



**MASARYKŮV ÚSTAV  
VYŠŠÍCH STUDIÍ  
ČVUT V PRAZE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**UČEBNÍ TEXT PRO VÝUKU  
ODBORNÉHO PŘEDMĚTU**

*Autor:* Ing. Jan Balšán

*Vedoucí práce:* Ing. Bc. Kateřina Mrázková



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Balšán** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **466525**  
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**  
Zadávající katedra/ústav: **Institut pedagogických a psychologických studií**  
Studijní program: **Specializace v pedagogice**  
Studijní obor: **Učitelství odborných předmětů**

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Učební text pro výuku odborného předmětu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Textbook for Technical Subject Teaching**

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část.  
Teoretická část bude obsahovat analýzu učiva, popis vyučovaného předmětu a průzkum současných učebních textů.  
Praktická část bude zaměřena na vytvoření učebního textu pro návrh čelní koaxiální převodovky se šikmými nekorigovanými zuby, jež bude sloužit jako postup pro tvorbu ročníkového projektu.

Seznam doporučené literatury:

VANĚČEK, David. Didaktika technických odborných předmětů. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05991-3.  
LEPIL, Oldřich. Teorie a praxe tvorby výukových materiálů: zvyšování kvality vzdělávání učitelů přírodovědných předmětů. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010. ISBN 978-80-244-2489-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Bc. Kateřina Mrázková Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání bakalářské práce: **05.01.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. Bc. Kateřina Mrázková  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. David Vaněček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s využitím citovaných zdrojů.

V Praze dne 04.01.2023

Jan Balšán

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí práce Ing. Bc. Kateřině Mrázkové za cenné rady a pomoc při tvorbě této práce.

Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a toleranci při studiu.

---



- Autor práce:* Ing. Jan Balšán
- Vedoucí práce:* Ing. Bc. Kateřina Mrázková
- Název práce:* Učební text pro výuku odborného předmětu
- Title:* Textbook for teaching the technical subject
- Akademický rok:* 2022/2023
- Studijní program:* B7507 Specializace v pedagogice
- Studijní obor:* 7504R100 Učitelství odborných předmětů
- Ústav:* Institut pedagogických a psychologických studií
- Rozsah práce:* Počet stran: 49  
Počet obrázků: 10  
Počet tabulek: 6
- Klíčová slova:* učební text, konstrukční cvičení, převodovka
- Keywords:* learning text, construction exercise, gearbox
- Anotace:* V rámci teoretické části bakalářské práce je představen předmět Konstrukční cvičení, jehož jedním z hlavních témat je návrh převodovky. Předmět je ukotven v rámci RVP a ŠVP. Je proveden rozbor dostupných studijních materiálů, na jehož základě jsou sestaveny základní požadavky na učební text. Praktická část se zabývá tvorbou učebního textu, který by měl sloužit při výuce návrhu čelní koaxiální převodovky se šikmými nekorigovanými zuby, a to v rámci oboru 23-41-M/01 Strojírenství.
- Abstract:* As part of the theoretical part of the bachelor's thesis, the subject Design exercise is presented, one of the main topics of which is the design of the gearbox. The subject is anchored within RVP and ŠVP. An analysis of the available study materials is carried out, on the basis of which the basic requirements for the teaching text are compiled. The practical part deals with the creation of a teaching text, which should be used in teaching the design of a frontal coaxial gearbox with inclined uncorrected teeth, within the field of Mechanical Engineering 23-41-M/01.
-



## Obsah

1. Úvod .....	1
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>3</b>
2. Konstrukční cvičení .....	4
2.1. O předmětu .....	4
2.2. Vymezení v Rámcovém vzdělávacím programu (RVP) .....	5
2.2.1. Klíčové kompetence .....	5
2.2.2. Odborné kompetence .....	6
2.3. Vymezení ve Školním vzdělávacím programu (ŠVP) .....	7
2.4. Výuka předmětu na středních školách.....	12
3. Dostupné studijní materiály .....	14
3.1. Učebnice .....	14
3.1.1. Konstrukční cvičení I [9] .....	15
3.1.2. Konstrukční cvičení II [10].....	15
3.1.3. Konstrukční cvičení III [11] .....	16
3.1.4. Konstrukční cvičení – Části strojů [12] .....	16
3.1.5. Konstrukční cvičení – Převodovka [13] .....	17
3.1.6. Projekt – III. ročník.....	17
3.2. Technické normy .....	18
4. Požadavky na učební text .....	20
4.1. Odbornost textu .....	20
4.2. Neverbální složka .....	20
4.3. Aktuálnost využitých zdrojů .....	21
<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>22</b>
5. Tvorba učebního textu .....	23
6. Převodovka – 4. ročník.....	24
6.1. ZADÁNÍ.....	24
6.2. NÁVRH OZUBENÝCH KOL .....	25
6.2.1. Rozdělení požadovaného převodu.....	27
6.2.2. Výpočet a návrh počtu zubů a výpočet skutečných převodů ...	27

---



6.2.3.	Kontrola požadovaného převodu.....	28
6.2.4.	Výpočet a volba normálových modulů.....	29
6.2.5.	Výpočet a návrh úhlu sklonu zubů a osové vzdálenosti kol .....	31
6.2.6.	Výpočet zbylých parametrů ozubených kol.....	32
7.	Uložení hřídele převodovky – 3. ročník .....	35
7.1.	ZADÁNÍ.....	35
7.2.	Úvod .....	36
7.3.	Kinematické poměry .....	36
7.3.1.	Výstupní otáčky.....	36
7.4.	Silové poměry.....	37
7.4.1.	Krouticí moment.....	37
7.4.2.	Tečná síla .....	37
7.4.3.	Reakce v ložiskách.....	37
7.5.	Konstrukce hřídele.....	38
7.5.1.	Materiál hřídele .....	39
7.5.2.	Výstupní průměr $d_4$ .....	39
7.5.3.	Průměr pro těsnění $d_3$ .....	40
7.5.4.	Průměr pod ložiskem $d_1$ .....	41
7.5.5.	Průměr pod ozubeným kolem $d_2$ .....	41
7.6.	Grafické výstupy .....	42
8.	Závěr.....	45
	Citace.....	47
	Seznam obrázků .....	49
	Seznam tabulek .....	49

---



## 1. Úvod

Stejně jako učitel na počátku své pedagogické praxe, se autor často seznamuje s různými učebními texty, učebnicemi, skripty apod. Snaží se vždy připravit na výuku tak, aby byl schopen nejen přednést či vysvětlit probíranou látku, ale aby také byl schopen aktivně reagovat na podněty svých žáků a dokázal, alespoň ve většině případů, žákům obratem odpovědět na jejich zvědavé dotazy. Bohužel však realitou bylo těžké poznání, že na většinu technických – strojních – odborných předmětů není možné sehnat učební podklady. Buď nejsou vůbec, anebo pocházejí z dob před revolucí roku 1989. Výjimku tvoří pár učebnic, které na přelomu tisíciletí byly vytvořeny praktickým opsáním, a částečným doplněním nových informací, učebnic již zmíněných – tedy zastaralých.

Největšími problémy starých předrevolučních učebnic je nedostupnost (povětšinou jen v antikvariátech) a jejich zastaralost. Zastaralost tkví převážně v oblasti používaných veličin a jednotek (vztah k RVHP čili ne vždy bylo využito standardizovaných jednotek SI). Učitel či žák při procházení takovými učebnicemi musí neustále porovnávat značení veličin a jejich jednotek, a pozorně se dívat na odkazované zdroje. V oboru strojním se s výhodou využívají ve velkém množství odkazy na normativy – převážně normy. Bohužel však většina dříve využívaných norem je již buď zcela neplatná, anebo se v praxi využívají jiné (evropské) normy, které například popisují stejnou strojní součást, ale definují ji o trochu jinak.

Jelikož autor vyučuje na střední průmyslové škole předmět, jenž se snaží žáky seznámit se základními konstrukčními znalostmi pro vykonávání (nejen) pozice konstruktéra, který se nazývá na dané škole *Konstrukční cvičení*, rozhodl se na toto téma vytvořit učební text. Předmět se vyučuje ve 4. ročníku a v současné době pro výuku není žádný odborný text dostupný. Z toho důvodu jsou vyučující i na jiných školách obdobného typu odkázáni na tvorbu vlastních učebních textů či studijních opor pro své žáky.

Učební text, který je tématem praktické části této bakalářské práce, je již nějakou dobu autorem rozpracováván. Autor se snaží vytvářenou studijní oporu aplikovat při výuce, během čehož ji konzultuje se žáky a dotváří tak použitelný učební text nejen z pohledu učitele, ale také z pohledu žáka. Daný text slouží převážně jako studijní opora při samostatné práci žáků, která je značnou částí výuky daného předmětu. Žáci v něm mohou nalézt zkrácené základní informace k danému tématu, a především potřebné



výpočty či odvození, které přímo využijí při práci na svých převodovkách. Učební text se opírá o několik zdrojů, z nichž jsou nejdůležitější aktuálně platné normy. Není totiž v možnostech výuky, ani v silách žáků, aby byli schopni pročíst, pochopit, zpracovat a aplikovat informace z využívaných norem, neboť se pro informaci jedná přibližně o 330 stran, a to je brána v potaz pouze jedna skupina norem ISO 6336.

Jednoho dne by rád autor sestavil z dílčích kapitol učebního textu ucelený text, který by mohl být vydáván pro potřeby školy, ale byl by využitelný pro výuku i na ostatních středních průmyslových školách strojího oboru. Jednalo by se o komplexní pomůcku, která žáky nasměruje ke zdárnému řešení projektu, pomůže jim pochopit danou problematiku, a také usnadní volby, které musí konstruktér při své práci činit.

Cíle autora v této bakalářské práci jsou dva základní – teoretický a praktický. V teoretické části jde především o seznámení s předmětem, jeho ukotvení ve Školním vzdělávacím programu a také v Rámcovém vzdělávacím programu. Dále je proveden rozbor dostupných studijních materiálů a v neposlední řadě jsou definovány základní požadavky na učební text. V praktické části je pak vytvořen učební text pro část látky, kterou žáci pod vedením svého učitele probírají a řeší v rámci daného předmětu.





# TEORETICKÁ ČÁST



## 2. Konstrukční cvičení

### 2.1. O předmětu

Vyučovací předmět *Konstrukční cvičení* je jedním ze základních předmětů, které přímo napomáhají utvářet technicky zdatného žáka. Ten po jeho absolvování získává základní poznatky, jež dále rozvíjí při studiu na vysokých školách strojího zaměření. V mnohých případech je však absolvent přímo uplatnitelný na trhu práce, a to zejména v profesích Strojírenský technik konstruktér (kód 23-104-M) anebo Strojírenský technik technolog (kód 23-105-M), dle Národní soustavy kvalifikací [1].

Výuka tohoto předmětu je, v autorově alma mater Střední průmyslové škole a Vyšší odborné škole Chomutov, zařazena do 3. a 4. ročníku. Právě pro tuto školu bude učební text primárně vytvářen.

Žáci při výuce aplikují především poznatky získané v předchozích předmětech vzdělávací oblasti projektování a konstruování, které dále podstatným způsobem rozvíjí. Stěžejní náplní předmětu jsou žákovské projekty, které by měli být přímo využitelné v průmyslové praxi.

Ve 3. ročníku se osnova výuky skládá z projektů zabývajících se základními konstrukčními uzly a strojními součástmi. Důraz je kladen na osvojení si práce s normami, katalogy výrobců a na orientaci v přiřazování materiálů jednotlivým součástem.

Ve 4. ročníku jsou zařazeny 2 stěžejní projekty. Prvním je svařenec a druhým je převodovka, jež vyžaduje časovou dotaci přibližně 2/3 školního roku. Velkým přínosem takto náročnějšího projektu je aplikace většiny poznatků a dovedností z celého studia strojírenství, přičemž zároveň dochází k poměrně detailní přípravě a opakování k praktické maturitě, jež je složena z jednotlivých úloh, které přímo odkazují na dílčí body projektu převodovky.

Vzhledem k tomu, že tato práce se detailněji zabývá učebními texty právě pro výuku projektu převodovky, je na místě jej přesněji definovat. Zadáním onoho projektu je návrh čelní průmyslové převodovky se šikmými nekorigovanými zuby s koaxiálním uspořádáním vstupního a výstupního hřídele.

## 2.2. Vymezení v Rámcovém vzdělávacím programu (RVP)

Popisovaný předmět vychází z Rámcového vzdělávacího programu pro obor vzdělávání 23-41-M/01 Strojírenství [2]. Je vyvozen především ze vzdělávací oblasti odborného vzdělávání, přesněji **Projektování a konstruování**, přičemž obsah učiva se dotýká také vzdělávací oblasti přírodovědeckého vzdělávání.

RVP požaduje, aby si žáci vytvořili určité klíčové a odborné kompetence. V předmětu *Konstrukční cvičení* dochází k rozvoji upevnění prakticky všech požadovaných kompetencí.

### 2.2.1. Klíčové kompetence

#### a) *Kompetence k učení*

Vzhledem k tomu, že předmět přímo aplikuje získané znalosti a informace z předchozích předmětů, je zapotřebí využívat mnoha zdrojů informací, a to ať už svých vlastních anebo různých doporučených či samostatně vyhledaných. Žáci nejenže využívají mnoha zdrojů při práci na projektech, ale musí být schopni nabyté informace správně využít a aplikovat.

#### b) *Kompetence k řešení problémů*

Projektová výuka předmětu je složena z několika projektů, které ve svém principu představují problém, respektive úkol pro žáka (v praxi konstruktéra). To vyžaduje osvojení si metod řešení problémů a vybudování schopností, které napomáhají k efektivnímu a bezproblémovému řešení reálných problémů. Konkrétními problémy jsou např.: volba konstrukčních variant, hledání vhodných zdrojů, doplnění potřebných parametrů, řešení jednotlivých výpočtových kapitol, apod.

#### c) *Komunikační kompetence*

Během výuky jsou žáci nejen vedeni učitelem, se kterým probírají problematiku, ale s výhodou využívají diskuse mezi spolužáky, které jim pomáhají vyřešit problém a posunout se dále. Jedním z výstupů každého projektu je technická zpráva, která vyžaduje určité schopnosti žáka vyjádřit se písemně a graficky v určité kvalitě.

#### d) *Personální a sociální kompetence*

Po výkladu určité části projektu začínají žáci pracovat samostatně. Je na jejich rozhodnutí, co vše jsou schopni vypracovat zcela samostatně, co je vhodné diskutovat se spolužáky, a co je již nad míru znalostí žáků a je tedy



nutné konzultovat s učitelem. Aplikovaný typ projektové výuky přispívá k utváření klimatu ve třídě a osvojení si různých sociálních kompetencí k tvorbě a udržení mezilidských vztahů na různých úrovních.

*e) Občanské kompetence a kulturní povědomí*

Žáci v průběhu výuky často diskutují rozhodovací kompetence. Jaká jsou morální omezení (např. volba součinitele bezpečnosti), jaké jsou tradiční postupy a řešení (cíleno na technickou praxi – „kulturu“) a také musí brát v potaz zákonné mantinely, ve kterých se při svých projekčních a konstrukčních pracích musejí nacházet.

*f) Kompetence k pracovnímu uplatnění a podnikatelským aktivitám*

Výuka předmětu přímo směřuje k uplatnění v praxi a podrobněji popisuje a vysvětluje práci určitých profesí. Rozvíjí odborné znalosti a tím rozšiřuje možnosti uplatnění absolventa na trhu práce anebo ho vede na cestu k vlastnímu podnikání.

*g) Matematické kompetence*

Je možné říci, že technické vzdělání je neodmyslitelně spjato se znalostí matematiky. Výuka v daném předmětu je postavena na znalostech mechaniky, pro kterou jsou stěžejní znalosti matematiky. Z toho důvodu je matematika využívána a aplikována ve všech projektech výuky.

*h) Kompetence využívat prostředky informačních a komunikačních technologií a pracovat s informacemi*

Vzhledem k současné době rozvoje IT technologií a jejich aplikaci v praxi prakticky všech odvětví průmyslu, jsou při výuce využívány PC. Jejich využití spočívá především ve tvorbě výpočetních programů a užití CAD softwarů (anglicky Computer Aided Design). To směřuje k uplatnění stejných či podobných podmínek, které panují v technické praxi, aby byl žák po absolvování předmětu připraven účinně IT technologie, specifické pro daný obor, bez větších obtíží využívat.

### **2.2.2. Odborné kompetence**

Odborné kompetence, které si mají žáci osvojit, jsou promítnuty nejen do stylu výuky, ale v samotné podstatě předmětu. Jak již bylo zmíněno, předmět *Konstrukční cvičení* je vysoce specializovaným předmětem v oboru strojírenství. Je vyžadována určitá úroveň znalostí získaných v předchozích předmětech a v tomto předmětu dochází především k jejich



propojování a aplikování na různé problémy (projekty). Nejen z těchto důvodů je výstupem žáka, po absolvování předmětu, upevnění a osvojení odborných kompetencí na takové úrovni, aby byli absolventi studia uplatnitelní na trhu práce a byli schopni po zaškolení v různých společnostech pracovat samostatně.

#### Soupis odborných kompetencí dle RVP [2]:

- a) Dbát na bezpečnost práce a ochranu zdraví při práci
- b) Usilovat o nejvyšší kvalitu své práce, výrobků nebo služeb
- c) Jednat ekonomicky a v souladu se strategií udržitelného rozvoje
- d) Navrhovat a konstruovat strojní součásti, mechanismy a části strojů, nástroje, nářadí, přípravky a jiné výrobní pomůcky, volit prvky technologického vybavení pracovišť apod. a navrhovat jejich umístění
- e) Navrhovat způsoby, technická zařízení, nářadí, nástroje, výrobní pomůcky a technologické podmínky k přeměně surovin, předvýrobků a polotovarů na strojírenské výrobky
- f) Navrhovat systémy péče o technický stav strojů a zařízení, způsoby zjišťování jejich technického stavu, postup práce při jejich revizích, údržbě a opravách
- g) Měřit základní technické veličiny
- h) Využívat prostředky informačních a komunikačních technologií pro podporu efektivní práce

### 2.3. Vymezení ve Školním vzdělávacím programu (ŠVP)

Komplexní předmět *Konstrukční cvičení* rozložený do výuky ve 3. a 4. ročníku má časovou dotaci 3 vyučovací hodiny týdně ve 3. ročníku, respektive 4 vyučovací hodiny týdně ve 4. ročníku [3]. Nejen vzhledem k hodinové dotaci lze konstatovat, že se jedná o stěžejní předmět daného studijního oboru.

Výuka předmětu vyžaduje poněkud odlišnou strategii, než je běžné. Třída se dělí na dvě skupiny, přičemž v jedné skupině probíhá výuka v odborné učebně nazývané *rýsovna* (je uzpůsobena pro požadavky výuky – rýsovací stoly, dataprojektor, nestandardně velká tabule apod.). Žáci pod vedením učitele řeší zadané projekty, a to nejrůznějšími formami výuky – výklad, diskuse, skupinové a samostatné práce. Ve druhé skupině probíhá výuka taktéž v odborné učebně, ovšem učebně *CAD*, vybavené IT technikou a



softwarem podporujícím tvorbu celé škály technické dokumentace (výpočty, 3D CAD modely, výkresy, 3D tisk). Tato výuka probíhá formou výkladu, prezentace a samostatné práce. Rotace skupin probíhá každý týden, čili skupina, která je první týden v rýsovně, má druhý týden výuku v učebně CAD.

Díky rozdělení žáků do 2 skupin je výuka efektivnější, neboť každý z učitelů má na starosti menší skupinu žáků (většinou 10 až 15 žáků), které se může plně věnovat. Dochází také k osvojení současných praktik strojího průmyslu (přesněji metodiky konstruování ve strojího průmyslu), jež jsou založeny na postupu „Návrh – Výpočet – 3D CAD model – Výkres“. Žáci si tak osvojí nejen používání standardních školních potřeb (papír, tužka, kalkulačka, pravítko), ale také moderních a neustále se rozvíjejících pomůcek založených na platformě PC (kancelářský software, 3D CAD / CAM software, FEM software).

**Poznámka:** Vysvětlení zkratk využitých v textu:

CAD ... Computer Aided Design ... Počítačem podporované navrhování

CAM ... Computer Aided Manufacturing ... Počítačem řízená výroba

FEM ... Finite Element Method ... Pevnostní výpočet metodou  
konečných prvků

**Hodnocení** výsledků žáků je převážně kombinací forem slovní a známku, vycházející z klasifikačního řádu školy [4]. Dílčí hodnocení provádí učitel slovní formou, kterou na závěr shrne do známky. Důraz při hodnocení je kladen na správnost (technickou, konstrukční a technologickou), grafický projev, schopnost technického vyjadřování psaným slovem a včasnost odevzdávání výstupů z jednotlivých projektů.

Za zmínku také stojí **mezipředmětové vztahy**, tedy propojenost předmětu *Konstrukční cvičení* s ostatními vyučovanými předměty. Jak již bylo poznamenáno, jedná se o předmět, ve kterém dochází ke shrnutí, aplikaci a osvojení poznatků získaných studiem předchozích předmětů. ŠVP přímo pojednává o těchto předmětech, jako mezipředmětových vztazích: *Matematika, Mechanika, Technické kreslení, Nauka o materiálu, Strojírenská technologie, Stroje a strojní zařízení, Výpočetní technika*.

**Tematické celky** jsou pro jednotlivé ročníky rozdílné. Ve třetím ročníku je kladen důraz na rozvoj základních konstruktérských znalostí a schopností. To je vedeno skrze témata: *Pojistná kolíková spojka, Šroubové spoje, Valivé uložení, Řemenový převod a Řetězový převod*. Ve čtvrtém ročníku jsou žáci



vedení k širšímu spojování a aplikování znalostí, a to skrze dvě témata: *Svařovaná konstrukce a Převodovka*.

I přes to, že se ve třetím ročníku probírá více témat, je **hodinová dotace** o něco menší. Předmět *Konstrukční cvičení* má k dispozici ve třetím ročníku tři hodiny týdně. Ve čtvrtém ročníku to jsou pak čtyři hodiny týdně. U obou ročníků se jedná o celkovou týdenní hodinovou dotaci, přičemž se jedná především o charakter cvičení, i když na úvodu každého z témat, i jeho dílčích bodů, je využíváno teoretického charakteru výuky.

Nedílnou součástí všech dokumentů, vztahujících se k předmětu, je také **tematický plán**. Jedná se o rozvržení učiva v průběhu celého roku. Učební osnovy jsou zde rozpracovány do jednotlivých tematických celků a vyznačen je také časový rozsah.



## Tematický plán – Konstrukční cvičení – 3. ročník

<i>Tematický okruh</i>	<i>Časový plán</i>
<b>1) Opakování</b>	září, říjen
- Normalizace grafických dokumentů	(18 hod)
- Technické zobrazování na výkresech	
- Kótování a předepisování drsností a tolerancí	
<b>2) Pojistná kolíková spojka</b>	listopad, prosinec
- Seznámení s úlohou	(14 hod)
- Návrh střížného kolíku	
- Návrh konstrukce spojky	
- Tvorba výkresové dokumentace	
<b>3) Šroubové spoje</b>	prosinec, leden
- Seznámení s úlohou	(14 hod)
- Návrh šroubů	
- Kontrola šroubů	
- Tvorba výkresové dokumentace	
<b>4) Uložení hřídele převodovky</b>	leden, únor
- Seznámení s úlohou	(14 hod)
- Silové poměry	
- Výpočet a návrh konstrukce hřídele	
- Tvorba výkresové dokumentace	
<b>5) Řemenový převod</b>	březen, duben
- Seznámení s úlohou	(15 hod)
- Výpočet a volba řemenu	
- Výpočet a návrh konstrukce řemenice	
- Tvorba výkresové dokumentace	
<b>6) Řetězový převod</b>	květen, červen
- Seznámení s úlohou	(15 hod)
- Výpočet a volba řetězu	
- Výpočet a návrh konstrukce řetězového kola	
- Tvorba výkresové dokumentace	

Tab. 1: Tematický plán – Konstrukční cvičení – 3. ročník





## Tematický plán – Konstrukční cvičení – 4. ročník

<i>Tematický okruh</i>	<i>Časový plán</i>
<b>1) Svařovaná konstrukce</b>	září
- Seznámení s úlohou	(8 hod)
- Úvod do výpočtů	
- Návrh svařence	
<b>Svařovaná konstrukce</b>	říjen
- Návrh svarů	(16 hod)
- Kontrola svarů	
- Tvorba výkresové dokumentace	
<b>2) Převodovka</b>	listopad
- Seznámení s úlohou	(16 hod)
- Úvod do výpočtů	
- Návrh ozubených kol	
- Pololetní klasifikace	
<b>Převodovka</b>	prosinec
- Kontrola ozubených kol	(12 hod)
- Návrh hřídelů	
- Silové poměry v hřídelích	
<b>Převodovka</b>	leden
- Kontrola hřídelů	(16 hod)
- Volba ložisek	
- Kontrola ložisek	
<b>Převodovka</b>	únor
- Návrh per	(12 hod)
- Návrh skříně	
<b>Převodovka</b>	březen
- Tvorba 3D CAD modelů	(16 hod)
- Tvorba výkresu sestavy	
- Tvorba výrobních výkresů	
- Závěrečná klasifikace	
<b>3) Opakování k maturitě</b>	duben
- Rozbor témat 3. ročníku	(16 hod)
- Rozbor témat 4. ročníku	
- Řešení dotazů žáků	
<b>Maturitní zkoušky</b>	květen
<b>Maturitní zkoušky</b>	červen

Tab. 2: Tematický plán – Konstrukční cvičení – 4. ročník

Studium *Automatizované konstrukce ve strojírenství*, jak se studijní zaměření na SPŠ a VOŠ Chomutov nazývá, je ukončeno maturitní zkouškou, jejíž jedna část je tzv. praktická zkouška. Úlohy, které si žáci před samotným zpracováním dvoudenní praktické maturitní zkoušky losují, přímo vycházejí z učebního obsahu předmětu *Konstrukční cvičení*, a to z obou let, ve kterých je vyučován. To jen podtrhuje význam výuky daného předmětu.

## 2.4. Výuka předmětu na středních školách

Dle rejstříku škol a školských zařízení [5], spravovaného MŠMT, je v ČR evidováno 74 středních škol, ve kterých je vyučován obor Strojírenství 23-41-M/01. Pro vytvoření představy, v jakých ročnících a v jakých hodinových dotacích se předmět vyučuje, aplikoval autor sesbíraná data do tabulek.

Je nutné zmínit, že ne na všech školách se zkoumaný předmět nazývá *Konstrukční cvičení*. Vzhledem k tomu, že se autor opírá o pojmenování předmětu spolu se znalostí jeho obsahu, vyučovaného na SPŠ a VOŠ Chomutov, vzal v potaz při shromažďování dat i takové předměty, vyučované na jednotlivých školách, které odpovídají svým názvem a obsahem předmětu *Konstrukční cvičení*, jak jej definoval v kapitole 2.1.

Počet škol	Hodinová dotace			
	1. ročník	2. ročník	3. ročník	4. ročník
74	0,3	1,5	2,2	2,6

Tab. 3: Průměrné hodinové dotace předmětu

	1. ročník	2. ročník	3. ročník	4. ročník
Počet škol pod průměrem	62	30	49	43
Počet škol nad průměrem	12	44	25	31

Tab. 4: Počty škol vzhledem k průměrné hodinové dotaci předmětu

SPŠ a VOŠ Chomutov	1. ročník	2. ročník	3. ročník	4. ročník
Hodinová dotace	0	0	3	4
Vůči průměru	pod	pod	nad	nad

Tab. 5: Porovnání hodinové dotace na SPŠ a VOŠ Chomutov k průměrné hodnotě

Informace o hodinových dotacích v jednotlivých ročnících autor získal z učebních plánů či ŠVP jednotlivých škol, a to z jejich webových stránek k datu 18.12.2022.



Při pohledu na Tab. 5 stojí za zmínku profilové vzdělávání na dané škole. Výuka je totiž v prvním a druhém ročníku společná pro všechna vyučovaná zaměření. Vzhledem k rozmanitosti nabízených oborů na SPŠ Chomutov je výuka v prvních dvou ročnících pro všechny stejná. Tím vzniká značná výhoda absolventů této školy, kdy aniž by museli měnit zaměření jež studují, získají základní znalosti z většiny zásadních technických oborů, jakými jsou Strojírenství, Elektrotechnika, Automatizace, Výpočetní technika a Technický management. To také koresponduje s výukou na vysokých školách. Například na ČVUT Fakultě strojní studenti během svého studia absolvují předměty, které jsou spjaty s obory z jiných fakult, obdobně jako žáci na SPŠ Chomutov. V neposlední řadě díky společnému oboru v prvních dvou letech mohou žáci své rozhodování, na které ze zaměření se chtějí přímo profilovat, odložit o další dva roky a svou volbu tak podložit alespoň elementárními znalostmi z jednotlivých oborů.



### 3. Dostupné studijní materiály

#### 3.1. Učebnice

Mezi učiteli středních škol technického zaměření, a to nejen strojního, je obecně známo, že *situace okolo soudobých učebních textů*, ba i obecně odborné literatury, je zcela tristní. Co se týče předmětu *Konstrukční cvičení* je situace naprosto bídná. V současné době není prakticky možné sehnat na trhu učebnici, která by se zabírala návrhy, výpočty a konstrukcí strojních součástí. Pověštinou je možné sehnat jen učební texty, které se zabývají popisem jednoduchých strojních součástí a v lepším případě pouze jednoduchými výpočty.

Autor zjišťoval názory učitelů na dalších středních průmyslových školách a zcela se shodovali. Ani při hledání v seznamu učebnic a učebních textů schválených MŠMT ČR, tedy v doložkách učebnic a učebních materiálů pro střední vzdělávání [6], autor nenašel jediný zdroj, který by alespoň z části posloužil při výuce daného předmětu.

Situace je tedy taková, že pokud škola nedisponuje učebnicemi ze 70. a 80. let je zcela odkázána na *tvorbu vlastních studijních podkladů*. Z tohoto důvodu se autor rozhodl alespoň zjednodušeně zhodnotit využitelnost učebnic z konce minulého století při výuce předmětu Konstrukční cvičení, a to především při výuce na SPŠ a VOŠ Chomutov ve 4. ročníku, kdy hlavním předmětem, jak již bylo zmíněno, je projekt převodovky.

Před rozbořem učebnic se autor inspiroval velmi zajímavou knihou prof. Průchy s názvem „Učebnice: teorie a analýzy edukačního média“ [7], kterou by vřele doporučil všem učitelům, kterým záleží na studijních podkladech pro své žáky. Dále také vybranými kapitolami základní knihy nejen pro studenty pedagogiky „Moderní pedagogika“ [8], taktéž od prof. Průchy.

Nebylo v možnostech autora, aby provedl detailní rozbor, zhodnocení a návrh pro vylepšení uvedených učebnic, jež jsou dostupné ve velmi omezené míře. Bylo by to však nejen velmi zajímavé, ale také podstatně užitečné pro mnoho z učitelů obdobně zaměřených předmětů, kteří jsou odkázáni na tyto zdroje.



### 3.1.1. Konstrukční cvičení I [9]

Procházková a kol. *Konstrukční cvičení I*. Praha : SNTL, 1989. ISBN 80-03-000.

#### a) *Využitelné kapitoly*

- Posuvné spojení hřídele s nábojem (str. 33)
- Těsnění spojů (str. 75)
- Valivé uložení (str. 77)
- Celkem jsou využitelné 3 z 12 kapitol

#### b) *Klady*

- + Četnost grafického vyobrazení
- + Inspirativní podklady
- + Strukturovaný postup řešení

#### c) *Zápory*

- Odkazy na zastaralé či neplatné zdroje a normy
- Odpovídá osnovám platným od 01.09.1984
- Omezená volba dílčích parametrů
- Bez možného využití moderních postupů v konstrukčních pracích

#### d) *Závěr*

Učebnice je napsána srozumitelně a graficky přívětivě i pro méně zdatné žáky v oboru, avšak je poměrně dosti zastaralá a svým rozsahem pokrývá jen velmi úzkou část projektu převodovky.

### 3.1.2. Konstrukční cvičení II [10]

Kříž a kol. *Konstrukční cvičení II*. Praha : SNTL, 1986.

#### a) *Využitelné kapitoly*

- Uložení hřídele ve valivých ložiskách (str. 11)
- Čelní soukolí s přímými zuby (str. 96) – pouze jako inspirace (obdobné téma)
- Čelní soukolí se šikmými zuby (str. 109)
- Celkem jsou využitelné 3 kapitoly z 11

#### b) *Klady*

- + Četnost grafického vyobrazení
- + Inspirativní podklady



### **c) Zápory**

- Odkazy na zastaralé či neplatné zdroje a normy
- Nevysvětlené výpočty a postupy
- Bez možného využití moderních postupů v konstrukčních pracích

### **d) Závěr**

Další graficky bohatá učebnice, která je však opět zastaralá a svým rozsahem pokrývá jen velmi úzkou část projektu převodovky.

## **3.1.3. Konstrukční cvičení III [11]**

Kříž a kol. *Konstrukční cvičení III*. Praha : SNTL, 1988.

### **a) Využitelné kapitoly**

- Návrh a konstrukce kuželočelní, šnekové nebo planetové převodovky (str. 11)
- Využitelná je pouze 1 kapitola z celkem 13

### **b) Klady**

- + Detailní výňatky z technických výkresů
- + Popis skříňě převodovky – rozšířené téma vůči jiným zdrojům
- + Práce s větším počtem zdrojů, než u podobných učebnic

### **c) Zápory**

- Pouze inspirativní zdroj – uvažován jiný typ převodovky
- Odkazy na zastaralé či neplatné zdroje a normy
- Bez možného využití moderních postupů v konstrukčních pracích

### **d) Závěr**

Jedná se o učebnici, která je zaměřena na jiný typ převodovky, než je uvažována ve výuce popisovaného předmětu. Výhodou však je detailní zaměření na společné části všech typů převodovek (skříň). Jedná se tak spíše o vedlejší inspirativní zdroj při výuce.

## **3.1.4. Konstrukční cvičení – Části strojů [12]**

Procházková a kol. *Konstrukční cvičení – Části strojů*. Praha : SNTL, 1982.

### **a) Využitelné kapitoly**

- Uložení hřídele převodovky (str. 55)
- Využitelná je pouze 1 kapitola ze 14



**b) Klady**

- + Četnost grafického vyobrazení
- + Variantní možnosti řešení

**c) Zápory**

- Odkazy na zastaralé či neplatné zdroje a normy
- Minimální rozbor výpočtů
- Bez využití moderních principů a postupů v konstrukčních pracích

**d) Závěr**

Učebnice, která se liší od podobného textu z bodu 3.1.2 detailnějším rozbohem kapitoly, avšak svými neduhy je mu velmi blízká.

### 3.1.5. Konstrukční cvičení – Převodovka [13]

Kovář a Blažek. *Konstrukční cvičení - Převodovka*. Praha : SNTL, 1982.

**a) Klady**

- + Časový plán – pohled na konstrukční práci z širšího úhlu
- + Pohled na stránku technologie výroby
- + Ekonomický pohled na problematiku
- + Podrobné výpočty

**b) Zápory**

- Předmětem je jiný typ převodovky
- Odkazy na zastaralé či neplatné zdroje a normy
- Bez možného využití moderních postupů v konstrukčních pracích

**c) Závěr**

Učebnice dokáže posloužit spíše v dalších pohledech na cestu od konstrukce až po výrobu zařízení (ekonomika a technologie), ne však přímo pro návrh a konstrukci.

### 3.1.6. Projekt – III. ročník

**a) Klady**

- + Řešeno včetně pohonu zařízení

**b) Zápory**

- Vysokoškolské skriptum
- Odkazy na zastaralé či neplatné zdroje a normy



- Nevysvětleny některé statě
- U výpočtů odkaz na dnes již těžko dohledatelný výpočtový program
- Nepřehledné rozvržení a formátování

### c) Závěr

Tento studijní podklad je vytvořen jako doplňkový text k výkladu. Nehledě na to, že se jedná o vysokoškolské skriptum, které je psáno poněkud složitěji, než je pro středoškolské studenty vhodné. Jeho využití je spíše za účelem přípravy učitele na výuku, jakožto jeden z jeho využitelných zdrojů.

Po prozkoumání uvedených studijních podkladů je prakticky na první pohled jasné, že hlavním problémem je zastaralost informací a citovaných zdrojů. Z toho tedy vyplývá ústřední požadavek na tvorbu učebního textu pro výuku předmětu *Konstrukční cvičení*, a to jest aktualizace informací a doplnění soudobých inspirativních zdrojů za použití moderních učebních pomůcek.

Neméně podstatným úkolem cíleně tvořeného studijního podkladu by mělo být poskládání a shrnutí potřebných informací, které by tvořili komplexní oporu při řešení dané problematiky. Tím je myšleno, že by měl být text uceleným souborem informací, a nejen podkladem pro malou část z celé problematiky převodovky, jak je tomu ve výše uvedených zdrojích.

Co je však nutno podotknout a vyzdvihnout je kvalita a jednoznačnost grafických podkladů v uvedených zdrojích informací. To, jakým zcela jasným a dobře pochopitelným způsobem jsou zmíněné texty doplněny odbornými obrázky či skicami, je naprosto úctyhodné. Tuto skutečnost autor velmi oceňuje a považuje ji jako velkou inspiraci a zároveň vysokou latku v případném porovnání s jeho navrhovaným učebním textem.

## 3.2. Technické normy

Jelikož problematikou návrhu převodovky se zabývá několik technických norem je na místě, aby zde o nich byla alespoň zmínka. Technické normy, jakožto soubory informací, výpočtů, či poznatků, které mají svůj právní rámec daný zákonem č. 22/1997 Sb., nejsou sice samy o sobě právně závazné, avšak z jiného právního předpisu (např. smlouvy mezi výrobcem a odběratelem) může plynout jejich závaznost. Obecně je možné říci, že technické normy vznikly za účelem standardizace, tedy buďto stanovit kroky při vývoji produktu (návrh, výpočty apod.), anebo pevně definovat dané produkty, které je možné dle obsahu patřičné normy vyrábět a využívat ve velkém množství.





První norma, kterou je možné využít jako zdroj informací, je česká technická norma ČSN 01 4602, která je členěna na 5 částí, z nichž první 3 ([14], [15] a [16]) jsou využitelné pro projekt převodovky, jež je tématem výuky předmětu *Konstrukční cvičení*. Tato norma vysvětluje a ukotvuje názvosloví ozubených kol. Jsou v ní uvedeny definice a vysvětlení jednotlivých pojmů, které se v oblasti ozubených kol využívají.

Druhou technickou normou s označením ČSN 01 4686, která je dále dělena do 5 částí ([17], [18], [19], [20] a [21]), je předpis zabývající se pevnostním výpočtem čelních a kuželových ozubených kol. Jedná se o velmi podrobný návod, jak postupovat při návrhu a dimenzování ozubených kol. Tento normativ je již hluboce odborný a pro pochopení a využívání vyžaduje určitou úroveň technických znalostí a dovedností. Nedá se tak říci, že by se jednalo o doporučenou literaturu pro studenty středních škol, ale spíše jako podklad pro učitele při zpracování vlastního učebního textu.

Poslední technickou normu, kterou autor považuje za důležitou a vhodnou ke zmínění, je mezinárodní standard vydaný Mezinárodní organizací pro standardizaci ISO 6336, která je členěna na 5 částí ([22], [23], [24], [25] a [26]). Obdobně jako uváděný soubor norem ČSN 01 4686-1 až ČSN 01 4686-5 se jedná o detailní předpis zabývající se výpočtem ozubených kol. Vzhledem ke zpracování a detailnosti dokumentu se opět nejedná o čtivý a srozumitelný text pro žáky SŠ, ale o pomůcku pro vyučující.

Vzhledem k tomu, že problematika ozubených kol je ukotvena v několika technických normách, které se běžně využívají v průmyslu, je prakticky nutné se o nich zmínit v učebním textu zabývajícím se touto oblastí. Nehledě na to, že výpočty týkající se onoho návrhu a kontroly ozubených kol jsou v oněch normách vysvětleny, přímo z nich vycházejí a je na ně také odkazováno v odborné literatuře (či na jejich předchůdce).

## 4. Požadavky na učební text

Na učební text zabývající se problematikou návrhu a kontroly ozubených kol je kladeno mnoho požadavků, na které je možné dívat se z několika úhlů.

### 4.1. Odbornost textu

Z prvního pohledu, tedy z pohledu odbornosti textu, je zapotřebí aby byl text dostatečně vybaven fakty a podklady týkajícími se tématu. Vzhledem k tomu, jak obsáhlé je zmíněné téma, je kladen velký důraz na úroveň poznatků, které musejí být poněkud detailní. Tato skutečnost se však pře s požadavkem, že učebnice nesmí přesáhnout určitou míru obtížnosti, aby byla pro žáky, kterým je určena, srozumitelná a byla tak při jejich práci (studiu) využitelná. O tom pojednává prof. Průcha [7], kdy jako jeden z problémů uvádí, že učebnice mohou být v určitých případech napsány špičkovými odborníky v dané problematice, avšak jejich zkušenosti s vyučováním jsou nulové. To má za následek přehlacení textu odbornými výrazy a snížení srozumitelnosti textu na své minimum.

Je však zapotřebí podotknout, že se jedná o učební text určený žákům 4. ročníků středních průmyslových škol, u nichž se očekává již určitá úroveň znalostí. Ta by jim měla pomoci překonat partie textu, které by byli pro čtenáře neznalého oboru prakticky nečitelné.

Důležitým faktem je také to, že text by měl být pro žáky opora při návrzích a výpočtech. Neočekává se však, že by text nebyl doplněn výkladem učitele, ba naopak. Učební text by měl být jakýmsi souhrnným manuálem, jak se dostat k tíženému závěru, a tak vyšší úroveň odbornosti textu je spíše na místě.

### 4.2. Neverbální složka

Učební text není nikdy pouze o textu v užším slova smyslu. Vždy je doplněn neverbálními částmi, tj. schémata, obrázky, tabulkami, grafy apod. Avšak dle účelu a obsahu textu (v širším slova smyslu) je volen poměr mezi verbální a neverbální složkou.

Poznatek, na kterém se shodne nemálo učitelů vyučujících technické předměty, naprosto vystihuje nadpis této podkapitoly. Pojednává o skutečnosti, že pro vysvětlení technické problematiky je ve většině případech mnohonásobně snazší a pochopitelnější využít obrázek (respektive schéma či skicu), než popisovat daný problém dlouhými řádky textu. Ku příkladu může posloužit Obr. 1: Schéma zadání z praktické části



této práce. Slovní popis rozložení převodovky by zabral několik řádků. Oproti tomu znázornění schématem je rychlejší, efektivnější a přehlednější. Již v závěru podkapitoly 3.1, zabývající se zhodnocením „dostupných“ učebnic, autor podotkl význam a potřebu různých grafických doplnění textu, které z něj tvoří mnohonásobně lépe pochopitelný, vstřebatelný a představitelný text.

### **4.3. Aktuálnost využitých zdrojů**

Jako poslední část z nejpodstatnějších požadavků na učební text je nutnost využití aktuálních zdrojů odborných informací při zpracování textu.

Jak je patrné z rozboru učebnic (podkapitola 3.1), všechny se odkazují na zastaralé zdroje informací, anebo na již neplatné technické normy. To je ve světě techniky „cesta do záhuby“.

Podmínka využití aktuálně platných standardů je nutná již ze základní podstaty, a to využitelnosti textu. Není možné, aby technik při své práci, a to zvláště při návrhu vlastního nového produktu, využíval neplatné či zastaralé informace. To vede nejen k nekonkurenceschopnosti, ale především k porušování pravidel, smluv, či zákonů.

Je krajně nevhodné, aby učební text, který má žákům pomoci s vyřešením problému, odkazoval na neplatné či zastaralé zdroje. Technik je ve své kariéře vždy tlačěn k vlastní aktualizaci a doplňování si informací. Učební text mu v tom musí jít příkladem.



# PRAKTICKÁ ČÁST



## 5. Tvorba učebního textu

Učební text, jakožto manuál, vysvětlující postup návrhu ozubených kol převodovky, je zaměřen na jednu z celkově 3 hlavních kapitol konstrukční práce převodovky, což odpovídá 16 vyučovacím hodinám. Jedná se o první kapitolu, obsahující tedy i zároveň zadání.

Vzhledem k náročnosti tématu lze v učebním textu očekávat velké množství vzorců, které mají žáci v rámci své práce aplikovat a využít. Text není určen ke zcela samostatné práci, ale slouží jako opora. Není tedy proveden detailní rozbor jednotlivých vzorců. Práce učitele ve výuce, při využití této opory, spočívá v dovysvětlování jednotlivých bodů textu a vedení žáků. Dalším důvodem, proč není proveden detailní rozbor, je situování učebního textu z hlediska jednotlivých ročníků. Text by měl být využíván ve čtvrtém ročníku, čili žáci by měli mít za sebou již většinu odborných předmětů (*strojírenská technologie, nauka o materiálech, strojní součásti* apod.), které by jim měly poskytnout základní znalosti v dané problematice.

Předkládaný učební text je tedy výňatkem ze souboru několika kapitol, jež mají za úkol pomoci žákům čtvrtých ročníků středních průmyslových škol strojních oborů, v předmětu *Konstrukční cvičení*, překonat obsáhlou problematiku návrhu koaxiální převodovky se šikmými zuby a čelními nekorigovanými soukolími.

Autor se rozhodl vytvořit učební text také pro učivo ve třetím ročníku. Jedná se o kapitolu *Uložení hřídele převodovky*, jež je jedním z celkem sedmi projektů, které jsou probírány v rámci předmětu *Konstrukční cvičení* pro třetí ročník. Obsah tohoto učebního textu je velmi podobný obsahu jedné z kapitol projektu *Převodovka* ze čtvrtého ročníku. Autor tím chce poukázat na rozdílnost mezi třetím a čtvrtým ročníkem. Ve třetím ročníku je zapotřebí více vysvětlovat a je kladen větší důraz na výklad, tedy na teoretickou část. To z toho důvodu, že žáci se ještě učí jednotlivým postupům a metodám. Naopak ve čtvrtém ročníku by žáci měli být seznámeni s teoretickými poznatky, které si mohli vyzkoušet aplikovat v jednodušších úlohách při výuce předmětu v předchozím ročníku. Tyto znalosti by pak měli být schopni aplikovat a využít při řešení složitějšího a komplexního problému – *převodovky*.

## 6. Převodovka – 4. ročník

### 6.1. ZADÁNÍ

Navrhněte čelní převodovku se šikmými zuby se sousým (koaxiálním) uspořádáním vstupního a výstupního hřídele, soukolí navrhněte nekorigovaná.

DÁNO:

Přenášený výkon  $P$  [W]

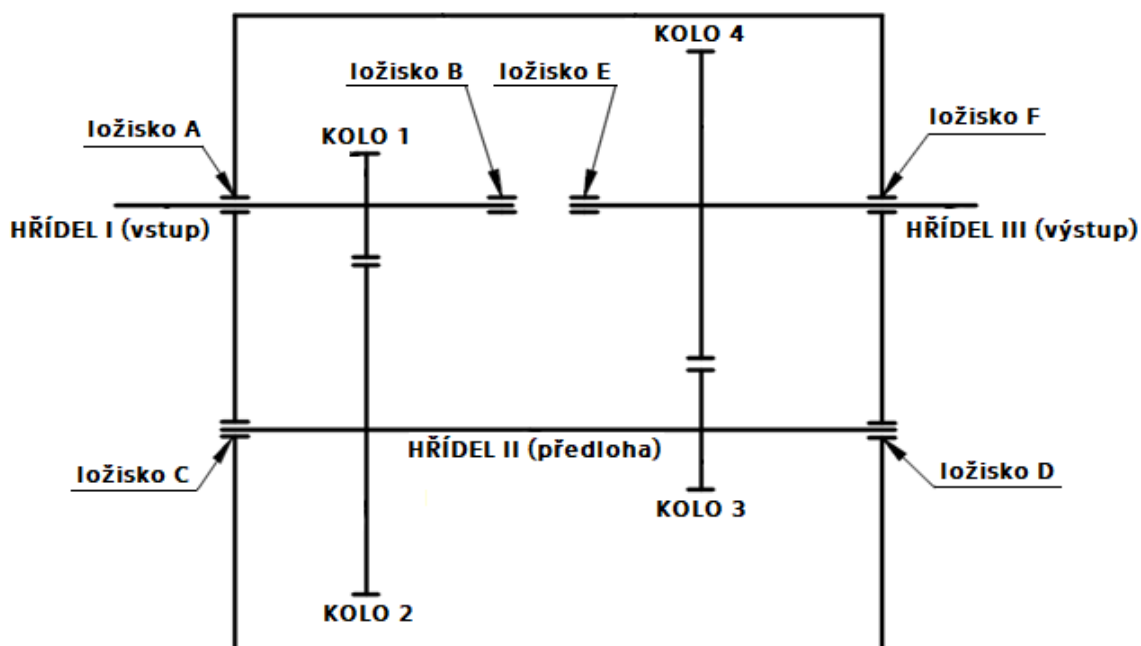
Vstupní otáčky  $n_1$  [ $s^{-1}$ ]

Požadovaný převod  $u_p$  [1]

Životnost  $L_h$  [hod]

Dodávka energie hnacím strojem

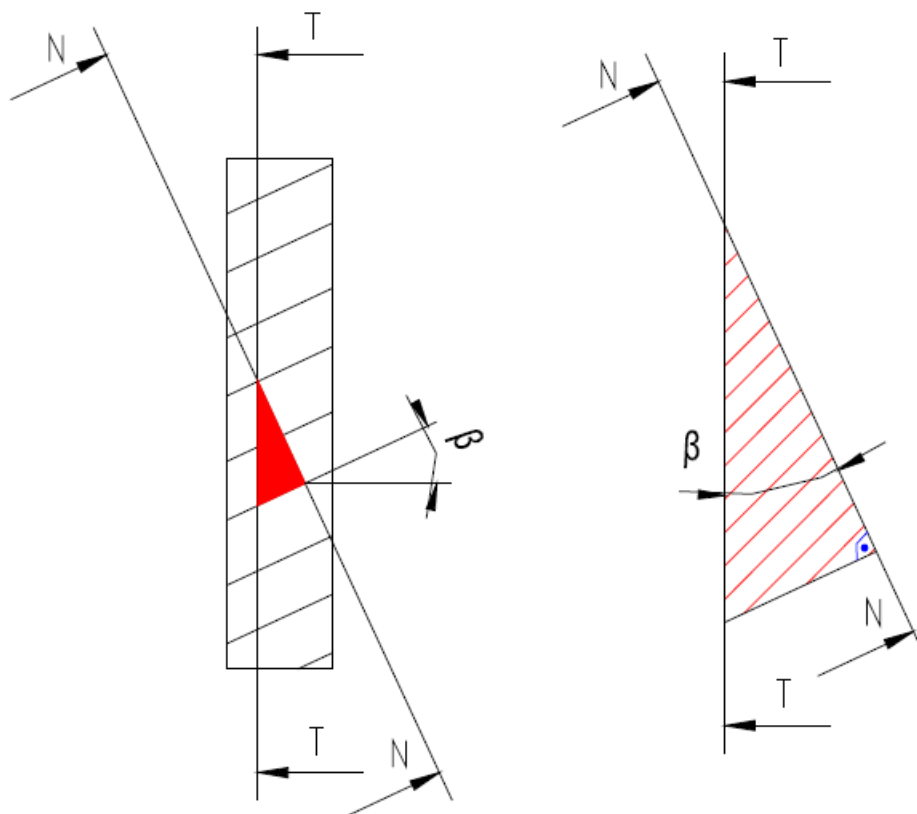
Odběr energie hnaným strojem



Obr. 1: Schéma zadání

## 6.2. NÁVRH OZUBENÝCH KOL

Vzhledem k požadavku šikmých zubů se zavádí dvě geometrické roviny – čelní (T) a normálová (N). Tyto roviny vycházejí z následujícího obrázku, kde v levé části je pohled na ozubené kolo a v pravé části je detail červeně zvýrazněného trojúhelníku.



Obr. 2: Základní roviny

Jelikož vlivem sklonu zubů o úhel  $\beta$  vznikají dvě roviny, je nutné uvažovat i dva moduly (z důvodu průmětů v jednotlivých rovinách), jakožto základní parametry ozubení. Jejich vzájemný vztah je následující:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos(\beta)} [mm]$$

$m_t [mm]$  ... modul ozubení v tečné rovině

$m_n [mm]$  ... modul ozubení v normálové rovině (základní hodnota - poměr poloměru roztečné kružnice a počtu zubů)

$\beta [^\circ]$  ... úhel sklonu zubů

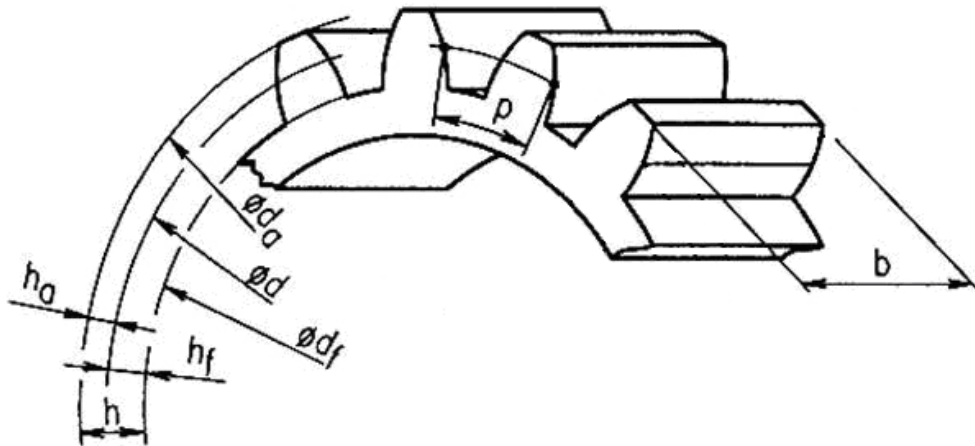
Odvozený vztah vychází z goniometrické funkce cosinus, jež je definována z Obr. 2. Podobný přepočít platí i pro rozteče zubů.

$$p_t = \frac{p_n}{\cos(\beta)} [mm]$$

$p_t [mm]$  ... rozteč ozubení v tečné rovině

$p_n [mm]$  ... rozteč ozubení v normálové rovině

Jestliže máme definován základní parametr ozubení, tj. modul, je na místě určit odvozené parametry, přímo závislé na modulu ozubení.



Obr. 3: Schéma ozubení

$$h_a = m_n [mm]$$

$h_a [mm]$  ... výška hlavy zubu

$$h_f = 1,25 \cdot m_n [mm]$$

$h_f [mm]$  ... výška paty zubu

$$s_n = \frac{p_n}{2} [mm]$$

$s_n [mm]$  ... tloušťka zubu v normálové rovině pro nekorigované soukolí

$$d = m_t \cdot z [mm]$$

$d [mm]$  ... průměr roztečné kružnice

$z [1]$  ... počet zubů kola

$$d_a = d + 2 \cdot h_a [mm]$$

$d_a [mm]$  ... průměr hlavové kružnice

$$d_f = d - 2 \cdot h_f [mm]$$

$d_f [mm]$  ... průměr patní kružnice



$$d_b = d \cdot \cos(\alpha_t) = d \cdot \cos\left(\arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right)\right) [mm]$$

$d_b$  [mm] ... průměr základní kružnice

$\alpha_t$  [°] ... čelní úhel záběru

$\alpha_n$  [°] ... normálový úhel záběru totožný s modulem nástroje, je normalizovaný  $\rightarrow \alpha_n = 20^\circ$

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_n \cdot (z_1 + z_2)}{2 \cdot \cos(\beta)} [mm]$$

$a$  [mm] ... osová vzdálenost

### 6.2.1. Rozdělení požadovaného převodu

Před tím, než je možné přímo určit základní parametry ozubení, je zapotřebí nejdříve rozdělit požadovaný převod  $u_p$  na dílčí převody, které budou reprezentovat jednotlivá soukolí.

$$u_p = u_{12} \cdot u_{34} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} [1]$$

Pro snadnější docílení stejné osová vzdálenosti u jednotlivých soukolí je vhodné, aby v prvním stupni převodu byl převod větší než ve druhém.

Zvolíme tedy předběžné převody tak, aby bylo docíleno podmínky:

$$u_p = u'_{12} \cdot u'_{34} \wedge u'_{12} > u'_{34}$$

### 6.2.2. Výpočet a návrh počtu zubů a výpočet skutečných převodů

Postup je složen z několika na sebe přímo navazujících bodů.

a) Zvolíme počet zubů kola 1 -  $z_1$ . Pro malé rozměry převodovky je snahou volit co nejmenší počet zubů pastorku. Pokud nechceme zuby korigovat, pak pro čelní soukolí se šikmými zuby volíme minimálně 14 zubů pastorku. To vše za účelem vyhnutí se tzv. podřezání zubů, ke kterému může dojít, pakliže zvolíme příliš malý počet zubů (to se týká především pastorků).



b) Vypočítáme předběžný počet zubů kola 2 -  $z'_2$

$$u'_{12} = \frac{z'_2}{z'_1} \rightarrow z'_2 = u'_{12} \cdot z'_1 [1]$$

c) Zvolíme skutečný počet zubů kola 2 zaokrouhlením  $z'_2$  na přirozené číslo.

d) Vypočítáme skutečný převod  $u_{12}$

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1} [1]$$

e) Přepočítáme předběžný převod mezi kolem 3 a 4  $u'_{34}$

$$u'_{34} = \frac{u_p}{u_{12}} [1]$$

f) Zvolíme počet zubů kola 3 -  $z_3$ . Podmínky jsou stejné jako u kola 1 (bod a).

g) Vypočítáme předběžný počet zubů kola 4 -  $z'_4$

$$u'_{34} = \frac{z'_4}{z_3} \rightarrow z'_4 = u'_{34} \cdot z_3 [1]$$

h) Zvolíme skutečný počet zubů kola 4 zaokrouhlením  $z'_4$  na přirozené číslo.

i) Vypočítáme skutečný převod  $u_{34}$

$$u_{34} = \frac{z_4}{z_3} [1]$$

j) Zkontrolujeme, že počty zubů spoluzabírajících kol jsou nesoudělná čísla. Kdyby tomu tak nebylo, pak každý zub pastorku přichází do styku stále se stejným zubem spoluzabírajícího kola a pokud zatížení kola není po celém obvodu stejné, pak zuby zabírající ve více zatížené oblasti se více opotřebovávají a vznikne u nich časem větší vůle. To má za následek neklidný chod soukolí. Jestliže jsou počty zubů čísla nesoudělná, pak se v oblasti většího zatížení postupně střídají záběry různých zubů, takže se všechny zuby kola opotřebovávají rovnoměrně.

### 6.2.3. Kontrola požadovaného převodu

Celkový skutečný převod  $u$  se nesmí lišit od požadovaného převodu  $u_p$  o  $\pm 3\%$ . Pokud se liší, je třeba změnit některý z dílčích převodů změnou počtu zubů, a pak znovu provést kontrolu. To tedy znamená, že jestliže se celkový vypočtený převod převodovky liší od zadaného požadovaného převodu o více než uváděný rozptyl, je nutné přepočítat celý odstavec 6.2.2 s jinak zvolenými počty zubů.

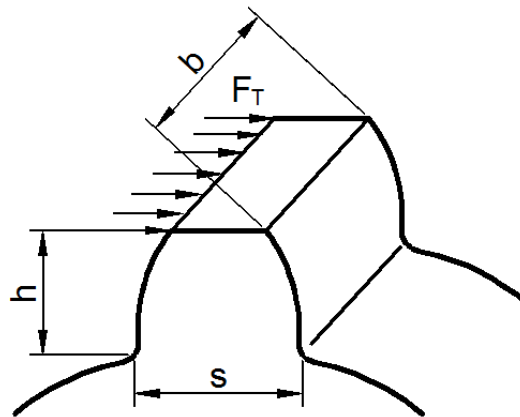
$$u = u_{12} \cdot u_{34} [1]$$

### 6.2.4. Výpočet a volba normálových modulů

Volba modulu musí vycházet ze známého namáhání, neboť se jedná o rozměrový parametr. Modulem rozhodujeme o rozměrech soukolí a při pevnostní kontrole se pak dodatečně zjistí, zda navržené soukolí vyhovuje.

Existují různé metody, jak modul navrhnout. Jednou z nich je výpočet podle Bacha. Jedná se o výpočet orientační, založený na zjednodušujících předpokladech. Dává však poměrně přesné výsledky zejména u soukolí s velkým zatížením, ale ne s příliš velkou rychlostí. Zjednodušující předpoklady:

- Zub je namáhán jako vetknutý nosník, zatížení je statické.
- Zatěžující silou je tečná síla  $F_T$  v ozubení působící na roztečné kružnici.
- Zanedbání ostatních vlivů se kompenzuje přesunutím síly  $F_T$  na hranu hlavy zubu, kde je spojitě rozložena po celé šířce zubu.
- Předpokládá se součinitel trvání záběru  $\varepsilon = 1$ , ačkoliv ve skutečnosti  $\varepsilon > 1$ .



Obr. 4: Výpočet dle Bacha

$$M_o = F_T \cdot h = M_{o\max} [N \cdot mm]$$

$M_o [N \cdot mm]$  ... ohybový moment k patě zubu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} [MPa]$$

$\sigma_o [MPa]$  ... ohybové napětí v patě zubu

$$F_T = b \cdot p \cdot c [N]$$

$p [mm]$  ... rozteč zubů

$c [Pa]$  ... Bachova konstanta (závislá na  $\sigma_{Do}$ )



Z Bachova výpočtu je pak možné odvodit vztah pro předběžný modul  $m'$  při zadaném výkonu  $P$ :

$$m' = 0,407 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{c \cdot \psi \cdot z \cdot n}} \text{ [mm]}$$

$m'$  [mm] ... předběžný modul

$P$  [W] ... výkon

$\psi$  [1] ... relativní šířka ozubení ... doporučené hodnoty v rozmezí 10 - 20

$z$  [mm] ... počet zubů pastorku

$n$  [ $s^{-1}$ ] ... otáčky pastorku

Pro předběžný výpočet modulu je zapotřebí obecně zvolit materiál ozubených kol, z něhož lze získat hodnotu Bachovy konstanty. Přesná volba materiálu (čili přesné označení – např. dle EN) se provede až u kontroly ozubených kol, kde je zapotřebí zjistit více parametrů, spjatých s daným materiálem.

Předběžné moduly se volí zvláště pro první soukolí (tj.  $m_{12}$ ) a zvláště pro druhé soukolí (tj.  $m_{34}$ ). Není podmínkou, aby moduly jednotlivých soukolí byli stejné.

Skutečné moduly  $m$  zvolíme z řady normalizovaných modulů, a to tím způsobem, že vybereme nejbližší vyšší hodnotu normalizovaného modulu vůči předběžnému modulu  $m'$  z výpočtu.

Materiál	$c$ [MPa]
Litina	3,2 – 4,6
Ocel na odlitky	4,6 – 6,2
Uhlíková ocel	5,4 – 10
Slitinová ocel zušlechtěná	7 – 10
Slitinová ocel cementovaná	10 – 12

Tab. 6: Hodnoty Bachovy konstanty dle materiálu [27]

Pro představu jsou uvedeny případy využití jednotlivých materiálů:

- Tvárná litina ... vhodná pro velká ozubená kola s větším zatížením
- Ocel na odlitky ... používá se pro výrobu velkých kol s menším zatížením
- Ocel ... nejčastěji používaný materiál ozubených kol

### 6.2.5. Výpočet a návrh úhlu sklonu zubů a osově vzdálenosti kol

Základní a velmi podstatnou podmínkou pro úhel sklonu zubů je nutnost mít je u obou soukolí stejný. Pouze orientace sklonu je rozdílná, tedy jedno kolo má sklon pravý a druhé levý.

Celý výpočet a návrh je vzhledem k požadavku na nekorigovaná soukolí svázán do cyklu. Vše se točí kolem jednoho vzorce, který je dle potřeby upravován a jsou do něj dosazovány odvozené hodnoty.

a) Zvolíme předběžný úhel sklonu zubů kol 1 a 2 -  $\beta'_{12}$ , a to volbou z doporučeného intervalu  $\langle 8; 20 \rangle^\circ$ . Tento interval vychází z přípustného rozdělení sil, tedy aby vlivem sklonu zubů nedocházelo k příliš vysokým ztrátám krouticího momentu transformací hnací síly do její axiální složky (tato problematika bude vysvětlena u výpočtu ložisek).

b) Vypočítáme předběžnou osovou vzdálenost  $a'$

$$a' = \frac{m_{12} \cdot (z_1 + z_2)}{2 \cdot \cos(\beta'_{12})} \text{ [mm]}$$

c) Zaokrouhlíme předběžnou osovou vzdálenost  $a'$  na nejbližší přirozené číslo. To je z toho důvodu, aby byla daná osová vzdálenost vyrobitelná. Tedy přesněji všechny součásti, na které má její hodnota vliv.

d) Vypočítáme skutečný úhel sklonu zubů prvního soukolí  $\beta_{12}$

$$\beta_{12} = \arccos\left(\frac{m_{12} \cdot (z_1 + z_2)}{2 \cdot a}\right) [^\circ]$$

e) Vypočítáme skutečný úhel sklonu zubů druhého soukolí  $\beta_{34}$

$$\beta_{34} = \arccos\left(\frac{m_{34} \cdot (z_3 + z_4)}{2 \cdot a}\right) [^\circ]$$

f) Porovnáme výsledné úhly sklonu zubů  $\beta_{12}$  a  $\beta_{34}$  s doporučeným intervalem z bodu a), tj.  $\langle 8; 20 \rangle^\circ$ . Pokud se vypočtené hodnoty úhlů nevejdou do daného intervalu, je zapotřebí přepočítat některé ze vstupních parametrů do výpočtu (tj. moduly anebo počty zubů).

Matematická poznámka: Může se stát, že při výpočtu skutečných úhlů sklonu zubů bude vycházet ERROR. To nastává z jednoho důvodu, a to že  $\cos(\beta) > 1$ , což z definice cosinu nemá řešení. V tom případě je zapotřebí postupovat obdobně jako v bodě f), tj.:

- Budťo změníme skutečnou osovou vzdálenost  $a$  a znovu vypočteme úhly  $\beta$ ,
- anebo ubereme jeden zub a výpočet opakujeme. Tím se ovšem změní i převod, takže musíme znovu provést jeho kontrolu (viz kapitola 6.2.2 a 6.2.3.).

### 6.2.6. Výpočet zbylých parametrů ozubených kol

Poté, co byli určeny všechny základní parametry, které definují navrhovaná ozubení, je zapotřebí dopočítat zbylé parametry. Jedná se o parametry, které vstupují do dalších výpočtů spjatých s převodovkou. Ať už vstupující do kontroly ozubených kol, anebo se jedná o parametry, bez kterých by bylo jen těžko možné narýsovat požadované výkresy ozubených kol.

#### a) Virtuální počet zubů $z_v$ – vstupují do kontroly ozubených kol

$$z_{vi} = \frac{z_i}{\cos^3(\beta_j)} \quad [1]$$

pro 1. soukolí:  $i \in \{1; 2\}$ ;  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $i \in \{3; 4\}$ ;  $j = 34$

#### b) Normálová rozteč

$$p_{nj} = \pi \cdot m_{nj} \quad [mm]$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$

#### c) Čelní rozteč

$$p_{tj} = \pi \cdot m_{tj} \quad [mm]$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$

#### d) Čelní úhel záběru

$$\alpha_{tj} = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}(\alpha_n)}{\cos(\beta_j)}\right) \quad [^\circ]$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$

#### e) Základní rozteč

$$p_{tbj} = p_{tj} \cdot \cos(\alpha_{tj}) \quad [mm]$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$

**f) Roztečná kružnice**

$$d_i = \frac{z_i \cdot m_{nj}}{\cos(\beta_j)} \text{ [mm]}$$

pro 1. soukolí:  $i \in \{1; 2\}; j = 12$  / pro 2. soukolí:  $i \in \{3; 4\}; j = 34$

**g) Hlavová kružnice**

$$d_{ai} = d_i + 2 \cdot m_{nj} \text{ [mm]}$$

pro 1. soukolí:  $i \in \{1; 2\}; j = 12$  / pro 2. soukolí:  $i \in \{3; 4\}; j = 34$

**h) Patní kružnice**

$$d_{fi} = d_i - 2,5 \cdot m_{nj} \text{ [mm]}$$

pro 1. soukolí:  $i \in \{1; 2\}; j = 12$  / pro 2. soukolí:  $i \in \{3; 4\}; j = 34$

**i) Základní kružnice**

$$d_{bi} = d_i \cdot \cos(\alpha_{tj}) \text{ [mm]}$$

pro 1. soukolí:  $i \in \{1; 2\}; j = 12$  / pro 2. soukolí:  $i \in \{3; 4\}; j = 34$

**j) Tloušťka zubu**

$$s_{tj} = \frac{p_{tj}}{2} \text{ [mm]}$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$

**k) Součinitel záběru profilu**

$$\varepsilon_{aij} = \frac{\sqrt{d_{ai}^2 - d_{bi}^2} + \sqrt{d_{aj}^2 - d_{bj}^2} - 2 \cdot a \cdot \sin(\alpha_{tij})}{2 \cdot p_{tbij}} \text{ [1]}$$

pro 1. soukolí:  $i = 1; j = 2$  / pro 2. soukolí:  $i = 3; j = 4$

**l) Šířka ozubení**

$$b_j = \psi_j \cdot m_{nj} \text{ [mm]}$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$

**m) Součinitel kroku**

$$\varepsilon_{bj} = \frac{b_j \cdot \sin(\beta_j)}{\pi \cdot m_{nj}} \text{ [1]}$$

pro 1. soukolí:  $j = 12$  / pro 2. soukolí:  $j = 34$





## 7. Uložení hřídele převodovky – 3. ročník

### 7.1. ZADÁNÍ

Navrhněte uložení hřídele jednostupňové převodovky v jednořadých kuličkových ložiskách. Ložiska jsou mazána broděním ozubených kol s přímými zuby v olejové náplni převodovky.

DÁNO:

Přenášený výkon  $P$  [W]

Vstupní otáčky  $n_1$  [ $s^{-1}$ ]

Požadovaný převod  $u_{12}$  [1]

Průměr roztečné kružnice hnaného kola  $D_2$  [mm]

Radiální síla  $F_r$  [N]

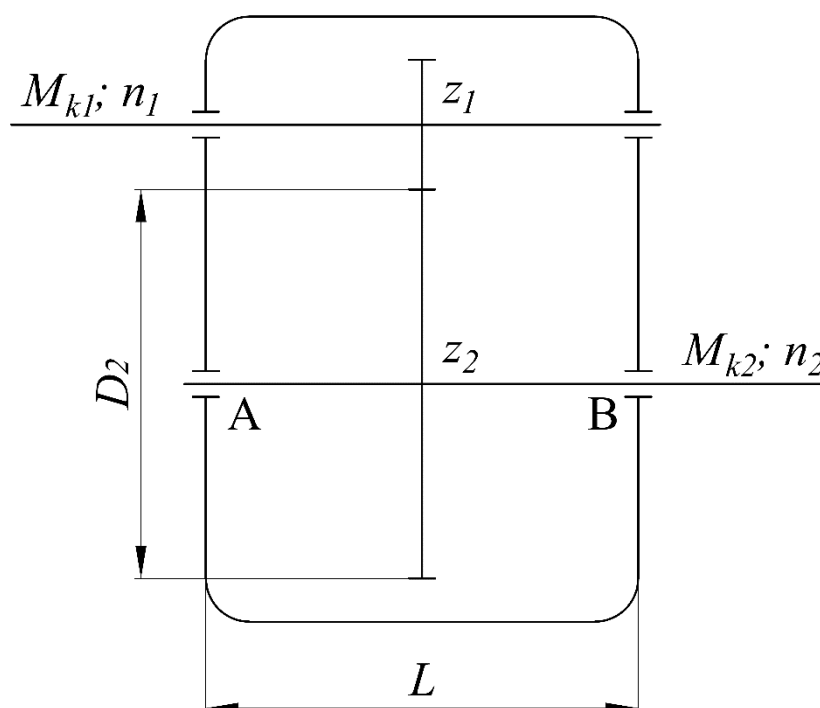
Vzdálenost mezi ložisky  $L$  [mm]

Životnost ložisek  $L_h$  [hod]

Účinnost  $\eta$  [1]

Pracovní teplota  $T$  [ $^{\circ}C$ ]

Druh prostředí



Obr. 6: Schéma zadání

## 7.2. Úvod

Předmětem úlohy „*Uložení hřídele převodovky*“ je návrh hřídele, který tvoří rotační spojení mezi ozubenými koly, ložisky a skříní převodovky. Přes výpočet silových poměrů v hřídeli je zapotřebí navrhnout potřebné průměry hřídele, spolu s jejich délkami. Během návrhu konstrukce hřídele musí žák vhodně zvolit připojení k dalším součástem (např. pero), dále také hřídelové těsnění z důvodu zabránění úniku maziva ze skříně převodovky, a v neposlední řadě ložisko, jež tvoří mezičlen spojení hřídele se skříní, spolu s jeho pojištěním (např. pojistný kroužek či KM matice s MB podložkou).

Výstupem této úlohy je zpracovaná technická zpráva s výpočty, náčrtý a odůvodněními jednotlivých voleb a návrhů žáka. Dalším výstupem, se stejnou váhou při hodnocení, je výrobní výkres hnané hřídele.

Důležitou poznámkou je skutečnost, že při vypracování této úlohy se od žáků očekává určitá znalost dané problematiky. Žáci by měli být schopni si vybavit a aplikovat již dříve nabyté znalosti a zkušenosti z předchozího studia. Neočekává se však zcela samostatná práce jednotlivých žáků, ale určitá iniciativa a propojení znalostí, které byli získány napříč jednotlivými, již absolvovanými, odbornými předměty.

Při vypracovávání této úlohy by měl žák využít své poznámky (zápisky z výuky), tuto oporu, strojnické tabulky (dále jen ST) a také se může opřít o další doporučenou literaturu, která je v tomto učebním textu citována.

## 7.3. Kinematické poměry

Převodovka, jakožto strojní zařízení, které transformuje a přenáší otáčky  $n$ , kroutící moment  $M_k$  či výkon  $P$ , je složena z několika základních součástí. Těmi hlavními, jež mají vliv na kinematické poměry, jsou hřídele, ozubená kola a ložiska.

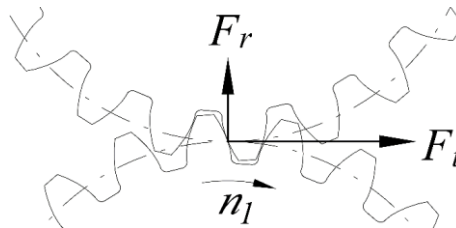
Zásadními parametry, mající vliv na kinematiku, jsou otáčky  $n$  a převod  $u$ . Ze znalosti těchto parametrů je možné sestavit přepočty mezi známými vstupními otáčkami  $n_1$ , převodem  $u$  a otáčkami na výstupu  $n_2$ . Tento výpočet však platí pro jednostupňovou převodovku.

### 7.3.1. Výstupní otáčky

$$u_{12} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = \frac{n_1}{u_{12}} [s^{-1}]$$

## 7.4. Silové poměry

Vzhledem k tomu, že ústředním motivem pro výrobu a aplikaci převodovky je potřeba přenosu otáček  $n$ , a především krouticího momentu  $M_k$  či výkonu  $P$ , je zapotřebí tyto parametry definovat anebo spočítat. Při detailnějším pohledu na rozbor silových poměrů v ozubení je patrné, že vstupní výkon  $P$ , respektive krouticí moment  $M_k$ , se rozkládá do jednotlivých silových složek, které působí v určitých směrech. Tyto síly je nutné správně určit, neboť mají přímý vliv na správné zvolení nejen konstrukce hřídele, ale také ložisek.



Obr. 7: Silové poměry v ozubení

### 7.4.1. Krouticí moment

$$M_{K2} = \frac{P \cdot \eta}{2 \cdot \pi \cdot n_2} [Nm]$$

### 7.4.2. Tečná síla

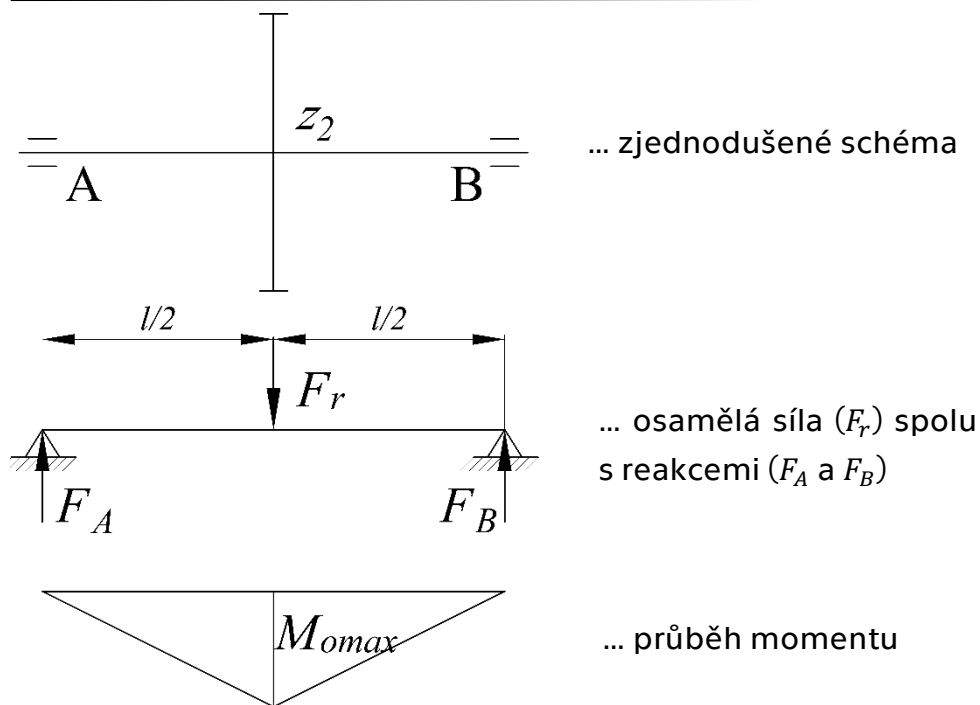
$$F_t = \frac{2 \cdot M_K}{D_2} [N]$$

### 7.4.3. Reakce v ložiskách

Určení reakcí v ložiskách nelze definovat pouze vzorcem. Samotný princip výpočtu vychází z definice nosníku na dvou podporách. Je zapotřebí si převést hnaný hřídel na nosník o dvou podporách, kdy podporami jsou právě zmíněná ložiska. Dalším krokem je uvolnění vazeb (podpor) za pomoci rovnováhy sil do jednotlivých os a rovnováhy momentů k libovolnému bodu.

#### Postup řešení:

- 1) Zakreslení hnaného hřídele spolu s ložisky a ozubeným kolem (schematicky)
- 2) Převedení výše zmíněné sestavy na nosník o dvou podporách
- 3) Zakreslení silových účinků
- 4) Zakreslení průběhu ohybového momentu
- 5) Určení rovnováhy sil a momentu
- 6) Vyjádření reakcí a maximální ohybového momentu



Obr. 8: Vyjádření reakcí

$$\sum F_x = 0 \rightarrow 0 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_A + F_B - F_r = 0$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_B \cdot l - F_r \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$\rightarrow F_B = \frac{F_r}{2} = F_A \text{ [N]}$$

$$\rightarrow M_{omax} = F_A \cdot \frac{l}{2} = F_B \cdot \frac{l}{2} \text{ [Nm]}$$

Obdobným způsobem se provede rozbor zatížení od tečné síly  $F_t$ . Celkový ohybový moment od obou složek sil se určí prostým součtem.

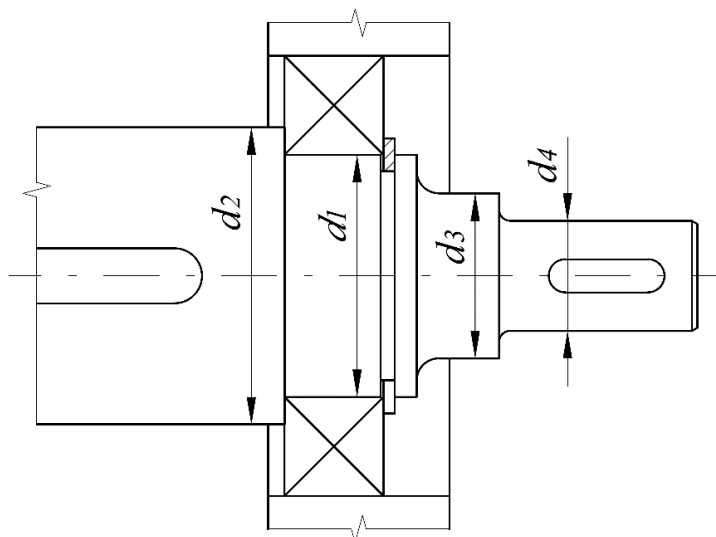
$$\rightarrow F'_B = \frac{F_t}{2} = F'_A \text{ [N]}$$

$$\rightarrow M_{omax} = F'_A \cdot \frac{l}{2} = F'_B \cdot \frac{l}{2} \text{ [Nm]}$$

$$M_{ocelk} = M_{omax}^{(F_r)} + M_{omax}^{(F_t)} \text{ [Nm]}$$

## 7.5. Konstrukce hřídele

Jakmile jsou určeny silové poměry, je možné začít navrhovat rozměry hřídele. Některé jsou vyjádřeny z pevnostní podmínky daného namáhání, jiné jsou voleny dle zástavbových možností, či z rozměrů použitých součástí, jež jsou přímo spojeny s danou hřídelí.



Obr. 9: Schéma s rozměry hřídele

### 7.5.1. Materiál hřídele

Než je možné začít s navrhováním rozměrů, je zapotřebí zvolit materiál hřídele. Ten se obvykle volí z používaných ocelí. Tím je brán ohled nejen na možnost relativně rychlého dodání do výrobního podniku, ale také na ekonomický pohled. Zjednodušeně řečeno – čím běžnější ocel to je, tím levněji a jednodušeji ji lze získat.

Pro představu, jaké materiály jsou běžné pro výrobu hřídelů, napomůže nahlédnutí do ST [28], materiálových katalogů [27], anebo do katalogu některých z dodavatelů polotovarů [29].

### 7.5.2. Výstupní průměr $d_4$

Výstupní konec hřídele je namáhán krutem. To je vyvozeno z přenosu krouticího momentu  $M_k$  z ozubeného kola na připojenou součást (přes pero). Vzhledem k této skutečnosti se průměr výstupního konce hřídele  $d_4$  vyvodí z pevnostní podmínky pro krut.

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk} [MPa]$$

Dovolené napětí v krutu vychází ze zvoleného materiálu (viz bod 7.5.1). Pro zvolený materiál je zapotřebí odečíst mez kluzu  $R_e$ . Pakliže je známa mez kluzu, zvolí se vhodně bezpečnost  $k$ . Ta vychází z charakteru úlohy čili jestliže se jedná o uzavřenou převodovku a nehrozí poranění osob v blízkosti, vlivem lomu a rozbití zařízení, je dostačující volit bezpečnost z intervalu  $k \in \langle 1,3; 2 \rangle$ . Při konečném určení dovoleného napětí v krutu je také zapotřebí brát v potaz typ napětí. V tomto případě se jedná o tečné

napětí, což má za následek přepočítání z meze kluzu (ta byla zjištěna pro normálové namáhání) za pomoci koeficientu 0,6.

$$\tau_{Dk} = \frac{R_e}{k} \cdot 0,6 \text{ [MPa]}$$

Modul průřezu  $W_k$  je určen ze základních vzorců pro kruhový průřez (viz ST [27]). Nesmí se však opomenout požadovaná drážka pro pero, neboť pero zde slouží jako spojovací prvek mezi hřídelí a přípojným zařízením (např. spojkou).

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk} \rightarrow \tau_{Dk} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_4'^3}{16}} \rightarrow d_4' = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_{Dk}}} \text{ [mm]}$$

Z vypočteného předběžného průměru  $d_4'$  je na místě zvolit skutečný průměr výstupního konce hřídele  $d_4$ . To má být provedeno za účelem zjednodušení výroby, neboť vyrábět hřídel s průměrem o rozměru necelého nezaokrouhleného čísla je zcela nesmyslné a nevhodné. Z toho důvodu se provede zaokrouhlení na nejbližší vyšší číslo (vyšší  $\rightarrow$  na straně bezpečnosti).

Pakliže je určen průměr  $d_4$ , může se určit pero. To se provádí přiřazením rozměrů pera ( $b, h, l$ ) danému průměru hřídele, a to z tabulky dle ST [27].

$\rightarrow$  PERO  $be7 \times h \times l$  ČSN 02 2562

Délka pera se zvolí za pomoci kontrolního výpočtu na otláčení – viz ST [27].

$$l \geq \frac{4 \cdot M_k}{p_D \cdot h \cdot d_4} \text{ [mm]}$$

### 7.5.3. Průměr pro těsnění $d_3$

Z konstrukčních důvodů musí být průměr pro těsnění větší, než-li průměr výstupního konce hřídele. Čili musí platit podmínka  $d_4 < d_3$ . Rozměr  $d_3$  se volí dle parametrů těsnicích součástí – viz ST [27].

Nejen hodnotu průměru, ale také požadavky na tolerance a jakost povrchu dané části hřídele je nutné si poznamenat. Vzhledem k potřebnému těsnému spoji, mezi hřídelem a těsnicím prvkem, budou ony požadavky důležité.

#### 7.5.4. Průměr pod ložiskem $d_1$

Zde platí podobný požadavek, jako u průměru  $d_3$ . Tedy že průměr pod ložiskem musí být z konstrukčních důvodů větší, než-li průměr pro těsnění. Tomu odpovídá podmínka  $d_3 < d_1$ . Stejný vliv na hodnotu průměru má také jeho účel. Jestliže je volen pro ložisko, musí se také vycházet z rozměrových tabulek ložisek – viz ST [27]. Volený průměr  $d_1$  musí odpovídat některému z normalizovaných ložisek.

→  $d_1$  → LOŽISKO xxxx ČSN 02 4630; xxxx ... označení ložiska dle normy

Je nutné opět myslet i na požadavky tolerancí a jakosti povrchu. Všechny tyto požadavky uvádí výrobci ložisek ve svých katalogích (např. ZKL, SKF či KINEX), anebo jsou taktéž uvedeny v ST [27].

Vzhledem k požadavkům na ložisko (síly v reakcích  $F_A$ , respektive  $F_B$  a životnost  $L_h$ ), je zapotřebí zvolené ložisko zkontrolovat. Kontrola vychází z normy, respektive z ST [27]. Do výpočtu vstupují: otáčky  $n$ , síla v reakcích  $F_A$  (resp.  $F_B$ ), dynamická únosnost ložiska  $C$  – z ST.

Pokud ložisko, z hlediska kontroly na trvanlivost, nevyhoví, je zapotřebí provést přepočítání s větším ložiskem, anebo s únosnější řadou ložiska o stejném průměru.

Jedno z ložisek by mělo být pojištěno proti axiálnímu posunutí. K tomu může dojít vlivem axiální síly od silového styku v ozubení (v této úloze se  $F_a$  nevyskytuje), anebo vlivem tepelné roztažnosti hřídele, při jejím ohřevu na provozní teplotu (anebo v případě zadření). Pojišťuje se vždy jen jedno ložisko, a to z důvodu zachování staticky určité úlohy.

Pojištění ložiska se provádí za pomoci několika možných součástí, a to např. pojistným kroužkem, anebo KM maticí s MB podložkou. To, jakou ze součástí žák zvolí, je zcela na něm. Pro výběr poslouží určený průměr  $d_1$  a ST [27].

#### 7.5.5. Průměr pod ozubeným kolem $d_2$

Průměr  $d_2$  musí být opět z konstrukčních důvodů větší, než-li průměr  $d_1$ . Minimální rozdíl, mezi těmito průměry, lze stanovit z požadavku na průměr opření vnitřního kroužku ložiska. To vychází z katalogu ložisek, anebo ST [27].

Kontrola navrženého průměru pod ozubeným kolem  $d_2$  se provede dle skutečnosti, že se v místě uložení ozubeného kola jedná o kombinované namáhání. To je složeno z namáhání ohybem (viz bod 7.4.3) a z namáhání

krutem (od krouticího momentu – viz bod 7.4.1). Řešení kombinovaného namáhání se provádí za pomoci tzv. redukovaného napětí, které vychází z teorie výpočtů metodou HMH anebo metodou  $\tau_{\max}$ .

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} [MPa]$$

Ohybové napětí  $\sigma_o$  vychází z celkového ohybového momentu  $M_{ocelk}$  (viz bod 7.4.3). Napětí v krutu vychází z krouticího momentu  $M_k$  (viz bod 7.4.1). Součinitel  $\alpha$  je přímo závislí na zvolené metodice výpočtu, tedy zda dle HMH, anebo metodou  $\tau_{\max}$ . Vzhledem k rozšířenější metodě HMH bude vhodné zvolit  $\alpha = \sqrt{3}$ .

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} [MPa]$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} [MPa]$$

Charakteristiky průřezu, tedy přesněji moduly průřezu, vycházejí ze základních vzorců, které jsou uvedeny v ST [27].

Jestliže je určeno redukované napětí, je možné jej, za pomoci pevnostní podmínky, porovnat s dovoleným normálovým napětím. To se určí ze znalosti meze kluzu zvoleného materiálu  $R_e$ , podobně jako tomu bylo u dovoleného napětí v krutu. V tomto případě se však nejedná o tečné napětí, z toho důvodu přepočtový koeficient 0,6 zde chybí.

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} [MPa]$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_D [MPa]$$

Pokud pevnostní podmínka není dodržena, je zapotřebí zvolit větší průměr pod ozubeným kolem  $d_2$  a znovu provést kontrolu.

Potom, co je ověřena správnost volby průměru  $d_2$ , je možné navrhnout pero spojující ozubené kolo se samotným hřídelem. Volba pera se provádí zcela stejným způsobem, jako na konci bodu 7.5.2.

## 7.6. Grafické výstupy

Určením všech potřebných rozměrů pro nakreslení, a k eventuální výrobě, je dosažen stav, kdy je možné vytvořit požadované výkresy. Ještě před tím je však více než vhodné si dle požadavků na výkres udělat náčrtek (odpovídající výkresu). Ten slouží k upřesnění tvarů a ujasnění myšlenek, jak by měla daná hřídel vypadat a také jak by fungovala (anebo byla vyráběna).





Ne nadarmo se říká, že strojaře dělá schopnost načrtnout dle svých myšlenek takovou skicu, ze které je pochopitelná většina autorových představ.

Výkresy by měli být nakresleny z 3D CAD modelu, a to v softwaru Autodesk Inventor.





## 8. Závěr

Ať už se předmět *Konstrukční cvičení* nazývá jakkoli, jedná se o jeden ze základních předmětů vyučovaných v oboru Strojírenství. Jeho hlavním cílem je žáky naučit aplikovat již dříve nabyté vědomosti a zkušenosti z předchozího studia. Největším problémem při výuce tohoto předmětu však bývá absolutní nedostatek jakýchkoli učebnic, učebních textů či studijních opor. Učitelé jsou tak zcela odkázáni na svou vlastní tvorbu takovýchto dokumentů, anebo se značnými korekcemi využívají dnes již těžko dostupné učební materiály ze 70. let minulého století.

Záměrem této bakalářské práce bylo sestavit učební text, který by posloužil při výuce nejen daného předmětu na zmíněné SPŠ a VOŠ Chomutov, ale také při výuce obdobných předmětů stejného charakteru na dalších středních průmyslových školách technického zaměření.

V teoretické části bakalářské práce je proveden rozbor předmětu a jeho vymezení v rámci kurikulárních dokumentů RVP i ŠVP. Součástí je také rešerše více či méně dostupných studijních materiálů a norem, z nichž jsou sestaveny základní požadavky na vlastní učební text. V neposlední řadě byl vytvořen průzkum, na jehož základě byla shromážděna data, ze všech středních škol vyučujících dle oboru vzdělávání 23-41-M/01 Strojírenství, o hodinových dotacích předmětů, které svým obsahem korespondují s definovaným předmětem *Konstrukční cvičení*.

Praktická část je členěna na dvě základní části. První z nich je učební text, který pojednává o jedné z kapitol vyučovaného projektu *Převodovka* na zmíněné škole ve 4. ročníku. Druhá část se zabývá učebním textem pro výuku jednoho z projektů vyučovaných na zmíněné škole ve 3. ročníku, jež se nazývá *Uložení hřídele převodovky*.

Oba učební texty jsou výsledkem snahy autora o vytvoření takových textů, které by pomohli především žákům při výuce (učení) se orientovat v poměrně obsáhlém a složitém tématu, kterým převodovka a její části nepochybně jsou. Autor si zakládal na využití aktuálních informací a zdrojů. Pomocí mu také byla již určitá zkušenost s výukou těchto témat, díky níž se snažil v daných textech dotýkat podrobněji takových témat, které žákům dělají obtíže.

Při práci na předmětných textech autora zaujala myšlenka, ve které by žáci měli během své výuky možnost pracovat na sestavení učebního textu (resp. spolupracovat s vyučujícím). Díky tomu by mohli jinou formou aplikovat své



již nabyté znalosti a zkušenosti, a měli by také možnost natrénovat tvorbu svých vlastních učebních podkladů, a to především za účelem zdárného složení praktické maturitní zkoušky. Autor by rád na této myšlence během své pedagogické praxe zapracoval a pokusil se ji aplikovat do své výuky.

Vytvořené učební texty by měli být schopné posloužit nejen těm učitelům, kteří vyučují danou problematiku, ale také jako inspirace pro začínající i zkušené učitele. Inspirace, která by měla nabídnout pomocnou ruku v současné situaci, kdy nedostatek nejen kvalitních ale prakticky jakýchkoliv učebních textů v oboru strojírenství je zcela tristní.



## Citace

- [1] Národní pedagogický institut. Národní soustava kvalifikací. [Online] Trexima. [Citace: 26. 10. 2022.] <https://www.narodnikvalifikace.cz/>.
- [2] *Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 23-41-M/01 Strojírenství*. Praha : Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR, 2020.
- [3] *Školní vzdělávací program Elektrotechnika a Strojírenství*. Chomutov : Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Chomutov, 2021.
- [4] *Školní a klasifikační řád*. Chomutov : Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Cho, 2016.
- [5] MŠMT. Rejstřík škol a školských zařízení. [Online] [Citace: 26. 10. 2022.] <https://rejstriky.msmt.cz/rejskol/>.
- [6] MŠMT. Doložky učebnic a učebních materiálů pro střední vzdělávání. [Online] [Citace: 26. 10. 2022.] <https://www.msmt.cz/vzdelavani/stredni-vzdelavani/dolozky-ucebnic-a-ucebnich-materialu-pro-stredni-vzdelavani>.
- [7] Průcha, Jan. *UČEBNICE: TEORIE A ANALÝZY EDUKAČNÍHO MÉDIA, Příručka pro studenty, učitele, autory učebnic a výzkumné pracovníky*. Brno : Paido, 1998. ISBN 80-85931-49-4.
- [8]. Průcha, Jan. *Moderní pedagogika*. Praha : Portál, 2005. ISBN 80-7367-047-X.
- [9] Procházková a kol. *Konstrukční cvičení I*. Praha : SNTL, 1989. ISBN 80-03-000.
- [10] Kříž a kol. *Konstrukční cvičení II*. Praha : SNTL, 1986.
- [11] Kříž a kol. *Konstrukční cvičení III*. Praha : SNTL, 1988.
- [12] Procházková a kol. *Konstrukční cvičení - Části strojů*. Praha : SNTL, 1982.
- [13] Kovář a Blažek. *Konstrukční cvičení - Převodovka*. Praha : SNTL, 1982.
- [14] ČSN 01 4602. *Názvosloví ozubených soukolí*. Praha : Úřad pro normalizaci, 1961.
- [15] ČSN 01 4602-1. *Názvosloví ozubených převodů. Všeobecné pojmy*. Praha : Úřad pro normalizaci, 1985.
- [16] ČSN 01 4602-2. *Názvosloví ozubených převodů. Převody s čelními koly*. Praha : Úřad pro normalizaci, 1985.



- [17] ČSN 01 4686-1. *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Základní pojmy a výpočtové vztahy.* Praha : Úřad pro normalizaci, 1988.
- [18] ČSN 01 4686-2. *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Ekvivalentní a směrodatné výpočtové zatížení.* Praha : Úřad pro normalizaci, 1988.
- [19] ČSN 01 4686-3. *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Kontrolní výpočet čelních ozubených kol.* Praha : Úřad pro normalizaci, 1988.
- [20] ČSN 01 4686-4. *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Návrhový a zjednodušený kontrolní výpočet čelních ozubených kol.* Praha : Úřad pro normalizaci, 1988.
- [21] ČSN 01 4686-5. *Pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Meze únavy a údaje o materiálech.* Praha : Úřad pro normalizaci, 1988.
- [22] ČSN ISO 6336-1. *Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby - Část 1: Základní principy, doporučené a obecně ovlivňující faktory.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [23] ČSN ISO 6336-2. *Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby – Část 2: Výpočet trvanlivosti povrchu (pitting).* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [24] ČSN ISO 6336-3. *Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby – Část 3: Výpočet pevnosti v ohybu zubu.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [25] ČSN ISO 6336-5. *Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby - Část 5: Údaje o pevnosti a kvalitě materiálů.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [26] ČSN ISO 6336-6. *Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby – Část 6: Výpočet provozní životnosti při proměnném zatížení.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [27] Fürbacher, Ivan, Macek, Karel a Steidl, Josef. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty.* Praha : Dashöfer, 1998. ISBN 80-86229-02-5.
- [28] Hruďčková, Milena. *Zadání programu č.4.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FS, katedra částí a mechanismů strojů, 2015.



[29] Leinveber, Jiří a Vávra, Pavel. *Strojnické tabulky*. Praha : Albra, 2021. 978-80-7361-124-8.

[30] *Ferona online*. [Online] 2017. [Citace: 26. 10. 2022.] <https://online.ferona.cz/>.

[31] Kugl a kol. *Projekt - III. ročník*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03205-1.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma zadání .....	24
Obr. 2: Základní roviny .....	25
Obr. 3: Schéma ozubení.....	26
Obr. 4: Výpočet dle Bacha .....	29
Obr. 5: Příklad výstupu z výpočtů [28] .....	34
Obr. 6: Schéma zadání .....	35
Obr. 7: Silové poměry v ozubení .....	37
Obr. 8: Vyjádření reakcí.....	38
Obr. 9: Schéma s rozměry hřídele.....	39
Obr. 10: Příklad výrobního výkresu [28] .....	44

## Seznam tabulek

Tab. 1: Tematický plán – Konstrukční cvičení – 3. ročník.....	10
Tab. 2: Tematický plán – Konstrukční cvičení – 4. ročník.....	11
Tab. 3: Průměrné hodinové dotace předmětu .....	12
Tab. 4: Počty škol vzhledem k průměrné hodinové dotaci předmětu .....	12
Tab. 5: Porovnání hodinové dotace na SPŠ a VOŠ Chomutov k průměrné hodnotě .....	12
Tab. 6: Hodnoty Bachovy konstanty dle materiálu [27] .....	30