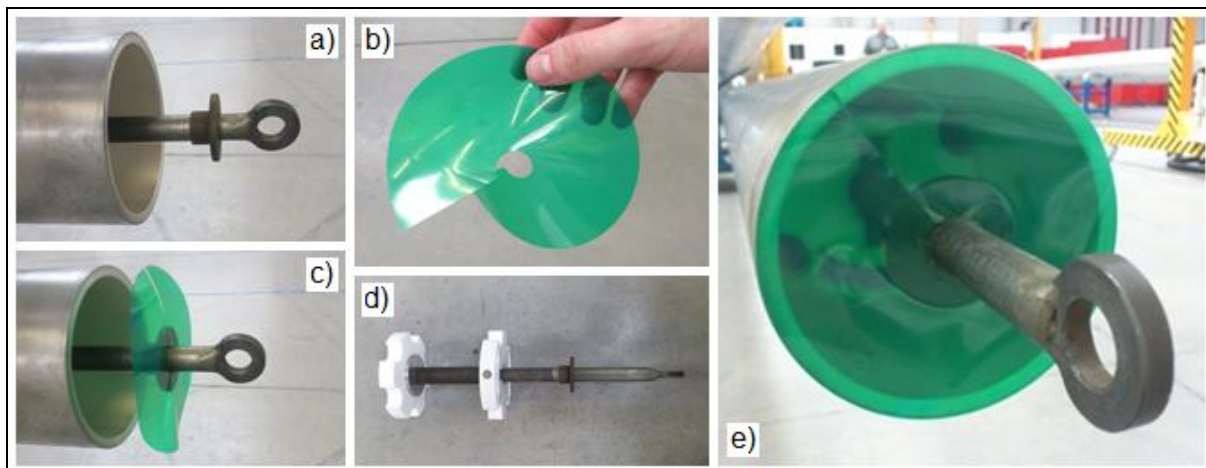


Obr. 5.44 Závěsný trn se zemnicím kolíkem a pohybovým mechanismem – kolize.

- a) zavěšený vodič, b) oblasti vyháknutí závěsných háků, c) použitý nevhodný typ háku, d) tlačný hák s mechanickým jistěním samovolného vyháknutí.

Po odstranění následků vzniklé kolize byly na povrchu vyloveného prototypového závěsného trnu zaznamenány rozsáhlé stopy počátku korozního napadení, které byly způsobeny agresivními účinky roztoku kyselého odmaštění s dezoxidací. Provizorní testování maskovacího postupu bylo tedy provedeno s užitím tohoto závěsného trnu a výřezu z polyesterové maskovací pásky bez aplikace a vytvrzení PNH na povrchu vodiče, přičemž výsledkem bylo dosažení přesného vystředění nosné tyče závěsného trnu, resp. maskovacího výřezu vůči vnějšímu průměru vodiče a tak efektivní, rychlé a jednoduché maskování jeho čelní plochy. Druhý kus prototypového závěsného trnu, který po vzniklé kolizi setrval v lázni kyselého odmaštění s dezoxidací bude podkladem dlouhodobého testování jeho odolnosti, resp. teflonového materiálu, agresivním účinkům tohoto roztoku. Přestože z uvedených důvodů testování vyrobeného prototypu neproběhlo úspěšně, je tento návrh závěsného trnu se zemnicím kolíkem považován za jediné možné optimalizační řešení vedoucí k úplné eliminaci vznikajícího mechanického poškození

postříbřené plochy vodiče, zrychlení výrobního taktu, zvýšení produktivity, zefektivnění a zjednodušení maskovacího procesu. Je také předpokládáno požadované snížení pracnosti konečné úpravy vodiče, přičemž sjednocení povrchu jeho vnější lakované plochy v celé její délce, bude realizováno užitím brusné houby MEDIUM (resp. FINE) vždy, a to z důvodu dodržení předepsané jakosti povrchu a tak snížení rizika přeskočení elektrického výboje během vysokonapěťové zkoušky, viz kapitola 1 *Plynem izolované rozvodny velmi vysokého napětí GIS*.



Obr. 5.45 Závěsný trn se zemnicím kolíkem a pohybovým mechanismem – maskování prototypu. a) zavěšený vodič, b) výřez z polyesterové maskovací pásky, c) nalepení výřezu na maskovací kroužek, d) závěsný trn se zemnicím kolíkem, e) zamaskovaný vodič.

V průběhu testování maskovacího procesu byla taktéž provedena analýza časové náročnosti navrženého postupu, která byla provedena pěti kontrolními měřeními, přičemž výsledky byly zaznamenávány do *Formuláře časové analýzy maskování vodičů*, viz *příloha 7*, a jsou uvedeny v následující tabulce, viz *Tab. 5.1 Časová náročnost navrženého způsobu maskování vodičů*. Z výsledků je patrné, že navrženým způsobem maskování byla vytvořena výrazná časová úspora vzhledem ke stávajícímu způsobu maskování pomocí pruhů polyesterové pásky, viz *Tab. 4.1 Časová náročnost maskování pouzder (trubek) a vodičů*, která činí 1,7 minuty.

Tab. 5.1 Časová náročnost navrženého způsobu maskování vodičů.

Maskovaná součást	Čas [min.]						
	Číslo vzorku					Průměr na 1 ks	Úspora na 1 ks
	1	2	3	4	5		
Vodič	1,0	1,3	1,4	1,5	1,5	1,3	1,7

6 VÝBĚR A HODNOCENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Optimální variantou je označováno navržené řešení, jehož příčinou dojde ke snížení pracnosti konečné úpravy vybraných dílů (pouzder a vodičů), zefektivnění a zrychlení výroby, resp. zvýšení produktivity spolu se snížením výrobních nákladů. To lze dosáhnout eliminací vad vznikajících v průběhu lakovacího procesu, které byly podrobně analyzovány v kapitole 4.4 *Specifikace nejčastějších vad a stanovení kořenových příčin*, nahrazením stávajícího neefektivního způsobu maskování navrženými jednorázovými samolepicími přípravky. Užitím jednorázových přípravků je zaručena úplná eliminace záprachu na jimi krytých místech lakovaných součástí a odstranění nežádoucích aspektů spojených se zalakováním nebo opotřebením stávajících přípravků, procesem přemaskování či nedodržením předepsaných postupů. Výběr a hodnocení optimální varianty návrhu je rozděleno dle vybraných lakovaných součástí (vodič, trubka) a jejich charakteristických vad, resp. maskovaných ploch.

6.1 Výběr a hodnocení optimální varianty – pouzdra (trubky)

Optimální variantou pro snížení pracnosti konečné úpravy pouzder neboli trubek je kombinace navržených řešení, viz kapitola 5.1.2.4 *Maskování vnitřní plochy trubky kartonovou záplekou*, 5.1.2.6 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem* a 5.1.3 *Návrhy optimalizačních řešení pro odstranění nálitku závitových otvorů*, přičemž výroba navržených jednorázových přípravků, které jsou uvedeny v jednotlivých optimalizačních řešeních se v případě oslovení těchto firem:

- Model Obaly a.s. (www.modelgroup.com),
- STAMPO-KARTON s.r.o. (www.stampo.cz),
- PRO MASK PRODUCTS s.r.o. (www.pro-mask.com),
- IDEALTrade Service, spol. s r.o. (www.itsbrno.cz),
- Novák-papír s.r.o. (www.papir-novak.cz)
- G3 s.r.o. (www.g3.cz)

nepodařila v průběhu zpracovávání diplomové práce zajistit z důvodu nestandardních požadavků na použité materiály, zejména vlastností kontaktních lepidel maskovaných ploch, které nesmí na povrchu součástí (pouzdra) zanechat žádné adhezní zbytky a jiné chemické stopy. Výroba jednorázových maskovacích přípravků se nepodařila realizovat ani v případě konstrukčního zjednodušení umožňující jejich výřez z oboustranně lepicího archu silikonem povlakovaného papíru.

Hlavními výhodami navrženého optimalizačního řešení vůči stávajícímu způsobu maskování jsou:

- + úplná eliminace nežádoucího záprachu vlivem netěsnosti přípravků,
- + úplná eliminace nežádoucího záprachu vlivem přemaskování,
- + možnost rozlití laku během procesu jeho vytvrzování, resp. odstranění nežádoucí ostré přechodové hrany laku,
- + odstranění kontroly, údržby a nákladného odlakování stávajících opakovatelně používaných přípravků,

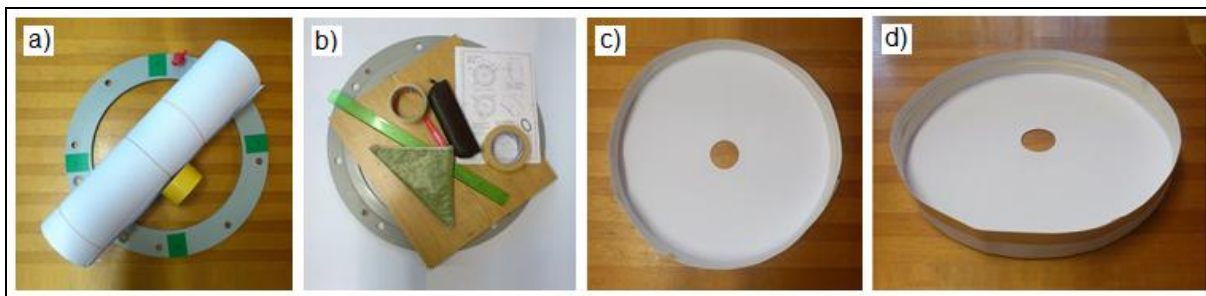
- + snadná likvidace (recyklace) použitých jednorázových maskovacích přípravků,
- + eliminace vzniku vad spojených s opakovaným použitím zalakovaného přípravku (odlupování částic laku, degradace materiálu, opotřebení apod.),
- + snížení pracnosti konečné úpravy a nákladů s tím spojených.

Nevýhodami navrženého optimalizačního řešení vůči stávajícímu neefektivnímu způsobu maskování jsou:

- nestandardní požadavky na použité materiály, zejména lepidla,
- relativně komplikovaná výroba jednorázových maskovacích přípravků s ohledem na aplikaci lepidel či oboustranně lepicí pásky,
- vyšší náklady na výrobní nástroje (jednoduchá lisovací forma, aplikátory lepidel, vysekávací planžety apod.),
- výroba jednorázových maskovacích přípravků ve velkých sériích (cca 17 000 kusů ročně),
- výrazné zvýšení objemu odpadního materiálu po odmaskování.

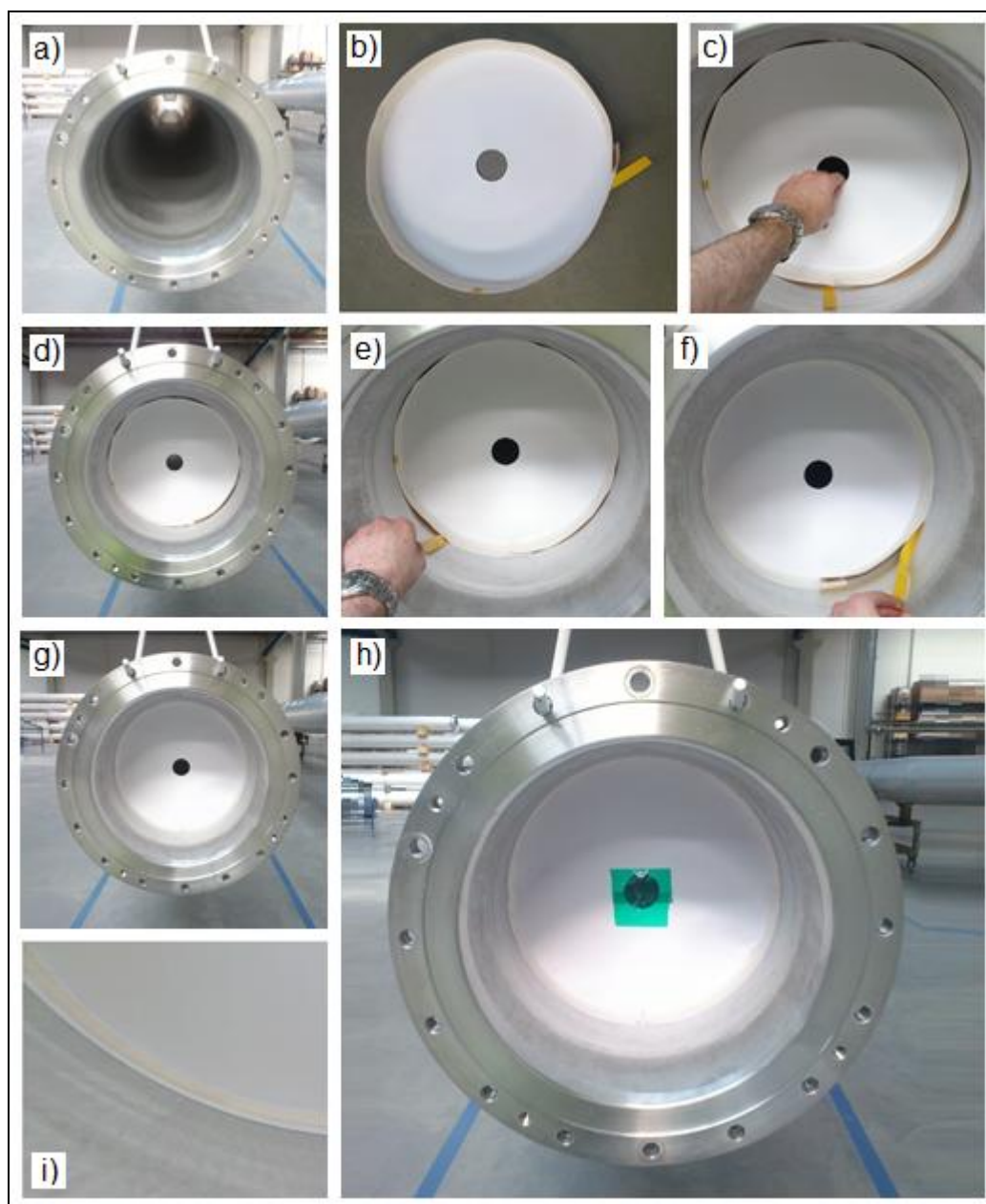
6.1.1 Maskování vnitřní plochy pouzdra (trubky)

Pro výrobu testovacího kusu prototypového jednorázového maskovacího přípravku, který byl navržen v optimální variantě řešení, viz 5.1.2.4 *Maskování vnitřní plochy trubky kartonovou záslepkou*, byla použita oboustranná lepicí páska ATG 926.006 od firmy 3M Since Applied to LifeTM, která se vyznačuje svojí teplotní odolností od -30 do +150 °C, přičemž krátkodobě je schopna odolat teplotě až 230 °C, a tzv. kladívkový papír Duria glatt formátu A0, který byl zakoupen v obchodním domě Vágner, Brno – Česká 151/16. Testovací prototyp byl vyroben svépomocí v domácích podmínkách dle vytvořené výkresové dokumentace uvedeného návrhu, viz příloha 11.



Obr. 6.1 Maskování vnitřní plochy trubky papírovou záslepkou – vyrobený prototyp.
a) vstupní materiály, b) výrobní pomůcky, c), d) vyrobený prototyp.

Vyrobeným prototypem bylo provedeno testovací maskování vnitřní plochy pouzdra dle popsaného postupu v uvedeném návrhu, viz kapitola 5.1.2.4 *Maskování vnitřní plochy trubky kartonovou záslepkou*, přičemž výsledkem testování bylo dosažení dokonalého utěsnění přechodové hrany jednorázového maskovacího přípravku s vnitřní plochou trubky, resp. zaručení úplné eliminace nežádoucího záprachu za tímto přípravkem. Testování bylo provedeno bez aplikace PNH na vnitřní i vnější plochy pouzdra z důvodu nevyhovujících vlastností, resp. nízké tepelné odolnosti, použitých materiálů pro výrobu prototypu, které byly ověřeny jejich testováním, viz kapitola 6.1.3 *Testování a hodnocení prototypových jednorázových přípravků*. Dílčí kroky nově navrženého postupu maskování jsou znázorněny na níže uvedeném obrázku, viz Obr. 6.2 *Maskování vnitřní plochy trubky kartonovou záslepkou – maskování prototypem*.



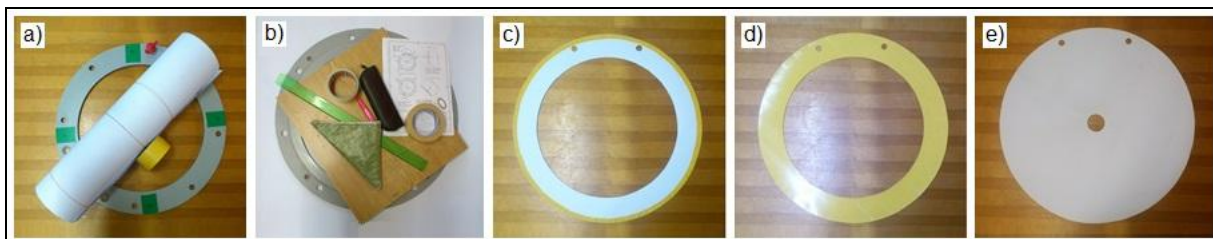
Obr. 6.2 Maskování vnitřní plochy trubky kartonovou záslepkou – maskování prototypem.

- a) pouzdro, b) částečné odlepení krycí fólie lepidla, c), d) vsunutí do otvoru pouzdra, e), f) odtrhávání krycí fólie lepidla a lepení přípravku na vnitřní plochu trubky, g) nalepený přípravek, h) přelepení středového otvoru pruhem polyesterové pásky, i) dokonale utěsněná přechodová hrana maskovacího přípravku.

6.1.2 Maskování čelní plochy příruby pouzdra (trubky)

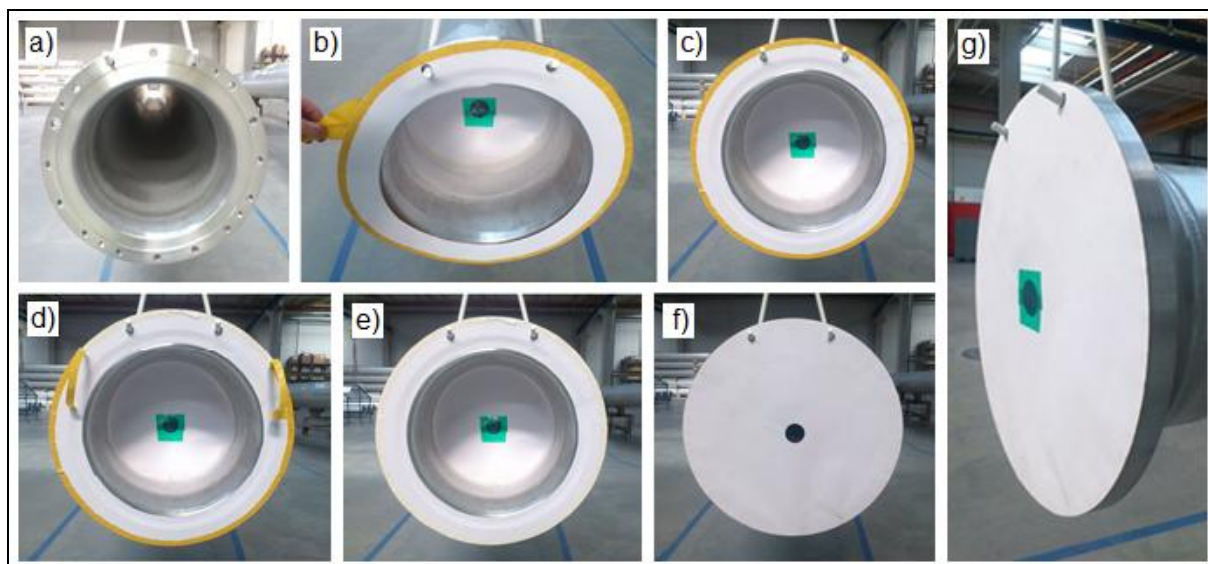
Výroba testovacího kusu jednorázového prototypového maskovacího přípravku pro maskování čelní plochy příruby pouzdra, který byl navržen v optimální variantě řešení, viz 5.1.2.6 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem*, byla provedena taktéž svépomocí v domácích podmínkách dle vytvořené výkresové dokumentace uvedeného návrhu, viz příloha 12. Pro výrobu prototypu byla taktéž použita oboustranná lepicí páska ATG 926.006 od firmy 3M Since Applied to LifeTM s teplotní odolností od -30 do +150 °C

a tzv. kladívkový papír Duria glatt formátu A0, který byl zakoupen v obchodním domě Vágner, Brno – Česká 151/16.



Obr. 6.3 Maskování čelní plochy kartonovým papírovým prstencem s kartonovým poklopem – vyrobený prototyp. a) vstupní materiály, b) výrobní pomůcky, c), d) vyrobený prstenec, e) vyrobený poklop.

Vyrobeným prototypem bylo provedeno taktéž testovací maskování čelní plochy příruby pouzdra, včetně jejího přemaskování, které se realizuje při aplikaci bílého laku *Interpon D1036 Mat (30)*, viz příloha 2, na vnější plochy vodiče. Testovací maskování bylo provedeno dle popsaného postupu v uvedeném návrhu, viz kapitola 5.1.2.6 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem*, přičemž výsledkem testování bylo dosažení dokonalého utěsnění čelní plochy příruby před přístupem naprašovaného PNH, resp. zaručení úplné eliminace nežádoucího záprachu na této ploše a ve vnitřní části pouzdra (po přemaskování). Testování bylo provedeno bez aplikace PNH na vnitřní i vnější plochy pouzdra z důvodu nevyhovujících vlastností, resp. nízké tepelné odolnosti, použitých materiálů pro výrobu prototypu, které byly ověřeny jejich testováním, viz kapitola 6.1.3 *Testování a hodnocení prototypových jednorázových přípravků*. Dílčí kroky nově navrženého postupu maskování přírubev části pouzdra jsou znázorněny na níže uvedeném obrázku, viz Obr. 6.4 *Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem – maskování prototypem*.

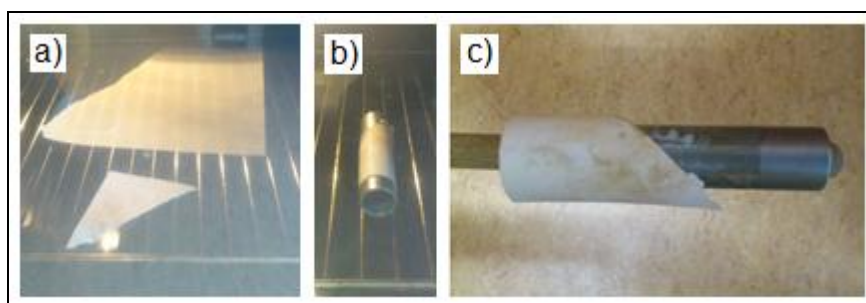


Obr. 6.4 Maskování čelní plochy příruby kartonovým prstencem s kartonovým poklopem – maskování prototypem. a) pouzdro, b) osazení, odtrhávání krycí fólie lepidla a lepení prstence na čelní plochu příruby, c) nalepený prstenec, d), e) postup odtržení krycí fólie lepidla na čelní straně prstence, f) osazení a nalepení krycího poklopu, g) nalepený poklop s přelepením jeho středového otvoru pruhem polyesterové pásky.

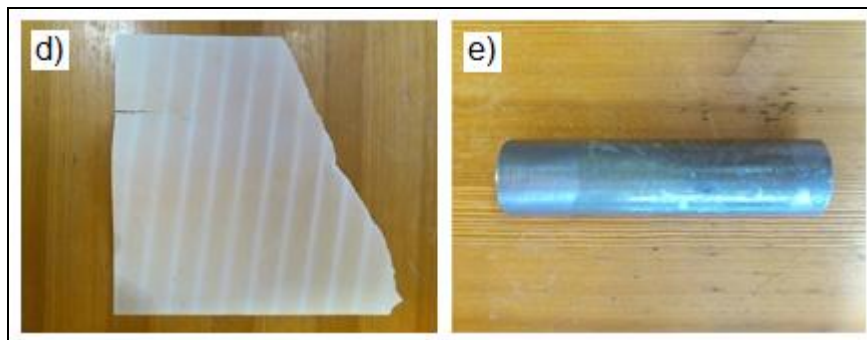
6.1.3 Testování a hodnocení prototypových jednorázových přípravků

V průběhu výroby prototypů navržených jednorázových maskovacích přípravků bylo provedeno testování tepelné odolnosti použitých materiálů pro jejich výrobu, tedy oboustranné lepicí pásky ATG 926.006 od firmy 3M Since Applied to LifeTM a tzv. kladívkového papíru Duria glatt. Testování bylo rozděleno do dvou fází, ve kterých byly materiály zatěžovány teplotou 200 °C po dobu 20 minut, přičemž v první fázi byla testována samozápalnost samotného kladívkového papíru bez nalepené oboustranné lepicí pásky a ve druhé fázi testování přilnavosti, resp. odolnosti vůči samovznícení oboustranné lepicí pásky. V průběhu zatěžování kladívkového papíru vysokou teplotou simulující podmínky vytvrzovací pece došlo k jeho částečnému zbarvení v kontaktní oblasti s kovovým roštem pece, nikoli však jeho samovznícení, které nenastalo ani v případě prodloužení časového intervalu na dobu 30 minut za současného zvýšení teploty na 220 °C. Výsledkem první fáze testování byla tedy vyhovující teplotní odolnost použitého kladívkového papíru. Ve druhé fázi testování byla provedena zkouška odolnosti a změny adhezních vlastností oboustranně lepicí pásky ATG 926.006 za vysokých teplot, která byla nalepena na část již teplotně vyhovujícího kladívkového papíru a zkušební ocelové těleso, resp. kruhovou trubku simulující maskovanou součást (pouzdro). V průběhu několika prvních minut vystavení vzorku teplotě 200 °C došlo k úplnému roztavení oboustranně lepicí pásky, resp. její nosné fólie lepidel, a tak úplné ztrátě její adheze k ocelovému tělesu, přičemž samovznícení oboustranně lepicí pásky ani kladívkového papíru nenastalo v průběhu celého zátěžného cyklu. Po vyjmutí vzorku z testovací pece byl zcela oddělen kladívkový papír od ocelového tělesa, na jehož povrchu byly zachyceny roztavené zbytky oboustranně lepicí pásky, resp. rozsáhlé nežádoucí adhezní zbytky. Výsledkem druhé fáze testování tak byla zcela nevyhovující odolnost oboustranně lepicí pásky pracovním podmínkám vytvrzovací pece, resp. teplotě 200 °C v procesu práškového lakování, přičemž uvedené testování bylo provedeno v domácích podmínkách užitím horkovzdušné trouby Gorenje E54V2-E3 s nucenou cirkulací ohřátého vzduchu. Na základě nevyhovujících výsledků teplotní zkoušky použitých materiálů pro výrobu prototypu navržených jednorázových maskovacích přípravků bylo znemožněno jejich testování v reálném procesu práškového lakování komponent GIS (trubek a vodičů), a to z důvodu znehodnocení lakované součásti adhezními zbytky oboustranně lepicí pásky a neopravitelného poškození nanesené vrstvy PNH. Z těchto důvodů bylo taktéž znemožněno testování prototypových jednorázových maskovacích přípravků s jejich odmaskováním před vstupem součásti do vytvrzovací pece, resp. vytvrzením PNH.

Uvedené výsledky testování jsou znázorněny na následujícím obrázku, viz *Obr. 6.5 Výroba prototypu jednorázových maskovacích přípravků – testování použitých materiálů*.



Obr. 6.5/1 Výroba prototypu jednorázových maskovacích přípravků – testování použitých materiálů. a) ohřev kladívkového papíru, b) ohřev zkušební trubky, c) ztráta adheze pásky.



Obr. 6.5/2 Výroba prototypu jednorázových maskovacích přípravků – testování použitých materiálů. d) zbarvení kladívkového papíru, e) adhezni zbytky na ocelovém tělese.

Výsledkem testování vyrobených prototypů navržených jednorázových maskovacích přípravků je úspěšné ověření jejich funkčnosti z pohledu maskování, resp. schopnosti realizace dílčích kroků navrženého maskovacího postupu, přičemž zkušební maskování bylo také úspěšně ověřeno těsnost, rozměrová přesnost a celková vhodnost navržených optimalizačních řešení k požadovanému snížení pracnosti konečné úpravy pouzder. Závěrem navrženého optimalizačního řešení pro lakování trubek neboli pouzder je tak podrobná analýza vznikajících vad v průběhu jejich lakovacího procesu, stanovení kořenových příčin vznikajících vad a návrh optimalizačního řešení v podobě jednorázových maskovacích přípravků. Ty byly úspěšně otestovány v procesu maskování, resp. jejich těsnost, a lze tedy s jistotou říci, že v případě nanesení a vytvrzení PNH s užitím těchto přípravků dojde k úplné eliminaci nežádoucího záprachu na těsnicích dosedacích a vnitřních plochách pouzdra. Výstupem je také kompletní 3D a výkresová dokumentace vytvořená ve studentské verzi programu SolidWorks 2014, viz *příloha 11 a 12*, která může být použita jako podklad pro některou z dalších diplomových prací zabývajících se výrobou takto navržených jednorázových maskovacích přípravků nebo technologa lakovacího procesu ve firmě ABB, pana Bc. Václava Holečka, k oslovení dalších firem s cílem zajištění výroby těchto přípravků. Relativně komplikovaná výroba je především dána pracovními podmínkami vytvrzovacího procesu lakovací linky, resp. požadavky na použité materiály. Výroba takto navržených jednorázových přípravků se z těchto důvodů v průběhu zpracovávání diplomové práce nepodařila zajistit.

6.1.4 Maskování závitových otvorů příruby pouzdra (trubky)

Optimální varianta řešení vedoucí ke snížení pracnosti konečné úpravy závitových otvorů v přírubě pouzder je popsána v kapitole 5.1.3. *Návrhy optimalizačních řešení pro odstranění nálitku závitových otvorů*, a spočívá v užití stávajících silikonových maskovacích zátek, které jsou odmaskovány před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece, resp. po aplikaci PNH *Interpon D1036 Mat (30)*, viz *příloha 2*, na jeho vnější plochy. Pro zamezení rozlití vytvrzovaného laku do prvního závitu závitového otvoru je navrženo sražení jeho vstupní hrany o velikosti $2 \times 45^\circ$, které musí být realizováno během výroby příruby, resp. závitového otvoru. Takto navržený postup maskování byl úspěšně otestován bez sražené obvodové hrany závitového otvoru v průběhu ranní směny dne 1. 2. 2016 na jednom lakovaném pouzdu, resp. osmi závitových otvorech, přičemž výstupem testování byla úplná eliminace vznikajícího nálitku, viz *Tab. 4.5 Konkretizace vad vznikajících v procesu lakování pouzder (trubek)*, v oblasti všech testovaných závitových otvorů, tedy úplné odstranění jeho konečné úpravy na všech testovaných otvorech. Nevýhodou realizace tohoto návrhu

v současném procesu lakování je omezený časový interval určený k odmaskování zátek, který je dán plynulým chodem poloautomatické lakovací linky a vstupem lakovaného pouzdra do průběžné vytvrzovací pece. Tento časový interval o velikosti cca 2 minut je v současné době využíván k ofoukání stlačeným vzduchem a odmaskování stávajících maskovacích přípravků (plastových deklů), resp. odsátí záprachu na čelní ploše příruby, viz kapitola 3.9 *Aplikace práškového laku*, a tak není časově možné realizovat odmaskování silikonových zátek v závitových otvorech. Zavedení tohoto optimalizačního návrhu do procesu lakování pouzder je možné v případě jejich maskování navrženými jednorázovými přípravkami, viz kapitola 6.1 *Výběr a hodnocení optimální varianty – pouzdra (trubky)*, díky čemuž dojde k odstranění odmaskování plastového deklu a odsávání záprachu na čelní ploše příruby, resp. poskytnutí dostatečného časového intervalu k odmaskování krycích zátek závitových otvorů.

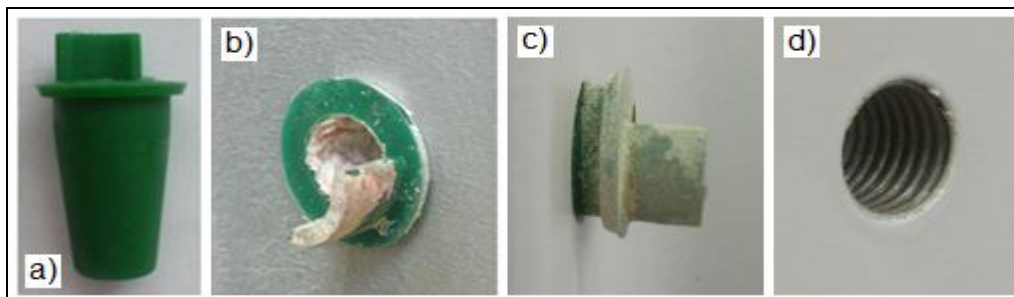
Výhodami takto navrženého postupu maskování závitových otvorů jsou:

- + úplná eliminace nálitku na obvodové hraně otvoru, resp. jeho konečné úpravy,
- + odstranění zatečení laku do prvního závitu závitového otvoru,
- + nezalakování silikonových zátek,
- + odstranění stávajícího nákladného odlakování silikonových zátek,
- + eliminace vad vznikajících vlivem znečištěných maskovacích zátek,
- + výrazné snížení pracnosti konečné úpravy pouzder a nákladů s tím spojených.

Nevýhodami takto navrženého postupu maskování závitových otvorů jsou:

- riziko poškození nanesené vrstvy PNH v okolí závitového otvoru během odmaskování silikonových zátek (lidský faktor),
- zdlouhavé změnové řízení pro zanesení navrženého sražení vstupní hrany závitového otvoru $2 \times 45^\circ$ do výkresové dokumentace a následná realizace výrobních změn u dodavatelů přírub,
- časově omezený interval pro odmaskování silikonových zátek.

Výstupem tohoto optimalizačního návrhu je jeho úspěšné otestování (bez navrženého sražení vstupní hrany závitového otvoru o velikosti $2 \times 45^\circ$) v reálném procesu lakování pouzder vedoucí k úplné eliminaci vznikajícího nálitku na obvodové hraně závitových otvorů, resp. úplnému odstranění jejich konečné úpravy. V průběhu zpracovávání diplomové práce se nepodařilo zajistit změnové řízení, kterým by bylo vneseno navržené sražení $2 \times 45^\circ$ do výkresové dokumentace příruby 1HC0026214, viz *příloha 14*, a to z důvodu časové náročnosti celého změnového procesu.

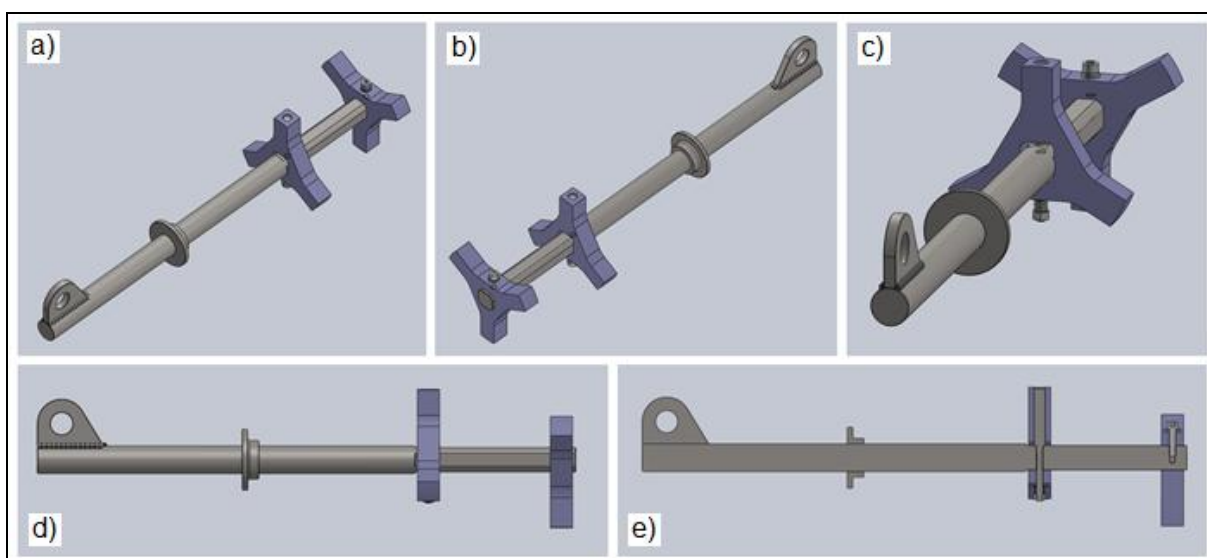


Obr. 6.6 Maskování závitových otvorů s odmaskování před vstupem do vytvrzovací pece. a) maskovací zátka, b) zamaskování, c) odmaskování povysunutím zátky, d) vstupní hrana závitového otvoru bez nálitku.

6.2 Výběr a hodnocení optimální varianty – vodiče

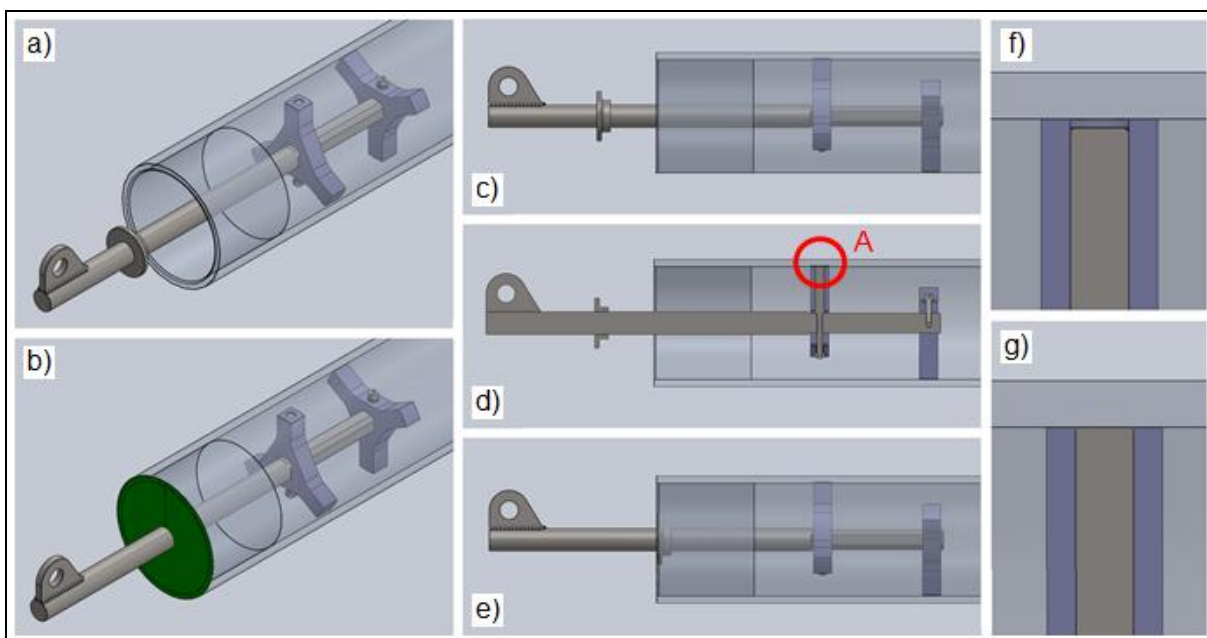
Optimální varianta návrhu pro snížení pracnosti konečné úpravy vodičů je uvedena v kapitole 5.2.3.2 *Závěsný trn se zemnicím kolíkem* s užitím maskovacího výřezu z polyesterové pásky, přičemž byl návrh rozšířen o užití pruhu polyesterové pásky šířky 20 mm pro překrytí dělicí hrany výřezu a tak zamezení přístupu naprašovaného PNH *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz *příloha 1*, do vnitřního otvoru vodiče a některé konstrukční změny závěsného trnu. Výroba navrženého jednorázového polyesterového maskovacího výřezu byla zajištěna firmou PRO MASK PRODUCTS s.r.o. (www.pro-mask.com), pomocí řezacího plotru s nastavitelnou hloubkou prořezu, přičemž cena jednoho kusu maskovacího výřezu činila 7,48 Kč včetně DPH při výrobě 10 kusové testovací série. Částečně otestovaný vyrobený prototyp závěsného trnu se zemnicím kolíkem, který je nezbytný pro navržený způsob maskování vodiče, byl pro jeho finální užití v procesu práškového lakování konstrukčně zdokonalen a zjednodušen. Hlavními konstrukčními úpravami návrhu tak došlo ke zjednodušení jeho pohybového mechanismu, zvýšení průtoku roztoků chemické předúpravy ve vnitřním otvoru vodiče prostřednictvím tvarového odlehčení teflonových opěr a celkovému zvýšení únosnosti závěsného trnu vlivem zvětšení nosného průřezu jeho základní tyče. Ta je vyrobena z kruhového profilu o průměru 25 mm se čtvercovým vybráním čelní části v délce 145 mm na rozměr 22 × 22 mm a nově umístěným navařeným závěsným okem. Čtvercový profil 22 × 22 mm v čelní části základní tyče je navržen z důvodu aretace polohy a vymezení posuvného pohybu teflonové ochrany zemnicího kolíku, přičemž délka základní tyče závěsného trnu je prodloužena na 500 mm z důvodu větší stability vodiče po jeho zavěšení. Nově navržené závěsné oko je umístěno na horní straně průměru základní tyče z důvodu jednoznačného určení pracovní polohy závěsného trnu, resp. zamezení navěšení vodiče bez jeho uzemnění. Na základní tyč závěsného trnu je osazen maskovací kroužek jako v případě návrhu 5.2.3.2 *Závěsný trn se zemnicím kolíkem*, viz *Obr. 5.35 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – závěsný trn* a do její horní plochy čtvercového profilu jsou umístěny dva závitové otvory M6 – 6H pro zajištění teflonových opěr. Do jednoho z otvorů je umístěn zemnicí kolík s podložkou a tlačnou nerezovou pružinou DR1950 od firmy Alcomex Spring Works s.r.o. a zajištěn samosvornou nerezovou maticí ISO 7042 (DIN 980). Navrženou délkou osazené části zemnicího kolíku $62 \pm 0,1$ mm je docíleno přesné vystředění základní tyče do středové osy vodiče dle výkresové dokumentace 1HC0026162, viz *příloha 13*, po jeho navěšení resp. přesné vystředění maskovacího výřezu z polyesterové pásky vůči vnější obvodové hraně vodiče. Mechanické části závěsného trnu jsou navrženy z korozivzdorné oceli 1.4301 dle ČSN 10080-1, přičemž ochranné opěry bránící mechanickému poškození postříbřené plochy vodiče během jeho navěšování, resp. svěšování jsou voleny z polytetrafluoretylenového (PTFE) materiálu neboli teflonu tloušťky 20 mm a jsou vyřezány ve tvaru trojúhelníkových ramen z důvodu dosažení maximálního zvětšení průtoku kapalin chemické předúpravy do vnitřního otvoru vodiče, během jeho chemické předúpravy. Zajištění čelní teflonové opěry na základní tyči závěsného trnu je provedeno šroubem M6 × 25 s vnitřním šestihranem ČSN 02 1143, podložkou a pojistnou pružnou podložkou, jako ochrana před jeho samovolným uvolněním.

Navržené konstrukční změny vyrobeného prototypu závěsného trnu se zemnicím kolíkem, resp. finální podoba jeho návrhu je zobrazena na níže uvedeném obrázku, viz *Obr. 6.7 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – finální návrh*.



Obr. 6.7 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – finální podoba návrhu. a), b), c), d) základní pohledy, e) podélný řez sestavou.

Postup navěšování, uzemnění a maskování vodiče s užitím takto navrženého závěsného trnu se zemnicím kolíkem je totožný jako v případě testování jeho vyrobeného prototypu, viz 5.2.3.1 *Závěsný trn s pružným zemnicím mechanismem*, přičemž během maskování je překryta dělicí hrana výřezu z polyesterové maskovací pásky pruhem polyesterové pásky šířky 20 mm proti přístupu naprašovaného PNH *Interpon 100 AG0152 RAL 3015*, viz příloha 1, do vnitřního otvoru vodiče. Přecházející část pruhu polyesterové pásky je následně odříznuta dle vnější obvodové hrany vodiče zalamovacím žiletkovým nožem.



Obr. 6.8 Závěsný trn se zemnicím kolíkem – finální podoba návrhu - postup maskování. a), c) navěšování, d) řez, b), e) maskování, f) detail A při navěšování (krytý zemnicí kolík), g) detail A po navěšení (vodivý kontakt zemnicího kolíku).

Hlavními výhodami finální verze návrhu závěsného trnu, resp. navrženého způsobu maskování vodiče, jsou:

- + vyšší tuhost závěsného trnu,
- + zjednodušená konstrukce pohybového mechanismu,
- + jednoznačnost pracovní polohy zemnicího kolíku určená závěsným okem,
- + zvýšení průtoku kapalin chemické předúpravy do vnitřního otvoru vodiče,
- + přesné vystředění přípravku vůči středové ose vodiče, resp. maskovacího výřezu z polyesterové pásky vůči jeho obvodové hraně,
- + prodloužení základní tyče závěsného trnu na 500 mm,
- + zjednodušení konstrukce závěsného trnu, resp. zlevnění jeho výroby,
- + vysoká životnost závěsného trnu daná užitými materiály (PTFE, korozivzdorná ocel),
- + efektivní ochrana postříbřené plochy vodiče před mechanickým poškozením,
- + jednoduchý a efektivní postup navěšování, maskování a svěšování,
- + zrychlení výrobního taktu vlivem zvýšení rychlosti ponoru vodiče do lázni chemické předúpravy, resp. tlakové síly působící od zavážecího nosníku,
- + zvýšení produkce lakovaných vodičů,
- + úplná eliminace záprachu na čelní a postříbřené ploše vodiče,
- + odstranění vad vznikajících vícenásobným užitím maskovacích přípravků,
- + efektivní a rychlé maskování jednorázovými výřezy ze standardní polyesterové pásky,
- + požadované snížení pracnosti konečné úpravy a nákladů s tím spojených.

Nevýhodami finální verze návrhu závěsného trnu, resp. navrženého způsobu maskování vodiče, jsou:

- nezbytné překrytí dělicí hrany maskovacího výřezu pruhem polyesterové pásky,
- nutnost ofoukání základní tyče závěsného trnu po nanesení PNH stlačeným vzduchem pro zajištění posuvného pohybu maskovacího kroužku při jeho opětovném použití,
- nutnost užití tlačných samojistných háků pro navěšení vodiče,
- vyšší výrobní náklady závěsného trnu oproti stávajícímu závěsnému tzv. C háku, které jsou především dány pořizovací cenou teflonového materiálu (cena polotovaru PTFE s rozměry 300 × 300 × 20 mm činí 2 856 Kč, tedy materiálové náklady teflonu na výrobu jednoho závěsného trnu činí 634,50 Kč včetně DPH).

Výstupem návrhu optimalizačního řešení vedoucí k požadovanému snížení pracnosti konečné úpravy vodičů je částečně otestovaný návrh nového způsobu navěšování a maskování vodičů. Zavedením takto navrženého postupu do lakovacího procesu vodičů by bylo dosaženo jeho zefektivnění, eliminace vznikajících vad, snížení pracnosti konečné úpravy a zrychlení výrobního taktu, resp. zvýšení celkové produktivity. Testováním vyrobeného prototypu závěsného trnu se zemnicím kolíkem byla úspěšně ověřena funkčnost ochrany postříbřené plochy proti jejímu mechanickému poškození během navěšování, svěšování i ponoru vodiče do lázni chemické předúpravy. Taktéž bylo docíleno snížení pracnosti a zrychlení maskovacího procesu, viz *Tab. 5.1 Časová náročnost navrženého způsobu maskování vodičů*, vlivem užití jednorázových maskovacích

výřezů z polyesterové pásky. V průběhu zpracování diplomové práce bylo vytvořeno několik návrhů optimalizačních řešení, resp. návrhů závěsných přípravků vodiče, včetně výroby jejich některých prototypů vedoucích k vytvoření jeho výše uvedené finální podoby, kterou bude následně nahrazen stávající způsob navěšování a maskování vodičů. Výstupem je tedy kompletní 3D a výkresová dokumentace vytvořená ve studentské verzi programu SolidWorks 2014, viz *příloha 15*, která je použita jako podklad pro výrobu testovacího prototypového kusu finální podoby závěsného trnu se zemnicím kolíkem před jeho zavedením do lakovacího procesu, přičemž výsledky jeho testování budou z časových důvodů výroby prototypu prezentovány při obhajobě závěrečné práce.

7 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Ekonomické hodnocení porovnávající finanční náklady vynaložené při stávajícím způsobu maskování, resp. konečné úpravě s navrženým optimalizačním řešením pro vybrané komponenty GIS, jejichž optimalizací lakovacího procesu se diplomová práce zabývala, je rozděleno dle druhu zpracovávané komponenty (pouzdra neboli trubky a vodiče), resp. způsobu jejího maskování, na současný stav maskování a maskování navrženými jednorázovými přípravkami. Z důvodu neúspěšné realizace výroby navržených jednorázových maskovacích přípravků během zpracování diplomové práce nejsou známy cenové položky jejich výroby, ani některých operací souvisejících s nutností jejich testování (času maskování, času konečné úpravy, atd.), přičemž některé zbylé položky byly stanoveny na základě předpokladu, resp. výsledků dílčích navržených optimalizačních řešení (spotřeba brusného materiálu, vedlejší náklady, atd.). Při výpočtu finančních nákladů se vycházelo z konkrétních dat současného stavu lakování ve firmě ABB, cenových nabídek a fakturačních materiálů za vyrobené prototypy, přičemž některé hodnoty, jako například normativní hodinová sazba ($\text{Kč} \cdot \text{Nh}^{-1}$) a spotřeba čistících chemických prostředků, byly stanoveny odhadem nebo smyšleny a to z důvodu nemožnosti jejich konkrétního určení, resp. ochrany interních dat firmy ABB. Jednotlivé propočty finančních nákladů, které jsou vynaloženy na danou operaci (maskování, konečnou úpravu), jsou uvedeny v níže vytvořených tabulkách, přičemž výsledné součtové hodnoty navrženého optimalizačního řešení nemohly být z výše uvedených důvodů vypočteny. Výsledkem finančního hodnocení jsou tak propočty cenových nákladů dílčích úkonů stávajícího řešení, které jsou vzájemně porovnány s náklady dílčích úkonů, nově navrženého optimalizačního řešení, a to v případě známosti jejich konkrétní položky. Komplexním výsledkem ekonomického hodnocení jsou pak rentabilní ukazatele pro realizaci navrženého optimalizačního řešení, resp. zajištění výroby jednorázových maskovacích přípravků. Lze také s jistotou říci, že velké finanční úspory, které nejsou ve výpočtech zahrnuty, budou zaznamenány snížením výrobní zmetkovitosti, odstraněním nezbytných oprav, zrychlením výrobního taktu a celkovým navýšením produkce.

7.1 Finanční náklady současného stavu – pouzdra (trubky)

Výsledky výpočtů finančních nákladů současného stavu maskování, resp. konečné úpravy pouzder neboli trubek jsou znázorněny v níže uvedených tabulkách, viz *Tab. 7.1 Finanční náklady maskování pouzder (trubek) – současný stav*, *Tab. 7.2 Finanční náklady konečné úpravy pouzder (trubek) – současný stav*. Z výsledků je patrné, že zásadní vynaloženou položkou v procesu maskování pouzder je odlakování silikonové zátěpky, které činí 238 000 Kč ročně. Další významnou položkou jsou pak náklady vynaložené na opravy vad vzniklé znečištěnými zalakovanými maskovacími přípravky, přičemž tyto náklady nemohly být z důvodu ochrany interních dat firmy ABB ve výpočtech zahrnuty.

Tab. 7.1 Finanční náklady maskování pouzder (trubek) – současný stav

Vstupní hodnoty	Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]

Čas	Normativní doba maskování [min.]		Cena / 1 Nh [Kč]	49,58	421 458,3
	3,5		850		
Přípravy	Název	Životnost [měsíce]	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Plastová příruba	12	3 600	0,85	7 200
	Plastový dekl	12	3 600	0,85	7 200
	Silikonová záslepka	6	661	0,31	2 644
	Zátka závitového otvoru	12	15,50	0,015	124
Vedlejší náklady	Prováděná operace	Perioda	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Odlakování silikonové záslepky	po 5 vytvrzovacích cyklech laku	70	28	238 000
	Koupě nových zátek závitového otvoru (neodlakují se)	po 3 měsících	15,50	0,044	372
Celkové náklady na maskování pouzder (trubek)				79,65	676 998,3

Z výsledků je dále patrné, že největší roční vynaložená položka 3 431 875 Kč při konečné úpravě pouzder je dána časovou náročností celého procesu, přičemž uvedená částka je z důvodu ochrany interních dat firmy ABB vypočtena na základě smyšlené normativní sazby $850 \text{ Kč} \cdot \text{Nh}^{-1}$. Časová náročnost je pak dána rozsahem a množstvím vzniklých vad v průběhu lakování pouzder, resp. záprachem, který je nutno během jejich konečné úpravy odstranit broušením. Poslední významná položka v celkových nákladech současného stavu je tvořena množstvím spotřebovaného brusného materiálu, který je taktéž spjat s množstvím a rozsahem vzniklých vad.

Tab. 7.2 Finanční náklady konečné úpravy pouzder (trubek) – současný stav

Vstupní hodnoty			Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Normativní doba konečné úpravy [min.]	Cena / 1 Nh [Kč]	403,75	3 431 875
	28,5	850		
Brusný materiál	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [ks]	Cena / 1 ks [Kč]	-
	Brusná houba MEDIUM	4	21	84
	Brusná houba FINE	4	21	84
	Brusný kotouč	2	5,50	11
	Trojhranný šábr	životnost 1/2 roku	605	0,28
	Utěrka TORK	4	0,50	2

Chemické přípravky	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [l]	Cena / 1 l [Kč]	-	-
	Chemický odmašťovač METAFLUX (Thinner nebo Isopropylalkohol)	0,02	180	3,6	30 600
Celkové náklady na konečnou úpravu pouzder (trubek)				588,63	5 003 395

7.2 Finanční náklady současného stavu - vodiče

Výsledky výpočtů finančních nákladů vynaložených při současném stavu maskování, resp. konečné úpravě vodičů, jsou znázorněny v níže uvedených tabulkách, viz *Tab. 7.3 Finanční náklady maskování vodičů – současný stav*, *Tab. 7.4 Finanční náklady konečné úpravy vodičů - současný stav*. Z výsledků je patrné, že největší vynaloženou položkou v procesu maskování je odlakování závěsného přípravku, které činí 119 000 Kč ročně, a náklady spojené s odstraněním mechanického poškození postříbřené plochy, které nebyly ve výpočtech zahrnuty z důvodu ochrany interních dat firmy ABB.

Tab. 7.3 Finanční náklady maskování vodičů – současný stav

Vstupní hodnoty				Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Normativní doba maskování [min.]		Cena / 1 Nh [Kč]	42,5	361 250
	3,0		850		
Navěšování	Přípravky	Životnost [měsíce]	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Závěsný hák tzv. C hák	12	580	0,14	1 160
Maskování	Přípravky	Spotřeba / 1ks vodiče [m]	Cena / 1 m [Kč]	-	-
	Polyesterová páska šířky 50 mm	2 × 0,5	4,40	4,40	37 400
Vedlejší náklady	Prováděná operace	Perioda opakování	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Odlakování navěšovacího přípravku	po 10 vytvrzovacích cyklech laku	70	14	119 000
	Oprava postříbřených ploch	Neuvedeno		-	-
Celkové náklady na maskování vodičů				61,04	518 810

Z výsledků je dále patrné, že největší roční vynaloženou položkou při konečné úpravě vodičů, která činí 1 758 083 Kč, je dána časovou náročností celého procesu, přičemž uvedená částka je vypočtena na základě smyšlené normativní sazby 850 Kč·Nh⁻¹ z důvodu ochrany interních dat firmy ABB. Finanční náklady jsou dále odvozeny od množství spotřebovaného brusného materiálu, které je způsobeno vysokými požadavky na jakost lakovaného povrchu, a nejsou tak ovlivněny rozsahem ani množstvím vzniklých vad v průběhu lakování (broušení vodičů v celé jejich délce bude vždy).

Tab. 7.4 Finanční náklady konečné úpravy vodičů – stávající způsob

Vstupní hodnoty			Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Normativní doba konečné úpravy [min.]	Cena / 1 Nh [Kč]	206,8	1 758 083
	14,6	850		
Brusný materiál	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [ks]	Cena / 1 ks [Kč]	-
	Brusná houba MEDIUM	2	21	42
	Brusná houba FINE	2	21	42
	Brusný kotouč	1	5,50	5,50
	Zalamovací nůž	životnost 1/2 roku	29	0,007
	Utěrka TORK	4	0,50	2
Chemické přípravy	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [l]	Cena / 1 l [Kč]	-
	Chemický odmašťovač METAFLUX (Thinner nebo Isopropylalkohol)	0,04	180	7,2
Celkové náklady na konečnou úpravu vodičů			305,507	2 597 091

7.3 Finanční náklady navrženého optimalizačního řešení – pouzdra

Výsledky výpočtů finančních nákladů vynaložených při maskování, resp. konečné úpravě pouzder, dle navrženého optimalizačního řešení, viz kapitola 6.1 *Výběr a hodnocení optimální varianty – pouzdra (trubky)*, jsou znázorněny níže uvedenými tabulkami, viz *Tab. 7.5 Finanční náklady maskování pouzder (trubek) – jednorázové maskovací přípravy*, *Tab. 7.6 Finanční náklady konečné úpravy pouzder – jednorázové maskovací přípravy*. Z tabulek je patrné, že na základě neznámosti cenových položek za výrobu navržených jednorázových přípravků nemohly být stanoveny celkové finanční náklady. Uvedená tabulka procesu maskování je tak určena k rentabilnímu posouzení vhodnosti navrženého optimalizačního řešení, resp. porovnání nákladů v případě zajištění výroby jednorázových maskovacích

přípravků, s náklady stávajícího způsobu maskování, viz *Tab. 7.1 Finanční náklady maskování pouzder (trubek) – stávající způsob*. Je také patrné, že v případě užití jednorázových maskovacích přípravků dojde k odstranění vedlejších nákladů vynaložených na odlakování, tedy výrazné finanční úspoře oproti stávajícímu stavu, viz *Tab. 7.1 Finanční náklady maskování pouzder (trubek) – současný stav*, která činí ročně 238 000 Kč.

Tab. 7.5 Finanční náklady maskování pouzder (trubek) – jednorázové maskovací přípravky

Vstupní hodnoty			Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Normativní doba maskování [min.]	Cena / 1 Nh [Kč]	neznámo	neznámo
	neznámo	850		
Přípravky	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [ks]	Cena / 1 ks [Kč]	-
	Kartonový prstenec	2	neznámo	neznámo
	Kartonový poklop	2	neznámo	neznámo
	Kartonová záslepka	2	neznámo	neznámo
	Kruhový výřez z polyesterové pásky ø 50 mm	2	0,54	1,08
	Zátka závitového otvoru	8 / rok	15,50	0,015
Celkové náklady na maskování pouzder (trubek)			neznámo	neznámo

V níže uvedené tabulce, viz *Tab. 7.6 Finanční náklady konečné úpravy pouzder – jednorázové maskovací přípravky*, je znázorněna předpokládaná spotřeba brusného materiálu v případě maskování pouzder navrženými jednorázovými přípravkami, přičemž jejich užitím dojde k úplné eliminaci vznikajících vad, resp. záprachu, a brusný materiál je určen pouze ke sjednocení jakosti lakovaného povrchu, jako v případě konečné úpravy vodičů. Realizací navrženého optimalizačního řešení pro maskování závitových otvorů, viz kapitola 6.1.4 *Maskování závitových otvorů příruby pouzdra (trubky)*, bude zcela odstraněna jejich konečná úprava, čímž bude dosažena výrazná časová úspora a finančních nákladů s tím spojených (odstranění potřeby trojhranného čábru). Eliminací rozsáhlého záprachu na vnitřní ploše pouzdra dojde taktéž k pozbytí jeho broušení rotační bruskou v procesu konečné úpravy, čímž bude zaznamenána roční úspora ve výši 93 500 Kč. Zásadní finanční úspora je pak předpokládána ve výrazném zkrácení celkové doby konečné úpravy pouzder, resp. snížení její pracnosti vlivem zmíněného odstranění vznikajících vad, přičemž časová úspora nemohla být během zpracování diplomové práce vyčíslena z důvodu neúspěšné realizace výroby navržených jednorázových maskovacích přípravků, resp. nemožnosti jejich testování. Uvedená spotřeba brusného materiálu je uvažována pro dvě nezávisle pracující osoby konečné úpravy jako v případě stávajícího způsobu.

Tab. 7.6 Finanční náklady konečné úpravy pouzder – jednorázové maskovací přípravky

Vstupní hodnoty			Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Normativní doba konečné úpravy [min.]	Cena / 1 Nh [Kč]	neznámo	neznámo
	neznámo	850		
Brusný materiál	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [ks]	Cena / 1 ks [Kč]	-
	Brusná houba MEDIUM	2	21	42
	Brusná houba FINE	2	21	42
	Brusný kotouč	0	5,50	0
	Trojhranný šábr	0	605	0
	Utěrka TORK	2	0,50	1
Chemické přípravky	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [l]	Cena / 1 l [Kč]	-
	Chemický odmašťovač METAFLUX (Thinner nebo Isopropylalkohol)	0,02	180	3,6
Celkové náklady na konečnou úpravu pouzder (trubek)			neznámo	neznámo

7.4 Finanční náklady navrženého optimalizačního řešení – vodiče

Výsledky výpočtů finančních nákladů vynaložených při maskování, resp. konečné úpravě vodičů, dle navrženého optimalizačního řešení, viz kapitola 6.2 *Výběr a hodnocení optimální varianty – vodiče*, jsou znázorněny níže uvedenými tabulkami, viz *Tab. 7.7 Finanční náklady maskování vodičů – jednorázové maskovací přípravky*, *Tab. 7.8 Finanční náklady konečné úpravy vodičů – jednorázové maskovací přípravky*. Porovnáním nákladů na maskování vodičů nově navrženým optimalizačním způsobem vůči současnému stavu, viz *Tab. 7.3 Finanční náklady maskování vodičů – současný stav*, je patrná značná časová úspora maskovacího procesu, resp. finančních nákladů s tím spojených, která činí 204 680 Kč. Dále je zaznamenáno výrazné navýšení položky za maskovací materiál, které je dáno vysokou cenou testovací série vyrobených maskovacích výřezů z polyesterové pásky. Při porovnání je také patrné navýšení cenové položky za výrobu navěšovacího přípravku vodiče, což je způsobeno vysokou cenou testovacího prototypového páru závěsných trnů a jejich komplikovanější výrobou oproti současně užívanému tzv. C háku. Výsledným součtem všech vstupujících položek je po zavedení optimalizačního návrhu maskování do procesu lakování vodičů, předpokládána souhrnná roční finanční úspora 105 260 Kč. Zásadní úspora bude také zaznamenána navýšením produkce vlivem zrychlení výrobního taktu poloautomatické lakovací linky, dále pak eliminací mechanického poškození

postříbřených ploch vodičů a nákladů spojených s jejich opravami, či úplným znehodnocením vodiče, přičemž tyto náklady nebyly z důvodu ochrany interních dat firmy ABB ve výpočtech zahrnuty.

Tab. 7.7 Finanční náklady maskování vodičů – jednorázové maskovací přípravky

Vstupní hodnoty				Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Průměrná doba maskování [min.]		Cena / 1 Nh [Kč]	18,42	156 570
	1,3		850		
Navěšování	Přípravky	Životnost [měsíce]	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Závěsný trn se zemnicím kolíkem (prototyp)	12	2 350	0,55	4 700
Maskování	Přípravky	Spotřeba / 1 ks vodiče [ks]	Cena / 1 m [Kč]	-	-
	Výřez z polyesterové pásky ø 140 mm	2	7,84	15,68	133 280
Vedlejší náklady	Prováděná operace	Perioda opakování	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Odlakování navěšovacího přípravku	po 10 vytvrzovacích cyklech laku	70	14	119 000
Celkové náklady na maskování vodičů				48,65	413 550

Poslední tabulkou je vyjádřena předpokládaná spotřeba brusného materiálu při konečné úpravě vodičů, které byly lakovány navrženým optimalizačním postupem, viz kapitola 6.2 *Výběr a hodnocení optimální varianty – vodiče*. Z uvedených hodnot je patrné, že nebylo dosaženo žádného rozdílu jejich spotřeby oproti současnému stavu, viz Tab. 7.4 *Finanční náklady konečné úpravy vodičů – stávající způsob*, což je způsobeno předepsaným postupem broušení každého vodiče v celé jeho délce, resp. jakostními požadavky lakovaného povrchu. Předpokládané finanční úspory jsou spatřeny v eliminaci vznikajícího záprachu na čelní ploše vodiče vedoucí ke zkrácení časového intervalu jeho konečné úpravy a především zrychlení výrobního taktu, resp. navýšení produkce díky navrženému závěsnému háku se zemnicím kolíkem.

Tab. 7.8 Finanční náklady konečné úpravy vodičů – jednorázové maskovací přípravky

Vstupní hodnoty				Náklady na 1 ks pouzdra [Kč]	Náklady na 1 rok (8 500 ks pouzder) [Kč]
Čas	Normativní doba konečné úpravy [min.]		Cena / 1 Nh [Kč]	neznámo	neznámo
	neznámo		850		

Brusný materiál	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [ks]	Cena / 1 ks [Kč]	-	-
	Brusná houba MEDIUM	2	21	42	357 000
	Brusná houba FINE	2	21	42	357 000
	Brusný kotouč	1	5,50	5,50	46 750
	Zalamovací nůž	životnost 1/2 roku	29	0,007	58
	Utěrka TORK	4	0,50	2	17 000
Chemické přípravky	Název	Spotřeba / 1 ks pouzdra [l]	Cena / 1 l [Kč]	-	-
	Chemický odmašťovač METAFLUX (Thinner nebo Isopropylalkohol)	0,04	180	7,2	61 200
Celkové náklady na konečnou úpravu vodičů				neznámo	neznámo

DISKUZE

Finální podoba navrženého optimalizačního řešení vedoucí ke snížení pracnosti konečné úpravy komponent GIS byla vytvořena na základě postupu zdokonalování jednotlivých návrhů s ohledem na jejich zaznamenané nedostatky a pracovní podmínky komplexního procesu poloautomatické lakovací linky. Podkladem při tvorbě dílčích návrhů byla provedená podrobná studie celého procesu lakování s analýzou nejčastěji vznikajících vad a specifikací jejich kořenových příčin pro vybrané typy komponent GIS se svým největším ročním objemem zpracování. Zásadním okamžikem v průběhu tvorby diplomové práce se stala úvaha užití jednorázových maskovacích přípravků, kterými by došlo k úplné eliminaci vznikajících vad, především ve formě záprachu, který je v současné metodě maskování způsobován nízkou efektivitou, opotřebením nebo nedodržením předepsaných postupů vztahujících se k vícenásobně užívaným maskovacím přípravkům. Velkým přínosem při tvorbě jednotlivých návrhů byla taktéž pravidelná návštěva výrobních prostor PGHV firmy ABB, která byla spojena s cennými konzultacemi a následně testováním vyrobených prototypů. Na základě odhalených nedostatků v průběhu testování dílčích návrhů byly odladěny finální podoby optimalizačních návrhů, především závěsného přípravku pro lakování vodičů, který byl navržen jako závěsný trn z PTFE materiálu se zemnicím kolíkem z korozivzdorné oceli 1.4301. Společně s návrhem závěsného přípravku vodičů byla taktéž vytvořena finální podoba nového způsobu maskování jednorázovými samolepicími maskovacími přípravky, které jsou navrženy z ekologicky a snadno zlikvidovatelného (resp. recyklovatelného) kartonu se silikonovým povlakem pro zvýšení jeho tepelné odolnosti. Přestože v průběhu zpracování diplomové práce bylo osloveno několik firem specializujících se na výrobu maskovacích přípravků nebo obalové materiály apod., výroba takto navržených maskovacích přípravků se nepodařila realizovat, a to ani v podobě funkčních prototypových kusů. Ty byly následně vyrobeny svépomocí z materiálů nevyhovujících pracovním podmínkám vytvrzovacího cyklu lakovacího procesu jako testovací kusy pro ověření jejich předpokládaných maskovacích vlastností. Jejich testováním byla úspěšně ověřena funkčnost navržených jednorázových samolepicích maskovacích přípravků, kterou je zaručeno požadované snížení pracnosti konečné úpravy vybraných komponent GIS (pouzder neboli trubek a vodičů). Finální podobou navrženého optimalizačního řešení tak byly úspěšně splněny stanovené cíle.

Hlavní výhodou navrženého optimalizačního řešení oproti stávajícímu způsobu maskování komponent GIS ve firmě ABB je zaručená eliminace vznikajícího záprachu vlivem netěsnosti, nízké efektivity a opotřebením vícenásobně užívaných maskovacích přípravků. Takto vzniklý záprach je následně odstraňován v průběhu konečné úpravy, čímž jsou vynakládány vysoké nadbytečné finanční náklady na potřebný brusný materiál a časovou náročnost celého procesu. Další výhodou spojenou s užitím jednorázových maskovacích přípravků je zvýšení čistoty celého lakovacího procesu a odstranění nutnosti odlakování zalakovaných vícenásobně užitých maskovacích přípravků, čímž dojde taktéž k významné úspoře finančních nákladů. Zvýšením čistoty procesu budou také eliminovány vznikající vady v podobě zalakovaných uvolněných částic laku ze znečištěného maskovacího přípravku, přičemž užitím samolepicích jednorázových maskovacích přípravků bude taktéž odstraněn vznik vad zvrženými částicemi PNH v průběhu přemaskování a stávající nezbytné odsávání záprachu již před vstupem lakovaných součástí (pouzder neboli

trubek) do vytvrzovací pece. Nezanedbatelnou výhodou navržených jednorázových maskovacích přípravků je dále odstranění kontroly, údržby, skladování, transportu a obnovy vícenásobně užívaných maskovacích přípravků. Pro realizaci maskování vodičů navrženými jednorázovými maskovacími přípravky bylo nutné vytvořit takéž návrh nového závěsného přípravku vodičů, kterým by bylo umožněno jejich použití. Značná výhoda takto navrženého závěsného trnu se zemnicím kolíkem je spatřována ve zefektivnění maskovacího procesu zkrácením jeho časové náročnosti a především odstranění vznikajícího mechanického poškození postříbřených ploch vodiče a nadbytečně vynakládaných finančních prostředků na realizaci jejich oprav, které jsou často zaznamenávány při stávajícím způsobu zavěšování vodičů tzv. C háky. Neméně významným přínosem optimalizačního návrhu závěsného trnu se zemnicím kolíkem je zrychlení výrobního taktu poloautomatické lakovací linky a s tím spojené zvýšení její celkové produkce.

Zásadní nevýhodou navrženého optimalizačního řešení jsou atypické požadavky na materiály navržených jednorázových samolepicích maskovacích přípravků, které jsou dány pracovními podmínkami vytvrzovacího cyklu a musí tak odolávat jeho vysokým teplotám 200 °C, aniž by na povrchu lakované součásti zanechaly jakékoli adhezni zbytky či jiné chemické stopy. Na základě této nevýhody se v průběhu zpracování diplomové práce nepodařilo realizovat jejich výroba a nebyly tak úspěšně zavedeny do procesu lakování komponent GIS. Výroba takto navržených maskovacích přípravků bude pravděpodobně vyžadovat úzkou spolupráci s některou z firem zabývajících se výrobou standardizovaných maskovacích přípravků, na vývoji technologického postupu jejich výroby, přičemž související nevýhodou jsou vysoké prvotní investiční náklady. Dalšími nikterak zásadními nevýhodami jsou vyšší náklady na výrobu navrženého závěsného trnu se zemnicím kolíkem vůči výrobě stávajícího tzv. C háku a zvýšení produkce odpadního materiálu v divizi PGHV firmy ABB, který je spjat s užitím navržených jednorázových maskovacích přípravků.

Prostorem pro pokračování této diplomové práce je zpracování návrhů výroby, resp. jejího zmiňovaného technologického postupu, vedoucímu k realizaci navržených samolepicích jednorázových maskovacích přípravků. To může být řešeno formou nově vypsané diplomové práce zabývající se tímto tématem nebo technologem lakovacího procesu ve firmě ABB, panem Bc. Václavem Holečkem, v rámci oslovení dodavatelů standardních maskovacích přípravků s těmito požadavky. Podkladem obou uvedených možností je pak tato zpracovaná diplomová práce a vytvořená výrobní výkresová dokumentace, která je uvedena v její příloze.

ZÁVĚR

V průběhu diplomové práce byly nejprve popsány vlastnosti a konstrukční charakteristiky plynem izolovaných rozvodů velmi vysokého napětí, tzv. GIS, čímž byly objasněny vysoké požadavky na jakost a kvalitu zpracování lakovaných ploch všech jejich součástí. Dále byla shrnuta teorie práškového lakování a podrobná studie stávajícího stavu ve firmě ABB pro dokonalé pochopení řešené problematiky. Následně byl proveden podrobný rozbor technologického postupu lakování vybraných komponent GIS (pouzder neboli vodičů) s jejich největším ročním výrobním objemem a analýza nejčastěji vznikajících vad v průběhu jejich lakování. Ty byly jednoznačně definovány s konkrétním určením kořenových příčin jejich vzniku a zaznamenány do přehledných tabulek, přičemž v další části práce byly vytvářeny návrhy optimalizačních řešení vedoucích k odstranění vzniku těchto vad. Jednotlivé návrhy jsou doplněny o jejich zhodnocení spolu s uvedením hlavních výhod a nevýhod, na jejichž základně byly zavrženy nebo vyrobeny jejich prototypy, jejichž výsledky testování byly taktéž uvedeny u jednotlivých návrhů. V závěru práce je popsána finální podoba dílčích optimalizačních návrhů pro konkrétní lakovanou plochu nebo geometrický prvek vybraných lakovaných komponent GIS (pouzder neboli trubek a vodičů) s podrobným popisem dosažených výsledků a testováním jejich vyrobených prototypů. V úplném závěru práce je přiloženo ekonomické hodnocení porovnávající současný stav lakování ve firmě ABB s navrženým optimalizačním řešením, kterým jsou jednoznačně vyjádřeny dosažené výsledky.

Finální podobou návrhu optimalizačního řešení pro lakování pouzder (trubek) byly vytvořeny jednorázové samolepicí maskovací přípravky a stanoveny nové postupy maskování závitových otvorů, kterými jsou efektivně splněny požadované cíle v podobě výrazného snížení pracnosti jejich konečné úpravy. Navržené přípravky se z důvodu atypických požadavků na jejich materiály, kterými je požadována odolnost vysokým vytvrzovacím teplotám lakovacího procesu a neprodukování adhezních zbytků, ani jiných chemických stop na povrchu součástí, nepodařilo v průběhu zpracování diplomové práce vytvořit, a proto nemohly být úspěšně zavedeny do lakovacího procesu. Výroba prototypů tak byla realizována v domácích podmínkách vlastní svépomocí, přičemž bylo provedeno úspěšné ověření jejich funkčnosti a stanovení dosažených závěrů. Výsledkem této části optimalizačního návrhu se tak stalo úplné odstranění vznikajícího záprachu v celém průběhu lakování pouzder, snížení pracnosti jejich konečné úpravy, odstranění vad vznikajících při opakovaném použití vícenásobně užívaných maskovacích přípravků, odstranění kontroly, údržby, skladování, transportu a nákladného odlakování zalakovaných maskovacích přípravků, odstranění nezbytného odsávání vzniklého záprachu před vstupem pouzdra do vytvrzovací pece, zvýšení čistoty a zefektivnění celého lakovacího procesu. V případě úspěšné realizace výroby navržených jednorázových samolepicích maskovacích přípravků a jejich zavedení do procesu lakování pouzder (trubek) dojde k výrazné finanční úspoře vlivem snížení časové náročnosti jejich konečné úpravy a odstranění nákladů na odlakování zalakovaných maskovacích přípravků, které činí 238 000 Kč ročně.

Optimalizačním návrhem pro lakování vodičů byl vytvořen nový způsob jejich maskování s užitím jednorázových samolepicích maskovacích přípravků, které byly v případě výroby prototypů a jejich testování nahrazeny jednorázovými maskovacími výřezy z polyesterové pásky. Pro realizaci tohoto návrhu v procesu práškového

lakování vodičů byly vytvořeny návrhy jejich nového závěsného přípravku, kterým je umožněno maskování vyrobenými výřezy z polyesterové pásky. Vyrobený prototyp tohoto závěsného přípravku, který byl navržen jako závěsný trn se zemnicím kolíkem, byl částečně otestován a následně upraven do finální podoby, kterou bude nahrazen stávající způsob zavěšování vodiče v procesu jeho lakování. Výhodou finální podoby závěsného trnu se zemnicím kolíkem je efektivní a zaručená ochrana postříbřených ploch vodiče proti jejich mechanickému poškození během navěšování, resp. svěšování vodičů, zjednodušení a zrychlení maskovacího procesu s užitím navrženého jednorázového maskovacího přípravku, eliminace vznikajícího záprachu na čelní ploše vodiče a snížení pracnosti jeho konečné úpravy. Zásadní výhodou navrženého závěsného trnu se zemnicím kolíkem je zrychlení výrobního taktu lakovací linky, díky řízenému ponoru vodiče do lázní chemické předúpravy, resp. zamezení jeho plování a celkové zvýšení produkce, což povede k výrazným finančním úsporám. Zavedením optimalizačního návrhu do procesu lakování vodičů jsou očekávány roční finanční úspory 204 680 Kč, které jsou způsobeny zkrácením potřebného času maskování, a celkové souhrnné roční úspory ve výši 105 260 Kč oproti současnému stavu lakování ve firmě ABB.

Celkový rozsah práce je dán návazností dílčích operací celého lakovacího procesu, jejich podrobnou studií, která byla nezbytná pro dostatečné porozumění řešené problematiky vedoucí k úspěšnému splnění stanovených cílů, a dále také objemem zpracovávaných dat vstupujících do jednotlivých operací (mechanické předúpravy, navěšování, chemické předúpravy, maskování, aplikace PNH atd.). V průběhu zpracování diplomové práce bylo celkem vytvořeno 108 výrobních výkresů zahrnujících 21 konstrukčních návrhů, zejména nového způsobu navěšování vodiče, resp. jeho závěsného přípravku. Z důvodu již tak velkého rozsahu textové části jsou v práci uvedeny pouze vybrané návrhy, které vedly k finální podobě navrženého optimalizačního řešení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Historie ABB Group. *ABB Česká republika* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://new.abb.com/cz/o-nas/historie/historie-abb-group>
2. Factory portrait Brno, Czech Republic: Manufacturing facility for high-voltage bus ducts for gas-insulated switchgear (GIS). In: *High Voltage Products ABB* [online]. Zurich, 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/-38cb820676b9e107c1257d0e003ff770/Factory_portrait_bрно_2GPH000045AA_EN_A4.pdf
3. ABB oficiálně zahájila výrobu komponent pro zapouzdřené rozvodny. In: *Časopis Elektro – Odborné časopisy* [online]. Praha, 2007 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/abb-oficialne-zahajila-vyrobu-komponent-pro-zapouzdrene-rozvodny--12167>
4. ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení* [online]. In: 2. dopl. vyd. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2007, s. 151 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ_2007.pdf
5. *Gas Insulated Switchgear System Introduction: Electrical Switchgear*. ABB Switzerland Ltd, Training Center High Voltage Products, 2011.
6. První ekologické plynem izolované rozvaděče v provozu. In: *Proelektrotechniky: Elektrotechnika pro odborníky* [online]. Říčany u Prahy, 2015 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vyroba-a-prenos/85.php>
7. DRGA, Miroslav, Zdeněk JIRGALA a Kateřina KUSMIČOVÁ. Jak se dělá plynem izolovaná rozvodna pro velmi vysoké napětí. *ELEKTRO: Recenzovaný odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC Public s.r.o., 2015, 25(1) [cit. 2016-05-22]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/-flipviewer/Elektro/2015/01/Elektro_01_2015//index.html#p=49
8. Ekologické spínání: Publikace Platformy ekologického spínání. In: *Green Switching Platform* [online]. Voorburg, 2011 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://www.greenswitching.com/library_files/8_1253887561_Green%20Switching%20position%20paper%20-%20January%202009-CZ.pdf
9. Fluorid sírový SF6 a bezpečnost práce: Informace pro uživatele elektronických zařízení VN a VVN s plynovou izolací SF6, dodávaných společnostmi ABB. In: *VF servis* [online]. Teplice, 2011 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: vfservis.cz/files/-000042_Informace_o_SF6_CZ.doc
10. Ekologičejšie rozvádzače od ABB: Eco-GIS. In: *ABB Group – Automation and Power Technologies* [online]. Bratislava, 2014 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/d7bbf2160832d740c1257d9d0032247b.aspx>
11. ULRICH, Darryl, (ed.). *Users's Guide to Powder Coating* [online]. 3rd ed. Michigan: One SME Drive, 1993 [cit. 2016-05-22]. ISBN 0-87263-444-2. Dostupné z: <http://infohouse.p2ric.org/ref/33/32994.pdf>
12. DONABAUER, Petr. *Volba vhodného systému vytvrzování práškových nátěrových hmot*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 89 s., 5 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubiček.

13. DOKOUPILOVÁ, D. *Povrchové úpravy v lehkém průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 36 s., 6 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.
14. TALBERT, Roger. The Powder Coaters Manual. In: *Qualiteam International* [online]. 1993 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.qualiteam.-net/DOWNLOADS/Powder%20Coating%20Talbert.pdf>
15. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2000. 218s. ISBN 80-7082-668-1.
16. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy* [online]. Brno: Ing. Jaroslav Kubíček, 2006. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/-renovace_a_povrchove_upravy_kub_icek.pdf
17. Co je zrnitost. In: *Sibera-kotouče* [online]. Milovice, c2005-2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.sibera-kotouce.cz/co-je-zrnitost-a13>
18. TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. 2005. 136 s. ISBN 80-214-3062-1.
19. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 2006. 156s. ISBN 80-247-1217-7.
20. Adsorpce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, c2001-2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Adsorpce>
21. Šestimocný chrom u automobilů končí. In: *Odpady online* [online]. Brno: Profi Press s.r.o., 2003 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/-sestimocny-chrom-u-automobilu-konci/>
22. VLAS, Pavel. Multimetalická pasivace ECLPS a její využití v praxi. In: *Povrchové úpravy: Odborný časopis pro průmysl, stavebnictví a řemeslníky* [online]. 2. Praha: PRESS AGENCY, 2010 [cit. 2016-05-22]. ISSN 0551-7354. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz>
23. *Průvodce práškovým lakováním*. Brno: IDEAL-Trade Service, spol. s.r.o., 2015.
24. TUREK, T. *Moderní úpravy práškovými laky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.
25. HOLEČEK, Václav. *Prášková lakovna: Pracovní instrukce 2GPH000044*. Brno: ABB s.r.o., 2015.
26. MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, Rudolf KOŘENÝ, Jaromír DRÁPALA, Heinz SCHNEIDER a Andrea MIŠKUFOVÁ. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin s.r.o., 2005. ISBN 80-89041-88-4.
27. HOLEČEK, Václav. *Materiály komponent GIS*. Brno: ABB, 2015.
28. HOLEČEK, Václav. *Čištění a příprava povrchu: Pracovní instrukce 2GPH000063*. Brno: ABB, 2014.
29. HOLEČEK, Václav. *Navěšování: Pracovní instrukce 2GPH000066*. Brno: ABB, 2015.
30. HOLEČEK, Václav. *Práškové lakování: Pracovní instrukce 2GPH000079*. Brno: ABB, 2016.

31. HOLEČEK, Václav. *Čištění trubek a vodičů: Pracovní instrukce 2GPH000106*. Brno: ABB, 2015.
32. ABB TECHNOLOGY AG. *Common Painting Instruction: Pracovní instrukce 9ABA440203*. Brno: ABB, 2015.
33. ABB GROUP. *Pracovní normativ*. Brno: ABB, 2015.
34. PRO MASK PRODUCTS [online]. České Budějovice: Pro Mask Products, 2012 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.pro-mask.com>
35. *Hang On: Smart solutions* [online]. Brno: IDEAL-Trade Service, spol s.r.o., c2012-2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.hangon.cz>
36. HOLEČEK, Václav. *Maskování: Pracovní instrukce 2GPH000079*. Brno: ABB, 2015.
37. HOLEČEK, Václav. *Broušení po lakování: Analýza vad po aplikaci laku*. Brno: ABB, 2014.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
ABB	-	Asea Brown Boveri – ABB s.r.o.
AIS	-	Air Insulated Switchgear – vzduchem izolovaná rozvodna
ASEA	-	Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget – název firmy
BBC	-	Brown Boveri – název firmy
ČR	-	Česká Republika
DPH	-	Daň z přidané hodnoty
ECLPS	-	Multimetalická pasivace
EPDM	-	Ethylene Propylene Diene Monomer
FDA	-	Food Contact Regulations – předpisy pro kontakt s potravinami
FEPA	-	Federation of European Producers of Abrasives – federace evropských výrobců brusiva
GIS	-	Gas Insulated Switchgear – plynem izolovaná rozvodna
GMA	-	Glycidylmethakrylátové akryláty
GWP	-	Global Warming Potential – potenciál globálního oteplování
IPCC	-	Intergovernmental Panel on Climate CHange – mezinárodní předpisy pro změnu klimatu
JIT	-	Just In Time – metoda zásobování právě v čas
LCD	-	Liquid Crystal Display – displej z tekutých krystalů
LED	-	Light Emiting Diode – dioda emitující světlo
MDF	-	Medium density fibreboard – dřevovláknitá deska s velmi jemnou homogenní strukturou
NN	-	Nízké napětí
OSN	-	Organizace spojených národů
PEEK	-	Polyether ether keton
PFA	-	Perfluoroether
PGHV	-	Power Grids High Voltage – rozvodné sítě velmi vysokého napětí
PNH	-	Práškové nátěrové hmoty
PPHV	-	Power Product High Voltage – energetické produkty velmi vysokého napětí
PPS	-	Polyphenylene sulfid
PTFE	-	polytetrafluoretylen
PUR	-	Polyuretan
PVC	-	Polyvinylchlorid
PVDF	-	Polyvinylidenenfluorid
RAL	-	ReichsAusschuss für Lieferbedingungen – stupnice barevných odstínů

RT	-	Real Time – aktuální čas
TGIC	-	Triglycidylisokyanurát
TPR	-	Termoplastic elastomer
USB	-	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
UV	-	Ultrafialové záření
VN	-	Vysoké napětí
VOC	-	System odvědušnění, rekuperace a filtrování
VVN	-	Velmi vysoké napětí
ZVN	-	Zvlášť vysoké napětí
3D	-	Trojdimenzionální
Ra	μm	Drsnost

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list práškové barvy INTERPON 100 AG0152 RAL3015
- Příloha 2 Materiálový list práškové barvy INTERPON D1036 Mat(30)
- Příloha 3 Výkres součásti VG3 KAPSELUNG, č. v. 2GHV012364
- Příloha 4 Formulář analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy vodičů
- Příloha 5 Formulář analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy pouzder (trubek)
- Příloha 6 Výkres součásti CASING TUBE 392×6, č. v. 2GHV003992
- Příloha 7 Formulář časové analýzy maskování vodičů
- Příloha 8 Formulář časové analýzy maskování pouzder (trubek)
- Příloha 9 Formulář četnosti výskytu vad po lakování
- Příloha 10 Výkres součásti VG3 FLANGE, č. v. 1HC0026214
- Příloha 11 Výkresová dokumentace k 6.1.1 *Maskování vnitřní plochy pouzdra (trubky)*
Výkres součásti VYLISEK KARTONOVY, č. v. DP-TS-ZAKA-00/01
Výkres součásti PAS LEPICI, č. v. DP-TS-ZAKA-00/02
Výkres součásti ZASLEPKA KARTONOVA, č. v. DP-TS-ZAKA-00
Výkres součásti PLAN VYUZITI KARTONU, č. v. DP-TS-PLVK-00
- Příloha 12 Výkresová dokumentace k 6.1.2 *Maskování čelní plochy příruby pouzdra (trubky)*
Výkres součásti PRSTENEC KARTONOVY, č. v. DP-TS-MPRI-00/01
Výkres součásti POKLOP KARTONOVY, č. v. DP-TS-MPRI-00/02
- Příloha 13 Výkres součásti CONDUCTOR TUBE 140×8, č. v. 1HC0026162
- Příloha 14 Výkres součásti VG3 ENCLOSURE, č. v. 1HC0026213
- Příloha 15 Výkresová dokumentace k 6.2 *Výběr a hodnocení optimální varianty – vodiče*
Výkres součásti VYSEC KARTONOVA, č. v. DP-TS-SKVY-00/01
Výkres součásti PRELEPKA KRYCI, č. v. DP-TS-SKVY-00/02
Výkres součásti SAMOLEPKA MASKOVACI, č. v. DP-TS-SKVY-00
Výkres součásti KROUZEK MASKOVACI, č. v. DP-TS-TRZA-00/01
Výkres součásti OPERA TEFLONOVA, č. v. DP-TS-TRZA-00/02
Výkres součásti OCHRANA TEFLONOVA, č. v. DP-TS-TRZA-00/03
Výkres součásti OKO ZAVESNE, č. v. DP-TS-TRZA-00/04
Výkres součásti TYC ZAKLADNI, č. v. DP-TS-TRZA-00/05
Výkres součásti KOLIK ZEMNICI, č. v. DP-TS-TRZA-00/06
Výkres součásti TRN ZAVESNY, č. v. DP-TS-TRZA-00
Výkres součásti TYC NOSNA, č. v. DP-TS-TRZA-01

Prášková nátěrová hmota
Technický list výrobku

Datum prvního vydání: 31.10.2013
 Datum revize: 15.05.2012

Akzo Nobel Coatings CZ, a.s.
 Podtuhovská 376/14
 747 70 Opava 9 – Komárov
 Tel.: +420 553 692 275, Fax: +420 553 692 455
 e-mail: czech@interpon.com • www.interpon.cz



Produktová řada	Interpon 100		
Název výrobku	AG0152		
Popis výrobku	RAL 3015, světle růžová, hladká, lesklá		
Vlastnosti prášku	Chemický typ	Epoxy	
	Oblast použití	Všeobecný průmysl, pro vnitřní použití	
	Distribuce částic	Podle potřeby zákazníka	
	Měrná hmotnost (g/cm ³)	1,72 ± 0,15	
	Vytvrzovací podmínky	12 min / 180 °C (doba při teplotě předmětu)	
	Aplikace	Elektrostatika (Corona) + Elektrokinetika (Tribo)	
	Shladovatelnost	V suchu, chladnu (pod 30 °C), nejméně 24 měsíců od data výroby.	
	Bezpečnostní list	Ep-O (PC170)	
Vlastnosti vytvrzeného nátěru (Specifikace produktu)	Podmínky testů	Podkladový materiál	Ocelový plech, tloušťka 0,6 ± 0,1 mm
		Předúprava	Odmaštění
	Číslo lesku (60°)	Tloušťka filmu	60 - 80µm
			ČSN EN ISO 2808
Mechanické zkoušky:	Číslo lesku (60°)	75 - 85	TP 101 (ČSN ISO 2813)
	Přilnavost mřížkovým řezem	stupeň 0	TP 96 (ČSN ISO 2409)
	Hloubení (Erichsen)	min. 6 mm	TP 98 (ČSN EN ISO 1520)
	Úder do nátěru	min. 20 cm	TP 100 (ČSN EN ISO 6272-2)
	Ohyb přes trn	max. 5 mm	TP 99 (ČSN ISO 1519)
Korozní zkoušky	Solná komora	240 h / Podkorodování max. 2 mm od řezu	ČSN EN ISO 9227
	Kondenzační komora	1000 h / Bez tvorby puchýřů nebo ztráty lesku	ČSN EN ISO 6270-1
Chemická odolnost	Dobrá odolnost ve většině běžných zředěných kyselinách, zásadách a olejích při běžné teplotě.		
Bezpečnostní opatření	Tento výrobek je určený pouze pro profesionální průmyslové použití. Při aplikaci nejezte, nepijte a nekuřte. Nevdechujte prach. V případě nedostatečné ventilace používejte vhodný respirátor proti prachu. Další informace najdete v bezpečnostním listu.		
Deklarace	Tento technický list podává pouze základní informace o zmíněném produktu. Kdokoliv používá tento produkt pro jiné účely, než je určeno v tomto dokumentu, smí by obdržel písemné potvrzení o vhodnosti produktu pro zamýšlené užití, činí tak na vlastní nebezpečí. Přes naši snahu zajistit všechny informace o produktu (prostřednictvím tohoto technického listu či jiným způsobem), není možno zajistit naši kontrolu kvality lakovaného podkladu, podmínek nanášení nebo dalších faktorů, které mají vliv na použití a aplikaci produktu. Proto, pokud není písemně potvrzeno, neskupujeme žádnou zodpovědnost za jakoukoliv škodu, která vznikne použitím produktu. Informace obsažené v tomto dokumentu podléhají změnám s ohledem na naše zkušenosti a kontinuální vývoj produktu.		

Technický list

Prášková nátěrová hmota

BU Powder Coatings
Interpon D1036 Mat (30)



AkzoNobel

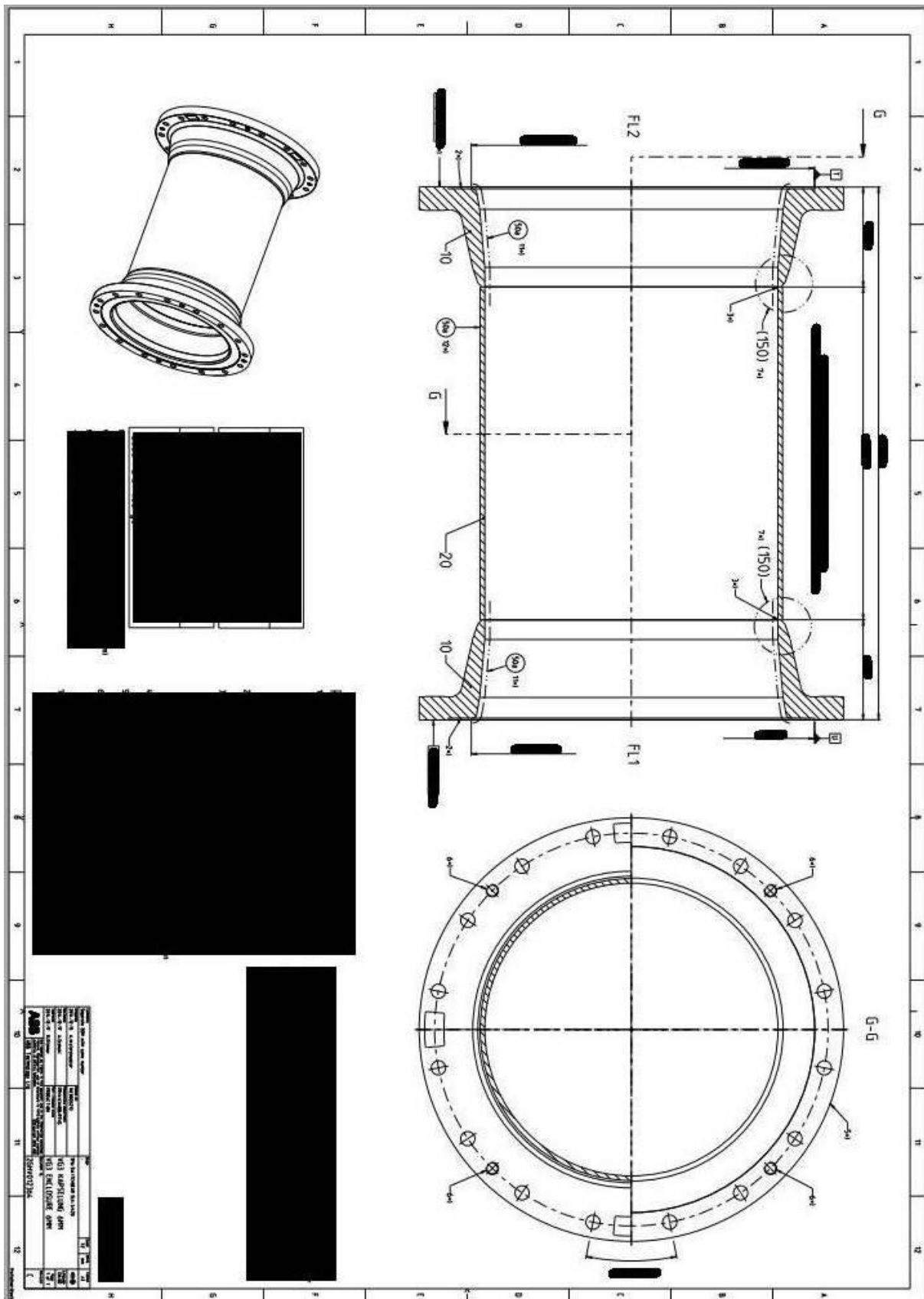
Informace uváděné v tomto technickém listu jsou všeobecné pro řadu **Interpon D1036**. Určité produkty v řadě se mohou lišit od všeobecného. Pro tyto výrobky jsou k dispozici individuální technické listy výrobku.

Popis produktu	Interpon D1036 Mat (30) je řada práškových nátěrových hmot určených pro použití na stavební hliníkové a pozinkované ocelové profily. Práškové barvy Interpon D1036 Mat (30) dostupné v široké škále barev, byly specificky připraveny pomocí Perform System (technologie společnosti AkzoNobel neobsahující TGIC). Stejně jako ostatní produkty řady Interpon D, také produkty Interpon D1036 Mat (30) vykazují vynikající venkovní odolnost a barevnou stálost a splňují požadavky hlavních evropských norem pro architekturu. Veškeré práškové barvy Interpon D1036 Mat (30) neobsahují olovo a splňují požadavky následujících norem: GSB, Qualicoat Class 1, EN12206 a EN13438 (dříve BS6496 a BS6497:1984) a AAMA 2603.		
Vlastnosti produktu	Chemický typ Lesk dle EN ISO 2813 (60°) Distribuce částic Měrná hmotnost Skladování Skladovatelnost Vypalovací program ⁽¹⁾ (Teplota objektu)	Polyester 30 ± 5 Vhodná pro elektrostatické nanášení 1,2 – 1,9 g/cm3 v závislosti na odstínu V suchu, chladnu 24 měsíců pod 30°C 12 měsíců pod 35°C 15 minut při 180°C (30 min max.) 12 minut při 190°C (25 min max.) 10 minut při 200°C (20 min max.) 8 minut při 210°C (16 min max.)	
Podmínky testování	Níže uvedené výsledky byly získány na základě mechanických a chemických zkoušek provedených v laboratorních podmínkách (není-li uvedeno jinak) a jsou pouze informativního charakteru. Skutečné vlastnosti závisí na podmínkách, při kterých je produkt používán.	Podkladový materiál Předúprava Tloušťka filmu Vypalování Aluminium (0,5-0,8 mm Al Mg1) Chromátování (DIN 50539) 60 – 80 µm (ISO 2360) 10 min při 200°C (teplota objektu)	
Mechanické zkoušky	Přílnavost mřížkovým řezem Odolnost hloubením (Erichsen) Tvrdost (Bucholtz) Odolnost při ohybu Náraz	ISO 2409 (2 mm mřížkový řez) ISO 1520 ISO 2815 ISO 1519 ISSO 6272	Gt 0 > 5 mm > 80 max 5 mm 2,5 joule přímo/nepřímo nebo 20 ip

Korozní zkoušky	Solná mlha Kontinuální kondenzace Oxid siřičitý	ISO 9227, 1000 hodin ISO 6270, 1000 hodin ISO 3231, 30 cyklů	< 16 mm ² koroze / 10 cm bez puchýřků nebo ztráty lesku stopa < 1 mm od řezu, bez puchýřků
	Propustnost	Tlakový hřec EN12206-1:2004 Část 5.10	bez defektů po 1 hodině (po 2 hodinách ve vroucí vodě)
	Chemická odolnost		Obecně dobrá odolnost vůči kyselinám, zásadám a olejům při normálních teplotách.
	Odolnost vůči maltě	EN12206-1:2004, 24 hodin Část 5.9	beze stopy
Klimatické zkoušky	Klimatická odolnost	ISO 2810, 12 měsíců (Florida, 5° jižně)	ztráta lesku ≥ 50 % ztráta odstínu v souladu s Qualicoat nebo GSB. Křídování v souladu s ASTM D659: 1980
	Zrychlený klimatický test	Expozice filtrovanému záření xenonové oblouk, výbojky dle ISO 1341, 1000 hodin QUV B313, 300 hodin	po 1000 hod. zachování lesku ≥ 50%
	Stálobarevnost		zachování lesku ≥ 50 % dobrá
Předúprava	Před aplikací práškové barvy Interpon D1036 Mat (30) je pro maximální ochranu nutné předupravit stavební komponenty. Hliníkové komponenty musí být předupraveny vícestádiovým chromátováním, vhodnou bezchromátovou technologií nebo anodizací. Podrobné informace obdržíte od dodavatele předúpravy. Pozinková ocel také vyžaduje předúpravu vícestádiovým fosfátováním zinkem, chromátováním nebo tryskáním. Podle typu pozinkování může být nezbytné odplynění nebo použití přísad proti vytváření bublin. Interpon D1036 Mat (30) je možno také použít na litou nebo měkkou ocel. Pro venkovní účely se na správně ošetřený podklad doporučuje použití antikorozního podkladového nátěru Interpon PZ.		
Aplikace	Práškové barvy Interpon D1036 Mat (30) jsou určeny k nanášení manuálními nebo automatickými elektrostatickými rozprašovacími systémy nebo TRIBO rozprašovacími systémy. V případě sytých odstínů může být až 30% nepoužité práškové barvy znovu aplikováno zařízením vybaveným příslušným recyklačním systémem. Podrobné informace a specifické rady týkající se příslušných povrchových úprav jsou k dispozici na požádání. Některé odstíny se doporučuje nanášet ve větší tloušťce filmu, aby bylo zaručeno dostatečné krytí. Interpon D1036 Mat (30) je možno také použít na litou nebo měkkou ocel. Pro venkovní účely se na správně ošetřený podklad doporučuje použití antikorozního podkladového nátěru Interpon PZ.		
Informace po aplikaci	V případě, že se po aplikaci profily budou dále zpracovávat (ohýbat, tmelit, lepit, zateplovat, čistit apod.), prosím kontaktujte společnost AkzoNobel.		
Bezpeč. opatření	Viz informace v bezpečnostně-technickém listu (MSDS).		

Příloha 3

Náhled výrobního výkresu VG3 KAPSELUNG, č. v. 2GHV012364 se začerněnými údaji z důvodu ochrany interních dat firmy ABB s.r.o.



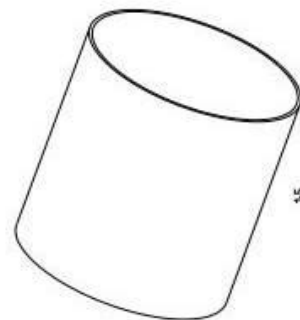
Formulář analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy VODIČŮ									
Vzorek číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Špičky v laku na vnější ploše (v celé délce)									
Otřep na vnější obvodové hraně čela									
Záprach na čelní ploše									
Záprach na postříbřené ploše									
Jiné vady									
Čas čištění (celého vodiče) [min. . s.]									
Zapsal: Jméno / Příjmení	Legenda: Zaznamenanou vadu označit X do příslušné kolonky. Jedna součást může obsahovat více vad.								
Datum / Směna:									
Poznámky a připomínky:									

Příloha 5

Formulář analýzy vad a časové náročnosti konečné úpravy POUZDER (TRUBEK)									
Vzorek číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nálitek na hraně závitového otvoru									
Záprach bílé barvy na čelní ploše příruby									
Záprach růžové barvy na čelní ploše příruby									
Záprach na vnitřní ploše trubky (za maskovacím poklopem)									
Záprach bílé barvy do růžové (bílé tečky)									
Poškození přechodové hrany laku na vnitřní ploše trubky									
Ostrá hrana přechodu laku (schodek) na vnitřní ploše trubky									
Zalakované nečistoty na vnitřní ploše trubky (špičky v laku)									
Jiné vady									
Čas čištění (jedné strany pouzdra) [min. . s.]									
Zapsal: Jméno / Příjmení	Legenda: Zaznamenanou vadu označit X do příslušné kolonky. Jedna součást může obsahovat více vad. Poznámky a připomínky:								
Datum / Směna:									

[illegible]

The drawing shows a rectangular building layout with dimensions 15.00m by 15.00m. The layout includes a central corridor (1.50m wide) and several rooms. A large room on the right is labeled '15'. A smaller room on the left is labeled '15.00m'. The drawing is oriented with the 15.00m dimension running horizontally. A 3D perspective view of a cylindrical structure is shown in the bottom right corner, labeled '15'.



Formulář časové anýlýzy maskování VODIČŮ										
Vzorek číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas maskování [min. . s.]										
Poznámky a připomínky:	Zapsal: Jméno / Příjmení Datum: Směna:									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70

Formulář časové analýzy maskování POUZDER (TRUBEK)												
Vzorek číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Čas maskování [min. . s.]												
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		

Zapsal: Jméno / Příjmení	Datum:	Směna:
Poznámky a připomínky:		

Příloha 9

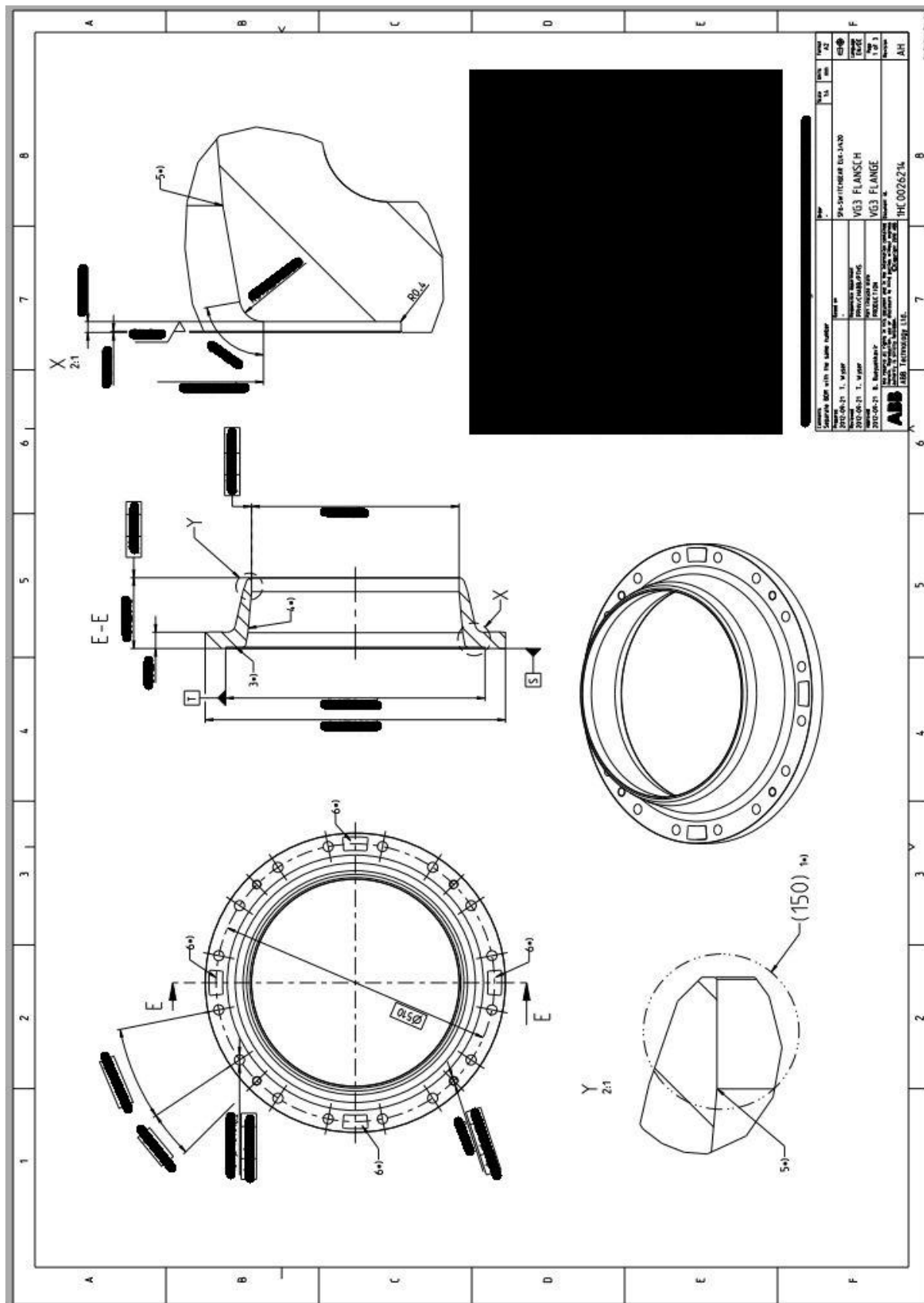
Pracoviště:
Čištění po laku

organizační jednotka
PPHV BRNO



Formulář četnosti výskytu vad po lakování							
Typ vady a typ čišťeného dílu	Záprach příčkové barvy						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Nálitek po maskovacích přípravcích						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Špičky na lakování ploše						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Shodek laku						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Býhy a jiné defekty						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Bílá mapy / zaschlá tekutina						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Lokální černé mapy či nečistoty						
	Trubky						
	Vodíče						
	Tvarovky						
	Jiné drobné díly						
	Legenda: O - ostatní plochy, T - těsnící plochy Vysvětlivky: X zapsat k typu čišťené plošky a dané vadě. Jestliže se na čišťené plošce vyskytuje více vad tak tyto zapsat ke všem kterých se to týká <table border="1"> <tr> <td>Zapsat: Jméno/Příjmení</td> <td>Datum</td> <td>Směna</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> Poznámky a připomínky:		Zapsat: Jméno/Příjmení	Datum	Směna		
Zapsat: Jméno/Příjmení	Datum	Směna					

Náhled výrobního výkresu VG3 FLANGE, č. v. 1HC0026214 se začerněnými údaji
z důvodu ochrany interních dat firmy ABB s.r.o.



Příloha 11

Výkresová dokumentace k *6.1.1 Maskování vnitřní plochy pouzdra (trubky)* je přiložena v klopě vazby na konci práce.

Výkres součásti VYLISEK KARTONOVY, č. v. DP-TS-ZAKA-00/01

Výkres součásti PAS LEPICI, č. v. DP-TS-ZAKA-00/02

Výkres součásti ZASLEPKA KARTONOVA, č. v. DP-TS-ZAKA-00

Výkres součásti PLAN VYUZITI KARTONU, č. v. DP-TS-PLVK-00

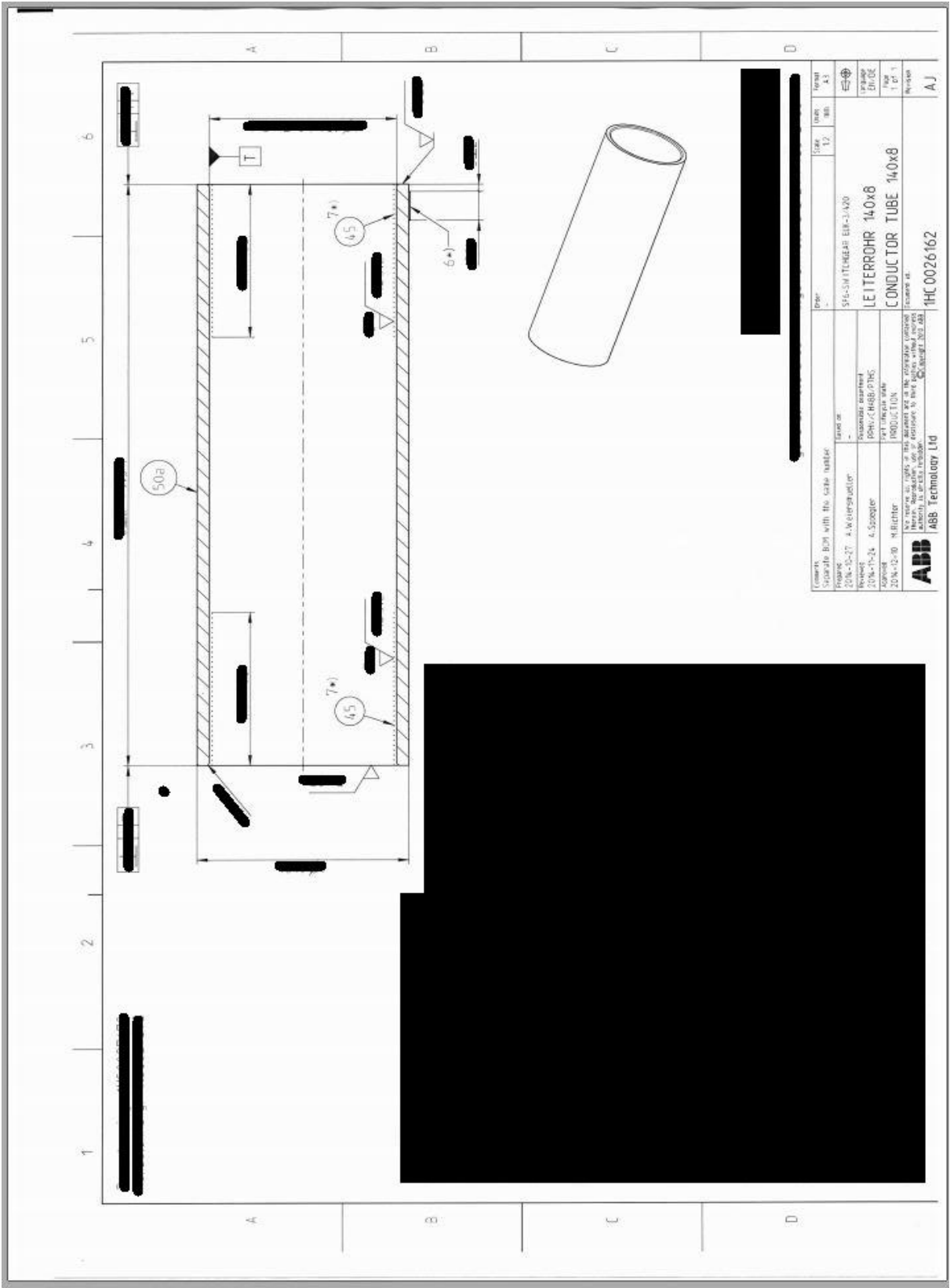
Příloha 12

Výkresová dokumentace k *6.1.2 Maskování čelní plochy příruby pouzdra (trubky)* je přiložena v klopě vazby na konci práce.

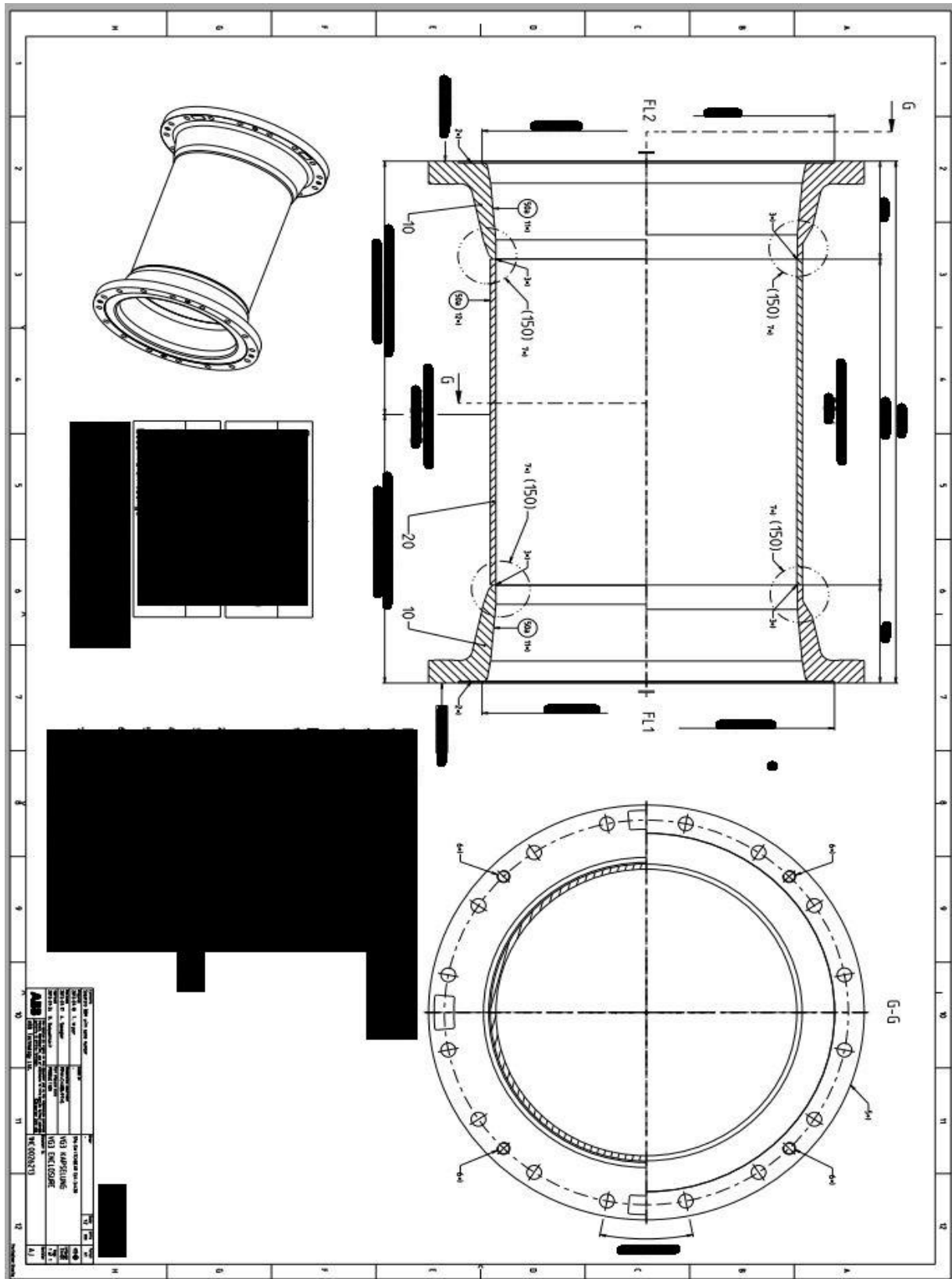
Výkres součásti PRSTENEC KARTONOVY, č. v. DP-TS-MPRI-00/01

Výkres součásti POKLOP KARTONOVY, č. v. DP-TS-MPRI-00/02

Náhled výrobního výkresu CONDUCTOR TUBE 140×8, č. v. 1HC0026162 se začerněnými údaji z důvodu ochrany interních dat firmy ABB s.r.o.



Náhled výrobního výkresu VG3 ENCLOSURE, č. v. 1HC0026213 se začerněnými údaji z důvodu ochrany interních dat firmy ABB s.r.o.



Výkresová dokumentace k 6.2 Výběr a hodnocení optimální varianty – vodiče je přiložena v klopě vazby na konci práce.

Výkres součásti VYSEC KARTONOVA, č. v. DP-TS-SKVY-00/01

Výkres součásti PRELEPKA KRYCI, č. v. DP-TS-SKVY-00/02

Výkres součásti SAMOLEPKA MASKOVACI, č. v. DP-TS-SKVY-00

Výkres součásti KROUZEK MASKOVACI, č. v. DP-TS-TRZA-00/01

Výkres součásti OPERA TEFLONOVA, č. v. DP-TS-TRZA-00/02

Výkres součásti OCHRANA TEFLONOVA, č. v. DP-TS-TRZA-00/03

Výkres součásti OKO ZAVESNE, č. v. DP-TS-TRZA-00/04

Výkres součásti TYC ZAKLADNI, č. v. DP-TS-TRZA-00/05

Výkres součásti KOLIK ZEMNICI, č. v. DP-TS-TRZA-00/06

Výkres součásti TRN ZAVESNY, č. v. DP-TS-TRZA-00

Výkres součásti TYC NOSNA, č. v. DP-TS-TRZA-01