



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

**Návrh podsvícení universálního podvozku  
lékařského zařízení**

**Design of Underlightening of Universal  
Chassis of Medical Device**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2017**

**Petr TEPLÝ**

**Studijní program:** B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

**Studijní obor:** 2301R000 Studijní program je bezoborový

**Vedoucí práce:** Ing. Karel Petr Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Teplý** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **422010**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh podsvícení universálního podvozku lékařského zařízení**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of Underlightening of Universal Chassis of Medical Device**

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh podsvícení universálního podvozku lékařského zařízení. Student vypracuje rešerši norem s pohledu bezpečnosti. Dále student provede návrh několika variant podsvícení universálního podvozku. V práci bude popsán způsob návrhu šroubových spojů. Práce byla zadána firmou Medical Technologies - BTL.  
Rozsah grafické části: 3D model, Kompletní výkresová dokumentace

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Joseph E. Shigley. Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. Pearson New International Edition. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Katalogy výrobců

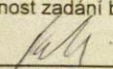
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

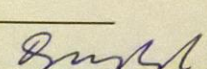
**Ing. Karel Petr Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS**

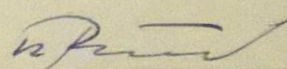
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.03.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **09.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Podpis vedoucí(ho) práce

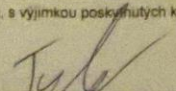
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

26.4.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

Poděkování:

Chtěl bych touto cestou poděkovat panu Ing. Karlu Petrovi Ph.D, vedoucímu mojí bakalářské práce, za konzultace a odbornou pomoc při zpracování této práce, dále pak panu Ing. Petru Pospíchalovi za pomoc s konstrukční částí mé práce, Ing. Marku Procházkovi za asistenci s elektrickou částí mé práce a nakonec mojí rodině za neutuchající všeobecnou podporu.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh podsvícení universálního podvozku lékařského zařízení“ vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Karla Petra Ph.D, s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 9. 6. 2017  
Petr Teplý

.....

Anotační list

Jméno autora: Petr TEPLÝ

Název BP: Návrh podsvícení universálního podvozku lékařského zařízení

Anglický název: Design of Underlightening of Universal Chassis of Medical Device

Rok: 2017

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav: Ústav konstruování a částí strojů

Vedoucí BP: Ing. Karel Petr Ph.D.

Konzultant: Ing. Petr Pospíchal

Bibliografické údaje:

počet stran 39

počet obrázků 15

počet tabulek 1

počet příloh 18

Klíčová slova: BTL Medical Technologies, Podsvícení, Design, LED, Zdravotní bezpečnostní normy

Keywords: BTL Medical Technologies, Underlightening, Design, LED, Medical Safety Standards

Anotace: Práce se zabývá vývojem designového prvku podsvícení na podvozky přístrojů firmy BTL Medical Technologies a bezpečnostních norem, které musí zařízení splňovat, aby se mohlo uvést na trh.

Abstract: This Bachelor thesis describes development of design element attachable to universal chassis of medical machines made by BTL Medical Technologies company and safety standards, that must be met so the device can be introduced onto the market

## Obsah

1 Úvod.....	3
2 Rešerše bezpečnostních norem medicínských přístrojů .....	4
2.1 Konstrukční požadavky .....	5
2.1.1 Použité materiály.....	5
2.1.2 Třída ochrany proti elektrickému proudu.....	5
2.1.3 Ochrana proti náhodnému kontaktu s živými částmi přístroje.....	5
2.1.4 Podmínky přetížení .....	6
2.1.5 Dielektrická pevnost.....	6
2.1.6 Odolnost proti korozi.....	6
2.2 Označení přístroje .....	6
2.2.1 Váha sestavy .....	6
2.2.2 Ovládací prvky .....	7
2.2.3 Servis .....	7
2.2.4 Údržba .....	8
2.2.5 Životnost přístroje.....	8
3 Návrh podsvícení na výstavy a kongresy.....	9
3.1 Zástavba podvozku .....	9
3.2 Komponenty.....	10
3.2.1 Zdroj světla .....	11
3.2.2 Zdroj elektrické energie.....	12
3.2.3 Kryt / optický difuzor .....	12
3.3 Finalizace návrhu .....	13
3.4 Následné úpravy .....	13
3.5 Výsledek.....	15
4 Návrh podsvícení prodatelného zákazníkům .....	16
4.1 Soupis požadavků .....	17
4.2 Principiální změny v sestavě.....	17
4.3 Úprava dílů podle nových kritérií dílů a návrh alternativ .....	17
4.3.1 Zdroj světla .....	17
4.3.2 Zdroj elektrické energie.....	19
4.3.3 Kryt / Optický difuzor .....	21
4.4 Výsledek.....	22
5 Návrh šroubového spoje .....	23
5.1 Vyhodnocení experimentu.....	24
6 Závěr.....	25
7 Použitá literatura.....	26
8 Seznam obrázků.....	27
9 Seznam tabulek.....	27
10 Seznam příloh .....	28
Příloha 1 .....	29
Příloha 2 .....	30
Příloha 3 .....	31
Příloha 4 .....	32



---

Příloha 5 .....	33
Příloha 6 .....	34
Příloha 7 .....	35

## 1 Úvod

Veškerý technologický vývoj se za posledních několik desetiletí nejen rapidně zrychlil, ale i do značné části se změnil. Dávno jsou pryč doby, kdy pro konstruktéry byly hlavními (a téměř jedinými) faktory, které museli brát na vědomí při návrhu svých zařízení, cena, funkčnost, životnost. V dnešní době na globálním trhu cena samozřejmě stále zůstává asi nejdůležitějším faktorem, konstruktéři a návrháři nových přístrojů musí stále více myslet na pohledovou část zařízení, poněvadž prodávat na dnešním technologiemi přesyceném trhu se dají pouze vzhledově atraktivní stroje. Dalším relativně novým faktorem je nutnost splňovat bezpečnostní normy, které se permanentně zpřísnují. Tento trend je například velice dobře vidět na trhu s automobily – dnešní automobilky šetří každý gram na konstrukci, aby splňovaly emisní požadavky. V interiéru používají sice méně na dotek příjemné, ale nehořlavé materiály. Podobných příkladů by se dalo najít více. Tyto legislativní prostředky pak v podstatě způsobují, že auta různých výrobců v dané cenové kategorii jsou z technického pohledu velice podobná. Snaží se tedy přilákat zákazníka na stále agresivnější, futurističtější a „svítivější“ design svých produktů.

Obdobná situace je také na trhu medicínských přístrojů, na kterém soutěží přístroje firmy BTL Medical Technologies, a pro kterou je tato bakalářská práce zpracovaná. Tato firma vyvíjí, vyrábí i distribuuje medicínské přístroje v oblasti fyzioterapie, kardiologie a estetické medicíny. Konkurence je v tomto oboru silná a proto je důležité přicházet s novými technologiemi i designovými prvky. Jedním z těchto prvků je podsvícení přístrojů, které bylo původně zamýšlené pouze na výstavy a veletrhy, aby se přístroje zvýraznily. Marketingové oddělení později projevilo zájem, aby se připravila varianta podsvícení, která by se standardně mohla prodat zákazníkům.

Tento projekt jsem už od začátku dostal na starost a v rámci této písemné práce chci popsat jak vývoj původní „kongresové“ varianty (třetí kapitola), tak následující, zákazníkům prodatelnou soupravu (čtvrtá kapitola). Pokud se ale něco má prodávat zákazníkům, musí to splňovat bezpečnostní normy, jejichž rešerše je v druhé kapitole této práce a která je úzce spjata s návrhem popisovaném v kapitole věnované zákaznickému zařízení.

## 2 Rešerše bezpečnostních norem medicínských přístrojů

V rámci návrhu podsvícení přístroje je nutné brát na vědomí několik bezpečnostních norem, které je nutno dodržet, aby se dal produkt volně prodávat na trhu. Jedná se o normy:

- Ovládací zařízení pro světelné zdroje – část 1: Všeobecné a bezpečnostní požadavky ČSN EN 61347-1 [1]
- Ovládací zařízení pro světelné zdroje – Zvláštní požadavky pro elektronická ovládací zařízení modulů LED napájená střídavým nebo stejnosměrným proudem ČSN EN 61347-2-13 [2]
- Moduly LED pro všeobecné osvětlování – Požadavky na bezpečnost ČSN EN 62031 [3]
- IEC 60601-1:2012 Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance (Zdravotnické elektrické přístroje – Část 1: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost) [4]

V rámci této rešerše popíši především konstrukční a mému zadání relevantní požadavky těchto norem a budu se případně odkazovat na konkrétní řešení daných požadavků na moji konstrukci, kterou plně popisují ve čtvrté kapitole.

Zprv je nutné definovat, o jaký druh zařízení se jedná. Všeobecně se toto zařízení označuje jakožto modul LED, avšak rozděluje se dále podle způsobu konstrukce a použití. Možnosti jsou:

- integrovaný LED modul, což znamená že je zařízení neoddělitelná část vyššího celku (v případě mé úlohy přístroje)
- integrovaný LED modul s vlastním ovládacím zařízením, tedy stejná definice jako předchozí termín s přidaným samostatným ovládacím prvkem
- vestavný modul LED, který definován jakožto vyměnitelná část většího celku, v tomto případě přístroje
- vestavný modul LED s vlastním ovládacím zařízením – stejná definice jakožto předchozí typ ale se samostatným ovládacím prvkem
- samostatný modul LED, který je konstruován tak, aby byl existoval jakožto samostatný celek a splňoval tedy bezpečnostní požadavky bez případné instalace do krytu či zamýšleného prostoru
- samostatný modul LED s vlastním ovládacím zařízením, který je opět se stejnou definicí ale s vlastním ovládacím prvkem

Z těchto definicí vyplývá, že moje zadání podsvícení přístrojů, které řeším v této práci, se klasifikuje jakožto vestavný modul LED s vlastním ovládacím zařízením.



## 2.1 Konstrukční požadavky

### 2.1.1 Použité materiály

Normy uvádějí následující požadavky: „Na izolaci nesmí být použity dřevo, bavlna, hedvábí, papír a obdobné vláknité materiály.“ Dle ČSN 62031 [3 str. 9]

V rámci méj konstrukce se nachází hliníkový plech EN AW 5754 – H22 (nosiče LED pásek), polykarbonát (kryt), nylon (distanční sloupky) a zinek (pozinkované šrouby), čímž jsem požadavky normy dodržel.

### 2.1.2 Třída ochrany proti elektrickému proudu

Zařízení deklaruji jako třída II ochrany proti elektrickému proudu, což znamená, že jeho bezpečnost nevyžaduje žádné ochranné prostředky konstrukce, tedy že nepotřebuje přístup na PE ochranný zemnicí vodič. Je to odůvodněné tím, že není přístupná žádná elektricky vodivá část, která by se nesprávným zacházením stala částí živou. Zde bych dodal, že všeobecný trend na trhu s elektronikou je co nejvíce přístrojů klasifikovat tímto způsobem, dokonce už i některé notebooky se takto deklarují.

### 2.1.3 Ochrana proti náhodnému kontaktu s živými částmi přístroje

V rámci konstrukce je nutné zabránit náhodnému kontaktu uživatele s živými částmi přístroje, tedy komponentami, kterými protéká nebo by mohl téci elektrický proud.

Zde je nutné definovat, jakou ochranou třídou IPXY chceme toto zařízení definovat. Třída krytí IPXY, jak ji definuje norma ČSN EN 60529 [5], určuje odolnost elektrických zařízení proti vnějším vlivům, konkrétně písmeno X určuje ochranu proti dotyku a vniknutí cizích předmětů a těles a písmeno Y ochranu proti vniknutí vody.

V rámci naší firmy běžně klasifikujeme přístroje na stupeň krytí IP20, tedy ochranu proti dotyku prstem a jiným předmětům o velikosti větší než 12,5 mm. Pro Vaši zajímavost jsem našel a přidal do přílohy přehlednou tabulku, která dobře ilustruje jednotlivé třídy ochrany. (Příloha 1)

Testování této odolnosti se provádí pomocí zkušebního prstu a také pomocí zkušebního háčku, kterým se tahá za mezery a zkouší se, zdali se tímto způsobem nezpřístupní další část přístroje. Velikosti a tvar těchto nástrojů určuje norma ČSN EN 60601-1 [4]

V rámci méj konstrukce, jak je popisována v návrhu zařízení prodatelného zákazníkům samostatně kapitole níže, se za živé části dají označit plechy, na kterých jsou přilepené LED pásky, jakékoliv kovové součásti s těmito plechy spojené, neizolované kabely (například v místech připojení na tištěný spoj), potenciometr a pochopitelně samotný tištěný spoj. Poměrně velká plocha krytu / optického difuzoru spolehlivě zakrývá a tedy znepřístupňuje všechny tyto prvky až na potenciometr, který je krytý plastovým točítkem.

### **2.1.4 Podmínky přetížení**

Osvětlovací modul je nutno vystavit zkoušce přetížení, v rámci které je monitorovaný příkon zvýšen na 150% jmenovitého napětí. V tomto přetíženém stavu musí setrvávat do tepelné stabilizace, tedy pokud se teplota nezmění o více jak 5 stupňů Celsia během jedné hodiny. Teplota se měří v oblasti nejvyšší teploty na vnějším povrchu LED modulu. V rámci této zkoušky nesmí vzniknout žádný oheň, kouř nebo hořlavý plyn a musí v přetíženém stavu vydržet alespoň 15 minut.

### **2.1.5 Dielektrická pevnost**

Tato vlastnost vyjadřuje hodnotu napětí, které je potřebné, aby se (jinak nevodivý) materiál stal elektricky vodivým (dochází k tzv. průrazu). V praxi se pak neměří, jak velké napětí je třeba k proražení materiálu přístroje, ale testuje se připojením jedné elektrody o napětí 3000 V na vidlici síťového kabelu, a druhé elektrody na exponované, vnější části přístroje, v tomto případě hlavy šroubů a polykarbonátový kryt.

### **2.1.6 Odolnost proti korozi**

Je nutné zajistit odolnost rezavějících materiálů proti korozi, pokud by taková degradace použitého materiálu ohrozila bezpečnost zařízení. V rámci mého návrhu proto používám pouze plastové materiály, hliníkový plech a pozinkovaný spojovací materiál.

## **2.2 Označení přístroje**

V rámci této části řešerše se budu zabývat informacemi, které je nutno uvádět buď na samotném přístroji (štítek) nebo v průvodní dokumentaci / manuálu.

Nejdříve je nutná identifikace zařízení jakožto příslušenství pro jednotlivé přístroje. Zde je nutné jasně uvést na štítku, k jakému konkrétnímu přístroji je zařízení určené a jaké připojovací napětí je možné, tedy 100-240 V, 50/60 Hz. Toto je sice poněkud nešikovné, poněvadž na stejnou sestavu podsvícení se budou lepit různé štítky, bude to mít ale nesporné výhody. Získáme tak jasnou informaci o tom, na které zařízení se podsvícení nejčastěji kupuje a tuto znalost pak může obchodní oddělení použít k cílenější nabídce potenciálním zákazníkům.

### **2.2.1 Váha sestavy**

V technické dokumentaci se musí dále objevovat zmínka o tom, že se váha celého přístroje zvýší o 1 kg.

### 2.2.2 Ovládací prvky

V rámci značení ovládacích prvků, v tomto případě otáčivého potenciometru, je nutné u tohoto ovladače uvést stupnici jasu se symboly či čísly. Toto se vyřeší přidáním indikačního prvku jako je produkt OKW A441302 od dodavatele TME, viz obrázek (obr. 1)



*Obrázek 1: Indikační kroužek se stupnicí*

Krycí prvek potenciometru (točítka) pak by měl mít červenou barvu. Příkládám obrázek jednoho takového točítka (obr. 2).



*Obrázek 2: Nainstalované točítka*

### 2.2.3 Servis

Pro případ poškození je nutné informovat zákazníka v technické dokumentaci, že zařízení může být v případě poškození opravováno pouze v autorizovaném servisu. Aby se předešlo případným potížím, definuje se síťový kabel jako hlavní vypínač. Dodavatel finálně vybraného modelu předřadníku Meanwell totiž ve své dokumentaci (příloha 8) uvádí, že pokud chce uživatel stáhnout výstupní napětí na 0 %, měl by předřadník upravit podle elektrického nákresu. V rámci tohoto nákresu by se muselo zasahovat do síťového kabelu, což je pro praktické výrobní účely nepřijatelné.

### 2.2.4 Údržba

Protože polykarbonát, ze kterého je kryt vyrobený, je do určité míry náchylný na povrchové mechanické a chemické poškození, je nutné jasně definovat čistící postup.

Aby se zabránilo poškozením povrchu polykarbonátu, je nutné v technické dokumentaci uvést, aby se zařízení omývalo čistým měkkým hadříkem namočeným v mýdlové vodě a na závěr čištění se musí použít hadřík namočený ve vodě čisté. Materiál je totiž velice náchylný k poškrábání a amoniaku, který se používá v řadě klasických mycích prostředků.

### 2.2.5 Životnost přístroje

Přístroje BTL se standardně klasifikují na životnost pěti let, což při desetihodinovém provozu každý den v roce znamená životnost 18200 hodin. Ze všech komponent, které jsou v zařízení umístěna, připadá v úvahu kontrolovat životnost dvou z nich: LED pásek a předřadníku.

Dle technického listu LED pásek od dodavatele (příloha 9) je životnost LED pásek 50000 hodin, což požadovanou hodnotu s přehledem převyšuje. Předřadník má podle svého datového listu (příloha 8) životnost 100000 hodin při provozní teplotě až 60° Celsia, při provozní teplotě 70° Celsia pak 50000 hodin, což stejně jako LED pásky splňuje danou hodnotu.

Musí se také uvádět informace o nakládání s odpadem po konci života osvětlení – poněvadž LED pásky a předřadník jsou elektrické součástky, je nutné uvést informaci, že se zařízení nesmí vyhazovat do běžného odpadu a musí s ním být nakládáno jako s elektroodpadem.

### 3 Návrh podsvícení na výstavě a kongresy

Celý projekt podsvícení přístrojů vzešel z požadavku zadaném na začátku srpna 2016. Tehdy od marketingového oddělení přišel požadavek, aby na nadcházející firemní konferenci, na které budou přítomni zástupci poboček naší firmy z celého světa. Mělo se takto upravit 13 přístrojů a účelem bylo je tímto způsobem vizuálně zdůraznit.

Požadavek to byl velice obecný, požadoval pouze modrou barvu světla (modrá je hlavní barvou BTL „corporate identity“) a aby podsvícení vypadalo dobře i na odrazivé podlaze (např. lesklé hladké dlaždice).

Díky tomu, že tato varianta nebyla určená na prodej zákazníkům, nemusela být atestována podle zdravotnické normy. Muselo se však postupovat hbitě, poněvadž časová mezera mezi zadáním a termínem dodání kusů byly necelé 4 týdny. Dále bylo nutné myslet na to, že přístroje samotné dorazí den nebo dva před samotnou konferencí, a tedy instalace podsvícení nesmí být moc dlouhá.

#### 3.1 Zástavba podvozku

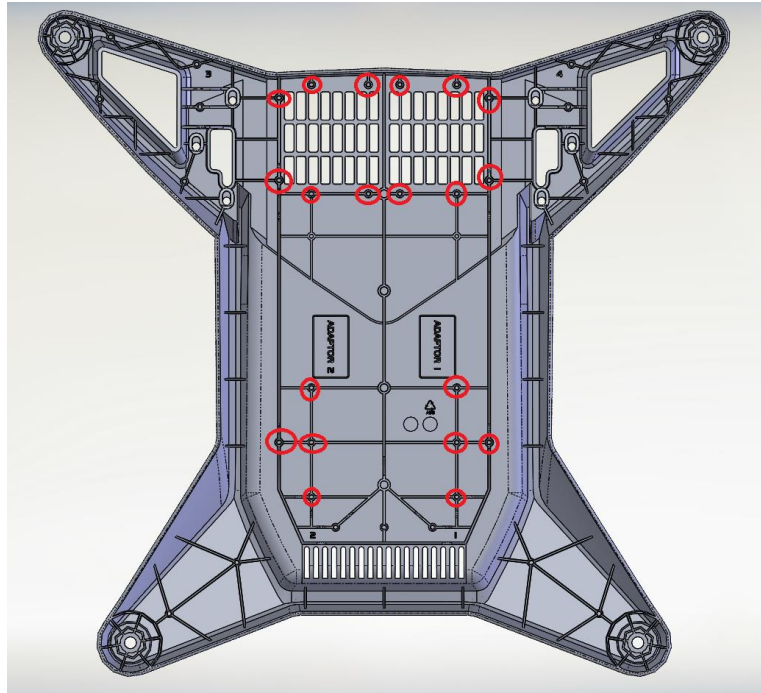
Přístroje firmy BTL mají stejný podvozek a proto je možné jednu variantu nainstalovat na více přístrojů (obr. 3).



Obrázek 3: Ukázka přístrojů BTL, zleva doprava: „Exilite“, „Tecar“, „AESIS“

Už při návrhu tohoto univerzálního podvozku pro naše přístroje se uvažovalo, že by bylo dobré umístit nějaké univerzální uchycovací prvky, aby do budoucna bylo možné snadno a spolehlivě k přístroji připevnit příslušenství. Za tímto účelem jsou na mnoha místech na spodní straně podvozku otvory na zašroubování samotvárných šroubů do plastu.

Jejich průměr je 3,3 mm a hloubka 47 mm v případě otvorů vnějších, 14,5 mm u otvorů vnitřních jsou uzpůsobené samotvárné šrouby o vnějším průměru 4 mm a jsou umístěné na nadcházejícím obrázku. Do těchto otvorů volím šrouby s čokovou hlavou s vnitřní hvězdicí BN 84229 4.0 x 10 od dodavatele Bossard (příloha 16). Zvolil jsem tuto délku, protože je zbytečné používat celou délku otvoru, poněvadž nosná váha je nízká a zbytečně by to prodlužovalo montáž. Následuje pohled na spodní stranu podvozku (obr. 4), kde jsou červenou barvou vyznačeny otvory pro zašroubování samotvárných šroubů.



*Obrázek 4: pohled zespodu na podvozek s vyznačenými otvory*

Jednotlivé komponenty by se tedy měly přidělovat v maximální možné míře do těchto otvorů, aby se posléze daly snadno sundat. Nakonec však bylo třeba jednu komponentu – předřadník – připevnit pomocí oboustranné lepicí pásky. Komentář k tomuto tématu je v samostatné kapitole „zdroj elektrické energie“.

### 3.2 Komponenty

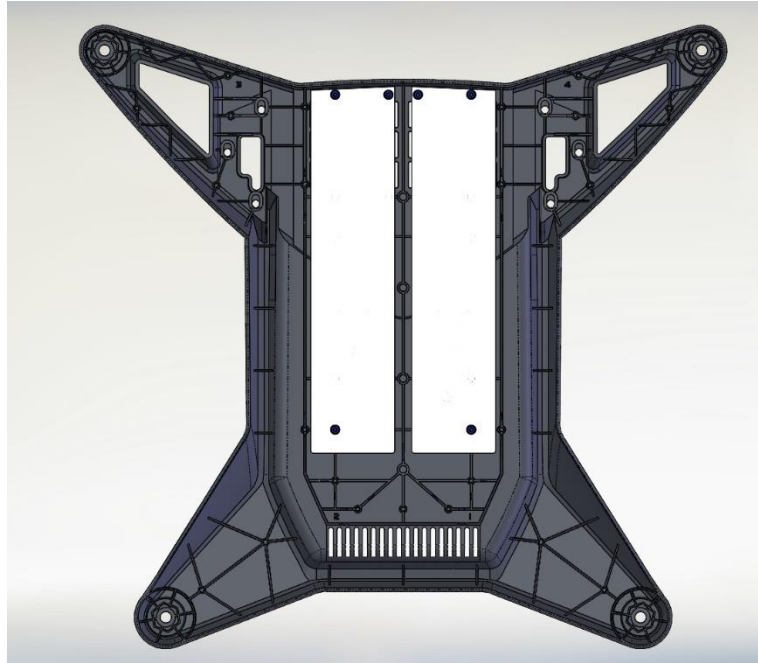
V této kapitole popíšu jednotlivé komponenty potřebné k fungování podsvícení.

Bylo třeba zajistit:

- Zdroj světla
- Zdroj elektrické energie pro daný zdroj světla
- Kryt / Optický difuzor

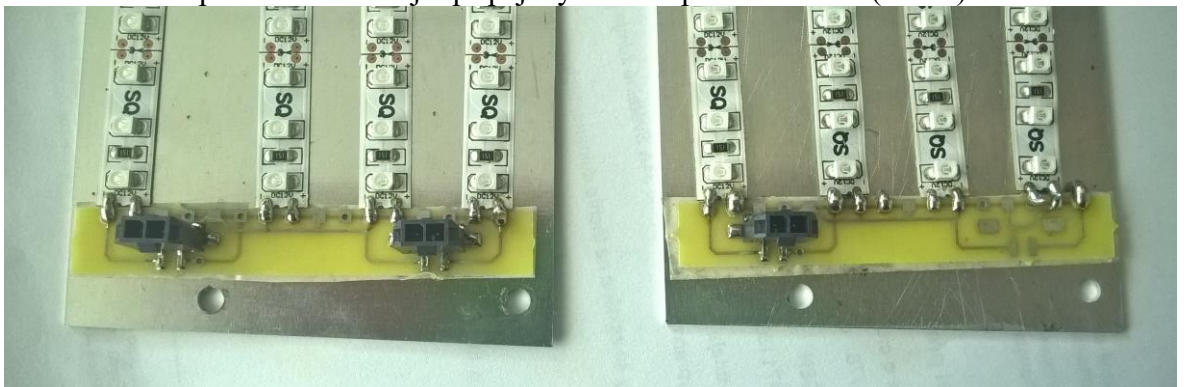
### 3.2.1 Zdroj světla

Pro takto malou sérii s nedostatkem času jsem rozhodl, že nejvhodnější způsob, jak vytvořit světlo, je použít LED pásy. Tento produkt je široce dostupný v mnoha různých provedeních. Naskýtala se tedy možnost, nastříhat tyto pásy na vhodnou délku a nalepit je na plechový výpalek, který se přišroubuje samotvárnými šrouby do děr v podvozku nejdále od země. Protože však tato plocha je rozdělená plastovou stěnou, použijí se dva stejné výpalky (obr. 5).



*Obrázek 5: Nainstalované plechy*

Elektrické zapojení pásků pak zajišťují jednoduché plošné spoje, ke kterým se ručně připájejí pásy a dvoupinové konektory typu „Molex Micro-fit“. Z předřadníku je pak veden kabel do jednoho plošného spoje, který byl pro mne navržen kolegou elektrotechnikem a vyroben u dodavatele Gatema, a z toho pak vede další, kratší propojovací kabel, na druhý plech. Pro názornost přikládám fotku již připájených LED pásků na PCB (obr. 6).



*Obrázek 6: Nainstalované LED pásy na PCB*

Zvolil jsem LED pásy typu SQ3-600 v modré barvě z internetového obchodu T-LED (příloha 9). Tento produkt již byl použit v naší firmě na jiné designové účely a byli jsme s ním spokojeni, nebyl tedy důvod se rozhlížet po jiném dodavateli.

Za materiál nosiče jsem zvolil 1 mm tlustý plech označení EN AW 1050. Jedná se o téměř čistý hliník, a tedy nemá příliš dobré mechanické vlastnosti, ale zato velice dobře vede teplo. Tato kombinace je pro moji aplikaci příznivá, poněvadž plech nese jen svoji váhu a váhu LED pásek. Pásy však docela „topí“ s jejich příkonem 9,6 W/m a je tedy dobré je upevňovat na chladič. Výkres plechového dílu je k nalezení v příloze (příloha 2).

Nevýhodou takového řešení je, že LED diody jsou zdroj světla „bodový“, tedy jsou hlavní část své vyzařovací schopnosti koncentrují v docela úzkém kuželu. Je tedy potřeba použít kombinaci silného optického difuzoru, aby se světlo rozptýlilo do celé plochy, a relativně velkého počtu LED diod.

### **3.2.2 Zdroj elektrické energie**

Zvolené LED pásky se napájí 12 V stejnosměrným proudem. V době volby předřadníku nebyla známá konkrétní hodnota příkonu světelného zdroje, použil jsem tedy spínací předřadník typu GS40A12-P1J (příloha 10) od výrobce Meanwell o výkonu 40 W. Tento předřadník se už v rámci naší firmy osvědčil.

Nevýhodou tohoto předřadníku však je, že jeho rozměry jsou příliš velké, než aby se vešel do prostorů, kde se nějakým způsobem mohl upevnit pomocí samotvárných šroubů. Zvolil jsem tedy jeho přilepení k plastové stěně pomocí pěnové oboustranné lepicí pásky.

### **3.2.3 Kryt / optický difuzor**

Návrh krytu/optického difuzoru jsem konzultoval s jedním z našich dodavatelů plastových dílů, firmou Mifer s provozovnou kousek od Prahy. Tamější vedoucí výroby mi doporučil použít 3 milimetry tlusté plexisklo o nepropustnosti světla 70 %. Tvar krytu kopíruje tvar oblasti, ve které je nainstalovaný, a k přístroji je přišroubován samotvárnými šrouby. Jeho výkres je k nalezení v příloze (příloha 3). Aby se plexisklo nepoškrábalo při transportu, je na obou stranách nalepená ochranná folie, kterou doporučuji sundat až při samotné instalaci celého přístroje.



### 3.3 Finalizace návrhu

Po instalaci všech komponent jsem určil, že na každý chladicí plech budou nalepeny 4 LED pásky SQ-600 o délce 275 mm. Celkový výčet komponent použitých při instalaci je:

- 1x Kryt z plexiskla
- 2x plechový nosič/chladič
- 10x Samořezný šroub do plastu s vnitřní hvězdíci 4.0 x 10 BN 84229
- 8x 275 mm dlouhý pásek SQ-600
- 2x plošný spoj osazený konektory „Molex Micro-fit“
- 1x propojovací kabel
- 1x předřadník Meanwell s koncovkou Molex Micro-fit
- 1x rozdvojený napájecí kabel

### 3.4 Následné úpravy

Tyto komponenty byly nainstalovány na 13 přístrojů různých typů na firemní konferenci „Summer meeting“ a setkaly se s všeobecným pozitivním ohlasem představitelů našich poboček z celého světa. Poněvadž se jedná o designový prvek, který značně zvýrazňuje tyto přístroje, chtěli tito naši kolegové sestavy podsvícení i na jejich vlastní kongresy a výstavy, aby zaujali vlastní zákazníky.

Po úspěchu nainstalovaných podsvícení jsem tedy provedl malé změny v konstrukci, aby instalace byla jednodušší. Pro přehlednost jsem tento projekt nazval anglickým názvem "Firefly" (česky "světluška"), poněvadž také svítí od spodní části svého těla. Výkresy upravených komponent mají z tohoto důvodu předponu "FF".

Dosavadní řešení všeobecně vyhovovalo svému účelu, bylo ale co zlepšovat.

Zprv jsem chtěl změnit způsob uchycení předřadníku. Uchycení pomocí oboustranné pásky je sice poměrně snadné na instalaci, není ale snadno odinstalovatelné a ani příliš spolehlivé. Týden po instalaci se dva ze třinácti instalovaných předřadníků odlepily a vypadly na podlahu. Vysvětluji si to tím, že když se při provozu předřadník zahřívá, negativně tak působí na lepený spoj.

Hledal jsem tedy způsob, jak předřadník upevnit mechanickým způsobem. Ideálním řešením by bylo zvětšit kryt z plexiskla a na něj předřadník umístit, bohužel však použitý předřadník (a všechny předřadníky, které jsem měl k dispozici) o několik milimetrů přečníval přes rovinu krytu. Rozhodl jsem se tedy upravit plechový nosič přibližně do tvaru písmene "Z" s několika otvory na stahovací pásky, které předřadník upevní na místě. Výkres je v příloze (příloha 4). Pro názornost přikládám obrázek (obr. 7).



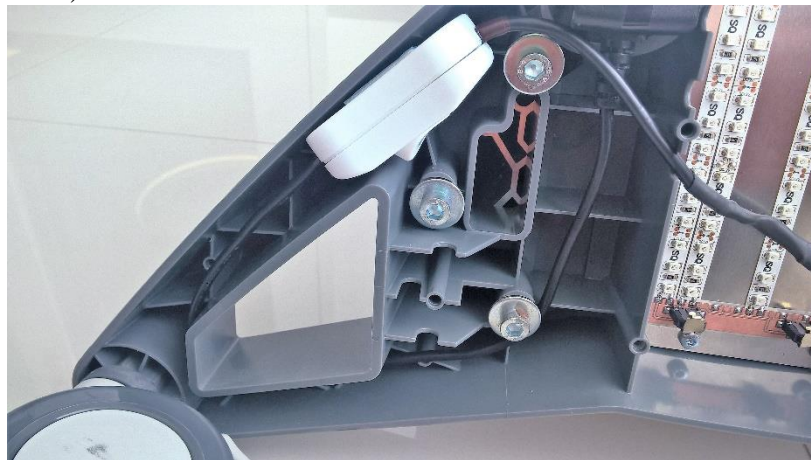
*Obrázek 7: Předřadník připevněný k nosnému plechu*

V rámci této změny jsem také změnil materiál obou plechových dílů na EN AW 5754. Tento materiál se totiž lépe technologicky zpracovává a je výrazně pevnější než předchozí EN AW 1050.

Bylo rovněž nutné upravit dílec plexisklového krytu, poněvadž tento zakrýval dokonale celý prostor, ve kterém plechové díly jsou umístěné. Úprava spočívala v přidání čtvercového výřezu na boku krytu, aby se skrz tuto mezeru dal „vyvést“ plech nesoucí předřadník. Jeho výkres je k nalezení v příloze (příloha 5).

Druhý plech nesoucí LED diody zůstává stejný.

Další modifikací bylo přidání vypínače na kabel spojující předřadník s LED diodami. Nebylo zrovna šikovné, aby jediný způsob, jak podsvícení vypnout, je vytáhnout přístroj ze zásuvky. Použil jsem tedy Šňurový vypínač SCI R13-901 (příloha 11) s maximálním průchozím proudem 6 A z internetového obchodu Conrad. Tento vypínač se k podvozku přilepí oboustrannou lepicí páskou. Zde nebyly obavy, že by podobně jako předřadník vypadával, poněvadž je nesrovnatelně lehčí a není tepelně namáhán. Jeho umístění je jasné z obrázku níže (obr. 8)



*Obrázek 8: Umístění vypínače*

### 3.5 Výsledek

Po instalaci všech komponent vypadá zapojené podsvícení takto (obr. 9):



*Obrázek 9: Nainstalované a zapojené podsvícení*

Tato podsvícení si následovně objednávaly pobočky BTL z celého světa, konkrétně Dubaj 5x, Polsko 13x, výstava Medica 2016 14x, Thajsko 5x, Německo 9x, Argentina 2x, Salvador 3x, USA 6x, Jižní Afrika 5x.

Po přičtení třinácti kusů „první generace“, jsem tedy vyrobil 75 kusů podsvícení, které pomohlo naší firmě se zviditelněním na různých kongresech, výstavách apod.

Pro ilustraci jsem připojil snímek (obr. 10) z výstavy Medica 2016, což je jeden z největších veletrhů medicínských zařízení na světě.



*Obrázek 10: Medica 2016 – podsvícení v praxi*

## 4 Návrh podsvícení prodatelného zákazníkům

Po úspěchu a všeobecném zájmu o „výstavní“ variantu podsvícení byl vedením firmy schválen vývoj zařízení, které by bylo možné prodat zákazníkům.

Vypracovat takové zadání je zdatelně komplikovanější, poněvadž je nutné splnit bezpečnostní normy. Problematiku bezpečnostních norem řeším v druhé kapitole této práce

Dále přibyly požadavky týkající se samotného produktu. Protože jsme produkt chtěli prodávat i zákazníkům kteří si naše přístroje již zakoupili, musel být naprsoto jednoduchý na instalaci. Dosavadní sestava měla 8 typů oddělených částí a manuál, který jsem pro tento produkt udělal, měl celkově 8 stran a předpokládal určitou základní zručnost při instalaci. Tento manuál je k dispozici v příloze (příloha 12). Pokud však něco dodáváme zákazníkovi, je nutné produkt navrhnout tak, aby byl takzvaně "blbuvzdorný", tedy aby nechával minimum prostoru pro zkažení montáže. Pokud by totiž došlo ke špatné instalaci, i třeba čistě vinou zákazníka, který nedodržel perfektně postup předepsaný v manuálu, vrhalo by to špatné světlo na naši firmu a ztráceli bychom tak kupce našich přístrojů. Podsvícení tedy mělo být navrženo tak, aby k zákazníkovi přišla 1 smontovaná sestava, kterou pouze do stolku přístroje přišroubuje. Rovněž byl stanovený přibližný finanční limit, kolik celá sestava může stát, a to 50 Euro.

Produktovým požadavkem bylo, aby se intenzita podsvícení dala regulovat, poněvadž na instalovaný světelný výkon je dost intenzivní a na odrazivé ploše zkrátka svítí až moc.

Myslet se muselo rovněž na výrobu: dosavadní kusy jsem vlastnoručně kompletovat v kanceláři a dílně. Jednalo se o počty v řádu jednotek měsíčně. Věděl jsem také, která část výroby je problematická, případně jak se dá napravit případná chyba – pro názornost přikládám fotografii "hotového" předřadníku (obr. 11), který byl instalován do podsvíceních mířících "do světa" a na něm připájeném šňůrovém vypínači. Pracovní postup na vytvoření tohoto předřadníku zahrnoval: úpravu kabelu s již přítomným „Molex Micro fit“ konektorem na potřebnou délku, připájení jedné z jeho žil na vypínač a posléze spojení s výstupním kabelem z předřadníku a zajištění spoje třemi jednotlivými kusy smršťovací bužírky.



Obrázek 11: Upravený předřadník se šňůrovým vypínačem

Pokud by se tato podsvícení měla však kompletovat ve výrobní hale naší firmy v Benešově (v počtech řádu desítek až stovek měsíčně), komponenty by měly být navrhovány tak, aby jejich kompletace byla bez složitých a špatně definovatelných operací.

#### 4.1 Soupis požadavků

Shrňme si tedy všechny body, které nové podsvícení musí splňovat:

- Splňování bezpečnostních norem
- Jednoduchá uživatelská instalace
- Co nejméně komplikovaná produkce ve výrobní hale
- Cena cca. 50 euro
- Regulace svítivosti světla

#### 4.2 Principiální změny v sestavě

Aby se mohla splnit podmínka jednoduché uživatelské instalace, je nutné spojit všechny komponenty do jednoho celku. Všechny díly se tedy připevňují k průsvitnému krytu / difuzoru, který je pak pomocí 6 samotvárných šroubů připevněn k podvozku samotného přístroje. Poněvadž tyto díry, do kterých šrouby přicházejí, jsou 47 mm, volím oproti předchozí variantě delší samořezný šroub, konkrétně 4.0 x 16 BN 84229

#### 4.3 Úprava dílů podle nových kritérií dílů a návrh alternativ

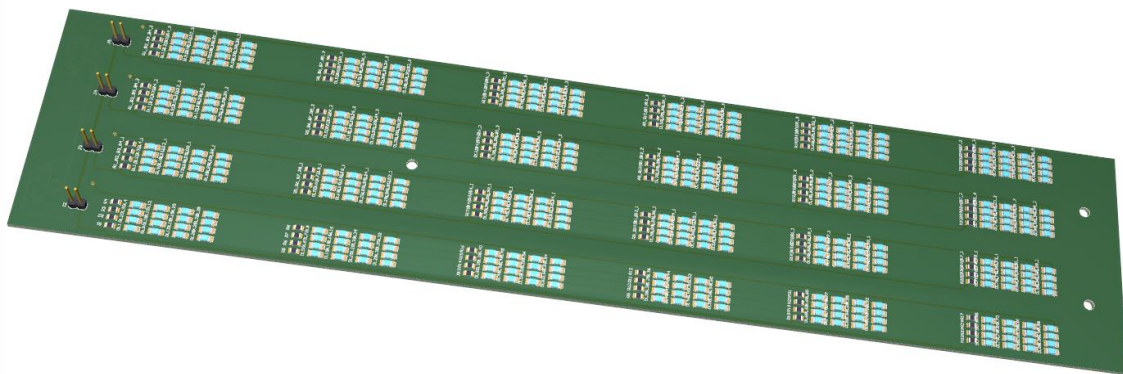
Při návrhu jsem vycházel z předchozího návrhu, avšak pouze principiálně a znovu jsem zhodnocoval, zdali je daná součást vhodně navržená, případně jestli by se nedala nahradit jinou, lepší a pokud možno levnější alternativou.

Začnu tedy u zdroje světla, tedy LED pásky nalepené na plechovém nosiči.

##### 4.3.1 Zdroj světla

Dosavadní varianta LED pásek přilepených na plechovém nosiči a připájených k plošnému spoji byla rozhodně vhodná pro menší výrobní množství, avšak poměrně veliký počet ručně pájených spojů (2 spoje na každý pásek, 8 pásku= 16 pájených spojů) není příliš vhodný do výroby.

Alternativou by tedy mohl být jednoduchý plošný spoj, na který by SMD automat (surface mount device) v benešovské výrobě osadil jednotlivé LED diody a automaticky i zapájel. Poněvadž postrádám expertízu na návrh takového spoje, požádal jsem tedy kolegu, který mi už navrhnul plošný spoj dosud používaný, aby udělal jednoduchý návrh takového plošného spoje. Náhled na tento návrh je vidět níže (obr. 12).



*Obrázek 12: Návrh LED diodami osazeném PCB*

Návrh tohoto PCB jsem tedy konzultoval s výrobou, bohužel však jejich odpověď byla v podstatě negativní – cena za desku samotnou a její osazení (dokonce bez ceny samotných LED diod) by činila přibližně 18 euro za jednu desku. Takové finanční náklady jsou nesrovnatelné s náklady na LED pásky, které nás v dosavadní variantě stojí ani ne 10 euro za oba plechy s LED pásky.

Komponenta vyzařující světlo tedy zůstává v principu stejná, mění se pouze trochu tvar plechu, aby byli oba stejné a nebylo nutné rozlišovat, zda jde o plech levý či pravý (jako tomu bylo u varianty na výstavě). Velikost celého plechu se nepatrně zvýšila, poněvadž váhově takové přidání nepředstavuje potíže (rozdíl je v řádu gramů). Zvětšení obsahu plechu totiž napomůže chlazení tepelného výkonu LED diod.

Tištěný spoj zůstává stejný jako při předchozí iteraci podsvícení.

Aby se dodržela jednotnost celé sestavy, nemohou se již plechy připevňovat pomocí samotvárných šroubů, ale jejich připojení ke krytu zajistí plastové distanční sloupky typu šroub-matice o velikosti závitů M3 a délce 25 mm, který se již v rámci naší firmy používá. Délka je zvolená tak, aby plech byl v co největší vzdálenosti od krytu a světlo z LED diod se tedy co nejvíce disperzovalo a typ šroub-matice je zvolen z estetických a výrobních důvodů – maticová část bude sloužit k připevnění ke krytu podsvícení pomocí šroubu, protože toto je pohledová část a když by se ke krytu připevňoval sloupek pomocí matice, nebylo by to příliš vzhledné. Sloupek je pak připevněn k plechu pomocí matice, protože je tento způsob uchycení jednodušší na montáž. Materiál sloupku byl zvolen s ohledem na bezpečnostní normy – nebylo by přijatelné, aby součást, na které je nalepený LED pásek, byl elektricky spojený s vnější, dotekovou částí přístroje.

### 4.3.2 Zdroj elektrické energie

Předřadník byl asi nejkomplicovanější součástí tohoto zařízení, co se týče výběru. Nejdříve bych popsal všechny požadavky, které musel splňovat.

1. Aby mohl být spolehlivě a vzhledně připevněn ke krytu přístroje, musel se vejít do prostoru mezi deskou krytu a tělem podvozku. Tento prostor jsem vyměřil jakožto kvádr o stranách 180 x 42 x 42 mm.
2. Předřadník musí být certifikován na normy EN 61347-1 a EN 61347-2-13, které určují bezpečnostní požadavky pro předřadníky LED světél.
3. Aby bylo možné podsvícení zapojit kdekoliv na světě, jeho vstupní napětí musí být 100-240 V střídavého proudu o frekvenci 50/60 Hz.
4. Protože výkon LED pásek se oproti předchozí verzi nemění, je tedy 21 W, výkon předřadníku musí být alespoň 23,1W, aby se dodržela všeobecně doporučená desetiprocentní rezerva.
5. Potřebné výstupní napětí musí být 12 V kvůli specifikacím LED pásek.
6. Musí se zajistit funkce regulace svítivosti LED pásek, čehož lze dosáhnout dvěma způsoby:
  - a. Předřadník má vlastní regulační obvod
  - b. Na výstup se umístí regulátor svítivosti, který je běžně k dispozici (umíst'ovat jakýkoliv regulátor na vstupní, tedy síťovou část by bylo spojeno se spoustou problémů)
    - Varianta b se posléze ukázala jako neekonomická, poněvadž instalace regulačního členu by byla časově náročná ve výrobě

V rámci naší firmy jsme předřadník o takových vlastnostech ještě nepoužili, obrátil jsem se tedy na představitele firmy Meanwell, aby mi poradil ohledně výběru. Z této konzultace vyšel jako nejvhodnější model LPD-25D, poněvadž splňoval všechny požadované charakteristiky: výkon 25 W, rozměry 148 x 40 x 32 mm, vlastní regulační obvod, požadované proudové vlastnosti dokonce i malé otvory na uchycení ke krytu pomocí šroubů. Datový list tohoto předřadníku je v příloze (příloha 8).

Jedinou potíží bylo, že se tento model běžně dodává bez zásuvkové vidlice, tedy že na vstupu jsou jen "holé" dráty. To by představovalo komplikace pro prototyp přístroje, avšak pro masovou výrobu by to znamenalo poměrně velký problém, poněvadž síťové kabely podléhají velice přísným požadavkům na bezpečnost a po konzultaci s výrobou mi bylo sděleno, že nepřipadá v úvahu, abychom v továrně na adaptér přidělávali síťový kabel. Vyjednal jsem tedy s obchodním zástupcem firmy Meanwell, aby pro nás udělali speciálně modifikovaný typ, který má na vstupu dvoumetrový kabel zakončený klasickou zásuvkovou vidlicí typu „Schuko“. V příloze je k dispozici obchodní nabídka tohoto předřadníku (příloha 18). Zmíněný typ zástrčky pochopitelně nelze zapojit do zásuvky v zemích jako jsou Spojené státy americké, avšak tato skutečnost se řeší i u našich ostatních přístrojů přibalením obyčejného adaptéru na americký zásuvkový standart.

Tento model předřadníku umožňuje pohodlně dodržet jeden z požadavků na podsvícení, tedy regulace svítivosti, a to zapojením vhodného prvku do regulačního obvodu. Datový list výrobce uvádí tři možnosti ovládacích prvků, které lze připojit do obvodu:

- Přídavné napětí 1-10 V
- Přídavný 10 V PWM signál o frekvenci 100 Hz až 3KHz
- Přídavný odpor o rozsahu 10K $\Omega$  – 100K $\Omega$

První dvě varianty jsou nepoužitelné, poněvadž by bylo naprosto nesmyslné řešit zdroj signálu, když je podsvícení samostatný celek s hlavním přístrojem spojený pouze mechanicky (samotvárnými šrouby).

Zvolil jsem tedy spolehlivý otáčivý lineární potenciometr PC1621NK100 od dodavatele GM Electronic (příloha 13) (obr. 13) o požadovaném rozsahu nastavení odporu.



*Obrázek 13: Otáčivý potenciometr*

Tato elektronická součástka se může velice dobře upevnit do krytu podsvícení. Postačí mu díra o průměru 7,2 mm, do které se při montáži vloží, upevní maticí a překryje točítkem.



### 4.3.3 Kryt / Optický difuzor

Tato součást dostala asi nejvýznamnějších změn oproti předchozí variantě. Poněvadž nyní má difuzor sloužit také jako nosná součást celé sestavy, chtěl jsem ji náležitě upravit, aby byla, v rámci rozumných mezí, co nejpevnější a nejodolnější.

Začnu tedy s použitým materiálem, kde srovnám přednosti dvou nejpoužívanějších materiálů v optickém odvětví, tedy plexiskla a polykarbonátu. V rámci této sekce mojí práce budu vycházet z datových listů výrobců polykarbonátu pod obchodní značkou Lexan (příloha 14) a plexiskla obchodní značky Plexiglas GS (příloha 15).

V předchozí variantě podsvícení jsem použil plexisklo (polymethylmethakrylát). Tento syntetický polymer se používá, mimo reklamních, a tedy světelných účelů, na kryty helem motocyklů, okna, průhledná tvrzená okna v hokejových stadionech či terária. Je oblíbený pro svoje optické vlastnosti. Je totiž téměř stejně čirý jako sklo, je ale pochopitelně mnohem odolnější vůči nárazu. Zároveň je také mnohem lehčí a lépe se s ním pracuje.

Polykarbonát se kromě optických aplikací používá především na láhve, na disky CD a DVD či skleníky. Hlavní nevýhodou je jeho malá odolnost vůči poškrábání a tendence žloutnout při dlouhodobému vystavení ultrafialového záření. Problematika UV radiace však není v tomto případně významná, poněvadž přístroje jsou především určeny pro vnitřní užití, ale také protože kryt je zapuštěn do spodní strany přístroje a muselo by tedy na něj svítit zespodu.

Nyní bych chtěl uvést, jaké hlavní namáhání difuzor v rámci provozu snáší. Nejvýznamnějším namáháním je namáhání tepelné. Předřadník podsvícení je totiž přímo dosedající na kryt a navíc LED diody nezanedbatelně „topí“. Tepelná vodivost je u obou materiálů téměř shodná –  $0,2 \left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$  u polykarbonátu,  $0,19 \left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$  u plexiskla. Velice rozdílná je ale teplota měknutí podle Vicata. Tato zkouška spočívá ve vtlačování jehly do ohřívánoho materiálu a používá se na určení teploty měknutí pro plasty (mimo jiné). Hodnoty jsou  $145 \text{ } ^\circ C$  pro polykarbonát a  $115 \text{ } ^\circ C$  pro plexisklo.

Co se týče mechanického namáhání, je nejdůležitější schopnost materiálu odolat nárazům – uživatel se o konstrukci podsvícení nijak neopírá, nemůže ji nějakým způsobem vystavovat tahu ani tlaku, ale je realisticky velice možné, že stolkem přístroje najede na překážku, která by zespoda do krytu narazila. Pro toto namáhání je tedy dobré sledovat hodnotu vrubové houževnatosti. Tato hodnota je u plexiskla  $15 \frac{kJ}{m^2}$  a u polykarbonátu  $35 \frac{kJ}{m^2}$ .

Vybral jsem tedy na variantu podsvícení určenou pro prodej zákazníkům polykarbonát, poněvadž má vhodnější mechanické a termální vlastnosti a jeho hlavní nevýhody oproti plexisklu, tedy náchylnost k poškrábání a vyšší cena, nepřevyšují jeho fyzikální vlastnosti na významu.

Tvar krytu jsem poněkud rozšířil, aby zakrýval co největší plochu a byl tedy na odrazivé ploše co nejatraktivnější. Dále přibylo oproti jeho předchůdci poměrně hodně děr, aby se k němu daly připevnit pomocí distančních sloupů plechy nesoucí LED pásy, předřadník a potenciometr. Oproti předchozí variantě jsem zvýšil počet nosných samotvárných šroubů o dva (na šest). Výkres výsledného dílu je v příloze (příloha 6).

#### 4.4 Výsledek

Současným výsledkem tohoto nainstalovaného zařízení je vidět na obrázku níže (obr. 14) a samotná sestava (s jedním otočeným plechem) je pod ním. (obr.15)



*Obrázek 14: Rozsvícené „zákaznické“ zařízení*



*Obrázek 15: Samotná sestava podsvícení*

V tomto návrhu se splnily požadavky bezpečnostních norem, jak jsem je popsal v předchozí kapitole, náklady zůstaly pod stanoveným rozpočtem (součet nákladů jednotlivých dílů vychází na 45 €), podsvícení se uživatelsky snadno instaluje pomocí šesti samotvárných šroubů a tovární kompletace jednotlivých komponent je bez složitějších operací.

## 5 Návrh šroubového spoje

Poněvadž celá sestava je k přístroji připevňována šesti samotvárnými šrouby 4.0 x 16 BN 84229 od dodavatele Bossard, je nutné se tedy pozorně zaměřit na tento široce používaný spojovací prvek, aby se zajistila spolehlivost tohoto spoje. Toho se docílí stanovením utahovacího momentu, kterým se zajistí dostatečné utažení. Poněvadž je ale možné, že se tato podsvícení budou montovat mimo autorizovaná (a tedy dostatečně vybavená) pracoviště, chtěl bych formulovat pomocí určeného utahovacího momentu instrukce pro utažení šroubu pouze ručním náradím.

Samotvárné šrouby do termoplastů (podvozek přístrojů je z ABS) jsou mnohostranně užitečný jistící prvek, poněvadž poskytují spolehlivý rozebíratelný spoj, aniž by se musel vyřezávat závit do materiálu. Není však prakticky možné stanovit utahovací moment čistě teoreticky, protože deformace materiálu a vliv konstrukce dílu, ve kterém je díra, jsou v podstatě nekvantifikovatelné a utahovací moment se tedy určuje experimentálně.

Podle instrukcí od dodavatele Bossard (příloha 16) a jiného výrobce samotvárných šroubů do plastu Würth (příloha 17) se nejdříve stanoví zašroubovací moment  $M_1$ , tedy moment potřebný pro samotné zašroubování šroubu a po dosednutí hlavy šroubu na materiál se točí šroubem dokud „se něco nezničí“, tedy dokud se buď závit se strhne nebo se vykrotí hlava šroubu. Maximální moment před zničením spoje je hodnota  $M_2$ . Tento experiment se minimálně pětkrát opakuje, a pokud se naměřené hodnoty zásadně neliší, zprůměrují se. Doporučený utahovací moment je pak vypočítán z rovnice

$$M_U = M_1 + 0,4 \cdot (M_2 - M_1)$$

Protože všechny sloupky, do kterých jsou šrouby určeny, mají stejný tvar, provedu proto měření u na všech šesti užívaných otvorech.

K měření byly použity momentové klíče Tohnichi DB12N4-S o rozsahu 1-12 Nm a Tohnichi FTD200CN2-S o rozsahu 0-2 Nm.

*Tabulka 1: Naměřené hodnoty utahovacího momentu*

	$M_1$ [Nm]	$M_2$ [Nm]
1. měření	0,50	1,9
2. měření	0,50	2,4
3. měření	0,52	2,4
4. měření	0,50	2,2
5. měření	0,52	2,2
6. měření	0,48	2,0
<b>Průměr</b>	<b>0,50</b>	<b>2,18</b>

$$M_U = M_1 + 0,4 \cdot (M_2 - M_1) = 0,5 + 0,4 \cdot (2,18 - 0,50) = \mathbf{1,17 Nm}$$

## 5.1 Vyhodnocení experimentu

V rámci tohoto experimentu jsem určil doporučený utahovací moment potřebný pro bezpečné zajištění tohoto šroubového spoje. Pro případ, kdyby se však toto podsvícení instalovalo bez odborného náčiní, měřil jsem, kolik otáček po dosednutí hlavy šroubu na polykarbonátový kryt je třeba, aby se dosáhlo tohoto momentu. Zjistil jsem tak, že požadovaného utahovacího momentu je dosaženo po jedné půl otáčce po dosednutí hlavy.

## 6 Závěr

Hlavním cílem mé práce bylo přehledně popsat proces vývoje univerzálního podsvícení přístrojů firmy BTL, která měla nejprve sloužit jednorázově k zatraktivnění několika přístrojů na jedné firemní akci. Dále jsem popsal, jak se po úspěchu tohoto designového prvku návrh vylepšil, aby se zařízení lépe instalovalo, bylo funkčnější, méně závadové a mohlo se posílat do poboček naší firmy po celém světě. Dále jsem popsal vývoj další iterace tohoto zařízení, které již bylo určeno na trh a muselo tedy splňovat větší množství požadavků, jak ze strany funkčnosti, tak především ze strany legislativních bezpečnostních požadavků, jejichž řešerši jsem zpracoval. Nakonec jsem popsal proces spojený s určením utahovacího momentu samotvárných šroubů, které v obou návrzích představují zásadní upevňovací element.

V rámci tohoto projektu jsem získal velice cenné zkušenosti s tak komplexní pracovní úlohou, jako je návrh přístroje určeného na trh s medicínskou technikou. Naučil jsem se rovněž mnoho poznatků, které jsou v podstatě mimo můj obor, protože v rámci tohoto projektu jsem zajišťoval nejen funkci konstruktéra mechanických prvků, ale také jsem jednal s představiteli našich dodavatelů, řešil jsem elektronickou stránku tohoto zařízení a v rámci sestav posílaných „do světa“ jsem i vlastnoručně pájel všechny kontakty a jednotlivé součásti balil do krabic.

Uvědomuji si, že při návrhu celého přístroje je dramaticky více překážek, ale jsem velice rád za to, že jsem si tuto úlohu mohl v tomto poněkud zmenšeném vydání vyzkoušet a chci tyto zkušenosti promítnout do svých budoucích úkolů.

## 7 Použitá literatura

- [1] Norma. ČSN EN 61347-1:2009 „Ovládací zařízení pro světelné zdroje – část 1: Všeobecné a bezpečnostní požadavky“
- [2] Norma. ČSN EN 61347-2-13:2007 „Ovládací zařízení pro světelné zdroje – Část 2-13: Zvláštní požadavky pro elektronická ovládací zařízení modulů LED napájená střídavým nebo stejnosměrným proudem“
- [3] Norma. ČSN EN 62031:2008 „Moduly LED pro všeobecné osvětlování – Požadavky na bezpečnost“
- [4] Norma. IEC 60601-1:2012 Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance
- [5] Norma. ČSN EN 60529:1993 „Stupně ochrany krytem“

## 8 Seznam obrázků

- Obrázek 1: Indikační kroužek se stupnicí
- Obrázek 2: Nainstalované točítko
- Obrázek 3: Ukázka přístrojů značky BTL, zleva doprava „Exilite“, „Tecar“, „AESIS“
- Obrázek 4: Pohled na podvozek zespodu s vyznačenými otvory
- Obrázek 5: Nainstalované plechy
- Obrázek 6: Nainstalované LED pásy na PCB
- Obrázek 7: Předřadník připevněný k nosnému plechu
- Obrázek 8: Umístění šňůrového vypínače
- Obrázek 9: Nainstalované a zapojené podsvícení
- Obrázek 10: Medica 2016 – podsvícení v praxi
- Obrázek 11: Upravený předřadník se šňůrovým vypínačem
- Obrázek 12: Návrh LED diodami osazeném PCB
- Obrázek 13: Otáčivý potenciometr, zdroj <https://www.gme.cz/pc1621nk100>
- Obrázek 14: Rozsvícené „zákaznické“ zařízení
- Obrázek 15: Samotná sestava podsvícení

## 9 Seznam tabulek

- Tabulka 1: Naměřené hodnoty utahovacího momentu



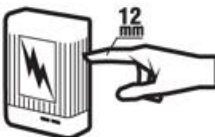

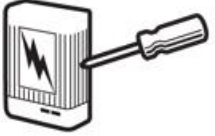









## 10 Seznam příloh

1. Ilustrační tabulka IPXY tříd (převzato z internetových stránek společnosti Blue Sea Systems <https://www.blueseas.com/resources/117> ) (tištěno)
2. Výkres plechového nosiče LED diod I. generace (tištěno)
3. Výkres plexisklového krytu I. generace (tištěno)
4. Výkres „Z“ plechového nosiče LED diod II. generace (tištěno)
5. Výkres plexisklového krytu II. generace (tištěno)
6. Výkres polykarbonátového krytu III. generace (tištěno)
7. Výkres plechového nosiče LED diod III. generace (tištěno)
8. Datový list předřadníku „LPF-25D“ od firmy Meanwell (v elektronické podobě)
9. Datový list LED pásek „SQ3-300“ dodavatele T-LED (v elektronické podobě)
10. Datový list předřadníku „GS40A12-P1“ dodavatele Meanwell (v elektronické podobě)
11. Datový list vypínače „SCI R13-901“ od dodavatele Conrad (v elektronické podobě)
12. Instalační manuál podsvícení (v elektronické podobě)
13. Datový list potenciometru „PC1621NK100“ (v elektronické podobě)
14. Datový list polykarbonátu značky „Lexan“ (v elektronické podobě)
15. Datový list plexiskla „Plexiglas GS“ (v elektronické podobě)
16. Instrukce dodavatele Bossard ohledně samotvárných šroubů (v elektronické podobě)
17. Instrukce dodavatele Würth ohledně samotvárných šroubů (v elektronické podobě)
18. Cenová nabídka předřadníku LPF-25-12-BTL



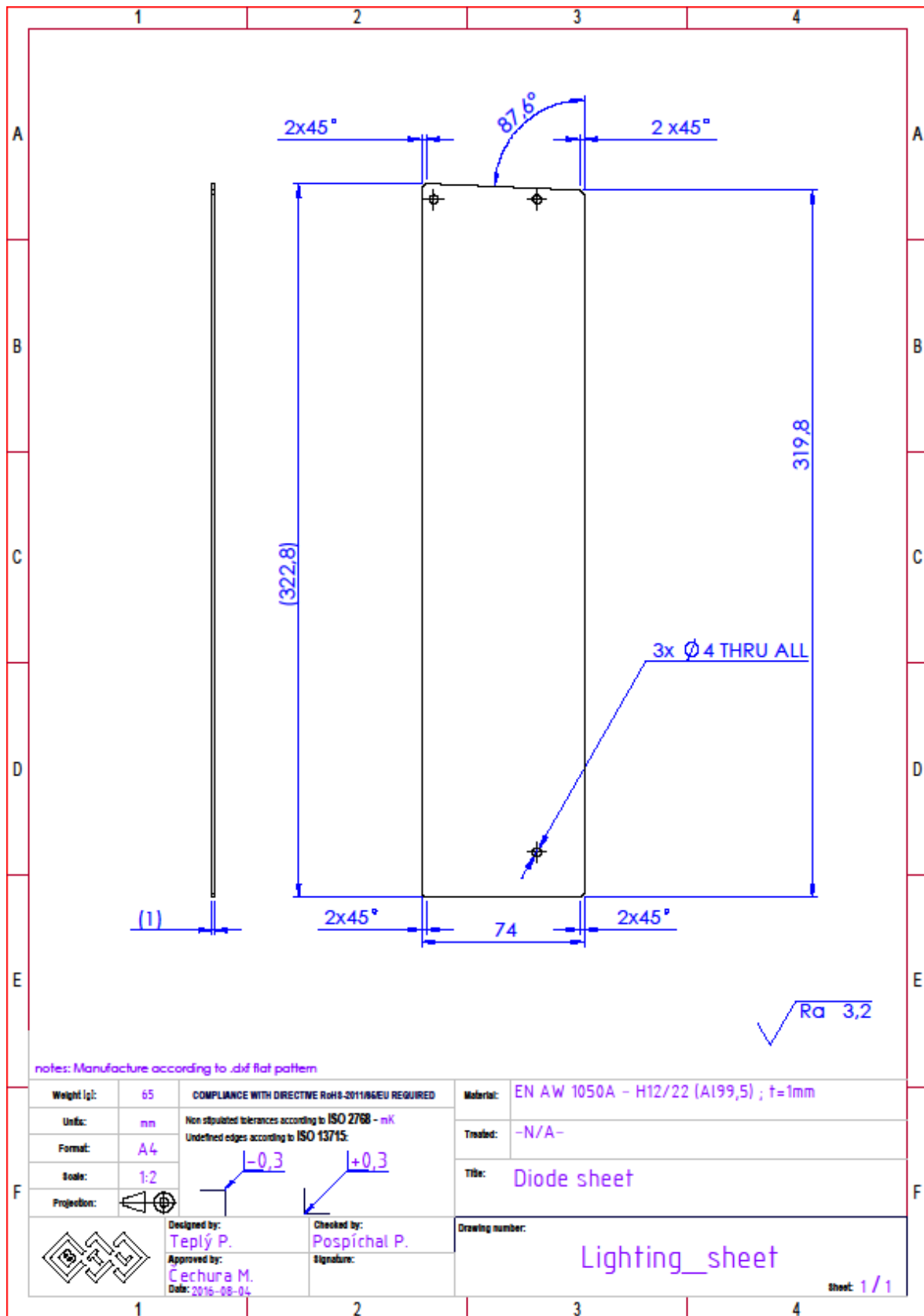
Příloha 1

# IP (Ingress Protection) Ratings Guide

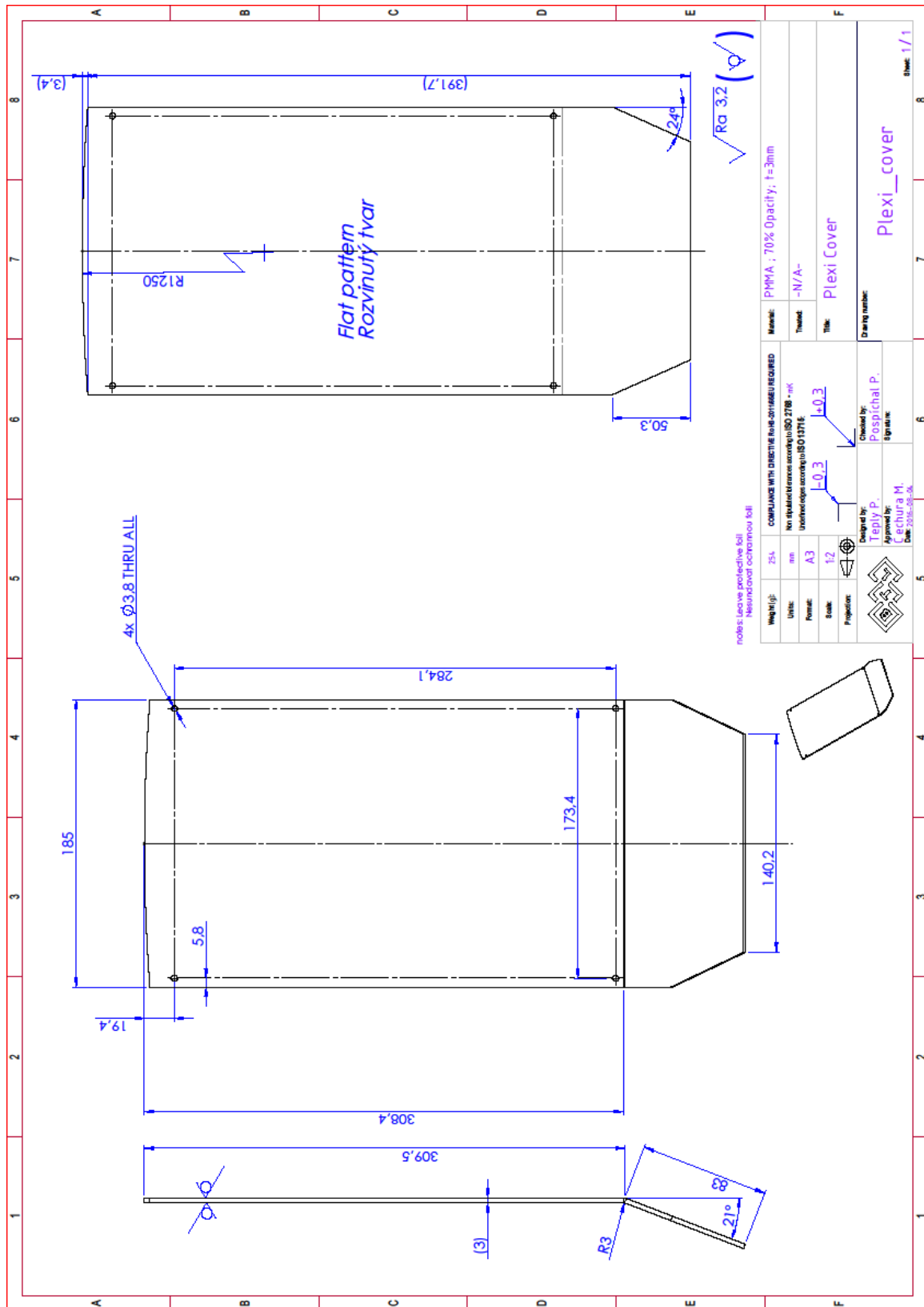
SOLIDS		WATER	
<b>1</b>	 <p>Protected against a solid object greater than 50 mm such as a hand.</p>	<b>1</b>	 <p>Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.</p>
<b>2</b>	 <p>Protected against a solid object greater than 12.5 mm such as a finger.</p>	<b>2</b>	 <p>Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted up to 15 degrees from the vertical. Limited ingress permitted.</p>
<b>3</b>	 <p>Protected against a solid object greater than 2.5 mm such as a screwdriver.</p>	<b>3</b>	 <p>Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Limited ingress permitted for three minutes.</p>
<b>4</b>	 <p>Protected against a solid object greater than 1 mm such as a wire.</p>	<b>4</b>	 <p>Protected against water splashed from all directions. Limited ingress permitted.</p>
<b>5</b>	 <p>Dust Protected. Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. Two to eight hours.</p>	<b>5</b>	 <p>Protected against jets of water. Limited ingress permitted.</p>
<b>6</b>	 <p>Dust tight. No Ingress of dust. Two to eight hours.</p>	<b>6</b>	 <p>Water from heavy seas or water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities.</p>
<p>Rating Example:</p> <p><b>IP65</b></p> <p>INGRESS PROTECTION</p>		<b>7</b>	 <p>Protection against the effects of immersion in water between 15 cm and 1 m for 30 minutes.</p>
		<b>8</b>	 <p>Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods.</p>



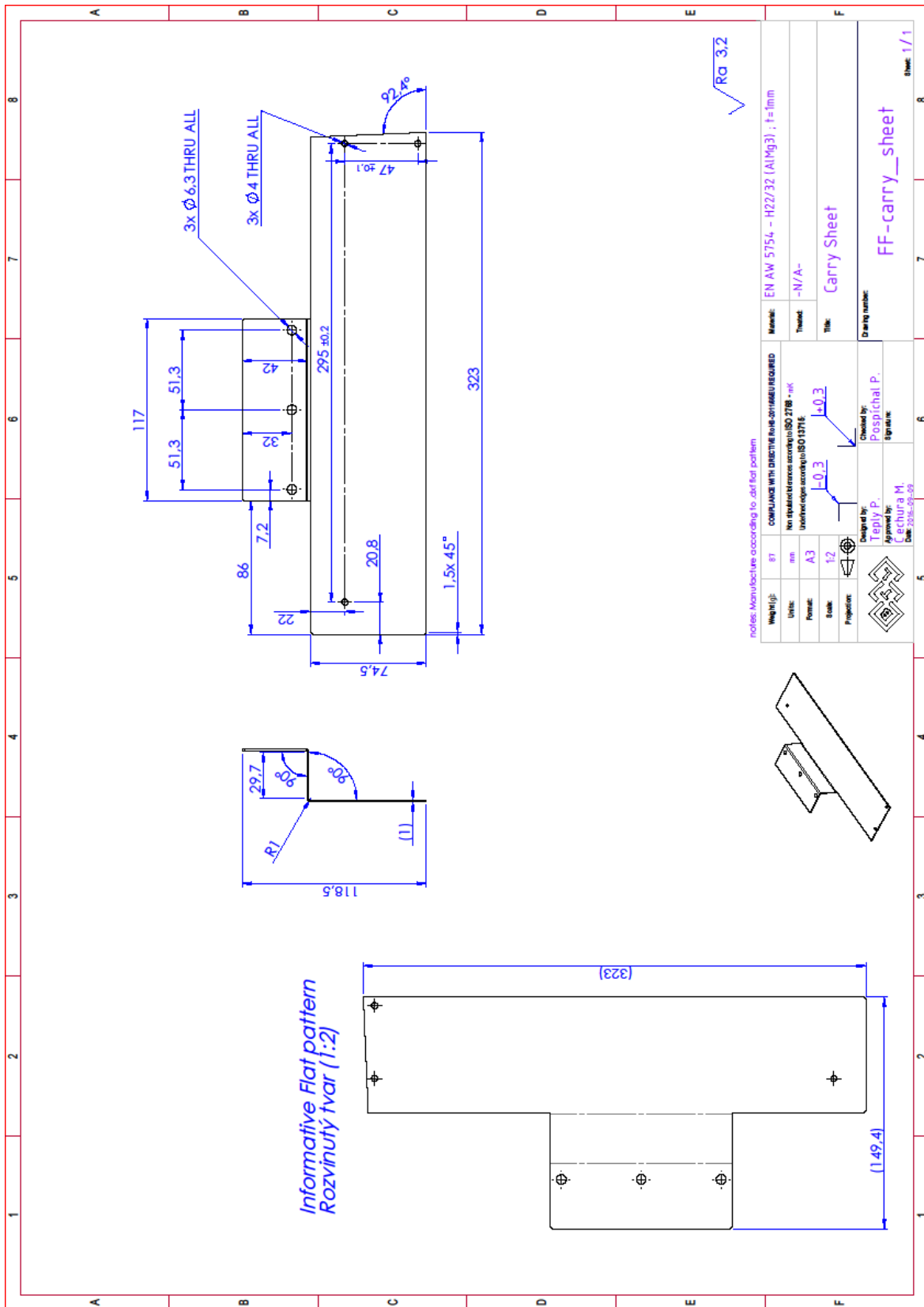
Příloha 2



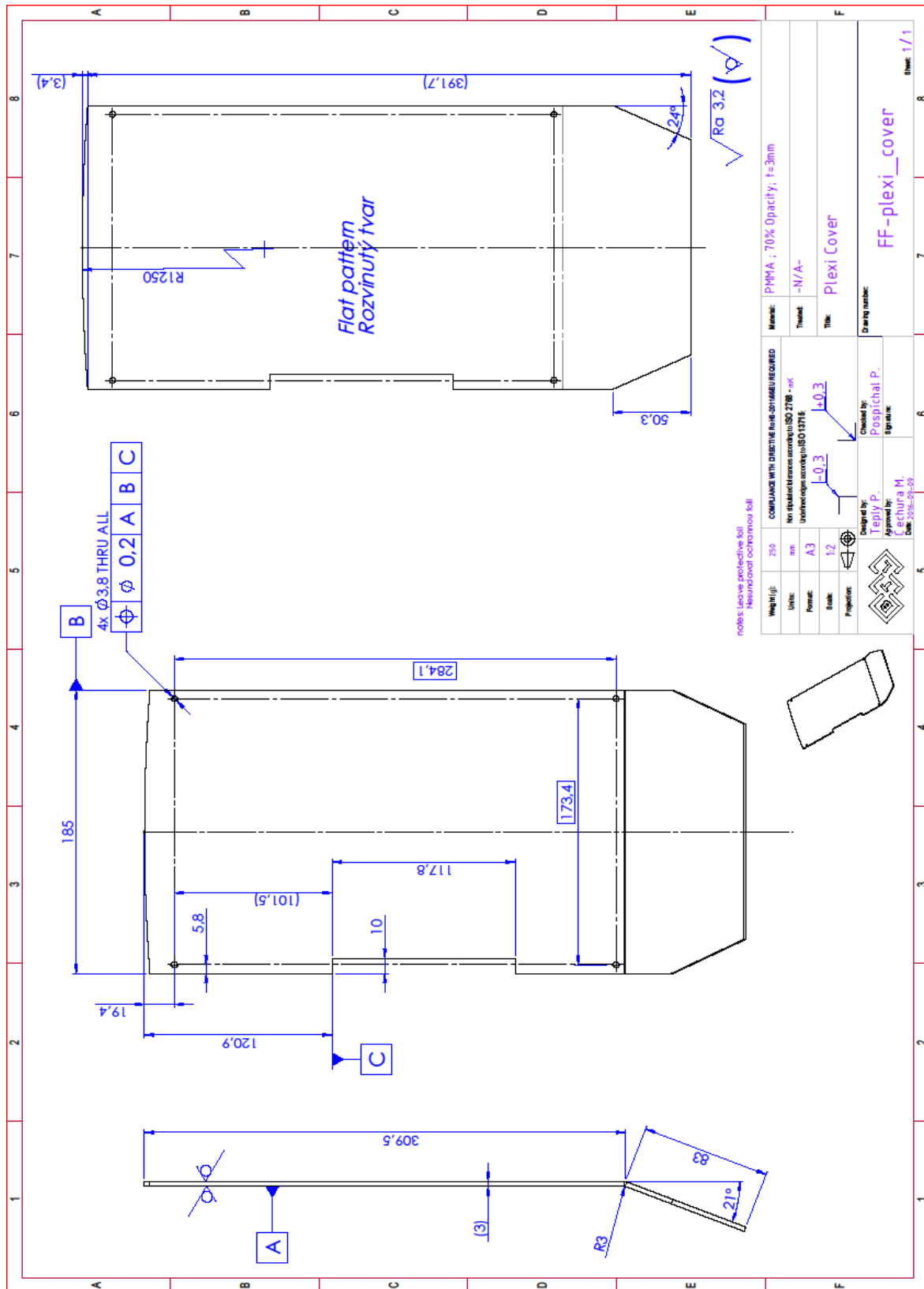
Příloha 3



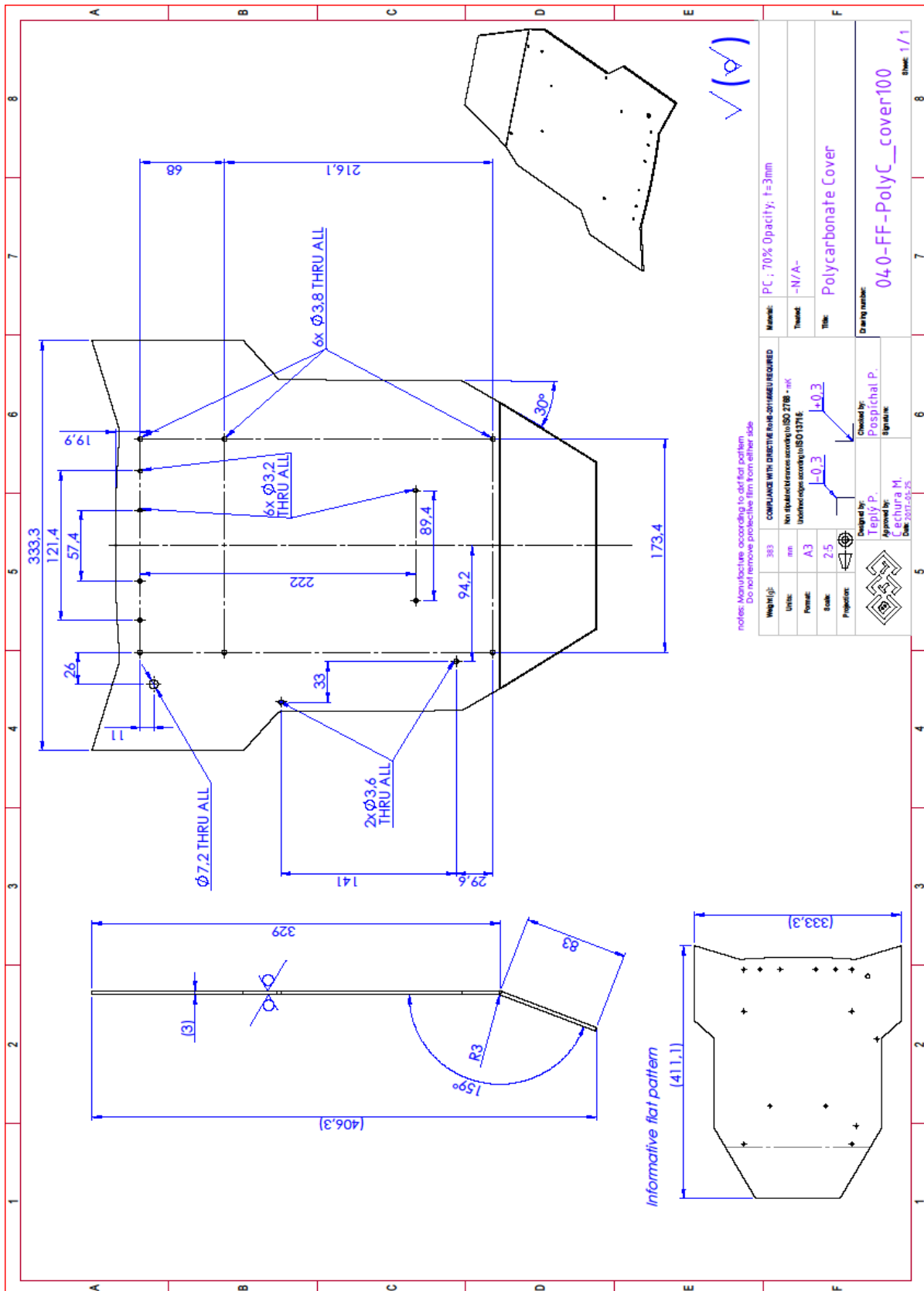
Příloha 4



Příloha 5



Příloha 6



**Příloha 7**

