



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE NÁPRAV PRO MODEL LOKOMOTIVY BN30U

DESIGN OF AXLES FOR MODEL LOCOMOTIVE BN30U

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VOJTĚCH HLOM

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK PROKEŠ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vojtěch Hlom

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Konstrukce náprav pro model lokomotivy BN30U

v anglickém jazyce:

Design of axles for model locomotive BN30U

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh a výpočet náprav modelu lokomotivy BN30U v měřítku 1:3 . s těmito parametry: hmotnost lokomotivy 135-150kg pohon elektromotorem o výkonu 600W se šnekovou převodovkou maximální rychlost lokomotivy 5-7 km/h. Model je určen jako tažné vozidlo osobních vláček.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci):

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (Konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma práce: průvodní zpráva, 3D model, výkres sestavení

Typ BP: konstrukční

Účel zadání: pro potřeby průmyslu

Seznam odborné literatury:

normy ČSN, ISO

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Prokeš

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 23.11.2011



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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem náprav pro model lokomotivy BN30U. Cílem je dosáhnout nejjednoduššího návrhu konstrukce nápravy. Návrh musí zajistit snadnou montáž sestavy nápravy. Konstrukce náprav se zakládá převážně na zvoleném systému pohonu modelu. Práce obsahuje přehled podobných modelů ze zahraničí, možností pohonu, návrh konstrukčního řešení, pevnostní výpočet a výkresovou dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Parková dráha, model lokomotivy BN30U, konstrukce náprav

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on project of design of axles for model of locomotive BN30U. The aim of this project is to create the simplest proposal of construction of the axle. The proposal must ensure simple assembly of axle. The design of axles is based especially on chosen propulsion of model. Thesis incorporates overview of models from foreign countries, of possible propulsions. It also includes proposal of solving of design, strength calculation and drawings documentation.

KEY WORDS

Park railways, model of locomotive BN30U, design of axles

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLOM, V. *Konstrukce náprav pro model lokomotivy BN30U*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Prokeš.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Konstrukce náprav pro model lokomotivy BN30U* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Prokeše a uvedl v seznamu všechny použité literární zdroje.

V Brně 24. května 2012

Vlastnoruční podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Františku Prokešovi za užitečné rady a odborné vedení při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Petru Zoubkovi za možnost pracovat na takto zajímavé práci a předání velkého množství informací a zkušeností z praxe o parkových drahách a modelů pro ně.

OBSAH	11
ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Přehled výrobců	14
1.1.1 Konrad Thul oHG (Německo)	14
1.1.2 Ride on Railways (Velká Británie)	14
1.1.3 Maxitrak (Velká Británie)	15
1.1.4 Compass House Ltd (Velká Británie)	16
1.1.5 Čeští výrobci	16
1.2 Model lokomotivy BN30U	17
1.3 Popis předlohy pro model - Lokomotiva BN30U	18
1.4 Základy pro konstrukci modelů	19
1.4.1 Měřítka a rozchody modelů	19
1.4.2 Umístění obsluhy lokomotivy	20
1.4.3 Řešení napájení elektromotoru	20
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	22
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	23
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ	24
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	25
5.1 Přehled variant pohonu	25
5.1.1 Přímý pohon dvojkolí	25
5.1.2 Pohon řetězem nebo řemenem	25
5.1.3 Úhlové kuželočelní převodovky	26
5.1.4 Úhlové šnekové převodovky	26
5.2 Zhodnocení a výběr optimální varianty pohonu	26
5.2.1 Varianta č.1	26
5.2.2 Varianta č.2	26
5.2.3 Varianta č.3	26
5.3 Výběr optimální varianty	27
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	28
6.1 Postup řešení	28
6.2 Volba a zdůvodnění	29
6.2.1 F1 – uložení převodovky	29
6.2.2 F2 – uložení řetězového kola	29
6.2.3 F3 – uložení kol	30
6.2.4 F4 – uložení ložisek	30
6.2 Řešení první nápravy	31
6.2.1 Dané veličiny	31
6.2.3 Výpočet reakcí	32
6.2.4 Výsledné vnitřní účinky první nápravy	32
6.2.5 Kritické řezy	34
6.2.6 Kontrola spojů těsnými pery:	38
6.2.7 Kontrola ložisek	38
6.3 Řešení druhé nápravy	39
6.3.1 Dané veličiny	39
6.3.2 Výsledné vnitřní účinky pro druhou nápravu	39

6.3.3 Důležité výstupy pro druhou nápravu.....	40
7 ZÁVĚR	41
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	42
9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN.....	44
10 SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK	46
11 SEZNAM PŘÍLOH.....	47

ÚVOD

Modely železnic a železničních vozidel se začaly objevovat velmi záhy po vzniku železnice jako takové. Za dobu existence vzniklo spoustu velikostí modelů od úplně malých, které se vejdou do vitríny v obývacím pokoji, až po velké, které jsou schopny vozit cestující. Velké modely železničních vozidel se v posledních letech staly velmi oblíbenými. V zahraničí, zejména ve Velké Británii, Německu a Švýcarsku vzniklo mnoho parkových a zahradních drah. Tyto dráhy provozují zpravidla kluby, které mají ve vlastnictví pozemek a většinou nějakou budovu, která tvoří zázemí pro dráhu. Náplní klubovní činnosti je výstavba dráhy a budování jejího zázemí, modely vozidel si zpravidla každý člen klubu staví sám. Kluby pravidelně prezentují svoji činnost formou provozních dnů, kdy je činnost klubu prezentována veřejnosti.

Vznikem parkových a zahradních drah se otevřel trh pro tento produkt. Ne každý modelář má možnost nebo schopnost si takto velký model postavit doma, takže se záhy zrodila poptávka po starších modelech nebo modelech zhotovených na objednávku. To umožnilo vznik společností, které se zabývají výrobou modelů a příslušenství parkových drah. Většina výrobců je zatím stále soustředěna do Velké Británie a Německa, kde je poptávka po průmyslově vyráběných modelech největší. V ČR si zatím všechny modely museli modeláři sami vyrobit, nebo je zakoupit v zahraničí. Proto vznikla snaha firmy Zet Ateliér vstoupit do tohoto odvětví a získat si kvalitní postavení na trhu jak tuzemském tak zahraničním. Je šance konkurovat srovnatelnou kvalitou a nižší cenou proti zahraničním výrobkům.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Přehled výrobců

1.1.1 Konrad Thul oHG (Německo)

Jedná se o německou společnost, která se zabývá výrobou modelů lokomotiv pro zahradní železnice. Firma vyrábí modely jak s pohonem pomocí elektromotoru, tak i modely s pohonem parním, převážně pro rozchod $7\frac{1}{4}$ " (184 mm), ovšem ve dvou měřítkách, a to 1:4 nebo 1:3,3. Z hlediska této práce je velmi zajímavý model lokomotivy Deutz OMZ 122. Model lokomotivy Deutz má velmi podobné parametry s modelem lokomotivy BN30U. Konstrukce pohonu je následující: elektromotor přes šnekový převod, s celkovým převodovým poměrem 1:15 pohání zadní nápravu a na přední nápravu se výkon přenáší pomocí spojnice.



Obr. 1-1 Lokomotivy Deutz 122 v měřítku 1:4 (vlevo) a 1: 3,3 (vpravo) [4]

Tato konstrukce má tu výhodu, že díky vlastnostem šnekové převodovky můžeme lokomotivu snadno brzdit motorem, pokud ho správně regulujeme. Ovšem při provozu vláček s pasažéry jsou vozy brzděny pomocí tlakovzdušné brzdy z důvodu bezpečnosti provozu a omezení přetěžování převodovky.

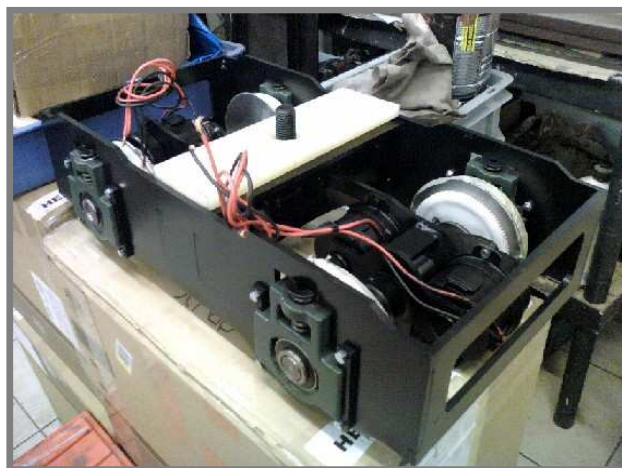
1.1.2 Ride on Railways (Velká Británie)

Jedná se o malou britskou rodinnou společnost, která se zabývá výrobou modelů pro zahradní železnici na rozchody 5 " (127 mm) a $7\frac{1}{4}$ ". Zároveň dodává i ostatní komponenty zahradních železnic. Modely této společnosti jsou konstruovány spíše jako funkční vozidla než jako makety skutečných vozidel. Jejich vzhled a detaily jsou velmi jednoduché.



Obr. 1-2 Podvozková lokomotiva firmy Ride on Railways [5]

Společnost Ride on Railways používá pohon dvěma elektromotory na každou nápravu přes jednoduchý převod. Velkou výhodou zjednodušeného vzhledu lokomotiv je i zjednodušení konstrukce. Díky tomu mohou používat na všechna vozidla jednotné podvozky.



Obr. 1-3 Hnací podvozek lokomotiv firmy Ride on Railways [5]

1.1.3 Maxitrak (Velká Británie)

Maxitrak je společnost, která vyrábí nepřehledné množství modelů - malé i velké parní lokomotivy, elektrické lokomotivy, vagóny, silniční vozidla a dokonce i samostatné měděné kotle pro modely lokomotiv. Tato firma má jednu z nejširších nabídek modelů pro zahradní železnici. Z hlediska konstrukce jsou pro tuto práci zajímavé modely malých elektrických lokomotiv.

U těchto modelů je použita konstrukce s individuálním pohonem náprav. Každá náprava je poháněna pomocí dvou elektromotorů. Tedy stejný systém jaký používá firma Ride on Railways. Zajímavostí je, že u modelů pro rozchod 7 ¼“ používá jako zdroj elektrické energie spalovací motor s alternátorem.



Obr. 1-4 Obrázek agregátu s alternátorem lokomotivy Ruston 2 [6]

1.1.4 Compass House Ltd (Velká Británie)

Tato britská společnost nabízí jak lokomotivy, tak vozy a další sortiment pro zahradní železnice. Konstrukci pojezdu používá velmi podobnou jako ostatní společnosti, tedy individuální pohon pro každou nápravu. Řešení používají i pro třínápravové spojnicové lokomotivy.



Obr. 1-5 Obrázek lokomotivy LOR [7]

1.1.5 Čeští výrobci

V České republice pravděpodobně dosud neexistuje specializovaná firma na výrobu modelů pro zahradní železnici. Na druhou stranu u nás existuje mnoho spolků a klubů, které si lokomotivy a ostatní modely vyrábějí sami svépomocí. Mezi těmito modely existuje mnoho velmi zdařilých kusů. A to jak po stránce vzhledu, tak i konstrukce. Na webových stránkách jednotlivých modelářů lze najít i velmi hodnotné rady a návody jak přistupovat ke konstrukci pohonu lokomotiv a výrobě jednotlivých součástí.

Například majitel zahradní železnice v Čabové postavil model úzkorozchodné parní lokomotivy U37.002. Na svých webových stránkách [9] poměrně podrobně popisuje výběr konstrukčního řešení pohonu lokomotivy a uvádí zde výhody a nevýhody jednotlivých řešení.



Obr. 1-6 Pojezd modelu lokomotivy U37.002 [9]

Dále je třeba se zmínit hlavně o klubu SMPD (Společnost Moravských Parkových Drah), který je spojen se vznikem modelu lokomotivy BN30U. Tento klub postavil parkovou dráhu Olympia v Brně, na které bude provozován i model lokomotivy BN30U

1.2 Model lokomotivy BN30U

1.2

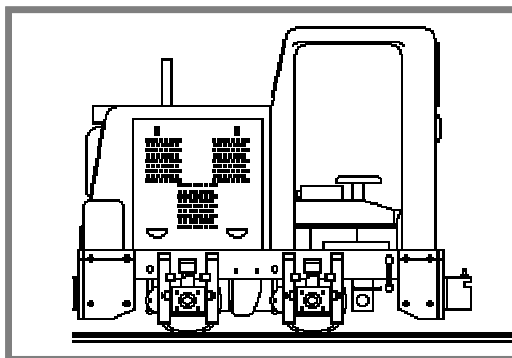
Model lokomotivy BN30U vzniká v rámci projektu obnovy rajnochovické lesní železnice. Dráha má dvě skutečné lokomotivy v provozním stavu, ale zatím s nimi není kde jezdit. Provozovatel dráhy má v současné době k dispozici přibližně 100 m pronajatých kolejí na pile. Celý projekt je výrazně podporován vedením zlínského kraje, proti tomu však jeho vedení požaduje, aby se obnovovaná dráha patřičně prezentovala na různých akcích zaměřených na rozvoj turistického ruchu (např. veletrhy GO a RegioTour). Případné vystavení skutečné lokomotivy v expozici je sice zajímavé, ale její převoz je finančně nákladný. Proto bylo zvoleno řešení se zmenšenou lokomotivou v měřítku 1:3, ale plně funkční, která je včetně potřebných kolejí a vozů v této velikosti snadno přepravitelná. Navíc "živý" exponát vždy zaujme více než exponát statický.

Při zmenšení v měřítku 1:3 je výsledný rozchod 200 mm. Aby bylo možné exponát provozovat nejen na vlastních (popř. vlastních převážených) kolejích, byl zvolen nejbližší normovaný rozchod používaný na parkových a zahradních drahách, a to 184 mm nebo jinak $7\frac{1}{4}$ ". Dále je u modelu požadován zachovaný průhled kabinou modelu a i vytvoření vnitřního zařízení lokomotivy, které je při pohledu do kabiny vidět. Proto musí být pohon konstruován tak, aby nebyl vidět v kabině lokomotivy. To například vylučuje konstrukci, jaká je u modelu Ruston 2 firmy Maxittrak. Zde je kabina vyplněna agregátem, který je zdrojem elektrické energie pro elektromotory.



Obr. 1-7 Obrázek Ruston 2 – pohled do kabiny [6]

1.3 Popis předlohy pro model - Lokomotiva BN30U



Obr. 1-8 Lokomotiva BN30U [8]

Lokomotivy BN30U jsou pokračováním výroby zdařilých a provozně spolehlivých lokomotiv BN30. Mají stejný pojezd, rám, motor i převodovku, ale novou přední kapotu a stanoviště strojníka. Typ BN30U se vyráběl jen krátce, protože se přešlo na vylepšenou variantu třicítky - typ BN30R. Lokomotiva BN30 je pokračováním výroby známých německých předválečných lokomotiv pro polní dráhy řady MD 2 firmy Orenstein & Koppel, respektive její válečné verze KML5, která i po válce a znárodnění probíhala v n. p. Stavoloko Vysočany. Výroba byla z bombardovaného Německa do Vysočan převedena během války. Třicítka se od svého předchůdce příliš nelišila. Jedinou větší viditelnou změnou byla zvětšená délka rámu, jež umožnila montáž velkých závaží v rámu, pro zvýšení hmotnosti a tím i adheze. Lokomotivy BN30 byly nabízeny jen v provedení s kabinou strojníka. Pro rozchody 700-760mm se stroje dodávaly s rozšířeným rámem, který se stal základem také pro slovenské lokomotivy BN30U, vyráběné v letech 1959-1960.



Obr. 1-9 Současný stav lokomotivy BN30U umístěné v depozitáři ve Zbýšově [8]

Stroj určený pro úzkokolejky průmyslových podniků a stavební drážky byl poháněn stojatým, naftovým, vodou chlazeným, dvouválcem Škoda Diesel 2 S 110, který dosahoval maximálního výkonu 30 koní. Startování se provádělo buď ručně - klikou, nebo elektrickým startérem z baterií, umístěných na představku. Přenos výkonu je mechanický přes třírychlostní převodovku. Každé ze tří rychlostí přísluší jedna třecí spojka. Obě nápravy jsou poháněny válečkovými řetězy, nápravová ložiska jsou

kluzná. Odpružení lokomotivy je provedeno čtyřmi evolventními pružinami. Brzda je ruční, páková a působí na všechna čtyři kola současně. Lokomotiva je vybavena pískovači. [8]

Technické údaje	
Uspořádání	B dm
Motor	Škoda Diesel, naftový, stojatý, vodou chlazený
Počet válců	2
Průměr válce/zdvih pístu	110/150 mm
Maximální otáčky	1 500 min ⁻¹
Typový výkon	22 kW (30 k)
Přenos výkonu	mechanický
Spouštění motoru	ruční nebo elektrické
Tažná síla	10,2 kN
Rychlostní stupně	1. - 6 km/h, 2. - 12 km/h, 3.- 18 km/h
Brzda	ruční páková
Hmotnost lokomotivy	5,2 t
Rozchod	600 mm
Průměr hnacích kol	450 mm
Celkový rozvor	845 mm
Délka přes spřáhla	2920 mm
Šířka	1250 mm
Výška nad temenem kolejnice	2055 mm
Minimální poloměr oblouku	7 m

Tab. 1.1 Technické údaje lokomotivy BN30U [8]

1.4 Základy pro konstrukci modelů

1.4.1 Měřítko a rozchody modelů

Pro parkové dráhy se používá více velikostí a měřítek. U zahradních železnic platí pro určování modelového měřítka pravidlo vycházející z předpokladu, že na jedné trati se mohou střídát modely lokomotiv, které mají ve skutečnosti jiný rozchod. Systém se proto odvíjí od modelového rozchodu a podle toho, jaký je rozchod skutečné předlohy, vyjde měřítko zmenšení modelu. [13]



Obr. 1-10 Část trati v parkové dráze Olympia [10]

1.4.

1.4.1

Nejčastější jsou velikosti 5“ a velikost 7 ¼“. Pro tyto velikosti se většinou staví na zahradních železničních společné kolejové lože s tříkolejnicovou konstrukcí. Taková dráha je například i v Brně v Olympii.

Modelový rozchod		Skutečný rozchod (mm)			
		od 1250 do 1700	od 850 do 1250	od 650 do 850	od 400 do 650
(mm)	(in)	Měřítka zmenšení			
32	1 1/4	1 : 45	1 : 32	1 : 22,5	1 : 16
45	1 3/4	1 : 32	1 : 22,5	1 : 16	1 : 11
63,5	2 1/2	1 : 22,5	1 : 16	1 : 11	1 : 8
89	3 1/2	1 : 16	1 : 11	1 : 8	1 : 5,5
127	5	1 : 11	1 : 8	1 : 5,5	1 : 4
184	7 1/4	1 : 8	1 : 5,5	1 : 4	1 : 3
260	10 1/4	1 : 5,5	1 : 4	1 : 3	1 : 2

Tab. 1.2 Velikosti a měřítka zahradních železnic [13]

1.4.2 Umístění obsluhy lokomotivy

Obsluha lokomotivy může být realizována několika způsoby. Pokud je obsluha přímo na lokomotivě je třeba počítat i s dodatečným zatížením lokomotivy obsluhou. Ovšem toto řešení přináší velký problém z rozměrových důvodů. Proto se realizuje pouze u větších měřítek modelů. Další možností je umístění ovládacího mimolokomotivního vozíku, což je velmi využíváno u menších měřítek. To je provedeno buď tak, že je vyvedené přes konektor mimo stroj - zpravidla se při tomto řešení použije tzv. vůz pro strojvůdce, na kterém osoba, jež řídí lokomotivu, sedí. Vůz obsahuje zpravidla vybavení pro pneumatickou brzdu nebo záložní baterie. Dále je možné použít dálkového ovládacího systému. Pro toto řešení lze použít běžné modelářské RC soupravy, proporcionálně je potřeba ovládat regulaci motoru v režimu jízda a brzda a dále pneumatickou brzdu soupravy. Neproporcionálně ovládáme volbu směru, píšťalu a osvětlení. [15]

1.4.3 Řešení napájení elektromotoru

Při stavbě hlavního pojezdu a kolejí jsou dvě varianty napájecího systému. Buď si lokomotiva veze zdroj proudu sebou, nebo je napájena z kolejí. Při napájení z kolejí je provedení dvoukolejnicové nebo tříkolejnicové. Při dvoukolejnicovém napájení je nutno mít celou lokomotivu elektricky izolovanou od jednotlivých kolejnic, kola na nápravě vůči sobě a taky vůči lokomotivě. Ideální je, aby byly i jednotlivé nápravy izolovány vůči sobě navzájem. Při elektrickém zapojení má totiž každá náprava svoje sběrače a tím pádem i svůj můstkový usměrňovač. Při tříkolejnicovém zapojení je jednodušší výroba lokomotivy, celá má stejný potenciál jako koleje, pouze je komplikovanější stavba trati. Při tomto způsobu je jednodušší a spolehlivější sběr proudu ze středové kolejnice; při stavbě a zejména při podbíjení tratě tato kolejnice překáží. Při tříkolejnicovém provedení jsou velmi komplikované výhybky. V kolejích obou systémů se používá napětí 24 V a to buď stejnosměrné, nebo střídavé. Při střídavém napětí jdou velmi jednoduše vyřešit vratné smyčky na dvoukolejnicové trati (lokomotiva musí mít na každé nápravě můstkový usměrňovač), pouze se styk dvou kolejnic provede izolovaně s větší mezerou. Při

větší vzdálenosti mezi bodem napájení a lokomotivou dochází ke značnému úbytku napětí a tedy i poklesu výkonu lokomotivy. [15]

Při bateriích v lokomotivě je možné použít plynulé regulace otáček motoru, a pokud použijeme i možnost trvalého dobíjení těchto baterií z kolejí, získáme neomezené možnosti. I bez trvalého dobíjení lokomotiva s plně nabitými bateriemi vydrží jezdit celý den. V lokomotivě jsou zpravidla uloženy dvě trakční olověné baterie 12V 44Ah sériově propojené na 24V.[15]

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

Při realizaci modelu lokomotivy BN30U bylo nejprve nutno zvolit způsob pohonu lokomotivy. Pro tuto lokomotivu připadá v úvahu více variant, které je třeba zhodnotit zejména po stránce zástavbové a konstrukční.

Vzhledem ke skutečnosti, že při konstrukci náprav již byly dodány součásti lokomotivy jako je: hlavní rám, ložiskové domky včetně ložisek a řetězová kola. Tyto součásti byly dodány bez výkresové dokumentace, proto postup pro konstrukci náprav byl následující.

1. výběr způsobu pohonu lokomotivy
2. volba konkrétního typu motoru a převodovky
3. proměření dodaných součástí
4. určení základních rozměrů náprav
5. volba uložení jednotlivých součástí na nápravě
6. pevnostní kontrola náprav
7. vytvoření výkresové dokumentace

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvoření výrobních výkresů náprav, kol a výkres sestavení náprav pro model lokomotivy BN30U. A to tak aby bylo možné podle této dokumentace součásti vyrobit a sestavit nápravy. Při volbě pohonu lokomotivy je nutné vybrat takovou variantu, která umožní průhled kabinou lokomotivy. Dalším cílem je pevnostní výpočet a kontrola požadovaných parametrů. Ta bude na žádost zadavatele práce provedena výpočetním softwarem a porovnána s analytickým výpočtem pro vybrané výstupy.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Návrh konstrukce náprav pro model lokomotivy BN30U bude proveden na základě vědomostí získaných při studiích na fakultě strojního inženýrství a zkušeností a znalostí nabitých od pana Petra Zoubka. Řešení musí odpovídat zadání a vytčeným cílům z předchozí kapitoly. Návrh konstrukce musí brát v potaz jak běžné normy a standarty, tak i normy pro zahradní železnici.

Výpočet bude na žádost zadavatele proveden analyticky a pomocí softwaru MITCalc [16]. Výsledky porovnány a zhodnoceny, zda je tento software vhodný do budoucna pro konstrukce podobných zadání. Výkresová dokumentace bude vytvořena pomocí softwaru AutoCAD 2009

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5

5.1 Přehled variant pohonu

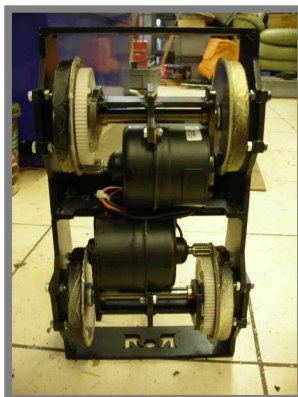
5.1

V zásadě existují tři základní typy pohonu lokomotiv pro zahradní železnice. Jsou to pohon parním strojem, spalovacím motorem nebo elektromotorem. Parní pohon se používá jak u malých tak i u velkých modelů a nejvíc rozdílů bývá v konstrukci kotle. Při použití spalovacího motoru mohou být problémy se zástavbou do modelu a následného řešení přenosu výkonu na hnanou nápravu. V neposlední řadě je tu pohon elektromotorem, který je pravděpodobně nejvíce užívaný. Jelikož má nejmenší zástavbové nároky, má výborné trakční charakteristiky a dá se velmi přesně regulovat.

5.1.1 Přímý pohon dvojkolí

5.1.1

Jak bylo uvedeno u modelů zahraničních výrobců, jedna z možností je přenos přes přímý ozubený převod, podobný konstrukčnímu řešení skutečných lokomotiv s nápravami poháněnými elektromotory, provedené takzvanými tlapovými motory. Řešení je poměrně jednoduché a nenáročné na zástavbu, má však i značné množství nevýhod. Např. malý převodový poměr, zástavbové rozměry, zejména kvůli hodnotě rozkolí u modelu lokomotiv (vzdálenost vnitřních ploch věnců kol), je možné použít pouze omezené množství typů elektromotorů, které se do daného prostoru vejdu. Malá velikost motoru znamená zpravidla i jeho malý výkon, takže v praxi jsou motory násobeny, to znamená, že z každé strany dvojkolí je zavěšen jeden motor. Toto řešení se používá zpravidla u rozchodu 5", pro který jsou vhodné poměrně výkonné modelářské motory s permanentními magnety a kde nejsou nároky na výkon vozidla tak vysoké.



Obr. 5-1 Přímý pohon dvojkolí [5]

5.1.2 Pohon řetězem nebo řemenem

5.1.2

Další možností je použití převodu pomocí řetězu či řemenu, nebo jejich kombinaci. Toto řešení sice umožňuje použití větších elektromotorů, ale většina nevýhod z předchozího konstrukčního řešení stále přetrvává. Podle konstrukce by mohlo dojít k přeskokování řetězu v závislosti na jízdě a činnosti odpružení vozidla. Tento problém je třeba řešit vhodným směřováním řetězu a systémem napínání. Pohon řetězem nebo řemenem je značně prostorově náročný. Hlavní výhodou je jednoduchá výroba. Při použití řemenu získáme jednoduchou ale poměrně účinnou skluzovou spojku. Ta je

velmi důležitá například při výpadku napájení elektromotoru, aby nešla lokomotiva do smyku. Smyk lokomotivy po trati je havarijním stavem a v běžném provozu je nepřipustný. Z toho musí vycházet jak konstrukce, tak i regulace a řízení pohonu modelu.

5.1.3 Úhlové kuželočelní převodovky

Toto řešení je z hlediska trakčních vlastností téměř nejlepší. V podstatě beze zbytku odstraňuje nevýhody předchozích řešení, je však z uvedených systémů nejdražší. Dále není vhodná pro menší rozchody pod 7 ¼“ z důvodu absence dostatečně malé převodovky. Nevýhodou dále zůstávají poměrně značné zástavbové rozměry.

5.1.4 Úhlové šnekové převodovky

Mají velmi vysoký převodový poměr vzhledem k jejich rozměrům a jsou snadno dostupné. Jejich hlavní nevýhodou při použití v pohonu vozidla je samosvornost, tedy neumožňují jízdu "výběhem". Při výpadku napájení motoru dojde ke značnému rázu. Pro řízení takového pohonu je tedy potřeba mít velmi dobře vyřešenou regulaci a to jak pro rozjezd a jízdu, tak i pro brzdění. Zvláště pro brzdění těžších souprav je vhodné na vozidlo umístit i jiný brzdový systém (pneumatickou brzdu) a vyřešit její součinnost s regulací motoru.

Přestože je tento systém pro navržené použití poměrně nevýhodný, je z důvodu minimálních zástavbových rozměrů nejpoužívanější. Eliminace nepříznivých provozních stavů řeší elektronická regulace pohonu. Případné selhání regulace má za následek havarijní stav při kterém může dojít až na zničení převodovky.

5.2 Zhodnocení a výběr optimální varianty pohonu

Pro pohon lokomotivy byl zvolen pohon elektromotorem a to jednak kvůli vhodným trakčním vlastnostem a jednak kvůli absenci exhalací při použití modelu v uzavřených prostorech. Z důvodu možností zástavby bylo potřeba vyřešit způsob přenosu výkonu na nápravy lokomotivy. Zde se nabízelo několik variant.

5.2.1 Varianta č.1

Jako první se nabízí individuální pohon každé nápravy. To by znamenalo výrobu dvou čelních soukolí a nákup dvou elektromotorů. V prostoru rámu lokomotivy by mělo být teoreticky dostatek místa pro toto řešení, nevýhodou ovšem může být nákup dvou elektromotorů. Z toho plyne i nutnost je regulovat naprosto shodně.

5.2.2 Varianta č.2

Řetězový nebo řemenový přenos. Zde se dostáváme do vážných problémů z hlediska potřebného prostoru ve skříni lokomotivy. Navíc konstrukce tohoto přenosu klade nároky i na uložení jednotlivých stupňů převodu. To by znamenalo i složitější rám a další komplikace při stavbě modelu.

5.2.3 Varianta č.3

Poslední variantou je použití některého typu převodovky s vhodným elektromotorem. Hlavní výhodou jsou malé rozměry, vysoký převodový poměr a možnost zakoupit vhodnou, sériově vyráběnou převodovku.

	Výhody	Nevýhody
Varianta č.1 Přímý převod	malé rozměry, po vypnutí je plynulý dojezd modelu - v případě poruchy stroje je možno jej odtlačit.	náročná výroba, malý převodový poměr
Varianta č.2 Řetěz, řemen	jednoduchá výroba a montáž, po vypnutí napájení je plynulý dojezd modelu	velké rozměry v modelu nutnost použití několika stupňů převodů
Varianta č.3 průmyslové převodovky (šnekové)	malé rozměry, velký převodový poměr (až 1:100)	samosvornost

Tab. 5.1 Výhody a nevýhody variant pohonů

5.3 Výběr optimální varianty

Neoptimálnější variantou pro model lokomotivy BN30U je na základě zadání varianta č.3. Motor s převodovkou bude pohánět jednu nápravu. Na druhou bude krouticí moment přenášen pomocí řetězu a řetězových kol. Řetězový převod je použit i na skutečné lokomotivě (předloze).

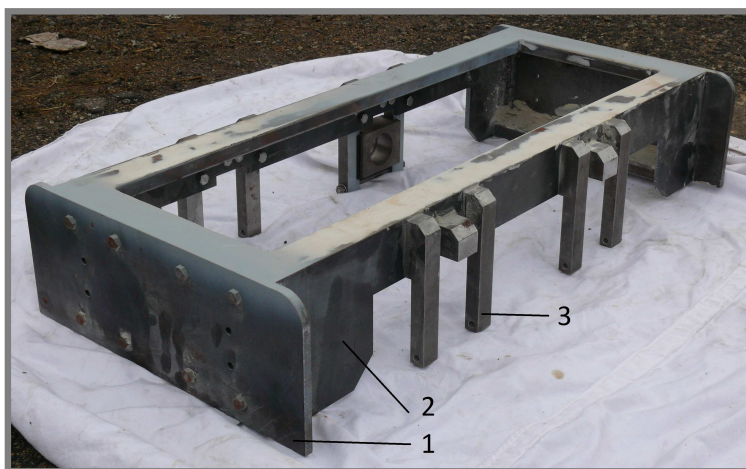
Elektromotor byl zvolen od firmy ATAS elektromotory Náchod typ P2XR492. Jedná se o komutátorový motor s permanentními magnety o výkonu 600W. Napájen stejnosměrným napětím 24V. [12]

Šnekovou převodovku byla zajištěna u firmy Elektromotory – převodovky s.r.o. Jedná se o typ MR50 s převodovým poměrem 1:15, upravený pro připojení k vybranému elektromotoru. [14]

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

6.1 Postup řešení

Prvním krokem konstrukce bylo vyřešení rozměrové konfigurace hřídele. To jsem provedl po proměření dodaných součástí budoucí lokomotivy. Po zasazení ložiskových domků do hlavního rámu jsem určil základní délku nápravy a polohu ložisek. Rozchod a poloha kol na hřídeli je dána normou pro zahradní železnice. Po umístění těchto základních prvků jsem řešil umístění pohonných prvků lokomotivy. Z prostorových a rozměrových důvodů jsem musel převodovku s motorem umístit mimo podélnou osu lokomotivy. Mezi převodovkou a kolem je ještě vloženo řetězové kolo pro přenos výkonu na druhou nápravu.



Obr. 6-1 Hlavní rám modelu lokomotivy BN30U

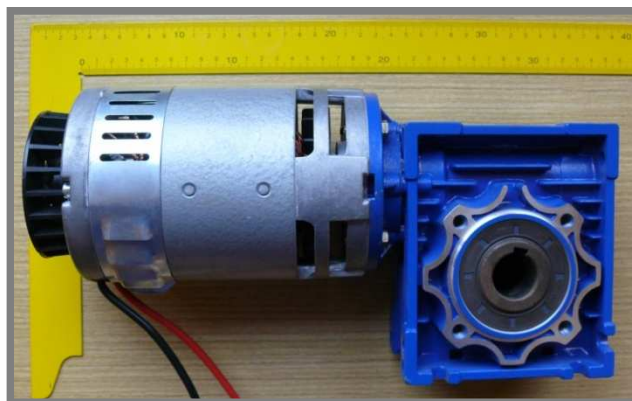
1-čelník, 2-podélník, 3-rozsocha

Po vyřešení délkových rozměrů jsem řešil průměry na jednotlivých částech hřídele. Před tímto krokem bylo nutné rozhodnout, jaké bude zajištění polohy jednotlivých součástí na nápravě. Náprava je v ložiskových domcích uložena otočně, na každé straně na dvou radiálních jednořadých kuličkových ložiskách 6204, ale v axiálním směru nehybně. Ložiskové domky mají záměrně axiální vůli v rozsoše a to maximálně 1,5 mm na každou stranu. Hlavní rám bude na ložiskové domky uložen na bloku z tvrdé pryže. Ten by měl sloužit jako odpružení lokomotivy.



Obr. 6-2 Detail ložiskového domku modelu lokomotivy BN30U

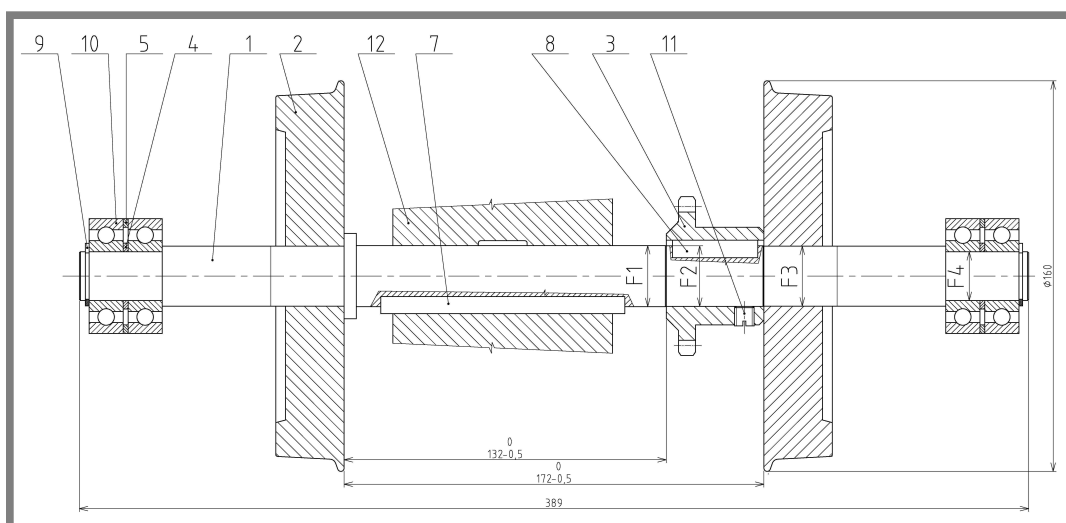
Převodovka s motorem bude uložena v lokomotivě tak, že bude proti přetočení okolo nápravy jištěna závitovými tyčemi. Tyto tyče budou našroubovány přes pryžový mezikus do čelníku lokomotivy. Osa motoru tím bude držena vodorovně s podélníkem rámu. Elektromotor bude otočen mezi nápravy.



Obr. 6-3 Hnací elektromotor se šnekovou převodovkou

6.2 Volba a zdůvodnění

6.2



Obr. 6-4 Funkční plochy

6.2.1 F1 – uložení převodovky

6.2.1

Uložení H7/js6 - posuvné uložení s nepatrnou vůlí nebo nepatrným přesahem
 Drsnost povrchu $\varnothing 25$ js6 $Ra = 0,8 \mu\text{m}$
 Tolerance celkového házení pro $\varnothing 25$ js6 0,016 mm, základna A-B

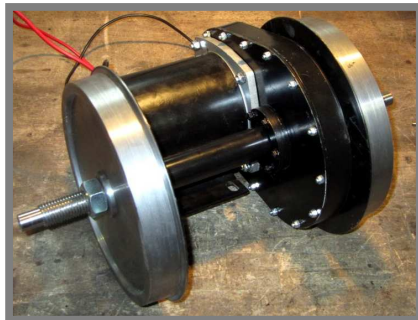
6.2.2 F2 – uložení řetězového kola

6.2.2

Uložení H7/k6 - posuvné uložení s nepatrnou vůlí nebo nepatrným přesahem
 Drsnost povrchu $\varnothing 24,8$ H7/k6 $Ra = 0,8/0,8 \mu\text{m}$
 Tolerance celkového házení pro $\varnothing 24,8$ k6 0,016 mm, základna A-B

6.2.3 F3 – uložení kol

Byly zvažovány dvě varianty zajištění. Prvním způsobem je přenos krouticího momentu pomocí spoje těsným perem, axiální jistění kola se provádí maticí a proto je nutné na nápravě vysoustružit závit. To může být problém jak z hlediska pevnostního, tak z hlediska rozměrového.



Obr. 6-5 Hnací dvojkolí modelu lokomotivy TU47 [10]

Druhou možností je použít stejný systém jako u skutečných železničních vozidel. Tedy kola přímo nalisovat na nápravu. Toto řešení bylo zvoleno jako vhodnější.

Uložení H7/s6 - Lisované uložení se středním přesahem

Drsnost povrchu $\varnothing 24,6$ H7/s6 Ra = 0,8/0,8 μm

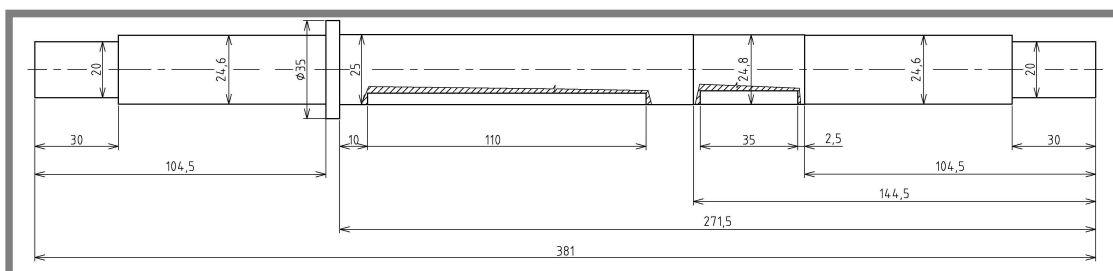
Tolerance celkového házení pro $\varnothing 24,6$ s6 0,016 mm, základna A-B

6.2.4 F4 – uložení ložisek

Uložení H7/k6 - posuvné uložení s nepatrnou vůlí nebo nepatrným přesahem

Drsnost povrchu $\varnothing 20$ k6 Ra = 0,8 μm

Tolerance válcovitosti $\varnothing 24,8$ k6 0,004 mm

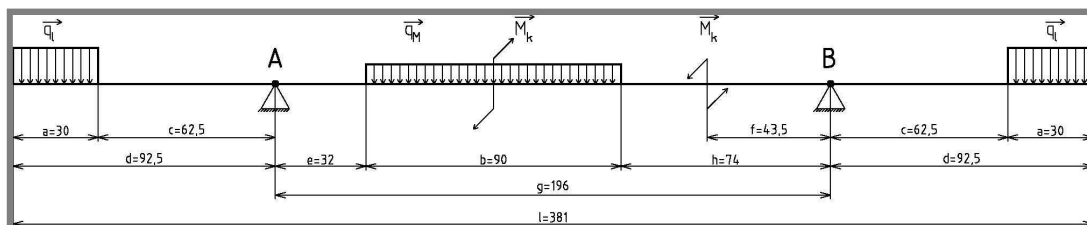


Obr. 6-6 Rozměrové schéma první nápravy

Analytický výpočet bude proveden na první (hnací) nápravě, na které je uložen motor s převodovkou. Bude provedeno porovnání výsledků ze softwaru MITCalc a analytického výpočtu, aby bylo možno posoudit validitu softwaru pro potřeby praxe. U druhé (hnané) nápravy bude proveden výpočet pouze pomocí softwaru a uvedeny získané výsledky.

První náprava byla řešena jako nosník uložený na dvou podporách, které představují pojezdová kola. Zatížení od lokomotivy se na nápravu vnáší spojitě přes ložiska. Dále je náprava zatížena spojitě vlastní vahou elektromotoru s převodovkou. Posledním zatížením hřídele je kroutící moment od pohonu. Problémem bylo jak uvažovat rozdělení krouticího momentu po nápravě. Vycházelo se z úvahy, že dojde

ke skluzu první nápravy. Při tomto stavu se veškerý kroutící moment přenáší na druhou nápravu přes řetězový převod. První náprava je tím pádem namáhána plným kroutícím momentem mezi převodovkou a řetězovým kolem.



Obr. 6-7 Schéma zatížení první nápravy

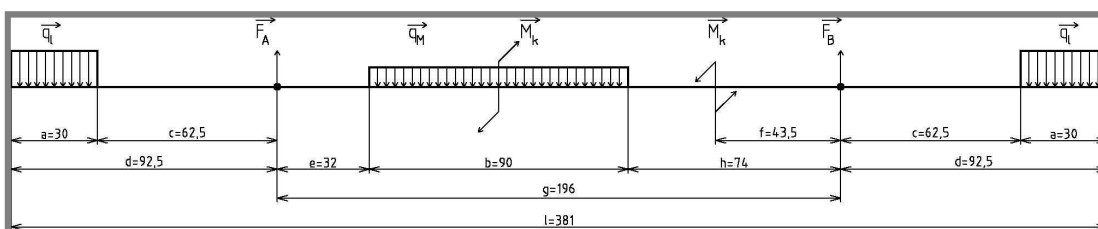
Náprava je uložena staticky neurčitě, ale protože není použitelná podmínka silové rovnováhy v ose x , mohu úlohu řešit jak staticky určitou. Díky nízkým rychlostem, kterými se bude model lokomotivy pohybovat, není třeba řešit dynamické účinky od pohybu v trati.

6.2 Řešení první nápravy

6.2.1 Dané veličiny

6.2

6.2.1



Obr. 6-8 Úplné uvolnění první nápravy

$m_l = 150 \text{ kg}$	- hmotnost lokomotivy
$m_M = 10 \text{ kg}$	- hmotnost motoru s převodovkou
$i = 15$	- převodový poměr převodovky
$n_M = 3600 \text{ min}^{-1}$	- otáčky elektromotoru
$P_M = 600 \text{ W}$	- výkon elektromotoru
$\sigma_k = 325 \text{ MPa}$	- materiál 11 523.0
$a = 0,03 \text{ m}$	
$b = 0,09 \text{ m}$	
$c = 0,0625 \text{ m}$	
$d = 0,0925 \text{ m}$	
$e = 0,032 \text{ m}$	
$f = 0,0435 \text{ m}$	
$g = 0,196 \text{ m}$	
$h = 0,074 \text{ m}$	
$l = 0,381 \text{ m}$	

$$F_{Gl} = m_l \cdot g = 150 \cdot 9,81 = 1\,471,5 \text{ N}; \text{ hodnotu pro výpočet zaokrouhlíme na } 1\,500 \text{ N}$$

$$q_l = \frac{F_{Gl}}{4 \cdot a} = \frac{1\,500 \text{ N}}{4 \cdot 0,03 \text{ m}} = 12\,500 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

$$F_{GM} = m_M \cdot g = 10 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 98,1 \text{ (N)}$$

$$q_M = \frac{F_{GM}}{b} = \frac{98,1 \text{ N}}{0,09 \text{ m}} = 1\,090 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$$

$$M_K = \frac{P_M \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_M} \cdot i = \frac{600 \text{ W} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 3600 \text{ min}^{-1}} \cdot 15 = 23,875 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

6.2.2 Rozbor úlohy:

Počet neznámých veličin: $\mu = 2$

Počet použitelných rovnic: $\nu = 2$

Statická neurčitost: $s = \nu - \mu = 2 - 2 = 0$

6.2.3 Výpočet reakcí

$$F_y: -q_l \cdot a + F_A - q_M \cdot b + F_B - q_l \cdot a = 0$$

$$M_{O_A}: -q_l \cdot a \cdot \left(c + \frac{a}{2}\right) + q_M \cdot b \cdot \left(e + \frac{b}{2}\right) - F_B \cdot g + q_l \cdot a \cdot \left(g + \left(d - \frac{a}{2}\right)\right) = 0$$

$$F_B = \frac{q_l \cdot a \cdot \left(c + \frac{a}{2}\right) + q_M \cdot b \cdot \left(e + \frac{b}{2}\right) + q_l \cdot a \cdot \left(g + \left(d - \frac{a}{2}\right)\right)}{g}$$

$$F_B = \frac{12\,500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m} \cdot \left(0,0625 \text{ m} + \frac{0,03 \text{ m}}{2}\right)}{0,196 \text{ m}} +$$

$$\frac{1\,090 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,09 \text{ m} \cdot \left(0,032 \text{ m} + \frac{0,09 \text{ m}}{2}\right)}{0,196 \text{ m}} +$$

$$\frac{12\,500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m} \cdot \left(0,196 \text{ m} + \left(0,0925 \text{ m} - \frac{0,03 \text{ m}}{2}\right)\right)}{0,196 \text{ m}} = 413,54 \text{ (N)}$$

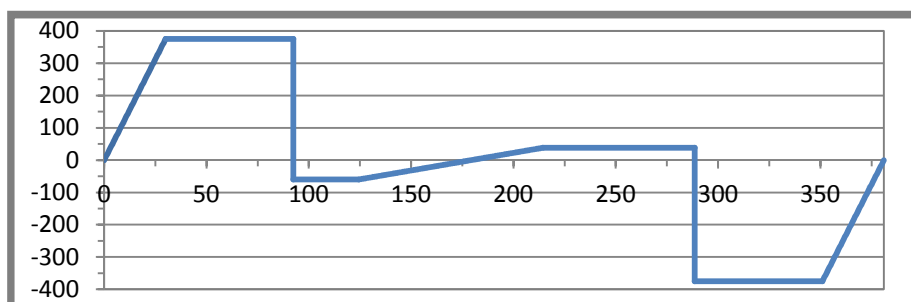
$$F_A = 2 \cdot q_l \cdot a + q_M \cdot b - F_B = 2 \cdot 12\,500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m} + 1\,090 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,09 \text{ m} - 414,28 \text{ N} = 434,56 \text{ (N)}$$

Výsledky získané ze softwaru MITCalc

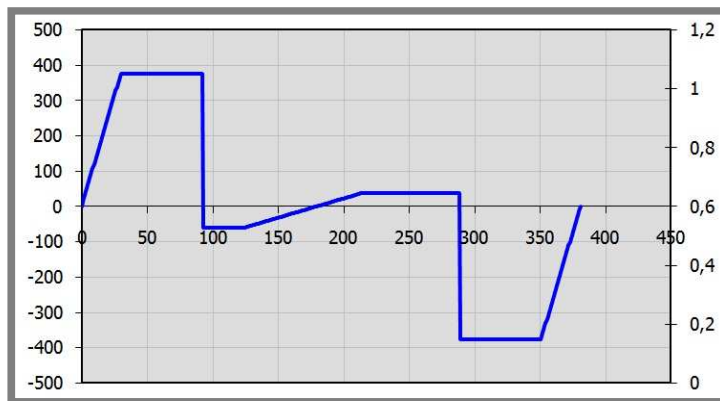
$$F_A = 435,72 \text{ N}; F_B = 414,76 \text{ N}$$

Drobné odchylky ve výsledcích jsou nepodstatné a jsou pravděpodobně způsobeny zaokrouhlováním hodnot při výpočtu.

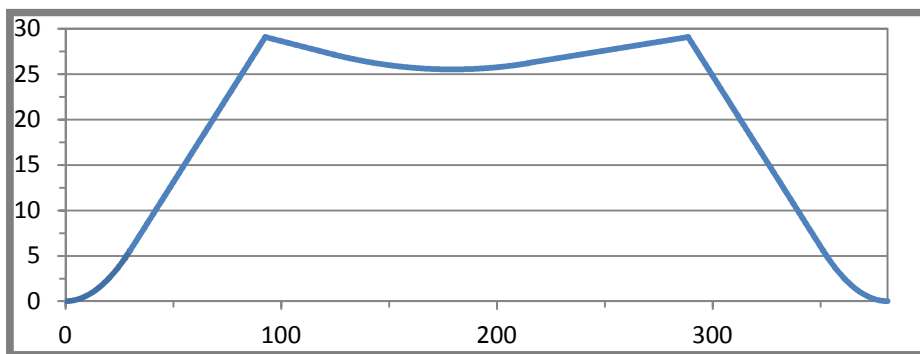
6.2.4 Výsledné vnitřní účinky první nápravy



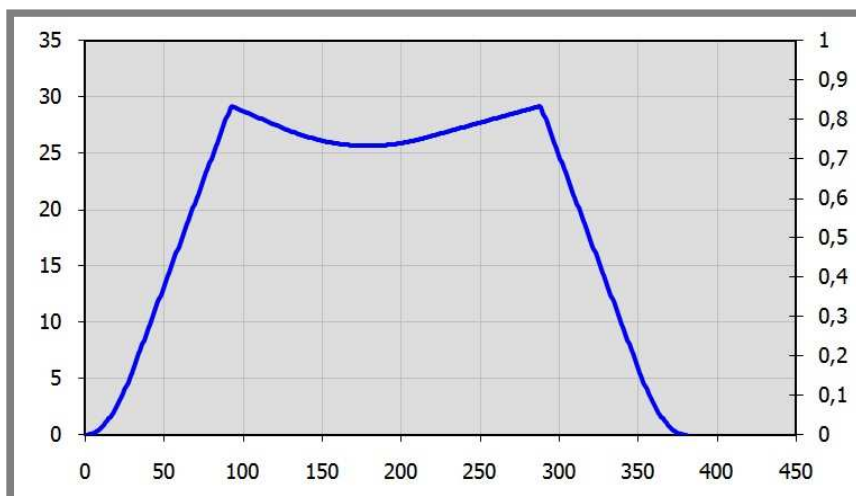
Obr. 6-9 Průběh tečné síly (vlastní výpočet)



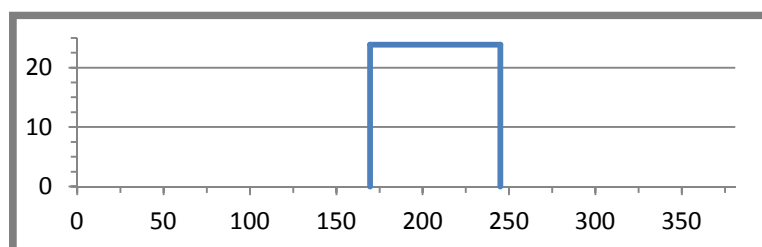
Obr. 6-10 Průběh tečné síly (výstup MITCalc)



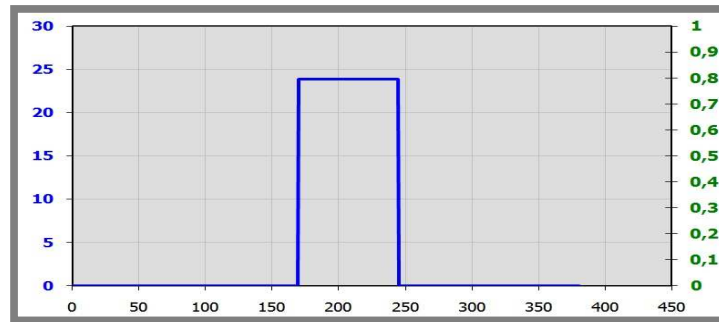
Obr. 6-11 Průběh ohybového momentu (vlastní výpočet)



Obr. 6-12 Průběh ohybového momentu (výstup MITCalc)



Obr. 6-13 Průběh kroučícího momentu (vlastní výpočet)

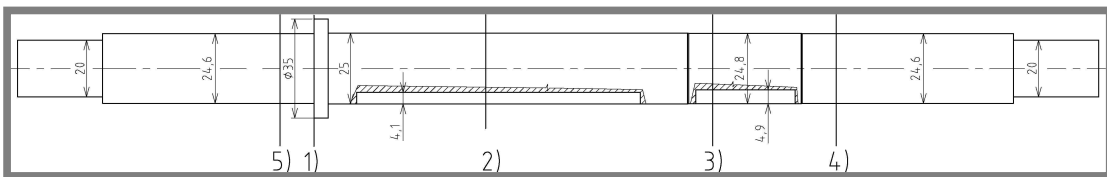


Obr. 6-14 Průběh kroutícího momentu (výstup MITCalc)

Z uvedených grafů je zřejmé, že výsledky jsou srovnatelné.

6.2.5 Kritické řezy

Na základě průběhu vnitřních výsledných účinků a geometrické konfigurace nápravy mohou být zvoleny kritické řezy na první nápravě. Jedná se především o body kde je lokální maximum ohybového nebo kroutícího momentu. Pro tyto namáhání jsou kritické body průřezu na povrchu, v ose jsou napětí nulová. Proto můžeme zanedbat zatížení tečnou silou, protože ta má maximum v ose a na povrchu řezu je nulová.



Obr. 6-15 Kritická místa první nápravy

Na obr. 6-14 jsou vyznačeny kritické řezy. Některé z nich mohou být zanedbány. Jedná se o místo 4) a 5) tato místa jsou namáhána téměř shodným ohybovým momentem. Ale protože se v těsné blízkosti místa 5) nachází koncentrátor napětí, bude nižší bezpečnost v řezu 1). Pokud hřídel v tomto řezu vyhoví, je jisté, že vyhoví i v řezu 4) a 5). Dalším kritickým řezem je řez 2). Zde nastává kombinované namáhání ohybem a krutem. V tomto řezu se nachází drážka pro pero, proto je třeba uvažovat vrubový účinek drážky. Nejkritičtější řezem bude pravděpodobně řez číslo 3), zde je menší průměr a hlubší drážka pro pero.

Kritický řez 1)

$$M_{o1)} = -q_l \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2} + x \right) + F_A \cdot x$$

kde:

$$x \in \langle 0; e \rangle; \text{ pro řez 1) } x = 12 \text{ mm}$$

$$M_{o1)} = 12\,500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m} \cdot \left(0,092\,5 \text{ m} - \frac{0,03 \text{ m}}{2} + 0,012 \text{ m} \right) - 434,56 \text{ N} \cdot 0,012 \text{ m} = 28,347\,8 \text{ (N} \cdot \text{m)} \quad \text{- ohybový moment v kritickém řezu 1)}$$

$$\sigma_{nom1) = \frac{M_{o1})}{W_{o1})} = \frac{M_{o1})}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{32}} = \frac{32 \cdot 28,3478 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot (0,0246 \text{ m})^3} = 19\,396\,087,93 \text{ (Pa)} =$$

19,4 (MPa) - nominální napětí v řezu 1)

$$\frac{r_1)}{d_1)} = \frac{0,001 \text{ m}}{0,0246 \text{ m}} = 0,0406 \text{ (1)}$$

$$\frac{D_1)}{d_1)} = \frac{0,035 \text{ m}}{0,0246 \text{ m}} = 1,423 \text{ (1)}$$

kde:

$r_1)$ (m) poloměr vrubu v řezu 1)
 $d_1)$ (m) malý průměr v řezu 1)
 $D_1)$ (m) velký průměr v řezu 1)

$\alpha_1) = 2,1$ (1) součinitel tvaru [1]

$q_1) = 0,7$ (1) součinitel vrubové citlivosti [1]

$\beta_1) = 1 + q_1) \cdot (\alpha_1) - 1) = 1 + 0,7 \cdot (2,1 - 1) = 1,77$ - (1) součinitel vrubu

$\sigma_{max1) = \sigma_{nom1) \cdot \alpha_1) = 19,4 \text{ MPa} \cdot 1,77 = 34,34 \text{ (MPa)}$ – maximální napětí v kritickém místě 1)

$$k_1) = \frac{\sigma_k}{\sigma_{max1)} = \frac{325 \text{ MPa}}{33,34 \text{ MPa}} = 9,75 \text{ (1)}$$

kde:

$k_1)$ (1) bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

02...Z - Ohybový moment [Nm]	▼	28,4332034
05...Z - Napětí v ohybu [MPa]	▼	19,4545225
41...Koefficient bezpečnosti (statický)	▼	12,7661189
04...Z - Průhyb [mm]	▼	-0,0075648

Tab. 6-1 Výstup hodnot ze softwaru pro kritický řez 1)

Po porovnání výsledků ohybového momentu a napětí v ohybu, lze konstatovat, že je výpočet srovnatelný. Rozdíl v bezpečnosti je způsoben jinými hodnotami součinitele vrubu. Software je vybavený pravděpodobně přesnějšími hodnotami pro jednotlivé typy vrubů. Já jsem pro svůj výpočet získával hodnoty součinitelů z grafů, které neměli dostatečnou velikost pro určení přesných hodnot.

Kritický řez 2)

$$M_{o2)} = -q_l \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2} + e + x \right) + F_A \cdot (e + x) - q_M \cdot \frac{x^2}{2};$$

$x \in < 0; b >$; pro řez 2) $x = 45 \text{ mm}$

$$M_{o2)} = 12\,500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m} \cdot \left(0,0925 \text{ m} - \frac{0,03 \text{ m}}{2} + 0,032 \text{ m} + 0,045 \text{ m} \right) -$$

$$434,56 \text{ N} \cdot (0,032 \text{ m} + 0,045 \text{ m}) + 1\,090 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \frac{(0,045 \text{ m})^2}{2} = 25,58 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

- ohybový moment v kritickém řezu 2)

V tomto kritickém řezu dochází ke kombinovanému namáhání a je tedy třeba počítat pomocí koncepce redukovaného napětí. Používám koncepci HMH.

$$\sigma_{redHMH2)} = \sqrt{\beta_{2)} \cdot \sigma^2 + 3 \cdot \beta_{2)t} \cdot \tau^2} = \sqrt{\beta_{2)} \cdot \left(\frac{32 \cdot M_{o2}}{\pi \cdot d_{2)}^3}\right)^2 + 3 \cdot \beta_{2)t} \cdot \left(\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d_{2)}^3}\right)^2}$$

$$= \sqrt{1,64 \cdot \left(\frac{32 \cdot 25,58 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot (0,025 \text{ m})^3}\right)^2 + 3 \cdot 1,37 \cdot \left(\frac{16 \cdot 23,875 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot (0,025 \text{ m})^3}\right)^2} =$$

$$26\,550\,790,32 \text{ (Pa)} = 26,55 \text{ (MPa)}$$

kde:

$\sigma_{redHMH2)}$ (MPa)	redukované napětí podle HMH v řezu 2)
$\beta_{2)}(1)$	součinitel vrubu drážky pro pero v ohybu pro řez 2) [18]
$\beta_{2)t}(1)$	součinitel vrubu drážky pro pero v krutu pro řez 2) [18]
$M_{o2)}$ (N·m)	ohybový moment v řezu 2)
M_k (N·m)	krouticí moment v řezu 2)
$d_{2)}$ (m)	průměr v kritickém řezu 2)

$$k_2) = \frac{\sigma_k}{\sigma_{redHMH2)}} = \frac{325 \text{ MPa}}{26,55 \text{ MPa}} = 12,24 \text{ (1)}$$

kde:

$k_2)$ (1) bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

02...Z - Ohybový moment [Nm]	▼	25,6634092
05...Z - Napětí v ohybu [MPa]	▼	18,1847193
41...Koefficient bezpečnosti (statický)	▼	13,658492
04...Z - Průhyb [mm]	▼	-0,0323357

Tab. 6-2 Výstup hodnot ze softwaru pro kritický řez 2)

Kritický řez 3)

$$M_{o3)} = -q_l \cdot a \cdot \left(\frac{a}{2} + c + x\right) + F_B \cdot x ;$$

$x \in \langle 0; h \rangle$; pro řez 3) $x = 43,5 \text{ mm}$

$$M_{o3)} = 12\,500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 0,03 \text{ m} \cdot \left(\frac{0,03 \text{ m}}{2} + 0,062\,5 \text{ m} + 0,043\,5 \text{ m}\right) -$$

$$413,54 \text{ N} \cdot 0,043\,5 \text{ m} = 27,386 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$
 - ohybový moment v řezu 3)

$$\sigma_{redHMH3)} = \sqrt{\beta_{3)} \cdot \sigma^2 + 3 \cdot \beta_{3)t} \cdot \tau^2} = \sqrt{\beta_{3)} \cdot \left(\frac{32 \cdot M_{o3)}}{\pi \cdot d_{3)}^3}\right)^2 + 3 \cdot \beta_{3)t} \cdot \left(\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d_{3)}^3}\right)^2} =$$

$$\sqrt{1,64 \cdot \left(\frac{32 \cdot 27,386 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot (0,024\,8 \text{ m})^3}\right)^2 + 3 \cdot 1,37 \cdot \left(\frac{16 \cdot 23,875 \text{ N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot (0,024\,8 \text{ m})^3}\right)^2} = 28\,455\,398,13 \text{ (Pa)} =$$

$$28,55 \text{ (MPa)}$$

kde:

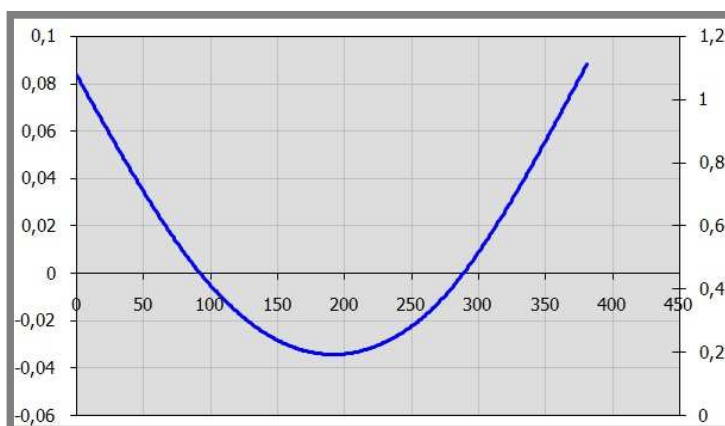
- $\sigma_{redHMH3}$ (MPa) redukované napětí podle HMH v řezu 3)
- β_3 (1) součinitel vrubu drážky pro pero v ohybu pro řez 3) [18]
- β_{3t} (1) součinitel vrubu drážky pro pero v krutu pro řez 3) [18]
- M_{o3} (N·m) ohybový moment v řezu 3)
- M_k (N·m) krouticí moment v řezu 3)
- d_3 (m) průměr v kritickém řezu 3)

$$k_3 = \frac{\sigma_k}{\sigma_{redHMH3}} = \frac{325}{28,55} = 11,38 \quad (1)$$

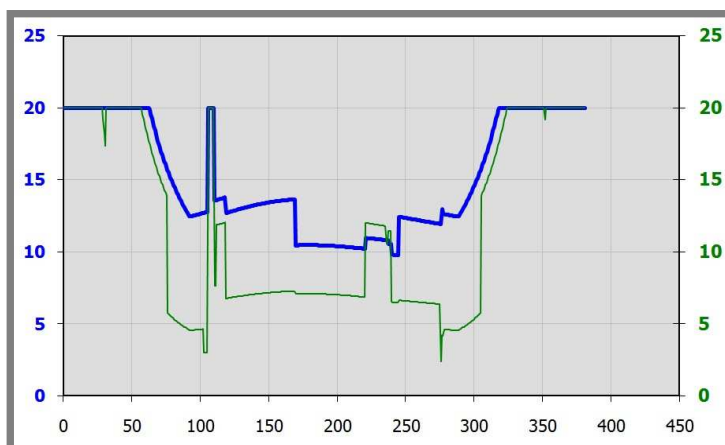
kde: k_3 (1) bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

02...Z - Ohybový moment [Nm]	▼	27,4494834
05...Z - Napětí v ohybu [MPa]	▼	19,9246826
41...Koefficient bezpečnosti (statický)	▼	9,78255955
04...Z - Průhyb [mm]	▼	-0,0242911

Tab. 6-3 Výstup hodnot ze softwaru pro kritický řez 3)



Obr. 6-16 Průhyb první nápravy – výstup softwaru MITCalc



Obr. 6-17 Bezpečnost statická (modře) a dynamická (zeleně) - výstup softwaru MITCalc

Zadavatel nevyžadoval výpočet dynamické bezpečnosti, ale díky použitému softwaru byly získány její hodnoty podél nápravy. Minimální hodnota je 2,37. Podle informací

od pana Zoubka je na skutečných lokomotivách požadovaná minimální dynamická bezpečnost 2. Díky tomuto výstupu mohou považovat zdánlivé předimenzování nápravy za opodstatněné. Díky tomuto předimenzování dosahuje i menšího průhybu. Jeho maximální hodnota je 0,086 mm.

6.2.6 Kontrola spojů těsnými pery:

$$p_0 = 150 \text{ (MPa)}$$

$p_D = 0,45 \cdot p_0 = 0,45 \cdot 150 \text{ MPa} = 67,5 \text{ (MPa)}$ - dovolený tlak pro střídavé namáhání, malé rázy

kontrola pera v řezu 2)

$$F_{2)} = \frac{2 \cdot M_K}{d_{2)}} = \frac{2 \cdot 23,875 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,025 \text{ m}} = 1\,910 \text{ (N)}$$

$$p_D \geq \frac{F}{t_1 \cdot l_{2)}}$$

$$67,5 \text{ MPa} \geq \frac{1\,910 \text{ N}}{0,002\,9 \text{ m} \cdot 0,09 \text{ m}}$$

$67,5 \text{ (MPa)} > 7,32 \text{ (MPa)}$ - vyhovuje

kontrola pera v řezu 3)

$$F_{3)} = \frac{2 \cdot M_K}{d_{3)}} = \frac{2 \cdot 23,875 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,024\,8 \text{ m}} = 1\,925,4 \text{ (N)}$$

$$p_D \geq \frac{F_{3)}}{t_1^* \cdot (l_{3)} - b_{3)}}$$

$$67,5 \text{ MPa} \geq \frac{1\,925,4 \text{ N}}{0,002\,1 \text{ m} \cdot (0,035 \text{ m} - 0,008 \text{ m})}$$

$67,5 \text{ (MPa)} > 33,96 \text{ (MPa)}$ - vyhovuje

6.2.7 Kontrola ložisek

$$C = F_D \cdot \frac{(L_D \cdot n_D \cdot 60)^{\frac{1}{a}}}{L_{10}}$$

$$L_D = \frac{\left(\frac{C \cdot L_{10}}{F_D}\right)^a}{n_D \cdot 60} = \frac{\left(\frac{13,5 \text{ kN} \cdot 10^6}{0,375 \text{ kN}}\right)^3}{240 \text{ min}^{-1} \cdot 60} = 3,24 \cdot 10^{18} \text{ hod}$$

kde:

L_D (hod)	trvanlivost ložiska
L_{10} (ot.)	základní výpočtová trvanlivost
C (kN)	základní dynamická únosnost
F_D (kN)	radiální zatížení
n_D (min^{-1})	frekvence otáčení

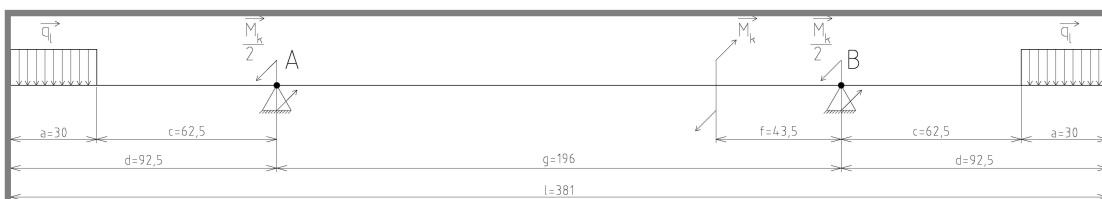
Výpočet trvanlivosti ložiska je proveden tak, jako by byl použit jeden pár ložisek. V případě modelu lokomotivy BN30U jsou použity dva páry ložisek. Trvanlivost ložisek je značně předimenzována. Protože jsou již vyrobeny ložiskové domky není důvod volit jiná ložiska.

6.3 Řešení druhé nápravy

6.3

6.3.1 Dané veličiny

6.3.1



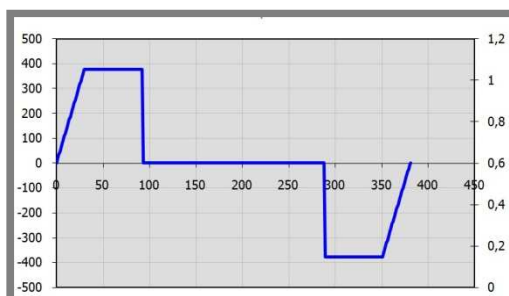
Obr. 6-18 Schéma zatížení druhé nápravy

$\sigma_k = 325 \text{ (MPa)}$ - materiál 11 523.0
 $a = 0,03 \text{ (m)}$
 $c = 0,0625 \text{ (m)}$
 $d = 0,0925 \text{ (m)}$
 $f = 0,0435 \text{ (m)}$
 $g = 0,196 \text{ (m)}$
 $l = 0,381 \text{ (m)}$
 $q_l = 12\,500 \text{ (N} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$
 $M_K = 23,875 \text{ (N} \cdot \text{m)}$

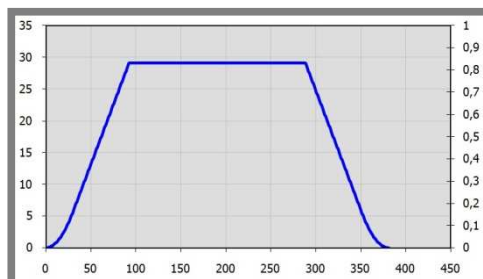
Výpočet druhé nápravy jsem provedl pouze pomocí softwaru MITCalc a uvedu zde pouze nejdůležitější výsledky.

6.3.2 Výsledné vnitřní účinky pro druhou nápravu

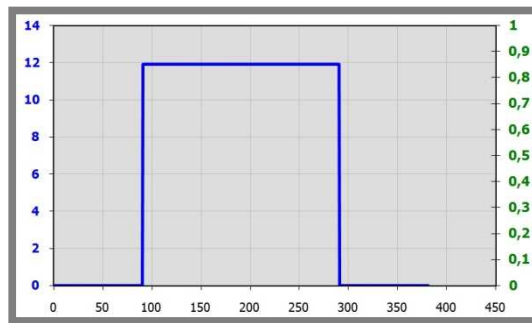
6.3.2



Obr. 6-19 Průběh tečné síly druhé nápravy

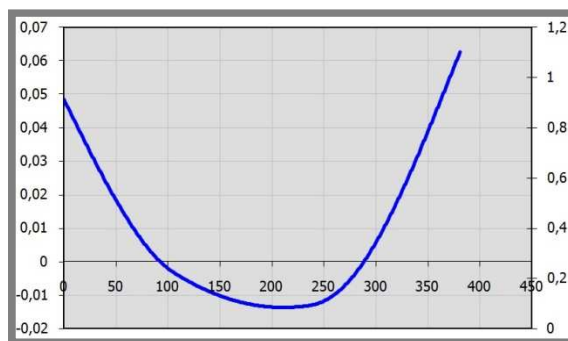


Obr. 6-20 Průběh ohybového momentu druhé nápravy

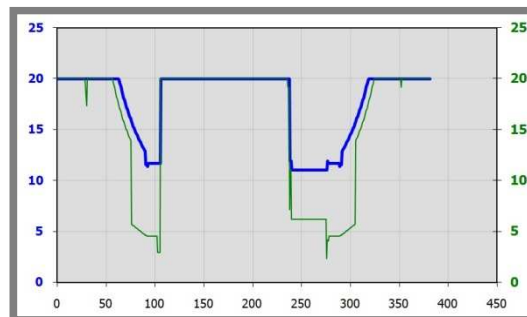


Obr. 6-21 Průběh krouticího momentu druhé nápravy

6.3.3 Důležité výstupy pro druhou nápravu



Obr. 6-22 Průhyb druhé nápravy - výstup softwaru MITCalc



Obr. 6-23 Bezpečnost statická (modře) a dynamická (zeleně) výstup softwaru MITCalc

Minimální statická bezpečnost na druhé nápravě je 11,02. Pro dynamickou bezpečnost byla zjištěna minimální hodnota 2,33 a maximální průhyb 0,0626 mm. Tyto hodnoty jsou pro bezpečný provoz modelu lokomotivy zcela dostačující.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení náprav pro model lokomotivy BN30U a vypracovat výrobní dokumentaci pro jejich výrobu. Navrhnuté konstrukční řešení vyhovuje všem požadavkům na konstrukci, vzhled a vlastnosti modelu lokomotivy.

V průběhu práce byly uvedeny různé způsoby pohonu modelů lokomotiv pro parkové dráhy. Z uvedeného přehledu jsem vybral nejvhodnější variantu pro tento model, tak aby byly dodrženy všechny požadavky.

Z této volby se odvíjelo konstrukční řešení a prostorové uspořádání prvků nápravy. Protože některé součásti již byly vyrobeny či zakoupeny, bylo třeba respektovat jejich rozměry, nebo je případně upravit tak, aby bylo možné zajistit smontovatelnost a funkčnost náprav.

Dalším cílem bakalářské práce bylo při výpočtu ověřit výsledky ze softwaru MITCalc. Po tomto ověření jsem shledal tento software jak velmi vhodný nástroj pro konstrukce podobného typu. Je velmi jednoduchý na ovládání, zadávání vstupních parametrů. Výstup výsledků je velmi přehledný a grafické znázornění jednotlivých hodnot je velmi dobrým nástrojem pro hodnocení konstrukce.

Po dokončení modelu lokomotivy BN30U, bude možné jej spatřit jak v parkové dráze Olympia v Brně, tak na různých propagačních a reklamních akcích, veletrzích a podobně. Výroba modelu lokomotivy BN30U byla vybrána i proto, že hlavní rám včetně zkonstruovaných náprav bude použitelný i pro další modely lokomotiv zmíněných v kapitole 1.3, po kterých je již poptávka v zahraničí, především v Německu.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] S HIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] SVOBODA, P. aj. *Základy konstruování*. Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 288 s. ISBN: 80-7204-214-9
- [3] LEINVEBER JAN, VÁVRA PAVEL. STROJNICKÉ TABULKY. ALBRA, 2003, 900 s. ISBN 80-86490-74-2
- [4] Konrad Thul OHG. Thul Dampfbahn [online]. [cit. 2011-11-17]. Dostupné z: <http://www.thul-dampfbahn.de/dampfbahn/>
- [5] Ride on Railways Ltd. Ride on Railways Ltd [online]. [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.rideonrailways.co.uk/index.html>
- [6] Maxitrak. The Best Of Model Rail & Road [online]. [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.maxitrak.co.uk/>
- [7] Compass house. Compass house [online]. [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.compass-house.co.uk/frames>
- [8] Muzeum průmyslových železnic. Muzeum průmyslových železnic [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://www.mpz.cz/>
- [9] U37.002. Vítejte na Čabovské zahradní dráze [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://u37.002.sweb.cz/U37002>
- [10] S.M.P.D. Společnost Moravských Parkových Drah [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.smpd.cz/>
- [11] Steamer. Steamer [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://steamer.cz>
- [12] ATAS elektromotory Náchod [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.atas.cz/index.php?lng=cz>
- [13] Parostroj: Moravskoslezský železniční občasník [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.parostroj.net/modely/meritka/meri>
- [14] Elektromotory - převodovky s.r.o. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.elektromotory-prevodovky.cz/>
- [15] Zoubek Petr, osobní archiv
- [16] *Strojírenské, průmyslové a technické výpočty* [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.mitcalc.com/index_cz.htm

[18] TVAROVÉ SOUČINITELE VRUBU, PRO HŘÍDELE. In: [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: www.ingjars.estranky.cz/file/95/tvarove-soucinitele.pdf

[19] ČSN ISO 214 (01 0148). Abstrakty pro publikace a dokumentaci

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN

a (m)	je šířka ložisek
b (m)	- šířka převodovky
c (m)	- vnitřní vzdálenost mezi podporou a ložisky
C (kN)	- základní dynamická únosnost ložiska
d (m)	- vnější vzdálenost mezi podporou a ložisky
d_1 (m)	- malý průměr v řezu 1)
d_2 (m)	- malý průměr v řezu 2)
d_3 (m)	- malý průměr v řezu 3)
D_1 (m)	- velký průměr v řezu 1)
e (m)	- vnitřní vzdálenost mezi první podporou a převodovkou
f (m)	- vzdálenost mezi řetězovým kolem a podporou
F_2 (N)	- obvodová síla v řezu 2)
F_3 (N)	- obvodová síla v řezu 3)
F_A (N)	- reakce v podpoře A
F_B (N)	- reakce v podpoře B
F_D (kN)	- radiální zatížení ložiska
F_{G1} (N)	- gravitační síla od lokomotivy
F_{GM} (N)	- gravitační síla od motoru s převodovkou
F_y (N)	- součet sil v ose y
g (m)	- vzdálenost mezi podporami
g (m·s ⁻²)	- gravitační zrychlení
h (m)	- vnitřní vzdálenost mezi druhou podporou a převodovkou
i (1)	- převodový poměr převodovky
k_1 (1)	- součinitel bezpečnosti pro řez 1)
k_2 (1)	- součinitel bezpečnosti pro řez 2)
k_3 (1)	- součinitel bezpečnosti pro řez 3)
l (m)	- celková délka nápravy
L_D (hod)	- trvanlivost ložiska
L_{10} (ot.)	- základní výpočtová trvanlivost ložiska
m_l (kg)	- hmotnost lokomotivy
m_M (kg)	- hmotnost motoru s převodovkou
M_K (N·m)	- kroutící moment
M_{o1} (N·m)	- ohybový moment v řezu 1)
M_{o2} (N·m)	- ohybový moment v řezu 2)
M_{o3} (N·m)	- ohybový moment v řezu 3)
M_{oA} (N·m)	- ohybový moment k bodu A
n_D (min ⁻¹)	- frekvence otáčení ložiska
n_M (min ⁻¹)	- otáčky elektromotoru
p_o (MPa)	- základní hodnota tlaku pro náboj
p_D (MPa)	- dovolený tlak na bocích drážek náboje
P_M (W)	- výkon elektromotoru
q_1 (1)	- součinitel vrubové citlivosti
q_1 (N·m ⁻¹)	- spojitě zatížení od hmotnosti lokomotivy
q_M (N·m ⁻¹)	- spojitě zatížení od hmotnosti motoru s převodovkou
r_1 (m)	- poloměr vrubu v řezu 1)
s (1)	- statická určitost

W_{o1} (m ³)	- průřezový modul v ohybu pro řez 1)
α_1 (1)	- součinitel tvaru v řezu 1)
β_1 (1)	- součinitel vrubu pro řez 1)
β_2 (1)	- součinitel vrubu drážky pro pero v ohybu pro řez 2)
β_{2t} (1)	- součinitel vrubu drážky pro pero v krutu pro řez 2)
β_3 (1)	- součinitel vrubu drážky pro pero v ohybu pro řez 3)
β_{3t} (1)	- součinitel vrubu drážky pro pero v krutu pro řez 3)
μ (1)	- počet neznámých veličin
ν (1)	- počet použitelných rovnic
π (1)	- matematická konstanta
σ_{nom1} (MPa)	- nominální napětí v řezu 1)
σ_{max1} (MPa)	- maximální napětí v řezu 1)
σ_k (MPa)	- dovolené napětí
$\sigma_{redHMH2}$ (MPa)	- redukované napětí podle koncepce HMH v řezu 2)
$\sigma_{redHMH3}$ (MPa)	- redukované napětí podle koncepce HMH v řezu 3)

10 SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

- Obr. 1-1** Lokomotivy Deutz 122 v měřítku 1:4 (vlevo) a 1: 3,3 (vpravo) [4]
Obr. 1-2 Podvozková lokomotiva firmy Ride on Railways [5]
Obr. 1-3 Hnací podvozek lokomotiv firmy Ride on Railways [5]
Obr. 1-4 Obrázek agregátu s alternátorem lokomotivy Ruston 2 [6]
Obr. 1-5 Obrázek lokomotivy LOR [7]
Obr. 1-6 Pojezd modelu lokomotivy U37.002 [9]
Obr. 1-7 Obrázek Ruston 2 – pohled do kabiny [6]
Obr. 1-8 Lokomotiva BN30U [8]
Obr. 1-9 Současný stav lokomotivy BN30U umístěné v depozitáři ve Zbýšově [8]
Obr. 1-10 Část trati v parkové dráze Olympia [10]
Obr. 5-1 Přímý pohon dvojkolí [5]
Obr. 6-1 Hlavní rám modelu lokomotivy BN30U
Obr. 6-2 Detail ložiskového domku modelu lokomotivy BN30U
Obr. 6-3 Hnací elektromotor se šnekovou převodovkou
Obr. 6-4 Funkční plochy
Obr. 6-5 Hnací dvojkolí modelu lokomotivy TU47 [10]
Obr. 6-6 Rozměrové schéma první nápravy
Obr. 6-7 Schéma zatížení první nápravy
Obr. 6-8 Úplné uvolnění první nápravy
Obr. 6-9 Průběh tečné síly (vlastní výpočet)
Obr. 6-10 Průběh tečné síly (výstup MITCalc)
Obr. 6-11 Průběh ohybového momentu (vlastní výpočet)
Obr. 6-12 Průběh ohybového momentu (výstup MITCalc)
Obr. 6-13 Průběh kroutícího momentu (vlastní výpočet)
Obr. 6-14 Průběh kroutícího momentu (výstup MITCalc)
Obr. 6-15 Kritická místa první nápravy
Obr. 6-16 Průhyb první nápravy – výstup softwaru MITCalc
Obr. 6-17 Bezpečnost statická (modře) a dynamická (zeleně) - výstup softwaru MITCalc
Obr. 6-18 Schéma zatížení druhé nápravy
Obr. 6-19 Průběh tečné síly druhé nápravy
Obr. 6-20 Průběh ohybového momentu druhé nápravy
Obr. 6-21 Průběh kroutícího momentu druhé nápravy
Obr. 6-22 Průhyb druhé nápravy - výstup softwaru MITCalc
Obr. 6-23 Bezpečnost statická (modře) a dynamická (zeleně) výstup softwaru MITCalc
- Tab. 1.1** Technické údaje lokomotivy BN30U [8]
Tab. 1.2 Velikosti a měřítka zahradních železnic [13]
Tab. 5.1 Výhody a nevýhody variant pohonů
Tab. 6-1 Výstup hodnot ze softwaru pro kritický řez 1)
Tab. 6-2 Výstup hodnot ze softwaru pro kritický řez 2)
Tab. 6-3 Výstup hodnot ze softwaru pro kritický řez 3)

11 SEZNAM PŘÍLOH

11

Dampf-Bahn-Standards für Maßstab/Spurweite, Gleis und Radsatz u.a.

Stejnosměrné motory P2X - ATAS elektromotory Náchod

Převodovka MR50 - rozměrový list

Tvarové součinitele

2-BN30-08-11-00

2-BN30-08-11-01

2-BN30-08-11-02

2-BN30-08-11-03

4-BN30-09-11-04

4-BN30-09-11-05

4-BN30-09-11-06

4-BN30-09-11-07