

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Ondřej Grulich

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Konstrukční návrh elektrokoloběžky pro provoz na pozemních komunikacích

Bakalářská práce

2023

Ondřej Grulich

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ondřej Grulich**
Osobní číslo: **D19630**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Téma práce: **Konstrukční návrh elektrokoloběžky pro provoz na pozemních komunikacích**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Práci zaměřte na návrh koncepce konstrukčního provedení elektrokoloběžky určené pro provoz na pozemních komunikacích. Při návrhu koncepce použijte homologované komponenty od dostupných výrobců (například brzdy, světla, kola, pohon a baterie apod.). Součástí práce je kontrola pevnosti vybraných částí elektrokoloběžky. Pro analýzy a vyhodnocení výsledků použijte metody a poznatky současné vědy a techniky. Zpracujte odpovídající výkresovou dokumentaci.

Vypracovat:

1. Rešerše stávajících provedení elektrokoloběžek a požadavky z hlediska legislativy pro provoz na pozemních komunikacích.
2. Na základě rešerše stanovení vstupních parametrů (nosnost, dojezd, rychlost, stoupavost, režimy jízdy apod.).
3. Návrh koncepce konstrukčního provedení elektrokoloběžky pro dané vstupní parametry.
4. Kontrola pevnosti vybraných komponentů elektrokoloběžky pomocí analytických metod.
5. Vyhodnocení výsledků.
6. Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Shigley, J. E., Mischke, Ch. R., Budynas, R. G.: *Konstruování strojních součástí*. Nakladatelství VUTIUM, VUT Brno, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
[2] Tesař, M., Vala, M.: *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-X.
[3] Vlk, F.: *Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové soustavy*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5274-4.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Tomek, Ph.D.**
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2023**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 10. února 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem Konstrukční návrh elektrokoloběžky pro provoz na pozemních komunikacích jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnici Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 1. května 2023

Ondřej Grulich v. r.

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Petru Tomkovi, Ph.D. za čas, který mi v rámci konzultací věnoval a za cenné rady, které mi pomáhaly při vypracování této práce.

ANOTACE

Předmětem této práce je návrh konstrukce elektrokoloběžky určené pro provoz na pozemních komunikacích. Teoretická část práce je věnována kapitolám o silničním provozu, především ve vztahu k provozu elektrokoloběžek a analýze stávajících provedení elektrokoloběžek, zejména na českém trhu. V praktické části je navržena konkrétní městská elektrokoloběžka.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektrokoloběžka, elektromotor, akumulátor, BLDC motor

TITTLE

Construction design of an electric scooter for operation on roads

ANNOTATION

The subject of this work is construction design of an electric scooter for operation on roads. The theoretical part of the work is devoted to the chapters on road traffic, especially in relation to the operation of electric scooters and the analysis of existing versions of electric scooters, especially on the Czech market. In the practical part, a specific urban electric scooter is designed.

KEYWORDS

Electric scooter, electric motor, battery, BLDC motor

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ.....	10
SEZNAM TABULEK.....	12
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	13
1 ÚVOD	16
2 POŽADAVKY Z HLEDISKA LEGISLATIVY PRO PROVOZ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH.....	17
2.1 Definice a charakteristika elektrokoloběžky z pohledu legislativy	17
2.2 Elektrokoloběžka jako nemotorové vozidlo	17
2.2.1 Technické parametry.....	18
2.3 Elektrokoloběžka jako motorové vozidlo	18
2.3.1 Klasifikace motorových vozidel kategorie L.....	19
2.3.2 Náležitosti a technické parametry	20
2.3.3 Pravidla pro motorová vozidla.....	20
2.4 Povinné ručení.....	21
2.5 Pravidla provozu elektrokoloběžky	21
3 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH PROVEDENÍ ELEKTROKOLOBĚŽEK	23
3.1 Městské elektrokoloběžky.....	23
3.2 Terénní elektrokoloběžky	26
3.3 Elektrokoloběžky se sedátkem.....	28
3.4 Elektrokoloběžky pro děti.....	30
3.5 Elektrokoloběžky typu „chopper“	33
3.6 Skládací elektrokoloběžky	35
4 STANOVENÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ.....	39
5 NÁVRH KONCEPCE KONSTRUKCE.....	41
5.1 Komponenty pohonného ústrojí.....	42
5.1.1 Elektromotor	42

5.1.2	Akumulátor	43
5.1.3	Řídící jednotka	44
5.2	Nabíjecí zařízení pro lithiový akumulátor	45
5.2.1	Doba nabíjení	45
5.3	Komponenty pro povinnou výbavu.....	46
5.3.1	Přední odrazka	46
5.3.2	Zadní odrazka.....	46
5.3.3	Boční odrazka	47
5.3.4	Světlomety	47
5.3.5	Gripy	49
5.3.6	Brzdy.....	49
5.3.7	Krytky nábojů kol	50
5.4	Další komponenty	50
5.4.1	Zvonek	51
5.4.2	Blatníky.....	51
5.5	Trakční charakteristika.....	52
5.5.1	Počáteční parametry.....	52
5.5.2	Sestrojení trakčního diagramu	55
5.6	Výpočet dojezdu	58
6	NÁVRH KONSTRUKCE.....	60
6.1	Upevnění akumulátoru a řídicí jednotky.....	64
6.2	Uložení přední vidlice	65
6.3	Nášlap.....	66
6.4	Skládací mechanismus	67
6.5	Statický rozbor konstrukce.....	69
6.6	Výpočet vnitřních statických účinků.....	76
7	VÝPOČET PEVNOSTI VYBRANÝCH ČÁSTÍ.....	82

7.1	Kontrola pevnosti rámu elektrokoloběžky	82
7.2	Kontrola čepu skládacího mechanismu.....	85
8	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	87
9	ZÁVĚR	88
	POUŽITÉ ZDROJE	90
	PŘÍLOHY.....	98

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Xiaomi Mi 1S [21].....	24
Obrázek 2: Sencor Scooter One S20 [27]	26
Obrázek 3: Bluetouch BT2000 [23]	27
Obrázek 4: Kaabo Wolf King GT Pro [28]	28
Obrázek 5: Smoot M9 [24].....	29
Obrázek 6: X-scooters XR02 [30].....	30
Obrázek 7: Segway Kickscooter ES1 [26]	32
Obrázek 8: Razor E Prime [29]	33
Obrázek 9: X-scooters XT04 [31].....	34
Obrázek 10: Super chopper eco highway [31]	35
Obrázek 11: City Boss GX2 [33]	37
Obrázek 12: Ninebot eKickScooter ZING C20 [35].....	38
Obrázek 13: Zjednodušené schéma koncepce.....	41
Obrázek 14: Zvolená sada od firmy UUmotor [41]	42
Obrázek 15: Charakteristika elektromotoru [38]	43
Obrázek 16: Zvolený akumulátor včetně BMS modulu od firmy City Boss [39]	44
Obrázek 17: Řídící jednotka [40]	44
Obrázek 18: Zvolená nabíječka od výrobce City Boss [61].....	45
Obrázek 19: Přední odrazka od firmy OEM [44].....	46
Obrázek 20: Zadní odrazka od firmy TWN [42].....	47
Obrázek 21: Boční odrazka od firmy OEM [44].....	47
Obrázek 22: Sada LED světlometů od firmy CRIVIT [45]	48
Obrázek 23: Gripy od firmy CANNONDALE [46].....	49
Obrázek 24: Kolo s bubnovou brzdou [47]	50
Obrázek 25: Krytka matice nábojů kol [48].....	50
Obrázek 26: Zvonek od firmy PRO-T [49].....	51
Obrázek 27: Přední blatník od firmy HeipeScooters [50].....	52
Obrázek 28: Momentová charakteristika elektromotoru.....	55
Obrázek 29: Trakční diagram.....	57
Obrázek 30: Teoretický dojezd při různých rychlostech pro stoupání 0 %	59
Obrázek 31: Model sestavy elektrokoloběžky	60
Obrázek 32: Přední část.....	61

Obrázek 33: Zadní část.....	61
Obrázek 34: Konstrukce rámu.....	62
Obrázek 35: Uložení akumulátoru a řídicí jednotky v rámu	64
Obrázek 36: Utěsnění spodního krytu.....	65
Obrázek 37: Uložení přední vidlice v hlavové trubce.....	66
Obrázek 38: Samolepící griptape firmy Jessup na nášlapu elektrokoloběžky	66
Obrázek 39: Popis částí skládacího mechanismu.....	67
Obrázek 40: Řez skládacím mechanismem v rozloženém stavu.....	68
Obrázek 41: Řez skládacím mechanismem ve složeném stavu	68
Obrázek 42: Zanesení silového působení do rámu.....	70
Obrázek 43: Uvolněný člen 1	72
Obrázek 44: Uvolněný člen 2.....	73
Obrázek 45:Uvolněný člen 3.....	74
Obrázek 46: Vnitřní účinky členu 1	76
Obrázek 47: Vnitřní účinky členu 2	77
Obrázek 48:Vnitřní účinky členu 3	78
Obrázek 49: Vnitřní účinky členu 4	79
Obrázek 50: Průběhy normálových sil	81
Obrázek 51: Průběhy posouvajících sil.....	81
Obrázek 52: Průběhy ohybových momentů	81
Obrázek 53: Čep skládacího mechanismu	85

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Technické parametry Xiaomi Mi 1S [21]	24
Tabulka 2: Technické parametry Sencor Scooter One S20 [27]	25
Tabulka 3: Technické parametry Bluetouch BT2000 [23].....	27
Tabulka 4: Technické parametry Kaabo Wolf King GT Pro [28].....	28
Tabulka 5: Technické parametry Smoot M9 [24]	29
Tabulka 6: Technické parametry X-scooter XR02 [30].....	30
Tabulka 7: Technické parametry Segway Kickscooter ES1[26]	31
Tabulka 8: Technické parametry Razor E Prime [29].....	32
Tabulka 9: Technické parametry X-scooters XT04 [31]	34
Tabulka 10: Technické parametry Super chopper eco highway [31].....	35
Tabulka 11: Technické parametry City Boss GX2 [33].....	36
Tabulka 12: Technické parametry Ninebot eKickScooter ZING C20 [35]	38
Tabulka 13: Přehled počátečních parametrů pro tvorbu trakčního diagramu	54
Tabulka 14: Přehled počátečních parametrů pro výpočet dojezdu	58
Tabulka 15: Přehled všech zvolených polotovarů od dodavatelů [52] [53].....	63
Tabulka 16: Numerické hodnoty rozměrů rámu	71
Tabulka 17: Shrnutí vypočítaných hodnot z kapitoly 6.5	75
Tabulka 18: Shrnutí vypočítaných hodnot z kapitoly 6.6	80
Tabulka 19: Přehled potřebných hodnot pro kontrolu pevnosti rámu.....	82
Tabulka 20: Přehled technických parametrů navržené elektrokoloběžky.....	87

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

Veličiny

A	[mm ²]	plocha průřezu
C	[Ah]	kapacita akumulátoru
c _x	[-]	součinitel odporu vzduchu
d	[mm]	průměr čepu
d _k	["]	průměr kola
e	[mm]	vzdálenost mezi nositelkou síly F _C a čepem předního kola
f	[-]	součinitel odporu valení
F _A	[N]	tíhová síla akumulátoru
F _C	[N]	celková tíhová síla působící na rám
F _f	[N]	odpor valení
F _{jmax}	[N]	maximální tíhová síla jezdce
F _{ŘJ}	[N]	tíhová síla řídicí jednotky
F _s	[N]	odpor do stoupání
F _T	[N]	trakční síla
F _v	[N]	odpor vzduchu
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
h	[mm]	vůle mezi plechy skládacího mechanismu a spojovacím profilem
I	[A]	nabíjecí proud nabíječky
i _c	[-]	celkový převodový poměr
k	[-]	součinitel bezpečnosti
L	[mm]	rozvor
l ₁	[mm]	délka střednice přední vidlice
l ₂	[mm]	délka střednice hlavové trubky
l ₃	[mm]	délka střednice spojovacího profilu
l ₄	[mm]	kolmá vzdálenost mezi koncem střednice spojovacího profilu a přední částí nášlapu
l ₅	[mm]	vzdálenost mezi nositelkou síly F _C a přední částí nášlapu
l ₆	[mm]	vzdálenost mezi nositelkou síly F _C a zadní částí nášlapu
l ₇	[mm]	délka zadní vidlice
m _a	[kg]	hmotnost akumulátoru
m _c	[kg]	celková hmotnost elektrokoběžky

m_e	[kg]	hmotnost elektromotoru
M_{ij}	[N·m]	vnitřní reakční moment členu i na člen j
m_j	[kg]	hmotnost jezdce
m_{jmax}	[kg]	maximální hmotnost jezdce (maximální nosnost)
m_k	[kg]	hmotnost kola
M_m	[N·m]	kroučící moment elektromotoru
$M_{o(x)}$	[N·m]	ohybový moment jako funkce odlehlosti
M_{omax}	[N·m]	maximální ohybový moment
m_p	[kg]	provozní hmotnost elektrokoloběžky
m_r	[kg]	hmotnost konstrukce rámu elektrokoloběžky
M_r	[N·m]	reakční moment elektromotoru
$m_{řj}$	[kg]	hmotnost řídicí jednotky
$N(x)$	[N]	normálová síla jako funkce odlehlosti
n_m	[ot/min]	otáčky elektromotoru
N_{max}	[N]	maximální normálová síla
n_{max}	[ot/min]	maximální otáčky elektromotoru
P	[W]	výkon elektromotoru
P_0	[W]	příkon elektromotoru
p_d	[MPa]	dovolený tlak
P_{max}	[W]	maximální výkon elektromotoru
q_n	[-]	součinitel pro nahodilé zatížení
R_A	[N]	výsledná reakce v čepu předního kola
R_B	[N]	výsledná reakce v čepu zadního kola
r_d	[m]	dynamický poloměr kola
R_e	[MPa]	mez kluzu
s	[km]	teoretický dojezd
$S_č$	[m ²]	čelní plocha jezdce
S_{ij}	[N]	výslednice složek vnitřních reakčních sil S_{ijx} a S_{ijy}
S_{ijx}	[N]	složka vnitřní reakční síly z členu i na člen j ve směru osy x
S_{ijy}	[N]	složka vnitřní reakční síly z členu i na člen j ve směru osy y
$T(x)$	[N]	posouvající síla jako funkce odlehlosti
t_1	[mm]	tloušťka plechů skládacího mechanismu
t_2	[mm]	tloušťka spojovacího profilu
t_3	[mm]	vnější šířka spojovacího profilu

T_{\max}	[N]	maximální posouvající síla
t_n	[h]	doba nabíjení akumulátoru
t_v	[h]	čas do vybití akumulátoru
U	[V]	výstupní napětí akumulátoru
v	[km·h ⁻¹]	rychlost
W	[Wh]	elektrická práce (energie) akumulátoru
W_o	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
α	[°]	úhel svírající střednice přední vidlice s rovinou vozovky
α_v	[°]	úhel sklonu vozovky
β	[°]	úhel svírající hlavová trubka se spojovacím profilem
γ	[°]	úhel svírající spojovací profil s rovinou vozovky
η	[-]	účinnost elektromotoru
η_m	[-]	mechanická účinnost převodového ústrojí
ρ_v	[kg·m ⁻³]	hustota vzduchu
σ_{dov}	[MPa]	dovolené napětí
σ_{HMH}	[MPa]	redukované normálové napětí podle hypotézy HMH
σ_N	[MPa]	normálové napětí
σ_o	[MPa]	ohybové napětí
τ	[MPa]	smykové napětí

Zkratky

BLDC	Brushless Direct Current (bezkartáčový stejnosměrný)
BMS	Battery Management System (systém správy baterie)
ČR	Česká republika
PČR	Policie České republiky

1 ÚVOD

Elektrokoloběžky jsou v současné době velmi populárními dopravními prostředky. Své využití nalézají zejména ve městech, kde jsou vhodnou alternativou k městské hromadné dopravě. V rámci větších měst jsou k dispozici i sdílené elektrokoloběžky, které je možné si v případě potřeby vypůjčit. S elektrokoloběžkou se lze vyhnout dopravním zácpám, což výrazně šetří čas. Jedná se také o ekologický dopravní prostředek, který nevypouští do ovzduší žádné emise. Elektrokoloběžky lze využít například pro cestování na kratší vzdálenosti do práce nebo do školy, ale i pro volnočasové aktivity.

S rostoucím využíváním elektrokoloběžek roste i jejich nehodovost, která bývá v mnoha případech způsobena nedodržením stanoveným legislativních předpisů pro jejich užívání. [64] Ohroženou skupinou nejsou pouze samotní uživatelé elektrokoloběžek, ale i ostatní účastníci silničního provozu, zejména chodci. S elektrokoloběžkami se jejich řidiči mnohdy pohybují v místech, kde se ze zákona pohybovat nesmí. Některé modely také často nejsou z hlediska jejich technických parametrů způsobilé k provozu na pozemních komunikacích. V těchto případech již uživatelé nesmí elektrokoloběžku provozovat na pozemních komunikacích, jinak se vystavují sankci.

Cílem této práce je zpracování konstrukčního návrhu elektrokoloběžky, která bude určena k provozu na pozemních komunikacích. Před samotným návrhem je nutné se nejprve seznámit s legislativními požadavky pro navrhovanou elektrokoloběžku, které jsou platné v ČR. V dalším kroku bude provedena rešerše stávajících provedení elektrokoloběžek s cílem zmapovat aktuální prodávané druhy elektrokoloběžek, především na českém trhu, včetně zjištění jejich parametrů a zhodnocení z pohledu legislativy. Na základě rešerše budou následně zvoleny vstupní parametry pro navrhovanou elektrokoloběžku, aby parametry navrhované elektrokoloběžky byly srovnatelné se současnými prodávanými modely. Součástí návrhu je návrh koncepce konkrétního konstrukčního provedení, návrh konstrukčního řešení a výpočet pevnosti vybraných částí elektrokoloběžky.

2 POŽADAVKY Z HLEDISKA LEGISLATIVY PRO PROVOZ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

2.1 Definice a charakteristika elektrokoloběžky z pohledu legislativy

Elektrokoloběžky jsou v rámci legislativy regulovány na úrovni národní, státní nebo místní. Tyto regulace se mohou týkat například omezení rychlosti, povinnosti používat helmy, povinnosti pojištění, pravidel pro jízdu po silnicích a cyklostezkách apod. [1] Různé země mají různé specifické regulace týkající se elektrokoloběžek, proto je vždy důležité seznámit se s platnými pravidly v dané oblasti. [2]

Evropská unie přijala opatření v souvislosti s rostoucím využíváním elektrokol. Dříve platila směrnice o schvalování typů dvoukolových a tříkolových motorových vozidel, která vyloučila elektrokola s dodatečným motorem o jmenovitém výkonu do 250 W. [4] Po nástupu elektrokoloběžek a jiných nových typů vozidel byla ovšem tato směrnice nahrazena evropským nařízením o schvalování dvoukolových, tříkolových a čtyřkolových vozidel a dohledem nad trhem s těmito vozidly, přičemž nařízení v čl. 2, odst. 2, písmeno j) vyjímá z působnosti také vozidla, která nemají místo k sezení, což zahrnuje elektrokoloběžky. [3]

V České republice není ovšem definice Evropské Unie motorových vozidel ve vztahu k elektrokoloběžkám zcela dodržena. Právní předpisy ohledně použití elektrokoloběžek na místních silnicích se v některých případech liší. Tyto odlišnosti způsobují, že v mnohých situacích je nutné použití analogie elektrokoloběžky s jinými dopravními prostředky. [3]

Přestože jsou elektrokoloběžky v ČR již několik let značně populární a jsou užívány nejen dětmi, ale také dospělými jako levný, rychlý a ekologický způsob cestování na kratší vzdálenosti, není stále přesně legislativně definováno, jaký dopravní prostředek elektrokoloběžka je. Elektrokoloběžku tak lze na základě technických parametrů přiřadit buď k jízdniému kolu, nebo v některých případech k motorovému vozidlu. [5]

2.2 Elektrokoloběžka jako nemotorové vozidlo

Jestliže jmenovitý výkon elektrokoloběžky nepřesahuje 1000 W a konstrukční rychlost 25 km/h, je na elektrokoloběžku pohlíženo stejně jako na jízdni kolo a jejím řidičem je cyklista. Z hlediska zákona je považován za řidiče nemotorového vozidla. Při jízdě po silnici tedy musí dodržovat pravidla silničního provozu, která spadají do oblasti jízdy na jízdni kolo, kterou upravuje část C vyhlášky č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. [6]

2.2.1 Technické parametry

Kromě zmíněných parametrů týkajících se výkonu a rychlosti musí elektrokoloběžky splňovat i ostatní legislativní kritéria jízdního kola: [5] [7] [8] [9]

- Jízdní kola pro děti předškolního věku mohou být vybavena odstupňovatelným ovládním brzdného účinku pomocí dvou nezávislých účinných brzd. Pokud mají volnoběžný náboj s protišlapací brzdou, nemusí být vybavena přední brzdou.
- Volné konce trubky řídítek musí být spolehlivě zaslepeny.
- Zakončení ovládacích páček brzd a volné konce řídítek musí mít zaoblené hrany nebo být obaleny materiálem pohlcujícím energii.
- Matice nábojů kol musí být uzavřené.
- Jízdní kola musí být vybavena zadní odrazkou červené barvy. Zadní odrazku mohou nahradit odrazové materiály.
- Jízdní kola musí být vybavena přední odrazkou bílé barvy. Přední odrazku mohou nahradit odrazové materiály.
- Šlapací pedály a paprsky předního nebo zadního kola musí být opatřeny odrazkami oranžové barvy. Odrazky na kolech mohou nahradit odrazové materiály.

Jízdní kola, tedy i elektrokoloběžky, musí být při řízení za snížené viditelnosti vybavena specifickými zařízeními pro světelnou signalizaci a osvětlení. Tato zařízení zahrnují světlomet svítící dopředu bílým světlem, zadní svítilnu vyzařující světlo červené barvy a zdroj elektrického proudu, který musí být schopen zajistit svítivost světel po dobu nejméně 1,5 hodiny. [6]

2.3 Elektrokoloběžka jako motorové vozidlo

V případě, že elektrokoloběžka nespĺňuje parametry uvedené v kapitole 2.2, tedy pokud je její jmenovitý výkon vyšší než 1 kW nebo konstrukční rychlost vyšší než 25 km/h, je posuzována jako motorové vozidlo kategorie L. První podmínka ovšem platí v případě dodatečně montovaného motorku. Pokud je motor v elektrokoloběžce zabudovaný již z výroby, může jeho jmenovitý výkon dosahovat pouze maximálně 250 W. Při nesplnění této podmínky je elektrokoloběžka také klasifikována jako motorové vozidlo. [3] [5]

Existuje ještě jedna podmínka, díky které lze v konkrétní situaci na elektrokoloběžku pohlížet jako na motorové vozidlo, a to, pokud její konstrukce zahrnuje alespoň jedno místo

k sezení. Řidič v tomto případě nesmí přesáhnout rychlost 6 km/h, jinak může policejní kontrola po řidiči požadovat homologaci elektrokoloběžky. [10]

Legislativní rámec motorových vozidel může často splňovat také elektrokoloběžka s deaktivovaným omezovačem rychlosti nebo výkonu. Při běžných kontrolách nelze tuto skutečnost snadno odhalit, ovšem v rámci znaleckých posudků při dopravních nehodách je možné zjistit, že elektrokoloběžka nespĺňovala deklarovaný legislativní rámec pro nemotorová vozidla. V těchto případech může pojišťovna zamítnout hrazení pojistného plnění, protože vozidlo nebylo technicky způsobilé k provozu na pozemních komunikacích. [9]

Elektrokoloběžku, která je klasifikována jako motorové vozidlo, již řidič nesmí užívat na cyklostezkách. K jízdě může používat výhradně silnice I., II. a III. třídy. [5]

2.3.1 Klasifikace motorových vozidel kategorie L

Vozidla kategorie L jsou podrobněji klasifikována v závislosti na výkonnostních, rychlostních a hmotnostních parametrech a podle počtu kol celkem do 7 základních kategorií. [3] Zmíněny budou pouze kategorie, do kterých lze zařadit elektrokoloběžky.

- Lehké dvoukolové motorové vozidlo (L1e)

Do této kategorie lze zahrnout elektrokoloběžky, u kterých je maximální konstrukční rychlost do 45 km/h nebo jmenovitý výkon do 4 kW. Kategorie L1e je dále členěna na podkategorii motokolo (L1e-A) a na podkategorii dvoukolový moped (L1e-B). [3]

Do podkategorie motokolo spadají elektrokoloběžky, u kterých je jmenovitý výkon v intervalu 250–1000 W a maximální konstrukční rychlost do 25 km/h. Ostatní elektrokoloběžky, u kterých je maximální konstrukční rychlost v intervalu 25–45 km/h či maximální jmenovitý výkon 1–4 kW, spadají do podkategorie dvoukolový moped. [3]

- Dvoukolový motocykl (L3e)

Pokud elektrokoloběžka disponuje jmenovitým výkonem vyšším než 4 kW nebo má-li konstrukční rychlost nad 45 km/h, jedná se již o vozidlo zařazené do kategorie dvoukolový motocykl. Tato kategorie je dále členěna na 3 podkategorie: motocykl s nízkým výkonem (L3e-A1), motocykl se středním výkonem (L3e-A2) a motocykl s vysokým výkonem (L3e-A3). [3]

Do podkategorie motocykl s nízkým výkonem jsou zahrnuty elektrokoloběžky, které mají jmenovitý výkon v intervalu 4–11 kW a poměr maximálního výkonu k hmotnosti do 0,1 kW/kg. [3]

Do podkategorie motocykl se středním výkonem spadají elektrokoloběžky, u kterých je jmenovitý výkon v intervalu 11–35 kW a poměr maximálního výkonu k hmotnosti v intervalu 0,1–0,2 kW/kg. [3]

Převyšuje-li jmenovitý výkon elektrokoloběžky 35 kW nebo poměr maximálního výkonu k hmotnosti 0,2 kW/kg, jedná se již o elektrokoloběžku zařazenou do podkategorie motocykl s vysokým výkonem. [3]

2.3.2 Náležitosti a technické parametry

V rámci klasifikace elektrokoloběžky jako lehkého dvoukolového motorového vozidla je nutné, aby řidič vlastnil k užívání elektrokoloběžky řidičské oprávnění sk. B nebo AM. Pokud je elektrokoloběžka zařazena do podkategorie motocykl s nízkým výkonem, je vyžadováno řidičského oprávnění sk. A1. V případě podkategorie motocykl se středním výkonem je potřeba vlastnit řidičské oprávnění sk. A2 a u podkategorie motocykl s vysokým výkonem řidičské oprávnění sk. A. [5] [10]

Pro udělení řidičského oprávnění jednotlivých skupin je vyžadováno, aby řidič dosáhl určité věkové hranice. V případě sk. B a A2 je tato hranice 18 let. U sk. AM je to 15 let. Jedná-li se o sk. A1, zde je minimální věk 16 let. Sk. A je omezena věkem 24 let. [5] [10]

Řidič musí být za jízdy vybaven ochranným štítem nebo brýlemi chránícími jeho zrak a mít nasazenou ochrannou motocyklovou přilbu (nikoliv cyklistickou), musí mít sjednané povinné ručení a elektrokoloběžku vybavenou předepsanou povinnou výbavou. Je nutné, aby byla elektrokoloběžka ve způsobilém technickém stavu podle platné vyhlášky č. 341/2014 Sb., absolvovala pravidelnou technickou kontrolu obdobně jako každé motorové vozidlo, řidič vlastnil platný technický průkaz vozidla a dodržoval vyhlášku o pravidlech silničního provozu č. 80/1966 Sb. Elektrokoloběžka, stejně jako ostatní motorová vozidla, musí podléhat registraci a být osazena registrační značkou. [5] [10]

Kromě již zmíněných náležitostí, musí elektrokoloběžka splňovat i další požadavky týkající se výbavy. Musí být vybavena stojanem a protiblokovacími brzdnými systémy. Elektrokoloběžka, která nespadá do podkategorie L1e-A, musí být navíc vybavena i zvukovým výstražným zařízením. [3]

2.3.3 Pravidla pro motorová vozidla

Řidič elektrokoloběžky, která splňuje parametry motorového vozidla (viz kapitola 2.3), je povinen respektovat Zákon č. 361/2000 Sb. Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů a vyhlášku č. 294/2015 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu

na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů (dopravní značky, řízení provozu a další). [5] [11]

2.4 Povinné ručení

Počínaje rokem 2024 vejde v platnost nová směrnice Evropského parlamentu a Rady 2021/2118, která upravuje povinnost sjednaného pojištění odpovědnosti z provozu motorových vozidel. [12] Povinné ručení se bude týkat všech elektrokoloběžek s konstrukční rychlostí vyšší než 14 km/h a zároveň vážících nad 25 kg. Tato skutečnost přiřazuje elektrokoloběžky splňující uvedené parametry také do kategorie motorových vozidel. [13]

2.5 Pravidla provozu elektrokoloběžky

I přesto, že dnes elektrokoloběžku vlastní mnoho lidí, některým není zřejmé, že v závislosti na jejich technických parametrech je nutné dodržovat stanovená pravidla, obzvláště, pokud jsou účastníky silničního provozu, která jsou specifikována v Zákoně o provozu na pozemních komunikacích a ve Vyhlášce o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Pokud elektrokoloběžka splňuje parametry jízdního kola, musí její uživatel dodržovat pravidla, která jsou platná pro cyklisty. Jestliže je klasifikována jako motorové vozidlo, vztahují se na ni i na jejího řidiče předpisy pro motorová vozidla. [6] [14]

Stejně jako pro cyklisty, také pro uživatele elektrokoloběžky platí, že se při jízdě nemohou pohybovat po chodníku, který je určen pouze chodcům. Výjimku tvoří děti do 10 let, ty se mohou pohybovat po chodníku maximálně do rychlosti 6 km/h. K jízdě na elektrokoloběžce je tedy nutné využívat stezky pro cyklisty, jízdní pruhy pro cyklisty nebo přilehlé pozemní komunikace. Při jízdě po silnici se cyklisté mohou pohybovat pouze jednotlivě při pravém kraji vozovky, řazení za sebou. [6] [14]

Osoby mladší 18 let mohou jet na elektrokoloběžce pouze s cyklistickou přilbou. V rámci vlastní bezpečnosti je vhodné používat také rukavice, vhodnou obuv s pevnou podrážkou a reflexní prvky. Osoby mladší 10 let mohou při jízdě využívat silnici pouze za doprovodu osoby starší 15 let. [6] [14]

I tehdy, pokud je elektrokoloběžka klasifikována jako jízdní kolo, platí pro osobu, která ji řídí, nulová tolerance alkoholu. Jelikož pro řízení elektrokoloběžky, která spadá do kategorie motorového vozidla, je nutné vlastnit příslušné řidičské oprávnění, osoba, která požíla alkohol, se podle množství naměřeného alkoholu vystavuje sankci za tento čin v podobě zadržení

řidičského průkazu a pokutě až 50 000 Kč. Obdobná pravidla platí také pro pozření jiných návykových látek ovlivňujících centrální nervový systém. [8] [9]

Při jízdě na elektrokoloběžce by měl její řidič dbát také na povinnou výbavu, která minimálně zahrnuje: [8]

- dvě na sobě nezávislé brzdy,
- zadní odrazku červené barvy,
- odrazky oranžové barvy na paprscích alespoň jednoho kola,
- v případě snížené viditelnosti světlomet svítící dopředu bílým světlem a zadní svítilnu červené barvy.

3 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH PROVEDENÍ ELEKTROKOLOBĚŽEK

Většina výrobců a distributorů elektrokoloběžek se neprávem odvolává na vyhlášku č. 341/2014 Sb., na základě které je elektrokoloběžka s dodatečně montovaným motorkem o jmenovitém výkonu do 1 kW považována za nemotorové vozidlo. Elektrokoloběžky, které se prodávají na trhu mají ovšem motorek přímo zabudovaný v konstrukci. Není tedy montovaný dodatečně a tato podmínka uvedená ve vyhlášce je zcela jednoznačně nesplněna. Dle stanoviska PČR při policejní kontrole mnohdy nelze jasně prokázat skutečnost dodatečně montovaného motoru a motoru zabudovaného již z výroby a tím určit, zda se jedná o vozidlo motorové či nemotorové. [59]

Na trhu existuje nepřehledné množství různých druhů a typů elektrokoloběžek, které se liší podle konstrukce, nosnosti, výkonu elektromotoru a kapacity akumulátoru. Elektrokoloběžky tak lze kategorizovat z hlediska různých kritérií, a to: [18] [19]

- podle určení na městské a terénní,
- podle věku na dětské a pro dospělé,
- podle konstrukce na skládací a neskládací,
- na speciální typy: elektrokoloběžky se sedátkem a elektrokoloběžky typu „chopper“.

3.1 Městské elektrokoloběžky

Městské elektrokoloběžky musí být uzpůsobeny pro různé druhy povrchů chodníků a silnic. U těchto koloběžek zpravidla není přítomno odpružení, o tlumení nerovností se starají pneumatiky. Pro obratnou jízdu je zapotřebí, aby byly osazeny menšími pevnými koly, jejichž průměr je obvykle 6 až 8". [19] Pro potřeby přesunu po městě není většinou nutné pořizovat elektrokoloběžku s velkou kapacitou akumulátoru, jelikož některá města mnohdy disponují několika dobíjecími stanicemi. V zastavěných částech měst se značným pohybem lidí obvykle postačuje elektrokoloběžka s nižším výkonem kolem 350 W. [17]

V České republice se městské koloběžky prodávají běžně s výkonem 250–800 W, ovšem existuje na trhu i několik silnějších modelů s výkonem 1000 nebo 2000 W. Nosnost těchto koloběžek se většinou pohybuje v intervalu zhruba 100–150 kg. Několik málo modelů disponuje nosností nižší, a to přibližně kolem 50 kg. Dojezd městských elektrokoloběžek se v závislosti na modelu liší, pohybuje se ale většinou v intervalu 8–50 km. Rychlost městských elektrokoloběžek je obvykle kolem 16–35 km/h a hmotnost 8–23 kg. [16] [22]

Xiaomi Mi 1S

U tohoto modelu je elektromotor součástí předního kola. Akumulátor je umístěn v prostoru pod nášlapnou plochou. Koloběžka je vybavena přední elektronickou a zadní kotoučovou brzdou. Přední i zadní vzduchová kola mají průměr 8", přičemž žádné z kol není odpružené. Rám koloběžky je skládací. Elektrokoloběžka je vybavena systémem rekuperace elektrické energie a disponuje třemi rychlostními režimy: režimem chůze 5 km/h, standardním režimem 20 km/h a sportovním režimem 25 km/h. [21]

Elektrokoloběžka splňuje veškeré náležitosti nemotorového vozidla, a to jak rychlostní a výkonnostní, tak i požadavky na povinnou výbavu. Kromě dvou nezávislých brzd je osazena gripy, bočními odrazkami, světlomety i přední a zadní odrazkou, která je integrována do zadního světlomety.

Tabulka 1: Technické parametry Xiaomi Mi 1S [21]

Jmenovitý výkon motoru	250 W
Kapacita akumulátoru	7,8 Ah / 36 V
Dojezd	až 30 km
Hmotnost	12,5 kg
Stoupavost	7°
Maximální nosnost	100 kg
Maximální rychlost	25 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1180 x 430 x 1080 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	490 x 430 x 1080 mm



Obrázek 1: Xiaomi Mi 1S [21]

Sencor Scooter One S20

U této elektrokoloběžky je elektromotor umístěn v předním kole. Akumulátor je uložen pod podlahou nášlapu. Koloběžka je vybavena duálním brzdovým systémem – elektrickým pomocí motoru a mechanickým skrze kotoučovou brzdu. Kola elektrokoloběžky jsou 8palcová s perforovanými pneumatikami, které zajišťují dobré tlumení nerovností. Pro potřeby přesunu po městě lze elektrokoloběžku snadno složit. Elektrokoloběžka disponuje čtyřmi rychlostními režimy: režimem chůze 6 km/h, režimem eko 10 km/h, režimem drive 20 km/h a sportovním režimem 25 km/h. [27]

Jelikož jmenovitý výkon tohoto modelu převyšuje deklarovanou hodnotu 250 W, je tato elektrokoloběžka z hlediska legislativy považována již za motorové vozidlo. Vzhledem k tomu, že jmenovitý výkon nepřesahuje hodnotu 1 kW, lze elektrokoloběžku klasifikovat jako motorové vozidlo kategorie L1e-A. K užívání je tedy nutné být držitelem řidičského oprávnění sk. B nebo AM.

Tabulka 2: Technické parametry Sencor Scooter One S20 [27]

Jmenovitý výkon motoru	350 W
Kapacita akumulátoru	7,5 Ah / 36 V
Dojezd	až 25 km (při hmotnosti jezdce 55 kg) až 20 km (při hmotnosti jezdce 90 kg)
Hmotnost	12,5 kg
Stoupavost	až 15°
Maximální nosnost	120 kg
Maximální rychlost	25 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1100 x 440 x 1080 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	500 x 440 x 1080 mm



Obrázek 2: Sencor Scooter One S20 [27]

3.2 Terénní elektrokoběžky

Terénní elektrokoběžky již disponují robustnější konstrukcí s odpružením. Mají velká kola s průměrem nad 8" a silnější pneumatiky s vyšším profilem. Musí být osazeny silnějším motorem kvůli různým druhům terénu. Trh nabízí také několik velmi odolných modelů pro ty nejnáročnější terény. Jejich kola jsou převážně vzduchová s vyšším průměrem, aby cesta po nerovném terénu byla maximálně pohodlná. Zákazníci nejčastěji volí terénní elektrokoběžky s výkonem okolo 500 W, ovšem k dispozici jsou na českém trhu také silnější elektrokoběžky. Dle preferencí terénu a délky je třeba zvážit dojezdovou vzdálenost. Ta se běžně pohybuje kolem 50 km. Z důvodu lepší stability v nerovném terénu je zapotřebí, aby byly tyto stroje těžší než městské elektrokoběžky. [17] [22]

Výkon terénních elektrokoběžek se pohybuje v intervalu 500–5600 W. Jejich maximální rychlost se může v závislosti na modelu lišit, bývá však obvykle v rozpětí 25–80 km/h. Nosnost terénních elektrokoběžek je typicky 120–200 kg. Některé elektrokoběžky mají dojezd dokonce až 180 km. [15] [19]

Bluetouch BT2000

Pro lepší stoupavost v terénu je tento model osazen dvěma elektromotory v obou kolech. Elektrokoběžka je opatřena 10palcovými koly se vzduchovými pneumatikami. Každé kolo je doplněno o kotoučovou brzdu. Přední i zadní kolo je odpružené. Konstrukce koběžky je vybavena skládacím mechanismem. Elektrokoběžka má tři nastavitelné rychlostní stupně. [23]

Dle výkonnostních a rychlostních parametrů je tento model klasifikován jako motorové vozidlo kategorie L3e-A1. V případě provozu na pozemních komunikacích je proto nutné vlastnit řidičské oprávnění sk. A1.

Tabulka 3: Technické parametry Bluetouch BT2000 [23]

Jmenovitý výkon motoru	2x 1000 W
Kapacita akumulátoru	26 Ah / 52 V
Dojezd	až 70 km
Hmotnost	34,3 kg (včetně akumulátoru)
Stoupavost	15°
Maximální nosnost	150 kg
Maximální rychlost	55 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1200 x 710 x 1300 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	600 x 710 x 1300 mm



Obrázek 3: Bluetouch BT2000 [23]

Kaabo Wolf King GT Pro

Elektrokoloběžka disponuje dvěma elektromotory, které jsou umístěny v obou kolech. Koloběžka je osazena 11palcovými vzduchovými koly s offroadovými pneumatikami, které v kombinaci s předním hydraulickým a zadním pružinovým zavěšením umožňují jízdu téměř v jakémkoliv terénu. Koloběžka má vyztužený hliníkový rám zaručující zvýšenou odolnost. Brzdy jsou na obou kolech kotoučové v kombinaci s elektronickou motorovou brzdou. V případě potřeby lze elektrokoloběžku bez problému složit. [28]

Tento model je pro své technické parametry považován za motorové vozidlo. Výrobce udává maximální výkon až 8,4 kW. [28] Poměr maximálního výkonu k hmotnosti vychází

0,16 kW/kg, proto už je tento model zařazen do kategorie L3e-A2. Z hlediska provozu na pozemních komunikacích je třeba být držitelem řídičského oprávnění sk. A2.

Tabulka 4: Technické parametry Kaabo Wolf King GT Pro [28]

Jmenovitý výkon motoru	2x 2000 W
Kapacita akumulátoru	35 Ah / 72 V
Dojezd	až 180 km (při hmotnosti jezdce 75 kg a rychlosti 25 km/h)
Hmotnost	52 kg (včetně akumulátoru)
Stoupavost	až 50°
Maximální nosnost	150 kg
Maximální rychlost	100 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1331 x 749 x 1549 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	406 x 749 x 1270 mm



Obrázek 4: Kaabo Wolf King GT Pro [28]

3.3 Elektrokoloběžky se sedátkem

Vzhledem k přítomnosti sedátka jsou tyto elektrokoloběžky bez ohledu na jejich výkonnostní a rychlostní parametry vždy zařazeny mezi motorová vozidla.

Sedátko zaručuje lepší stabilitu jízdy a samozřejmě také větší pohodlí. Elektrokoloběžky se sedátkem jsou vhodné zejména pro seniory a pro delší jízdy. Kvůli sedátku je však koloběžka těžší a méně skladná. [18] [19]

Smoot M9

U této elektrokoloběžky je elektromotor umístěn v zadním kole. Akumulátor je uložen pod podlahou nášlapu. Elektrokoloběžka disponuje elektronickou a dvojitou kotoučovou brzdou. Kola mají průměr 10". Jsou vzduchová a zároveň jsou doplněna dvěma tlumiči pro zaručení pohodlné jízdy. Řídítka i sedátko lze v případě potřeby složit. [24]

Jelikož je u tohoto modelu maximální konstrukční rychlost 50 km/h, jedná se o motorové vozidlo zařazené do kategorie motocykl s nízkým výkonem (L3e-A1). K jízdě je nutné vlastnit řidičské oprávnění sk. A1.

Tabulka 5: Technické parametry Smoot M9 [24]

Jmenovitý výkon motoru	800 W
Kapacita akumulátoru	15 Ah / 48 V
Dojezd	až 60 km
Hmotnost	23 kg
Stoupavost	25°
Maximální nosnost	130 kg
Maximální rychlost	50 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1200 x 470 x 1160 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	530 x 710 x 1300 mm



Obrázek 5: Smoot M9 [24]

X-scooters XR02

Tento model elektrokoloběžky využívá k pohonu elektromotor s řetězovým převodem. Elektromotor je uložen v zadní výkyvné vidlici. Výkon a kroutící moment motoru je přenášen na rozetu zadního kola prostřednictvím řetězového pohonu. Přední vidlice je obdobně jako

zadní vidlice odpružená. Odpružení společně se vzduchovými pneumatikami umožňuje pohodlnou jízdu i v náročnějším terénu. Koloběžka je osazena kotoučovými brzdami na obou kolech. Součástí výbavy je tachometr, zrcátka i praktický zadní košík. Pro snadnější přepravu nebo skladování lze odmontovat sedátko a sklopit říditka. [30]

Elektrokoloběžka je svými parametry klasifikována jako motorové vozidlo kategorie dvoukolový moped (L1e-B), pro kterou je vyžadováno řidičské oprávnění sk. B nebo AM.

Tabulka 6: Technické parametry X-scooter XR02 [30]

Jmenovitý výkon motoru	1000 W
Kapacita akumulátoru	12 Ah / 36 V
Dojezd	až 25 km (při hmotnosti jezdce 75 kg)
Hmotnost	42 kg
Stoupavost	do 20°
Maximální nosnost	115 kg
Maximální rychlost	36 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1110 x 615 x 1290 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	500 x 615 x 1220 mm



Obrázek 6: X-scooters XR02 [30]

3.4 Elektrokoloběžky pro děti

Elektrokoloběžky, které jsou určeny pro děti bývají menších rozměrů, mají nižší hmotnost a v porovnání s elektrokoloběžkami pro dospělé jsou i zpravidla levnější. [18]

Dětské elektrokoloběžky disponují výkonem 50–900 W, rychlostí 6–35 km/h a dojezdem 5–55 km. Maximální nosnost bývá u těchto elektrokoloběžek 40–120 kg a samotné mají hmotnost 4,5–20 kg. [22] [25]

Segway Kickscooter ES1

U tohoto modelu je elektromotor umístěn v předním kole. Akumulátor je součástí tyče řídicí. Kola o průměru 8" jsou pevná, bezvzduchová. Pro zajištění většího komfortu během jízdy je přední kolo odpružené. Elektrokoloběžka je vybavena přední elektronikou a zadní nášlapnou brzdou. Koloběžku lze pro potřeby přepravy nebo uskladnění snadno složit. Elektrokoloběžka má tři nastavitelné rychlostní režimy: režim sport, standardní režim a režim omezení. Režim sport využívá plný výkon elektrokoloběžky k dosažení maximální rychlosti, při sníženém maximálním dojezdu. Režim standard udržuje střední rychlost, výkon i dojezd. Režim omezení omezuje výkon a rychlost, čímž se zvyšuje maximální dojezd. [26]

Dle jmenovitého výkonu a maximální rychlosti je elektrokoloběžka zařazena mezi nemotorová vozidla. Povinná výbava však není úplná, protože postrádá přední odrazku. Pro zajištění technické způsobilosti k provozu na pozemních komunikacích je nutné tuto odrazku na elektrokoloběžku doplnit. Elektrokoloběžka nedisponuje integrovaným osvětlením, proto při jízdě za snížené viditelnosti je nutné elektrokoloběžku vybavit také světlomety.

Tabulka 7: Technické parametry Segway Kickscooter ES1 [26]

Jmenovitý výkon motoru	250 W
Kapacita akumulátoru	5,2 Ah / 36 V
Dojezd	25 km
Hmotnost	11,3 kg
Stoupavost	6°
Maximální nosnost	100 kg
Maximální rychlost	20 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1130 x 430 x 1020 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	400 x 430 x 1130 mm



Obrázek 7: Segway Kickscooter ES1 [26]

Razor E Prime

Elektrokoloběžka disponuje jedním elektromotorem umístěným v zadním kole. Akumulátor je uložen v prostoru pod nášlapnou plochou. Koloběžka je vybavena elektronickou a nášlapnou brzdou, která je ovládána pomocí zadního blatníku. Kola elektrokoloběžky jsou 8palcová, bezvzduchová a neodpružená. Pomocí nastavitelné výšky řídicích tyčí lze velikost koloběžky individuálně přizpůsobit. Pro pohodlné přenášení je elektrokoloběžka vybavena skládací konstrukcí. [29]

Na základě výkonnostních a rychlostních parametrů je tato elektrokoloběžka nemotorovým vozidlem. Povinná výbava je u elektrokoloběžky splněna jen částečně. V rámci zajištění technické způsobilosti k provozu na pozemních komunikacích je nutné elektrokoloběžku dovybavit i dalšími komponenty pro povinnou výbavu jako je zadní odrazka, boční odrazky a v případě jízdy za snížené viditelnosti i osvětlením.

Tabulka 8: Technické parametry Razor E Prime [29]

Jmenovitý výkon motoru	250 W
Kapacita akumulátoru	3,2 Ah / 36 V
Dojezd	až 12 km
Hmotnost	9,8 kg
Stoupavost	5°
Maximální nosnost	80 kg
Maximální rychlost	až 24 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1030 x 462 x 1020 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	520 x 430 x 1020 mm



Obrázek 8: Razor E Prime [29]

3.5 Elektrokoloběžky typu „chopper“

Samostatnou kapitolu tvoří tzv. „chopper“ elektrokoloběžky, kterým se říká také „harley“ koloběžky. Představují již obdobu elektrického skútru. K jejich užívání je proto nutné být držitelem příslušného řídičského oprávnění. Poznávacím znamením jsou široká gumová kola s větším průměrem, která zajišťují pohodlnou jízdu i v terénu. Elektrické choppery jsou off road a je možné je použít také na nezpevněné povrchy. Pro zajištění pohodlné jízdy jsou vždy vybaveny sedátkem. Výkon těchto modelů bývá vysoký, přibližně okolo 1 500–2000 W. Také jejich nosnost je vyšší, a to až 200 kg. Choppery zvládají rychlost průměrně okolo 45 km/h, ovšem některé modely uvádějí až 80 km/h. Jejich dojezdová vzdálenost je průměrně kolem 45 km, přičemž několik modelů disponuje dojezdem až 65 km. Jedná se také o atraktivní designový stroj, jehož vzhled může mnohdy připomínat moderní motocykl. Cena těchto strojů je sice vyšší, avšak oproti skútrům se spalovacím motorem mají elektro-choppery poměrně nízké provozní náklady. [19] [20]

X-scooters XT04

U tohoto modelu je elektromotor umístěn v zadním kole. Akumulátor je uložen v prostoru pod povrchem nášlapu. Skútr je osazen silnými pneumatikami o velikosti 18 x 9,5 cm, které poskytují oporu téměř v každém terénu. Stroj disponuje kotoučovými brzdami na obou kolech. Pohodlí při jízdě zaručuje přední a zadní odpružení společně s polstrovaným sedlem pro dvě osoby. V prostoru pod sedlem se nachází úložný prostor. Mezi další výbavu patří například přední a zadní světlomet, zadní směrová světla a klakson. [31]

Tento skútr je s ohledem na maximální rychlost 55 km/h zařazen mezi motocykly s nízkým výkonem (L3e–A1). K užívání je tedy nutné řidičské oprávnění sk. A1.

Tabulka 9: Technické parametry X-scooters XT04 [31]

Jmenovitý výkon motoru	1600 W
Kapacita akumulátoru	20 Ah / 72 V
Dojezd	až 50 km (při hmotnosti jezdce 75 kg)
Hmotnost	72 kg
Stoupavost	až 25°
Maximální nosnost	200 kg
Maximální rychlost	55 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	880 x 380 x 1940 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	–



Obrázek 9: X-scooters XT04 [31]

Super chopper eco highway

Tento model je vybaven jedním elektromotorem umístěným v zadním kole. Chopper je osazen 12palcovými koly. Odpružení předního kola je řešeno klasickou vidlicí s dvěma tlumiči. Odpružení zadního kola zajišťuje speciální silent blok, který je uložen v místě uchycení kola k rámu. Zadní kolo je navíc opatřeno širokoplášťovými pneumatikami, což zaručuje perfektní stabilitu během jízdy. Chopper disponuje kotoučovými brzdami. Součástí výbavy je světlomet s denním svícením, potkávacími a dálkovými světly. Brzdové světlo a směrová světla jsou samozřejmostí. Součástí je také alarm na dálkové ovládání, sedačka se samostatným odpružením a opěrky nohou pod říditky jako je u chopperů zvykem. [31]

Dle technických parametrů je tento stroj považován za dvoukolový moped (L1e-B). Pro provoz na pozemních komunikacích je třeba vlastnit řidičské oprávnění sk. B nebo AM.

Tabulka 10: Technické parametry Super chopper eco highway [31]

Jmenovitý výkon motoru	2000 W
Kapacita akumulátoru	20 Ah / 60 V
Dojezd	40-60 km
Hmotnost	66 kg
Stoupavost	10°
Maximální nosnost	150 kg
Maximální rychlost	až 45 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1100 x 850 x 2030 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	–



Obrázek 10: Super chopper eco highway [31]

3.6 Skládací elektrokoloběžky

Většina elektrokoloběžek, které jsou dostupné na trhu, jsou zároveň vybaveny skládacím mechanismem. Ten umožňuje snadné složení elektrokoloběžky do rozměrů vhodných pro přenos či uskladnění. Složení obvykle spočívá ve sklopení tyče řídicích k nášlapu koloběžky. Ne všechny modely ovšem používají stejné způsoby skládání. Některé lze složit snadno a rychle, u jiných tato činnost zabere více času. [17]

Některé specifické modely dokonce umožňují, aby jedno z kol zůstalo na podlaze, i když je koloběžka složená. Tento typ koloběžky je možno při přenosu tlačit nebo tahat. [17]

Skládací elektrokoloběžky disponují výkonem 120–5600 W a jejich rychlost se pohybuje mezi 10–80 km/h. Dojezd těchto elektrokoloběžek je až 180 km a nosnost mezi 50–200 kg. Samotná hmotnost skládací koloběžky se pohybuje mezi 10–40 kg. [15] [19]

City Boss GX2

Tato elektrokoloběžka je určena především pro jízdu v městském provozu. Elektromotor se nachází v zadním kole. Akumulátor je uložen v místě pod nášlapnou plochou. Kola elektrokoloběžky mají průměr 8". Pneumatiky jsou pevné, bezvzduchové. Z tohoto důvodu je koloběžka vybavena předním a zadním odpružením, které napomáhá tlumit drobné nerovnosti. Bržděné je pouze zadní kolo, a to prostřednictvím elektronické a nášlapné brzdy. Elektrokoloběžka má tři nastavitelné rychlostní stupně: pomalý 15 km/h, střední 20 km/h a rychlý 25 km/h. [33]

U tohoto modelu je možné složit celou přední část koloběžky. Skládací mechanismus se nachází mezi přední částí a nášlapem.

Rozložení elektrokoloběžky lze provést ve dvou krocích. V prvním kroku stačí lehce nadzvednout říditka a poté zatlačit pojistku skládacího mechanismu dovnitř do rámu. Tím dojde k uvolnění pojistky. Koloběžku je nutné rozkládat, dokud nedojde k cvaknutí. V tomto okamžiku pojistka zapadne do druhé pozice a koloběžka se nachází v parkovací poloze. Ve druhém kroku je potřeba lehce nadzvednout říditka a opět zatlačit pojistku skládacího mechanismu dovnitř do rámu. Po dalším cvaknutí dojde k zapadnutí pojistky do třetí pozice. V této fázi je koloběžka rozložena ve finální poloze a je připravena k jízdě. V případě složení koloběžky je postup opačný. [34]

Tabulka 11: Technické parametry City Boss GX2 [33]

Jmenovitý výkon motoru	250 W
Kapacita akumulátoru	6 Ah / 24 V
Dojezd	až 12 km
Hmotnost	11,2 kg
Stoupavost	7°
Maximální nosnost	100 kg
Maximální rychlost	25 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1090 x 380 x 1060 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	490 x 220 x 1090 mm



Obrázek 11: City Boss GX2 [33]

Elektrokoloběžka je dle jmenovitého výkonu a maximální rychlosti zařazena mezi nemotorová vozidla. Je vybavena integrovanými světlomety a dvěma nezávislými brzdami, ovšem postrádá přední a zadní odrazku i boční odrazky. Těmito komponenty je nutné elektrokoloběžku dovybavit, pokud chce uživatel elektrokoloběžku provozovat na pozemních komunikacích.

Ninebot eKickScooter ZING C20

Tento model spadá do kategorie dětských elektrokoloběžek. Elektromotor je uložen v předním kole. Akumulátor se nachází pod podlahou nášlapu. Koloběžka je osazena 7palcovými koly. Ačkoliv jsou pneumatiky pevné bezvzduchové, koloběžka postrádá odpružení. Brždění je zajištěno pomocí přední elektronické a zadní bubnové brzdy. Elektrokoloběžka disponuje třemi jízdními režimy: bezpečným režimem, režimem cruise a turbo režimem. V rámci bezpečného režimu lze s elektrokoloběžkou dosáhnout rychlosti pouze maximálně 10 km/h. V režimu cruise a turbo je rychlost koloběžky až 16 km/h. [35]

Složení je v tomto případě realizováno odmontováním tyče řídicí elektrokoloběžky. Skládací mechanismus je přímo zabudovaný do tyče řídicí.

Proces demontáže je velmi jednoduchý. Povolněním dvou šroubů imbusovým klíčem dojde k odjištění dřívku řídicí. Otočením uzamykacího klipu do otevřené pozice a následným odcvaknutím páky se dřívko uvolní. V tento okamžik lze tyč řídicí vysunout. [36]

Tabulka 12: Technické parametry Ninebot eKickScooter ZING C20 [35]

Jmenovitý výkon motoru	150 W
Kapacita akumulátoru	5 Ah / 22 V
Dojezd	až 20 km (při hmotnosti jezdce 50 kg)
Hmotnost	10 kg
Stoupavost	5°
Maximální nosnost	50 kg
Maximální rychlost	až 16 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	1100 x 400 x 940 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	490 x 400 x 960 mm



Obrázek 12: Ninebot eKickScooter ZING C20 [35]

S ohledem na parametry rychlosti a výkonu je tato elektrokoloběžka nemotorovým vozidlem. Elektrokoloběžka ovšem nesplňuje požadavky na povinnou výbavu, jelikož postrádá odrazky, a to jak přední a zadní, tak i boční odrazky. Elektrokoloběžka nemá integrované světlomety. Při jízdě za snížených světelných podmínek je proto nezbytné elektrokoloběžku vybavit také osvětlením.

4 STANOVENÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

Předmětem návrhu bude elektrokoloběžka, která bude dle legislativy považována za nemotorové vozidlo. Vzhledem k požadavkům, které jsou na ni kladeny z hlediska legislativních předpisů, tj. maximální jmenovitý výkon elektromotoru 250 W a maximální konstrukční rychlost 25 km/h, bude navrhovaná elektrokoloběžka svým charakterem vhodná zejména pro jízdu kratších vzdáleností v městském provozu. Z tohoto důvodu by měla splňovat požadavky na nízkou hmotnost a kompaktní konstrukci. Zároveň musí vyhovět technickým požadavkům na výbavu jízdních kol, které jsou blíže popsány v kapitole 2.2.1. Elektrokoloběžku by mělo být možné také v případě potřeby snadno složit.

V návaznosti na kapitolu 3.1 by měla navrhovaná elektrokoloběžka splňovat následující specifikace:

- Celková hmotnost elektrokoloběžky by neměla přesáhnout 12 kg.
- Maximální nosnost konstrukce bude 100 kg. Při této maximální hmotnosti jezdce bude mít elektrokoloběžka nejmenší dojezd, stoupavost a maximální rychlost. Na základě provedené rešerše bylo zjištěno, že tyto parametry udávané výrobcí jsou určeny pro hmotnost jezdce, která je nižší než maximální nosnost elektrokoloběžky. Cílem výrobců je dosáhnout lepších výsledků a tím zvýšit konkurenceschopnost a atraktivitu daného modelu pro potenciálního zákazníka. Pro stanovení jízdních parametrů navrhované elektrokoloběžky bude dále uvažována hmotnost jezdce jako průměrná hmotnost člověka, přičemž jednotlivé parametry při této hmotnosti jezdce by měly být s ohledem na kapitolu 3.1 následovné:
 - Maximální rychlost na rovině bude v rozsahu 20 až 25 km/h.
 - Dojezd na jedno nabití bude minimálně 10 km.
 - Elektrokoloběžka bude schopna překonat stoupání o velikosti alespoň 5°.

Navrhovaná elektrokoloběžka bude vybavena následujícími režimy jízdy:

- 6 km/h – Tento režim bude určen převážně pro jezdce do věku 10 let, kteří se s elektrokoloběžkou jakožto s nemotorovým vozidlem mohou pohybovat i po chodníku, kde je zákonem rychlost omezena právě na tuto mez. Další využití tohoto režimu jízdy je v místech se značným pohybem chodců, kde je velké riziko případné kolize.

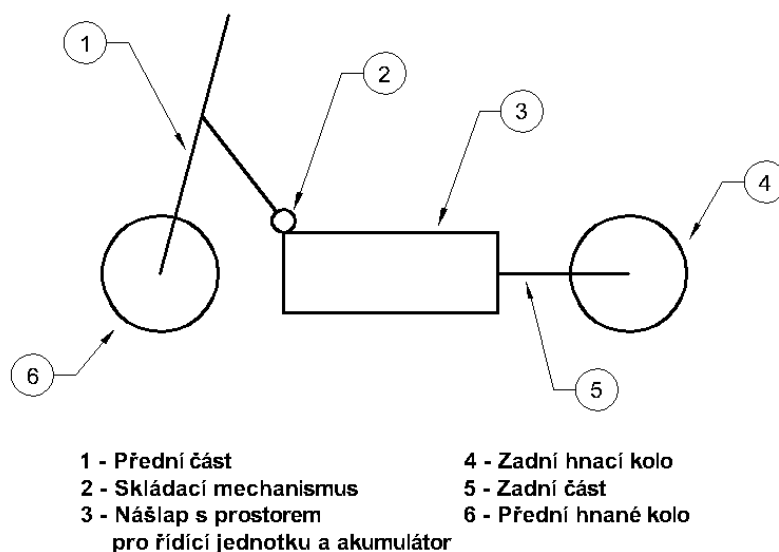
- 16 km/h – Tento režim odpovídá střední rychlosti, kterou lze využít zejména k prodloužení dojezdu.
- 25 km/h – Rychlost musí být omezena na tuto hodnotu, protože při překročení této rychlosti by již elektrokoloběžka nespĺňovala podmínky pro její zařazení mezi nemotorová vozidla.

5 NÁVRH KONCEPCE KONSTRUKCE

Navrhovaná elektrokoloběžka bude disponovat koly s vnějším průměrem 8". Tento rozměr se u městských elektrokoloběžek běžně používá v kombinaci se vzduchovými pneumatikami, které zajišťují tlumení nerovností. Jelikož elektrokoloběžka není určena pro pohyb v terénu, není nutná přídatná odpružená konstrukce. Odpružení s sebou nese nároky na větší zástavbové rozměry a současně zvyšuje celkovou hmotnost konstrukce. Během jízdy může ovšem dojít k přenosu nežádoucích vibrací do rámu elektrokoloběžky. Vibrace mohou negativně ovlivňovat funkčnost komponentů pohonného ústrojí, zejména řídicí jednotku a akumulátor. Tento problém bude dále řešen při návrhu upevnění akumulátoru a řídicí jednotky.

Při běžné situaci, kdy obě chodidla jezdce spočívají na nášlapu elektrokoloběžky, bude mít zadní kolo při jízdě do stoupání větší radiální reakci než přední kolo. Na zadním kole bude působit větší adhezní síla. Zadní kolo tedy bude schopné přenést na vozovku větší trakční sílu a elektrokoloběžka bude mít díky tomu větší stoupavost. Hnací kolek proto bude kolo zadní. Hnané bude přední kolo. Akumulátor bude umístěn v prostoru pod podlahou nášlapu. Toto řešení je v porovnání s umístěním v tyči řídítek výhodné z hlediska bezpečnosti, protože při případné nehodě je menší riziko potřísnění jezdce elektrolytem. Docílí se tím také nižší hmotnosti přední části, což se kladně projeví na stabilitě a ovladatelnosti elektrokoloběžky.

Elektrokoloběžka by mimo jiné měla být vybavena skládacím mechanismem, který umožní její snadné složení do rozměrů vhodných pro její přepravu. Pro docílení co nejmenších rozměrů elektrokoloběžky ve složeném stavu je vhodné umístit skládací mechanismus mezi přední část a nášlap.



Obrázek 13: Zjednodušené schéma koncepce

5.1 Komponenty pohonného ústrojí

Pohonné ústrojí elektrokoloběžky se skládá z elektromotoru, akumulátoru a řídicí jednotky. Pro správnou funkci pohonného ústrojí je důležité, aby mezi jednotlivými elektronickými komponenty byla zaručena elektromagnetická kompatibilita. Z tohoto důvodu byla pro návrh zvolena sada od výrobce UUmotor. Sada obsahuje: elektromotor, řídicí jednotku, indikátor stavu nabití akumulátoru, páčky pro ovládání elektromagnetické brzdy a plynu.



Obrázek 14: Zvolená sada od firmy UUmotor [41]

5.1.1 Elektromotor

Většina elektrokoloběžek v dnešní době disponuje BLDC motorem. Jedná se o stejnosměrný bezkartáčový motor, u kterého je komutace zajišťována bezkontaktně, nejčastěji prostřednictvím Hallova snímače. Výhodou BLDC motorů je dobrý poměr výkonu k hmotnosti a také relativně tichý chod. Nevýhodou je vyšší cena a určitá ztráta výkonu. [43]

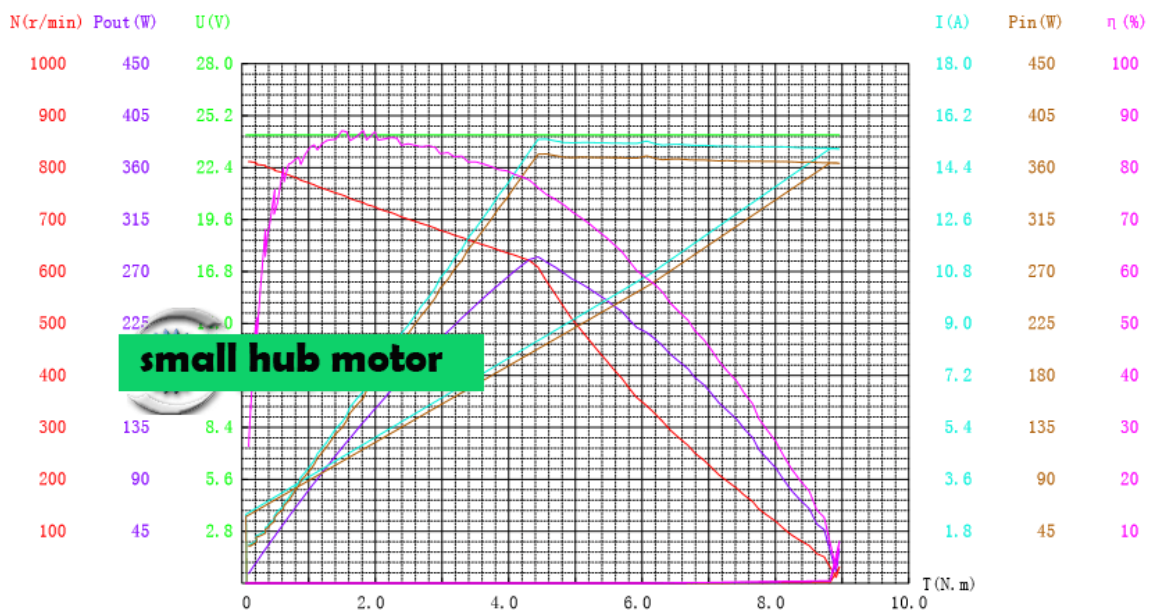
BLDC motory bývají povětšinou přímo součástí hnacího kola, proto se někdy tento motor označuje jako tzv. HUB motor. [43] Výhodou tohoto typu motoru je absence vnějšího převodu. Změna převodového poměru je zde v případě potřeby docílena prostřednictvím integrované planetové převodovky. Další významnou předností HUB motorů je ochrana převodového ústrojí před působením vnějších vlivů a s tím související nízké nároky na údržbu. Nevýhodou tohoto konstrukčního řešení je to, že planetová převodovka zvyšuje neodpěrovanou hmotnost kola.

Pro splnění stanovených specifikací elektrokoloběžky byl pro účely návrhu vybrán elektromotor, jehož jmenovitý výkon dosahuje maximální možné povolené hodnoty 250 W.

Vzhledem k požadavkům na nízkou hmotnost, kompaktnost a snadný přenos elektrokoloběžky, byl zvolen BLDC motor typu HUB, bez planetového převodu. Součástí elektromotoru je elektromagnetická brzda s možností rekuperace elektrické energie, pomocí které lze v praxi dosáhnout vyššího dojezdu.

Parametry elektromotoru:

- Jmenovitý výkon: 250 W
- Maximální krouticí moment: 9 N·m
- Maximální otáčky: 810 ot/min
- Napájecí napětí: 24 V
- Účinnost: 83 %
- Stupeň krytí: IP54
- Hlučnost: 60 dB
- Rozměr kola: 200 x 50 mm
- Hmotnost: 2 kg
- Pneumatika: vzduchová (bezdušová), maximální radiální zatížení 100 kg



Obrázek 15: Charakteristika elektromotoru [38]

5.1.2 Akumulátor

Při výběru akumulátoru byly brány v úvahu požadavky na nízkou hmotnost a malé nároky na zástavbový prostor při zachování uspokojivé hodnoty kapacity. Těmto požadavkům nejlépe

vyhovují lithiové akumulátory. Pro jejich správnou funkci je ovšem nutná přítomnost tzv. BMS modulu. Tento modul zajišťuje rovnoměrné nabíjení a vybíjení jednotlivých článků akumulátoru. Zároveň bylo nutné zvolit akumulátor s odpovídajícím výstupním napětím jako je napájecí napětí elektromotoru.

Parametry zvoleného akumulátoru:

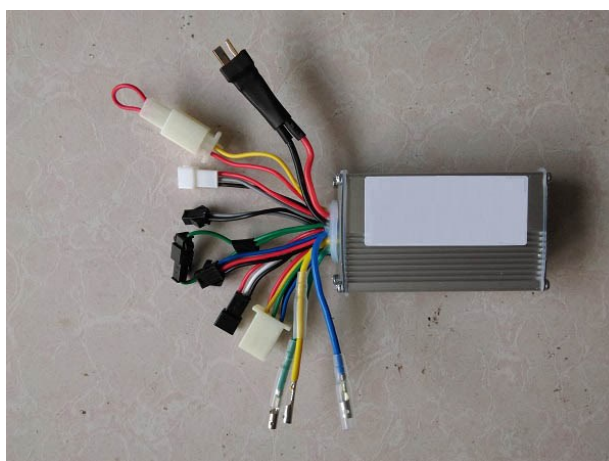
- Typ: lithium-iontový
- Výstupní napětí: 24 V
- Kapacita: 6 Ah
- Hmotnost: 1,1 kg
- Rozměry (D x Š x H): 230 x 68 x 38 mm



Obrázek 16: Zvolený akumulátor včetně BMS modulu od firmy City Boss [39]

5.1.3 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka bude obdobně jako akumulátor umístěna pod podlahou nášlapu. Rozměry řídicí jednotky jsou 90 x 50 x 32 mm. Jelikož hmotnost výrobce neudává, bude dále uvažována hodnota hmotnosti 0,2 kg. Tato hodnota byla určena na základě kvalifikovaného odhadu.



Obrázek 17: Řídicí jednotka [40]

5.2 Nabíjecí zařízení pro lithiový akumulátor

Zvolený akumulátor je typem lithium-iontový. Tento typ lithiového akumulátoru je velmi náchylný na přebíjení a také na hluboké vybití. Napětí je třeba udržovat na hodnotě 2,5 až 4,2 V. Nabíjení lithium-iontových akumulátorů probíhá ve dvou fázích. Nejprve se akumulátor nabíjí rychle konstantním proudem. V okamžiku, kdy napětí dosáhne hodnoty přibližně 4,2 V se akumulátor nabíjí pomaleji při tomto konstantním napětí. Pro nabíjení je proto nutné zvolit vhodné nabíjecí zařízení, které v režimu rychlého nabíjení nabije akumulátor přibližně na 80 % jeho kapacity a následně se přepne do režimu pomalého nabíjení, ve kterém se akumulátor nabije o zbylých 20 %. [60] Pro nabíjení akumulátoru byla vybrána automatická nabíječka od stejného výrobce jako je zvolený akumulátor, tedy City Boss. Tato nabíječka je pro zvolený akumulátor výrobcem i přímo doporučována.

Parametry zvoleného nabíjecího zařízení:

- Výstupní napětí: 24 V
- Nabíjecí proud: 1,5 A



Obrázek 18: Zvolená nabíječka od výrobce City Boss [61]

5.2.1 Doba nabíjení

Na základě kapacity zvoleného akumulátoru $C = 6 \text{ Ah}$ a nabíjecího proudu nabíječky $I = 1,5 \text{ A}$ lze přibližně určit dobu nabíjení akumulátoru: [62]

$$t_n = \frac{1,2 \cdot C}{I} = \frac{1,2 \cdot 6}{1,5} = 4,8 \text{ h} \quad (5.1)$$

5.3 Komponenty pro povinnou výbavu

V rámci zajištění technické způsobilosti k provozu na pozemních komunikacích musí elektrokoloběžka jakožto nemotorové vozidlo splňovat požadavky na povinnou výbavu, které jsou platné pro jízdní kola. Pro uspokojení těchto nároků je nezbytné elektrokoloběžku vybavit následujícími komponenty.

5.3.1 Přední odrazka

Přední odrazku lze k rámu elektrokoloběžky upevnit dvěma způsoby. První způsob zahrnuje uchycení k řídkům pomocí svěrného spoje. Toto řešení není příliš vhodné vzhledem k prostoru, protože se na řídkách předpokládá osazení dalšími komponenty, jako jsou gripy, přední světlomet, indikátor stavu nabití akumulátoru a páčky pro ovládání elektromagnetické brzdy a plynu. Druhý vhodnější způsob je připevnění k hlavové trubce rámu přilepením. V souladu s legislativou byla zvolena samolepící odrazka bílé barvy od společnosti OEM.

Parametry přední odrazky:

- Materiál: plast
- Hmotnost: 8 g
- Rozměry (D x Š x H): 72 x 22 x 11 mm



Obrázek 19: Přední odrazka od firmy OEM [44]

5.3.2 Zadní odrazka

Jedinou možností, jak upevnit zadní odrazku ke konstrukci elektrokoloběžky, je uchycení k zadnímu blatníku. Pro tyto účely byla vybrána červená odrazka od výrobce TWN, která vyhovuje legislativním předpisům. Odrazka bude upevněna prostřednictvím šroubu M5, který je součástí odrazky.

Parametry zadní odrazky:

- Materiál: plast
- Průměr: 55 mm



Obrázek 20: Zadní odrazka od firmy TWN [42]

5.3.3 Boční odrazka

U boční odrazky lze uchycení k rámu provést přilepením. Boční odrazka musí být oranžové barvy, přičemž na každé straně elektrokoloběžky musí být nejméně jedna. Pro lepší viditelnost jezdce při jízdě za zhoršených světelných podmínek bude elektrokoloběžka opatřena dvěma bočními odrazkami na každé straně. Zvolené samolepící odrazky jsou od firmy OEM.

Parametry boční odrazky:

- Materiál: plast
- Hmotnost: 8 g
- Rozměry (D x Š x H): 72 x 22 x 11 mm



Obrázek 21: Boční odrazka od firmy OEM [44]

5.3.4 Světlomety

Při jízdě za snížené viditelnosti musí být elektrokoloběžka vybavena předním a zadním světlometem. Pro účely návrhu byla zvolena dvoudílná sada LED světlometů od výrobce CRIVIT. Výhodou této sady je, že oba světlomety disponují samostatným napájením, a to

prostřednictvím integrovaného lithium-iontového akumulátoru. Napájení tedy není vázáno na akumulátor elektrokoloběžky, což se pozitivně projeví na dojezdu. Pro dobíjení akumulátoru slouží napájecí kabel typu USB-C, který je součástí balení. Uživatel si tedy může světlomety pohodlně dobít například pomocí adaptéru pro mobilní telefon. Doba svícení obou světlometů je s ohledem na legislativní požadavek 1,5 h více než dostatečná. U zadního světlometu je doba svícení v intervalu 5,5–6 h, v případě předního světlometu dokonce až 9,5 h. Oba světlomety jsou navíc vybaveny indikátorem stavu nabití akumulátoru, který uživatele včas upozorní na vybitý akumulátor.

Světlomety jsou opatřeny systémem rychlého upnutí, pomocí kterého lze provést montáž světlometů ke konstrukci elektrokoloběžky. Přední světlomet bude upevněn k řídkům. Zadní světlomet bude obdobně jako zadní odrazka uchycen k zadnímu blatníku. Upevnění bude v tomto případě realizováno prostřednictvím speciálních otvorů v blatníku.

Parametry předního světlometu:

- Hmotnost: 98,9 g
- Rozměry (D x Š x H): 105 x 44,3 x 38,5 mm
- Kapacita akumulátoru: 1 800 mAh

Parametry zadního světlometu:

- Hmotnost: 32 g
- Rozměry (D x Š x H): 46,8 x 35 x 18,8 mm
- Kapacita akumulátoru: 300 mAh



Obrázek 22: Sada LED světlometů od firmy CRIVIT [45]

5.3.5 Gripy

Jelikož volné konce trubky řídítek musí být zaslepeny, je nezbytné elektrokoloběžku vybavit tzv. gripy., ty musí umožnit pohodlný a jistý úchop, který je nezbytný pro snadné ovládání elektrokoloběžky a bezpečnou jízdu. Pro návrh byly zvoleny silikonové gripy značky CANNONDALE.



Obrázek 23: Gripy od firmy CANNONDALE [46]

5.3.6 Brzdy

Elektrokoloběžka musí být vybavena dvěma na sobě nezávislými brzdami. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1.1, bude disponovat elektromagnetickou brzdou, která je integrována do elektromotoru zadního hnacího kola. Výhodou elektromagnetické brzdy je to, že umožňuje rekuperaci. Nevýhodou je nefunkčnost při úplném vybití akumulátoru. Tato situace by ovšem v praxi nemusela nastat s ohledem na fakt, že je elektrokoloběžka určena výhradně do městského provozu, kde bývají k dispozici dobíjecí stanice.

Na základě provedené rešerše bylo zjištěno, že se u elektrokoloběžek dále používají kotoučové, bubnové a v neposlední řadě i nášlapné brzdy, ty bývají často v kombinaci s předchozími zmíněnými typy. Je to z toho důvodu, že nášlapné brzdy poskytují nižší brzdový účinek. Slouží tedy spíše jako záložní brzdy. Jejich negativem je také náročnější obsluha, neboť jsou ovládány za pomoci chodidla jezdce a vyžadují větší soustředění během brždění. Výhodou kotoučových brzd oproti bubnovým je lepší chlazení, protože je kotouč za jízdy omýván proudícím vzduchem. Z toho plyne, že kotoučové brzdy mají teoreticky vyšší účinnost. Tato výhoda s sebou nese jistou nevýhodu, kterou lze spatřovat ve vyšších nárocích na údržbu, protože kotouč není žádným způsobem chráněn před působením nečistot z okolí. Vzhledem k tomu, že při procesu brždění dochází k přeměně mechanické energie na energii vnitřní (tepelnou), je kotouč zahříván. Neznalostí obsluhy by tedy mohlo dojít k poranění, což v případě bubnových brzd nehrozí.

Po zvážení možných variant včetně výhod a nevýhod bubnových a kotoučových brzd pro dané podmínky provozu byla zvolena brzda bubnová, která je součástí předního hnaného kola.

Parametry kola:

- Rozměr kola: 200 x 50 mm
- Hmotnost: 1,2 kg
- Pneumatika: vzduchová (s duší), maximální tlak 2,5 bar



Obrázek 24: Kolo s bubnovou brzdou [47]

5.3.7 Krytky nábojů kol

Náboje kol musí být s ohledem na bezpečnost opatřeny krytkou.



Obrázek 25: Krytka matice nábojů kol [48]

5.4 Další komponenty

Elektrokoloběžku by bylo vhodné vybavit i dalšími komponenty jako jsou blatníky a zvonek.

5.4.1 Zvonek

Jelikož smí řidič elektrokoloběžku, která je zařazena mezi nemotorová vozidla, užívat nejenom na silnicích I., II. a III. třídy, ale i na cyklostezkách, na kterých se mohou pohybovat i chodci, je vhodné elektrokoloběžku vybavit zvonkem. Hlavním účelem tohoto bezpečnostního prvku je především dát o sobě vědět a zabránit vzniku případné nehody, a to jak při pohybu po cyklostezkách, tak i v městském provozu.



Obrázek 26: Zvonek od firmy PRO-T [49]

5.4.2 Blatníky

Blatníky slouží k ochraně jezdce před nepřízní počasí. Pro návrh je důležité, aby měly blatníky co nejnižší hmotnost. U zadního blatníku, jak již bylo uvedeno v kapitole 5.3.2 a 5.3.4, se předpokládá uchycení zadní odrazky pomocí šroubového spoje a světloometu pomocí speciálních otvorů v blatníku. Zadní blatník tedy bude vyráběn, aby jeho konstrukce vyhověla uvedeným požadavkům. K rámu elektrokoloběžky bude zadní blatník uchycen prostřednictvím šroubů. Přední blatník byl zvolen plastový od výrobce HeipeScooters. Uchycení předního blatníku bude realizováno k přední vidlici pomocí čtyř šroubů.



Obrázek 27: Přední blatník od firmy HeipeScooters [50]

5.5 Trakční charakteristika

Ke zjištění jízdních vlastností navrhované elektrokoloběžky byl využit trakční diagram, který byl sestrojen v programu MS Excel. V následujících podkapitolách je popsán postup tvorby trakčního diagramu včetně uvažovaných parametrů. Veškeré výpočty vycházejí z předmětu Mechanika pohybu silničních vozidel.

5.5.1 Počáteční parametry

K sestrojení trakčního diagramu byly použity následující počáteční parametry:

- Provozní hmotnost m_p [kg]

Provozní hmotnost se skládá z celkové hmotnosti elektrokoloběžky m_c a hmotnosti jezdce m_j . Do celkové hmotnosti jsou zahrnuty komponenty, jejichž hmotnosti nejvíce ovlivní výslednou hmotnost elektrokoloběžky. Vzhledem k tomu, že většina výrobců při výčtu parametrů elektrokoloběžek přesně neuvádí hodnotu hmotnosti jezdce, pro kterou byly určeny jejich jízdní vlastnosti, bude při výpočtu celkové hmotnosti uvažována hmotnost jezdce jako průměrná hmotnost člověka. Dle [56] je průměrná hmotnost muže 80,86 kg a ženy 65,67 kg. Zprůměrováním těchto hmotností vychází průměrná hmotnost člověka 73,27 kg. Výpočet provozní hmotnosti je dán rovnicí č. 5.2.

$$\begin{aligned} m_p &= m_c + m_j = (m_r + m_a + m_{\check{r}J} + m_e + m_k) + m_j \\ &= (5,93 + 1,1 + 0,2 + 2 + 1,2) + 73,27 = 83,70 \text{ kg} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Kde

- m_r [kg] – hmotnost konstrukce rámu elektrokoloběžky¹
- m_a [kg] – hmotnost akumulátoru
- $m_{\check{r}J}$ [kg] – hmotnost řídicí jednotky
- m_e [kg] – hmotnost elektromotoru
- m_k [kg] – hmotnost kola
- m_j [kg] – hmotnost jezdce

- Maximální výkon elektromotoru P_{\max} [W]

Z charakteristiky elektromotoru na obrázku č. 15 byla odečtena hodnota maximálního výkonu 283,50 W.

- Součinitel odporu vzduchu c_x [-]

Hodnota součinitele odporu vzduchu byla dle [57, str. 56] zvolena 0,85.

- Čelní plocha jezdce $S_{\check{c}}$ [m²]

Čelní plocha jezdce je přibližně stanovena jako součin průměrné výšky člověka a šířky 60 cm. Dle [56] je průměrná výška muže 178,58 cm a ženy 165,99 cm. Výpočtem průměru z těchto hodnot vychází průměrná výška člověka 172,29 cm.

$$S_{\check{c}} = 172,29 \cdot 60 \cdot 10^{-4} = 1,03 \text{ m}^2 \quad (5.3)$$

- Dynamický poloměr kola r_d [m]

Jelikož se u elektrokoloběžky nepředpokládá rychlost větší než 60 km/h, lze dynamický poloměr uvažovat shodný se statickým poloměrem r_s . Radiální pružnost pneumatiky je při výpočtu zanedbána, proto platí, že statický poloměr je roven jmenovitému poloměru r_j .

$$r_d = r_s = r_j = \frac{d_k \cdot 2,54 \cdot 10^{-2}}{2} = \frac{8 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2}}{2} = 0,10 \text{ m} \quad (5.4)$$

Kde

- d_k ["] – průměr kola

¹ Hmotnost konstrukce rámu m_r byla zjištěna pomocí programu SolidWorks.

- Mechanická účinnost převodového ústrojí η_m [-]

Vzhledem k absenci planetové převodovky je uvažována hodnota mechanické účinnosti převodového ústrojí 0,98 (98 %).

- Součinitel odporu valení f [-]

Pro výpočet byla dle [55] zvolena hodnota součinitele odporu valení 0,02, která odpovídá asfaltovému povrchu.

- Maximální otáčky elektromotoru n_{max} [ot/min]

Elektromotor dosahuje nejvýše 810 ot/min.

- Hustota vzduchu ρ_v [$kg \cdot m^{-3}$]

Pro běžné atmosférické podmínky je hustota vzduchu $1,24 kg \cdot m^{-3}$. [55]

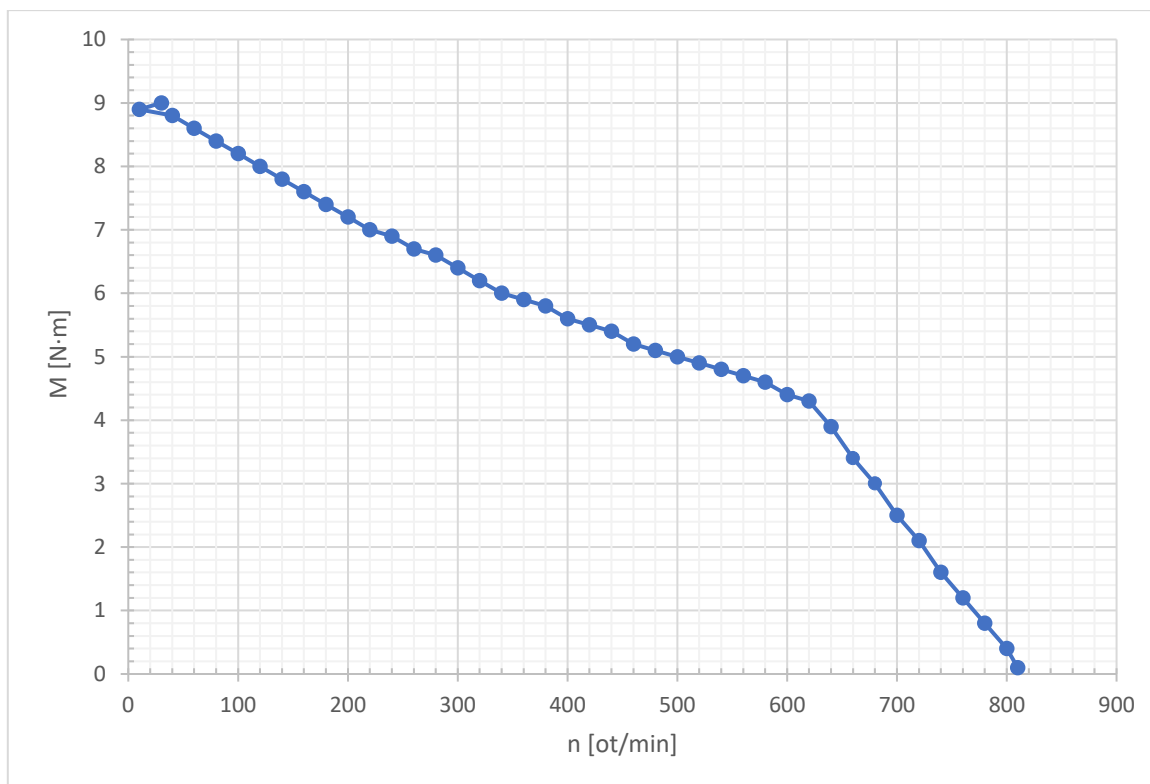
- Tíhové zrychlení g [$m \cdot s^{-2}$]

Tíhové zrychlení je uvažováno $9,81 m \cdot s^{-2}$

Tabulka 13: Přehled počátečních parametrů pro tvorbu trakčního diagramu

Provozní hmotnost m_p [kg]	83,70
Maximální výkon P_{max} [W]	283,50
Součinitel odporu vzduchu c_x [-]	0,85
Čelní plocha jezdce S_ε [m^2]	1,03
Dynamický poloměr r_d [m]	0,10
Mechanická účinnost převodového ústrojí η_m [-]	0,98
Součinitel odporu valení f [-]	0,02
Maximální otáčky n_{max} [ot/min]	810
Hustota vzduchu ρ_v [$kg \cdot m^{-3}$]	1,24
Tíhové zrychlení g [$m \cdot s^{-2}$]	9,81

Z grafického vyjádření závislosti kroutícího momentu elektromotoru na otáčkách (viz obrázek č. 15) bylo odečteno celkem 42 hodnot. Tyto hodnoty jsou pro názornost vyneseny do grafu, který je na obrázku č. 28.



Obrázek 28: Momentová charakteristika elektromotoru

K sestrojení trakčního diagramu není potřeba znát hodnoty převodových poměrů, protože zvolený elektromotor neobsahuje planetovou převodovku.

5.5.2 Sestrojení trakčního diagramu

a) Ideální průběh trakční síly

Pro jednotlivé rychlosti byl sestrojen graf ideálního průběhu trakční síly F_T . Velikost trakční síly pro jednotlivé rychlosti byl určen dle vztahu č. 5.5.

$$F_T [N] = \frac{3,6 \cdot P_{max} \cdot \eta_m}{v} \quad (5.5)$$

Kde

P_{max}	[W]	– maximální výkon elektromotoru
η_m	[-]	– mechanická účinnost převodového ústrojí
v	[km·h ⁻¹]	– hodnoty jednotlivých rychlostí

b) Přepočítání momentu na trakční sílu a otáček na rychlost

Odečtené hodnoty kroutícího momentu a otáček z momentové charakteristiky elektromotoru byly přepočteny na hodnoty rychlosti v a trakční síly F_T dle vztahů č. 5.6 a 5.7, přičemž za celkový převodový poměr byla dosazována hodnota $i_c = 1$. Vypočtené hodnoty byly následně vyneseny do grafu pro ideální průběh trakční síly.

$$F_T [N] = \frac{M_m \cdot i_c \cdot \eta_m}{r_d} \quad (5.6)$$

$$v [km \cdot h^{-1}] = 0,377 \cdot \frac{n_m \cdot r_d}{i_c} \quad (5.7)$$

Kde

M_m	[N·m]	– hodnoty jednotlivých kroutících momentů
i_c	[-]	– celkový převodový poměr
η_m	[-]	– mechanická účinnost převodového ústrojí
r_d	[m]	– dynamický poloměr
n_m	[ot/min]	– hodnoty jednotlivých otáček

c) Vyjádření trakční síly jako součet všech jízdních odporů

V dalším kroku byly vypočteny všechny jízdní odpory, které působí na elektrokoloběžku při daných rychlostech a stoupáních. Uvažovanými odpory jsou: odpor vzduchu, odpor valení a odpor do stoupání. Setrvačný odpor není uvažován, jelikož se při výpočtu předpokládá jízda elektrokoloběžky konstantní rychlostí. Vztahy č. 5.8, 5.9 a 5.10 vyjadřují jednotlivé jízdní odpory.

Odpor vzduchu:

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot S_{\check{c}} \cdot c_x \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{v}{3,6}\right)^2 \quad (5.8)$$

Odpor valení:

$$F_f = m_p \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha_v \quad (5.9)$$

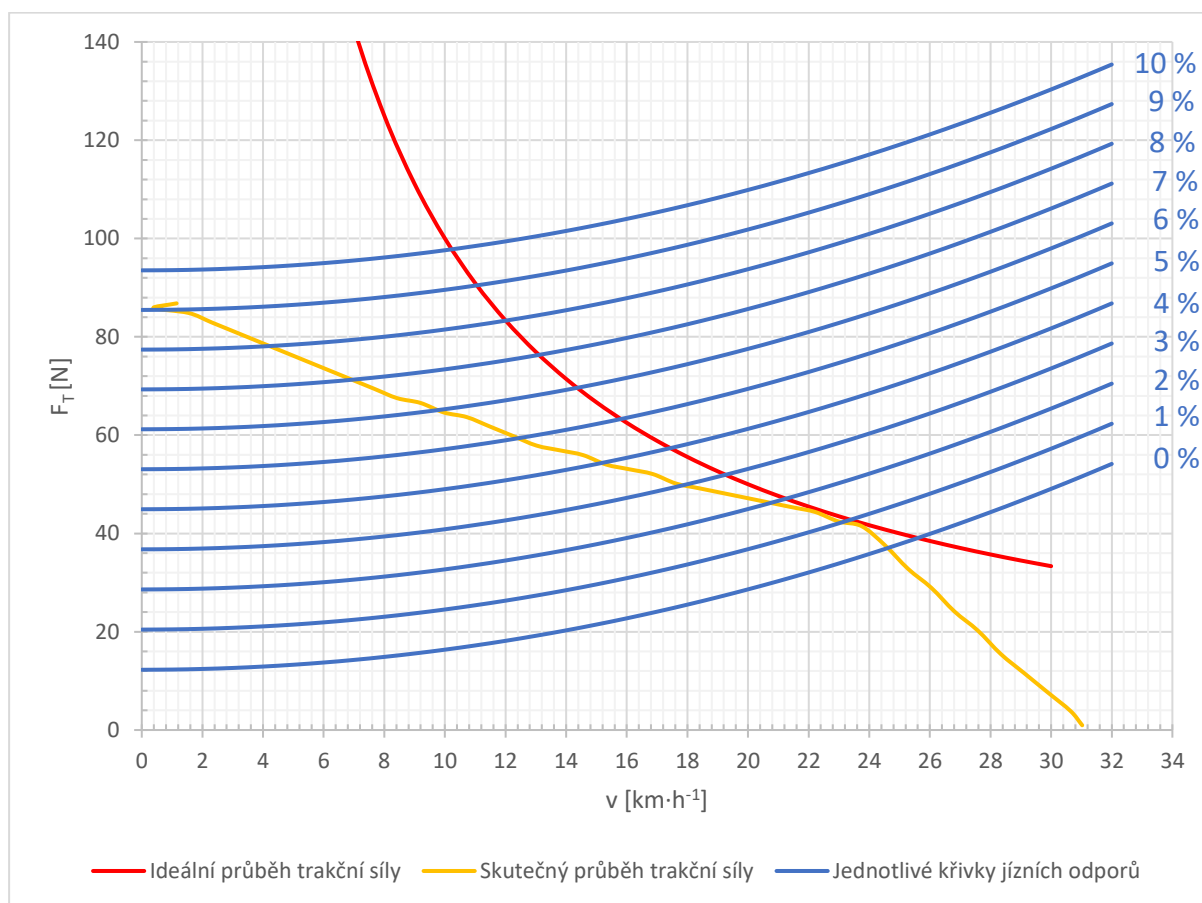
Odpor do stoupání:

$$F_s = m_p \cdot g \cdot \sin \alpha_v \quad (5.10)$$

Kde

$S_{\check{c}}$	[m ²]	– čelní plocha jezdce
c_x	[-]	– součinitel odporu vzduchu
ρ_v	[kg·m ⁻³]	– hustota vzduchu
v	[km·h ⁻¹]	– hodnoty jednotlivých rychlostí
m_p	[kg]	– provozní hmotnost elektrokoloběžky
g	[m·s ⁻²]	– tíhové zrychlení
f	[-]	– součinitel odporu valení
α_v	[°]	– úhel sklonu vozovky

Trakční síla F_T se následně vyjádřila jako součet všech vypočtených jízdních odporů a společně s jednotlivými rychlostmi se opět zanesla do grafu pro ideální průběh trakční síly. Tímto posledním krokem se dostane trakční diagram (viz obrázek č. 29).



Obrázek 29: Trakční diagram

Z trakčního diagramu je zřejmé, že maximální rychlost na rovině, tedy pro stoupání 0 %, je přibližně 24,6 km·h⁻¹. Hodnota maximální stoupavosti je přibližně 9,2 %, což po přepočtu na stupně odpovídá 5,3°.

5.6 Výpočet dojezdu

Výrobci elektrokoloběžek uvádějí v technických parametrech jednotlivých modelů vždy tzv. teoretický dojezd, který je závislý na mnoha proměnných faktorech. Mezi ně patří například stáří akumulátoru, okolní teplota, rychlost jízdy, hmotnost jezdce a samozřejmě i velikost jízdních odporů. Při výpočtu dojezdu proto budou uvažovány ideální podmínky, které předpokládají nový a plně nabitý akumulátor, pokojovou teplotu 20 °C a jízdu po rovině rovnoměrnou rychlostí.

Při výpočtu je vycházeno z křivky jízdních odporů pro stoupání 0 % z trakčního diagramu. Jednotlivým rychlostem odpovídají příslušné velikosti trakčních sil, které musí působit na hnacím kole, aby elektrokoloběžka překonala jízdní odpory (odpor valení a odpor vzduchu) a současně dosáhla dané rychlosti. Pro výpočet dojezdu je v souladu s kapitolou 4 uvažována rychlost 16 km·h⁻¹, která odpovídá střední rychlosti pro úsporný režim. Pro rychlost 16 km·h⁻¹ je z trakčního diagramu hodnota trakční síly 22,79 N. Další počáteční parametry potřebné pro výpočet jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Tabulka 14: Přehled počátečních parametrů pro výpočet dojezdu

Kapacita akumulátoru C [Ah]	6
Výstupní napětí akumulátoru U [V]	24
Účinnost elektromotoru η [-]	0,83
Mechanická účinnost převodového ústrojí η_m [-]	0,98

Postup výpočtu:

Elektrická práce (energie) akumulátoru:

$$W = C \cdot U = 6 \cdot 24 = 144 \text{ Wh} \quad (5.11)$$

Potřebný výkon elektromotoru pro rychlost $v = 16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a trakční sílu $F_T = 22,79 \text{ N}$:

$$P = \frac{F_T \cdot v}{\eta_m \cdot 3,6} = \frac{22,79 \cdot 16}{0,98 \cdot 3,6} = 103,36 \text{ W} \quad (5.12)$$

Potřebný příkon elektromotoru:

$$P_0 = \frac{P}{\eta} = \frac{103,36}{0,83} = 124,53 \text{ W} \quad (5.13)$$

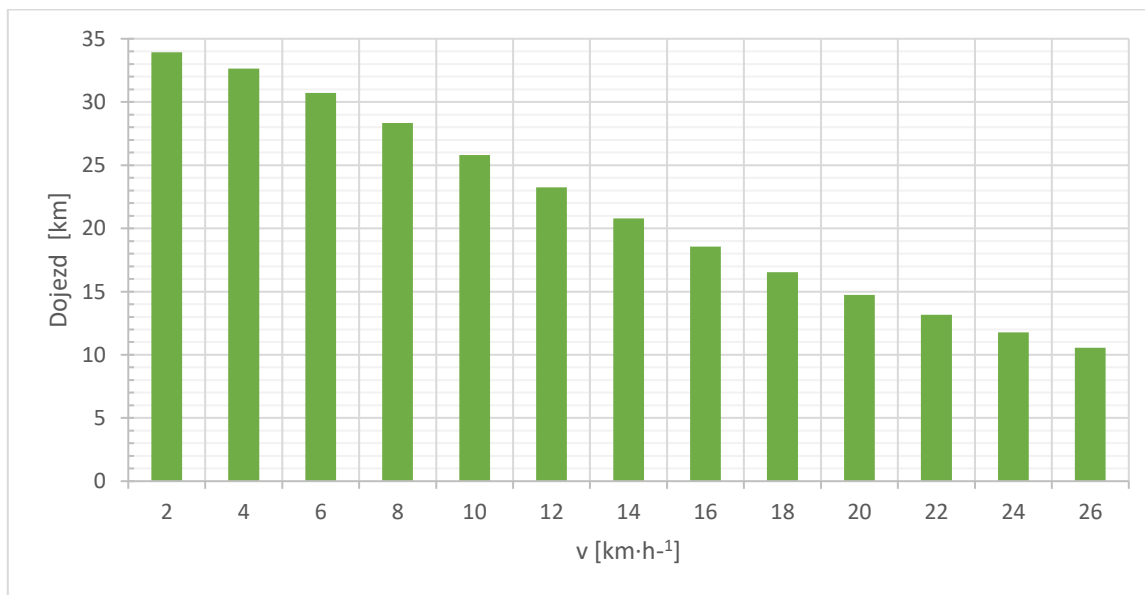
Čas do vybití akumulátoru:

$$t_v = \frac{W}{P_0} = \frac{144}{124,53} = 1,16 \text{ h} \quad (5.14)$$

Vyjádřením dráhy ze vztahu pro průměrnou rychlost se dostane teoretický dojezd:

$$s = v \cdot t_v = 16 \cdot 1,16 = 18,56 \text{ km} \quad (5.15)$$

Stejným postupem byl v programu MS Excel proveden výpočet dojezdu i pro ostatní rychlosti s jimi odpovídajícími trakčními silami. Jednotlivé hodnoty jsou zobrazeny v grafu na obrázku č. 30.



Obrázek 30: Teoretický dojezd při různých rychlostech pro stoupání 0 %

Při vyšší rychlosti musí na hnacím kole působit větší trakční síla, protože odpor vzduchu roste s druhým kvadrátem rychlosti. S rostoucí rychlostí a trakční silou roste i potřebný výkon elektromotoru, resp. jeho příkon, proto se akumulátor vybije rychleji a elektrokoloběžka bude mít nižší dojezd. Při maximální rychlosti $24,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ má tedy elektrokoloběžka nejnižší dojezd, a to přibližně 11,4 km.

6 NÁVRH KONSTRUKCE

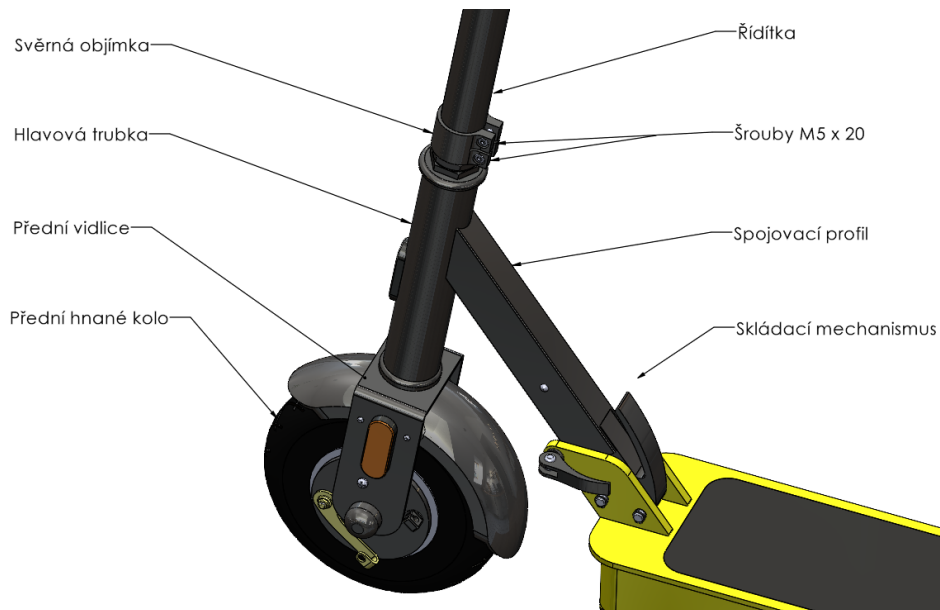
Pro návrh konstrukce bylo nejprve nutné stanovit předběžné rozměry, ze kterých se bude vycházet. Jelikož je elektrokoloběžka určena pro městský provoz, bylo vhodné volit rozměry podle stávajících městských elektrokoloběžek. Jako inspirace posloužil model elektrokoloběžky Sencor Scooter One S20, který je blíže popsán v kapitole 3.1. Protože se předpokládá uložení řídicí jednotky a akumulátoru v prostoru pod podlahou nášlapu, bylo při návrhu rozměrů konstrukce zároveň nezbytné zohlednit rozměry řídicí jednotky a zvoleného akumulátoru. S ohledem na tvar a rozměry jsou řídicí jednotka a akumulátor umístěny za sebou. Toto uspořádání klade menší nároky na prostor. S přihlédnutím na hmotnost obou komponentů bylo výhodnější umístit akumulátor do zadní části nášlapu, blíže k zadnímu hnacímu kolu, a řídicí jednotku před akumulátor. Výsledkem je, že se těžiště mírně posune k zadnímu kolu, které díky větší adhezní síle bude schopné přenést na vozovku větší hnací sílu.



Obrázek 31: Model sestavy elektrokoloběžky

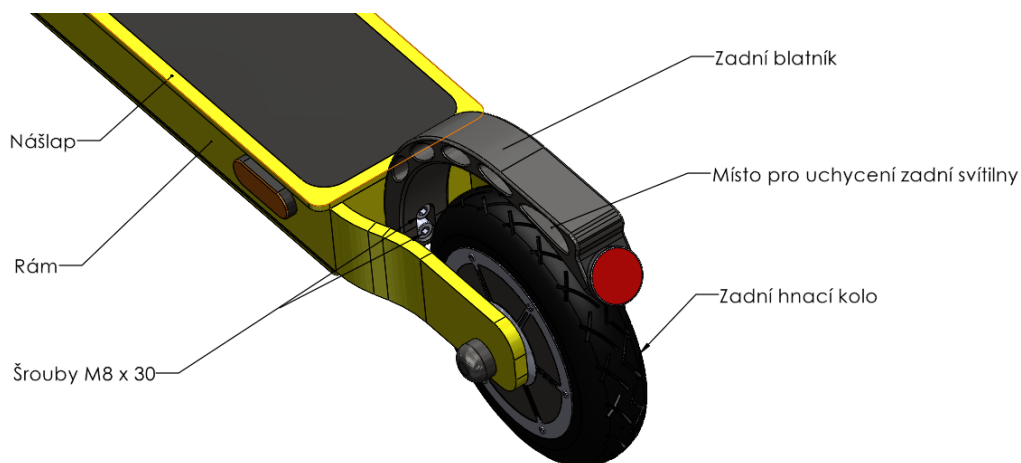
Přední část elektrokoloběžky se skládá z přední vidlice, ke které je přivařena závitová trubka. V přední vidlici je osazeno přední hnané kolo. Přední vidlice je přes závitovou trubku uložena v hlavové trubce. Na závitovou trubku jsou nasunuta řídítka. Spojení je zajištěno svěrnou objímkou, která zabraňuje axiálnímu a rotačnímu pohybu řídítek vůči závitové trubce. Pro vyvození dostatečné normálové síly mezi stykovými plochami jsou zde použity dva šrouby M5 x 20 s třídou pevnosti 8.8. Utahovací momenty obou šroubů byly s ohledem na [51] zvoleny

4 N·m. K zajištění šroubových spojů proti povolení je použito lepidlo Loctite 243. Na přední část navazuje spojovací profil, který je přivařen k hlavové trubce. Spojení profilu k nášlapu je realizováno pomocí čepového spojení. V tomto místě se nachází skládací mechanismus, jehož funkce bude blíže popsána v kapitole 6.4.



Obrázek 32: Přední část

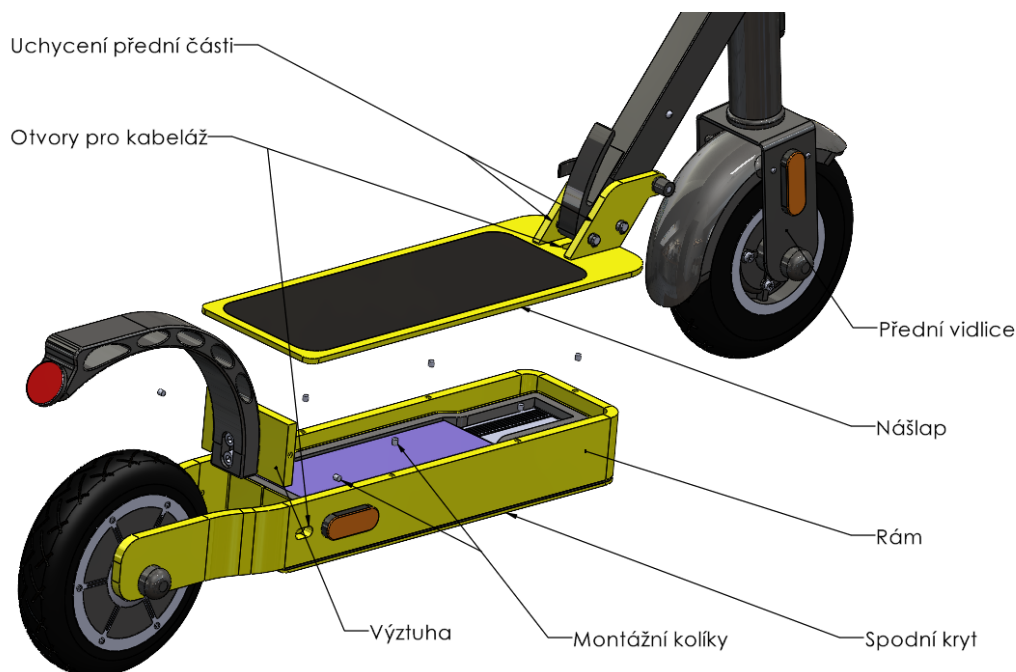
Hlavním nosným prvkem konstrukce je rám, ke kterému je přivařen nášlap. Rám ohraničuje prostor pro řídicí jednotku a akumulátor a současně slouží jako zadní vidlice pro uložení zadního hnacího kola. K rámu je upevněn zadní blatník s otvory pro uchycení zadní svítilny. Blatník je s rámem spojen pomocí dvou pevnostních šroubů 8.8 o rozměrech M8 x 30. Utahovací moment je dle [51] zvolen 15 N·m. Šrouby jsou zajištěny šestihrannou maticí s plochou podložkou.



Obrázek 33: Zadní část

Jelikož má být celková hmotnost elektrokoloběžky do 12 kg, je pro konstrukci vhodné použití hliníkových slitin. Pro realizaci konstrukce bylo vybráno řešení s použitím hliníkových

plechů a profilů od dostupných dodavatelů. Konstrukce elektrokoloběžky bude namáhána zejména na ohyb. Nejvíce namáhanou částí bude rám, a to v místě nášlapu, protože zde působí tíhová síla jezdce. Pro konstrukci rámu je tedy důležité, aby měl dostatečně velký kvadratický moment průřezu v ohybu. Při jízdě bude současně vlivem nerovností na vozovce docházet ke kroucení. Z tohoto důvodu musí mít rám dostatečně velký i kvadratický moment průřezu v krutu a dostatečnou torzní tuhost. Konstrukce rámu je proto tvořena svařovanými plechy. Hlavní část rámu tvoří ohýbaný plech o tloušťce 10 mm a výšce 58 mm. Zvolená tloušťka plechu poskytuje dostatečný prostor k vytvoření závitů pro šrouby M3, pomocí kterých je k rámu spojen spodní kryt akumulátoru a řídicí jednotky. Vzhledem k tomu, že spodní kryt není příliš namáhán, byla zvolena tloušťka plechu 3 mm. K horní části rámu je přivařen plech o tloušťce 5 mm, který slouží jako nášlap. Pro snadné svaření obou součástí jsou v plechu rámu a nášlapu vytvořeny otvory, do kterých jsou nasunuty plastové kolíky. Účelem těchto kolíků je usnadnění montáže. Délka a šířka plechu pro nášlap byla volena dle rozměrů rámu. K délce a šířce bylo z přední strany a bočních stran připočteno 10 mm, aby rozměry nášlapu poskytovaly dostatečnou plochu pro jezdce. V místě, kde rám přechází v zadní vidlici, je rám vyztužen plechem o tloušťce 10 mm, který je také opatřen montážními kolíky pro snadné svaření s rámem. Tento plech zároveň slouží k uchycení zadního blatníku. Pro uchycení přední části k rámu byl použit plech o tloušťce 8 mm. Přední vidlice je z ohýbaného plechu o tloušťce 3 mm a výšce 60 mm.



Obrázek 34: Konstrukce rámu

Vhodným materiálem pro plechy rámu je hliníková slitina EN-AW 1050A H24, která nabízí velmi dobrou svařitelnost (viz příloha B). Všechny zvolené plechové polotovary jsou uvedeny v tabulce č. 15.

Tabulka 15: Přehled všech zvolených polotovarů od dodavatelů [52] [53]

Součást rámu	Polotovar	Materiál	Mez kluzu R _e [MPa]
Hlavní nosné části rámu	P 10 - 80 x 1300	EN-AW 1050A H24	75
	P 10 - 80 x 110		
Nášlap	P 5 - 150 x 430		
Spodní kryt	P 3 - 140 x 420		
Kryt akumulátoru a řídicí jednotky	P 3 - 50 x 870		
Uchycení přední části	P 8 - 70 x 130		
Přední vidlice	P 3 - 60 x 360		
Spojovací profil	TR OBD 40 x 30 x 3 - 300	EN-AW 6060 T66	160
Hlavová trubka	TR KR 45 x 5 - 210		
Závitová trubka	TR KR 30 x 5 - 300		
Řídítka	TR KR 36 x 3 - 400		
	TR KR 36 x 3 - 520		
Svěrná objímka	KR 80 x 40	EN-AW 2007 T4511	210
Páčka skládacího mechanismu	PLO 50 x 25 - 130		

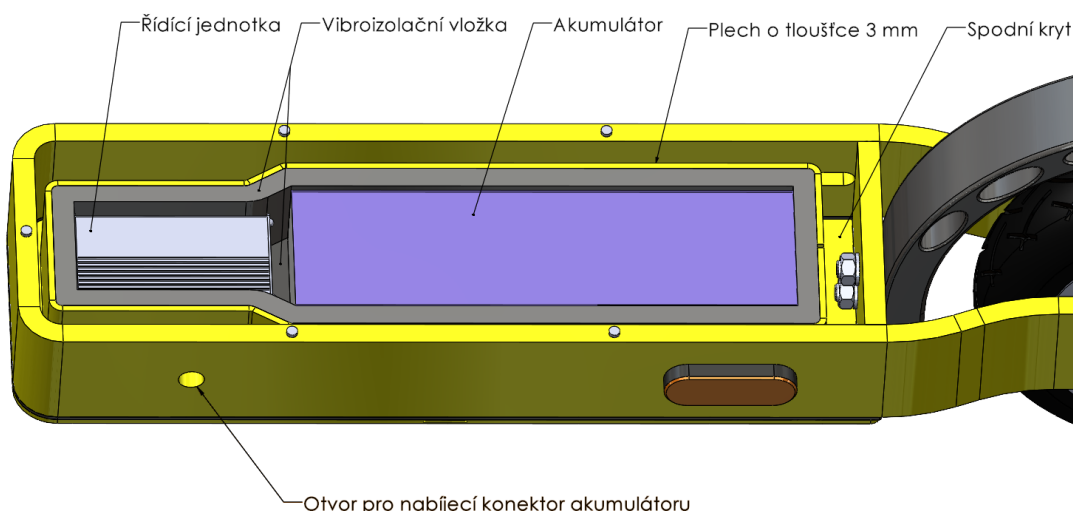
Pro spojovací profil byl zvolen obdélníkový průřez o rozměrech 40 x 30 x 3, který poskytuje dostatečný kvadratický moment průřezu. Tento profil i ostatní profily jako je závitová trubka, hlavová trubka a trubky řídítek jsou z hliníkové slitiny EN-AW 6060 T66. Seznam všech zvolených profilů je uveden v tabulce č. 15.

Jak již bylo dříve zmíněno, zadní blatník bude vyráběn. Blatník by bylo možné vyrobit dvěma způsoby. První možností je použití polotovaru hliníkové tyče obdélníkového průřezu. Tato tyč by se pomocí ohýbání vytvarovala do požadovaného poloměru. Následně by se její

tvar obráběním přizpůsobil do finální podoby. Druhý způsob je výroba odléváním, a to buď z hliníku, nebo z plastu. S ohledem na fakt, že blatník slouží pouze jako nosný prvek pro zadní odrazku a světlomet, je vhodnějším řešením jej vyrobit jako odlitek z plastu. Blatník bude mít současně i nižší hmotnost, což je pro konstrukci žádoucí.

6.1 Upevnění akumulátoru a řídicí jednotky

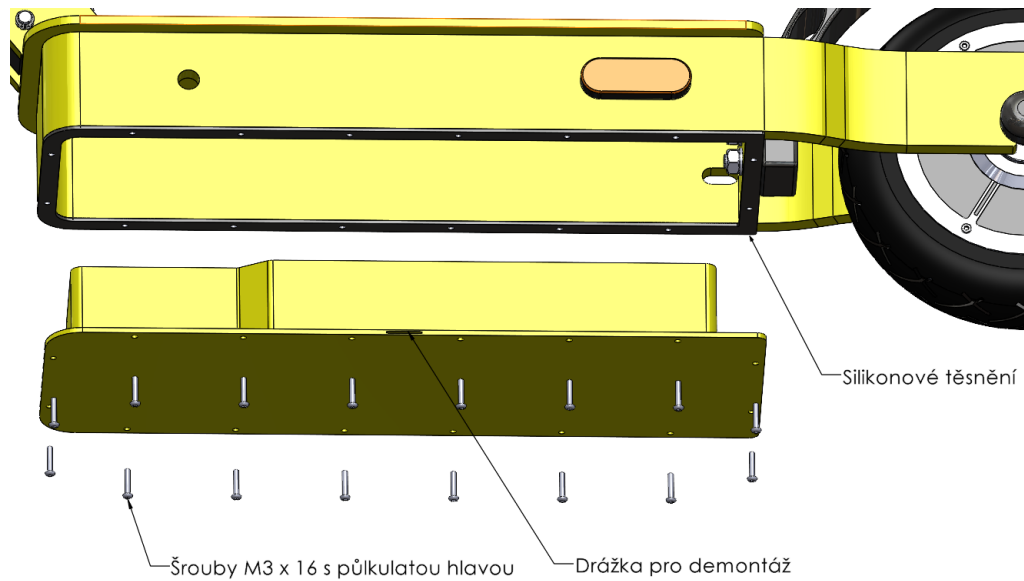
Akumulátor a řídicí jednotka jsou pod podlahou náslapu uloženy ve speciální vibroizolační vložce od výrobce NOVISA, která zabraňuje přenosu nežádoucích vibrací. Vložka je po obvodu přilepena k plechu o tloušťce 3 mm, který je přivařen ke spodnímu plechovému krytu se stejnou tloušťkou. Samotná vložka má tloušťku 10 mm a je přilepena i na spodní kryt, který je uchycen k rámu pomocí šestnácti šroubů M3 x 16 s třídou pevnosti 10.9. Pro dosažení větší světlé výšky elektrokoloběžky jsou použity šrouby s půlkulatou hlavou.



Obrázek 35: Uložení akumulátoru a řídicí jednotky v rámu

Pro zamezení vniku vody a vlhkosti je spodní kryt utěsněn silikonovým těsněním K2 SILICON BLACK 300 G. Výhodou silikonového těsnění je delší životnost a vysoká odolnost proti vlhkosti. Těsnění se nanese v tenké vrstvě o tloušťce přibližně 2 mm na spodní okraj rámu. Před samotnou aplikací je nutné povrch nejprve očistit a odmastit. Po nanesení těsnění se k rámu našroubuje spodní kryt. Šrouby se utáhnou dle [63] s utahovacím momentem 1,5 N·m. Silikon je nutné nechat zaschnout alespoň po dobu 1 h. Přebytečné množství zaschlého silikonu lze odstranit například žiletkou.

V případě demontáže spodního krytu se musí kryt po povolení šroubů uvolnit od přilepeného těsnění. Pro tento účel je ve spodním krytu vytvořena drážka, do které se zasune hrot plochého šroubováku. Působením jemné síly na šroubovák se kryt uvolní. Staré těsnění je nutné po demontáži odstranit a nanést těsnění nové.

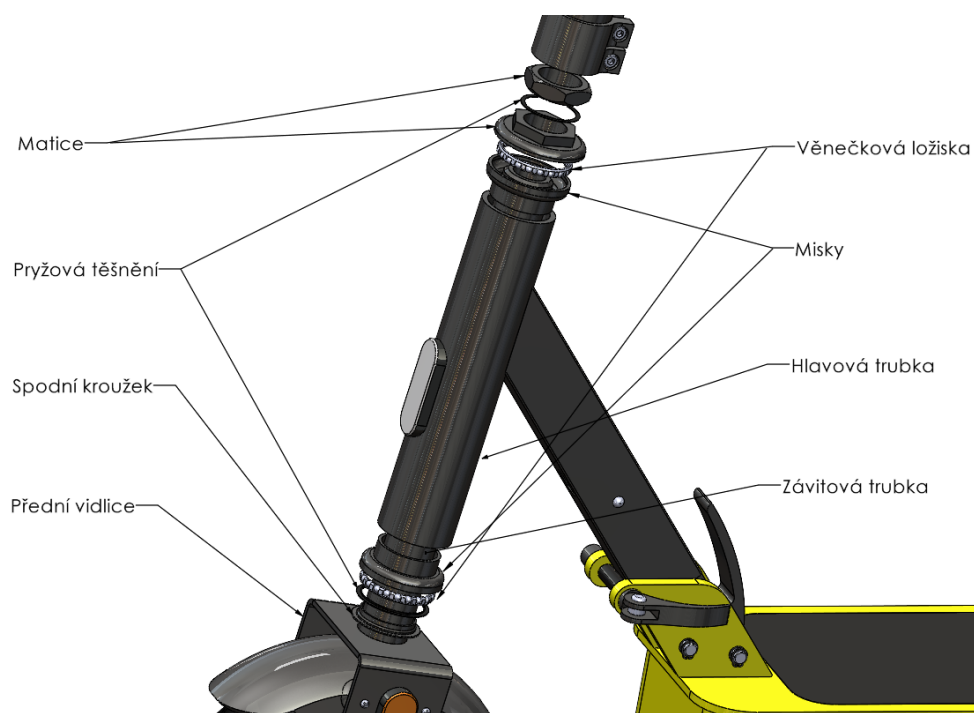


Obrázek 36: Utěsnění spodního krytu

6.2 Uložení přední vidlice

Uložení přední vidlice do hlavové trubky spočívá v použití závitového hlavového složení od firmy FORCE. Hlavové složení se skládá ze dvou misek, ve kterých jsou uložena věnečková ložiska. Tyto misky jsou nalisovány do hlavové trubky rámu a umožňují směrové řízení elektrokoloběžky. Horní část závitového složení je tvořena dvěma maticemi, mezi kterými je pryžové těsnění. Matice slouží k zajištění závitové trubky v hlavové trubce proti axiálnímu pohybu. Spodní dosedací plocha závitového složení na přední vidlici je opatřena kroužkem s pryžovým těsněním, které zabraňuje vniknutí nečistot do uložení spodního ložiska.

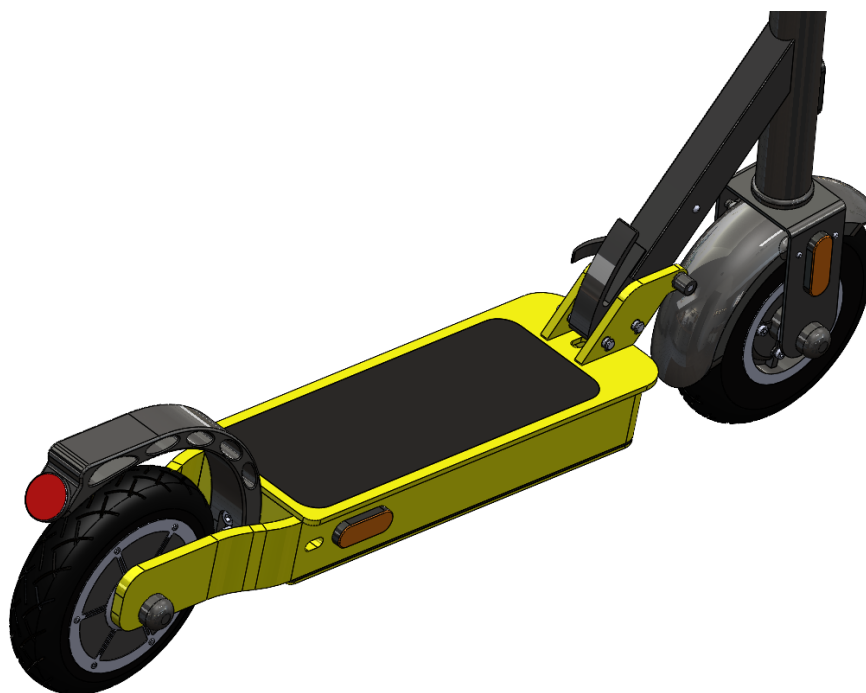
Při montáži je třeba nejprve našroubovat spodní matici, kterou stačí dotáhnout ručně tak, aby nedocházelo k viklání závitové trubky v hlavové trubce. Následně se na závitovou trubku nasune těsnění a našroubuje horní kontra matice. V posledním kroku se matice dotáhnou pomocí dvou klíčů. Horní matice se dotahuje a spodní se v opačném smyslu povoluje. Matice je třeba dotahovat dle doporučení [63] s utahovacím momentem cirká 25 N·m, čímž dojde k vyvození potřebné adheze mezi stykovými plochami obou matic a těsněním.



Obrázek 37: Uložení přední vidlice v hlavové trubce

6.3 Nášlap

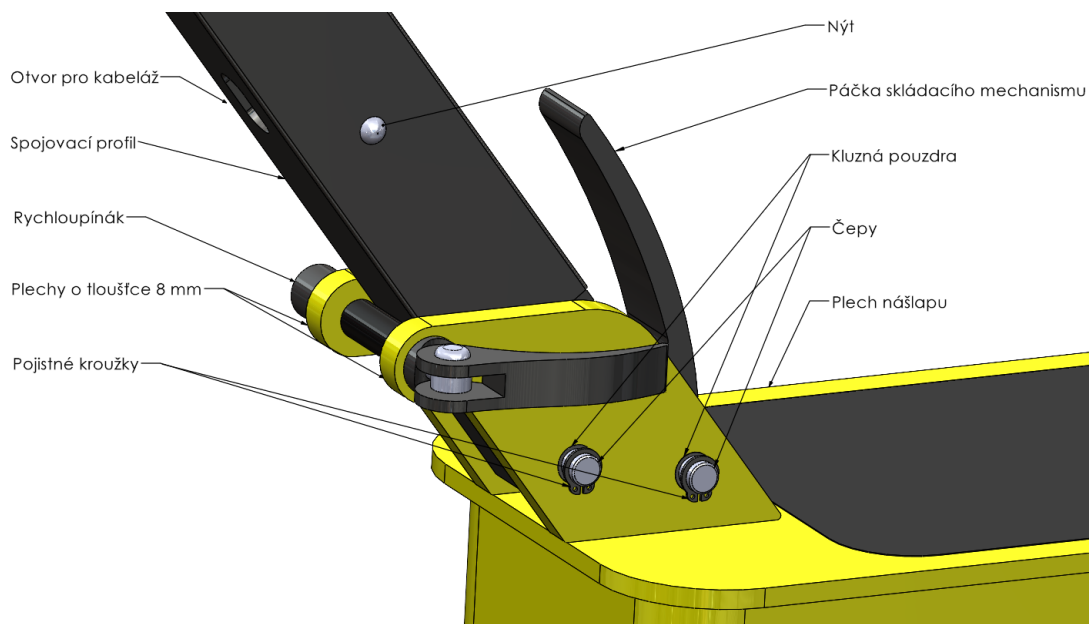
Nášlap elektrokoloběžky musí být opatřen protiskluzovou vrstvou, která zajistí, že mezi podrážkami bot jezdce a nášlapem elektrokoloběžky bude působit dostatečně velká adhezní síla, která zabrání případnému uklouznutí jezdce. Pro tyto účely byl vybrán tzv. griptape, který se v běžné praxi používá například u skateboardů nebo koloběžek.



Obrázek 38: Samolepící griptape firmy Jessup na nášlapu elektrokoloběžky

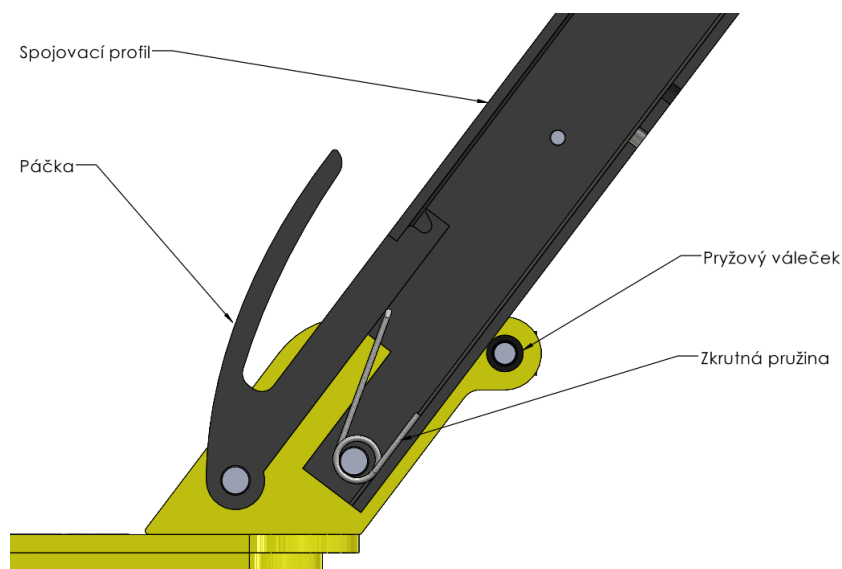
6.4 Skládací mechanismus

Skládací mechanismus odděluje přední a zadní část konstrukce. Mechanismus funguje na principu kloubu s možností zajištění v rozloženém a složeném stavu. Je tvořen dvěma plechy o tloušťce 8 mm, které jsou přivařeny k plechu nášlapu. Tyto plechy slouží k otočnému uložení spojovacího profilu přední části a páčky skládacího mechanismu. Uložení je provedeno pomocí dvou čepů, které jsou zajištěny pojistnými kroužky. Pro zamezení otěru a snížení součinitele smykového tření jsou oba čepy uloženy v kluzných pouzdech s teflonovou vrstvou PTFE od firmy SKF. Na prvním čepu je nasunuta páčka. Druhý čep je vsunut do otvorů v profilu. Na tomto čepu se nachází dvojitá zkrutná pružina.



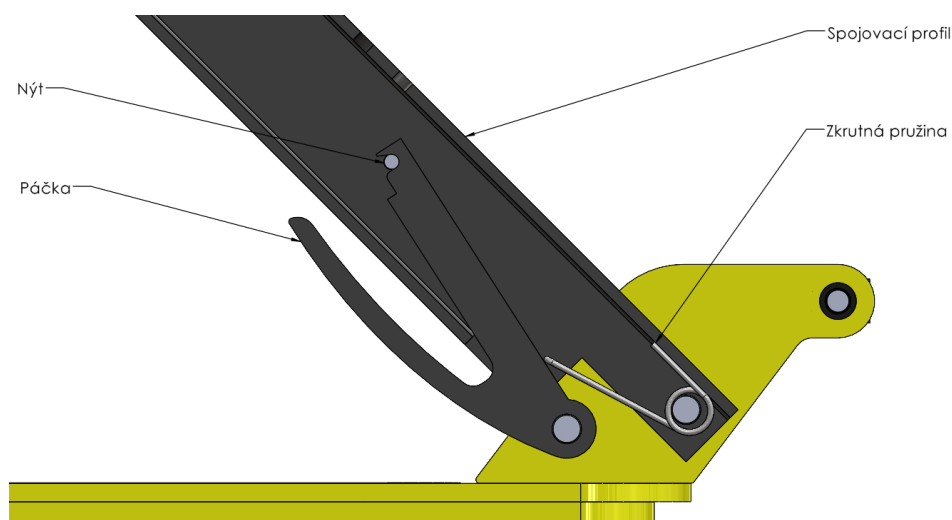
Obrázek 39: Popis částí skládacího mechanismu

V rozloženém stavu (viz obrázek č. 40) je páčka přitlačována zkrutnou pružinou k vnitřní straně profilu, který se opírá o pryžový váleček pojistného rychloupínáku LONGUS. Mezi plechy a spojovacím profilem je z každé strany vůle 1 mm. Díky této malé vůli je umožněno, že se plechy v rozloženém stavu utažením rychloupínáku přitlačí k profilu a tím se celý mechanismus zpevní.



Obrázek 40: Řez skládacím mechanismem v rozloženém stavu

V případě složení (viz obrázek č. 41) se nejprve musí povolit rychloupínák. Stlačením páčky se páčka odjistí ze své výchozí polohy. V tomto okamžiku lze za současného držení páčky přední část sklopit. K zajištění ve složeném stavu dojde zaháknutím páčky za nýt, který je ve spojovacím profilu. Působením rozpěrné síly pružiny je páčka k nýtu přitlačována. Mechanismus lze zároveň zajistit i utažením rychloupínáku.



Obrázek 41: Řez skládacím mechanismem ve složeném stavu

Pro správnou funkci skládacího mechanismu bylo zapotřebí zvolit vhodnou dvojitou zkrutnou pružinu, která vyhoví nárokům na prostor a současně poskytne dostatečnou rozpěrnou sílu. Pružina byla zvolena od výrobce Durovis, který pružinu vyrobí dle zadaných požadavků. V příloze A je objednávkový list, kde jsou uvedeny bližší specifikace pružiny. Parametry pružiny byly zvoleny dle podobných zkrutných pružin z katalogu výrobce. Pouze celkovou šířku pružiny bylo nutné zvolit 22 mm, aby ji bylo možné uložit na čep ve spojovacím profilu.

6.5 Statický rozbor konstrukce

Z praktického pohledu lze předpokládat, v jakých extrémních situacích bude rám elektrokoloběžky nejvíce namáhán. Bude se jednat o stav, kdy bude zabrzděná elektrokoloběžka stát na vodorovném povrchu s perfektní adhezí, bude zatížena tíhovou silou jezdce působící v polovině délky nášlapu a současně v čepu hnacího kola bude působit maximální reakční moment motoru $M_f = 9 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Při výpočtu bude uvažováno působení celkové tíhové síly F_C , která je dána jako výslednice tíhové síly akumulátoru F_A , maximální tíhové síly jezdce F_{Jmax} a tíhové síly řídicí jednotky $F_{\check{R}J}$. Jelikož bude rám elektrokoloběžky během jízdy stochasticky zatěžován, bude celková tíhová síla F_C navýšena o součinitel pro nahodilé zatížení q_n . Tento součinitel v sobě zahrnuje dynamické účinky vzniklé například při přejezdu po nerovnostech, akceleraci nebo brždění. Dle doporučení vedoucího byla zvolena hodnota součinitele $q_n = 1,5 [-]$. Výsledná velikost síly F_C vyplývá ze vzorce č. 6.1.

$$\begin{aligned} F_C &= (m_{\check{R}J} + m_{jmax} + m_a) \cdot g \cdot q_n = (0,2 + 100 + 1,1) \cdot 9,81 \cdot 1,5 \\ &= 1\,490,63 \text{ N} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Kde

$m_{\check{R}J}$	[kg]	– hmotnost řídicí jednotky
m_{jmax}	[kg]	– maximální hmotnost jezdce (maximální nosnost)
m_a	[kg]	– hmotnost akumulátoru
g	[m·s ⁻²]	– tíhové zrychlení

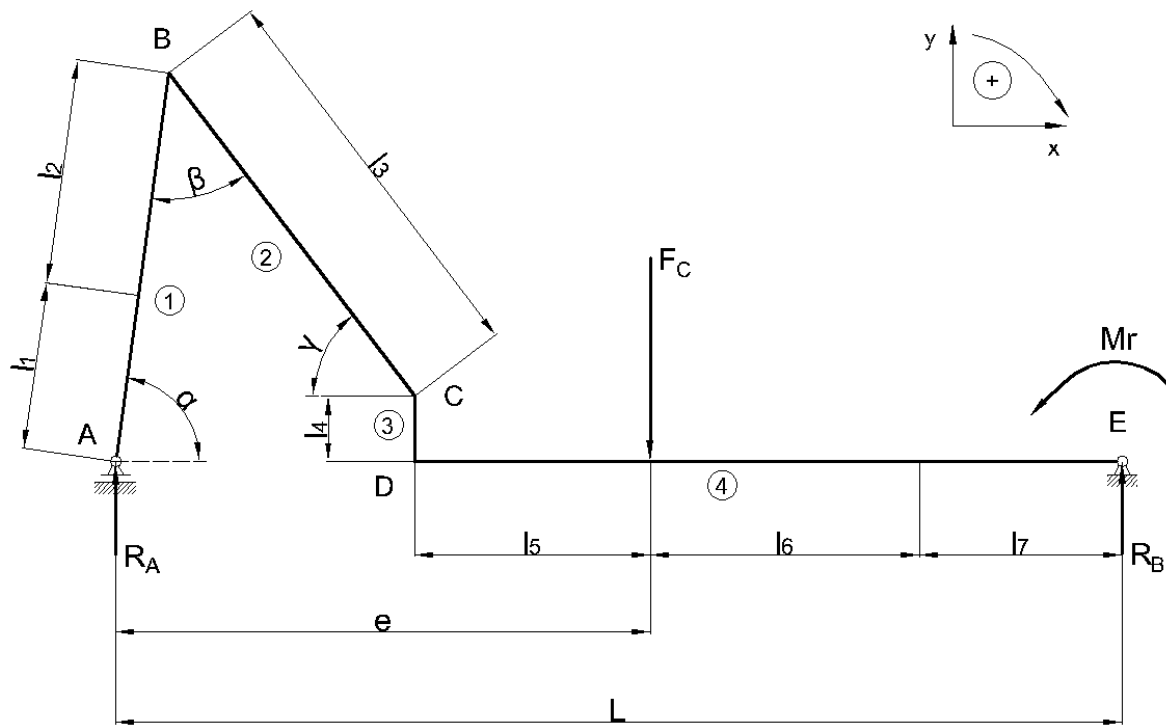
S ohledem na velikost tíhové síly akumulátoru F_A a řídicí jednotky $F_{\check{R}J}$, lze působišť celkové tíhové síly F_C uvažovat přibližně v místě působení maximální tíhové síly jezdce F_{Jmax} , tedy v polovině délky nášlapu. Pro názornost jsou níže uvedeny hodnoty velikostí jednotlivých tíhových sil.

$$F_A = m_a \cdot g = 1,1 \cdot 9,81 = 10,79 \text{ N} \quad (6.2)$$

$$F_{\check{R}J} = m_{\check{R}J} \cdot g = 0,2 \cdot 9,81 = 1,96 \text{ N} \quad (6.3)$$

$$F_{Jmax} = m_{jmax} \cdot g = 100 \cdot 9,81 = 981 \text{ N} \quad (6.4)$$

K dimenzování konstrukce je nutné znát průběhy zatížení v jednotlivých částech. Pro účely výpočtu byla vytvořena zjednodušená podoba rámu (viz obrázek č. 42), do které je zaneseno silové působení. Rozměry rámu jsou uvedeny v tabulce č. 16. Hodnoty rozměrů byly zjištěny pomocí programu SolidWorks.



Obrázek 42: Zanesení silového působení do rámu

Člen 1 je při výpočtu uvažován jako jeden celek složený z přední vidlice a hlavové trubky. Otočné uložení je zde zanedbáno. V bodě C se nachází čep skládacího mechanismu, který spojuje přední část s nášlapem. Tento bod je při výpočtu uvažován jako pevný. Tímto postupem dojde k určité odchylce od skutečného provozního namáhání, nicméně se tím zjednoduší výpočet.

Tabulka 16: Numerické hodnoty rozměrů rámu

l₁	124,01 mm	l₇	149,90 mm
l₂	166,14 mm	L	744,07 mm
l₃	300,47 mm	e	395,32 mm
l₄	48,00 mm	α	82,17°
l₅	174,25 mm	β	45°
l₆	198,85 mm	γ	52,83°

Statický výpočet

Strukturální vzorec:

$$s = 3 \cdot n - v = 3 \cdot 4 - 1 - 3 \cdot 3 - 2 = 0 \Rightarrow \text{soustava je staticky určitá}$$

Kde

n – počet těles

v – stupně volnosti odebrané vazbami

Uvolnění soustavy jako celek:

$$\sum F_{iy} = 0; R_A - F_C + R_B = 0; \quad (6.5)$$

$$\sum M_{iA} = 0; F_C \cdot e - R_B \cdot L - M_r = 0; \quad (6.6)$$

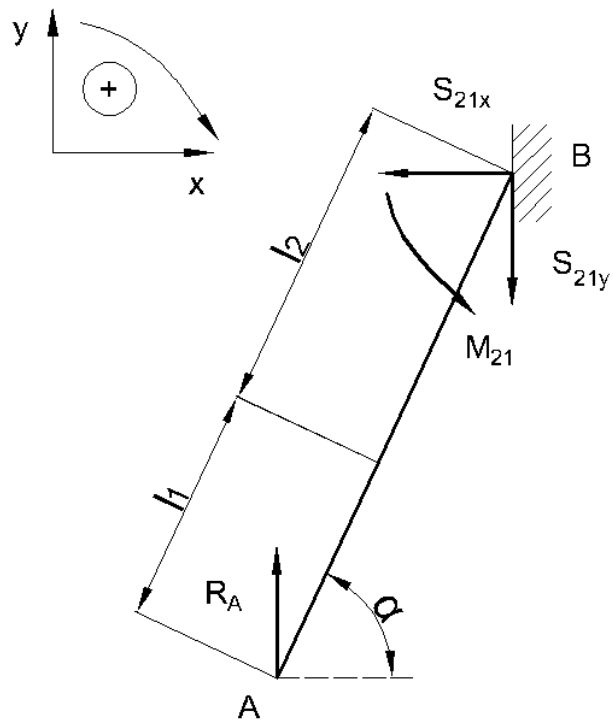
Z (6.6):

$$R_B = \frac{F_C \cdot e - M_r}{L} = \frac{1490,63 \cdot 395,32 \cdot 10^{-3} - 9}{744,07 \cdot 10^{-3}} = 779,87 \text{ N};$$

Z (6.5):

$$R_A = F_C - R_B = 1490,63 - 779,87 = 710,76 \text{ N};$$

Uvolnění členu 1:



Obrázek 43: Uvolněný člen 1

$$\sum F_{ix} = 0; -S_{21x} = 0; \quad (6.7)$$

$$\sum F_{iy} = 0; R_A - S_{21y} = 0; \quad (6.8)$$

$$\sum M_{iA} = 0; S_{21y} \cdot (l_1 + l_2) \cdot \cos \alpha - S_{21x} \cdot (l_1 + l_2) \cdot \sin \alpha - M_{21} = 0; \quad (6.9)$$

Z (6.7):

$$S_{21x} = 0 \text{ N};$$

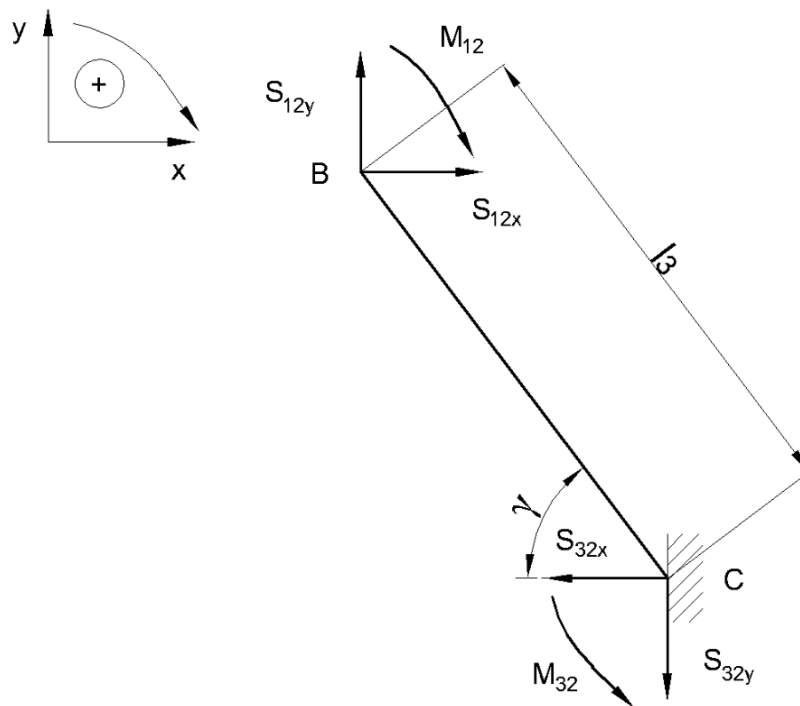
Z (6.8):

$$S_{21y} = R_A = 710,76 \text{ N};$$

Z (6.9):

$$\begin{aligned} M_{21} &= S_{21y} \cdot (l_1 + l_2) \cdot \cos \alpha = 710,76 \cdot (124,01 + 166,14) \cdot 10^{-3} \cdot \cos 82,17^\circ \\ &= 28,10 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned}$$

Uvolnění členu 2:



Obrázek 44: Uvolněný člen 2

$$\sum F_{ix} = 0; S_{12x} - S_{32x} = 0; \quad (6.10)$$

$$\sum F_{iy} = 0; S_{12y} - S_{32y} = 0; \quad (6.11)$$

$$\sum M_{iB} = 0; S_{32y} \cdot l_3 \cdot \cos \gamma + S_{32x} \cdot l_3 \cdot \sin \gamma - M_{32} + M_{12} = 0; \quad (6.12)$$

Z (6.10):

$$S_{32x} = S_{12x} = 0 \text{ N};$$

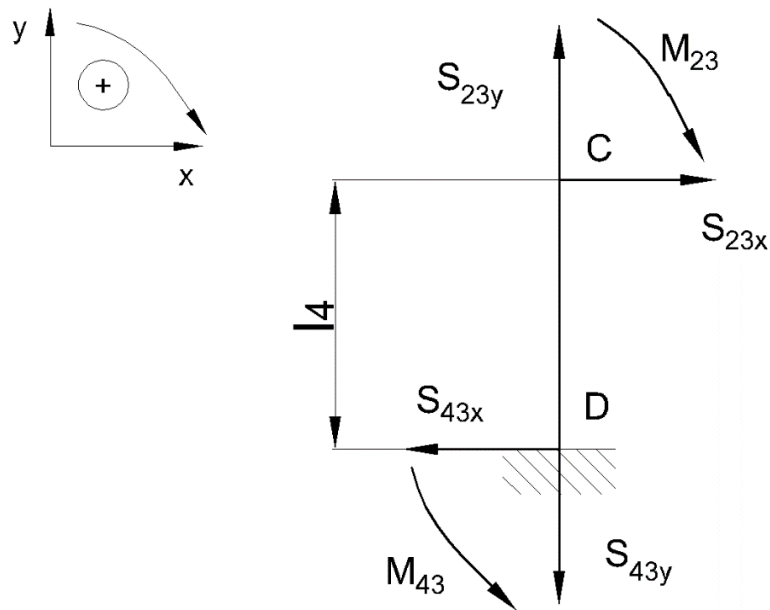
Z (6.11):

$$S_{32y} = S_{12y} = R_A = 710,76 \text{ N};$$

Z (6.12):

$$\begin{aligned} M_{32} &= S_{32y} \cdot l_3 \cdot \cos \gamma + M_{12} = 710,76 \cdot 300,47 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 52,83^\circ + 28,10 \\ &= 157,13 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned}$$

Uvolnění členu 3:



Obrázek 45: Uvolněný člen 3

$$\sum F_{ix} = 0; S_{23x} - S_{43x} = 0; \quad (6.13)$$

$$\sum F_{iy} = 0; S_{23y} - S_{43y} = 0; \quad (6.14)$$

$$\sum M_{iC} = 0; S_{43x} \cdot l_4 - M_{43} + M_{23} = 0; \quad (6.15)$$

Z (6.13):

$$S_{43x} = S_{23x} = 0 \text{ N};$$

Z (6.14):

$$S_{43y} = S_{23y} = R_A = 710,76 \text{ N};$$

Z (6.15):

$$M_{43} = M_{23} = 157,13 \text{ N} \cdot \text{m};$$

Přehled vypočítaných hodnot:

Tabulka 17: Shrnutí vypočítaných hodnot z kapitoly 6.5

F_C	1 490,63 N	S_{32x}	0 N
R_B	779,87 N	S_{32y}	710,76 N
R_A	710,76 N	M₃₂	157,13 N·m
S_{21x}	0 N	S_{43x}	0 N
S_{21y}	710,76 N	S_{43y}	710,76 N
M₂₁	28,10 N·m	M₄₃	157,13 N·m

Zároveň také platí:

$$S_{21x} = S_{12x};$$

$$M_{32} = M_{23};$$

$$S_{21y} = S_{12y};$$

$$S_{43x} = S_{34x};$$

$$M_{21} = M_{12};$$

$$S_{43y} = S_{34y};$$

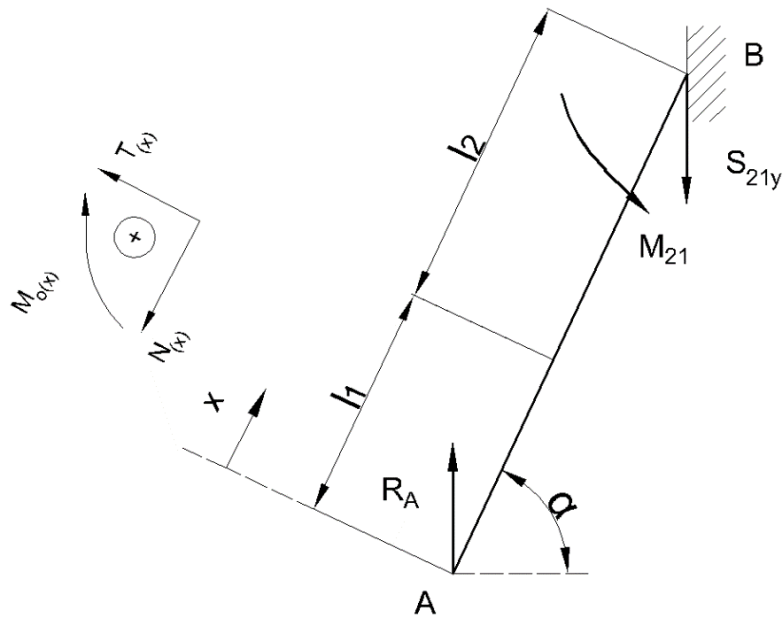
$$S_{32x} = S_{23x};$$

$$M_{43} = M_{34};$$

$$S_{32y} = S_{23y};$$

6.6 Výpočet vnitřních statických účinků

Člen 1:



Obrázek 46: Vnitřní účinky členu 1

Interval $0 \leq x < l_1 + l_2$

$$\begin{aligned} N_{(x)} &= -R_A \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \\ &= -710,76 \cdot \cos(90^\circ - 82,17^\circ) = -704,13 \text{ N}; \end{aligned} \quad (6.16)$$

$$T_{(x)} = R_A \cdot \sin(90^\circ - \alpha) = 710,76 \cdot \sin(90^\circ - 82,17^\circ) = 96,83 \text{ N}; \quad (6.17)$$

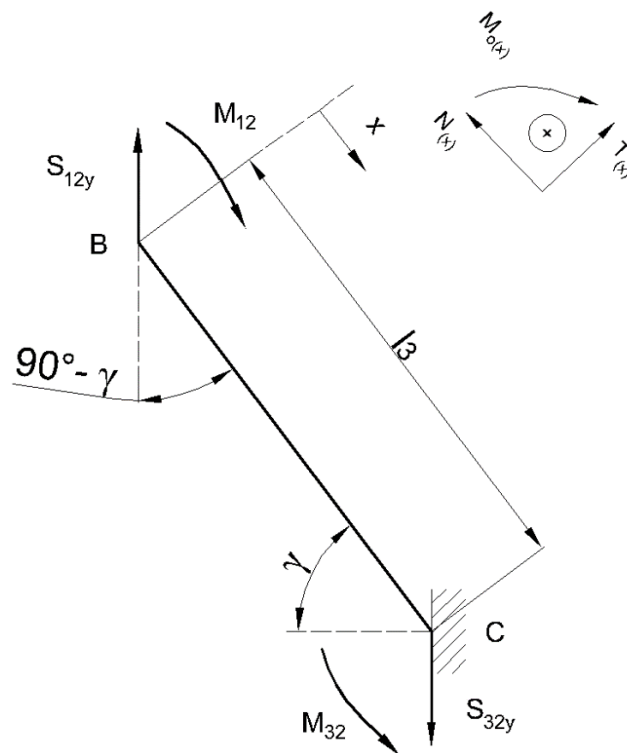
$$M_{o(x)} = R_A \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \cdot x; \quad (6.18)$$

Z (6.18):

$$\begin{aligned} M_{o(x=l_1)} &= R_A \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \cdot l_1 \\ &= 710,76 \cdot \sin(90^\circ - 82,17^\circ) \cdot 124,01 \cdot 10^{-3} = 12,00 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{o(x=l_1+l_2)} &= R_A \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \cdot (l_1 + l_2) \\ &= 710,76 \\ &\quad \cdot \sin(90^\circ - 82,17^\circ) \cdot (124,01 + 166,14) \cdot 10^{-3} = 28,10 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned}$$

Člen 2:



Obrázek 47: Vnitřní účinky členu 2

Interval $0 \leq x < l_3$

$$N_{(x)} = S_{12y} \cdot \cos(90^\circ - \gamma) = 710,76 \cdot \cos(90^\circ - 52,83^\circ) = 566,37 \text{ N}; \quad (6.19)$$

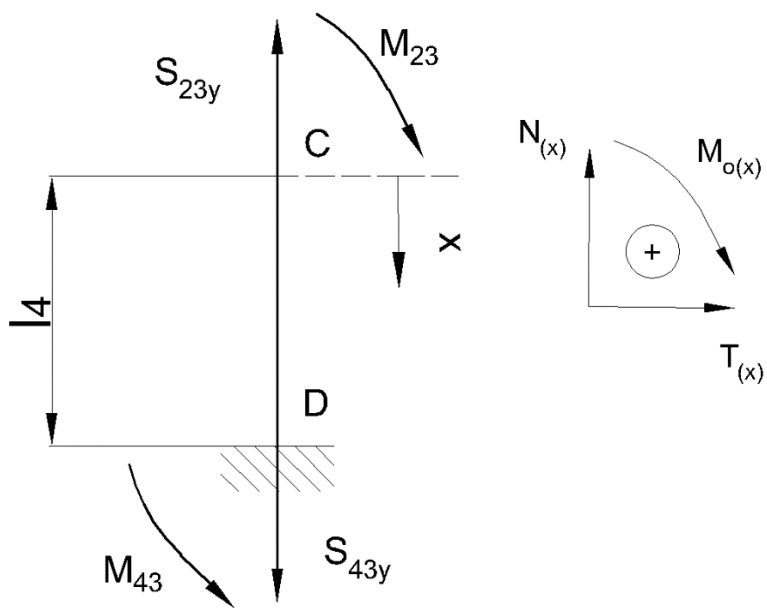
$$T_{(x)} = S_{12y} \cdot \sin(90^\circ - \gamma) = 710,76 \cdot \sin(90^\circ - 52,83^\circ) = 429,43 \text{ N}; \quad (6.20)$$

$$M_{o(x)} = S_{12y} \cdot \sin(90^\circ - \gamma) \cdot x + M_{12}; \quad (6.21)$$

Z (6.21):

$$\begin{aligned} M_{o(x=l_3)} &= S_{12y} \cdot \sin(90^\circ - \gamma) \cdot l_3 + M_{12} \\ &= 710,76 \\ &\quad \cdot \sin(90^\circ - 52,83^\circ) \cdot 300,47 \cdot 10^{-3} + 28,10 = 157,13 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned}$$

Člen 3:



Obrázek 48: Vnitřní účinky členu 3

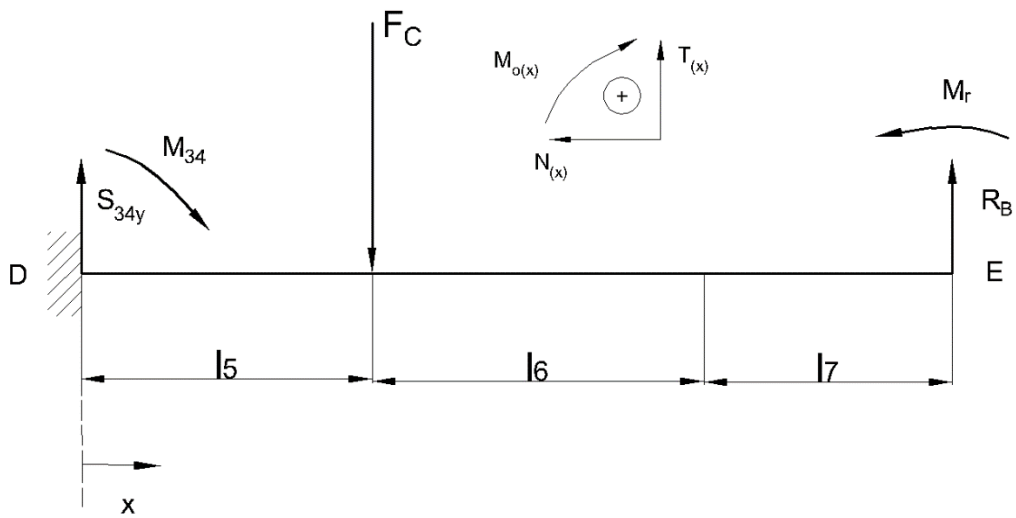
Interval $0 \leq x < l_4$

$$N_{(x)} = S_{23y} = 710,76 \text{ N}; \quad (6.22)$$

$$T_{(x)} = 0 \text{ N}; \quad (6.23)$$

$$M_{o(x)} = M_{23} = 157,13 \text{ N} \cdot \text{m}; \quad (6.24)$$

Člen 4:



Obrázek 49: Vnitřní účinky členu 4

Interval $0 \leq x < l_5$

$$N_{(x)} = 0 \text{ N}; \quad (6.25)$$

$$T_{(x)} = S_{34y} = 710,76 \text{ N}; \quad (6.26)$$

$$M_{o(x)} = S_{34y} \cdot x + M_{34}; \quad (6.27)$$

Z (6.27):

$$M_{o(x=l_5)} = S_{34y} \cdot l_5 + M_{34} = 710,76 \cdot 174,25 \cdot 10^{-3} + 157,13 = 280,98 \text{ N} \cdot \text{m};$$

Interval $0 \leq x < l_5 + l_6 + l_7$

$$N_{(x)} = 0 \text{ N}; \quad (6.28)$$

$$T_{(x)} = S_{34y} - F_C = 710,76 - 1490,63 = -779,87 \text{ N}; \quad (6.29)$$

$$M_{o(x)} = S_{34y} \cdot x - F_C \cdot (x - l_5) + M_{34}; \quad (6.30)$$

Z (6.30):

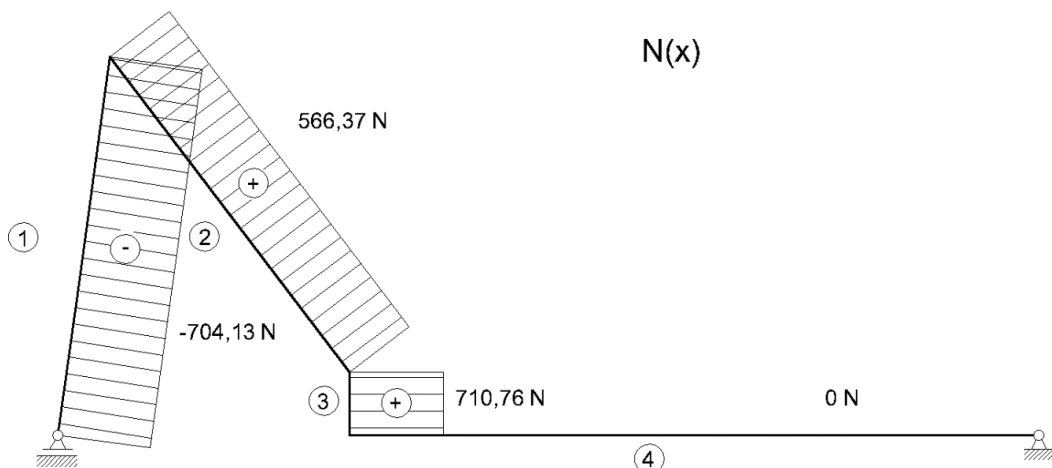
$$\begin{aligned} M_{o(x=l_5+l_6)} &= S_{34y} \cdot (l_5 + l_6) - F_C \cdot (l_5 + l_6 - l_5) + M_{34} \\ &= 710,76 \cdot (174,25 + 198,85) \cdot 10^{-3} - 1490,63 \\ &\quad \cdot (174,25 + 198,85 - 174,25) \cdot 10^{-3} + 157,13 = 125,90 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned}$$

Přehled vypočítaných hodnot:

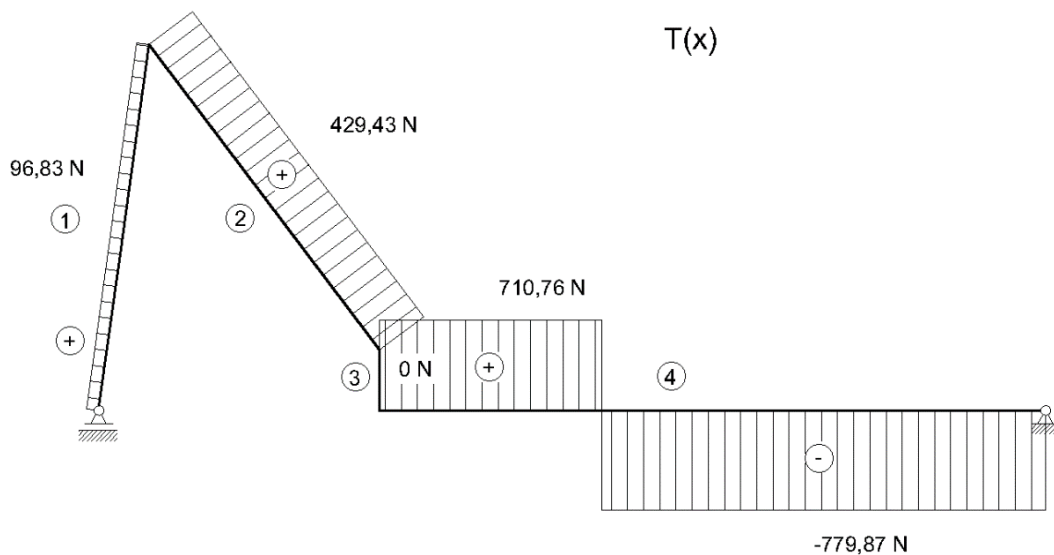
Tabulka 18: Shrnutí vypočítaných hodnot z kapitoly 6.6

	x	N_(x) [N]	T_(x) [N]	M_{o(x)} [N·m]
Člen 1	l_1	-704,13	96,83	12,00
	$l_1 + l_2$			28,10
Člen 2	l_3	566,37	429,43	157,13
Člen 3	l_4	710,76	0	157,13
Člen 4	l_5	0	710,76	280,98
	$l_5 + l_6$	0	-779,87	125,90

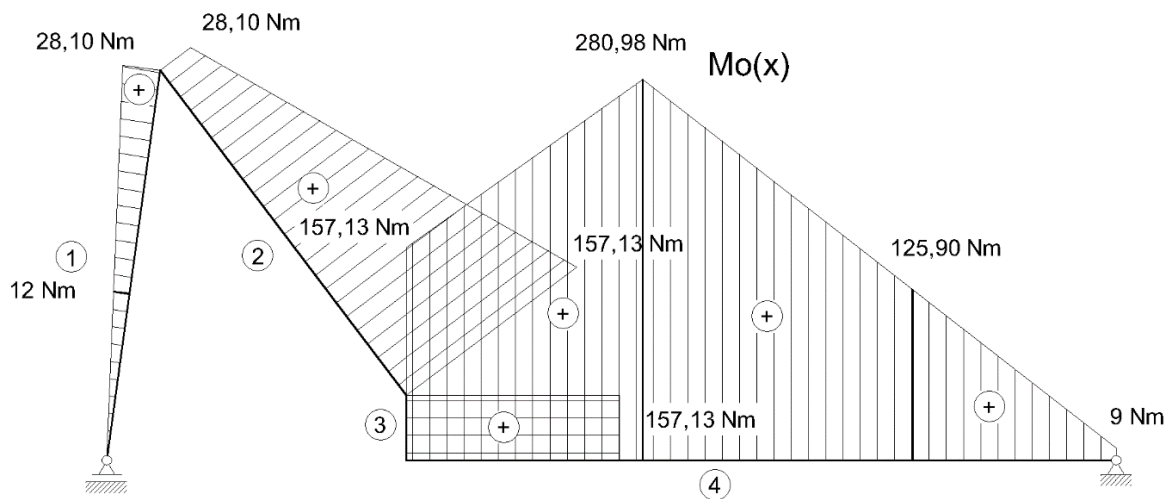
Grafické znázornění průběhů vnitřních statických účinků:



Obrázek 50: Průběhy normálových sil



Obrázek 51: Průběhy posouvajících sil



Obrázek 52: Průběhy ohybových momentů

7 VÝPOČET PEVNOSTI VYBRANÝCH ČÁSTÍ

V následujících podkapitolách bude provedena kontrola pevnosti rámu elektrokoloběžky a čepu skládacího mechanismu. Pro výpočet byla po konzultaci s vedoucím zvolena dle [37, str. 26] hodnota součinitele bezpečnosti $k = 2$, která je určena pro nosníky pod výtahovými stroji výtahů a zdvihadel.

7.1 Kontrola pevnosti rámu elektrokoloběžky

V nášlapu a zadní vidlici dochází k namáhání ohybem a smykem od posouvající síly a ohybového momentu. Spojovací profil je namáhán na smyk, ohyb a tah. V přední vidlici a hlavové trubce dochází k namáhání smykem, ohybem a tlakem. Pro posouzení je použita pevnostní hypotéza o redukovaném napětí HMM. K výpočtu slouží hodnoty z tabulky č. 19.

Tabulka 19: Přehled potřebných hodnot pro kontrolu pevnosti rámu

	Přední vidlice	Hlavová trubka	Spojovací profil	Nášlap	Zadní vidlice
Modul průřezu v ohybu W_o [mm³]	3 600	5 672,32	4 069,60	71 855,05	11 213,33
Plocha průřezu A [mm²]	360	628,32	384	2 252	1 160
Mez kluzu R_e [MPa]	75	160	160	75	75
N_{max} [N]	-704,13	-704,13	566,37	0	0
T_{max} [N]	96,83	96,83	429,43	-779,87	-779,87
M_{omax} [N·m]	12	28,10	157,13	280,98	125,90

$$\sigma_{HMH} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_o)^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \sigma_{dov}$$

Kde

- σ_N [MPa] – normálové napětí počítané z maximální normálové síly
- σ_o [MPa] – ohybové napětí počítané z maximálního ohybového momentu
- τ [MPa] – smykové napětí počítané z maximální posouvající síly

Přední vidlice

$$\sigma_N = \frac{N_{max}}{A} = \frac{704,13}{360} = 1,96 \text{ MPa}; \quad (7.1)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{12 \cdot 10^3}{3\,600} = 3,33 \text{ MPa}; \quad (7.2)$$

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} = \frac{96,83}{360} = 0,27 \text{ MPa}; \quad (7.3)$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{75}{2} = 37,5 \text{ MPa}; \quad (7.4)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{HMH} &= \sqrt{(\sigma_N + \sigma_o)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1,96 + 3,33)^2 + 3 \cdot 0,27^2} \\ &= 5,31 \text{ MPa} < 37,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Hlavová trubka

$$\sigma_N = \frac{N_{max}}{A} = \frac{704,13}{628,32} = 1,12 \text{ MPa}; \quad (7.5)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{28,10 \cdot 10^3}{5\,672,32} = 4,95 \text{ MPa}; \quad (7.6)$$

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} = \frac{96,83}{628,32} = 0,15 \text{ MPa}; \quad (7.7)$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{160}{2} = 80 \text{ MPa}; \quad (7.8)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{HMH} &= \sqrt{(\sigma_N + \sigma_o)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1,12 + 4,95)^2 + 3 \cdot 0,15^2} \\ &= 6,08 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Spojovací profil

$$\sigma_N = \frac{N_{max}}{A} = \frac{566,37}{384} = 1,47 \text{ MPa}; \quad (7.9)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{157,13 \cdot 10^3}{4\,069,60} = 38,61 \text{ MPa}; \quad (7.10)$$

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} = \frac{429,43}{384} = 1,12 \text{ MPa}; \quad (7.11)$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{160}{2} = 80 \text{ MPa}; \quad (7.12)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{HMH} &= \sqrt{(\sigma_N + \sigma_o)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1,47 + 38,61)^2 + 3 \cdot 1,12^2} \\ &= 40,13 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Nášlap

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{280,98 \cdot 10^3}{71\,855,05} = 3,91 \text{ MPa}; \quad (7.13)$$

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} = \frac{779,87}{2\,252} = 0,35 \text{ MPa}; \quad (7.14)$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{75}{2} = 37,5 \text{ MPa}; \quad (7.15)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{HMH} &= \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{3,91^2 + 3 \cdot 0,35^2} = 3,96 \text{ MPa} < 37,5 \text{ MPa} \\ &\Rightarrow \mathbf{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Zadní vidlice

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{125,90 \cdot 10^3}{11\,213,33} = 11,23 \text{ MPa}; \quad (7.16)$$

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} = \frac{779,87}{1\ 160} = 0,67\ MPa; \quad (7.17)$$

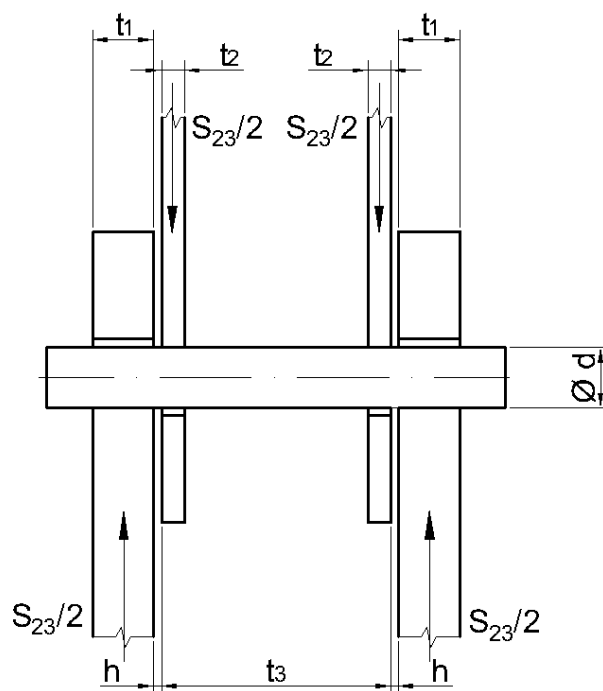
$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{75}{2} = 37,5\ MPa; \quad (7.18)$$

$$\sigma_{HMH} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{11,23^2 + 3 \cdot 0,67^2} = 11,29\ MPa < 37,5\ MPa$$

=> **Vyhovuje**

7.2 Kontrola čepu skládacího mechanismu

Při výpočtu je uvažováno působení výsledné vnitřní reakční síly S_{23} (S_{32}). Protože je složka vnitřní reakční síly S_{23x} rovna nule, platí, že $S_{23y} = S_{23}$. V důsledku působení této síly je čep namáhán na smyk (střih), ohyb a otláčení. Čep má rozměry 8 x 60 a je z materiálu 11 373.



Obrázek 53: Čep skládacího mechanismu

$$t_1 = 8\ mm$$

$$h = 1\ mm$$

$$p_d = 100\ MPa\ [58, str. 54]$$

$$t_2 = 3\ mm$$

$$\varnothing d = 8\ mm$$

$$R_e = 186\ MPa\ [58, str. 54]$$

$$t_3 = 30\ mm$$

$$S_{23} = 710,76\ N$$

Kontrola na smyk:

$$\tau_{dov} = \frac{\sigma_{dov}}{\sqrt{3}} = \frac{R_e}{k \cdot \sqrt{3}} = \frac{186}{2 \cdot \sqrt{3}} = 53,69 \text{ MPa}; \quad (7.19)$$

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{23}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 710,76}{\pi \cdot 8^2} = 14,14 \text{ MPa} < 53,69 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (7.20)$$

Kontrola na otláčení:

$$p = \frac{S_{23}}{2 \cdot d \cdot t_2} = \frac{710,76}{2 \cdot 8 \cdot 3} = 14,81 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (7.21)$$

Kontrola na ohyb:

$$\begin{aligned} M_{omax} &= \frac{S_{23}}{2} \cdot \left(\frac{t_2}{2} + h + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{710,76}{2} \cdot \left(\frac{3}{2} + 1 + \frac{8}{2} \right) \cdot 10^{-3} \\ &= 2,31 \text{ N} \cdot \text{m}; \end{aligned} \quad (7.22)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{32 \cdot M_{omax}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 2,31 \cdot 10^3}{\pi \cdot 8^3} = 45,96 \text{ MPa}; \quad (7.23)$$

$$T_{max} = \frac{S_{23}}{2} = \frac{710,76}{2} = 355,38 \text{ N}; \quad (7.24)$$

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} = \frac{4 \cdot T_{max}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 355,38}{\pi \cdot 8^2} = 7,07 \text{ MPa}; \quad (7.25)$$

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = \frac{186}{2} = 93 \text{ MPa}; \quad (7.26)$$

$$\sigma_{HMH} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{45,96^2 + 3 \cdot 7,07^2} = 47,56 \text{ MPa} < 93 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Konstrukce rámu elektrokoloběžky i čepové spojení skládacího mechanismu z hlediska pevnosti vyhovují stanovené nosnosti 100 kg. Konstrukce toto zatížení přenesou v obou případech s poměrně velkou bezpečností.

Celková hmotnost elektrokoloběžky včetně akumulátoru a řídicí jednotky vychází 10,43 kg. Hmotnost je srovnatelná s městskými elektrokoloběžkami, ale i s některými elektrokoloběžkami pro děti. Elektrokoloběžka má v porovnání s městskými modely menší rozměry, a to jak v provozním, tak i ve složeném stavu. Má výrazně menší délku a tím i kratší rozvor. Díky kratšímu rozvoru se elektrokoloběžka otočí na menším poloměru, což umožňuje lepší manévrovatelnost v městském provozu.

Výsledná maximální stoupavost 5,3° je v porovnání s elektrokoloběžkami se stejným jmenovitým výkonem mírně podprůměrná. Nicméně je nutné brát v úvahu skutečnost, že hodnoty stoupavostí udávané výrobcí jsou platné pro rozdílnou hmotnost jezdce, resp. pro co nejnižší hmotnost jezdce.

Přestože je výsledná maximální rychlost 24,6 km/h, je nutné, aby byla rychlost omezena na 25 km/h. V případě, že by se jezdec s elektrokoloběžkou pohyboval z klesání, mohla by být tato hranice překročena. Tento případ by mohl nastat i v situaci, když by hmotnost jezdce byla pod hranicí průměrné hmotnosti člověka, tedy menší než 73,27 kg.

Dle grafu na obrázku č. 30 má elektrokoloběžka největší dojezd v režimu jízdy 6 km/h, a to 30,58 km. Pro některé uživatele by tato rychlost ovšem nemusela být dostačující, proto je vhodnější režim jízdy 16 km/h. Tento režim jízdy je určitým kompromisem mezi rychlostí a dojezdem, který je v tomto režimu 18,56 km. Tato hodnota dojezdu je zároveň stále srovnatelná s udávanými hodnotami dojezdů některých modelů městských elektrokoloběžek.

V následující tabulce jsou shrnuty technické parametry navržené elektrokoloběžky:

Tabulka 20: Přehled technických parametrů navržené elektrokoloběžky

Jmenovitý výkon motoru	250 W
Kapacita akumulátoru	6 Ah / 24 V
Dojezd	18,56 km
Hmotnost	10,43 kg
Stoupavost	5,3°
Maximální nosnost	100 kg
Maximální rychlost	24,6 km/h
Rozměry v provozním stavu (V x Š x D)	987 x 406 x 957 mm
Rozměry ve složeném stavu (V x Š x D)	452 x 406 x 996 mm

9 ZÁVĚR

Hlavním bodem této bakalářské práce bylo vytvoření konstrukčního návrhu elektrokoloběžky, která je určena pro provoz na pozemních komunikacích v ČR. V teoretické části práce byla nejprve provedena analýza právních předpisů týkajících se provozu elektrokoloběžek na pozemních komunikacích. S tím souvisely i požadavky na konstrukci a povinnou výbavu, jejichž zjištění bylo pro návrh klíčové. Poté byl proveden rozbor současných prodávaných druhů elektrokoloběžek, zejména na českém trhu. Konkrétní modely elektrokoloběžek byly doplněny o poznatky zaměřenými na jejich technickou způsobilost k provozu na pozemních komunikacích. Byla popsána jejich koncepce, konstrukce a zejména jejich technické parametry. Tyto informace byly následně využity v praktické části práce při tvorbě vlastního návrhu městské elektrokoloběžky.

V rámci návrhu byly nejprve stanoveny požadované parametry, které by měla městská elektrokoloběžka splňovat. Pro dané parametry byla navrhována koncepce, jejíž součástí byla volba komponentů pro pohonné ústrojí a dalších komponentů zajišťujících technickou způsobilost k provozu na pozemních komunikacích. Elektromotor byl zvolen typu BLDC, který je přímo integrován do disku kola. Jeho jmenovitý výkon byl volen v souladu se stanovenými parametry a dle požadavků pro nemotorová vozidla. Na základě momentové charakteristiky elektromotoru byl sestaven trakční diagram, ze kterého byly určeny jízdní vlastnosti navrhované elektrokoloběžky. V závislosti na zvoleném elektromotoru byl vybrán akumulátor. Pro dosažení lepší manévrovatelnosti a vyšší bezpečnosti při jízdě, bylo voleno umístění akumulátoru pod podlahou nášlapu. V dalších kapitolách byla navrhována konstrukce rámu, která byla následně podrobena pevnostní analýze pomocí analytických výpočtů.

Důležitým kritériem pro návrh elektrokoloběžky bylo dosažení co nejnižší celkové hmotnosti a kompaktních rozměrů. Pro splnění první uvedené podmínky bylo třeba zvolit vhodný materiál pro konstrukci rámu, kterým jsou hliníkové slitiny. Díky tomuto řešení dosahuje hmotnost elektrokoloběžky příznivé hodnoty 10,43 kg. Celková hmotnost elektrokoloběžky je do jisté míry značně ovlivněna i hmotností akumulátoru. Typ akumulátoru byl proto zvolen lithium-iontový. Výsledné rozměry elektrokoloběžky se podařilo udržet na přijatelné úrovni, která je v porovnání s prodávanými městskými modely nižší. Konstrukce rámu byla koncipována jako skládací, aby byla usnadněna lepší manipulace elektrokoloběžky během její přepravy.

Navržená elektrokoloběžka splňuje veškeré náležitosti k provozu na pozemních komunikacích jako nemotorové vozidlo. Výsledky této práce mohou být využity pro další vývoj

a zdokonalení navržené elektrokoloběžky, například v oblastech elektronické optimalizace dojezdu při vyšších rychlostech či snížení hmotnosti při zachování pevnosti konstrukce. Lze zvážit také implementaci dalších funkcí, které by mohly zvýšit komfort a bezpečnost uživatelů, jako například integrované osvětlení, chytré zamykání nebo aplikaci pro sledování stavu akumulátoru a diagnostiku.

Konstrukci elektrokoloběžky by bylo vhodné podrobit MKP analýze, neboť při analytickém výpočtu bylo provedeno značné zjednodušení. Pomocí MKP by bylo možné získat přesnější výsledky a lépe pochopit, jak se různé zatížení projevuje na jednotlivých částech konstrukce.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] EUROPEAN COMMISSION. *European Road Safety Observatory* [online]. 2021 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/road_safety_thematic_report_personal_mobility_devices_tc_final.pdf
- [2] EUROPEAN PARLAMENTARY RESEARCH SERVICE. *Electric scooters – a new solution for urban mobility?* [online]. 2022 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <https://epthinktank.eu/2022/09/19/electric-scooters-a-new-solution-for-urban-mobility/>
- [3] EUR-Lex Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 168/2013 o schvalování dvoukolových nebo tříkolových vozidel a čtyřkolek a dozoru nad trhem s těmito vozidly [online] 2013 [cit. 2023-01-19]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168>
- [4] EUR-Lex. *Schvalování typu a požadavky dozoru nad trhem pro motocykly/mopedy a čtyřkolky v Evropě* [online]. 2021 [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/type-approval-and-market-surveillance-requirements-for-motorbikes-mopeds-and-quads-in-the-eu.html>
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 361/2000 Sb. Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů* [cit. 2023-01-18]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361/zneni-20220801>
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 341/2014 Sb. Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích* [cit. 2023-01-20]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-341#prilohy>
- [7] BEZPEČNÉ CESTY.CZ. *Elektrokoloběžky* [online]. [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/e-vozitka/elektricka-vozitka/elektrokolobezky>

[8] POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY. *Povinná výbava kola* [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.cyklomania.cz/clanek/povinna-vybava-kola-dle-policie-CR#&gid=1&pid=1>

[9] POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY. *Elektrokoloběžky v silničním provozu* [online]. [cit. 2023-01-30]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/elektrokolobezky-v-silnicnim-provozu.aspx>

[10] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. *Silniční Doprava* [online]. 2021 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava>

[11] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 294/2015 Sb. Vyhláška, kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-294>.

[12] EUR-Lex. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/2118* [online]. 2021 [cit. 2023-02-10]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32021L2118>

[13] KALKULAČKA POJIŠTĚNÍ. *Povinné ručení na elektrokoloběžku – Kalkulačka pojištění 2023/2024* [online]. 2021 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://kalkulackapojisteni.com/povinne-ruceni/povinne-ruceni-na-elektrokolobezku/>

[14] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 56/2001 Sb. Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích* [cit. 2023-02-08]. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56#cast2>

[15] ALZA.CZ. *Elektrické koloběžky* [online]. [cit. 2023-02-10]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/sport/elektricke-kolobezky/18859663.htm>

- [16] ALLHERE. *Specialista na ECO-mobilitu a chytré hodinky*. [online]. 2023 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.allhere.cz/>
- [17] FOX, G., F. *Technical / practical manual for the electric scooter*. Independently published, 2021. ISBN-13: 979-8721064852.
- [18] ELECTRIC SCOOTER GUIDE. *Ultimate Guide to Electric Scooters*. [online]. 2023 [cit. 2023-02-13]. Dostupné z: <https://electric-scooter.guide/guides/definitive-guide-electric-scooters/>
- [19] ITMIX. *Elektrokoloběžky: jak vybrat tu nejlepší?* [online]. [cit. 2023-02-10]. Dostupné z: <https://www.itmix.cz/recenze/elektrokolobezka/#brzdy>
- [20] ECOWHEEL.CZ. *CHOPPER KOLOBĚŽKY* [online]. [cit. 2023-02-10]. Dostupné z: https://www.ecowheel.cz/CHOPPER-KOLOBEZKY-c3_0_1.htm
- [21] NÁVOD K OBSLUZE. *Český návod k obsluze Elektrická koloběžka Xiaomi 1S*. [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.navod-k-obsluze.cz/elektricka-kolobezka-xiaomi-1s-55127-navod>
- [22] INSPORTLINE. *Proč si pořídit e-koloběžku a jak ji vybrat!* [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.insportline.cz/radce/256-proc-si-poridit-e-kolobezku-a-jak-ji-vybrat>
- [23] NÁVOD K OBSLUZE. *Český návod k obsluze Elektrická koloběžka Bluetouch BT2000*. [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.navod-k-obsluze.cz/elektricka-kolobezka-bluetouch-bt2000-103464-navod>
- [24] SMARTYDŮM. *Elektrokoloběžka se sedátkem Smoot M9* [online]. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://www.smartydum.cz/elektrokolobezky/elektrokolobezka-se-sedatkem-smoot-m9/>

[25] SCOOTER GUIDE. *Electric Scooters And Wheel Sizes* [online]. 2021 [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://scooter.guide/electric-scooters-and-wheel-sizes-why-wheel-size-is-important/>

[26] NÁVOD K OBSLUZE. *Český návod k obsluze Elektrická koloběžka Segway Kickscooter ES1*. [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.navod-k-obsluze.cz/elektricka-kolobezka-segway-kickscooter-es1-20692-navod>

[27] SENCOR. *Koloběžka Scooter One S20* [online]. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.sencor.cz/kolobezka/scooter-one>

[28] KAABO-OFFICIAL. *Wolf King GT Pro 2020 CZ EDITION* [online]. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://eshop.kaabo-official.cz/cs/wolf/1295-wolf-king-gt-pro-2022-cz-edition-8594176662527.html>

[29] NÁVOD K OBSLUZE. *Český návod k obsluze Elektrická koloběžka Razor E Prime*. [online]. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.navod-k-obsluze.cz/elektricka-kolobezka-razor-e-prime-34706-navod>

[30] X-SOOTERS. *X-scooters XR02 ECC 36V Li* [online]. [cit. 2023-02-20]. Dostupné z: <https://www.x-scooters.cz/cs/elektro-kolobezky/584-x-scooters-xr02-eec-36v-li.html>

[31] X-SOOTERS. *X-scooters XT04 72V Li* [online]. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.x-scooters.cz/cs/elektro-kolobezky/278-x-scooters-xt04-72v-li.html#&gid=null&pid=2>

[32] RCSKLADEM. *Super chopper eco highway 2000W* [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: https://www.rcskladem.cz/super-chopper-eco-highway-2000w-72km-hod-5-let-zaruka-na-motor-boshel-bez-baterie-901816002/?gclid=Cj0KCQiA6fafBhC1ARIsAIJL8klASBP-xrGqo3Z2HBbnGATOJKy3n_qaffhSdk0pee4MdtEwTm2d98aAqbXEALw_wcB

[33] BATTERYCHARGER.CZ. *Elektrická koloběžka City Boss GX2* [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.bch-battery.cz/Elektricka-kolobezka-City-Boss-GX2-cerna-250W-25km-h-24V-6Ah-dojezd-12km-d2477.htm#detail-anchor-description>

[34] CITYBOSS. *Uživatelský manuál elektrická koloběžka City Boss GX2* [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: https://www.bch-battery.cz/fotky36349/fotov/_ps_2477Navod-k-pouziti-City-Boss-GX2.pdf

[35] NÁVOD K OBSLUZE. *Český návod k obsluze Elektrická koloběžka Ninebot by Segway Zing C20*. [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.navod-k-obsluze.cz/elektricka-kolobezka-ninebot-by-segway-zing-c20-77456-navod>

[36] NINEBOT. *Ninebot eKickScooter ZING C8/C10/C20 uživatelský manuál* [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.euronics.cz/navod/elektricka-kolobezka-ninebot-by-segway-zing-c20-eljzingc20/p596653/>

[37] Shigley, J., E., Mischke, Ch., R., Budynas, R., G. *Konstruování strojních součástí*. Nakladatelství VUTIUM, VUT Brno, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

[38] UUMOTOR. *Dropout size 65mm hollow tire 6 inch gearless hub motor* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.uumotor.com/dropout-size-65mm-hollow-tire-6-inch-gearless-hub-motor.html>

[39] CITYBOSS. *Baterie City Boss GX2 24V / 6Ah* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.cityboss.eu/eshop/74/baterie-city-boss-gx2-24v--6ah.html>

[40] UUMOTOR. *180w-350w brushless motor controller* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.uumotor.com/180w-350w-brushless-motor-controller>

[41] UUMOTOR. *8 inch thin hub motor e-braking electric scooter kit* [online]. [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.uumotor.com/8-inch-thin-hub-motor-e-braking-electric-scooter-kit.html>

[42] GLOBAL-SPORT. *Odrážka zadní kulatá TWN červená* [online]. [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.global-sport.cz/odrazka-zadni-kulata-twn-cervena>

[43] AURORA ELECTRIC. *Everything You Want To Know About The E-Scooter Motor* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://auroraelectrico.com/electric-scooter-motor/#1-hub-motor>

[44] IMORE.CZ. *Přední reflexní odrazka pro Xiaomi Mi Electric Scooter 1S/2/3/PRO/PRO2/Essential* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.imore.cz/p/14060200-predni-reflexni-odrazka-pro-xiaomi-mi-electric-scooter-1s-2-3-pro-pro2-essential>

[45] LIDL.CZ. *CRIVIT Sada LED světel, 2dílná* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.lidl.cz/p/crivit-sada-led-svetel-2dilna/p100332545>

[46] DOOKIE.CZ. *Gripy – CANNONDALE XC-Silicone+ - Black* [online]. [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.imore.cz/p/14060200-predni-reflexni-odrazka-pro-xiaomi-mi-electric-scooter-1s-2-3-pro-pro2-essential>

[47] ALIEXPRESS.COM. *1 set 8 Inch Wheel 200x50 Pneumatic Wheel With Drum Brake Electric Scooter With Expansion Brake Aluminum Wheel Brake* [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/1005002884694513.html?spm=a2g0o.detail.1000014.22.5e703ee2s8nQcS&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.40000.317745.0&scm_id=1007.40000.317745.0&scm-url=1007.40000.317745.0&pvid=a79c982d-3229-43a7-84ab-a8573673eb4d&_t=gps-id:pcDetailBottomMoreOtherSeller,scm-url:1007.40000.317745.0,pvid:a79c982d-3229-43a7-84ab-a8573673eb4d,tpp_buckets:668%232846%238114%23746&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000027997128566%22%2C%22sceneId%22%3A%2230050%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21CZK%21905.29%21543.13%21%21%21%21%21%4021032fa116745742380611607e9692%2112000027997128566%21rec

- [48] PRUMEX. *Krytka klobouková pro šestihran M12 PVC černá s=19 mm* [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.prumex.cz/krytka-kloboukova-pro-sestihran-m12-pvc-cerna-s-19-mm/?gclid=CjwKCAiA3pugBhAwEiwAWFzwdUO49ngwb704Ssv7bl_UGW7yfZO_zIGs2BtS-YBzC4CRV0c71CTG4hoCvtcQAvD_BwE
- [49] TNTRADE.CZ. *Zvonek PRO-T stavitelný* [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.tntrade.cz/produkty-zvonek-pro-t-stavitelny-detail-130351?gclid=Cj0KCCQiAx6ugBhCcARIsAGNmMbgQZU13teWDRnKK2C4KDK20t3PTI3N5VeKZsqVeRcGDOCL9X1K9CcoaArddEALw_wcB
- [50] MINIBIKE-SHOP.CZ. *Přední blatník na koloběžku* [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://www.minibike-shop.cz/1455-predni-blatnik-na-kolobezku-uni.html>
- [51] KILLICH.CZ. *Kroutící momenty* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.killich.cz/stranky/technicke-info/kroutici-momenty>
- [52] EHLINIK.CZ. *Hliníkové profily, hliníkové plechy - e-shop* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/>
- [53] PROAL.CZ. *Hliníkové profily, tyče, plechy a desky* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://proal.cz/>
- [54] DUROVIS.CH. *Request forms*[online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.durovis.ch/en/inquiry-form>
- [55] TESAŘ, Miroslav, VALA, Miroslav. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-X
- [56] PROLÉKAŘE.CZ. *Sekulární trend v tělesné výšce a hmotnosti dospělé populace v České republice* [online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/casopis-lekaru-ceskych/2016-7/sekularni-trend-v-telesne-vysce-a-hmotnosti-dospELE-populace-v-ceske-republice-59856>

- [57] CIBULA, Karel. *Mechanika jízdního kola*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03016-4
- [58] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: ALBRA, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [59] POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY. *Jízdní kola s elektrickým motorkem, motorové koloběžky, motokola* [online]. [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/jizdni-kola-s-elektrickym-motorkem-motorove-kolobezky-motokola.aspx>
- [60] VELOFIALA.CZ. *Metody nabíjení baterií* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.velofiala.cz/n/metody-nabijeni-baterii>
- [61] CITYBOSS. *Nabíječka k elektrické koloběžce City Boss GX2* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.cityboss.eu/eshop/83/nabijecka--k-elektricke-kolobezce-city-boss-gx2.html>
- [62] HIMOTO.CZ. *Nabíjení pohonných baterií Ni-Mh / Li-Pol* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.himoto.cz/blog/nabijeni-pohonnych-baterii-ni-mh/>
- [63] VISITOR. *Návod k použití* [online]. 2021 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://www.cyklosvec.cz/upload_files/files/navod_zarucni_list_VISITOR%281%29.pdf
- [64] OPOJIŠTĚNÍ.CZ. *ČAP: Stoupá počet „elektro“ nehod na koloběžkách. Změna pravidel se blíží* [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.opojisteni.cz/pojistny-trh/pojistne-produkty/cap-stoupa-pocet-elektro-nehod-na-kolobezkach-zmena-pravidel-se-blizi/c:24849/>

PŘÍLOHY

Příloha A *Objednávkový list zkrutné pružiny [54]*

Příloha B *Mechanické vlastnosti materiálů [52]*

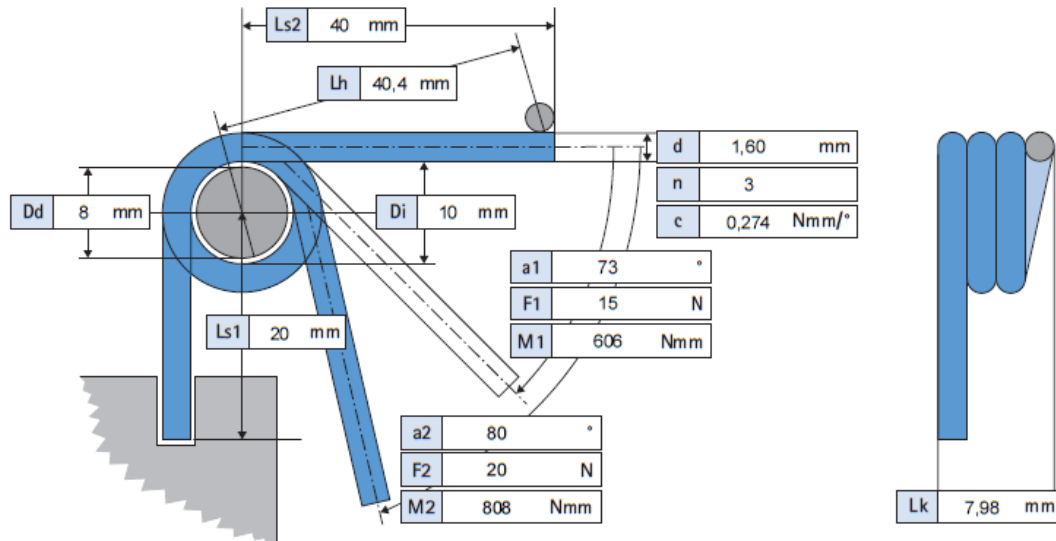
Příloha C *Výkres sestavy elektrokoloběžky*

Příloha D *Výkres sestavy svařence rámu*

Příloha E *Výrobní výkres nášlap*

Schenkelfeder
Ressort de torsion
Molla di torsione

Anfrage / Demande / Richiesta
 Bestellung / Commande / Ordinazione
 Absender / Expéditeur / Mittente:



Stellung der Schenkel 0° 90° 180° 270°
 Position des branches
 Posizione dei gambi

Form der Schenkel 1 2 3 4
 Forme des branches
 Forma dei gambi

Federstahl Sorte C nichtrostend 1.4310 rechtsgewunden linksgewunden
 acier ressort classe C inoxydable 1.4310 enroulé à droite enroulé à gauche
 acciaio molle classe C inossidabile 1.4310 avvolto a destra avvolto a sinistra

Zeichnung-Nr. / Dessin no / Disegno no

Ersteller / Auteur / Autore

Datum / Date / Data

d = Drahtstärke
 Di = Innendurchmesser
 Dd = grösster Dorndurchmesser
 Lh = Länge des Hebelarms
 Lk = Länge des Federkörpers
 Ls = Schenkellänge
 a = Drehwinkel
 c = Kraftzunahme in Nmm/°
 n = Anzahl Windungen
 F = Federkraft in N
 Mn = Drehmoment

d = diamètre du fil
 Di = diamètre intérieur
 Dd = diamètre maximum de l'axe
 Lh = longueur du bras de levier
 Lk = longueur du corps
 Ls = longueur de la branche
 a = angle de torsion
 c = raideur en Nmm/°
 n = nombre de spires
 F = charge en N
 Mn = moment de torsion

d = diametro del filo
 Di = diametro interno
 Dd = diametro albero massimo
 Lh = lunghezza del braccio di leva
 Lk = lunghezza del corpo
 Ls = lunghezza del gambo
 a = angolo di torsione
 c = costante in Nmm/°
 n = numero delle spire
 F = carico in N
 Mn = momento torcente

Příloha B *Mechanické vlastnosti materiálů [52]*

Mechanické a technologické vlastnosti nabízených slitin hliníku

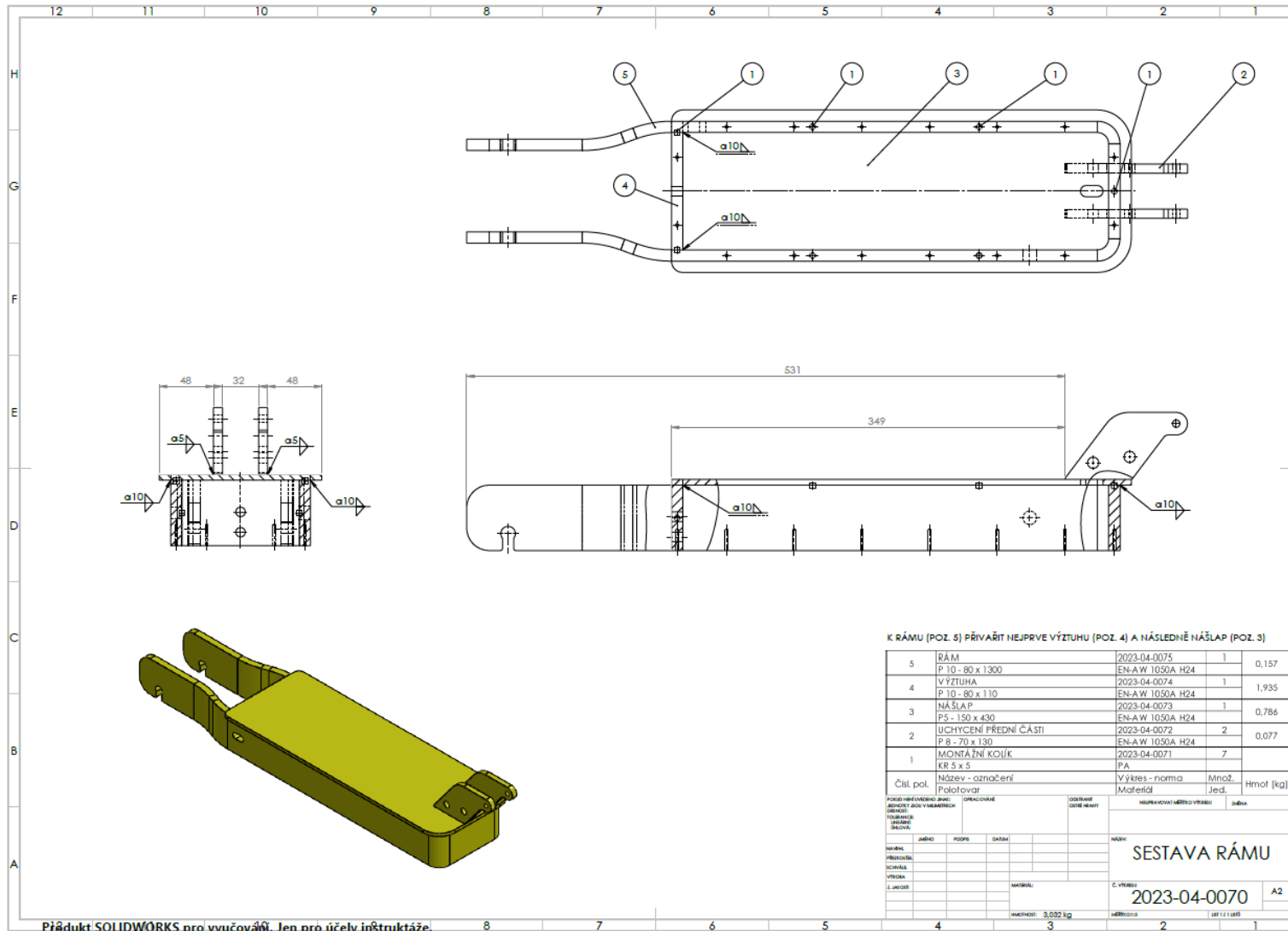
Označení dle EN AW	Označení dle ČSN	Chemické složení	Stav materiálu	Pevnost v tahu Rm (Mpa)	Mez kluzu min. Rp (Mpa)	Tažnost A% min.	Vhodnost k eloxu	Korozní odolnost	Svažitelnost	Obrobitelnost
1050A	42 4005	Al99,5	O/H111 H24	65-95 105-145	20 75	20 4	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	špatná
2007	42 4254	AlCu4PbMgMn	T4511	330-370	210	8	špatná	špatná	špatná	velmi dobrá
2017A	42 4201	AlCu4Mg	T4	min. 360	240	10	přijatelná	přijatelná	přijatelná	dobrá
2024	42 4203	AlCu4Mg1	T351	min. 400	270	8	špatná	přijatelná	špatná	velmi dobrá
5083	42 4415	AlMg4,5Mn0,7 / AlMg5	H111	min. 270	110	12	přijatelná	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
5754	42 4413	AlMg3	O/H111 H114 H22 H24	180-250 190-260 220-270 240-280	80 80 130 160	17 15 9 8	dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
6060	42 4401	AlMgSi	T4 T6 T64 T66	min. 120 190 min. 180 min. 215	60 150 120 160	16 8 12 8	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	přijatelná
6063	42 4401	AlMg0,7Si	T4 T6 T66	min. 130 min. 200 min. 245	65 170 200	12 8 8	dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
6082	42 4400	Al Si1MgMn	T4 T6 T651	min. 205 min. 290 min. 300	110 240 240	14 8 4	dobrá	velmi dobrá	dobrá	dobrá
7075	–	AlZn5,5MgCu	T651	min. 470	400	6	špatná	přijatelná	špatná	velmi dobrá

Stupnice hodnocení:

1. velmi dobrá
2. dobrá
3. přijatelná
4. špatná

Pozn.: Uvedené hodnoty a údaje jsou pouze orientační.

Příloha D Výkres sestavy svařence rámu



K RÁMU (POZ. 5) PŘIVAŘIT NEJPRVE VÝZTUHU (POZ. 4) A NÁSLEDNĚ NÁŠLAP (POZ. 3)

Čísł. pol.	Název - označení	Výkres - norma	Množ.	Hmot [kg]
5	RÁM P 10 - 80 x 1300	2023-04-0075	1	0,157
		EN-AW 1050A H24		
4	VÝZTUHA P 10 - 80 x 110	2023-04-0074	1	1,935
		EN-AW 1050A H24		
3	NÁŠLAP P5 - 150 x 430	2023-04-0073	1	0,786
		EN-AW 1050A H24		
2	UCHYČENÍ PŘEDNÍ ČÁSTI P 8 - 70 x 130	2023-04-0072	2	0,077
		EN-AW 1050A H24		
1	MONTÁŽNÍ KOJÍK KR 5 x 5	2023-04-0071	7	
		PA		

Čísł. pol.	Název - označení	Výkres - norma	Množ.	Hmot [kg]
	Polotovár	Material	Jed.	

POZICE	JMENO	POPS	DATA	POZICE	JMENO	POPS	DATA

NAZEV	Č. VÝKRESU	HEBROJKA
SESTAVA RÁMU	2023-04-0070	A2
	18711189	

Příloha E Výrobní výkres nášlapu

