



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## LAMINACE POVRCHŮ MĚDĚNOU FOLIÍ

LAMINATING OF METAL SURFACE BY CU-FOIL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Vyoral

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2018

## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav materiálových věd a inženýrství
Student:	<b>Marek Vyoral</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP
Akademický rok:	2017/18

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

### Laminace povrchů měděnou fólií

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce bude věnována technologii laminování kovových povrchů měděnou fólií a využití takto získaných materiálů v průmyslové praxi.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- popsat problematiku laminování kovových povrchů tenkou měděnou fólií
- popsat testování získaného kompozitu vůči povětrnostním a tepelným podmínkám
- navrhnout technologické řešení hran kompozitu
- posoudit vhodnost laminovaného kompozitu k praktickému využití

#### **Seznam doporučené literatury:**

Ptáček, L. a kol. Nauka o materiálu I. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-7204-193-2

Ptáček, L. a kol. Nauka o materiálu II. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 27. 10. 2017



---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá technologií laminací povrchů měděnou fólií, testování funkčnosti a použitelnosti technologie v praxi. Popisuje problémy a řešení, které se objevily během vývoje této technologie.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Technologie laminování, měděná fólie, kompozitní materiál, patina.

## **ABSTRACT**

Theme of this bachelor's thesis is lamination of copper foil on metal surfaces, testing of usability and applications. Thesis describes problems and solutions which occurred during development of this technology.

## **KEYWORDS**

Laminating technology, copper foil, composite material, patina.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VYORAL, M. *Laminace povrchů měděnou fólií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 37 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Molliková Ph.D. Paed IGIP

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Eva Molliková Ph.D. Paed IGIP a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

Marek Vyoral

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP, za ochotu, trpělivost a rady spojené s prací. Mému otci Ing. Jiřímu Vyoralovi, za možnost spolupráce na technologii a za ochotu předávat jeho dlouholeté zkušenosti a znalosti. Dále také Martině Minaříkové a Tomáši Matulovi, kteří mi s prací pomohli. Na závěr bych chtěl poděkovat celé své rodině, která mne vždy podporovala a vedla nejen při studiu, ale i při mé dosavadní cestě životem.

**OBSAH**

1	Cíle práce.....	9
2	Charakteristika technologie .....	10
3	Vývoj technologie .....	11
3.1	Zkoušky vzorků z laminátu.....	11
3.2	Analýza trhu a prokázání využitelnosti technologie v praxi.....	13
3.3	Alternativy technologie.....	16
4	Měď ve stavebnictví a měděná fólie.....	17
4.1	Transformace měděné rudy do podoby ryzího kovu .....	18
4.2	Měď ve stavebnictví .....	19
4.3	Měděná fólie .....	22
5	Technologie Laminování .....	24
5.1	Proces výroby kompozitu - výroba měděného laminátu .....	25
5.2	Proces výroby kompozitu - laminování výsledného kompozitu.....	26
5.3	Materiály kompozitu .....	28
6	Výroba a testování vzorků, řešení vzniklých problémů .....	30
6.1	Výroba vzorků laminátu .....	30
6.2	Testování vzorků.....	31
6.3	Změny v technologii .....	32
6.4	Řešení hran kompozitu .....	33
7	Závěr.....	34



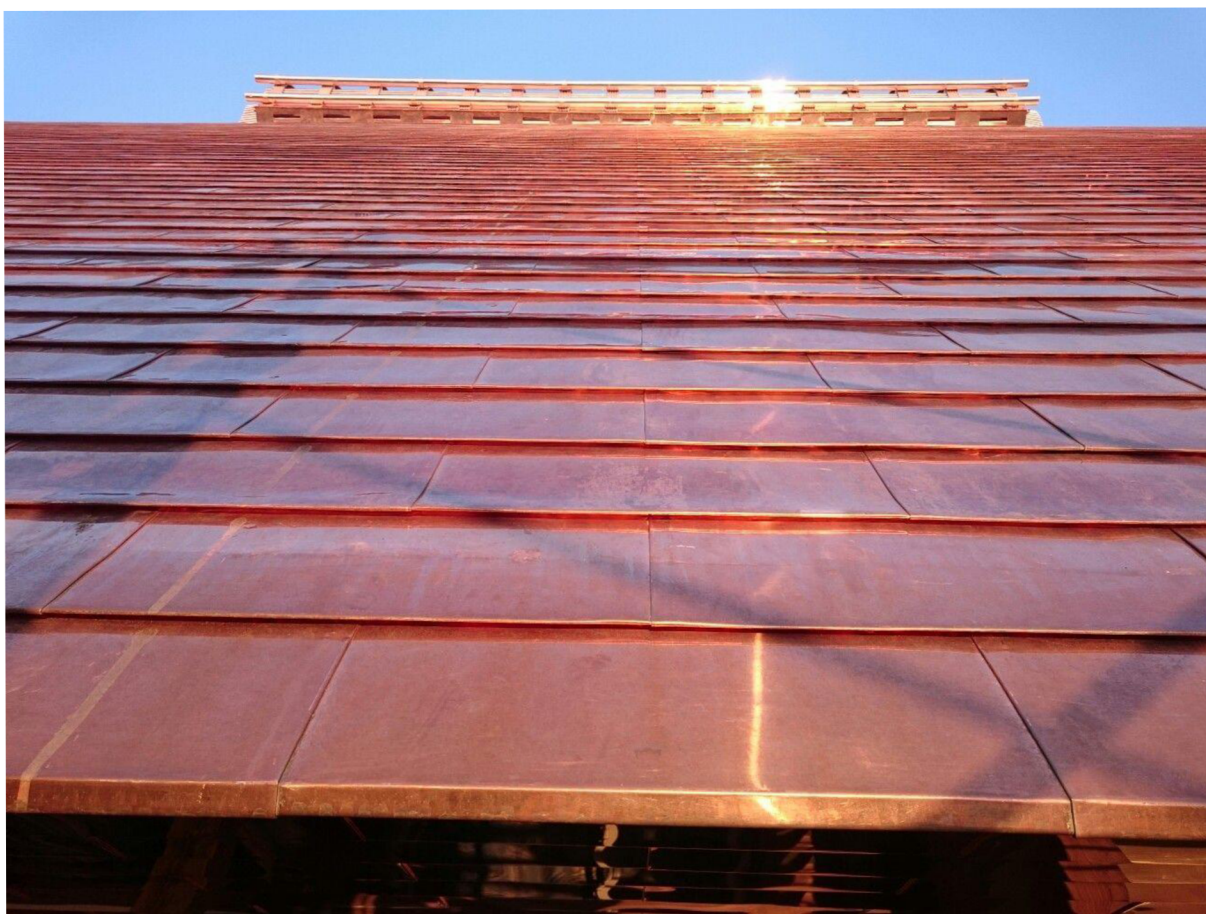
### **1 CÍLE PRÁCE**

Výroba kompozitních materiálů patří už dlouhou dobu k jednomu z nejefektivnějších způsobů úspory cenného materiálu a zároveň získání požadovaných mechanických vlastností. Díky novějším a modernějším technologiím mohou tyto složky být čím dál více různorodé a jejich spojení čím dál více důmyslné. V této bakalářské práci bude popsána technologie výroby kompozitních materiálů šetřící cenný materiál. Bude zde popsáno testování výrobků z tohoto kompozitu a posouzena vhodnost použití technologie v praxi. Nakonec bude v práci uvedeno možné technologické řešení hran vzniklých při tváření.

## 2 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE

Technologie spočívá v zušlechťování povrchů výrobků pomocí laminování tenkých měděných fólií. V této bakalářské práci půjde konkrétně o laminování fólie na ocelové plechy. Laminací těchto složek bude vytvořen kompozitní materiál, ze kterého se dále budou vytvářet výrobky používané jako konstrukční krytiny ve stavebním klempířském průmyslu. Jedná se konkrétně o střešní krytiny, venkovní okenní parapety, okapy a svodové konstrukce, fasádní plechové obklady a kazety, termoizolační opláštění budov prováděné izolačními fasádními panely a jejich použití zejména ve venkovním prostředí.

Tyto výrobky jsou v současné době vyráběny ze slitin převážně obsahujících měď. Bohužel slitiny mědi, uznávané jako výborný krytinový materiál, nejsou úplně rozšířeny díky vysokým pořizovacím nákladům a jsou brány spíše jako známka luxusu. Na *obrázku 1. [1]* je střecha japonského chrámu z měděné překládané šablonové krytiny.



Obrázek 1. Střecha Japonského chrámu z měděné střešní krytiny [1]

### 3 VÝVOJ TECHNOLOGIE

Tato technologie se v současné době stále nachází ve fázi vývoje. Doposud výrobky z tohoto kompozitního materiálu nejsou schopny být, co se týče funkčnosti, na stejné úrovni jako stávající používané měděné výrobky. Z laminátu jsou již zhotoveny některé klempířské výrobky, a to konkrétně střešní žlaby (obrázek 2.) a svodové potrubí. Tyto výrobky jsou brány jen jako zkušební vzorky.

#### 3.1 ZKOUŠKY VZORKŮ Z LAMINÁTU

Zkušební vzorky je třeba podrobit řadou zkoušek. Jde o zkoušky mechanické, teplotní, odolnosti vůči korozi, stárnutí a UV záření, zkoušky adhezivního chování laminátu.



Obrázek 2. Vzorek střešního žlabu, délka 1 m, šířka po rozvinutí 330 mm.

### Zkoušky mechanické:

- **Zkouška ohybová a stříhová** – polotovary kompozitu jsou rovné plechové tabule o rozměru 2000x1000 mm, tyto tabule se budou stříhat a ohýbat do podoby finálního produktu.
- **Zkoušky na otěr** - laminovaná fólie se musí při působení síly na povrch kompozitu co nejméně odírat, krčit a strhávat.

### Zkoušky odolnosti vůči korozi a stárnutí:

- **Zkoušení odolnosti laminátů vůči vlivu venkovního prostředí** – pozorování oxidačních procesů na povrchu mědi a pozorování případného vzniku koroze na hranách laminátu.

### Zkoušky teplotní:

- **Cyklické zahřívání a ochlazování vzorků** - pozorování vlivů teploty na adhezi kompozitu, odolnost vůči UV záření. Zejména bude kladen důraz na ověření vlivu rozdílných tepelných roztažností jednotlivých vrstev laminátu.

**Zkouška adheze** – testování soudržnosti plechu s měděnou fólií.

Na základě dat získaných z těchto zkoušek bude technologie dále upravována a vylepšována, dokud nebude připravena pro použití v praxi.

Některé z výše zmíněných zkoušek byly již na vzorcích provedeny. Jde o testování odolnosti laminátů vůči vlivu venkovního prostředí a o cyklické zahřívání a ochlazování vzorků. Toto testování bylo prováděno pouze tzv. svépomocí. Zkoušky doposud nebyly provedeny na certifikovaných zkušebních zařízeních, proto jsou výsledky posuzovány dle vizuálního stavu laminátu. O průběhu jmenovaných zkoušek je pojednáno v kapitole 6.2.

Testování odolnosti laminátu vůči vlivu venkovního prostředí je stěžejní pro určení vhodnosti laminátu jako materiálu pro střešní konstrukce. Protože dosavadní testování svépomocí je neefektivní a pomalé, byla v tomto ohledu navázána spolupráce s Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně, konkrétně s centrem polymerních systémů. Tento institut vlastní zařízení pro zkoušky zrychleného stárnutí materiálu, takzvaný QUV Tester (*obrázek 3. [23]*). Zařízení urychluje stárnutí působením ultrafialového záření, vlhkosti a teploty. To vytváří možnost laboratorně testovat během několika dnů a týdnů poškození materiálu, ke kterému by jinak při běžném vystavení vlivu klimatických podmínek došlo až v průběhu několika měsíců nebo let. K dispozici jsou dvě zařízení s kapacitou až 24 vzorků. Teplotní rozsah je 35-80 °C pro UV cyklus, 40-60 °C pro kondenzační cyklus. [2]



Obrázek 4. QUV tester, komora urychlující stárnutí materiálu. [23]

### 3.2 ANALÝZA TRHU A PROKÁZÁNÍ VYUŽITELNOSTI TECHNOLOGIE V PRAXI

Jak už bylo dříve zmíněno, měď je jako krytinový a svodový materiál velmi drahá. Proto jsou okapy a svody (v menším zastoupení i střešní krytiny), převážně vyráběny z pozinkovaných ocelových plechů a hliníkových slitin. Například slitiny hliníku jsou používány pro jeho malou hmotnost (2,6 kg na 1 m<sup>2</sup> krytiny), a také odolnost vůči korozi. Hliník se při korozi na povrchu pokrývá oxidem hlinitým (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), který zabraňuje šíření koroze hloub do materiálu. Pozinkované ocelové plechy sice nemají takovou přirozenou odolnost vůči korozi jako hliník, ale to je výrobci řešeno ochrannými pasivacemi, barevnými laky a polyesterovými vrstvami. Jednu věc však tyto pozinkované ocelové plechy a hliníky mají společnou, a to tu, že cena těchto materiálů je výrazně nižší než cena mědi.

Nově na trh okapových a svodových systémů vstoupil materiál zvaný titanžinek. Základ tohoto materiálu tvoří zinek s vysokou ryzostí až 99,995 %, který je legován příměsí mědi a titanu. Titanžinek se postupem času vlivem klimatického působení pokrývá patinou stejně jako měď. Tato patina má však na rozdíl od typické zelené měděnkové barvy, barvu modrošedou. Tím, že je titanžinek stejně jako měď naprosto bezúdržbový, vyniká vysokou životností a má exkluzivní vzhled, je jako materiál velmi drahý, dokonce dražší než měď.

V následující *tabulce 1*. [4] je stručné srovnání cen jednoho kusu stejného typu odtokového žlabu o délce 1 metr a šířce 330 mm z různých typů materiálů. Šířka je brána po rozvinutí žlabu.

*Tabulka 1. Srovnání cen odtokových žlabů [4]*

Materiál žlabu	Záruka výrobců na materiál	Údajná životnost materiálu	Cena (včetně DPH)
Pozinkovaný ocelový plech okapový systém LINDAB	30 let	60 let (dle prostředí)	193,- Kč
Lakovaný hliníkový plech okapový systém PREFA	40 let	90–100 let	201,- Kč
Titanzinkový plech okapový systém RHEIZINK	30 let	80–100 let	500,- Kč
Měděné plechy	Záruka pouze na vyžádání od výrobců	100 (i více) let	426,- Kč



*Obrázek 4. Měděný žlab, délka 1 m, šířka po rozvinutí 330 mm [5]*



*Obrázek 5. Žlaby okapového systému LINDAB, různé variace barev [6]*

Pro určení vhodnosti budoucí realizace této technologie bylo třeba analyzovat trh a zjistit, zda bude projevem zájem ze strany výrobců klempířských výrobků o tuto technologii.

Bylo zjištěno, že v minulosti proběhly pokusy o vytvoření různých měděných imitací. Jak kvůli vysoké ceně skutečné mědi, tak i kvůli zájmu o exkluzivní měděný vzhled klempířských výrobků. Tyto pokusy však většinou neuspěly z důvodu neschopnosti imitací získat vrstvu patiny přirozenou oxidací. Tuto vlastnost totiž stavební investoři vyžadují. Lamináty s měděnou fólií zmíněnou vlastnost mají. Je ověřeno, že výroba plechů s měděným povrchem touto technologií nikde na světě neexistuje. Vzhledem k tomu, že oslovené firmy zabývající se výrobou klempířských výrobků projevili velký zájem o spolupráci a o realizaci této technologie, lze s jistotou říci, že využitelnost technologie bude zaručena.

Na základě výroby vzorků kompozitu, byla stanovena hrubá kalkulace (*Tabulka 2.*) oboustranně laminovaného plechu o rozměru 1 m<sup>2</sup>.

*Tabulka 2. Hrubá kalkulace oboustranně laminovaného plechu.*

Měděná fólie o tloušťce 0,015 mm	102,0 Kč
Plastová fólie a následná laminace s mědí	60,0 Kč
Ocelový plech DX53D-Z	80,0 Kč
Polyuretanové Lepidlo	10,6 Kč
Mzdy	2,4 Kč
Energie	4,4 Kč
Balící materiál	0,5 Kč
Režijní náklady	10 Kč

Celková výrobní cena 1 m<sup>2</sup> laminátu vychází zhruba na 269,70 Kč. Pro srovnání, výrobní cena běžného stavebního měděného plechu o stejném rozměru vyjde na 1000 Kč. Už jen při pohledu na tyto kalkulace, i když jsou jen hrubé, je patrná velká úspora nákladů na výrobu materiálu. Cena odtokového žlabu, u kterého byla v *tabulce 1.* srovnána cena podle materiálu, by se tak pro laminát s měděným povrchem mohla pohybovat kolem 180-200 Kč. Životnost výrobků z laminátu zatím není známa. Cílem technologie však bude zajistit minimálně stejnou životnost, jaká je u stávajících měděných výrobků.

### 3.3 ALTERNATIVY TECHNOLOGIE

Potenciál, který tato technologie má nespočívá pouze v laminování mědi na plech, ale také v laminování mědi na PVC plastové materiály. Měď je laminována na PVC parapety velmi rozšířené při řešení interiérových konstrukcí okenních otvorů. Díky měděnému povrchu se pak tyto parapety budou moci využívat pro exteriérní část okenních otvorů. Vzorky těchto laminátů jsou již hotovy a nachystány pro budoucí testování (obrázek 6.).



Obrázek 6. Vzorok PVC parapetu s laminovaným měděným povrchem.

Další potenciální materiál s možnou laminací na povrch, je takzvaná aluzinková slitina. Aluzinková slitina se hojně využívá v automobilovém průmyslu, konkrétně pro výrobu chladicího zařízení motoru. Aluzinek se stejně jako titanžinek a měď vyznačuje naprostou bezúdržbovostí a odolností vůči korozi. Největší výhodou tohoto materiálu je však cena. Fólie z tohoto materiálu by byla ještě levnější než měděná a titanžinková. Výrobní cena 1 m<sup>2</sup> oboustranně laminovaného kompozitu aluzinkovou fólií by vyšla přibližně na 230 Kč.

Dále bylo zjištěno, že ze strany klempířských firem je zájem o povrchy z výše zmíněného titanžinku. I na tyto materiály vznikaly pokusy o imitace kvůli vysoké ceně a jedinečnému vzniku patiny na povrchu. Bohužel doposud nebyl nalezen výrobce kovových fólií, který by tuto slitinu měl ve své nabídce.



## 4 MĚĎ VE STAVEBNICTVÍ A MĚDĚNÁ FÓLIE

Měď je coby konstrukční materiál využívána již od nepaměti. Se stavebními konstrukcemi z tohoto materiálu se lze setkat i u velmi výjimečných staveb, existujících již po několik staletí. Na (obrázku 7. [7]) je katedrála, jejíž některé části střešní konstrukce byly instalovány v roce 1280 n.l.



Obrázek 7. Katedrála svatého Michaela s měděnou střechou v Hildesheimu. [7]

Měď se jako chemický prvek vyskytuje v malém množství, téměř ve všech přírodních prostředích. Je obsažena v horninách, minerálech, ve vodě a ve vesmírných tělesech (meteoritech). Průměrné množství mědi v hornině zemské kůry je 50 mg/kg, čímž zaujímá mezi chemickými prvky na Zemi 28. místo. Rudy s obsahem mědi vhodným k těžbě a k průmyslovému zpracování, obsahují 0,15 - 1 % mědi, avšak toto procento neustále klesá s průběžnou a stále větší těžbou rud. Měděné rudy jsou převážně sulfidové (90 % rud), ale také oxidové (9 % rud). Nejvýznamnější ruda z řad sulfidů je tzv. Chalkocit (obrázek 9. [8]), sulfid měďný ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) a z řad oxidů Kuprit (obrázek 8. [8]), oxid měďný ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). [11]



Obrázek 8. Kuprit [8]

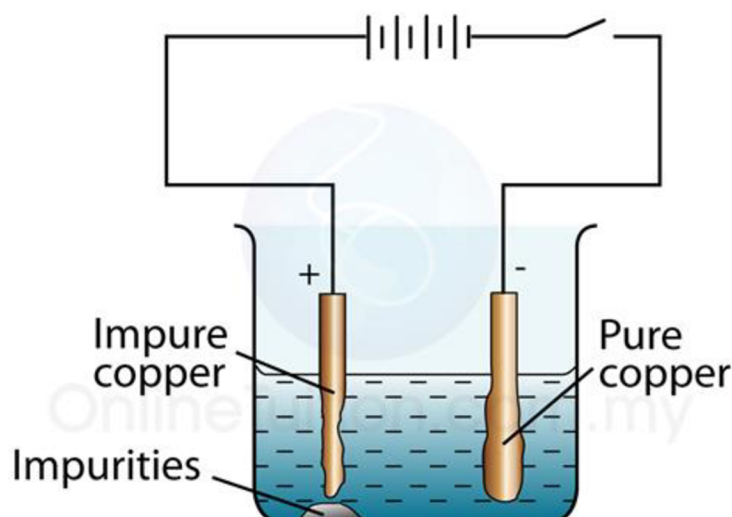


Obrázek 9. Chalkocit [8]

#### 4.1 TRANSFORMACE MĚDĚNÉ RUDY DO PODOBY RYZÍHO KOVU

Transformace měděné rudy do podoby ryzího kovu je následovná: [9]

- Mletí – ruda se drtí a mele na prášek.
- Koncentrace – ruda se koncentruje procesem, zvaným flotace pěnou, kde se využívá povrchových vlastností složek rudy. Nežádoucí hydrofilní materiál (tzv. hlušina) se usadí na dně kádě s kapalinou. Hydrofobní složky, obsahující oxidy a sulfidy mědi se naopak absorbují do bublin, které tvoří na povrchu pěnu.
- Pražení - prášková, koncentrovaná ruda se zahřívá na vzduchu na 500 až 700 °C, čímž se částečně odstraní síra a ruda se vysuší. Výsledkem je pevný praženec (výpražek).
- Tavení s tavidly – pevný praženec se zahřeje na 1200 °C a taví se spolu s tavidly, které urychlují proces tání. Tavení oddělí nečistoty do strusky a vznikne tavenina obsahující sulfidy mědi a železa. Této tavenině se říká kamínek.
- Konverze kamínku – do tekutého kamínku je vháněn vzduch, čímž dochází k oxidaci taveniny. Po dvojfázovém provzdušnění a oxidací sulfidu obsaženém v tavenině vzniká surová měď s příměsí železa, síry a kyslíku.
- Elektrolytická rafinace (*obrázek 10. [10]*) – měď s čistotou 85-90 % po předchozích operacích je odlita do tvaru desky a slouží jako anoda. Katoda je tvořena z tzv. matečných plechů elektrolyticky vyloučené mědi, které mají 0,5-0,7 mm. Anoda se elektrochemicky rozpustí a skrze elektrolyt, kterým je kyselý roztok  $\text{CuSO}_4$  (síran měďnatý), se měď o čistotě 99,5 % transportuje na katodu a vytvoří vrstvu 10-15 mm. Nečistoty a nežádoucí prvky jsou rozpuštěny v elektrolytu nebo se usazují na dně nádoby.



Obrázek 10. Elektrolytická rafinace mědi. [10]

## 4.2 MĚĎ VE STAVEBNICTVÍ

Jak už bylo řečeno měď je veřejností, ale i často odborníky označována jako drahý a luxusní materiál. Proto se mnohdy při různých řešeních konstrukcí o mědi vůbec neuvažuje. Ano, konstrukce z mědi má více než dvojnásobně vyšší cenu, ale investice je z dlouhodobého hlediska velice výhodná. Životnost měděných konstrukcí přesahuje průměrnou životnost samotných budov, navíc zmíněné konstrukce nevyžadují další údržbu na rozdíl od ostatních materiálů. Tento fakt vedl k vytvoření tradice používání mědi ve větším rozsahu zejména v centrální části Západní Evropy, ve Velké Británii a skandinávských zemích, kde do kvalitnějších materiálů investují více než u nás.

Neexistuje jiný klempířský materiál, který by měl tak vysokou tvárnost jako měď. Právě proto umožňuje řešení složitých, až umělecky laděných střech budov. Měděné plechy a pásy, ze kterých se vyrábí klempířské výrobky, jsou vyráběny v různých třídách, kdy každá třída má rozdílnou pevnost v tahu a rozdílnou tažnost (tabulka 3. [14]). Jedná se konkrétně o třídu měkkou, polotvrdou a tvrdou. Pro složité tvary konstrukcí střech, štítů a kopulí je používána měkká třída s označením R220. Pevnost v tahu má například oproti polotvrdé menší, avšak tažnost několikanásobně větší. Polotvrdá třída (R240) má tedy větší pevnost, menší tažnost a také větší možný poloměr ohybu. Polotvrdá a tvrdá třída (R290) jsou používány pro pokrytí souvislých a rovných střech a kazetové opláštění budov. Plechy jsou vyráběny v různých tloušťkách v závislosti na využití od 0,3 do 1 mm. [11]

Nejrozšířenější měděným materiálem vůbec je materiál s označením Cu-DHP (dříve SF-Cu). Číslo materiálu je CW024A (dříve 2.0090). Cu-DHP je dezoxidovaná měď s hlídaným zbytkem (přísadou) fosforu. Obecně je znám výbornou svařitelností a zvýšenou odolností vůči korozi. Mimo to, že je používán pro pokrývání střech, obvodové pláště a fasády budov, vyrábí se z něj potrubí pro rozvody teplé a studené vody, plynu, topných olejů, vzduchu, a také pro tepelná solární zařízení. [12]

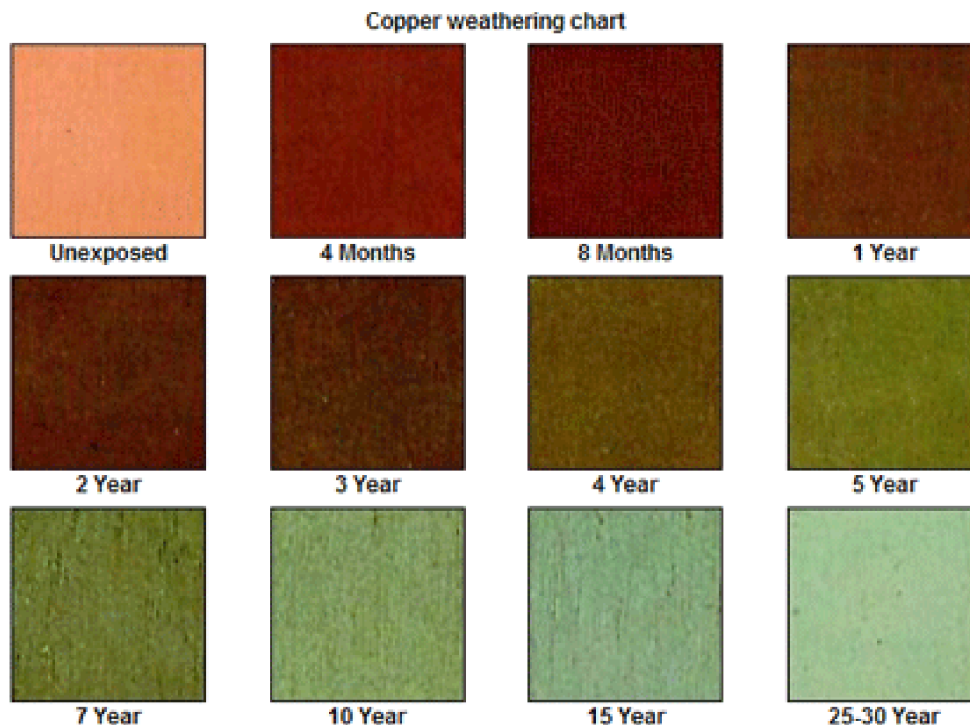
Fyzikální vlastnosti	Teplota tání	Hustota	Měrná tepelná kapacita pro 20 °C	Délková roztažnost 20 °C	Modul pružnosti v tahu
	[°C]	[Kg/m]	[kJ/kgK]	[mm/mK]	[GPa]
	1083	8900	0,377	0,00176	132
Mechanické vlastnosti	Pevnostní třída	Pevnost v tahu	Mez kluzu	Tažnost A <sub>50</sub>	Tvrdost podle Vickerse HV
		[MPa]	[MPa]	[%]	[-]
	R220	220-260	≤ 140	≥ 33	40-65
	R240	240-300	≥ 180	≥ 8	65-95
	R290	290-300	≥ 250	≥ 4	90-110
	R360	≥ 360	≥ 320	≥ 2	≥ 110

Tabulka 3. Fyzikální a mechanické vlastnosti Cu-DHP. [14]

Charakteristickou a zásadní vlastností mědi, díky které se měď jako klempířský materiál využívá, je přirozený vznik ochrany jejího povrchu. Měď pod vlivem ovzduší pomalu oxiduje a na jejím povrchu se vytváří tzv. patina.

Patina se skládá ze směsi hydroxidu, chloridu a uhličitanu mědi i když složení se může nepatrně lišit v závislosti na prostředí a geografické poloze. Patina povrch mědi chemicky pasivuje a zabraňuje korozi pronikat hlouběji do materiálu. Rychlost koroze v prvním roce po vystavení mědi vlivu atmosféry je cca 1-2  $\mu\text{m}/\text{rok}$ . Množství korodované mědi však výrazně klesá s každým následujícím rokem. Po vytvoření stabilní patiny se na povrch vyplavují pouze malé částice, které obsahují ionty mědi a jejich sloučeniny. Vyplavování je poté přibližně stálé, postupem času však mírně klesá v závislosti na vrstvě patiny. Se stabilní vrstvou patiny rychlost koroze tedy klesne až na 0,2-0,3  $\mu\text{m}/\text{rok}$ . Rychlost koroze se však zrychluje v přítomnosti kyselého prostředí. Jde hlavně o tzv. kyselý déšť, které obsahují zvýšené množství kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ).

Změna barvy měděné krytiny probíhá až do okamžiku vytvoření stabilní vrstvy patiny v několika fázích (obrázek 11. [13]). Z počátku má charakteristicky světle červenou lesklou barvu. Během několika týdnů měď ztratí lesk, poté se za několik měsíců zcela pokryje jednotným tmavě-hnědým filmem oxidu mědi. Až na tomto filmu se teprve začne utvářet patina, která má charakteristickou modrozelenou barvu. Tak jako na složení patiny má vliv různé prostředí i na barvu a dobu vzniku patiny. Zatímco barva se může lišit jen v odstínech zelené barvy doba vzniku patiny se může lišit i o desítky let. [11]



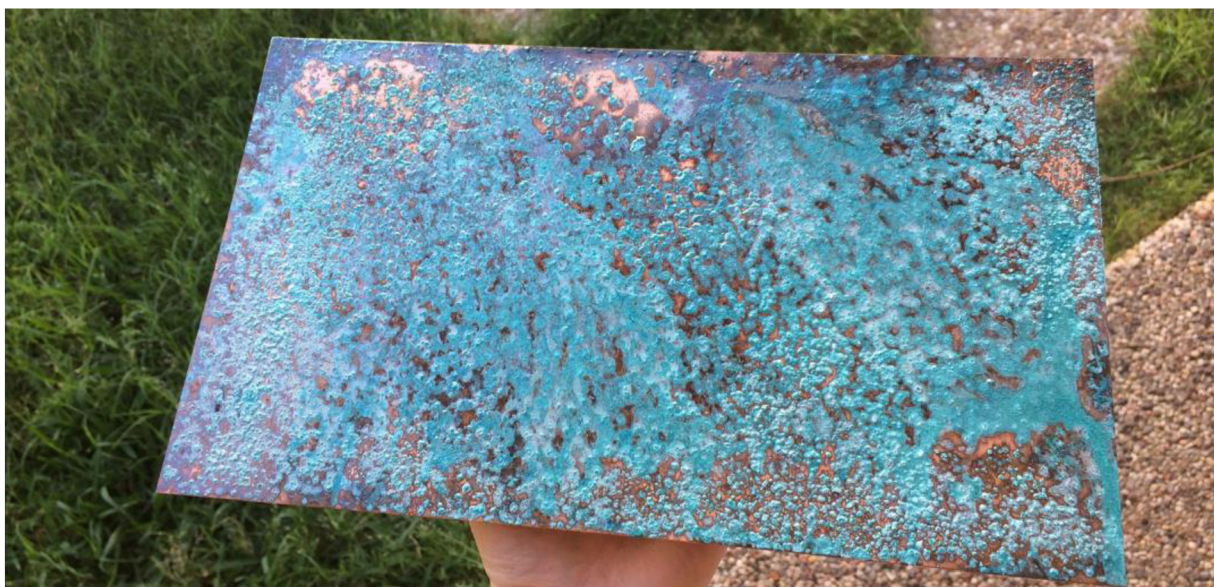
Obrázek 11. Změna barvy povrchu mědi vystavené vlivu ovzduší. [13]

Tabulka 4. Předpokládaná doba vzniku patiny [15]

PŘEDPOKLÁDANÁ DOBA VZNIKU PATINY	
Venkov, pahorkatiny	Minimálně 30 let
Městské prostředí	15-20 let
Průmyslový kraj, Velkoměsto	8–12 let

Vrstva oxidového filmu a patiny má řádově jednotky mikrometrů. Materiál pod touto vrstvou zůstává neporušen v čistém stavu. Pokud dojde k mechanickému poškození a narušení ochranné vrstvy, dojde k velmi rychlé obnově filmu i patiny.

Je známo, že si někteří investoři i projektanti přejí mít již při dokončení stavby měděné krytiny pokryté modrozelenou patinou, která se přírodní cestou vytváří desítky let. Tvorba patiny se může zpomalit, když je měděná krytina ve svislé poloze, či dokonce částečně krytá před deštěm. Důsledkem této poptávky byla vyvinuta technologie, která urychluje dobu vzniku patiny a to již na několik týdnů. Plechy se tak dají objednat i s vrstvou patiny. Levnější variantou jsou nástřiky na již nainstalovanou měděnou krytinu. V jednom litru vody se rozpustí 110 g síranu amonného ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 3 g síranu měďnatého (CuSO<sub>4</sub>) a 1,6 ml koncentrovaného amoniaku. Na 100 m<sup>2</sup> krytiny je potřeba zhruba 27 litrů tohoto roztoku. Roztok se musí na krytinu pečlivě rozetřít, aby nedošlo k nerovnoměrnému vzniku patiny, který lze pozorovat na *obrázku 12*. [16]. [15]

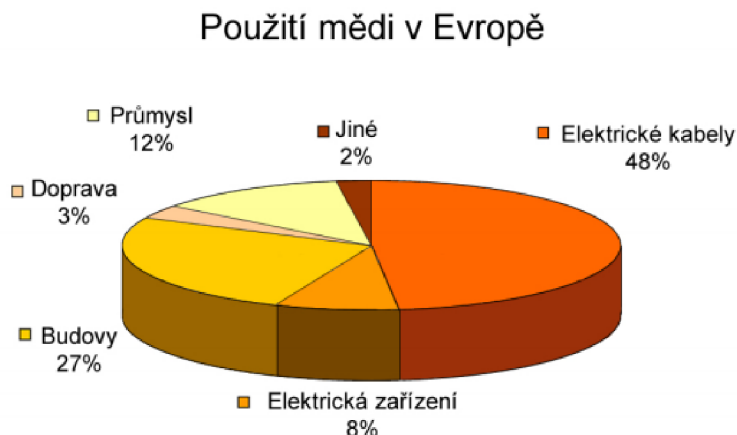


Obrázek 12. Příklad zrychleného nerovnoměrného vzniku patiny mědi. [16]

V současných trendech stavebního průmyslu je práce s přírodními materiály, které jsou buď již recyklovány nebo se snadno recyklovat dají. Měď je právě tímto představitelem přírodního materiálu a má možnost stoprocentního znovupoužití jednoduchým přetavením bez očišťovacích a přípravných operací.

### 4.3 MĚDĚNÁ FÓLIE

Hlavní odběratel mědi v Evropě je v současné době elektrotechnický průmysl. Až 48 % veškeré spotřeby mědi v EU směřuje na výrobu elektrických kabelů a dalších 8 % na výrobu elektrických zařízení (obrázek 13. [12]). Je to díky výborné tepelné a elektrické vodivosti mědi.



Obrázek 13. Použití mědi v Evropě [12]

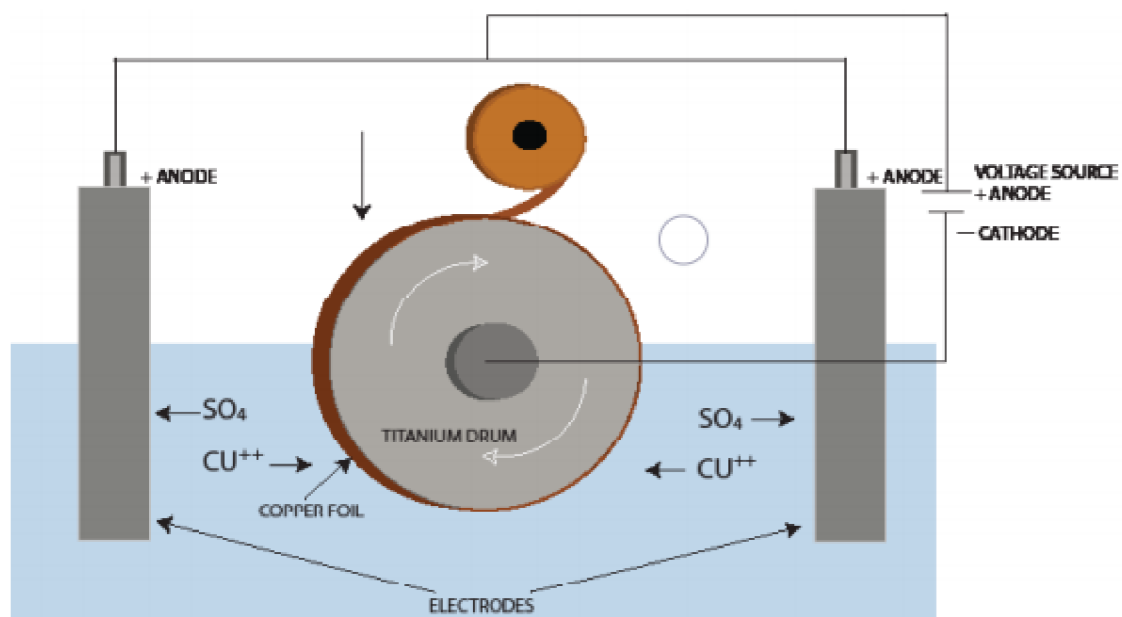
Měděná fólie konkrétně, se využívá primárně na výrobu tištěných plošných spojů (PCB), při výrobě lithiových baterií, komunikačních kabelů a jejich armaturování.

Fólie je vyráběna v tloušťkách 6–100  $\mu\text{m}$ . Nejtenčí fólie (6–35  $\mu\text{m}$ ) jsou využívány v lithiových bateriích jako materiál pro proudový kolektor anody. Při výrobě PCB a armaturování kabelů jsou používány tloušťky 12–100  $\mu\text{m}$ . Tlustší fólie (50–100  $\mu\text{m}$ ) jsou využívány při výrobě chladičů motorů, boilerů a konektorů.

Měděná fólie se vyrábí elektrolyticky jako při procesu extrahování ryzí mědi z měděných rud. Rozdíl je v tom, že měď je ve formě síranu měďnatého rozpuštěna v elektrolytu. V tomto elektrolytu jsou ponořené po obou stranách nádrže anody. Katodu tvoří velmi rozměrný buben s titanovým povrchem umístěný mezi tyto anody. Při vzniku elektrického pole, průchodem elektriny elektrolytem, se měď akumuluje na povrchu bubnu. Buben se pomalu otáčí, což vytváří kontinuální tenkou vrstvu, která se v jeho horní části od bubnu odděluje (obrázek 14. [22]). Nežádoucí sloučeniny a prvky se zachycují na anodách. Takto vytvořená fólie musí projít řadou válcovacích cyklů a povrchových úprav, než dojde k finálnímu motání do svitků.

U těchto úprav je snaha o snížení profilu povrchu a vytváření tenkých dielektrických povlaků na něm. Fólie jsou tak odolnější vůči vysokým teplotám, a hlavně vůči oxidaci povrchu, která je v elektroprůmyslu naprosto nežádoucí. Fólie s nízkým povrchem profilu a povlakem, má vysoce lesklý povrch.

Tloušťka fólie v řádech mikrometrů není zaručena po celé délce fólie. Tolerance pro tloušťky 6–35  $\mu\text{m}$  je  $\pm 1,7 \mu\text{m}$ .



Obrázek 14. Výroba měděné fólie na titanovém bubnu [22]

## 5 TECHNOLOGIE LAMINOVÁNÍ

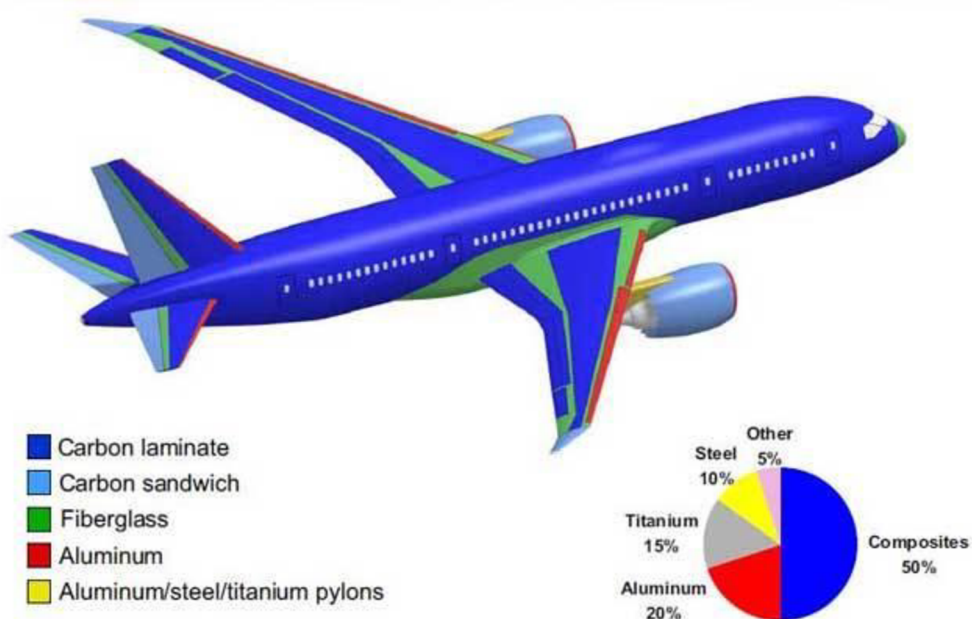
Laminování je proces, při kterém se lisováním, nejčastěji za vyšší teploty, spojuje více vrstev stejného, či různého materiálu. Výsledný výrobek je nazýván laminát a jde o druh kompozitního materiálu. Jednotlivé vrstvy jsou spojeny lepidly, pryskyřicemi, či jinými druhy pojiv.

Účelem této technologie vrstvení materiálu je zlepšovat jeho vlastnosti. Kombinováním různých materiálů lze dosáhnout kýžených vlastností, kterých homogenní struktura nikdy nedosáhne. Většinou se laminuje povrchová vrstva na základní materiál. Tato vrstva může mít funkci izolační, ochrannou, dekorativní a může také ovlivnit mechanické vlastnosti laminátu.

Například při laminování oceli se na jádro z běžné oceli kovají tenké vrstvy ušlechtilé oceli a vzniklé čepele řezných a sečných nástrojů jsou pevné a pružné, bez rizika křehkého porušení.

Dále se může laminát vstříkovat. Vstříkuje se teplá lisovací hmota, obsahující skleněná vlákna do forem. Také se může skládat z vrstev tkanin kevlarových nebo uhlíkových vláken, které se napouští a vytvrzují pryskyřicí.

Lamináty tedy dokáží být dobře tvarovatelné, lehké a zároveň odolné a pevné. Používají se při výrobě letadel (*obrázek 15. [18]*), vozidel, nábytku, plošných spojů, lodí, lyží, luků a jiného sportovního vybavení. [19]



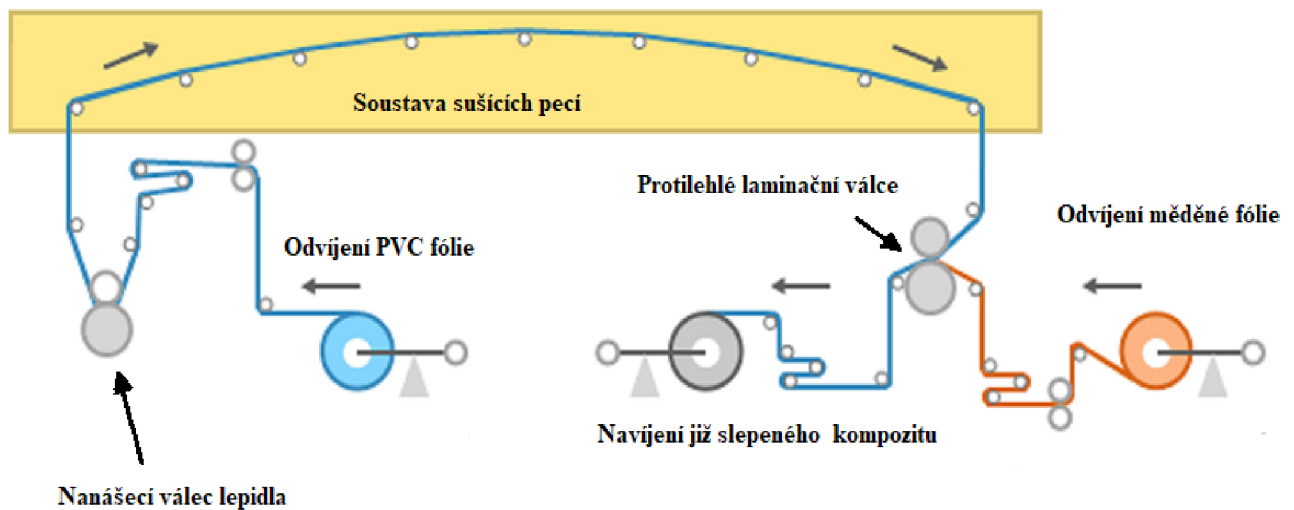
Obrázek 15. Boeing 787, 50 % povrchu letadla je z laminátu z uhlíkových vláken. [18]

Dále bude v této kapitole popsána samotná technologie výroby kompozitu s měděným povrchem a následné stručné popsání jednotlivých složek kompozitu.



## 5.1 PROCES VÝROBY KOMPOZITU - VÝROBA MĚDĚNÉHO LAMINÁTU

V prvním kroku výroby je prováděna výroba měděného laminátu. Ta se provádí laminací měkčené PVC fólie o síle 150  $\mu\text{m}$ , která má UV stabilizaci. Na tuto fólii se nejprve na nanášecí stolici nanese vrstva síťovatelného vodou rozpustného polyuretanového lepidla. Fólie s lepidlem dále putuje přes soustavu sušících pecí, kde se vysuší nežádoucí vlhkost z lepidla. Za sušícími pecemi se nachází samotná laminační jednotka, kde se přes soustavu dvou protilehlých válců laminuje PVC fólie s lepidlem na měděnou fólii o tloušťce 18  $\mu\text{m}$ . Polyuretanové lepidlo zajistí dokonalé, vodě a změnám teplot odolné spojení obou vrstev. Takto vyrobený laminát musí následně minimálně pět dnů ležet, aby proběhly všechny potřebné chemické síťovací procesy.



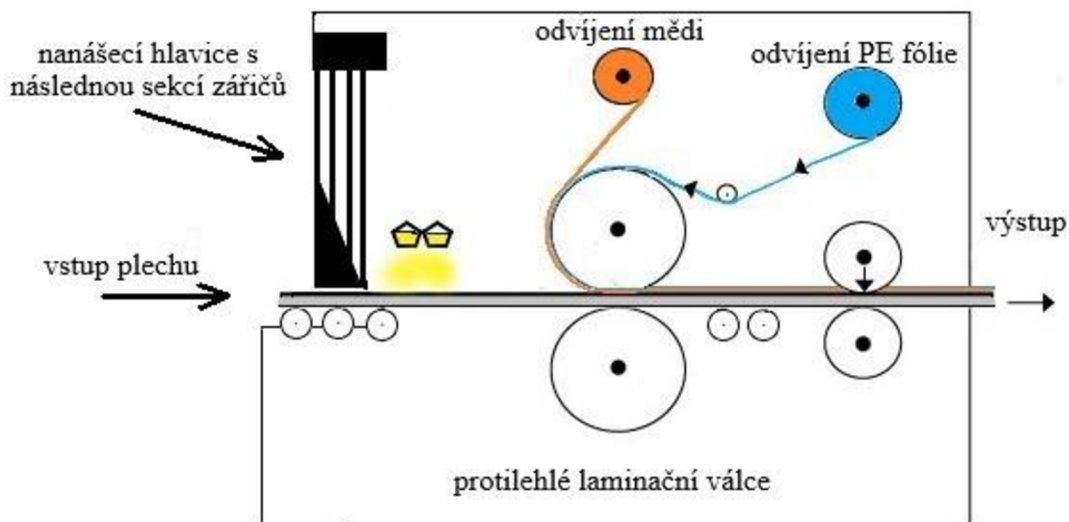
Obrázek 16. Schéma laminováni měděné fólie na PVC fólii. [24]

Stroj, který se používá k laminování kompozitu se obecně nazývá nanášecí linka. Laminační jednotka není vždy součástí těchto linek. Je to spíše rozšíření, které umožňuje rozšířit škálu výstupních produktů. Tyto nanášecí linky jsou určeny primárně pro výrobu lepidelných ochranných polyethylenových (PE) fólií a (BOPP) biaxiálně orientovaných polypropylenových fólií. Celá linka je poháněna soustavou elektrických motorů, které jsou rozmístěny tak, aby rovnoměrně udržovaly tah fólie. To, že se nebude fólie krčit a bude napnutá zajišťují brzdy zabudované v odvíjecích válcích a také soustava závaží před navijecím válcem. Soustava sušících pecí je vyhřívána cirkulací zahřátého oleje, a to až do 90  $^{\circ}\text{C}$ . Vrstva lepidla je nastavována tzv. Mayerovou tyčí umístěnou za nanášecím válcem. Na ochranné fólie se nanáší 1-18  $\text{g}/\text{m}^2$  lepidla v závislosti na povrchu chráněného výrobku. Rychlost výroby lepidelných ochranných fólií je zhruba 100 m/min. Při laminaci je rychlost snížena až na 15-20 m/min.

## 5.2 PROCES VÝROBY KOMPOZITU - LAMINOVÁNÍ VÝSLEDNÉHO KOMPOZITU

Jakmile je připraven laminát měděné fólie a pozinkovaný plech, může se přistoupit k laminování těchto dvou složek. Stroj, na kterém se tato finální operace provádí slouží pro aplikace dekorativních PVC fólií na plechy. Je důležité, aby byl povrch plechu čistý a odmaštěný.

Do stroje se vloží plech na pojízdný válečkový dopravník. Na vrchní stranu plechu, kde bude probíhat laminace, nejprve nanese nanášecí hlavice vrstvu síťovatelného polyuretanového hotmeltového lepidla. Následně plech projede kolem sekce tepelných zářičů, které zapříčiní rovnoměrné rozptřeni lepidla na plechu. Za zářiči je sekce fukarů, která ochladí lepidlo natolik, aby se již dále nerozlávalo. Předposlední operací je samotné laminování měděného kompozitu na plech. Nad odvíjející hřídelí s měděným laminátem je hřídel s ochranou lepivou PE fólií, která slouží k ochraně měděného povrchu před mechanickým poškozením. Spojení těchto tří složek zajišťují opět dva protilehlé přitlačné válce. Nakonec se plechy stříhají na požadovanou délku, pokud již nejsou nastříhané před vsunutím. Schéma laminování je znázorněno na *obrázku 18.*, *obrázek 20.* zachycuje nejdůležitější část skutečného laminačního stroje.

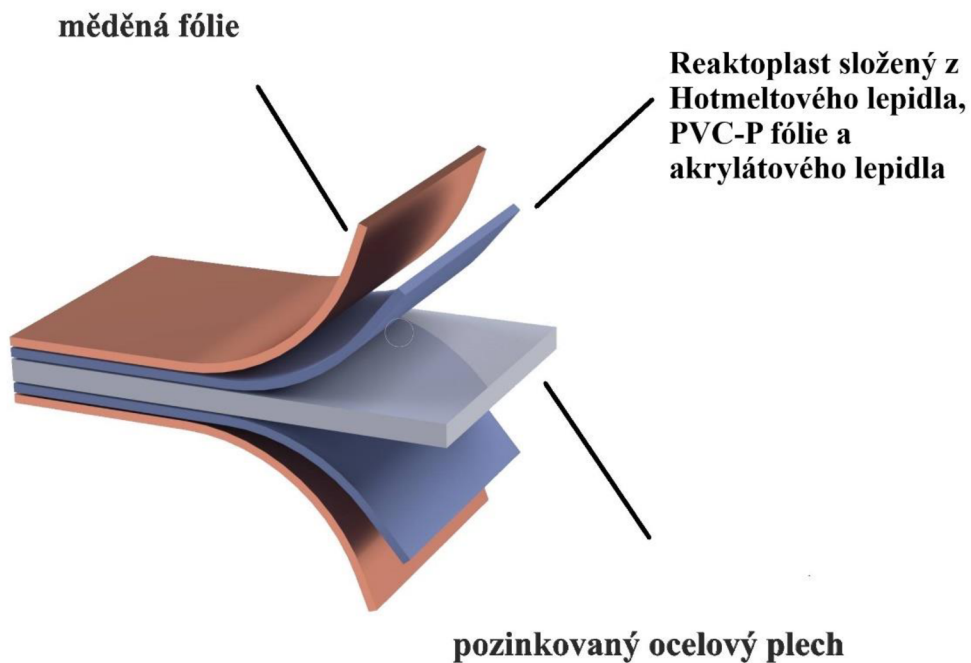


Obrázek 18. Schéma stroje na laminování měděného a plechového kompozitu.

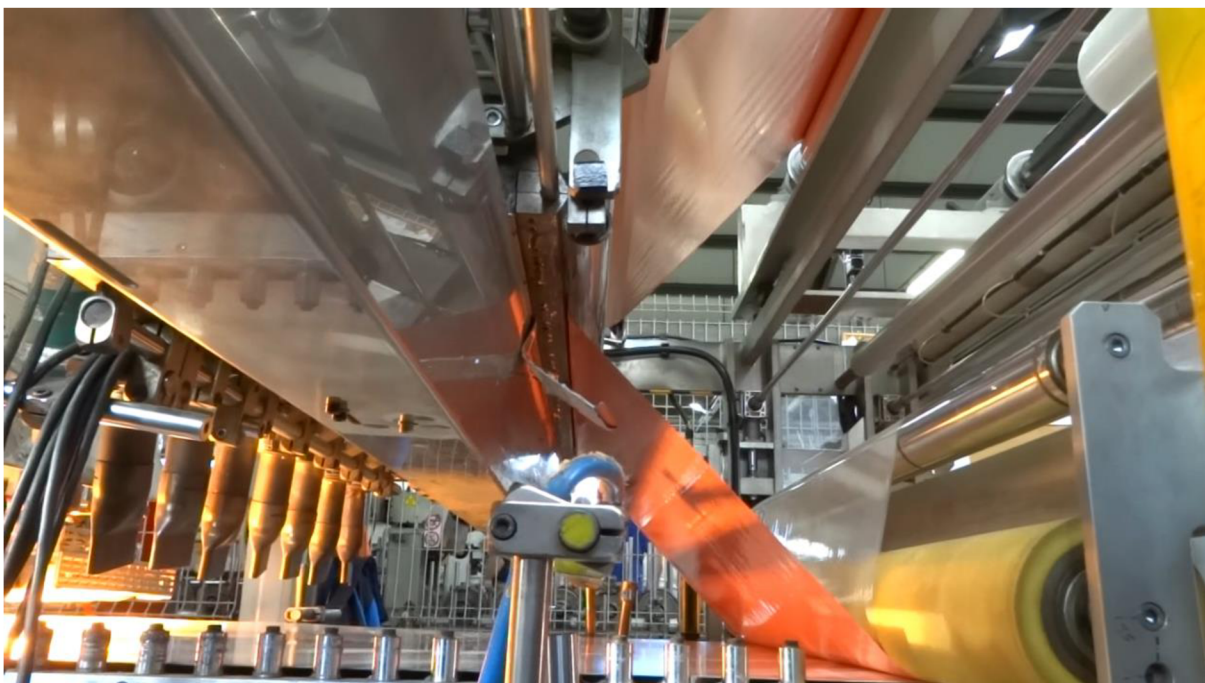
V případě tohoto konkrétní typu stroje je hotová pouze jedna strana. Proces je tak nutné opakovat i ze strany druhé. Existují i stroje s oboustrannou aplikací. Tento vyrobený kompozit je po dokončení rovněž nutno nechat odležet tak, aby hotmeltové lepidlo dokončilo své síťovací a vytvrzovací procesy. Doba odležení před dalším možným stříháním a tvarováním by měla být alespoň 48 hodin. Zkušební plechy o délce 2000 a šířce 1000 mm se laminovaly rychlostí 5 m/min.

PVC fólie plní funkci nosiče velmi tenké a křehké měděné fólie. Zároveň plní funkci izolantu mezi mědí a ocelovým plechem, čímž je zabráněno vzniku elektrického můstku jako zdroje koroze obou kovových materiálů.

Výsledný kompozit (*obrázek 19.*) je tedy složen z pozinkovaného plechu, vrstvy reaktoplastu složené z hotmeltového lepidla, nosné PVC fólie s akrylátovým lepidlem, a tenké měděné fólie s ochrannou PE na fólii jejím povrchu.



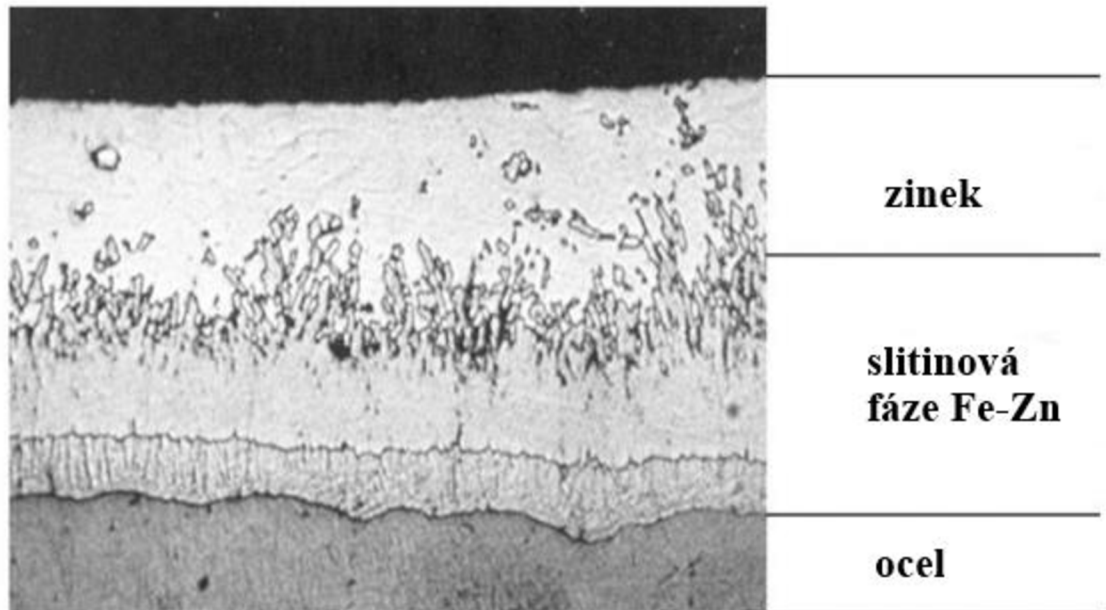
*Obrázek 19. Výsledné rozvrstvení kompozitu bez ochranné PE fólie*



*Obrázek 20. Laminační stroj, vlevo dole sekce zářičů a fukarů, pod nimi plech a na něm vrstva lepidla, vpravo dole vstup měděného kompozitu a ochranné PE fólie spolu s plechem mezi laminační přítlačné válce.*

### 5.3 MATERIÁLY KOMPOZITU

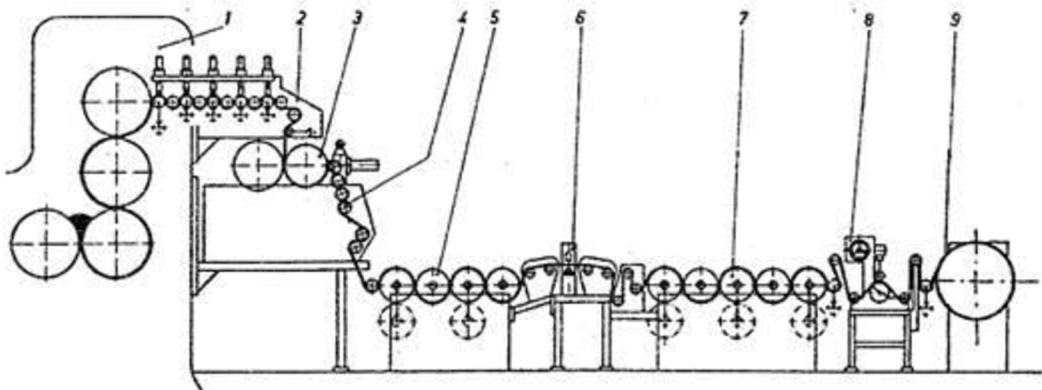
- **Pozinkovaný ocelový plech (značení DX53D+Z)** – uhlíková ocel bez povrchové úpravy velmi snadno podléhá korozi. Proto se ocelové plechy a pásy kontinuálně, žárovým ponorem, noří do zinkové lázně. Tento plech je používán pro výrobky utvářené hlubokým tažením. Technické podmínky a mechanické vlastnosti popisuje norma EN 10346. Tloušťka plechu pro vzorky je 1 mm. Na *obrázku 21*. [20] je povrchový řez pozinkovanou neuklidněnou ocelí, kde lze pozorovat difuzi zinku povrchem oceli.



Obrázek 21. Pohled povrchovým řezem pozinkované tzv. neuklidněné oceli [20]

- **Hotmeltové polyuretanové lepidlo** - je adhezivní termoplastické lepidlo, které se působením zvýšené teploty taví a aplikuje mezi spojovaný materiál. Za normální teploty (20 °C) je tedy pevné a rozpouští se už při 50-70 °C. Lepidlo se po zchladnutí zatvrdí a vytvoří stabilní a teplotně neměnnou strukturu a to od -30 °C do +150 °C. Používá se v knihařském, automobilovém a leteckém průmyslu.
- **Polyvinylchloridová měkčená fólie (PVC-P)** – polyvinylchlorid je syntetický plastový polymer, který vzniká polymerizací monomeru vinyl chloridu. Jde o světově třetí nejpoužívanější syntetický polymer, hned po polyethylen (PE) a polypropylenu (PP). Do tohoto plastického materiálu se přidávají aditiva, které mají za úkol měnit jeho vlastnosti. V tomto konkrétní případě jde o změkčovadlo (přípona „-P“), které zapříčiní velmi nízkou pevnost v tahu a středně vysokou tažnost vzhledem k jiným termoplastům, mezi které patří. Fólie se vyrábí válcováním nataveného PVC granulátu ve směsi se zmiňovanými změkčovadly a stabilizátory (*obrázek 22*. [21]). Používá se v automobilovém průmyslu, ve zdravotnictví, pro vakuové balení, při výrobě stanů a kancelářských potřeb.

- **Akrylátové vodouředitelné polyuretanové lepidlo** – jedná se o polymerní disperzi na vodní bázi, která neobsahuje změkčovadla a je vyrobena z monomerů vinylacetátu a ethylenu. Tyto lepidla se používají pro lepení papírových obalů, a hlavně se využívají jako fóliová laminovací lepidla. Mají dobrou přilnavost k různým plastovým povrchům, lepicí spoje jsou trvale pružné a mají dobrou soudržnost (kohezi). Před aplikací lepidla je potřeba jej vysušit a zbavit přebytečné vlhkosti.
- **Tenká měděná fólie** – popsána v kapitole 4.3.
- **Poethylenová (PE) lepicí fólie** – PE fólie s nanesenou vrstvou akrylátového, již zmíněného lepidla se využívá k ochraně povrchů vůči mechanickému poškození. Tyto fólie se nejčastěji využívají ve stavebním průmyslu, kde se lepí na hotové výrobky, které jsou určeny k instalaci a montáži do staveb. Jedná se konkrétně o dveře, okna, parapety, lišty, panely, dekorativní plechy a jiné kovové součásti. Fólie se strhne, pokud možno až po dokončení montáže a zachová povrch čistý a nepoškozený.



Obrázek 22. Linka pro válcování z měkčeného PVC, 1- čtyřválnový kalandr (spodní dva válce mají mezi sebou roztavený PVC granulát), 2- válečkový odtah, 3- desénovací válce, 4- odtah, 5- temperace, 6- měření tloušťky, 7- chlazení, 8- ořezávání okrajů, 9- navíjení [21]

## 6 VÝROBA A TESTOVÁNÍ VZORKŮ, ŘEŠENÍ VZNIKLÝCH PROBLÉMŮ

První zkušební vzorky této technologie vznikly v roce 2015. Laminování kompozitu bylo provedeno na již zmíněném laminačním stroji, který slouží k laminování dekorativních PVC fólií na plech.

### 6.1 VÝROBA VZORKŮ LAMINÁTU

Technolog Ing. Jiří Vyoral, který stojí za vznikem této technologie uvedl, že po dlouholetých zkušenostech laminování různých materiálů, ať už plastových fólií, tkanin, papírových materiálů, či kovových fólií, je zřídka kdy první zkouška laminování úspěšná. Je třeba zvolit správné složení a tloušťku vrstvy lepidla tak, aby adheze materiálů byla perfektní a materiály od sebe nešly lehce odlepit (pokud to není kýžená vlastnost). Lepidlo se také může spojit jen s jedním ze spojovaných materiálů a na druhý materiál vůbec nepřilnout. Dále se musí seřídít laminační stroj, správná rychlost laminování, síla napínání fólií a teplota. Fólie musí být před vstupem mezi laminační válce co nejdokonalěji napnutá a nesmí se krčit. I přes zvládnutí všech těchto požadavků není úspěch vždy zaručen. V případě technologie laminování mědi navíc hrozila vysoká finanční náročnost dlouhodobých zkoušek výroby laminátu. Jak již bylo zmíněno, laminační stroj pracuje rychlostí 5m/min, z toho každý metr kompozitu vyjde na 270 Kč.

Navzdory těmto nástrahám se podařilo stroj vhodně seřídít, lamináty vypadaly dobře, povrch byl dokonale hladký a mezi plechem a mědí nebyly téměř žádné bubliny. Měď se nekrčila a pevně držela i na hranách plechů (*Obrázek 23.*)



*Obrázek 23. První zkušební jednostranně laminované plechy (1000x 2000 mm).*

Po prvotním úspěchu započalo první testování vzorků. Vzorky byly již dostatečně odleženy, všechny síťovací a vytvrzovací procesy lepidel dokončeny. Adheze kompozitu byla stále nad očekávání dobrá. Měď se nekrčila ani nevlnila, povrch se poškodil pouze ostrými předměty při použití hrubé síly.

## 6.2 TESTOVÁNÍ VZORKŮ

První zkouška spočívala ve sledování adhezního chování kompozitu při cyklickém zahřívání a ochlazování vzorku. Měď má větší koeficient lineární roztažnosti než ocel (měď 17  $\mu\text{m/mK}$ , ocel 13  $\mu\text{m/mK}$ ), proto bylo třeba zjistit, zda se měď nebude vrásnit, praskat či vytvářet vzduchové bubliny a jiné deformace při nízkých a vysokých teplotách.

Zkouška byla provedena v Uherskobrodských mrazárnách. Jejich chladicí zařízení jsou schopna mrazit až na  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ten den bylo jasné, slunečné počasí s teplotou na slunci přes  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Toho bylo využito a vzorky se střídavě po 2 hodinách dávaly do mrazících zařízení a ven na sluneční svit. Cyklus byl 6krát zopakován. Žádné vizuální změny adhezního chování nebyly patrné. Výsledky této zkoušky nejsou příliš směrodatné, ale spíše informativní. Proto proběhnou již zmíněné zkoušky v QUV testeru, které zkoušení značně zefektivní.

Dalším krokem bylo tvarování a stříhání kompozitních plechů do různých podob potenciálních klempířských výrobků. Byly vytvořeny vzorky již zmiňovaného odtokového žlabu a svodového potrubí okapového systému. Tyto výrobky byly před 30 měsíci, ihned po jejich dokončení, podrobeny vlivu klimatických změn. Bohužel neexistuje fotodokumentace výrobků před zahájením zkoušky pro porovnání.



Obrázek 24. Odtokový žlab, vystaven 30 měsíců povětrnostním vlivům.

V místech nejmenšího poloměru ohybu měděná fólie praskala, a to už při tváření. Praskliny však byly situované spíše na místech blízkých hranám plechu. Větší poloměry měděná fólie zvládla bez viditelného poškození či deformace, což lze pozorovat na *obrázku 24*.

V místech vzniklých prasklin a některých hran se měděná fólie již odlepuje. Na dně žlabu, kde stéká nejvíce vody, se navíc objevilo několik vzduchových bublin. Tyto nežádoucí projevy je třeba řešit změnami v technologii, a to hlavně použitím jiných materiálů a úprav jejich vlastností.

### 6.3 ZMĚNY V TECHNOLOGII

- **Změna spojovací nosné fólie** - vzorky z roku 2015 neobsahují PVC-P fólii, která je v popisu technologie uvedena, ale polyethylentereftalátovou (PET) fólii. PET fólie se díky trhání spolu s mědí při ohýbání prokázala jako nevhodná. PVC-P, by měla být daleko více soudržnější a schopna vydržet tažné síly na povrchu, i při malém poloměru ohybu.
- **Tloušťka měděné fólie** - dalším krokem změny je zvětšit tloušťku aplikované měděné fólie. Její tloušťka na vzorcích je 12  $\mu\text{m}$ . Cílem změny je zvětšit tloušťku na 18-20  $\mu\text{m}$ . Tlustší fólie bude mít větší pevnost v tahu a ta může zabránit trhání.
- **Stárnutí měděné fólie** - při pohledu na *obrázek 24*. si lze všimnout zajímavé skutečnosti, která vedla k další změně v technologii. Jde o oxidování mědi. Stav oxidace, ve kterém se povrch měděné vrstvy na obrázku nachází, by se dal přirovnat k několikadennímu vystavení vlivu povětrnostních podmínek. Povrch mědi by měl být pokryt filmem oxidu tmavě hnědé barvy. Tento jev je důsledkem povrchových úprav měděných fólií a jejich vysoké odolnosti vůči korozi. Oxidace se v důsledku těchto úprav až stonásobně zpomalí, navíc probíhá nerovnoměrně a povrch je proto nevzhledně skvrnitý.

S dodavatelem měděné fólie byl proto vyjednáán zkušební vzorek měděné, vyválcované fólie bez povrchových úprav, který se bude také testovat. Bez povrchových úprav fólie je očekáváno zhoršení mechanických vlastností, což by se mělo kompenzovat zvětšením tloušťky fólie. Při konzultaci s klempířskými firmami bylo zjištěno, že takto zpomalený proces stárnutí mědi je nevyhovující.

- **Změna tloušťky plechu** - zkušební vzorky byly vyrobeny z plechu tloušťky 1 mm. I když se jedná o plech pro hluboké tažení, je tato tloušťka zbytečně velká. Při výrobě svodových a okapových systémů se používají ocelové plechy tloušťky 0,5-0,6 mm. Pro budoucí vzorky, které budou tvarovány s malým poloměrem ohybu se tedy budou využívat plechy s tloušťkou 0,5 mm.

Na základě těchto materiálových změn bude v létě tohoto roku uskutečněna nová zkouška výroby laminátu. Pokud výsledek zkoušky laminování bude úspěšný jako v roce 2015, budou plechy tvářeny do podoby vzorků klempířských výrobků a ty následně testovány co nejvíce zkouškami, které jsou zmíněny v 3. kapitole.



## 6.4 ŘEŠENÍ HRAN KOMPOZITU

Při stříhání, či jiné formě dělení kompozitu vzniká nechráněná boční část plechu. Povrch této části plechu tvoří pouze ocelový pozinkovaný plech. Zinek však při žárových nořeních difunduje jen do určité hloubky. Zbytek materiálu plechu tvoří klasická ocel, která se při stříhu plechu odkryje. V těchto místech hrozí nebezpečí vzniku koroze na zmíněné ocelové části. Na zkušebních vzorcích zatím žádné projevy koroze nebyly pozorovány.

Nejvhodnější a technologicky nejjednodušší forma ochrany hran by mohla být aplikace ochranných nátěrů. V současné době existuje mnoho druhů syntetických nátěrů pro průmyslové použití ve venkovním prostředí a s vhodností aplikace na kovy. Patří mezi ně nátěry polyuretanové (PU), epoxidové, zinkové a polyvinylidendifluoridové (PVDF). PU a epoxidové nátěry se vyznačují dobrou přilnavostí, odolností vůči kyselým a slaným prostředím a několikaletou garancí ochrany kovu. PVDF nátěry, které se již desetiletí používají na střešní a fasádní panely, PU a epoxidy odolností však vysoce převyšují. Nevýhodou PVDF je však aplikace nátěru. Zatímco PU a epoxidy schnou při normální teplotě 20 °C, PVDF je třeba tzv. vypalovat při 300 °C.

Novinkou na trhu ochranných nátěrů jsou tzv. fluoropolymery (FEVE). Je nutno zmínit, že PVDF je druh fluoropolymeru, stejně jako třeba velmi známý teflon (PTFE). Fluoropolymerové nátěry patří mezi naprostou špičku, co se týče odolnosti vůči vlivům venkovního prostředí. Díky tomu, že jsou na trhu teprve několik let, není zcela možné určit možnou trvanlivost ochrany, ale podle prováděných zátěžových testů půjde až o desítky let. FEVE nátěry usychají za normálních teplot a jsou dostupné jako pevné pryskyřice, roztoky, vodní emulze a disperze. Nevýhodou FEVE je několikanásobně větší cena než u PU a epoxidových nátěrů.

Ochranné nátěry na hranách by se měly aplikovat až na hotové výrobky z kompozitu, po veškerých procesech stříhání. Otázka je, jestli by nátěry na hranách nepoškodilo sundávání ochranné (PE) fólie před instalací výrobku. (PE) fólie je jako ochrana povrchu nutná a nelze ji z technologie laminování odebrat.

Diskuze nad touto problematikou však zatím není aktuální. Nejdříve bude nutno provést zkoušky zrychleného stárnutí na nových vzorcích, které chování hran kompozitu nejlépe odhalí.

Dalo by se říci, že hrany výrobků nebudou ohroženy, pokud se docílí očekávaných adhezivních vlastností materiálu při tváření a stárnutí. Pokud však bude koroze na hranách vznikat a adhezi kompozitu svými projevy narušovat, bude aplikace ochranných nátěrů nutná.

### 7 ZÁVĚR

V létě tohoto roku proběhne výroba nových vzorků. Na vzorcích budou aplikovány změny v materiálech a jejich vlastnostech. Změny jsou následovné:

- PET fólie bude nahrazena PVC-P fólií.
- Měděná fólie bude mít větší tloušťku (18  $\mu\text{m}$ ).
- Měděná fólie bude bez povrchových antioxidačních úprav.
- Pro vzorky tvářené malými poloměry ohybu budou použity tenčí plechy (0,5 mm).

Jakmile budou hotovy nové vzorky, budou se testovat v QUV testeru, urychlovači stárnutí materiálu. Také bude zkoumáno chování měděné vrstvy při tváření. Při zkouškách bude pozorováno chování materiálu na hranách kompozitu a v případě nutnosti budou aplikovány ochranné nátěry a proběhne jejich testování.

I když se vývoj technologie laminování měděné fólie na plech zdá být teprve na začátku své cesty, je třeba říci, že má za sebou řadu úspěchů. Byl vzbuzen zájem klempířských firem o technologii a ty dokonce pomáhají s její realizací. Podařila se prokázat mezera na trhu a finanční výhodnost technologie. Bylo vymyšleno několik alternativ materiálů použitých při laminování a hlavně byly úspěšně vyrobeny první vzorky kompozitů.

Pokud změny v technologii povedou k tomu, že bude připravena na použití v praxi, skrze klempířské firmy, které pomáhají s její realizací, bude technologie zviditelněna a nabídnuta na trh stavebního klempířského průmyslu. Nadále budou vyhledávány nové alternativy využití technologie a budou testovány nové kombinace laminovaných materiálů.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PINTEREST.com[online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.pinterest.com>
- [2] Zařízení pro zkoušky zrychleného stárnutí materiálu – QUV Tester – Centrum polymerních systémů UTB Zlín. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://cps.utb.cz/cs/veda-a-vyzkum/pristrojove-vybaveni/starnuti-materialu/182-zarizeni-pro-zkousky-zrychleneho-starnuti-materialu-quv-tester>
- [3] EUROPA.eu [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: [https://europa.eu/european-union/topics/research-innovation\\_cs](https://europa.eu/european-union/topics/research-innovation_cs)
- [4] KRYTINY-STRECHY.cz [online]. [cit. 2018-024-03]. Dostupné z: <https://www.krytiny-strechy.cz/katalog-pomocny-material/okapove-systemy/>
- [5] STAVEBNINY-LEVNE.CZ [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <https://stavebniny-levne.cz/medeny-zlab-pulkruhovy-330-mm-4-m.html>
- [6] LINDAB.com. [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: [http://www.lindab.com/cz/pro/products/Pages/Rainline\\_top.aspx](http://www.lindab.com/cz/pro/products/Pages/Rainline_top.aspx)
- [7] Hildesheim Cathedral - Wikipedia. [online]. [cit. 2018-2-05]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hildesheim\\_Cathedral](https://en.wikipedia.org/wiki/Hildesheim_Cathedral)
- [8] en.wikipedia.org. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_copper\\_ores#/](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_copper_ores#/)
- [9] copperalliance.eu [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://copperalliance.eu/cz/o-m%C4%9Bdi/zpracov%C3%A1n%C3%AD>
- [10] SPMCHEMISTRY.ONLINETUTION.com [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://spmchemistry.onlinetuition.com.my/2013/10/industrial-applications-of-electrolysis\\_15.html](http://spmchemistry.onlinetuition.com.my/2013/10/industrial-applications-of-electrolysis_15.html)
- [11] Hungarian copper promotion centre, COPPERCONCPT.org [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://copperconcept.org/cs/file/13552/download?token=6As49-62>
- [12] Měděné rozvody. *Měď, profesionál na rozvody* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://medenerozvody.cz/sites/default/files/content\\_attachments/cu-dhp\\_cze.pdf](https://medenerozvody.cz/sites/default/files/content_attachments/cu-dhp_cze.pdf)
- [13] CRSCENTCITYCOPPER.com [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.crescentcitycopper.com/why-does-copper-turn-green.htm>
- [14] AURUBI-STOLBERG.com [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.aurubis-stolberg.com/wdb/band/eng/Copper/Cu-DHP-PNA%20219\\_EN.pdf](http://www.aurubis-stolberg.com/wdb/band/eng/Copper/Cu-DHP-PNA%20219_EN.pdf)
- [15] COPPER.org [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.copper.org/publications/pub\\_list/pdf/a1081.pdf](https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/a1081.pdf)
- [16] WILLKERDOS.com [online]. [cit. 2018-05-20] Dostupné z: <https://wilkerdos.com/2016/05/how-to-patina-copper/#prettyPhoto/0/>

- [17] TOYOKOHAN.co.jp [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.toyokohan.co.jp/en/products/hi\\_pet/index.html](http://www.toyokohan.co.jp/en/products/hi_pet/index.html)
- [18] VIBRATIONDATA.WORDPRESS.com [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://vibrationdata.wordpress.com/2017/07/01/compression-after-impact-testing-of-composite-laminates-specimens>
- [19] cs.wikipedia.org [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lamin%C3%A1t>
- [20] STRZYŽ, Petr. Konstrukce. Křemík v oceli – důležitý prvek při žárovém zinkování [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/acsz-kremik-v-oceli-dulezity-prvek-pri-zarovemzinkovani/>
- [21] KSP.TUL.cz [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/10.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/10.htm)
- [22] ROGERSCORP.com [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.rogerscorp.com/documents/749/acs/Copper-Foils-for-High-Frequency-Circuit-Materials.pdf>
- [23] UVTESTING.com.au [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.uvtesting.com.au/>
- [24] SDK-PACK.co.jp [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://sdk-pack.co.jp/en/technology/laminate.html>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
UV	[-]	ultra fialové záření
QUV	[-]	zařízení pracující s UV zářením
PCB	[-]	tištěné plošné spoje
Hotmelt	[-]	tavné lepidlo
PVC-P	[-]	měkčený polyvinylchlorid
PE	[-]	polyetylen
PP	[-]	polypropylen
BOPP	[-]	biaxiálně orientovaný polypropylen
PU	[-]	polyuretan
PVDF	[-]	polyvinylidendifluorid
PTFE	[-]	teflon
FEVE	[-]	fluoropolymer
Cu <sub>2</sub> S	[-]	sulfid měďný
Cu <sub>2</sub> O	[-]	oxid měďný
CuSO <sub>4</sub>	[-]	síran měďnatý
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[-]	kyselina sírová
HNO <sub>3</sub>	[-]	kyselina dusičná
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[-]	síran amonný