



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## ŠKRABÁK VODÍCÍHO VÁLCE

GUIDE ROLLER SCRAPER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Šmíd

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Frištenský Miroslav Ph.D.

BRNO 2022



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Student: **David Šmíd**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Frištenský Miroslav Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

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

## Škrabák vodícího válce

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Škrabáky se používají pro čištění válců např. v papírenském průmyslu, potravinářství. Každý škrabák je originální a je tvořen pro konkrétní situaci s ohledem na funkci, umístění, cenu aj. Materiálové provedení těla škrabáku je voleno s ohledem na umístění zařízení, buď nerezové, nebo z konstrukčních ocelí.

Typ práce: vývojová – konstrukční

### Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je navrhnout a vhodně umístit škrabák vodícího válce, který bude sloužit pro čištění vodícího válce při zpracování papíru u papírenského stoje.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- analyzovat danou problematiku,
- zpracovat koncepční návrhy možných řešení, vybrat vhodnou variantu pro konkrétní použití,
- dopracovat vybraný návrh a vytvořit výkresovou dokumentaci pro výrobu,
- provést pevnostní analýzu nosníku škrabáku a výpočet přitlaku čepele.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

**Seznam doporučené literatury:**

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí: advances in measurement, understanding and treatment. DOI: 978-80-214-2629-0. ISBN 10.1016/j.wear.2004.03.066.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá škrabáky, které mají svoje místo v papírenském, potravinářském, či chemickém průmyslu. Vliv mají na hospodárnost a kvalitu výrobního procesu. Analýza pojednává o užití tohoto zařízení v papírenském průmyslu a věnuje se především jednotlivým konstrukčním uzlům škrabáku. Z analýzy vychází tři možné návrhy konstrukce, kdy je autorem práce vybrána varianta fungující na principu přítlaku pomocí vlastní váhy, a ta je dále zpracována do finálního řešení včetně výkresové dokumentace. V práci jsou provedeny analýzy základních parametrů pro daný škrabák a kontroly možných kritických míst konstrukce. V závěru jsou shrnuty výsledky stanovených kontrol a výsledný konstrukční návrh zařízení. Navržené zařízení lze užít pouze pro daný vodící válec ve stroji, pro který byl škrabák navržen.

## KLÍČOVÁ SLOVA

škrabák, vodící válec, papírenský stroj, nosník

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with doctors, that play essential role in paper, food, or chemical industry. These devices have effect on economy and quality of manufacturing process. Analysis discusses usage of this device in paper making industry and it mainly focuses on individual structural nodes. From this analysis are created three possible designs, from which author of this paper selected one, that works on the principle of pressure caused by the weight of the doctor, which is further elaborated and made into drawing documentation. The work analyses the basic parameters for the doctor and checks possible critical points of the construction. The end summarizes results of these inspections and the final design of the construction. Solution can be only used on particular guide roll, which it was designed for.

## KEYWORDS

Doctor, Guide roll, Paper making machine, Beam



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠMÍD, David. *Škrabák vodícího válce*. Brno, 2022, 67 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Frištenský, Ph.D.





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Miroslavu Frištenskému, Ph.D., za odborné vedení, rady při vypracovávání práce, bezproblémovou komunikaci a vstřícný přístup. Poděkování patří také Ing. Petru Líňovi za poskytnuté podklady a Ing. Radovanu Galasovi, Ph.D., za pomoc s formálními náležitostmi práce a také za činnost garanta bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mojí rodině a mým přátelům za podporu při studiu.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Miroslava Frištenského, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
2.1	O firmě HAJDO spol. s r.o.	14
2.2	Výroba papíru	14
2.3	Hlavní části papírenského stroje	15
2.3.1	Nátokové zařízení	15
2.3.2	Mokrá část PS	16
2.3.3	Sušicí část PS	17
2.3.4	Navíjecí zařízení	18
2.4	Škrabák	19
2.4.1	Typy škrabáků	20
2.5	Čepele	21
2.5.1	Typy držáků čepelí	21
2.5.2	Rozdělení čepelí	23
2.5.3	Typy opotřebení čepelí	25
2.6	Nosník	26
2.7	Seřízení čepelí škrabáku	26
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>28</b>
3.1	Analýza problému	28
3.2	Cíl práce	28
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>29</b>
4.1	Koncept přitlaku pomocí vlastní váhy	29
4.2	Koncept přitlaku pomocí pneumatických duší	30
4.3	Koncept škrabáku s pneumatickými válci	31
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>32</b>
5.1	Možný prostor pro montáž	32
5.2	Základní výpočty řešení	33
5.2.1	Výpočet přitlaku	34
5.3	Vlastní řešení	36
5.4	Návrh nosníku	37

5.5	Držák čepele	38
5.6	Čepel	39
5.7	Čepy	40
5.8	Výběr uložení škrabáku	41
5.9	Přípevnění k rámu	42
5.10	Mechanismus odklápění čepele od válce	44
5.11	Rozbor úlohy	46
5.11.1	Statický rozbor	46
5.11.2	Rozbor vnitřních sil a momentů	47
5.12	Kontrola průhybu nosníku	49
5.13	Kontrola spojovacích součástí	50
5.13.1	Kontrola šroubového spoje čepu	50
5.13.2	Svary na konzoli	53
5.13.3	Montážní svary	54
5.14	Seřízení škrabáku	55
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>60</b>
8.1	Seznam zkratk	60
8.2	Seznam použitých symbolů	60
8.3	Seznam použitých veličin	60
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>66</b>
11.1	Montážní výkres vrcholové sestavy	66
11.2	Kusovník vrcholové sestavy	66
11.3	Výkresy podsestav	66
11.4	Výkresy jednotlivých dílů	66

# 1 ÚVOD

Výroba papíru je v dnešní době prováděna pomocí papírenských strojů. Tyto stroje jsou konstrukčně velice komplexní a jejich údržba je drahá. Celý stroj se většinou dá rozdělit na čtyři primární části, kdy je každý segment složen z jednotlivých válců a válečků, které vedou papírovinu či jiný vodící prvek, např. síto, skrze stroj. Samotný stroj se navíc skládá z mnoha dodatečných zařízení, mezi které se řadí i škrabák.

Škrabáky plní důležitý úkol, a to čištění nečistot, které během výrobního procesu mohou na jednotlivých válcích ulpívat. Pokud by škrabák nebyl správně navržen, neplnil by svoji funkci, což se v důsledku odrazí na celkové kvalitě papíru. Ve výsledku to tedy znamená, že se toto zařízení stará o údržbu válců a obsluze stroje odpadá nutnost kontrolovat nečistoty na válcích.

Záměrem nové konstrukce škrabáku vodícího válce plsti, které se bakalářská práce věnuje, je užití nerezového materiálu a konstrukční návržení škrabáku tak, aby odpovídal požadavkům kladeným na toto zařízení. Kromě návrhu zařízení bude k práci zhotovena i kompletní výkresovou dokumentaci pro výrobu, kdy jednotlivé konstrukční uzly budou v práci detailně popsány.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 O firmě HAJDO spol. s r.o.

Obchodní korporace HAJDO spol. s r.o. se již od založení v roce 1990 specializovala převážně na stroje v papírenském průmyslu. V nynější době je hlavní činností společnosti všeobecné strojírenství, mimo to se ale zabývá i stacionární hydraulikou, průmyslovou pneumatikou, výrobou a servisem kardanových hřídelí, či mazacími a ostřikovými systémy. [1]



Obr. 2-1 Výrobní hala firmy HAJDO spol. s r.o. [1]

Kromě zakázek v okolí Litovle a Olomouce, ať už do různých potravinářských, chemických, papírenských, či jiných strojních odvětví, má HAJDO spol. s r.o. dlouhodobé zakázky i od obchodních společností po celé republice (např. firma CZ LOKO, a.s.), ale taktéž spolupracuje s firmami jako EATON Corporation (dříve známý jako Walterscheid) nebo Huhtamaki a.s.

### 2.2 Výroba papíru

Základní surovinou pro průmyslovou výrobu papíru je dřevo především z jehličnatých stromů. Primární chemickou výrobní složkou je celulóza<sup>1</sup>, což je jedna z hlavních chemických sloučenin, ze kterých se dřevo skládá (mimo ty se zde řadí i hemicelulóza a lignin). [2]

Do papírenského stroje vstupuje tzv. papírovina (viz Obr. 2-2), což je heterogenní směs vlákniny, vody a dodatečných chemických látek. Obsahuje 1 % sušiny a 99 % vody. Při zpracování dochází k postupnému vysoušení papíroviny do normované hodnoty, což je přibližně 5–10 % vody. Zpracovaná papírovina tvoří výsledný papír, který je navíjen do rolí. [2]

---

<sup>1</sup> Celulóza (buničina) je polysacharid tvořící základ buněčných stěn rostlin



Obr. 2-2 Papírovina vstupující do výrobního procesu [3]

Podle plošné váhy lze rozdělit jednotlivé druhy papírů. Např. kartón (plošná váha výrobku nad 150 kg/m), lepenka (za mokra slisovaných více vrstev papíru, s váhou nad 250 kg/m) či normální papír (do 150 kg/m). [4]

## 2.3 Hlavní části papírenského stroje

Papírenský stroj, dále PS, se skládá ze série po sobě jdoucích válců. Jako celek lze stroj rozdělit do čtyř částí:

- Nátokové zařízení (viz kap. 2.3.1),
- Mokrý část PS (viz kap. 2.3.2),
- Sušící část PS (viz kap. 2.3.3),
- Navíjecí zařízení (viz kap. 2.3.4).

Mimo tyto části stroj obsahuje i další příslušenství např. čerpadla, míchací nádoby, pohony, čistící zařízení, potrubní systémy atd. PS, jako celek, je velmi komplexní zařízení a je specifikován především konstrukčním řešením pro výrobu různých typů papírů. [4]

### 2.3.1 Nátokové zařízení

Skrze toto zařízení se dostává papírovina do stroje, resp. na síto PS. Vyfiltrovaná papírovina je do této nátokové skříně, dále NS, přiváděna čerpadlem. Máme dva užívané typy, otevřenou a uzavřenou skřín. [4]

NS otevřená využívá hydrostatického tlaku sloupce kapaliny, který je dán výškou hladiny kapaliny ve skříni. Tento typ se především využívá u pomalejších a starších strojů, kde rychlosti nepřesáhnou 300 m/min. [4]

Uzavřená NS (viz Obr. 2-3) funguje na principu náhrady hydrostatického tlaku za tlak uměle vyvolaný (např. čerpadlem). Tento typ se dá využít jak u pomalejších strojů, tak i u rychlejších, resp. výkonnějších. Mezi hlavní výhody se řadí automatická regulace plošné váhy. Nevýhodou je složitý odvod vzduchu, tudíž před vstupem do nátokové části musí být navíc nainstalován odvodušňovací systém. [4]



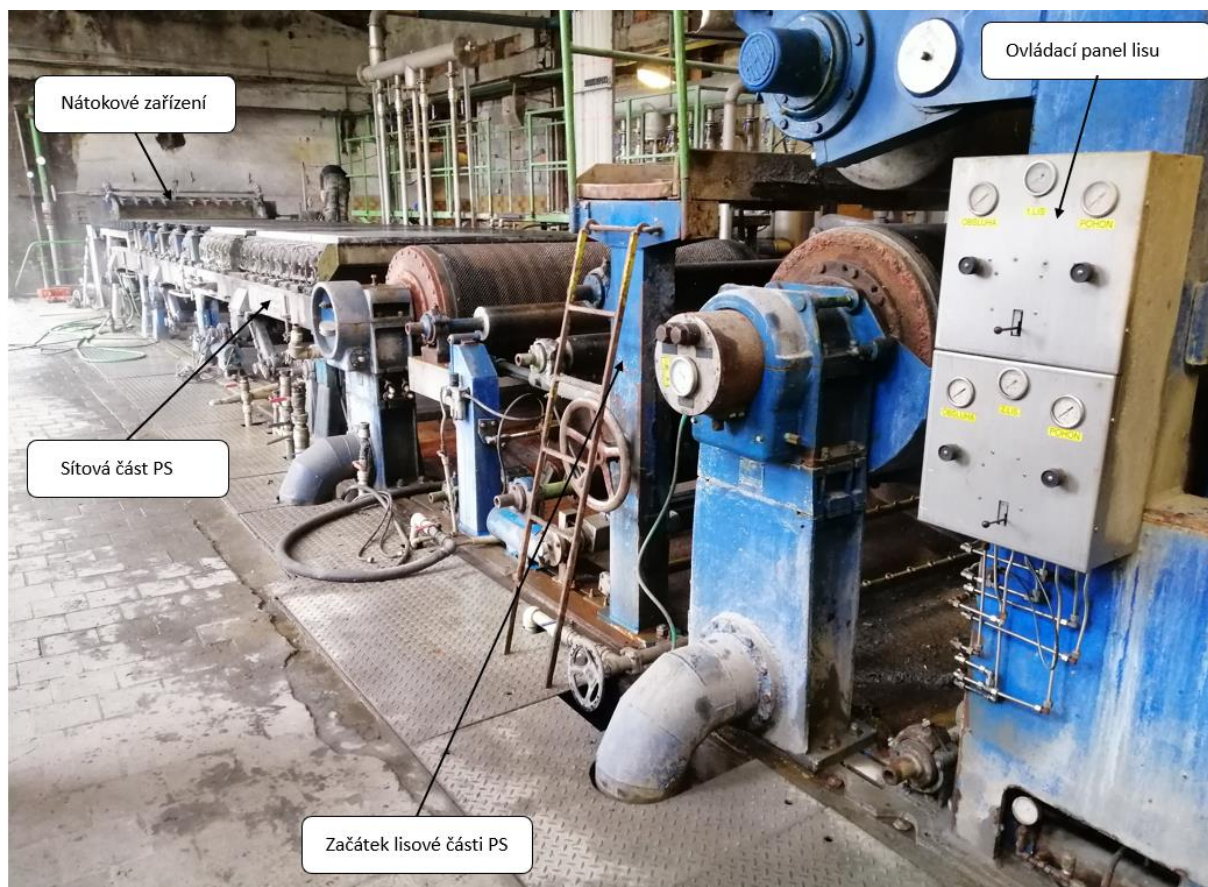
Obr. 2-3 Uzavřená nátoková skříň firmy od PAPCEL, a.s. [5]

### 2.3.2 Mokrý část PS

Tato část PS slouží k přeměně papíroviny na plst', což je souvislý pás papíroviny pro další zpracování. Dochází zde tedy k postupnému odstraňování vlhkosti z papíroviny, tzv. odvodňování pozvolnému. Z ekonomického hlediska, je nejvýhodnější odstranit vodu právě v mokré části, nikoli v části sušící. Do této souhrnné části dále rozdělujeme síťovou a lisovou část. Pohled na část stroje lze vidět na Obr. 2-4. [4]

Síťová část PS má obvykle délku 12–50 m a šířku od 2–8,8 m. Tyto parametry jsou závislé od výkonu stroje a udávají životnost síta (čím větší síto, tím menší životnost). I sebemenší poškození síta se škodlivě projeví na kvalitě papíru, a to především u tenčích papírů. [4]





Obr. 2-4 Pohled na nátokovou skříň, síťovou část a začátek lisového segmentu [6]

Lisová část obsahuje obvykle 1–5 lisů. Tlak na lisech by neměl být příliš vysoký, aby nedocházelo k opotřebení plsti a tím nedošlo k zhoršení kvality výsledného produktu. Z ekonomických a provozních požadavků je tedy možné v této části vodu odstranit pouze do určitých mezí. [4]

### 2.3.3 Sušící část PS

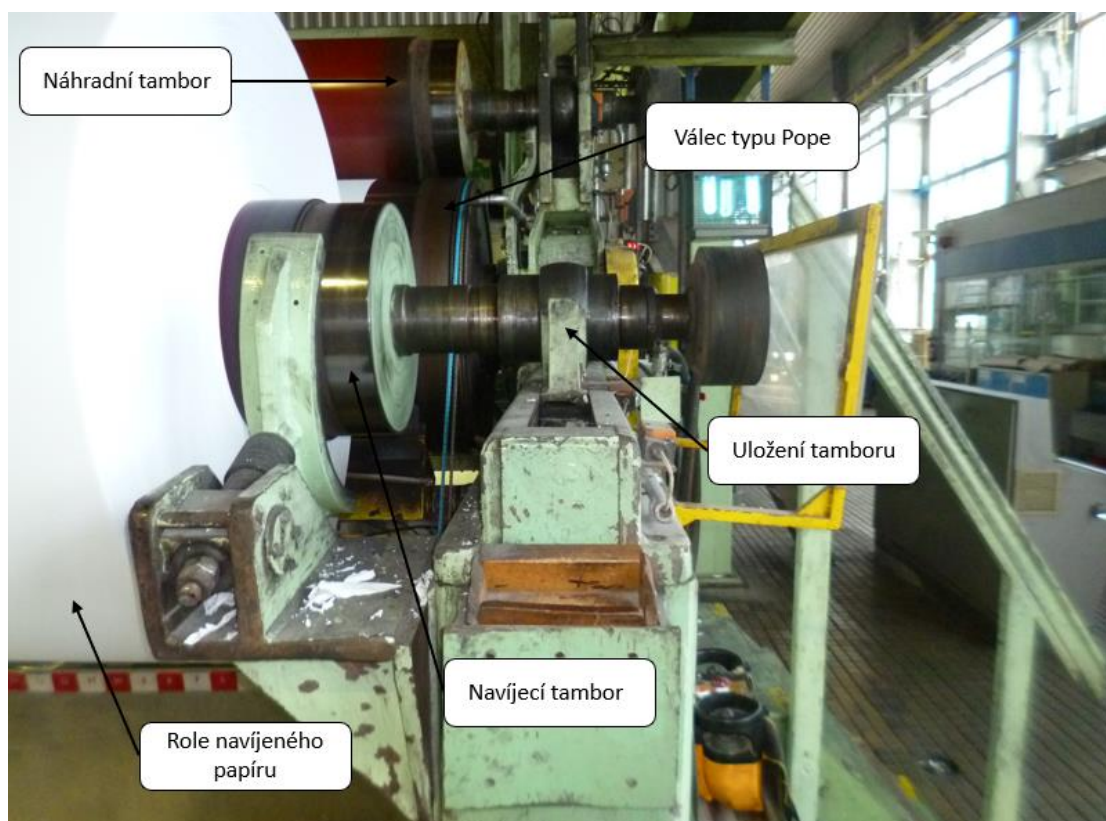
Skládá se z rotujících dutých válců, které jsou vytápěny párou z vnitřní strany. Podle typu vyráběného papíru, plošné váhy papíru a rychlosti stroje se volí počet válců v rozmezí 8–60. Čas pro vysoušení nebývá zpravidla nijak dlouhý, konkrétně v rámci desítek vteřin. Celá tato část musí být zakrytována, aby nedocházelo k odvodu tepla mimo pracovní okolí. [4]

Konvekční způsob vysoušení funguje na principu přenosu tepla z plynného okolí do látky. K tomuto způsobu dochází v momentu, kdy se pás papíru vůbec nedotýká válců a pouze kolem nich prochází. Rychlost této metody je přibližně 13x nižší než při kontaktním přenosu. Naopak kontaktní způsob je způsob, kdy k přenosu dochází při přímém dotyku pásu papíru a válce. Při průchodu sušící částí dochází vždy ke kombinaci těchto dvou způsobů. K faktorům, které ovlivňují rychlost sušení, lze zařadit např. teplotu topné páry, povrchovou teplotu sušících válců, systém ventilace, aj. [4]

### 2.3.4 Navíjecí zařízení

Tradičně je navíjecí zařízení pomalejších strojů složeno z dvou litinových stojanů, v nichž je uloženo 4–5 čtvercových tyčí v dělených ložiscích, přičemž se při provozu využívají maximálně 3 tyče. Na tyto tyče se poté nasouvají ocelové nebo dřevěné dutinky<sup>2</sup>. Hlavním rozdílem, kromě použitého materiálu, je při jejich použití styl upínání k tyčím, kdy se ocelové dutinky axiálně zajišťují pomocí stavěcích kroužků. Kdežto dřevěné dutinky jsou vyrobeny s čtvercovou dírou, která je o málo větší, než je samotný rozměr tyče a axiální jištění je zaručeno stavěcími šrouby. [4]

U rychlejších strojů se užívá systému „Pope“. Tento systém se skládá z velkého bubnu, konkrétně o průměru 1250 mm, a dvou tamborů<sup>3</sup> ležících na povrchu bubnu, a to specificky navíjecí a náhradní tambor o průměrech 300 mm. Tyto tambory se střídají v navíjení, kdy se nejdříve nechá navinout role papíru na navíjecí tambor, ten se odebere a následně se vymění za tambor náhradní, aby byla zachována rychlost a efektivita procesu. Pohled na část zařízení tohoto typu na Obr. 2-5. [4]



Obr. 2-5 Pohled na uložení navíjecích válců se systémem Pope [6]

<sup>2</sup> **Dutinka** je ocelová trubka, případně může být i dřevěná [4]

<sup>3</sup> **Tambor** je válec speciálně určený pro navíjení papírových rolí

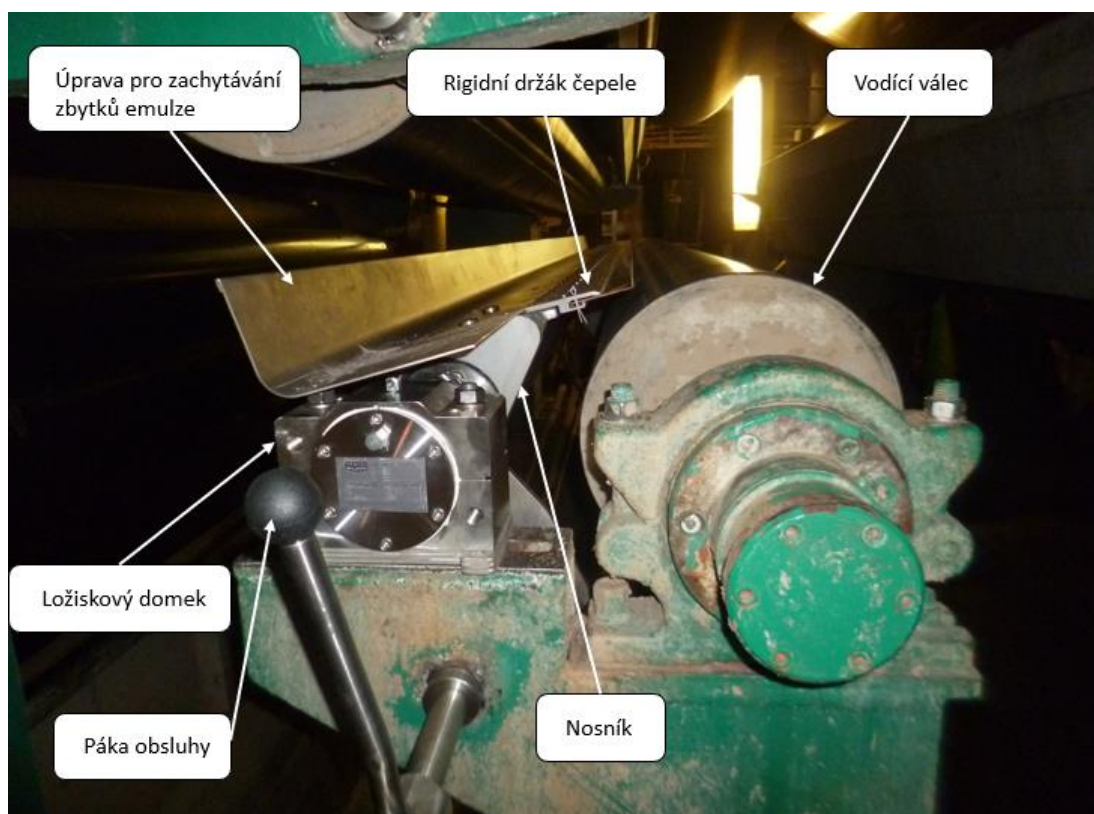
## 2.4 Škrabák

V další části se bakalářská práce věnuje čistě jednomu zařízení v PS, a to škrabáku. Jedná se o část PS, která je užívána k čištění povrchů válců a válečků, což ve výsledku napomáhá ke zlepšení kvality výrobku a zároveň k minimalizaci defektu z důvodu nashromáždění nečistot na povrchích válců [7]. Tento přístroj najdeme prakticky u každého válce v papírenském stroji, což potvrzuje, že konstrukce škrabáku je nesmírně důležitá pro hospodárnost celého procesu výroby papíru v papírenském průmyslu. Kromě již zmíněného papírenského průmyslu, lze tyto části strojů nalézt i v chemickém, či potravinářském průmyslu. Jejich využití je ale opět stejné jako v papírenském průmyslu.

Špatná volba materiálu čepele pro nekompatibilní povrch válce může mít za následek fatální poničení povrchu válce, a to z důvodů mikronerovností na obou povrchích, kdy bude následně docházet k zadírání čepele do povrchu válce [7]. Tyto konstrukční chyby poté vedou k odstávkám a výměnám částí strojů, které mají za následek vysoké ekonomické ztráty.

Pro každý válec je nutné navrhnout originální škrabák, který nelze použít u jiného válce, jelikož byl konstrukčně navržen přímo pro dané umístění, se specifickou volbou materiálu, s určitým typem přitlaku a o parametrech odpovídajících válci.

Nejdůležitějšími částmi zařízení jsou čepel, držák čepele a nosník. Ty si popíšeme v následujících kapitolách 2.5–2.6. Samotný škrabák vodícího válce lze vidět na Obr. 2-6.



Obr. 2-6 Škrabák vodícího válce na principu přitlaku pomocí vlastní váhy [6]

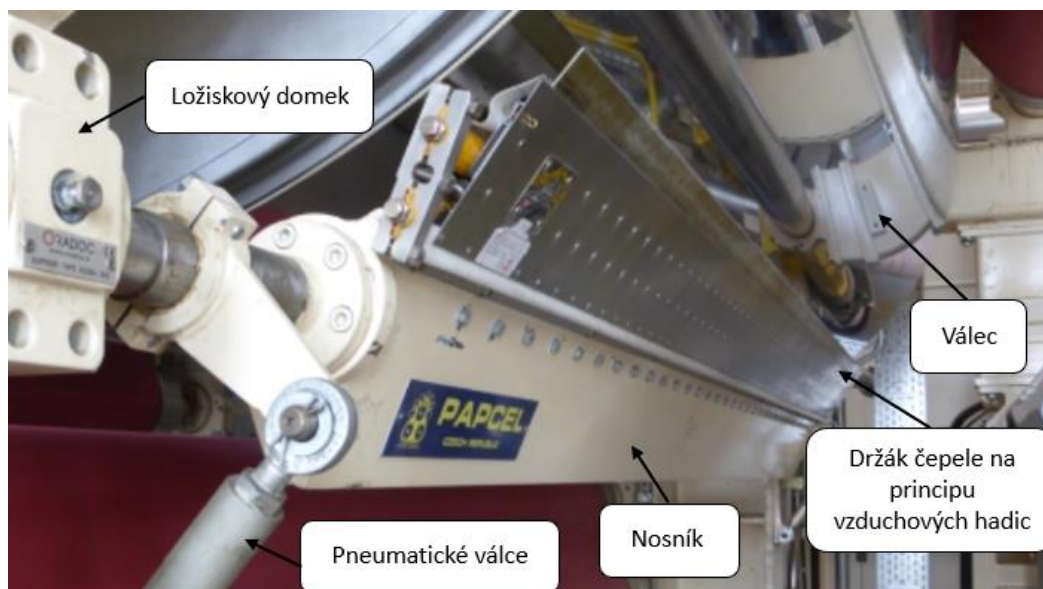
## 2.4.1 Typy škrabáků

Rozdělení lze určit například pomocí základních typů přitlaku viz Tab. 2-1.

Tab. 2-1 Základní rozdělení typů moderních škrabáků dle způsobu přitlaku [6]

	<b>Přítlak pomocí vlastní váhy (Obr. 2-6)</b>	<b>Přítlak pomocí pneumatických válců</b>	<b>Přítlak pomocí vzduchových hadic (Obr. 2-7)</b>
Hlavní část zajišťující přítlak	Nosník	Pneumatické válce	Vzduchové duše
Přiklopení k válci	Ruční (pákou)	Automatické, pneumatickými válci	Ruční/automatické
Omezení užití	Nelze užit při uložení, kde nedojde k požadovanému přitlačení čepele na válec	Záleží na volném prostoru v okolí válce z důvodu zapojení pneumatického obvodu	Lze užit vždy, nutné zapojit kompresor pro tlakování
Složitost konstrukce	+	++	++
Rozměry	++	+++	++
Náklady	+	+++	++

+ menší, ++ střední, +++ větší



Obr. 2-7 Škrabák s kombinovaným přitlakem pomocí pneumatických válců a vzduchových hadic společnosti PAPCEL, a.s. [8]

Specifickou úpravou těchto škrabáků, je škrabák oscilační. Využívá se pro větší ekonomičnost výroby, a to především z dlouhodobého hlediska, a u drahých válců. Tento typ zajistí, že nebude docházet, vlivem prachu a špíny na seškrabávaném povrchu, k rychlému opotřebení čepele a k rýhování povrchu válce. Ve výsledku to tedy znamená, že nebudou potřeba tak časté servisní kontroly, tudíž i odstávky linek, jako u stacionárních škrabáků. [9]

Nejkritičtější součástí celého oscilačního škrabáku jsou ložiska. Prvním navrhnutým a zároveň nejprostším typem uložení jsou víceřadá kuličková ložiska. Tento způsob uložení není natolik efektivní. Z důvodu vibrací a zatížení od čepele vzniká opotřebení kuliček ve formě plochých míst na jejich površích. Pro lepší efektivitu byly navrženy ložiska se spirálovými drahami pro kuličky. Řešení spočívá v pohybu kuliček po drahách a jejich přemístění do jiného bodu během jednotlivých oscilací. To má za následek, že se kuličky střídají v přenášení zatížení, tudíž dochází k menšímu opotřebení. Experimentálně bylo poté zjištěno, že tato ložiska mají až trojnásobnou životnost oproti prvnímu typu. [7]

Mezi hlavní nevýhody oscilačních škrabáků se řadí např. složitost konstrukce, pořizovací náklady, nutnost užití pohonu pro oscilaci a velikost celého zařízení. Zároveň je nutné, aby byl válec neustále v pohybu, jelikož je-li oscilace zapnuta a válec se nepohybuje, dojde k rýhování válce.

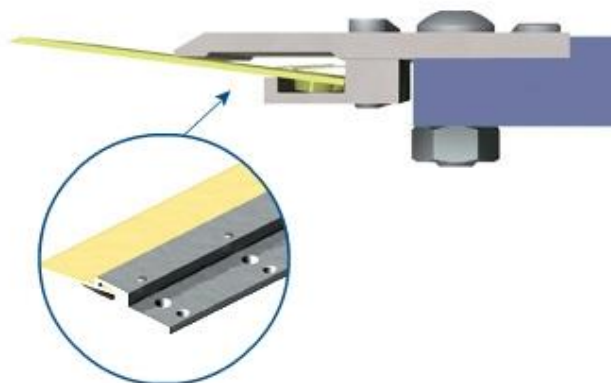
## 2.5 Čepele

Čepele jsou jedny z hlavních částí škrabáku. Dochází u nich ke kontaktu s povrchem válce. Vedle kontaktních čepelí se v praxi mohou objevit i čepele nekontaktní, které využívají stlačeného vzduchu, který je vytlačován dýzou směřující na povrch válce, případně čepele kombinované (kombinace kontaktní a nekontaktní čepele).

### 2.5.1 Typy držáků čepelí

Pro upevnění čepele k nosníku je třeba užít držáku. Základním rozdělením jsou držáky rigidní a flexibilní. Mimo to se pro větší válce mohou užívat i dvojité škrabáky (na jednom nosníku více čepelí, resp. držáků čepelí), které mohou mít držáky typově kombinované, častěji však stejné. Dochází tak k dvojímu čištění.

Prvním typem jsou držáky staticky tuhé (viz Obr. 2-8). Konstrukčně se od sebe jednotlivé typy tohoto druhu příliš neliší a fungují na stejném principu, a to sice na zákonu akce a reakce, kdy bude docházet k tlaku od horní desky držáku na čepel a reakčním silám od povrchu čištěného válce a spodní části držáku tak, aby bylo zatížení ve statické rovnováze. Zatížení by obecně nemělo přesáhnout 18 kg/m, jinak hrozí nebezpečí bočního ohnutí čepele. Tyto držáky jsou výhodné především z cenového hlediska. [7]



Obr. 2-8 Rigidní držák typ K35, firmy Bonetti S.p.A. [10]

Dalším typem jsou držáky flexibilní, ty dále dělíme na dvě podkategorie, a to na držáky se vzduchovými dušemi a držáky s přitlačnými plátky.

#### a) Vzduchové duše

Princip těchto držáků spočívá v tlakování jednotlivých duší na požadovaný tlak, přičemž duše tlačí na listovou pružinu (horní část), která vymezí požadovaný přítlak. Taktéž platí, že pomocí vzdušných válců jsou držáky samo-ustavující se. Na Obr. 2-9 je model tohoto typu držáku od firmy Bonetti S.p.A. [7]



Obr. 2-9 Flexibilní držák čepele, typ Bonflex firmy Bonetti S.p.A. [11]

#### b) Přitlačný plátek

Tento typ držáku byl hojně užíván v minulosti, v dnešní době již není tolik používán, a to z důvodu vyšší ceny a menší univerzálnosti v porovnání s typem zmíněným v a). Princip spočívá ve volném pohybu čepele v držáku a v ustavení polohy čepele pomocí přitlačného plátku, či jiného flexibilního prvku. Přitlačný plátek je listová pružina, která vymezuje reakci na zatížení ze spodní strany čepele. [7]

Mezi další, ne však základní, rozdělení by patřil např. držák na krepovací nože. U typu Boncrepe serie 131 se jedná o rigidní držák pro Yankee válec<sup>4</sup> [12]. Na Obr. 2-10 je tento typ

<sup>4</sup> **Yankee válec** je dutý válec o velkém průměru (více jak 2,5 m) na kterém např. probíhá sušení

vyobrazen. Díky zubům v horní a spodní části lze používat různé šířky čepelí [12]. Tento držák lze užít v pozicích pro krájení a čištění [13].



Obr. 2-10 Držák krepovacích nožů, typ Bonscrepe serie 131 firmy Bonetti S.p.A. [12]

## 2.5.2 Rozdělení čepelí

Všeobecně se čepelě označují značkou. Ty si udává každý výrobce sám, není na to tedy žádná norma. Materiály čepelí mohou být různorodé, a to většinou kompozity na bázi pryskyřice, polymery, neželezné kovy nebo oceli. Různé typy materiálu a jejich charakteristiky jsou uvedeny v Tab. 2-3 na str. 24.

Volbu čepelě ovlivňuje:

- a) Materiál povrchu válce
- b) Typ válce

V každém katalogu výrobce těchto čepelí by se měla nacházet tabulka s doporučenými typy čepelí pro jednotlivé aplikace (viz Tab. 2-2). Z odečtených parametrů se poté dimenzuje vlastní konstrukce na požadované zatížení.

Tab. 2-2 Tabulka výběru materiálu čepelě pro vodící válec plsti užívaná ve firmě HAJDO spol. s r.o. [6]

Typ válce	Potah válce	Úhel nastavení ostří čepelě [°]	Materiál čepelě	Zatížení čepelě	
				Normální [N/m]	Maximální [N/m]
Vodící válec plsti	Guma 0-3 PJ	20	A1, B7	60	120
	Epoxid se skleněnými vlákny	25	A1, B5	80	150
	Beltex <sup>5</sup> / pryskyřice	25	A1, B5	80	150
	Měď / Bronz	25	A1, B5	80	150

<sup>5</sup> **Beltex** je netkaná textilie, vhodná do mokrého prostředí [14]

Tab. 2-3 Výběr materiálů čepelí firmy Bonetti S.p.A. [13]

Označení	Průmyslový název	Složení	Maximální teplota [°C]	Dostupné tloušťky [mm]	Tvrdość [HRC]
A3	Polysset	Přírodní UHMWPE <sup>6</sup>	90	5	-
A1	Superpolysset	UHMWPE vyztužený skleněnými vlákny	90	5	-
B5	Fenoseť	Fenolová pryskyřice s vrstvami bavlny	120	2,3; 2,8	-
B7	Epoxid	Sklolaminátové vrstvy spojené epoxidovou pryskyřicí	170	1,45; 1,85; 2,3; 2,8	-
B1	Carboseť	Sklolaminátové a uhlíkové vrstvy spojené epoxidovou pryskyřicí	180	1,4; 2	-
BZ	Bronz	Tvrđý bronzový laminát vysoké tvrdosti	-	0,8; 1,25	50,5
13	Nerezová ocel	Tvrzená a temperovaná nerezová ocel AISI 420 s obsahem chromu 13 %	-	0,8; 1,25	45-49
ST	Tvrzená ocel	Tvrzená a temperovaná uhlíková ocel s obsahem uhlíku 0,75 %	-	0,8; 1,25	49-51

<sup>6</sup> UHMWPE neboli Dyneema® je typ polyethylenu s velmi vysokou pevností v tahu s vysokou molární hmotností. [15]



### 2.5.3 Typy opotřebení čepelí

Při pozorování opotřebovaných čepelí lze poměrně snadno vyhodnotit, k jakému typu poškození došlo a co jej vyvolalo. Při práci břítu chceme dosáhnout přijatelného opotřebení, které ve správných podmínkách nepoškodí válec. Toto opotřebení lze označit jako rovnoměrné a dosáhneme jej pomocí správného seřízení a správné volby materiálů. „Neideální“ opotřebení čepelí můžeme pozorovat v následujících formách (schématické znázornění všech typů možných poškození na Obr. 2-11):

#### a) Nestejnoměrné opotřebení čepelí

K tomuto typu opotřebení dochází buď při korozi nosníku, který následně střídavě deformuje držák čepelí, nebo při nerovnoměrné roztažnosti materiálu čepelí. [9]

#### b) Větší míra opotřebení uprostřed

K této poruše dochází, pokud máme např. bombírovaný válec<sup>7</sup>, kdy držák čepelí byl špatně seřízený pro danou aplikaci, nebo došlo k průhybu nosníku. [9]

#### c) Nadbytečné opotřebení po délce čepelí a menší na okrajích

Nejčastěji se objevující typ, např. u lisů, kde voda mazala ostří na krajích. Řešením tohoto problému by bylo zajištění mazání vodou po celé délce čepelí/válce. [9]

#### d) Lokální poškození čepelí

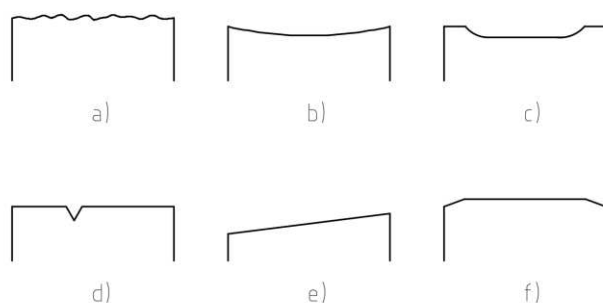
Může být způsobeno poškozeným držákem, případně poškozeným přítlačným plátkem u flexibilních držáků. Jediným možným řešením je kompletní náhrada držáku. [9]

#### e) Opotřebení na jednom konci

Výsledek špatného seřízení, náprava spočívá ve výměně a správném seřízení čepelí. [9]

#### f) Opotřebení okrajů

Způsobeno pohybem nosníku. Řešení je výměna nosníku za takový, který je dostatečně tuhý, aby zvládl svoji funkci bez průhybu při pohybu stroje. [9]



Obr. 2-11 Schémata opotřebení čepelím

<sup>7</sup> **Bombírovaný válec** neboli válec se zvětšujícím se průměrem směrem ke středu (mající kónusový tvar)

## 2.6 Nosník

Nosník škrabáku je nosnou částí pro držák čepele. Musí být dostatečně tuhý, aby nedocházelo k nadbytečnému průhybu a následnému poškození držáku čepele či rovnou k poškození ostří čepele. [9]

Při přítlaku pomocí vlastní váhy nosník disponuje většinou tíhy zařízení. Konstrukčně se nosník dimenzuje tak, aby splnil kritéria pro přítlak. Zároveň je nutné, aby se rovina procházející čepelí blížila k ose rotace a nejlépe jí přímo procházela. [9]

Nosník může být složen z dutých profilů, avšak častěji je tvořen ze svařence, např. L profilu a plechu, tvořící trojúhelník. Materiál je buď konstrukční ocel, v případě potřeby nerezová ocel. Volba jakosti materiálu poté značně ovlivňuje celkovou cenu škrabáku.

Při vysoké teplotní roztažnosti materiálu a během práce za vyšších teplot může být nosník opatřen izolačními prvky. Tyto prvky následně brání deformaci nosníku zapříčiněné změnou teplot během pracovního procesu. Této konstrukční úpravy se především využívá v sušící části PS z důvodu vyšších pracovních teplot během chodu. [7]

Co se týče uložení, tak nosník, resp. celý škrabák, je připevněn k rámu papírenského stroje přes čepy na obou koncích nosníku. Ty jsou uloženy v kluzných pouzdrech, příp. ložiscích, aby mohlo docházet k naklápění škrabáku. Obecně se kluzná pouzdra, nebo ložiska, nachází v ložiskových domcích přichycených ke konzolám a ty jsou dále spojeny s rámem PS.

## 2.7 Seřízení čepele škrabáku

Nejčastěji používaným typem škrabáku, resp. držákem čepele, je rigidní typ K35, znázorněný na Obr. 2-8, str. 22. Tento typ umožňuje nastavit přítlak rovnoměrně, a to pomocí stavěcích šroubů. Seřízení by se mělo provádět za pracovních teplot, aby nevznikly rozdíly tvaru a tuhosti nosníku. [6]

Detaily montáže se u všech škrabáků řídí dle technické dokumentace, vždy je ale potřeba provést následující:

- Vyrovnat souběžnost ostří čepele s osou válce [6]
- Nastavit doporučený úhel čepele (dle výrobce, typu a potahu válce) [6]
- Přitlačit novou čepel pomocí vlastní váhy na válec (i pro typ s pneumatickými válci) [6]
- Zkontrolovat rovnoměrnost přítlaku [6]

Poslední bod se provádí pomocí plechového pásku o tloušťce 0,15 mm a šířce 30 mm. Postupným posouváním při daném přítlaku se zjišťuje odpor proti posuvu. Tam, kde je tento odpor jiný, resp. větší, je třeba provést seřízení pomocí stavěcích šroubů. V okamžiku, kdy je po celé délce odpor konstantní, je škrabák nastaven správně. Tento test je obvykle prováděn jako akustický, kdy se poklepává na čepel, pod kterou je plíšek a tam, kde se zvuk liší, je nutné následné seřízení. [6]

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

Papírenský stroj se skládá ze série po sobě jdoucích válců. Tyto válce vedou buď papírovinu skrze stroj, případně síto, či další vodící prvky. Jelikož papírovina je směs obsahující zprvu především vodu [2], je časté, že se na povrch válce tato směs přilepí a dále způsobuje problémy, například na výsledné kvalitě papíru, či v horších případech formou defektu na stroji. Obě tyto varianty problému mají za následek ekonomické ztráty.

Toto je moment, kdy nastupuje na řadu správně navržený škrabák. Ten má za úkol čistit povrch daného válce od zbytků papíroviny a jiných nečistot. Samotné provedení se řídí faktory, jako jsou: povrch válce [6; 13], část PS [6], typ válce [6; 13], teplota ve stroji [7], ale zároveň možným prostorem k zástavbě.

Bakalářská práce má za téma navrhnout novou konstrukci škrabáku, a to ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je typ použitého materiálu, kdy při prvním návrhu byla použita pozinkovaná konstrukční ocel, což vyústilo po delší době k rezavění nosníku a dalších částí. Z tohoto důvodu musí být použita nerezová ocel.

Dalším důvodem pro novou konstrukci je ničení povrchu válce. To je zapříčiněno špatným uložením, resp. špatnou pozicí osy otáčení nosníku. Ideálně by mělo platit, že rovina čepele prochází osou otáčení [7], nicméně dosažení tohoto je poměrně obtížné a vyžaduje přesné ustavení. Proto se čepy nosníku musí umístit tak, aby rovina čepele ležela nad osou otáčení, aby při větších nečistotách na povrchu válce nedošlo k zarytí čepele do povrchu válce [7].

### 3.2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je navrhnout konstrukci škrabáku vodícího válce plsti tak, aby splňoval následující důležité požadavky:

- Materiál nosníku: nerez,
- Tuhost nosníku: průhyb maximálně do 0,2 mm,
- Rozměry vodícího válce:  $\varnothing$  224 mm a délka 2 900 mm.

Dílčí cíle práce:

- Vypracovat koncepční návrhy,
- Vhodný návrh vypracovat do výkresové dokumentace pro výrobu,
- Provést výpočet přítlaku,
- Provést pevnostní kontrolu nosníku.

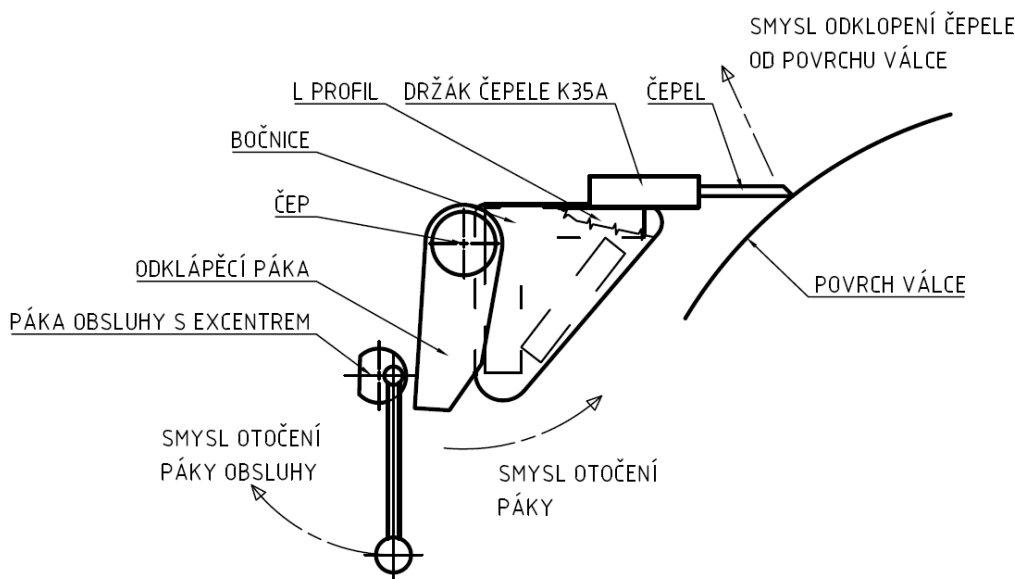
## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

V kapitolách 4.1-4.3 budou představeny tři typy možných řešení konstrukce škrabáku, fungující na různém principu přitlaku. U každé varianty je napsáno, z jakých komponentů se bude celé tělo skládat a jak funguje vlastní princip přiklopení na povrch válce. Z těchto variant bude vybráno jedno, pro následné rozpracování do výrobní dokumentace.

### 4.1 Koncept přitlaku pomocí vlastní váhy

Prvním koncepčním řešením je škrabák fungující na principu přitlaku vlastní vahou, viz Obr. 4.1, kdy se musí zaručit dostatečná přitlačná síla pomocí váhy škrabáku.

Možným držákem čepel je standardní typ K35A, do kterého se čepel nasouvá z boční strany. Proti uvolnění při přitlačení k válci, je čepel pojištěna přitlakem vrchního plátu a vodícím nýtem. Vůči bočnímu vysunutí je poté zajištěna závlačkou. Držák je složen ze dvou částí, a to z přitlačného vrchního plechu a spodního držáku ve tvaru koryta.



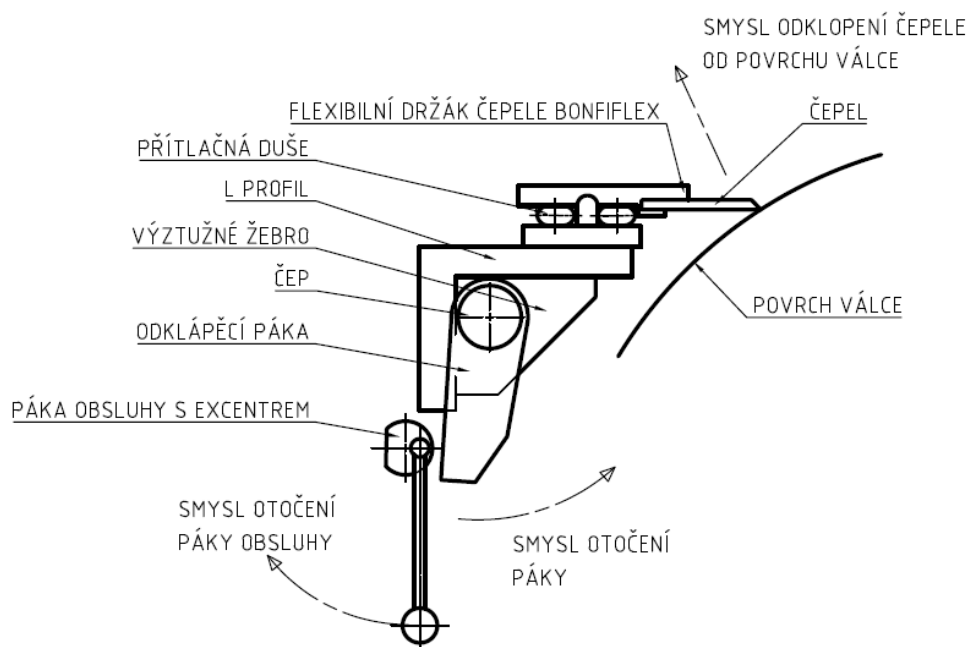
Obr. 4-1 Rigidní škrabák na principu přitlaku pomocí vlastní váhy (neproporcionální)

Nosník je svařenec, složený z L profilu a plechu. Část držáku je zapuštěna v L profilu a spojena s ním pomocí šroubů. Z boku jsou na nosník navařeny bočnice. Čepy jsou přišroubovány k nosníku ze zadní strany. Na čepu se navíc nachází páka, kterou pomocí odklápěcí páky obsluhy uložené na konzoli můžeme použít k odklopení čepel od válce.

Nevýhodou je celková hmotnost zařízení, která musí být tak velká, aby došlo k dostatečnému přiklopení pomocí tíhové síly. Naopak výhodou je nejnižší cena komponent mezi třemi variantami a konstantní přítlak.

## 4.2 Koncept přítlaku pomocí pneumatických duší

Dalším možným typem je přítlak díky pneumatickým duším (viz Obr. 4-2). Užitým typem držáku je Bonfiflex super. Pro přítlak vzduchem se natlakuje hadice, která je ve větší vzdálenosti od válce, a upustí se vzduch v bližší hadici, načež dojde k přiklopení čepel. Při odklápění se tlakování hadic vymění, tj. upustí se zadní a připustí se přední. Naklápění čepel poté probíhá kolem středu otáčení, jenž se nachází mezi dušemi.



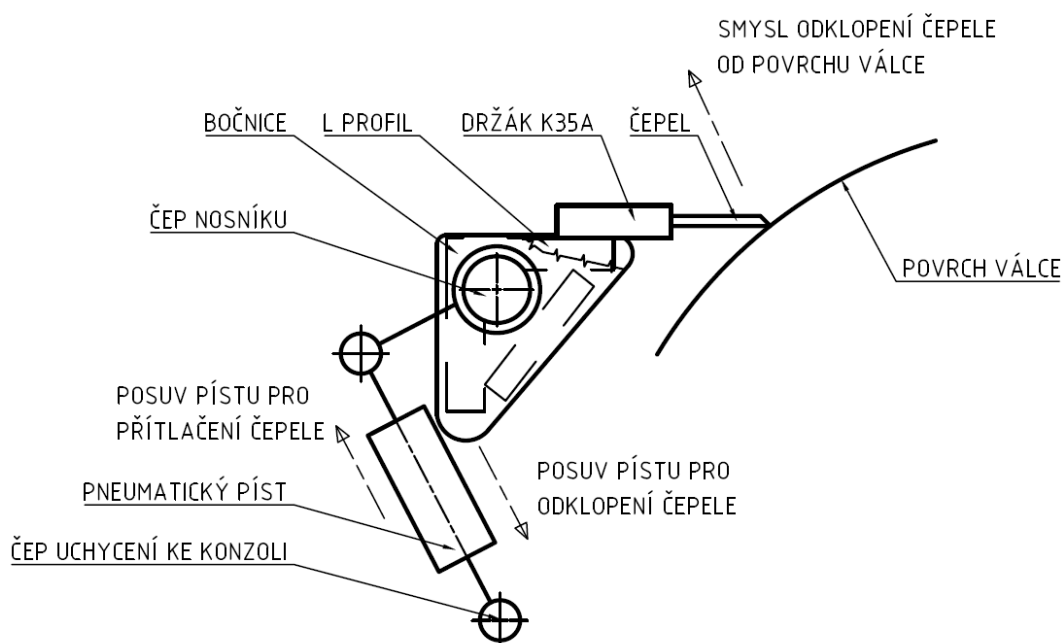
Obr. 4-2 Koncept flexibilního držáku na principu přítlačných vzduchových duší (neproporcionální)

Nosník je tvořen z L profilu a žeber, které slouží jako výztuha. Část držáku čepel, stejně jako u prvního návrhu, je zapuštěna v L profilu a spojena s ním pomocí šroubů. Čepy jsou šrouby uchyceny k bočnímu žebro. Opět k odklápění celého škrabáku využíváme odklápěcí páku obsluhy uloženou na konzoli a odklápěcí páku přichycenou k čepu.

Nevýhodou je nutnost užití kompresoru pro tlakování a obtížnější konstrukce držáku, tudíž cena tohoto typu se pohybuje ve větších číslech. Naopak výhodou je samo ustavující se čepel, nižší cena za nosník a opět konstantní zatížení po délce čepel.

### 4.3 Koncept škrabáku s pneumatickými válci

Tento typ je používán především u širokých strojů, či při užití oscilace. Samotný přítlak i odklopení škrabáku je zajištěno pomocí pneumatických válců, které se navrhují tak, aby byl splněn požadavek přítlaku. Schéma tohoto řešení můžeme vidět na Obr. 4-3.



Obr. 4-3 Schéma koncepčního řešení škrabáku s pneumatickými válci (neproporcionální)

V konstrukčním provedení je uvažován držák čepu K35A z důvodu ceny. Opět se hlavní tělo nosníku skládá z L profilu a výztuhy. Čepy jsou spojeny pomocí šroubů s bočnicemi, přivařenými k základnímu nosníku.

Nevýhodou tohoto typu je nekonstantní zatížení po délce stroje. Cenově je tato varianta poměrně drahá v porovnání např. se škrabákem s přítlakem pomocí vlastní váhy. Důvodem vysoké ceny je rozvod pneumatiky, konstrukce ovládacího panelu pneumatiky, příp. zapojení pneumatického obvodu k řídicímu obvodu stroje, a návrh vlastních pneumatických pístů. Ze tří představených variant je tato možnost provedení nejdražší. Výhodou je naopak možnost nastavení automatického ovládní odklápění, a tím i zautomatizování procesu kontrol.

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Pro následující konstrukční řešení byl vybrán typ škrabáku na principu přitlaku pomocí vlastní váhy, viz kap. 4.1. Tato volba byla provedena z důvodu nižší ceny komponentů a také poměrně omezeného volného prostoru v okolí válce. Dle Tab. 2-2 se musí dimenzovat rozměry, tudíž i tíha škrabáku, aby byly splněny doporučené hodnoty přitlaku.

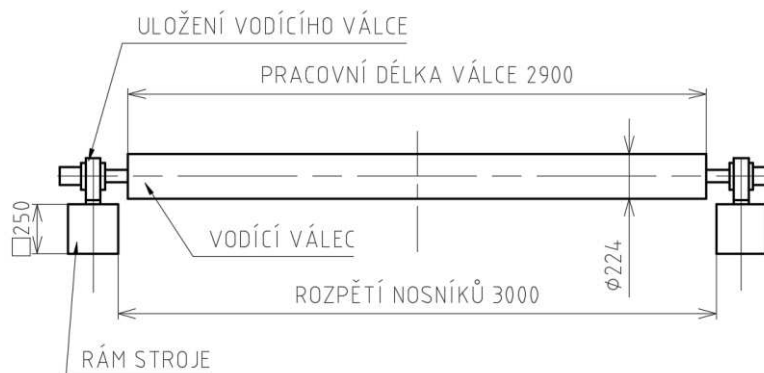
Pro konstrukci všech dílů, kromě držáku čepele, je volena chrom-niklová ocel X5CrNi18-10, neboli 1.4301, s mezí kluzu  $R_e \geq 190$  MPa a mezí pevnosti  $R_m = 500-700$  MPa. Pro spojovací součásti je tento materiál volen též, označení A2. Použití nerezové oceli je žádoucí, především z důvodu použití škrabáku v mokré části PS, resp. v lisové části, kde, jak již bylo zmíněno v kap. 2.3.2, dochází k největšímu odstranění vlhkosti z papíroviny.

Typem použité svařovací elektrody je OK AUTROD 347Si, se smluvní mezí kluzu po žihání  $R_{p0,2} = 330$  MPa [16]. Tato elektroda se využívá pro svařování v ochranné atmosféře CO<sub>2</sub>.

Pro návrhy jednotlivých normovaných součástí byli použity Strojnické tabulky [17].

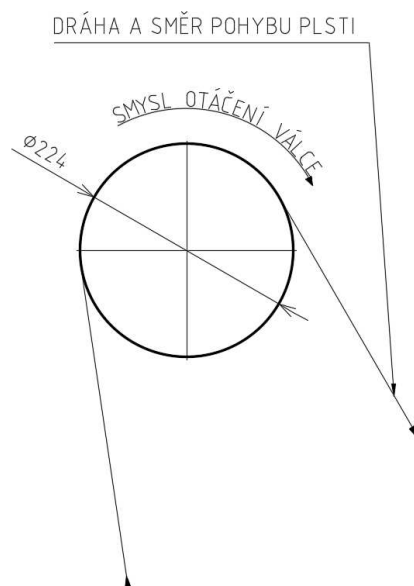
### 5.1 Možný prostor pro montáž

Válec, pro který je škrabák navrhován, vede plst'. Je tedy žádoucí navrhnout umístění škrabáku do volného prostoru, aby čepel mohla interagovat s povrchem válce. Schéma rozložení válce je znázorněno na Obr. 5-1. Vedení plsti je dále znázorněno na Obr. 5-2.



Obr. 5-1 Schéma uložení vodícího válce





Obr. 5-2 Schéma vedení plsti

Jak lze z Obr. 5-2 vidět, jediné možné uložení škrabáku je vespod válce. Je uvažováno, že tečná rovina k povrchu válce je sklopena od vodorovné roviny o  $10^\circ$ . Pro tuto konfiguraci je nutné navrhnout tvar škrabáku a následně upravovat samotné rozměry, abychom získali požadovaný minimální přitlak.

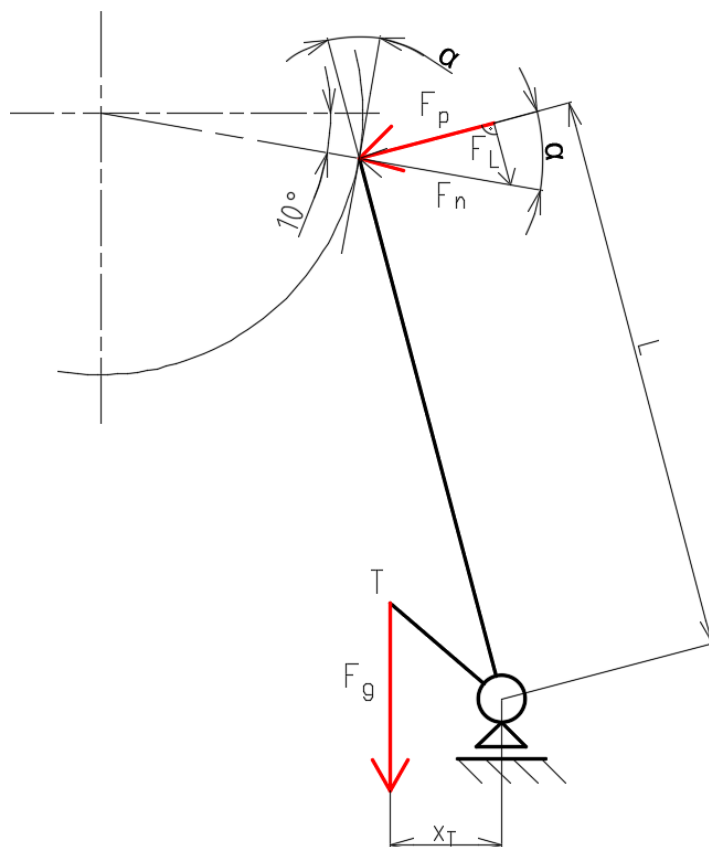
## 5.2 Základní výpočty řešení

Při každém návrhu škrabáku s přitlakem pomocí vlastní váhy je nutné zjistit polohu těžiště, aby následně bylo možné vypočítat přitlak přes pákový efekt (viz kap. 5.2.1). Těžiště je určeno pomocí aplikace Autodesk Inventor Professional [18], a to především z důvodu, že se jedná o iterační proces. K zjištění těžiště lze využít i jiných programů, případně analytického výpočtu.

Další část výpočtu je určení průhybu nosníku. Toto lze řešit analyticky, kdy je vhodné uvažovat se zjednodušením tvaru nosníku a je nutno předpokládat, kde se budou nacházet kritická místa. Vhodnější metodou je řešit problém např. přes metodu konečných prvků, tedy numericky. Samotné analýze tuhosti se věnuje samostatná kap. 5.11.

Poslední výpočtovou částí je kontrola spojů. Kontrola pravděpodobně kritických míst je provedena pro šrouby, které zajišťují uchycení čepů k nosníku, pro svary na konzolách a montážní svary desek k rámu stroje.

## 5.2.1 Výpočet přítlaku



Obr. 5-3 Silové schéma pro výpočet přítlaku

Kde:  $F_g$  ... Tíhová síla těla škrabáku

$F_p$  ... Síla působící na povrch válce vyvozená silou  $F_g$

$F_L$  ... Síla působící v rovině ostří čepele a osy rotace

$F_n$  ... Požadovaná síla přítlaku

$\alpha$  ... Úhel nastavení čepele

$L$  ... Vzdálenost ostří čepele od osy rotace

$x_T$  ... Rameno mezi osou rotace a těžištěm

Úhel  $\alpha$  mezi silami  $F_p$  a  $F_n$  je teoreticky  $25^\circ$ , nicméně v praxi je tak dosaženo jedině tehdy, pokud rovina ostří čepele prochází přímo skrze osu rotace. V tomto případě se tak neděje, tudíž grafickou metodou byl zjištěn úhel  $\alpha$ , mezi silami  $F_p$  a  $F_n$ , a je roven  $24,8^\circ$ . Výpočty jsou stanoveny ze silového schématu na Obr. 5-3. Hodnoty v Tab. 5-1 jsou odečteny, resp. odměřeny, z výkresů.

Tab. 5-1 Potřebné hodnoty pro výpočet přítlaku

Veličina	Značka	Velikost	Jednotky
Vzdálenost osy rotace a ostří čepele	L	239,51	mm
Vzdálenost těžiště od osy rotace	$x_T$	46,26	mm
Délka čepele	$L_\xi$	2 900	mm
Hmotnost	m	145,13	kg
Úhel svíraný přítlačnou silou a silou, vyvolanou silou tíhovou	$\alpha$	24,8	°

Užité vzorce:

$$F_g = m \cdot g \quad (1)$$

$$F_p = \frac{F_g \cdot x_T}{L \cdot L_\xi} \quad (2)$$

$$F_n = F_p \cdot \cos(\alpha) \quad (3)$$

Vlastní výpočet:

Výpočet tíhové síly působící na škrabák, vztah dle rov. (1):

$$F_g = m \cdot g = 145,13 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \doteq 1423,7 \text{ N}$$

Výpočet síly vyvozené tíhovou silou vztažené na jeden metr škrabáku dle rov. (2):

$$F_p = \frac{F_g \cdot x_T}{L \cdot L_\xi} = \frac{1423,7 \text{ N} \cdot 46,26 \text{ mm}}{239,51 \text{ mm} \cdot 2,9 \text{ m}} \doteq 94,8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

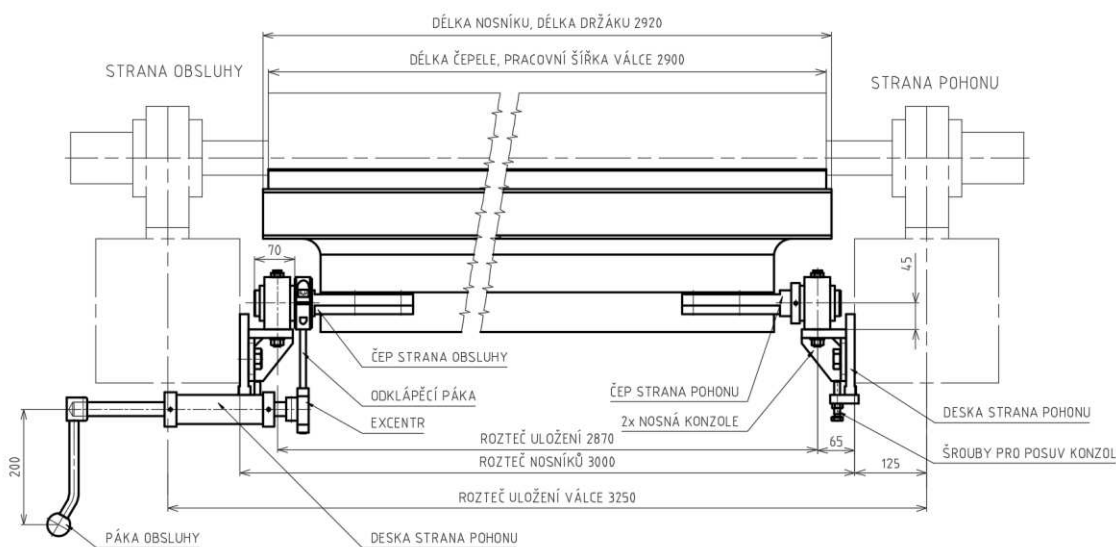
Výpočet přítlačné síly podle vztahu (3):

$$F_n = F_p \cdot \cos(\alpha) = 94,8 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \cos(24,8^\circ) \doteq 86,1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

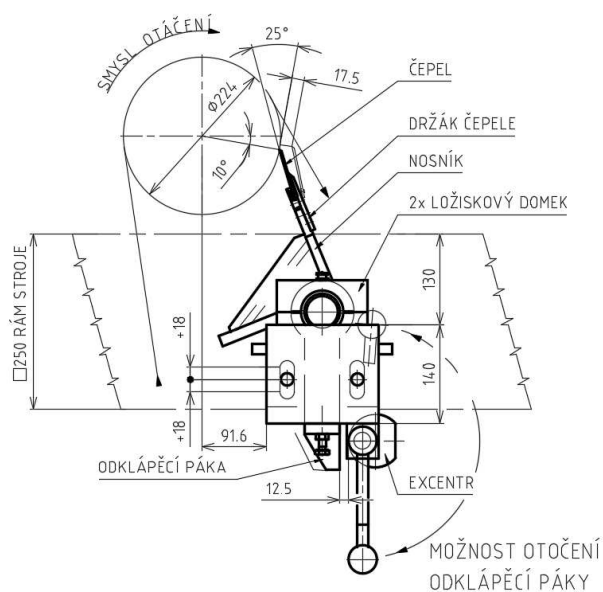
Výsledná hodnota přítlaku  $F_n = 86,1 \text{ N/m}$  splňuje požadavek na přítlak, dle Tab. 2-2, kde  $F_{\text{NORMÁLNÍ}} = 80 \text{ N/m}$ . Zároveň je vypočtená hodnota vyšší než  $F_{\text{NORMÁLNÍ}}$ , což se doporučuje z důvodu nepřesností výroby. Ve výsledku by bylo možné velikost přítlaku navýšit přemístěním těžiště, což by souviselo se zvětšením hmotnosti, nicméně to by se poté odrazilo v ceně za materiál pro konstrukci.

### 5.3 Vlastní řešení

Řešení spočívá v návrhu jednotlivých komponentu. Mezi hlavní konstrukční uzly se řadí nosník, držák čepele, čepel, uložení nosníku, tj. čepy na nosníku, ložiskové domky, nosné konzole a připevnění k rámu. Navíc je třeba vyřešit možnost odklápění nosníku pomocí páky. Jednotlivé konstrukční uzly jsou popsány v následujících kapitolách (5.4–5.10). Na Obr. 5-4 je znázorněna sestava ve správné konfiguraci s uložením ve stroji, resp. pohled na celé zařízení zepředu. Pohled z boční stany lze vidět na Obr. 5-5, kde je navíc zaznačena i pozice odklopení od válce.



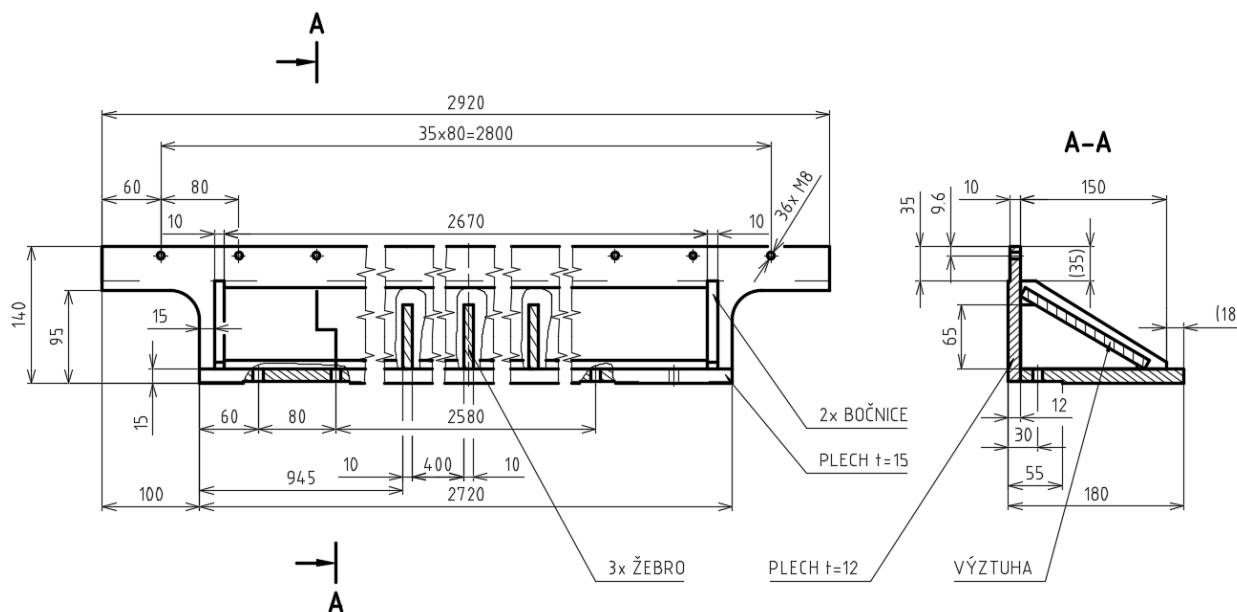
Obr. 5-4 Konstrukční řešení sestavy – pohled na celé zařízení



Obr. 5-5 Konstrukční řešení sestavy – boční pohled s pozicí odklopení pák a čepele

## 5.4 Návrh nosníku

Nosník tvoří hlavní tělo a skoro celou tíhu škrabáku, proto je nutné ho navrhnout tak, aby byly zaručeny doporučené hodnoty přítlaku. Konstrukce této části je naznačena na Obr. 5-6.



Obr. 5-6 Konstrukční řešení svařovaného nosníku škrabáku

Nosník je navrhnout tak, že se jedná o nerezový svařenec, skládající se z osmi plechů, jmenovitě dvakrát bočnice, třikrát žebro, výztuha, plech zadní o tloušťce 15 mm a vrchní plech s tloušťkou 12 mm.

Základní profil je složen ze dvou plechů, o tloušťkách 12 mm a 15 mm, které jsou k sobě přivařeny a vytváří tvar písmene L. Důvod volby základního profilu jako svařence, na místo samostatného L profilu, byl prostý, a to sice omezená velikost L profilu, tudíž obtížné dosažení požadovaného ramene těžiště k ose otáčení.

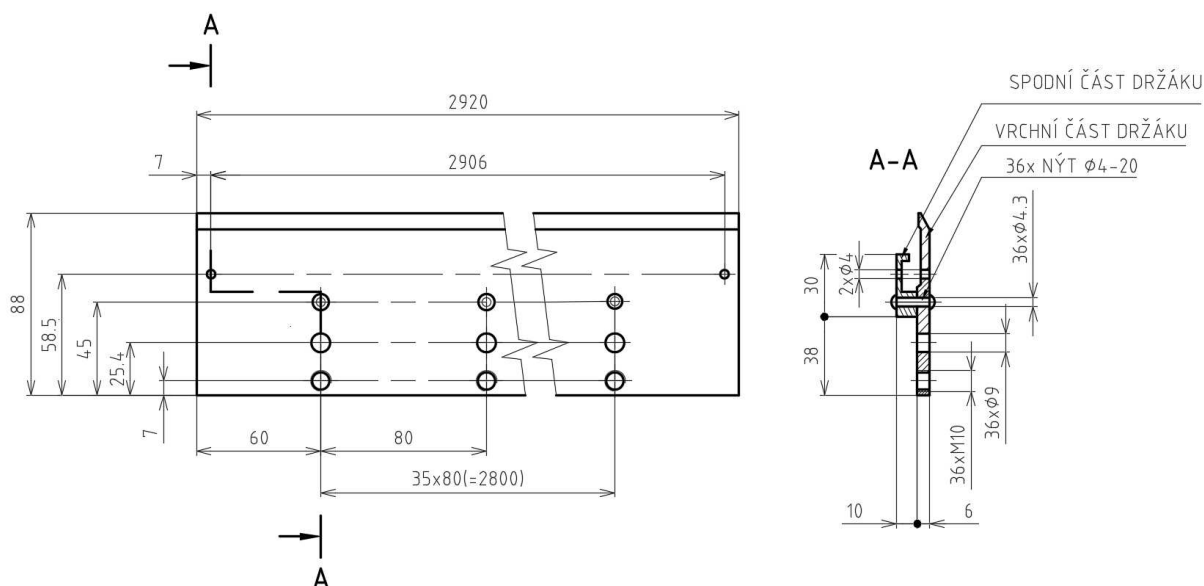
Základní profil je vyztužen třemi žebry a přídavným plechem, tj. výztuhou. Tyto komponenty především napomáhají k udržení stability celé sestavy a ke zmenšení celkového průhybu nosníku.

Bočnice jsou následně přivařeny k základním plechům a výztuze, a to hlavně z důvodu vodotěsnosti, což je pro škrabáky fungující na principu přítlaku pomocí vlastní váhy zásadní. Všechny svary na nosníku jsou provedeny po celém obvodu, a to opět z důvodu vodotěsnosti. Použitými svary jsou půl V svary velikosti 5 mm pro spojení základního profilu s výztuhou, dále koutové svary výšce 3 mm pro svaření bočnice s výztuhou a výšce 3,5 mm pro přivaření žeber, bočnic a samotných plechů tvořící tvar L. Po svaření je celý nosník vyžihán ke snížení vnitřního pnutí z důvodu snazšího obrobení.

V horním plechu je uvažováno vybrání, pro jednodušší ustavení držáku čepele. Dále je zde uvažováno třicet šest závitových děr velikosti M8 pro spojení držáku čepele a nosníku. V zadním plechu je vybrání a čtyři závitové díry, velikosti M12, pro přesné uchycení čepů. Všechny operace pro vytvoření těchto prvků jsou prováděny již na svařeném profilu, jelikož po přivaření dojde ke zkroucení plechů, což by v případě obrobení před svařením vyústilo v nepřesnosti.

## 5.5 Držák čepele

Držák čepele se skládá z plechu a ploché tyče, tyto součásti jsou obrobeny a vzájemně nerozebíratelně spojeny silovým stykem, a to konkrétně třiceti šesti nýty  $\varnothing 4-20$  mm dle DIN 660. Samotné konstrukční řešení můžeme vidět na Obr. 5-7.



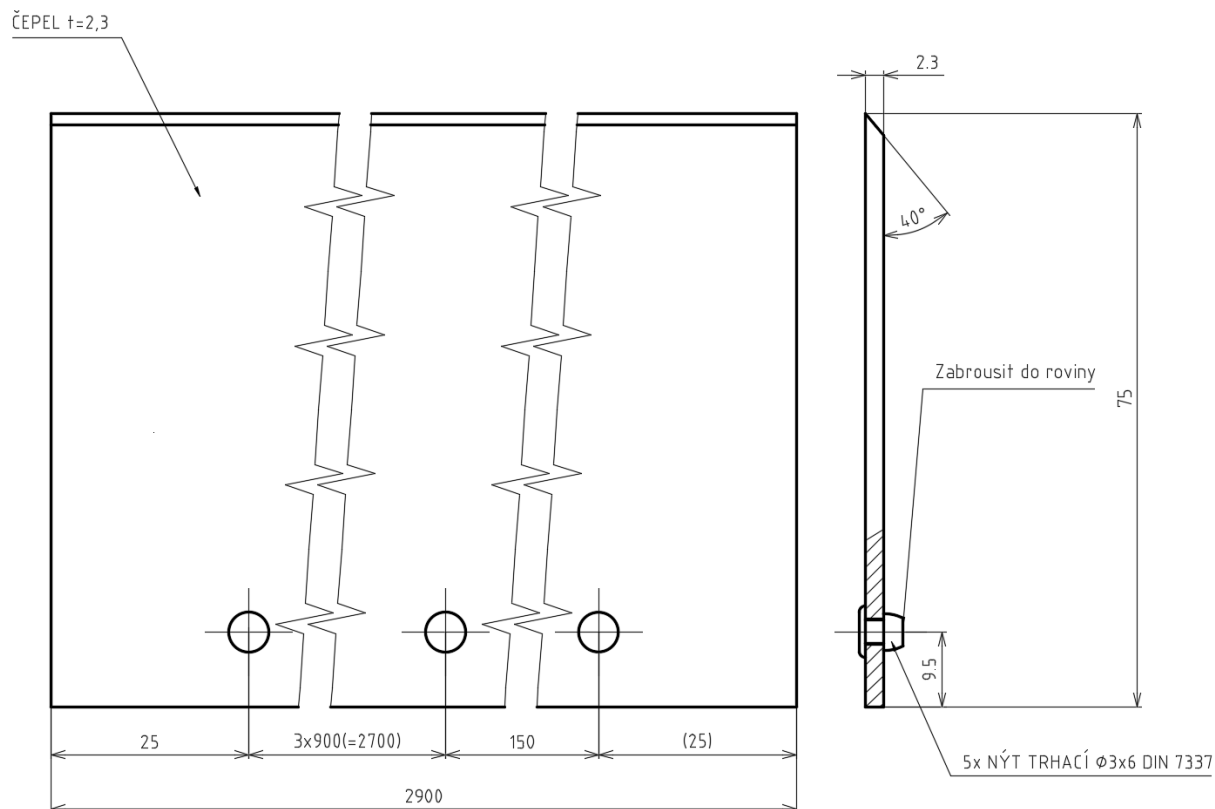
Obr. 5-7 Konstrukční řešení držáku čepele – typ K35A

Je uvažován tvar držáku typu K35A. Materiálovou volbou je nerezová ocel 1.4404 neboli X2CrNiMo17-12-2, ze které se tyto nerezové držáky standardně vyrábějí [13]. Je možné držák nechat vyrobít na zakázku u výrobce, kdy se k objednavce zašle zjednodušená výkresová dokumentace, např. u firmy Bonetti S.p.A., nebo je možné jej nechat vyrobít interně ve firmě dodavatele škrabáku.

V horním plechu je celkem sto deset děr o různých průměrech. Jedná se o třicet šestkrát M10 pro stavěcí šrouby, sloužící k finálnímu seřízení konstantního přítlaku, třicet šestkrát  $\varnothing 9$  mm pro šrouby spojující držák s nosníkem, třicet šestkrát  $\varnothing 4,3$  mm pro nýty a dvakrát  $\varnothing 4$  mm sloužící pro umístění závlaček zamezujících vysunutí čepele.

## 5.6 Čepel

Čepel je volena z materiálu B5 (neboli Fenoset) o tloušťce čepelce 2,3 mm a šířce 75 mm, dle Tab. 2-3, z důvodu beltexového potahu povrchu válce. Čepel se dodává od výrobce v rolích. Tyto role se obvykle dodávají přímo zákazníkovi, aby si mohli provést výměnu čepelce při běžných odstávkách sami. Samotný tvar čepelce a rozložení vodících nýtů lze vidět na Obr. 5-8.

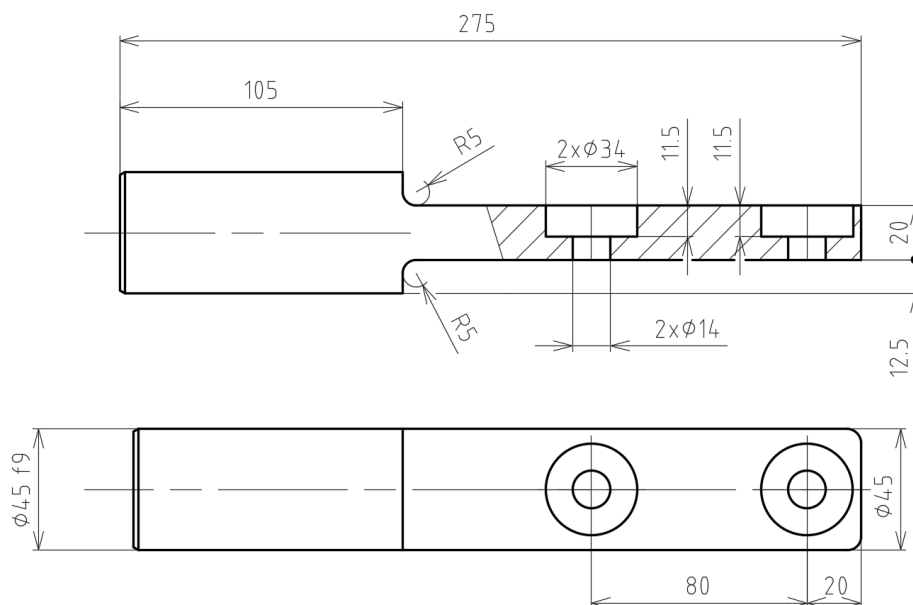


Obr. 5-8 Konstrukční řešení čepelce s vodícími nýty

V tomto případě jsou konstrukčními prvky pouze vodící nýty, které zamezují vypadnutí čepelce tím, že se nachází ve vybrání spodní části držáku. Zároveň umožňují snadné nasunutí do držáku. Opět je možné nechat celou čepel, i s vodícími prvky, objednat u výrobce, případně je možné, aby se konstrukční vodící prvky dodělaly interně ve firmě dodavatele škrabáku po dodání čepelce od jejího výrobce.

## 5.7 Čepy

Samotné uložení nosníku je realizováno přes čepy  $\varnothing 45$  mm. Každý čep je spojen s nosníkem škrabáku přes dva šrouby se šestihrannou hlavou M12-30 dle DIN 933. Jmenovitá úchylka průměru čepu je volena f9, tudíž pro uložení s vůlí, a to kvůli stíracím kroužkům v uložení [18]. Schéma čepu lze vidět na Obr. 5-9.



Obr. 5-9 Konstrukční řešení čepů pro uchycení nosníku k rámu stroje – strana pohonu

Strana obsluhy je mírně modifikovaná. Kromě uložení je na této straně i páka, sloužící k odklápění čepele od povrchu válce (viz kap. 5.10). Proto je zde volen zápich tvaru D 2,2x0,3 a změna tolerance z f9 na k6.

Polotovarem pro výrobu je uvažována tyč kruhového průřezu, která se obrobí dle výkresové dokumentace na požadované rozměry. Pro zhotovení bude nutné užít jak frézku, tak i soustruh.

Při montáži je uvažováno utažení na předpětí, spočítané v kap. 5.12, a zároveň s užitím lepidla Loctite 243 [19] od společnosti Henkel Adhesives, aby nedošlo k vniknutí kapaliny do vnitřní části škrabáku a došlo k dodatečnému pojištění šroubu.

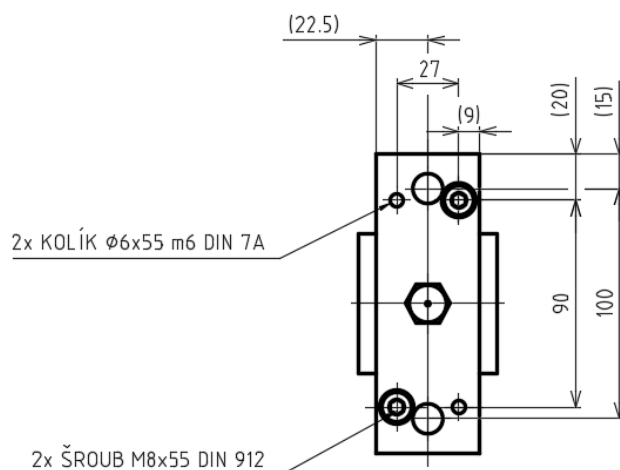


## 5.8 Výběr uložení škrabáku

Uložení čepů na nosné konzole je voleno přes samomazné kluzné pouzdro v materiálovém provedení ocel-ptfe<sup>8</sup>, objednáno z Prumex s.r.o., typové označení KU4550, které se následně zkrátí na délku 45 mm. Typ KU4545 o délce 45 mm se zakázkově vyrábí, ale není k běžnému dostání v českých obchodech s tímto sortimentem (např. <https://www.prumex.cz/>), proto je volena volba úpravy.

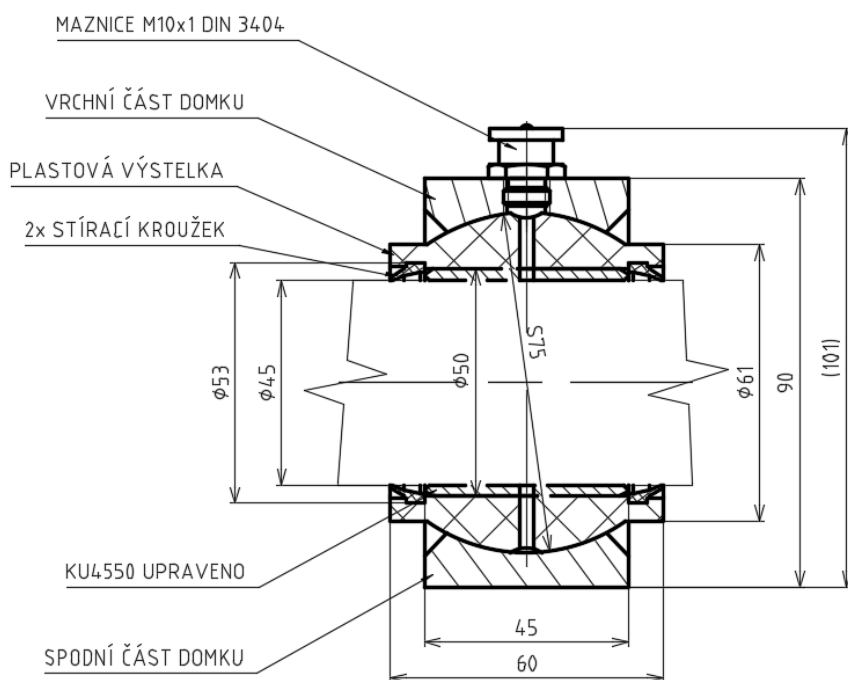
Kromě kluzného pouzdra obsahuje ložiskový domek i výstelku (o sférickém profilu z polymeru s označením S1000), aby mohlo docházet k případnému naklápění škrabáku při seřizování. Taktéž jsou v této výstelce uloženy stírací kroužky [20], aby nedocházelo k úniku maziva.

Celý ložiskový domek je zobrazen v řezu na Obr. 5-11. Domek je složen ze dvou rozebíratelných částí (vrchní a spodní část), spojených dvěma kolíky a šrouby. Umístění šroubů a kolíků s pozicí děr pro uchycení ke konzoli je znázorněno na Obr. 5-10. Navíc je k domku připojena plochá maznice, dle DIN 3404, pro doplňování maziva v domku.



Obr. 5-10 Vrchní pohled na ložiskový domek – rozložení šroubů a děr

<sup>8</sup> **PTFE** neboli Polytetrafluorethylen (taktéž znám pod obchodním názvem teflon) [21]



Obr. 5-11 Řez ložiskovým domkem na čepu

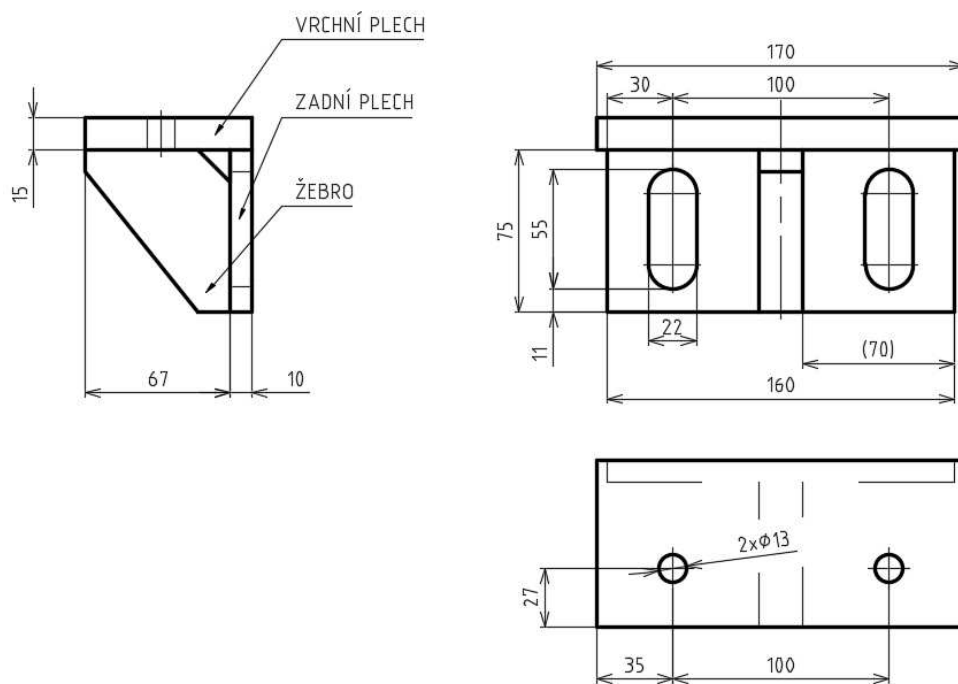
Druh maziva obvykle záleží na přání zákazníka. Ve firmě je pro uložení škrabáku standardně využívané plastické mazivo typu MOL Liton LT 2EP, které obsahuje přísady, které zabraňují opotřebení, oxidaci a korozi.

## 5.9 Připevnění k rámu

Uchycení k nosníkům lisové části papírenského stroje je provedeno přes samotnou konzolu a desku přivařenou k rámu PS. Tyto části jsou dále rozepsány.

Deska přivařená k nosníku lisové části PS má dvě díry M20, vyvrtané po svaření jednotlivých součástí, sloužící pro upevnění konzoly k desce. Dále je zde navařena pomocná destička nacházející se na spodní část desky, ve které je po svaření vyvrtána závitová díra M10. Tato díra je pro šroub M10-60 dle DIN 933, kterým se dále nastavuje výška konzole, tj. celého zařízení, pro vyvození správného seřízení. Strana obsluhy (Obr. 5-13) se odlišuje od strany pohonu přivařenou čtvercovou tyčí, jinak je konstrukčně a rozměrově totožná, viz Obr. 5-14. V tyči na straně obsluhy se nachází vyvrtaná díra pro uchycení odklápěcího mechanismu, popsaného v kap. 5.10.

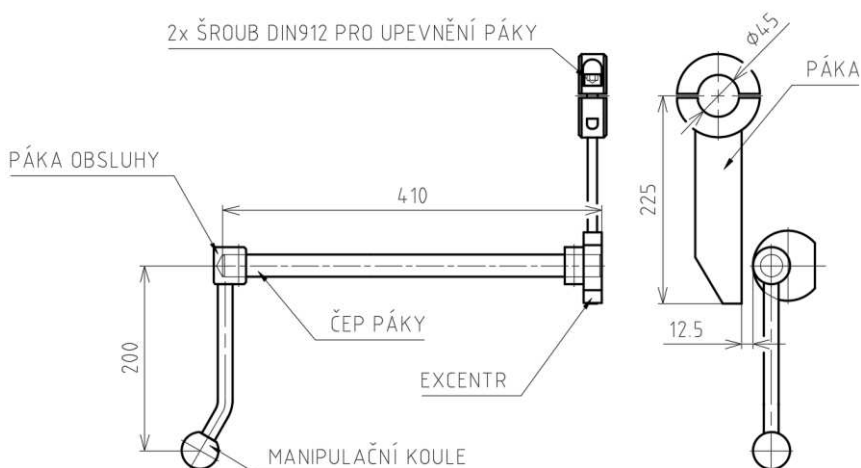




Obr. 5-14 Konstrukční řešení nosné konzoly

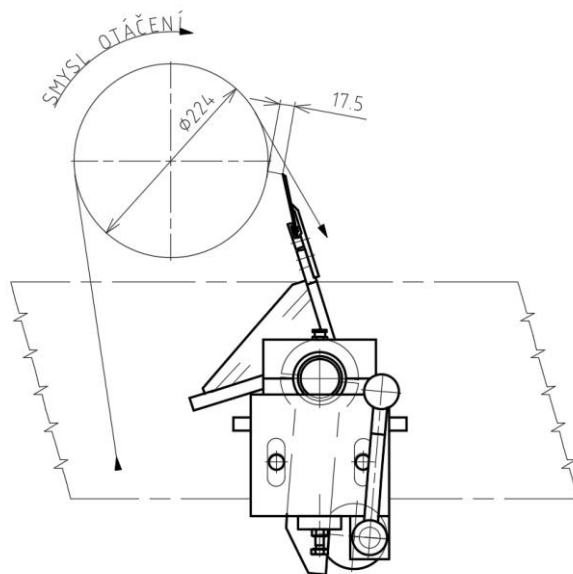
## 5.10 Mechanismus odklápění čepele od válce

Odklápění škrabáku pro možnost odstávek či kontrol je zajištěno pomocí páky, připevněné k čepu na straně obsluhy, excentru, stavěcích kroužků a páky obsluhy, uložených na desce strany obsluhy, resp. ve čtvercové tyči, která je na tuto desku navařená. Páka je silovým stykem pomocí dvou šroubů spojena s čepem na nosníku. Toto spojení zaručí, že při odklápění bude docházet i k odklápění nosníku. Sestavení odklápěcího mechanismu lze vidět na Obr. 5-15.



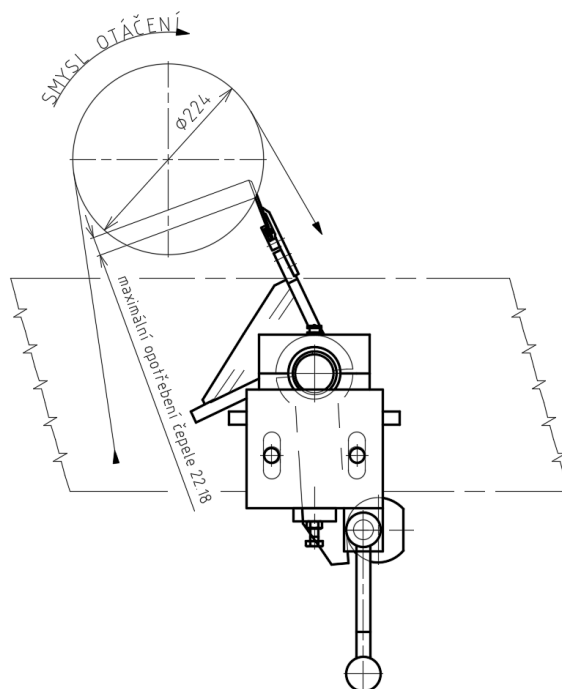
Obr. 5-15 Systém odklápění těla škrabáku

Při odklápění pákou obsluhy dochází k otočení excentru, který odklopí páku škrabáku. Na excentru se nachází ubrání materiálu na jedné straně, aby bylo odklopení pojištěno dotykem této obrobené plochy s plochou páky. Samotný stav odklopení je znázorněn na Obr. 5-16.



Obr. 5-16 Boční pohled na sestavu při úplném odklopení čepel

Excentr jako takový navíc zajišťuje funkci krajní polohy držáku čepel, kdy při opotřebování čepel dochází k neustálému přiklápění nerezové části držáku k povrchu válce. Tudiž vzdálenost mezi excentrem a pákou je navržena tak, aby při opotřebování čepel nedošlo k zarytí držáku do válce. V okamžiku, kdy se tyto komponenty dotknou, přichází na řadu výměna čepel. Znázornění krajní polohy je na Obr. 5-17.

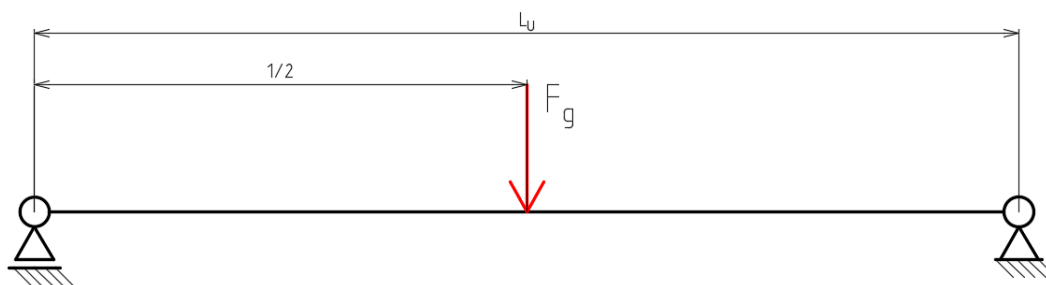


Obr. 5-17 Boční pohled na sestavu při krajní pozici přiklopení čepel (po opotřebování)

## 5.11 Rozbor úlohy

Nosník lze uvažovat jako prut (viz Obr. 5-18), nicméně pokud by se počítala jednotlivá napětí, je nutné dbát na změny průřezů nosníku. Soustava jako taková má dva stupně volnosti, jelikož je nosník uložen v ložiscích, jsou zde vazby odebírající jeden a dva stupně volnosti, tzn. že dovolují naklápění.

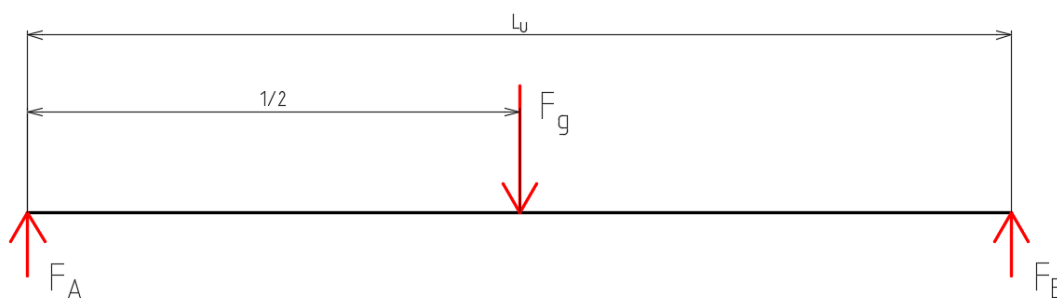
Gravitační zatížení působí jako liniová síla, nicméně ji lze přepočítat na zatížení ve formě jedné síly působící v těžišti systému. V tomto případě se z důvodu symetričnosti nosníku jedná o střed prutu.



Obr. 5-18 Nosník zjednodušený na prut, se zatížením, uložený v ložiscích

### 5.11.1 Statický rozbor

Uvolněním prutu získáme silové schéma, viz Obr. 5-19. Axiální síla ve vazbě B by byla rovna nule, proto lze tuto sílu zanedbat. Pro výpočet vazebních sil se využije rovnováha silová a momentová.



Obr. 5-19 Uvolněný prut se zaznačenými vazebními silami

Silová rovnováha  $\sum F = 0$ :

$$F_A + F_B - F_g = 0 \quad (4)$$

Momentová rovnováha k bodu A  $\sum M = 0$ :

$$F_g \cdot \frac{L_u}{2} - F_B \cdot L_U = 0 \quad (5)$$

Úpravou těchto jednotlivých rovnováh, viz rov. (4) a (5), lze dopočítat reakční síly ve vazbách  $F_A$  a  $F_B$

$$F_B = F_g - \frac{F_g}{2} = \frac{F_g}{2} = F_A \quad (6)$$

Po dosazení do rov. (6) získáme tyto hodnoty:

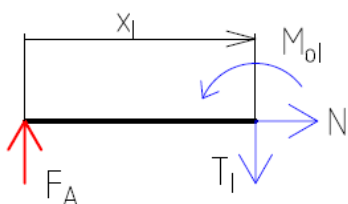
$$F_A = F_B = \frac{1423,7 \text{ N}}{2} = 711,86 \text{ N}$$

Vypočtené síly jsou tedy síly působící ve vazbách, resp. uloženíh.

### 5.11.2 Rozbor vnitřních sil a momentů

Prut lze rozdělit na dvě části (levou a pravou) a v těchto částech se spočtou výsledné vnitřní síly a momenty. Z charakteru zatížení lze ihned usoudit, že největší ohybový moment bude v těžišti nosníku, z důvodu zátěžné síly.

Řez prutem označený I (Obr. 5-20):



Obr. 5-20 Schéma pro výpočet vnitřních sil a momentů pro první řez prutem

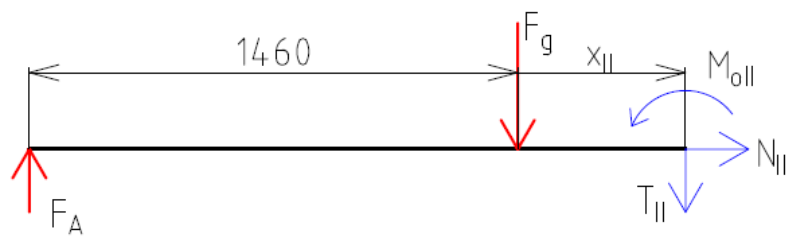
$$N_I = 0 \text{ N} \quad (7)$$

$$T_I = F_A \quad (8)$$

$$M_{oI} = F_A \cdot x_I \quad (9)$$

Kde:  $x_I \in \langle 0; 1,46 \rangle \text{ m}$

Řez prutem označený II (Obr. 5-21):



Obr. 5-21 Schéma pro výpočet vnitřních sil a momentů pro druhý řez prutem

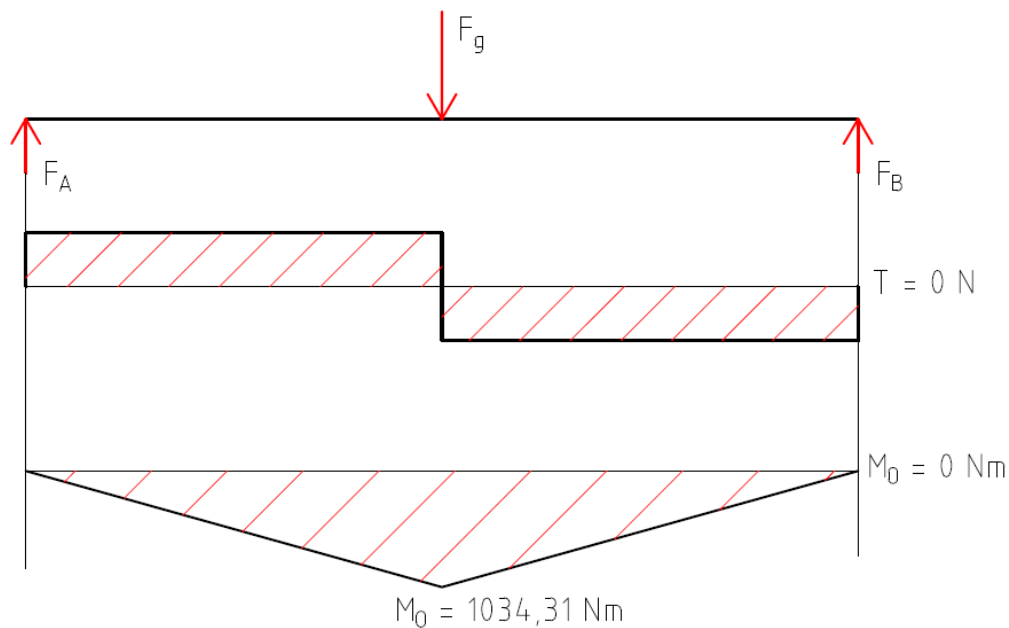
$$N_{II} = 0 \text{ N} \quad (10)$$

$$T_I = F_A - F_g \quad (11)$$

$$M_{oI} = F_A \cdot (1,46 \text{ m} + x_{II}) - F_g \cdot x_{II} \quad (12)$$

Kde:  $x_{II} \in \langle 0; 1,46 \rangle \text{ m}$

Podle sestavených rovnic [(7) – (12)] lze zkonstruovat průběhy pro vnitřní síly a momenty. Graficky znázorněné průběhy viz Obr. 5-22 potvrzují hypotézu polohy maximálního ohybového momentu, jenž se nachází právě pod tíhovou silou.



Obr. 5-22 Průběhy vnitřních sil a momentů po délce prutu (nosníku)



## 5.12 Kontrola průhybu nosníku

Nosník musí být dostatečně tuhý, aby byl zaručen konstantní přitlak. Dostatečná tuhost by měla být co největší a to tak, že maximální průhyb po délce by měl být nanejvýš 0,2 mm. Pro tuto kontrolu volím pevnostní analýzu v programu Inventor Professional [18].

Nastavení sítě:

- Průměrná velikost prvku: 0,05 mm
- Minimální velikost prvku: 0,2 mm
- Počet prvků sítě: 2 118 586
- Počet uzlů: 3 233 062

Nastavení konvergence:

- Maximální počet upřesnění: 4
- Kritérium zastavení: 5 %
- Práh upřesnění: 0,75
- Konvergující výsledky: Posunutí
- Míra konvergence: 0,25 %

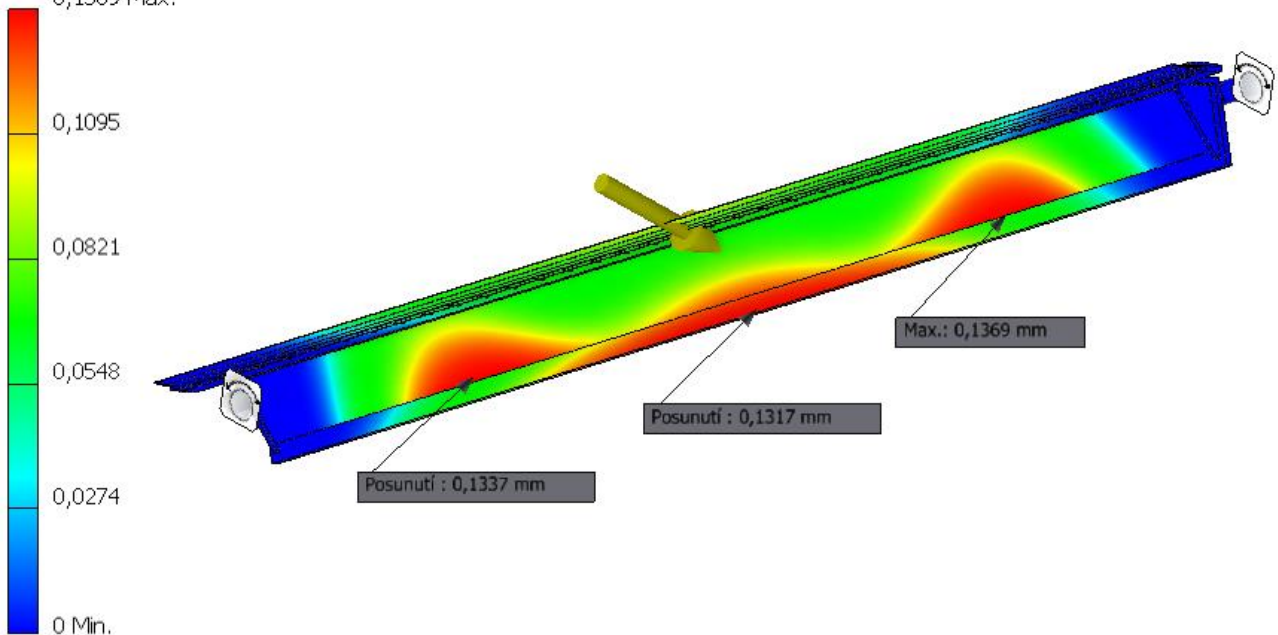
Nastavení vazeb:

Vazby jsou nastaveny jako svorky na koncích čepů. Čepy jsou v modelu upraveny pro umožnění zavazbení, a to zvětšením průměru na konci, resp. v místě uložení, o 0,001 mm, kdy pro menší rozměr program již nebral v potaz změnu průměru. Svorky mají pevný axiální a tečný směr.

Nastavení zatížení:

U nosníku je nejdůležitější jeho tuhost, tj. průhyb. Na nosník působí pouze tíhová síla, která se nachází v těžišti. Pro výpočet bylo taktéž důležité nastavit škrabák do pozice, ve které bude užít, tj. orientovat tíhovou sílu ve směru uvažovaného gravitačního pole Země.

Typ: Posunutí  
Jednotka: mm  
29.04.2022, 18:22:23  
0,1369 Max.



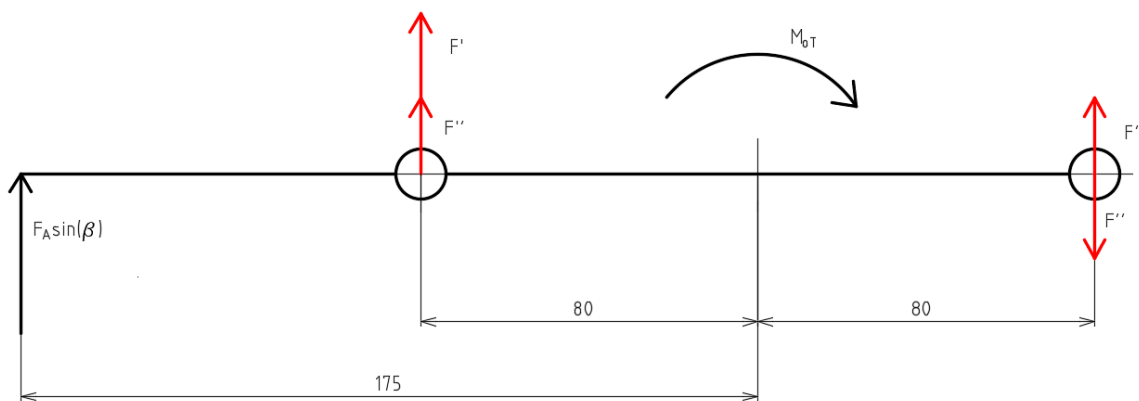
Obr. 5-23 Analýza průhybu nosníku v aplikaci Inventor Professional [18]

Z numerického výpočtu, viz Obr. 5-23, lze usoudit, že máme 3 nejkritičtější místa na průhyb. Jedno z těchto míst se nachází v těžišti, což se dalo předpokládat z důvodu největšího ohybového momentu. Z maximální hodnoty, která se nachází právě v těchto místech, lze vidět, že maximální průhyb je 0,1369 mm. Tato hodnota nepřesahuje maximální dovolený průhyb 0,2 mm, lze tedy tvrdit, že nosník je dostatečně tuhý.

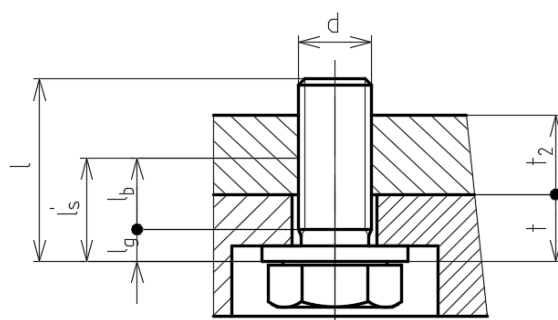
## 5.13 Kontrola spojovacích součástí

### 5.13.1 Kontrola šroubového spoje čepu

Zatížení spoje je kombinované. Na šroubový spoj, který je složen ze dvou šroubů tedy působí síla z vazby A, která lze rozdělit na síly působící kolmo na šroub a v ose šroubu. Při výpočtu kolmých sil působící na šrouby působí na těžiště spoje ohybový moment, který můžeme přepočítat na síly od ohybu. Samotný výpočet těchto kolmých sil vychází ze schématu na Obr. 5-24, kde lze vidět, že větší výsledná síla bude na šroubu umístěném právě blíže k zatížení. K výpočtu bezpečnosti k meznímu stavu pružnosti a bezpečnosti vůči zániku sevření, je třeba taktéž vypočítat tuhostní konstantu. Pro zjištění této hodnoty je třeba vypočítat jednotlivé délky, vyznačené na Obr. 5-25, zjistit tuhost šroubu a tuhost spojovaných součástí. Jednotlivé vztahy vychází z [22] a jsou vypočteny v příloze Výpočty\_příloha. Výsledné důležité parametry šroubového spoje jsou dále vypsány na str. 52 v Tab. 5-2 a bezpečnosti v Tab. 5-3.



Obr. 5-24 Schéma zatížení kolmo na šrouby uchycení čepu k nosníku



Obr. 5-25 Schéma šroubového spoje s rozměry pro výpočet tuhosti

Stanovené výpočtové konstanty:

- Výpočtový průřez šroubu M12:  $A_S = 84,3 \text{ mm}^2$
- Mez kluzu materiálu A2:  $\sigma_K = 210 \text{ MPa}$
- Jmenovitý průměr závitu M12:  $d = 12 \text{ mm}$
- Modul pružnosti v tahu oceli:  $E = 207 \text{ GPa}$
- Počet šroubů spoje:  $i = 2$
- Úhel, pod kterým působí síla:  $\beta = 22^\circ$
- Nejmenší průměr závitu:  $d_3 = 11,571 \text{ mm}$

Tab. 5-2 Vypočtené parametry síly a tuhosti

<b>Veličina</b>	<b>Velikost</b>	<b>Jednotky</b>
Síla působící v ose šroubu	330	N
Redukované napětí dle HMM	29,8	MPa
Tuhost šroubu $k_s$	$1,114\ 1 \cdot 10^6$	N/mm
Tuhost spojovaných součástí $k_p$	$3,047\ 6 \cdot 10^6$	N/mm
Tuhostní konstanta C	0,2677	-

Je třeba taktéž zvolit sílu předpětí, na kterou budeme šroub utahovat. Je volena síla o velikosti  $F_i = 1,5\ \text{kN}$ . Nutný utahovací moment pro vyvození daného předpětí o této velikosti je roven  $M_u = 5,4\ \text{N} \cdot \text{m}$ .

Tab. 5-3 Výsledná bezpečnost šroubového spoje

<b>Bezpečnost</b>	<b>Hodnota</b>
Vůči zániku sevření	6,2
K meznímu stavu pružnosti	7,1

### 5.13.2 Svary na konzoli

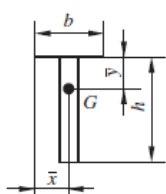
Svary jsou zatíženy ohybem. Z tohoto důvodu je napětí počítáno od ohybového momentu a od posouvající síly. Vztahy jsou převzaty z [22] a výpočty jsou provedeny v příloze: Výpočty\_příloha, se vstupními parametry z Tab. 5-4 odměřených z výkresové dokumentace. Bezpečnost je následně počítána k meznímu stavu pružnosti a je zaznačena v Tab. 5-5. Smluvní mez kluzu elektrody pro materiál po rozpouštěcím žíhání je  $R_{p0,2} = 330 MPa$  [16]. Na Obr. 5-6 je zaznačen tvar svarové skupiny spolu se vzorci výpočtů geometrických charakteristik svaru.

Dovolené smykové napětí lze spočít pomocí vzorce:

$$\tau_{Dov} = 0,577 \cdot R_{p0,2} \quad (13)$$

Dosazením hodnot do rovnice (13) získáme:

$$\tau_{Dov} = 0,577 \cdot 330 MPa = 190,41 MPa$$



$$S = 0,707z(b + 2h)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = \frac{h^2}{b + 2h}$$

$$J_{zu} = \frac{2h^3}{3} - 2h^2\bar{y} + (b + 2h)\bar{y}^2$$

Obr. 5-26 Geometrické charakteristiky pro svarové uspořádání konzole [1; str. 516; tab. 9-2]

Tab. 5-4 Vstupní parametry výpočtu svaru konzole

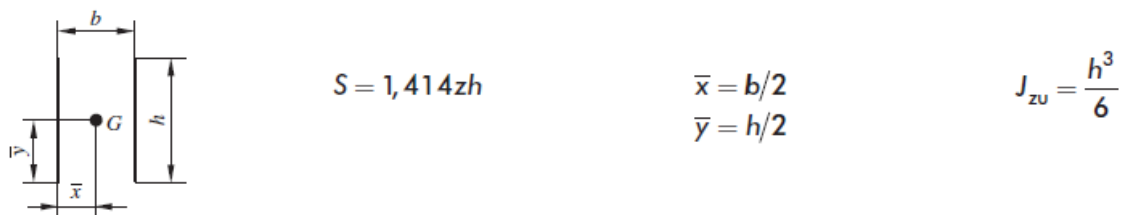
Vstupní veličina	Velikost	Jednotka
Výška svarového uspořádání $h_1$	75	mm
Šířka svarového uspořádání $b_1$	160	mm
Velikost svarové housenky $a$	4	mm
Zátěžná síla $F_A$	711,86	N

Tab. 5-5 Výsledná bezpečnost svarového spoje konzole

Bezpečnost	Hodnota
K meznímu stavu pružnosti	66,1

### 5.13.3 Montážní svary

Tyto svary spojují desku s rámem PS a jsou prováděny montážně. Opět na svarovou housenku působí ohybový moment a posouvající síla. Výpočet vychází dle [22] a je proveden v příloze: Výpočty\_příloha. Materiál svařovací elektrody je volen stejně, jako v kap. 5.13.2, platí tedy stejná hodnota  $\tau_{Dov} = 190,41 \text{ MPa}$ . Vstupní hodnoty v Tab. 5-6 jsou taktéž odměřeny z výkresů a vypočtená bezpečnost k meznímu stavu pružnosti je zaznačena v Tab. 5-7. Obr. 5-27 znázorňuje svarovou skupinu a obsahuje vzorce pro výpočet geometrických charakteristik této skupiny.



Obr. 5-27 Geometrické charakteristiky svarové uspořádání montážních svarů desky [1; str. 515; tab. 9-2]

Tab. 5-6 Vstupní parametry výpočtu montážního svaru desky

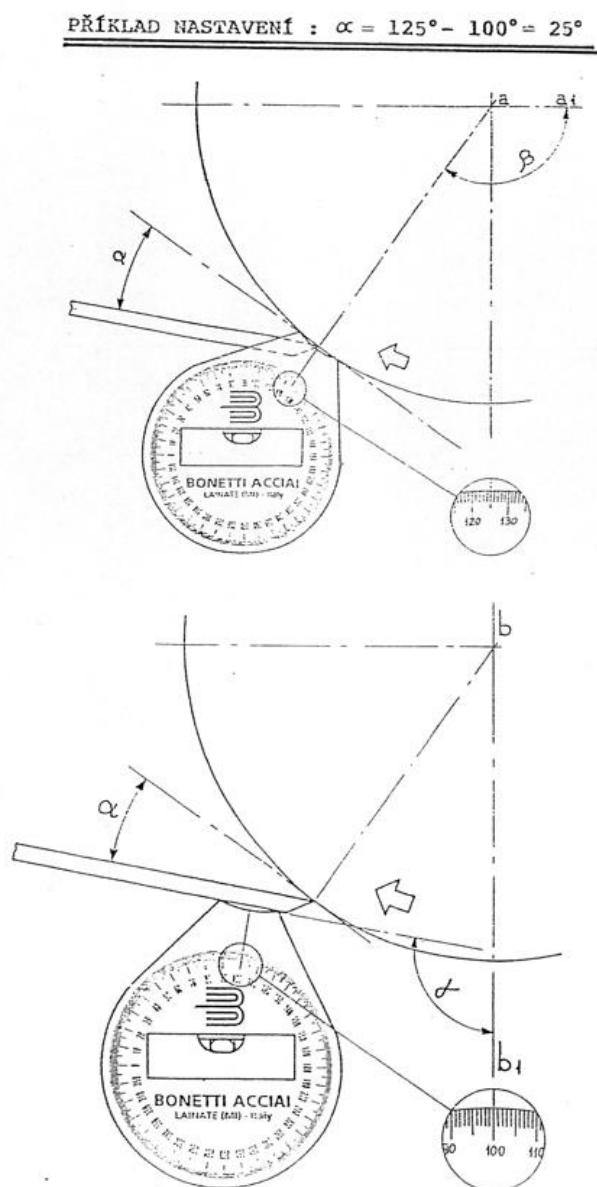
Vstupní veličina	Velikost	Jednotka
Výška svarového uspořádání $h_2$	120	mm
Šířka svarového uspořádání $b_2$	160	mm
Velikost svarové housenky $a$	4	mm
Zátěžná síla $F_A$	711,86	N

Tab. 5-7 Výsledná bezpečnost svarového spoje konzole

Bezpečnost	Hodnota
K meznímu stavu pružnosti	75,52

## 5.14 Seřízení škrabáku

Seřízení jako takové bude probíhat ve dvou bodech. Zprvce se musí nastavit požadovaný úhel nastavení čepele, tj.  $25^\circ$ . Nastavení probíhá za pomoci posuvu konzol, zajištěný šrouby M10 na deskách přivařených k rámu stroje. Tím dochází k naklápění škrabáku, tudíž i čepele. Nastavení správné hodnoty se odměřuje na straně obsluhy a pohonu pomocí speciálního přípravku, jehož schéma a princip jsou znázorněny na Obr. 5-28.



Obr. 5-28 Nastavení požadovaného úhlu čepele pomocí přípravku od firmy Bonetti S.p.A. [6]

Druhá část seřízení sestává z akustické zkoušky pro zjištění konstantního přitlaku a z úpravy dotažení stavěcích šroubů. Postup této kontroly je uveden v kap. 2.7, na str. 27.

## 6 DISKUZE

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat funkční zařízení směřující do papírenského průmyslu. Konkrétně do lisového segmentu v mokré části papírenského stroje. Jedná se o škrabák vodícího válce plsti o průměru 224 mm a délce 2 900 mm. Zadáání nové konstrukce mělo tři hlavní kritéria. Prvním bylo užití nerezové oceli na jednotlivé součásti, aby nedocházelo postupem času ke korozi na nosníku, či jiných částech. Dalším kritériem byl vlastní přítlak škrabáku, jehož mezní hodnoty jsou dány katalogem výrobce čepelí, případně vnitřní normou výrobního podniku a závisí na typu válce a jeho potahu (viz Tab. 2-2). Posledním, ne však zanedbatelným parametrem, bylo zaručení dostatečné tuhosti. Ta se projevuje jako průhyb, kdy krajní mez průhybu užívaná v HAJDO spol. s r.o. je 0,2 mm.

Vlastní konstrukci bylo nutné navrhnout tak, aby se dala umístit do požadovaného volného prostoru v okolí válce. Z důvodu poměrně malých zástavbových prostor bylo třeba uvažovat nad úpravami jednotlivých komponent nosníku. Při vlastní konstrukci bylo třeba dbát na umístění čepů na nosník. Toto umístění splňuje požadavek, kdy se rovina čepele nachází nad osou otáčení. Po svaření je třeba provést penetrační zkoušku svaru, kterou se zjistí vodotěsnost nosníku. Zde by se dalo využít i metody kontroly pomocí např. UV záření nebo rentgenu.

Pevnostní kontrola byla provedena za pomoci programu Inventor Professional [18]. Hodnota průhybu vyšla 0,137 mm, tudíž nosník na průhyb splňuje normu podniku. Často však, především u velkých a drahých válců, zákazník požaduje maximální průhyb 0,1 mm. Tuhost nosníku by se dále dala zvýšit, a to nejlépe přidáním dodatečných výztužných žeber.

Svary z výpočtů vyšly jako místa bezpečná, dokonce výrazně předimenzovaná. Důvodem vysoké bezpečnosti je poměrně malé zatížení, které působí na svarové spoje. Pokud by škrabák byl navrhován pro větší válce a hmotnost škrabáku by tím pádem byla větší, je pravděpodobné, že tato místa by kritickými byla. Bezpečnost svarových spojů by šla dále zmenšit i velikostí svaru. Velikost svaru ale souvisí s největší tloušťkou svařovaného plechu, tudíž pro zmenšení bezpečnosti by muselo dojít k úpravám plechu, či jejich nahrazení za plechy tenčí.

Výpočtem šroubového spoje byla analyticky zjištěna bezpečnost 7,1 vůči meznímu stavu pružnosti a 6,2 vůči zániku sevření. Předpětí na šroubu je přitom uvažováno o velikosti 1,5 kN, tj. užitím utahovacího momentu o velikosti 5,4 Nm. Navíc jsou šrouby pojištěny lepidlem Loctite 243 [19] pro zajištění nepropustnosti spoje.

Konstrukce je uvažována pro konkrétní použití na stroji, tudíž konstrukci nelze uplatnit v jiných částech PS. Zároveň se počítá s možným přetížením, jelikož v provozu, resp. při odstávkách, není ve stroji velmi mnoho místa pro pohyb. Z tohoto důvodu se často v PS tato zařízení využívají jako lávky, opěrné body či odkládací plochy. První možná porucha by tudíž mohla nastat u šroubů, které spojují čepy s nosníkem, avšak jednalo by se o zánik sevření, a to při dodatečném zatížení více než 700 kg.



## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout škrabák vodícího válce plsti o určitých parametrech umístěného v mokré části papírenského stroje. Práce se zabývá analýzou problematiky výroby papíru v papírenském stroji, který se mimo jiné skládá i ze zařízení zvaných škrabák. K tomuto zařízení byla provedena rešerše možných typů konstrukčních uzlů, především čepelí, jejich držáků, možných rozvržení nosníku a posouzení, kdy by bylo vhodné těchto různých konstrukčních uzlů využít.

Výsledkem této teoretické analýzy byly tři možná koncepční provedení škrabáku, kdy každé spočívalo v odlišném vyvození přítlaku. Z těchto variant vyplývá i konstrukce jednotlivých částí. Po porovnání výhod a nevýhod jednotlivých variant, byl vybrán pro další konstrukční zpracování typ s přítlakem pomocí vlastní váhy.

Postup vlastního konstrukčního řešení spočíval v navržení těla škrabáku, resp. jeho nosníku a čepů, a následných úpravách na konstrukci s ohledem na to, aby přítlačná síla vyšla v rozmezí katalogových hodnot. Hodnota přítlaku na povrch válce pro výslednou konstrukci vyšla  $F_n = 86,1 \text{ N/m}$ , leží tak tedy v požadovaném rozmezí zjištěném z katalogu o rozpětí  $\langle 80; 150 \rangle \text{ N/m}$ . Dále bylo navrženo uložení škrabáku na rámu papírenského stroje, do kterého spadají ložiskové domky, konzole a desky, přivařené k rámu stroje. Pro seřízení bylo nutné, aby se dalo se zařízením vertikálně pohybovat, což je vyřešeno možným vertikálním posuvem konzole po desce. Deska s konzolí jsou spojeny šroubovým spojem, který zde funguje i jako vodící prvek pro posuv. Posledním krokem konstrukce byl návrh odklápěcího mechanismu pro odstávky stroje a samotné kontroly zařízení.

V bakalářské práci byly provedeny kontroly tří spojů. Bezpečnost pro svary vyšla jako vysoce předimenzovaná, tj. bezpečnost 66,1 a 75,5. Pro šroubový spoj přichycení čepu k nosníku bezpečnost vyšla 6,2 vůči zániku sevření a 7,1 vůči mezímu stavu pružnosti. Tyto hodnoty jsou vyhovující. Hodnota maximálního průhybu nosníku vyšla rovna 0,137 mm. Mezní hodnotou pro průhyb, standardně používané ve firmě HAJDO spol. s r.o., je 0,2 mm. Lze tedy usoudit, že tuhost nosníku je dostatečná.

Výsledkem bakalářské práce je zhotovení kompletní výkresové dokumentace k zakázkové výrobě a montáži škrabáku pro určitý papírenský stroj.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HAJDO. *HAJDO Co.* [online]. Litovel: Hajdo, 2016 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <http://www.hajdo.cz/cs>
- [2] HÁJEK, Vlastimil, Radek HRUBÝ, Kateřina MOTUZOVÁ a Milan LÁSKA. Výroba papíru. *ELUC* [online]. Olomouc: ELUC, 2015 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1774>
- [3] Papírovina. In: *Typomil* [online]. Typomil, 2013 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://typomil.com/2013/01/papirna-v-charavines/>
- [4] ČERVENKA, Karel. *Papírenské stroje*. 2., dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. ISBN 04-614-62.
- [5] Nátoková skříň. In: *PAPCEL* [online]. Litovel: PAPCEL, a.s., 2016 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: [https://www.papcel.cz/UserFiles/Image/Produkty/Dekoracni\\_papiry/natok2a.jpg](https://www.papcel.cz/UserFiles/Image/Produkty/Dekoracni_papiry/natok2a.jpg)
- [6] Interní archiv firmy HAJDO spol. s r.o., Litovel: HAJDO spol. s r.o., 2022
- [7] *Doctoring 101*. Helsinky: Valmet, 2011. 19 s. Dostupné také z: [https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/process-improvements-and-parts/wpp\\_doctoring.pdf](https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/process-improvements-and-parts/wpp_doctoring.pdf)
- [8] Škrabák s přítlakem pomocí pneumatických válců. In: *PAPCEL* [online]. Litovel: PAPCEL, 2016 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.papcel.cz/produkty/papir/lepenka/papirensky-stroj/strojni-zarizeni/lisovacast/skrabak/>
- [9] *Doctor systems by Vickery's*. Londýn: Vickery's limited, [1990]. 4 s.
- [10] Držák čepele K35. *Bonetti: Doctoring the world* [online]. Milán: Bonetti [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: [http://www.bonetti.com/images/img\\_bonfirm\\_k35.jpg](http://www.bonetti.com/images/img_bonfirm_k35.jpg)
- [11] Držák čepele Bonflex. *Bonetti: Doctoring the world* [online]. Milán: Bonetti [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: [http://www.bonetti.com/images/img\\_bonflex.jpg](http://www.bonetti.com/images/img_bonflex.jpg)
- [12] Držák krepovací čepele. *Bonetti: Doctoring the world* [online]. Milán: Bonetti [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: [http://www.bonetti.com/en/crespatura\\_portalama.asp](http://www.bonetti.com/en/crespatura_portalama.asp)
- [13] *Bonetti General Catalogue*. Milán: Bonetti S.p.A., 2004. 39 s.
- [14] *Netkané textilie: Beltex* [online]. Ivančice: Micron Plus, 2022 [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.micronplus.cz/netkane-textilie>
- [15] Dyneema® fiber. *Dyneema®* [online]. Amsterdam: DSM [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: [https://www.dsm.com/dyneema/en\\_GB/our-products/dyneema-fiber.html](https://www.dsm.com/dyneema/en_GB/our-products/dyneema-fiber.html)

- [16] Drátové elektrody pro svařování MIG/MAG a TIG: Přehled drátů pro svařování v ochranných atmosférách. *Welmet, spol. s r.o.* [online]. Ostrava: Welmet, 2019 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://www.welmet.cz/wp-content/uploads/2019/04/ESAB\\_Dratove\\_elektrody.pdf](https://www.welmet.cz/wp-content/uploads/2019/04/ESAB_Dratove_elektrody.pdf)
- [17] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [18] Inventor Professional [Počítačový program]. Ver. 2022.2.2. Autodesk, Inc. [California], 2021 [cit. 28. 04. 2022]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview>. Studentská verze.
- [19] *LOCTITE 243*. Düsseldorf: Henkel, 2020. Dostupné z: <http://tds.henkel.com/tds5/Studio/ShowPDF/?pid=LOCTITE%20243%20UPDATED&format=MTR&subformat=REAC&language=EN&plant=WERCS&authorization=2>
- [20] *Hydraulická těsnění. Stírací kroužky A 834*. Litoměřice: Hennlich, 2022. Dostupné z: [https://tesneni.hennlich.cz/fileadmin/user\\_upload/HCZ/Home/Tesneni/Produktov%C3%A9\\_1isty/A\\_834\\_A\\_838.pdf](https://tesneni.hennlich.cz/fileadmin/user_upload/HCZ/Home/Tesneni/Produktov%C3%A9_1isty/A_834_A_838.pdf)
- [21] PTFE. *Tribon: Polotovary z technických plastů* [online]. Brno: Tribon, 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.technicke-plasty-tribon.cz/prodej-plastu/materialy-polotovaru/ptfe>
- [22] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

### 8.1 Seznam zkratek

PS	Papírenský stroj
UV	Ultrafialové
NS	Nátokové zařízení

### 8.2 Seznam použitých symbolů

T	Těžiště
---	---------

### 8.3 Seznam použitých veličin

$F_g$	[N]	Tíhová síla nosníku
$F_p$	[N]	Síla vyvozená tíhovou silou nosníku
$F_L$	[N]	Síla působící v rovině čepele
$F_n$	[N]	Přítlačná síla
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Gravitační zrychlení
$m$	[kg]	Hmotnost nosníku
$\alpha$	[°]	Úhel nastavení čepele škrabáku
$L_c$	[m]	Délka čepele
$L$	[mm]	Vzdálenost špičky čepele od osy otáčení
$x_T$	[mm]	Vzdálenost těžiště od osy otáčení
$F_{NORMÁLNÍ}$	[N]	Doporučená normální hodnota přítlaku
$L_U$	[mm]	Rozpětí uložení
$F_A, F_B$	[N]	Reakční síly ve vazbách
$\sigma_k$	[MPa]	Mez kluzu materiál 1.4301
$R_m$	[MPa]	Mez pevnosti materiálu 1.4301

$N_I, N_{II}$	[N]	Vnitřní síly v prutu - tahové
$T_I, T_{II}$	[N]	Vnitřní síly v prutu - posuvací
$M_{oI}, M_{oII}$	[Nm]	Vnitřní ohybové momenty v prutu
$x_I, x_{II}$	[m]	Proměnné vzdálenosti pro výpočet vnitřních sil a momentů
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	Výpočtový průřez šroubu M12
$d$	[mm]	Jmenovitý průměr závitu
$E$	[GPa]	Modul pružnosti v tahu
$i$	[-]	Počet šroubů ve spoji
$S_d$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu válcové části dřívku bez závitu
$l'_s$	[mm]	Účinná svěrná délka
$t$	[mm]	Tloušťka spojované součásti s průchozí dírou a podložky
$t_2$	[mm]	Tloušťka spojované součásti se závitem
$l$	[mm]	Délka šroubu
$b$	[mm]	Délka závitové části šroubu
$l_g$	[mm]	Délka válcové části dřívku bez závitu
$l_b$	[mm]	Délka válcové části dřívku se závitem v sevření
$k_s$	[Nmm <sup>-1</sup> ]	Tuhost šroubu
$k_p$	[Nmm <sup>-1</sup> ]	Tuhost součástí
$A, B$	[-]	Výpočtové konstanty tuhosti součástí
$C$	[-]	Tuhostní konstanta spoje
$F_i$	[N]	Síla předpětí
$K$	[-]	Konstanta úpravy povrchu a stavu šroubu
$M_u$	[Nm]	Utahovací moment šroubu
$F', F''$	[N]	Síly působící na šroub
$F_{\xi}, F_o$	[N]	Síly působící na šroubový spoj
$k_{zs}$	[-]	Bezpečnost vůči zániku sevření šroubu
$M_z$	[Nm]	Část utahovacího momentu
$\tau_{\xi}, \sigma_{\xi}$	[MPa]	Napětí působící na šroubový spoj
$\sigma_{red}$	[MPa]	Redukované napětí v šroubu
$k_k$	[-]	Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti šroubu

$a$	[mm]	Výška svaru
$b_1, b_2, h_1, h_2$	[mm]	Rozměry svarového rozložení
$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_1, \bar{y}_2$	[mm]	Souřadnice těžiště
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu svařovací elektrody
$\tau_{Dov}$	[MPa]	Mezní hodnota smykového napětí, ze smluvní meze kluzu
$S_1, S_2$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha svarové housenky
$J_{zu1}, J_{zu2}$	[mm <sup>3</sup> ]	Jednotkový osový kvadratický moment účinného průřezu
$\tau_1, \tau_2$	[MPa]	Smykové napětí od posouvající síly
$\tau'_1, \tau'_2$	[MPa]	Smykové napětí od ohybového momentu
$\tau_{s1}, \tau_{s2}$	[MPa]	Celkové smykové napětí na svaru
$k_{s1}, k_{s2}$	[-]	Bezpečnost svarového spoje vůči meznímu stavu pružnosti

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Výrobní hala firmy HAJDO spol. s r.o.....	14
Obr. 2-2 Papírovina vstupující do výrobního procesu .....	15
Obr. 2-3 Uzavřená nátoková skříň firmy od PAPCEL, a.s.....	16
Obr. 2-4 Pohled na nátokovou skříň, sítovou část a začátek lisového segmentu.....	17
Obr. 2-5 Pohled na uložení navíjecích válců se systémem Pope.....	18
Obr. 2-6 Škrabák vodícího válce na principu přitlaku pomocí vlastní váhy .....	19
Obr. 2-7 Škrabák s kombinovaným přitlakem pomocí pneumatických válců a vzduchových hadic společnosti PAPCEL, a.s. ....	20
Obr. 2-8 Rigidní držák typ K35, firmy Bonetti S.p.A. ....	22
Obr. 2-9 Flexibilní držák čepele, typ Bonflex firmy Bonetti S.p.A.....	22
Obr. 2-10 Držák krepovacích nožů, typ Bonscrepe serie 131 firmy Bonetti S.p.A. ....	23
Obr. 2-11 Schémata opotřebení čepelím .....	25
Obr. 4-1 Rigidní škrabák na principu přitlaku pomocí vlastní váhy (neproporcionální) .....	29
Obr. 4-2 Koncept flexibilního držáku na principu přitlačných vzduchových duší (neproporcionální).....	30
Obr. 4-3 Schéma koncepčního řešení škrabáku s pneumatickými válci (neproporcionální)..	31
Obr. 5-1 Schéma uložení vodícího válce .....	32
Obr. 5-2 Schéma vedení plsti.....	33
Obr. 5-3 Silové schéma pro výpočet přitlaku .....	34
Obr. 5-4 Konstrukční řešení sestavy – pohled na celé zařízení.....	36
Obr. 5-5 Konstrukční řešení sestavy – boční pohled s pozicí odklopení pák a čepele .....	36
Obr. 5-6 Konstrukční řešení svařovaného nosníku škrabáku .....	37
Obr. 5-7 Konstrukční řešení držáku čepele – typ K35A .....	38
Obr. 5-8 Konstrukční řešení čepele s vodícími nýty .....	39
Obr. 5-9 Konstrukční řešení čepů pro uchycení nosníku k rámu stroje – strana pohonu.....	40
Obr. 5-10 Vrchní pohled na ložiskový domek – rozložení šroubů a děr .....	41
Obr. 5-11 Řez ložiskovým domkem na čepu .....	42
Obr. 5-12 Provedení svařované desky pro uchycení konzol – strana pohonu .....	43
Obr. 5-13 Provedení svařované desky pro uchycení konzol – strana obsluhy .....	43

Obr. 5-14 Konstrukční řešení nosné konzoly .....	44
Obr. 5-15 Systém odklápění těla škrabáku .....	44
Obr. 5-16 Boční pohled na sestavu při úplném odklopení čepele .....	45
Obr. 5-17 Boční pohled na sestavu při krajní pozici přiklopení čepele (po opotřebenání) ....	45
Obr. 5-18 Nosník zjednodušený na prut, se zatížením, uložený v ložiscích .....	46
Obr. 5-19 Uvolněný prut se zaznačenými vazebními silami .....	46
Obr. 5-20 Schéma pro výpočet vnitřních sil a momentů pro první řez prutem .....	47
Obr. 5-21 Schéma pro výpočet vnitřních sil a momentů pro druhý řez prutem .....	48
Obr. 5-22 Průběhy vnitřních sil a momentů po délce prutu (nosníku) .....	48
Obr. 5-23 Analýza průhybu nosníku v aplikaci Inventor Professional .....	50
Obr. 5-24 Schéma zatížení kolmo na šrouby uchycení čepu k nosníku .....	51
Obr. 5-25 Schéma šroubového spoje s rozměry pro výpočet tuhosti.....	51
Obr. 5-26 Geometrické charakteristiky pro svarové uspořádání konzole.....	53
Obr. 5-27 Geometrické charakteristiky svarové uspořádání montážních svarů desky .....	54
Obr. 5-28 Nastavení požadovaného úhlu čepele pomocí přípravku od firmy Bonetti S.p.A..	55



## 10 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Základní rozdělení typů moderních škrabáků dle způsobu přitlaku .....	20
Tab. 2-2 Tabulka výběru materiálu čepele pro vodící válec plsti užívaná ve firmě HAJDO spol. s r.o. ....	23
Tab. 2-3 Výběr materiálů čepelí firmy Bonetti S.p.A.....	24
Tab. 5-1 Potřebné hodnoty pro výpočet přitlaku .....	35
Tab. 5-2 Vypočtené parametry síly a tuhosti .....	52
Tab. 5-3 Výsledná bezpečnost šroubového spoje .....	52
Tab. 5-4 Vstupní parametry výpočtu svaru konzole.....	53
Tab. 5-5 Výsledná bezpečnost svarového spoje konzole .....	53
Tab. 5-6 Vstupní parametry výpočtu montážního svaru desky .....	54
Tab. 5-7 Výsledná bezpečnost svarového spoje konzole .....	54

# 11 SEZNAM PŘÍLOH

Výpočty\_příloha

## 11.1 Montážní výkres vrcholové sestavy

Škrabák vodícího válce Ø 224      BP-00-00-00

## 11.2 Kusovník vrcholové sestavy

Kusovník škrabáku      BP-00-KUSOVNÍK

## 11.3 Výkresy podsestav

Tělo škrabáku      BP-01-00-00

Nosník škrabáku      BP-01-01-00

Držák čepele K35A      BP-01-02-00

Čepel      BP-01-09-00

Odklápěcí páka      BP-04-00-00

Ložiskový domek      BP-05-00-00

Nosná konzole      BP-09-00-00

Deska – str. pohonu      BP-10-00-00

Deska – svař. základ      BP-10-01-00

Deska – str. obsluhy      BP-11-00-00

Páka obsluhy      BP-20-00-00

## 11.4 Výkresy jednotlivých dílů

Vrchní plech nosníku      BP-01-01-01

Žebro      BP-01-01-03

Bočnice	BP-01-01-04
Vrchní plát držáku	BP-01-02-01
Spodní část držáku	BP-01-02-02
Čep – strana pohonu	BP-01-05-00
Čep – strana obsluhy	BP-01-06-00
Čepel $t = 2,3$	BP-01-09-01
Stavěcí kroužek $\varnothing 45$	BP-02-00-00
Tělo páky	BP-04-02-00
Pouzdro – úprava	BP-05-01-00
Výstelka domku	BP-05-02-00
Domek – vrchní část	BP-05-03-00
Domek – spodní část	BP-05-04-00
Žebro	BP-09-03-00
Plech nastavení	BP-10-01-02
Čep páky	BP-15-00-00
Stavěcí kroužek $\varnothing 24$	BP-16-00-00
Excentr	BP-18-00-00
Odklápěcí páka obsluhy	BP-20-02-00