

# Inovace zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Inovační inženýrství

*Autor práce:*

**Bc. Jindřich Šafařík**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.

Katedra částí a mechanismů strojů





## Zadání diplomové práce

# Inovace zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek

*Jméno a příjmení:* **Bc. Jindřich Šafařík**  
*Osobní číslo:* S19000218  
*Studijní program:* N2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Inovační inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra částí a mechanismů strojů  
*Akademický rok:* 2020/2021

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte konstrukci inovovaného zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek. Zařízení musí splňovat požadavky dané geometrií polotovaru LED pásek o rozměrech 1500x252mm s šířkou jednoho pásku 7mm. Počet pásků na jednom polotovaru je 36.

Konstrukční návrh musí splňovat následující parametry:

Zařízení bude pracovat v přibližném taktu 36 pásků během 1 min., kde systém nebude omezen využitím podtlaku nebo uspořádání přesné pozice flexibilních LED pásek. Dále je nutné dodržet tyto požadavky:

- Zástavbové rozměry zařízení nesmí být větší, než je nutné k dělení LED pásu o dané geometrii.
- Zhotovené LED pásky musí ze stroje vystupovat v dané výšce: 1000 mm.
- Zařízení bude určeno pro lidskou obsluhu, popřípadě připravené pro robotické ovládání s ohledem na průmysl 4.0

1. Seznamte se s dosavadním stavem řešení konstrukčních systémů pro stříhání, řezání, dělení flexibilních LED pásek ve vztahu k tématu práce a tento stav popište.
2. Provedte průzkum potenciálních řešení, včetně patentové rešerše.
3. Navrhněte min. tři koncepty možných řešení odstraňující zjištěné nedostatky, při zachování daných prostorových dispozic. Navržené varianty objektivně zhodnoťte a proveďte výběr nejlepší varianty metodou AHP.
4. Vybraný koncept optimalizujte z hlediska inovačních metod QFD, DFX, FMEA a dalších metod v oblasti předvýrobních etap. Využijte 40 invenčních principů pro řešení inovačního projektu.
5. Provedte detailní konstrukci vybrané varianty a pevnostní výpočty vybraných dílů (3D sestava, výkresová dokumentace)
6. Ekonomické zhodnocení
7. Závěrečné zhodnocení

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

přílohy dle potřeby  
50  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
- [2] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
- [3] MAŠÍN I. a P. JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
- [4] MAŠÍN I., PETRŮ, M., NOVÁK, O. Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni , Technická univerzita v Liberci v Liberci 2015, str.270, ISBN 978-80-7494-187-0
- [5] MAŠÍN I. a L. ŠEVČÍK. Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku. Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4
- [6] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství – Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [7] PETRŮ, M., NOVÁK, O., LEPŠÍK, P., VOSAHLA, J. Modelování textilních útvarů I – příklady pro cvičení , TU v Liberci, str.190, ISBN 978-80-7494-181-8
- [8] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [9] Databáze knihovny TUL

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.  
Katedra částí a mechanismů strojů

*Datum zadání práce:*

25. listopadu 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

25. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

19. března 2021

Bc. Jindřich Šafařík

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Petřů, Ph.D za odborné vedení, cenné rady a připomínky při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za oporu během celého studia.

## **Téma**

Inovace zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek

## **Anotace**

Diplomová práce je zaměřená na inovaci a zpracování konstrukčního návrhu zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek. Je navrženo několik konceptů, ze kterých je pomocí vyhodnocovací metody vybrán jeden pro další zpracování. Výtěžný koncept je detailně zkonstruován a doplněn o výpočty a analýzy ohledně návrhu. Konstrukční návrh je optimalizován pomocí metod DFX a FMEA-K. Závěrem práce je ekonomické zhodnocení a celkové zhodnocení práce.

## **Klíčová slova**

Inovace, flexibilní LED pásek, řezání, dělení, jednoúčelový stroj, průzkum, koncept, AHP, DFX, FMEA-K

## **Theme**

Innovation of equipment for cutting flexible LED strips

## **Annotation**

This master thesis is focused on innovations and design of equipment for cutting flexible LED strips. Several concepts are proposed, which one is selected for further processing using evaluation methods. The extraction concept is constructed in detail and supplemented by calculations and analyzes regarding the design. The design is optimized using the DFX and FMEA-K methods. The conclusion of the work is an economic evaluation and evaluation of innovation.

## **Keywords**

Innovation, flexible LED strip, cutting, dividing, single-purpose machine, survey, concept, AHP, DFX, FMEA-K

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek.....	10
1 Úvod.....	12
2 Cíle diplomové práce .....	13
3 Obecná problematika řezání flexibilních LED pásek .....	14
3.1 Seznámení s problémem .....	14
3.2 Charakteristika flexibilních LED pásek.....	14
4 Inovační příležitost.....	15
4.1 Průzkum trhu.....	15
4.1.1 Zařízení pro řezání flexibilních LED pásek .....	15
4.1.2 Zařízení pro řezání pevných LED pásek .....	18
4.1.3 Zařízení pro řezání desek v jiných průmyslovém odvětví.....	19
4.2 Patentový průzkum .....	20
5 Návrh konceptů .....	22
5.1 Koncept A .....	22
5.2 Koncept B .....	24
5.3 Koncept C .....	27
5.4 Koncept D .....	28
6 Zhodnocení a výběr konceptu .....	31
6.1 Způsoby hodnocení konceptů .....	31
6.2 Metoda AHP .....	31
6.2.1 Volba a párové porovnání kritérií.....	32
6.2.2 Párové porovnání konceptů na základě daného kritéria .....	34
6.2.3 Vyhodnocení konceptů.....	37
7 Rozpracování vybrané varianty.....	37
7.1 Návrh soustavy válců.....	37
7.2 Návrh regulace válců .....	39
7.3 Výpočet řezné síly .....	41
7.4 Návrh pohonu válců.....	43
7.5 Analýza deformace hřídele řezacího válce .....	45
7.6 Návrh ložisek .....	46
7.7 Rám zařízení .....	48
8 Optimalizace konstrukčního návrhu .....	51
8.1 Metody detailního konstruování – DFX .....	51
8.1.1 Metoda DFA (Design for Assembly) .....	51
8.1.2 Metoda DFM (Design for Manufacture) .....	53

8.1.3	Metoda DFD (Design for Disassembly).....	54
8.2	FMEA-K .....	54
9	Představení finálního zařízení .....	56
10	Ekonomické zhodnocení .....	58
11	Zhodnocení .....	60
	Použitá literatura .....	61
	Seznam obrázků .....	63
	Seznam tabulek .....	64
	Použitý software .....	65
	Seznam příloh .....	65



# Seznam použitých symbolů a zkratek

## Použité symboly

Značka	Název	Jednotka
A	Srovnávací matice kritérií	[-]
$a_{ij}$	Prvek matice A	[-]
$G_i$	Geometrický průměr	[-]
m	Počet kritérií	[-]
$w_i$	Normalizovaný geometrický průměr	[-]
CI	Index konzistence matice	[-]
$\lambda_{\max}$	Maximální vlastní číslo matice	[-]
CR	Podílový koeficient	[-]
RI	Náhodný index konzistence matice	[-]
$L_0$	Délka pružiny ve volném stavu	[mm]
$F_n$	Síla pružiny vyvinutá maximálním stlačením	[N]
c	Tuhost pružiny	[N·mm <sup>-1</sup> ]
d	Průměr drátu pružiny	[mm]
$D_m$	Střední průměr pružiny	[mm]
$L_n$	Délka pružiny při maximálním stlačení	[mm]
Q	Obvodová síla	[N]
P	Normálová síla	[N]
F	Tažná síla	[N]
r	Poloměr kotoučového nože	[mm]
$2\alpha$	Úhel řezu	[°]
$\delta$	Průnik nože do válce	[mm]
L	Vzdálenost mezi silou R a středem nůžek	[mm]
A	Vzdálenost mezi silou P a středem nůžek	[mm]
m	Hmotnost ukazující na elektrické váze	[g]
$M_k$	Potřebný kroučící moment pro jeden kotoučový nůž	[N·m]
$M_{k\text{ cel.}}$	Celkový potřebný moment pro řezání desky na pásy	[N·m]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
$\mu$	Poissonova konstanta	[-]
$\rho$	Hustota oceli	[kg·m <sup>3</sup> ]

$P_{cel.}$	Celková řezná síla	[mm]
$d$	Vnitřní průměr ložiska	[mm]
$D$	Vnější průměr ložiska	[mm]
$B$	Šířka ložiska	[mm]
$C$	Dynamická únosnost ložiska	[N]
$C_0$	Statická únosnost ložiska	[N]
$F_R$	Reakce v uložení	[N]
$P_0$	Statické ekvivalentní zatížení	[N]
$s_0$	Součinitel bezpečnosti valivého ložiska při statickém zatížení	[-]
$P$	Dynamické ekvivalentní zatížení	[N]
$n$	Otáčky motoru či hřídele	[min <sup>-1</sup> ]
$L_h$	Trvanlivost ložisek	[hod.]

### Použité zkratky

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
LED	Light-Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda, též světelná dioda)
AHP	Analytic Hierarchy Process
FPC	Flexible Printed Circuit (flexibilní tištěný obvod)
SMD	Surface Mount Device (součástka pro povrchovou montáž plošných spojů)
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMEA-K	FMEA-konstrukční
RPN	Risk Priority Number (rizikové číslo)

# 1 Úvod

V současné době je jedním z diskutovaných témat materiálová závislost Evropy na dovozu z východních zemí, a to zejména na Číně. Tento problém se vyskytuje v mnoha průmyslových odvětvích, jako například v elektronickém, chemickém, lékařském a zpracovatelském průmyslu. Jednou z českých společností snažících se o materiálovou nezávislost na Číně, je společnost MODUS, odkud vzešlo téma pro tuto diplomovou práci.

Společnost MODUS, s.r.o. byla založena v roce 1994 na základě dohody majitelů menších firem se společným programem. Nyní je společnost největším tuzemským výrobcem svítidel a jedním z největších výrobců ve střední a východní Evropě. Modus svítidla nejen vyrábí, ale i vyvíjí. Do vývoje svítidel společnost investovala nemalé částky, aby obstála tvrdé konkurenci, kterou je Čína [1].

Jedním z dovážených výrobků jsou právě flexibilní LED pásy, jejichž výrobní proces začíná výrobou flexibilní desky, ve které jsou vodivé obvody. Dále se deska pomocí stroje osazuje světelnými diodami a následně se řeže na jednotlivé pásy, tzv. LED pásy. Společnost již osazovací stroj vlastní a nakupuje pouze flexibilní desky a hledá způsob, jak efektivně desku stříhat na pásy. Cílem práce tedy je navrhnout a inovovat zařízení, které zajistí efektivní stříhání LED pásek.

## 2 Cíle diplomové práce

Cílem této diplomové práce je inovace zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek. Úkolem zařízení bude řezat vstupní polotovar, který je ve tvaru tenké desky, na níž jsou předpřipravené pásy s SMD diodami tvořící na desce výstupky. Zařízení bude zkonstruované pro lidskou obsluhu, která bude nařezané LED pásy schopna odebírat v pracovní výšce 1000 mm. Takt operace nařezání desky bude trvat přibližně 1 minutu. Konstrukce zařízení musí být schopna řezat vstupní polotovar o parametrech v níže uvedené tabulce (Tabulka 2.1).

Tabulka 2.1 Parametry řezaného polotovaru

Parametr	Hodnota
Délka desky (pásku)	1500 [mm]
Šířka desky	252 [mm]
Šířka jednoho pásku	7 [mm]
Počet pásků na desce	36 pásků
Tloušťka desky	0,2 [mm]
Šířka x délka x výška SMD diody	3,5 x 2,8 x 1,9 [mm]
Počet SMD diod na pásku	60 diod na 1 [m]
Řezaný materiál	Polyamid

Prvním krokem diplomové práce je obecné seznámení s danou problematikou, včetně popisu vstupního polotovaru, který je řezán na pásy. Dále bude proveden průzkum trhu již známých technických řešení v oblasti řezání flexibilních a pevných LED pásek. Průzkum trhu bude dále zaměřen na hledání zařízení na řezání obdobných polotovarů v jiných průmyslových odvětvích, a to převážně v papírnictví. Po průzkumu trhu bude následovat patentový průzkum, který bude zaměřen na vyhledávání možných principů řezání desky na pásy.

Po získání informací a poznatků z průzkumu známých technických řešení týkající dané problematiky, budou navrženy čtyři koncepční principy řezání desky na pásy. Na základě zvolených kritérií budou koncepty hodnoceny. Výběr nejvhodnější varianty pro finální zpracování bude proveden pomocí metody AHP (Analytic Hierarchy Process), která umožňuje rozhodovateli vybrat nejvhodnější variantu.

Vítězný koncept bude detailně zpracován do konstrukčního návrhu, včetně potřebných výpočtů. Konstrukční návrh bude překontrolován optimalizačními metodami DFX a metodou FMEA-K sloužící k předcházení vadám a poruchám dílů zařízení. Pro finální konstrukční návrh bude zpracována výkresová dokumentace vybraných sestav a dílů, která bude součástí přílohy.

Závěrem této diplomové práce bude ekonomické zhodnocení zařízení a závěrečné zhodnocení, kde bude shrnutím provedených kroků a jejich naplnění.

## **3 Obecná problematika řezání flexibilních LED pásek**

### **3.1 Seznámení s problémem**

Jak již bylo zmíněno v úvodu, obecným problémem je závislost evropských firem na dodávkách produktů z asijských zemí. Společnosti často nakupují díly a pouze je montují. Tento problém si některé firmy uvědomují a snaží se si svoje produkty vyrábět sami od A do Z. Konstrukčním návrhem vytvořeným v této diplomové práci, je jedním z mála kroků k dosažení čím dál menší závislosti na Čínském trhu.

### **3.2 Charakteristika flexibilních LED pásek**

Vstupním polotovarem pro proces řezání je deska plošných spojů (PCB - Printed Circuit Board), která je v tomto případě flexibilní (FPC – Flexible Printed Circuit) (Obr. 3.1). Skládá se z tenkých izolačních polymerních vrstev, které mají v sobě elektricky vodivé obvody. Nevodivým materiálem flexibilních desek je polyamid. Deska je osazena světelnými diodami SMD – Surface Mount Device. Ve většině případů jsou desky opatřeny lepicí vrstvou, která usnadňuje jejich přichycení k objektu, na kterém má být světelný zdroj umístěn. Deska je nařezána na jednotlivé pásky (Obr. 3.2) ve vyznačených místech. Pásky jsou dále spojeny pomocí pájení do dlouhého návínu na požadovanou délku v několika jednotkách metrů. Zákazník si pak může z návínu ve vyznačených místech odstříhnou požadovanou délku pro své použití. Díky své kompaktní velikosti,

vysokému jasů a nízké spotřebě energie jsou LED pásky hojně využívány v mnoha aspektech světelného designu.



*Obr. 3.1 LED flexibilní deska*



*Obr. 3.2 LED pásek*

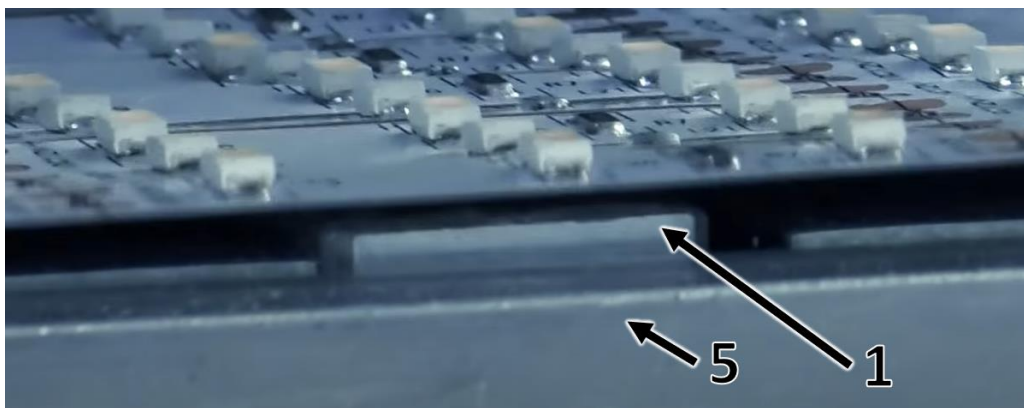
## 4 Inovační příležitost

### 4.1 Průzkum trhu

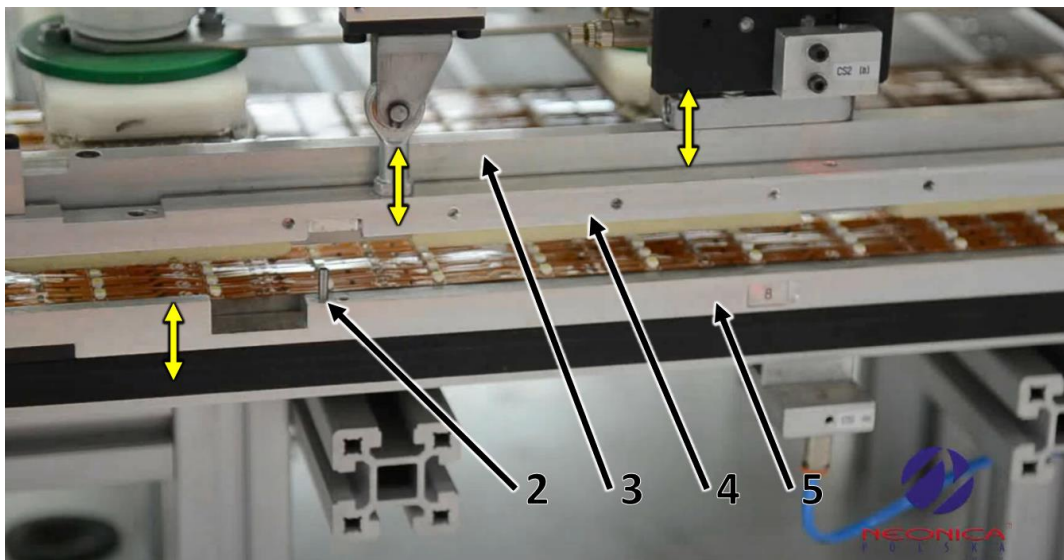
#### 4.1.1 Zařizování pro řezání flexibilních LED pásek

Polská firma **Neonica Polska** se specializuje na výrobu LED osvětlovacích systémů. Na webových stránkách firma prezentuje video-návody na zapojení svých produktů LED osvětlení a mimo jiné zde také prezentuje, jak jsou jejich LED pásky vyráběny. Ve videoukážkách procesu výroby osvětlení je možné zahlédnout princip řezání LED desky na jednotlivé pásy.

Toto zařízení (Obr. 4.1, Obr. 4.2) je součástí zcela automatické linky. LED deska je položena na pracovní stůl zařízení, kde je posouvána pomocí lišt (1), které se vysunou cca 1 centimetr nad úroveň stolu, čímž zvednou desku a posunou se společně s ní kupředu, poté lišty zajedou pod úroveň stolu a tím položí desku na stůl o kus blíže k místu řezání. Uříznutí správné šířky pásku zajišťují zářezky (2) na konci stolu. Po posunutí panelu do správné polohy následuje proces řezání. Vedle místa řezu je LED panel přichycen přidržovačem (3), aby nedocházelo k nechtěným deformacím při řezu. Nůž (4) pohybem dolů uřízne jeden pásek, který zůstává na liště (5), ze které si jej robot odebírá a přesouvá pásek na další operaci.



*Obr. 4.1 Nonica Polska – princip posouvání desky [2]*



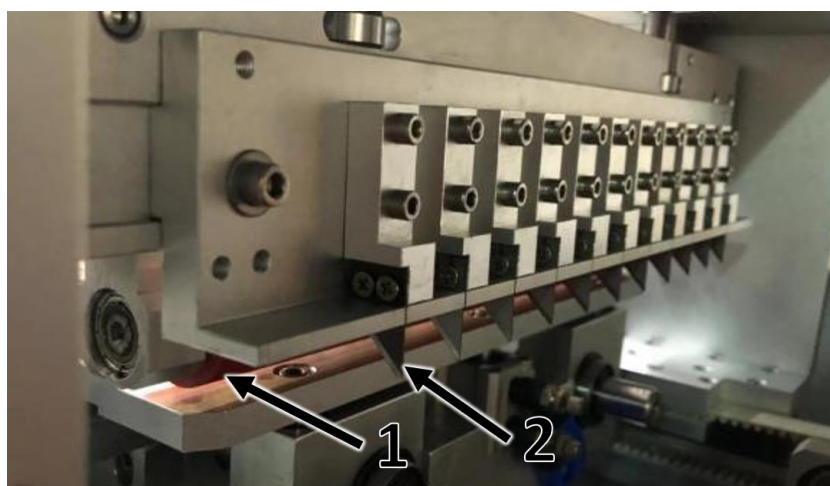
*Obr. 4.2 Neonica Polska – princip řezání [2]*

Další zařízení je od čínské společnosti **Yush Electronic Technology**, která se specializuje na vývoj a výrobu zařízení do průmyslu elektronických zařízení a jedním z nich je zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek (Obr. 4.3).



Obr. 4.3 Yush Electronic Technology [3]

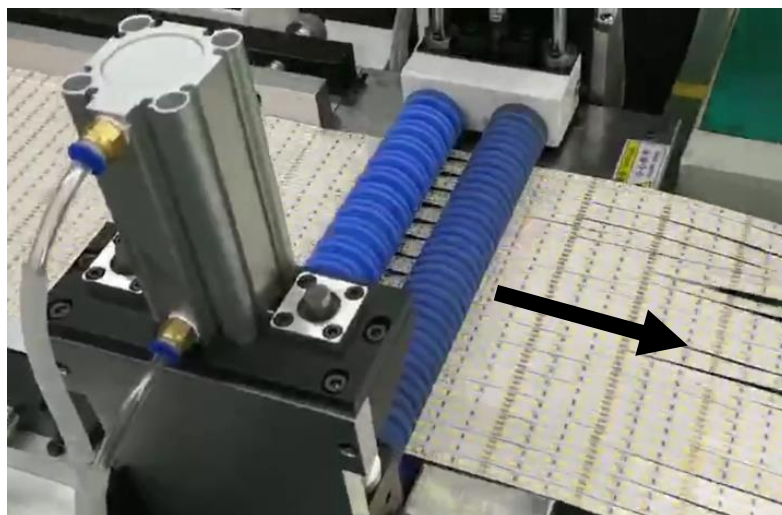
Postup stříhání začíná umístěním desky na pracovní stůl s SMD diodami směřujícími dolů. Povrch stolu je tvarovaný tak, že má drážky v místě řezů pro nože a drážky pro diody. LED deska se na pravé straně přichytí pomocí upínky tak, aby držela všechny budoucí vystříhnuté pásky. Upínka je tvarovaná takovým způsobem, že má drážky v místech řezu. Po uchycení desky se ze strany, kde je deska upnuta upínkou se dá do pohybu vozík (Obr. 4.4), na kterém je umístěn válec (1) a nože (2). Ve směru pohybu je jako první umístěn plochý válec, který rovná a napíná desku. Za válcem jsou umístěny nože, které řezou desku na jednotlivé pásky. Na jeden přejezd je celá deska nařezána na jednotlivé pásky.



Obr. 4.4 Yush Electronic Technology – řezací soustava [3]

Společnost **Shenzhen Pengchuangxin Automation Equipment** je čínská společnost vyvíjející výrobní stroje pro LED pásky. Vyvinula propracovanou výrobní linku jejíž součástí je i řezací stroj desek na pásky (Obr. 4.5).





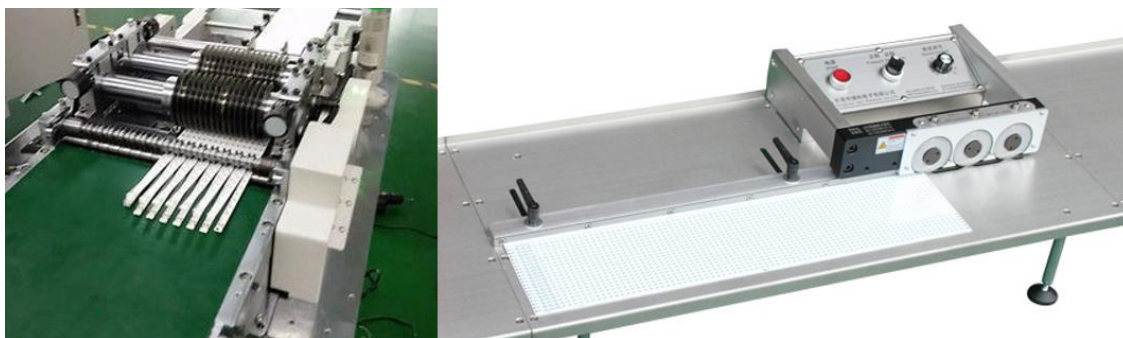
Obr. 4.5 Shenzhen Pengchuangxin Automation Equipment [4]

Toto zařízení je určeno pro automatickou linku. Předcházející část linky je pájecí stroj, který spojuje LED desky v jeden „nekonečně“ dlouhý pás. Šipka na obrázku znázorňuje směr pohybu pásu, který prochází mezi dvěma páry válců. První pár válců slouží k řezání desky na pásy. Druhý pár válců slouží k odtahování desky a k posouvání jí dál. Dolní odtahovací válec je plochý a horní je tvarovaný tak, aby přes něj prošly vystouplé diody.

#### 4.1.2 Zařízení pro řezání pevných LED pásek

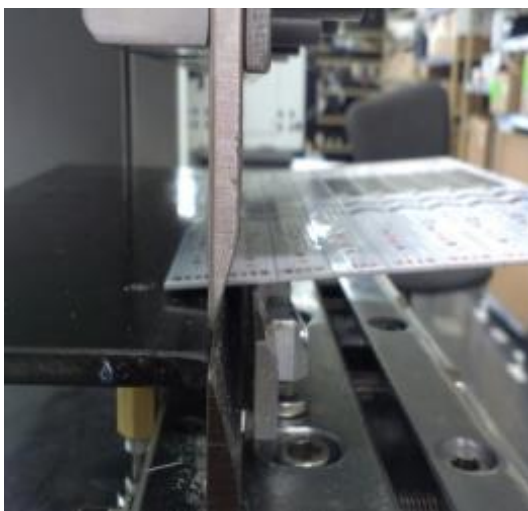
Mimo flexibilních LED pásek se ještě používají tzv. pevné (v angličtině „rigid“) LED pásy, které se především umísťují na hliníkové profily. Jak název napovídá, tyto pevné pásy nelze jakkoli ohýbat a přizpůsobovat je tvaru objektů.

Principy řezání těchto desek na pásy jsou obdobné jako u flexibilních. Častým způsobem řezání je pomocí kotoučových nožů (Obr. 4.6), kde ve většině případů jsou umístěny ve více řadách, k postupnému řezání desky, a to v provedení pomocí válců s několika kotoučovými noži (vlevo), kde je celá deska řezána najednou, anebo v provedení jednoduchých nožů po jednom za sebou (vpravo), kde je deska řezána postupně po jednom pásku. Výhoda těchto řezání je že zařízení může stříhat libovolně dlouhé desky.



*Obr. 4.6 Stříhání pevných LED desek – kotoučové nože na hřídeli [3]*

Dalším často využívaným způsobem stříhání pevných desek je pomocí střížné hrany (Obr. 4.7). Zde je deska stříhána po jednom pásku a v omezené délce, v závislosti na délce nože.



*Obr. 4.7 Stříhání pevných LED desek – střížná hrana [3]*

### **4.1.3 Zařízení pro řezání desek v jiných průmyslovém odvětví**

V rámci průzkumu trhu se tato kapitola zaměřuje na vyhledávání zařízení řezající desky na pásy v jiných průmyslových odvětví. Jsou hledány principy řezání, které by bylo možné aplikovat pro řezání LED desek.

Prvním hledaných odvětvím je papírenský průmysl. Způsoby řezání lze najít v kancelářském prostředí jako ruční pákové řezačky papírů nebo kotoučové řezačky s lineárním vedením. Stříhání velkých listů papíru lze nalézt například při výrobě bankovek, při kterém se využívá dlouhého přímkového střížného nože. Nejvíce blízcím se způsobem je skartovací zařízení na papír, které využívá dvou střížných válců ke

skartaci, resp. nařezání papíru na tenké pásy. Další nalezené způsoby stříhání listů papíru v papírenském průmyslu jsou principy stříhání papírových rolí pomocí pásového nože nebo kotoučového nože. Zajímavé je spíše řezaný polotovar, který je srolován do dlouhé role, která je řezána na menší role (pásy v návíně).

Dále je zaměřeno na principy řezání textilií. Zde jsou textilie řezány pomocí laseru nebo různých typů nožů. Pokud se látka řeže ručně na různé tvarové obrysy ve velkém množství, používá se ruční řezačka na principu přímočaré pily. Textilie jsou v tomto případě navrstveny na sobě a řežou se najednou. Pokud se jedná o strojní řezání, používá se 3-osý stroj s jedním kotoučovým nožem, který jezdí nad jednou vrstvou textilie v přímkách a vyřezává požadovaný tvar.

Existuje spousta dalších metod stříhání desek či listů z různých materiálů v dalších průmyslových odvětvích, ale ve směř se jedná o podobné způsoby, které zde byli již zmíněny.

## 4.2 Patentový průzkum

Nedílnou součástí hledání inovativních příležitostí je patentový průzkum. Díky němu je potenciál najít další principy a konstrukční řešení, ze kterých je možné se nechat inspirovat pro kreativní navrhování konceptů. Pro vyhledávání patentových vynálezů se použily následující databáze:

- Espacenet [5]
- Patentscope [6]

Pro vyhledávání patentových vynálezů v databázi lze použít tzv. pokročilé vyhledávání. Jedná se o zadávání hledaných výrazů za pomoci logických operátorů, které pomáhají k podrobnějšímu vyhledání v databázi. Význam logických operátorů je následující:

- AND – tato podmínka říká, že chceme mít všechny zadané výrazy spolu (není nutné tuto podmínku zadávat a stačí pouze mezi hledanými výrazy udělat mezeru)
- OR – ve výsledku má být alespoň jeden zadaný výraz
- NOT – je zadáván, pokud se výraz nemá nacházet v textu patentu
- \* – tento znak slouží pro zachycení slov v různých tvarech

Pro vyhledávání relevantních informací pro danou problematiku jsou použity následující klíčová slova:

- (cut\* OR separat\* OR slitting) AND (board OR plate) AND (strip OR band)

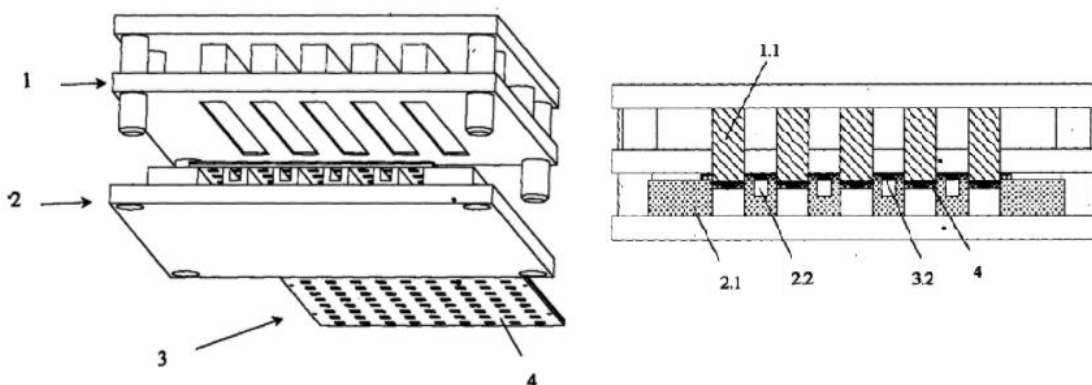
Takto zadané výrazy převážně vyhledávaly patenty zařízení řezací kovové pláty na principech střížných hran, kotoučových nožů, drátů... Pro detailnější hledání jsou použity další klíčová slova, která se přidala k výše již zmíněným:

- led
- (plastic OR soft OR flex\*)

Níže jsou představeny, některé ze zajímavých vyhledaných patentů.

#### **CN103994356A – SLITTING METHOD FOR LED LAMP BAND WITH COMBINED JOINTED BOARDS AND INTEGRATED ADHESIVE GLUE BOARD AND LED LAMP BAND [7]**

Tento patent využívá lisovacího stroje. Zařízení se skládá ze střížníku a střížnice, které mají tvar hřebenu se střížnými hrany ve vzdálenosti šířky jednoho pásku (Obr. 4.8). Nože střížníku zapadají do mezer střížnice, která má ještě navíc na nožích drážky pro vystupující LED diody na stříhané desce, jelikož deska se na střížnici pokládá s diodami směřujícími dolů. Deska LED pásek je postupně mezi střížníkem a střížnicí stříhá na pásy, kdy po každém kroku střížníku je deska posunuta o vystříhnutou délku a posledním krokem střížníku je celá deska vystřížena na pásy.

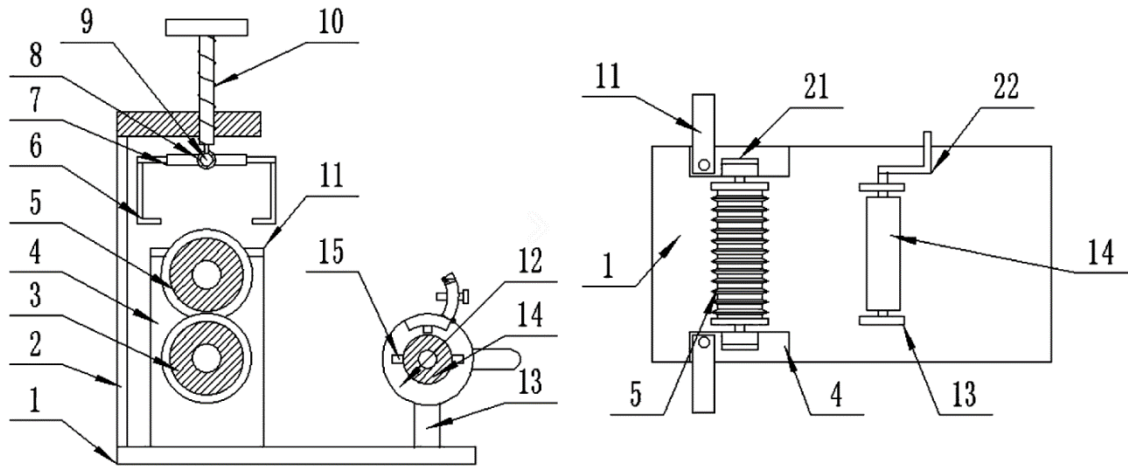


*Obr. 4.8 Patent CN103994356A [7]*

#### **CN208323510 – MANUAL SOFT LAMP STRIP BOARD SEPARATOR [8]**

Vynález poskytuje ruční dělicí stroj pro flexibilní desky světelných pásků (Obr. 4.9). V levé části zařízení jsou umístěny vodorovně dvě hřídele spojené s rámem pomocí

ložisek. Součástí hřídele jsou řezací kotouče s danou roztečí. Horní a dolní nože do sebe zapadají a odvalují se čímž desku řežou. Mezi kotoučové nože se zasune flexibilní deska. V pravé části zařízení je umístěn válec, ke kterému se deska upne a pomocí kličky se otáčí válcem, který navíjí již nařezanou flexibilní desku na pásy. Navíjením nařezané desky se kotoučové nože odvalují po desce, čímž je řezána.



Obr. 4.9 Patent CN208323510 [8]

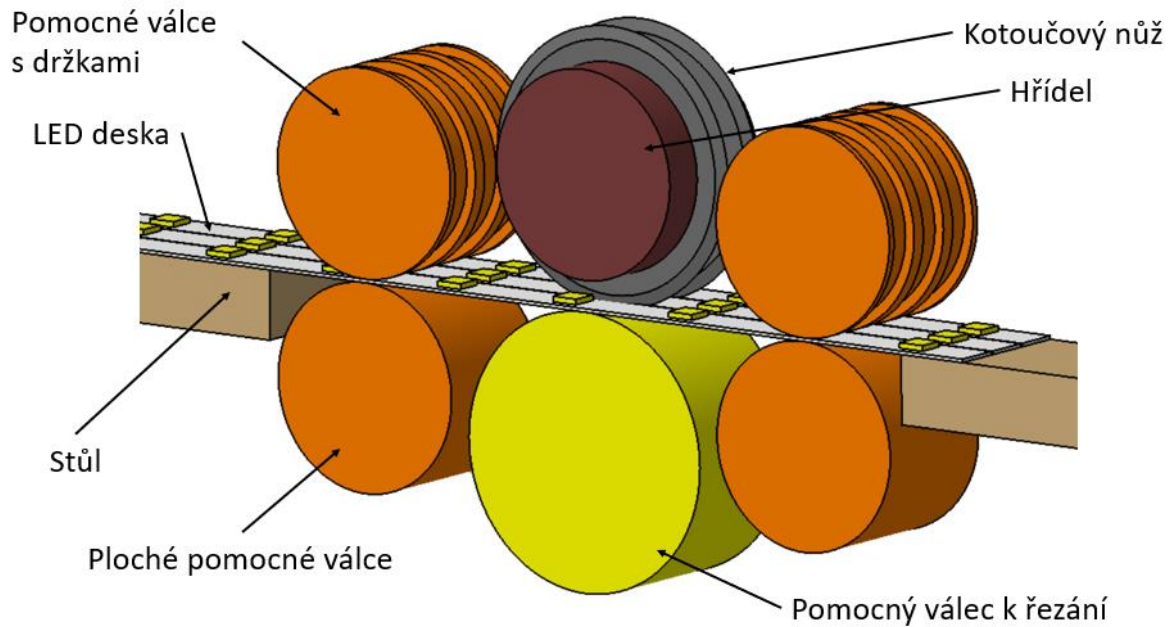
## 5 Návrh konceptů

V této kapitole jsou přestaveny čtyři koncepty označené velkými písmeny abecedy. Při návrhu konceptů je využito pouze mechanického řezání. Jiné způsoby řezání jako je například řezání působením tepla není vhodné, kvůli tepelnému ovlivnění řezaného materiálu a také z důvodu velké pořizovací ceny řezacích prvků vzhledem k požadované produktivitě. Navrhnuté koncepty popisují a zobrazují různé principy řezání pomocí nožů a modely zobrazují pouze část zařízení a flexibilní desky.

### 5.1 Koncept A

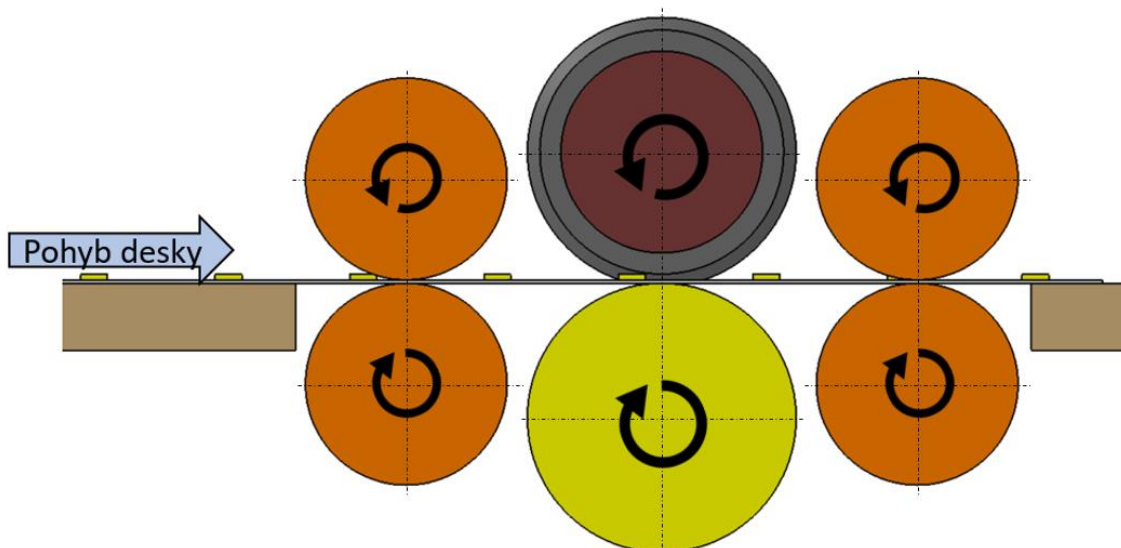
Koncept A je navrhnut na principu řezání pomocí soustavy válců s kotoučovými noži (Obr. 5.1). Deska je na levé straně zařízení vtažena mezi soustavu válců a na pravé straně vyjíždějí nařezané LED pásy. Hlavní část zařízení jsou kotoučové nože umístěné na hřídeli s roztečí šířky jednoho pásu. Nože jsou v kontaktu s plochým válcem (žlutý),

který je vyroben z takového materiálu, aby se nože mohly do válce mírně zaříznout a neotupily se. Další umístěné válce v zařízení, jsou válce pomocné. Válce umístěné nad deskou mají drážky kvůli LED diodám umístěné na desce. První dvojice válců slouží k vtáhnutí a posouvání desky do místa řezu. Druhá dvojice pomocných válců je k vytažení nařezaných pásek z místa řezu.



*Obr. 5.1 Koncept A*

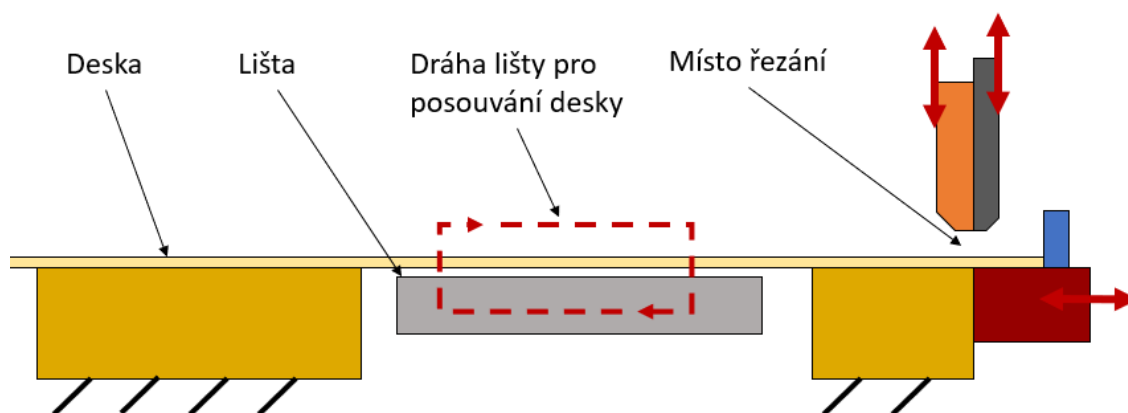
Proces řezání (Obr. 5.2) začíná umístěním desky na stůl do polohy, která zajistí to, že řez povede v místě, kde má být. Ustanovení a správné posouvání desky by se v konstrukčním návrhu zajistilo přidáním postranních lišt na stůl. Na jeden přejezd skrze soustavu válců je celá deska nařezána na jednotlivé pásy během pár sekund. Jelikož se deska umísťuje na jedné straně a na druhé se odebírají pásy, celé toto zařízení je na délku dvakrát delší než samotná deska. Tento princip stříhání lze použít pro „nekonečně“ dlouhé desky, přičemž maximální šířka je dána konstrukcí zařízení.



Obr. 5.2 Koncept A – pohyby

## 5.2 Koncept B

Koncept B je inspirován zmiňovaným konstrukčním řešením představeným v kapitole průzkumu trhu zařízení, která stříhají flexibilní LED pásy. Obrázek Obr. 5.3 zobrazuje zjednodušeně princip posouvání desky k místu řezu. Deska je posouvána pomocí lišty, která vyjede nad úroveň stolu čímž nadzvedne desku a posune se s ní k místu řezání. Poté lišta zajede pod úroveň stolu čímž položí desku na stůl. Tímto poměrně složitým způsobem je deska posouvána do místa řezu. Pomocí 40 invenčních principů [9] je tento způsob posouvání desky přezkoumán, jestli je možné nalézt způsob, kterým lze zjednodušit nebo nahradit za jiný způsob posouvání desky a tím i zjednodušit celé zařízení.



Obr. 5.3 Koncept B – vylepšovaný princip posouvání desky

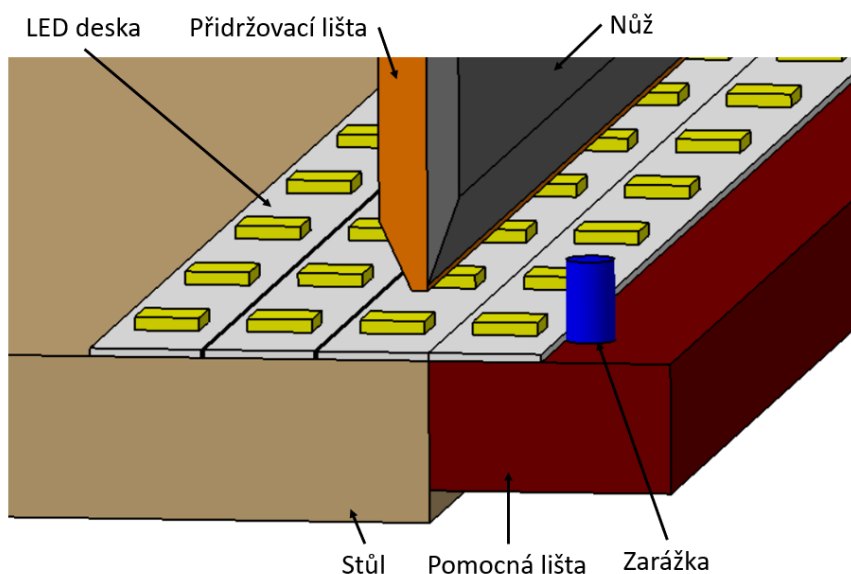
Níže je uveden seznam nalezených invenční principů, které mohou vést ke zjednodušení principu posouvání desky:

- 8. Princip anti-tíže – vytvořením vzduchového polštáře a správným nasměrováním proudění vzduchu by mohlo posouvat desku k místu řezu.
- 14. Princip sféroidálnosti – použití válečkového dopravníku k posouvání desky.
- 17. Princip přechodu na jiný rozměr – nakloněním stolu se zajistí posouvání desky vlivem její vlastní hmotnosti.
- 28. Princip náhrady mechanické soustavy – jelikož diody umístěné na desce vykazují paramagnetické vlastnosti, lze ji pomocí magnetů uchytit a posouvat. Použitím magnetů je možné nahradit stávající mechanismus za přímočarý pohyb.
- 29. Princip využití pneumatiky a hydrauliky – pro posuv desky využít pneumatické přísavky, který by se pohybovali přímočaře.

Projektím všech invenčních principů je nalezeno několik způsobů, jak daný mechanismus nahradit za jiný. Z nalezených způsobů se jako nejvhodnější zdá být 17., díky kterému je nalezen způsob posouvání desky pomocí gravitace na nakloněném stole. Tento způsob je ideálním, jelikož zcela odstraňuje mechanismus pro posouvání desky, proto je aplikován do konceptu B.

Koncept B (Obr. 5.4) je navrhnout na principu velkých nůžek. Tento koncept je jediný, kde se deska stříhá po jednom pásku, tudíž produktivita není tak vysoká, jako u ostatních konceptů. Aby se deska mohla posouvat, je celé zařízení nakloněné o takový úhel, aby se deska vlivem gravitace sklouzávala po stole k zarážkám. Přidržovací lišta vykonává kolmý pohyb ke stolu a slouží k přidržování desky před uříznutí jednoho pásku. Další částí je pomocná lišta, na ní jsou zarážky, o které se posouvaná deska po stole zastaví. Po uchycení desky pomocí přidržovací lišty se pomocná lišta vzdálí od stolu, aby nůž mohl uříznout pásek. Proces řezání je dále podrobněji vysvětlen a zobrazen.

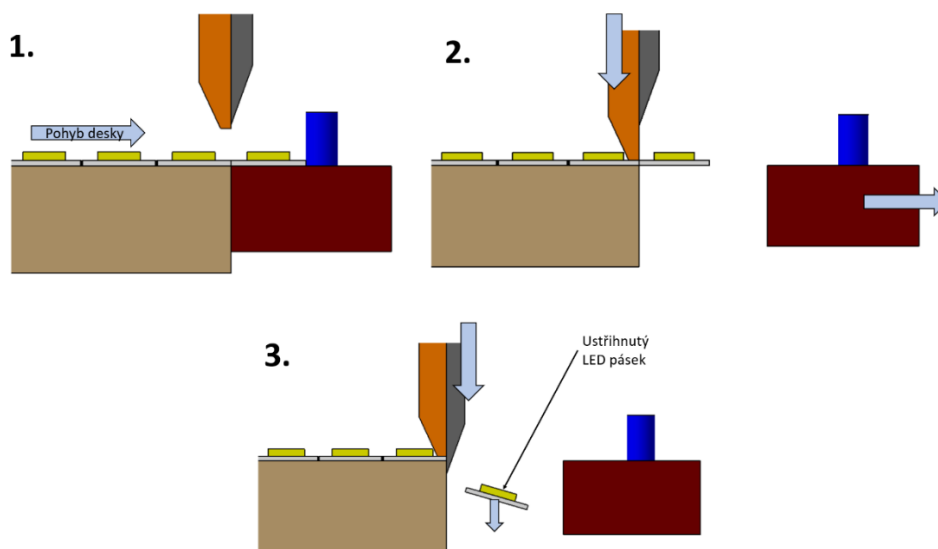




Obr. 5.4 Koncept B

**Proces řezání (Obr. 5.5):**

1. Proces řezání začíná posuvem desky po nakloněném stole vlivem gravitace k zarážkám, o které se deska zastaví a vymezí šířku stříhaného pásku.
2. Dalším krokem je uchycení desky pomocí přidržovací lišty, která ji uchytí mezi sebe a stůl. V následujícím kroku se pomocná lišta posune od stolu pryč.
3. Posledním krokem je pohyb nože dolů, čímž dojde k uříznutí jednoho pásku, který padá do místa odkud obsluha může ustříhnuté pásky odebírat. Nakonec se vrátí všechny části do původního stavu tak jako je tomu v prvním kroku a celý proces se opakuje.

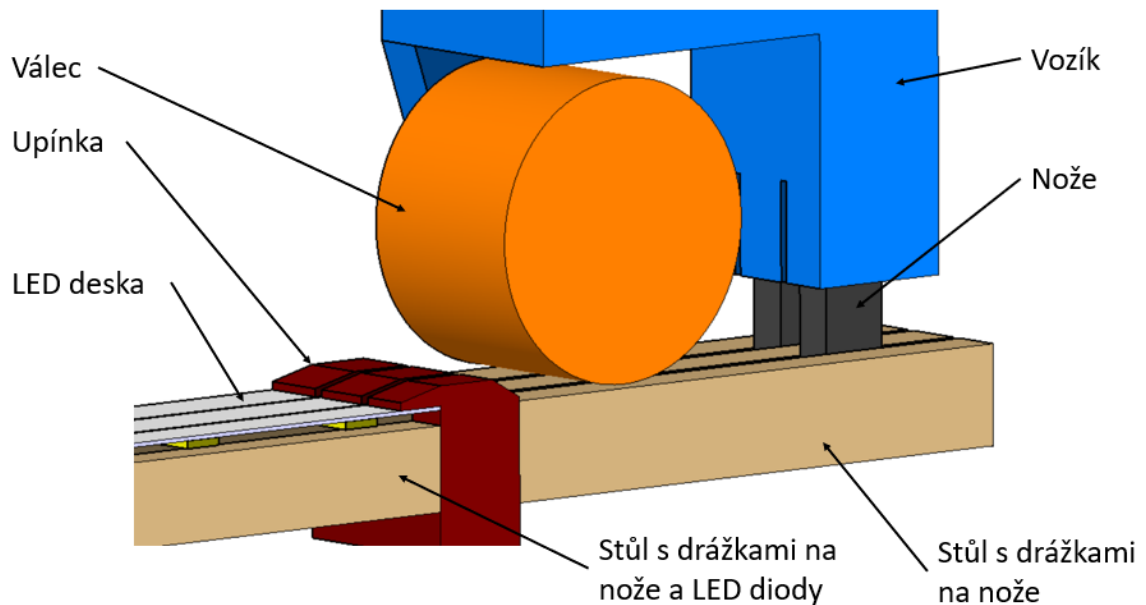


Obr. 5.5 Koncept B – proces řezání

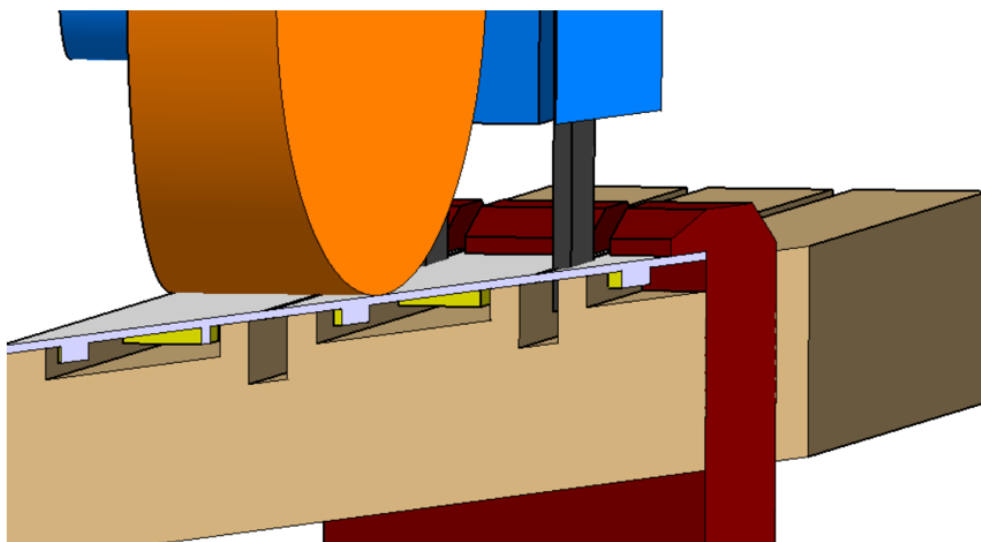
Zarážky na pomocné liště slouží k vymezení šířky ustříhnutého pásku a snadno s nimi vymezovat i různé šířky pásku. Oproti minulému konceptu je zde princip stříhání umožňuje stříhat „nekonečně“ široké desky, přičemž délka desky je omezená konstrukcí zařízení.

### 5.3 Koncept C

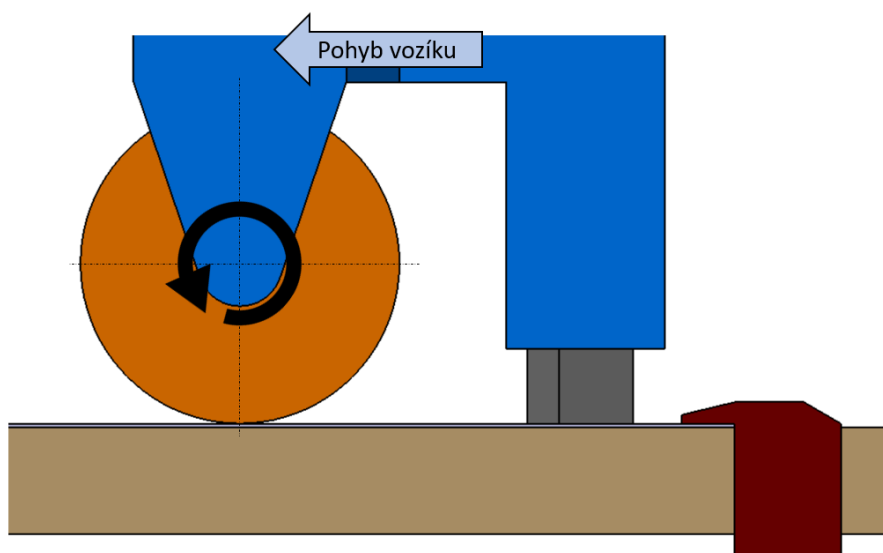
Koncept C (Obr. 5.6) je založen na principu uchycení desky ke stolu a projetí vozíku se soustavou nožů nad uchycenou deskou. Deska je položena na stůl s diodami směřující dolů, tak aby diody byly zapadlé v širších drážkách na stole (Obr. 5.7). Kratší okraj desky se uchytí pomocí upínky, která ji sevře o stůl. Upínky vykonávají vertikální pohyb. Vytvořené drážky na upínce slouží pro průchod nožů, tak aby byla nařezána držený okraj desky. Po ustanovení desky se dá do pohybu vozík (Obr. 5.11) skládající se z těla vozíku, válce, a přímých nožů. Válec má za cíl rovnat a napínat desku, aby nedocházelo k nechtěnému kroucení desky. Vozík přejede upínku a pokračuje po délce celého stolu na jeho konec. Po dojetí vozíku na konec stolu se zastaví a upínka uvolní držené pásky, které může obsluha odebrat.



Obr. 5.6 Koncept C



*Obr. 5.7 Koncept C – detail stolu*



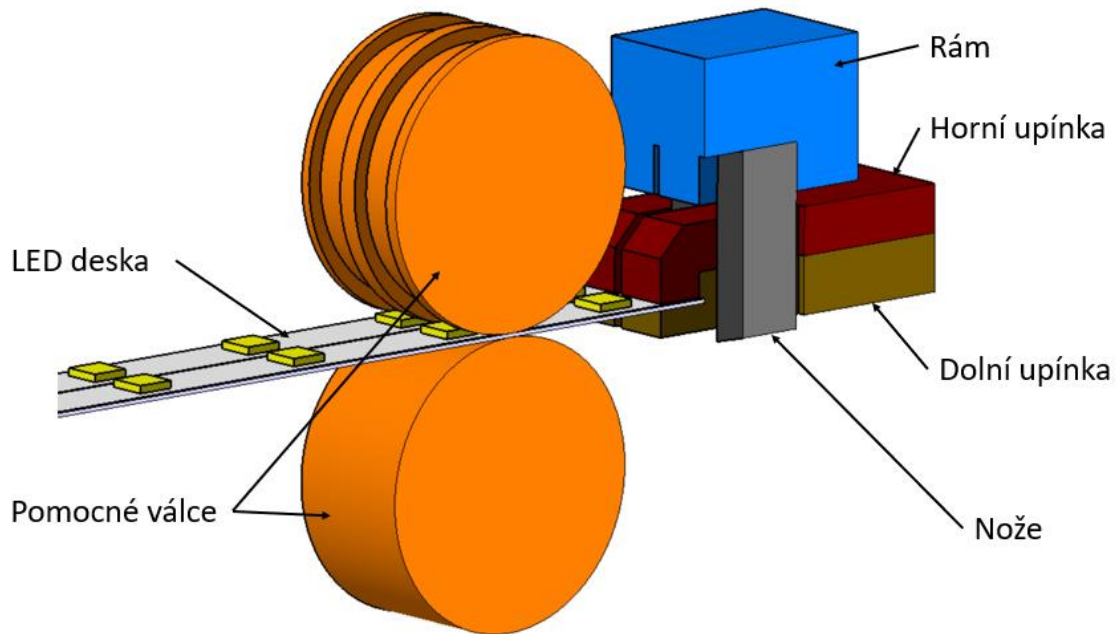
*Obr. 5.8 Koncept C – pohyb vozíku*

Zástavbový prostor zařízení je o něco málo větší, než jsou rozměry desky. Produktivita řezání je vyhovující, jelikož se deska řeže na pásy najednou. Pro konstrukční návrh bude obtížné navrhnout způsob výroby stolu, který obsahuje drážky pro diody a nože.

## 5.4 Koncept D

Koncept D (Obr. 5.9) je navrhnout s myšlenkou protáhnutí desky skrze řezací soustavu přímých nožů a válců. Dále bylo zamýšleno zjednodušit tvar břitu na přímkový. Okraj kratší strany desky je upnut do upínky, která má stejně jako u předešlého konceptu v sobě

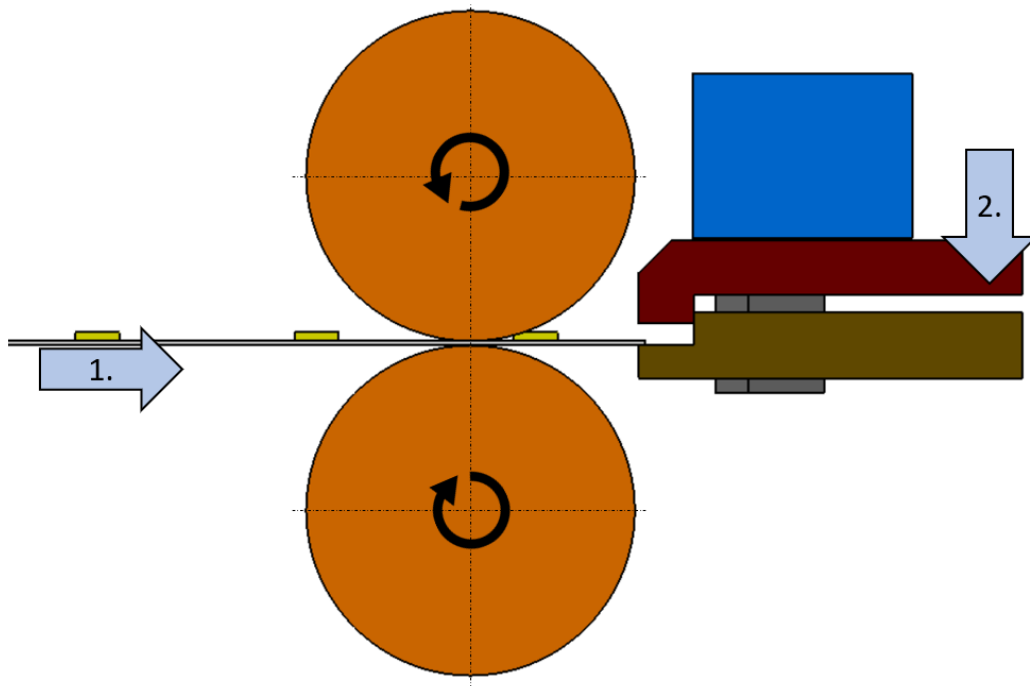
drážky pro průchod nožů, které jsou umístěny v rámu zařízení. Upínka je umístěna na vodorovných pojezdech. Pomocné válce zde slouží ke korigování pohybu desky před jejím nařezáním a uchyceny k rámu.



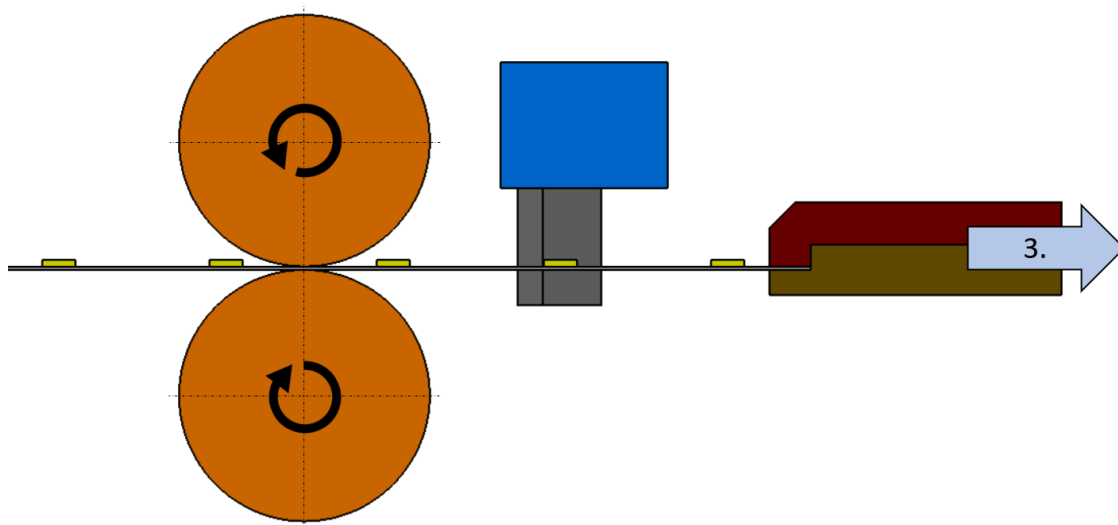
*Obr. 5.9 Koncept D*

**Proces řezání (Obr. 5.10, Obr. 5.11):**

1. Pro uchycení desky do upínky je nejprve potřeba desku prostrčit mezi pomocnými válci až k upínkám. Dále je třeba se ujistit že místa řezu na desce jsou umístěny v drážkách na upínkách.
2. Dalším krokem zachycení desky pomocí upínek.
3. A nakonec přichází na řadu samotné řezání, kdy se upínka s uchycenou deskou začne posouvat doprava a tím řezat desku na pásy. P nařezání celé desky je upínka otevřena a pásy se mohou odebrat.



*Obr. 5.10 Koncept D – upnutí desky*



*Obr. 5.11 Koncept D – proces řezání*

Délka i šířka řezané desky je v tomto konceptu omezena konstrukcí zařízení. Celá deska je řezána najednou. Délka zařízení je minimálně dvakrát tak delší než délka desky.

## 6 Zhodnocení a výběr konceptu

### 6.1 Způsoby hodnocení konceptů

Výběr finálního konceptu je proces, který se zabývá zhodnocením a porovnáváním navržených konceptů. Na základě navržených konceptů v kapitole 5. je potřeba vybrat jeden (v některých případech je možné vybrat i více konceptů) pro další vývoj, zlepšení a testování. To se provádí různými metodami s různou úrovní objektivitu a subjektivitu:

- intuitivní výběr – na základě vlastních pocitů
- externí posouzení – koncepty jsou konzultovány se zákazníkem nebo experty
- výběr osobních preferencí – členové inovačního týmu hlasují o vítězném konceptu
- volba – členové týmu dávají své hlasy více konceptům a koncept s nejvíce hlasy je vybrán jako vítězný
- analýza silných a slabých stránek – tým sestaví seznam silných a slabých stránek jednotlivých konceptů
- testování prototypů – výběr je založený na údajích z testování prototypů vzniklé na základě konceptů
- rozhodovací matice – stanovení kritérií s patřičnou vahou jimiž jsou oceňovány jednotlivé koncepty [10]

V této práci pro výběr finálního konceptu, který je dále zpracován a optimalizován je zvolen proces výběru konceptů pomocí rozhodovací matice AHP.

### 6.2 Metoda AHP

Metoda analytického hierarchického procesu (Analytic Hierarchy Process – AHP) nebo také známá jako Saatyho metoda byla zavedena v roce 1980 profesorem Thomasem Saatyem a jedná se o účinný nástroj pro řešení složitých rozhodování mezi několika možnostmi. Uživatel může pomocí stanovit priority a učinit nejlepší rozhodnutí [11].

Nejprve je třeba určit soubor hodnotících kritérií a soubor možností (konceptů), nimiž bude učiněno nejlepší rozhodnutí. AHP vygeneruje váhu pro každé kritérium podle párového porovnání kritérií zaznamenané v tabulce. Dále stejným způsobem se párově

srovnávají možnosti rozhodovatele na základě daného kritéria. Nakonec AHP kombinuje váhy kritérií a skóre možností, čímž určuje globální skóre pro každou možnost a následné hodnocení [11].

### 6.2.1 Volba a párové porovnání kritérií

Zvolená kritéria pro hodnocení konceptu jsou následující:

- **K1 – cena** – kritériem hodnotí počet dílu a náročnost na výrobu dílů, které mají zásadní vliv na výslednou cenu zařízení
- **K2 – příprava desky na řezání** – kritérium hodnotí potřebný čas, jednoduchost a počet úkonu pro přípravu desky na proces řezání
- **K3 – zástavbový prostor** – požadavek na rozměry půdorysu zařízení
- **K4 – přesnost řezání** – hodnotí se rozměrová přesnost uříznutého pásku a velikost rizika zkroucení desky při procesu řezání
- **K5 – takt** – potřebný čas na nařezání jedné desky
- **K6 – univerzálnost** – trh nabízí širokou škálu rozměrů LED pásek a z tohoto důvodu je dobré mít možnost nastavení nebo snadnou přestavbu zařízení pro různé rozměry desky a pásku (délka, šířka desky, šířka pásku)

Váhy pro kritéria se určují vytvořením srovnávací matice  $A$  o rozměru  $m \times m$ , kde  $m$  je počet kritérií. Matice  $A$  je reciproká. Relevantní důležitost mezi dvěma kritérii je dána stupnicí od 1 do 9 kdy hodnota 1 říká, že kritéria jsou stejně důležitá a hodnota 9 značí maximální převahu kritéria v řádku na úkor kritériu ve sloupci. Pokud je tomu naopak a řešitel preferuje prvek ve sloupci oproti v řádku, napíše převrácenou hodnotu. Pro matici  $A$  o  $i$  řádcích a  $j$  sloupcích platí, že je reciproká, tudíž platí pro prvky matice  $a_{ij}$  a  $a_{ji}$  následující vztah:

$$a_{ij} \cdot a_{ji} = 1. \quad (6.1)$$

Váha jednotlivých kritérií se vypočítá jako geometrický průměr  $G_i$  hodnot v řádku matice.

$$G_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m a_{ij}} \quad (6.2)$$

Aby šlo váhy kritérií při závěrečném hodnocení sčítat, je vypočítán normalizovaný geometrický průměr  $w_i$ .

$$w_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^m G_i} \quad (6.3)$$

Je dobré se přesvědčit, zda hodnoty v matici jsou správně a logicky zadány, proto se kontroluje konzistentnost matice. Nejprve je třeba vypočítat tzv. index konzistence  $CI$  daný vztahem

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1}. \quad (6.4)$$

Symbol  $\lambda_{max}$  značí maximální vlastní číslo matice a lze jej vypočítat ze vztahu

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^m \frac{(A \cdot \vec{w})_i}{w_i \cdot m}. \quad (6.5)$$

Pro dokonale konzistentní rozhodovací matici platí, že  $CI = 0$ . Čím více se index konzistence vzdaluje od nuly, tím je matice méně konzistentní a výsledky jsou méně relevantní. Z tohoto důvodu je zaveden podílový koeficient  $CR$ , který je dán vztahem

$$CR = \frac{CI}{RI(m)}, \quad (6.6)$$

kde  $RI(m)$  je tzv. náhodný index konzistence. Tato hodnota je dána na základě počtu kritérií  $m$  a lze jí odečíst z uvedeného zdroje, viz [11]. Dostatečně konzistentní matice s relevantními výsledky je s  $CR \leq 0,1$ .

Významnost kritérií je zdůvodněna v následujícím pořadí:

1. **K4 – přesnost řezání** – úspěšnost a rozměrová přesnost řezání pásků je důkazem kvality zařízení a vyrobeného produktu směřujícího k zákazníkovi z čehož jednoznačně určit toto kritérium jako nejvýznamnější
2. **K2 – příprava desky na řezání** – čím jednodušší činnost a menší počet kroků k ustanovení desky na pracovní stůl, tím menší riziko udělán chyby obsluhy
3. **K3 – zástavbový prostor** – zařízení zabírá méně místa ve výrobní hale
4. **K1 – cena** – jedná se o jednoúčelový stroj dělaný pro kusovou výrobu, kde cena produktu není až tak zásadní, než u sériové výroby
5. **K5 – takt** – dle zadání práce je dán minimální takt a s tímto ohledem jsou už navrženy koncepty



6. **K6 – univerzálnost** – dle zadání práce je zařízení konstruováno na dané rozměry LED pásek, proto je přikládána nejmenší významnost vůči ostatním kritériím

Tabulka 6.1 Párové porovnání kritérií

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> - kritéria
K1	1	1/3	1	1/4	2	3	0,79	0,10
K2	3	1	2	1/2	4	5	1,98	0,25
K3	2	1/2	1	1/3	3	3	1,20	0,15
K4	4	2	3	1	6	5	2,99	0,38
K5	1/2	1/4	1/3	1/6	1	2	0,49	0,06
K6	1/3	1/5	1/3	1/5	1/2	1	0,36	0,05

CR = 0,33 → matice je konzistentní

### 6.2.2 Párové porovnání konceptů na základě daného kritéria

Párové porovnání konceptů na základě daného kritéria je provedeno obdobným způsobem jako v předchozí kapitole. Cílem je získat normalizované geometrické průměry z jednotlivých porovnávání konceptů.

Významnost konceptů je zdůvodněna a seřazena v následujícím pořadí pro kritérium „**K1** – cena“:

1. Koncept D – poměrně jednoduchá konstrukce
2. Koncept B – nároky na přesnost pohybu nože
3. Koncept A – soustava válců a složitě tvarovaná hřídel s kotoučovými noži

Koncept C – složitě tvarovaný stůl

úroveň významnosti konceptu „A“ a „C“ je stejná

Tabulka 6.2 Párové porovnání konceptů podle K1

K1	A	B	C	D	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
A	1	1/2	1	1/4	0,71	0,17
B	2	1	2	1/2	1,12	0,26
C	1	1/2	1	1/3	0,74	0,17
D	4	2	3	1	1,70	0,40

CR = 0,004 → matice je konzistentní

Významnost konceptů je zdůvodněna a seřazena v následujícím pořadí pro kritérium „**K2** – příprava desky na řezání“:

1. Koncept A – deska je položena na stůl mezi lišty a posunuta k válcům, které si jí dále samy posouvají
2. Koncept B – deska je umístěna na nakloněný stůl
3. Koncept D – deska je upnuta do upínky
4. Koncept C – deska se prostrčí skrze pár válců a upnuta do upínky

Tabulka 6.3 Párové porovnání konceptů podle K2

K2	A	B	C	D	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
A	1	2	4	3	1,70	0,39
B	1/2	1	3	3	1,28	0,30
C	1/4	1/3	1	1/2	0,59	0,14
D	1/3	1/3	2	1	0,78	0,18

CR = 0,03 → matice je konzistentní

Významnost konceptů je zdůvodněna a seřazena v následujícím pořadí pro kritérium „**K3** – zástavbový prostor“:

1. Koncept B – jelikož je deska umístěna na nakloněný stůl, půdorys zařízení je ze všech konceptů nejmenší
2. Koncept C – půdorys zařízení je o něco málo větší než deska
3. Koncept A – zařízení je dvakrát delší než deska
4. Koncept D – zařízení je dvakrát delší než deska, přičemž na jedné straně je vedení pro upínku

Tabulka 6.4 Párové porovnání konceptů podle K3

K3	A	B	C	D	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
A	1	1/7	1/5	3	0,66	0,13
B	7	1	3	9	2,40	0,48
C	5	1/3	1	7	1,51	0,30
D	1/3	1/9	1/7	1	0,42	0,08

CR = 0,061 → matice je konzistentní

Významnost konceptů je zdůvodněna a seřazena v následujícím pořadí pro kritérium „**K4** – přesnost řezání“:

1. Koncept C – deska je upnuta a napínána pomocí válce
2. Koncept A – deska není upnutá a závisí na
3. Koncept D – vlivem odporů nožů se deska může kroutit

4. Koncept B – přesnost uříznutého pásku závisí na přesnosti předchozího uříznutého pásku

Tabulka 6.5 Párové porovnání konceptů podle K4

K4	A	B	C	D	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
A	1	2	1/3	1/3	0,78	0,18
B	1/2	1	1/4	1/4	0,56	0,13
C	3	4	1	1	1,51	0,35
D	3	4	1	1	1,51	0,35

CR = 0,03 → matice je konzistentní

Významnost konceptů je zdůvodněna v následujícím pořadí pro kritérium „K5 – takt“:

1. Koncept A – bez upnutí desky
2. Koncept C, D – je třeba upnout desku
3. Koncept B – stříhání desky po jednom pásku

Tabulka 6.6 Párové porovnání konceptů podle K5

K5	A	B	C	D	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
A	1	8	3	3	2,04	0,45
B	1/8	1	1/4	1/4	0,45	0,10
C	1/3	4	1	1	1,05	0,23
D	1/3	4	1	1	1,05	0,23

CR = 0,008 → matice je konzistentní

Významnost konceptů je zdůvodněna v následujícím pořadí pro kritérium „K6 – univerzálnost“:

1. Koncept A – libovolná délka desky je v tomto oboru více užitečnější než šířka desky
2. Koncept B – libovolná šířka desky a jednoduše nastavitelná šířka pásku
3. Koncept C, D – nutná přestavba zařízení nebo změna komponent

Tabulka 6.7 Párové porovnání konceptů podle K6

K6	A	B	C	D	G <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>
A	1	2	5	5	1,92	0,43
B	1/2	1	3	3	1,28	0,29
C	1/5	1/3	1	1	0,64	0,14
D	1/5	1/3	1	1	0,64	0,14

CR = 0,002 → matice je konzistentní

## 6.2.3 Vyhodnocení konceptů

Závěrečné vyhodnocení konceptů je provedeno součinem matice a vektoru, kde matice je sestavena z dílčích normalizovaných geometrických průměrů  $w_i$  vypočítaných z párového porovnání konceptů na základě daného kritéria a vektorem je normalizovaný geometrický průměr  $w_{i-kritéria}$ . Z metody AHP vyšel jako nejvhodnější možnost Koncept A s hodnotou 0,298, který byl vybrán pro další zpracování.

Tabulka 6.8 Vyhodnocení konceptů

$w_i$	K1	K2	K3	K4	K5	K6		$w_i$ - kritéria		Vážený součet	Pořadí
A	0,13	0,46	0,08	0,30	0,54	0,52	•	0,33	=	0,298	1
B	0,26	0,30	0,58	0,14	0,06	0,28		0,16		0,229	4
C	0,14	0,09	0,29	0,46	0,20	0,10		0,07		0,233	3
D	0,48	0,14	0,04	0,09	0,20	0,10		0,26		0,240	2
								0,15			
								0,03			

## 7 Rozpracování vybrané varianty

Jako nejvhodnější princip řezání desky na pásy vyšel způsob řezání pomocí soustavy válců s kotoučovými noži, kde se deska nechá projet skrze válce a na výstupu vychází nařezané pásy. Tento koncept je v následujících kapitolách zkracován do konstrukčního návrhu. Konstrukční návrh zařízení je zpracováván v softwaru CATIA V5R21.

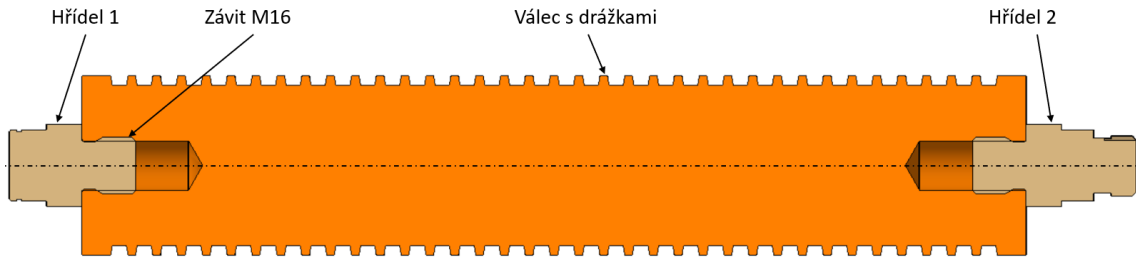
### 7.1 Návrh soustavy válců

Konstrukční řešení obsahuje 3 dvojice válců umístěných za sebou, kde první a poslední dvojice jsou pouze válce pomocné a prostření dvojice se skládá z jednoho pomocného válce a jednoho řezacího. Deska s diodami směřujícími nahoru prochází skrze soustavu válců, kde je pomocí kotoučových nožů umístěných na řezacím válci řezána na pásy.

#### Pomocné válce

Pomocné válce se dělí na dva druhy, a to na ploché a drážkované (Obr. 7.1), jejichž průměr je 50 mm. Pomocný válec se skládá ze dvou hřídelí našroubovaných na koncích

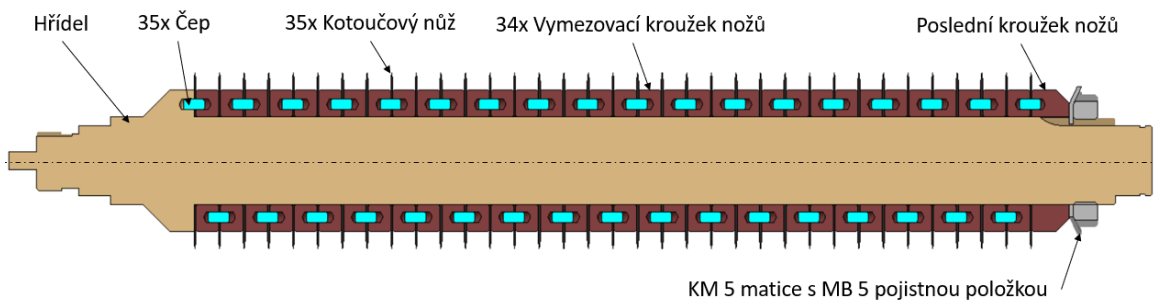
válců. Ploché válce jsou umístěny ve spodní části dané dvojce a drážkované v horní části kvůli diodám na řezané desce.



Obr. 7.1 Řez pomocného drážkovaného válce

### Řezací válec (Obr. 7.2)

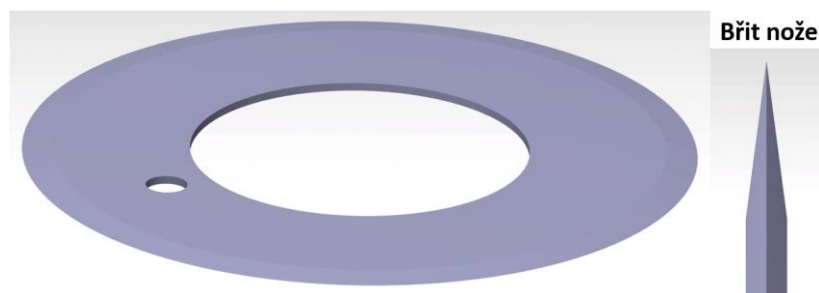
Řezací válec je umístěn ve spodní části a spoluzabírajícím válcem je válec drážkovaný. Základem řezacího válce je hřídel dlouhá 235,5 mm. Na hřídel jsou zprava doleva nasazeny kotoučové nože oddělené vymezovacími kroužky, které udávají rozteč mezi jednotlivými noži, a tudíž i šířku vystřižnutých pásků. Aby se nože nemohly pootáčet vůči hřídeli, jsou zajištěny pomocí čepů.



Obr. 7.2 Řez řezacího válce

### Kotoučový nůž (Obr. 7.3)

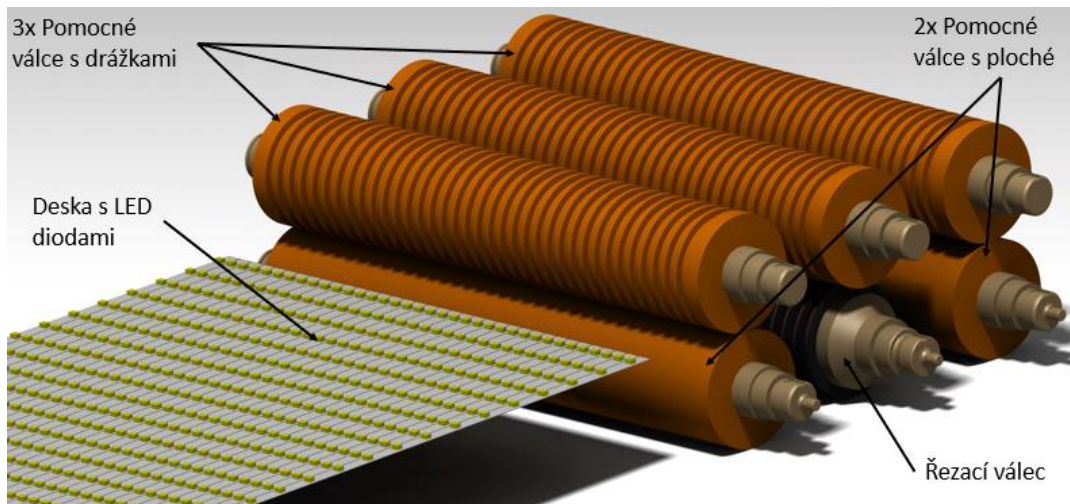
Kotoučový nůž je navržen s břitem broušeným do špičky. Nůž má velkou díru pro nasazení nože na hřídel a malou díru pro zajištění proti jeho pootáčení.



Obr. 7.3 Kotoučový nůž

## Soustava válců (Obr. 7.4)

Pomocné válce s drážkami jsou umístěné v horní části. Dole jsou umístěny pomocné ploché válce a řezací válec, které budou poháněny elektromotorem.



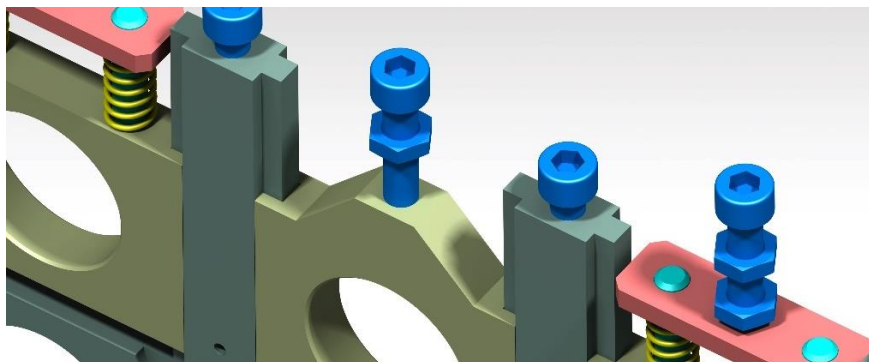
Obr. 7.4 Soustava válců

## 7.2 Návrh regulace válců

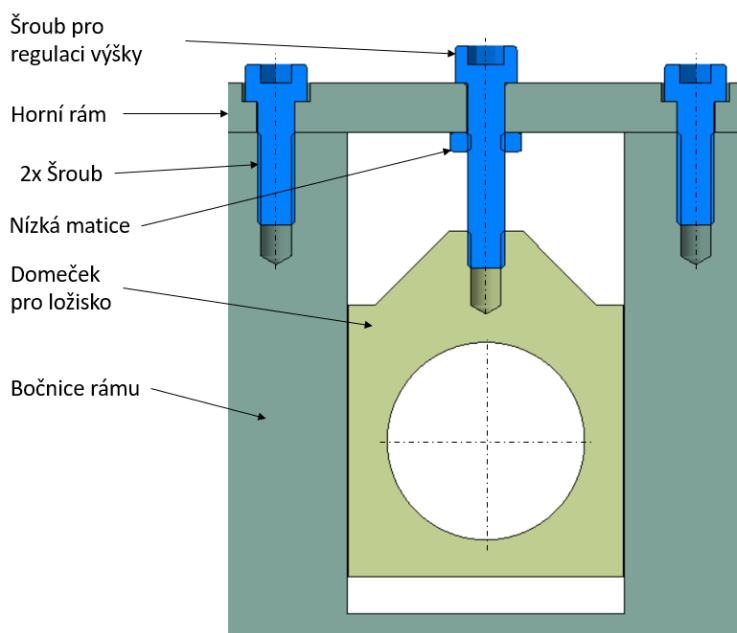
Kvůli konstrukci zařízení jsou systémy regulace válců aplikovány na válce umístěné v horní části.

### Regulace vzdálenosti pomocného a řezacího válce (Obr. 7.6)

Regulace vzdáleností mezi válci se reguluje pomocí šroubu umístěného v díře na horním rámu. Otáčením šroubu se závit zašroubovává do domečku pro ložisko, čímž se reguluje poloha domečku, který se pohybuje ve vertikálním vedení na bočnici rámu (Obr. 7.5). Matice slouží k zajištění regulačního šroubu proti povolení a nežádoucí změně polohy.



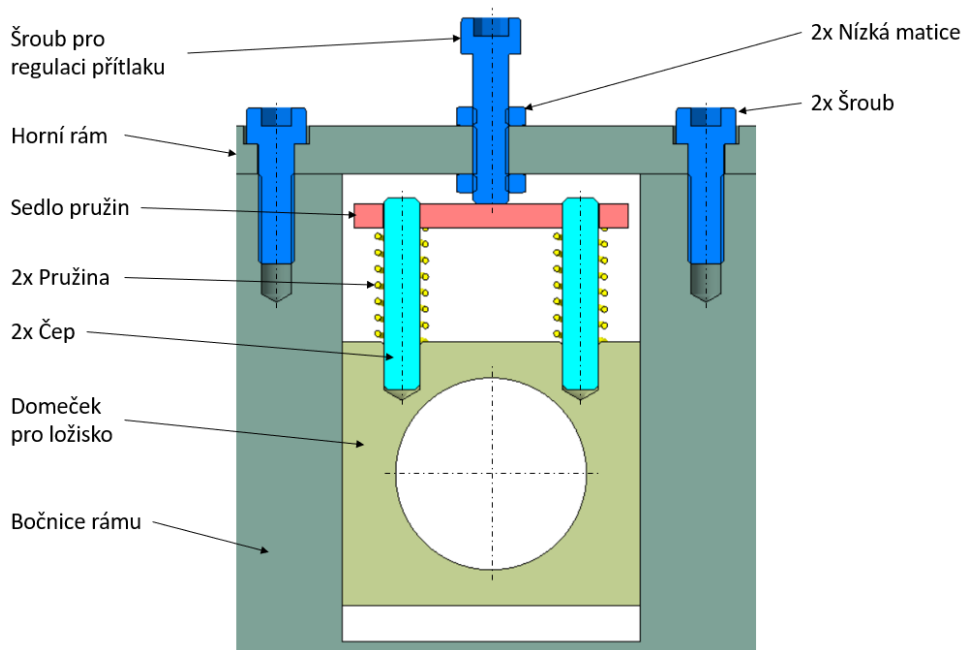
Obr. 7.5 Vedení ložiskového domečku v bočnici



Obr. 7.6 Řez regulace vzdálenosti pomocného a řezacího válce

### Regulace přítlaku pomocných válců (Obr. 7.7)

Regulace přítlaku pomocných válců je řešeno pomocí regulačního šroubu umístěného horizontálně v horním rámu, který tlačí na sedlo pružin. Čepy umístěné v domečku pro ložisko slouží jako vedení pro sedlo pružin a samotné pružiny. Sedlo pružin stlačuje pružiny a velikostí stlačení pružin pak udává velikost přítlaku horního válce na spodní.



Obr. 7.7 Řez regulace přítlaku pomocných válců

## Návrh pružin

Pro jednu stranu válce připadají dvě pružiny, což znamená že pro jeden válec jsou dohromady čtyři pružiny, s čímž se musí při navrhování pružiny počítat. Pro návrh pružin jsou dány následující parametry:

- pružina se musí dát nastrčit na kolík o průměru 5 mm
- délka pružiny ve volném stavu  $L_0 \leq 20 \text{ mm}$ , je dána kvůli zástavbovému prostoru procesní části, aby bočnice rámu zařízení nebyly příliš vysoké
- celková síla působícího horního válce na spodní při maximálním stlačení všech čtyř pružin má být minimálně 120 N  $\Rightarrow$  síla vyvinutá jednou pružinou při maximálním stlačení  $F_n \geq 30 \text{ N}$
- tuhost jedné pružiny  $c \leq 5 \text{ N/mm}$  určuje o kolik se zvětší síla přitlaku, jestliže se šroub otočí jednou dokola, jelikož šroub pro regulaci je se stoupáním 1 mm (M6x1)

Na základě těchto parametrů je vybrána pružina z katalogového listu (Obr. 7.8)  $d = 1 \text{ mm}$ ,  $D = 8 \text{ mm}$ ,  $L_0 = 19 \text{ mm}$ ,  $F_n = 33,15 \text{ N}$ ,  $c = 3,61 \text{ N/mm}$ .

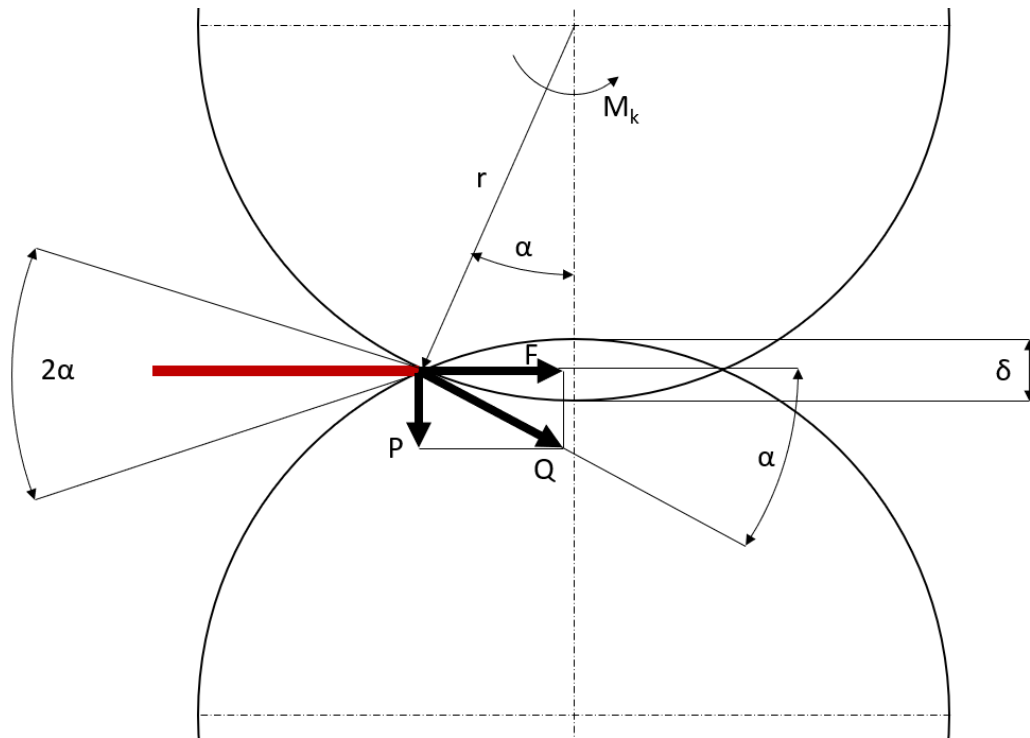
d	Dm	Lo	Ln	Trn	Pouzdro	F <sub>n</sub> (N)	c N/mm
		13,0	7,3				5,68
		19,0	10,1				3,61
1,0	8,0	28,5	14,3	6,5	9,6	33,15	2,33
		40,5	19,9				1,59
		59,0	28,3				1,08

Obr. 7.8 Část katalogového listu tlačných pružin [12]

## 7.3 Výpočet řezné síly

Prvním krokem výpočtu řezné síly je načrtnutí si schématu procesu řezání a vyznačení všech působících sil. Obrázek Obr. 7.9 zobrazuje geometrické parametry a rozklad sil, kde  $Q$  je obvodová síla, která se objeví v oblasti řezání a lze ji rozdělit na dvě složky, a to na normálovou sílu  $P$  a tažnou sílu  $F$ . Ze síly  $Q$  a poloměru kotoučového nože  $r = 25 \text{ mm}$  je vypočítán kroutící moment  $M_k$ , který je potřeba pro rotaci nože. Dalšími geometrickými rozměry vyznačenými na obrázku je úhel řezu  $2\alpha$  a hodnota průniku kotoučového nože do pomocného válce  $\delta$ , která je stanovena pro tento výpočet na 1 mm.



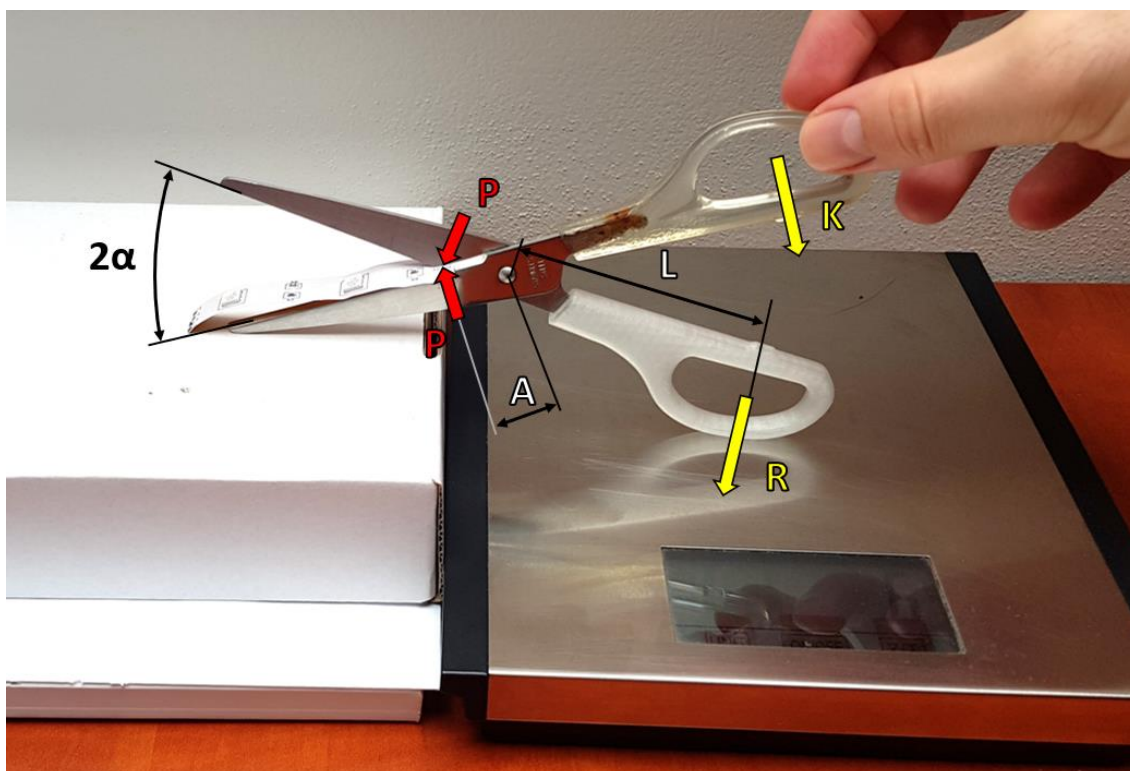


Obr. 7.9 Rozklad sil v procesu řezání

Prvním krokem výpočtu je nutné vypočítat řezný úhel.

$$\cos \alpha = \frac{r - \delta}{r} \rightarrow \alpha = 16,26^\circ \quad (7.1)$$

Síla řezání  $P$  se stanoví pomocí experimentu (Obr. 7.10), který zcela neodpovídá skutečnému řezání kotoučovým nožem, ale díky němu aspoň lze získat hrubou představu o hodnotách působících během řezání. Experiment spočívá v naměření hmotnosti vyvolanou rukojetí obyčejných nůžek při stříhání LED pásku. K experimentu je využito elektrické kuchyňské váhy, kancelářských nůžek a LED pásku. Jedna z částí rukojeti nůžek je umístěna na plochu elektrické váhy, která slouží ke stanovení normálové reakce  $R$  v okamžiku, kdy síla od ruky  $K$  působí na druhou část rukojeti nůžek. LED pásek je stříhán v místě, kde izolační materiál, tudíž v místě se stejnými vlastnostmi jako při stříhání desky. Pásek se stříhá při rozevřených nůžkách o hodnotě  $2\alpha$ . Ramena působících sil ke středovému kloubu nůžek jsou  $L = 70 \text{ mm}$  a  $A = 22 \text{ mm}$ .



Obr. 7.10 Experimentální měření řezací síly

Během stříhání LED pásku elektrická váha ukazovala 40 až 50 gramů. Pro výpočet je branná hodnota  $m = 50 \text{ g}$ . Z výše uvedených obrázku lze spočítat potřebné řezací síly a potřebný kroutící moment k řezání celé desky  $M_{k \text{ cel.}}$ .

$$R = m \cdot g = 0,49 \text{ N} \quad (7.2)$$

$$P = R \cdot \frac{L}{A} = 1,56 \text{ N} \quad (7.3)$$

$$Q = \frac{P}{\sin \alpha} = 5,57 \text{ N} \quad (7.4)$$

$$M_k = Q \cdot r = 0,006 \text{ Nm} \quad (7.5)$$

$$M_{k \text{ cel.}} = 35 \cdot M_k = 0,195 \text{ Nm} \quad (7.6)$$

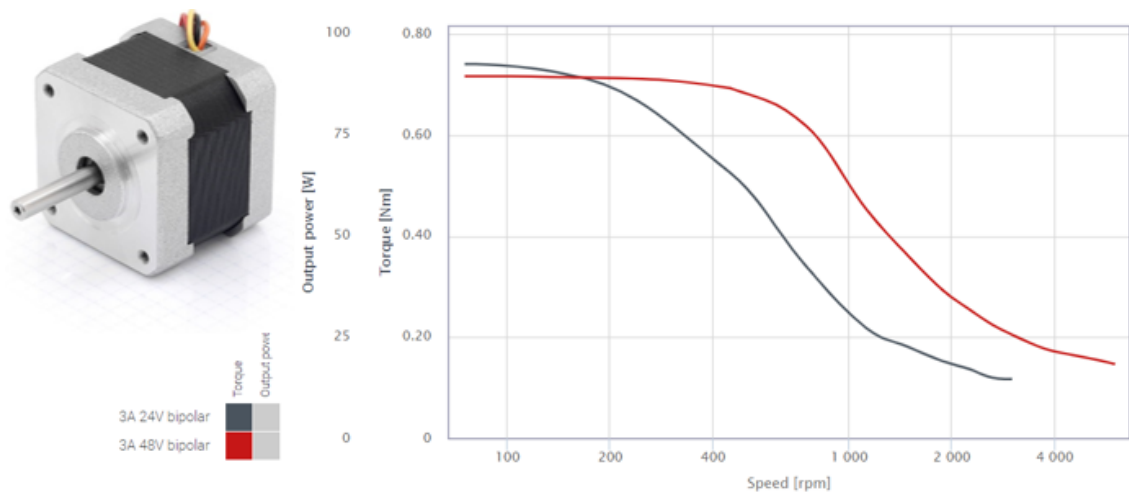
Potřebný kroutící moment pro pohyb hřídele se 35 noži je 0,195 Nm, což bude zohledněno při návrhu pohonu válců.

## 7.4 Návrh pohonu válců

### Pohon válců

Pro proces stříhání je zapotřebí rozdílných otáček dvojic válců, protože deska díky své flexibilitě by nebyla mezi válci napnutá, a tudíž poslední válce musí prověšení desky

dohnat vyššími otáčkami. Z tohoto důvodu je pro každou dvojici válců samostatný pohon. Otáčky válců se přepokládají maximálně do 100ot/min podle chování desky při jejím řezání. V předchozí kapitole byl vypočítán potřebný kroutící moment  $M_{k cel.} = 0,195 \text{ Nm}$  pro pohyb řezacího válce se 35-ti osazenými noži. Pro všechny hnané válce je na základě celkového kroutícího momentu navržen totožný elektrický krokový motor NEMA 17 - ST4118D3004-A (Obr. 7.11), který má v potřebném rozmezí otáček dostatečný kroutící moment s dostatečnou rezervou. Tento typ motoru je díky svým parametrům vhodný pro danou činnost.



Obr. 7.11 Krokový motor – NEMA 17 – ST4118D3004-A [13]

## Hřídelová spojka

Kroutící moment z krokového motoru na hřídel válce je třeba přenést pomocí hřídelové spojky. Jako vhodná hřídelová spojka je vybrána standartní pružná spojka s označením OLDHAM – MCOC15-5-5 (Obr. 7.12). Přípustný kroutící moment vybrané spojky je 1,6 N/m, což je vzhledem k vybranému pohonu dostačující. Spojka je schopna vyrovnávat radiální, axiální a úhlové vychýlení. Spojka se skládá z dvou kovových nábojů, flexibilního středu a dvou šroubů. Náboje jsou na konce hřídelů, mezi kterými je potřeba přenášet kroutící moment připevněny pomocí svěrného uložení.

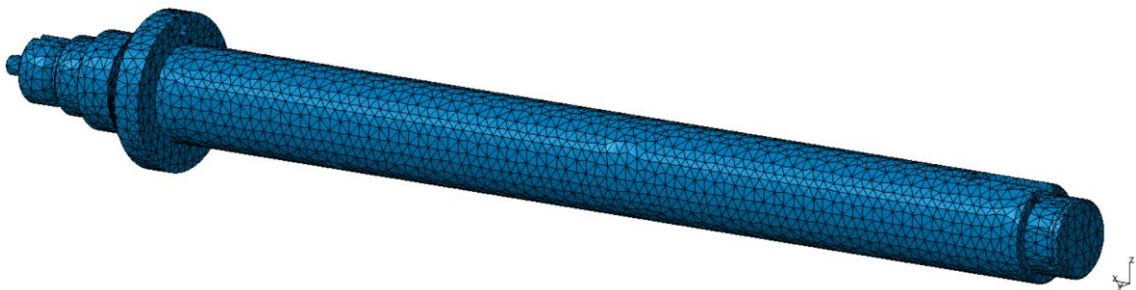


Obr. 7.12 Hřídelová spojka – OLDHAM – MCOC15-5-5 [14]

## 7.5 Analýza deformace hřídele řezacího válce

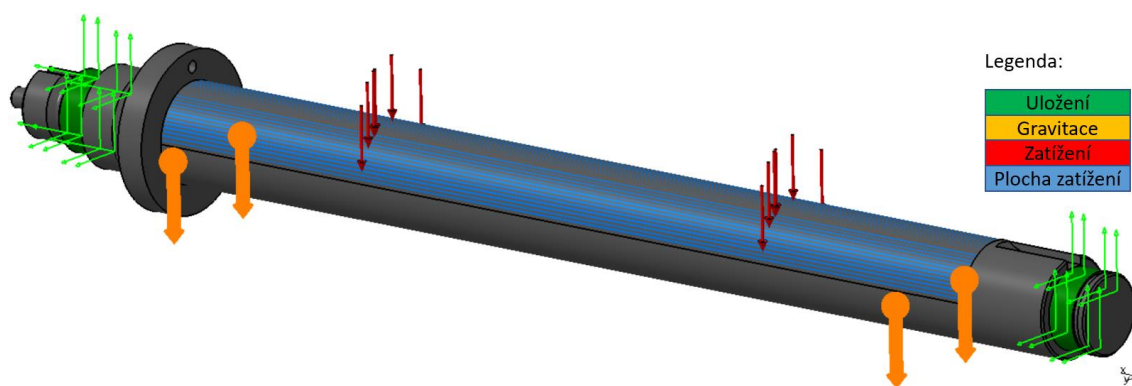
Jeden z faktorů úspěšného řezání desky na pásy je to, aby deska byla řezána rovnoměrně. Jednotlivé kotoučové nože musí během řezání na desku působit stejnými silami. V kapitole, kde je řešen výpočet řezné síly je daná hodnota  $\delta$  (hodnota průniku kotoučového nože do pomocného válce), která má vliv na řezný úhel  $\alpha$ . Pokud by byla hodnota  $\delta$  podél řezného válce znatelně proměnná, byl by i znatelně proměnný řezný úhel a tím pádem i řezná síla. Z tohoto důvodu je potřeba kontrola průhybu hřídele, na kterém jsou umístěné kotoučové nože.

Prvním krokem je nadefinování materiálových vlastností hřídele, která je z ocele. Materiálové vlastnosti jsou: Youngův modul pružnosti  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ , Poissonova konstanta  $\mu = 0,3$  a hustota ocele  $\rho = 7860 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$ . Dále je vygenerována síť konečných prvků (Obr. 7.13) s adekvátní velikostí elementů.



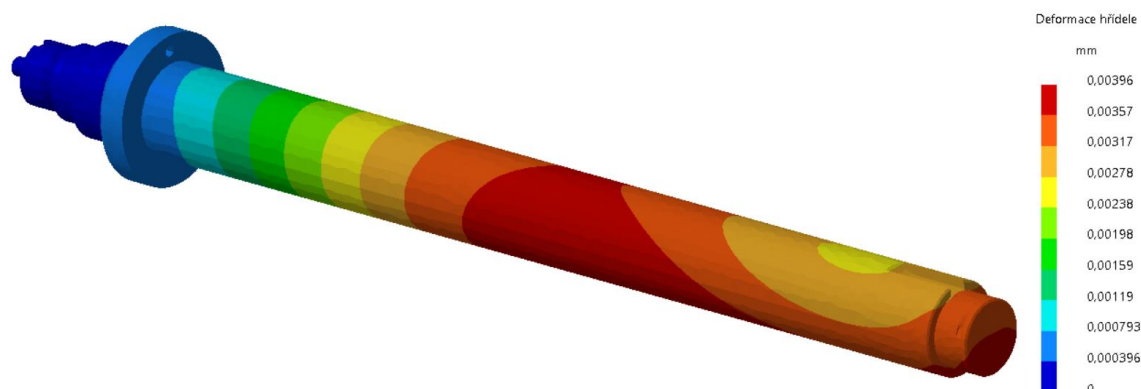
Obr. 7.13 Vygenerování sítě konečných prvků

Důležitým krokem analýzy je správné zadání okrajových podmínek (Obr. 7.14). Hřídel je uložena v levé části pevně a na pravé straně posuvně. Hřídel je zatížena svou vlastní vahou, gravitační silou od hmotnosti členů ( $50 \text{ N}$ ), které jsou umístěny na hřídeli a zatížení od řezné síly  $P_{35} = 55 \text{ N}$ .



Obr. 7.14 Okrajové podmínky

### Výsledky analýzy deformace (Obr. 7.15)



Obr. 7.15 Deformace hřídele

Z výsledků analýzy deformace hřídele plyne, že největší deformace je  $0,004 \text{ mm}$  uprostřed ve spodní části. Tento výsledek je relativně malý a lze jej zanedbat.

Dalším výstupem z analýzy jsou reakce v uložení. Výsledná reakce na levé straně hřídele vyšla  $65,7 \text{ N}$  a na pravé  $51,3 \text{ N}$ . Větší reakce bude využita při kontrole ložisek.

## 7.6 Návrh ložisek

Pro soustavu válců je navržen stejný typ ložiska. Jedná se o kuličkové ložisko typu W 61804–2RS1 (Obr. 7.16). Ložisko je navrženo podle rozměru vhodných k uložení hřídele do rámu. Kontrola ložiska se provede podle největší reakce v uložení. Parametry navrženého ložiska jsou následující:



Obr. 7.16 Kuličkové ložisko W 61804–2RS1 [14]

$$d = 20 \text{ mm}, D = 32 \text{ mm}, B = 7 \text{ mm}, C = 3120 \text{ N}, C_0 = 2080 \text{ N}$$

### Reakce v uložení

Pro kontrolu ložiska je zapotřebí nejprve nalézt největší reakci v uložení. Jedna z možností největší reakce je u řezacího válce. V minulé kapitole analýzy deformace hřídele řezného válce vyšla reakce v uložení  $65,7 \text{ N}$ . Druhá možnost je u spodního pomocného válce při maximálním možném přitlaku horního pomocného válce. V úvahu jsou brány hmotnosti pomocných válců a maximální přitlak, z čehož vyplývá, že je reakce v jednotlivých uložení spodního pomocného válce je okolo  $25 \text{ N}$ . Tudíž pro kontrolu navrhnutého ložiska se použije reakce v uložení  $F_R = 65,7 \text{ N}$ . V systému nevznikají žádné axiální síly a pro výpočet se uvažuje pouze radiální síla působící na ložisko. Kontrola ložisek je počítána podle tohoto zdroje [15].

### Statické zatížení

Statické ekvivalentní zatížení:

$$P_0 = F_R = 65,7 \text{ N} \quad (7.7)$$

Součinitel bezpečnosti valivého ložiska při statickém zatížení:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{2080}{65,7} = 31,7 \quad (7.8)$$

### Dynamické zatížení

Dynamické ekvivalentní zatížení:

$$P = F_R = 65,7 \text{ N} \quad (7.9)$$

Trvanlivost v hodinách:

kde  $n = 100 \text{ ot/min}$

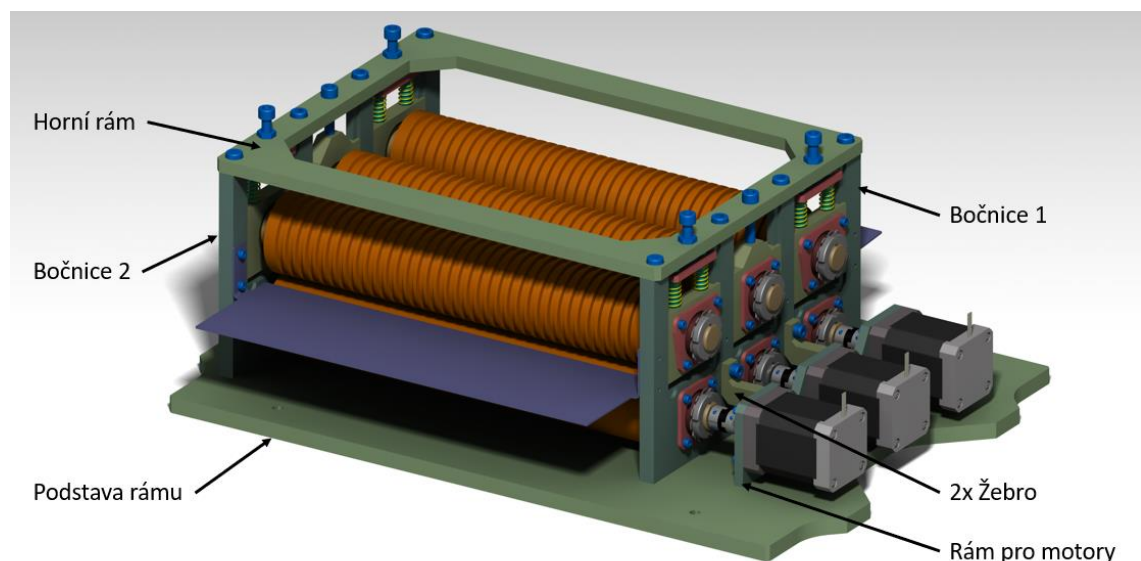
$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 17,85 \cdot 10^6 \text{ hodin} \quad (7.10)$$

Z hodnot součinitele statické bezpečnosti a trvanlivosti v hodinách vyplývá, že ložiska jsou výrazně předdimenzována, proto je potřeba zdůraznit, že ložiska jsou navržena na základě rozměrů hřídele. Jelikož se jedná o poměrně malá ložiska, není zde zas tak vysoký cenový skok mezi jinými, které by nevykazovaly veliké předdimenzování.

## 7.7 Rám zařízení

### Rám válců

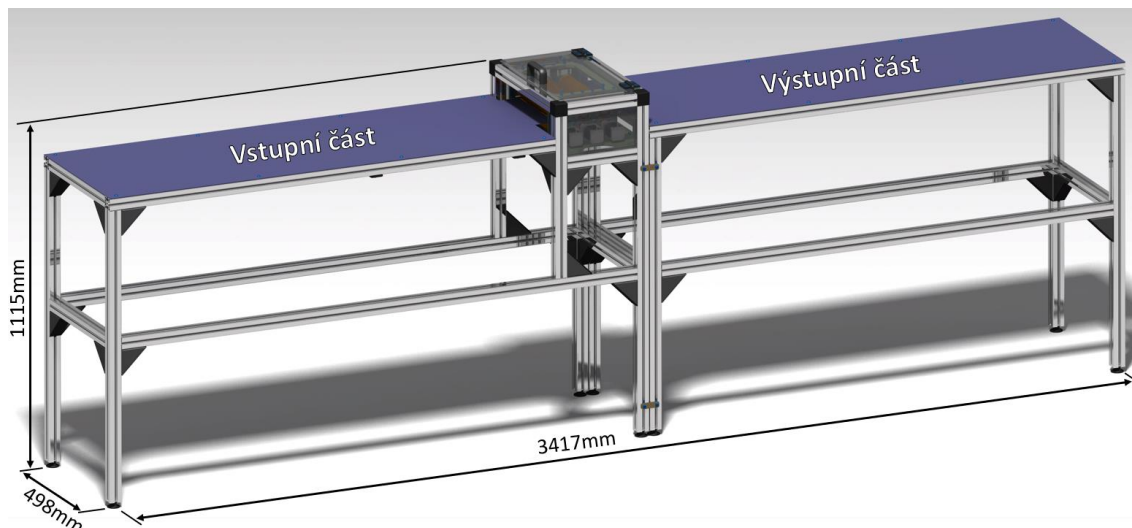
Díly rámu, v němž jsou uloženy válce, musí být vyroben s dostatečně vysokou přesností, aby nedocházelo ke zkosu nebo jinému osovému křížení válců, které by vedlo ke zhoršení kvality stříhání. Rám je tvořen podstavou, dvěma bočnicemi, horního rámu, rámu pro motory a dvěma žebry mezi bočnicí 1 a rámem pro motory. Rám je vytvořen z jednoduchých obrobených výpalků z oceli 1.0122, které jsou k sobě sešroubovány v jeden celek (Obr. 7.17).



Obr. 7.17 Procesní část

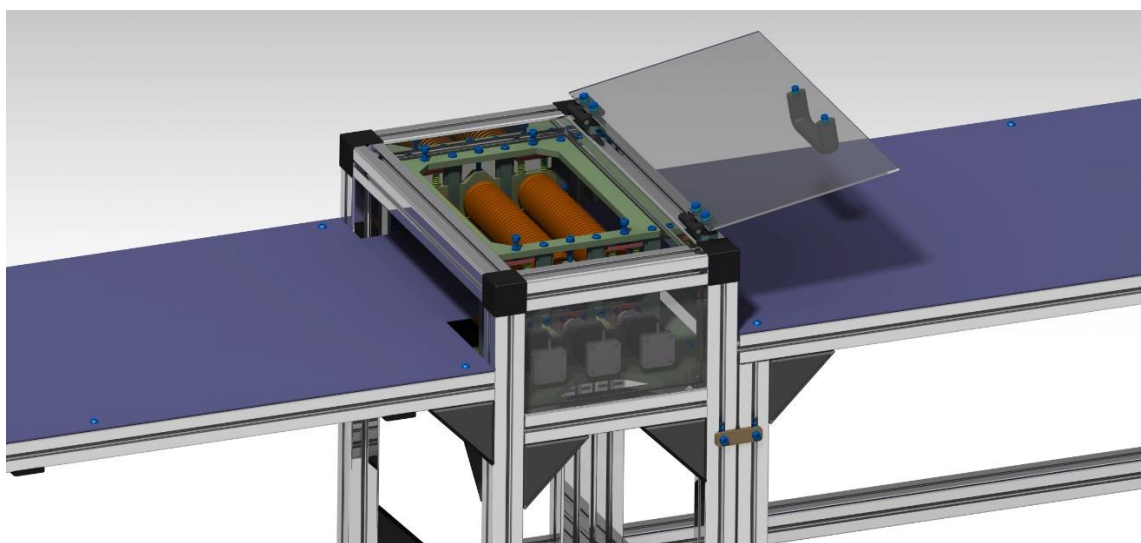
### Rám stolu

Kompletní zařízení je složeno ze vstupního a výstupního stolu (Obr. 7.18), které jsou spolu spojeny. Na obrázku jsou zobrazeny základní rozměry zástavbového prostoru. Procesní část je uložena ve vstupním stole. Rozdělení stolu na vstupní a výstupní část je kvůli velké délce celého zařízení a také možnosti využití pouze vstupního stolu, který by se přidal, k již existujícímu pracovišti, kde jsou zpracovávány nastříhané LED pásy. Konstrukce stolu je vytvořena na základě dostupných komponent nabízených v katalogovém prospektu od firmy Haberkorn [16]. Využili se čtvercové hliníkové profily 40x40. Nohy rámu jsou opatřeny polohovacími koncovkami, díky kterým lze nastavit výšku pracovní plochy v řádech pár centimetrů a také zajistit stabilitu zařízení kvůli nerovnosti podlahy.



*Obr. 7.18 Rám stolů*

Procesní část je dokola zakryta plexisklem kvůli bezpečnosti. Přístup k válcům je ze shora, kde je plexisklo připevněné na pantech (Obr. 7.19).



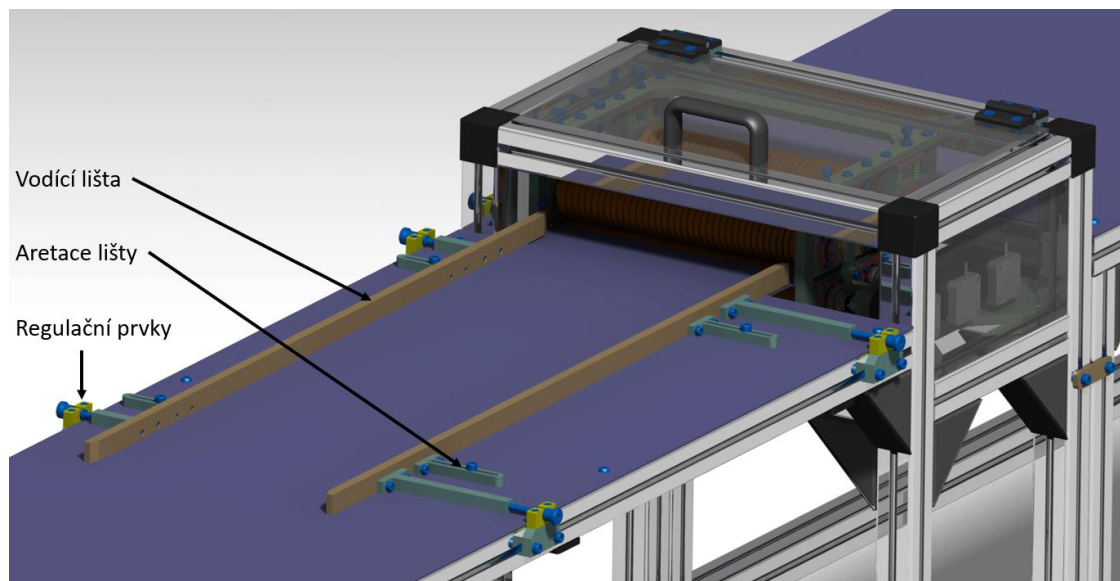
*Obr. 7.19 Zakrytí procesní části*

### **Vstupní vedení pro desku (Obr. 7.20, Obr. 7.21)**

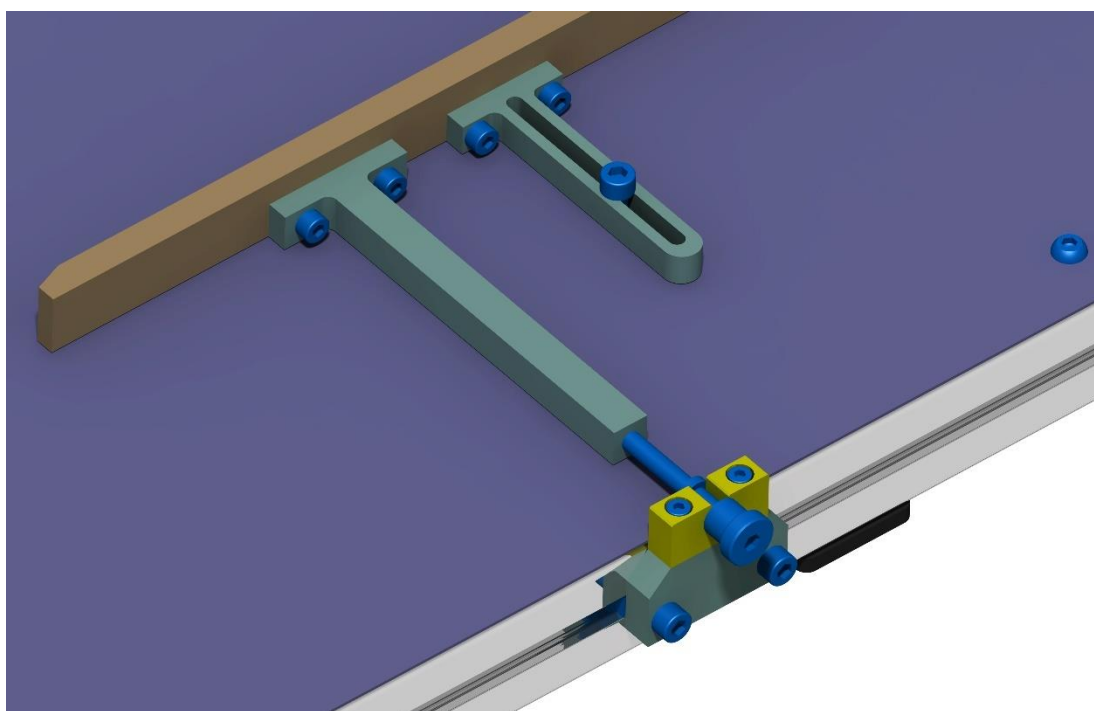
Vodící lišty slouží ke kolmému navádění desky mezi válce, z čehož se i odvíjí přesnost řezu. Tato sestava se skládá ze dvou lišt, čtyř regulačních mechanismů a čtyř aretačních mechanismů. Regulační mechanismus je složen ze seřizovacího šroubu, který je otočně uložen v ložiskovém bloku. Pomocí seřizovacího šroubu lze nastavit potřebnou polohu vodící lišty tak, aby se deska posouvala kolmo k válcům. Po nastavení dané



polohy se pomocí šroubu zafixuje poloha lišt zašroubováním šroubů do matek umístěných v rámu stolu pod deskou stolu.



*Obr. 7.20 Vstupní vedení pro desku*



*Obr. 7.21 Detail regulace a aretace vedení pro desku*

## 8 Optimalizace konstrukčního návrhu

### 8.1 Metody detailního konstruování – DFX

Cílem těchto metod je pozitivně ovlivnit náklady již ve fázi návrhu. K tomu se používá soubor metod, které se souhrnně nazývají jako Design for X (DFX), kde X symbolizuje soubor metod v závislosti na konkrétních cílech metody. Existuje velké množství metod, s jakým ohledem má být daný výrobek konstruován. Níže je uvedeno pár příkladů, které se často používají při optimalizaci konstrukčních návrhů.

- Design for Manufacture (DFM) – konstruování s ohledem na výrobu
- Design for Assembly (DFA) – konstruování s ohledem na montáž
- Design for Disassembly (DFD) - konstruování s ohledem na demontáž
- Design for Environment (DFE) - konstruování s ohledem na životní prostředí
- Design for Maintainability (DFMT) – konstruování s ohledem na snadnou údržbu
- Design for Packing (DFP) – konstruování s ohledem na snadné balení apod. [10]

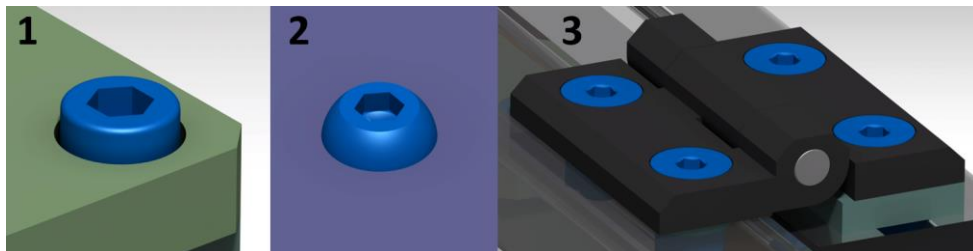
Aplikací těchto metod lze docílit lepšího uspokojení zákazníka díky konstrukčnímu zpracování produktu a snížení výrobních nákladů, které se ve fázi výroby obtížně redukuje. V následujících kapitolách jsou na konstrukční návrh aplikovány metody DFA, DFM a DFD. V tomto případě se jedná o zařízení kusové výroby, kde aplikované metody nemají takový vliv jako u sériové a hromadné výroby, kde se výrobní činnosti několikrát opakují.

#### 8.1.1 Metoda DFA (Design for Assembly)

Metoda DFA (Design for Assembly) je proces, při kterém jsou produkty navrhovány s ohledem na snadnou montážní činnost, čímž se snižují náklady. Cílem této metody je zjednodušit montážní operace optimalizací počtem součástí, jednoduchost dílů, zvolení vhodných spojovacích prvků atd. Na základě metody DFA jsou zde uvedeny úpravy konstrukčního návrhu zařízení.

## Typ spojů

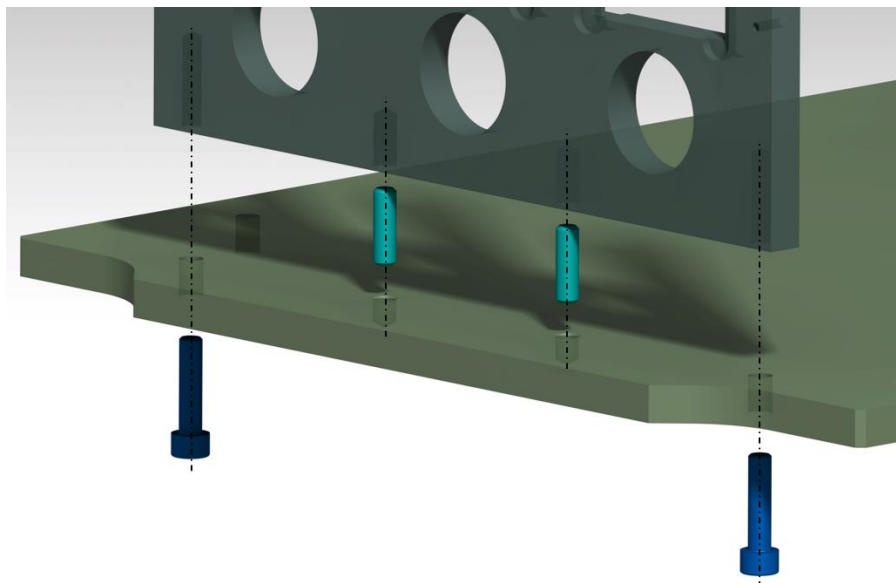
Volba vhodného typu spojů se v konstrukčním návrhu používají šroubové spoje, které mají výhodu jednoduchosti montáže a nízkých nákladů. Dále je snaha využít pouze jeden typ šroubů, respektive pro jeden typ utahovacího nástroje. Šrouby jsou zvoleny s vnitřním šestihranem znázorněné na Obr. 8.1, ale ne vždy se stejným tvarem hlavy. Z dřívější většiny jsou použity šrouby s válcovou hlavou (1), které ale nejsou zcela vhodné pro upevnění desky stolu k jejímu rámu, jelikož jsou šrouby na pracovní ploše, kde obsluha manipuluje s polotovarem nebo nařezanými pásky. Z tohoto důvodu je zvolen knoflíkový šroub (2) se zaoblenou hlavou a vnitřním šestihranem. Dále jsou použity zápusťné šrouby (3) u standardizovaných pantů, což vyžadována samotná konstrukce pantů.



Obr. 8.1 Použité typy šroubů

## Uspřádání montáže

Jelikož u procesní části se bočnice přišroubovává k podstavě zespoda, jsou přidány kolíky pro snadnější montáž (Obr. 8.2).

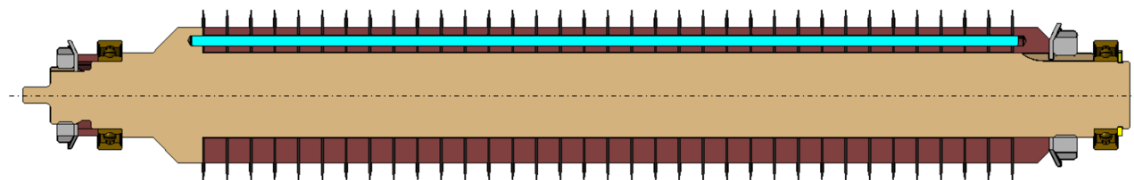


Obr. 8.2 Montáž bočnic k základně

Usnadnění montáže spočívá v aplikaci stavebnicového systému z hliníkových profilů, sloužící ke stavbě jednoúčelových strojů a zařízení. K montáži není potřeba kvalifikovaná osoba, jako u svařovaných konstrukcí. Montáž lze provést přímo na místě, ve kterém bude zařízení uvedeno do provozu, a to za pomoci úhlových spojek, díky kterým se profily nemusí nijak upravovat.

### **Redukce počtu součástí**

Dalším důležitým bodem metody je optimalizace počtu součástí, která je aplikováno u řezacího válce. Zde jsou nahrazeny kolíky jednou dlouhou tyčí (Obr. 8.3), která zajistí, aby se nože v průběhu řezání nemohly pootočit.



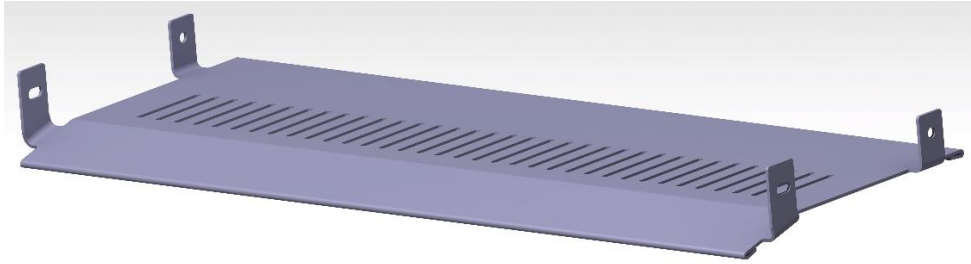
*Obr. 8.3 Redukce dílů na řezacím válci*

## **8.1.2 Metoda DFM (Design for Manufacture)**

Metoda DFM je proces zaměřený výrobu jednotlivých součástí tak, aby navržený díl mohl být daným výrobcem bez problému vyroben. Snadnost vyrobitelnosti součástí výrazně snižuje výrobní náklady produktu. Vliv na náklady dílů má například typ zvoleného materiálu, samotný tvar součástí a požadované tolerance, s jakou má být součást vyrobena.

Vyráběné díly v konstrukčním návrhu jsou z velké části vypalované polotovary z plechů o maximální tloušťce 12 mm. Vypálené polotovary jsou dále obráběny na požadovaný tvar. Díly jsou navrženy tak, aby nebylo nutné obrábět do složitých tvarů.

Využití metody DFM je dále u návrhu ohýbaných plechů, kde ohyby jsou navrženy se sjednoceným poloměrem ohybů na celém výrobku, což redukuje nutnost výměny nástroje a tím šetří dobu a náklady na výrobu.



*Obr. 8.4 Návrh ohýbaného plechu*

Dalším využívaným polotovarem je kulatina ke tvorbě hřídelů a pomocných válců, kde je důležité dodržovat předepsané rozměry zápchů, drážek a rozměry délky závitů ve slepých dírách podle příslušných norem [17].

### **8.1.3 Metoda DFD (Design for Disassembly)**

Metoda zaměřená na konstruování s ohledem na snadnou demontáž má za cíl výrobek snadno oddělit na jednotlivé díly bez jejich poškození. Díky vhodně zvoleným šroubovým spojům využívaným v celém zařízení, tak toho lze docílit. Důvodem je možnost provádět jednoduché výměny či opravy poškozených dílů. Dalším důvodem je důraz na ekonomickou likvidaci, kde lze díly snadno roztřídit podle jejich materiálu a tím je recyklovat.

## **8.2 FMEA-K**

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) je analytická metoda, která identifikuje a hodnotí možná místa vzniku vad a poruch. Jde o systematickou kontrolu produktu nebo procesu, při kterém se zkoumají možná místa, způsoby, důsledky a příčiny poruch. Dané poruchy se následně kvalifikují a vyhodnotí se tzv. rizikovým číslem (RPN), které když v tomto případě překročí hodnotu 100, tak se na danou možnou poruchu navrhuje opatření, kterým se sníží výskyt poruchy a tím pádem i rizikové číslo.

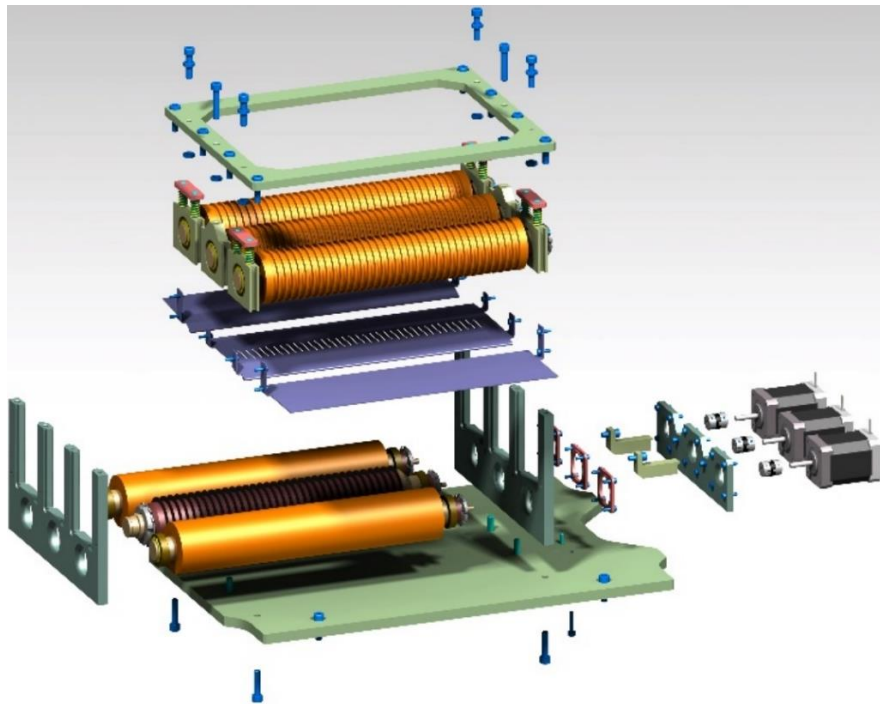
FMEA-konstrukční (FMEA-K) je metoda zaměřená na odhalování všech potenciálních poruch v konstrukčním návrhu. Používá se v předvýrobních etapách na preventivní odstranění možných chyb a závad. V této práci je FMEA-K zpracována pro konstrukční návrh zařízení pro střihání flexibilních LED pásek (Tabulka 8.1).

Tabulka 8.1 FMEA-K

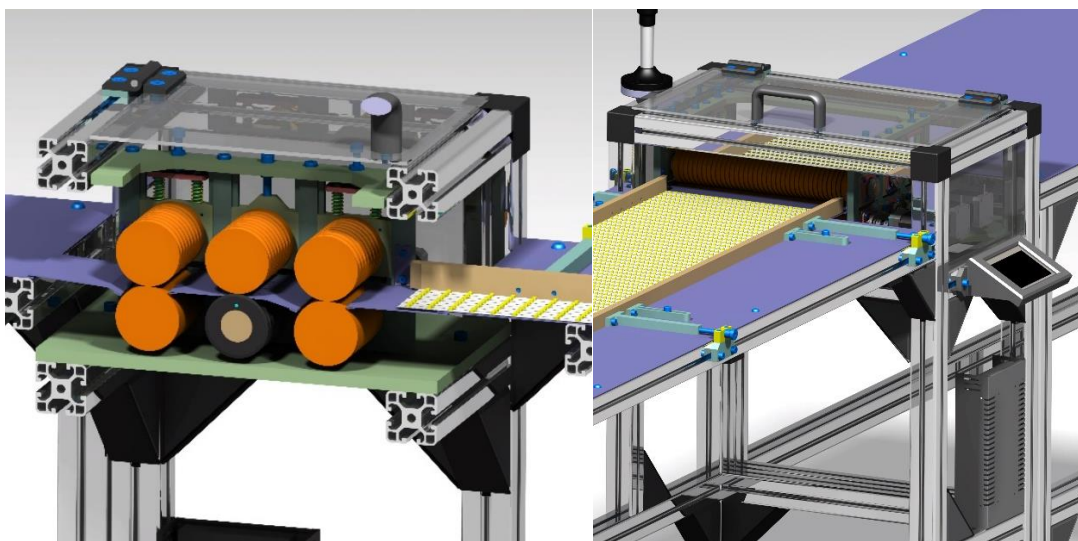
FMEA-K Zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek															
Součást	Místo poruchy	Možný způsob poruchy	Možný důsledek poruchy	Možné příčiny poruchy	Běžné kontroly	Současný stav				Návrh opatření	Provedené opatření	Výsledný stav			
						Výskyt	Závažnost	Detekce	RPN			Výskyt	Závažnost	Detekce	RPN
Pomocné válce	Osa	Průhyb	Špatné posouvání polotovaru	Konstrukce, materiál válce	FEM analýza	4	7	3	84						
		Kruhové házení	Špatné posouvání polotovaru	Nevhoná tolerance	Rozměrová analýza	5	6	3	90						
Hřídel řezacího válce	Osa	Průhyb	Nestabilní řezání	Nevhodná konstrukce/materiál	FEM analýza	4	10	3	120	FEM analýza	Změna materiálu	2	10	3	60
Kotoučový nůž	Ostří	Otupené	Nestabilní řezání	Nevhodný materiál	Experimentální ověření	2	8	3	48						
Pohon	Elektro motor	Netočí se	Poškození motoru	Nedostatečný točivý moment	Experimentální ověření	5	10	2	100	Experiment a výpočet $M_k$	Volba vhodného pohonu	3	10	2	60
Rám stolu	Úhlová spojka	Nedrží	Nestabilita rámu	Poddimenzovaný spoj	Zvoleno dle zatížení	2	9	3	54						
	Hliníkové profily	Průhyb	Nedostatečná tuhost	Nevhodný typ profilu	FEM analýza	4	8	3	96						
Soustava válců	Mezera mezi válci	Spadnutí polotovaru mezi válce	Ztráta hlavní funkce	Nepřítomnost bariéry	Experimentální ověření	5	9	3	135	Návrh bariéry	Přidání bariéra	3	9	3	81
Hřídelová spojka	Svěrný spoj	Nedrží	Nefunkčnost zařízení	Poddimenzovaný spoj	Kontrola přenášeného $M_k$	2	6	2	24						
Bočnice - domek pro ložiska horních válců	Vertikální vedení domků	Drhne	Nelze regulovat přítlak	Nevhoná tolerance	Rozměrová analýza	3	7	4	84						
				Nenamazáno	Mazání	2	6	6	72						
Vodící lišta polotovaru	Kontaktní plocha s deskou stolu	Nedoléhá	Polotovar se zasekává v mezeře	Nevhoná tolerance	Vizuální kontrola	3	6	4	72						
Ložiska	Celek	Netočí se	Ztráta hlavní funkce	Nedostatečná životnost	Výpočet životnosti	4	8	4	128	Výpočet životnosti	Volba ložiska s dostatečnou životností	2	8	4	64
	Valivá tělíska	Drhnou	Hluk	Nečistoty	Zkušenost	4	5	4	80						

## 9 Představení finálního zařízení

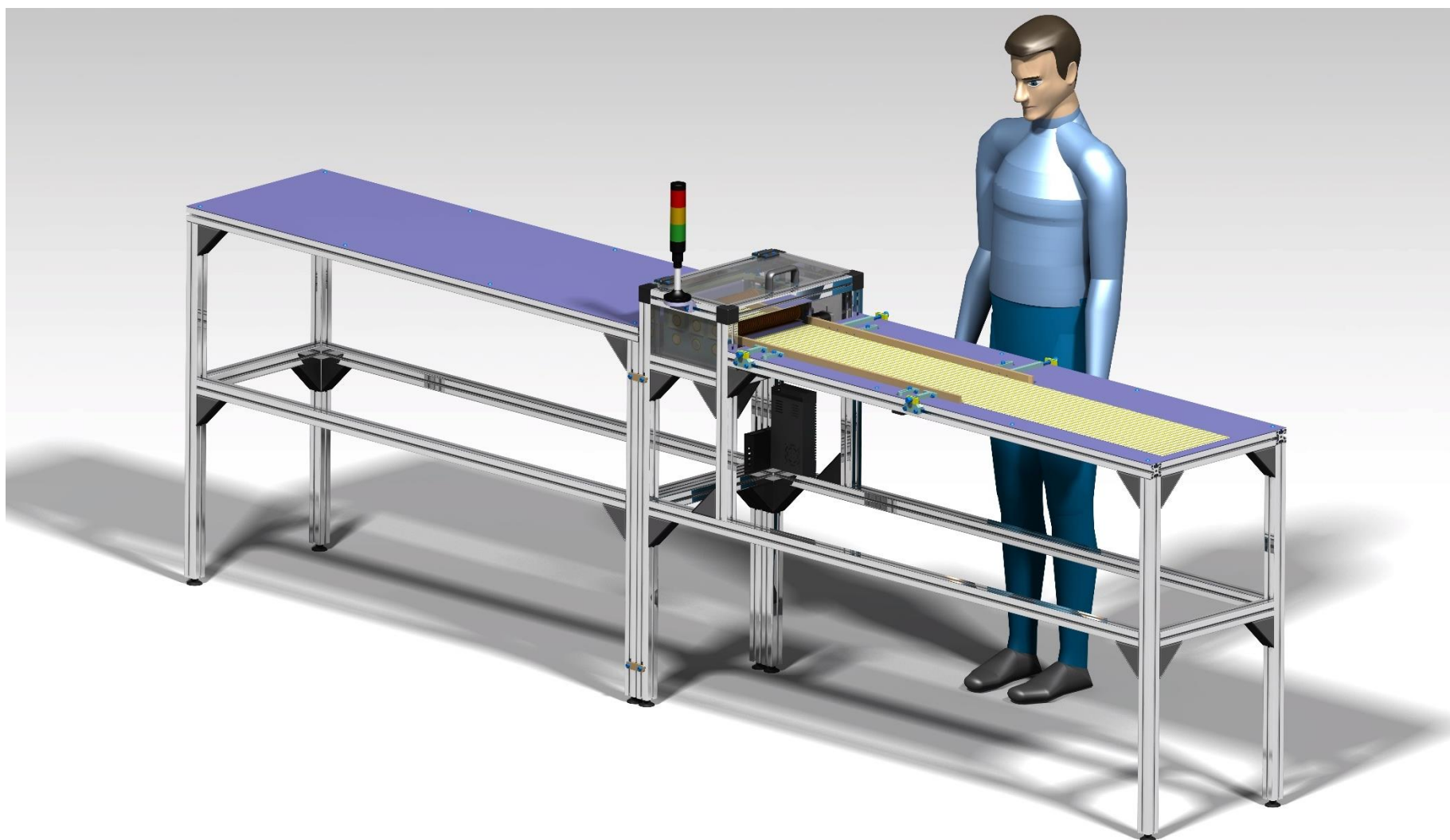
V této kapitole je představeno finální zařízení sloužící pro stříhání flexibilních LED pásek (Obr. 9.1, Obr. 9.2, Obr. 9.3). Do konstrukčního návrhu se zaimplementovala elektronika jako napájecí zdroj, řídicí deska a ovládací display. Dále je do modelu přidána řezaná deska o zadaných rozměrech. Pro snadnější vizuální představu o rozměrech zařízení je k sestavě je přidán model obsluhy vysoký 185 cm. Součástí této práce je výkresová dokumentace inovovaného zařízení, která zobrazuje vybrané sestavy a díly.



*Obr. 9.1 Procesní část – explode view*



*Obr. 9.2 Finální konstrukce zařízení – detail*



*Obr. 9.3 Finální konstrukce zařízení – celek*



## 10 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení se zabývá přibližným naceněním zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek vytvořeného v konstrukčním návrhu. Zařízení se skládá z nakupovaných a vyráběných dílů. Nakupované díly jsou naceněny na základě dodavatelů polotovarů, spojovacích materiálů, motorů atd. Vyráběných dílů je odhadnuta cena na základě potřebné práce na daném dílu (600Kč/hodinu). K nacenění vypalovaných dílů pomocí laseru je provedeno mocí softwaru WRYKRYs do kterého se nahrály DXF formáty vypalovaných dílů zobrazující dráhu řezu. V softwaru se nastavily ceny různých činností stroje, přičemž nejvýznamněji cenu dílů ovlivňuje cena řezu jednoho metru (100 Kč/m) a cena průpalu (2 Kč/průpal). Náklady na pořízení jednotlivých položek pro zařízení je uvedeno v tabulce níže (Tabulka 10.1).

Tabulka 10.1 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení finálního konstrukčního návrhu						
Sestava	Součást	Technologie	Popis, materiál	Cena za 1ks [Kč]	Počet ks	Cena [Kč]
-	Ocelové plechy pro výpalky	Nakupované EN 10025-2	1.0122 - 12x1000x1000	-	1	5000
			1.0122 - 10x500x500	-	1	1000
			1.0038 - 4x1000x500	-	1	800
		Nakupované EN 10130	1.0330 - 1,5x1250x2000	-	1	1500
Procesní část	Pomocné válce	Polotovar	Polyamid Ø50x1500	-	1	800
		Obrábění	-	-	5	3000
	Hřídel řezacího válce	Polotovar	1.0038 Ø40x350	-	1	200
		Obrábění	-	-	1	1200
	Koncovky hřídelů	Polotovar	1.0038 Ø24x500	-	1	80
		Obrábění	-	-	10	6000
	Vymezovací kroužky nožů	Polotovar	1.0038 Ø40x350	-	1	200
		Obrábění	-	-	36	7200
	Distanční kroužky	Polotovar	11 353.1 Ø25x4,0x100	-	1	40
		Obrábění	-	150	6	900
	Kotoučové nože	Kupovaný	-	300	35	10500
	Pomocné plechy	Vypálení	-	-	3	800
		Ohýbání	-	-	3	400
	Obráběné díly	Vypálení	-	-	23	1270
Obrábění		-	-	23	8400	
Ložiska	Nakupované	W 61804-2Z	380	12	4560	

	Pojistné kroužky	Nakupované	Hřídel 20 - DIN 417	5	6	30
	KM 3 Matice	Nakupované	-	115	6	690
	MB 3 Pojistná podlož.	Nakupované	-	20	6	120
	KM 5, MB 5	Nakupované	-	-	2	180
	Spojovací prvky	Nakupované	Šrouby, matice, kolíky	-	93	360
	Pružiny	Nakupované	d1-D8-L19-c3,61	40	8	320
	Krokové motory	Nakupované	NEMA 17 ST4118D3004-A	900	3	2700
	Hřídelové spojky	Nakupované	MCOC 15-5-5	340	3	1020
Vstupní vedení pro desku	Obráběné díly	Vypálení	-	-	14	730
		Obrábění	-	-	14	4200
	Spojovací prvky	Nakupované	Šrouby, matice	-	48	320
	Regulační šroub	Nakupované	GN 827-M6x1-50-NG-S	315	4	1260
	Blok pro reg. šroub	Nakupované	GN 828-6-AU-10-AM	405	4	1620
Stůl vstupní a výstupní	Desky stolů	Vypálení	-	-	2	900
	Šrouby, matice pro uchycení desky	Nakupované	BCB6-12, 23010.0081	-	32	520
	Hliníkové profily	Nakupované	Profil 8 40x40	-	35	5800
	Úhlové spojky	Nakupované	Úhelník 40x80	200	40	8000
	Rohový úhelník	Nakupované	40x40x40	165	4	660
	Panty	Nakupované	GN 237-ZD-50-50-A-SW	170	2	340
	Madlo	Nakupované	M.643/110 B-M5	-	1	100
	Plexisklo	Nakupované	PLEXIGLAS XT 3mm	-	3	410
	Polohovací noha	Nakupované	LX.40-SW17-SST-M8x50	40	8	320
	spojení stolů	Nakupované	Šrouby, matice	-	16	180
	Výpalky	Vypálení	-	-	6	150
Ostatní díly	Napájecí zdroj	Nakupované	-	-	1	3500
	Řídicí jednotka		-	-	1	4000
	Ovládací panel		-	-	1	2500
	Světelná signalizace		-	-	1	1800
	Kabeláž		-	-	-	500
<b>Celková cena potřebných dílů [Kč]</b>						<b>97080</b>

Vyčíslením všech položek je výsledná cena zařízení 97 080 Kč. Do této ceny nejsou zahrnuty náklady za montáž, dopravu a naprogramování zařízení.

# 11 Zhodnocení

Diplomová práce se zabývala inovací zařízení pro stříhání flexibilních LED pásek. Cílem práce tedy bylo navrhnout a inovovat zařízení podle zadaných specifikací, které finální konstrukční návrh splňuje.

Prvním krokem práce bylo seznámení se s danou problematikou a vstupním polotovarem, kterým je flexibilní deska osazená diodami. Dále následoval průzkum trhu, kde převážná většina se nachází právě v Číně. V rámci průzkumu trhu byly hledány i zařízení, která řezou pevné LED pásky, ale také zařízení z jiných průmyslových odvětví řezající obdobné polotovary na pásky. Byl proveden také patentový průzkum.

Na základě poznatků z rešerše byly navrženy a popsány čtyři koncepty, které znázorňovaly různé principy řezání desky na pásky. U jednoho z konceptů, který byl inspirován z průzkumu trhu bylo využito 40 invenčních principů na jeho optimalizaci. Výběr nejvhodnějšího konceptu byl uskutečněn pomocí metody AHP. Byl vybrán koncept A, který byl založen na principu řezání desky na pásky pomocí soustavy válců s kotoučovými noži. Vybraný koncept byl dále zpracován do konstrukčního návrhu. Bylo provedeno zjednodušené experimentální měření velikosti řezné síly za pomoci obyčejných kancelářských nůžek a elektrické kuchyňské váhy. Na základě velikosti řezných sil a hmotnosti součástí byl analyzován průhyb hřídele pomocí metody konečných prvků a početní ověření navržených ložisek.

Konstrukční návrh byl podroben inovačním metodám s cíl odhalit případné nedostatky ve fázi návrhu. V práci byl diskutován soulad konstrukčního řešení s metodami DFX, které byly popsány na vybraných příkladech. Pomocí metody FMEA-K bylo navržené zařízení zkoumáno z hlediska možných budoucích poruch a jejich příčin.

Vytvořený konstrukční návrh byl podroben ekonomickému zhodnocení. Byla zpracována tabulka s jednotlivými naceněnými položkami, kde výsledná cena pořízení zařízení byla vyčíslena na 97 080 Kč.

## Použitá literatura

- [1] *MODUS* [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://www.modus.cz/>
- [2] *Neonica Polska* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://neonica.eu/webpage/video-of-neonica-polska.html>
- [3] *Yush Eletronic Technology Co.,Ltd* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: [http://hk-yush.com/wproducts\\_content-180769.html](http://hk-yush.com/wproducts_content-180769.html)
- [4] *Shenzhen Pengchuangxin Automation Equipment Co., Ltd.* [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <http://www.pcxautomation.com/>
- [5] *Espacenet patent search* [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet.html>
- [6] *Patentscope* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf>
- [7] *Slitting method for LED lamp band with combined jointed boards and integrated adhesive glue board and LED lamp band.* CN103994356A.
- [8] *Manual soft lamp strip board separator.* CN208323510.
- [9] MAŠÍN, Ivan a Pavel JIRMAN. *Metody systematické kreativity.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3.
- [10] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství: plánování a návrh inovovaného výrobku.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [11] SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process.* New Yourk: McGraw Hill, 1980.
- [12] *Mateza spol s r.o. - Katalogový list - Pružiny tlačné* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: [https://www.mateza.cz/images/shop/documents/category/6057d85fdf89b\\_136502.pdf](https://www.mateza.cz/images/shop/documents/category/6057d85fdf89b_136502.pdf)

- [13] *Nanotec - Krokové motory - ST4118D3004-A* [online]. [cit. 2021-03-24].  
Dostupné z: <https://en.nanotec.com/products/381-st4118d3004-a>
- [14] *MISUMI - Hřídelové spojky Oldham* [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z:  
<https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110300123930/?CategorySpec=00000190880%3a%3ac>
- [15] PEŠÍK, CSC., Prof. Ing. Lubomír. *Části strojů - Stručný přehled, 1. díl*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN ISBN 978-80-7494-183-2.
- [16] *Haberkorn - Stavebnicový systém MB 9* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z:  
<https://www.haberkorn.cz/download/>
- [17] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN isbn978-80-7361-081-4.

## Seznam obrázků

Obr. 3.1 LED flexibilní deska.....	15
Obr. 3.2 LED pásek .....	15
Obr. 4.1 Nonica Polska – princip posouvání desky [2] .....	16
Obr. 4.2 Neonica Polska – princip řezání [2] .....	16
Obr. 4.3 Yush Electronic Technology [3] .....	17
Obr. 4.4 Yush Electronic Technology – řezací soustava [3] .....	17
Obr. 4.5 Shenzhen Pengchuangxin Automation Equipment [4].....	18
Obr. 4.6 Stříhání pevných LED desek – kotoučové nože na hřídeli [3].....	19
Obr. 4.7 Stříhání pevných LED desek – střížná hrana [3].....	19
Obr. 4.8 Patent CN103994356A [7] .....	21
Obr. 4.9 Patent CN208323510 [8].....	22
Obr. 5.1 Koncept A.....	23
Obr. 5.2 Koncept A – pohyby.....	24
Obr. 5.3 Koncept B – vylepšovaný princip posouvání desky.....	24
Obr. 5.4 Koncept B .....	26
Obr. 5.5 Koncept B – proces řezání.....	26
Obr. 5.6 Koncept C .....	27
Obr. 5.7 Koncept C – detail stolu .....	28
Obr. 5.8 Koncept C – pohyb vozíku .....	28
Obr. 5.9 Koncept D.....	29
Obr. 5.10 Koncept D – upnutí desky .....	30
Obr. 5.11 Koncept D – proces řezání .....	30
Obr. 7.1 Řez pomocného drážkovaného válce .....	38
Obr. 7.2 Řez řezacího válce .....	38
Obr. 7.3 Kotoučový nůž.....	38
Obr. 7.4 Soustava válců.....	39
Obr. 7.5 Vedení ložiskového domečku v bočnici.....	39
Obr. 7.6 Řez regulace vzdálenosti pomocného a řezacího válce.....	40
Obr. 7.7 Řez regulace přítlaku pomocných válců.....	40
Obr. 7.8 Část katalogového listu tlačných pružin [12] .....	41
Obr. 7.9 Rozklad sil v procesu řezání.....	42
Obr. 7.10 Experimentální měření řezací síly .....	43

Obr. 7.11 Krokový motor – NEMA 17 – ST4118D3004-A [13] .....	44
Obr. 7.12 Hřídelová spojka – OLDHAM – MCOC15-5-5 [14] .....	45
Obr. 7.13 Vygenerování sítě konečných prvků .....	45
Obr. 7.14 Okrajové podmínky .....	46
Obr. 7.15 Deformace hřídele .....	46
Obr. 7.16 Kuličkové ložisko W 61804–2RS1 [14].....	46
Obr. 7.17 Procesní část .....	48
Obr. 7.18 Rám stolů.....	49
Obr. 7.19 Zakrytí procesní části .....	49
Obr. 7.20 Vstupní vedení pro desku .....	50
Obr. 7.21 Detail regulace a aretace vedení pro desku .....	50
Obr. 8.1 Použité typy šroubů .....	52
Obr. 8.2 Montáž bočnic k základně .....	52
Obr. 8.3 Redukce dílů na řezacím válci.....	53
Obr. 8.4 Návrh ohýbaného plechu .....	54
Obr. 9.1 Procesní část – explode view.....	56
Obr. 9.2 Finální konstrukce zařízení – detail.....	56
Obr. 9.3 Finální konstrukce zařízení – celek .....	57

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Parametry řezaného polotovaru .....	13
Tabulka 6.1 Párové porovnání kritérií .....	34
Tabulka 6.2 Párové porovnání konceptů podle K1 .....	34
Tabulka 6.3 Párové porovnání konceptů podle K2 .....	35
Tabulka 6.4 Párové porovnání konceptů podle K3 .....	35
Tabulka 6.5 Párové porovnání konceptů podle K4 .....	36
Tabulka 6.6 Párové porovnání konceptů podle K5 .....	36
Tabulka 6.7 Párové porovnání konceptů podle K6 .....	36
Tabulka 6.8 Vyhodnocení konceptů .....	37
Tabulka 8.1 FMEA-K.....	55
Tabulka 10.1 Ekonomické zhodnocení.....	58

## **Použitý software**

Microsoft Office 365

CATIA V5R21

WRYKRY5

## **Seznam příloh**

Výkresy:

- 01 Konstrukcni\_navrh\_zarizeni\_pro\_strihani\_flexibilnich\_LED\_pasek
- 02 Procesni\_cast
- 02 Procesni\_cast – KUSOVNIK
- 03 Rezacni\_valec
- 04 Rezacni\_hridel
- 05 Bocnice\_1