



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## HORIZONTÁLNÍ ŠTÍPAČKA NA PALIVOVÉ DŘEVO

HORIZONTAL SPLITTER FOR FIREWOOD

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Čechman

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2017



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Jan Čechman**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.**  
Akademický rok: 2016/17

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:

### Horizontální štípačka na palivové dřevo

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh horizontální štípačky palivového dříví pro domácí použití. Základní technické parametry:

- maximální délka štípaného polena 600 mm,
- štípací síla - minimálně 110 kN,
- pohon stroje elektrohydraulický,
- připojení do třífázové střídavé sítě 400 V,
- maximální pracovní proudové zatížení 20 A.

#### Cíle bakalářské práce:

Technická zpráva obsahující:

- kritickou rešerši a technicky zdůvodněnou koncepci navrženého řešení,
- funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent,
- případné pevnostní výpočty a další výpočty dle vedoucího BP

Výkresová dokumentace obsahující:

- celkovou sestavu zařízení.

#### Seznam literatury:

Shigley, J.E., Mischke, Ch.R. a Budynas, R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0

Škopán, M.: Hydraulické pohony strojů, elektronická skripta VUT v Brně 2009

Nařízení vlády 176/2008 Sb. Nařízení vlády o technických požadavcích na strojní zařízení

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu

---

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



## ABSTRAKT

Cílem této práce je stručná kritická rešerše štípačů dřeva a poté vlastní návrh konstrukce štípače, který odpovídá zadaným požadavkům. Byl vytvořen CAD model a v případě potřeby došlo ke kontrole vhodnosti jednotlivých dílů. Podařilo se navrhnout a sestrojít štípačku dřeva, která disponuje vysokou hodinovou produkcí dřeva, velkou štípací silou a lze ji používat v domácích podmínkách.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Horizontální štípačka, hydraulický obvod, dřevo, svařovaná konstrukce, zpracování dřeva, štípač špalků

## ABSTRACT

The goal is a brief search of types of wood-splitters and own design of wood splitter, which fulfils requirements. CAD model has been made and also control calculations of suitability of chosen parts if necessary. Wood-splitter with high production of wood, big splitting force and possibility to run in home conditions has been successfully designed.

## KEYWORDS

Horizontal splitter, hydraulic circuit, wood, welded construction, wood processing, log splitter





## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ČECHMAN, J. *Horizontální štípačka na palivové dřevo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 55s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.







## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Jan Čechman





## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Miroslavovi Škopánovi CSc. za cenné rady a ochotu při tvorbě mé bakalářské práce.





## OBSAH

Úvod .....	15
1 Cíle práce.....	17
2 Základní charakteristika .....	19
3 Rozdělení .....	21
3.1 Konstrukce rámu.....	21
3.1.1 Vertikální konstrukce .....	21
3.1.2 Horizontální konstrukce .....	22
3.2 Pohon .....	24
3.2.1 Hydraulický pohon .....	24
3.2.2 Mechanický pohon .....	25
3.3 Agregát.....	26
3.3.1 Elektromotor.....	26
3.3.2 Spalovací motor.....	26
3.3.3 Traktorový pohon .....	27
4 Vlastní návrh .....	29
4.1 Volba pohonu.....	29
4.2 Volba prvků hydraulického obvodu.....	31
4.2.1 Rozvaděč .....	31
4.2.2 Čerpadlo (Hydrogenerátor).....	32
4.2.3 Filtr .....	33
4.2.4 Schéma hydraulického obvodu.....	33
4.2.5 Kontrola funkčnosti .....	34
4.2.6 Hlavní přímočarý hydromotor .....	35
4.2.7 Vedlejší přímočaré hydromotory .....	39
4.2.8 Hydraulická kapalina.....	39
4.2.9 Nádrž na hydraulický olej.....	39
4.3 Konstrukce rámu.....	40
4.3.1 Hlavní nosník.....	41
4.3.2 Pevnostní kontrola rámu.....	42
4.4 Dokumentace a hodnocení realizace.....	44
Závěr.....	48
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	52
Seznam obrázků.....	54
Seznam příloh .....	55

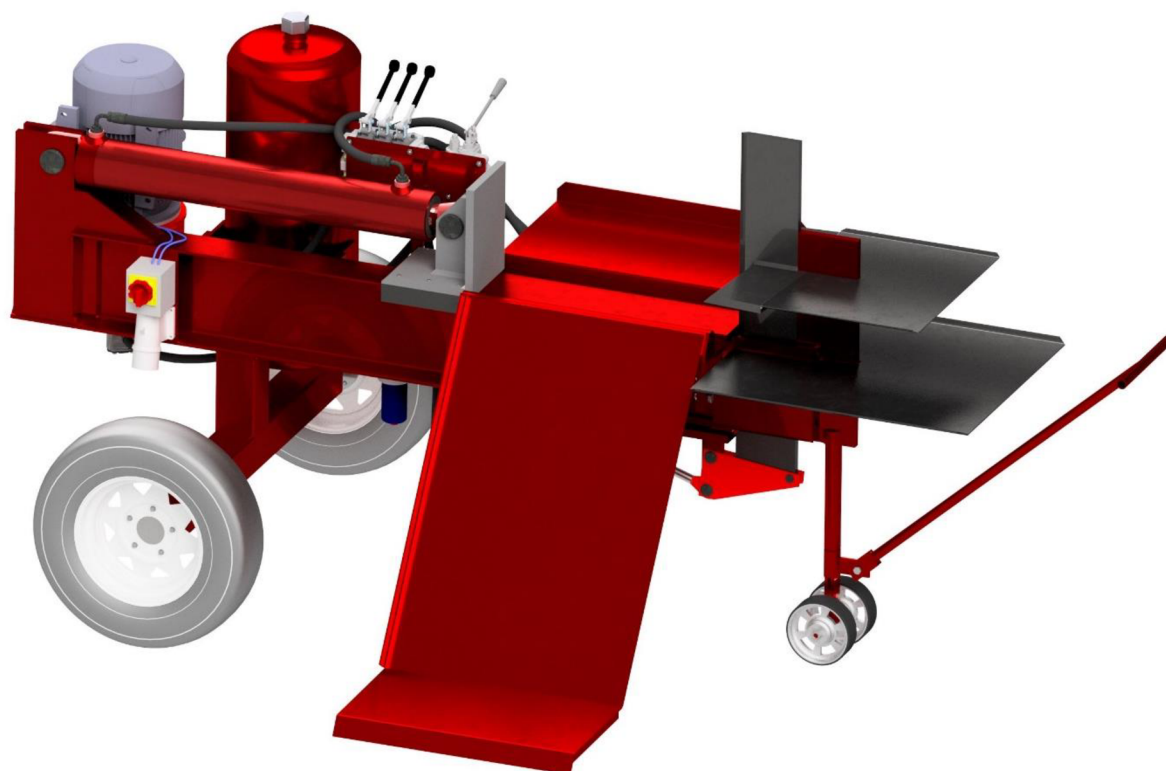




## ÚVOD

Dřevo jako palivo je již od pradávna hojně využíváno, a proto i v tomto odvětví dochází k rychlému vývoji technologií za účelem zrychlení a maximálního využití energie při zpracování. Štípání dřeva pomocí sekery je značně namáhavé a při velké roční spotřebě je investice do štípacího stroje výhodná.

Tohle téma jsem si zvolil, protože již mám se štípáním dřeva jisté zkušenosti a ročně potřebujeme v naší domácnosti zpracovat přibližně  $30 \text{ m}^3$ . Štípaček jsem již vyzkoušel několik typů, avšak vždy se jednalo o určitý kompromis na úkor rychlosti, náročnosti práce, či bezpečnosti. Právě úspora času, ulehčení práce a bezpečnost obsluhy při štípání jsou jedny z hlavních kritérií i mé bakalářské práce a při průzkumu trhu se mi nepodařilo najít stroj, který by v uspokojivé míře splňoval mé požadavky, proto jsem se rozhodl uskutečnit vlastní konstrukci štípacího stroje.









# 1 CÍLE PRÁCE

První cíl této práce je provést stručnou rešerši jednotlivých konstrukcí a variant štípacích strojů, které se aktuálně vyskytují na trhu. Dalším cílem je, na základě této stručné rešerše a osobních preferencí, navrhnout vhodnou variantu konstrukce horizontální štípačky, která by přebírala co nejvíce výhod průmyslových štípaček a splňovala technické omezení dané provozem štípačky na zahradě rodinného domu. Hlavním omezujícím prvkem je maximální pracovní proudové zatížení 20 A. Nedílnou součástí je výpočet a návrh jednotlivých komponent štípačky, v případě potřeby také pevnostní kontrola zvolených částí konstrukce. Posledním cílem práce je výkres sestavy.





## 2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA

Štípačky jsou stroje využívající štípací nástroj k rozdělení předem připravených špalků v podélném směru na více menších kusů pomocí štípacího klínu. Jejich hlavní výhodou je zejména vyšší bezpečnost, ve srovnání s tradičním štípáním pomocí sekery, podstatné ulehčení práce a v neposlední řadě také vzrůst produktivity. Zejména v poslední době lze registrovat masivní rozšíření štípaček do domácností díky cenové dostupnosti a skladnosti některých modelů.

Jedny z hlavních parametrů při výběru štípačky jsou, požadovaná délka špalku, orientace polena při štípání, příkon, mobilita, rychlost štípání a také účel, za jakým si stroj pořizujeme. Nejdůležitější parametr je maximální štípací síla. Tento údaj obchodníci téměř vždy udávají chybně v tunách, což není jednotka síly, ale hmotnosti. Často můžeme slyšet také pojem „štípací tlak“, což je opět pojem chybný. Štípací síla stroje by se měla udávat výhradně v Newtonech [N], proto zde uvádím vzorec (1), dle kterého lze jednoduše spočítat sílu ekvivalentní jedné tuně (2).

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

$$F = 1000 \cdot 9,81 = 9810 = 9,81kN \quad (2)$$

Kde:

$F$  – štípací síla [N]

$g$  – gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$m$  – hmotnost [kg]





## 3 ROZDĚLENÍ

Při výběru štípačky je důležité zvážit hned několik aspektů, aby výsledný stroj splňoval naše očekávání a potřeby. Mezi nejdůležitější z nich patří:

1. Konstrukce rámu
2. Pohon
3. Agregát
4. Typ nástroje
5. Velikost štípací síly

### 3.1 KONSTRUKCE RÁMU

Zvolení správné konstrukce rámu je stěžejní zejména pro obsluhu stroje. Vyplývá nám z ní komfort a námaha člověka obsluhujícího stroj. Názory jaká konstrukce je lepší se různí a je to spíše záležitost preferencí jedince. Rámy můžeme dělit na horizontální a vertikální. Další skupinou štípaček jsou štípací automaty, které se často řadí do vlastní skupiny, nicméně jejich konstrukce lze specifikovat jako horizontální.

#### 3.1.1 VERTIKÁLNÍ KONSTRUKCE

Jak již název napovídá, jedná se o konstrukci, která má rám, hydraulický píst a štípaný špalek orientován ve vertikální poloze. Nespornou výhodou tohoto řešení je úspora místa a skladnost stroje. Často se jedná o stroje, které dosahují štípací síly okolo (80-120 kN), což zapříčiňuje jejich vysokou hmotnost. To je důvod, proč je manipulace s nimi náročná. Vertikální štípačky jsou zejména oblíbené ke štípání delších kusů dřeva, a to až do délky 1 m. Další výhodou je, že není třeba štípaný kus zvedat na vyvýšený stůl, stačí jej „jen postavit“. V příplatkové výbavě lze štípačku vybavit hydraulickým zvedákem, či navijákem polen. U vertikálních štípaček je kladen důraz na zpracování dřeva před štípáním. Je třeba mít špalky nařezány kolmo na štípaný směr, aby následně nedocházelo k nebezpečnému vybočování polena při procesu štípání.



*Obr. 1 Vertikální štípačka HECHT 681 [1]*



### 3.1.2 HORIZONTÁLNÍ KONSTRUKCE

Je zřejmé, že u této konstrukce štípačky jde o vodorovnou orientaci pístu, rámu a štípaného špalku.

#### HOBBY PROVEDENÍ

Jedná se o slabá (do 60 kN), avšak velmi lehká a mobilní zařízení. Štípačky jsou poháněny nejčastěji jednofázovým elektromotorem s napětím 230 V, který pohání hydrogenerátor. Výhodou tohoto pohonu je možnost zapojení do běžné zásuvky. Váha zpravidla nepřesahuje 100 kg. Špalek je třeba zvednout na štípací stůl ručně, z čehož vyplývá vyšší fyzická náročnost obsluhy. Štípačky jsou vhodné ke štípání krátkého dřeva (do 40 cm) o malých průměrech. Používají se na zpracování malého objemu dřeva. Na velké objemy nejsou konstrukčně uzpůsobeny.



Obr. 2 Horizontální štípačka Hecht 651 [2]

#### PROFI PROVEDENÍ

Profesionální horizontální štípací stroje, či automaty, se vyznačují zejména vysokou produktivitou, jednoduchostí obsluhy a vysokou štípací silou (200 kN a více). Zpravidla se jedná o masivní konstrukci, kde nedochází pouze ke štípání předem připravené délky, ale stroj si špalek automaticky uřeže pomocí řetězové, či kotoučové pily. Uřezaný špalek padá do štípacího prostoru, kde je plně automaticky protlačen štípacím křížem, popřípadě více strukturovaným nástrojem a následně je pomocí dopravního pásu transportován do kontejneru.

Z předešlého popisu vyplývá, že vstupním materiálem jsou klády o délce 2 a více metrů. Nejčastěji se využívá k pohonu hydrogenerátoru traktor (traktorový náhon), případně kombinace elektromotorů. K obsluze takového štípacího automatu je zapotřebí nakladač, který zajišťuje přísun dřeva. Jedná se o stroje s velmi vysokou produktivitou, avšak jejich



pořizovací cena je vysoká. Takový stroj si často pořizují dřevařské firmy, které jej využívají k velké produkci štípaného dříví.



*Obr. 3 Štípací poloautomat Lumag SSA-400G [3]*



## 3.2 POHON

Pohon štípaček lze rozdělit do dvou hlavních skupin, mezi které patří hydraulický a mechanický pohon.

### 3.2.1 HYDRAULICKÝ POHON

Jedná se o nejrozšířenější variantu pohonu štípaček. Štípací síly zde dosahujeme čerpáním tlakového hydraulického oleje pomocí hydrogenerátoru do lineárního hydromotoru (hydraulického pístu). Zde hydraulický olej působí tlakem na plochu pístu, čímž je tvořena síla. Celý hydraulický obvod se dále skládá ze zásoby hydraulického oleje, filtru oleje, hydraulického rozvaděče, přetlakového ventilu a dalších komponent v závislosti na typu hydraulického obvodu.

Mezi výhody hydraulického pohonu patří například rozsah sil. Hydraulické obvody lze navrhnout na malé síly (řádově do 40 kN) pro domácí použití, až po síly přesahující 400 kN a více u profesionálních strojů. Další nespornou výhodou je bezpečnost a kontrola obsluhy nad procesem štípání. Jako poslední výhodu zmiňují variabilitu konstrukce. Nevýhoda tohoto typu pohonu je velká energetická náročnost, pokud je vyžadována vysoká rychlost štípání.



*Obr. 4 Hydraulický štípač Scheppach OX 7-1610 [4]*





### 3.2.2 MECHANICKÝ POHON

Mechanický pohon není ve dřevozpracujícím průmyslu příliš rozšířený. Jedná se o pohon, kde motor pohání setrvačnick, který akumuluje kinetickou energii. Setrvačnick pohání pastorek o malém počtu zubů, tím je dosaženo co nejnižší obvodové rychlosti pastorku. Při štípání je pastorek „zařazen“ do hřebenového ozubení, díky čemuž je rotační pohyb setrvačnicku, přeměněn na pohyb lineární.

Výhodou mechanického pohonu je velmi vysoká rychlost štípacího procesu. Časová náročnost jednoho štípacího cyklu je přibližně dvě vteřiny. V závislosti na velikosti stroje může být i kratší, což ovšem přináší zvýšené nebezpečí pro obsluhu stroje a omezené možnosti kontroly štípacího procesu. Nelze zde dosahovat velkých štípacích sil a nelze štípat dlouhé kusy dřeva, proto se hodí spíše na domácí použití.

Další alternativou k přeměně rotačního pohybu motoru na lineární pohyb by mohlo být využití pohybového šroubu, nicméně s touthle variantou jsem se zatím nesetkal.



*Obr. 5 Štípačka Zipper ZI-HS5K [5]*



### 3.3 AGREGÁT

#### 3.3.1 ELEKTROMOTOR

Je nejrozšířenější variantou pohonu štípacích strojů, jak profesionálních, tak hobby štípaček. Pomocí příruby se k elektromotoru připojí hydraulické čerpadlo, které poté pohání hydraulický obvod. Jde o tichý, čistý, bezúdržbový a efektivní pohon. Zejména se můžeme setkat se střídavým asynchronním elektromotorem (400 V) o výkonu okolo 2-4 kW. U malých hobby štípaček se často volí varianta jednofázového elektromotoru, jehož výhodou je možnost napájení ze sítě 240 V. Zřejmou nevýhodou je nutnost blízkosti elektrické přípojky, není tedy možné štípačku používat na odlehlých místech, či v lese.

#### 3.3.2 SPALOVACÍ MOTOR

Spalovací motor není příliš rozšířenou variantou, nicméně jeho použití je možné. Výhodou je mobilita stroje a možnost použití prakticky kdekoli. Značnou nevýhodou je hlučnost motoru, nutnost pravidelných kontrol, nižší životnost a vyšší náklady na provoz z důvodu spotřeby benzínu.



Obr. 6 Štípačka se spalovacím motorem [6]



### 3.3.3 TRAKTOROVÝ POHON

Traktorové náhony lze rozdělit na pohon hydraulického čerpadla pomocí kardanu, nebo přímé napojení na hydraulický okruh traktoru. Obě řešení jsou velmi výkonné díky velkému výkonu traktorového agregátu. Značnou nevýhodou je nutnost mít traktor v blízkosti pracoviště a samozřejmě je třeba zmínit vysoké náklady spojené s nepřetržitým provozem traktoru a jeho neekonomickým využitím.

Existuje i varianta pohonu štípačky elektromotorem, s možností přídavného zapojení traktorového náhonu, pro zvýšení výkonu, nicméně osobně neshledávám tohle řešení nikterak výhodným.



*Obr. 7 Štípačka s připojením na hydraulický okruh traktoru [7]*





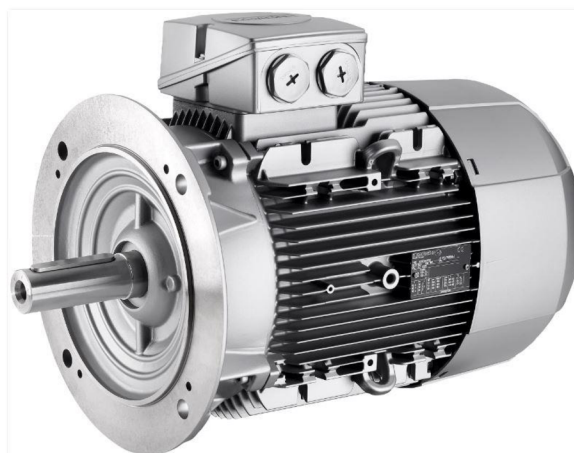
## 4 VLASTNÍ NÁVRH

Má koncepce štípačky vychází z praxe zpracování dřeva v naší domácnosti, a proto bude návrh optimalizovaný na konkrétní podmínky a omezení. Hlavní důraz je kladen na maximální efektivitu a rychlost stroje v závislosti na omezujících podmínkách (maximální elektrický příkon, počet lidí k obsluze, komfort obsluhy, velikost špalků, cena atd.). Mobilita, skladnost, či vysoká váha není omezujícím požadavkem, jelikož štípačka bude využívána téměř výhradně doma a není třeba ji transportovat. Samozřejmě bude kladen důraz na bezpečnost provozu a obsluhy stroje.

Jako pohon byl zvolen asynchronní elektromotor, který bude pohánět dvojici hydraulických čerpadel. Štípačka je vybavena hydraulicky ovládaným zvedacím stolem, který slouží ke zvedání velkých a těžkých kusů dřeva. Další výhodou je nastavitelná výška štípacího nože ve tvaru kříže. Rám je opatřen maximálním možným počtem pomocných, či odkládacích stolů.

### 4.1 VOLBA POHONU

Jako pohon volím třífázový asynchronní elektromotor 400 V standardní řady SIEMENS 1LE1002-1CB03 o příkonu 5,5 kW a počtem otáček 1450 ot/min v přírubovém provedení, který má krouticí moment 36 Nm a účinnost 0,85 [8]. Při realizaci projektu byl použit motor starší výroby s identickými parametry, nicméně na trhu již nedostupný, proto zde uvádím soudobý ekvivalent.



*Obr. 8 Elektromotor SIEMENS 5,5 kW [11]*

Tento motor volím hlavně kvůli omezení maximálního proudu, protože štípačka bude využívána na zahradě rodinného domu, který má hlavní proudový jistič 25 A. Aby byla ponechána určitá rezerva pro chod domácích spotřebičů souběžně se štípačkou, volím jako maximální hodnotu proudu 20 A. Z tabulek doporučených proudových jističů [9] vyplývá, že doporučený jistič pro tenhle typ motoru, při šetrném rozběhu hvězda/trojúhelník je 16 A, což splňuje stanovené požadavky. Pravděpodobně by bylo možné štípačku osadit i výkonnějším motorem o příkonu 7,5 kW, avšak v tom případě by již byla téměř překonána hranice proudového omezení. Proto byla zvolena bezpečnější varianta 5,5 kW.



K ovládání motoru volím vačkový spínač SEZ S25 JPD 9551 A6 25 A [10], který funguje v režimu hvězda/trojúhelník s krytím IP 65. Díky možnosti spuštění přes hvězdu nebude docházet k tak velkým proudovým rázům při rozběhu motoru.



*Obr. 9 Vačkový spínač SEZ S25 JPD [10]*



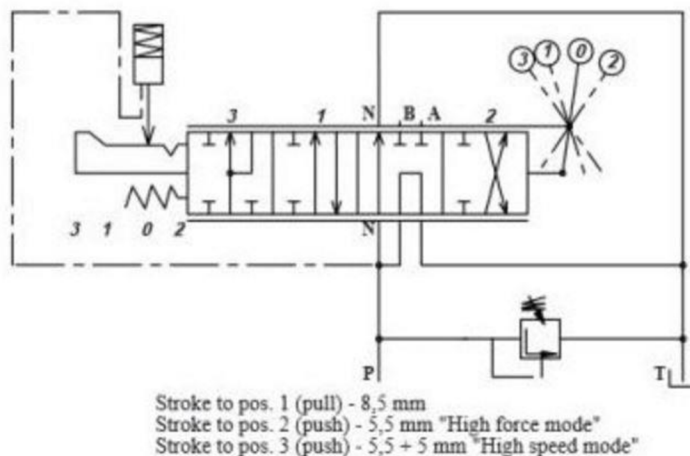
## 4.2 VOLBA PRVKŮ HYDRAULICKÉHO OBVODU

Jako první je provedena volba hydraulických komponent a výpočet hydraulického obvodu na základě zvolených požadavků. Finálním krokem je nákres hydraulického schématu obvodu.

### 4.2.1 ROZVADĚČ

Jelikož je štípačka vybavena dvěma čerpadly, je třeba zvolit dva hydraulické rozvaděče.

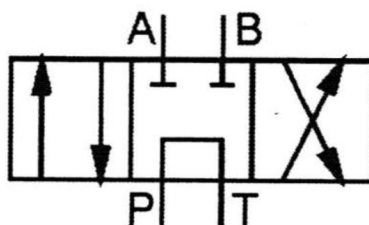
Jako první ovládací ventil volím hydraulický rozvaděč dvourychlostní „TURBO“ pro štípačky dřeva P81-RS-G12 od firmy Badestnost. Jedná se o čtyřcestný čtyřpolohový jednosekční rozvaděč, který disponuje přídatným vysokorychlostním režimem při chodu naprázdno (diferenciální zapojení), tzn. dojíždění ke špalku. Při tomto zapojení dochází, mimo přísun oleje z čerpadla, k přetlačení oleje z přední komory pístu do zadní komory, čímž se zvyšuje rychlost, avšak klesá síla. Obě polohy vpřed jsou vráceny pružinou do nulové polohy, což zvyšuje bezpečnost stroje a obsluha musí fyzicky páku držet, přičemž kontroluje průběh štípání. Při zpětném chodu obsluha přesune páku do polohy zpětného chodu a dále ji držet nemusí, dojde ke stažení pístu a páka je vrácena do nulové polohy po dosažení konce pístu díky nárůstu tlaku. Tento rozvaděč je napojen na okruh s hydrogenerátorem o průtoku 30 dm<sup>3</sup>/min. Rozvaděč je vybaven přetlakovým ventilem a také zpětným ventilem na tlakovém přívodu. [13]



Obr. 10 Zapojení rozvaděče P81-RS-G12 [13]



Jako druhý ventil volím hydraulický rozvaděč čtyřcestný třípolohový třísekční od firmy Bedenstnost s maximálním průtokem  $40 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Rozvaděč je ovládaný třemi páčkami se zpětnou pružinou. Tenhle rozvaděč bude napojen na okruh s čerpadlem o průtoku  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$  a slouží k ovládání zvedání pomocného stolu, zvedání štípacího kříže a k ovládání hlavního štípacího pístu v případě, kdy bude potřeba využít maximální síly štípačky. [14]



Obr. 11 Hydraulická značka rozvaděče 4/3

Oba rozvaděče jsou osazeny seřiditelným pojistným ventilem, což je důležité k následnému seřízení maximálního tlaku na jednotlivých obvodech. Již teď je z parametrů zřejmé, že u okruhu s průtokem  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  bude třeba značně snížit maximální tlak, aby nedocházelo k nadměrnému přetěžování elektromotoru. Rozvaděč je také vybaven zpětným ventilem na tlakovém přívodu.

Jelikož se jedná o prototyp určený pouze a výhradně k testování mou osobou, bylo ovládání navrženo bez ohledu na normu ČSN EN 609-1+A2 Zemědělské a lesnické stroje – Bezpečnost štípaců polen – Část 1: Klínové štípače [26]. Zvolení vhodné a optimální varianty ovládání odpovídající normě proběhne na základě vyhodnocení dlouhodobého testování prototypu. Výsledná úprava prototypu již nebude součástí mé bakalářské práce.

#### 4.2.2 ČERPADLO (HYDROGENERÁTOR)

Jak bylo zmíněno výše, byla zvolena dvojice zubových tandemových čerpadel o průtocích  $30$  a  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$  při  $1500 \text{ ot}/\text{min}$ , od firmy Harpex s.r.o.. [15]. Čerpadla budou pomocí příruby a pružné spojky pevně připojena k motoru. Výrobce udává standardní mechanickou účinnost  $0,85$  a objemovou účinnost  $0,95$ . U čerpadla s průtokem  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  je objem čerpané kapaliny  $20 \text{ cm}^3$  na otáčku, u čerpadla s průtokem  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$ ,  $10 \text{ cm}^3$  na otáčku. Čerpadlo dokáže generovat pracovní tlak až  $25 \text{ MPa}$  a krátkodobě až  $30 \text{ MPa}$ .



Obr. 12 Hydraulické čerpadlo [15]





### 4.2.3 FILTR

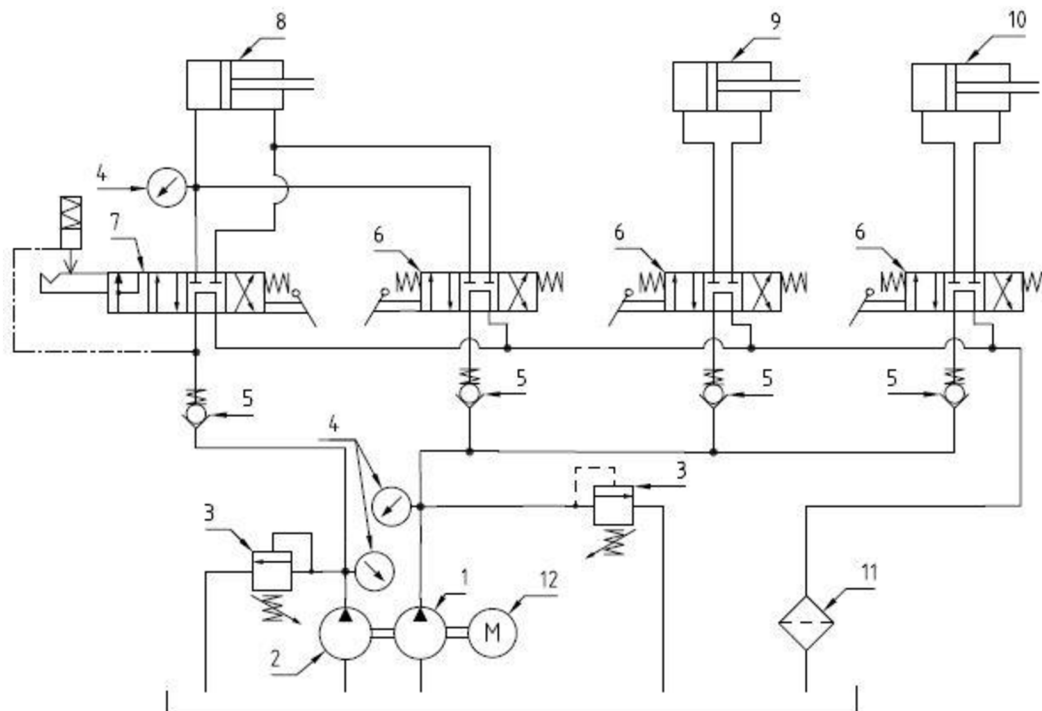
V hydraulickém obvodu samozřejmě nesmí chybět hydraulický filtr, který značně zvyšuje životnost všech součástí. Byl zvolen filtr od firmy Harpex [16] s průtokem  $60 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Jedná se o provedení k montáži do odpadní větve okruhu.



Obr. 13 Hydraulický filtr od firmy Harpex [16]

### 4.2.4 SCHÉMA HYDRAULICKÉHO OBVODU

Jedná se o poměrně jednoduchý obvod tří hydraulických válců, které jsou ovládány pomocí dvou rozvaděčů o celkovém počtu 4 sekci. Obvod se skládá ze dvou okruhů, které mají odlišné průtoky a maximální tlaky [25]. Schéma bylo vypracováno pomocí studentské verze programu AutoCAD Mechanical 2018.



Obr. 14 Hydraulické schéma

1-hydrogenerátor  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$ , 2-hydrogenerátor  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ , 3-přetlakový ventil, 4-barometr, 5-zpětný ventil, 6-rozvaděč  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$ , 7-rozvaděč  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ , 8-přímočarý hydromotor hlavní, 9-přímočarý hydromotor zvedací plošiny, 10-přímočarý hydromotor zvedání klínu, 11-filtr, 12-motor



#### 4.2.5 KONTROLA FUNKČNOSTI

Nyní, když jsou známy parametry jednotlivých komponent, je třeba provést kontrolní výpočet, zda-li byla volba čerpadel a motoru vhodná.

$$Pm_{15} = \frac{p \cdot Q_{s15}}{\eta_N \cdot \eta_m \cdot \eta_V} [W] \quad (3)$$

$$Pm_{15} = \frac{18 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}}{0,85 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 6556,2 W \quad (4)$$

Kde:

$Pm_{15}$  – požadovaný výkon motoru pro čerpadlo o průtoku 15 dm<sup>3</sup>/min [W]

$p$  – tlak [Pa]

$Q_{s15}$  – průtok čerpadla 15 dm<sup>3</sup>/min za sekundu [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$\eta_N$  – účinnost motoru při plné zátěži [-]

$\eta_m$  – mechanická účinnost čerpadla [-]

$\eta_V$  – objemová účinnost čerpadla [-]

Z rovnice (4) je zřejmé, že pro čerpadlo o průtoku 15 dm<sup>3</sup>/min a při tlaku 18 MPa, je požadovaný výkon motoru 6,55 kW. Jde o přetížení zvoleného motoru o 19,2 %. Dále dle rovnice (3) můžeme vypočítat výkon pro čerpadlo o průtoku 30 dm<sup>3</sup>/min.

$$Pm_{30} = \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{0,85 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 7284,6 W \quad (5)$$

Kde:

$Pm_{30}$  – požadovaný výkon motoru pro čerpadlo o průtoku 30 dm<sup>3</sup>/min [W]

$Q_{s30}$  – průtok čerpadla 30 dm<sup>3</sup>/min za sekundu [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

Obdobně z rovnice (5) vyplývá, že pro čerpadlo o průtoku 30 dm<sup>3</sup>/min při tlaku 10 MPa, je požadovaný výkon 7,28 kW. Přetížení zvoleného motoru je 32,45 %.

Dle výše vypočítaných hodnot je zřejmé, že požadovaný výkon je vyšší, než je jmenovitý výkon zvoleného motoru, tudíž bude docházet k jeho přetěžování. Z praxe se štípáním dřeva vím, že maximální sílu štípačky využíváme v malém množství případů a pouze v krátkých intervalech, řádově v rozmezí 1-3 sekund. Dalším z faktorů ochrany je předpoklad, že se štípačkou bude manipulovat pouze obsluha zkušená a obeznámená s celkovým nastavením stroje, takže k přetěžování motoru může dojít pouze v přijatelné míře. Z charakteristiky elektromotorů víme, že je možné krátkodobě elektromotor přetěžovat, až na extrémní hodnoty jako je například 400 % jmenovitého výkonu, při velmi krátkých intervalech, tudíž přetížení o 32,45 % považuji za vyhovující a přijatelné.



#### 4.2.6 HLAVNÍ PŘÍMOČARÝ HYDROMOTOR

Nyní již máme známou hodnotu maximálního tlaků a průtoky čerpadel, tudíž je možno zvolit přímočarý hydromotor tak, aby splňoval zadané parametry štípačky. Jako hlavní byl zvolen dvojčinný přímočarý hydromotor EH od firmy Hydraulics [17] o průměru 100 mm, s maximálním pracovním tlakem 18 MPa a výsuvem 630 mm.

$$S_1 = \pi \cdot r_1^2 \quad [m^2] \quad (6)$$

$$S_1 = 3,14 \cdot 0,05^2 = 0,00785 \quad m^2 \quad (7)$$

$$V_1 = S_1 \cdot l \quad [m^3] \quad (8)$$

$$V_1 = 0,00785 \cdot 0,63 = 0,00495 \quad m^3 = 4,95 \quad dm^3 \quad (9)$$

$$S_2 = S_1 - (\pi \cdot r_2^2) \quad [m^2] \quad (10)$$

$$S_2 = 0,00785 - (3,14 \cdot 0,0275^2) = 0,00547 \quad m^2 \quad (11)$$

$$V_2 = 0,00547 \cdot 0,63 = 0,00345 \quad m^3 = 3,45 \quad dm^3 \quad (12)$$

Kde:

$V_1$  – objem přímočarého hydromotoru při plném pracovním výsuvu [ $m^3$ ]

$V_2$  – objem přímočarého hydromotoru při plném zasunutí [ $m^3$ ]

$r_1$  – poloměr pístu [ $m$ ]

$r_2$  – poloměr hřídele hydraulického válce [ $m$ ]

$l$  – délka výsuvu [ $m$ ]

$S_1$  – plocha pístu hlavního přímočarého hydromotoru při pracovním chodu [ $m^2$ ]

$S_2$  – plocha pístu hlavního přímočarého hydromotoru při zpětném chodu [ $m^2$ ]

Z výsledku rovnice (9) a známého průtoku čerpadla poté jednoduchým vztahem můžeme vypočítat čas potřebný k vysunutí pístu do maximální polohy.

$$t_1 = V_1 \cdot \frac{60}{V_{\dot{e}30}} \quad [s] \quad (13)$$

$$t_1 = 4,95 \cdot \frac{60}{30} = 9,9 \quad s \quad (14)$$

Kde:

$t_1$  – doba pracovního výsuvu [ $s$ ]



$V_{\dot{c}30}$  – průtok čerpadla o průtoku  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  [ $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ]

Hodnota 9,9 sekundy je vyhovující. Nyní ještě provedeme kontrolní výpočet, jak dlouho bude trvat zasunutí pístu zpět do výchozí polohy.

$$t_2 = V_2 \cdot \frac{60}{V_{\dot{c}30}} \text{ [s]} \quad (15)$$

$$t_2 = 3,45 \cdot \frac{60}{30} = 6,9 \text{ s} \quad (16)$$

Kde:

$t_2$  – doba zpětného chodu [s]

Jelikož zasunutí pístu bude poloautomatický proces, hodnota 6,9 sekundy je vyhovující.

Nyní je možno přikročit k výpočtu maximální síly přímočarého hydromotoru, při napojení na čerpadlo o průtoku  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$ .

$$F_1 = p_1 \cdot S_1 \text{ [N]} \quad (17)$$

$$F_1 = 18 \cdot 10^6 \cdot 0,00785 = 141\,300 \text{ N} \quad (18)$$

Kde:

$F_1$  – štípací síla při průtoku  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$  [N]

$p_1$  – tlak v hydraulickém okruhu s čerpadlem o průtoku  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$  [Pa]

Z rovnice (13) nyní známe maximální štípací sílu. Hodnota  $141\,300 \text{ N}$  je vyšší, než byla požadovaná hodnota  $110\,000 \text{ N}$ , tudíž je přímočarý hydromotor vyhovující.

$$F_2 = p_2 \cdot S_1 \quad (19)$$

$$F_2 = 10 \cdot 10^6 \cdot 0,00785 = 78\,500 \text{ N} \quad (20)$$

Kde:

$F_2$  – štípací síla při průtoku  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  [N]

$p_2$  – tlak v hydraulickém okruhu s čerpadlem o průtoku  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  [Pa]

Z rovnice (20) je zřejmé, že snížením maximálního tlaku na okruhu s průtokem  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ , dosáhneme nižší štípací síly  $78\,500 \text{ N}$ . Předpokladem je, že tahle síla bude dostačující na většinu štípaných špalků dřeva. V případě potřeby bude možno využít prvního hydraulického okruhu k dosažení síly  $141\,300 \text{ N}$ .

**KONTROLA PÍSTNICE NA VZPĚŘ**

Je třeba provést i kontrolu pístnice na vzpěr, aby bylo zaručeno, že přímočarý hydromotor vyhovuje. Průměr pístnice na zvoleném přímočarém hydromotoru je 55 mm.

Kvadratický moment pístnice

$$J_{xp} = \frac{\pi \cdot d_p^4}{64} [mm^4] \quad (21)$$

$$J_{xp} = \frac{\pi \cdot 55^4}{64} = 4,4918 \cdot 10^5 mm^4 \quad (22)$$

Kde:

$J_{xp}$  – kvadratický moment pístnice [ $mm^4$ ]

$d_p$  – průměr pístnice [ $mm$ ]

Průřez pístnice

$$S_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} [mm^2] \quad (23)$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot 55^2}{4} = 2,375 \cdot 10^3 mm^2 \quad (24)$$

Kde:

$S_p$  – průřez pístnice [ $mm^2$ ]

Štíhlost prutu

$$\lambda = \frac{l_p}{\sqrt{\frac{J_{xp}}{S_p}}} [-] \quad (25)$$

$$\lambda = \frac{630}{\sqrt{\frac{4,4918 \cdot 10^5}{2,375 \cdot 10^3}}} = 45,81 \quad (26)$$

Kde:

$\lambda$  – štíhlost prutu [-]

$l_p$  – délka pístnice [ $mm$ ]

Štíhlost prutu se pohybuje v rozmezí 40 až 60, tudíž nepřesahuje mezní štíhlost a jedná se o prostý tlak. [21]



$$\sigma_p = \frac{F_1}{S_p} \text{ [MPa]} \quad (27)$$

$$\sigma_p = \frac{141\,300}{2,375 \cdot 10^3} = 59,5 \text{ MPa} \quad (28)$$

Kde:

$\sigma_p$  – dovolené napětí v tlaku [MPa]

Pístnice přímočarých hydromotorů se vyrábí z oceli s mezí kluzu minimálně 390 [MPa], tudíž je zvolený přímočarý hydromotor vyhovující. [20]

### KONTROLA ČEPŮ

Je třeba provést i kontrolu čepů, aby bylo zaručeno, že přímočarý hydromotor je vyhovující. Čep přenáší maximální sílu 141 300 N. Průměr čepů je 40 mm a je vyroben z oceli 11 600.

Nejprve byla provedena kontrola na střih

$$S_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (29)$$

$$S_c = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256,64 \text{ mm}^2 \quad (30)$$

Kde:

$S_c$  – průřez čepu [mm<sup>2</sup>]

$d_c$  – průměr čepu [mm]

Výpočet smykového napětí

$$\tau_s = \frac{F_1}{2 \cdot S_c} \text{ [MPa]} \quad (31)$$

$$\tau_s = \frac{141\,300}{2 \cdot 1256,64} = 56,2 \text{ MPa} \quad (32)$$

Kde:

$\tau_s$  – smykové napětí [MPa]

Dále kontrola na otláčení

$$p_{ot} = \frac{F_1}{d_c \cdot l_{vl}} \text{ [MPa]} \quad (33)$$



$$p_{ot} = \frac{141\,300}{40 \cdot 30} = 117,75 \text{ MPa} \quad (34)$$

Kde:

$p_{ot}$  – tlak na čep [MPa]

$l_{vl}$  – šířka oka [mm]

Napětí ve smyku je 56,2 MPa a tlak na čep 117,75 MPa. Pro ocel 11 600 je mez kluzu 300 MPa, dovolené napětí ve smyku 105 MPa a dovolený tlak až 180 MPa, tudíž čep vyhovuje. [22]

#### 4.2.7 VEDLEJŠÍ PŘÍMOČARÉ HYDROMOTORY

Štípačka je vybavena hydraulicky ovládanou zvedací plošinou. Zde byl zvolen dvojčinný přímočarý hydromotor EH od firmy Hydraulics [17] o průměru 60 mm, s maximálním pracovním tlakem 18 MPa a výsuvem 520 mm. Mechanismus zvedací plošiny je určen ke zvedání velkých a těžkých kusu dřeva, případně slouží jako odkládací plocha pro více kusu menších polen. Přímočarý hydromotor zde je namáhán nízkými silami, tudíž není třeba dodatečných kontrol a pomocných výpočtů. Při testovacím provozu se ukázalo, že přímočarý hydromotor byl zvolen optimálně a není třeba nijak upravovat jeho rychlost případným omezením průtoku.

Dále je štípačka vybavena hydraulicky ovládaným zvedáním štípacího kříže. Zde byl zvolen dvojčinný přímočarý hydromotor EH od firmy Hydraulics [17] o průměru 80 mm, s maximálním pracovním tlakem 18 MPa a výsuvem 210 mm. Zde opět není třeba provádět dodatečné kontroly a výpočty. Byla zvolena taková konstrukce, která na přímočarý hydromotor klade zanedbatelné silové zatížení.

#### 4.2.8 HYDRAULICKÁ KAPALINA

Jako hydraulická kapalina byl zvolen hydraulický olej PARAMO HM 46. Jedná se o hydraulický olej dle normy ISO 6743/4 HM kategorie HM. Olej je určen do systémů pracujících ve standartních teplotních podmínkách. Olej je zušlechtěn přísadami proti korozi, oxidaci, pění a přísadami ke zlepšení vlastností při nízkých teplotách. [18]

#### 4.2.9 NÁDRŽ NA HYDRAULICKÝ OLEJ

Jako nádrž na hydraulický olej byla zvolena starší automobilová nádrž na LPG o objemu 60 l, jelikož splňuje objemové, rozměrové i pevnostní požadavky. Nádrž byla v bezvadném stavu. Dodatečně byla vybavena vývodem, šroubením, novým uzávěrem a byla osazena vypouštěcím ventilem ve spodní části, což značně zjednoduší případné odpouštění hydraulického oleje v zimním období, kdy je třeba menšího množství oleje k udržení optimální teploty hydraulického okruhu, popřípadě výměnu oleje při pravidelných údržbách. Zde uvádím ekvivalent použité nádrže [19].

Výrobci štípaček a štípacích poloautomatů často volí objem nádrže jako dvou až tři násobek průtoku čerpadla, aby bylo zaručeno dostatečné chlazení. V našem případě byly voleny čerpadla dvě, nicméně v pracovním cyklu bude vždy zapojeno pouze jedno, takže můžeme jako hodnotu průtoku vzít 30 dm<sup>3</sup>/min. Byla zvolena nádrž o objemu 60 l, což je dvojnásobek maximálního průtoku. Na základě měření teploty v průběhu testování bude stanoveno, zda lze



při této konfiguraci stroj provozovat nepřetržitě, či bude nutné práci pravidelně přerušovat z důvodu přehřívání.

### 4.3 KONSTRUKCE RÁMU

Jak již samotný název bakalářské práce napovídá, jako rám byla zvolena varianta horizontální. Při téhle variantě je možno do konstrukce zahrnout zvedací plošinu a také možnost štípaní polena klínem ve tvaru kříže s nastavitelnou výškou horizontální štípací roviny. To by u vertikální štípačky bylo značně komplikované. Velkou roli zde hraje také bezpečnost a komfort pro obsluhu stroje. Značnou výhodou horizontální konstrukce je fakt, že lze umístit špalek velkých rozměrů do štípacího prostoru a dále již obsluha nemusí zasahovat do samotného procesu, pouze kontroluje průběh štípaní z dostatečné vzdálenosti a ovládá hydraulický rozvaděč. V případě vertikálních štípaček často hrozí po rozštípnutí pád jednotlivých kusů dřeva, čímž může dojít k úrazu, zároveň je náročné zvedat kusy dřeva do takové výšky, aby byl proces štípaní v přijatelné poloze pro obsluhu.

Výchozím parametrem je standardní uchycení přímočarého hydromotoru za koncová oka pomocí čepů. Jelikož není kladen důraz na skladnost a malé rozměry stroje a zároveň je třeba někde umístit hydraulickou nádrž a motor, je tohle řešení vhodné. V úvahu připadá ještě přímé uchycení přímočarého hydromotoru za přední část (viz. obr. 15), což by mělo výhodu zkrácení hlavního rámového nosníku, nicméně v případě prohnutí rámu by při zatížení docházelo k nadměrnému opotřebování těsnění přímočarého hydromotoru, a proto tuhle variantu neshledávám vhodnou.



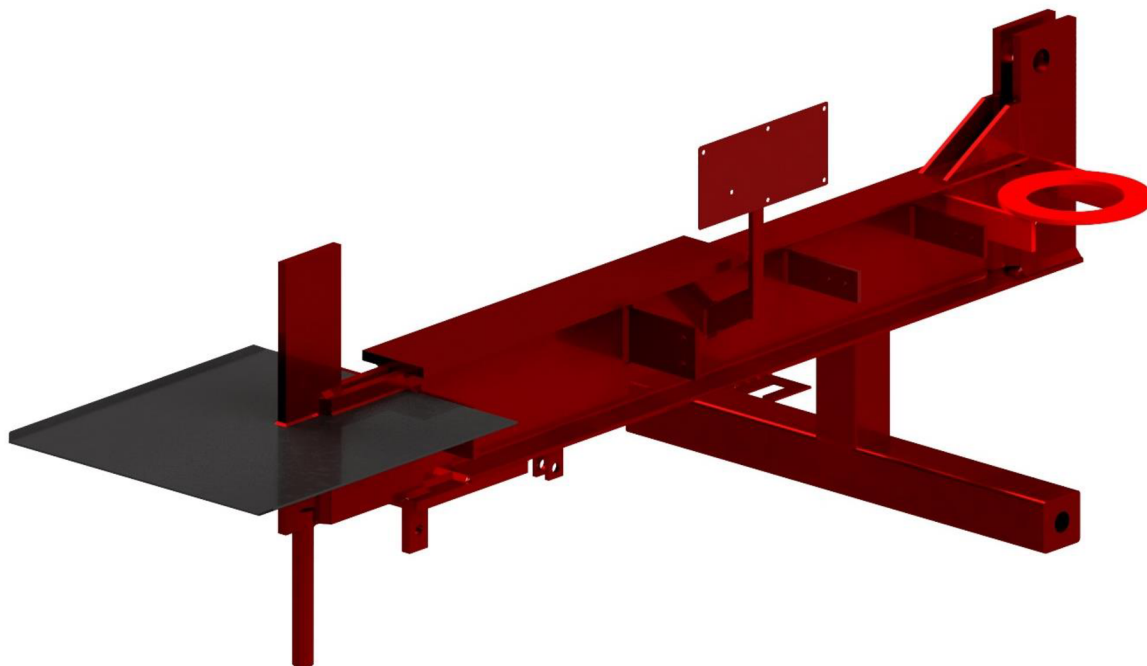
Obr. 15 Štípač dřeva Bystroň King 20t  
[12]



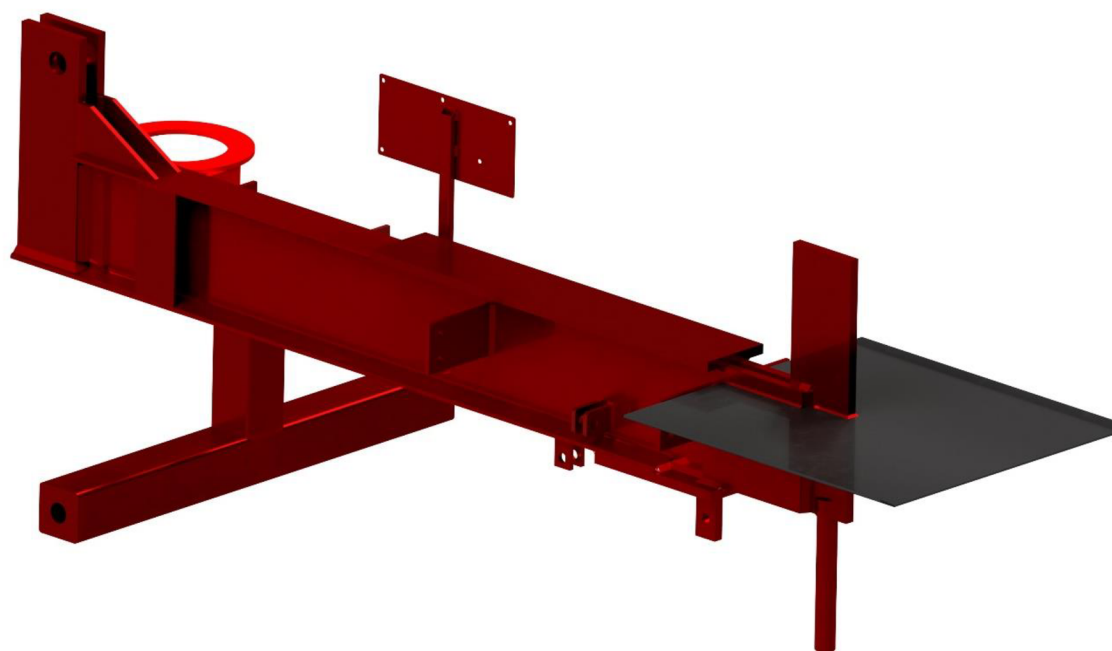


### 4.3.1 HLAVNÍ NOSNÍK

Jak již bylo zmíněno výše, rám celé štípačky je koncipován jako svařenec. Páteří rámu je nosník CSN 42 5550 – I 240 o délce 1660 mm. Tento profil byl zvolen po analýze sériově vyráběných štípaček obdobných parametrů a také pro svou rozměrovou dispozici. Rám je doplněn o řadu úchytů, držáků a profilů. Všechny komponenty rámu jsou navrženy z konstrukční oceli 1.0553 (11 523), která má mez kluzu min. 355 MPa a mez pevnosti 490-630 MPa.



*Obr. 16 Rám štípačky – pohled zprava*

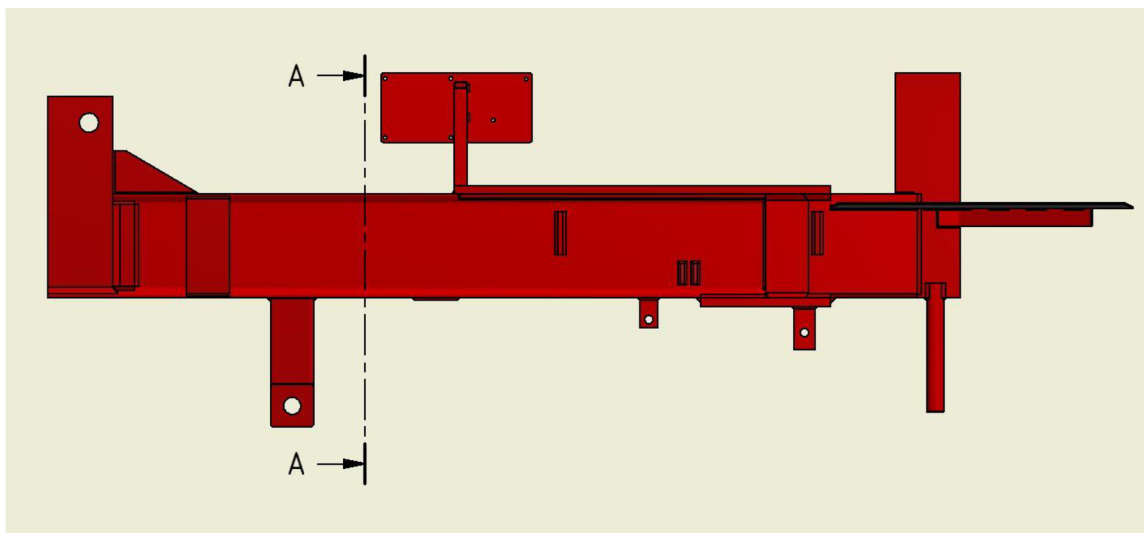


*Obr. 17 Rám štípačky - pohled zleva*



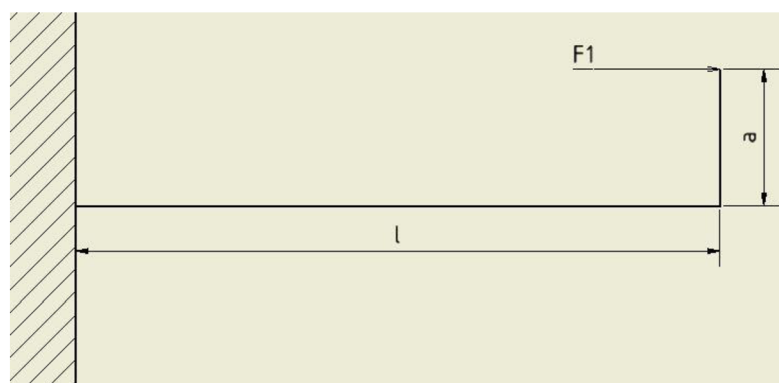
### 4.3.2 PEVNOSTNÍ KONTROLA RÁMU

Je třeba provést kontrolu rámu vůči MSP. Nabízí se zde kontrola rámu metodou MKP, v tom případě by však došlo k výraznému překročení rozsahu této práce, proto bylo po konzultaci s vedoucím práce přistoupeno ke zjednodušené kontrole ve slabém místě rámu, pomocí výpočtu.



Obr. 18 Kontrolovaný průřez

Abychom mohli přistoupit k výpočtu, je třeba nahradit silové působení na rám, viz. obr. 19.



Obr. 19 Silové zatížení

$$M_o = F_1 \cdot a \text{ [Nm]} \quad (35)$$

$$M_o = 141\,300 \cdot 0,285 = 40\,270,5 \text{ Nm} \quad (36)$$

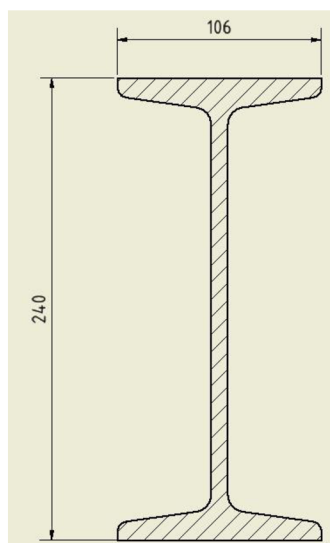
Kde:

$a$  – vzdálenost středu nosníku od osy hydraulického válce [m]

$M_o$  – ohybový moment [Nm]



Průřez v místě A



Obr. 20 Průřez A

Průřezový modul k ohybu je  $W_{xTA} = 354 \text{ cm}^3$ . Dále již můžeme vypočítat ohybové napětí [23].

$$\sigma_{oA} = \frac{M_o}{W_{xTA}} \text{ [MPa]} \quad (37)$$

$$\sigma_{oA} = \frac{40270,5}{354} = 113,76 \text{ MPa} \quad (38)$$

Kde:

$W_{xTA}$  – průřezový modul [ $\text{cm}^3$ ]

$\sigma_{oA}$  – ohybové napětí v průřezu A [MPa]

Dle [24]

Nyní lze přistoupit k výpočtu součinitele bezpečnosti.

$$k = \frac{\sigma_d}{\sigma_{oA}} \text{ [-]} \quad (39)$$

$$k = \frac{355}{113,76} = 3,12 \quad (40)$$

Kde:

$k$  – součinitel bezpečnosti vůči MSP [-]

$\sigma_d$  – dovolené ohybové napětí [MPa]

Dle výpočtu vychází bezpečnost vyšší než 3. Hlavní nosník je vyhovující.

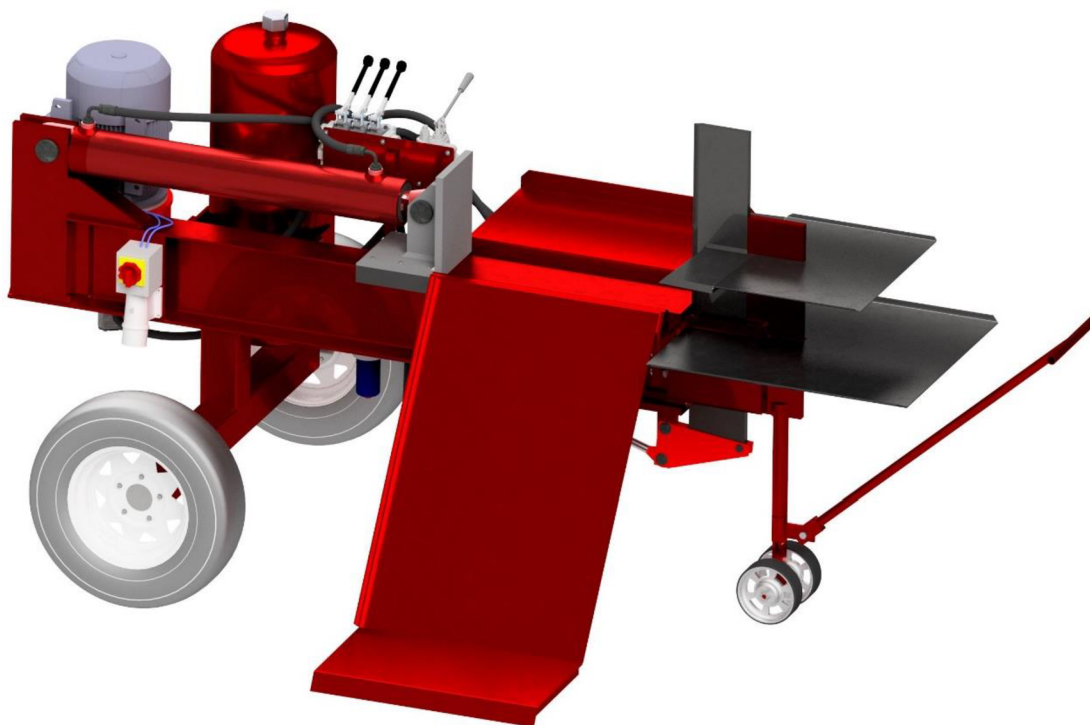


#### 4.4 DOKUMENTACE A HODNOCENÍ REALIZACE

Z důvodu nedostatku času nebyla realizace uvedena jako cíl práce, nicméně štípačku se nakonec podařilo sestavit. Zde uvádím fotografie štípačky po krátkém testovacím provozu.



*Obr. 21 Štípačka - pohled zepředu*



*Obr. 22 CAD model*



*Obr. 23 Štípačka - pohled zezadu*



*Obr. 24 Štípací prostor*



*Obr. 25 Detail kluzné plochy a břitů*

Na obrázku 25 lze vidět nedměrné opotřebení třecích ploch vodícího profilu z důvodu zarývání hrany tlačného vozíku. Tento jev by šel pravděpodobně odstranit uchycením hlavního přímočarého hydromotoru blíže k hlavnímu nosníku. Dále si lze všimnout oděru barvy na hranách stolů. Zde dochází k nadměrnému tření štípaných špalků a to zejména u větších kusů. Zde byla chybně zvolena výška stolů a bylo by vhodnější je umístit do stejné výšky, jako je vodící kluzná plocha, aby nečinily překážku štípanému dříví. Dále si lze všimnout pokřivení ostří horizontálního břitu. To bylo způsobeno příliš ostrým úhlem břitu, což vedlo k jeho deformaci, popřípadě ulomení malé části. Také se ukázalo že takový profil ostří není optimální, jelikož často dřevo přímo „řeže“ a neštípe, což je jev nežádoucí. Tato vada byla odstraněna jednoduchým přebroušením ostří ze spodní strany a tím bylo dosaženo stejného profilu ostří, jako je na vertikálním noži.

První testování neodhalilo žádné závažné konstrukční problémy a celý stroj funguje velmi dobře. Při realizaci vznikly pochybnosti, zdali bude stroj dostatečně stabilní při zvedání velkých polen pomocí zvedací plošiny, což ovšem vyvrátily již první testy. Zvedací plošina byla otestována na zvedání 150 kg břemene a ani při této váze není narušena stabilita stroje. Testování také ukázalo, že přímočarý hydromotor byl zvolen správně a zvedací plošina má optimální rychlost k bezpečné práci. Taktéž zvedání štípacího klínu potvrdilo očekávání a rychlost je optimální.

Testy ukázaly optimálně zvolenou výšku a dobré umístění ovládacích prvků, štípačka se ovládá velmi dobře, manipulace se dřevem není namáhavá a to ani při větších kusech. Proces štípaní je rychlý, štípačka disponuje dostatečnou silou a osvědčila se i funkce „turbo“ a „automatické“ vracení pístu do výchozí polohy.



Při testovacím provozu bylo potřeba použít okruh napojený na hydrogenerátor o průtoku  $15 \text{ dm}^3/\text{min}$  pouze u nadměrných kusů dřeva (průměr cca. 40 cm a více), čímž se potvrdily původní předpoklady. Na většinu špalků vystačí okruh s průtokem  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Motor při štípaní nevykazoval výrazné přetěžování a to ani při větším namáhání. Na hydraulické nádrži byla naměřena nejvyšší ustálená teplota  $45^\circ\text{C}$  při dlouhodobém testu (provoz 3 hodiny při vysokém zatížení) a okolní teplotě  $15^\circ\text{C}$ . Lze očekávat vzestup provozní teploty oleje při zvýšení okolní teploty na letní podmínky ( $30^\circ\text{C}$ ), avšak dá se předpokládat, že ani při této okolní teplotě nestoupne teplota oleje nad hodnotu  $65^\circ\text{C}$ . Z technických listů zvolených prvků hydraulického obvodu vyplývá, že maximální teplota oleje by neměla překročit hranici  $80^\circ\text{C}$ , tudíž štípačku lze provozovat nepřetržitě. [13, 14, 17]

Štípačka vykazuje značně vyšší hodinovou produkci štípaného dřeva, než bylo původně předpokládáno. K plnému využívání stroje je potřeba nejméně 2 až 3 lidí (v závislosti na okolních podmínkách), aby byl zajištěn neustálý přísun nařezaného dřeva a odběr již naštípaného dřeva. Štípačka dokáže vyprodukovat přibližně  $4\text{-}5 \text{ m}^3$  štípaného, skládaného dřeva za hodinu. Předpoklad byl kolem  $2\text{-}3 \text{ m}^3$ .

Odstranění konstrukčních nedostatků a implementace vylepšení, které vyplynou z testovacího provozu, budou případně předmětem další práce.

## ZÁVĚR

Prvním cílem bakalářské práce bylo vypracovat stručnou rešeršní analýzu štípacích strojů, které jsou aktuálně na trhu. Zde jsem se zaměřil zejména na typy konstrukčních řešení, druhy pohonů a případná nekonvenční řešení problematiky štípání dřeva. S přihlédnutím k této rešerši byla následně navržena konstrukce vlastní štípačky.

Dalším bodem práce byl samotný návrh. Štípací stroj je určen ke zpracování připravených špalků dřeva o délce 50 cm, které jsou dále určeny k vytápění rodinného domu. Štípačka byla navržena pro naše konkrétní potřeby a omezení, jež jsou spjata s provozem na zahradě rodinného domu. Nejprve byl proveden návrh hydraulických komponent, včetně pohonné jednotky. Bylo zvoleno řešení použití dvou hydrogenerátorů v tandemovém uspořádání. Jelikož byl kladen vysoký důraz na rychlost provozu štípačky a zároveň bylo nastaveno omezení maximálního příkonu. Na základě nutných výpočtů tlaků byl dále zvolen hlavní přímočarý hydromotor tak, aby byla zachována požadovaná síla stroje a zároveň bylo dosaženo rychlého provozu. Byly zvoleny i přímočaré hydraulické hydromotory, které slouží k ovládání výšky štípacího kříže a zvedání pomocné plošiny.

Na základě známých hodnot štípacích sil bylo přistoupeno k návrhu rámu a veškerých dodatečných prvků. Rám stroje je konstruován jako svarek. Bylo použito normalizovaných profilů z konstrukční oceli 1.0553 (11523). Byla provedena kontrola potenciálně nebezpečných míst vůči MSP. Model byl vytvořen ve studentské verzi programu Autodesk Inventor Professional 2016. V rámci konstrukce rámu byl proveden i návrh hydraulického zvedání štípacího kříže a návrh hydraulického zvedací plošiny.

Další část práce je věnována hodnocení a fotografické dokumentaci realizovaného projektu. Zde byly shrnuty poznatky a vhodnosti jednotlivých řešení.

Poslední částí je výkres sestavy, který byl vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2016. Výkres je doplněn o kusovník.





## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] M&M technika. Štípačky dřeva. In: [www.mamtechnika.cz](http://www.mamtechnika.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-2-3]. Dostupné z: <http://www.mamtechnika.cz/hecht-681-elektricka-stipacka-na-drevo>
- [2] Štípačky dřeva. In: [www.hobbydozahrady.cz](http://www.hobbydozahrady.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-19-2]. Dostupné z: <http://hobbydozahrady.cz/produkt/stipacky-dreva/hecht-651-elektricka-stipacka-na-drevo/>
- [3] Štípací poloautomaty. In: [www.lumag.cz](http://www.lumag.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-19-2]. Dostupné z: <http://www.lumag.cz/stipaci-benzinovy-poloautomat-SSA-400G>
- [4] Vertikální štípače na dřevo. In: [www.namir.cz](http://www.namir.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-19-2]. Dostupné z: <http://www.namir.cz/ox-7-1610-hydraulicky-stipac-400v-52-kw-scheppach-20386.html>
- [5] Štípače na dřevo. In: [www.holzmann-zipper.cz](http://www.holzmann-zipper.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-19-2]. Dostupné z: <http://www.holzmann-zipper.cz/stipacka-na-drevo-zipper-zi-hs5k>
- [6] Štípačka na dřeva pod drobnohledem: jak vybrat správně? In: [www.abecedazahrady.doma.cz](http://www.abecedazahrady.doma.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-20-2]. Dostupné z: <http://abecedazahrady.dama.cz/clanek/stipacka-dreva-pod-drobnohledem-jak-vybrat-spravne>
- [7] Štípačka na dřevo za traktor o štípací síle 26t. In: [www.vyrobkybacovsky.cz](http://www.vyrobkybacovsky.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-20-2]. Dostupné z: <http://www.vyrobkybacovsky.cz/kvalitni-vyrobky/3-VYROBKY/28-Stipacka-na-drevo-sila-26-t>
- [8] SIEMENS. Standartní elektromotory. In: [www.elektromotory.net](http://www.elektromotory.net) [online]. 2011 [cit. 2017-20-2]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/siemens/1la7-1500-otacek/1le1001-6-2-1.html>
- [9] Eaton. Jmenovité proudy motorů pro trojfázové motory (orientační hodnoty). In: <http://archiv.eatonelektrotechnika.cz> [online]. 2009 [cit. 2017-20-2]. Dostupné z: <http://archiv.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/norm040.html>
- [10] ELIMA. Průmyslové spínače. In: [www.elima.cz](http://www.elima.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-20-2]. Dostupné z: <https://www.elima.cz/obchod/s25-jpd-9551-a6-vackovy-spinac-3p-25a-prepinac-y-d-ip65-sez-p-29816.html>
- [11] Elektromotory Berg: Elektromotory Siemens. In: [www.elektromotory-siemens.cz](http://www.elektromotory-siemens.cz) [online]. 2007 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.elektromotory-siemens.cz/obchod/elektromotory-siemens-rady-1la7/elektromotor-siemens-1le1002-1ca03-4xxx-5-5kw-1.html>
- [12] Bzv Agro. Štípače. In: [www.zvagro.cz](http://www.zvagro.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-3-1]. Dostupné z: <https://www.zvagro.cz/katalog-zemedelske-techniky/stipac-dreva-bystron-king-20t.php>



- [13] Technika pro farmu: Speciální rozvaděče pro štípačky dřeva. In: [www.technikaprofarmu.cz](http://www.technikaprofarmu.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-20-3]. Dostupné z: <https://www.technikaprofarmu.cz/specialni-rozvadece-pro-stipacky-dreva/hydraulicky-rozvadec-dvourychlostni--turbo--pro-stipacky-dreva--p81-rs-g12/>
- [14] Technika pro farmu: Hydraulické rozvaděče. In: [www.technikaprofarmu.cz](http://www.technikaprofarmu.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-20-3]. Dostupné z: <https://www.technikaprofarmu.cz/rucne-ovladane-40-l-min/hydraulicke-rozvadr-3-40/>
- [15] Hydraulikapo: Hydraulické čerpadla. In: [www.hydraulikapo.sk](http://www.hydraulikapo.sk) [online]. 2017 [cit. 2017-20-3]. Dostupné z: <http://www.hydraulikapo.sk/kategoria/hydraulicke-cerpadla/hydraulicke-cerpadla-tandemove/pravotocive-tandemove-cerpadla/hydraulicke-cerpadlo-tandemove-30-15-l-min-prave/>
- [16] Hydraulikapo: Hydraulické čerpadla. In: [www.hydraulikapo.sk](http://www.hydraulikapo.sk) [online]. 2017 [cit. 2017-20-3]. Dostupné z: <http://www.hydraulikapo.sk/kategoria/filtre-nadrze/filter-60-l-min/>
- [17] Hydraulics: Výroba katalogových hydromotorů. In: [www.hydraulics.cz](http://www.hydraulics.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-21-3]. Dostupné z: <http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydromotoru/eh>
- [18] HI-OIL: Hydraulické oleje. In: [www.Eshop-hi-oil.cz](http://www.Eshop-hi-oil.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-25-3]. Dostupné z: <http://www.eshop-hi-oil.cz/product/hydraulicke-oleje- ho /ho-tridy-hlp/hydraulicky-olej-paramo-hm-46/434>
- [19] LPG-obchod: Nádrže LPG. In: [www.lpg-obchod.cz](http://www.lpg-obchod.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-25-3]. Dostupné z: <https://www.lpg-obchod.cz/lpg-shop/nadrze/>
- [20] Hydraulics: Výroba katalogových hydromotorů. In: [www.hydraulics.cz](http://www.hydraulics.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-18-4]. Dostupné z: [http://www.hydraulics.cz/katalog\\_hutniho\\_materialu.pdf#page=8](http://www.hydraulics.cz/katalog_hutniho_materialu.pdf#page=8)
- [21] HENZL, L. Štípací stroj na dřevo [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 95 s. [cit. 2017-23-4]. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/32192/DP\\_%C5%A0T%C3%8DPAC%C3%8D\\_STROJ\\_HENZL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/32192/DP_%C5%A0T%C3%8DPAC%C3%8D_STROJ_HENZL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [22] Hodnoty mezi pevnosti, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel. *E-konstruktor* [online]. 2013 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/>
- [23] Feron: E-železná kniha In: [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-26-4]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=24324>
- [24] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [25] ŠKOPÁN, Miroslav. HYDRAULICKÉ POHONY STROJŮ: studijní text – sylabus. Brno, 2009.



- [26] ČSN EN 609-1+A2. *Zemědělské a lesnické stroje - Bezpečnost štípačů polen: Část 1: Klinové štípače*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a$	[ $m$ ]	vzdálenost středu nosníku od osy hydraulického válce
$d_c$	[ $mm$ ]	průměr čepu
$d_p$	[ $mm$ ]	průměr pístnice
$F_1$	[ $N$ ]	štípací síla při průtoku 15 dm <sup>3</sup> /min
$F_2$	[ $N$ ]	štípací síla při průtoku 30 dm <sup>3</sup> /min
$J_{xp}$	[ $mm^4$ ]	kvadratický moment pístnice
$k$	[–]	součinitel bezpečnosti vůči MSP
$l$	[ $m$ ]	délka výsuvu
$l_p$	[ $mm$ ]	délka pístnice
$l_{vl}$	[ $mm$ ]	šířka oka
$M_o$	[ $Nm$ ]	ohybový moment
$p$	[ $Pa$ ]	tlak
$p_1$	[ $Pa$ ]	tlak v hydraulickém okruhu s čerpadlem o průtoku 15 dm <sup>3</sup> /min
$p_2$	[ $Pa$ ]	tlak v hydraulickém okruhu s čerpadlem o průtoku 30 dm <sup>3</sup> /min
$P_{m15}$	[ $W$ ]	požadovaný výkon motoru pro čerpadlo o průtoku 15 dm <sup>3</sup> /min
$P_{m30}$	[ $W$ ]	požadovaný výkon motoru pro čerpadlo o průtoku 30 dm <sup>3</sup> /min
$p_{ot}$	[ $MPa$ ]	tlak na čep
$Q_{s15}$	[ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	průtok čerpadla 15 dm <sup>3</sup> /min za sekundu
$Q_{s30}$	[ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	průtok čerpadla 30 dm <sup>3</sup> /min za sekundu
$r_1$	[ $m$ ]	poloměr pístu
$r_2$	[ $m$ ]	poloměr hřídele hydraulického válce
$S_1$	[ $m^2$ ]	plocha pístu hlavního přímočarého hydromotoru při pracovním chodu
$S_2$	[ $m^2$ ]	plocha pístu hlavního přímočarého hydromotoru při zpětném chodu
$S_c$	[ $mm^2$ ]	průřez čepu
$S_p$	[ $mm^2$ ]	průřez pístnice
$t_1$	[ $s$ ]	doba pracovního výsuvu
$t_2$	[ $s$ ]	doba zpětného chodu
$V_1$	[ $m^3$ ]	objem hlavního přímočarého hydromotoru při plném pracovním výsuvu
$V_2$	[ $m^3$ ]	objem hlavního přímočarého hydromotoru při plném zasunutí
$V_{c30}$	[ $dm^3 \cdot min^{-1}$ ]	průtok čerpadla o průtoku 30 dm <sup>3</sup> /min
$W_{xTA}$	[ $cm^3$ ]	průřezový modul



$\eta_m$	[-]	mechanická účinnost čerpadla
$\eta_N$	[-]	účinnost motoru při plné zátěži
$\eta_V$	[-]	objemová účinnost čerpadla
$\lambda$	[-]	štíhlost prutu
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\sigma_d$	[MPa]	dovolené ohybové napětí
$\sigma_{oA}$	[MPa]	ohybové napětí v průřezu A
$\sigma_p$	[MPa]	dovolené napětí v tlaku
$\tau_s$	[MPa]	smykové napětí
<i>MKP</i>	[-]	metoda konečných prvků
<i>MSP</i>	[-]	mezní stav pružnosti



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vertikální štípačka HECHT 681 [1].....	21
Obr. 2 Horizontální štípačka Hecht 651 [2] .....	22
Obr. 3 Štípací poloautomat Lumag SSA-400G [3] .....	23
Obr. 4 Hydraulický štípač Scheppach OX 7-1610 [4].....	24
Obr. 5 Štípačka Zipper ZI-HS5K [5].....	25
Obr. 6 Štípačka se spalovacím motorem [6].....	26
Obr. 7 Štípačka s připojením na hydraulický okruh traktoru [7].....	27
Obr. 8 Elektromotor SIEMENS 5,5 kW [11] .....	29
Obr. 9 Vačkový spínač SEZ S25 JPD [10].....	30
Obr. 10 Zapojení rozvaděče P81-RS-G12 [13] .....	31
Obr. 11 Hydraulická značka rozvaděče 4/3 .....	32
Obr. 12 Hydraulické čerpadlo [15].....	32
Obr. 13 Hydraulický filtr od firmy Harpex [16].....	33
Obr. 14 Hydraulické schéma .....	33
Obr. 15 Štípač dřeva Bystroň King 20t [12].....	40
Obr. 16 Rám štípačky – pohled zprava.....	41
Obr. 17 Rám štípačky - pohled zleva .....	41
Obr. 18 Kontrolovaný průřez.....	42
Obr. 19 Silové zatížení .....	42
Obr. 20 Průřez A.....	43
Obr. 21 Štípačka - pohled zepředu .....	44
Obr. 22 CAD model .....	44
Obr. 23 Štípačka - pohled zezadu .....	45
Obr. 24 Štípací prostor .....	45
Obr. 25 Detail kluzné plochy a břitů .....	46



## SEZNAM PŘÍLOH

BP.00/A1	Výkres sestavy	1 list formátu A1
BP.00/A4	Kusovník	2 listy formátu A4