



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA ŘEMENICE PRO MIKROŘEMENY NA SPN 12CNC/SINUMERIK 810D

PRODUCTION OF PULLEY FOR MICRO-BELTS AT SPN 12CNC/SINUMERIK 810D

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Juránek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2024

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Martin Juránek**  
Studijní program: Strojírenská technologie  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.**  
Akademický rok: 2023/24

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 diplomové práce:

## Výroba řemenice pro mikrořemeny na SPN 12CNC/Sinumerik 810D

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá technologií výroby přesných řemenic pro mikrořemeny podle další technické dokumentace, využívá obráběcího stroje SPN 12CNC, řízeného řídicím systémem Sinumerik 810D. Práce zahrnuje tvorbu technologického postupu, jeho verifikaci grafickou simulací a reálným obráběním. Kvalita řezných nástrojů i obrobků je dále vyhodnocována pomocí mikroskopu Alicona IF G5.

### Cíle diplomové práce:

Obecný popis převodových mechanismů, využívající mikrodrážkované řemeny a řemenice.  
Technologický postup výroby dané součásti.  
Zpracování CNC programu, jeho verifikace.  
Kontrola řezných nástrojů, rozměrů a kvality obrobků.

### Seznam doporučené literatury:

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 3. vyd., 2005, 651 s. ISBN 0-19-514206-3.

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástrojů. VŠ učebnice. Brno: CERM, 2006. 230 s. 1. vyd. ISBN 80-214-2374-9.

DAVIM, J. P. Surface Integrity in Machining. Online. London, 2010. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84882-874-2>. [citováno 2023-10-17].

Poly V-Belt Transmissions. Dostupné z: <https://www.poggispa.com/products/v-belt-transmissions/?lang=en#1543231689698-8a108404-e395>. [citováno 2023-10-17].

SCHMID, R. S., HAMROCK, B. J., JACOBSON, B. O. Fundamentals of Machine Elements, CRC Press, 3. vyd. 2014. 625 s. ISBN 13:978-1-4398-9132-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Práce se zabývá výrobou dvou drážkových řemenic na soustruhu SPN 12 CNC. V úvodní kapitole se práce krátce zmiňuje o převodech a jejich rozdělení. Dále jsou zde nastíněny hlavní výhody drážkových řemenic oproti klasickým klínovým řemenicím. Nechybí zde geometrie a výpočtové vztahy silových poměrů v jednoduchém řemenovém převodu. Praktická část navrhuje několik metod tvorby možného CNC programu pro výrobu samotných drážek. Z možných metod je využita metoda tvorby kontury pomocí přírůstkového programování za pomoci početní smyčky FOR je vytvořeno 6 drážek. Tento program je využit pro samotnou výrobu drážek. Práce je rovněž doplněna o metodiku měření funkčních rozměrů drážek a nechybí zde rovněž měření parametrů břitové destičky, se kterou byly drážky vyrobeny.

### Klíčová slova

Řemenice, drážka, obrábění, programování

## ABSTRACT

As the title itself suggests, this thesis deals with the production of two two poly-V pulleys on the lathe SPN 12 CNC. In the first chapter, the thesis mentions transmissions and its types. Furthermore, the main advantages of poly-V pulleys compared to classic V-pulleys are outlined here. There is also geometry and calculation relationships of power ratios in a simple belt transmission. The practical part suggests several methods of creating a possible CNC program for the production of the grooves themselves. The practical part suggests several methods of creating a possible CNC program for the production of the grooves themselves. Among the possible methods, the contour creation method using incremental programming is used, and 6 grooves are created using the FOR counting loop. The work is also supplemented about the methodology for measuring the functional dimensions of the grooves, and there is also the measurement of the parameters of the insert with which the grooves were made.

### Keywords

Poly-V pulley, groove, machining, programming

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JURÁNEK, Martin. *Výroba řemenice pro mikrořemeny na SPN 12CNC/Sinumerik 810D* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157954>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Piška.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Výroba řemenice pro mikrořemeny na SPN 12CNC/Sinumerik 810D vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

Brno, 22.5. 2024

---

Martin Juránek

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji panu Jiřímu Čechovi za asistenci výrobě řemenic.

---

**OBSAH**

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

|  |    |
|--|----|
| ÚVOD .....   | 9  |
| 1 PŘEVODY .....  | 10 |
| 1.1 Rozdělení mechanických převodů.....                        | 10 |
| 1.2. Převody drážkovými řemeny.....                            | 12 |
| 1.3. Pohon rozvodového mechanismu spalovacích motorů .....     | 13 |
| 1.4 Drážkový řemen .....                                       | 14 |
| 1.4.1 Vlastnosti převodů s drážkovým řemenem .....             | 15 |
| 1.4.2 Materiály řemenů .....                                   | 16 |
| 1.5 Vyráběné rozměry drážkových řemenic.....                   | 16 |
| 2 GEOMETRIE ŘEMENOVÝCH PŘEVODŮ .....                           | 18 |
| 2.1 Kinematické poměry.....                                    | 19 |
| 2.2 Silové poměry v řemenu.....                                | 20 |
| 2.3 Předpětí v řemenových převodech .....                      | 20 |
| 2.4 Třecí úhel a úhel prokluzu .....                           | 22 |
| 3 ZTRÁTY VÝKONU NA ŘEMENOVÉM PŘEVODU.....                      | 24 |
| 3.1 Ztráty vlivem hystereze .....                              | 24 |
| 3.1.1 Ztráty vlivem ohybu .....                                | 25 |
| 3.1.2 Ztráty vlivem tahové síly v řemenu.....                  | 26 |
| 3.1.3 Ztráty vlivem spěchování na bočních stranách .....       | 27 |
| 3.1.4 Ztráty vlivem smykového napětí v řemenu .....            | 28 |
| 4 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTÍ.....                                | 31 |
| 4.1 Upínání obrobků.....                                       | 32 |
| 4.2 Volba nástrojů pro soustružení .....                       | 33 |
| 4.3 Výpočty strojních časů jednotlivých operací.....           | 38 |
| 4.4 Základní popis poloautomatického soustruhu SPN 12 CNC..... | 41 |
| 4.1.1 Vztažné body CNC stroje.....                             | 43 |
| 4.4 CNC Program pro řemenice .....                             | 44 |
| 4.5 Metodika kontroly drážek řemenice .....                    | 53 |
| 4.6 Náklady na výrobu jedné řemenice .....                     | 57 |
| 5 MĚŘENÍ PARAMETRŮ VBD.....                                    | 59 |
| ZÁVĚR.....   | 62 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh



Seznam výkresů

## ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem výrobního CNC programu pro výrobu zadaných drážkových řemenic na soustruhu SPN 12 CNC, kde se uskuteční vlastní výroba dílců. V úvodní kapitole je zmíněn význam převodů a jsou zde stručně popsány jednotlivé druhy převodů se zaměřením na řemenové převody. Druhá kapitola popisuje geometrii řemenových převodů a základní vztahy týkající se výpočtové délky řemene nebo převodového poměru. V praktické části je v úvodu nastíněna technologičnost vyráběných součástí, volba vhodných nástrojů a možný technologický postup výroby. Praktická část detailně rozebírá metody výroby drážek na CNC soustruhu, samotnou tvorbu CNC programu, výrobu a kontrolu funkčních částí drážek řemenice. Praktická část je rovněž doplněna měřením parametrů VBD, se kterou se vyráběly samotné drážky. Výsledkem je funkční CNC program pro soustruh SPN 12 CNC, kde byly podle tohoto programu zhotoveny dvě řemenice.

## 1 PŘEVODY

Převodové mechanismy převádějí a případně rozdělují energii přiváděnou z hnacího stroje na pracovní stroj při plnění požadovaných technologických funkcí. Zajišťují plynulý tok výkonu při předepsané transformaci jeho prvků jako jsou krouticí moment, výkon a úhlová rychlost. Převážná většina strojních zařízení pracuje s převody.

V souvislosti s automatizací se zdokonalují i převodové mechanismy a přechází se na konstrukčně komplikovanější schémata. Stále častěji se objevují dosud méně užívané druhy převodů. Vyrůstající požadavky na větvený rozvod energie s přenosem pohybu na více výkonných orgánů s rozdílnými parametry, na kontrolní řídicí a regulační mechanismy, na blokovací a synchronizační zařízení i přístroje pro optimalizace technologických procesů. Proto nejen v současné době, ale i v dlouhodobé perspektivě, jsou převody důležitým prvkem při stavbě strojů a zařízení.

Mezi hlavní důvod pro použití převodů jako spojovacích článků v konstrukci strojních zařízení je, že rychlosti potřebné pro funkci pracovního stroje a nástroje, případně automatizačního prvku, obvykle nesouhlasí s rychlostmi hnacího stroje, obvykle mají hnací stroje vyšší otáčkové frekvence. U pracovních strojů se často vyžaduje regulace rychlosti a v souvislosti s tím i regulace krouticího momentu např. obráběcí stroje a automobily. Jindy je potřeba pro funkci stroje převádět rotační pohyb motoru na pohyb postupný nebo realizovat pohyby podle předem daného zákona rychlostních změn.

V řadě případů, jako u dopravních strojů, např. automobilů se v provozu mění nejen rychlost, ale i směr pohybu. Ve stoupání se vyžaduje na hnacích kolech automobilu větší krouticí moment, ale přitom automobilový motor sám o sobě umožňuje jen malou změnu krouticího momentu i frekvence otáček. Mimo poměrně úzkou pracovní oblast ztrácí motor své dobré vlastnosti, a dokonce při překročení hranice přípustného rozsahu se může motor i zastavit. Podobné problémy se objevují i u jiných druhů motorů. V jednotlivých případech bude tedy důležitou úlohou převodu sladit podmínky pro správnou funkci motoru s podmínkami správné činnosti pracovníka anebo výkonného mechanismu.

Podle principu, který je použitý při samotném přenosu energie se dělí převody na:

- mechanické,
- elektrické,
- hydraulické,
- pneumatické.

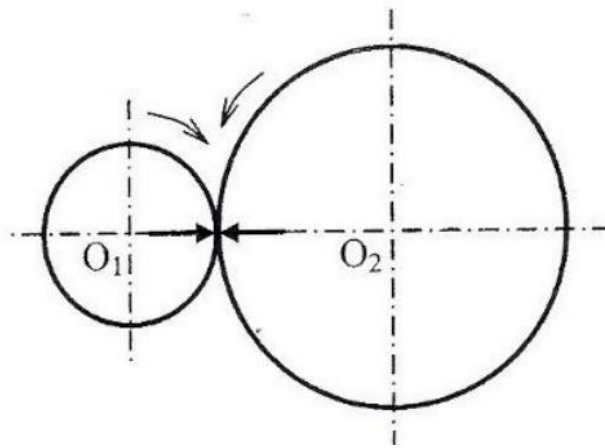
Síla a pohyb se mohou přenášet z hnacího členu na hnaný člen třením, záběrem zubů, elektricky, hydraulicky, či pneumaticky. Převody mají podle svého určení buď stálý nebo měnitelný převodový poměr. Převod se mění buď stupňovitě nebo plynule. Převodovky s plynule měnitelnými převody se nazývají variátory. Stupňovitá regulace je však obvykle ekonomicky výhodnější než plynulá, převody jsou jednodušší a spolehlivější. Na druhou stranu plynulá regulace umožňuje např. při výrobním procesu dosahovat optimálních pracovních parametrů, ovlivňuje zvyšování produktivity, je vhodná pro řízení strojů za chodu a má vhodné vlastnosti pro automatizaci. Je-li převod otáček dopomala, jedná se o reduktory, převádí-li se otáčková frekvence dorychla, jedná se o multiplikátory. Při jedné dvojici spoluzabírajících členů se převod nazývá jednoduchý, při více spoluzabírajících párech se jedná o převod složený. [1; 2; 3]

### 1.1 Rozdělení mechanických převodů

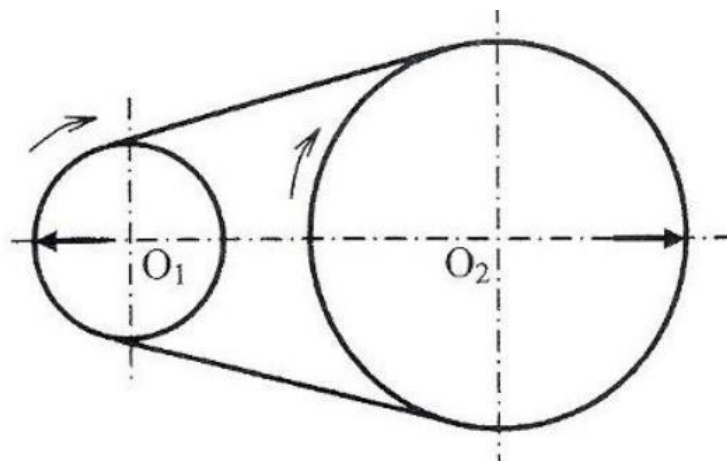
Existuje více kritérií pro klasifikaci převodů. Například je možné je členit na [1]:

- 1) Podle způsobu přenosu od hnacího na hnaný člen se dělí mechanické převody na:

- a) převody třením, se skluzem – kroučící moment se přenáší třením mezi koly nebo třením mezi kolem a řemenem (obr.1 až 2),

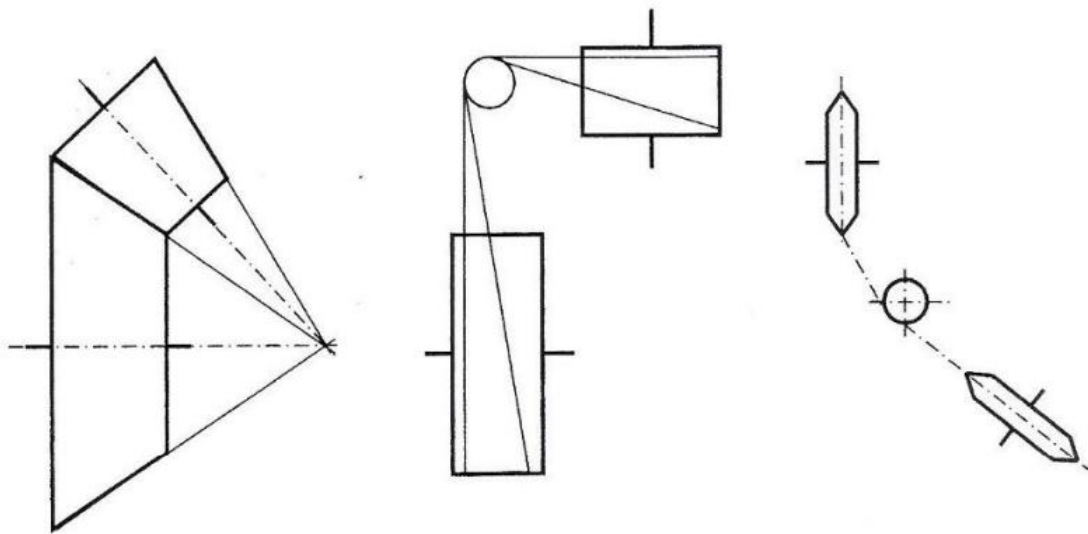


Obr. 1 Přímý převod [1].

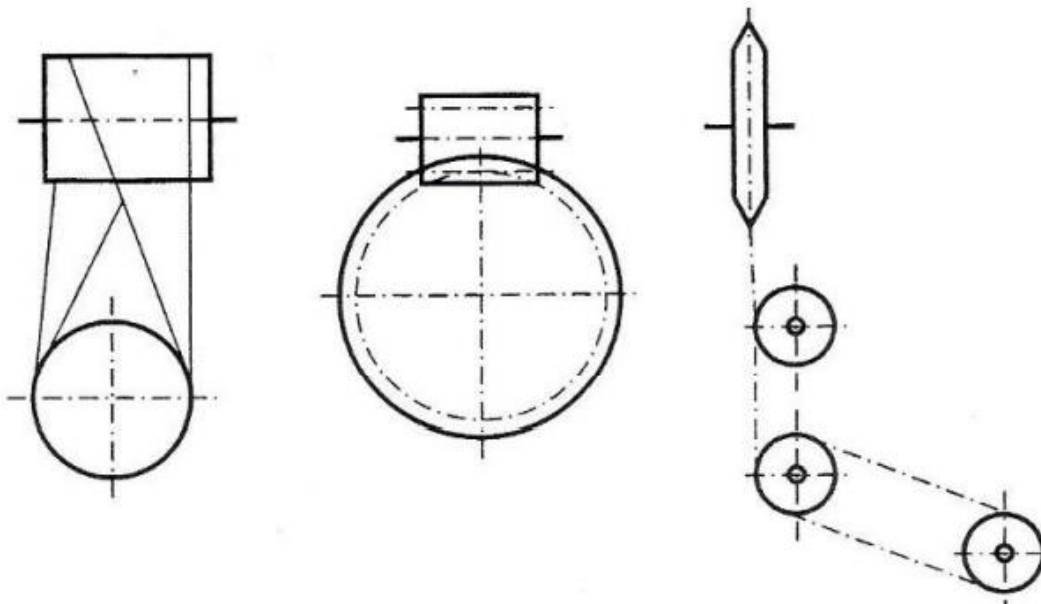


Obr. 2 Nepřímý převod [1].

- b) převody tvarové bez skluzu – kroučící moment se přenáší pomocí tlaku mezi zuby nebo tlaku mezi zuby a řemenem.
- 2) Podle počtu členů
    - a) přímé s bezprostředním dotykem s přímým přenosem,
    - b) nepřímé s pružným spojením s převodovým členem s nepřímým přenosem.
  - 3) Podle určení
    - a) kinematické (přesný kinematický chod),
    - b) silové (přenos kroučícího momentu).
  - 4) Podle vzájemné polohy os
    - a) s rovnoběžnými osami,
    - b) s různoběžnými osami (obr. 3),
    - c) s mimoběžnými osami (obr. 4).



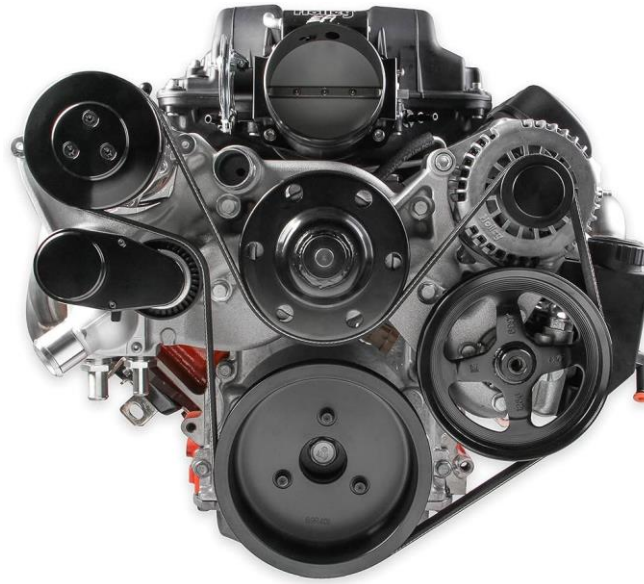
Obr. 3 Převody s různoběžnými osami [1].



Obr. 4 Převody s mimoběžnými osami [1].

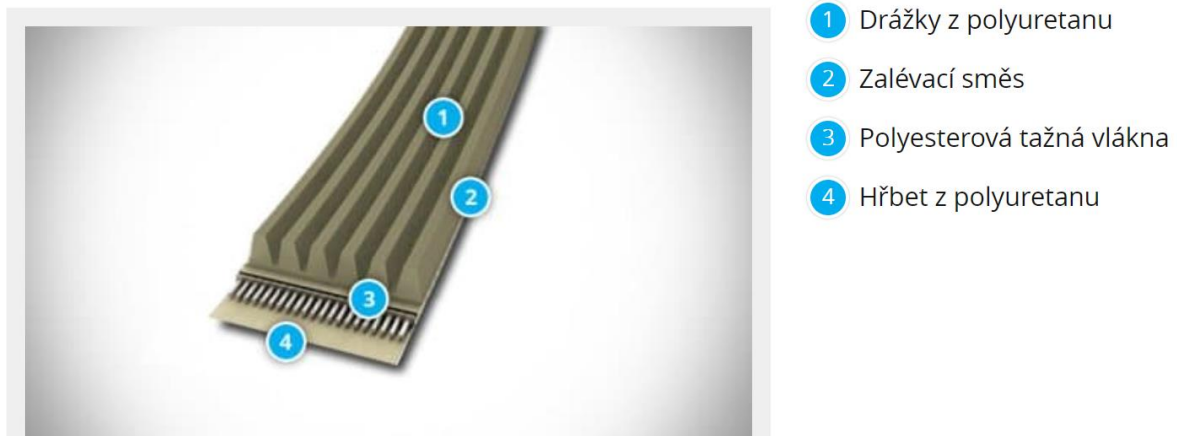
## 1.2. Převody drážkovými řemeny

Řemeny jsou běžně používány u zařízení pro převod výkonu. U mnoha pohonů je řemen vystaven počátečnímu napětí a zároveň se pohybuje ve směru otáčení. V podstatě existují tři typy řemenů, ploché, trapezoidní a drážkové řemeny. Tyto řemeny se používají u šicích strojů, dopravníků, průmyslových ventilátorů atd. Drážkové řemeny se v současnosti používají v automobilovém a kamionovém průmyslu jako nezbytná součást rozvodových mechanismů vozů (obr. 5). [4]



Obr. 5 Typický příklad převodu více klínovým řemenem [5].

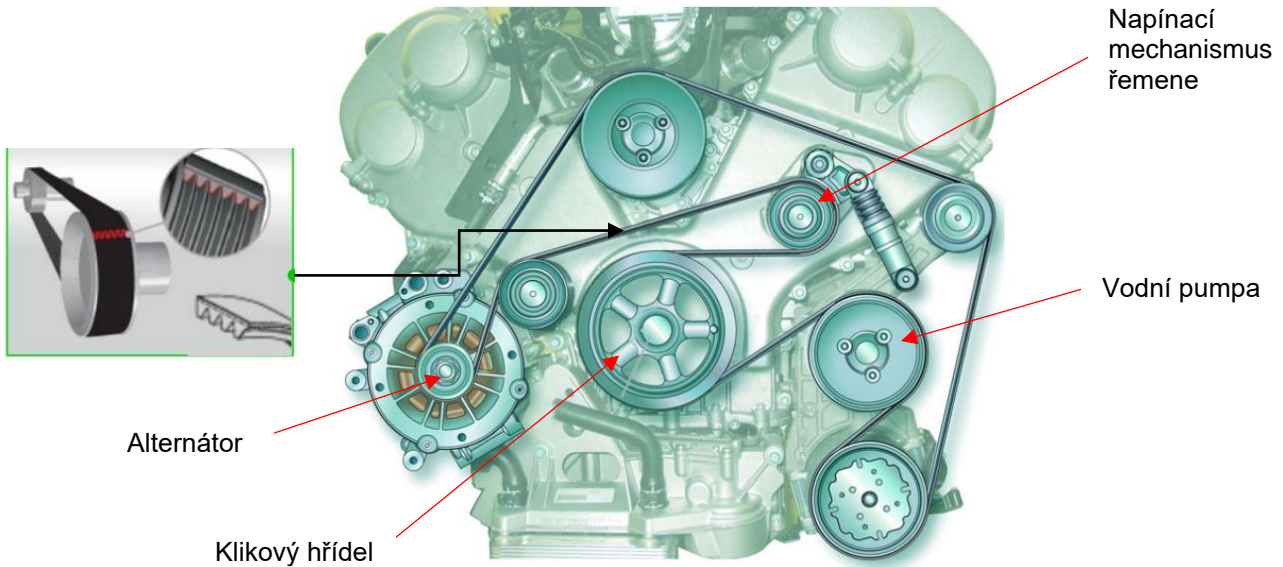
Drážkové řemeny se vyrábí z kompozitních materiálů, které kombinují syntetický pryžový podklad (flexibilita), polyesterová tažná vlákna (podélná tuhost) a některé vláknité polychloroprenové základní směsi, které přímo interagují s povrchem řemenice (obr. 6). [4]



Obr. 6 Jednotlivé vrstvy více klínového řemene [6].

### 1.3. Pohon rozvodového mechanismu spalovacích motorů

Ve většině případů je u spalovacích motorů energie přenášena jediným drážkovým řemenem z klikového hřídele na jednotlivá přídatná zařízení jako je kompresor, alternátor, čerpadlo posilovače řízení, vodní pumpa atd. (obr. 6). Požadavky na větší pohodlí u dnešních vozů vedlo k nárůstu elektronických komponent a k poptávce po elektrické energii. Ve výsledku obyčejný klínový řemen již není dostatečný k pohánění stále výkonnějších alternátorů a dalších vedlejších zařízení. Drážkové řemeny jsou používány, protože podporují menší kontaktní poloměry a vyšší převodové poměry. [4; 7]

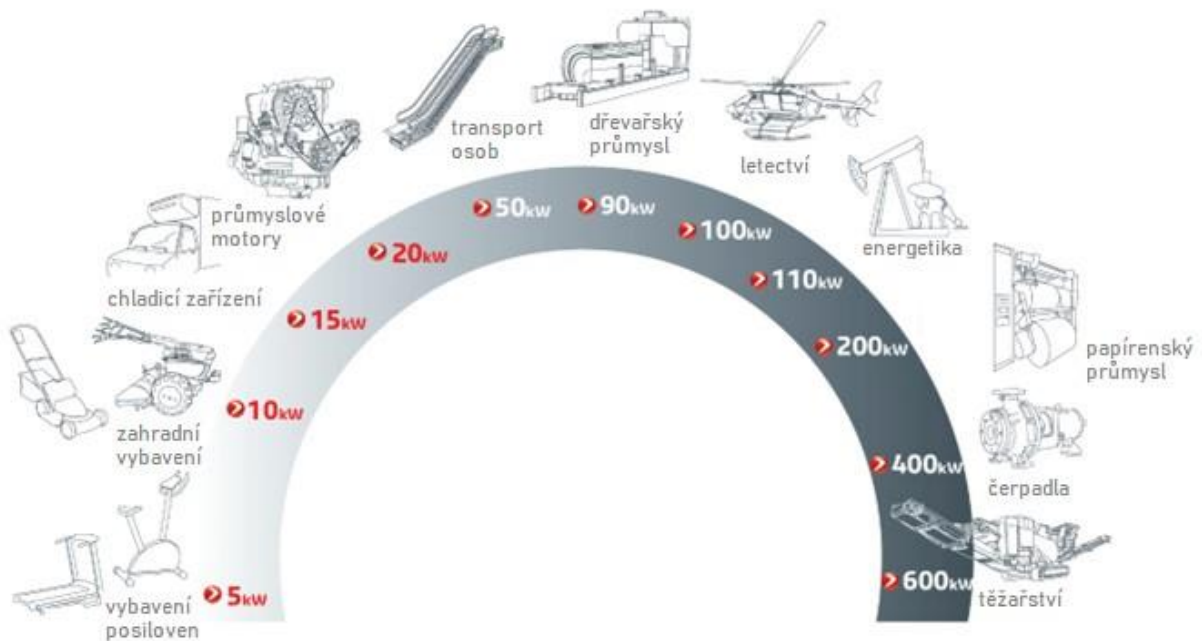


Obr. 7 Rozvodový mechanismus spalovacího motoru se zaměřením na drážkový řemen (podle [8; 9]).

### 1.4 Drážkový řemen

Drážkový řemen je něco mezi plochým a klínovým řemenem. Tento řemen je v podstatě plochý pás s žebry ve tvaru **V** vyčnívajícími ze spodní části. Tato žebra vedou řemen a činí jej více stabilním než plochý řemen. Řemen se pohybuje na drážkované řemenici a její žebra zcela vyplňují drážky. Drážkový řemen přenáší krouticí moment a výkon kontaktem boky žeber řemenu a drážky řemenice. [10]

Drážkový řemen je schopen pokrýt celou škálu výkonů motorů od lehkých až po těžké do 600 kW (obr. 7). [9]



Obr. 7 Využití drážkových řemenů podle výkonu [11].

### 1.4.1 Vlastnosti převodů s drážkovým řemenem

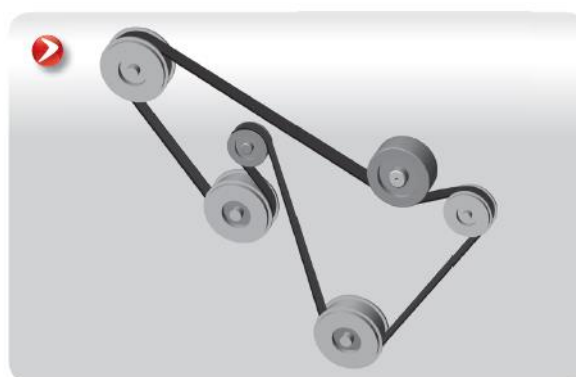
Převody drážkovými řemeny jsou kompaktní alternativou standardních klínových řemenů. Žebrovaný řemen kombinuje vysokou flexibilitu plochých řemenů s vysokým výkonem klínových řemenů. Paralelní žebra ve tvaru V jsou vyrobena z pryžové směsi odolné proti opotřebení. Vysokopevnostní kord je navržen pro mnoho aplikací žebrovaného pásu. Je zalit do kaučukové lepicí směsi a pokrývá celou šířku žebrovaného pásu. Gumové směsi vyztužené vlákny, odolné proti opotřebení zajišťují tichý chod, odolnost vůči oleji a teple a dlouhou životnost řemenu. [12; 10; 13]

Mezi další vlastnosti převodů s drážkovým řemenem patří schopnost přenášet až 600 kW jediným řemenem. Drážkové řemeny mohou mít účinnost až 98 %. Pohon více klínovým řemenem byl navržen s větší kontaktní plochou než klínové řemeny nebo řemeny ploché (obr. 8). Větší styčná plocha zajišťuje efektivnější přenos krouticího momentu za výrazně sníženého prokluzu. [11]



Obr. 8 Ukázka výhody větší styčné plochy u drážkového řemenu [11].

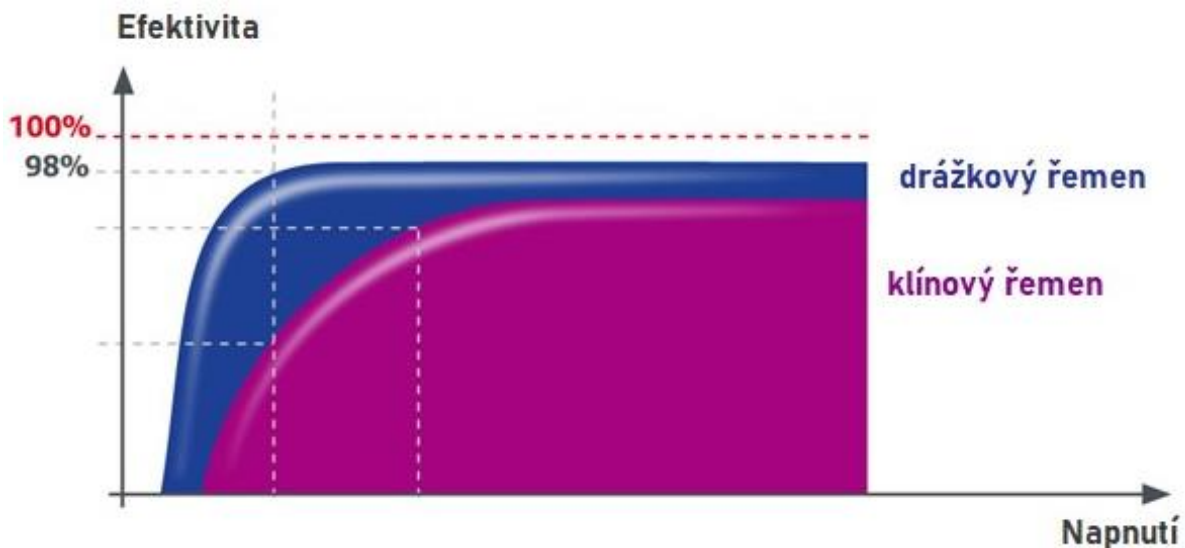
Mezi další přednosti patří zlepšený převodový poměr. Zatímco u klasického klínového řemenu je možné dosáhnout převodového poměru asi 1:20, u více klínového převodu je možné dosáhnout převodového poměru až 1:60. Díky relativně malému tvaru více klínového řemenu dochází k zásadní úspoře na průměru, takže tyto převody se s velkou výhodou používají tam, kde je potřeba přenášet relativně velké výkony v místě, kde je limitovaný prostor (obr. 9). Typickým příkladem je již zmíněný spalovací motor, ale i u pračky, kde elektromotor pohání bubnu, i zde je prostor velmi významně limitován. U nejmenšího profilu více klínových řemenic H začíná průměr řemenice na devíti milimetrech. Snížením šířky pásu je dosaženo významné úspory materiálu a zároveň zůstává zachována přenášená síla pro danou geometrii. [11; 12]



Obr. 9 Výhody použití více klínových řemenů [11].



Kromě toho jediný řemen může pohánět několik přídatných zařízení najednou jako je napínací kladka nebo čerpadlo posilovače řízení u spalovacího motoru. V neposlední řadě tyto převody vykazují vysokou účinnost až 98 %, což vede k úspoře energie. [11]



Obr. 10 Srovnání účinností [%] drážkového a klínového řemenu [11].

#### 1.4.2 Materiály řemenů

Drážkové řemeny musí být dostatečně elastické, aby snadno vstupovaly a vystupovaly z drážky řemenice. Musí být také tuhé v podélném směru, aby podporovaly tažnou sílu a aby v maximální možné míře bránily prokluzu. Aby bylo dosaženo těchto vlastností, jsou více klínové řemeny navrhovány z těchto částí [4]:

- napínacího členu,
- elastomeru,
- povrchu s vysokým třením.

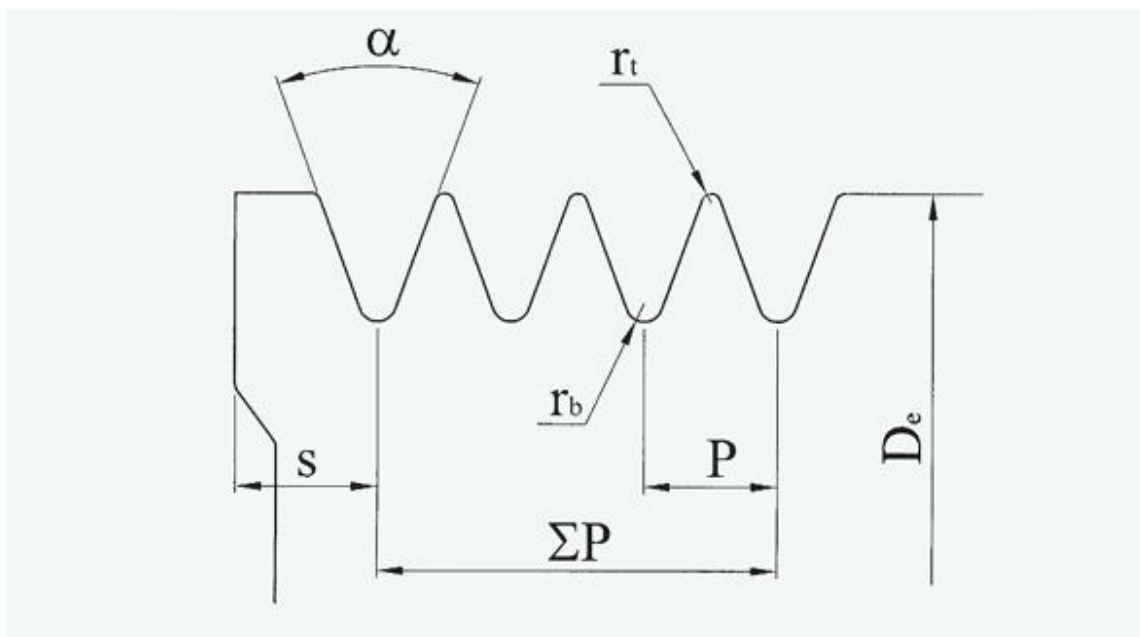
Napínací člen je pružná kordová vrstva z vysoko modulových vláken, tj. PET, polyester, nebo aramid. Napínací člen je rovněž obklopen vysoce pružným elastomerem, tj. syntetickou pryží jako polychloropren nebo polyuretan. Třecí plocha je vnější vrstva přímo v kontaktu s řemenicí. Buď další tenká vrstva určitého povlaku s vysokým třením (např. vláknitý polychloroprenový základ) nanesená na řemenici nebo elastomer má sám o sobě vysoký koeficient tření, když se pohybuje přímo na řemenici. [4]

#### 1.5 Vyráběné rozměry drážkových řemenic

Drážkové řemenice jsou vyráběny pro průmyslové převody a jsou nabízeny následující varianty profilů: PH, PJ, PK, PM. Rozměrové profily drážkových řemenic jsou znázorněny Tab 1. Schéma profilu drážek je znázorněno na Obr. 12.

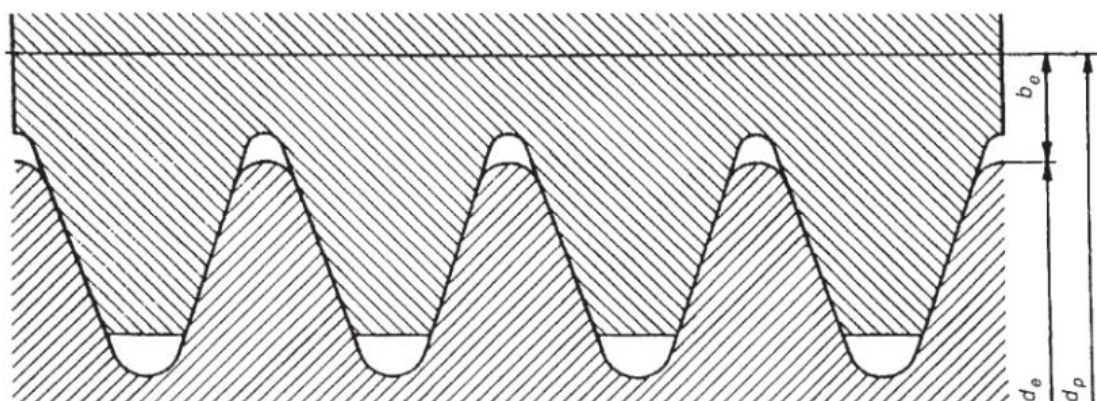
Tab. 1 Rozměry drážek a jejich tolerance [14].

| Section | $\alpha^\circ$ | P [mm]          | Tolerance of P [mm] | $r_t$ min. [mm] | $r_b$ max. [mm] | S min. [mm] | h [mm] |
|---------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------|
| H       | $40 \pm 0,5$   | $1,60 \pm 0,03$ | $\pm 0,03$          | 0,15            | 0,30            | 1,3         | 0,8    |
| J       | $40 \pm 0,5$   | $2,34 \pm 0,03$ | $\pm 0,03$          | 0,20            | 0,40            | 1,8         | 1,2    |
| K       | $40 \pm 0,5$   | $3,56 \pm 0,05$ | $\pm 0,03$          | 0,25            | 0,50            | 2,5         | 2,0    |
| L       | $40 \pm 0,5$   | $4,70 \pm 0,05$ | $\pm 0,03$          | 0,40            | 0,40            | 3,3         | 3,0    |
| M       | $40 \pm 0,5$   | $9,40 \pm 0,08$ | $\pm 0,03$          | 0,75            | 3,30            | 6,4         | 4,0    |



Obr. 12 Schéma profilu klínové drážky [14].

Pozice drážkového řemenu v kontaktu s odpovídající řemenicí je znázorněna v průřezu na Obr. 13. Skutečný roztečný průměr  $d_p$  drážkované řemenice měřené podél řemenu je mírně vyšší než aktuální průměr řemenice a přesná hodnota závisí na typu užívaného řemenu. Pro potřeby instalace je v tabulce vyjádřena hodnota  $b_e$  běžně používaná pro výpočet převodového poměru. V praxi je dostačující použít aktuální průměr  $d_e$  pro výpočet převodového poměru. [15]



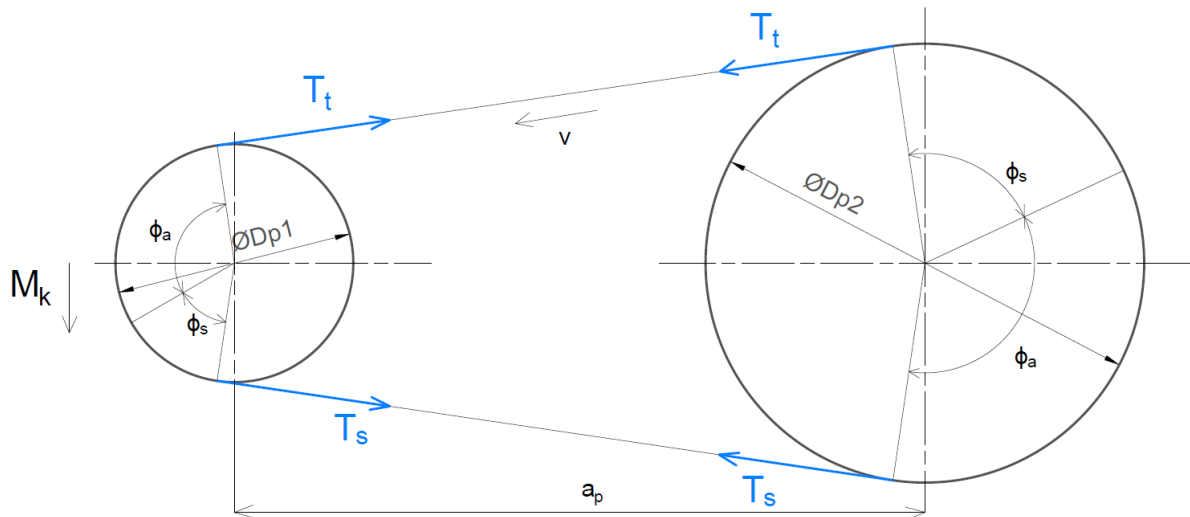
Obr. 13 Schéma průřezu řemenu a řemenice [15].

## 2 GEOMETRIE ŘEMENOVÝCH PŘEVODŮ

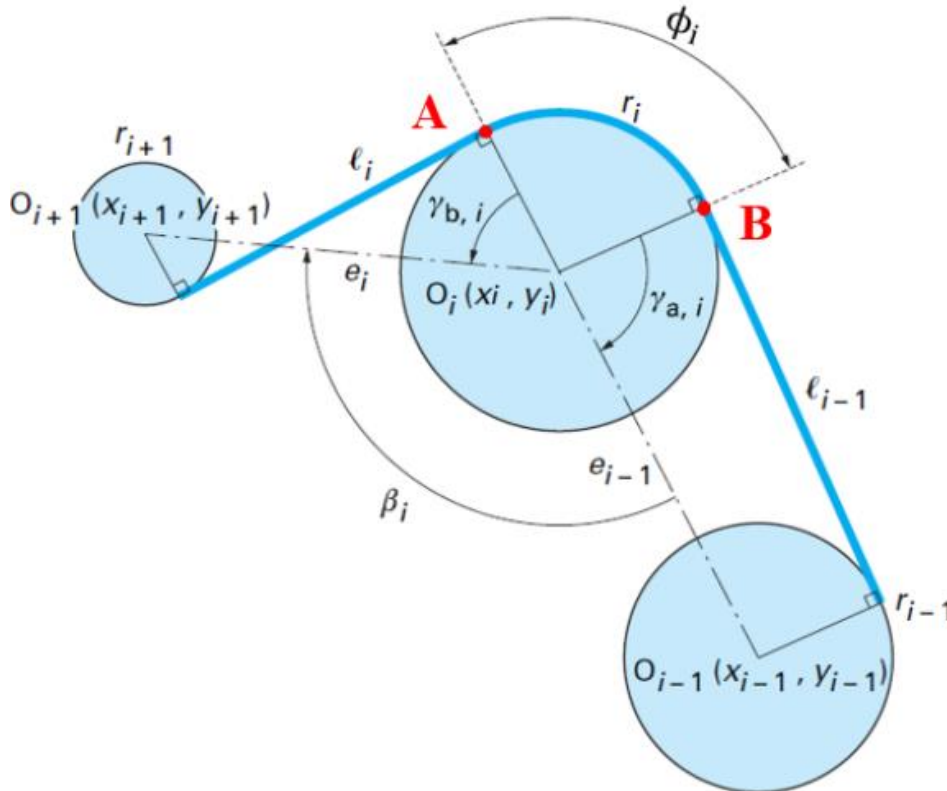
Pro výpočet geometrických parametrů (obr. 14 až 15) pro převod se dvěma řemeny mohou být použity vzorce (2.1) a (2.2). Tyto rovnice souvisí s teoretickou délkou řemenu  $L$ , s průměry obou řemenic  $d$  a s roztečí řemenic  $a_p$ . [3]

$$L = \frac{\pi}{2} \cdot (D_{p2} + D_{p1}) + (D_{p2} - D_{p1}) \cdot \delta + 2a_p \cdot \cos(\delta) \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

$$\sin(\delta) = \frac{D_{p2} - D_{p1}}{2a_p} \text{ [-]} \quad (2.2)$$



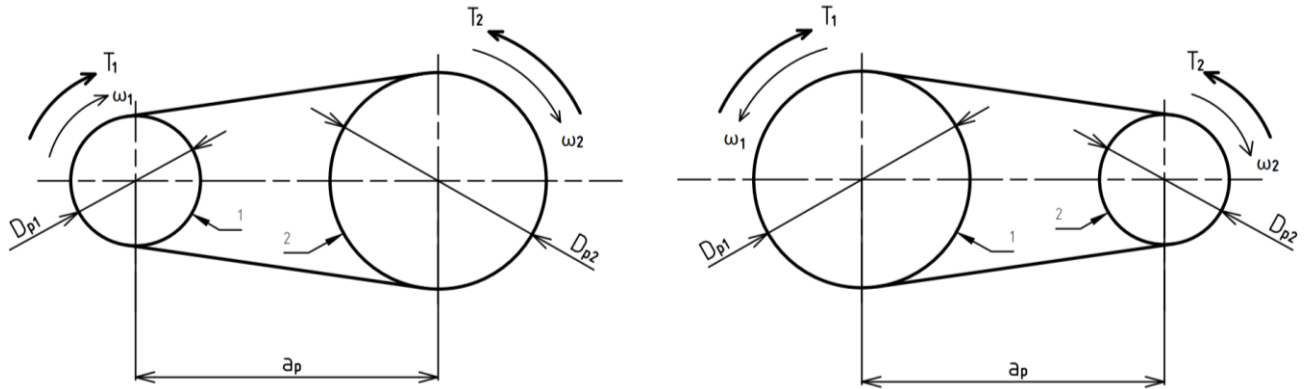
Obr. 14 Geometrie řemenového převodu složeného ze dvou řemenic (vytvoreno podle [16]).



Obr. 15 Geometrie řemenového převodu s několika řemenicemi [17].

## 2.1 Kinematické poměry

Schéματα na Obr.16 odpovídají vodorovnému řemenovému převodu s rovnoběžnými osami o vzdálenosti  $a_p$  a s otevřeným opásáním řemenic o průměrech  $D_{p1}$  a  $D_{p2}$ . Tyto tzv. výpočtové průměry řemenic se vztahují k poloze neutrální ohybové vrstvy průřezu. Pro řemenici hnací – člen 1 je typické, že smysl rychlost  $\omega_1$  a smysl točivého momentu – dvojice  $T_1$  jsou souhlasné, u řemenice hnané – členu 2 – má  $\omega_2$  stejný smysl jako  $\omega_1$ , smysl zátěžné dvojice  $T_2$  je však opačný. [18; 3]



Obr. 16 Řemenový převod s rovnoběžnými osami (podle [18]).

U ideálního převodu by obvodové rychlosti obou řemenic byly stejné – tj.:  $v_1 = v_2$ , u reálného převodu je však rychlost  $v_2$  vinou pružného skluzu řemene po řemenici menší než  $v_1$ . Existující rozdíl se kvantifikuje pomocí tzv. součinitele skluzu  $\xi$ , definovaného vztahem [18]:

$$\xi = \frac{v_1 - v_2}{v_1} = 1 - \frac{v_2}{v_1} [-] \quad (2.3)$$

Po dosazení za  $v_1 = 0,5D_{p1} \cdot \omega_1$  a  $v_2 = 0,5D_{p2} \cdot \omega_2$  vyjde výsledný vztah [18]:

$$\xi = 1 - \frac{D_{p2} \cdot \omega_2}{D_{p1} \cdot \omega_1} [-] \quad (2.4)$$

Toto vede k závěru, že u řemenových převodů je potřeba rozlišit:

Převodový poměr kinematický

$$i = \frac{n_1}{n_2} [-] \quad (2.5)$$

Převodový poměr geometrický

$$i_G = \frac{D_{p1}}{D_{p2}} [-] \quad (2.6)$$

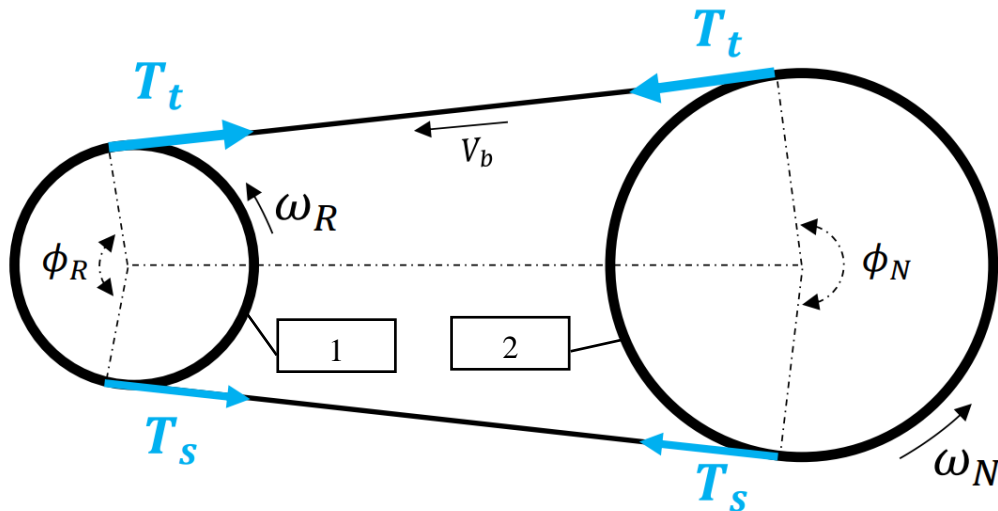
Oba jsou vázány vztahem:

$$i = \frac{i_G}{1 - \xi} [-] \quad (2.7)$$

Tento vztah platí jak pro převody tzv. dopomala, kdy  $i > 1$ , tak pro převody tzv. dopomala, kdy  $i < 1$ . Otáčky hnané řemenice jsou tak vždy nepatrně menší, než by odpovídalo ideálnímu stavu bez skluzu, kdy  $\xi = 0$  a  $i = i_G$ . [18]

## 2.2 Silové poměry v řemenu

U řemenových převodů se přenáší výkon třením prostřednictvím uzavřeného poddajného pásu z hnací řemenice na hnanou řemenici (obr. 17). V důsledku toho se mění. [3]



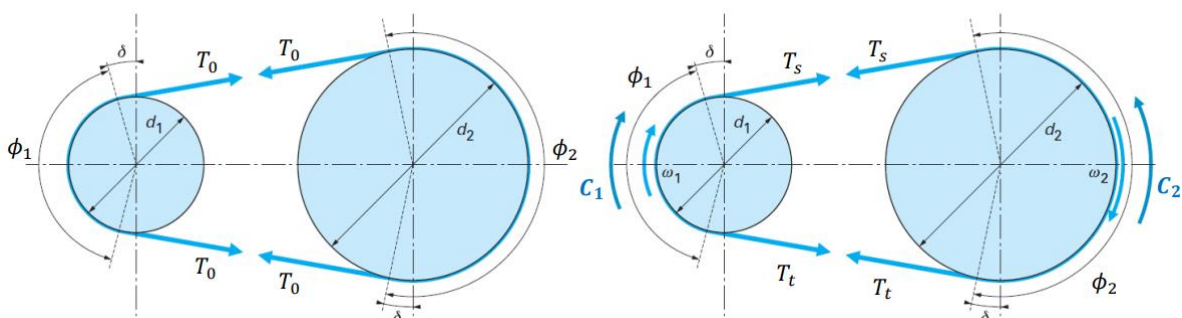
Obr. 17 Řemenový převod s hnací řemenicí 1 a hnanou řemenicí 2 [4].

Když je řemen v pohybu, dochází k určité změně napětí podél úhlu opásání  $\phi$ . To znamená, že řemen je na jedné straně natahován a na druhé straně hnací řemenice stlačován, což vede ke vzniku tahové síly  $T_t$  a síly  $T_s$ , pokud je síla  $T_s$  větší, než tečná síla  $T_t$  dochází k odlehčení. Efektivní tahová obvodová síla ( $T_t - T_s$ ) je přenášena přes volné rozpětí řemene. [18; 3]

Ve stejném směru otáčení, podobně jako se děje kolem hnací řemenice, se mění také napětí na hnané řemenici. Ale v tomto případě síla od  $T_s$  do  $T_t$  stoupá namísto, aby klesala od  $T_t$  do  $T_s$  jako v případě hnací řemenice. Je to důsledek odporových krouticích momentů, které vytváří hřídel elektromotoru. Lze tedy říci, že napětí v řemenu se mění okolo řemenice z tahového na odlehčené a naopak. [18; 3]

## 2.3 Předpětí v řemenových převodech

V každém řemenovém převodu musí být vytvořeno určité předpětí  $T_0$ , které zabezpečuje dostatečnou přitlačnou sílu a s ní i sílu třecí pro přenos požadovaného výkonu, i když je systém v pohybu, tedy  $T_0 \geq T_{0 \min}$ , a tím pádem zajistit, že nedojde k prokluzu mezi řemenem a řemenicí. Výpočet předpětí v řemenových převodech je znázorněno na Obr.18, kde  $T_0$  je předpětí v řemenovém převodu a je vypočítáno s ohledem na nejmenší řemenici v převodu. Pokud je zajištěno, že k prokluzu nedojde na nejmenší řemenici, nedojde k prokluzu ani na ostatních řemenicích. [18]



Obr. 18 Nastavení předpětí v řemenových převodech [17].

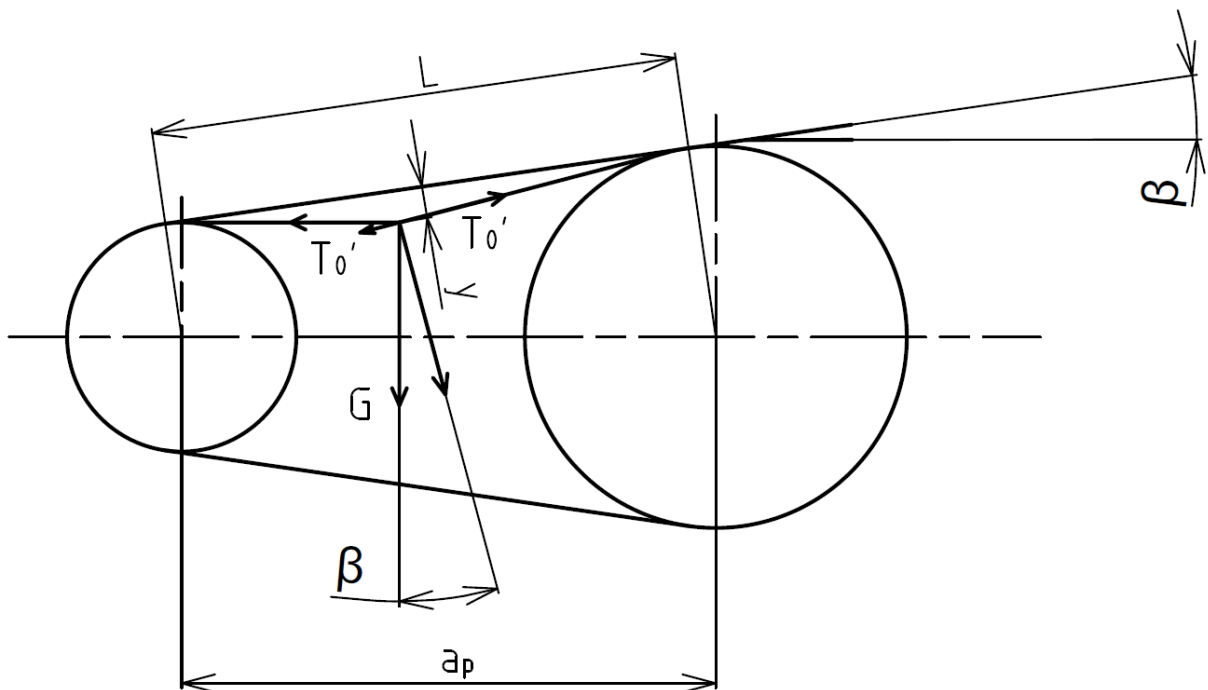
V tomto ohledu může být minimální předpětí  $T_0 \geq T_{0\min}$  pro každou řemenici vnímáno jako na Obr.18, kde se uvažuje odporový krouticím moment od hřídele elektromotoru. V praxi katalogy a průvodce výrobců řemenů nepoužívají rovnici pro zjištění  $T_0$ , jak je to znázorněno na Obr.18. Návodů pro výběr řemenů berou v úvahu různé korekční faktory jako přenášený výkon, průměr nejmenší řemenice, úhly opásání, typ poháněného stroje atd. [18]

Existují další vztahy pro stanovení síly předpětí řemenice. Jedním z nich je vztah, kde je řemen uprostřed volné délky  $L$  zatížen břemenem v rozsahu  $G = (10 \text{ až } 50) \text{ [N]}$  a následně se změří průhyb  $y$  (obr. 19). Ze vztahů pro rovnováhu sil [18]:

$$G \cdot \cos \beta = 2T'_0 \cdot \sin \vartheta \quad \text{a} \quad \sin \vartheta = \text{tg } \vartheta = \frac{y}{0,5L} \quad (2.8)$$

pak plyne:

$$T'_0 = \frac{G \cdot \cos \beta \cdot L}{4y} \text{ [N]} \quad \text{a} \quad T_0 = T'_0 - (0,1 - 0,2) \text{ [N]} \quad (2.9)$$



Obr. 19 Schéma měření předpětí řemene (podle [18])

Kde  $(0,1 - 0,2) \text{ [N]}$  je korekce na změnu natažení od břemene  $G$ . Tento způsob zjišťování předpětí se zdá být jednoduché. V praxi se ovšem od této metody upouští z důvodu velké nepřesnosti a v mnohých případech i obtížné proveditelnosti u kompaktnějších strojů, kde není dobrý přístup k řemenovým převodům. [18]

Urcí-li výrobce a v manuálu uvedl potřebné předpětí řemenů, učinil tak na základě frekvence řemene, která je přímo úměrná síle předpětí v řemeni. Tato frekvence je měřena při vypnutém zařízení rozvibrováním řemene mezi řemenicemi. Měření se provádí v rozsahu 10 až 300 Hz, většinou pomocí zvukových měřičů předpětí řemenů. [19]

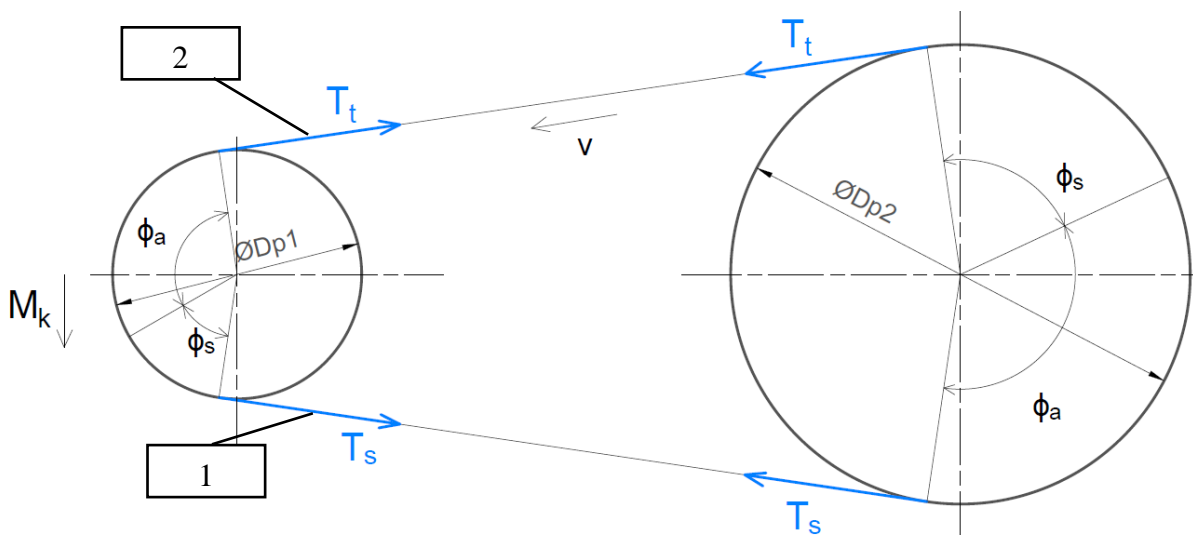
$$f = \sqrt{\frac{T_0}{4 \cdot S^2 \cdot M \cdot W \cdot 10^{-9}}} \text{ [Hz]}, \quad (2.10)$$

kde:  $T_0$  – je efektivní tahová síla přenášená mezi řemenicemi [N],  
 $S$  – osová vzdálenost [mm],  
 $M$  – specifická hmotnost řemenu [g/mm],  
 $W$  – je šířka řemenu [mm],  
 $f$  – je vlastní frekvence řemenu [Hz]. [19]

## 2.4 Třecí úhel a úhel prokluzu

Úhel opásání řemenice  $\phi_a$  se skládá z úhlu skluzu  $\phi_s$ , ve kterém působí obvodová hnací síla a z úhlu třecího  $\phi_a$ , ve kterém už na obvodě hnací síla nepůsobí. Úhel opásání velké řemenice je větší než úhel malé řemenice. [3]

$$\phi_d = \phi_s + \phi_a \quad (2.11)$$



Obr. 20 Silové poměry řemenového převodu za ustáleného provozu (podle [17]).

Schéma na Obr.20 zobrazuje silové poměry téhož převodu za ustáleného provozu. Ze smyslu kroučícího momentu, který se určí ze známého výkonu zařízení a jeho otáček, a z povahy třecích sil plyne: Spodní pás řemene označený 1 je zatížen tahovou silou  $T_s < T_0$  a jde o tzv. pás odlehčovaný. K určení sil  $T_t$  a  $T_s$  při známém  $T_0$  a  $M_k$  slouží tato rovnice [18; 3]:

$$M_k = (T_t - T_s) \cdot \frac{D_{p1}}{2} = F \cdot \frac{D_{p1}}{2} \quad [Nm], \quad (2.12)$$

kde:  $F$  – je užitečná obvodová síla [N],  
 $D_{p1}$  – je výpočtový průměr hnací řemenice [m].

Užitečná obvodová síla se spočítá následovně [18]:

$$F = T_t - T_s \quad [N] \quad (2.13)$$

Potom platí následující rovnice [3]:

$$2T_0 = T_t + T_s [N], \quad (2.14)$$

kde:  $T_t$  – síla v natahované části řemenu [N],  
 $T_s$  – síla v odlehčované části řemenu [N].

Z mechaniky je známá závislost (Eulerův vztah) [3]:

$$T_t = T_s \cdot e^{f\phi_s} [N], \quad (2.15)$$

kde:  $\phi_s$  – je úhel skluzu [-],  
 $f$  – je koeficient tření mezi řemenem a řemenicí [-].



### 3 ZTRÁTY VÝKONU NA ŘEMENOVÉM PŘEVODU

Ztráty řemenového převodu mají několik příčin. Celkově se přenášený výkon ztrácí v samotném řemenu nebo vlivem dalších mechanických částí samotného mechanismu. V první řadě dochází ke ztrátám přeměnou mechanické energie na teplo vlivem tření a skluzu mezi řemenem a řemenicí. Avšak ke ztrátě dochází rovněž i uvnitř samotného řemenu kvůli hystereznímu chování elastomeru řemene. [4; 20]

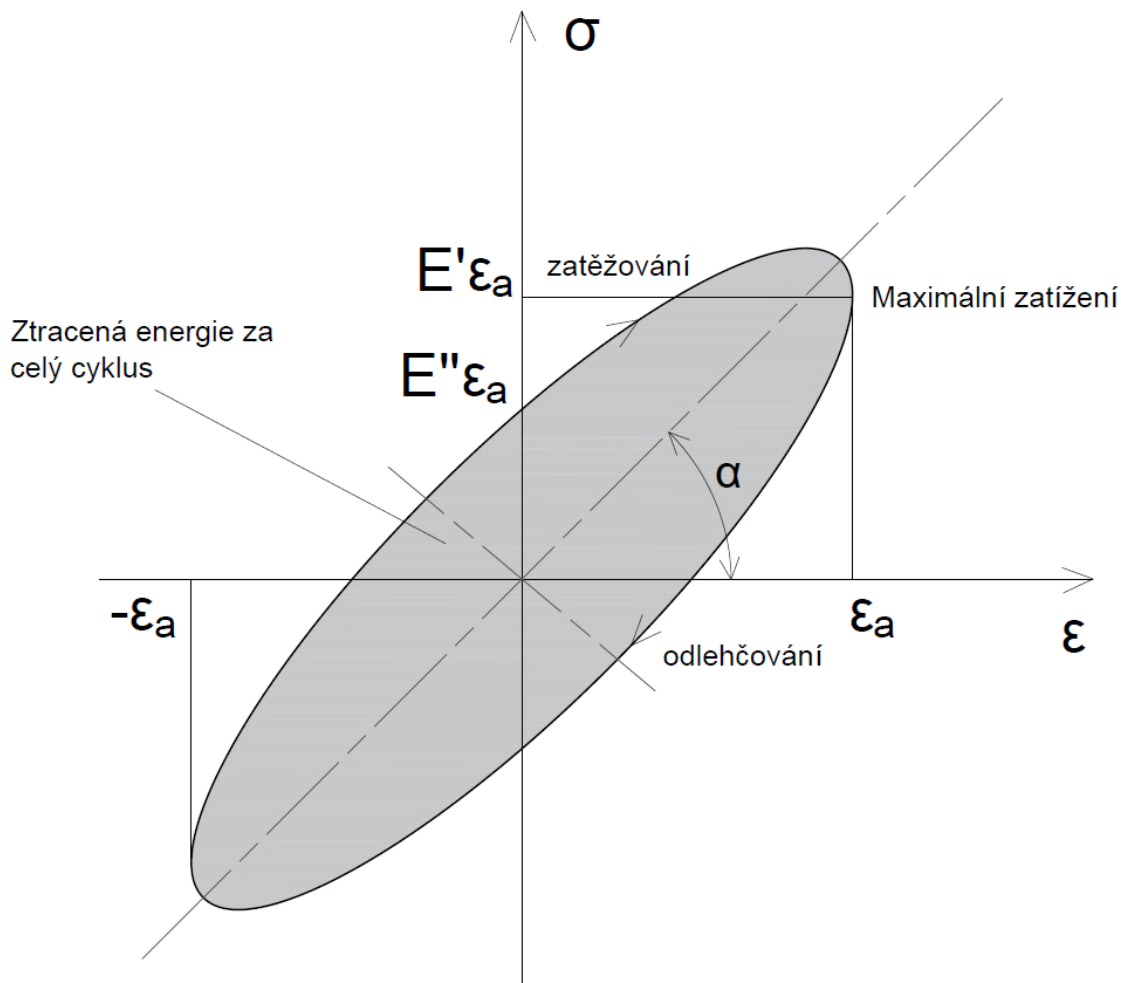
$$P_{ztrát} = P_{hys} + P_{ložiska} + P_{prokluz} + P_{vibrace} \text{ [W]} \quad (3.1)$$

Výpočetní model ztrát výkonu reprezentován rovnicí 2.11 naznačuje, že ke ztrátám výkonu u řemenového převodu dochází vlivem [4; 20]:

- hystereze  $P_{hys}$ ,
- tření v ložiskách  $P_{ložiska}$ ,
- prokluzu mezi více klínovým řemenem a řemenicí  $P_{prokluz}$ ,
- vibracemi na řemeni  $P_{vibrace}$ .

#### 3.1 Ztráty vlivem hystereze

V průběhu jednoho cyklu zatížení a odlehčení se zatížení periodicky mění. V důsledku toho dochází ke ztrátě přenášeného výkonu. Na Obr.21 je znázorněno hysterezní chování viskoelastického materiálu. [16; 20]



Obr. 21 Typické hysterezní chování viskoelastického materiálu s lineárním průběhem (podle [4]).

Z teorie lineární visko elasticity potom množství ztracené energie za celý jeden cyklus je rovna [16]:

$$W_h = \pi \cdot E'' \cdot \varepsilon_a^2 [J] \quad (3.2)$$

Kde tzv. ztrátový modul je imaginární část komplexního modulu  $E^*$ , který pro viskoelastické materiály závisí hlavně na frekvenci, teplotě a amplitudě přetvoření. [4; 16; 20]

$$\sigma = E^* \cdot \varepsilon [MPa] \quad (3.3)$$

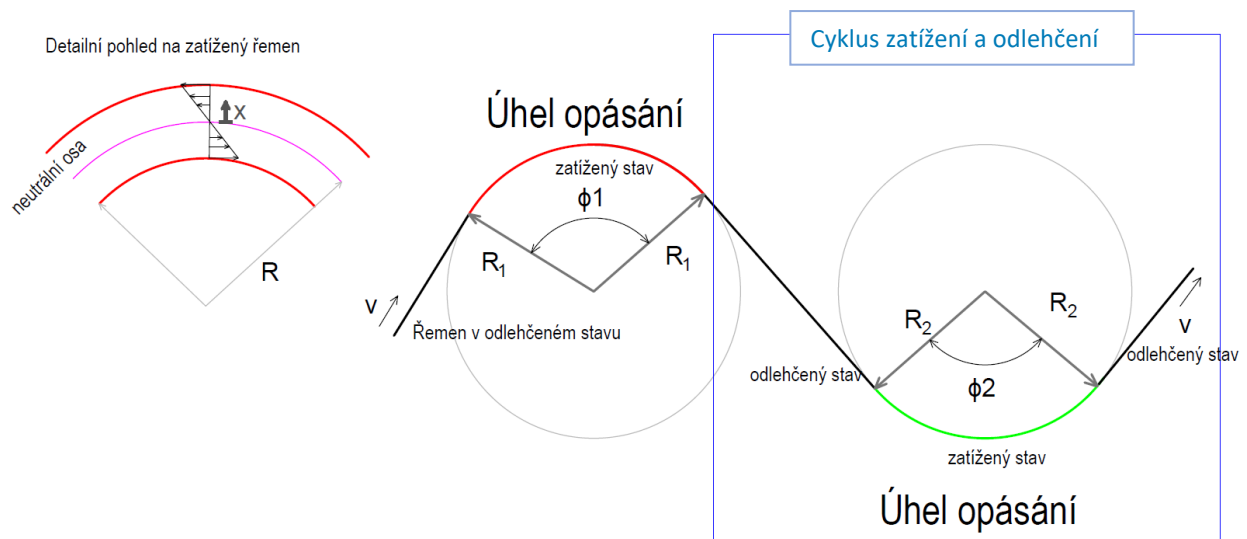
$$E^* = E' + j \cdot E'' [GPa], \quad (3.4)$$

kde:  $E'$  – je ztrátový modul řemenu [GPa],  
 $E^*$  – je komplexní modul [GPa]. [4]

Ztrátová energie závisí jak na vlastnostech materiálu řemene, tak na fázi zatížení, kterému je řemen vystaven, jak obíhá kolem řemenic. S ohledem na ztráty v řemenu vlivem hystereze se energie uvnitř řemenu ztrácí vlivem hysterezního chování elastomeru řemenu. Ke ztrátám dochází pokaždé, když je řemen vystaven cyklickému namáhání, jinými slovy řemen je cyklicky ohýbán a natahován. Drážkový řemen má rovněž také různé vrstvy, které jsou vystaveny namáhání na tlak nebo na smyk. [4; 16]

### 3.1.1 Ztráty vlivem ohybu

Ohýbání je způsob namáhání je typ deformace způsobený ohybem řemenice přes řemen. Typická hysterezní smyčka odpovídá cyklickému zatěžování a odlehčování. Tyto ztráty jsou způsobeny pouze výchozí geometrií mechanismu a ztrátovým modulem. Ztráty nejsou způsobeny silou působící v řemenu (obr. 22). [4; 16]

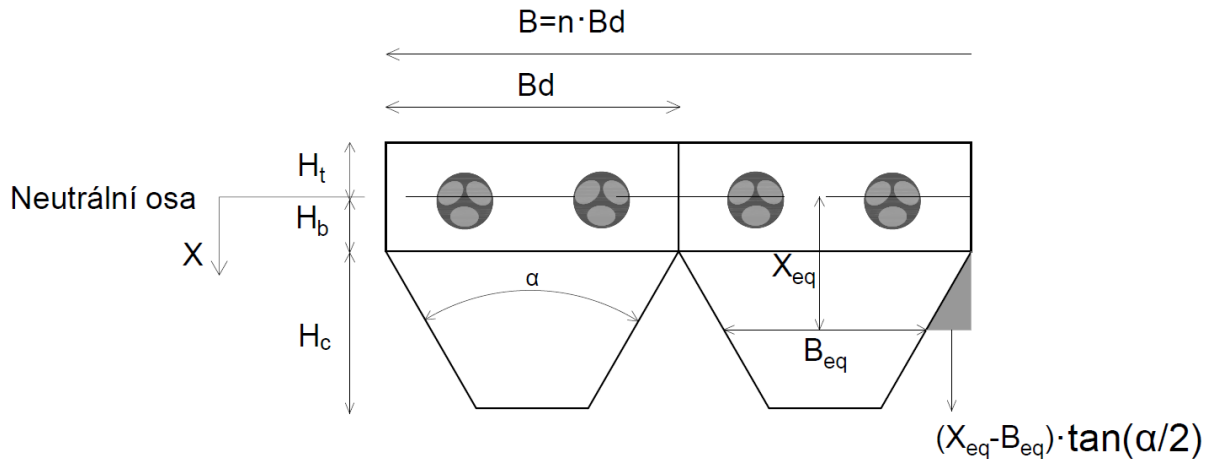


Obr. 22 Teoretické aspekty ohybu v momentě, kdy řemen obíhá kolem řemenice (podle [4; 20]).

Hodnota přetvoření od ohybu se spočítá z teorie ohybu nosníku a závisí na vzdálenosti průchozí tloušťky od neutrální osy a zakřivení. [4]

$$\varepsilon_{ohyb} = \frac{x}{R} [-] \quad (3.5)$$

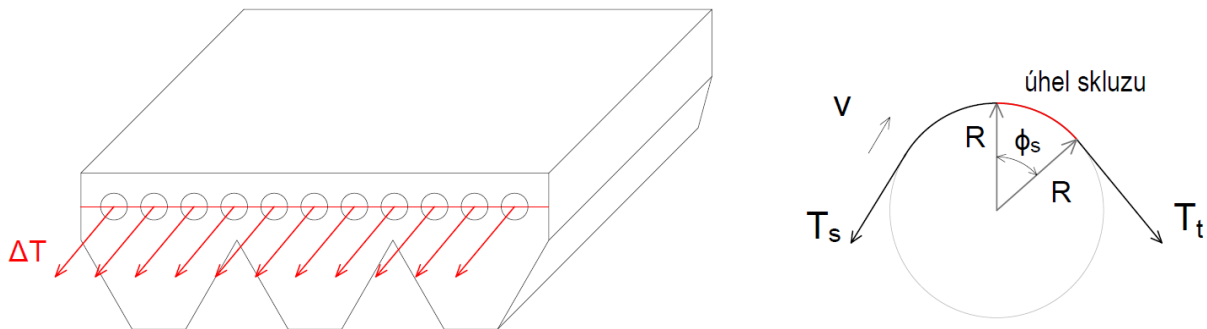
Pro obdélníkovou část řemene vyrobené z homogenního izotropního materiálu je neutrální osa uprostřed tloušťky řemene, jak je znázorněno na Obr.23. U více klínového řemenu utčení neutrální osy vyžaduje přesný popis příčného průřezu. [4; 16]



Obr. 23 Příčný průřez více klínového řemenu (vytvořeno podle [4]).

### 3.1.2 Ztráty vlivem tahové síly v řemenu

U drážkových řemenic je řemen vyrobený z polymeru je vystaven střídavému napětí, zatímco obíhá kolem řemenice. V souladu s tím ke ztrátám výkonu vlivem tahové síly řemene dochází pouze v případě, že rozdíl mezi silou v natahovaném a odlehčovaném pásu je různý od nuly (obr. 24). [4; 16]



Obr. 24 Teoretické aspekty natahování řemene obíhajícího kolem řemenice (podle [4]).

Rovnice pro ztráty výkonu vlivem tahové síly v řemenu má potom tvar [4; 16; 20]:

$$W_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot E''_{\text{řemen}} \cdot \varepsilon_{st}^2 \cdot S_{1V} [J], \quad (3.6)$$

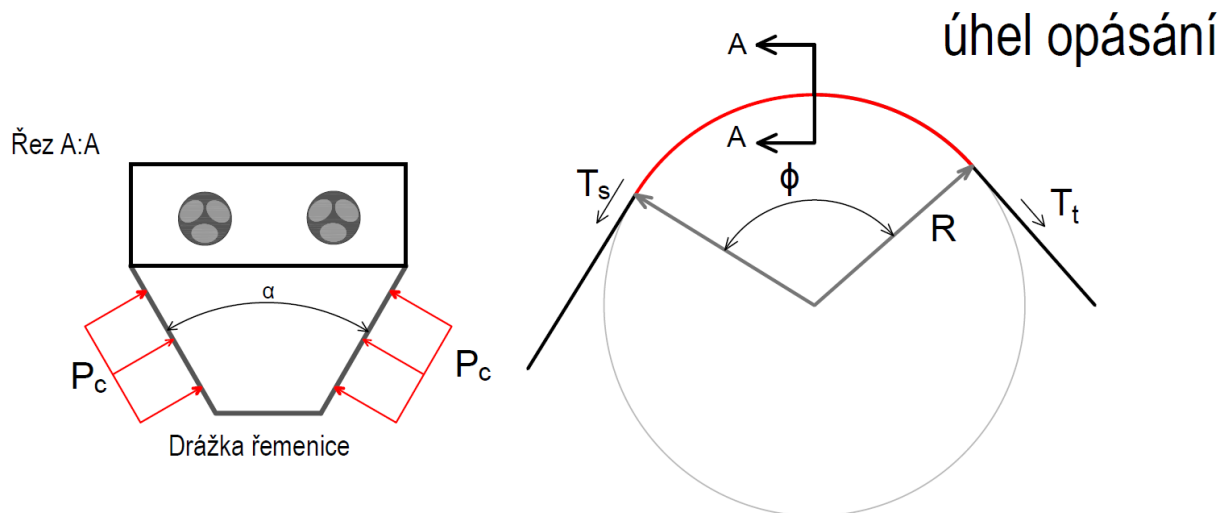
kde:  $E''_{\text{řemen}}$  – je ztrátový modul řemenu [MPa],  
 $S_{1V}$  – je příčný průřez řemenu [mm<sup>2</sup>],  
 $\varepsilon_{st}$  – je deformace způsobená efektivní tahovou silou v řemenu, která se počítá z Hookova zákona [-].

$$\varepsilon_{st} = \frac{\Delta T}{c} = \frac{T_t - T_s}{\sum E_k'' \cdot A_k} [-], \quad (3.7)$$

kde:  $\Delta T$  – je efektivní tahová síla přenášená mezi řemenicemi [N],  
 $T_t$  – je síla v natahované části řemenu [N],  
 $T_s$  – je síla v odlehčované části řemenu [N],  
 $c$  – je podélná tuhost řemenu [N].  
 $\Delta T$  – je efektivní tahová síla přenášená mezi řemenicemi [N].

### 3.1.3 Ztráty vlivem spěchování na bočních stranách

Při každém průchodu řemene řemenicí jsou boční strany řemene ve styku s drážkami řemenice. Takže na řemenici v důsledku kontaktního tlaku  $P_c$  se řemenice stává zatíženou. Poté je řemen znovu odlehčen, když vstupuje do dalšího rozpětí pásu. Stav stlačení drážkového řemenu na bočních stranách je popsán na Obr. 25. [4; 16; 20]



Obr. 25 Schéma stlačení řemenice kolem úhlu  $\phi$  (podle [4; 20]).

Rovnice pro ztráty způsobené spěchováním řemenu na bočních stranách (obr. 26) za jednotku délky má tvar [4; 16]:

$$W_{hfc} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot E_{Hc}'' \cdot \varepsilon_{afc}^2 \cdot n \cdot S_{1V} [J], \quad (3.8)$$

kde:  $E_{Hc}''$  – je ztrátový modul elastomerového materiálu žebra [MPa],  
 $n$  – je počet žebek [-],  
 $\varepsilon_{afc}$  – je hodnota přetvoření vlivem spěchování na bočních stranách a je spočtena podle Hookova zákona [-].

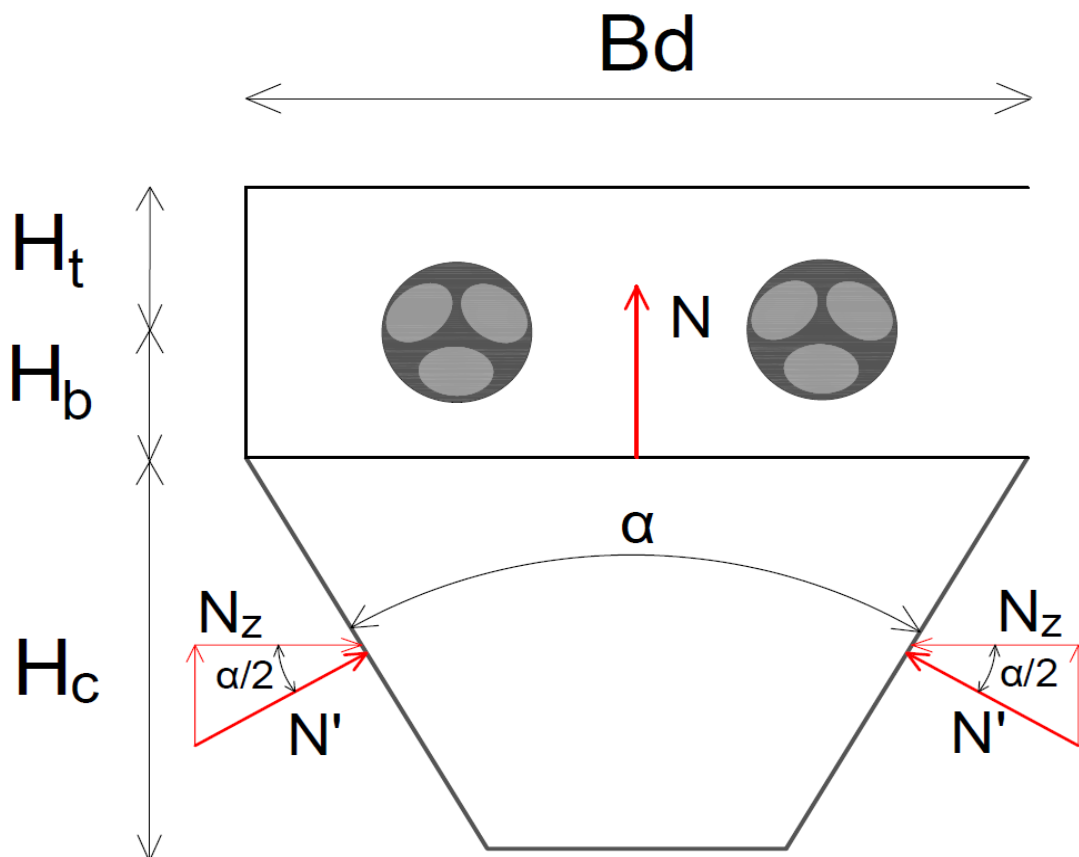
$$S_{V1} = \left[ B_d - H_c \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot H_c [mm^2] \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_{afc} = \frac{N_z}{E'_{Hc}} [-], \quad (3.10)$$

kde:  $B_d$  [mm],  $H_c$  [mm] a  $\alpha$  – jsou geometrické parametry jako na Obr. 3.7,  
 $n$  – je počet žebér [-],  
 $\varepsilon_{afc}$  – je hodnota přetvoření vlivem spěchování na bočních stran

$$N_z = N' \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) [N], \quad (3.11)$$

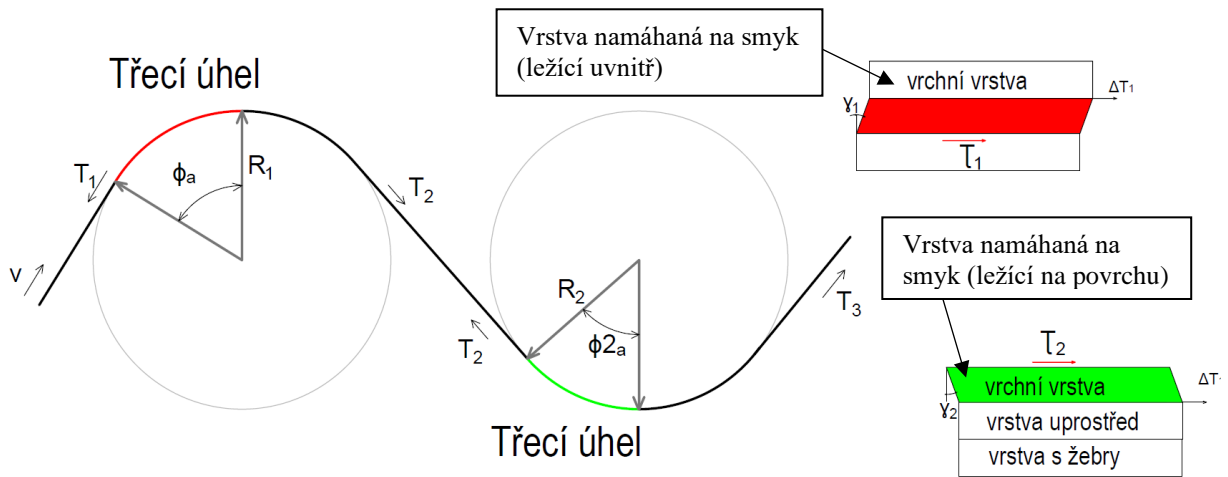
kde:  $N_z$  – je horizontální složka kontaktní síly  $N$  [N].



Obr. 26 Schéma více klínového řemenu s napětími  $N_z$  a  $N'$  (podle [4; 20]).

### 3.1.4 Ztráty vlivem smykového napětí v řemenu

Když je řemen v pohybu a je vystaven odporovým krouticím momentům, vždy dochází v určité vrstvě řemenu ke smykovému namáhání (obr. 27). [4; 20]



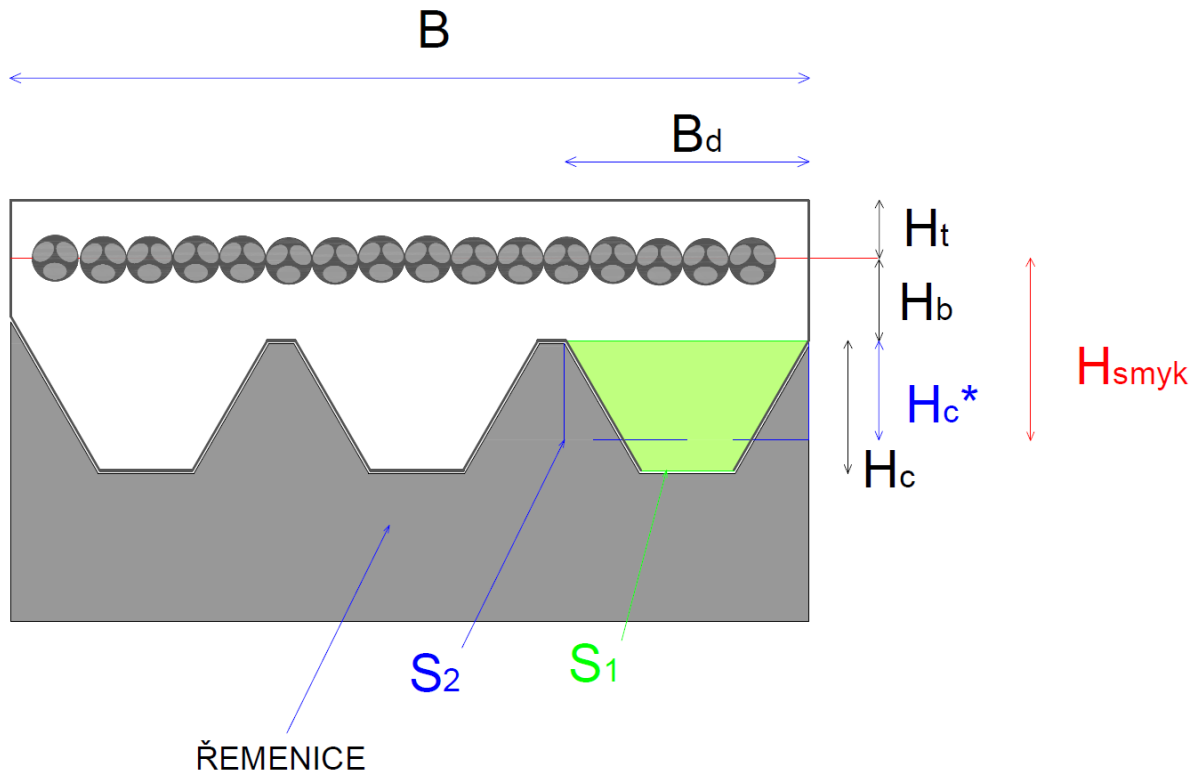
Obr. 27 Vrstva řemenu namáhaná smykovým napětím (podle [4; 20]).

Velikost tloušťky řemenu namáhané na smyk závisí na straně kontaktu řemenu s řemenicí (obr. 28). Pro pás ležící uvnitř může být spočtena tloušťka řemenu namáhané na smyk podle rovnice (3.12). [16; 20]

$$H_{smyk}^* = H_b + H_c^* \text{ [mm]} \quad (3.12)$$

$$W_{smyk} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot G'' \cdot \gamma_{smyk}^2 \cdot S_{smyk} \text{ [J]}, \quad (3.13)$$

kde:  $H_b$  [mm],  $H_c$  [mm],  $B_d$  [mm], a  $\alpha$  – jsou geometrické parametry jako na Obr. 3.7,  $H_c^*$  – je teoretická smykem namáhaná tloušťka vrstvy získaná provedením ekvivalence mezi plochami  $S_1$  a  $S_2$  [mm],



Obr. 28 Teoretická tloušťka vrstvy namáhané smykovým napětím (podle [4]).

Potom rovnice ztráty výkonu vlivem smykového napětí řemenu má tvar [4; 16; 20]:

$$W_{smyk} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot G'' \cdot \gamma_{smyk}^2 \cdot S_{smyk} [J], \quad (3.14)$$

kde:  $S_{smyk}$  – průřezová charakteristika [ $\text{mm}^2$ ],  
 $\gamma_{smyk}$  – úhel smyku [-],  
 $G''$  – je ztrátový modul ve smyku materiálu řemene [MPa].

Materiál žebek řemene a střední vrstvy jsou velmi často totožné, a pokud je materiál považován za homogenní a izotropní, vztah (3.14) je platný [4; 16; 20]:

$$G'' = \frac{E''}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (3.15)$$

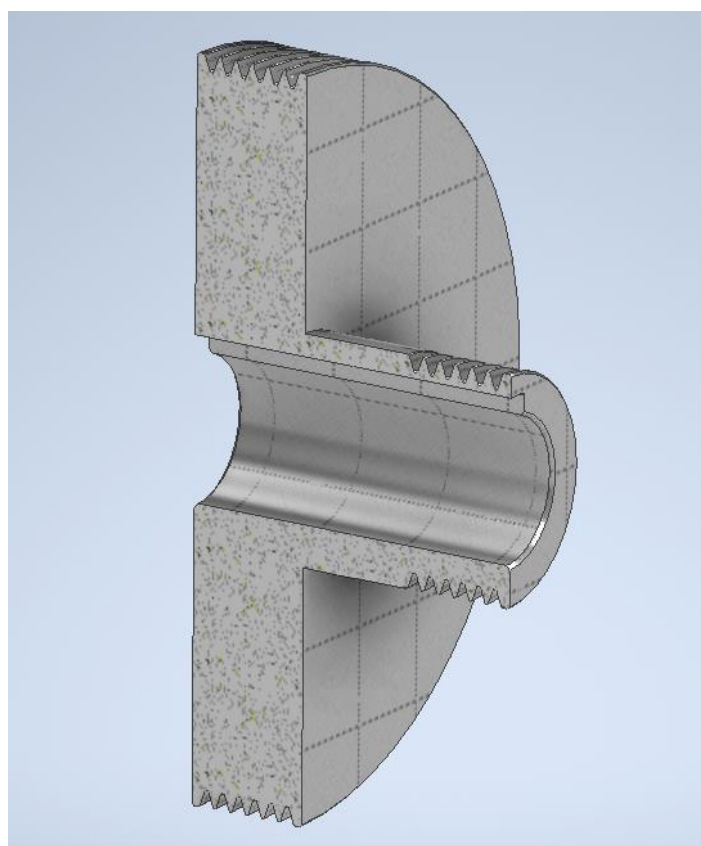
Pro výpočet úhlu smyku  $\gamma_{smyk}$  se aplikuje Hookův zákon, který nám umožní stanovit smykové napětí.

$$\tau_{smyk} = G' \cdot \gamma_{smyk} [MPa], \quad (3.16)$$

kde:  $G'$  – ztrátový modul ve smyku [MPa].

## 4 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTÍ

Zadanými součástmi jsou dvě stupňovité řemenice (obr. 29). První řemenice slouží pro převod krouticího momentu z motoru na druhou hnanou řemenici. Obě řemenice mají stejné rozměry. Krouticí moment z hřídele na řemenici je přenášen pomocí pera 6P9 x 6 x 6 ČSN 02 2512. Osová vzdálenost mezi řemenicemi je 130 mm. Materiálem obou řemenic je dural. Řemenice obsahují dvě odstupňovaná osazení, na kterých jsou drážky pro řemen profilu PJ (obr. 30). Na doporučení výrobcem musí drsnost povrchu drážek dosahovat hodnot minimálně **Ra** 3,2  $\mu\text{m}$ . Na výkrese je předepsána lepší drsnost, a sice Ra 1,6  $\mu\text{m}$ , vzhledem k tomu, že tento typ řemene lze použít až do rychlosti 60 m/s. Jelikož hřídel elektromotoru je zkonstruována s tolerancí j6, otvor v náboji (řemenice) je zkonstruován s tolerancí H7 a drsností povrchu **Ra** 0,8  $\mu\text{m}$ . V otvoru pro hřídel se rovněž nachází drážka pro těsné pero pro zajištění přenosu krouticího momentu.

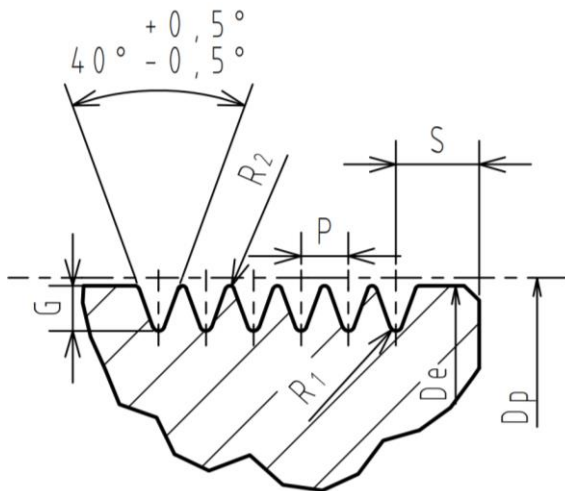


Obr. 29 Model řemenice.

Tab. 2 Rozměry drážek řemenic.

| Profil | P [mm]      | G [mm]       | R <sub>2</sub> [mm] | R <sub>1</sub> [mm] | S <sub>min</sub> [mm] | D <sub>p</sub> – D <sub>e</sub> [mm] |
|--------|-------------|--------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| PH     | 1,6 ± 0,03  | 1,53 ± 0,13  | 0,15                | 0,2                 | 2                     | 1,3                                  |
| PJ     | 2,34 ± 0,03 | 2,21 ± 0,13  | 0,2                 | 0,4                 | 2                     | 2                                    |
| PL     | 4,7 ± 0,05  | 5,11 ± 0,13  | 0,25                | 0,5                 | 4                     | 5                                    |
| PM     | 9,4 ± 0,05  | 10,21 ± 0,24 | 0,76                | 0,64                | 6                     | 10                                   |



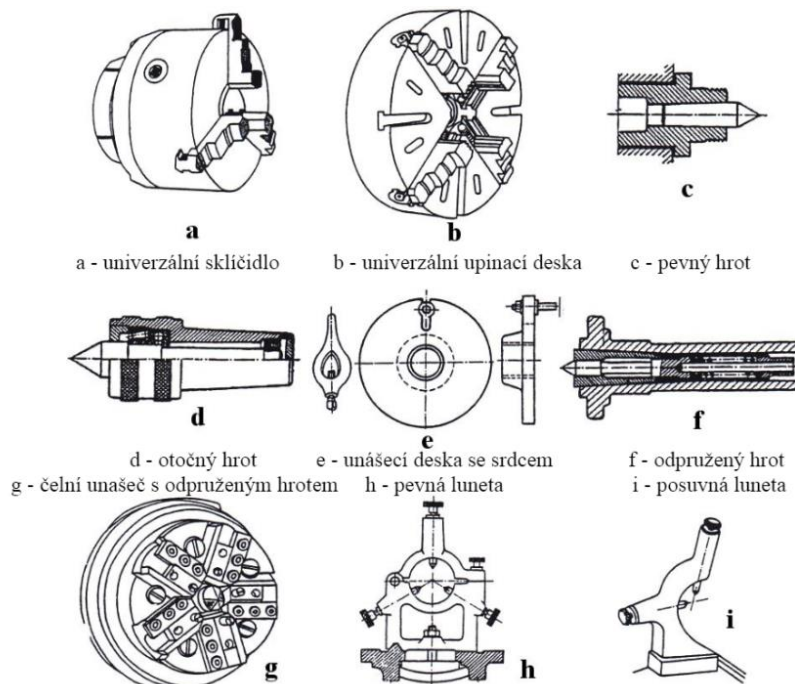


$D_e$  je vnější průměr řemenice,  
 $D_p$  je roztečný (výpočtový) průměr měřený podél řemene,  
 $P$  je rozteč mezi drážkami,  
 $S$  je minimální vzdálenost mezi osou drážky a čelní plochou řemenice,  
 $G$  je hloubka drážky,  
 $R_2$  je vnější poloměr zaoblení drážky,  
 $R_1$  je vnitřní poloměr zaoblení drážky.

Obr. 30 Parametry profilu drážek.

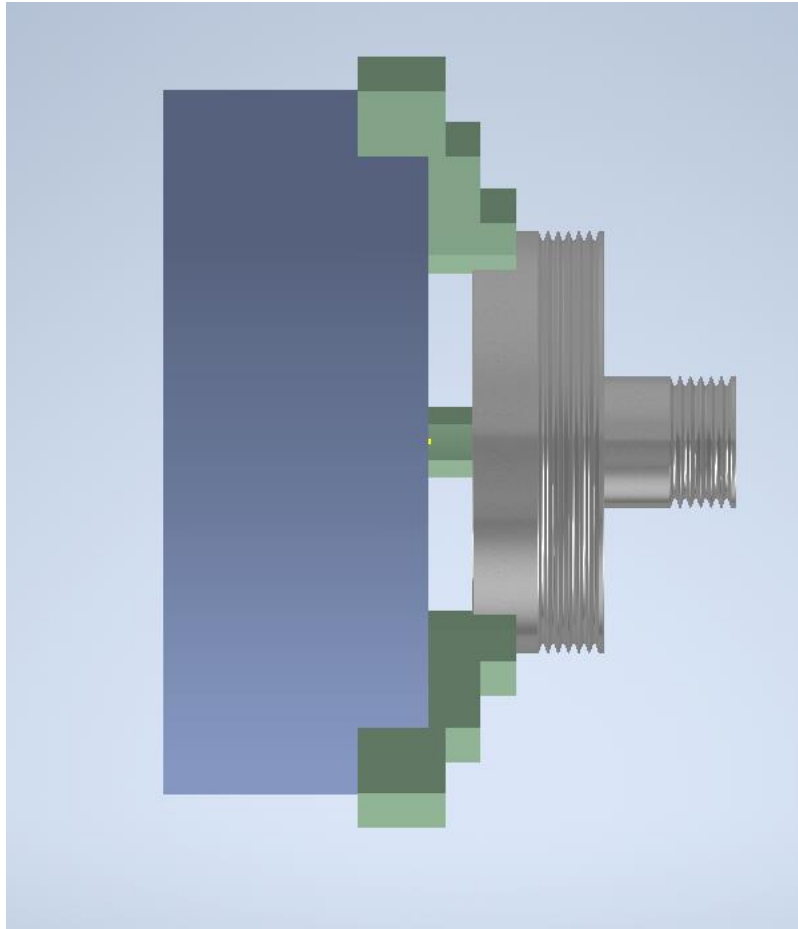
## 4.1 Upínání obrobků

Upnutí obrobku musí být spolehlivé a s dostatečnou tuhostí a zároveň musí zajistit jednoznačnou polohu obrobku vůči nástrojům. Obrobky s poměrem délky a průměru větším než  $2 \div 3$  se upínají mezi hroty, jež zasahují do středících důlků navrtných na čele obrobku (obr. 31). [21]



Obr. 31 Upínací elementy pro upnutí obrobku [21].

S ohledem na snazší upnutí, a aby šlo osazení spolu s drážkami vyrobit na jedno upnutí, byl zvolen o něco delší polotovár. V případě naší zadané řemenice podmínka poměru délky a průměru je splněna. Není tedy nutné obrobek podepřít otočným hrotem (obr. 32).



Obr. 32 Metoda upnutí obrobku ve sklíčidle.

## 4.2 Volba nástrojů pro soustružení

Pro hrubovací operace soustružení a pro zarovnání čela byl vybrán soustružnický nůž s držákem PCLNL 2525 M 12 (obr. 33 až 34) a s vyměnitelnou břitovou destičkou CNMG 12 04 04 ER-SI T8330 (obr. 35). Destička disponuje velmi univerzální řeznou geometrií charakterizovaná malým řezným odporem. Destička se hodí pro dokončovací až polohrubovací operace. Destička je určena pro materiály skupiny P, M, K, a lze ji použít i pro materiály skupiny N. [22]

Rozměry nástroje [22]:

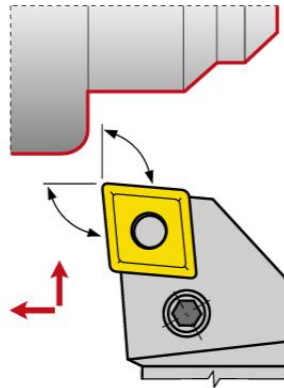
- poloměr špičky nástroje  $r_e = 0,4$  mm,
- úhel sklonu hlavního ostří  $\kappa_r 95^\circ$ .

Doporučené řezné podmínky [22]:

- posuv  $f = 0,2-0,5$  mm,
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,4-5$  mm,
- řezná rychlost  $v_c = 240-750$  m/min.



Obr. 33 Pohled na soustružnický nůž [23].



Obr. 34 Směry, ve který lze s destičkou obrábět [23].



Obr. 35 VBD CNMG 12 04 04 ER-SI T8330 [24].

Pro soustružení načisto byla použita břitová destička DNMG 15 06 08 ER-SI T8330 (obr. 38) s držákem PDJNR 2525 M 15 (obr. 36 až 37). Destička disponuje velmi univerzální řeznou geometrií charakterizovaná malým řezným odporem. Destička se hodí pro dokončovací až polohrubovací operace. Destičku je určena pro materiály skupiny P, M, K, a lze ji použít i pro materiály skupiny N. [22]

Rozměry nástroje [22]:

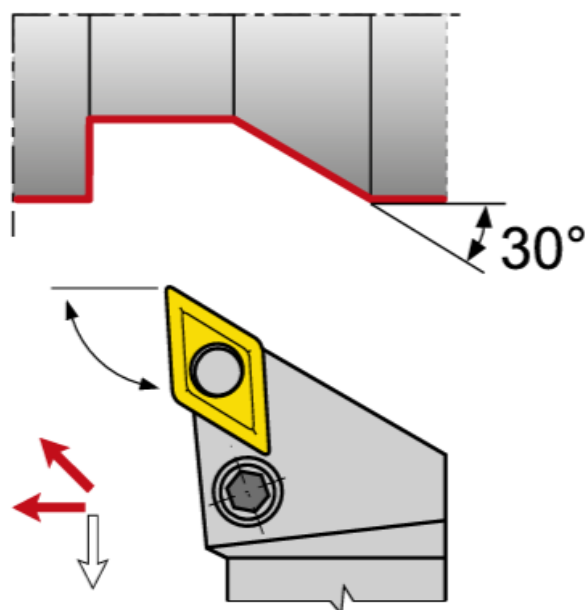
- poloměr špičky nástroje  $r_e = 0,4 \text{ mm}$
- úhel sklonu hlavního ostří  $\kappa_r 95^\circ$

Doporučené řezné podmínky [22]:

- posuv  $f = 0,2\text{--}0,5 \text{ mm}$
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,4\text{--}5 \text{ mm}$
- řezná rychlost  $v_c = 200\text{--}700 \text{ m/min.}$



Obr. 36 Pohled na soustružnický nůž [23].



Obr. 37 Směry, ve který lze s destičkou obrábět [23].



Obr. 38 VBD DNMG 15 06 08 ER-SI T8330 [25].

Pro soustružení drážek byla použita břitová destička VNMG 16 04 02 FF2 TP1030 (obr. 41) s nástrojovým držákem SVVCN 2525 M16 (obr. 40 až 41). Destička má pozitivní řeznou geometrii s malým řezným odporem. Destička se hodí pro jemné a dokončovací soustružení. Destičku je určena pro materiály skupiny P, M a K. Tato břitová destička není určena pro obrábění neželezných kovů, ale kvůli ceně a omezené dostupnosti byla zvolena tato destička. [22]

Rozměry nástroje [22]:

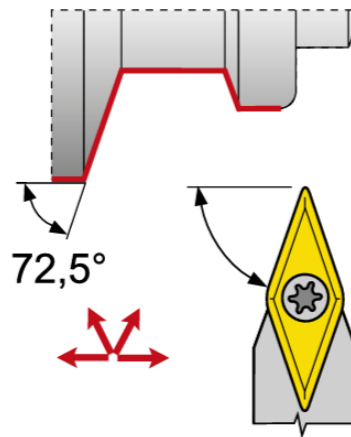
- poloměr špičky nástroje  $r_\epsilon = 0,2 \text{ mm}$
- úhel sklonu hlavního ostří  $\kappa_r 72^\circ 30'$ .

Doporučené řezné podmínky [22]:

- posuv  $f = 0,2 - 0,5 \text{ mm}$
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,4 - 5 \text{ mm}$
- řezná rychlost  $v_c = 200 - 700 \text{ m/min}$ .



Obr. 39 Pohled na soustružnický nůž [23].



Obr. 40 Směry, ve který lze s destičkou obrábět [23].



Obr. 41 VBD VNMG 16 04 02 FF2 TP1030.

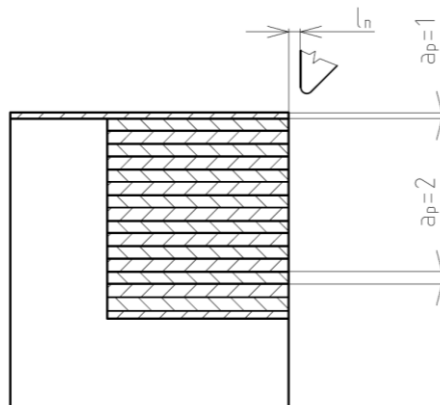
Nástroje pro všechny operace obrábění jsou seřazeny v Tab. 3.

Tab. 3 Tabulka výrobních nástrojů.

| ČÍSLO NÁSTROJE | NÁSTROJ   | OPERACE             | CENA NÁSTROJE [Kč] |
|----------------|---|---------------------|--------------------|
| 1.             | Stranový nůž ubírací pravý $\kappa_r = 95^\circ$ , držák PCLNL 2525 M 12      | zarovnání čela      | 1 650              |
| 2.             | Stranový ubírací nůž pravý $\kappa_r = 93^\circ$ , držák PDJNR 2525 M 15      | soustružení kontury | 1 771              |
| 3.             | Šroubovité vrták $\varnothing 18,5$ DIN 338                                   | vrtání              | 220                |
| 4.             | Výhrubník $\varnothing 18,7$ s kuželovou stopkou ČSN 221411                   | vyhrubování         | 935                |
| 5.             | Výstružník $\varnothing 19$ H7 s kuželovou stopkou ČSN 221411                 | vystružování        | 745                |
| 6.             | Soustružnický nůž kopírovací $\kappa_r = 72^\circ 30'$ , držák SVVCN 2525 M16 | Soustružení drážek  | 6 000              |
| 7.             | VBD: CNMG 12 04 08 EM 6630  | hrubování           | 305                |
| 8.             | VBD: DNMG 15 06 08 EM 6630  | Soustružení načisto | 336                |
| 9.             | VBD: VNMG 16 04 02 FF2 1030   | Soustružení drážek  | 1 200              |
| 10.            | Nůž obrážecí drážkovací 6x18x130 ČSN 22 3681                                  | Obrázení drážky     | 2 711              |

### 4.3 Výpočty strojních časů jednotlivých operací

Na základě jednotlivých řezných podmínek jsou spočteny strojní časy pro všechny dílčí operace obrábění (tab. 5). Ke spočtení jednotkového strojního času pro hrubování osazení řemenice se musí počítat pro každý úběr nože zvlášť, protože se snižujícím se průměrem obrobku roste řezná rychlost, a tedy pro jednotlivé úběry se strojní čas liší. Šířka záběru pro každý záběr byla stanovena  $a_p = 2$  mm. Strojní časy pro každý záběr jsou spočteny v Tab. 4.



Obr. 42 Jednotlivé hloubky záběru.

Jednotkový strojní čas soustružení čelní plochy pro konstantní otáčky [21]:

$$t_{AS} = \frac{l_n + 0,5 \cdot D + l_p}{n \cdot f} [\text{min}], \quad (4.1)$$

kde:  $l_n$  – délka náběhu [mm],  
 $l_p$  – délka přeběhu [mm],  
 $D$  – aktuální obráběný průměr [mm],  
 $n$  – otáčky obrobku [1/min],  
 $f$  – posuv [mm].

Jednotkový čas strojní pro operace vrtání, vyhrubování a vystružování má potom následující tvar [21]:

$$t_{AS} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} [\text{min}], \quad (4.2)$$

kde:  $l_n$  – délka náběhu [mm],  
 $l_p$  – délka přeběhu [mm],  
 $n$  – otáčky obrobku [1/min],  
 $f$  – posuv [mm].

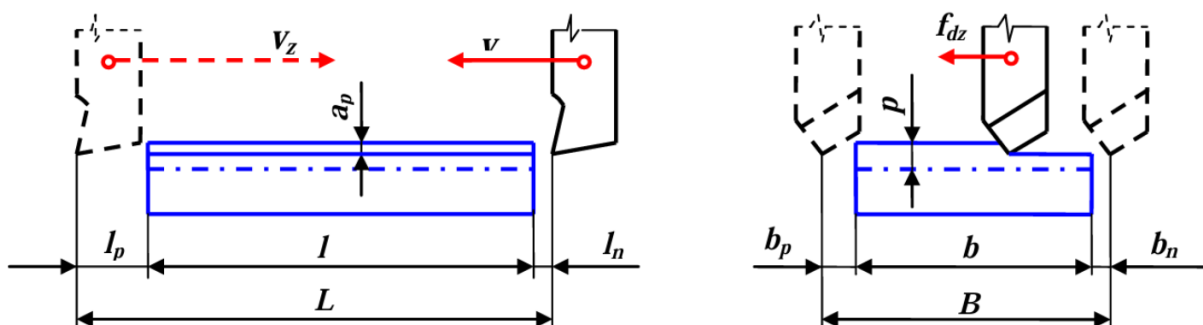
Jednotkový čas pro soustružení válcové plochy má tvar [21]:

$$t_{AS} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (4.3)$$

Strojní čas pro obrábění drážek se určí dle vzorce (4.4), přičemž pro zkrácení strojního času je zpětná rychlost smýkadla až 4krát vyšší. [26]

$$t_{AS} = \left( \frac{L}{1000 \cdot v} + \frac{L}{1000 \cdot v_z} \right) \cdot \frac{B}{f_{dz}} \cdot \frac{p}{a_p} [\text{min}], \quad (4.4)$$

kde:  $L$  – dráha nástroje [mm],  
 $B$  – dráha nástroje v příčném směru [mm],  
 $p$  – přídavek na obrábění [mm],  
 $f_{dz}$  – posuv na dvojzdvih [mm],  
 $a_p$  – přísuv [mm],  
 $v_z$  – zpětná rychlost [m/min],  
 $v$  – řezná rychlost [m/min]. [26]



Obr. 43 Hoblování jednoho kusu [26].



Tab. 4 Výpočet strojního času pro jednotlivé úběry.

| i [-]    | $v_c$ [m/s] | D [mm] | L [mm] | f [mm] | n [min <sup>-1</sup> ] | ap [mm] | T <sub>AS</sub> [min] |
|----------|-------------|--------|--------|--------|------------------------|---------|-----------------------|
| 1        | 150         | 96     | 48     | 0,2    | 497,3592               | 1       | 0,482549              |
| 2        | 150         | 92     | 30     | 0,2    | 518,9835               | 2       | 0,289027              |
| 3        | 150         | 88     | 30     | 0,2    | 542,5737               | 2       | 0,27646               |
| 4        | 150         | 84     | 30     | 0,2    | 568,4105               | 2       | 0,263894              |
| 5        | 150         | 80     | 30     | 0,2    | 596,831                | 2       | 0,251327              |
| 6        | 150         | 76     | 30     | 0,2    | 628,2432               | 2       | 0,238761              |
| 7        | 150         | 72     | 30     | 0,2    | 663,1456               | 2       | 0,226195              |
| 8        | 150         | 68     | 30     | 0,2    | 702,1542               | 2       | 0,213628              |
| 9        | 150         | 64     | 30     | 0,2    | 746,0388               | 2       | 0,201062              |
| 10       | 150         | 60     | 30     | 0,2    | 795,7747               | 2       | 0,188496              |
| 11       | 150         | 56     | 30     | 0,2    | 852,6158               | 2       | 0,175929              |
| 12       | 150         | 52     | 30     | 0,2    | 918,2016               | 2       | 0,163363              |
| 13       | 150         | 48     | 30     | 0,2    | 994,7184               | 2       | 0,150796              |
| 14       | 150         | 44     | 30     | 0,2    | 1085,147               | 2       | 0,13823               |
| 15       | 150         | 40     | 30     | 0,2    | 1193,662               | 2       | 0,125664              |
| 16       | 150         | 36     | 30     | 0,2    | 1326,291               | 2       | 0,113097              |
| 17       | 150         | 32     | 30     | 0,2    | 1492,078               | 2       | 0,100531              |
| 18       | 150         | 30     | 30     | 0,2    | 1591,549               | 1       | 0,094248              |
| <b>Σ</b> |             |        |        |        |                        |         | <b>3,693256</b>       |

Tab. 5 Strojní časy pro všechny operace obrábění.

| Popis činnosti                    | i  | $v_c$ [m/min] | Ap [mm] | D [mm] | L [mm] | n [min <sup>-1</sup> ] | f [mm] | T <sub>AS</sub> [min] |
|-----------------------------------|----|---------------|---------|--------|--------|------------------------|--------|-----------------------|
| <b>Upnou</b>                      |    |               |         |        |        |                        |        | 0,05                  |
| <b>Dělit polotovar</b>            |    | 80            |         | 98     |        |                        |        | 1,05                  |
| <b>Zarovnat čelo</b>              | 1  |               | 2       |        |        | 560                    | 0,2    | 0,84                  |
| <b>Vrtat otvor ø 18,5</b>         | 1  | 40            |         |        | 46     | 680                    |        | 1,15                  |
| <b>Vyhrubovat otvor ø 19 H7</b>   | 1  | 50            |         | 18,7   | 46     | 851                    | 0,4    | 0,96                  |
| <b>Vystružovat otvor ø 19 H7</b>  | 1  | 20            |         | 19     | 46     | 335                    | 0,5    | 2,3                   |
| <b>Soustružit konturu nahrubo</b> | 18 | 150           | 2       |        |        |                        | 0,2    | 3,69                  |
| <b>Obrábět drážky</b>             | 2  | 150           |         |        |        |                        | 0,05   | 1,88                  |
| <b>Obrážet drážku 6P9/46</b>      | 30 |               | 0,1     |        |        |                        |        | 12                    |
| <b>Σ</b>                          |    |               |         |        |        |                        |        | <b>23,92</b>          |

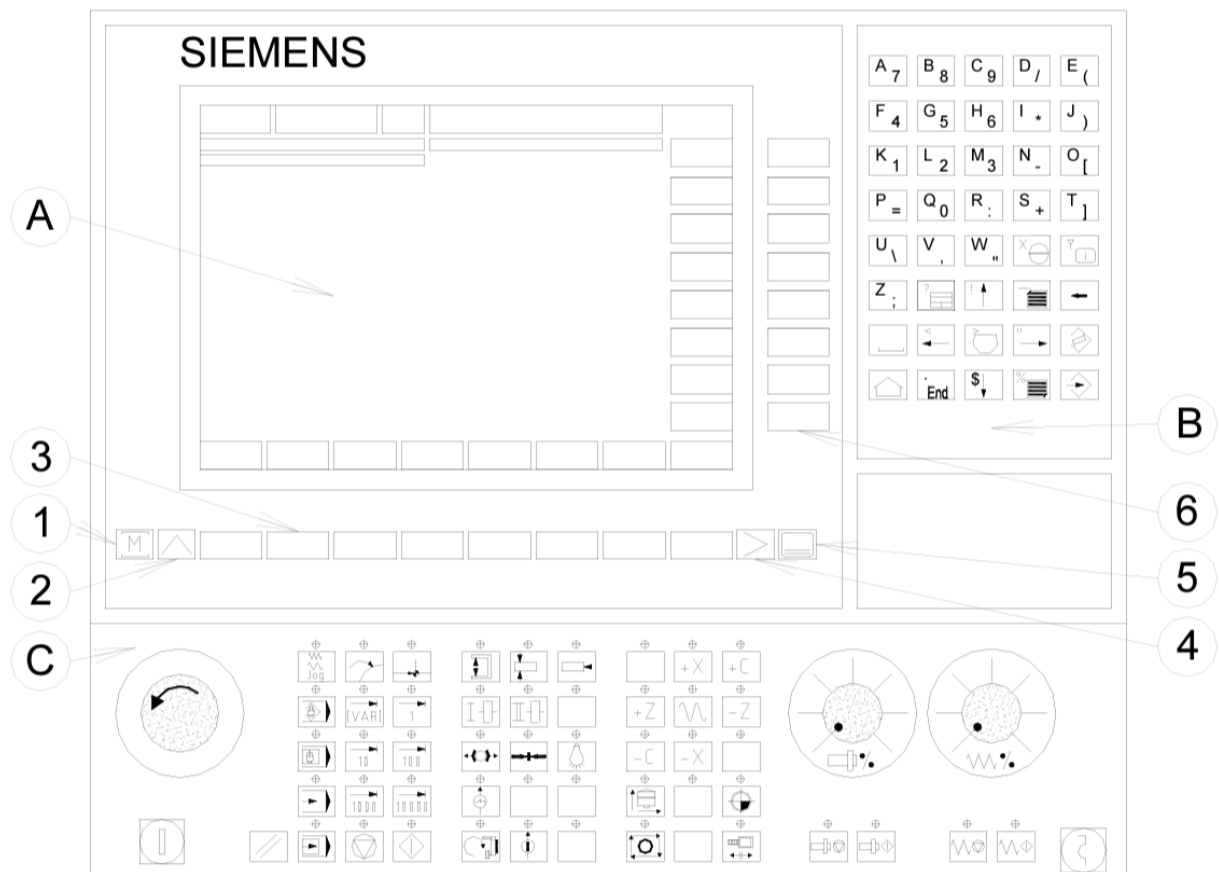
V rámci výroby byl sestaven základní rámcový pracovní postup výroby (tab. 6), kde jsou rozepsány jednotlivé operace obrábění tak jak jdou za sebou. Pracovní postup rámcový dále obsahuje detailní popis práce v operaci a typ stroje, na kterém se konkrétní operace má provést.

Tab. 6 Pracovní postup rámcový pro hnací řemenici.

| <b>PRACOVNÍ POSTUP RÁMCOVÝ</b>           |                               |                                      |  |  |
|--|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| Název součásti:<br><b>HNACÍ ŘEMENICE</b> |                               |                                      | Číslo výkresu:   |  |
| Materiál:<br>EN AW 2024                  | Polotovary:<br><b>ø 98-64</b> |                                      |  |  |
| Pořadí operace                           | Třídící číslo stroje          | Pracoviště<br>Typ stroje             | Popis práce v operaci                                      |  |
| 1/1                                      | 05967                         | Sklad                                | řezat na délku 64 ±0,5 mm                                  |  |
| 2/2                                      |                               | OTK                                  | Kontrolovat délku 60 ±0,2                                  |  |
| 3/3                                      | 04127                         | Obrobna<br>Soustruh SV 18<br>RA/1000 | Vrtat otvor ø18,5 v délce 60 mm,                           |  |
|  |                               |                                      | Vyhrubovat otvor ø18,7 v délce 46 mm,                      |  |
|  |                               |                                      | Vystružit otvor ø19 H7 v délce 46 mm                       |  |
| 4/4                                      |                               | OTK                                  | Kontrolovat ø19 H7   |  |
| 5/5                                      | 046270                        | Obrobna<br>Soustruh SPN 12<br>CNC    | Upnout polotovary za ø98 hrubovat konturu dle CNC programu |  |
|  |                               |                                      | Soustružit načisto konturu dle CNC programu                |  |
|  |                               |                                      | Soustružit drážky řemenice dle CNC programu                |  |
| 6/6                                      | 04127                         | Obrobna<br>Soustruh SV 18 RA         | Upnout za ø30 zarovnat čelo na délku 46 ±0,2               |  |
| 7/7                                      | 05816                         | Obrážka svislá<br>SG 220             | Obrážet drážku 6 P9  |  |
| 8/8                                      |                               | OTK                                  | Kontrolovat rozměry podle výkresu                          |  |
| Datum:                                   |                               | Vypracoval                           | Schválil:  |  |
|  |                               |                                      |  |  |

#### 4.4 Základní popis poloautomatického soustruhu SPN 12 CNC

Nynější poloautomatický soustruh SPN 12 CNC prodělal v průběhu let zásadní modernizaci, jak řídicího systému, tak i samotných pohonů tak, že byla zachována pouze kostra původního stroje. Vyměněna byla v neposlední řadě i elektroinstalace včetně veškerých kapalin. V současné době je poloautomatický soustruh SPN 12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D vybaven obsluhovacím panelem OP 031 (obr. 44) (tab. 7). [27]



Obr. 44 Ovládací panel OP 031 [27].

Tab. 7 Popis hlavních částí ovládacího panelu OP 031 [27].

| OZNAČENÍ OBLASTÍ DLE OBR. | POPIS OBLASTI/VÝZNAM TLAČÍTKA                  |
|---------------------------|--|
| <b>A</b>                  | Displej  |
| <b>B</b>                  | Alfanumerický blok, korekční/kurzorové klávesy |
| <b>C</b>                  | Ovládací panel stroje                          |
| <b>1</b>                  | Tlačítko oblasti stroje                        |
| <b>2</b>                  | Tlačítko návrat                                |
| <b>3</b>                  | Pruh horizontálních funkčních tlačítek         |
| <b>4</b>                  | Tlačítko rozšíření menu                        |
| <b>5</b>                  | Tlačítko přepínání oblastí                     |
| <b>6</b>                  | Pruh vertikálních funkčních tlačítek           |

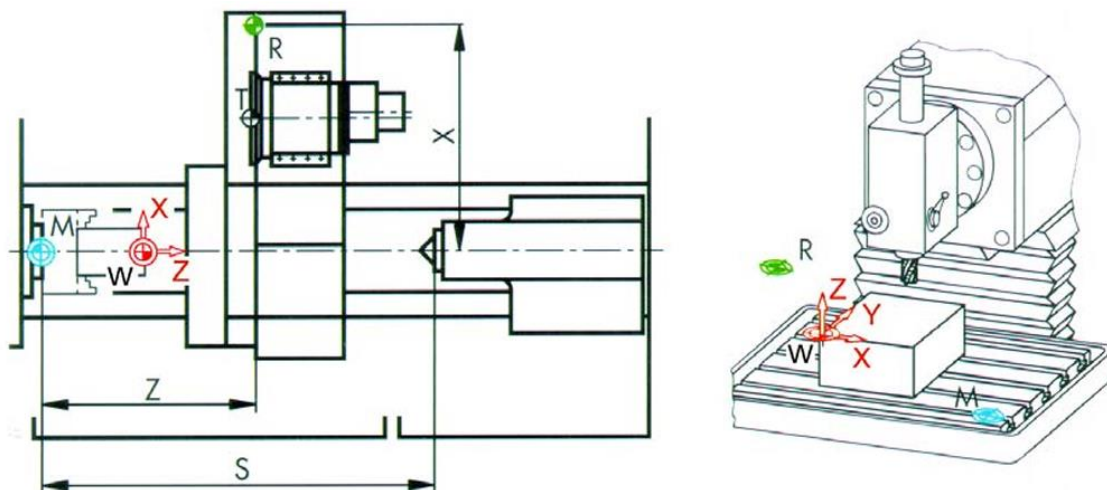
Stroj umožňuje plynulou změnu otáček a synchronizaci posuvových pohonů. Souvislé řízení dráhy nástroje ve dvou souřadných osách a stálou polohovou zpětnou vazbou. Vysoká přesnost je rovněž zajištěna použitím kuličkových šroubů s předepnutými kuličkovými maticemi. [27]

Pro realizaci obrábění slouží dva suporty. Vrchní suport se čtyř polohovou nástrojovou hlavou je řízený přes systém Sinumerik 810D v osách **X** a **Z**. Pohyby suportů jsou zajištěny pomocí kuličkových šroubů. Dolní suport je řízen mechanicky pomocí nárazek. Spodní suport se dá

polohovat v rozmezí  $\pm 45^\circ$ . Tento slouží zejména pro hrubovací operace a pohyby jsou vyvozeny působením hydraulické kapaliny. [27]

#### 4.1.1 Vztažné body CNC stroje

V pracovním prostoru (obr. 45) stroje existují vztažné body, aby se CNC řídicí systém prostřednictvím odměřovacího systému mohl orientovat. [28]



Obr. 45 Polohy jednotlivých vztažných bodů [28].

#### Nulový bod stroje M

Obvykle bývá definován výrobcem a nelze jej měnit. U frézování je počátkem souřadného systému stroje a u soustružení leží na dorazové ploše konce vřetena (obr. 46). [28]



Obr. 46 Symbol nulového bodu stroje M [28].

#### Nulový bod obrobku W

Nulový bod obrobku je počátkem souřadného systému obrobku. Tento bod je volitelný a pro frézování by měl ležet na takovém místě obrobku, od kterého vychází většina kót na výkrese. Pro případ soustružení leží nulový bod obrobku na ose otáčení a většinou na čelní ploše (obr. 47). [28].



Obr. 47 Symbol nulového bodu obrobku W [28].

#### Referenční bod obrobku R

Tento bod slouží k vynulování odměřovacího systému, protože se na nulový bod stroje nedá najíždět. Řídicí systém se tak sladí se systémem odměřování dráhy (obr. 48). [28]



Obr. 48 Symbol referenčního bodu obrobku R [28].

### Vztažný bod nosiče nástroje T

Tento bod nalézá uplatnění při seřizování s přednastavenými nástroji. Délky L a Q na obrázku slouží jako hodnoty pro korekci nástroje a jsou zadávány do paměti nástrojů řídicího systému (obr. 49). [28]

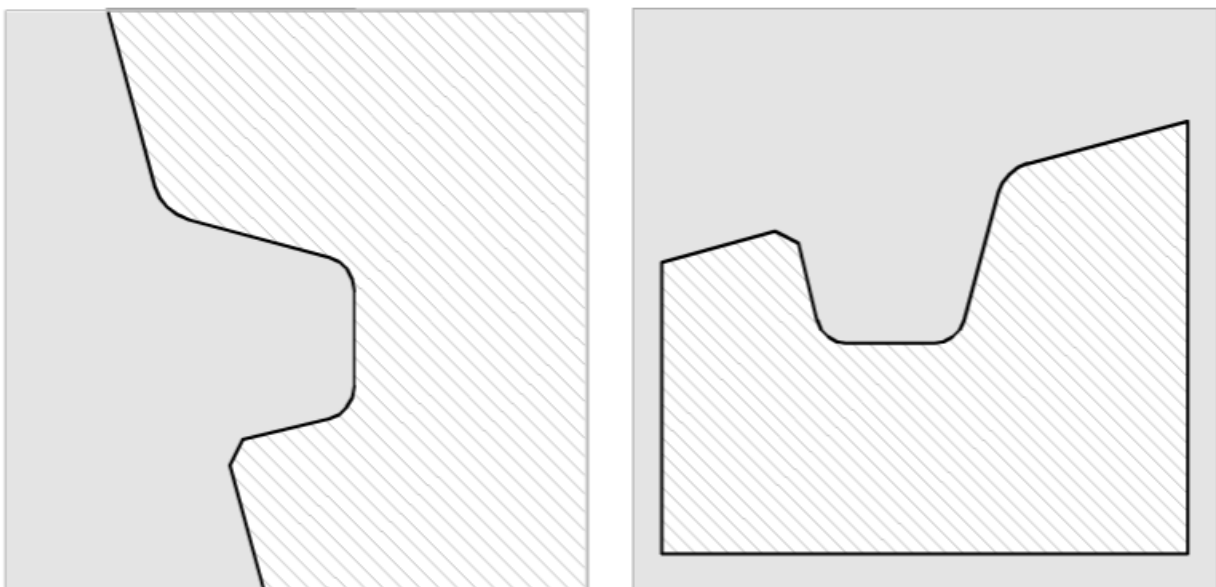


Obr. 49 Symbol vztažného bodu nosiče nástroje T [28].

## 4.4 CNC Program pro řemenice

Pro obě řemenice byl podle výkresové dokumentace sestaven výrobní program přímo na obráběcím stroji SPN 12 CNC v řídicím systému Sinumerik 810D. Program obsahuje hrubování kontur, obrábění kontur načisto a obrábění drážek.

Existuje celá řada metod, jak naprogramovat konturu drážek. Jednou z možností je využití cyklů pro výrobu drážek. Takovým cyklem je třeba CYCLE93, pomocí něhož je možné vytvářet drážky v podélném i příčném směru (obr. 50). Lze rovněž vytvářet jak vnější, tak vnitřní drážky. Hloubka přísuvu a šířka záběru je rozložena rovnoměrně a s největším možným využitím (obr. 52). Pokud je drážka obráběna na nakloněné rovině, dráha od jedné drážky ke druhé je nejkratší možná, jinými slovy paralelní k úhlu, pod kterým je rovina skloněna. Bezpečná vzdálenost od kontury je spočtena přímo v pracovním cyklu. [29]



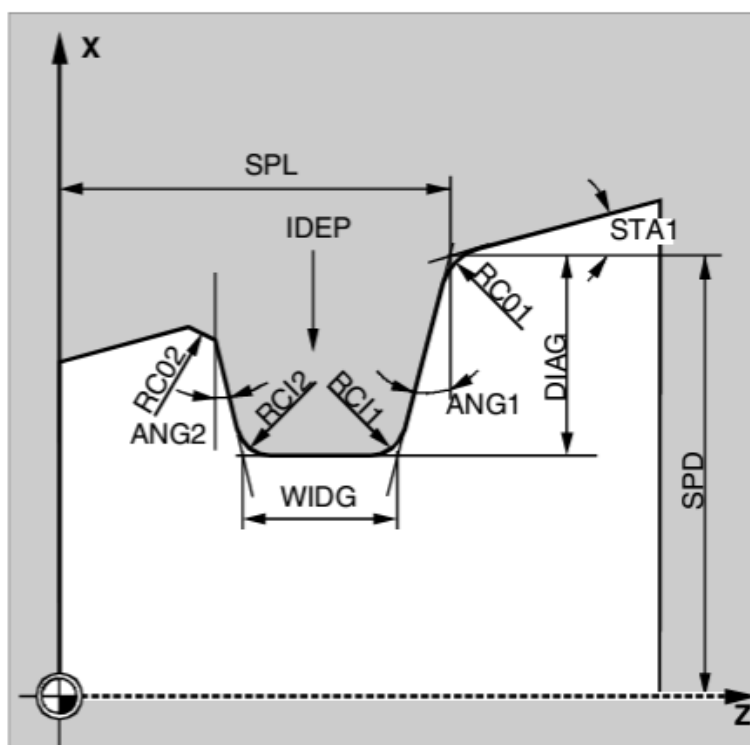
Obr. 50 Schéma drážky v příčném a v podélném směru [29].

**Obecný zápis bloku vypadá následovně**

CYCLE93 (SPD, SPL, WIDG, DIAG, STA1, ANG1, ANG2, RCO1, RCO2, RCI1, RCI2, FAL1, FAL2, IDEP, DTB, VARI) (obr. 51). [29]

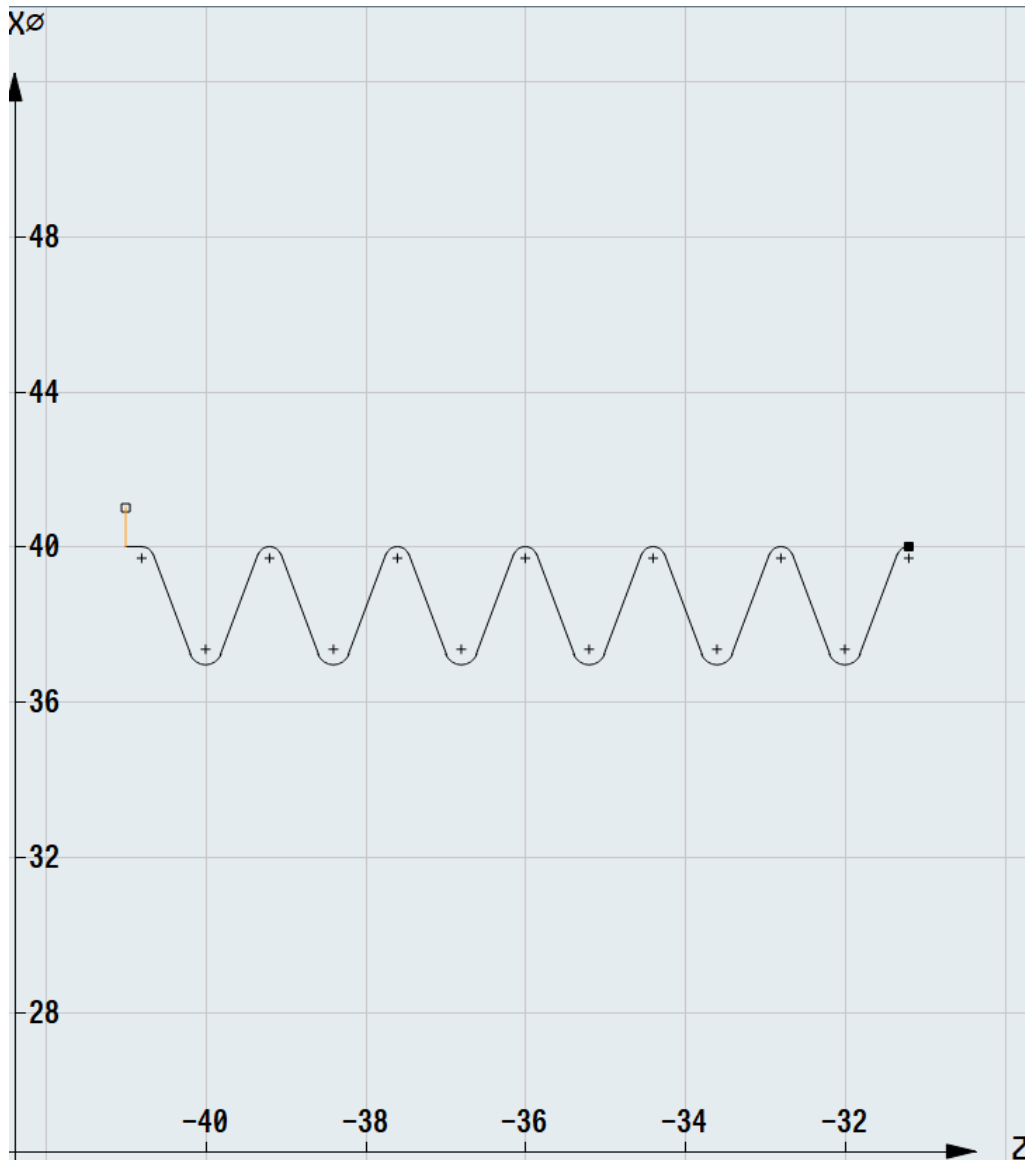
| Název | Význam   |
|-------|--|
| SPD   | Počáteční bod v ose X (zadávat bez znaménka)   |
| SPL   | Počáteční bod v ose Z  |
| WIDG  | Šířka zápichu (zadávat bez znaménka)   |
| DIAG  | Hloubka zápichu (zadávat bez znaménka)   |
| STA1  | Úhel mezi konturou a podélnou osou ( $0^\circ \leq \text{STAT1} \leq 180^\circ$ )  |
| ANG1  | Vrcholový úhel 1: na straně zápichu, která je určena počátečním bodem (zadávat bez znaménka) ( $0^\circ \leq \text{ANG1} \leq 89.999^\circ$ )            |
| ANG2  | Vrcholový úhel 2: na druhé straně (zadávat bez znaménka) ( $0^\circ \leq \text{ANG1} \leq 89.999^\circ$ )  |
| RCO1  | Zaoblení(+)/sražení(-) 1, vnější: na straně určené počátečním bodem  |
| RCO2  | Zaoblení(+)/sražení(-) 2, vnější   |
| RCI1  | Zaoblení(+)/sražení(-) 1, vnitřní: na straně počátečního bodu  |
| RCI2  | Zaoblení(+)/sražení(-) 2, vnitřní  |
| FAL1  | Přídavek na dokončení na dně zápichu   |
| FAL2  | Přídavek na dokončení na bocích  |
| IDEP  | Velikost přísvuvu (zadávat bez znaménka)   |
| DTB   | Časová prodleva na dně zápichu   |
| VARI  | Způsob opracování<br>1 ÷ 8 : CHF - sražení konturového rohu (délka sražení),<br>11 ÷ 18 : CHR - sražení konturového rohu (délka sražení ve směru pohybu) |

Obr. 51 Vysvětlení instrukcí zapichovacího cyklu [27].



Obr. 52 Kóty jednotlivých parametrů drážek a jejich název [29].

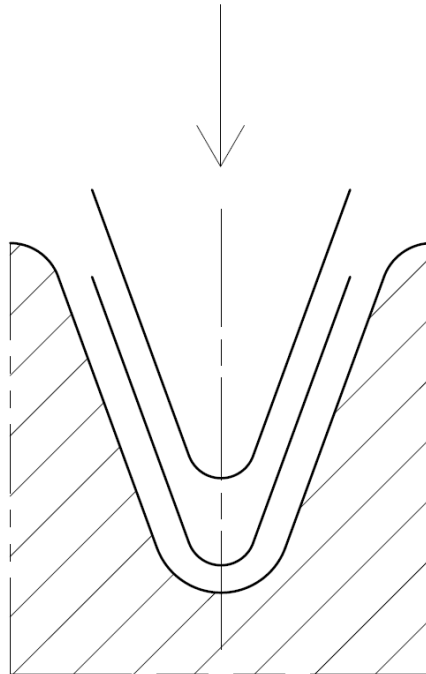
Charakteristickým znakem více klínové řemenice je drážka, která svým tvarem připomíná závitovou mezeru. Cyklus pro výrobu drážek tedy nelze pro tento případ využít, protože pro tento výrobní cyklus se používá zapichovací nůž a tento cyklus umí pracovat pouze s geometrií zapichovacího nože. Navíc vyráběná drážka nemá rovné dno, ale boční stěna drážky tečně přechází do zaoblení na dně drážky. Další možností by bylo popsat konturu drážky pomocí křivky (obr. 53), to je ovšem zdlouhavé, protože pro každý průměr osazení je nutné vytvořit zvlášť konturu, což prodlužuje čas programování, a tím i náklady.



Obr. 53 Popis drážky pomocí křivky.

Další varianta výroby drážek spočívá v použití pokročilejších nástrojů programování, jako je například logická funkce FOR tzv. početní smyčka. Tento příkaz se používá, je-li nutné nějakou operaci opakovat pevným počtem průjezdů. Jelikož řemenice obsahuje na každém osazení 6 drážek, cyklická čítací smyčka FOR se přímo nabízí. Početní smyčka se využije v podprogramu, ve kterém se nadefinuje pomocí přírůstkového programování samotná kontura drážky, která se pomocí funkce FOR 6krát zopakuje za sebou. Nejprve byl vytvořen podprogram pro vyhrubování drážek. Tento podprogram je naprogramován rovněž pomocí cyklu FOR. Obráběným materiálem je dobře obrobitelný dural, a tak je možno si dovolit vyrobit

drážku radiálním přísuvem na dva přísuvy (obr. 54). Zásadní výhoda početní smyčky tkví v tom, že se dá použít pro jakýkoliv průměr osazení s různým počtem drážek. Změna spočívá pouze v přemístění výchozí polohy nástroje před drážkou, což lze snadno provést, a není třeba tvořit úplně nový podprogram pro drážky. Proměnná INT na začátku programu znamená celé číslo se znaménkem, přičemž se počítá směrem nahoru od nejmenší po největší zadanou hodnotu. Jedná se tedy o celočíselné programování. [30]



Obr. 54 Radiální přísuv nože při soustružení drážky.

Zápis smyčky FOR v podprogramu pro vyhrubování drážek vypadá následovně [30; 31]:

```

DEF INT DOLEVA      ; příkaz pro definování uživatelské proměnné, INT – celé číslo
G18                 ; aktivování programování v rovině X a Z
G91 DIAMOF         ; aktivování přírůstkového programování
FOR DOLEVA=1 TO 6   ; početní smyčka s opakováním od 1 do 6
G1 Z=-2,34 F.2      ; hodnota, o kterou se posune nůž na další drážku ve smyčce
G1 X-1,5            ; přísuv strojním posuvem v záporném směru osy X o 3 mm
G1 X-1,21           ; přísuv strojním posuvem o hodnotu v ose X o -2,21 mm
G1 X2,71            ; návrat do výchozí polohy nástroje
ENDFOR              ; ukončení cyklu početní smyčky
G90                 ; přepnutí do absolutního programování
M17                 ; konec podprogramu

```

Zápis smyčky FOR v podprogramu pro konturu drážky má potom podobu následující [30; 31]:

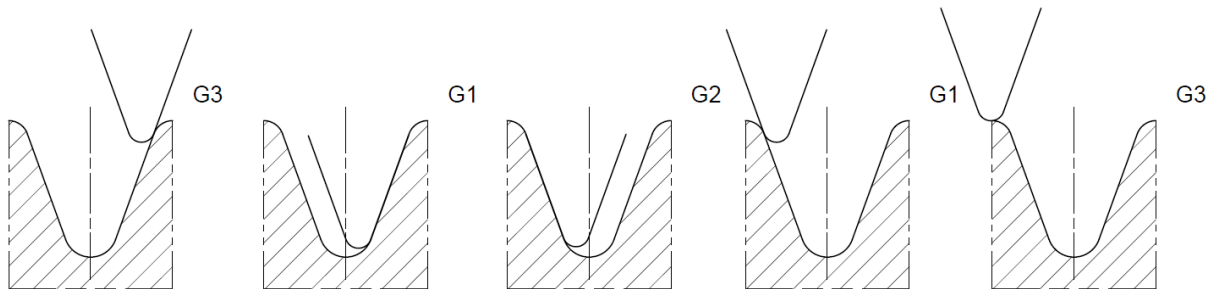
```

DEF INT DOLEVA      ; příkaz pro definování uživatelské proměnné, INT – celé číslo
G18                 ; aktivování programování v rovině X a Z
G91 DIAMOF         ; aktivování přírůstkového programování
FOR DOLEVA=1 TO 6   ; početní smyčka s opakováním od 1 do 6
G3 X-0.263 Z-0.376 CR=0.2 ; kruhová interpolace a koncový bod kružnice

```



G1 X-1.872 Z-0.682 ; lineární pohyb nástroje strojním posuvem  
 G2 X0 Z-0.681 CR=0.12 ; kruhová interpolace s koncovým bodem kružnice  
 G1 X1.872 Z-0.682 ; lineární pohyb nástroje strojním posuvem  
 G3 X0.263 Z-0.188 CR=0.2 ; kruhová interpolace s koncovým bodem kružnice  
 ENDFOR ; ukončení cyklu početní smyčky  
 G90 ; přepnutí do absolutního programování  
 M17 ; konec podprogramu



Obr. 55 Dráha nástroje v průběhu výroby jedné drážky.

Kompletní CNC program vypadá následovně [30; 31]:

G18 G90 G54 ; nastavení funkcí (rovina XZ, absolutní programování, nastavení obrobku)  
 DIAMON ; programování průměru  
 G96 S450 ; konstantní řezná rychlost v m/min  
 LIMS=3600 ; limit otáček  
 F0.2 ; posuv  
 WORKPIECE(,,,"CYLINDER",64,2,-64,-53,100)  
 ; nastavení obrobku  
 ; MSG ("zarovnani\_cela") ; zápis zprávy  
 T1 H1 D1 ; výměna nástroje, stranový nůž uběrací levý  
 G0 X101 Z1 M4 ; posuv rychloposuvem na pozici před obrobek, zapnutí otáček  
 G0 Z0 M8 ; posuv rychloposuvem do pozice Z0, zapnutí chlazení  
 G1 G-1 ; zarovnání čela  
 G1 Z2 ; najetí před čelo obrobku  
 G0 X105 Z120 M5 M9 ; odjezd nástroje, vypnutí otáček, vypnutí chladicí kapaliny  
 T3 H1 D1 ; výměna nástroje, stranový nůž uběrací levý  
 G0 X101 Z2 M4 M8 ; přejezd rychloposuvem před čelo obrobku  
 G96 S550 ; změna otáček  
 ; MSG ("obrabeni\_kontury\_remenice")  
 ; zápis zprávy  
 CYCLE62("OSAZENI", 0,) ; přivolání podprogramu kontury  
 CYCLE952("osazeni", "", 1201331,0.2,0.1,0.4,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0,0,0,,,,,2,2,,0,1,,0,12,1100  
 010,1,0,0.1)  
 ; hrubování osazení řemenice  
 G0 X101 Z5 ; odjezd rychloposuvem před čelo obrobku

---

M5 M9 ; vypnutí otáček a chladicí kapaliny  
G0 Z120 ; odjezd rychloposuvem na výměnu nástroje  
; MSG ("obrabeni\_drazek") ; vypsání zprávy  
T4 H1 D1 ; výměna nástroje, kopírovací nůž  
G0 X101 ; přejezd rychloposuvem  
G0 Z0.17 ; přejezd rychloposuvem před do startovací pozice čítací smyčky  
G0 X31 M4 M8 ; přejezd rychloposuvem nad obrobek, zapnutí otáček a chlazení  
G96 S550 F0.15 ; změna řezné rychlosti a posuvu  
; MSG ("hrubovani\_drazek\_pr\_30")  
; vypsání zprávy  
IF\_DRAZKA ; přivolání podprogramu hrubování drážky  
G0 X31 ; odjezd rychloposuvem nad obrobek  
G0 Z1 ; odjezd rychloposuvem před čelo obrobku  
; MSG ("kontura\_drazky\_pr\_30")  
; vypsání zprávy  
G42 ; zapnutí levé korekce  
G1 X30 ; příjezd strojním posuvem na začátek čítací smyčky  
G1 Z-1 ; příjezd strojním posuvem na začátek čítací smyčky  
IF\_7 ; přivolání podprogramu kontury drážky  
G40 ; vypnutí levé korekce  
G0 X31 ; odjezd rychloposuvem  
G0 X97 ; odjezd rychloposuvem před další drážku  
G0 Z-29.83 ; příjezd rychloposuvem před pozici další drážky  
IF\_DRAZKA ; přivolání podprogramu hrubování drážky  
G0 X97 ; odjezd rychloposuvem nad obrobek  
G0 Z-29 ; odjezd rychloposuvem před čelo obrobku  
G42 ; zapnutí levé korekce  
G1 X96 ; příjezd strojním posuvem na začátek čítací smyčky  
G1 Z-31 ; příjezd strojním posuvem na začátek čítací smyčky  
IF\_7 ; přivolání podprogramu kontury drážky  
G40 ; vypnutí levé korekce  
M5 M9 ; vypnutí otáček a chlazení  
G0 X97 ; odjezd rychloposuvem nad obrobek  
G0 X120 ; odjezd rychloposuvem do bezpečné vzdálenosti  
G0 Z120 ; odjezd rychloposuvem do bezpečné vzdálenosti před obrobek  
M30 ; konec programu

Samotný podprogram osazení řemenice má následující podobu:

G18 G90 DIAMON  
G0 Z0 X29; \*GP\*  
G1 X30 CHR=.5; \*GP\*

---

G1 Z-30; \*GP\*

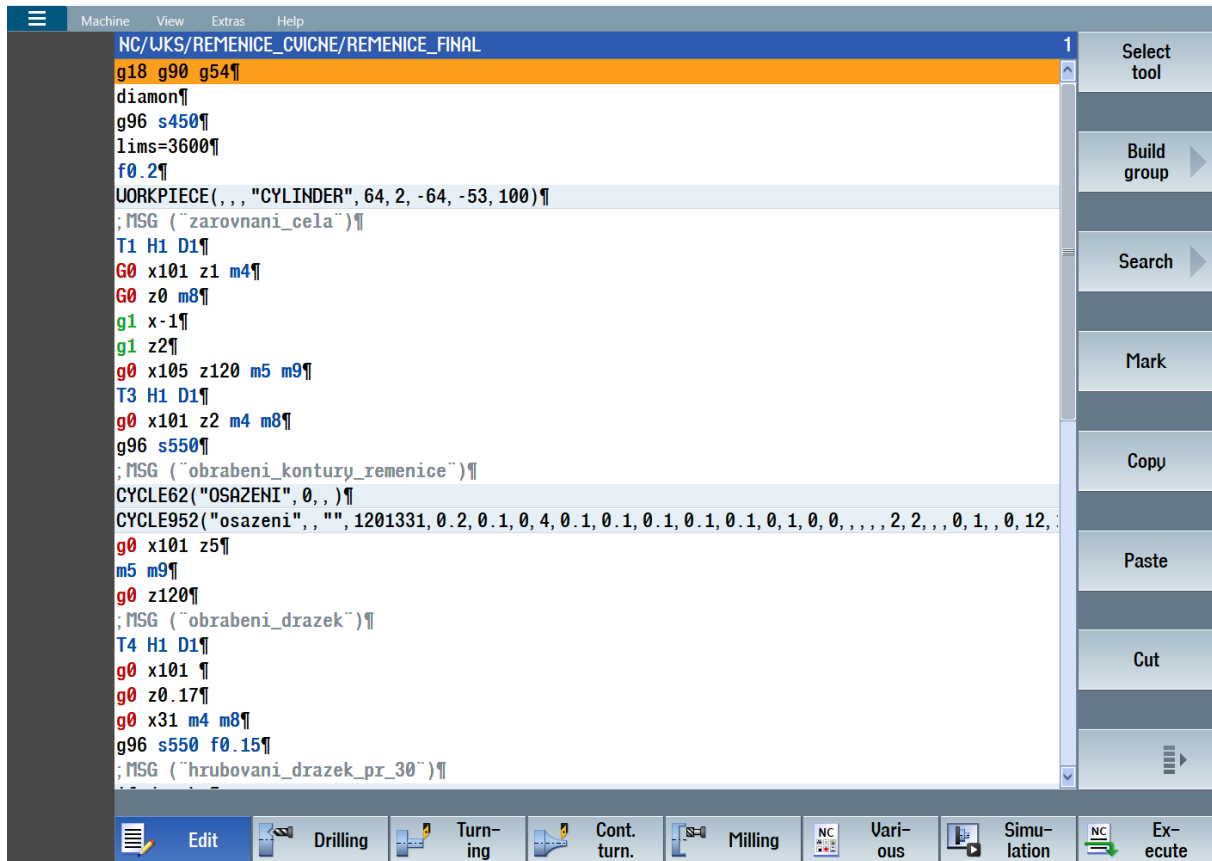
G1 X96 CHR=.5; \*GP\*

G1 Z-50; \*GP\*

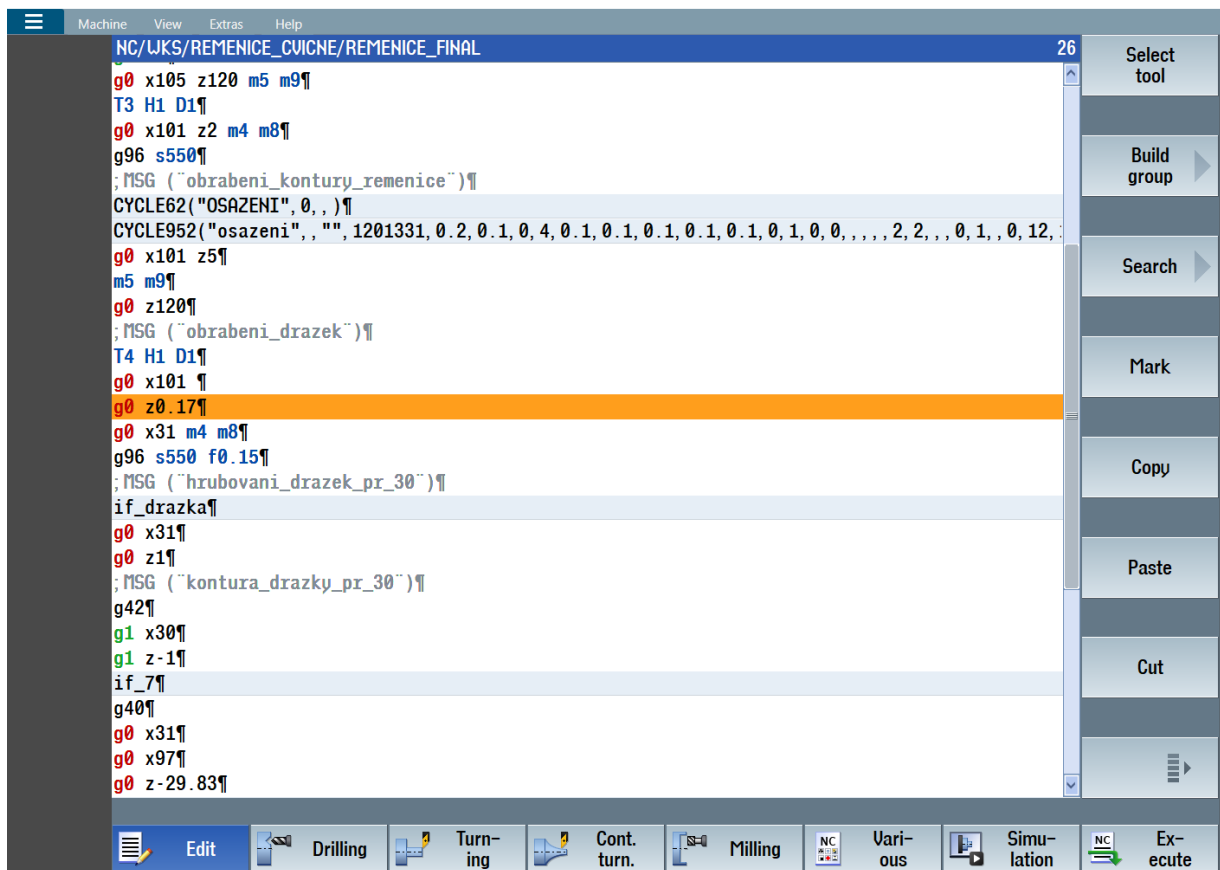
G1 X101; \*GP\*

M17

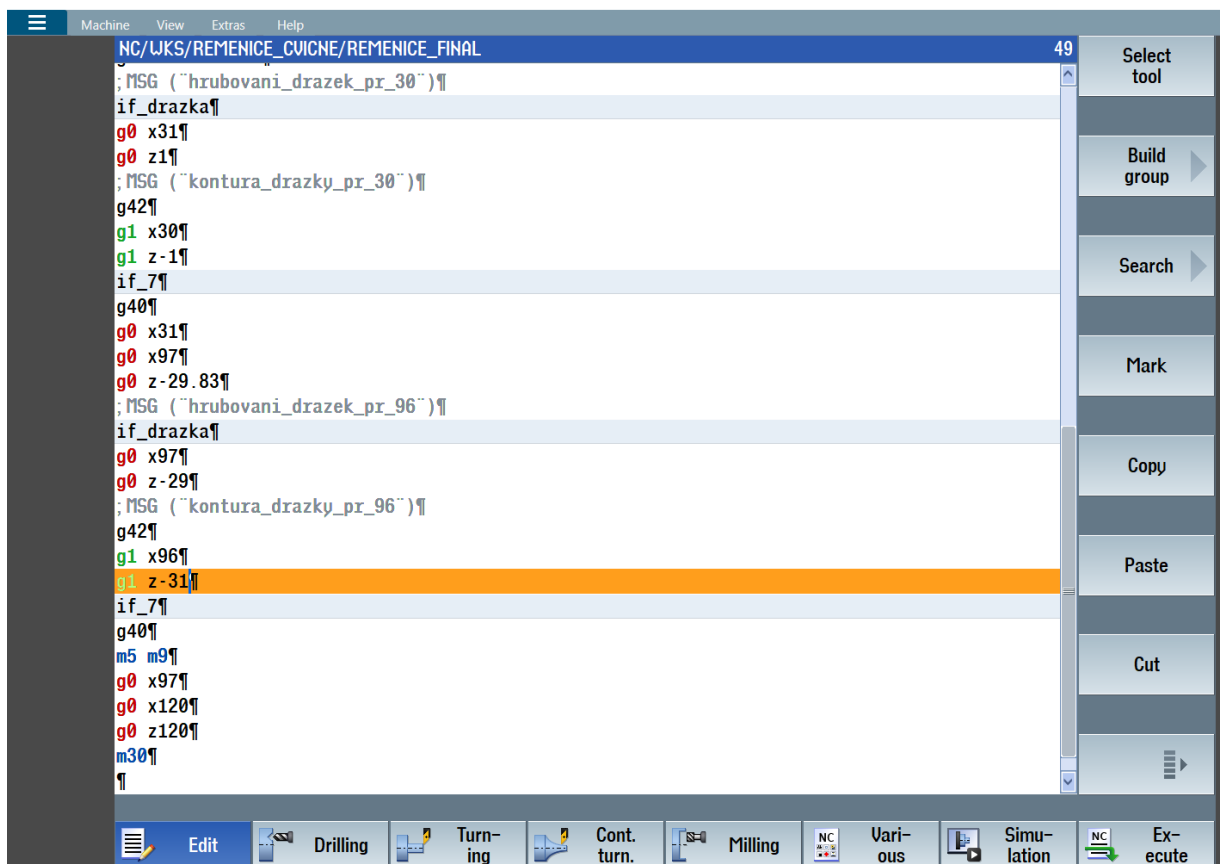
Na Obr. 56 až 62 je zobrazen kompletní CNC program včetně verifikace a vyrobené řemenice.



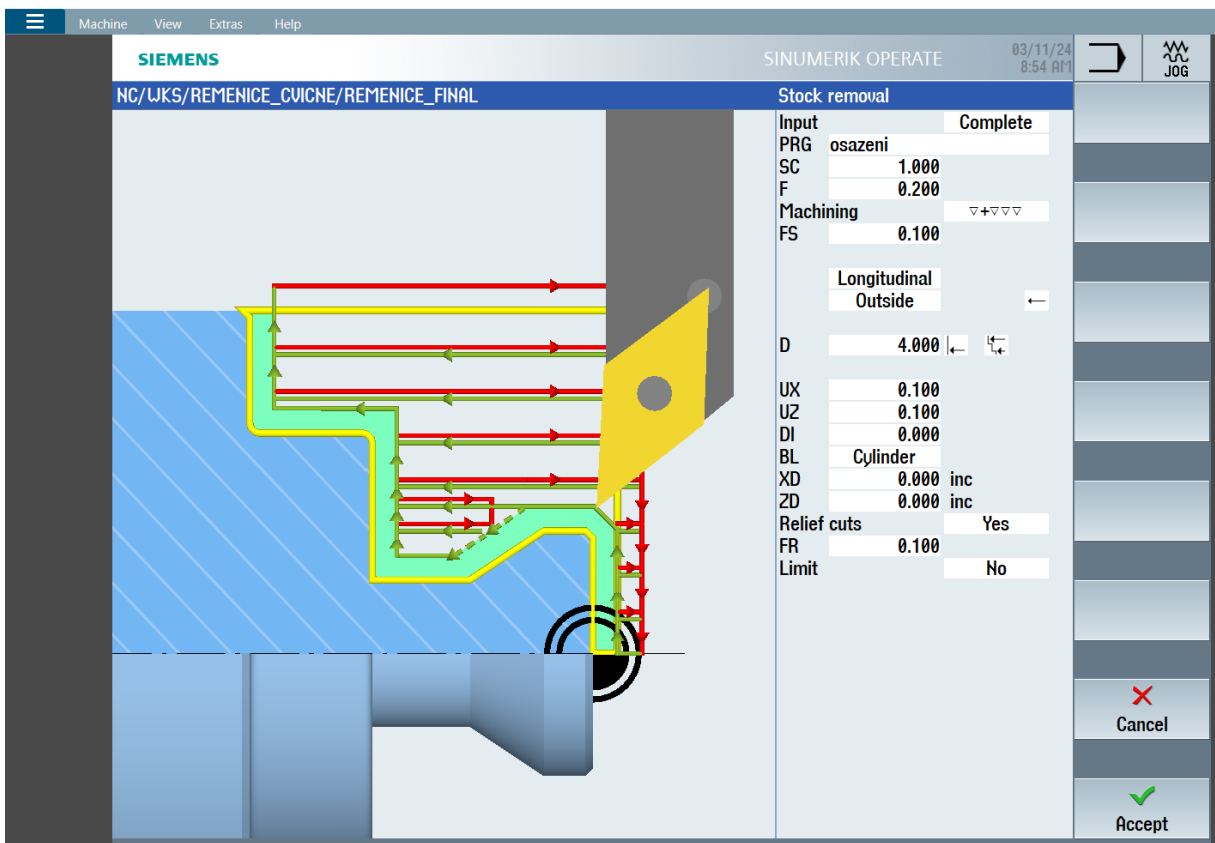
Obr. 56 Hlavní program.



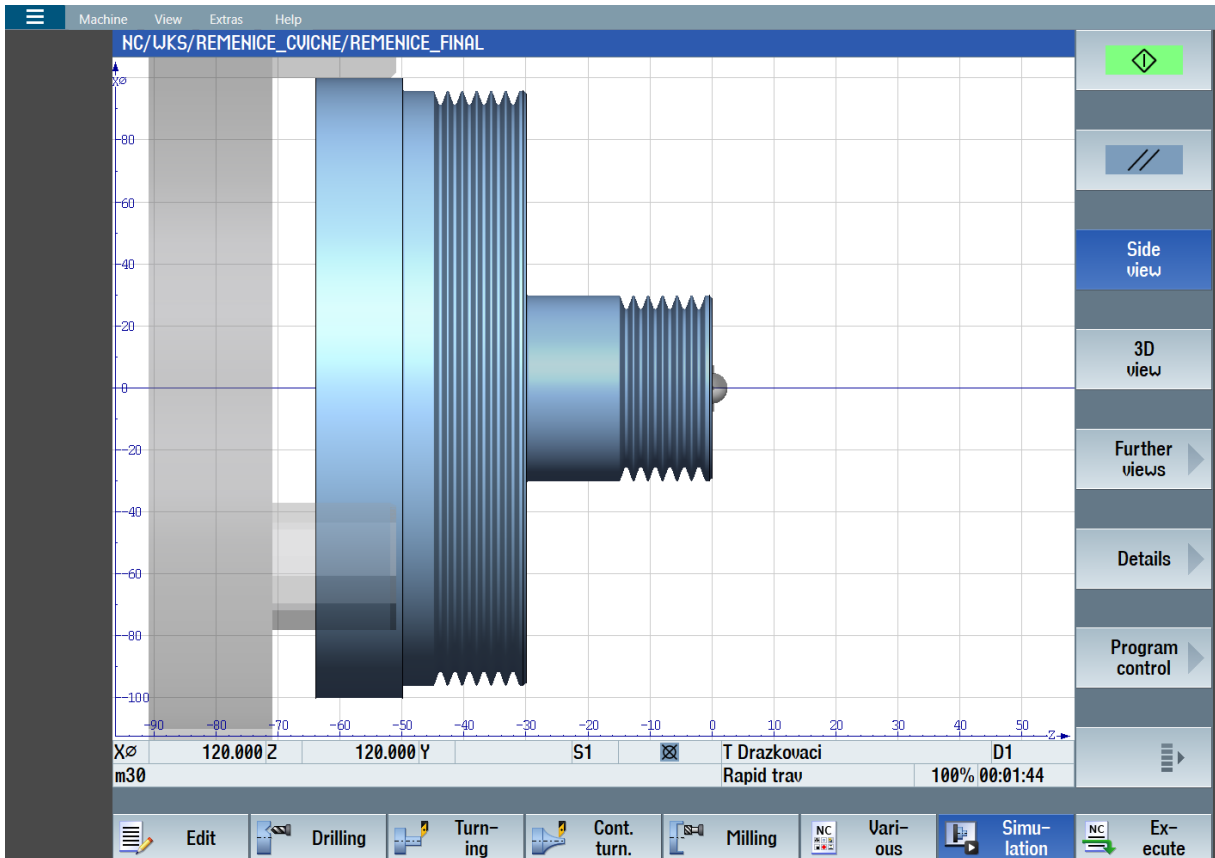
Obr. 57 Hrubování drážek.



Obr. 58 Soustružení kontury drážek.



Obr. 59 Cyklus pro úběr materiálu.



Obr. 60 Simulace CNC programu pro výrobu řemenic.

|       | X1[mm] | Z1[mm]   | C1[stup] |
|-------|--------|----------|----------|
| hrubě | 0.000  | -86.236  | 0.000    |
| jemně | 0.000  | 0.000    | 0.000    |
| hrubě | 0.000  | -111.913 | 0.000    |
| jemně | 0.000  | 0.000    | 0.000    |
| hrubě | 1.000  | -110.327 | 0.000    |
| jemně | 0.000  | 0.000    | 0.000    |
| hrubě | 0.000  | -100.530 | 0.000    |
| jemně | 0.000  | 0.000    | 0.000    |

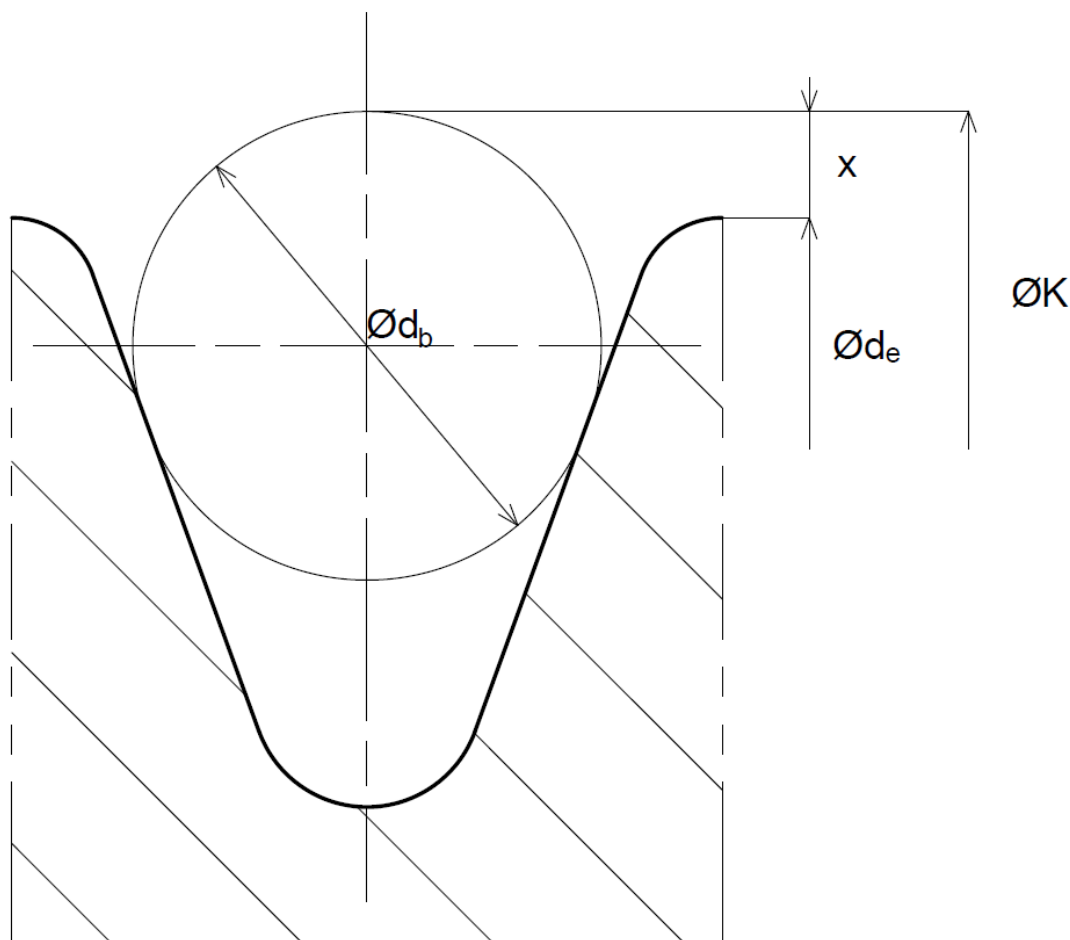
Obr. 61 Pohled na tabulku s korekcemi nástroje.



Obr. 62 Vyrobené řemenice podle CNC programu.

#### 4.5 Metodika kontroly drážek řemenice

Nezbytnou součástí každé výroby je kontrola kvality rozměrů vyrobené součásti, která musí odpovídat předepsaným rozměrům a tolerancím na výkrese. Funkční částí drážky jsou boční plochy, které jsou v kontaktu s řemenem. Kvalita opracování drážek nesmí být horší než  $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ . V tomto konkrétním případě je na výkrese předepsána drsnost povrchu drážek  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ . Dalším parametrem určujícím funkčnost drážek je tzv. průměr přes kuličky nebo průměr přes drátky **K**. Ten je určen parametrem **x**, jak je vidět na Obr. 63.



Obr. 63 Schéma měření průměru přes drátky nebo kuličky.

Pro profil PH je parametr  $2x = 0,23$  mm. Průměr přes drátky  $K$  je dán následujícím vztahem [32]:

$$K = 2x + d_e \text{ [mm]}, \quad (4.5)$$

kde:  $d_e$  – vnější průměr řemenice [mm],  
 $x$  – je parametr z tabulek, který se pro každý typ profilu liší [mm],  
 $K$  – je průměr přes kuličky nebo drátky [mm].

Tab. 5.1 Tolerance průměru přes drátky [32].

| Rozměr přes drátky, $K$ [mm] | Tolerance [mm] |
|------------------------------|----------------|
| $K \leq 75$                  | $\pm 0,3$      |
| $75 < K \leq 200$            | $\pm 0,6$      |
| Pro každých 25 mm navíc      | $\pm 0,1$      |

Hodnoty průměrů přes drátky byly naměřeny pomocí dvou mikrometrů (obr. 64). Pro průměr řemenice 30 mm vyšla teoretická hodnota průměru přes drátky  $K = 30,23 \pm 0,3$  mm. Naměřené hodnoty průměru přes drátky činily pro první řemenici  $K = 30,316$  mm. U druhé řemenice vyšel průměr přes drátky  $K = 30,416$  mm (obr. 65). Změřené rozměry jsou tedy v toleranci. V pro průměr řemenice 96 mm vyšla teoretická hodnota průměru přes drátky  $K = 96,23 \pm 0,6$  mm. Následně naměřený průměr přes drátky v prvním případě vyšel  $K = 96,434$  mm. V druhém případě byla naměřena hodnota průměru přes drátky  $K = 96,428$  mm (obr. 66). I v tomto případě jsou rozměry vyrobeny v toleranci.



Obr. 64 Měření rozměrů přes drátky.



Obr. 65 Měření rozměru přes drátky na menším osazení.

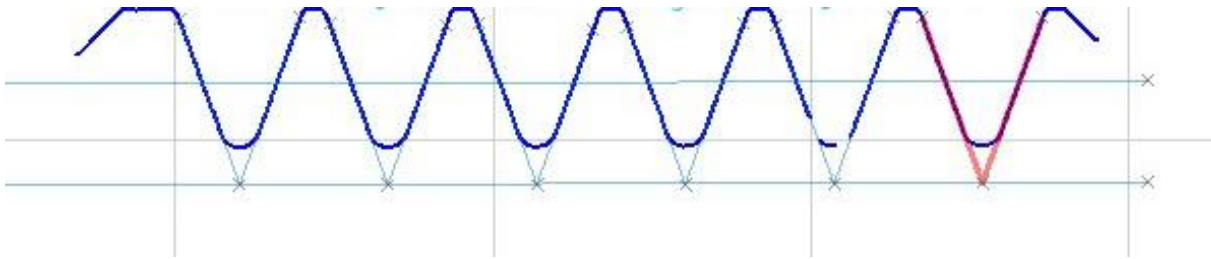


Obr. 66 Měření rozměru přes drátky na větším osazení.

Následně byl změřen profil drážek na přístroji IFM G4 od firmy Alicona. Nejdůležitějším parametrem drážek je jejich rozteč, která má toleranci  $\pm 0,025$  mm a součet tolerancí rozteče všech drážek nesmí přesáhnout  $\pm 0,25$  mm. Naměřená hodnota rozteče mezi drážkami vyšla  $P = 2,340$  mm. Rozteč drážek se tedy nachází přímo uprostřed tolerance. Dalším zkoumaným



parametrem byl úhel drážek  $\alpha = 40^\circ \pm 0,5^\circ$  (obr. 67). Úhly všech drážek byly vyrobeny v toleranci. Úhel s největší odchylkou byl naměřen  $\alpha = 40,28^\circ$ .

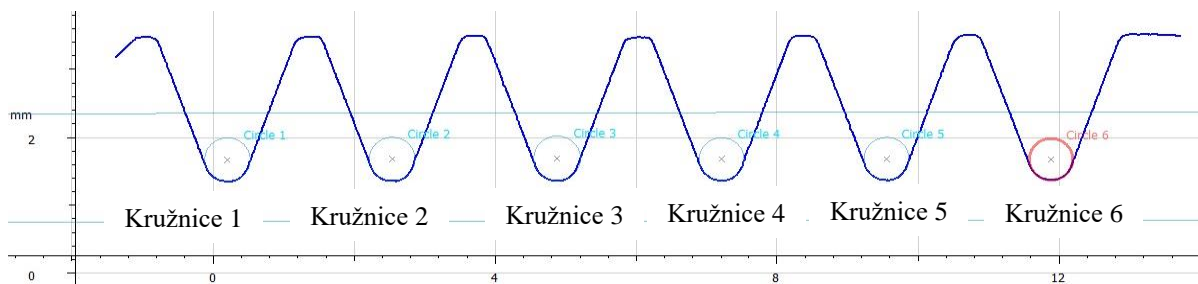


Obr. 67 Měření úhlů drážek.

Poloměr na dně drážky  $R_1 = 0,32 \pm 0,06$  mm byl rovněž vyhodnocován (obr. 68). I v tomto případě se naměřené hodnoty nacházely v toleranci. Naměřené hodnoty byly vyexportovány do excelu. V tab. 8 jsou zaznamenány jednotlivé hodnoty naměřených rádiusů.

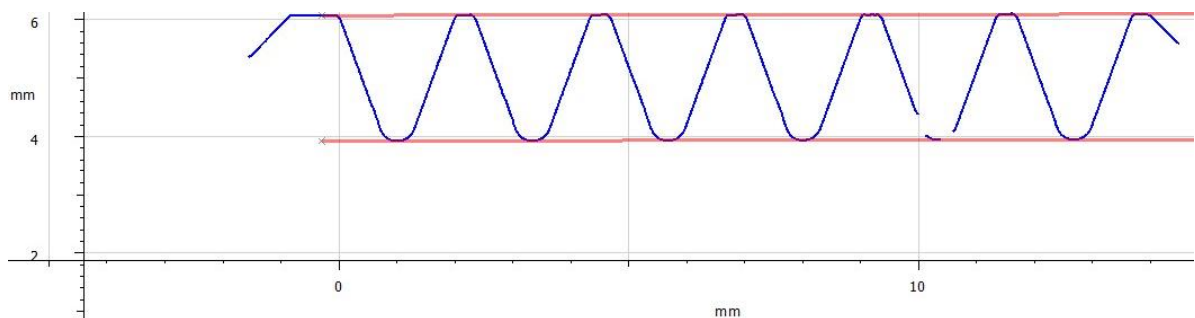
Tab. 8 Hodnoty naměřených rádiusů.

|            | Rádus [ $\mu\text{m}$ ] |
|------------|-------------------------|
| Kružnice 1 | 324.289                 |
| Kružnice 2 | 325.946                 |
| Kružnice 3 | 332.789                 |
| Kružnice 4 | 319.264                 |
| Kružnice 5 | 319.184                 |
| Kružnice 6 | 308.880                 |



Obr. 68 Měření rádiusů na dně drážek.

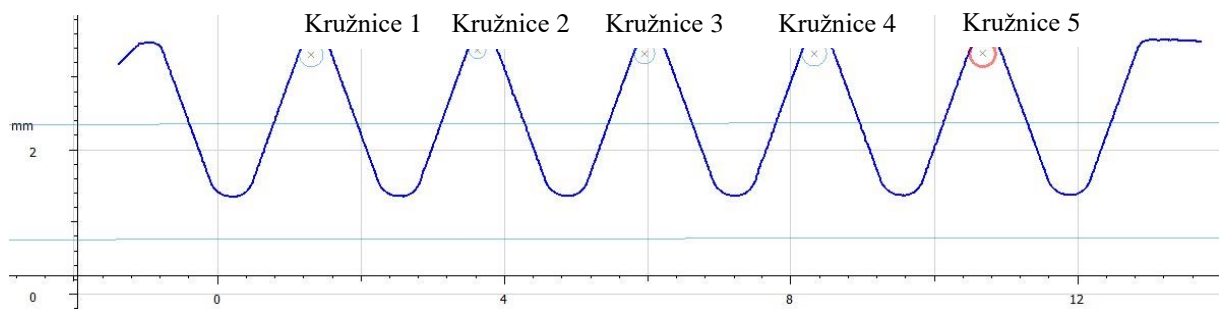
V neposlední řadě se měřila samotná výška drážky  $G = 2,21 \pm 0,13$  mm (obr. 69). I tento rozměr vyhovuje předepsané toleranci při naměřené hodnotě  $G = 2,165$  mm.



Obr. 69 Měření výšky drážky.

Posledním měřeným parametrem byl rádius na vrcholu profilu  $R_2 = 0,2$  mm (obr. 70). Zde nebyly naměřeny vyhovující hodnoty. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že drážka byla

mělká a rádius na vrcholu profilu nebyl obroběn celý, ale nástroj částečně vyjel ven z místa řezu (tab. 9). Tento nedostatek lze eliminovat tak, aby soustružnický nůž vyrobil drážku o něco hlouběji a nástroj již nevyjede z řezu ven, ale vyrobí potřebný rádius na vrcholu profilu.



Obr. 70 Měření rádiusů na vrcholu drážek.

Tab. 9 Hodnoty naměřených rádiusů.

|            | Rádius [ $\mu\text{m}$ ] |
|------------|--------------------------|
| Kružnice 1 | 166.344                  |
| Kružnice 2 | 118.580                  |
| Kružnice 3 | 144.977                  |
| Kružnice 4 | 173.023                  |
| Kružnice 5 | 179.718                  |

Při měření byla odhalena na vrcholu profilu zplastizovaná oblast (obr. 71) o výšce asi 0,012 mm, která pravděpodobně vznikla při výjezdu nástroje z místa řezu, přičemž došlo k nahrnutí materiálu před břit. Podle všeho je to způsobeno rádiusem špičky nástroje, kdy tloušťka odebírané třísky je menší než poloměr zaoblení špičky a dochází tak k napěchování materiálu a k plastické deformaci vrstvy materiálu.



Obr. 71 Zplastizovaná oblast.

#### 4.6 Náklady na výrobu jedné řemenice

Aby bylo možné stanovit náklady na výrobu jedné řemenice, je nutné stanovit výrobní náklady pro jednotlivé stroje podle vztahu (4.6).

Jednotkové náklady pro stroj SPN 12 CNC [33]:

$$\begin{aligned}
 N_{Aps} &= \frac{N_{hs}}{60} \cdot t_{mA} \text{ [Kč/ks]}, \\
 &= \frac{1200}{60} \cdot 5,57 = 111,4 \text{ [Kč/ks]},
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

kde:  $N_{hs}$  – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/h],  
 $t_{mA}$  – jednotkový čas CNC stroje [min].

Jednotkové náklady pro stroj SV 18 RA/750 [33]:

$$\begin{aligned} N_{Aps} &= \frac{N_{hs}}{60} \cdot t_{mA} \text{ [Kč/ks]}, & (4.7) \\ &= \frac{650}{60} \cdot 4,41 = 47,8 \text{ [Kč/ks]}, \end{aligned}$$

kde:  $N_{hs}$  – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/h],  
 $t_{mA}$  – jednotkový čas pro stroj SV 18 RA/750 [min].

Jednotkové náklady pro stroj SG220 [33]:

$$\begin{aligned} N_{Aps} &= \frac{N_{hs}}{60} \cdot t_{mA} \text{ [Kč/ks]}, & (4.8) \\ &= \frac{600}{60} \cdot 12 = 120 \text{ [Kč/ks]}, \end{aligned}$$

kde:  $N_{hs}$  – náklady na hodinu provozu stroje [Kč/h],  
 $t_{mA}$  – jednotkový čas pro stroj SV 18 RA/750 [min].

Náklady na polotovar [33]:

$$\begin{aligned} N_{pol} &= m_{pol} \cdot N_m \text{ [Kč]}, & (4.9) \\ &= 150 \cdot 1,3 = 195 \text{ [Kč]}, \end{aligned}$$

kde:  $m_p$  – hmotnost polotovaru [kg],  
 $N_m$  – cena materiálu polotovaru [Kč/kg].

Náklady na nástroje [33; 34]:

$$\begin{aligned} N_T &= \frac{N_1}{n_B} + \frac{N_2}{z} + N_S \text{ [Kč]}, & (4.10) \\ &= \frac{305}{14 \cdot 4} + \frac{1650}{1000} + \frac{1200}{8 \cdot 6} + \frac{6000}{1000} + \frac{336}{8 \cdot 3} + \frac{1771}{1000} + \frac{220}{250 \cdot 10} + \frac{935}{130 \cdot 15} + \frac{745}{120 \cdot 6} \\ &\quad + \frac{2711}{100} = 82,58 \text{ [Kč]}, \end{aligned}$$

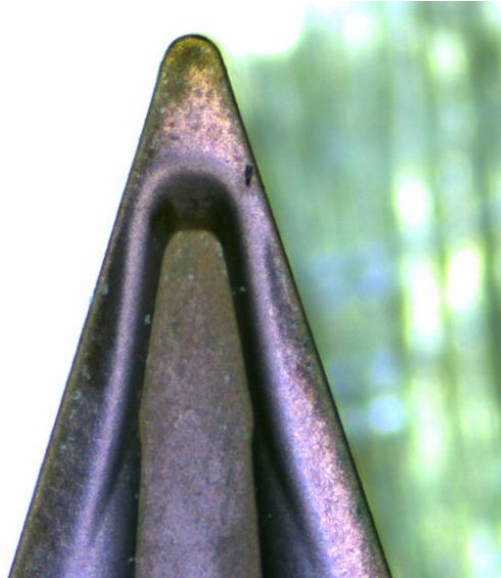
kde:  $N_1$  – cena VBD [Kč],  
 $N_2$  – cena držáku VBD [Kč],  
 $z$  – životnost držáku [-],  
 $n_B$  – počet břitů VBD [-],  
 $N_S$  – náklady na upnutí VBD [Kč]

$$N = N_{pol} + N_T + N_{Aps} \cdot \frac{R}{100} = 195 + 82,58 + 279,2 \cdot \frac{260}{100} = 1002,98 \text{ [Kč]}, \quad (4.11)$$

kde:  $N_{pol}$  – náklady na polotovar [Kč],  
 $N_T$  – náklady na nástroje [Kč],  
 $R$  – režijní náklady [Kč/ks]. [33]

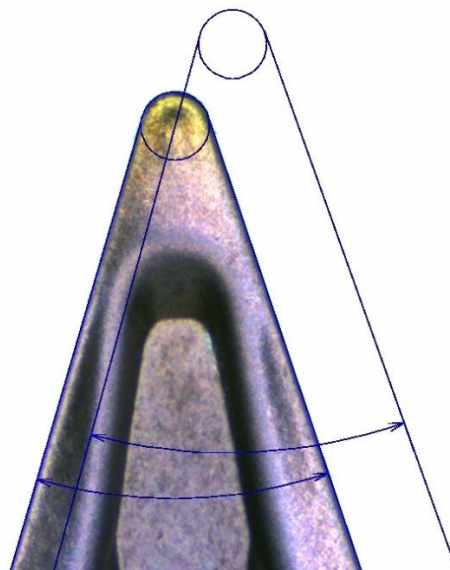
## 5 MĚŘENÍ PARAMETRŮ VBD

V rámci praktické části se řešily rovněž rozměry VBD pro výrobu drážek. Měření proběhlo v laboratoři VUT FSI. První měření se uskutečnilo na měřicím mikroskopu MarVision MM 420, kde se měřil úhel špičky nástroje  $\epsilon_r$ , který se nachází mezi hlavním a vedlejším ostřím. Dalším zkoumaným parametrem byl rádius špičky ostří  $r_\epsilon$ , kde se zkoumalo, zda výrobcem deklarovaný rádius zaoblení špičky  $r_\epsilon = 0,2$  mm skutečně odpovídá realitě (obr. 72).



Obr. 72 Měření rádiusu špičky ostří.

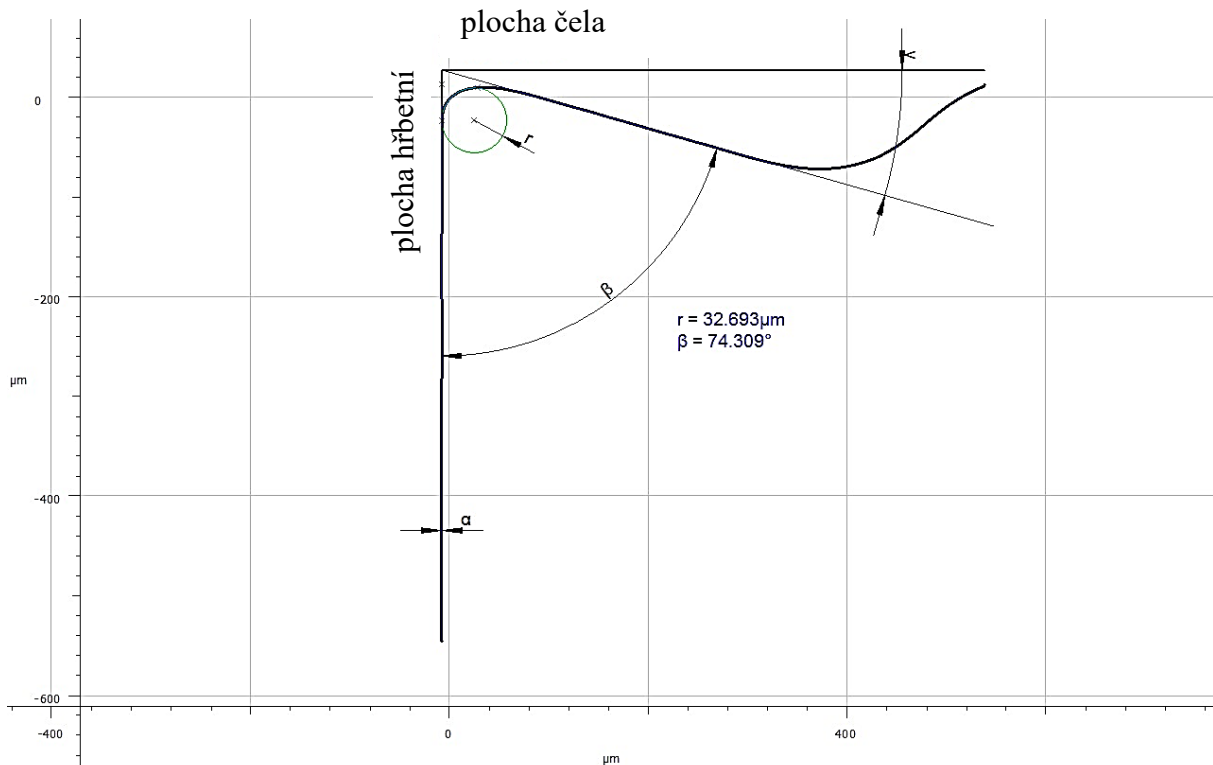
Naměřené hodnoty potvrdily výrobcem deklarovaný úhel špičky nástroje, který byl změřen dvakrát. V prvním měření vyšla hodnota úlu špičky nástroje  $34^\circ 53' 5''$  a po druhém měření byla hodnota úhlu  $34^\circ 54' 2''$  (obr. 73). V druhém případě se měřil rádius špičky nástroje a jejich hodnoty pro obě měření vyšly  $r_\epsilon = 0,272$  mm. Výrobcem předepsaný poloměr zaoblení špičky nástroje nebyl splněn.



Obr. 73 Měření úhlu špičky nástroje.

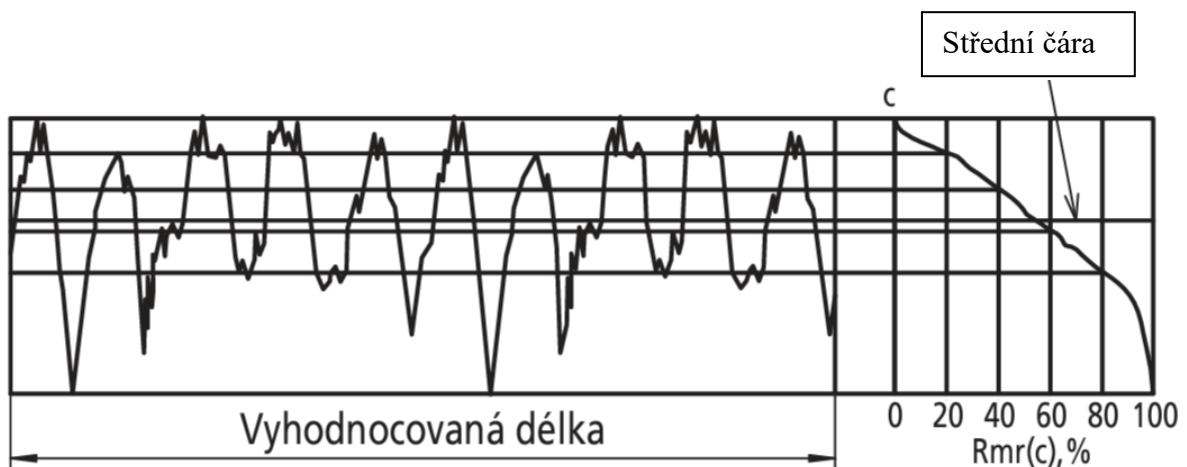
V dalším měření byla destička proměřována na přístroji IFM G4 od firmy Alicona, kdy se kromě nástrojových úhlů (obr. 74) měřily parametry drsnosti opracovaných ploch, a to na ploše

čelní a na ploše hřbetní. Naměřená data byla následně zpracována v programu IF-Laboratory Measurement.



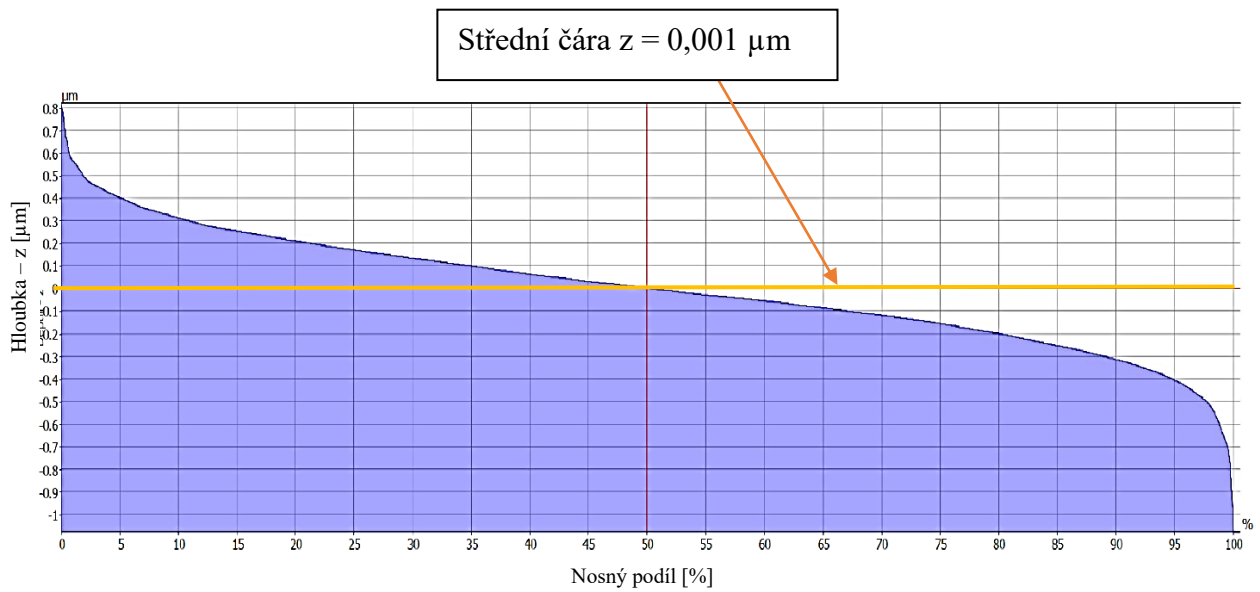
Obr. 74 Měření nástrojových úhlů VBD.

V druhém případě byly měřeny parametry drsnosti povrchu. Tyto parametry mohou být popsány tzv. křivkou nosného podílu nebo také Abbott-Firestoneovou křivkou na Obr. 75. Tato křivka nám znázorňuje, kolik procent materiálu prvku profilu se nachází nad nebo pod křivkou střední čáry. Přičemž tam, kde nejvyšší výstupek, je poměrné množství materiálu 0 % a v nejhlubším místě 100 % materiálu. [35]



Obr. 75 Vyhodnocovaná délka [35].

Naměřené hodnoty potvrdily vysokou kvalitu opracovaného povrchu, kdy střední čára je o pouhé  $0,002 \mu\text{m}$  nad nulovou čarou. Je zřejmé, že výstupky a prohlubně na Obr 76. jsou přibližně stejné a přibližně stejně rozmístěné po ploše. Tento fakt předurčuje odolnost vůči opotřebení destičky a její životnost.



Obr. 76 Vyhodnocení měřeného povrchu pomocí Abbott-Firestoneovou křivkou.

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu čelní plochu dosáhly hodnot  $R_a = 0,195 \mu\text{m}$  a  $R_z = 1,534 \mu\text{m}$ . Naměřené parametry svědčí o vysoké kvalitě opracování VBD.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce řešila výrobu zadaných řemenic na soustruhu SPN 12 CNC. Praktická část se zaměřuje na možné varianty tvorby vhodného CNC programu pro konkrétní řemenice, respektive drážky řemenic. Nejdůležitější částí práce je návrh CNC programu pro výrobu samotných drážek, kde se po rozboru možných metod výroby drážek aplikovala čítací funkce FOR/ENDFOR, ve kterém byla popsána kontura jedné drážky pomocí přírůstkového programování s ohledem na poloměr špičky nástroje. Hlavní předností čítací funkce FOR/ENDFOR je jeho variabilita a snadná změna při změně průměru řemenice a počtu drážek. Tento úkol byl splněn a přistoupilo se k samotné výrobě řemenic na již zmíněném soustruhu SPN 12 CNC. Po provedeném měření funkčních rozměrů lze konstatovat, že drážky jsou plně funkční a použitelné i přes nedostatky zjištěné při kontrole rozměrů součástí. Tyto nedostatky lze relativně snadno odstranit vhodnou úpravou korekcí konkrétního nástroje, kterým byly drážky soustruženy. Vytvořený CNC program se ukázal jako funkční a po drobných úpravách použitelný i v průmyslové výrobě. Náklady na výrobu jedné řemenice činí asi 1003 Kč.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. RUSNÁK, Juraj; GAJDUŠ, Ján a KADNÁR, Milan. *Konštrukčné prvky strojov. Prevody*. Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. ISBN 9788055200484.
2. PĚKNÝ, Antonín. *Části strojů*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství Praha, 1972. ISBN 07-074-72.
3. BOHÁČEK, František. *Části a mechanismy strojů III: převody*. Brno: VUT, 1982. ISBN 80-214-0406-X.
4. *MODELING AND OPTIMIZATION OF POWER LOSSES IN POLY-V BELT TRANSMISSIONS: APPLICATION TO THE FRONT ENGINE ACCESSORY DRIVE OF TRUCKS*. Online, Disertace. INSA Lyon (Francie): INSA Lyon (Francie), 2018. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://lamcos.insa-lyon.fr/files/theses/1449-these.pdf>. [cit. 2024-05-05].
5. *Accessory drive system*. Online. Pace performance. Dostupné z: <https://paceperformance.com/i-23871567-holley-performance-accessory-drive-system-kit-20-185.html>. [cit. 2024-05-04].
6. *Polyuretanové drážkové řemeny*. Online. TYMA CZ. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/drazkove-remeny/polyuretanove/>. [cit. 2024-05-04].
7. SILVA, Ferreira; ANGE ANDRIANOELY, Marie; MANIN, Lionel; AYASAMY, Selven; SANTINI, Clement et al. Optimization of power losses in poly-V belt transmissions via genetic algorithm and dynamic programming. Online. *Mechanism and Machine Theory*. 2018. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/327991679>. [cit. 2024-05-04].
8. *Accessory drive*. Online. My Cardictionary. Dostupné z: <https://www.my-cardictionary.com/engine/accessory-drive.html>. [cit. 2024-05-04].
9. *V-belt can be converted to Hutchinson ribbed belt*. Online. Dostupné z: <https://www.hutchinsontransmission.com/products-solutions/industry/v-belt>. [cit. 2024-05-05].
10. *Belt Theory*. Online. Bestorq. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.bestorq.com/Library/TechInfo/techinfo/theory.pdf>. [cit. 2024-05-05].
11. *Poly V Industry The belt for all applications*. Online. Hutchinson. Dostupné z: <https://www.hutchinsontransmission.com/products-solutions/industry/poly-v>. [cit. 2024-05-04].
12. *Poly-V Pulleys & Belt Drives*. Online. Naismith Engineering. Dostupné z: [https://www.naismith.com.au/upload\\_pdfs/165-98767242556553122a7adb.pdf](https://www.naismith.com.au/upload_pdfs/165-98767242556553122a7adb.pdf). [cit. 2024-05-05].
13. *Poly V Drive Belts*. Online. TransDev The power in motion. Dostupné z: <https://www.transdev.co.uk/rubber-belts/poly-vee-drive-belts/>. [cit. 2024-05-04].
14. *Poly-V Pulleys*. Online. SIT Drive Solutions. Dostupné z: <https://sitspa.com/poly-v-belt-drives/>. [cit. 2024-05-05].
15. *Klínové řemenice*. Online. Chiaravalli CZ. Dostupné z: <https://docplayer.cz/109509329-Klinove-remenice-klinove-remenice-pro-pouzdra-taper-lock-spz-str-172-spa-str-176-spb-str-181-spc-str-186.html>. [cit. 2024-05-05].



16. MANIN, Lionel; LIANG, Xiaokai a LORENZON, Cédric. Power losses prediction in poly-v belt transmissions: application to front engine accessory drives. Online. *HAL Open Science*. S. 1162-1171. Dostupné z: <https://hal.science/hal-02550199/document>. [cit. 2024-05-06].
17. MANIN, Lionel a MICHON, Guilhem. Entraînements par courroies striées - Architecture et dynamique globale. Online. *Mécanique | Fonctions et composants mécaniques*. Dostupné z: [https://moodle.insa-lyon.fr/pluginfile.php/190078/mod\\_folder/content/0/42182210-bm5690.pdf](https://moodle.insa-lyon.fr/pluginfile.php/190078/mod_folder/content/0/42182210-bm5690.pdf). [cit. 2024-05-06].
18. ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: mechanické převody*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1999. ISBN 80-01-01934-9.
19. *Bezúdržbové klínové řemeny*. Online. MM Průmyslové spektrum. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/bezudrzbove-klinove-remeny>. [cit. 2024-05-06].
20. MANIN, Lionel; BESNIER, Etienne; REMOND, Didier; ANGE ANDRIANOELY, Marie a . Modelling of power losses in poly-V belt transmissions: Influence of design parameters: hysteresis phenomena (standard analysis). Online. *Power Engineering*. S. 1-15. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/310841772\\_Modelling\\_of\\_power\\_losses\\_in\\_poly-V\\_belt\\_transmissions\\_Influence\\_of\\_design\\_parameters\\_Proceedings\\_of\\_the\\_International\\_Conference\\_on\\_Power\\_Transmissions\\_2016\\_ICPT\\_2016\\_Chongqing\\_PR\\_China\\_27-30\\_October#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/310841772_Modelling_of_power_losses_in_poly-V_belt_transmissions_Influence_of_design_parameters_Proceedings_of_the_International_Conference_on_Power_Transmissions_2016_ICPT_2016_Chongqing_PR_China_27-30_October#fullTextFileContent). [cit. 2024-05-07].
21. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - I.ČÁST*. Online. TECHNOLOGIE I. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf). [cit. 2024-05-07].
22. POLZER, Aleš a CIHLÁŘOVÁ, Petra. *Základy CNC programování*. Online. DocPlayer. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7012051-Ing-petra-ehlarova-odborny-garant-doc-ing-miroslav-piska-csc.html>. [cit. 2024-05-07].
23. *Soustružení 2014*. Online. ILKAMETAL. Dostupné z: <https://www.ilkametal.cz/sortiment/pramet/katalogy/turning-2014-cz.pdf>. [cit. 2024-05-07].
24. *KOVONÁSTROJE*. Online. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/vymenitelna-britova-desticka-dnmg-150408-hm-nc3020-tornado/>. [cit. 2024-05-07].
25. *KOVONÁSTROJE*. Online. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/vymenitelna-britova-desticka-dnmg-150408-hm-nc3020-tornado/>. [cit. 2024-05-07].
26. *Hoblování a obrážení*. Online. Techstroj. Dostupné z: <https://techstroj.g6.cz/T/T18.pdf>. [cit. 2024-05-07].
27. PÍŠKA, Miroslav a POLZER, Aleš. *Popis poloautomatického soustruhu SPN12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D*. Online. DocPlayer. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10418840-Ing-petra-ehlarova-odborny-garant-doc-ing-miroslav-piska-csc.html>. [cit. 2024-05-07].
28. *Průručka pro začínající uživatele: Frézování a soustružení SINUMERIK 810D / 840D / 840Di*. Online. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/28823723/Einsteiger\\_Fraesen\\_Drehen\\_1003\\_cz.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/28823723/Einsteiger_Fraesen_Drehen_1003_cz.pdf). [cit. 2024-05-07].

29. *SINUMERIK 840D/840Di/810D/FM-NC*. Online. Support industry siemens. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109439500/PGZ\\_0400\\_en.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109439500/PGZ_0400_en.pdf). [cit. 2024-05-07].
30. *Definition of user variables (DEF)*. Online. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/25034189?c=19609929099&lc=en-AZ>. [cit. 2024-05-07].
31. *Siemens SINUMERIK 840D sl Programming Manual page 113*. online. In: ManualsLib. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1804200/Siemens-Sinumerik-840d-Sl.html?page=113#manual>. [cit. 2024-05-13].
32. *DIN ISO 9982 Pulley Grooves*. Online. Pdfcoffee. Dostupné z: <https://pdfcoffee.com/din-iso-9982-pulley-grooves-pdf-free.html>. [cit. 2024-05-07].
33. JURÁNEK, Martin. *Technologické a ekonomické parametry provozu CNC obráběcích strojů*. 2024.
34. REŇÁK, Antonín. *NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY VYBRANÉ SOUČÁSTI*. Brno: Vysoké učení technické v Brně: Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc., 2011.
35. *Metrologická příručka*. Online. Dostupné z: <https://mitoro.cz/ke-stazeni/metrologicka-prirucka.pdf>. [cit. 2024-05-07].

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Symbols

| Označení             | Legenda  | Jednotka           |
|----------------------|--|--------------------|
| L                    | výpočtová délka řemenice                                 | [mm]               |
| D <sub>p1</sub>      | výpočtový průměr hnací řemenice                          | [mm]               |
| D <sub>p2</sub>      | výpočtový průměr hnané řemenice                          | [mm]               |
| v <sub>1</sub>       | obvodová rychlost hnací řemenice                         | [m/s]              |
| v <sub>2</sub>       | obvodová rychlost hnané řemenice                         | [m/s]              |
| a <sub>p</sub>       | rozteč řemenic   | [mm]               |
| ω <sub>1</sub>       | úhlová rychlost hnací řemenice                           | [rad/s]            |
| ω <sub>2</sub>       | úhlová rychlost hnané řemenice                           | [rad/s]            |
| n <sub>1</sub>       | otáčky hnací řemenice                                    | [1/min]            |
| n <sub>2</sub>       | otáčky hnané řemenice                                    | [1/min]            |
| i <sub>G</sub>       | převodový poměr geometrický                              | [-]                |
| i                    | převodový poměr  | [-]                |
| T <sub>0</sub>       | předpětí v řemenici                                      | [N]                |
| G                    | zatížení břemene   | [N]                |
| y <sub>s</sub>       | průhyb řemenu  | [mm]               |
| M                    | specifická hmotnost řemenu                               | [g/mm]             |
| f                    | vlastní frekvence řemenu                                 | [Hz]               |
| W                    | šířka řemenu   | [mm]               |
| φ <sub>d</sub>       | úhel opásání řemenu                                      | [-]                |
| φ <sub>s</sub>       | úhel skluzu  | [-]                |
| φ <sub>a</sub>       | úhel třecí   | [-]                |
| M <sub>k</sub>       | krouticí moment  | [Nm]               |
| F                    | obvodová síla  | [N]                |
| T <sub>t</sub>       | síla v natahované části řemenem                          | [N]                |
| T <sub>s</sub>       | síla v odlehčované části řemenem                         | [N]                |
| f                    | koeficient tření   | [-]                |
| P <sub>ztrát</sub>   | ztrátový výkon   | [W]                |
| P <sub>hys</sub>     | ztráty výkonu vlivem hystereze                           | [W]                |
| P <sub>ložiska</sub> | ztráty vlivem tření v ložiscích                          | [W]                |
| P <sub>prokluz</sub> | prokluz mezi řemen a řemenicí                            | [W]                |
| P <sub>vibrace</sub> | ztráty vlivem vibrací na vřetení                         | [W]                |
| E*                   | komplexní modul  | [GPa]              |
| E'                   | ztrátový modul řemenu                                    | [GPa]              |
| S <sub>1V</sub>      | příčný průřez řemenu                                     | [mm <sup>2</sup> ] |
| ε <sub>st</sub>      | deformace vlivem tahové síly v řemeni                    | [-]                |
| E'' <sub>Hc</sub>    | je ztrátový modul elastomerového materiálu žebra         | [GPa]              |
| ε <sub>afc</sub>     | hodnota přetvoření vlivem spěchování na bočních stranách | [-]                |
| n                    | počet žeber  | [-]                |
| N <sub>z</sub>       | horizontální složka kontaktní síly N                     | [N]                |
| H* <sub>smyk</sub>   | tloušťka řemenu namáhaného na smyk                       | [-]                |
| G''                  | ztrátový modul ve smyku                                  | [N]                |
| t <sub>AS</sub>      | strojní čas  | [min]              |
| D                    | obráběný průměr  | [mm]               |
| l <sub>n</sub>       | délka náběhu   | [mm]               |
| l <sub>p</sub>       | délka přeběhu  | [mm]               |
| n                    | otáčky   | [1/min]            |

| Označení         | Legenda                              | Jednotka |
|------------------|--------------------------------------|----------|
| v                | řezná rychlost                       | [m/min]  |
| v <sub>z</sub>   | Zpětná rychlost                      | [m/min]  |
| f <sub>dz</sub>  | posuv na dvojjzdvih                  | [mm]     |
| a <sub>p</sub>   | přísuv                               | [mm]     |
| K                | průměr přes kuličky nebo drátky      | [mm]     |
| d <sub>e</sub>   | vnější průměr řemenice               | [mm]     |
| x                | parametr z tabulek                   | [mm]     |
| N <sub>aps</sub> | jednotlivé náklady provozu stroje    | [Kč/ks]  |
| N <sub>hs</sub>  | náklady na hodinu provozu stroje     | [Kč/h]   |
| t <sub>mA</sub>  | jednotkový čas stroje                | [h]      |
| N <sub>pol</sub> | náklady na polotovar                 | [Kč]     |
| m <sub>p</sub>   | hmotnost polotovaru                  | [kg]     |
| N <sub>m</sub>   | cena materiálu polotovaru            | [Kč/kg]  |
| N <sub>1</sub>   | cena VBD                             | [Kč]     |
| N <sub>2</sub>   | cena držáku VBD                      | [Kč/h]   |
| z                | životnost držáku                     | [-]      |
| n <sub>B</sub>   | počet břitů VBD                      | [-]      |
| N <sub>s</sub>   | Náklady na upnutí VBD                | [Kč]     |
| N                | celkové náklady na výrobu 1 řemenice | [Kč]     |
| R                | režijní náklady                      | [Kč]     |

### Zkratky

| Označení | Legenda                      |
|----------|------------------------------|
| VBD      | vyměnitelná břitová destička |

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1      Technologický postup výroby

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Hnací řemenice      2024-DP-200763-01