

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor SOČ: 9. Strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design**

## **Špalíkovač - drtič větví za traktor**

**Lukáš Lysáček**

**Kraj: Zlínský kraj**

**Uherský Brod 2016**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 9. Strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

## Špalíkovač - drtič větví za traktor

**Autor:** Lukáš Lysáček

**Škola:** Střední průmyslová škola  
a Obchodní akademie Uherský Brod  
Nivnická 1781  
Uherský Brod  
688 01

**Konzultant:** Ing. Petra Janíčková

**Kraj:** Zlínský kraj

Uherský Brod 2016

**Prohlášení:**

*Prohlašuji, že jsem svoji práci SOČ vypracoval samostatně, použil jsem pouze podklady (literaturu, SW) uvedené v příloženém seznamu vloženém v práci SOČ.*

*Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.*

*Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.*

*V Uherském Brodě dne 8.2.2016*

*Lukáš Lysáček*

*podpis: .....*

## **Poděkování.**

Děkuji paní učitelce Ing. Petře Janíčkové za obětavou pomoc a podnětné připomínky, které mi během práce poskytovala.

Chtěl bych poděkovat také Nástrojárně Radim Šuráň za zapůjčení strojů a nástrojů při výrobě některých dílů. Dále také za odbornou pomoc při vytváření CNC programů a seřizování CNC strojů.

## ANOTACE

Účelem mé práce je vytvoření drtiče dřevního odpadu za traktor, špalíkovače, jež bude odolný, jednoduchý a levný, jakož i lehce přepravovatelný a rychle opravitelný v lesních podmínkách. Práci předchází vymodelování špalíkovače v 3D programu Autodesk Inventor, a to z důvodu včasné detekce rozměrových nedostatků a případné kolize, ale i kvůli zabránění potenciální zmetkovitosti.

Výroba a využití špalíkovače má efekt nejen ekonomický (minimalizace nákladů na vytápění domácnosti), ale i ekologický. Větve, které byly volně spalovány v lesích, budou nyní upotřebeny v ekologickém kotli, který minimalizuje odcházející spaliny. Díky špalíkovači by měly být využity i ty nejtenčí zbytky dřevního odpadu, který se při těžbě spaluje na hromadách bez užitku nebo se v lesích nechává ležet ladem.

Klíčová slova: špalíkovač; drtič; konstrukce; obrábění; montáž

## ANNOTATION

The aim of this work is to create the crusher for wooden waste located behind a tractor which will be resistant, easy, and cheap, as well as easily moveable and quickly repairable in a forest. Ahead of the work precedes the moulding of the crusher in the Autodesk Inventor program to detect all dimension shortages, and possible collisions; it even prevents from potential wastage rate.

The production and application of the crusher has not only economic effect (minimization of the cost for heating at home) but also the ecological one. Branches which were loosely burnt in woods will be used in an ecological boiler that minimizes the leaving combustion product. Even the thinnest remainder of wood waste which is burnt within logging to no avail or lays follow should be used thanks to the crusher.

Key words: crusher; construction; machining; assembly

## OBSAH

ÚVOD .....	6
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	7
1.1 K čemu se používají drtiče a štěpkovače?.....	7
1.2 Rozdělení drtičů .....	7
1.2.1 Jednorotorové štěpkovače .....	7
1.2.2 Jednorotorové špalíkovače .....	9
1.2.3 Dvurotorové špalíkovače.....	10
2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ .....	11
2.1 Volba konstrukce a výpočet základních parametrů špalíkovače.....	11
2.1.1 Výpočet provozních podmínek z výkonu stroje.....	11
2.1.2 Výpočet hřídelí .....	14
2.1.3 Kontrola navržených ložisek .....	16
2.2 Popis konstrukce .....	17
2.2.1 Synchronizace hřídelí .....	17
2.2.2 Nožové hřídele .....	18
2.2.3 Nože .....	19
2.2.4 Spojovací desky.....	20
2.2.5 Náhonová hřídel .....	20
2.2.6 Nosný rám .....	21
2.2.7 Krytování.....	21
3 VÝROBA .....	23
3.1 Špalíkovací hlava .....	23
3.1.1 Nožové hřídele .....	23
3.1.2 Nože .....	24
3.1.3 Spojovací desky.....	25
3.1.4 Ozubená kola.....	26
3.1.5 Náhonová hřídel .....	26
3.1.6 Ostatní .....	27
3.2 Doplnky .....	28
3.2.1 Nosný rám .....	28
3.2.2 Krytování.....	28
3.3 Sestavení.....	29
4 VÝSLEDEK.....	31
5 ZÁVĚR.....	33
6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ, CITACÍ A PŘÍLOH .....	34
7 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	35
8 SEZNAM OBRÁZKŮ .....	36
9 SEZNAM PŘÍLOH .....	36

## ÚVOD

Poslední dobou je problém se dostat k palivovému dřevu. Většinu těžby vykonávají firmy, které k tomu mají vhodnou techniku a tyto firmy dřevo potom prodávají za celkem vysokou částku (1100Kč/m<sup>3</sup>). V lesích potom zůstávají pouze větve do Ø10cm. Tenhle dřevní odpad se většinou spaluje na hromadách a zůstane bez užitku.

Proto jsem se rozhodl pro stavbu drtiče - špalíkovače, který bude tento dřevní odpad zpracovávat na kratší kousky pro lepší manipulaci.

Na trhu se vyskytuje řada drtičů, různých konstrukčních provedení a způsobu drcení. Ovšem pořizovací cena těchto drtičů není nízká. Některé nabízené drtiče navíc nejsou schopny zpracovat tak velké průměry dřeva.

V mé práci bych chtěl zhotovit drtič nejenom za menší peníze, než jsou běžně prodávané stroje, ale chtěl bych i drtič, který se bude jednoduše obsluhovat, a především dosáhnou většího průměru zpracovávaných větví na špalíky.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 K čemu se používají drtiče a štěpkovače?

Drtiče a štěpkovače jsou strojní zařízení, která se používají pro zpracování dřevěného odpadu po těžbě.

V mnohých lesích zůstávají po těžbě nevyužité hromady větví, které těžební společnosti nevyužijí nebo pro ně nejsou tolik ziskové. Dále se poslední dobou díky digitalizaci katastrů likvidují některé meze, které jsou většinou zarostené křovím a stromy. Všechno tohle odpadní dřevo se často likviduje přímo na místě spalováním na hromadách, nebo zůstává ponecháno na místě bez užitku. Přitom se jedná o dřevo, které by mohlo posloužit jako palivo v rodinném domku nebo nějaké menší ústřední kotelně.

Tímto odpadem jsou větve, které jsou často dlouhé i 5 metrů. To znamená problém s přepravou a následným použitím v kotlích (do největších kotlů vlezou maximálně 70cm dlouhé kusy).

Naskytuje se možnost řezání na klasické cirkulárce na menší polena. Tady ovšem jsou 2 problémy. Prvním je rychlost, kdy než nařežeme pěti metrovou větev na kousky, tak to bude trvat dlouho a druhý problém je, že nenakrátíme konce větví, které mají velmi malý průměr.

Proto jsou tady drtiče, které zpracují všechno zbytkové dřevo od průměru 0 po 10cm a s daleko vyšší rychlostí zpracování ( $10\text{m}^3/\text{h}$ ). S tím souvisí i nižší spotřeba energie a využití všeho materiálu.

## 1.2 Rozdělení drtičů

Na trhu se vyskytuje řada drtičů. Od těch nejmenších, které si koupíte v supermarketu za pár tisíc, až po ty, které stojí několik milionů a dokážou nadrtit celý strom během jedné minuty.

Drtiče by se daly rozdělit do 3 základních skupin podle konstrukce a podle podoby výsledného produktu- štěpky.

### 1.2.1 Jednorotorové štěpkovače

Jednorotorové drtiče patří mezi nejznámější a nejrozšířenější. Jejich konstrukce je poměrně jednoduchá. Pokud ho dostatečně předimenzujeme tak dokáže nadrtit i větší průměry, dokonce celé stromy.

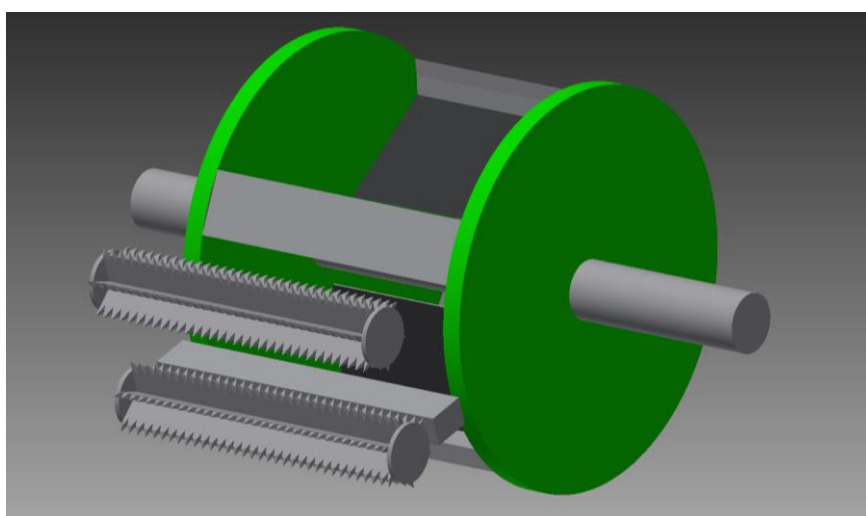




Obr. 1 Štěpkovač tovární výroby<sup>1</sup>

Pro lepší představu si můžeme představit mlýnek na strouhanku. Na točícím se rotoru jsou po obvodu břity, na které tlačíme rukou rohlík, a břity z něj postupně oddělují malinkaté kousíčky.

Stejně tak jednorotorové štěpkovače. Na rotoru jsou umístěny nože, které se točí vysokými otáčkami (3000/min) a vkladací válce k němu pomalu přivádějí drcený materiál. Nože postupně oddělují kousky dřeva, které je pak unášeno směrem do vyfukovacího komína, z kterého drcený materiál padá do korby přepravního prostředku. Výsledným produktem je štěpka - malé kousky dřeva o délce do 4cm a tloušťce okolo 1cm.



Obr. 2 Princip jednorotorového štěpkovače

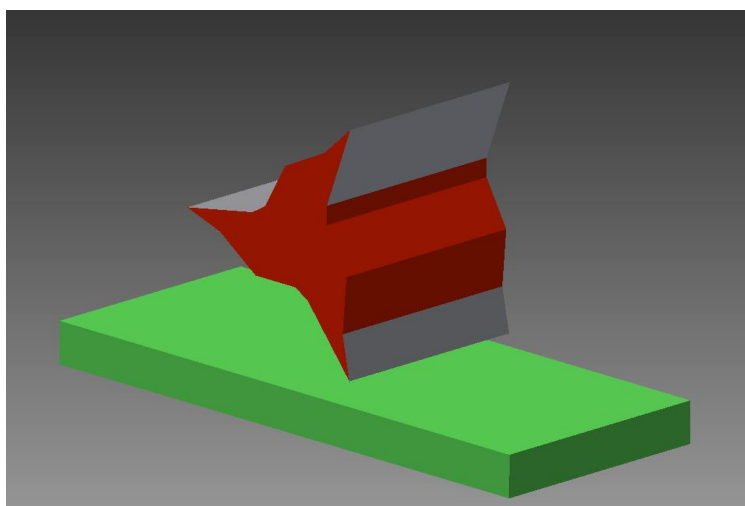
Nevýhodou této štepky je, že se špatně suší, při spalování znečišťuje kotel a nemá tak vysokou výhřevnost.



Obr. 3 Štěpka<sup>2</sup>

### 1.2.2 Jednorotorové špalíkovače

Jednorotorové špalíkovače jsou oproti jednorotorovým štěpkovačům ještě jednodušší. Na hřídeli jsou umístěny nože kolmo na osu, které drtí větve proti pevné stěně. Nože musí být seřazené přesně proti pevné desce, aby mezi nimi byla minimální mezera. Vložený materiál se nožem vtáhne do drtící komory, kde ho proti pevné desce zkrátí na malé kousky. Výsledným produktem je špalík - poleno o délce 5-7cm.



Obr. 4 Princip jednorotorového špalíkovače

Takovýto špalík se suší lépe než štěpka protože při nasypání na hromadu vznikají mezery mezi špalíky, kterými následně proudí vzduch a usnadňuje vysoušení zbytkové vlhkosti z dřeva. Potom méně znečišťuje spalovací kotel a dá vyšší teplotu než štěpka.

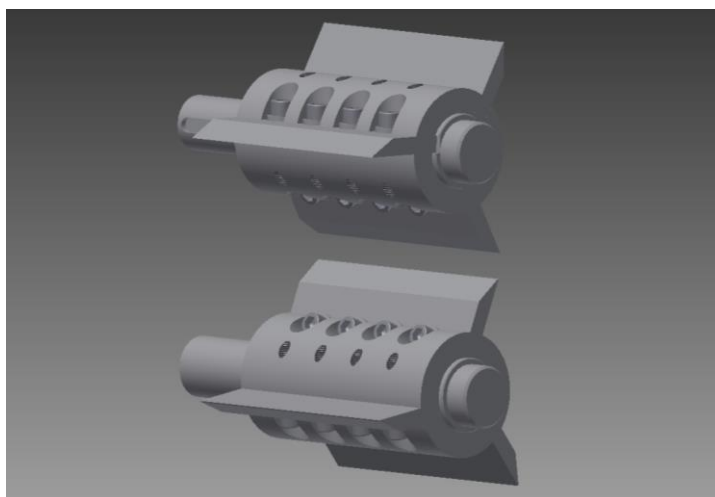


Obr. 5 Špalíky

Nevýhodou jedno rotorových špalíkovačů je maximální drcený průměr do 6cm který je omezen vystrčením drticích nožů.

### 1.2.3 Dvourotorové špalíkovače

Dvourotorový špalíkovač je konstrukčně nejsložitější ze všech drtičů, avšak ani větší průměry mu nedělají problém a oproti jednorotorovým štěpkovačům je mnohem rychlejší.



Obr. 6 Princip dvourotorového špalíkovače

Dvourotorový špalíkovač se liší od jednorotorového špalíkovače tím, že má místo pevné proti desky stejnou nožovou hlavu. Tím dokáže ve srovnání s jednorotorovými nadrtit dvojnásobný průměr dřeva. Nastává zde však problém přesně synchronizovat otáčky obou válců. To se řeší pomocí ozubených kol o stejném počtu zubů.

Dalším problémem je vznik velkých rázů. Ty se pohlcují velkým setrvačником, který je umístěný na náhonové hřídeli. Dvourotorový špalíkovač dokáže nadrtit větve o průměru až 12 cm a délce 8-12 cm při použití 3 nožů na hřídeli. Vzniklé špalíky jsou podobné jako u jednorotorového špalíkovače.

Mezi nevýhody dvourotorového špalíkovače se řadí složitá konstrukce a také rázy na náhonové ústrojí.

## 2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

### 2.1 Volba konstrukce a výpočet základních parametrů špalíkovače

Po porovnání všech kladů a záporů konstrukcí jsem se nakonec rozhodl pro stavbu dvourotového špalíkovače. I když je náročný na výrobu, tak dokáže drtit větve o velkém průměru a zároveň práci vykoná v kratším čase. Dále také proto, že výsledným produktem je špalík, který je výhodnější pro použití v mém prostředí.

#### 2.1.1 Výpočet provozních podmínek z výkonu stroje

Jediné známé parametry, které můžu použít do svých výpočtů, jsou výkon pohonné jednotky – traktoru, otáčky na jeho vývodovém hřídeli a mechanické vlastnosti pro měkké a tvrdé dřevo. Dalším vstupním parametrem jsou mé požadavky na špalíkování měkkého dřeva do průměru 120mm a tvrdého dřeva do průměru 100mm.

Výkon  $P = 33 \text{ kW} = 33000 \text{ W}$

Otáčky hřídele  $n_{mot} = 300 \text{ min}^{-1}$

Maximální průměr zpracovávaného dřeva

- měkké dřevo  $d_{md} = 120 \text{ mm}$

- tvrdé dřevo  $d_{td} = 100 \text{ mm}$

Mez pevnosti ve smyku

- měkké dřevo  $\tau_{Ds} = 3,3 \text{ MPa}$

- tvrdé dřevo  $\tau_{Dt} = 5,8 \text{ MPa}$

Druh dřeva	Mez pevnosti ve smyku (MPa) při 12% vlhkosti			
	Ve směru vláken		Napříč vláken	
	radiální	tangenciální	radiální	tangenciální
Smrk	6,9	6,8	3,3	2,8
Dub	10,2	12,2	5,8	5,6
Buk	11,6	14,5	5,7	5,6
Topol	6,1	7,2	3,5	3,8

Tabulka č. 1 Hodnoty mechanických vlastností dřeva<sup>4</sup>

## VÝPOČET PRO MĚKKÉ DŘEVO

$$\text{Průřez materiálu} \quad S = \frac{\pi \cdot d_{md}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 120^2}{4} = 11310 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

kde:  $d_{md}$  [mm] maximální průměr měkkého dřeva

### Síla potřebná pro ustřižení materiálu

- budu ji počítat ze vztahu pro mez pevnosti ve smyku

$$\tau_{Ds} = \frac{F}{S} \quad \rightarrow \quad F = \tau_{Ds} \cdot S = 3,3 \cdot 11310 = 37323 \text{ N} \quad (2)$$

kde:  $\tau_{Ds}$  [MPa] mez pevnosti ve smyku pro měkké dřevo  
F [N] síla  
S [mm<sup>2</sup>] průřez špalíku

### Energie potřebná na jednu otáčku hřídele

- motor musí pohánět dvě hřídele, na každé jsou umístěny tři nože, proto se potřebná energie násobí 6x. Ve výpočtu je použita i délka  $l$ , která se rovná polovině průměru štípaného dřeva v metrech.

$$E_s = 6 \cdot F \cdot l = 6 \cdot 37323 \cdot 0,06 = 13562 \text{ J} \quad (3)$$

kde:  $E_s$  [J] energie  
F [N] síla  
l [m] dráha

### Otáčky rotoru špalíkovače

- počítají se z výkonu stroje P a času jedné otáčky  $t$ .

$$P = \frac{E_s}{t} \quad \rightarrow \quad t = \frac{E_s}{P} = \frac{13562}{33000} = 0,411 \text{ s} \quad (4)$$

$$n_{rot} = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,411} = 2,433 \text{ s}^{-1} = 146 \text{ min}^{-1} \quad (5)$$

kde: P [W] výkon traktoru  
 $E_s$  [J] energie  
t [s] čas jedné otáčky  
 $n_{rot}$  [s<sup>-1</sup>, min<sup>-1</sup>] otáčky hřídele

## VÝPOČET PRO TVRDÉ DŘEVO

$$\text{Průřez materiálu} \quad S = \frac{\pi \cdot d_{td}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 100^2}{4} = 7854 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

kde:  $d_{td}$  [mm] maximální průměr tvrdého dřeva

### Síla potřebná pro ustřižení materiálu

- budu ji počítat ze vztahu pro mez pevnosti ve smyku

$$\tau_{Ds} = \frac{F}{S} \quad \rightarrow \quad F = \tau_{Ds} \cdot S = 5,8 \cdot 7854 = 45553 \text{ N} \quad (7)$$

kde:  $\tau_{Ds}$  [MPa] mez pevnosti ve smyku pro tvrdé dřevo  
F [N] síla  
S [mm<sup>2</sup>] průřez špalíku

### Energie potřebná na jednu otáčku hřídele

- motor musí pohánět dvě hřídele, na každé jsou umístěny tři nože, proto se potřebná energie násobí 6x. Ve výpočtu je použita i délka l, která se rovná polovině průměru štípaného dřeva v metrech.

$$E_s = 6 \cdot F \cdot l = 6 \cdot 45553 \cdot 0,05 = 13666 \text{ J} \quad (8)$$

kde:  $E_s$  [J] energie  
F [N] síla  
l [m] dráha

### Otáčky rotoru špalíkovače

- počítají se z výkonu stroje P a času jedné otáčky t.

$$P = \frac{E_s}{t} \quad \rightarrow \quad t = \frac{E_s}{P} = \frac{13666}{33000} = 0,414 \text{ s} \quad (9)$$

$$n_{rot} = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,414} = 2,415 \text{ s}^{-1} = 144 \text{ min}^{-1} \quad (10)$$

kde: P [W] výkon traktoru  
 $E_s$  [J] energie  
t [s] čas jedné otáčky  
 $n_{rot}$  [s<sup>-1</sup>, min<sup>-1</sup>] otáčky hřídele

Vývodová hřídel má otáčky 300 min<sup>-1</sup>, otáčky hřídele špalíkovače pro výkon traktoru vyšly u tvrdého dřeva na 144 min<sup>-1</sup> a u měkkého dřeva na 146 min<sup>-1</sup>.

Tyto otáčky jsou velmi podobné, proto budu nadále počítat výpočty pouze pro tvrdé dřevo, které klade větší odpor.

Z výsledků je patrné, že budu muset snížit otáčky o více než polovinu. Pomocí ozubených kol s počtem zubů 49 na hnaném hřídeli a 22 na hnacím zvolím převodový poměr do pomala.

#### Převodový poměr

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{22}{49} = 0,449 \quad (11)$$

kde:  $n_2$  [min<sup>-1</sup>] otáčky hnacího kola  
 $n_1$  [min<sup>-1</sup>] otáčky hnaného kola

#### Výpočet skutečných otáček na hřídelích

$$n = n_{mot} \cdot i = 300 \cdot 0,449 = 135 \text{ min}^{-1} \quad (12)$$

kde:  $i$  [-] převodový poměr

Tyto otáčky jsou o něco nižší, než jsou otáčky, které mám spočítané pro tvrdé a měkké dřevo, proto je zvolený převodový poměr vyhovující.

### 2.1.2 Výpočet hřídelí

Hřídele slouží k přenosu výkonu od motorové části na nože špalíkovače. Jsou do stroje uloženy pomocí ložisek typu NU5210M. Materiálem pro výrobu hřídelí je ocel 11 600, pro svoje vysoké mechanické vlastnosti.

#### Dovolené napětí v ohybu

- pro ocel 11 600  $\sigma_{D0} = 140 \text{ MPa}$

Tato hodnota je nalezena ve strojnických tabulkách<sup>3</sup> na straně 54.

Hřídele jsou namáhány na ohyb i na krut.

#### Kroutící moment přenášený hřídelí

$$M_k = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_{rot}} = \frac{33000 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 135} = 2334 \text{ Nm} \quad (13)$$

kde:  $P$  [W] výkon traktoru  
 $n_{rot}$  [min<sup>-1</sup>] otáčky hřídelí

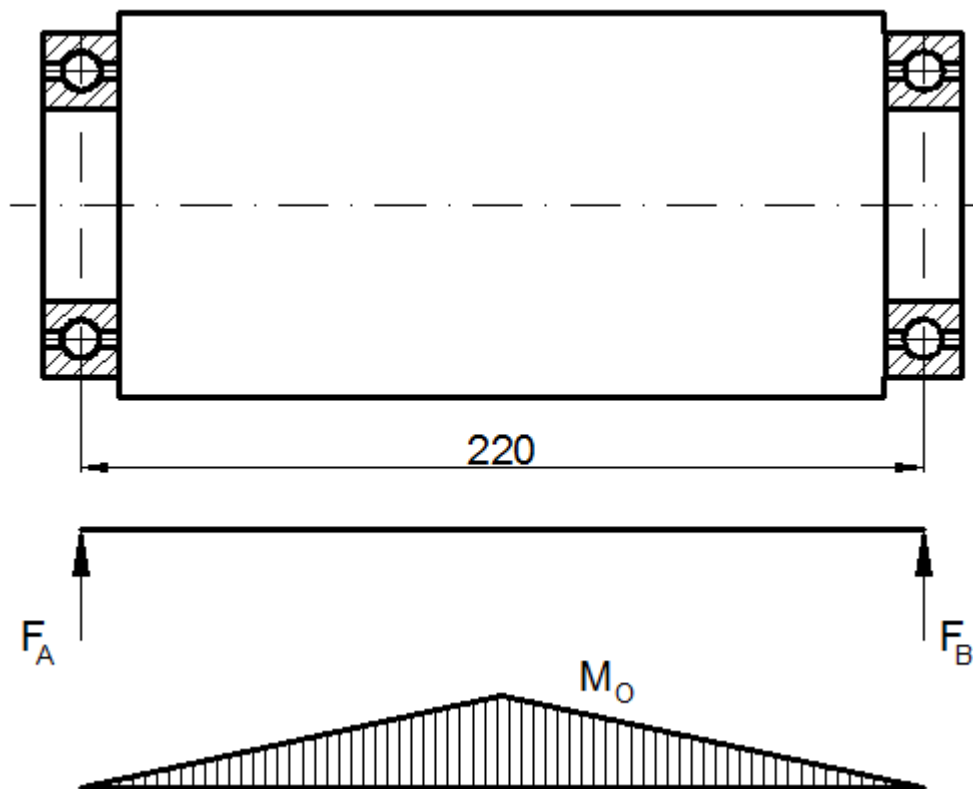
Při nárazu nože na dřevěný materiál vzniká v hřídeli ohybová síla, která je rovna síle potřebné k useknutí materiálu. Při výpočtu budu vycházet pouze ze síly pro tvrdé dřevo, která byla vyšší.

Ohybová síla  $F_r = F = 45553N$  (14)

Reakční síly v podpěrách

$$F_A = F_B = \frac{F}{2} = \frac{45553}{2} = 22776,5 N$$
 (15)

Největší zatížení je uvažováno ve středu hřídele, vzdálenost mezi středy ložisek, ve kterých je hřídel umístěna je 220mm.



Obr. 7 Průběh zatížení na hřídeli

Maximální ohybový moment  $M_{Omax}$  se nachází ve středu hřídele.

$$M_{Omax} = F_A \cdot \frac{L}{2} = 22776,5 \cdot \frac{220}{2} = 2505000 Nmm$$
 (16)

kde: L [mm] vzdálenost mezi středy ložisek



### Redukovaný moment

$$M_{red} = \sqrt{M_{Omax}^2 + 0,75 \cdot M_k^2} = \sqrt{2505000^2 + 0,75 \cdot 2277700^2} = 3188410 \text{ Nmm} \quad (17)$$

kde:  $M_{Omax}$  [N.mm] maximální ohybový moment  
 $M_k$  [N.mm] krouticí moment přenášený hřídelí

### Modul průřezu

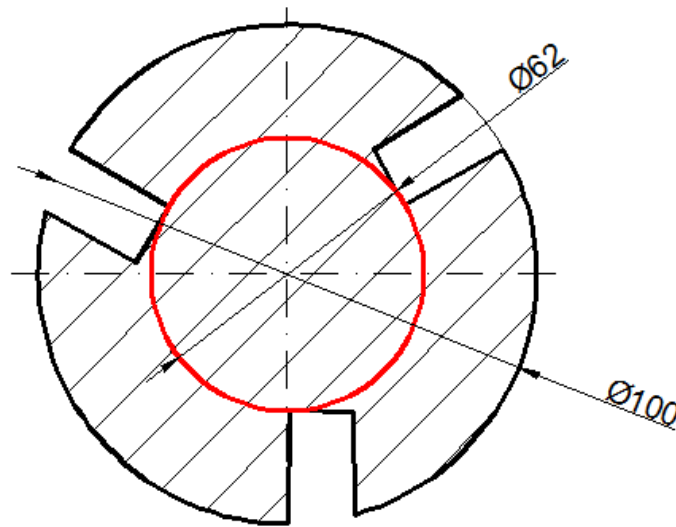
$$\sigma_{Do} = \frac{M_{red}}{W_o} \Rightarrow W_o = \frac{M_{red}}{\sigma_{Do}} = \frac{3188410}{140} = 22774 \text{ mm}^3 \quad (18)$$

kde:  $\sigma_{Do}$  [MPa] dovolené napětí v ohybu

### Minimální průměr hřídele špalíkovače

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{W_o \cdot 32}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{22774 \cdot 32}{\pi}} = 61,44 \text{ mm} \quad (19)$$

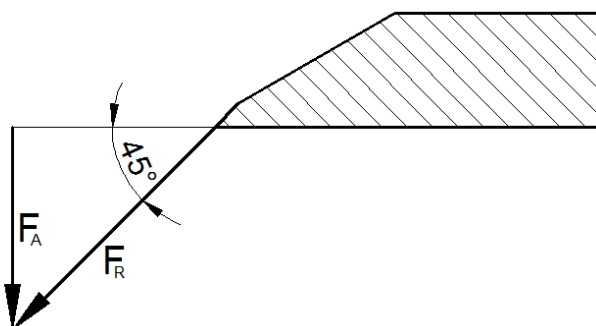
Protože budou na hřídeli vytvořeny tři drážky pro umístění nožů, zvolím průměr hřídele tak, aby drážky pro nože nezasahovaly do vypočítaného průměru hřídele.



Obr. 8 Průřez hřídelí s vyznačením vypočítaného průměru

### **2.1.3 Kontrola navržených ložisek**

Ložiska jsou namáhána reakčními silami  $F_A$  a  $F_B$  v podporách A a B. Tyto síly působí v radiálním směru. Díky tvaru ostří nože může být částečně namáhání i axiální silou.



Obr. 9 Rozložení sil na ostří nože

### Axiální síla

$$\sin 45^\circ = \frac{F_A}{F_R} \Rightarrow F_A = F_R \cdot \sin 45^\circ = 45553 \cdot \sin 45^\circ = 32210 \text{ N} \quad (20)$$

### Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska

$$P_r = X \cdot F_R + Y \cdot F_A = 1 \cdot 45553 + 0 \cdot 32210 = 45553 \text{ N} \quad (21)$$

kde: X, Y [-] koeficienty závislé na poměru axiálního a radiálního zatížení

Pro návrhové výpočty se uvažuje čistě radiální zatížení, tj. X=1, Y=0.

Ze základní trvanlivosti ložiska se určí základní požadovaná dynamická únosnost ložiska.

Základní trvanlivost ložiska L je obvykle 25000 hodin, protože však nebude špalíkovač konstruovaný pro profesionální používání, ale pouze pro běžné domácí použití, postačí ve výpočtu trvanlivost ložiska 5000 hodin.

$$L = \left( \frac{C_d}{P_r} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{rot}} \Rightarrow \quad (22)$$

$$\Rightarrow C_d = P_r \cdot \left( \frac{L \cdot 60 \cdot n_{rot}}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} = 45553 \cdot \left( \frac{5000 \cdot 60 \cdot 135}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} = 112316 \text{ N}$$

Z vypočítané základní dynamické únosnosti bylo zvoleno válečkové ložisko NU5210M, jehož únosnost je 128000N.

Vzorce 1 až 22 byly použity z literatury uvedené v seznamu zdrojů pod pozicí číslo 5.

## 2.2 Popis konstrukce

### 2.2.1 Synchronizace hřídelí

Jak jsem uvedl v kapitole 2.1, je dvourotorový špalíkovač složitější na konstrukci. První komplikací je synchronizace otáček obou hřídelí. Toho se docílí ozubenými koly o stejném počtu zubů. To ale ještě není úplné vyřešení problému. Je také potřeba, aby se nože potkávaly

ve stejném místě s minimální mezerou. Proto se musí ozubená kola natočit na hřídeli tak, aby se spolu potkávaly nože.

Většina výrobců špalíkovačů to řeší pomocí svěrných pouzder. Ovšem svěrná pouzdra nejsou na tento účel vhodná, právě naopak. Fungují na principu tření dvou ploch po sobě a to se na rázové zatížení nehodí.

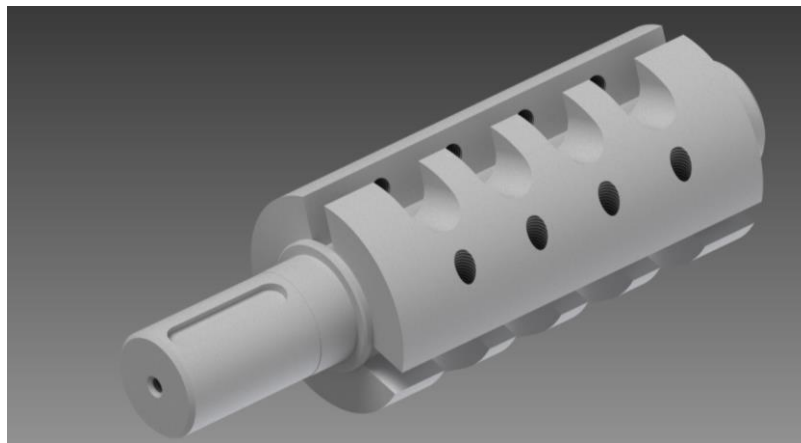
Proto jsem se rozhodl pro jiné řešení. Do hřídelí se vyfrézuje drážka pro pero, jehož prostřednictvím se bude přenášet krouticí moment na přírubu.

Ta potom bude vložena do ozubeného kola s minimální vůlí a po seřízení nožů pevně svařena s ozubenými koly. Takhle je to řešeno u jednoho ozubeného kola. Druhé ozubené kolo je nalisováno rovnou na hřídel a krouticí moment přenáší pero.

### 2.2.2 Nožové hřídele

Konstrukcí nožových hřídelí se na trhu také objevuje několik. Většinou se liší počtem nožů na jedné hřídeli a také jejich umístěním vůči ose.

Počet nožů na hřídeli ovlivňuje nejenom délku špalíků, ale také rázy vůči náhonovému ústrojí. U dvou nožů na hřídeli je také problém s podáváním materiálu. Proto jsem se rozhodl pro použití tří nožů na hřídeli. Délka špalíků vychází 10-15 cm a tři nože už dokážou větve vtahovat samočinně bez nějakých vkládacích válců.



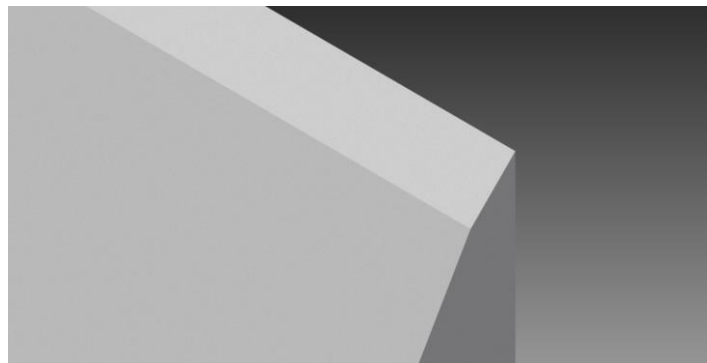
Obr. 10 Návrh nožové hřídele

Umístění nožů na hřídeli udává, jak se budou při přiblížení potkávat. Jestli budou jejich ostří v jedné rovině, nebo se budou potkávat pod úhlem. Je to dáno tím, jak je ostří umístěné vůči ose na hřídeli. Já jsem si zvolil umístit ostří kolmo na osu a to z důvodu snazšího seřízení a lepšího drcení menších větvíček.

### 2.2.3 Nože

Nože špalíkovače nejsou nijak náročné na výrobu ovšem je nutno zvolit správný materiál a správně ho tepelně upravit. Výsledkem mají být nože, které vydrží dlouho bez přebroušení.

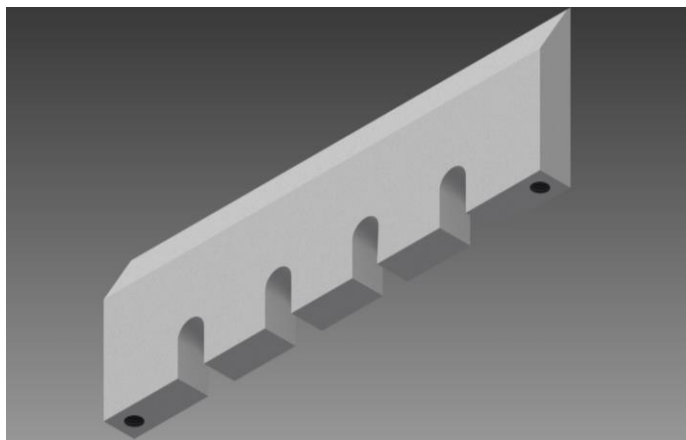
Tvar a rozměry nožů vycházejí z konstrukce hřídel. Nože jsou uloženy do drážek s minimální vůlí. Proti vysunutí z drážek odstředivou silou jsou připevněny čtyřmi imbusovými šrouby M12. Pod šrouby jsou ještě podložky, které jsou zakalené, aby se nevymačkaly. Proti zasunutí nože hlouběji do drážky jsou zespodu opatřeny stavěcími šrouby, kterými se nastavuje vůle mezi noži. Ostří je dvojité. První hlavní ostří je pod úhlem  $45^\circ$  a je na plošce o velikosti 2mm. Potom je ostří odlehčené na  $30^\circ$ , aby lépe vnikalo do materiálu.



Obr. 11 Detail ostří

Jako nejvhodnější materiál pro výrobu nože jsem zvolil ocel 12050. Je to konstrukční ocel vhodná ke kalení. Po zakalení má tvrdý povrch, ale houževnaté jádro. Nože jsou zakaleny v oleji na 900MPa a popuštěny. Materiál 12050 jsem zvolil zvláště kvůli dostupnosti a ceně.

Při konzultaci s nástrojařem mi byla původně doporučena ocel 19436, která se ovšem nevyrábí jako plech ani pásovina, pouze jako kulaté tyče. Tak jsem tuto možnost zavrhl. Výroba nožů z kulatiny by byla časově i cenově velmi náročná.

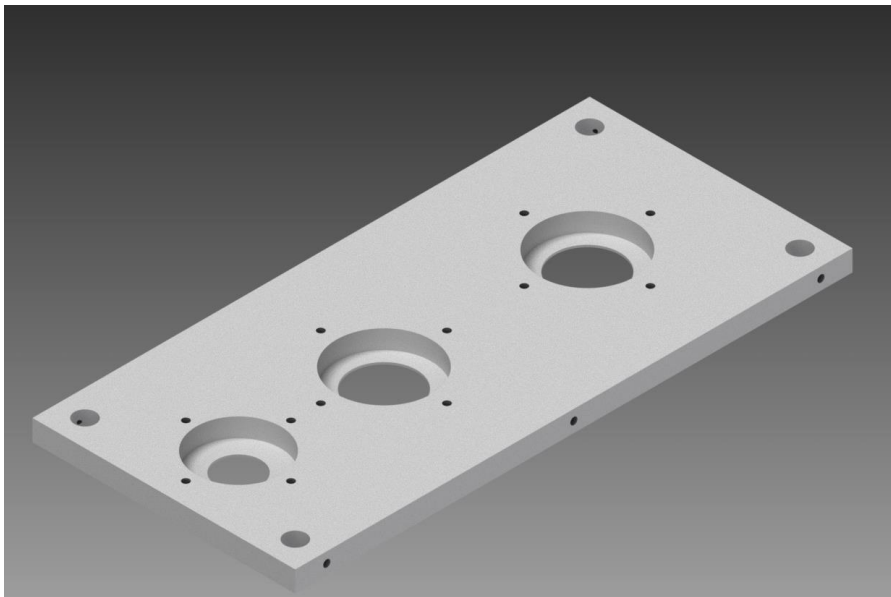


Obr. 12 Návrh nože

### 2.2.4 Spojovací desky

Aby hřídele při práci udržely stálou přesnou osovou vzdálenost hřídelí, je třeba je usadit do ložisek a následně do desek, ve kterých budou držet ložiska. Tady je ovšem důležité dodržet osovou vzdálenost ozubených kol a tedy i hřídelů, aby mezi ozubenými koly nebyla vůle. Ozubená kola jsem měl koupená jako náhradní díl do traktoru a neznal jsem jejich parametry (modul, roztečnou kružnici) a tak jsem musel tyto rozměry změřit.

K tomu mi posloužil dotykový souřadnicový měřicí stroj, který máme ve škole.



Obr. 13 Návrh spojovací desky

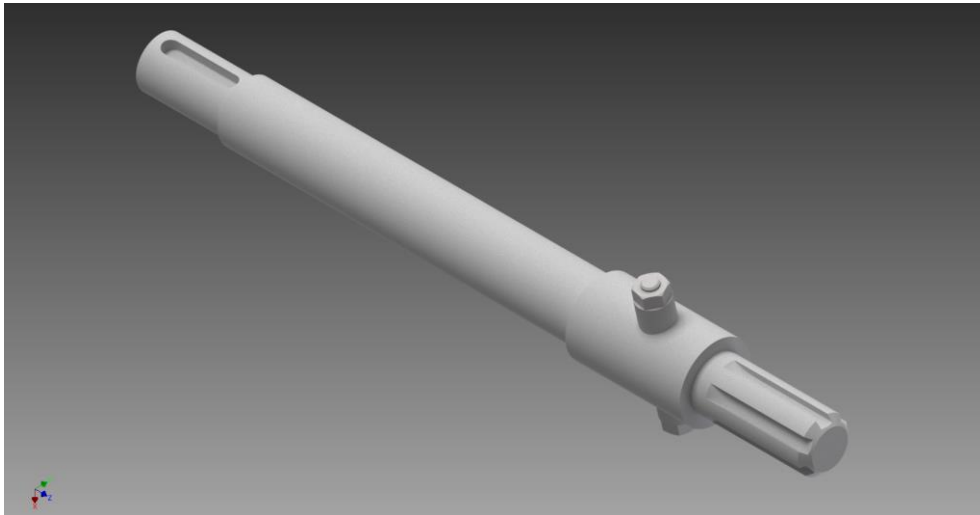
Do spojovacích desek jsem navíc vyvrtal čtyři díry na spojníky, které je budou držet v přesné vzdálenosti od sebe. Na spojovacích deskách také drží všechny kryty špalíkovače. Ložiska jsou do hřídelů nalisována s mírným přesahem a proti posunu jsou pojištěna dekly.

### 2.2.5 Náhonová hřídel

Aby pohonné ústrojí (traktor) nedostávalo tak velké rázy od špalíkovače, je špalíkovač osazen třetí hřídelí, která otáčky zpomaluje a přidává tak traktoru větší sílu. K tomu by takhle hřídel měla být osazena setrvačником o hmotnosti 30 kg, jehož výrobu prozatím připravuji.

Konec náhonové hřídele je opatřen drážkováním, na které je nasazena kardanová hřídel, přes kterou se přenáší výkon traktoru na špalíkovač. Tato hřídel je s náhonovou hřídelí spojena dvoustřížným kolíkem, který je vyroben z pružinové oceli.

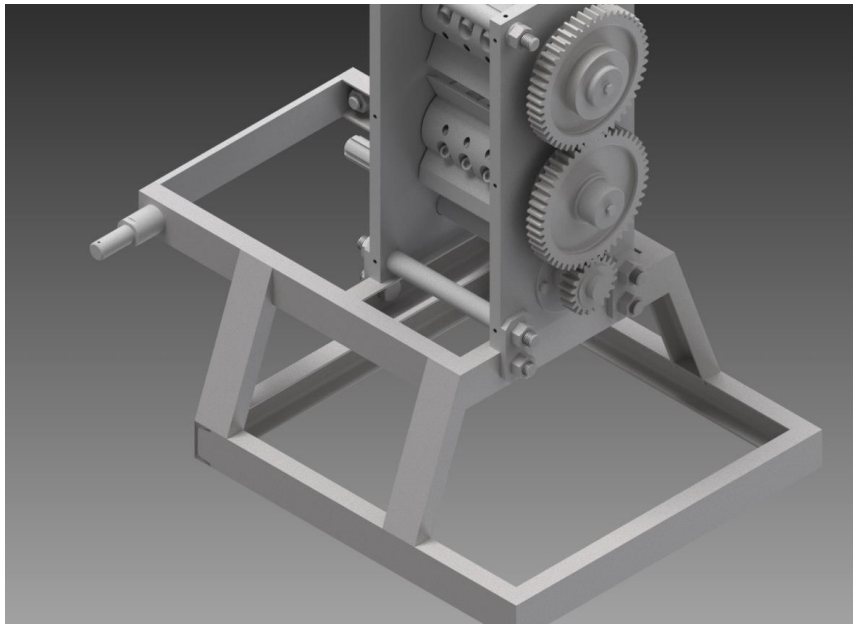
Při přetížení špalíkovače se kolík přestřihne a drážkovaná hřídel se v náhonové hřídeli volně protočí.



Obr. 14 Návrh náhonové hřídele

### 2.2.6 Nosný rám

Celá drtící hlava je kvůli přepravě a vůbec ustavení do traktoru na nosném rámu. Ten je tvořen ze svařované konstrukce vyrobené z U profilů. Pro uchycení špalíkovací hlavy jsou vyvrtány díry, které přes šrouby a třmeny drží celou hlavu. Pro lepší manipulovatelnost je nosný rám opatřený kolečky, která usnadní manipulaci se špalíkovačem po garáži. Čepy pro držení celého špalíkovače jsou do rámu našroubovány.

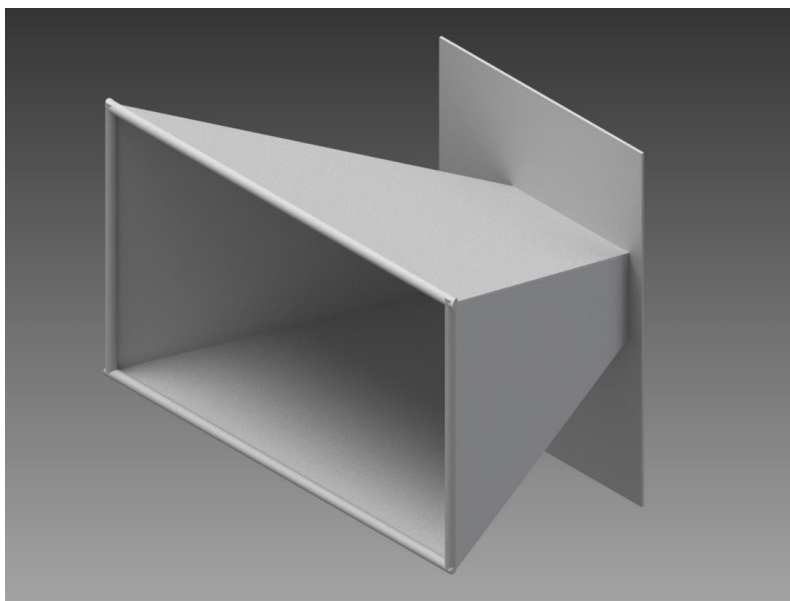


Obr. 15 Návrh nosného rámu

### 2.2.7 Krytování

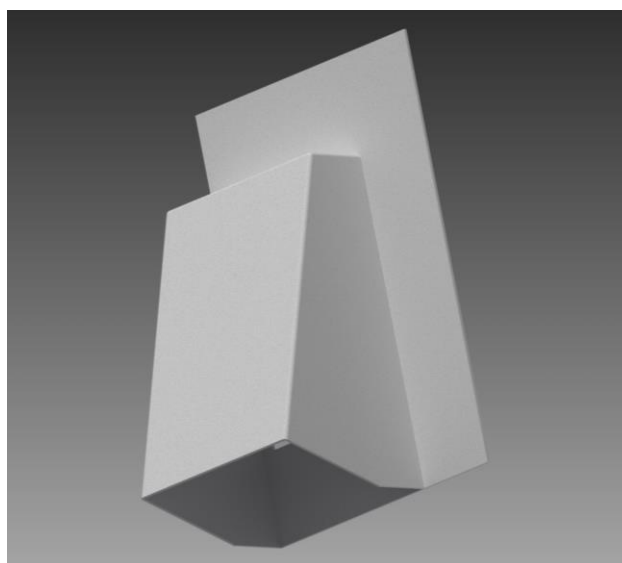
Kvůli bezpečnosti a z důvodu správného toku materiálu, je špalíkovač osazen několika díly krytování.

Při vkládání materiálu se stavíme k drtící hlavě přímo a je nebezpečí vtáhnutí rukou. Také materiál při vtahování potřebuje alespoň přibližné vedení, aby se nemohl zkřížit. Rovněž při vkládání rozvětvených větví je třeba je nějak dostat do drtící komory. Proto jsem na vstupu vyrobil násypník, který má tvar trychtýře. Konstrukce je svařená z plechu tloušťky 4mm a na okraji je lem proti poranění o ostrou hranu.



Obr. 16 Návrh násypníku

Při výstupu materiálu je potřeba jeho tok nějak usměrnit, aby nevypadával všemi směry, ale pouze směrem dolů. Rovněž se musí zakrytovat rotující hřídele, aby někoho nezranily. K tomuto účelu je vytvořený kryt s kapsou, kterou padá materiál na zem. Kryt je vyroben z 2mm silného plechu, opět svařováním.



Obr. 17 Návrh výstupního krytu

Všechny další pohyblivé části, které by mohly způsobit zranění, jsou ještě zakrytovány různými dekly.

## 3 VÝROBA

Výroba téměř všech dílů byla prováděna u mě doma na konvenčních strojích. Celá výroba zabrala s velkými přestávkami přibližně tři měsíce. Při přepočtu na hodiny je to cca 100 hodin. Tady ovšem záleží na použitých technologiích. Při vybavené dílně by se dal vyrábět jeden špalíkovač za 8 hodin. Všechny obráběcí operace jsem vykonával sám, pouze svářečské práce zastal můj otec, který má lepší zkušenosti.

### 3.1 Špalíkovací hlava

#### 3.1.1 Nožové hřídele

Výroba hřídelů je poměrně složitá avšak při správném rozvržení si můžeme hodně věci usnadnit.

Hřídele jsou vyrobené z materiálu 11600. Jako polotovary byly zakoupeny dvě tyče kruhového průřezu o průměru 100mm a délce 310mm.



Obr. 18 Polotovary pro nožové hřídele

Obrábění hřídele jsem započal navrtáním středících důlků, za které je potom hřídel upnuta a hrubováním soustružena na průměr 99mm, po této operaci je celý povrch bez okují. Poté je hřídel upnuta do klasického tříčelistového sklíčidla a obrobí se válcové čepy na ložiska s přídávkem 1mm. Nakonec je hřídel upnuta opět mezi hroty a obrobena kompletně na čisto.





Obr. 19 Soustružení hřídelí mezi hroty

Tím práce na soustruhu končí a hřídel je upnuta do dělicího přístroje na frézku, kde nejdřív frézují drážky kotoučovou frézou, a následně vrtám díry pro šrouby. Nakonec ještě zvětším průměry děr pro hlavu šroubů, aby tam mohly být vloženy podložky.



Obr. 20 Hotové nožové hřídele

### 3.1.2 Nože

Polotovarem pro nože je ocelový výpalek o rozměrech 76x1500x15 z materiálu 12050. Polotovar jsem nejdříve nadělil na kousky o délce 202mm klasickou ruční rozbrušovací pilou a následně jsem je obrobil na délku 200mm a šířku 74mm. Poté jsem vyfrézoval drážky pro šrouby nožů a vyvrtal díry pro stavěcí šrouby. Nakonec jsem frézoval ostří pod úhlem 30°.



Obr. 21 Frézování vedlejšího ostří nožů

Po zušlechtnění (zakalení na 900MPa a následném popuštění) jsem nože brousil na nejdříve na tloušťku, protože se vlivem kalení mírně prohnuły. Nakonec se brousí hlavní ostří se sklonem 45° pomocí sinusového svěráku. Broušení probíhalo na školní brusce BPH 20.



Obr. 22 Broušení hlavního ostří nožů

### 3.1.3 Spojovací desky

Polotovarem pro spojovací desky jsou plotny o rozměrech 530x250x20mm. Jsou vyrobeny z konstrukční oceli 11523.

Spojovací desky jsem obráběl ve firmě v rámci školních praxí ve firmě. Obrábění probíhalo na obráběcím centru ZPS MCFV100S. CNC program byl vygenerovaný z 3D modelu. Samotné obrábění probíhalo na jedno upnutí a doba obrábění byla cca 50 minut.





Obr. 23 Frézování spojovací desky

### 3.1.4 Ozubená kola

Pro můj špalíkovač jsou použita ozubená kola, která se prodávají jako náhradní díly pro traktory. Ozubená kola jsem si upravil podle svých potřeb na soustruhu. Přenos krouticího momentu mezi hřídelí a ozubeným kolem je zajištěn přes pero. Pro synchronizaci nožů je jedno ozubené kolo přimontováno na hřídel přes náboj, který se po seřízení nožů svaří s ozubeným kolem. Drážky pro pero v nábojích jsem opět vyráběl v rámci školní praxe ve firmách na drátové řezačce MITSUBISHI FA10.



Obr. 24 Ozubená kola

### 3.1.5 Náhonová hřídel

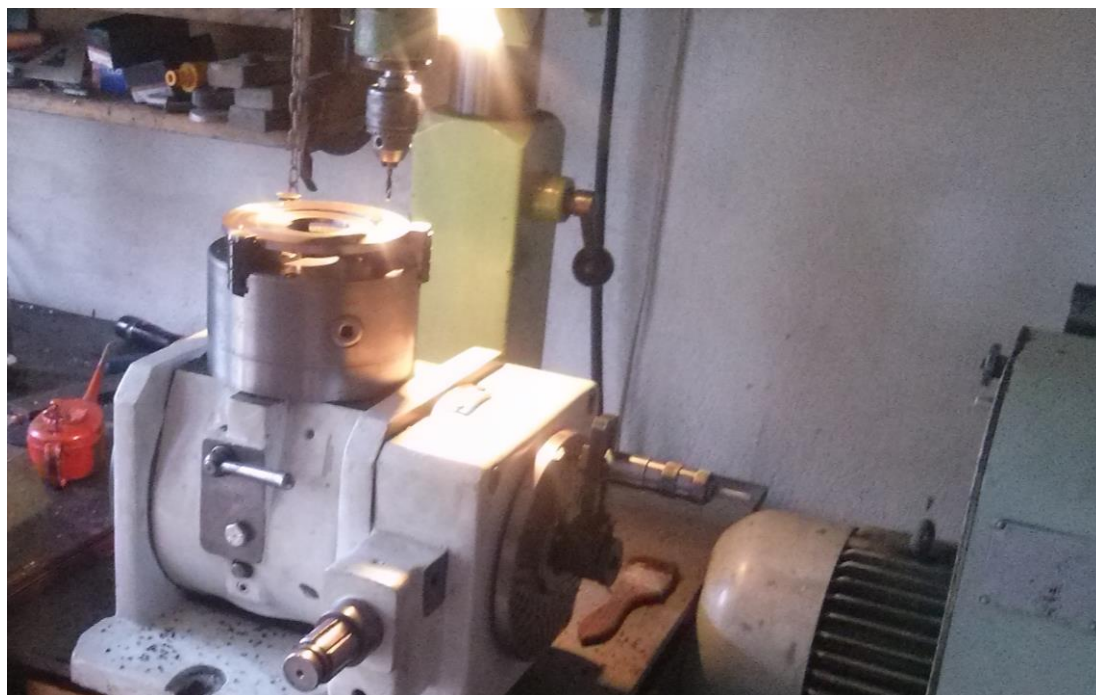
Náhonová hřídel se skládá ze dvou částí. Hlavní část je hřídel s osazeními na ložiska, osazením pro ozubené kolo a dále také dutina pro drážkovanou hřídel, která je do náhonové hřídele vložena s minimálním přesahem. Hřídel byla soustružena opět mezi hroty pro maximální souosost všech hřídelových čepů. Drážkovaný konec byl s hřídelí svrtán při montáži.



Obr. 25 Soustružení náhonové hřídele

### 3.1.6 Ostatní

Při výrobě špalíkovače bylo použito také mnoho spojovacích prvků, např. rozpěrných kroužků, deklů a jiných doplňků, které se musely vyrobit. Většinou se jednalo o soustružené součástky. Jako příklad bych uvedl svorníky, které spojují desky, krytky které brání ložiskům v axiálním posuvu, nebo také čepy, které nesou celý špalíkovač v tříbodovém závěsu traktoru.



Obr. 26 Vrtání děr do krytky ložiska



## 3.2 Doplnky

### 3.2.1 Nosný rám

Nosný rám je vyroben z U profilů o rozměrech 60x30x6mm. Materiál jsem nejdříve řezal klasickou ruční rozbrušovací pilou a následně obrobil na frézce na přesné rozměry. Pro lepší tuhost jsem konce u kolmých spojů rozdělil po 45° aby byla svařovaná plocha co největší. I se svařením nosného rámu mi pomohl otec.



Obr. 27 Frézování úkosů U profilů pro nosný rám

### 3.2.2 Krytování

Krytování bylo vyrobeno z plechu tl. 4mm. Všechno řezání bylo opět prováděno klasickou ruční rozbrušovací pilou a svařeno mým otcem.



Obr. 28 Svařený násypník bez olemování

### 3.3 Sestavení

Sestavení všech dílů dohromady trvalo přibližně dvě hodiny, jelikož bylo všechno přesně spásováno a muselo se čekat pouze při nahřívání nábojů pro snazší nalisování.

Nejdříve se do spojovacích desek nalisovala ložiska, která se pojistila proti vysunutí krytkami. Poté se do nožových hřídelí osadily nože a následně se celé hřídele nalisovaly do ložisek. Do spojovacích desek se také umístily svorníky, které se pojistily maticí.



Obr. 29 Částečně sestavená nožová hlava

V montáži jsem pokračoval přiklopením druhou spojovací deskou. Poté se špalíkovací hlava umístila na rám, kde se přitáhla přes třmeny čtyřmi šrouby M20. Následovalo nalisování náhonové hřídele a montáž úchyty do třetího bodu závěsu traktoru.



Obr. 30 Sestavená nožová hlava osazená na nosném rámu



Jako další jsem provedl samotné nalisování ozubených kol, která byla předem ohřáta na 200°C. Po nalisování kol se seřídily obě hřídele tak, aby šly nože přesně proti sobě. Následovalo přivaření náboje na ozubené kolo. Dále jsem seřídil mezeru mezi noži, což díky stavěcím šroubům na nožích nečinilo žádné problémy. Jako poslední jsem přitáhl šrouby, které drží nože.



Obr. 31 Detail ozubeného převodu

Posledním úkolem při montáži bylo správné umístění všech bezpečnostních krytů a promazání ozubených kol.

Na závěr došlo k natření špalíkovače základní barvou a jeho prvnímu testování.



Obr. 32 Kompletně sestavený špalíkovač po nátěru základní barvou

## 4 VÝSLEDEK

Při prvním testování jsme zkoušeli hlavně kvalitu celého špalíkovače. Při volnoběžných otáčkách na traktoru umí špalíkovač drtit větve do průměru 7cm. Při zvýšeném volnoběhu až do 10cm. Drcený materiál byl převážně buk a ani ten špalíkovači nečinil nejmenší problémy. Na nožích nebylo viditelné žádné opotřebení.



Obr. 33 První test špalíkovače

Výkon špalíkovače je závislý především na obsluze. Při testování jsme obsluhovali špalíkovač ve 2 lidech a výkon byl cca  $10\text{m}^3/\text{h}$ . Pokud by špalíkovač pracoval bez prodlev, kdy jsme jej nestíhali plnit, a proto občas pracoval na prázdko, tak by byl schopen zhotovit až  $15\text{m}^3$  špalíků za hodinu.

Jeden z největších zaznamenaných špalíkových průměrů měl něco kolem 10cm při materiálu buk. Pokud by bylo měkké dřev (smrk), nebyl by problém zpracovávat i větve průměru 12 cm. Ovšem tady nastává problém s konstrukcí, kdy se materiál už nevléze mezi nože hřídelí.



Obr. 34 Špalíky



Nadrcený materiál jsme poté plnili do pytlů. Pytle jsme uskladnili na dobře odvětrané místo, aby špalíky dobře vyschnuly.



Obr. 35 Uskladnění špalíků

Po vyschnutí se špalíky z pytle vysypou a do kotle se vkládají lopatou. Špalíky se nejvíce osvědčily při roztápění kotle, kdy nahrazují třísky, které pomohou rozhořet větším kusům dřeva. Dobře vysušené špalíky mají vysokou výhřevnost a neznečišťují kotel. Při správném postupu rozkládání ohně vydrží plně naložený kotel hořet 2 hodiny bez příkládání. Při běžném topení se pytel špalíků (40-45kg) spálí za jeden den. Pytle na skladování špalíků nevyhazujeme, ale znovu používáme.

## 5 ZÁVĚR

Špalíkovač do dnešního dne nadrtil cca 150m<sup>3</sup> dřeva. Během provozu se zatím neobjevila žádná závada ani opotřebení některých součástí. Špalíkovač je velmi kvalitní a odolný. Při práci v lese je užitečná také jeho nízká hmotnost. Topení se špalíky je také bez problémů. Špalíkovač bych rád doplnil v blízké době o setrvačnick, který by tlumil rázy vznikající při sekání.

Setrvačnick bych realizoval pomocí kruhového výpalku o průměru 700mm a tloušťce 15mm. Setrvačnick by se namontoval na spodní náhonovou hřídel přes přírubu a 4 střížné šrouby.

Dále bych také špalíkovač rád časem doplnil o pásový dopravník. Nadrcený materiál by poté nepadal na zem ale na dopravník, který by jej dopravil na korbu vlečky. Tím by se usnadnila obsluha a nebylo by třeba člověka, který by musel špalíky házet lopatou na vlečku. Pro toto vylepšení už mám odložený starý pás z pokladny, na který se přilepí lopatky.

Výrobou špalíkovače jsem se naučil hodně věcí. Od modelování jednotlivých komponent a následné skládání sestav až po výrobu jednotlivých dílů, programování CNC strojů a jejich seřizování. Během výroby a následného sestavení jsem však nikdy nemusel nic dopasovávat ani jsem nedošel do okamžiku, kdy bych některou ze součástí musel při montáži rozměrově upravovat. K dnešnímu dni jsem vyrobil ještě 3 další špalíkovací hlavy stejné nebo podobné konstrukce, které také fungují bez problémů.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ, CITACÍ A PŘÍLOH

- [1] MUSIL, Martin, provozovatel serveru PROFISTROJE.CZ [online]. Ostrava. [Cit. 2.3.2016]. Dostupné z URL: [http://www.profistroje.cz/stepkovac-bandit-model-255-xp\\_1809.html](http://www.profistroje.cz/stepkovac-bandit-model-255-xp_1809.html)
- [2] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš. CZ BIOM české sdružení pro biomasu, z.s. [online] 2007. [Cit. 2.3.2016]. Dostupné z URL: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [3] LEINVEBER, Jiří, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 5. Vydání. Úvaly: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2011. 927 s. ISBN 987-80-7361-081-4.
- [4] ZEJDA, Jiří, TIPNER, Jan. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva*. Mendelova univerzita v Brně. [online]. Brno. [Cit. 2.3.2016]. Dostupné z URL: [http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?fit\\_w=1;cast=9190](http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?fit_w=1;cast=9190)
- [5] SHIGLEY, Joseph, MISCHKE, Charles, BUDYNAS, Richard. *Konstruování strojních součástí*. První vydání. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

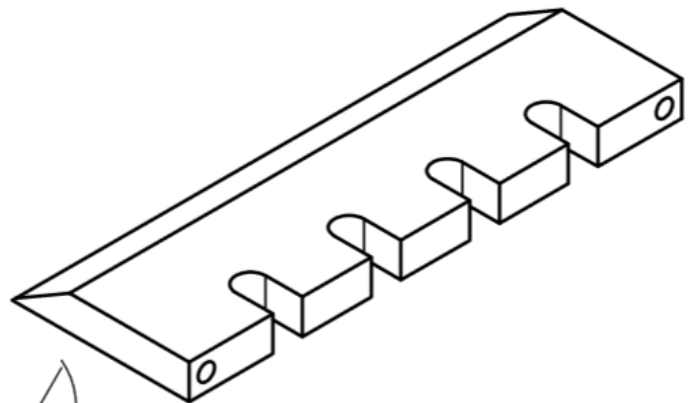
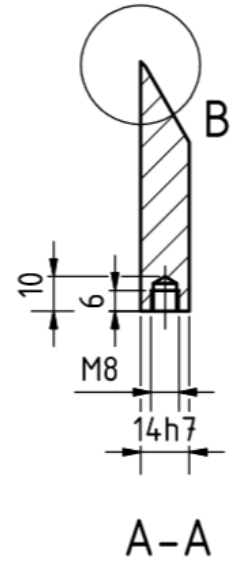
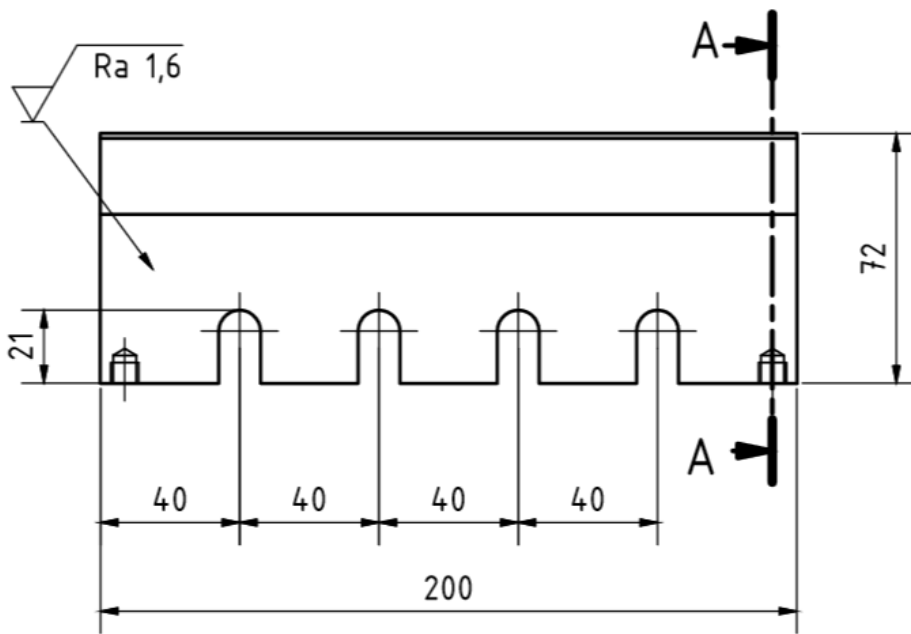
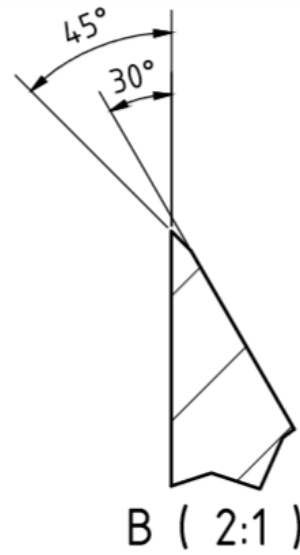
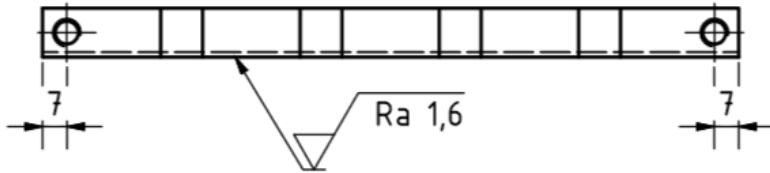
symbol	jednotka	název
$\tau_{Ds}$	[MPa]	mez pevnosti ve smyku
$\sigma_{Do}$	[MPa]	dovolené napětí
$C_d$	[N]	dynamická únosnost ložiska
$d_{min}$	[mm]	minimální průměr hřídele
$d_{md}$	[mm]	průměr měkkého dřeva
$d_{td}$	[mm]	průměr tvrdého dřeva
$E_s$	[J]	energie
$F$	[N]	síla
$F_A$	[N]	reakční síla
$F_B$	[N]	reakční síla
$F_R$	[N]	ohybová síla
$i$	[-]	převodový poměr
$l$	[m]	dráha
$L$	[mm]	délka mezi středy ložisek
$M_k$	[N.mm]	kroucí moment
$M_{Omax}$	[N.mm]	maximální ohybový moment
$M_{red}$	[N.mm]	redukovaný moment
$n_{mot}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru
$n_{rot}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky hřídele
$n_1$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky hnaného kola
$n_2$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky hnacího kola
$P$	[W]	výkon
$P_r$	[N]	dynamické ekvivalentní namáhání ložiska
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	průřez dřeva
$t$	[s]	čas
$W_O$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu
$X, Y$	[-]	koeficienty

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Štěpkovač tovární výroby <sup>1</sup>	8
Obr. 2 Princip jednorotorového štěpkovače	8
Obr. 3 Štěpka <sup>2</sup>	9
Obr. 4 Princip jednorotorového špalíkovače	9
Obr. 5 Špalíky	10
Obr. 6 Princip dvourotorového špalíkovače	10
Obr. 7 Průběh zatížení na hřídeli	15
Obr. 8 Průřez hřídelí s vyznačením vypočítaného průměru	16
Obr. 9 Rozložení sil na ostří nože	17
Obr. 10 Návrh nožové hřídele	18
Obr. 11 Detail ostří	19
Obr. 12 Návrh nože	19
Obr. 13 Návrh spojovací desky	20
Obr. 14 Návrh náhonové hřídele	21
Obr. 15 Návrh nosného rámu	21
Obr. 16 Návrh násypníku	22
Obr. 17 Návrh výstupního krytu	22
Obr. 18 Polotovary pro nožové hřídele	23
Obr. 19 Soustružení hřídelí mezi hroty	24
Obr. 20 Hotové nožové hřídele	24
Obr. 21 Frézování vedlejšího ostří nožů	25
Obr. 22 Broušení hlavního ostří nožů	25
Obr. 23 Frézování spojovací desky	26
Obr. 24 Ozubená kola	26
Obr. 25 Soustružení náhonové hřídele	27
Obr. 26 Vrtání děr do krytky ložiska	27
Obr. 27 Frézování úkosů U profilů pro nosný rám	28
Obr. 28 Svařený násypník bez olemování	28
Obr. 29 Částečně sestavená nožová hlava	29
Obr. 30 Sestavená nožová hlava osazená na nosném rámu	29
Obr. 31 Detail ozubeného převodu	30
Obr. 32 Kompletně sestavený špalíkovač po nátěru základní barvou	30
Obr. 33 První test špalíkovače	31
Obr. 34 Špalíky	31
Obr. 35 Uskladnění špalíků	32

## 9 SEZNAM PŘÍLOH

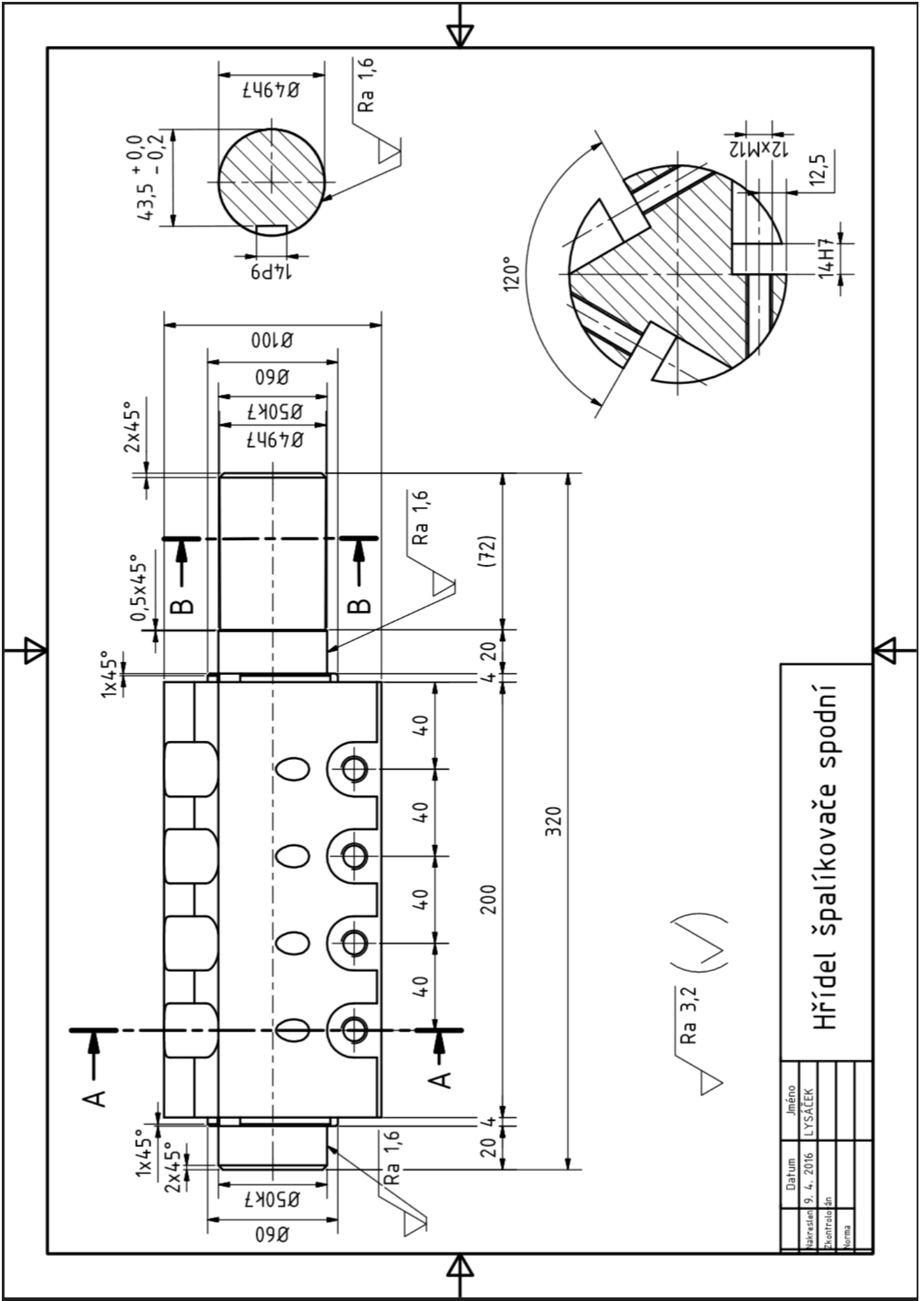
Příloha 1:	Nůž špalíkovače
Příloha 2:	Hřídel špalíkovače



$Ra\ 3,2$  (✓)

	Datum	Jméno
Nakreslen	9. 4. 2016	LYSÁČEK
Zkontrolován		
Norma		

NŮŽ ŠPALÍKOVAČE



✓ Ra 3,2 (✓)

Hřídel špalíkovavče spodní	
Datum	Jméno
Vykreslen 9. 4. 2016	LYSÁČEK
Kontrola	fin
Norma	