

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh přívěsného vozíku za osobní automobil s kompenzací úbytku výkonu

Autor: **Bc. Kateřina KOPELTOVÁ**
Vedoucí práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Kateřina KOPELTOVÁ
Osobní číslo:	S17N0010P
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Dopravní a manipulační technika
Téma práce:	Návrh přívěsného vozíku za osobní automobil s kompenzací úbytku výkonu
Zadávací katedra:	Katedra konstruování strojů

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhněte elektricky poháněný přívěsný vozík za osobní automobil. Vozík má sloužit pro kompenzaci úbytku výkonu elektromobilu potřebného pro tažení přívěsného vozíku. Proveďte rešerši současných řešení a srovnajte jejich vlastnosti. Definujte jízdní režimy. Stanovte jízdní odpory vozíku a potřebný výkon elektromotoru pro částečnou kompenzaci jízdních odporů. Konstrukční návrh by měl obsahovat návrh elektrického pohonu včetně jeho uspořádání, návrh a umístění baterií a návrh vozíku.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, definice jízdních režimů, stanovení jízdních odporů
2. Specifikace požadavků. Návrh variant řešení a jejich hodnocení
3. Konstrukční návrh zvolené varianty, výpočty, dokumentace
4. Hodnocení z hlediska konstrukce, technologie a nákladů
5. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojího inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999

LEINVEBER, J., VÁVRA P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2017

STANĚK, J., NĚMEC, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: ZČU, 2005

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Vilém Wolf**
MBtech Bohemia, s.r.o., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala panu Ing. Romanovi Čermákovi, Ph.D. za odborné rady, dohled a za ochotný přístup při tvorbě diplomové práce. Poděkování také samozřejmě patří panu Ing. Vilémovi Wolfovi za jeho cenné rady a věcné připomínky při konzultacích diplomové práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kopelentová	Jméno Kateřina	
STUDIJNÍ OBOR	2301T001 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, Ph.D.	Jméno Roman	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh přívěsného vozíku za osobní automobil s kompenzací úbytku výkonu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	108	TEXTOVÁ ČÁST	85	GRAFICKÁ ČÁST	23
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce se zabývá studií proveditelnosti přívěsného vozíku s vlastním pohonem. Cílem je částečná kompenzace ztrát elektromobilu při tažení přívěsu. Práce obsahuje rešerši trhu v oblasti pohonů přívěsů, návrh vhodných variant, výběr optimální varianty a konstrukční návrh zvolené varianty, podle požadavků zadavatele. Návrh je podložen analytickými výpočty a výpočty MKP.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Přívěs, elektromobil, elektromotor, MKP

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Kopelentová	Name Kateřina	
FIELD OF STUDY	2301T001 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, Ph.D.	Name Roman	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of a trailer for a passenger car with power loss compensation		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	108	TEXT PART	85	GRAPHICAL PART	23
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The diploma thesis is addressing feasibility study of self propelled trailer. Partial compensation of electric car power loss, when towing a trailer. The thesis contains research of market in field of trailer propulsion, proposal of suitable options, selection of optimal option design proposal of selected option according to MBtech Bohemia company requirements. The Proposal was supported by analytical calculations and FEA calculations.</p>
KEY WORDS	Trailer, electric car, electric motor, FEA

Obsah

1	Úvod	10
1.1	Představení společnosti MBtech Bohemia s.r.o	10
2	Elektromobilita	11
3	Elektromobily	11
3.1	Historie Elektromobilů	11
3.1.1	Historie elektromobilů ve světě.....	12
3.1.2	Historie elektromobilů v České republice	13
3.2	Elektromobily v dnešní době	14
4	PřípojnÉ vozidlo	15
4.1	Jízdní souprava s přívěsem	15
4.2	Jízdní souprava s návěsem.....	15
4.3	Rozdělení přípojných vozidel dle zákona.....	16
4.4	Rozdělení přívěsů	16
5	Požadavky dané legislativou	17
5.1	Rozměry přípojných vozidel	17
5.2	Hmotnost	17
5.3	Nejvyšší rychlost	17
5.4	ABS přípojnÉho vozidla	18
5.5	Světelná zařízení.....	18
5.5.1	Světlomety	18
5.5.2	Svítilny	18
5.5.3	Brzdová svítilna.....	18
5.5.4	Směrová svítilna	19
5.5.5	Zadní obrysová svítilna	19
5.5.6	Přední obrysová svítilna	19
5.5.7	Zadní mlhová svítilna	19
5.5.8	Zadní zpětná svítilna.....	20
5.5.9	Parkovací svítilna	20
5.5.10	Osvětlení zadní registrační značky	20
5.5.11	Přední odrazka	20
5.5.12	Zadní odrazka	20
5.5.13	Boční odrazka	21
5.6	Povinná výbava.....	21
5.7	Registrace vozidla.....	21
6	Existující varianty	21
6.1	EP Tender	21

6.2	E.Home Coco	22
7	Jízdní odpory	23
7.1	Odpor tahu	23
7.2	Odpor valení	24
7.2.1	Součinitel valivého odporu kola.....	25
7.3	Odpor stoupání	26
7.4	Vzdušný odpor.....	26
7.4.1	Součinitel vzdušného odporu	27
7.4.2	Měrná hmotnost vzduchu	27
7.4.3	Čelní plocha přivěsu	27
7.4.4	Výsledná rychlost proudění vzduchu	27
7.5	Odpor zrychlení	28
7.6	Hnací síla	28
7.7	Minimální potřebný výkon	29
7.8	Výkon potřebný k jízdě do kopce.....	30
8	Návrh variant	30
8.1	Kritéria výběru.....	30
8.2	Varianty řešení.....	31
8.2.1	Varianta A	31
8.2.2	Varianta B.....	32
8.3	Výběr optimální varianty.....	33
9	Elektromotory	34
9.1	Stojnosměrné elektromotory.....	35
9.2	Střídavé elektromotory	35
9.3	Elektromotory používané pro pohon vozidel	35
9.4	Návrh elektromotoru.....	36
9.4.1	Varianta 1	36
9.4.2	Varianta 2	37
9.4.3	Varianta 3	37
10	Akumulátor a měnič.....	39
10.1	Výběr akumulátoru	39
10.2	Návrh akumulátoru	40
10.2.1	Varianta 1	42
10.2.2	Varianta 2	44
10.2.3	Varianta 3	44
10.2.4	Zhodnocení.....	45
10.3	Měnič	46

10.3.1	Frekvenční měnič	46
10.3.2	Stejnoseměrný měnič	47
11	Diferenciál	47
12	Řídicí systém přívěsu	48
12.1.1	Mikrospínač	49
12.1.2	Snímač polohy	49
12.1.3	Snímač otáček	51
12.1.4	Snímač teploty	51
12.1.5	Snímač náklonu	51
13	Konstrukční návrh	52
13.1	Výběr homologovaných součástí potřebných pro konstrukci	53
13.1.1	Zásuvky přívěsu	53
13.1.2	Osvětlení přívěsu	54
13.1.3	Spojovací zařízení	55
13.1.4	Odpružení	56
13.1.5	Kola	57
13.2	Kryt akumulátoru a elektro komponent	57
13.3	Konstrukce oje	57
13.4	Konstrukce rámu	58
	Výpočet napětí v ohybu profilu	58
13.5	Připojení elektromotoru	61
13.6	Poloha nápravy přívěsu	62
13.6.1	Zatížení tažného zařízení	62
14	Statická napěťová analýza rámu	65
14.1	Výpočtový model rámu	65
14.2	Zasíťování modelu rámu	66
14.3	Okrajové podmínky	67
14.4	Zátěžné stavy	68
14.5	Zhodnocení výsledků	68
14.5.1	Celkové posunutí	69
14.5.2	Posunutí v jednotlivých osách	71
14.5.3	Redukované napětí	72
15	Technicko-ekonomické hodnocení	74
15.1	Ekonomické hodnocení	74
15.2	Technické hodnocení	76
16	Závěr	78
17	Seznam použité literatury	79

17.1	Knižní publikace	79
17.2	Publikace na internetu	79
17.3	Směrnice a vyhlášky	81
18	Seznam příloh	85
18.1	Tištěné přílohy	85
18.2	Elektronické přílohy na CD	85

1 Úvod

Hlavním cílem diplomové práce je konstrukční návrh přívěsného vozíku s vlastním pohonem. Tento vozík je určený k používání s elektromobily. V dnešní době se čím dál tím více řeší globální problémy společnosti. Mezi ně patří hlavně klimatické změny, ubývání fosilních paliv a znečišťování ovzduší. Možným řešením těchto problémů se jeví využívání elektromobilů. Elektromobily nebo hybridní automobily by měly nahradit v budoucnu automobily se spalovacími motory. V České republice je velmi rozšířené využívání přívěsů za automobil. Připojením přívěsu k elektromobilu dojde k velkým ztrátám a snížení dojezdu. Využitím pohonu přívěsu dojde k částečné kompenzaci ztrát elektromobilu. Požadavky zadavatele byly kategorie vozíku O2, velikost ložné plochy 3 000 x 1 500 mm. Následně vozík musí splňovat legislativní požadavky, aby mohl být homologovaný na konstrukční rychlost 130 km/h. Pohon přívěsu by měl pokrýt ztráty při jízdě 130 km/h po rovině a při jízdě do kopce 80 km/h s dojezdem 200 km.

V první části práce je uvedení do problematiky a rozvoj elektromobility. Následuje rešerše trhu v oblasti pohonů přívěsů a popis již existujících návrhů prodloužení dojezdu elektromobilů.

Druhá část práce se zabývá již přímo návrhem variant, jejich hodnocení z hlediska požadavků a konstrukčního návrhu zvolené varianty. K samotné konstrukci rámu je nejprve nutné zjistit velikost ztrát a potřebný výkon motoru. S tím souvisí samotný návrh motoru a potřebných akumulátorů. V rámci práce je nutné vyřešit řízení přívěsu a hrubý návrh potřebné elektroniky. Hlavní částí je návrh samotného rámu přívěsu, komponent potřebných pro pohon a jejich uchycení.

Poslední část je zaměřena na pevnostní a tuhostní ověření konstrukce rámu pomocí MKP výpočtů. Na závěr je konstrukce zhodnocena z technicko – ekonomického hlediska. Kompletní výkresovou dokumentaci zadavatel nevyžaduje, část výkresové dokumentace je představena v rámci volně přiložených příloh.

1.1 Představení společnosti MBtech Bohemia s.r.o

Zadavatelem této diplomové práce je společnost MBtech Bohemia s.r.o. „V roce 1996 byla založena první pobočka jako dceřiná firma koncernu Daimler. Během 20 let se společnost stala jedním z největších poskytovatelů inženýrských služeb v České republice. Rozsah služeb je veliký. Specializují se hlavně na oblasti automobilového, leteckého a železničního průmyslu. Mají špičkové znalosti i v oboru zemědělské a dřívinné techniky, lesní a zahradní techniky, obranného průmyslu a manipulační techniky.“[10]

„V roce 2012 odkoupila 65 % podílu v MBtech Group francouzská firma AKKA Technologies. Zbytek podílu přešel pod vlastnictví AKKA v roce 2019. Od roku 2020 již společnost vystupuje pod názvem: AKKA Czech Republic s.r.o. Vznikla tak globální engineeringová společnost, která působí ve více než 20 zemích světa, zaměstnává přes 13 000 techniků a inženýrů. Společnost zaměstnává kolem 500 zaměstnanců a má 5 poboček v rámci České republiky“[10]

„AKKA Czech Republic je spolehlivý partner, který zákazníkům poskytuje podporu ve všech fázích procesu vývoje výrobků od návrhu přes vývoj, vytváření prototypů a jejich testování až po sériovou výrobu. Jsou průkopníky moderního technologického engineeringu.“[10]



Obrázek 1 Logo AKKA [10]

2 Elektromobilita

Elektromobilita je oblast rozvoje mobility, přenosových soustav, distribučních sítí a dalších věcí, které s tím souvisí. Představa elektromobility nejsou pouze elektromobily jako takové, ale celý směr, kterým by se mohlo lidstvo vydat v rámci boje s globálními problémy. Globálními problémy jsou myšleny především klimatické změny, znečišťování ovzduší a ubývání zásob fosilních paliv. Na celém světě se neustále zvyšuje počet automobilů. Ty mají za následek větší počet dopravních zácp, nehod, problémy s parkováním, a hlavně znečišťování ovzduší a velkou spotřebu fosilních paliv. To bylo také jedním z mnoha důvodů, proč se vůbec začalo uvažovat o výrobě elektromobilů.

3 Elektromobily

Elektromobily jsou vozidla poháněná pomocí elektromotorů. Oproti vozidlům se spalovacím motorem mají několik výhod. Mezi největší výhody patří tichý chod a nulová produkce emisí během chodu motoru. Dalšími výhodami jsou relativně jednoduchá konstrukce a využívání obnovitelných zdrojů.

Samotné elektromotory jsou napájeny akumulátory. Hlavním limitujícím prvkem elektromobilu je velikost potřebné elektrické energie. To znamená kapacita akumulátoru, ve kterém je potřebná energie uložena.

Hnací ústrojí elektromobilu je principiálně stejné, jako zmenšená varianta pohonu trolejových dopravních prostředků. Patří sem hlavně vlaky a tramvaje. Tento druh pohonu se využívá také u městských dopravních prostředků jako je metro a trolejbus. Nejčastější využití mají stejnosměrné komutátorové motory, střídavé synchronní nebo asynchronní motory doplněné frekvenčním měničem nebo stejnosměrné motory s elektronickou komutací. Reluktanční motory se moc nevyužívají. Avšak výhledy do budoucna předpokládají jejich využití. Tyto motory se vyznačují vlastnostmi vhodnými právě pro využití v elektromobilech. Jedná se o vysokou účinnost, vysoký výkon v poměru k hmotnosti, velký záběrový moment, vysokou mechanickou odolnost a jednoduchou konstrukci. Jejich hlavním nedostatkem je vyšší hlučnost. Synchronní motor s permanentními magnety se zdá být nejvýhodnější variantou. Tento motor oproti asynchronnímu motoru má vyšší kroutící moment v poměru k hmotnosti, vyšší momentovou přetížitelnost, menší moment setrvačnosti a menší oteplení. Podrobný rozbor elektromotorů je v kapitole 9 Elektromotory. Samotný vznik elektromobilů a jejich historie jsou popsány v následující kapitole.

3.1 Historie Elektromobilů

Mnoho lidí si myslí, že elektromobily vznikaly v nedávné době, to ale není pravda. První zmínka o elektromobilech byla již v polovině 19. století. V tomto století se rozvíjelo mnoho nových vynálezů využívající elektrickou energii. Tehdy vznikaly první elektrické kočáry a drožky.

3.1.1 Historie elektromobilů ve světě

Za prvotní podnět by se dal považovat vynález maďarského fyzika Ányose Jedlika. Ten zkonstruoval prototyp elektromotoru, který poháněl jeho malý modelový vůz. V roce 1835 holandský profesor Sibrandus Stratingh společně se svým asistentem Christopherem Beckerem vytvořili malý elektrický vůz poháněný neredukovatelnými primárními články. Dalším významným průlomem byl elektromobil Williama Morrise, který sestrojil vůz převážející až 6 cestujících. Tento vůz dosahoval rychlosti až 14 mil za hodinu. [12]

V roce 1899 byl sestaven první elektromobil, který překonal hranici rychlosti 100 km/h. Tvarově připomínal doutník a vynálezcem byl konstruktér Camille Jénatzy. V té době zajišťovaly elektromobily větší komfort a snadné ovládání. Automobily se spalovacím motorem se totiž musely startovat klikou, byly velmi hlučné a náročné na údržbu. Začátek 20. století přinesl vynález elektrického startéru. Došlo k sériové výrobě automobilů Henryho Forda, který vytlačil elektromobily. Automobily se spalovacím motorem se staly tiššími a dosahovaly větších dojezdů. Celkovým rozvojem spalovacích motorů došlo k úpadku rozvoje elektromobilů. Hlavním problémem rozvoje byl plošně nepodporovaný vývoj a výzkum baterií. Změnu přinesly až ropné krize, například Suezská krize nebo období ropných šoků v 70 letech 20. století. V tomto období začaly vývojové týmy opět pracovat na elektromobilech. Například Československo mělo za úkol, na základě nedostatků ropy, vytvořit pro RVHP malé rodinné elektrické auto. Žádný z tehdejších projektů se sice nezačal vyrábět v sérii, ale zahájil se vývoj v této oblasti automobilizmu. Průlom ve vývoji elektromobilů nastal v době, kdy se k problémům kvůli zásobování ropy přidaly i problémy se znečišťováním ovzduší výfukovými zplodinami.



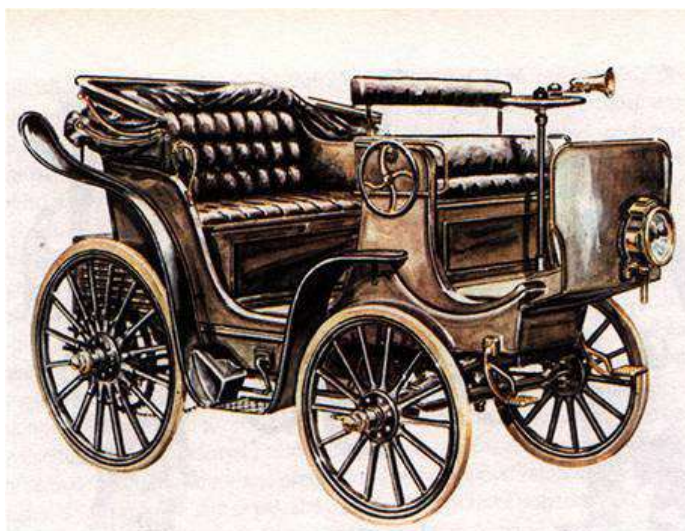
Obrázek 2 Elektromobil Camille Jénatzy, který překonal hranici 100 km/h [12]

V roce 1990 se na základě těchto problémů Kalifornie rozhodla automobilky motivovat a přijala zákon o Vozidlech s nulovými emisemi. Ten se rozšířil i do ostatních států Unie. Tento zákon kromě jiného také stanovuje povinnost firem, prodávajících automobily na kalifornském trhu, zavést alespoň jeden model bezemisního vozidla do svého portfolia. Na základě toho se začal vyrábět legendární automobil EV1 automobilky General Motors. Tyto vozy byly poskytovány pouze formou leasingu. Pro společnost byla výroba EV1 nevýdělečná. Trž-

ní cena pokryla pouze polovinu nákladů. Právě kvůli tomu a kvůli nátlaku ropných společností, byla výroba EV1 roku 2003 zastavena. Současné vozy byly společnostmi odkoupeny a sešrotovány. K tomuto zákonu se kromě General Motors připojili například i Toyota, Honda a Ford. Výsledkem byly modely Toyota RAV4EV, Honda EV a Ford Th!nk City. Toyota a Honda, stejně jako General Motors, stáhly své vozy z oběhu ve stejném roce a nechaly je sešrotovat. Ford Th!nk City měl skončit stejně jako ostatní vozy, ale díky norské vládě a odporu zákazníků se povedlo továrnu odkoupit a většina elektromobilů se vrátila do Norska. [11]

3.1.2 Historie elektromobilů v České republice

V České republice byl průkopníkem elektromobility Ing. František Křižík. Ten v roce 1895 představil vůz poháněný stejnosměrným elektromotorem s výkonem 3,6 kW. Napájení bylo provedeno přes olověný akumulátor s 42 články. Následně zkonstruoval ještě další dva modely. Všechny měly pohon zadní nápravy. Do třetího modelu byl přidán spalovací motor, který prodlužoval dojezd. Vznikl tím v podstatě první hybridní automobil. [20]



Obrázek 3 První elektromobil Františka Křižíka [20]

Stejně jako ve světě došlo k úpadku rozvoje elektromobilů na začátku 20. století a jejich vývoj se zintenzivnil v důsledku dopadu ropných krizí. Od roku 1968 brněnský Výzkumný ústav elektrických strojů točivých (VÚES), ve spolupráci s Vysokým učením technickým (VUT), pracoval na prototypu elektrického městského automobilu (EMA). Byly vytvořeny dva typy. První malý třídvéřový osobní automobil EMA 1 a druhý užitkový vůz EMA 2. Výchozí model pro tyto vozy byl vůz Barkas. Tento projekt byl nakonec v roce 1973 zastaven a k sériové výrobě nikdy nedošlo.

Od tohoto projektu došlo ještě k několika dalším pokusům. Po roce 1989 byly uskutečněny desítky přestavění sériových vozů na elektromobily. Jedna z prvních přestaveb byla změna Škody Favorit na Škodu Shortcut. To bylo realizováno firmou Ekolo. Podnětem byla zakázka od švýcarského zákazníka, který v roce 1991 chtěl dalších 1000 ks, proto byla zakázka přesunuta do pobočky firmy Škoda v Plzni. Tento elektrický model nesl označení Eltra 151L. Dalším elektromobilem, který se začal vyrábět v sérii byl čtyřmístný elektromobil s celohliníkovou karosérií Liaz 01 02 XGJ, vyráběný firmou Liaz ve spolupráci s firmou Di-oss. Produkce činila 3 000 až 5 000 ks ročně. Projekt byl financován kanadskou firmou. Ta ale roku 1993 odstoupila a z důvodu nedostatku peněz byl projekt po roce zastaven. [6]



Obrázek 4 Elektromobil Škoda Shortcut [18]

3.2 Elektromobily v dnešní době

V dnešní době jsou elektromobily jednodušší než klasické automobily se spalovacím motorem. Nejčastější konstrukce se svojí stavbou podobá klasickému automobilu, to je velmi často dané tím, že z něho vychází. Místo, určené pro nádrž s palivem, je zastavěno akumulátory a v prostoru pro spalovací motor je elektromotor a potřebná elektronika. Akumulátory jsou umístěné také v prostoru podlahy, kde snižují těžiště celého vozidla a zajišťují tím větší stabilitu. V celém systému chybí manuální převodovka. Ta je nahrazena ve většině případů jednostupňovou automatickou převodovkou tzv. reduktorem. Vzhledem ke zvyšování výkonu vozidel dochází ke zvyšování hmotnosti a zvětšování zástavbového prostoru, proto se jeví jako vhodná varianta kombinace elektromotoru s vícestupňovou převodovkou. V dnešní době se již na trhu objevují dvoustupňové převodovky, důkazem toho je sportovní plug - in hybrid BMW i8. Dvoustupňové převodovky zajišťují využití motoru v oblasti vyššího krouťacího momentu a zvýšení maximální rychlosti. Výsledkem je celkové zvýšení účinnosti elektromobilu. Předpoklad ve vývoji převodovek v elektromobilech je využití třístupňových, popřípadě čtyřstupňových. Ty by měly zajistit elektromobilu větší dojezd při jízdě na dálnici a mimo město. Na městský provoz plně dostačuje běžně používaná jednostupňová převodovka. Důsledkem využití automatické převodovky není potřeba řadicí páka. Místo ní je pouze ovládací páka, kterou se určuje směr jízdy, popř. parkování. Samotný elektromotor je bezúdržbový a jeho hlavní předností je, že během jeho chodu nevznikají žádné emise. Elektromotory musejí splňovat evropské standardy. [19]

To byl celkový pohled na dnešní elektromobily z pohledu technických parametrů a teď už jejich samotné zastoupení na trhu. Neznámější elektromobily jsou od firmy Tesla. Tyto elektromobily jsou jedny z nejdražších, ale i nevykonnějších. Na výběr je již několik modelů: model S, poněkud levnější varianta model 3 a model X. Nabízená nejvyšší verze modelu S má dojezd až 509 km.

Nejprodávanějšími elektromobily v Evropě v roce 2018 byly elektromobily Nissan Leaf. Ty mají dojezd až 270 km. Oproti vozům Tesla jsou výrazně levnější, a tedy i dostupnější. Nejnovější model je velmi oblíbený u uživatelů. Důkazem toho je i fakt, že automobilka nestihá vyrábět.

Zastoupení na trhu elektromobilů má i Česká republika. Automobilka Škoda uvedla na trh řadu ŠKODA iV. Jedná se o vůz CITIGOE iV a vůz SUPERB iV. Mezi těmito vozy je zásadní rozdíl. Vůz Citigoe je plně elektrický, kdežto Superb je typu plug-in. Druh plug-in

znamená, že se jedná o hybrid, který využívá kombinaci ověřeného benzínového motoru a elektromotoru. Jízda může být tedy v čistě elektrickém režimu nebo v hybridním režimu. Při využití čistě elektrického režimu je dojezd 62 km. Oproti tomu vůz Citigoe má dojezd až 253 km.[14] [15]



Obrázek 5 Plně elektrický vůz Škoda CITIGOE iV [14]

V současnosti zaujímají v osobní dopravě stále větší oblast automobily s klasickými spalovacími motory. V nejbližší době se to pravděpodobně nezmění, ale vyhlídka do budoucnosti předpokládá, že elektromobily by se měly dostat do popředí. V Evropské unii, Asii a Americe probíhají rozsáhlé výzkumy technologií, které mají za úkol dosáhnout čistější a environmentálně přátelštější dopravy.

Záměrem vývoje elektromobilů bylo vyvinout je tak, aby byly využitelné zcela jako automobily se spalovacími motory. Tím se dostáváme právě k záměru diplomové práce. V České republice je velký trend využívat přípojná vozidla. Kombinace elektromobilu s přípojným vozidlem zatím není zcela vyřešena, protože přípojně vozidlo výrazně snižuje dojezd samotného vozidla. Cílem je vyvinout přípojně vozidlo takové, které by bylo schopné vlastního pohonu. Pohon by měl pokrýt ztráty, které kvůli němu vznikají elektromobilu. Tím by nedocházelo ke snižování dojezdu. Specifikace přípojně vozidla jsou popsány v následující kapitole.

4 Přípojně vozidlo

Přípojně vozidlo je obecně označení nemotorového taženého vozidla, které ve spojení s motorovým tažným vozidlem tvoří jízdní soupravu. Existují dva základní druhy provedení jízdních souprav. Jedná se o kombinaci vozidla s přívěsem nebo návěsem.

4.1 Jízdní souprava s přívěsem

V tomto případě je na tažné vozidlo přenášena pouze malá část tíhy přívěsu. Rovnoměrně zatížený přívěs přenáší téměř celé svislé zatížení. Ojí vozidlo táhne přívěs, kterému poskytuje elektrický proud. Tažné vozidlo zajišťuje i brzdný účinek, pokud jím není přívěs vybaven. Přívěs neobsahuje hnací nápravu ani vlastní pohon. To by se ale v tomto případě mělo změnit. Přívěs se dá jednoduše odpojit i při naložení malého nákladu. Existuje různé provedení a velikosti přívěsů, nápravy přívěsu mohou být jedna až tři. Největší možné rozměry a hmotnosti upravuje zákon č. 56/2001 Sb. O podmínkách provozu na pozemních komunikacích a vyhláška č. 341/2002 Sb. [53] [54]

4.2 Jízdní souprava s návěsem

V tomto případě je na tažné vozidlo, označované jako tahač, přenášeno značné zatížení od návěsu. Tahač je konstruován tak, že bez návěsu nepřeváží žádný náklad. Návěs se do

jízdní soupravy připojuje pomocí točnice a návěsového čepu. U návěsů je celá ložná plocha v jednom kuse a umožňuje tím lepší uspořádání přepravovaného nákladu. To může být výhodou, zároveň se to stává nevýhodou při přepravě menšího množství nákladu. Ložná plocha nejde nijak přizpůsobit, popřípadě zmenšit, danému přepravovanému nákladu. [4]

4.3 Rozdělení přípojných vozidel dle zákona

Zařazení přípojných vozidel je podle zákona č. 56/2001 Sb. s označením kategorie O. Ta je dále rozdělena na čtyři podskupiny O1 až O4. Skupina O1 zahrnuje přípojná vozidla s největší technicky přípustnou hmotností do 750 kg. Skupina O1 obsahuje přípojná vozidla, která jsou nebrzděná. Skupina O2 obsahuje přípojná vozidla s největší technicky přípustnou hmotností přesahující 750 kg, ale nepřesahující 3 500 kg. Do skupiny O3 spadají přípojná vozidla s největší technicky přípustnou hmotností převyšující 3 500 kg, ale nepřevyšující 10 000 kg. Poslední skupinou O4 jsou přípojná vozidla s největší technicky přípustnou hmotností přesahující 10 000 kg. Skupiny O2, O3 a O4 obsahuje již brzděná přípojná vozidla. Zákon upravuje i přípojná vozidla traktorů s označením OT. Tato kategorie, ale nesouvisí se zadáním diplomové práce, proto není uváděna.

Využití přípojného vozidla je omezeno také zákonem 361/2000 Sb., který upravuje povinnost mít řidičské oprávnění. Držitel řidičského průkazu skupiny B je oprávněn řídit vozidlo s největší povolenou hmotností nepřevyšující 3 500 kg, určené k přepravě nejvýše 8 osob kromě řidiče, ke kterému smí být připojeno přípojně vozidlo s největší povolenou hmotností nepřevyšující 750 kg nebo přípojně vozidlo s největší povolenou hmotností převyšující 750 kg, pokud největší povolená hmotnost jízdní soupravy nepřevyšuje 3 500 kg. Držitel řidičského oprávnění skupiny B+E je oprávněn řídit jízdní soupravu nepřesahující největší povolenou hmotnost 7 000 kg, tj. vozidlo s největší povolenou hmotností do 3 500 kg s přípojným vozidlem nepřesahující 3 500 kg. [40] [55]

4.4 Rozdělení přívěsů

Přívěsy lze rozdělit do mnoha druhů podle jejich účelu a použití. Mezi největší skupinu patří nákladní přívěsy. Ty mohou být doplněné o rámovou konstrukci se zakrývající plachtou, která může usnadnit transport během zhoršeného počasí. Nejvíce využívané jsou přívěsy valníkové. Jejich konstrukce umožňuje otevření jednotlivých bočnic, a proto jsou vhodné i pro převoz sypkého materiálu. Bočnice a čela mohou být pevné nebo sklopné, popřípadě plně odnímatelné. Jednodušší provedení přívěsů jsou tzv. plata. Ta jsou využívána pro převoz dopravních prostředků, například osobních automobilů, čtyřkolek, motocyklů i manipulační techniky. Bočnice jsou tvořeny nízkou rámovou hrazdou nebo zcela chybí. Podlaha bývá většinou plná nebo je tvořena nájezdovými děrovanými pruhy. Dále do skupiny nákladních přívěsů spadají i speciální přívěsy například na přepravu letadel (převážně ultralehkých) nebo malých plavidel.

Další skupiny jsou již specifické. Patří tam například obytný přívěs nebo přívěs určený pro přepravu zvířat. Obytný přívěs, označovaný také jako karavan. Jedná se o jednoúčelový přívěs vybavený a určený pro krátkodobé mobilní ubytování osob. V České republice je ale přeprava osob v karavanu zakázána. Přívěs pro přepravu zvířat je speciálně upravený. Většinou se v něm přepravují koně na závody. Tyto přívěsy jsou konstruované pro jednoho až tři koně. K většímu počtu přepravovaných koní jsou využívány upravené kamiony. [4]

V rámci méj diplomové práce se budu dále zabývat pouze nákladním přívěsem označovaným jako tzv. plato.



Obrázek 6 Přívěsný vozík typu plato[21]

5 Požadavky dané legislativou

Motorová vozidla musí splňovat technické požadavky upravované vnitrostátními právními předpisy. Ty se zabývají nejenom motorovými vozidly, ale i zařízeními s nimi spojenými. V průběhu let začaly vznikat problémy při exportu, následkem toho bylo zavedení jednotných požadavků v rámci členských států Evropské unie. Tím došlo k odstranění komplikací a vytvořily se tzv. standardy. Výsledkem je směrnice evropského parametru a rady 2007/46/ES vydaná 5. září 2007. Tato legislativa zajišťuje to, že pokud si koupí zákazník přívěsný vozík například v Německu, bude mít zaručenou kvalitu. Tato kvalita je předepsaná danou směrnicí nebo normou. Někteří výrobci splňují i přísnější požadavky vyplývající z vlastní interní směrnice, než je státní legislativa. [55]

Přívěsný vozík je konstruován za účelem denního využití na silnici, proto musí být navržen tak, aby splňoval požadavky na homologaci v rámci České republiky. Tyto podmínky jsou upravovány zákonem č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, zákonem č. 56/2001 Sb., ze dne 10. ledna 2001 o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, a také vyhláškou č. 341/2002 Sb., ze dne 11. července 2002 o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.

Požadavky pro návrh přívěsného vozíku této diplomové práce jsou specifikovány tak, aby vozík splňoval dané zákony, vyhlášku a směrnici. Jednotlivé omezení například světelná zařízení, označení vozidel a jejich rozměry jsou popsány v následujících podkapitolách.

5.1 Rozměry přípojných vozidel

Maximální vnější rozměry přípojných vozidel kategorie O1 a O2 jsou přesně dané zákonem. Vozík nesmí svojí šíří překročit 2,55 m, maximální výška musí být do hodnoty 4,00 m. Největší délka přívěsu, při použití spojovacího zařízení třídy B50-X, nesmí přesáhnout 8,00 m. Celková délka jízdní soupravy, která se skládá z motorového vozidla společně s jedním přívěsem, nesmí překročit 18,75 m. [4] , [54]

5.2 Hmotnost

Zatížení na jednu nápravu vozidla nesmí přesáhnout 10 t. Přičemž součet celkových hmotností taženého a tažného vozidla nesmí přesáhnout největší technicky přípustnou hmotnost jízdní soupravy. Tato hmotnost je uvedena v technickém průkazu tažného vozidla. [54]

5.3 Nejvyšší rychlost

Rychlost přívěsů skupin O1 a O2 nesmí překročit 80 km/h. Výjimkou může být navýšení rychlosti při schvalování daného typu přívěsu schvalovacím orgánem. Rychlost je velmi často navyšována na 100 km/h popřípadě až na 130 km/h. Daná nejvyšší rychlost je vyznačena podle předpisu na zadní části přívěsu příslušnou značkou a je zapsaná do technického průkazu. [2] [4] [54]

5.4 ABS přípojného vozidla

V případě zapojení vozidla kategorie O1 nebo O2 s nájezdnou brzdou do jízdní soupravy s běžným využitím se systémy ABS nepoužívají. [54]

5.5 Světelná zařízení

Použitá světelná zařízení musí splňovat především směrnici rady Evropské unie 76/756 až 76/760/EHS a zároveň vyhlášku 341/2002 Sb. Světelná zařízení se rozdělují do dvou skupin, světlomety a svítilny. Světlomet slouží k směrovému osvětlení pozemní komunikace. Svítilna jen vyzařuje světelný signál. Cílem svítilen je zviditelnit obrys vozidla ve tmě, popřípadě při zhoršených jízdních podmínkách, sdělit ostatním účastníkům provozu úmysl pohybu řidiče vozidla a varovat ostatní účastníky provozu. Existují různé varianty provedení svítilen a světlometů. Podle konstrukce je rozlišujeme na samostatné, sdružené, sloučené a skupinové. Samostatná svítidla mají samostatnou výstupní plochu, samostatný zdroj světla a pouzdro. Sdružená svítidla mají samostatnou výstupní plochu, ale zdroj světla a pouzdro jsou společné. Sloučená svítidla mají společnou výstupní plochu a pouzdro, světelný zdroj je samostatný nebo může být i společný, který pracuje při rozdílných podmínkách. Skupinová svítidla mají zdroje a výstupní plochu samostatnou, ale pouzdro je společné. [2] [21]

5.5.1 Světlomety

Klasické světlomety se u přípojných vozidel nevyužívají. Využívají se zpětné světlomety, jeden nebo dva, které jsou určeny k osvětlení pozemní komunikace při jízdě dozadu. Tyto světlomety se umísťují do výšky 250 mm až 1 200 mm od vozovky. [57]

5.5.2 Svítilny

Použité svítilny na přípojném vozidle jsou brzdové, směrové, zadní obrysové, přední obrysové, zadní mlhové, zpětné a parkovací. Použité odrazky a osvětlení registrační značky se také považují za svítilny. Pro lepší názornost je umístění jednotlivých svítilen zobrazeno na přívěsu pro nákladní automobil. Parametry jsou pro všechny přívěsy stejné.

5.5.3 Brzdová svítilna

Jedná se o nejvýznamnější svítilnu na přípojném vozidle. Může být použita jako skupinová nebo sloučená se zadní obrysovou nebo parkovací svítilnou. Je červené barvy a svítí výrazněji než obrysová svítilna. Přívěs musí být na zádi vybaven nejméně dvěma brzdovými svítilnami. Umísťují se do výšky 350 mm až 1 500 mm od vozovky, nejméně 600 mm od sebe. Výjimkou je vozidlo užší než 1 300 mm, v tomto případě se svítilny mohou umístit do menší vzdálenosti, ale nesmějí být u sebe blíže než 400 mm.[23] [57]



Obrázek 7 Umístění zadních brzdových svítilen[23]

5.5.4 Směrová svítilna

Směrová svítilna může být sdružená, skupinová nebo sloučená s parkovací svítilnou. Je oranžové barvy a při aktivaci upozorňuje účastníky provozu o změně směru jízdy. Přívěs je na zádi opatřen dvěma směrovými svítilnami, které musí být umístěny do výšky 350 mm až 1 500 mm od vozovky a maximálně 400 mm od vnějšího kraje vozidla. Směrové svítilny se využívají také jako výstražný signál upozorňující ostatní účastníky provozu na zvláštní nebezpečí. V praxi to znamená, že všechny směrové svítilny jsou uvedeny do provozu. [23] [57]



Obrázek 8 Umístění směrových svítilen[23]

5.5.5 Zadní obrysová svítilna

Zadní obrysová svítilny mohou být skupinové nebo sdružené s parkovací, brzdovou nebo mlhovou svítilnou. Tyto svítilny slouží k označení obrysu vozidla. Umísťují se do výšky 350 mm až 1 500 mm od vozovky a nejméně 600 mm od sebe. Nejdálší bod osvětlující plochy od střední podélné roviny vozidla nesmí ležet od obrysu vozidla o více než 400 mm. Tyto rozměry jsou stejné jako umístění brzdových světel viz. obrázek 7. [23] [57]

5.5.6 Přední obrysová svítilna

Jejich použití je povinné u přípojných vozidel, jejichž šířka přesahuje 1 600 mm. Umísťují se dvě přední obrysová svítilny na přídi do výšky 350 mm až 1 500 mm od vozovky a po stranách nejdále 150 mm od vnějšího okraje vozidla.[23] [57]

5.5.7 Zadní mlhová svítilna

Tyto svítilny zajišťují viditelnost vozidla i při špatných jízdních podmínkách. Těmi je myšlena hlavně mlha. Jsou jasně červené barvy a musí být na vozidlo umístěna alespoň jedna zadní mlhová svítilna. Umísťují se na stranu protilehlou ke směru jízdy. Tato strana se mění podle toho, jaký směr dopravy je předepsaný v dané zemi registrace vozidla. V České republice je směr jízdy pravý, tudíž mlhová svítla je umísťována na levou stranu vozidla ve vzdálenosti 250 mm až 1 000 mm od vozovky. Musí být vzdáleny od brzdové svítilny minimálně 100 mm.[23] [57]



Obrázek 9 Umístění zadní mlhové svítilny[23]

5.5.8 Zadní zpětná svítilna

Jedná se o pomocné svítilny. Mohou být bílá nebo světle žlutá. Tyto svítilny musí být skloněny tak, aby osvětlovali vozovku do dálky nejvýše 10 m za přívěsem. Mohou být použity jen současně s obrysovými svítilnami. Právě i proto se tyto svítilny používají jako sdružené se zadní obrysovou svítilnou. Umísťují se do výšky od 250 mm do 1 200 mm. [23] [53]



Obrázek 10 Umístění zadní zpětné svítilny[23]

5.5.9 Parkovací svítilna

Je nepřipustné, aby přívěsy měly parkovací svítilny.

5.5.10 Osvětlení zadní registrační značky

Toto osvětlení může být skupinové nebo sdružené se zadními obrysovými svítilnami. Nikdy se nevyskytuje jako sloučené. Jedná se o svítilny bílé barvy. Počet je dán tak, aby dostatečně nasvítily registrační značku vozidla a zajistil její potřebnou viditelnost.

Přívěsný vozík musí být viditelný i když je odpojen a zrovna se nevyužívá. Kvůli tomu je zákonem předepsané označení vozidla pomocí odrazek. Ty musí být na zadní, přední i boční straně vozidla. [23] [53] [54]

5.5.11 Přední odrazka

Povinné jsou dvě přední odrazky, bezbarvé a netrojúhelníkové. Musí být připevněny na přední část přípojného vozidla ve vzdálenosti nejméně 600 mm mezi vnitřními okraji. Krajní bod odrazky může být vzdálený na šířku nejvýše 150 mm od vnějšího kraje vozidla. Umísťují se ve výšce 350 mm až 900 mm nad vozovkou.[23] [53] [54]

5.5.12 Zadní odrazka

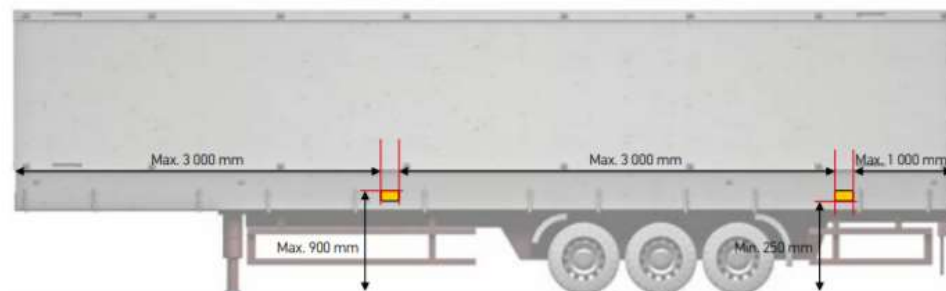
Zadní odrazky musí být také dvě. Jsou červené barvy a trojúhelníkového tvaru. Připevnění musí být vrcholem nahoru na zadní část přípojného vozidla ve vzdálenosti nejméně 600 mm mezi vnitřními okraji. Krajní bod odrazky může být vzdálený od vnější hrany vozidla maximálně 400 mm. Výškové umístění je 250 mm až 900 mm nad vozovkou.[23] [53] [54]



Obrázek 11 Umístění zadních odrazek[23]

5.5.13 Boční odrazka

Povinné jsou boční odrazky oranžové barvy, umístěné po obou stranách vozidla. Počet je daný požadavky délkového rozmístění. Alespoň jedna odrazka musí být umístěna nejdále ve vzdálenosti 3 000 mm od přídě vozidla včetně oje, další ve střední třetině vozidla a nejvzdálenější odrazka musí splňovat maximální vzdálenost 1 000 mm od zádě vozidla. Největší povolená vzdálenost mezi vedlejšími odrazkami je 3 000 mm. Výška umístění těchto odrazek je v rozmezí 250 mm až 900 mm nad vozovkou.[23] [53] [54]



Obrázek 12 Umístění bočních odrazek[23]

5.6 Povinná výbava

Mezi povinnou výbavu přípojného vozidla O2 patří rezervní kolo, to může být nahrazeno prostředkem pro bezdemontážní opravu poškozené pneumatiky. Rezervní kolo musí být připevněno v držáku tak, aby při výměně kola potřebná síla pro sejmutí kola nepřesáhla 490 N. Povinná výbava vozidel, jejichž celková hmotnost převyšuje 750 kg, musí obsahovat ještě minimálně dva zakládací klíny. Tyto klíny musí zajistit stojící vozidlo proti samovolnému rozjezdu. [53] [54]

5.7 Registrace vozidla

Přípojné vozidlo provozované na pozemních komunikacích České republiky musí být zapsáno v registru silničních vozidel. Takové vozidlo je následně opatřeno státní poznávací značkou, která musí být upevněna výhradně na zadní části vozidla, symetricky uprostřed nebo na straně bližší ke středu vozovky. Na vozidle musí být potřebný prostor pro státní poznávací značku. Tento prostor je daný zákonem. Jedná se o dva normalizované rozměry (š x v): 520 x 120 mm nebo 340 x 240 mm. Výškově je prostor omezen rozmezím 300 mm až 1 200 mm do vozovky. [57]

Všechny tyto požadavky je nutné splnit, aby vozidlo prošlo technickou kontrolou a bylo vůbec uvedeno do provozu. Již existující varianty jsou popsány v následující kapitole.

6 Existující varianty

V současné době se žádný takový přívěsný vozík nevyskytuje. Přívěsné vozíky s hnanou nápravou jsou pouze pro zemědělskou techniku. Přenos energie je zprostředkován z tažného vozidla na přívěs přes vývodový hřídel. Tento způsob ale nelze aplikovat právě na elektromobily.

6.1 EP Tender

V roce 2013 společnost EP Tender představila prototyp speciálního vozíku určeného právě pro elektromobily. Vozík má fungovat jako range extender (rozšiřovač dojezdu). Ve

vozíku je uložen benzinový generátor, který vytváří elektrickou energii. Při rozjezdu je přívěs vypnutý. V okamžiku, kdy může z točivého momentu na kolech generovat elektřinu, začne vozidlu dobíjet akumulátory. Tento vozík ale nelze použít na převoz žádného nákladu. Slouží pouze pro zvýšení dojezdu. Sám výrobce uvádí, že EP Tender představuje řešení občasně jízdy na delší trasy. Systém by měl prodloužit dojezd v závislosti na konkrétním voze až o 600 km. Tento systém zvyšuje dojezd elektromobilu, ale na základě využití spalovacího motoru. Tento koncept nevyjadřuje myšlenku elektromobility. [24]



Obrázek 13. EP Tender[24]

6.2 E.Home Coco

Nejvíce se přibližující variantou k zadání diplomové práce je karavan od firmy Dethleffs. Jedná se o dlouholetou německou firmu, která se zaměřuje právě na výrobu karavanů a obytných vozů. V loňském roce uvedla na trh karavan E.Home Coco, který má elektricky poháněnou nápravu. Tento koncept je plánovaný pro využití v kombinaci s elektromobilem, protože by nesnižoval dojezd. Přidáním pohonu dojde k výraznému snížení zatížení elektromobilu. Pohon tvoří dva elektromotory o výkonu 40 kW. Jsou umístěné v každém kole, ty nejenom že pomáhají při jízdě, ale mají zlepšovat i brzdění. Zatím jde pouze o koncept a firma ho v letošním roce začne testovat. Nevýhodou nejspíše bude jeho vysoká cena. [25]



Obrázek 14 E.Home Coco[25]

7 Jízdní odpory

Pro samotný návrh přívěsného vozíku je potřeba zjistit souvislost mezi působícími silami na něj a jeho jízdními vlastnostmi. Ty jsou ovlivňovány především reakcemi a jednáním řidiče. Každý řidič je jiný a jeho chování se během jízdy mění. Toto chování nelze matematicky popsat, a proto v mojí diplomové práci budu řešit pouze vlastnosti samotného vozidla.

Všechny běžné vnější vlivy zohledňují jízdní odpory. Jsou to síly působící proti pohybu vozidla. Celkový jízdní odpor je tvořen několika složkami. Valivý odpor a vzdušný odpor působí vždy proti pohybu vozidla. Ve chvíli, kdy automobil zrychluje, musí překonávat odpor zrychlení. Na nakloněné rovině, tzn. jízdě do svahu, překonává odpor stoupání. Při připojení přívěsu k vozidlu se jízdní odpory zvětšují o odpor tahu. [3]

Tabulka 1 Vstupní parametry výpočtu

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Hmotnost přívěsu	m	1500	kg
Rychlost přívěsu	v	130	km/h
Čelní plocha přívěsu	S_x	1,85	m^2
Zrychlení	a	2,41	m/s^2
Tíhové zrychlení	g	9,81	m/s^2
Maximální úhel stoupání	α_{max}	6,8	$^\circ$
Průměrný úhel stoupání	α	3,2	$^\circ$
Měrná hmotnost vzduchu	ρ	1,25	kg/m^3
Součinitel vzdušného odporu	c_x	0,18	–
Rychlost proudění vzduchu	v_v	17	km/h
Součinitel vlivu rotujících součástí	ϑ	1,25	-

7.1 Odpor tahu

Odpor tahu je celková síla přípojného vozidla, která působí na vozidlo hnací. Tato síla se skládá z jednotlivých odporů. Jsou podobné jako u vozidla. [3]

$$O_T = O_{fPV} + O_{sPV} + O_{vzPV} + O_{aPV} \quad (7.1)$$

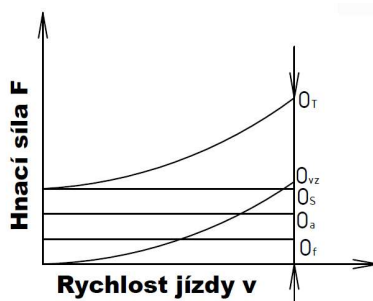
O_T [N] odpor tahu přípojného vozidla

O_{fPV} [N] odpor valení přípojného vozidla

O_{sPV} [N] odpor sklonu přípojného vozidla

O_{vzPV} [N] odpor vzduchu přípojného vozidla

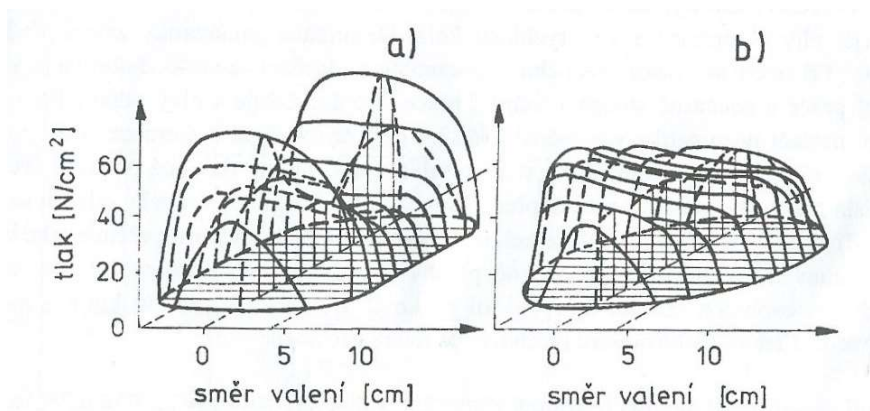
O_{aPV} [N] odpor zrychlení přípojného vozidla



Obrázek 15 Hnací síla potřebná k překonání jízdních odporů [3]

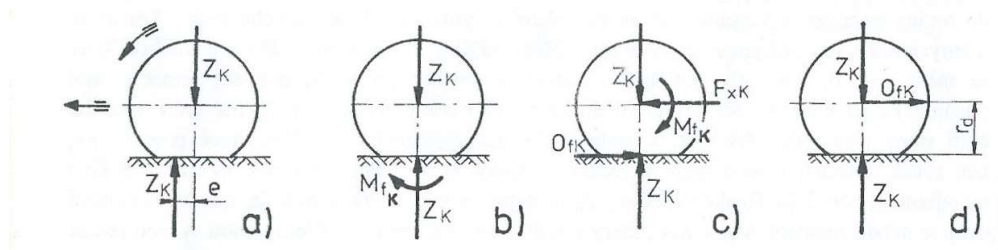
7.2 Odpor valení

Odpor valení vzniká vždy. Je důsledkem deformace pneumatiky při dotyku kola s vozovkou. Dotyk pneumatiky s vozovkou vytváří určitou plochu, kterou nazýváme stopou vozidla. Ve směru valení, v přední části pneumatiky, dochází ke stlačení obvodu pneumatiky do roviny vozovky a v zadní části dochází k vyrovnávání obvodu zpět do kruhového tvaru. Jednotlivé rozložení měrných tlaků ve stopě znázorňuje obrázek 16. [3]



Obrázek 16 Deformace a) diagonální a b) radiální pneumatiky [3]

V pneumatice vznikají určité ztráty, které jsou způsobené přeměnou na teplo. Síly potřebné ke stlačení pneumatiky jsou právě kvůli těmto ztrátám větší, než síly vyvozené pneumatikou na vozovku při návratu zpět do kruhového stavu. V přední části stopy jsou měrné tlaky větší než v zadní, proto je radiální reakce vozovky Z_K předsunuta o hodnotu e před svislou osu kola. Reakce vozovky Z_K a zatížení kola vytváří tzv. silovou dvojici. Síly jsou stejně velké, opačně orientované. Svislou reakci Z_K můžeme přesunout do svislé osy kola, musíme ale připojit moment M_{fK} . Moment M_{fK} působí proti směru otáčení kola, jedná se o vliv vozovky na kolo a vzniká působením síly Z_K na rameni e . Moment M_{fK} vyvolává vodorovnou reakci O_{fK} . Reakce O_{fK} je nazývána valivým odporem kola, a směřuje proti směru pohybu. Aby vznikla silová dvojice, musí působit ve středu kola vodorovná síla F_{xK} , která je stejně velká a opačně orientovaná. Jednotlivý postup zobrazuje obrázek 17. [3]



Obrázek 17 Moment valivého odporu kola a valivý odpor kola na volně se valícím kole [3]

Z následující úvahy vyplývá:

$$M_{fK} = O_{fK} \cdot r_d = Z_K \cdot e \quad (7.2)$$

Vyjádřením z rovnice (7.2) vyjde O_{fK} :

$$O_{fK} = Z_K \frac{e}{r_d} = Z_K \cdot f_K \quad (7.3)$$

f_K – součinitel valivého odporu kola

7.2.1 Součinitel valivého odporu kola

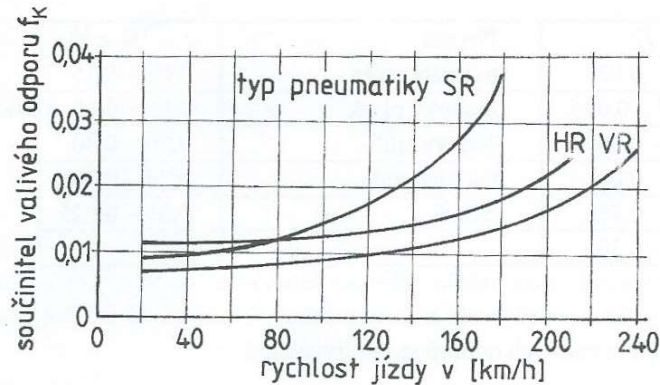
Tento součinitel je závislý na povrchu vozovky. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. Další vlivy na valivý odpor má deformace pneumatiky a rychlost kola. Deformace je závislá především na velikosti nahuštění. Při menším tlaku dochází k větší deformaci, narůstá deformační práce a současně s ní narůstá i tlumící práce, kterou se zvětšuje valivý odpor.

Tabulka 2 Součinitel valivého odporu pro rozdílné povrchy vozovek.[3]

Povrch	f_K	Povrch	f_K
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,08 – 0,15
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025

Navrhovaný přívěs bude určený pro jízdu na Asfaltu, a proto se hodnota součinitele valivého odporu bude pohybovat mezi hodnotami 0,01 – 0,02.

Při vyšších rychlostech nedokáže pneumatika v poměrně krátkém čase kompenzovat deformace, které vznikají na začátku stopy. V důsledku toho vzniká v zadní části stopy menší tlak než při nižší rychlosti. Tím se posouvá svislá reakce Z_K dopředu. Z rovnice (7.3) vyplývá, že součinitel valivého odporu vzroste. Při vysokých rychlostech dochází k rozkmitání plochy boční stěny pneumatiky. Dochází tedy ke zvýšení součinitele valivého odporu důsledkem zvětšení ztrát. Součinitel valivého odporu se považuje za nezávislý na jízdní rychlosti do hodnoty 80 km/h u osobních vozidel a jejich přívěsů, u nákladních vozidel do 50 km/h. Navrhovaný přívěs bude homologovaný pro rychlost 130 km/h, proto součinitel valivého odporu bude určen z grafu 1. [3]



Graf 1 Vliv rychlosti na součinitel valivého odporu [3]

Valivý odpor přívěsu O_{fPV} je dán součtem všech valivých odporů jednotlivých kol. [3]

$$O_{fPV} = \sum_i O_{fKi} = \sum_i Z_{Ki} \cdot f_{Ki} \quad (7.4)$$

Předpokladem pro výpočet je stejný součinitel valivého odporu pro obě kola.

$$O_{fPV} = f \sum_i Z_{Ki} = fG \cos \alpha_{max} \quad (7.5)$$

Součet radiálních reakcí je roven složce tíhy přívěsu kolmé k vozovce. Při jízdě po rovině $\alpha = 0$.

$$O_{fPV} = fG \quad (7.6)$$

Výsledný valivý odpor je navrhován pro rychlost 130 km/h, při jízdě do kopce s úhlem stoupáním $\alpha_{max} = 6,8^\circ$. Graf 1 vyobrazuje součinitel valivého odporu $f=0,013$ při rychlosti 130 km/h. Pro výpočet valivého odporu potřebujeme znát hmotnost přívěsu $m = 1\,500\text{ kg}$. Celkové zatížení kol G bude výsledkem hmotnosti a tíhového zrychlení.

$$G = m \cdot g = 1\,500 \cdot 9,81 = 14\,715\text{ N} \quad (7.7)$$

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

$$g = 9,81\text{ m/s}^2$$

m – hmotnost přívěsu [kg]

Dosazení do rovnice (7.5) získáme

$$O_{fPV} = fG \cos \alpha = 0,013 \cdot 14\,715 \cdot \cos 6,8^\circ = 190\text{ N} \quad (7.8)$$

7.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání působí v těžišti a je dán rovnoběžnou složkou tíhy přívěsu s povrchem vozovky. [3]

$$O_{sPV} = \pm G \sin \alpha_{max} \quad (7.9)$$

G – celková tíha přívěsu

α – úhel stoupání vozovky

Úhel stoupání vozovky je úhel, který svírá vozovka s vodorovnou rovinou. Znaménko plus se použije, pokud je pohyb přívěsu do svahu, znaménko mínus, pokud se jedná o jízdu ze svahu. Při jízdě ze svahu nejde o odpor, ale o sílu, která soupravu pohání. Častěji než úhel stoupání α se udává sklon svahu s . Vztah mezi úhlem stoupáním a sklonem svahu je popsán v rovnici (7.10).

$$s = \frac{h}{l} = \operatorname{tg} \alpha \quad (7.10)$$

Maximální stoupání silnic v České republice je 10 % až 12 % a na dálnicích 6 %. Výjimkou jsou však vysokohorské silnice, tam je hodnota větší. Podle maximálních hodnot sklonu svahu je maximální hodnota úhlu v rozmezí $5,7^\circ$ až $6,8^\circ$. Pro výpočet jsem zvolila maximální hodnotu $\alpha_{max} = 6,8^\circ$.

Dosazením do rovnice (7.9) vyjde výslední hodnota odporu stoupání.

$$O_{sPV} = \pm G \cdot \sin \alpha = 14\,715 \cdot \sin 6,8^\circ = 1\,742\text{ N} \quad (7.11)$$

7.4 Vzdušný odpor

Během jízdy okolo přívěsu proudí část vzduchu kolem horní části a část prochází pod spodní částí přívěsu. [3]

Pro celkový vzdušný odpor se bere běžný aerodynamický vztah:

$$O_{vzPV} = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 \quad (7.12)$$

c_x – součinitel vzdušného odporu [–]

ρ – měrná hmotnost vzduchu [kg/m^3]

S_x – čelní plocha přívěsu [m^2]

v_r – výsledná rychlost proudění vzduchu [m/s]

7.4.1 Součinitel vzdušného odporu

Součinitel odporu vzduchu je závislý hlavně na tvaru vozidla. Jeho hodnota se zjišťuje měřeními na skutečných vozidlech nebo na jejich modelech v aerodynamickém tunelu. Základní hodnoty součinitele odporu vzduchu c_x jsou zapsané v tabulce 3. Vzhledem k tomu, že se jedná o přívěs typu plato byla zvolená hodnota $c_x = 0,18$.

Tabulka 3 Základní parametry součinitele odporu vzduchu c_x [3]

Typ vozidla	c_x [1]
Osobní automobily	0,3 – 0,4
Sportovní automobily	0,3 – 0,35
Závodní vozy	0,4 – 0,6
Nákladní vozy – valník	0,8 – 1,0
Nákladní vozy – s plachtou	0,6 – 0,8
Nákladní vozy – s přívěsem	1,0 – 1,2
Autobusy	0,5 – 0,7
Přívěsová jízdní souprava	1,0 – 1,2

7.4.2 Měrná hmotnost vzduchu

Měrná hmotnost vzduchu ρ je závislá na teplotě a tlaku vzduchu. V běžných výpočtech se počítá s průměrnou hodnotou pro tlak vzduchu $p_0=1,013$ bar a teplotu $t_0=15$ °C. Tato hodnota byla použita při výpočtu. [3]

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

7.4.3 Čelní plocha přívěsu

Hodnota čelní plochy S_x je výsledek projekce přívěsu. Pro výpočet jsem zvolila přibližnou hodnotu.

$$S_x = 1,85 \text{ m}^2$$

7.4.4 Výsledná rychlost proudění vzduchu

Výsledná náporová rychlost je součtem rychlosti pohybu přívěsu v s rychlostí větru v_r .

$$\begin{aligned} \vec{v}_r &= \vec{v} + \vec{v}_v \\ v_r &= 36,1 + 4,7 = 40,8 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (7.13)$$

v – rychlost přívěsu [m/s]

$$v = 130 \text{ [km/h]} = 36,1 \text{ [m/s]}$$

v_v rychlost proudění větru [m/s]

$$v_v = 17 \text{ [km/h]} = 4,7 \text{ [m/s]}$$

Pro výpočet byla použita průměrná hodnota větru. Tato hodnota je přibližně 17 km/h.

Dosazením do rovnice (7.12) získáme:

$$O_{vzPV} = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 = 0,18 \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 1,85 \cdot 40,8^2 \quad (7.14)$$

$$O_{vzPV} = 346 \text{ N}$$

7.5 Odpor zrychlení

Jako odpor zrychlení je označovaná setrvačná síla, která působí proti směru pohybu při zrychlování soupravy. Skládá se z odporu zrychlení posuvné části a otáčejících se částí. [3]

Odpor zrychlení posuvné části přívěsu je dán vztahem:

$$O_a = \vartheta \cdot m \cdot a \quad (7.15)$$

ϑ – součinitel vlivu rotujících částí

$$\vartheta = 1,25$$

$$a = 11,5 \text{ s} = 2,41 \text{ m/s}^2$$

Dosazením do rovnice (7.15) dostaneme:

$$O_a = 1,25 \cdot 1500 \cdot 2,41 = 4517 \text{ N} \quad (7.16)$$

$$O_a = 4517 \cdot 0,1 = 452 \text{ N} \quad (7.17)$$

Parametrem zrychlení bylo uvažováno přímo zrychlení auta. Za modelový vůz byl vybrán Nissan Leaf, který je průměrným zástupcem elektromobilů.

Odpor zrychlení je vypočítáván pro celý automobil. Vzhledem k tomu, že přívěs má pouze kompenzovat část ztrát vytvářených jeho tažením, nepředpokládá se jeho plné zrychlení. Po domluvě se zadavatelem byla stanovena hodnota 10 % z celkového odporu zrychlení automobilu za dostatečnou kompenzaci ztráty výkonu při zrychlení.

Dosazením jednotlivých odporů do rovnice(7.1) dostaneme:

$$\begin{aligned} O_T &= O_{fPV} + O_{sPV} + O_{vzPV} + O_{aPV} = \\ &= 190 + 1742 + 346 + 452 = 2730 \text{ N} \end{aligned} \quad (7.18)$$

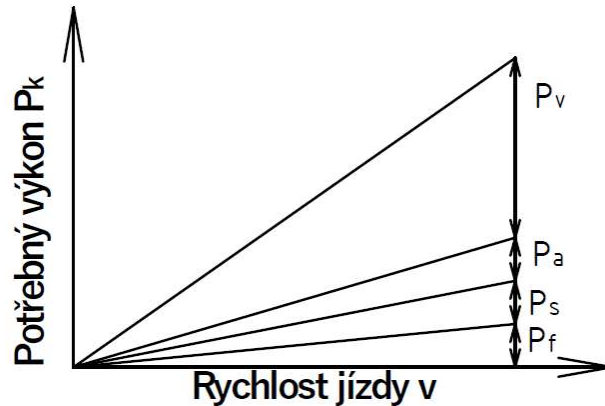
7.6 Hnací síla

Hnací síla je síla přenášená z pohonné jednotky na kola. Aby bylo vozidlo způsobilé pohybu, musí být hnací síla minimálně stejně velká jako hodnota celkových odporů v dané chvíli. Jak uvádí literatura [3] hnací výkon potřebný k překonání jízdních odporů, který je přiváděn na kola lze určit ze vztahu:

$$P_H = O_T \cdot v = \frac{M_k}{r_d} \cdot v \quad (7.19)$$

Dosazením do rovnice (7.19) dostaneme:

$$\begin{aligned} P_H &= (O_{fPV} + O_{sPV} + O_{vzPV} + O_{aPV}) \cdot v = \\ &= (190 + 1742 + 346 + 452) \cdot 36,1 = 98553 \text{ W} = \\ &= 98,6 \text{ kW} \end{aligned} \quad (7.20)$$



Obrázek 18 Výkon potřebný k překonání jízdních odporů

Potřebný výkon pro překonání valivého odporu, odporu stoupání a odporu zrychlení lineárně vzrůstá s rychlostí přívěsu. Pouze výkon pro překonání vzdušného odporu vzrůstá nelineárně, s třetí mocninou rychlosti jízdy. Obrázek 18 zobrazuje jednotlivé výkony.

Tato situace je nejhorší možný jízdní stav. Jedná se o stav, kdy jízdní souprava jede rychlostí 130 km/h proti větru o rychlosti 17 km/h, k tomu ještě zrychluje a překonává stoupání 12 %. Tento stav by při běžné jízdě nenastal, nebo nastal pouze při krátkém časovém úseku. Bylo by nelogické navrhovat výkon přívěsu na tento stav, protože by vozík měl zbytečně velkou nevyužitou kapacitu. Cílem práce je pouze částečná kompenzace ztrát při běžné jízdě. Největší část jízdního režimu je udržování nebo dokonce snižování jízdní rychlosti. Při jízdě z kopce dochází v elektromobilu k rekuperaci. Přívěs svojí hmotností zvětší kinetickou energii, která je využívána k rekuperaci. Už jenom samotným využitím hmotnosti přívěsu dojde k malému navýšení dojezdu elektromobilu. Zadavatel považuje za přijatelné, pokud vozík pokryje ztráty při rychlosti 130 km/h po rovině. Tato situace je pokrytí jízdního stavu při jízdě na dálnici. Ve chvíli, kdy jízdní souprava pojedou do kopce, bude vozík tažen a nepokryje celý úbytek výkonu, bude pokryta alespoň část. Přijatelnou kompenzací je jízda rychlostí 80 km/h do mírného kopce. Touto úvahou získáme výkon, který budeme potřebovat k pokrytí ztrát vzniklých zapojením přívěsu. Minimální potřebný výkon tedy bude vypočítán z odporu valení a vzdušného odporu při rychlosti 130 km/h.

7.7 Minimální potřebný výkon

$$P_{min} = (O_{fPV} + O_{vzK}) \cdot v \quad (7.21)$$

Minimální vzdušný odpor O_{vzmin} vychází ze vzdušného odporu O_{vzPV} . V rovnici (7.14) bude rychlost snížena o velikost rychlosti větru. To ovlivní vzdušný odpor takto:

$$O_{vzmin} = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 = 0,18 \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 1,85 \cdot 36,1^2 \quad (7.22)$$

$$O_{vzmin} = 271,23 \text{ N}$$

Dosazením odporů do rovnice (7.21) dostaneme minimální požadovaný výkon:

$$P_{Hmin} = (O_{fPV} + O_{vzK}) \cdot v = (190 + 271,23) \cdot 36,1$$

$$= 16\,650 \text{ W} = 16,7 \text{ kW} \quad (7.23)$$

Z výpočtu vyplývá, že pro jízdu po rovině při rychlosti 130 km/h je potřeba 16,7 kW.

7.8 Výkon potřebný k jízdě do kopce

Dalším limitním stavem, který může nastat je jízda do kopce. Jak již bylo zmíněno, největší možné stoupání v České republice je 12 %. Tato hodnota se vyskytuje pouze minimálně. Průměrné stoupání dosahuje hodnoty 5,6 %. Pro toto stoupání bude odpor přepočtený. Do takového stoupání musí vozík jet alespoň 80 km/h. Změnou rychlosti musíme přepočítat vzdušný odpor. Odpor valení se změnou stoupání nezmění.

Kompenzovaný vzdušný odpor vychází z rovnice (7.14):

$$\begin{aligned} O_{vzK} &= c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 = 0,18 \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 1,85 \cdot 22,2^2 \\ O_{vzK} &= 102,5 \text{ N} \end{aligned} \quad (7.24)$$

Kompenzovaný odpor stoupání vychází z rovnice (7.11):

$$O_{sK} = \pm G \cdot \sin \alpha = 14\,715 \cdot \sin 3,2^\circ = 821,4 \text{ N} \quad (7.25)$$

Dosazením vypočteného odporu stoupání a vzduchu do rovnice dostaneme potřebný výkon:

$$\begin{aligned} P_{H2} &= (O_{fPV} + O_{vzK} + O_{sK}) \cdot v = \\ &= (190 + 102,5 + 821,4) \cdot 22,22 = 24\,751 \text{ W} \\ &= 24,8 \text{ kW} \end{aligned} \quad (7.26)$$

Tento potřebný výkon je větší než potřebný výkon pro jízdu po rovině, proto bude návrh motoru vycházet z něj. Každý motor dokáže zvládnout krátkodobé přetížení, to vykompenzuje různé zátěžné stavy. Při trvajícím přetížení by došlo ke snížení výkonu elektropohonu přívěsu.

Po zjištění potřebného výkonu se můžeme již věnovat jednotlivým variantám návrhu. Ty jsou popsány v následující kapitole.

8 Návrh variant

Při navrhování jakéhokoli funkčního celku je vhodné využít tzv. rozhodování za jistoty (někdy označované jako Multikriteriální rozhodování). To umožňuje relativně jednoduše a objektivně nalézt optimální řešení, které splňuje dané požadavky navrhovaného technického systému. Jednotlivé funkce lze zajistit několika technickými řešeními. Kombinací řešení získáme jednotlivé varianty. Ty jsou následně ohodnoceny podle stupně splnění kritérií. Na základě výsledků bude jednotlivá varianta zpracovaná.

8.1 Kritéria výběru

Jednotlivá kritéria byla volena na základě požadavků zadavatele, legislativy a celkové funkčnosti a vyrobitelnosti celého přívěsu. Následují jednotlivá upřesnění kritérií.

Pohotovostní hmotnost přívěsu

Kritérium pohotovostní hmotnost porovnává přibližnou hmotnost variant přívěsů se standartní výbavou, čímž vymezuje užitnou hmotnost přívěsu. Snaha je, aby pohotovostní hmotnost přívěsu byla co nejmenší a tím pádem užitná hmotnost co největší.

Tuhost základního rámu

Kritérium zohledňuje základní tvar rámu z hlediska tuhosti, popřípadě nutnosti vyztužení jednotlivých částí, a tedy i rozložení těžiště pohonu na konstrukci, popřípadě možné kompenzace.

Velikost neodpružené hmoty

Toto kritérium je velice zásadní vzhledem k dynamice jízdy. Snahou je nejmenší možné zastoupení neodpružené hmoty. Neodpružená hmota výrazně komplikuje stabilizaci, a tedy i řízení přívěsu.

Reakce na změnu směru

Základní specifikací je schopnost vozíku reagovat na změnu směru. Ta musí být plynulá a hlavně rychlá, aby bylo zajištěno řízení vozíku a nedocházelo ke komplikaci jízdy elektromobilu.

Bezpečnost

Bezpečnost je základní kritérium u všech návrhů, proto musí být zohledněno i v mém návrhu. U obou návrhů musí být zajištěna maximální možná bezpečnost.

Vhodnost pro druh výroby

Vize do budoucna jsou takové, že by se měly vozíky začít vyrábět v sériové výrobě. Proto, pro tuto výrobu musí být vhodný, popřípadě snadno upravitelný.

Manipulace

Vzhledem k tomu, že vozík se využívá k přesunům i samostatně je vhodné nějak zajistit vhodnou manipulaci a ovladatelnost s ním.

Spolehlivost

Spolehlivost a odolnost k poškození je velmi zásadní pro výběr varianty. Toto kritérium je úzce spjato s bezpečností.

Výrobní náklady

Úsilí každé firmy je vyrobit daný výrobek s minimálními náklady. Snaha o snížení nákladů ale nemůže být na úkor kvality. Proto toto kritérium nemá tak velkou váhu například jako bezpečnost.

Potenciál budoucího rozšíření a inovace

Vzhledem k tomu, že se jedná o studii proveditelnosti a dosud neexistuje žádné takové řešení, je snahou výsledné řešení rozšiřovat a zdokonalovat. Varianta by měla být snadno přístupná pro další rozšíření a následnou inovaci.

Údržba

Jelikož se jedná o přívěsný vozík, cílem je nejjednodušší údržba.

8.2 Varianty řešení

8.2.1 Varianta A

Varianta A je tvořena dvěma motory, které jsou přímo umístěny v kolech přívěsu. Využitím dvou motorů pro pohon se snižuje jejich potřebný výkon. Výhodou tohoto řešení je rovnoměrnější rozložení těžiště. Umístěním motorů v kolech by rám nebyl tolik zatěžovaný a nesl by pouze tíhu akumulátorů. Nutnost vyztužení rámu by nebyla tak velká, jako při umístění motorů přímo na rám. Nevýhodou je, že přesunutím hmotnosti motoru do kol dojde ke zvětšení neodpružených hmot, zvětší se tím amplituda kmitů, jejichž utlumení není tak snadné a vozidlo je hůře říditelné. S komfortem jízdy souvisí i schopnost přívěsu reagovat na změnu

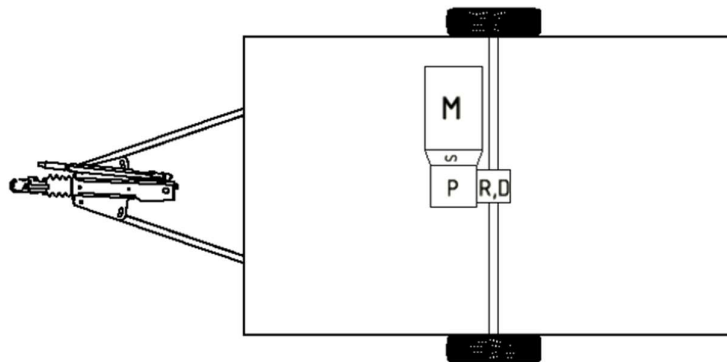
směru jízdy a tím i rovnoměrná změna otáček jednotlivých kol. Jednotlivé řízení motorů by probíhalo přes řídicí jednotku a senzory. Tato varianta vyžaduje nadefinování jednotlivých jízdních stavů, aby přívěs rozpoznal, jakým způsobem chce elektromobil změnit směr, například vyjetí z kruhového objezdu nebo pouze připojení přívěsu pod úhlem, což by znamenalo vyrovnání směru za elektromobilem. Jednotlivé stavy by se výhledově mohly řešit zjištěním dat z připojeného elektromobilu. V dnešní době se již připojují 13 pin zásuvky, kde by se eventuelně dala zjistit data z elektromobilu. To by samozřejmě muselo být podpořeno senzory. Vzhledem k využití senzorů a řídicí jednotky, by bylo snadné připojit přívěs na dálkové ovládání. Tím by se dosáhlo jednoduché, a hlavně snadné manipulace. Využití elektroniky se nabízí k následnému propojení s dalšími komponenty, a tedy k snadné inovaci. Vzhledem k tomu, že je přívěs řízen větším množstvím elektroniky, je náchylnější k poruchovosti. S tím samozřejmě souvisí i bezpečnost. Vzhledem k variantě A oproti běžnému přívěsu by se nezměnil, proto je na obrázku 19 zobrazeno umístění motoru v kolech.



Obrázek 19 Varianta A [26]

8.2.2 Varianta B

Varianta B je tvořena pouze jedním motorem, který přes diferenciál pohání obě kola přívěsu. Změna otáček jednotlivých kol je korigována právě pomocí diferenciálu. To řeší problém při změně směru, popřípadě zapojení přívěsu pod úhlem k vozidlu. Použitím jednoho motoru se zatíží rám hlavně v jedné části, a proto je potřeba ho v daném místě vyztužit. Nevýhodou je tedy horší rozložení těžiště. To by mohlo být kompenzováno rozložením akumulátorů. Velikou výhodou je velikost neodpružené hmoty, protože ta je oproti variantě A výrazně menší. Další výhodou je řízení pohonu převážně pomocí mechanických částí, vyvarujeme se zvýšení rizika vzniku chyby elektronickými součástmi. Mechanické části jsou zároveň i snadnější na údržbu. Vzhledem k použití běžných komponent by bylo snadné uskutečnit sériovou výrobu. Stejně jako varianta A, i varianta B vyžaduje použití řídicí jednotky a několika senzorů pro řízení motoru. Tyto senzory společně s řídicí jednotkou mohou zajistit snadnou manipulaci s přívěsem i bez připojení k elektromobilu. Zároveň je zde dostatečný prostor pro možnost následující inovace.



Obrázek 20 Varianta B

8.3 Výběr optimální varianty

Optimální varianta byla vybrána pomocí bodového hodnocení. Jedná se o výběr pomocí jednotlivých kritérií, které stanovují jasně definované parametry, mezi kterými jsou varianty porovnávány. Varianty jsou ohodnoceny v rozsahu 0 – 3 body. Ideální varianta má bodové ohodnocení 3 a naopak 0 znamená absolutní nesplnění požadavku. Do hodnocení musí být započítána i váha jednotlivých požadavků. Nejdůležitější kritéria mají hodnotu váhy jedna. Ideální řešení by mělo hodnocení 23,4 bodů. Jednotlivé porovnání variant je uvedeno v následující tabulce 4.

Tabulka 4 Bodové hodnocení variant

Kritérium	Váha kritéria	Varianta A	Varianta B
Pohotovostní hmotnost	0,75	2	2
Tuhost základního rámu	0,75	2	1
Velikost neodpružené hmoty	0,8	2	3
Reakce na změnu směru	0,75	2	3
Bezpečnost	1	2	2
Vhodnost pro druh výroby	0,5	3	3
Manipulace	0,5	3	3
Spolehlivost	1	2	3
Výrobní náklady	0,5	2	2
Rozšíření a inovace	0,5	3	3
Údržba	0,75	2	3
Celkový bodový zisk s ohledem na váhu kritéria		17,1	19,65

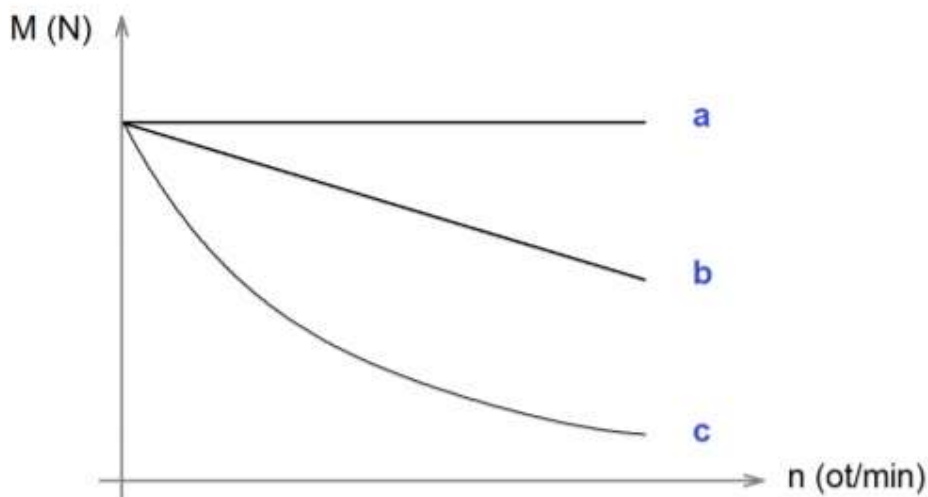
Po zhodnocení všech kritérií byla vybrána varianta B. Ta bude dále řešena a rozpracována.

Pro návrh samotného přívěsu je nutné nejprve navrhnout a najít vhodný elektromotor a k němu potřebné akumulátory. Tím se budu zabývat v následujících kapitolách.

9 Elektromotory

Jedinou pohonnou jednotkou přívěsného vozíku bude stejně jako v elektromobilech elektromotor. Elektromotory pro pohon musí být spolehlivé a dostatečný výkon musí být ve velkém rozsahu otáček. Významné parametry jsou kompaktní stavba, krátkodobá přetížitelnost, vysoká účinnost při malé hmotnosti, nízké udržovací náklady a nízká hladina hluku.

Elektromotor je složen zejména z vnějšího statoru, který zpravidla vyvozuje magnetické pole, a rotoru umístěného uvnitř. Při návrhu elektromotoru je potřebné zvolit takový, který má vhodnou momentovou charakteristiku. Momentová charakteristika vyjadřuje závislost momentu M [N] na otáčkách motoru n [ot./min]. Podle typu elektromotorů jsou různé momentové charakteristiky. Graf 2 zobrazuje tři typy momentové charakteristiky. Ty mohou být a – absolutně tvrdá charakteristika, b – tvrdá charakteristika nebo c – měkká charakteristika. Absolutně tvrdá charakteristika je typická pro synchronní elektromotory. Tvrdá charakteristika zobrazuje lineární pokles momentu na hřídeli s rostoucími otáčkami. Touto křivkou disponují asynchronní motory v pracovní oblasti momentové charakteristiky a stejnosměrné derivační motory. Měkká charakteristika se vyskytuje u sériově buzených stejnosměrných motorů. [6] [7]



Graf 2 Momentová charakteristika[6]

Pro návrh pohonu je nutná nejenom momentová charakteristika ale i správně dimenzovaný výkon. Motor musí být tak silný, aby umožnil rozjezd vozidla, akceleraci a samozřejmě plynulou jízdu. Tyto parametry a mnoho dalších, bylo zahrnuto ve výpočtech v kapitole 7. Jízdní odpory a hlavně při výpočtu Hnací síla.

Obrázek 15 zobrazuje jednotlivé jízdní odpory. Jak je vidět celkový jízdní odpor se zvyšuje v závislosti na velikosti rychlosti exponenciálně. Právě kvůli tomu jsou v elektromobilech často umísťované omezovače maximální rychlosti. Důvodem je nepříznivý vliv spotřeby energie. Tento parametr je kvůli omezené kapacitě akumulátorů kritický. Použitím předdimenzovaného elektromotoru celý systém doplácí na velkou hmotnost motoru. Naopak použitím poddimenzovaného elektromotoru se sníží dynamika pohonu a nastává jeho přetěžování, zvyšují se v něm ztráty a dochází k následnému snížení životnosti. [6]

Motory používané u elektromobilů se dají rozdělit podle následujícího schématu:

Tabulka 5 Rozdělení elektromotorů [6]

Střídavé AC		Stejnoseměrné (DC)				
Synchronní	Asynchronní		Kartáčové DC motory			
	S vinutým rotorem	S klecovou kotvou	Bezkartáčové DC motory (BLDC)			
			S cizím buzením	S derivačním buzením	Se sériovým buzením	Se smíšeným buzením

Druhy elektromotorů a jejich vlastnosti jsou popsány v následujících podkapitolách.

9.1 Stejnoseměrné elektromotory

Stejnoseměrné elektromotory jsou elektrické stroje, označované jako DC, které jsou napájeny stejnosměrným proudem. Základními prvky je stator a rotor. Statorem je permanentní magnet nebo elektromagnet. Elektromagnet je tvořený z elektrotechnických plechů a vinutí. Plechy jsou naskládány na sebe ve tvaru dutého válce a vinutí je napájeno stejnosměrným elektrickým proudem. Rotor se skládá z elektrotechnických plechů s drážkami, kterými prochází vinutí. Vinutí je připojeno ke komutátoru. Kartáče dosedají na lamely komutátoru a přivádí proud do vinutí rotoru. Pro komutaci se nevyužívají vždy kartáče, některé elektromotory jsou komutovány pomocí tzv. Hallových sond elektronicky. Při připojení elektromotoru ke zdroji dojde k vytvoření magnetického pole v rotoru. Vzniknou silové účinky mezi magnetickými poli rotoru a statoru, které vyvolají točivý moment. Komutátor během otáčení mění směr průtoku elektrického proudu v rotoru. Jak již ukazuje tabulka 5, stejnosměrné elektromotory lze rozdělit podle způsobu buzení a rotoru. [6] [7]

Stejnoseměrné elektromotory oproti střídavým mají jednodušší regulaci a vhodnější momentovou charakteristiku. Mají nižší energetickou účinnost a výkon, jsou dražší a náročnější na údržbu.

9.2 Střídavé elektromotory

Střídavé elektromotory jsou elektrické stroje, označované jako AC, které jsou napájeny střídavým proudem. Mezi akumulátor a motor je nutné vložit měnič napětí. Principem je vznik točivého magnetického pole, při průchodu třífázového napájení kruhovými vinutími. Magnetické pole vyvolává točivý moment na hřídeli, který je přenášen na kola vozidla. Základní rozdělení střídavých elektromotorů ukazuje tabulka 5, jedná se o rozdělení na synchronní a asynchronní elektromotory. Řízení těchto motorů se provádí pomocí frekvenčního měniče, který reaguje změnou frekvence napájecího napětí. [6]

9.3 Elektromotory používané pro pohon vozidel

Dříve se pro pohon elektromobilů využívaly převážně stejnosměrné sériové motory. Důkazem toho je například Batronic minivan electric delivery van. Jejich nevýhodou byla nutná údržba komutátorů a kartáčů, nižší efektivita a omezená životnost. Tyto motory vystřídaly třífázové asynchronní. Byly použity v GM EV1 a používají se i v současných elektromobilech firmy Tesla. Tyto motory nepotřebují k provozu komutátor, takže odpadá nutnost údržby. Dalším využívaným typem elektromotorů v dnešních elektromobilech je synchronní střídavý motor. Tento typ byl využit například u elektromobilu Nissan Leaf, Volkswagen e-golf nebo například u BMW i3. [14] [20]

9.4 Návrh elektromotoru

Základem pro návrh elektromotoru je kapitola 7. Z rovnice (7.26) vyšel minimální potřebný výkon motoru, který musí být zajištěn elektromotorem. Jedná se o hodnotu $P_{H2} = 24,8 \text{ kW}$. Požadavky na elektromotor je nízká hmotnost a malé zástavbové rozměry. Vzhledem ke konstrukci je nejlepší varianta chlazení vzduchem. Chlazení vodou by bylo komplikované a zadavatel o něm neuvažuje.

9.4.1 Varianta 1

První variantou je motor s nižším napětím 48 V. Využitím tohoto napětí bude v systému větší proud pro zaručení požadovaného výkonu. Nevýhodou těchto motorů je nízký výkon a malé zastoupení na trhu. Motory s výkonem přes 20 kW jsou již chlazené kapalinou. Tuto variantu, ale zadavatel nechtěl. Řešením je tedy motor HPM od firmy Golden Motor. Tyto motory je možné paralelně spojit pro dosažení potřebného výkonu. Kombinací motorů je nutné vyřešit společný chod.



Obrázek 21 Golden motor[29]

Tabulka 6 Parametry Golden motor[29]

Nepřetržitý výkon motoru [kW]	12
Špičkový výkon motoru při maximálním zatížení RPM [kW]	20
Maximální napětí baterie [Vdc] a maximální zatížení RPM	48 (6000)
Maximální točivý moment [Nm]	29
Účinnost motoru [%]	91
Hmotnost [kg]	17
Průměr [Ø] / Šířka [mm]	206/170

Pro výpočet baterií je nutné zjistit minimální potřebný proud. Přenos tohoto proudu musí zajistit vodiče.

Parametry pro výpočet první varianty:

Výkon motorů $P_1 = 2 \cdot 12\,000 = 24\,000 \text{ W}$

Napětí motoru $U_1 = 48 \text{ V}$

Podmínka minimálního potřebného proudu

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{24\,000}{48} = 500 \text{ A} \quad (9.1)$$

Vypočítaná hodnota proudu je špatně udržitelná a obtížně realizovatelná pro potřebnou přenosovou soustavu.

9.4.2 Varianta 2

Druhou variantou je stejnosměrný motor LEM-2X2-95 od firmy Lynch motors. Tento motor je spojením dvou motorů, kdy každý dosahuje konstantního výkonu $P_H = 10$ kW a dokáže vyvinout maximální výkon $P_{Hpeak} = 18$ kW. Propojením dojde k navýšení potřebného výkonu na požadovanou hodnotu a odpadá řešení společného chodu, který je zajištěn už od výrobce. [37]

Tabulka 7 Parametry motoru LEM-2X2-95[37]

Nepřetržitý výkon motoru [kW]	2 x 10
Špičkový výkon motoru při maximálním zatížení RPM [kW]	2 x 18
Maximální napětí baterie [Vdc] a maximální zatížení RPM	48 (6000)
Jmenovitý točivý moment [Nm]	28
Účinnost motoru [%]	92
Hmotnost [kg]	25
Průměr [ø] / Šířka [mm]	250/200

Parametry pro výpočet druhé varianty:

Výkon motorů $P_2 = 2 \cdot 10\ 000 = 20\ 000$ W

Napětí motoru $U_2 = 48$ V

Podmínka minimálního potřebného proudu

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{20\ 000}{48} = 417\ A \quad (9.2)$$

Vypočítaná hodnota proudu je o něco menší než hodnota u první varianty, ale stále by byla špatně udržitelná a obtížně realizovatelná pro potřebnou přenosovou soustavu. Na obrázku 22 je zobrazený motor Lynch s potřebnou velikostí vodičů. Nevýhodou tohoto motoru je použití kartáčů, které je potřeba měnit. Zásadní nevýhodou je jejich možné jiskření, které je z hlediska bezpečnosti nepřijatelné.



Obrázek 22 Lynch motor[37].

9.4.3 Varianta 3

Ve třetí variantě jsem se rozhodla použít motor EMRAX 208 vzduchem chlazený o konstantním výkonu $P_H = 33$ kW a maximálním výkonu $P_{Hpeak} = 54,4$ kW. Parametry motoru chlazeného vzduchem jsou o 20 % nižší než u motoru chlazeného kombinovaně vzduchem i kapalinou. Parametry jsou zobrazeny v tabulce 8. Takto výkonný motor dokáže pokrýt běžný režim a zvládne kompenzovat i potřebné zrychlení. Jedná se o střídavý motor s permanentními magnety. Vzhledem k tomu, že jde o použití u přívěsného vozíku, je výho-

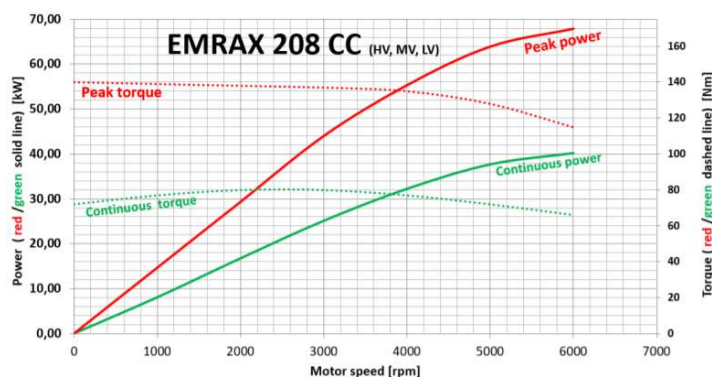
dou bezúdržbové použití. Drobnou komplikací může být maximální napětí baterie, která dosahuje hodnot až 350 V. Při využití vyššího napětí dojde k využití vodičů s menším průřezem a hmotností. Daného napětí dosahují dnešní elektromobily běžně v provozu, například Tesla nebo Nissan Leaf. Dalším příkladem může být i Porsche Taycan, které má napětí až 800 V. Při použití tohoto motoru by se musely zajistit vysokonapěťové zkoušky. Tento motor má již certifikát EASA. Velkou výhodou toho motoru je velmi nízká hmotnost a malé rozměry. [28]



Obrázek 23 Motor EMRAX 208 [28]

Tabulka 8 Parametry motoru EMRAX 208 [28]

Parametry motoru	Motor chlazený vzduchem i kapalinou	Motor chlazený vzduchem
Nepřetržitý výkon motoru (při 6500 ot/min) [kW]	41	33
Špičkový výkon motoru při maximálním zatížení RPM [kW]	68	54,4
Maximální napětí baterie [Vdc] (maximální zatížení [RPM])	350 (6500)	350 (6500)
Maximální točivý moment [Nm]	140	110
Nepřetržitý točivý moment [Nm]	80	64
Účinnost motoru [%]	92-98	92-98
Počet pól párů	10	10
Nepřetržitý proud motoru [Arms]	160	160
Maximální teplota [°C]	120	120
Hmotnost [kg]	9,3	9,1
Průměr [Ø] / Šířka [mm]	208/85	208/85
Stupeň krytí	IP21	IP21



Graf 3 Hodnoty motoru EMRAX 208 [28]

Parametry pro výpočet třetí varianty:

Výkon motoru $P_3 = 33\,000\text{ W}$

Napětí motoru $U_3 = 350\text{ V}$

Podmínka minimálního potřebného proudu

$$I_3 = \frac{P_3}{U_3} = \frac{33\,000}{350} = 94,3\text{ A} \quad (9.3)$$

Prvotní předpoklad je podložený výpočtem. Vypočítaná hodnota proudu je výrazně nižší než u předchozích variant, je dobře udržitelná a realizovatelná pro potřebnou přenosovou soustavu. Třetí varianta bude využita pro návrh přívěsu.

Na základě zjištěných parametrů motoru následuje návrh dalších komponent potřebných pro pohon přívěsu. V další kapitole se budu zabývat návrhem akumulátorů.

10 Akumulátor a měnič

Po navržení elektromotoru je možné navrhnout potřebný akumulátor energie. Akumulátor označuje systém pro akumulaci energie, který se může skládat z jednoho nebo více akumulátorů. Je to zařízení, které přeměňuje chemickou energii na elektrickou. Jedná se o změnu vratnou, čímž se odlišují od baterií, kde tato přeměna energie působí pouze jednosměrně. Akumulátor shromažďuje energii získanou nabíjením pomocí stálého zdroje elektrické energie. Tuto energii je schopen uchovat ve formě chemické energie a v případě potřeby ji zpět přeměnit na elektrickou energii. Akumulátory jsou používány v každodenních spotřebičích například v noteboocích, mobilních telefonech a samozřejmě v každém automobilu, kde se využívá nejenom na napájení elektrozařízení, ale především pro nastartování vozidla.[30] [31]

10.1 Výběr akumulátoru

Při výběru akumulátorů musí být zahrnuto několik kritérií. Ty lze rozdělit do několika odlišných skupin. Hlavními kritérii jsou technické parametry, další skupinou jsou finanční kritéria a poslední uvažovanou skupinou kritérií je životnost a likvidace akumulátorů. Výběr akumulátorů je velmi rozmanitý, protože se vždy jedná o systémy vyráběné moderními technologiemi, které se neustále zdokonalují a vyvíjejí. Vzhledem k tomu, že se jedná o studii proveditelnosti, je potřebné zahrnout fakt, že ne každá technologie se vyvíjí stejným tempem a můžeme u nich očekávat určitý pokrok v čase. O tempu vývoje užitečných vlastností akumulátorů a poklesu ceny je nutné uvažovat, musíme mít ale na paměti, že přesný průběh vývoje je neznámý a musíme vycházet z obecných odhadů, které nemusí mít přesnou vypovídající hodnotu. Jedním ze základních předpokladů je, že čím je technologie novější, tím je možné očekávat větší pokrok a prudší pokles ceny.

Akumulátory používané v elektromobilech na běžném trhu se vyznačují značným poměrem cena/výkon. Existuje mnoho druhů: olovené akumulátory, NiCd, NiMH, Li-Ion, Li-PO, LiFePO₄ a další. V současné době existuje spousta akumulátorů, které jsou ve fázi vývoje, popřípadě testování. Tyto akumulátory, i když mají výborné vlastnosti, není možné použít v sériové výrobě přívěsného vozíku. Důvodem je především jejich neotestování v praxi, velmi vysoká cena a technologie výroby nebývá připravena na dodávání pro sériovou průmyslovou výrobu.

Olovené akumulátory společně s NiCd akumulátory, i přes své technické a ekonomické parametry, nejsou již přípustné pro sériovou výrobu. Příčinou je ekologický dopad na životní prostředí, jak při výrobě, tak i při likvidaci. Inovací NiCd akumulátorů vznikly NiMH

akumulátory, ty mají přibližně dvojnásobnou kapacitu oproti NiCd. V první dekádě 21. století byly jedním z nejpoužívanějších akumulátorů, dnes jsou již zastaralé a jejich technické parametry nejsou zcela dostačující pro využití u přívěsného vozíku. Li-Po články jsou současné, dostatečně prověřené s vhodnými technickými parametry. Důvodem, proč jsem je nezařadila do užšího výběru, je jejich nebezpečnost při použití v provozu. V případě poškození struktury článku by mohlo dojít k výbuchu, což je značná komplikace v procesu schvalování technologií pro běžný provoz. Podobné parametry mají Li-Ion články, a proto není důvod Li-Po články zařazovat do výběru a vymýšlet vhodná bezpečnostní opatření. V užším výběru akumulátorů tedy zůstávají pouze Li-ion články a LiFePO₄ články. [30]

Li-Ion a LiFePO₄ články jsou v dnešní době nejpoužívanější. Objevují se například ve vozech Tesla a jsou použity i ve vozidle Nissan Leaf. Tyto dva druhy mají spoustu společných vlastností a jsou si do určité míry podobné. Hlavním důvodem je chemická, a hlavně vývojová podobnost. Lithium je velmi lehký kov, což je velká výhoda. Základem pro LiFePO₄ články byly právě Li-Iontové. Rozdíl je v použité katodě. Ta je z LiFePO₄, podle čehož je i pojmenovaný článek. Železo je použito jako stabilizující prvek, jeho využitím došlo ke zvýšení hmotnosti. Katoda u Li-Ion článků je z LiCoO₂ nebo LiMn₂O₄. Anoda je stejná u obou článků, vyrobena z uhlíku. Vývoj LiFePO₄ přinesl zlepšení ve vlastnostech, které byly slabými místy Li-Ion článků. Došlo k vylepšení výkonových parametrů, tj. maximální provozní nabíjecí proudy se zvětšily přibližně 3krát a vybíjecí proudy až 10krát. Další zlepšení je nárůst životnosti a účinnosti cyklu. S tím vším jsou ale spojené i nevýhody. Velkou nevýhodou je značný nárůst ceny až o čtyřnásobek. Další nevýhodou LiFePO₄ článků je jejich větší hmotnosti oproti Li-Ion článkům. [31]

Po zhodnocení všech tří skupin kritérií vychází jako vhodnější využití Li-Ion článků. Technické parametry jsou dost podobné. Zlepšení LiFePO₄ článků není až tak výrazné, aby toto kritérium převažovalo, velkou nevýhodou je nárůst hmotnosti. Vzhledem k tomu, že snahou je dosažení nejmenší pohotovostní hmotnosti přívěsu, aby mohla být zachována co největší užitná hmotnost, je to zásadní kritérium. Další parametr, který je proti výběru LiFePO₄ článků je výrazné zhoršení parametrů v oblasti financí, kdy zvýšení ceny článků je o čtyřnásobek. Z hlediska ekologie, výroby a následné likvidace je to velmi podobné. Toto kritérium nepřevažuje ani u jedné varianty. [31]

10.2 Návrh akumulátoru

Celkový návrh akumulátoru vychází z výběru elektromotoru. Při návrhu je nutné vyřešit výkonové a kapacitní parametry. Musíme vycházet ze zadaných parametrů, kterými je dojezd a rychlost. Z předchozí kapitoly víme, že nepřetržitý výkon elektromotoru je 30 kW a maximální napětí baterie pro elektromotor je 350 V. Akumulátor musí být navržen tak, aby pokryl ztráty, které mohou vzniknout v přenosu například v kabelových svazcích nebo ve vinutí elektromotoru. Pokrytí ztrát je ve výpočtech zastoupeno prostřednictvím účinnosti, která byla odhadnuta na 0,9.

Tabulka 9 Vstupní parametry výpočtu akumulátoru

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Rychlost přívěsu	v	130	km/h
Dojezd	s	200	km
Jmenovitý výkon elektromotoru	P	33	kW
Maximální napětí baterií pro elektromobil	U	350	V
Účinnost	η	0,9	-

Z parametrů elektromotoru získáme podmínku, která určuje minimální proud včetně zahrnutí ztrát. Výpočet zobrazuje rovnice(10.1)

P_N – jmenovitý výkon motoru [kW]

P – potřebný výkon [W]

η – účinnost [–]

I – proud [A]

U – napětí [V]

$$P = \frac{P_N}{\eta} = \frac{33\,000}{0,9} = 36\,667\,W \quad (10.1)$$

Podmínka minimálního potřebného proudu

$$I = \frac{P}{U} = \frac{36\,667}{350} = 104,8\,A \quad (10.2)$$

Vypočtený výkon motoru je navržen pro maximální využití. Pro návrh akumulátorů je nutné odhadnout průměrnou spotřebu při jízdě. Odhad vychází z průměrné spotřeby elektromobilů, protože hmotnost přibližně odpovídá hmotnosti naloženého vozíku. Tyto hodnoty určuje norma WLTP. Pro porovnání byli zvoleny BMW i3, VW e-golf a Nissan Leaf. Pro přesné stanovení jízdních režimů by bylo nutné vytvořit 1D simulaci v daných jízdních stavech.

Tabulka 10 Technické parametry elektromobilů[32] [33]

Elektromobil	Pohotovostní hmotnost [kg]	Průměrná spotřeba [kWh/100 km]	Dojezd [km]	Kapacita akumulátoru [kWh]
BMW i3	1345	13,1	359	42,2
VW e-golf	1510	12,7	300	33
Nissan Leaf	1545	17,1	270	40
Průměrné hodnoty	1467	14,3	310	38,4

Průměrná spotřeba elektromobilu neodpovídá průměrné spotřebě přívěsu. Tuto hodnotu je nutné snížit o koeficient, který vychází z porovnání valivého a vzdušného odporu mezi elektromobilem a přívěsem.

Velikost valivého odporu přívěsu je vypočteno v rovnici (7.8). Využitím dvou pneumatik na přívěsu oproti čtyřem pneumatikám u automobilu je velikost valivého odporu přívěsu menší o koeficient $K_1 = 0,5$.

Výpočet vzdušného odporu přívěsu zobrazuje rovnice (7.22). Vzdušný odpor je nutné přepočítat pro elektromobil. Pro výpočet byl zvolen elektromobil Nissan Leaf. Parametry vozu udává výrobce a jsou zobrazeny v tabulce 11. Součinitel vzdušného odporu je odvozen z tabulky 3.

Tabulka 11 Parametry elektromobilu pro výpočet vzdušného odporu

Parametr	Označení	Velikost	Jednotky
Součinitel vzdušného odporu elektromobilu	c_{xE}	0,28	-
Měrná hmotnost vzduchu elektromobilu	ρ	1,25	kg/m^3
Čelní plocha elektromobilu	S_{xE}	2,1	m^2
Celková šířka	b	1,788	m
Celková výška	h	1,540	m
Rychlost proudění vzduchu	v	36,1	m/s

Pro výpočet vzdušného odporu je nutné vypočítat velikost čelní plochy elektromobilu

$$S_{xE} = b \cdot h \cdot 0,75 = 1,788 \cdot 1,540 \cdot 0,75 = 2,1 \text{ m}^2 \quad (10.3)$$

$$O_{vzE} = c_{xE} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_{xE} \cdot v^2 = 0,28 \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 2,1 \cdot 36,1^2 = 479 \text{ N} \quad (10.4)$$

Velikost vzdušného odporu elektromobilu $O_{vzE} = 479 \text{ N}$

Velikost vzdušného odporu přívěsu $O_{vz} = 271,3 \text{ N}$ viz rovnice (7.22)

Velikost valivého odporu přívěsu je přibližně menší o koeficient $K_2 = 0,57$

Výsledný koeficient K pro přepočet průměrné spotřeby vychází z koeficientu valivého odporu a vzdušného odporu. Je odhadnut na hodnotu $K = 0,6$.

Požadovaný výkon je dán z výpočtu průměrné spotřeby na 100 km, sníženou o velikost koeficientu, a požadovaného dojezdu. Dojezd je navýšený o 20 %, které zajišťují rezervu.

s – dojezd [km]

W – požadovaný výkon [kWh]

sp – průměrná spotřeba [kWh/100km]

$$W = \frac{sp \cdot 0,6}{100} \cdot s = \frac{16,2 \cdot 0,6}{100} \cdot 240 = 23,3 \text{ kWh} \quad (10.5)$$

Jednotlivé akumulátory budou zapojeny paralelně a sériově, tím bude dosaženo potřebného výkonu a napětí. Výpočet akumulátoru je rozepsán u varianty 1.

10.2.1 Varianta 1

První variantou byl vybrán již sestavený akupack, který se bude dále lépe kompletovat než jednotlivé články. Zvolila jsem akumulátor Li-Ion, který je tvořen články Panasonic NCR-18650B, jednotlivé parametry jsou v následující tabulce 12. Tento akumulátor se běžně využívá pro pohon. [36]

Tabulka 12 Parametry akumulátoru Li-Ion[36]

Napětí [V]	48
Nominální kapacita [Ah]	40,6 (1949 Wh)
Maximální průběžný vybíjecí proud [A]	35
Doba nabíjení při standardním nabíjecím proudu [h]	9
Doba nabíjení při rychlonabíjení (10 A) [h]	4,5
Hmotnost [g]	9200
Rozměry [mm]	330 x 150 x 150
Jištění tavnou pojistkou	Ano – nabíjecí i vybíjecí větev



Obrázek 24 Článek Panasonic NCR-18650B[36]

Výpočet potřebného počtu akumulátorů

n_s – potřebný počet sériově zapojených akumulátorů

n_p – potřebný počet paralelně zapojených akumulátorů

n – minimální počet akumulátorů

n_c – celkový počet akumulátorů

U – Maximální napětí pro elektromotor [V]

U_A – napětí akumulátoru [V]

W_A – výkon akumulátoru [Wh]

Potřebný počet sériově zapojených akumulátorů je ovlivněn velikostí potřebného napětí.

$$n_s = \frac{U}{U_A} = \frac{350}{48} = 7,3 \quad (10.6)$$

Celkový počet akumulátorů zapojených sériově je $n_s = 7$.

Minimální počet celkově zapojených akumulátorů je ovlivněn velikostí potřebného výkonu.

$$n = \frac{W}{W_A} = \frac{23,3}{1,949} = 12 \quad (10.7)$$

Potřebný počet akumulátorů se musí snížit o již navržené sériově zapojené.

$$n_p = \frac{n}{n_s} = \frac{12}{7} = 1,7 \quad (10.8)$$

Počet paralelně zapojených akumulátorů je $n_p = 2$

$$n_c = n_s \cdot n_p = 7 \cdot 2 = 14 \quad (10.9)$$

U navrženého počtu akumulátorů musí být zkontrolována podmínka potřebného proudu viz rovnice (10.2).

I_A – proud akumulátor [A]

I_{pr} – Maximální průběžný vybíjecí proud akumulátoru [A]

$$I_A = n_p \cdot I_{pr} = 2 \cdot 35 = 70A \quad (10.10)$$

$$I_A \neq I \quad (10.11)$$

Podmínka není splněna. Je nutné přidat ještě další sadu baterií paralelně. Následuje ověření podmínky:

$$I_A = n_P \cdot I_{pr} = 3 \cdot 35 = 105A \quad (10.12)$$

$$I_A \geq I \quad (10.13)$$

$$105 A \geq 104,8 A$$

Podmínka je splněna.

10.2.2 Varianta 2

Druhou variantou byl vybrán článek značky drone.energy. Zvolila jsem akumulátor Li-Ion. Jednotlivé parametry jsou v následující tabulce 13 [38]

Tabulka 13 Parametry akumulátoru Li-Ion[38]

Napětí [V]	21,6
Nominální kapacita [Ah]	24 (518,4 Wh)
Maximální průběžný vybíjecí proud [A]	168
Hmotnost [g]	2480
Rozměry [mm]	95 x 190 x 170



Obrázek 25 Článek drone.energy[38]

Výpočet potřebného počtu akumulátorů

Celkový počet sériově zapojených akumulátorů

$$n_s = \frac{U}{U_A} = \frac{350}{21,6} = 16,2 \quad (10.14)$$

Minimální počet akumulátorů

$$n = \frac{W}{W_A} = \frac{23,3}{0,5184} = 45 \quad (10.15)$$

Celkový počet paralelně zapojených akumulátorů

$$n_P = \frac{n}{n_s} = \frac{45}{16} = 2,8 \quad (10.16)$$

Skutečný počet akumulátorů

$$n_C = n_s \cdot n_P = 16 \cdot 3 = 48 \quad (10.17)$$

U navrženého počtu akumulátorů musí být zkontrolována podmínka potřebného proudu viz rovnice (10.2)

$$I_A = n_P \cdot I_{pr} = 3 \cdot 168 = 504 A \quad (10.18)$$

$$I_A \geq I \quad (10.19)$$

$$504 A \geq 104,8 A$$

Podmínka je splněna.

10.2.3 Varianta 3

Třetí variantou byl vybrán samostatný článek. Zvolila jsem akumulátor Li-Ion, typ LG Chem 18650 MJ1 firmy Battery bro. Jednotlivé parametry jsou v následující tabulce 14.

Tabulka 14 Parametry akumulátoru Li-Ion[39]

Napětí [V]	3,6
Nominální kapacita [Ah]	3,5 (12,6 Wh)
Maximální průběžný vybíjecí proud [A]	10
Hmotnost [g]	49
Rozměry [mm] průměr/délka	18 x 65



Obrázek 26 Článek GB18650-30[39]

Výpočet potřebného počtu akumulátorů

Celkový počet sériově zapojených akumulátorů

$$n_s = \frac{U}{U_A} = \frac{350}{3,6} = 97,22 \quad (10.20)$$

Minimální počet akumulátorů

$$n = \frac{W}{W_A} = \frac{23,3}{0,0126} = 1850 \quad (10.21)$$

Celkový počet paralelně zapojených akumulátorů

$$n_p = \frac{n}{n_s} = \frac{1850}{97} = 19,1 \quad (10.22)$$

Skutečný počet akumulátorů

$$n_c = n_s \cdot n_p = 97 \cdot 20 = 1940 \quad (10.23)$$

U navrženého počtu akumulátorů musí být zkontrolována podmínka potřebného proudu viz rovnice (10.2).

$$I_A = n_p \cdot I_{pr} = 20 \cdot 10 = 200 \text{ A} \quad (10.24)$$

$$I_A \geq I \quad (10.25)$$

$$200 \text{ A} \geq 104,8 \text{ A}$$

Podmínka je splněna.

10.2.4 Zhodnocení

Tabulka 15 Zhodnocení variant akumulátorů

Varianta	Počet článků [ks]	Celková hmotnost [kg]	Minimální rozměr [mm]
Varianta 1	21	193,2	1050x 990
Varianta 2	48	119	1520 x 570
Varianta 3	1940	95	1746 x 360

První varianta by mohla být využita pro prototyp. Získání a zapojení jednotlivých akupacků je jednodušší než zapojení jednotlivých článků. Také cena za jeden kus je výrazně nižší než výroba akupacku na zakázku od firmy Battery bro. Pro sériovou výrobu je ideální využití třetí varianty. Dosáhne se tím menšího zástavbového prostoru, hmotnosti a nižší ceny. Dodavatel zároveň dokládá certifikát o bezpečném zapojení článků. Hlavním kritériem je bezpečnost, hmotnost a zástavbový prostor. Ve všech kritériích je nejvhodnější použití varianty číslo tři. Výrobce uvádí možnost spojení až 18650 článků. Zastavěný prostor je dostatečně malý, aby zůstal dostatečný prostor pro potřebnou izolaci. Pro konstrukci bude využita třetí varianta. Baterie budou umístěny v ochranném boxu, který bude žebrovaný a bude zajišťovat

náporové chlazení baterií. Teplotu baterií zjišťuje a kontroluje řídicí systém. Při zvýšené teplotě dojde ke snížení proudu řídicí jednotkou stejně jako je tomu u elektromobilů.

Akumulátory budou obsahovat BMS (battery management system). Jedná se o systém řízení baterií, který hlídá parametry článků, aby nedošlo k provozu akumulátoru mimo bezpečnou provozní oblast. Zároveň zabraňuje tomu, aby došlo k trvalému poškození baterie.

Pro správné fungování elektromotoru je potřeba mezi baterii a elektromotor umístit frekvenční měnič. Parametry měničů a jejich návrh je popsán v následující podkapitole.

10.3 Měnič

V přívěsném vozíku budou využity dva měniče. Jeden je využit pro změnu otáček motoru a druhý zajišťuje dostatečnou kapacitu pro provoz palubní sítě. Jednotlivé parametry a návrhy jsou rozepsané v podkapitolách.

10.3.1 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je přístroj, který přeměňuje stejnosměrné napětí na střídavé napětí. Měnič dokáže pracovat i v obráceném režimu. Toho lze využít právě v tomto případě, při brzdění vozíku k rekuperaci. Při brzdění by docházelo k tomu, že elektromotor přeměňuje mechanickou energii na elektrickou, a ta se přes měnič přenáší zpět do akumulátoru. Frekvenční měnič je schopen měnit otáčky motoru. Změna otáček je zajišťována změnou napětí a frekvence, při dosažení jmenovitých hodnot napětí dochází ke změnám pouze frekvence. Frekvenční měnič se používá pro plynulou regulaci otáček motoru, popřípadě ke změně výstupního momentu. Pro řízení elektromotoru by byl použit třífázový frekvenční měnič. Potřebné parametry pro návrh měniče jsou jmenovitý výkon motoru $P_N = 33 \text{ kW}$, napětí akumulátoru $U_A = 349,2 \text{ V}$ a proud, který přichází do měniče I_{DC} a frekvence. [40]

Výpočet proudu, který přichází do měniče:

$$I_{DC} = \frac{P}{U_A} = \frac{36\,667}{349,2} = 105 \text{ A} \quad (10.26)$$

Proud potřebný pro měnič je $I_{DC1} = 105 \text{ A}$

Výstupní proud měniče je určen parametry elektromotoru, který je $I_{DC} = 160 \text{ A}$

Výpočet frekvence měniče:

f – frekvence měniče [Hz]

n – otáčky motoru [ot/min]

P_p – počet pól párů elektromotru [-]

$$f = \frac{n}{60} \cdot P_p = \frac{6500}{60} \cdot 10 = 1\,083 \text{ Hz} \quad (10.27)$$

Frekvence měniče musí být 0 – 1 083 Hz.

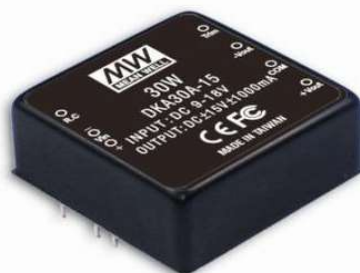
Samotný frekvenční měnič bude externě řízen pomocí napětí (0 - 5 V).

Vzduchem chlazený měnič je možné použít od firmy Sevcon. Odpovídajícím typem je HVLP-10 který má rozsah provozního napětí 200 V – 800 V a výstupní proud je 19 A. Při použití měniče pouze vzduchem chlazeným je nutné zapojit 9 měničů paralelně. Další variantou by bylo možné využít měnič chlazený kapalinou. Tomuto požadavku odpovídá typ Gen 4 Size 8 od stejné firmy. Tento měnič má rozsah provozního napětí 128 V – 400 V, výstupní proud je nepřetržitě 200 A. Zadavatel požaduje vzduchem chlazený měnič. Vzhledem k tomu

by bylo nejvhodnější při sériové výrobě nechat měnič navrhnout. Došlo by ke snížení hmotnosti a rozměrů dané komponenty. Návrh a provedení požadovaného měniče je možné od firmy Frecon. [41], [42]

10.3.2 Stejnosměrný měnič

Druhým použitým měničem je stejnosměrný měnič. Ten slouží ke změně velikosti stejnosměrného napětí nebo proudu. V tomto řešení kontroluje velikost kapacity v akumulátoru. Zajišťuje potřebnou kapacitu pro řídicí jednotku, aby nedošlo k jejímu odpojení. Při nedostatečné kapacitě pro výkonovou a řídicí elektroniku dojde ke změně systému na nouzový režim. Výkonová elektronika se odpojí, aby byla zajištěna dostatečná kapacita pro funkci řídicí jednotky. Parametry pro návrh měniče jsou potřebný výkon pro řídicí jednotku a napětí. Odpovídajícím měničem byl zvolen produkt DKA30A-12 firmy Mean Well, který má výkon až 34 W a výstupní napětí 12 V. Tyto parametry jsou pro řídicí jednotku dostačující. Měnič je připojen na nižší napětí v akumulátoru. Zástavbový prostor měniče je 51 x 51 x 21 mm a hmotnost je 110 g. [43]



Obrázek 27 Stejnosměrný měnič DKA30A-12 [43]

Další součástí je diferenciál, který je popsán v následující kapitole.

11 Diferenciál

Diferenciál je jednou z hlavních součástí pohonu přívěsu. Jedná se o převodové ústrojí zajišťující samovolné vyrovnávání rozdílných otáček hnacích kol. Při průjezdu zatáčkou se vnější kola přívěsu odvalují po větším poloměru a vykonávají delší dráhu oproti vnitřním kolům. Dochází k tomu, že talířové kolo stále redukce se otáčí trvale totožnými otáčkami. Kola přívěsu se otáčejí různými otáčkami, aniž by docházelo ke smyku. Diferenciál se skládá z planetových kol a satelitů. Planetové kolo je spojeno s hnacími hřídeli kol přívěsu a zároveň je pevně spojeno se skříní diferenciálu. Satelity jsou spojeny s volně otočnými čepy. Tyto čepy jsou připevněny ve skříní diferenciálu. Díky vložení satelitů mezi planetová kola, dochází při nezměněných otáčkách talířového kola ke zpoždění jednoho kola a zároveň o stejný počet otáček zrychlování kola druhého. Vyrovnávání otáček kol se provádí vzájemným natáčením planetových kol. [8]

K převodu otáček z motoru na kola bude využit přímo diferenciál. Vzhledem k efektivitě motoru jsou uvažovány otáčky motoru 5 000 ot/min. Výpočet potřebného převodu:

n_m – otáčky motoru [ot/min]

n – otáčky kola [ot/min]

Výpočet otáček kol při rychlosti 130 km/h. Pro přívěs jsou použity pneumatiky 185/80R13C.

d_k – Průměr kola [mm]

Převod rychlosti:

$$v = \frac{130}{3,6} = 36,11 \text{ m/s} \quad (11.1)$$

Určení otáček kola

$$n = \frac{v}{d_k \cdot \pi} = \frac{36,11}{0,561 \cdot \pi} = 20,5 \frac{\text{ot}}{\text{s}} = 1230 \text{ ot/min} \quad (11.2)$$

Převodový poměr diferenciálu

$$i_d = \frac{n_m}{n} = \frac{5000}{1230} = 4,07 \quad (11.3)$$

Výpočet požadovaného kroutícího momentu

$$Mk_2 = Mk_1 \cdot i_d = 64 \cdot 4,07 = 260,48 \text{ Nm} \quad (11.4)$$

Z výpočtu požadovaného kroutícího momentu je možné najít diferenciál pro prototyp. Pro přívěs může být využit zadní diferenciál z dodávky Mercedes-Benz Sprinter. Tento diferenciál dokáže přenést kroutící moment až 300 Nm, což je ke ztrátám v ložiskách ideální. Spojení s tuhou nápravou je vhodné i k využití pro přívěs, kde rozchod kol je stejný. Tento diferenciál je nutné upravit pro možnost připojení elektromotoru a odpružení přívěsu. [46]

Po navržení jednotlivých součástí je možné přejít k řídicímu systému přívěsu. Ten je popsána v následující kapitole.

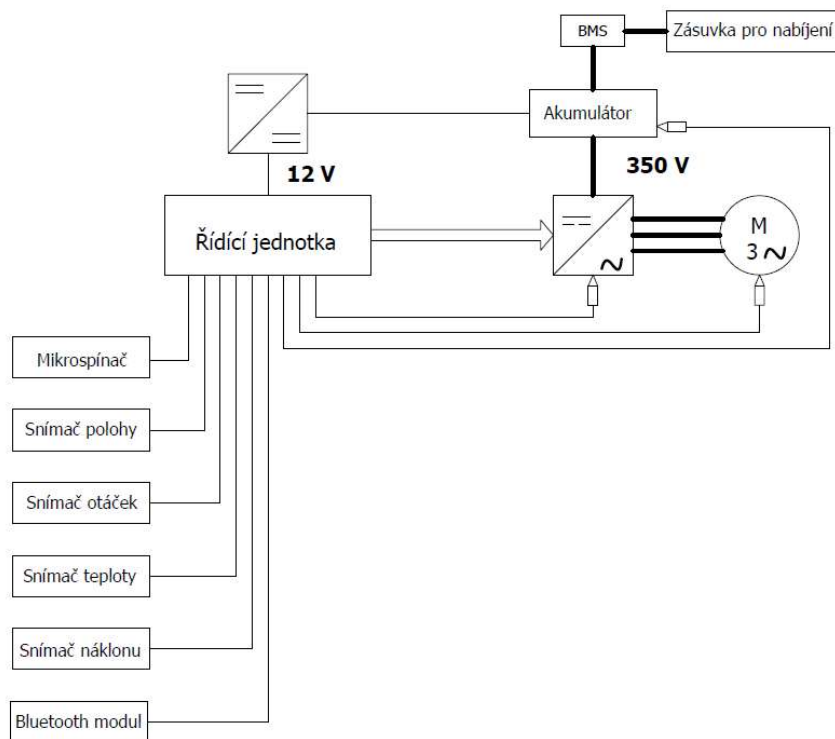
12 Řídicí systém přívěsu

Řídicí systém přívěsu zajišťuje přesné řízení pohybů přívěsu v aktuální situaci, propojení s hnacím systémem, kontrolu stavů pomocí několika senzorů a komunikaci s uživatelem přes aplikaci. Dalo by se říct, že přívěsný vozík je schopen druhé úrovně autonomie. Systém má na starosti zrychlování, brzdění, zatáčení, ale může být kdykoli řidičem deaktivován. Standartní funkce přívěsu budou zachovány. Při deaktivaci bude přívěsný vozík fungovat stejně jako běžný přívěs. V této kapitole je již naznačeno možné řešení řídicího systému přívěsném vozíku.

Řídicí systém provádí hlavně regulační, řídicí a diagnostickou funkci. Regulační funkce probíhá v uzavřeném cyklu, kde je skutečná hodnota porovnávána se stanovenou hodnotou na základě signálů ze snímačů. Ve chvíli, kdy dojde k odchylce, dojde k regulaci pomocí akčního členu na požadovanou hodnotu. Další funkcí je diagnostická, kdy dochází ke kontrole vybraných parametrů a následně rozhodování, jestli vstupní signál leží v předepsaných mezích. Je-li zaznamenán chybný signál nebo hlásí-li některý ze systémů poruchu, je okamžitě odpojen elektrický pohon vozíku. [9]

Řídicí systém se skládá z řídicí jednotky, výkonového členu, napájecího systému, vstupních obvodů a obvodu pro nabíjení baterií. Napájení řídicího systému probíhá z akumulátoru přívěsu. Řídicí jednotka je připojena k stejnosměrnému měnič, který plní funkci záložního zdroje. Hlídá napájení tak, aby nedošlo k úplnému vybití. Vždy musí být dostatek kapacity pro napájení řídicí jednotky. Ve chvíli, kdy v akumulátoru není dostatečná kapacita pro výkonovou i řídicí elektroniku, dojde k odpojení výkonové elektroniky. Řídicí jednotka funguje i bez připojení automobilu, například při nabíjení. Pro řízení celého systému jednotka využívá mnoho vstupních signálů. Na základě nich generuje signál pro výkonový

modul řízení elektromotoru. Základem je vstupní signál z několika snímačů. Jedná se o mikropsínač, snímač polohy, otáček, teploty a náklonu. Jednotlivé snímače a jejich funkce jsou popsány v následujících podkapitolách. Schéma zapojení jednotlivých členů je na obrázku 28.



Obrázek 28 Schéma zapojení

12.1.1 Mikropsínač

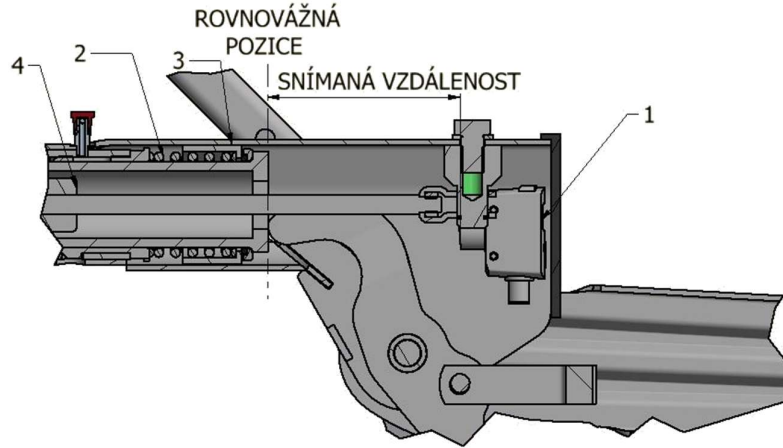
Mikropsínač zjišťuje informaci připojení/odpojení přívěsu k elektromobilu. Při připojení vozíku dojde k sepnutí mikropsínače, který je umístěn v zásuvce přívěsu. Mikropsínač zajišťuje bezpečnostní vazbu. Využitím 13 pinové zásuvky získáme také informaci o připojení trvalého napětí +12 V. Tato informace nemusí být pravdivá. Při porušení přívodního kabelu může systém vykazovat stav nepřipojení. Proto je tento signál pouze doplňkový. Priorita signálu je dána mikropsínačem. Tento signál je bezpečnostní podnět pro pohon přívěsu. Zajišťuje funkci, aby nedošlo k samovolnému rozjetí přívěsu bez automobilu. Pro tuto funkci byl vybrán mechanický spínač P-KMR211GLFS od firmy GM electronic. [48]

12.1.2 Snímač polohy

Snímač polohy plní také funkci snímače zrychlení. Je využíván pro regulaci otáček motoru, pro pohon přívěsu nebo naopak k rekuperaci. Je umístěn v nájezdové brzdě, kde zjišťuje vychýlení mechanismu z výchozí polohy. Jedná se o informaci, jestli je přívěs tažen, brzděn nebo se nachází v rovnovážné poloze.

Pohon přívěsu

Cílem řídicí jednotky je zajistit, aby se přívěs nacházel v rovnovážné poloze. Ve chvíli, kdy elektromobil začne zrychlovat, dojde k tažení přívěsu. Deformací pružiny se vychýlí distanční člen z rovnovážné polohy. Změnu zaznamená senzor, dojde ke změně signálu a zvýší se moment motoru. Přívěs začne zrychlovat a postupně se dostane do rovnovážné polohy. Přesnější regulace otáček motoru je daná tím, že motor se snaží udržovat potřebný moment na optimální hodnotě. Ve chvíli, kdy dojde k tažení přívěsu, sníží se tím potřebný moment, protože část výkonu zajišťuje elektromobil. V tu chvíli řídicí jednotka ví, že musí přidat, aby se dostala zpět na optimální hodnotu.



Obrázek 29 Detail mechanismu nájezdové brzdy. (1) Snímač polohy, (2) Pružina, (3) Doraz, (4) Tlumič

Rekuperace

Stejný princip je využit pro rekuperaci a následné brzdění přívěsu. Pokud začne vozidlo brzdit, dojde k vychýlení distančního členu a aktivace rekuperace elektromotoru. Nájezdová brzda bude aktivována až při požadavku na vyšší brzdný účinek, než dokáže rekuperace sama zajistit. Vzhledem k bezpečnosti je pro brzdný účinek požadován i signál z brzdových světel. To zabrání brzdnému účinku při couvání, kdy je distanční člen také vychýlený z rovnovážné polohy, ale brzdění přívěsu je nežádoucí.

Zpětný chod

Jak již bylo zmíněno, při couvání dojde k vychýlení distančního členu stejně jako u brzdění. Rozdíl mezi rekuperací a zpětným chodem je v získání signálu ze světel. Pokud řídicí jednotka dostane signál ze zpětných světel, dojde ke změně otáček. Pro tuto funkci je požadována ještě informace ze senzoru otáček. Který rozpozná, jestli je otáčení kol dopředné, zpětné nebo nulové. Požadavek na získání obou informací pro změnu je kvůli bezpečnosti.

Pro tyto funkce byl vybrán optický senzor, který zajišťuje zjišťování přesné polohy mechanismu. Tento senzor byl vybrán vzhledem k malému prostoru, ve kterém může probíhat měření. Výsledkem je použití optického distančního senzoru OGD592 firmy ifm. Jedná se o laserový senzor s červeným světlem. Rozměry senzoru jsou 62 x 23 x 45 mm, měřicí frekvence 33 Hz a stupeň krytí IP 67. Rozsah snímané vzdálenosti senzoru je od 25 mm do 300 mm. Rovnovážná poloha se nachází ve vzdálenosti 100 mm od senzoru. Oblast pohonu přívěsu je od rovnovážné polohy do vzdálenosti 125 mm. Díky pohonu přívěsu by nemělo dojít k setrvání distančního členu v koncové poloze delší dobu. Vzdálenost menší než 100 mm slouží k rekuperaci. Minimální možná vzdálenost distančního členu od snímače je 30 mm, což

zajišťuje snímání pozice i v koncovém stavu. Tento stav by neměl nastat, protože při snížení vzdálenosti pod 100 mm dochází k rekuperaci a brzdění mechanickou brzdou. [49]



Obrázek 30 Snímač polohy [49]

12.1.3 Snímač otáček

Snímač otáček je velmi důležitý pro bezpečnost celého systému. Každé kolo má svůj senzor. Rozdíl otáček jednotlivých kol podává informace řídicí jednotce o zatačení vozíku. Senzor zároveň dodává informace o rychlosti otáčení kol v dané chvíli. Řídicí jednotka poté vykonává potřebnou regulaci výkonu. Další funkcí senzoru je bezpečnostní, aby nedošlo k nechtěné změně otáček. Zároveň předává informaci o tom, jestli přívěs jede nebo stojí. Použitý senzor je RM8004. Senzor je odolný vůči rázům a vibracím se stupněm krytí IP 65. [49]



Obrázek 31 Snímač otáček [49]

12.1.4 Snímač teploty

Snímač teploty je jeden z bezpečnostních snímačů systému. Zjišťuje teplotu jednotlivých členů. Snímače budou umístěny na motoru, akumulátoru a výkonové jednotce. Cílem je sledování teploty, aby nedošlo k přehřátí členů a následná regulace systému. Pokud dojde ke zvýšení teploty například na motoru, řídicí jednotka dostane informaci a sníží požadovaný výkon. Při vysoké teplotě baterií dojde ke snížení proudu na potřebnou dobu. Snímač teploty zároveň chrání výkonovou jednotku. Pro tuto funkci byl vybrán teplotní snímač TA2115 od firmy ifm. Senzor má měřicí rozsah od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento rozsah je dostačující, protože maximální hodnota teploty motoru je $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. [49]



Obrázek 32 Senzor teploty [49]

12.1.5 Snímač náklonu

Dalším využitím řídicí jednotky bude hlídání rozložení nákladu. Jedná se o zapojení senzoru náklonu, který zjistí úhel naklopení vozíku. Při špatném rozložení, systém upozorní řidiče na špatnou nákladku. Tento systém je založený na využívání inklinometru. Umístění senzoru je přímo na podlahu přívěsu ze spodní části do těžiště vozíku. Ve chvíli, kdy se přívěs naplní nerovnoměrně, inklinometr se vyhne o daný úhel a dojde k zaznamenání náklonu. Na základě náklonu se změní výstupní signál. Hodnoty náklonu těžiště budou sdělovány řidiči. Jedná se pouze o možnost lepšího rozložení nákladu před jízdou a zlepšení dynamiky jízdy. Na přívěsu je připevněno tlačítko, které určuje systému výchozí stav. To zajistí využívání této

funkce i při nerovném terénu. Dojde tím k vynulování systému. Využití tohoto senzoru je pouze informativní, před jízdou. Při jízdě by informace ze senzoru nebyly relevantní vzhledem k nerovnosti povrchu vozovky. Pro toto využití byl vybrán snímač náklonu JD2110, který provádí měření ve dvou osách. Úhlový rozsah je $\pm 90^\circ$ s přesností $\pm 0,5^\circ$ při dynamickém měření a při statickém měření je přesnost $\pm 0,3^\circ$. Stupeň krytí je IP 67. Kalibrace senzoru je automatická. Umístěním senzoru ve spodní části přívěsu je potřeba ochranného krytu ke snížení šance vnikání nečistot a zamezení poškození senzoru vnějšími vlivy. [49]



Obrázek 33 Snímač náklonu JD2110[49]

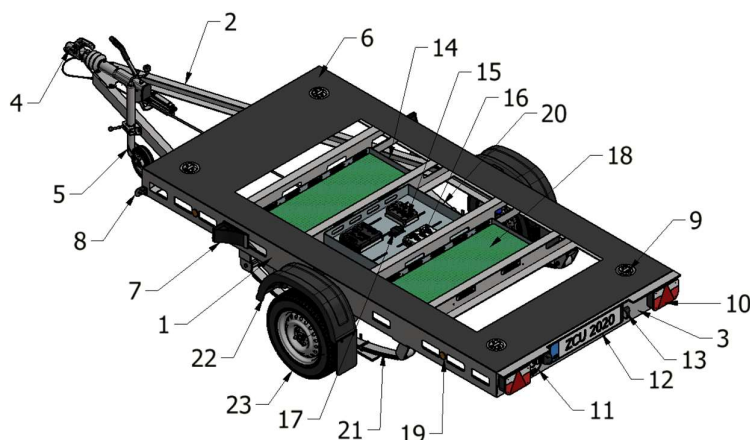
Bluetooth modul

Mezi další funkce přívěsného vozíku patří bluetooth modul. K danému modulu bude vyvinutá přehledná aplikace, která bude zobrazovat potřebné informace. Propojením přes Bluetooth bude mít řidič všechny informace přehledně zobrazené na displeji, kdykoli bude v blízkosti vozíku. Není nutná přítomnost elektromobilu. Stav nabití přívěsu, bude možné zkontrolovat během chvilky jen s pomocí mobilu. Jednotka bude zobrazovat prioritně stav nabití přívěsu a výkon. Nastavením řídicí jednotky a jejím propojením s modulem je možné zobrazovat i ostatní informace, například nastavení jeho výchozí hodnoty, naložení přívěsu, otáčky a další. V aplikaci bude možné nastavit si jízdní režimy vozíku. Nastavení je možné do modu Eco, Normal a Load. Ve chvíli, kdy by došlo k přetížení přívěsu nebo jakémukoli poškození, aplikace zobrazí varovnou hlášku.

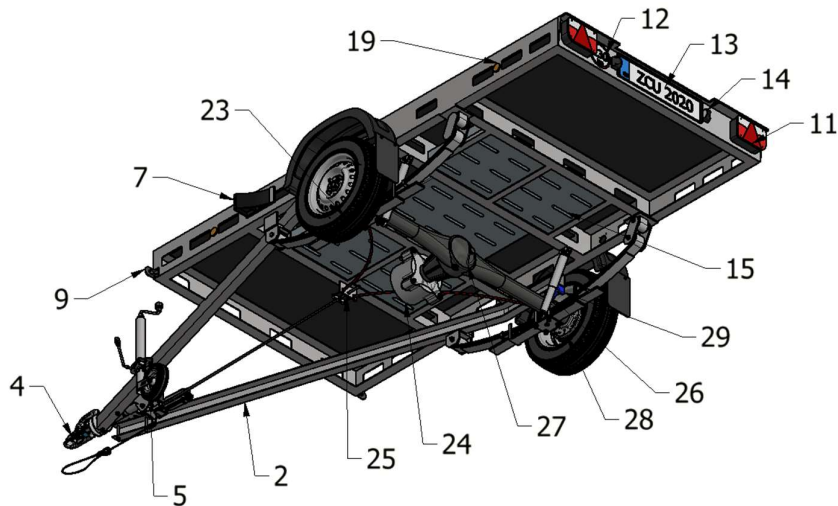
13 Konstrukční návrh

Další částí této práce je konstrukční návrh přívěsného vozíku. Jedná se o konstrukční návrh varianty B.

Představení konstrukce



Obrázek 34 Popis přívěsu



Obrázek 35 Popis konstrukce

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Základní rám | 15. Frekvenční měnič |
| 2. V oj | 16. BMS |
| 3. Zadní světelný panel | 17. Snímač náklonu |
| 4. Nájezdná brzda se snímačem polohy | 18. Akumulátor |
| 5. Opěrné kolečko | 19. Boční odrazka |
| 6. Vodovzdušná překližka | 20. Ochranný box pro elektroniku |
| 7. Zakládací klín | 21. Listové pero |
| 8. Přední odrazka | 22. Blatník se zástěrkou |
| 9. Upínací oko podlahové | 23. Kolo |
| 10. Sdružené zadní světlo | 24. Lanovod brzdy |
| 11. Označení maximální rychlosti | 25. Tlumič |
| 12. SPZ | 26. Diferenciál s pevnou nápravou |
| 13. Osvětlení SPZ | 27. Bubnová brzda |
| 14. Ochranný box akumulátoru | 28. Silentblok |

13.1 Výběr homologovaných součástí potřebných pro konstrukci

Homologované komponenty, které jsou běžně k dostání na trhu, ovlivňují rozměry samostatného rámu. Základní homologované komponenty byly již zmíněny a navrženy v kapitolách: 9 Elektromotory, 10 Akumulátor a měnič a 11 Diferenciál. Mezi ostatní homologované komponenty patří pneumatiky s disky, náprava, spojovací zařízení a zásuvky.

13.1.1 Zásuvky přívěsu

Zásuvka pro propojení přívěsu s automobilem bude využita standardizovaná 13 pínová. Připojení zajišťuje standartní funkce přívěsu. Dále bude zásuvka využita pro detekci spojení s elektromobilem. Pin 9 zajišťuje informaci řídicí jednotce o připojení přívěsu. Tento stav je zabezpečený ještě sepnutím mikrospínače umístěným v zásuvce. Mechanická vazba zajistí informaci o připojení i při porušení připojovací elektroniky. Vybraný mikrospínač je více popsán v předchozí kapitole 12.1.1.



Obrázek 36 Zapojení zásuvky [47]

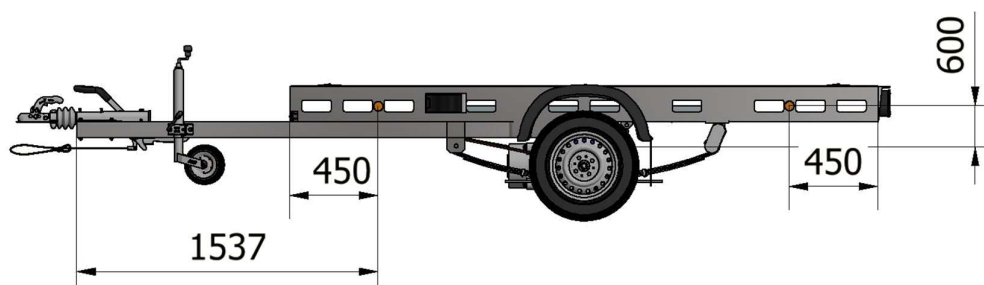
- 1 – Směrové světlo levé
- 2 – Koncové světlo do mlhy
- 3 – Kostra (pro kontakty -8)
- 4 – Směrové světlo pravé
- 5 – Pravé obrysové světlo
- 6 – Brzdová světla
- 7 – Levé obrysové světlo
- 8 – Couvací světla
- 9 – Trvalé napětí +12 V

- 10 – Neobsazeno
- 11 – Kostra pro kontakt 9
- 12 – Neobsazeno
- 13 – Kostra pro kontakt 10
- 2a – Zadní mlhová světla

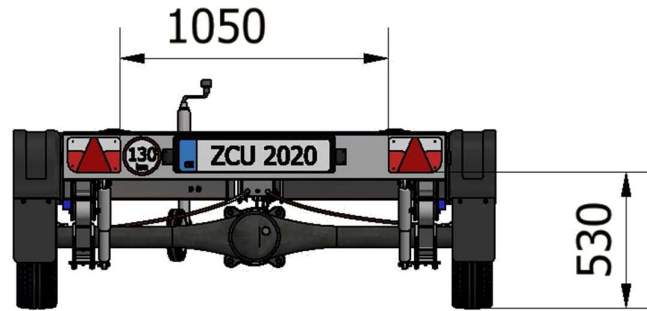
Zásuvka pro nabíjení akumulátorů bude využita standardizovaná. Stejná jako je využívána k nabíjení elektromobilů.

13.1.2 Osvětlení přívěsu

Návrh osvětlení přívěsu byl proveden podle kapitoly 5.5.2, aby splňoval požadavky dané legislativou. K zadnímu nárazníku je přišroubované skupinové světlo. To obsahuje zadní obrysové světlo společně s brzdovým a zpětným světlem, ukazatelem směru a zadní odrazkou. To je umístěno 20 mm od vnější hrany přívěsu a 530 mm od vozovky. Vzdálenost mezi světly je 1050 mm. Na zadním nárazníku je také umístěno označení omezení rychlosti přívěsu a SPZ, která je osvětlena. Označení vozíku je provedeno odrazkami. Přední odrazky jsou umístěny na hranu přívěsu ve vzdálenosti 530 mm od vozovky. Boční odrazky jsou umístěny ve vzdálenosti 450 mm od kraje a 600 mm od vozovky. První odrazka je umístěna 1537 mm od oje. Osvětlení splňuje požadavky pro homologaci.



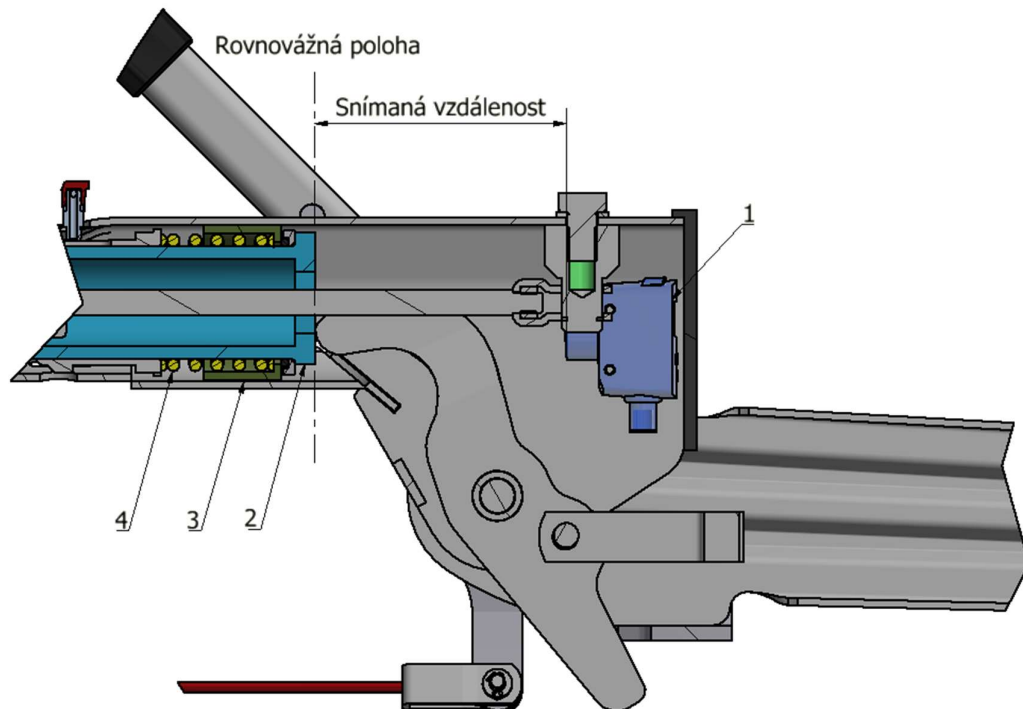
Obrázek 37 Osvětlení přívěsu - boční pohled



Obrázek 38 Osvětlení přívěsu - zadní pohled

13.1.3 Spojovací zařízení

Využití spojovacího zařízení je od firmy KNOTT jehož součástí je nájezdová brzda KFL14-A. Toto spojení je běžně využíváno na přívěsné vozíky kategorie O2. Vzhledem k řízení vozíku byla nutná úprava zařízení. Základní funkce systému zůstaly nezměněné. Došlo k prodloužení krytu zařízení a pístu. Mezi píst a tělo byl vložen doraz, který zamezuje neustálému namáhání pružiny a její dosednutí závitů. Pružina umožňuje pohyb pístu, aby bylo možné detekovat vychýlení z rovnovážné polohy při tažení přívěsu, nejenom při brzdění. Na kryt zařízení je umístěn snímač polohy, který detekuje vychýlení pístu z rovnovážného stavu. K využití rekuperace bylo nutné upravit geometrii systému, který uvádí v činnost mechanickou brzdou na kolech. Změnou geometrie dojde k prodloužení činnosti brzdy, v tu chvíli bude probíhat rekuperace. Při požadavku na větší brzdný účinek dojde k využití mechanické brzdy.



Obrázek 39 Detail mechanismu nájezdné brzdy. (1) Snímač polohy, (2) Tlumič, (3) Doraz, (4) Pružina

13.1.4 Odpružení

Odpružení je nedílnou součástí přívěsu. Firma Autovia dodává na přívěsy kategorie O1 a O2 odpružení. Jedná se o listové odpružení, které je jednoduché, lehké, snadné na montáž a výměnu. Tyto vlastnosti jsou vhodné pro využití u přívěsu. Zátěžná síla na pružiny je 1 600 kg. Síla 100 kg představuje mírnou rezervu proti přetížení. Vzhledem k využití dvou pružin na nápravě je tato hodnota rozdělena. Zátěžná síla na pružinu je 800 kg. Využití těchto pružin je nutné ověřit. To je provedeno v rovnici (13.4).

Tabulka 16 Parametry odpružení firmy Autovia [45]

Parametr	označení	Hodnota
Dovolené napětí pružiny v ohybu	σ_D	950 MPa
Zatížení pružiny	F_c	8 000 N
Koncové zatížení pružiny	F	4 000 N
Funkční délka pružiny	L	435 mm
Šířka listu pružiny	b	44 mm
Tloušťka listu pružiny	t	8 mm
Celkový počet listů pružiny	n	4

K ověření možnosti použití pružiny je nutné vypočítat napětí pružiny v ohybu. Při ověření je vypočítána pouze polovina pružiny, tu pokládáme za nosník upnutý v polovině opasku. Na konci je zatížen polovinou síly. Ověření je provedeno v rovnici (13.4).

$$\sigma = \frac{6 \cdot F \cdot L}{n \cdot b \cdot t^2} = \frac{6 \cdot 4\,000 \cdot 435}{4 \cdot 44 \cdot 8^2} = 1112 \text{ MPa} \quad (13.1)$$

Vypočtené napětí musí být menší než dovolené.

$$\sigma \not\leq \sigma_D \quad (13.2)$$

Podmínka není splněna. Vypružení od firmy Autovia nelze použít.

Druhou variantou je možnost využití odpružení z dodávky Mercedes benz – Sprinter.

Tabulka 17 Parametry odpružení dodávky Sprinter[46]

Parametr	označení	Hodnota
Dovolené napětí pružiny v ohybu	σ_D	950 MPa
Funkční délka pružiny	L	652,5 mm
Zatížení pružiny	F_c	8 000 N
Koncové zatížení pružiny	F	4 000 N
Šířka listu pružiny	b	60 mm
Tloušťka listu pružiny	t	12 mm
Celkový počet listů pružiny	n	5

Ověření možnosti použití

$$\sigma = \frac{6 \cdot F \cdot L}{n \cdot b \cdot t^2} = \frac{6 \cdot 4\,000 \cdot 652,5}{5 \cdot 60 \cdot 12^2} = 362,5 \text{ MPa} \quad (13.3)$$

$$\sigma \leq \sigma_D \quad (13.4)$$

$$362,5 \text{ MPa} < 950 \text{ MPa}$$

Podmínka je splněna, následuje vypočtení velikosti bezpečnosti v rovnici (13.5).

$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma} = \frac{950}{362,5} = 2,6 \quad (13.5)$$

Výsledkem je využití odpružení používaného pro Mercedes Benz Sprinter s bezpečností 2,6.

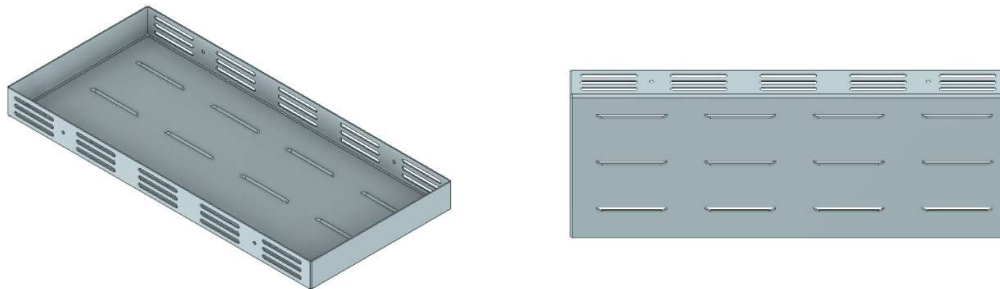
Pro správnou stabilitu jízdy přívěsu je nutné použít ještě tlumič na každé straně přívěsu.

13.1.5 Kola

Podle navrhované konstrukce s koly vně ložné plochy byly zvoleny užší pneumatiky. Zvolená pneumatika musí být navržena na zatížení 750 kg. K pneumatice byl zvolen příslušný disk. Vyhovující pneumatikou je 185/80R13C 100Q, s nosností 800 kg a rychlostí až 160 km/h. K pneumatice byl vybrán plechový disk s roztečí děr pro šrouby M4x100 mm. [44]

13.2 Kryt akumulátoru a elektro komponent

Podle potřebného rozměru akumulátorů byl navržen ochranný box pro uložení akupacku. Akupack má již od výrobce ochranu proti vnikání vody. Kryt je navržen pro ochranu proti mechanickému poškození vnějších částí. Rozměr boxu umožňuje obtékání akupacku vzduchem pro chlazení. Pro tento účel jsou na čele boxu vytvořeny drážky. Na dně boxu jsou vytvořeny kapsy, které napomáhají proudění vzduchu a chlazení akupacku v celém prostoru, nejenom na čele. Box je připevněn na rám přívěsu pomocí šroubů a zároveň je podepřen vyztužením rámu. Horní kryt boxu je tvořen podlahou přívěsu.



Obrázek 40 Box pro uložení akumulátoru

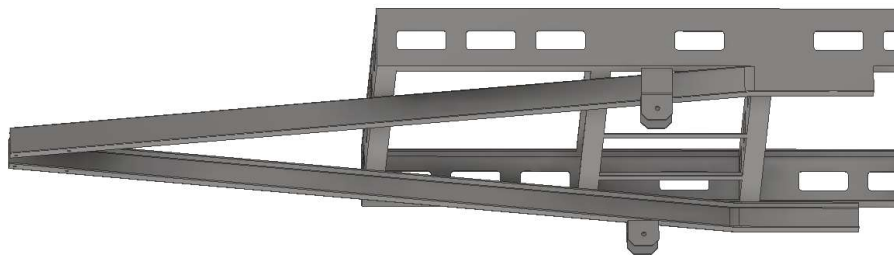
Obdobný box, jiných rozměrů, je navržen pro ochranu elektro komponent. Do něj je umístěna řídicí jednotka, výkonová elektronika, senzor náklonu a další komponenty.

13.3 Konstrukce oje

Na základě zvolené varianty a předběžného průzkumu trhu byla zvolena V oj. Oj je zkonstruována z otevřených rovnoramenných profilů U 70 x 50 x 4 mm. Aby bylo možné montáže nájezdové brzdy, rozšiřuje se oj pod úhlem 17°. V místě ohybu profilu jsou pásnice naříznující do tvaru V, ohnuty a následně svařeny. Na začátku oje jsou vyvrtány díry pro šrouby, které slouží k uchycení nájezdové brzdy. Na levém boku oje je připevněno podpěrné kolečko přívěsu. Koncová část oje je rovnoběžná s osou přívěsu a vyztužuje rám.

Oj slouží pro uchycení přední části odpružení. V zadní třetině oje je navařen L prvek s rozměry 80 x 100 x 5 mm, který slouží jako vyztužení. Na tento prvek je navařeno uchycení přední části listových pružin.

Pro konstrukci oje byla zvolena ocel S355JO, která má větší mez kluzu.



Obrázek 41 Oj spojena s rámech přívěsu

13.4 Konstrukce rámu

Pokud není uvedeno jinak, použitý materiál je ocel S235JR jedná se o běžně používané profily firmy Feron. Využitím prolamovaných plechů dojde ke snížení hmotnosti při zajištění stejné pevnosti. Povrchová úprava rámu je provedena žárovým zinkováním. Žárové zinkování je možné zajistit v kooperaci s firmou MEA.[51]

Nejčastěji využívaným profilem pro výrobu přívěsů je tenkostěnný profil tvaru U. Tento tvar je přístupný ze všech stran k povrchovým úpravám, což je nutné pro využití ke konstrukci. Tyto profily jsou vhodné ke svařování, spojování pomocí šroubů, případně zabudování unifikovaných dílů. Pro volbu rozměrů profilů, tloušťek stěn a délek je vycházeno z průzkumu trhu již existujících koncepcí. Přívěs je dynamicky namáhaný celek. Tuto skutečnost je nutné brát v úvahu kvůli bezpečnosti. Po využití výsledků z výpočtů MKP je nutné následné ověření pomocí dynamické simulace, kterou zadavatel nevyžaduje. Ta by byla součástí následného ověření.

Rám bude z profilu U 160 x 60 x 4 mm. Jak bylo zmíněno, bude využito prolamování plechů ke snížení hmotnosti, při zachování pevnosti. U profil je symetrický podél osy procházejícím těžištěm. Profil je možné použít s osou směřující horizontálně nebo vertikálně. Výsledkem je jiné napětí v ohybu. Možnosti použití profilu je nutné ověřit. [52]

Výpočet napětí v ohybu profilu

T – těžiště profilu

e_1, e_2 – poloha těžiště [mm]

S_1 – statický moment průřezu

z – neutrální osa

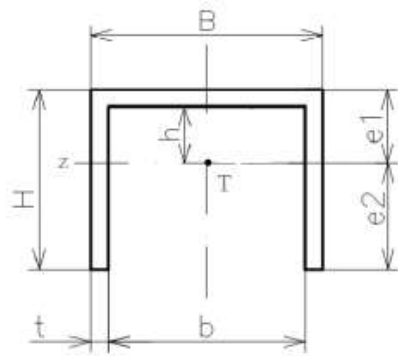
J_z – kvadratický moment

W_o – průřezový modul v ohybu

σ_o – napětí v ohybu

M_o – ohybový moment

Profil s vertikální osou symetrie



$$\begin{aligned}
 H &= 60 \text{ mm} \\
 B &= 160 \text{ mm} \\
 t &= 4 \text{ mm} \\
 h &= e_1 - t \\
 b &= B - 2t \\
 M_o &= 500\,000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Obrázek 42 U profil s vertikální osou symetrie [52]

$$e_1 = \frac{\sum S_i \cdot y}{\sum S_i} = \frac{30 \cdot (60 \cdot 4) + 2 \cdot (152 \cdot 4) + 30 \cdot (60 \cdot 4)}{(60 \cdot 5) + (152 \cdot 4) + (60 \cdot 4)} = 14 \text{ mm} \quad (13.6)$$

$$e_2 = H - e_1 = 60 - 14 = 46 \text{ mm} \quad (13.7)$$

$$J_z = \frac{1}{3}(B \cdot e_1^3 - b \cdot h^3 + 2 \cdot t \cdot e_2^3) = \frac{1}{3}(160 \cdot 14^2 - 152 \cdot 10^3 + 2 \cdot 4 \cdot 46^3) \quad (13.8)$$

$$J_z = 219\,349 \text{ mm}^4$$

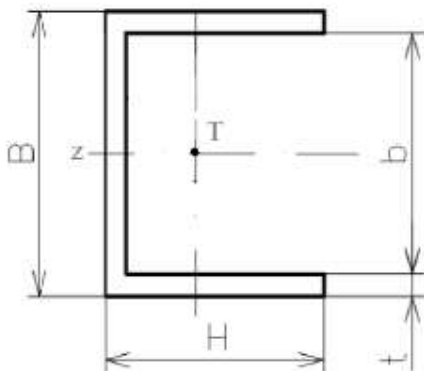
$$W_o = \frac{J_z}{e_1} = \frac{219\,349}{14} = 15\,668 \text{ mm}^3 \quad (13.9)$$

$$W_o = \frac{J_z}{e_2} = \frac{219\,349}{46} = 4\,768 \text{ mm}^3 \quad (13.10)$$

Výsledek z rovnice (13.10) je minimální hodnota, proto bude použit pro výpočet napětí v ohybu

$$\sigma_{o1} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{500\,000}{4\,768} = 105 \text{ MPa} \quad (13.11)$$

Profil s horizontální osou symetrie



$$\begin{aligned}
 H &= 60 \text{ mm} \\
 B &= 160 \text{ mm} \\
 t &= 4 \text{ mm} \\
 k &= H - t \\
 b &= B - 2t \\
 M_o &= 500\,000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Obrázek 43 U profil s horizontální osou symetrie [49]

$$J_z = \frac{HB^3 - kb^3}{12} = \frac{60 \cdot 160^3 - 56 \cdot 152^3}{12} = 4\,091\,563 \text{ mm}^4 \quad (13.12)$$

$$W_o = \frac{HB^3 - kb^3}{6B} = \frac{60 \cdot 160^3 - 56 \cdot 152^3}{6 \cdot 160} = 51\,145 \text{ mm}^3 \quad (13.13)$$

$$\sigma_{o2} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{500\,000}{51\,145} = 10 \text{ MPa} \quad (13.14)$$

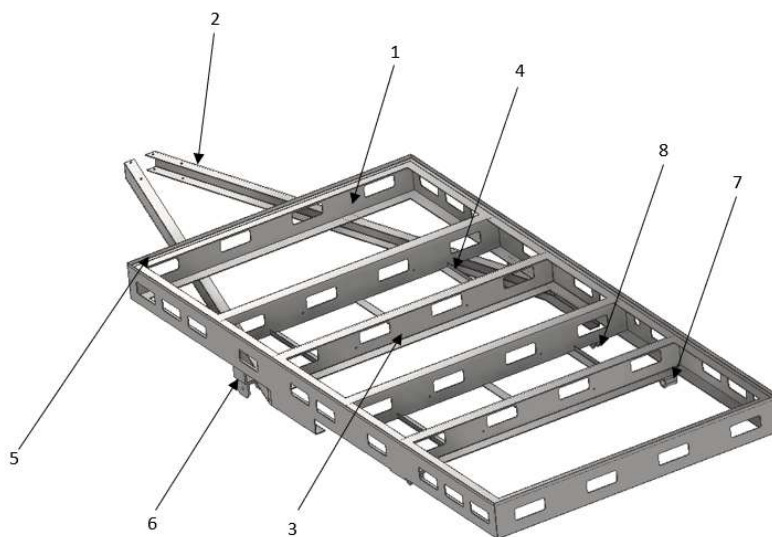
Zhodnocení

$$\sigma_{o1} > \sigma_{o2} \quad (13.15)$$

$$105 \text{ MPa} > 10 \text{ MPa}$$

Požadavkem na velikost napětí v ohybu je nejnižší hodnota. Z výsledků mezi variantami je vidět markantní rozdíl. Profily budou umístovány tak, aby osa symetrie směřovala horizontálně. Tohoto poznatku bude využíváno i při návrhu ostatních částí.

Představení rámu



- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Hlavní rám | 5. Ukotvení podlahy |
| 2. V oj | 6. Přední uchycení listových per |
| 3. Příčná výztuha rámu | 7. Zadní uchycení listových per |
| 4. Podpěra akumulátorového boxu | 8. Uchycení tlumiče |

Výsledkem je svařovaná konstrukce. Ta se používá už řadu let v automobilovém průmyslu. Rám je svařen koutovými $\frac{1}{2}$ V svař. Podélníky, příčníky i příčné výztuhy rámu jsou z profilu U 160 x 60 x 4 mm, který má prolamované otvory. V příčné výztuži jsou díry pro uchycení akumulátorového boxu. Uložení akumulátorového boxu je řešeno dvěma rovnoramennými L profily 25 x 25 x 3 mm. Profily zamezí posunu boxu v ose Y. Prostřední část boxu je podepřena pásovinou o rozměrech 40 x 3 mm. Po celém obvodu základního rámu je přivařen rovnoramenný profil L 20 x 20 x 3 mm. Ten zajišťuje usazení podlahy. Na základní rám a oj je přivařeno přední uchycení listových per, které je vyztuženo. Na poslední příčné výztuži je přivařeno zadní uchycení listových per. Třetí příčná výztuha představuje základní část pro uchycení tlumiče.

Pevnost navržené konstrukce je nutné ověřit. To je provedené v kapitole 14.

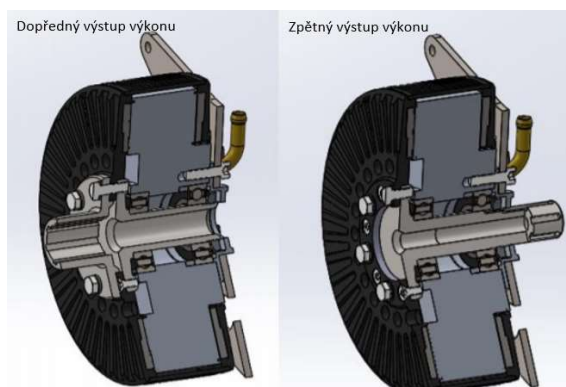
13.5 Připojení elektromotoru

Vybraný motor emrax 208 je přímo spojený s diferenciálem. Spojení je možné pouze tehdy, když je rozsah otáček od nuly. Podmínku emrax 208 splňuje. Tento druh spojení byl využit vzhledem k malé hmotnosti motoru. Absencí některých mechanických částí dojde ke snížení hmotnosti a zástavbového prostoru. Přímé spojení se využívá už i v sériové výrobě. Příkladem je firma Meritor viz. obrázek 44. Motor se umísťuje v ose nebo kolmo na osu diferenciálu. V tomto případě je motor připojený v ose diferenciálu stejně jako u firmy Meritor.



Obrázek 44 Spojení motoru s nápravou firmy Meritor

Výrobce elektromotoru umožňuje výstup výkonu dopředu nebo dozadu. Pro pohon přívěsu byl využit zpětný výstup výkonu. To zajistí nejmenší možnou vzdálenost od diferenciálu. Stator je připojený deskou k diferenciálu pomocí čtyř šroubů. Přenos kroutícího momentu u rotoru je přes drážkovanou hřídel. Tato varianta umožňuje jednoduchou montáž i demontáž. Drážkovaná hřídel rotoru je nasunuta do diferenciálu a deska statoru je připevněna na vnější, pevnou část, diferenciálu.



Obrázek 45 Varianty výstupu výkonu motoru emrax 208 [28]

Motor je ochráněn před vnějšími mechanickými vlivy pomocí krytu z tvrzeného plastu. Ten umožňuje proudění vzduchu pro chlazení motoru.



Obrázek 46 Spojení diferenciálu s motorem.

13.6 Poloha nápravy přívěsu

Při výběru nápravy byl kladen důraz na minimální šířku ložní plochy 1300 mm, zároveň na celkovou vnější šířku přívěsu, což odpovídá průměrné hodnotě 1 500 mm a zatížitelnost 1 000 kg až 1 500 kg. Podle potřebných rozměrů byla zvolena náprava využívaná pro Mercedes Benz Sprinter. Jedná se o tuhou nápravu. Pera jsou uložena pod nápravou. Z tohoto důvodu jsou na spodní straně nápravy plochy na uložení per.

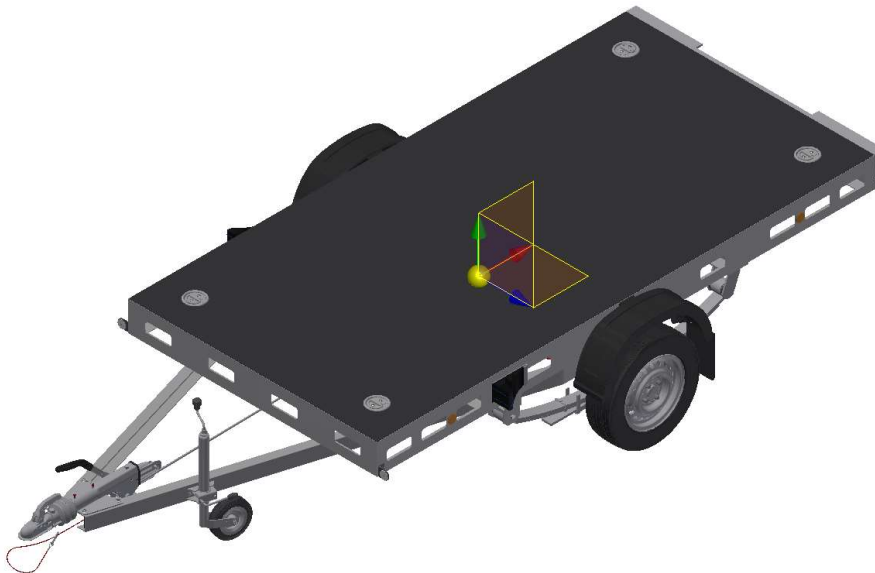


Obrázek 47 Spodní část nápravy

Umístění polohy nápravy je nutné k zjištění těžiště a zatížení spojovacího zařízení. Poloha těžiště a hmotnosti součástí jsou zjištěny z 3D modelů, kterým je v systému Siemens NX 12.0 přiřazen odpovídající materiál společně s fyzikálními vlastnostmi. Hmotnost nezatíženého vozíku je 452 kg. Pro návrh nápravy je úloha zjednodušena do 2D. Základem výpočtu jsou statické podmínky rovnováhy a momentové podmínky.

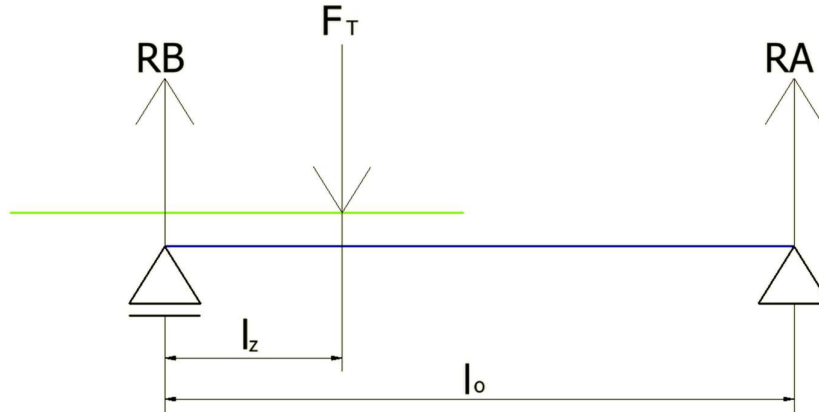
13.6.1 Zatížení tažného zařízení

V návrhu je potřeba zjistit optimální vzdálenost podélného umístění nápravy tak, aby na tažné zařízení nepůsobila síla větší, než je dovoleno výrobcem. Tato hodnota se liší. Svislé zatížení může být tíhou 75 kg, 100 kg a u některých těžších vozidel až 120 kg



Tabulka 18 Těžiště přívěsu

Model pro výpočet je zjednodušen na 2D úlohu. Rám je uvažován jako jeden celek tuhého tělesa. Základním předpokladem výpočtu je rovnoměrné rozložení nákladu. Reakce R_A představuje podporu přípojného zařízení automobilu. Reakce R_B znázorňuje polohu nápravy. Modrá přímka znázorňuje oj a zelená ložnou plochu přívěsu.



Obrázek 48 Zjednodušený 2D model

Tabulka 19 Vstupní parametry výpočtu

Parametr	Označení	Hodnota
Reakce tažného zařízení	R_A	0 – 1177 N
Reakce nápravy	R_B	?
Hmotnost prázdného přívěsu	m	452 kg
Hmotnost působící na přípojné zařízení	m_l	0-120 kg
Tíhová síla prázdného přívěsu	F	4 434 N
Tíhové zrychlení	g	9,81 m/s ²
Vzdálenost tažného zařízení od nápravy	l_o	2 597 mm
Vzdálenost těžiště od tažného zařízení	l_z	?

Vzdálenost těžiště od nápravy při nulové síle působící na přípojné zatížení

$$R_A = 0 \text{ N}$$

$$F = m \cdot g = 452 \cdot 9,81 = 4434 \text{ N} \quad (13.16)$$

Určení podmínky rovnováhy

$$\sum_{i=1}^n F_{yi} = 0 \quad (13.17)$$

$$R_A + R_B - F = 0 \quad (13.18)$$

Z rovnice (13.18) vyjde reakce nápravy

$$R_B = F - R_A = 4434 - 0 = 4434 \text{ N} \quad (13.19)$$

Určení momentové podmínky k bodu B

$$\sum_{i=1}^n M_{Bi} = 0 \quad (13.20)$$

$$R_A \cdot l_o - F \cdot l_z = 0 \quad (13.21)$$

$$l_z = \frac{R_A \cdot l_o}{F} = \frac{0 \cdot 2597}{4434} = 0 \text{ mm} \quad (13.22)$$

Vzdálenost těžiště od nápravy při maximální síle působící na přípojně zatížení

$$R_A = m_l \cdot g = 120 \cdot 9,81 = 1177 \text{ N} \quad (13.23)$$

$$F = m \cdot g = 452 \cdot 9,81 = 4434 \text{ N} \quad (13.24)$$

Určení podmínky rovnováhy

$$\sum_{i=1}^n F_{yi} = 0 \quad (13.25)$$

$$R_A + R_B - F = 0 \quad (13.26)$$

Z rovnice (13.18) vyjde reakce nápravy

$$R_B = F - R_A = 4\,434 - 1\,177 = 3\,257 \text{ N} \quad (13.27)$$

Určení momentové podmínky k bodu B

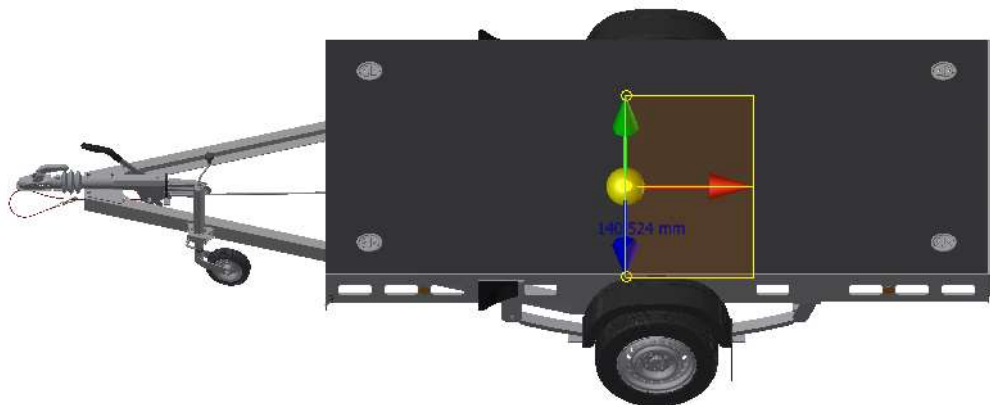
$$\sum_{i=1}^n M_{Bi} = 0 \quad (13.28)$$

$$R_A \cdot l_o - F \cdot l_z = 0 \quad (13.29)$$

$$l_z = \frac{R_A \cdot l_o}{F} = \frac{1\,177 \cdot 2597}{4434} = 689 \text{ mm} \quad (13.30)$$

Výsledkem rovnic (13.22) a (13.30) je rozmezí, ve kterém se musí nacházet těžiště, aby nedocházelo k přetěžování přípojněho zařízení automobilu. Těžiště se musí nacházet v rozmezí 0 mm až 689 mm od nápravy.

Zjištěním těžiště z 3D modelu musí být ověřena správnost umístění nápravy. Náprava je vzdálena 140,5 mm od těžiště. Pro tuto hodnotu je nutné provést ověření velikosti zatížení přívěsného zařízení.



Obrázek 49 Vzdálenost těžiště přívěsu od nápravy

Tabulka 20 Parametry přívěsu pro výpočet zatížení přívěsného zařízení

Parametr	Označení	Hodnota
Reakce tažného zařízení	R_A	?
Hmotnost prázdného přívěsu	m	452 kg
Hmotnost působící na přípojné zatížení	m_l	?
Tíhová síla prázdného přívěsu	F	4 434 N
Hmotnost plného přívěsu	m_l	1 048 kg
Tíhová síla plného přívěsu	F_l	10 281 N
Tíhové zrychlení	g	9,81 m/s ²
Vzdálenost tažného zařízení od nápravy	l_o	2 597 mm
Vzdálenost těžiště od tažného zařízení	l_z	140,5 mm

Vyjádřením reakce R_A z rovnice (13.29) vypočteme velikost reakce na přípojné zařízení.

$$R_A = \frac{F \cdot l_z}{l_o} = \frac{4\,434 \cdot 140,5}{2\,597} = 240 \text{ N} \quad (13.31)$$

$$m_l = \frac{R_A}{g} = \frac{240}{9,81} = 24,5 \text{ kg} \quad (13.32)$$

Velikost reakce a působící hmotnost je nutné ověřit i pro naložený přívěs.

$$R_{Al} = \frac{F_l \cdot l_z}{l_o} = \frac{10\,281 \cdot 140,5}{2\,597} = 556 \text{ N} \quad (13.33)$$

$$m_l = \frac{R_{Al}}{g} = \frac{556}{9,81} = 56,7 \text{ kg} \quad (13.34)$$

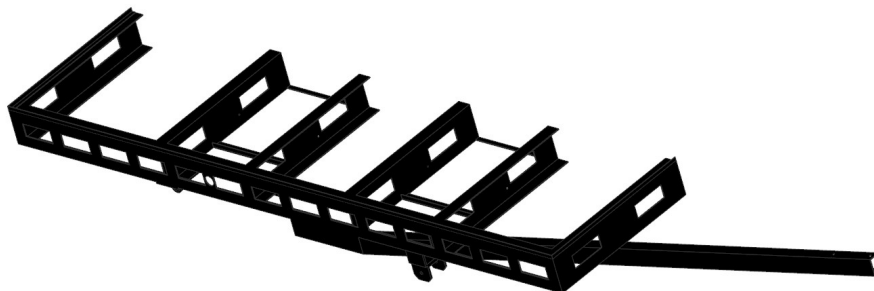
Používáním přívěsu nedojde k přetěžování přívěsného zařízení.

14 Statická napět'ová analýza rámu

Analýza byla provedena v softwaru Siemens NX Nastran.

14.1 Výpočtový model rámu

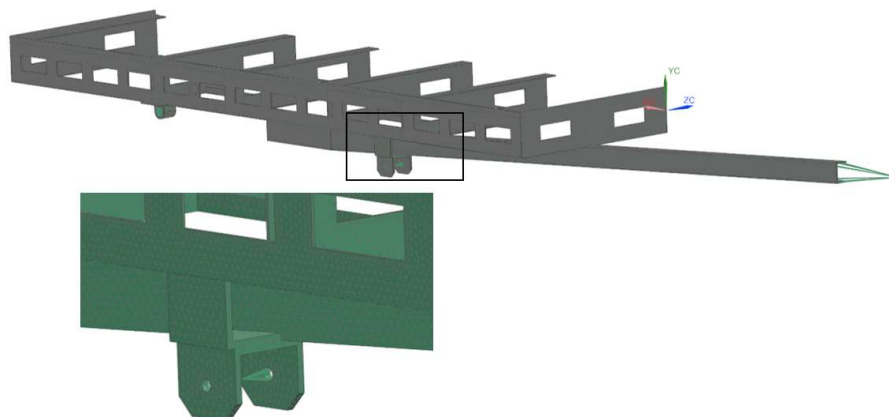
Prvním krokem MKP výpočtu je příprava zjednodušeného modelu. Vzhledem k tomu, že se jedná o rámovou konstrukci by bylo vhodné provést výpočet ve 2D. To není tak časově náročné jako výpočet ve 3D. Kvůli časové náročnosti tvoření samotného modelu byl využit i k výpočtu. Tato skutečnost nemá na výsledky výpočtu vliv. Vzhledem k symetrii rámu byla pro výpočet použita pouze polovina rámu. Jak již bylo zmíněno rám je vyroben z oceli S235JR. Jednotlivé U profily jsou svařeny a tvoří konstrukci. Předpokladem jsou dokonale vytvořené svary. Svary nebyly reálně modelovány, ale jsou považovány za dokonale spojené s nosníky (celý model je považován za integrální).



Obrázek 50 Výpočtový model rámu

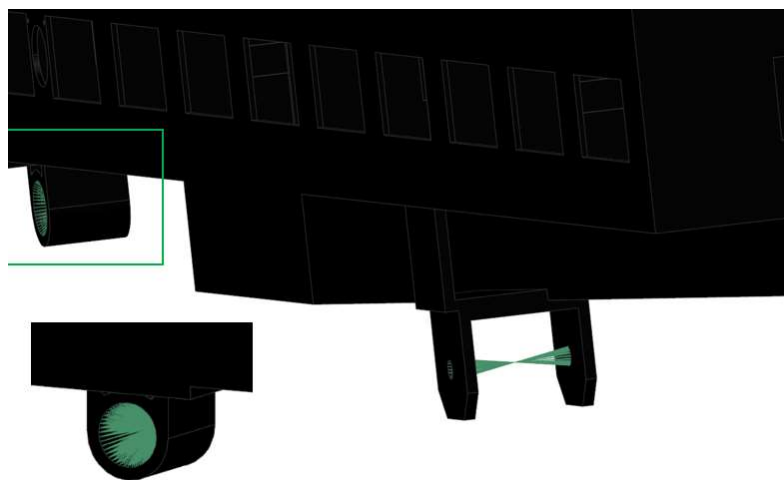
14.2 Zasiťovanie modelu rámu

Analýza bola provedena v softvare Siemens NX Nastran. Pred samotnou simuláciou bolo nutné upravený model zasiťovať. Pro sítovanie rámu byly použity 3D elementy CTET-RA(10). Vzhľadom k veľkosti konštrukcie byla zvolena priemerná veľkosť prvků 10 mm.



Obrázek 51 Sít' rámu

Zavěšení odpružení bylo provedeno pomocí 1D prvku – rigidní růžice RBE3. 1D prvek – rigidní růžice RBE2 je v místě nájezdové brzdy, kde reprezentuje vazbu s přípojným zařízením. Element RBE2 přidává soustavě nekonečnou tuhost.



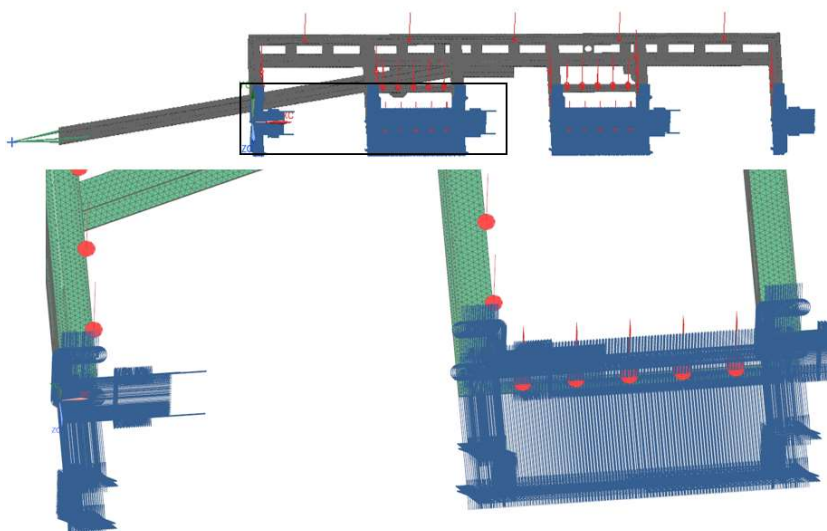
Obrázek 52 Detail sítě zavěšení odpružení



Obrázek 53 Detail sítě připojovacího zařízení

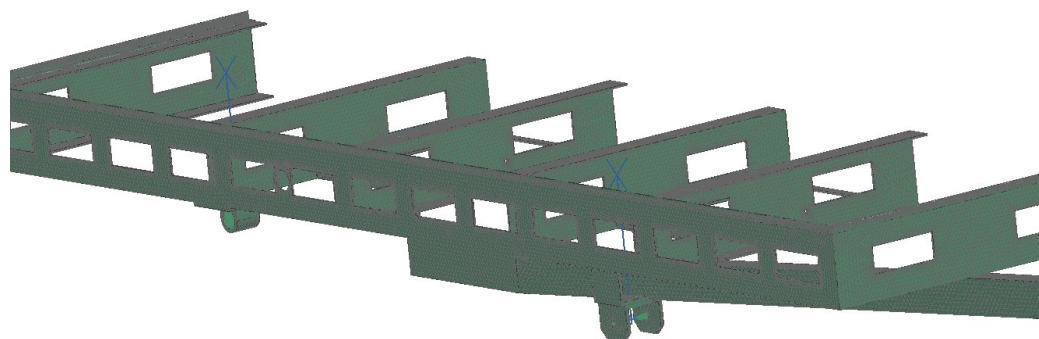
14.3 Okrajové podmínky

První okrajovou podmínkou je využití přednastavené funkce symmetric constraint. Užitím této funkce se jedná o zamezení posunu a rotace součásti do druhé poloviny.



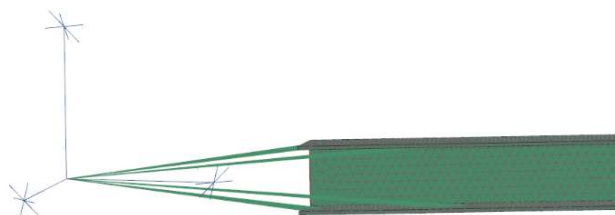
Obrázek 54 Podmínka symetrie

Další podmínkou je odebrání stupňů volnosti v zavěšení odpružení. Došlo k zamezení posuvu ve směru osy Y. To zaručí zahrnutí do výpočtu podepření rámu od nápravy.



Obrázek 55 Omezení posunu uložení odpružení.

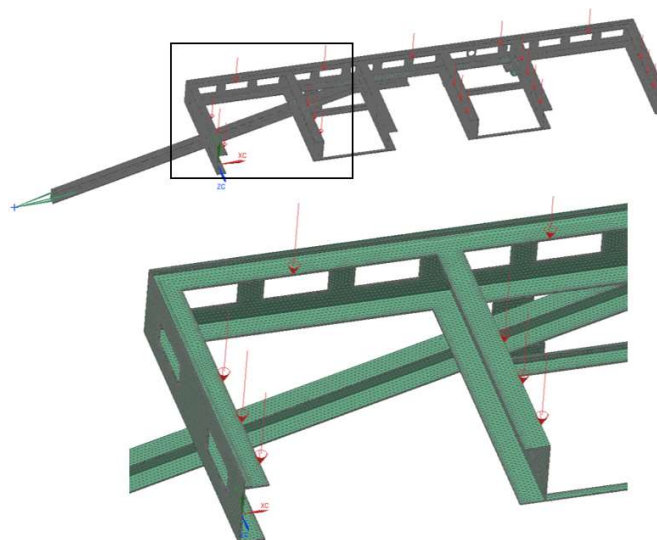
V místě přípojného zařízení jsou zakázány posuny ve všech směrech. Tento stav umožní rotaci, ke které dochází v přípojném zařízení.



Obrázek 56 Omezení posunu přípojného zařízení

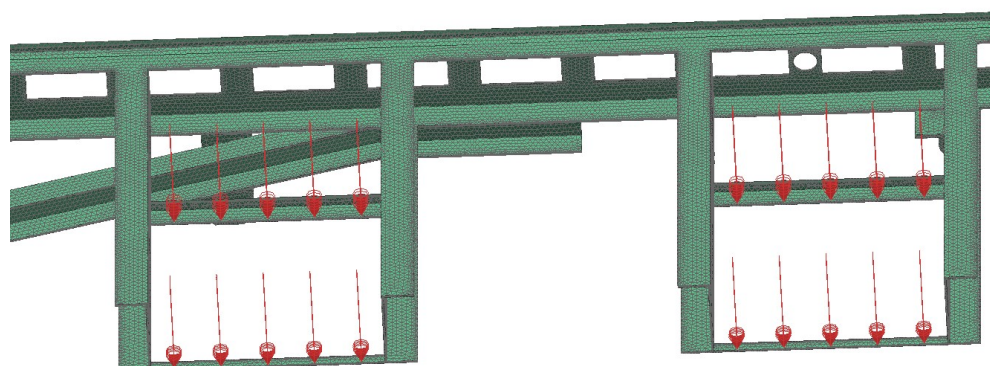
14.4 Zátěžné stavy

Konstrukce rámu je namáhána spojitým zatížením od nákladu. Velikost zatížení je odvozeno od maximálního možného nákladu. Přívěsný vozík spadá do kategorie O2. Celková hmotnost může být maximálně 1 500 kg. Tato hodnota je snížena o celkovou hmotnost rámu. Plocha rámu je zatěžována silou 11 000 N.



Obrázek 57 Zátěžná síla nákladu

Vnitřní část rámu, na kterém je umístěn akumulátor, je nutné ověřit zátěžnou silou akumulátorů. Výsledkem je spojitě zatížení o velikosti 900 N na obě plochy.



Obrázek 58 Zátěžná síla akumulátorů

14.5 Zhodnocení výsledků

Výsledkem analýzy je zhodnocení celkového posunutí a velikost redukovaného napětí součásti. Hodnota celkového posunutí je porovnávána s maximální dovolenou hodnotou. Ta je udávána v odborné literatuře hodnotou $y_{\max} = L/300$. L představuje délku dané součásti. Dalším kritériem je zjištění bezpečnosti. Hodnota redukovaného napětí musí být porovnávána s mezí kluzu materiálu. Konstrukce rámu je z materiálu S235JR s mezí kluzu 235 MPa. Běžné strojní součásti se konstruují s bezpečností 2 - 2,5. Tato hodnota zabezpečuje například vytvoření nedokonalého svaru a nekvalitnost použitého materiálu. Takto navržený celek představuje bezpečný a ekonomický produkt. Zajištění větší bezpečnosti dojde k předimenzování součásti.

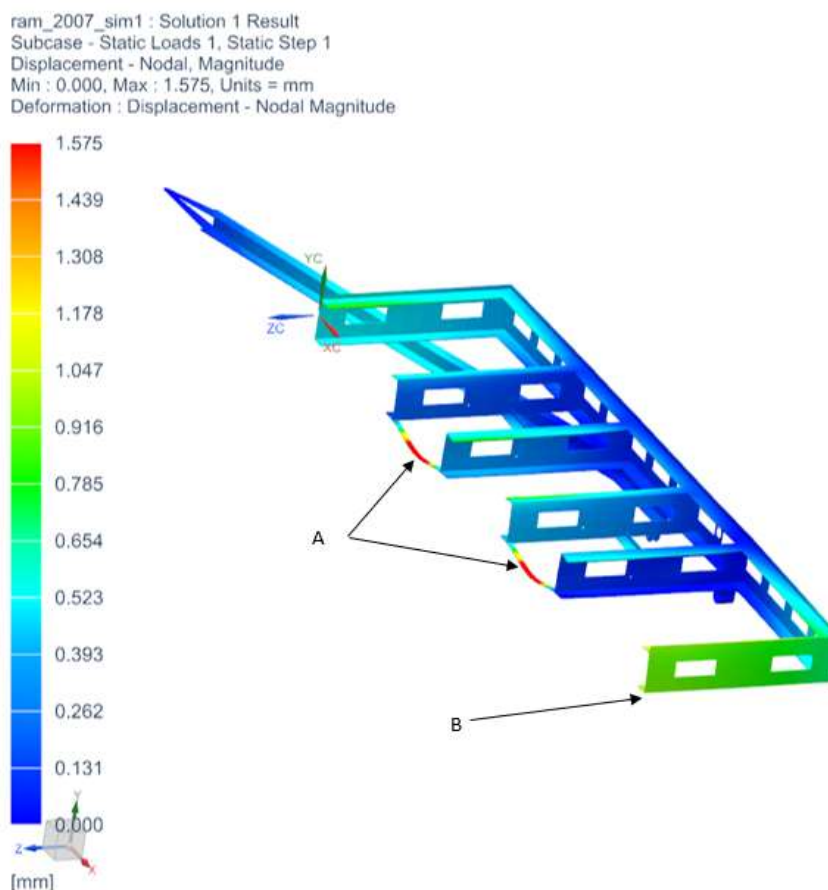
14.5.1 Celkové posunutí

Hodnota maximálního posunu je $y = 1,575$ mm. Ověření posunutí

$$y_{max} = \frac{550}{300} = 1,84 \quad (14.1)$$

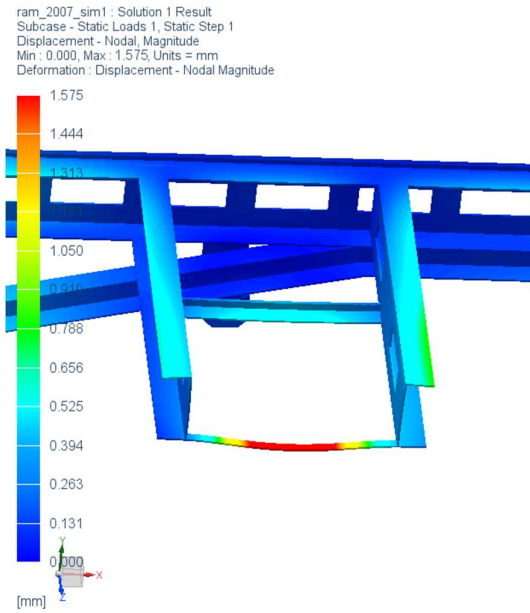
$$y < y_{max}$$

Podmínka je splněna. Vzhledem k velikosti konstrukce je hodnota dostačující.



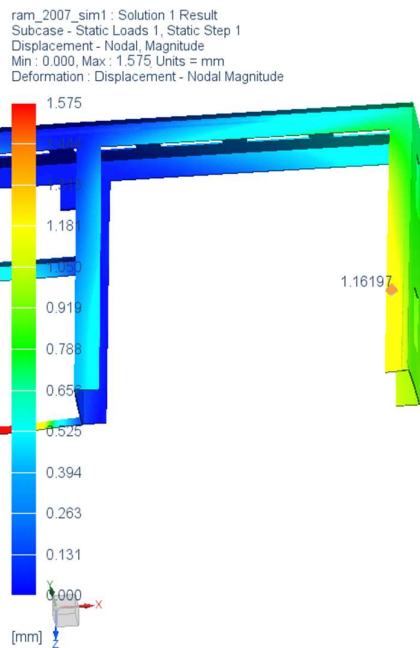
Obrázek 59 Výsledné posunutí rámu (zvětšení 10x)

Maximální hodnota posunu vyšla v podpěrách akumulátorů (místo A). Detail místa je na obrázku 59. Vzhledem k tomu, že akumulátory jsou umístěny uvnitř boxů, které jsou připevněny pomocí šroubů, dojde ke snížení průhybu rozložením hmotnosti. Při požadavku na snížení hodnoty by bylo vhodné využití větší tloušťky plechu. Místo největšího posunu nosného rámu je v místě B. Detail místa je zobrazen na obrázku 61.



Obrázek 60 Místo maximálního posunu (zvětšení 10x)

Hodnota posunu nosné konstrukce rámu je největší v zadní části (místo B), kde dochází k průhybu 1,2 mm viz obrázek 61.

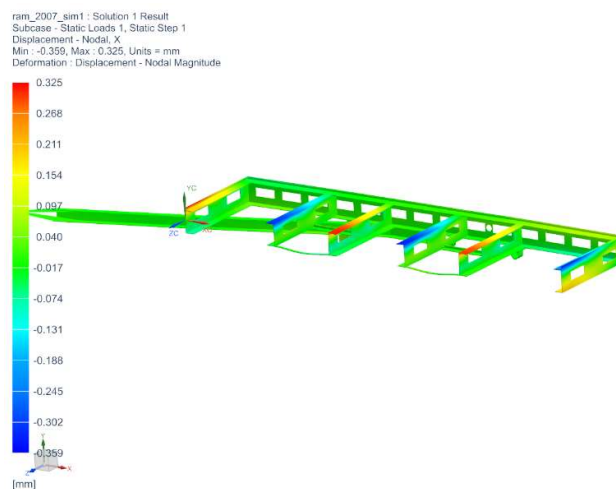


Obrázek 61 Průhyb nosné konstrukce (zvětšení 10x)

14.5.2 Posunutí v jednotlivých osách

Posunutí v ose X

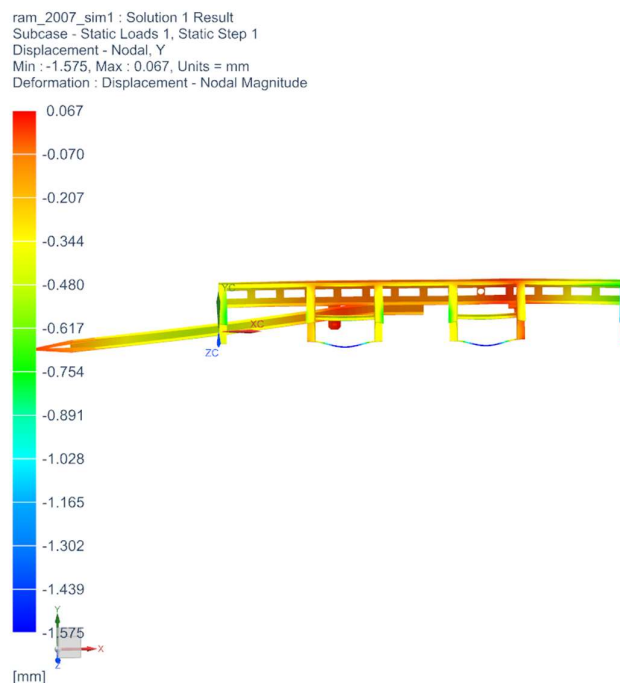
Posunutí v ose X má rozsah hodnot -0,359 až 0,325 mm. Místa posunutí jsou zobrazena na obrázku 62. Pro názornost byla deformace 20x zvětšená. Posunutí v ose X je vzhledem k velikosti sestavy velmi malé.



Obrázek 62 Posunutí v ose X (zvětšení deformace 20x)

Posunutí v ose Y

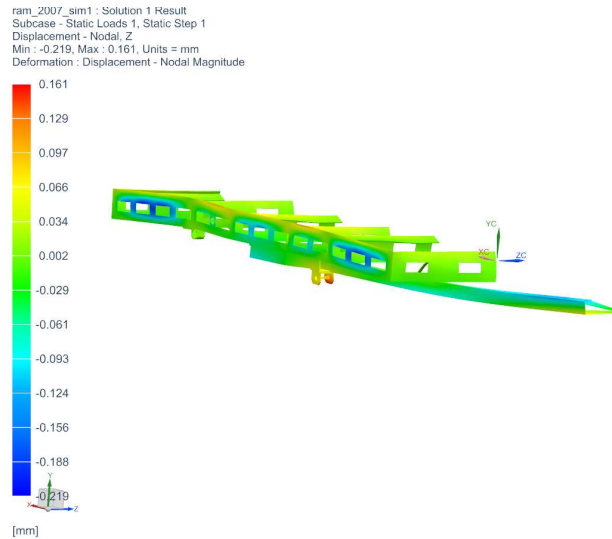
Posunutí v ose Y je největší. Rozsah hodnot je -1,575 až 0,067 mm. Velikost deformace byla zvětšena 25x.



Obrázek 63 Posunutí v ose Y (zvětšení deformace 25x)

Posunutí v ose Z

Posunutí v ose Z má rozsah hodnot -0,219 až 0,161 mm. Pro názornost byla deformace 80x zvětšená. Z obrázku 64 je vidět, že dochází k průhybu bočnic směrem dovnitř rámu. Hodnota vzhledem k velikosti součásti je velmi malá.



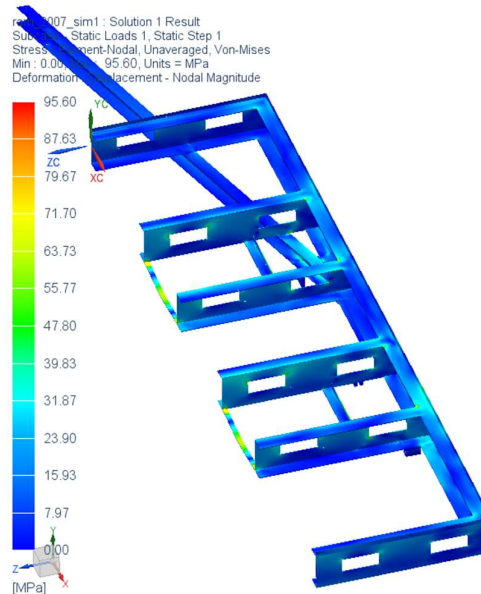
Obrázek 64 Posunutí o ose Z (zvětšení deformace 80x)

14.5.3 Redukované napětí

Zjištění redukovaného napětí bylo metodou Von – Mises. Maximální redukované napětí dosahuje hodnoty 95,6 MPa. Následuje ověření bezpečnosti sestavy.

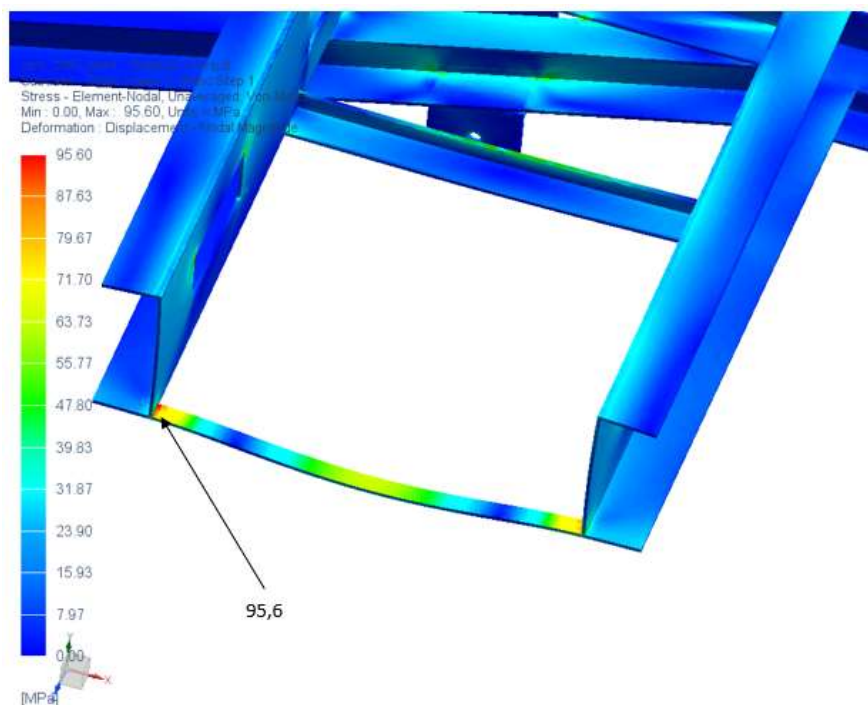
$$k = \frac{Re}{\sigma_{RED \max}} = \frac{235}{95,6} = 2,46 \quad (14.2)$$

Bezpečnost rámu je 2,46. Tato hodnota vyhovuje.



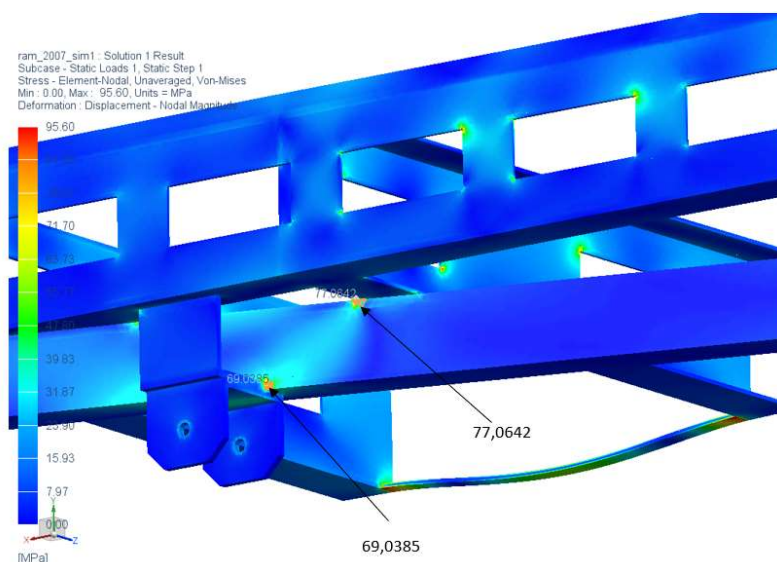
Obrázek 65 Výsledek redukovaného napětí metodou Von - Mises

Největší napětí je v místě podpory akumulátorů. Jak již bylo zmíněno, tato hodnota bude ve skutečnosti nižší z důvodu připojení akumulátorového boxu na rám šrouby. Ke snížení hodnoty by bylo možné využít plech o větší tloušťce. V místě spoje je zaručena bezpečnost 2,46, která vyhovuje. Úpravy nejsou nutné.



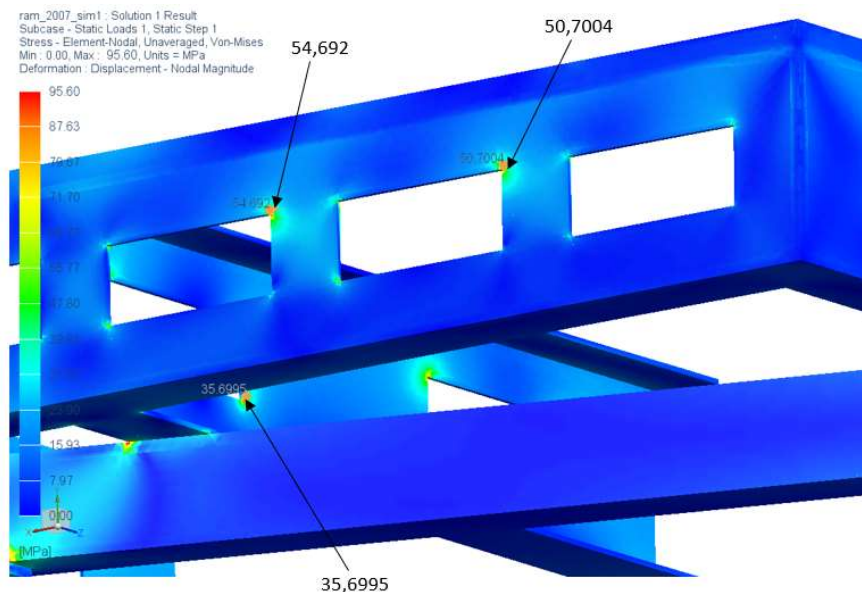
Obrázek 66 Místo maximálního redukovaného napětí metodou Von - Mises

Dalším místem s větší hodnotou napětí je svar podélníku s příčnickem rámu a svar uchycení odpružení s rámem. Hodnota redukovaného napětí v místě svaru podélníku s příčnickem je 77,1 MPa, v místě uchycení odpružení je hodnota napětí 69 MPa. Tyto hodnoty vyhovují.



Obrázek 67 Redukované napětí svari

Ve výpočtovém modelu nejsou zaoblené hrany kvůli snížení výpočtového času. Výpočtem se potvrdil předpoklad, že v rozích dojde k vytvoření napětí. Napětí v průlomech bočnic mají hodnotu okolo 50 MPa. Jednotlivé hodnoty napětí jsou zobrazeny na obrázku 68. V daném místě je zaručena bezpečnost 4,7. Tato hodnota je dostačující. Vzhledem k dynamické jízdě přívěsu dochází ke kmitání. Z hlediska únavy by v těchto místech mohlo dojít k trhlinám. Vytvořením radiusu dojde k částečné eliminaci napětí a zlepšení hodnot. Úprava je již v celkovém modelu přívěsu.



Obrázek 68 Redukované napětí prolamovaných plechů

15 Technicko-ekonomické hodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení je vypracováno každé zvlášť. Pro každou část je zvolena odpovídající metoda, podle které je přívěs zhodnocený.

15.1 Ekonomické hodnocení

Cílem diplomové práce je návrh výrobku, který bude technicky plně funkční a hlavně bezpečný, zároveň musí být i uživatelsky cenově přijatelný. Cenové hledisko je velmi specifické. Cena produktu musí pokrýt výrobní náklady a zároveň dosáhnout určitého zisku, ale nesmí být moc vysoká, aby si tento produkt mohl zákazník vůbec dovolit. Pro zohlednění těchto podmínek je vytvořena předběžná ekonomická kalkulace.

Pro kalkulaci byl použit základ nákladů odpovídajícího výrobku, ke kterému byly připočítány náklady komponent, které byly použity navíc oproti běžnému přívěsnému vozíku. Dále byly připočteny náklady na výrobu a povrchovou úpravu. Kalkulační hodnoty byly pouze odhadovány. K přesnějšímu zjištění hodnot by bylo potřeba průzkum trhu a následná konzultace s ekonomickým odborníkem.

Kalkulační schéma

	Přímý materiál
+	přímé mzdy
+	Ostatní přímé náklady
+	Výrobní režie
=	Vlastní náklady výroby
+	Správní a odbytová režie
=	Úplné vlastní náklady
+	Zisk
=	Cena při prodeji za hotové
+	Rabat
=	Prodejní cena

Přímý materiál:

Přímý materiál je vypočítáván z materiálu potřebného na konstrukci a z nakupovaných položek, které se budou montovat do připraveného rámu.

Tabulka 21 Přímý materiál

Položka	Jednotka	Počet	Cena za jednotku [Kč]	Celková cena [Kč]
Ocelové profily, plechy, tyče	kg	162	32,97	5 340
Motor Emrax 228	Ks	1	45 000	45 000
Akumulátor	Ks	1	150 000	150 000
Náprava včetně diferenciálu	Ks	1	22 000	22 000
Listové pero včetně uchycení	Ks	2	5 000	10 000
Tlumič	Ks	2	1 100	2 200
Pneumatiky + disky	Ks	2	3 000	6 000
Brzdový systém včetně přípojného zařízení	Ks	1	6 000	6 000
Voděodolná překližka	Ks	1	3 000	3 000
Podpěrné kolečko	Ks	1	1 500	1 500
Snímače	Ks	4	5 000	15 000
Elektronika	Ks	1	5 000	5 000
Cena celkem				271 040
Drobné komponenty (blatníky, odrazky, světla)				1 500
Drobný spojovací materiál (1 % z ceny materiálu)				2 710
Přímý materiál				275 250

Ostatní přímé náklady:

Tabulka 22 Ostatní přímé náklady

Položka	Kalkulační základ	sazba [%]	Částka [Kč]
náklady na povrchovou úpravu	Přímý materiál	4	11 000
Spotřební materiál	Přímý materiál	2	5 500
Ostatní přímé náklady celkem			16 260

Přímé výrobní mzdy:

Tabulka 23 Přímé mzdy

Položka	Kalkulační základ	sazba [%]	Částka [Kč]
Přímé mzdové náklady	Přímý materiál	10	27 500

Připočtením výrobní režie by vznikla celková hodnota vlastních nákladů výroby. Výrobní režii si určuje každý podnik sám.

	Přímý materiál	280 300
+	přímé mzdy	27 500
+	Ostatní přímé náklady	16 260
+	Výrobní režie	
=	Vlastní náklady výroby	324 060

Pro získání úplných výrobních nákladů bychom museli připočítat hodnotu výrobní režie, správní a odbytové režie. Tyto hodnoty si každý podnik určuje sám na základě odhadů, předpokladů a průzkumu trhu. Bez těchto informací není možné provést odhad částky.

Základ vlastních nákladů výroby byl vypočten přibližně na 324 060 Kč. Vzhledem ke specifčnosti výrobku není tato cena vysoká. Základní přívěsný vozík stojí okolo 70 000 Kč. Speciální vozíky například pro přepravu bazénů stojí až 320 000 Kč. [50]

15.2 Technické hodnocení

K objektivnímu zhodnocení naplnění požadavků slouží technické bodové hodnocení, které bylo již využito při výběru variant. Při výběru nejvhodnější varianty byly bodově hodnoceny požadované vlastnosti, které byly porovnávány s ideálním provedením. V technickém hodnocení bude porovnávána navrhovaná varianta s ideální. Pro porovnání jsou dosazované skutečné hodnoty.

Tabulka 24 Technické hodnocení

Kritérium	Váha kritéria	Navrhovaná varianta		Ideální varianta	
		Skutečná hodnota	Hodnocení	Požadovaná hodnota	Hodnocení
Pohotovostní hmotnost	0,75	452 kg	3	<500	3
Tuhost základního rámu	0,75	1,575	3	<L/300	3
Koeficient bezpečnosti konstrukce	1	2,47	3	>2	3
Reakce na změnu směru	0,75		3		3
Bezpečnost	1		3		3
Vhodnost pro druh výroby	0,5		2		3
Manipulace	0,5		2		3
Spolehlivost	1		2		3
Výrobní náklady	0,5		2		3
Možnost rozšíření a inovace	0,5		3		3
Údržba	0,75		2		3
Celkový bodový zisk s ohledem na váhu kritéria			20,75		24

Celkové zhodnocení požadavků

$$\frac{\sum \text{skutečných hodnot}}{\sum \text{požadovaných hodnot}} \cdot 100 = \frac{20,75}{24} \cdot 100 = 86,5 \%$$

Splnění požadavků je na 86,5 %.

Zhodnocení pohotovostní hmotnosti, tuhosti základního rámu a hodnota bezpečnosti jsou dané hodnotami výsledků výpočtů. Ty jsou popsány v kapitole 14.5.

Kritérium reakce na změnu směru je splněno použitím diferenciálu. Tento systém reaguje na změnu směru rozložením otáček na kola v potřebném poměru. Schopnost reakce je velmi dobrá, a proto je hodnocení 3.

Bezpečnost celého systému je kombinací výsledného návrhu řešení a naprogramováním elektroniky. Tento systém je navržen, tak aby byl splněn požadavek bezpečnosti. Bezpečnost byla zásadním kritériem pro návrh a je tedy splněna s hodnocením 3.

Manipulace s vozíkem, vzhledem k jeho hmotnosti, je obtížnější než u běžných vozíků.

Vzhledem k vývoji aplikace je možná inovace řízení na dálkové ovládání nebo pomocí mobilu.

Výrobní náklady byly zhodnoceny v předchozí kapitole.

16 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvoření konstrukčního návrhu přívěsného vozíku s vlastním pohonem pro kompenzaci úbytku výkonu elektromobilu. Návrh byl proveden na základě požadavků vyplývajících z legislativy České republiky a požadavků zadavatele.

V první části práce bylo uvedení do problematiky, popis elektromobility a historie elektromobilů. Následoval popis stávajících řešení na trhu, které zajišťují prodlužování dojezdů elektromobilů. Varianta, která by umožňovala použití pohonu pro přívěs zatím na trhu neexistuje.

Dalším krokem bylo zjištění legislativních požadavků na přívěsné vozíky, aby mohly být homologované. Podle požadavků zadavatele byly vypočteny jízdní odpory přívěsu. Na základě nich byl zjištěn potřebný výkon, který vyšel pro rychlost 130 km/h po rovině 16,7 kW a pro jízdu do kopce při 80 km/h na hodnotu 24,8 kW.

Po specifikaci požadavků byly navrženy varianty přívěsu. Jejich zhodnocením byla vybrána varianta B, která představovala použití jednoho motoru, společně s diferenciálem. Odpovídající elektromotor pro variantu B je střídavý motor Emrax 208 s permanentními magnety a výkonem 33 kW. Následovalo navržení odpovídajícího akumulátoru. Ten je dodáván jako akupack v ochranném krytu. Pro umístění jsou zhotoveny boxy, které zajišťují ochranu před mechanickým poškozením vnějšími vlivy a zároveň umožňují přívod vzduchu pro částečné chlazení. Řízení přívěsu bude zprostředkováno řídicí jednotkou, která zpracovává signály ze snímačů. Vstupní signály jsou přiváděny ze snímače polohy, otáček, teploty, náklonu a mikrosvínače.

Základem konstrukčního návrhu bylo navržení základního rámu. Jedná se o svařenec tvořen z profilů U 160 x 60 x 4 mm, které jsou odlehčeny. Rám je vyztužen čtyřmi příčkami, mezi kterými jsou upevněny akumulátorové boxy. Dále slouží k uchycení listových per, tlumičů, podlahy a dalších komponent. Práce obsahuje návrh diferenciálu společně s odpružením. Diferenciál, náprava a odpružení jsou využity z dodávkového vozu Mercedes Benz Sprinter, který vyhovuje potřebným požadavkům. K diferenciálu je přímo připojen elektromotor. Vzhledem k jeho malým rozměrům a hmotnosti je možné toto provedení. Jelikož se jedná o prvotní koncepci je uvažována možnost změny připojení motoru běžným způsobem, tj. na rám přívěsu a spojení motoru s diferenciálem pomocí kardanové hřídele. Tato varianta ale zvyšuje hmotnost sestavy a v přenosové soustavě dochází ke ztrátám. Poloha nápravy je umístěna tak, aby nedocházelo k přetěžování spojovacího zařízení. Celková hmotnost přívěsu je 452 kg.

Následně bylo provedeno ověření konstrukce rámu pomocí MKP výpočtů. Maximální redukované napětí v rámu bylo vypočítáno metodou Von-Misses a dosahuje hodnoty 95,6 MPa. Při tomto napětí je zaručena bezpečnost 2,46. Maximální posun je -1,575 mm a nachází se v ose y. Celá konstrukce rámu vyhovuje.

Na závěr je konstrukce zhodnocena z technicko – ekonomického hlediska. Kompletní výkresovou dokumentaci zadavatel nevyžaduje. Část výkresové dokumentace je představena v rámci volně přiložených příloh.

17 Seznam použité literatury

17.1 Knižní publikace

- [1] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-363-9.
- [2] GSCHEIDLE, Rolf. *Průručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-x.
- [3] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [4] VLK, František. *Stavbomotorových vozidel*. 1.vyd. Brno: VLK 2003. ISBN 80-238-8757-2
- [5] JAZAR Reza. *Vehicle Dynamics: Theory and Applications*. Melbourne, 2008. ISBN 978-0-387-74243-4
- [6] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [7] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
- [8] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky : převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
- [9] GSCHEIDLE, Rolf. *Průručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-x.

17.2 Publikace na internetu

- [10] MBtech. *Mbtech* [online]. [cit. 20.9.2019]. Dostupné z: <http://mbtech.cz/o-nas/>
- [11] Elektromobily. *Elektromobily* [online]. [cit. 28.9.2019]. Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz>
- [12] Historie elektromobilů. *electricvehiclesnews* [online]. [cit. 28.9.2019] Dostupné z: <http://www.electricvehiclesnews.com/History>
- [13] Historie elektromobilů, *elektromobily-os* [online]. [cit. 28.9.2019]. Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz>
- [14] Citigo. *Skoda* [online]. [cit. 5.10.2019]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/>
- [15] Výhody elektromobilů. *eon*[online]. [cit. 8.10.2019]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/alternativni-doprava/>
- [16] Historie elektromobilů. *electricvehiclesnews* [online]. [cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>
- [17] Historie elektromobilů. *Fdrive* [online]. [cit. 15.10.2019]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>
- [18] Elektromobily. *Fdrive* [online]. [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/elektromobily-ktere-neznate-skoda-shortcut-700>
- [19] Převodovka elektromobilu. *Auto* [online]. [cit. 28.10.2019]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/elektromobily-proc-se-obejdou-bez-vicestupnove-prevodovky-109262>
- [20] KOŠTÁL, J. *Elektromobilita včera, dnes a zítra*. Elektromobilita. Příloha časopisů Elektro. [online]. [cit. 13.11.2019]. Dostupný z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2011/09/Elektro_09_2011_output/web/Elektro_09_2011_opf_files/WebSearch/page0005.html

- [21] Přívěs. *Agados* [online]. [cit. 16.11.2019]. Dostupné z: http://www.agados.cz/photo_full/prives-agados-big-size-n1-3
- [22] Světelné zdroje. *Portal*[online]. [cit. 20.11.2019]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/elv>
- [23] Osvětlení přívěsu. *Stk-spara* [online]. [cit. 20.11.2019]. Dostupné z: <http://www.stk-spara.cz>
- [24] EP tender. *Eptender* [online]. [cit. 25.11.2019]. Dostupné z: <http://eptender.com/en/>
- [25] Přívěs dethless. *Dethless* [online]. [cit. 1.12.2019]. Dostupné z: <https://www.dethleffs.de/dethleffs/unternehmen/historie/>
- [26] Elektromotory v kolech. *Nazeleno* [online]. [cit. 4.12.2019]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx>
- [27] Nissan leaf. *Elektrina*[online]. [cit. 11.12.2019]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/nissan-leaf-2018-6.4>.
- [28] Elektromotor. *Emrax* [online]. [cit. 3.1.2020]. Dostupné z: <https://emrax.com/e-motors/emrax-228/>
- [29] Elektromotor. *Goldenmotor*[online]. [cit. 3.1.2020]. Dostupné z: <https://www.goldenmotor.com/>
- [30] Akumulátory. *Smart-mobil*[online]. [cit. 12.1.2020]. Dostupné z: <http://www.smart-mobil.eu/clanky/44-rozdily-mez-bateriemi-typu-li-ion-a-li-pol/>
- [31] Rozdíl mezi akumulátory. *E-pohon*[online]. [cit. 12.1.2020]. Dostupné z: <https://www.e-pohon.cz/show-free.htm?fid=30>
- [32] Nissan leaf. *Nissan*[online]. [cit. 18.1.2020]. Dostupné z: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf.html>
- [33] BMW i3, *bmw* [online]. [cit. 18.1.2020]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2020/bmw-i3-technical-data.html#tab-0>
- [34] Spotřeba elektromobilů. *Alza* [online]. [cit. 18.1.2020]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/auto/slovník/spotreba-kw100-km-kwh>
- [35] VW E-golf. *Hybrid* [online]. [cit. 19.1.2020]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test-volkswagen-e-golf-358-kwh-kdyz-se-koncernu-dari>
- [36] Akumulátor li-ion. *Eskutr* [online]. [cit. 25.1.2020]. Dostupné z: <https://eskutr.cz/elektricke-skutry/968-akumulator-li-ion-panasonic-48v-469ah-plast.html>
- [37] Elektromotor. *Lynchmotors*[online]. [cit. 6.2.2020]. Dostupné z: <https://lynchmotors.co.uk/>
- [38] Akumulátor li-ion. *Rcprofi*[online]. [cit. 19.2.2020]. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/baterie-li-ion-drone.energy-24000mah.html>
- [39] Akumulátor Li-ion. *Batterybro*[online]. [cit. 19.2.2020]. Dostupné z: <https://batterybro.com/>
- [40] Frekvenční měnič. *Elektromotory*[online]. [cit. 28.2.2020]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/frekvencni-menice-proc-a-jak>
- [41] Frekvenční měnič. *sevcon* [online]. [cit. 28.2.2020]. Dostupné z: <http://www.sevcon.com/products>
- [42] Frekvenční měnič. *Frecon* [online]. [cit. 28.2.2020]. Dostupné z: <http://www.frecon.cz/frekvencni-menice-vyroba>

- [43] DC/DC měnič. *Czec-meanwell* [online]. [cit. 5.3.2020]. Dostupné z: <https://www.czech-meanwell.cz/meanwell/DKA30A-12-Mean-Well-Menic-DC-DC-modulovy-30W-12V-d200.htm>
- [44] Pneumatiky. *Vsechnypneumatiky365* [online]. [cit. 13.3.2020]. Dostupné z: https://vsechnypneumatiky365.cz/Pneumatiky/van/summer/4712487543906/Nankang+CW-25+185/80R13C+100Q/?utm_source=zbozi&utm_medium=cpc&utm_campaign=netpeak-Nankang
- [45] Listové odpružení. *Autovia* [online]. [cit. 22.3.2020]. Dostupné z: <https://www.autovia.cz/eshop/brzdene-napravy/listova-pruzina-al-ko-pro-napravu-starr-750-kg-1-ks.htm>
- [46] Sprinter. *Mercedes-benz* [online]. [cit. 27.3.2020]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz>
- [47] Tažné zařízení. *Tazne* [online]. [cit. 4.4.2020]. Dostupné z: <https://www.tazne.cz/tip-4/>
- [48] Mikrospínač. *Gme* [online]. [cit. 10.4.2020]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/p-kmr211glfs>
- [49] Senzory. *Ifm* [online]. [cit. 10.4.2020]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs>
- [50] Přívěs. *Autovia* [online]. [cit. 16.4.2020]. Dostupné z: <https://www.autovia.cz/privesy/?p10=151&sort=4&up10=8>
- [51] Ocelové profily. *Ferona* [online]. [cit. 28.4.2020]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>
- [52] Výpočty. *kme* [online]. [cit. 3.5.2020]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/>

17.3 Směrnice a vyhlášky

- [53] ČESKO, Zákon č. 56/2001 Sb. [online]. [cit. 25.1.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56>
- [54] ČESKO, Vyhláška č. 341/2002 Sb. [online]. [cit. 2.3.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-341>
- [55] ČESKO, Směrnice evropského parametru a rady 2007/46/es vydaná 5. září 2007
- [56] ČESKO, Předpis c. 361/2000 Sb. Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonu. [online]. [cit. 25.3.2020]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [57] ČESKO, 76/756 až 76/760 [online]. [cit. 28.4.2020]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31976L0756>
- [58] ČESKO, 70/222/EHS [online]. [cit. 28.4.2020]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=31970L0222>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Logo AKKA [10].....	11
Obrázek 2 Elektromobil Camille Jénatzy, který překonal hranici 100 km/h [12].....	12
Obrázek 3 První elektromobil Františka Křižíka [20].....	13
Obrázek 4 Elektromobil Škoda Shortcut [18]	14
Obrázek 5 Plně elektrický vůz Škoda CITIGOE iV [14].....	15
Obrázek 6 Přívěsný vozík typu plato[21]	17
Obrázek 7 Umístění zadních brzdových světlíků[23]	18
Obrázek 8 Umístění směrových světlíků[23].....	19
Obrázek 9 Umístění zadní mlhové světlíky[23].....	19
Obrázek 10 Umístění zadní zpětné světlíky[23]	20
Obrázek 11 Umístění zadních odrazek[23]	20
Obrázek 12 Umístění bočních odrazek[23].....	21
Obrázek 13. EP Tender[24].....	22
Obrázek 14 E.Home Coco[25]	22
Obrázek 15 Hnací síla potřebná k překonání jízdních odporů[3].....	23
Obrázek 16 Deformace a) diagonální a b) radiální pneumatiky [3].....	24
Obrázek 17 Moment valivého odporu kola a valivý odpor kola na volně se valícím kole [3].....	24
Obrázek 18 Výkon potřebný k překonání jízdních odporů	29
Obrázek 19 Varianta A [26]	32
Obrázek 20 Varianta B	33
Obrázek 21 Golden motor[29].....	36
Obrázek 22 Lynch motor[37]	37
Obrázek 23 Motor EMRAX 208 [28]	38
Obrázek 24 Článek Panasonic NCR-18650B[36]	43
Obrázek 25 Článek drone.energy[38].....	44
Obrázek 26 Článek GB18650-30[39].....	45
Obrázek 27 Stejnoseměrný měnič DKA30A-12 [43]	47
Obrázek 28 Schéma zapojení	49
Obrázek 29 Detail mechanismu nájezdové brzdy. (1) Snímač polohy, (2) Pružina, (3) Doraz, (4) Tlumič	50
Obrázek 30 Snímač polohy [49].....	51
Obrázek 31 Snímač otáček [49]	51
Obrázek 32 Senzor teploty[49].....	51
Obrázek 33 Snímač náklonu JD2110[49].....	52
Obrázek 34 Zapojení zásuvky [47].....	54
Obrázek 35 Detail mechanismu nájezdové brzdy. (1) Snímač polohy, (2) Tlumič, (3) Doraz, (4) Pružina	55
Obrázek 36 Box pro uložení akumulátoru.....	57
Obrázek 37 Oj spojena s rámem přívěsu	58
Obrázek 38 U profil s vertikální osou symetrie [52].....	59
Obrázek 39 U profil s horizontální osou symetrie [49].....	59
Obrázek 40 Spojení motoru s nápravou firmy Meritor	61
Obrázek 41 Varianty výstupu výkonu motoru emrax 208 [28].....	61
Obrázek 42 Spodní část nápravy	62
Obrázek 43 Zjednodušený 2D model	63
Obrázek 44 Vzdálenost těžiště přívěsu od nápravy	64
Obrázek 45 Výpočtový model rámu.....	65

Obrázek 46 Sít' rámu	66
Obrázek 47 Detail sítě zavěšení odpružení	66
Obrázek 48 Detail sítě připojovacího zařízení	66
Obrázek 49 Podmínka symetrie.....	67
Obrázek 50 Omezení posunu uložení odpružení.....	67
Obrázek 51 Omezení posunu přípojného zařízení.....	67
Obrázek 52 Zátěžná síla nákladu.....	68
Obrázek 53 Zátěžná síla akumulátorů	68
Obrázek 54 Výsledné posunutí rámu (zvětšení 10x).....	69
Obrázek 55 Místo maximálního posunu (zvětšení 10x).....	70
Obrázek 56 Průhyb nosné konstrukce (zvětšení 10x)	70
Obrázek 57 Posunutí v ose X (zvětšení deformace 20x).....	71
Obrázek 58 Posunutí v ose Y (zvětšení deformace 25x).....	71
Obrázek 59 Posunutí o ose Z (zvětšení deformace 80x)	72
Obrázek 60 Výsledek redukovaného napětí metodou Von - Mises	72
Obrázek 61 Místo maximálního redukovaného napětí metodou Von - Mises	73
Obrázek 62 Redukované napětí svarů	73
Obrázek 63 Redukované napětí prolamovaných plechů	74

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vstupní parametry výpočtu	23
Tabulka 2 Součinitel valivého odporu pro rozdílné povrchy vozovek.[3]	25
Tabulka 3 Základní parametry součinitele odporu vzduchu c_x [3]	27
Tabulka 4 Bodové hodnocení variant	33
Tabulka 5 Rozdělení elektromotorů [6]	35
Tabulka 6 Parametry Golden motor[29].....	36
Tabulka 7 Parametry motoru LEM-2X2-95[37]	37
Tabulka 8 Parametry motoru EMRAX 208 [28]	38
Tabulka 9 Vstupní parametry výpočtu akumulátoru	40
Tabulka 10 Technické parametry elektromobilů[32] [33]	41
Tabulka 11 Parametry elektromobilu pro výpočet vzdušného odporu.....	42
Tabulka 12 Parametry akumulátoru Li-Ion[36]	43
Tabulka 13 Parametry akumulátoru Li-Ion[38]	44
Tabulka 14 Parametry akumulátoru Li-Ion[39]	45
Tabulka 15 Zhodnocení variant akumulátorů.....	45
Tabulka 16 Parametry odpružení firmy Autovia [45]	56
Tabulka 17 Parametry odpružení dodávky Sprinter[46]	56
Tabulka 18 Těžiště přívěsu.....	62
Tabulka 19 Vstupní parametry výpočtu	63
Tabulka 20 Parametry přívěsu pro výpočet zatížení přívěsného zařízení	65
Tabulka 21 Přímý materiál	75
Tabulka 22 Ostatní přímé náklady	76
Tabulka 23 Přímé mzdy.....	76
Tabulka 24 Technické hodnocení.....	77

18 Seznam příloh

18.1 Tištěné přílohy

Výrobní výkres ZČU-KKS-01-09

Výkres sestavy ZČU-KKS-S-1

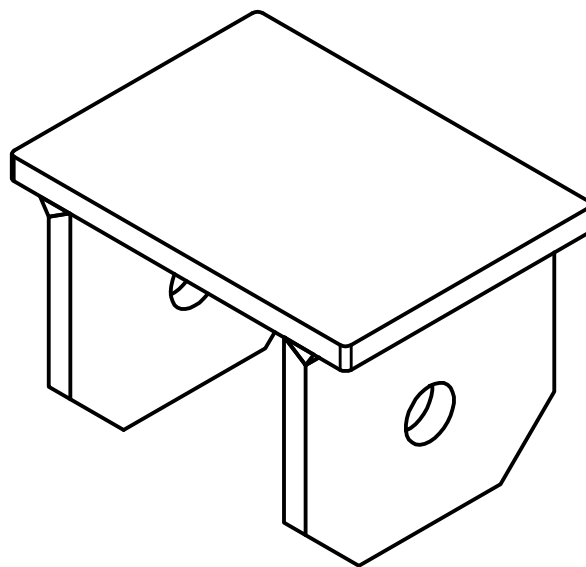
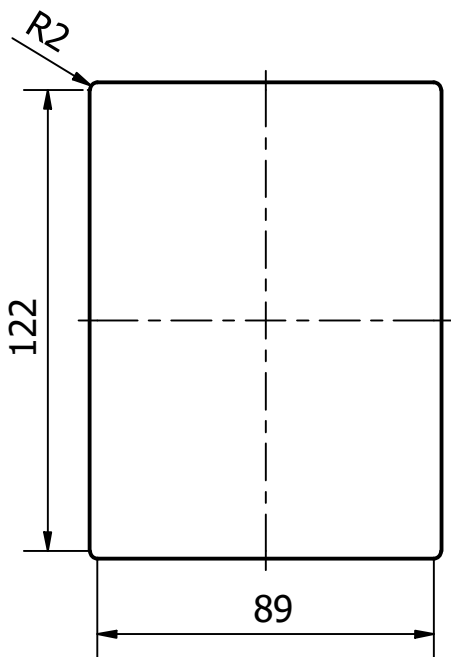
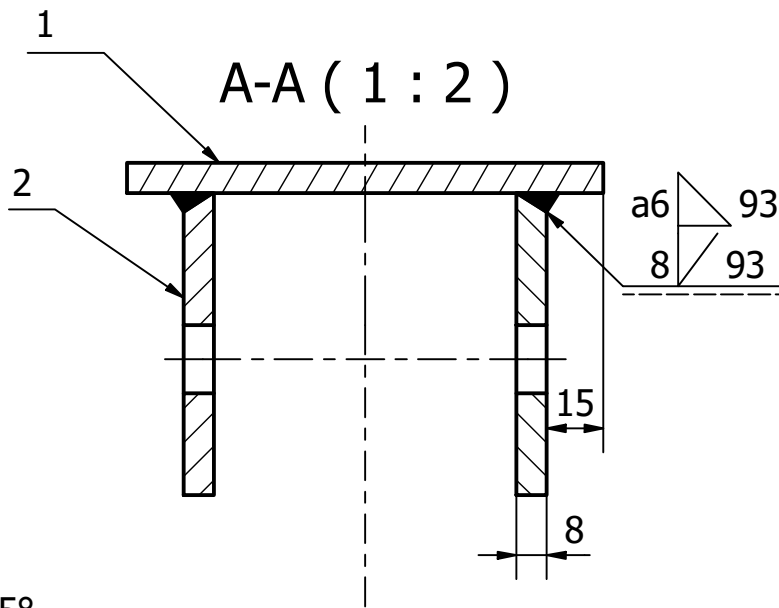
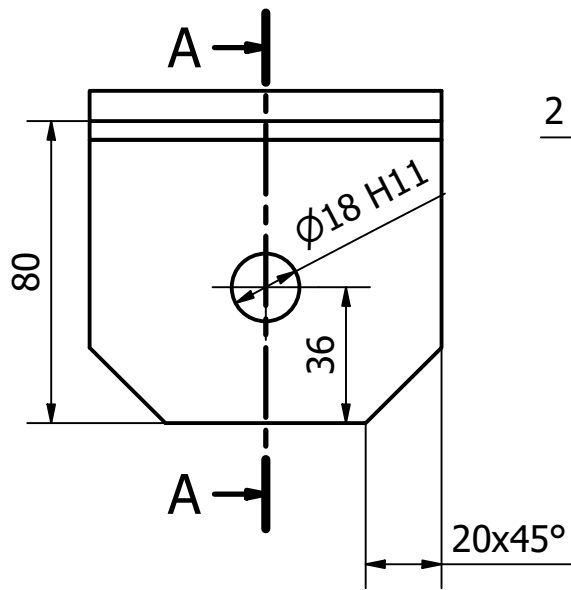
Výkres sestavy ZČU-KKS-S-2

18.2 Elektronické přílohy na CD

Výrobní výkres ZČU-KKS-01-09

Výkres sestavy ZČU-KKS-S-1

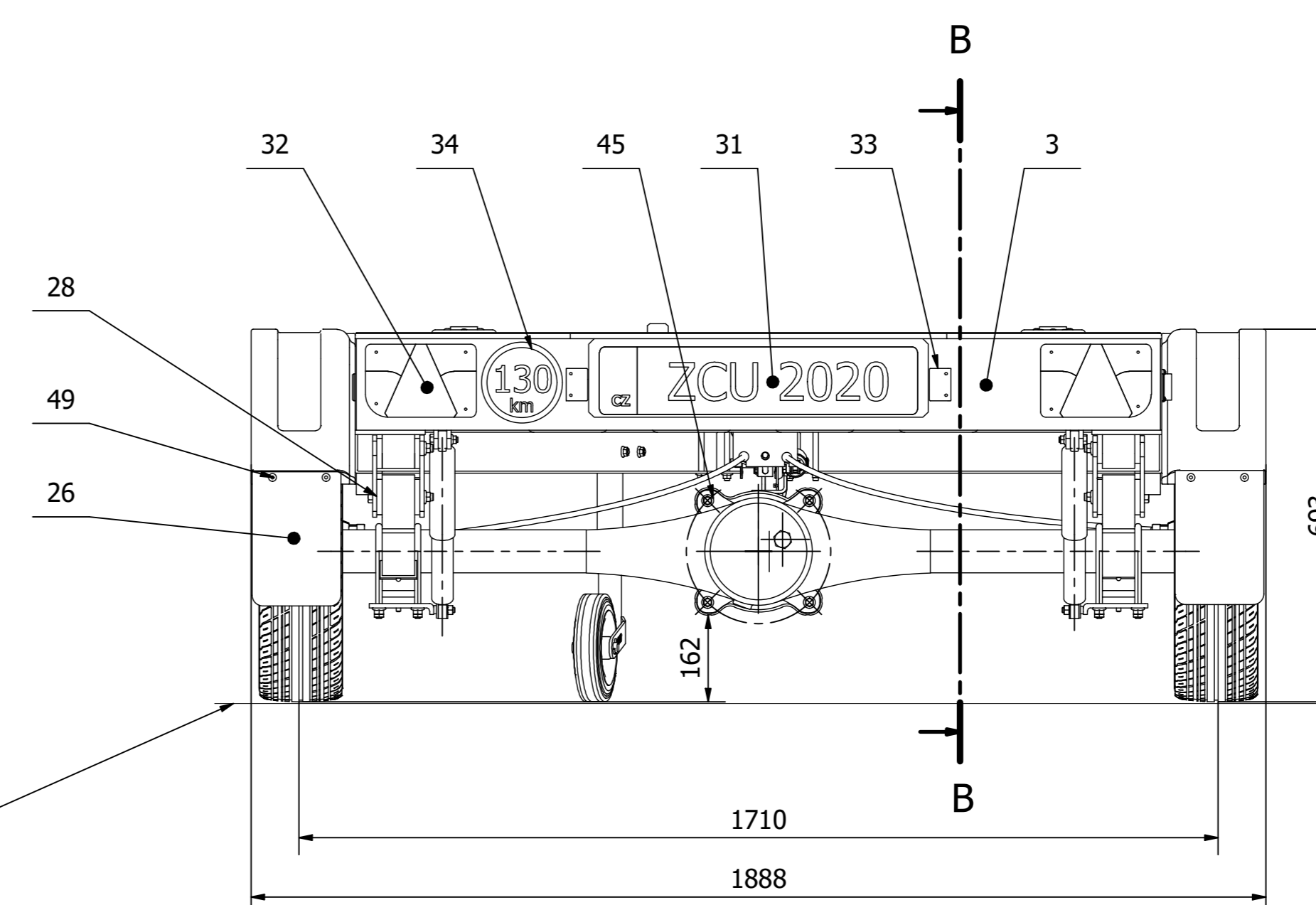
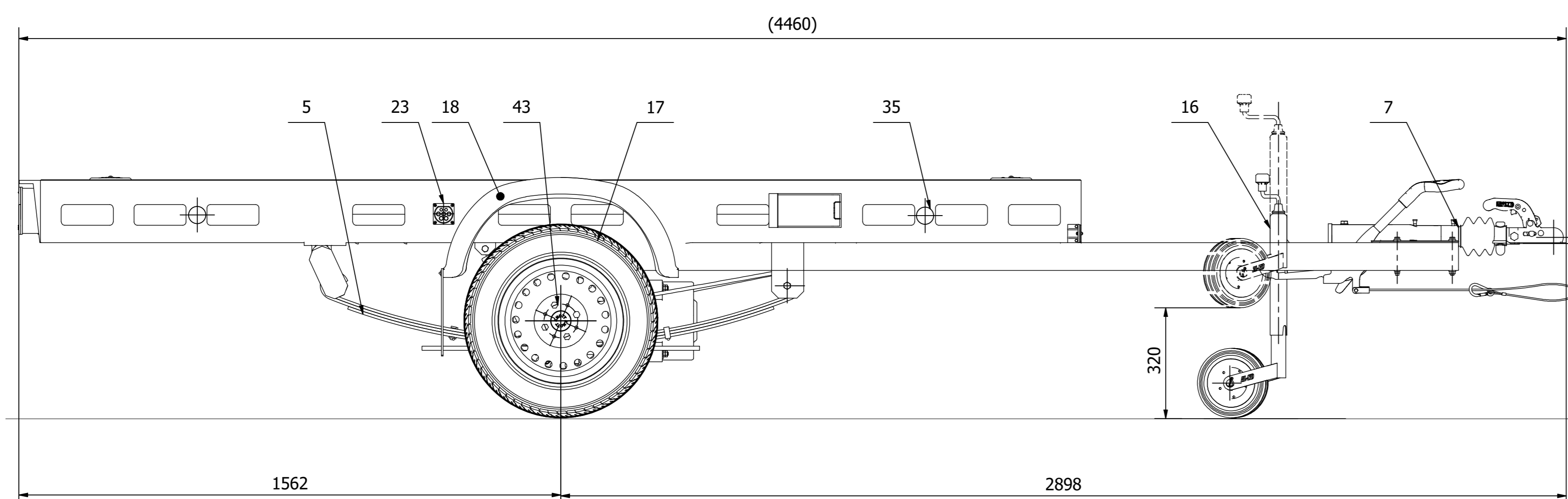
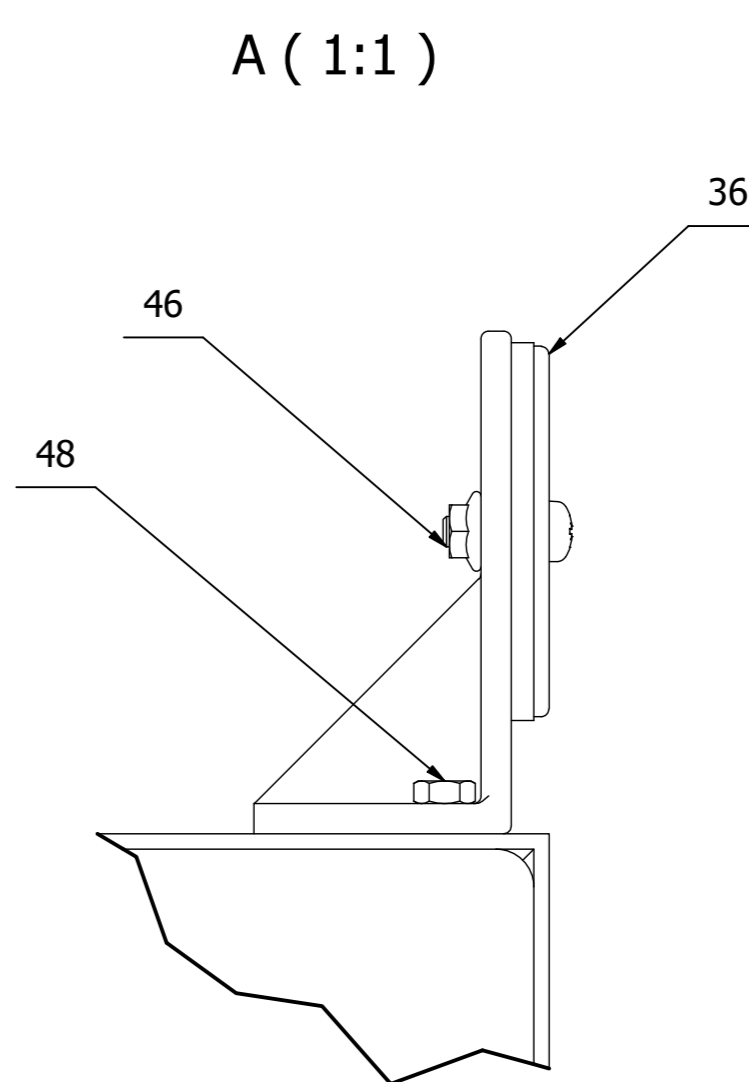
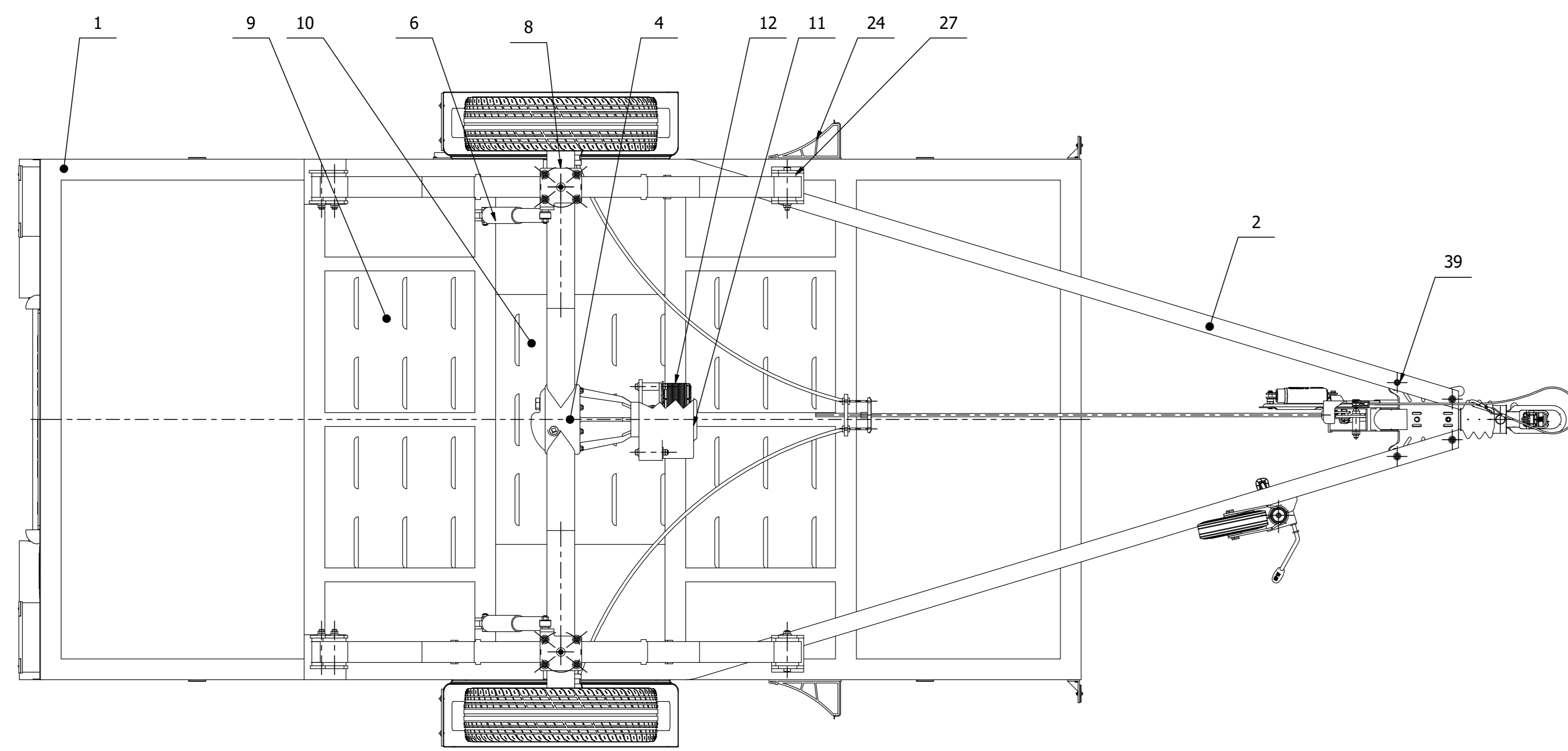
Výkres sestavy ZČU-KKS-S-2



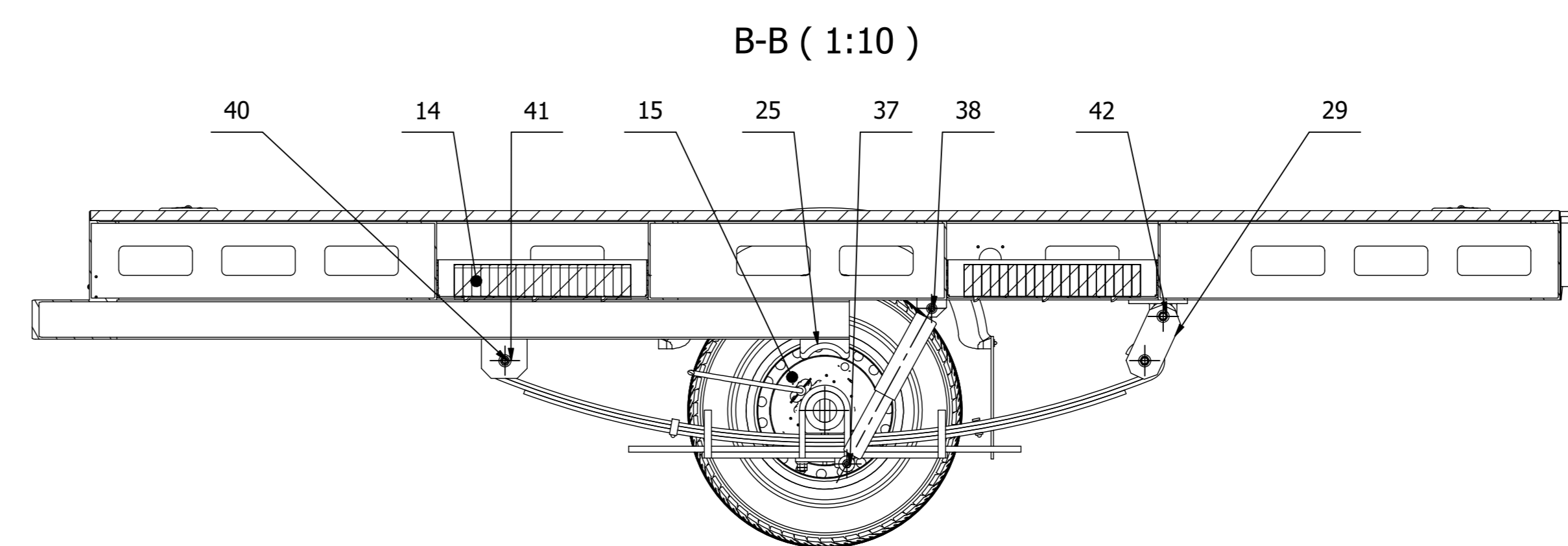
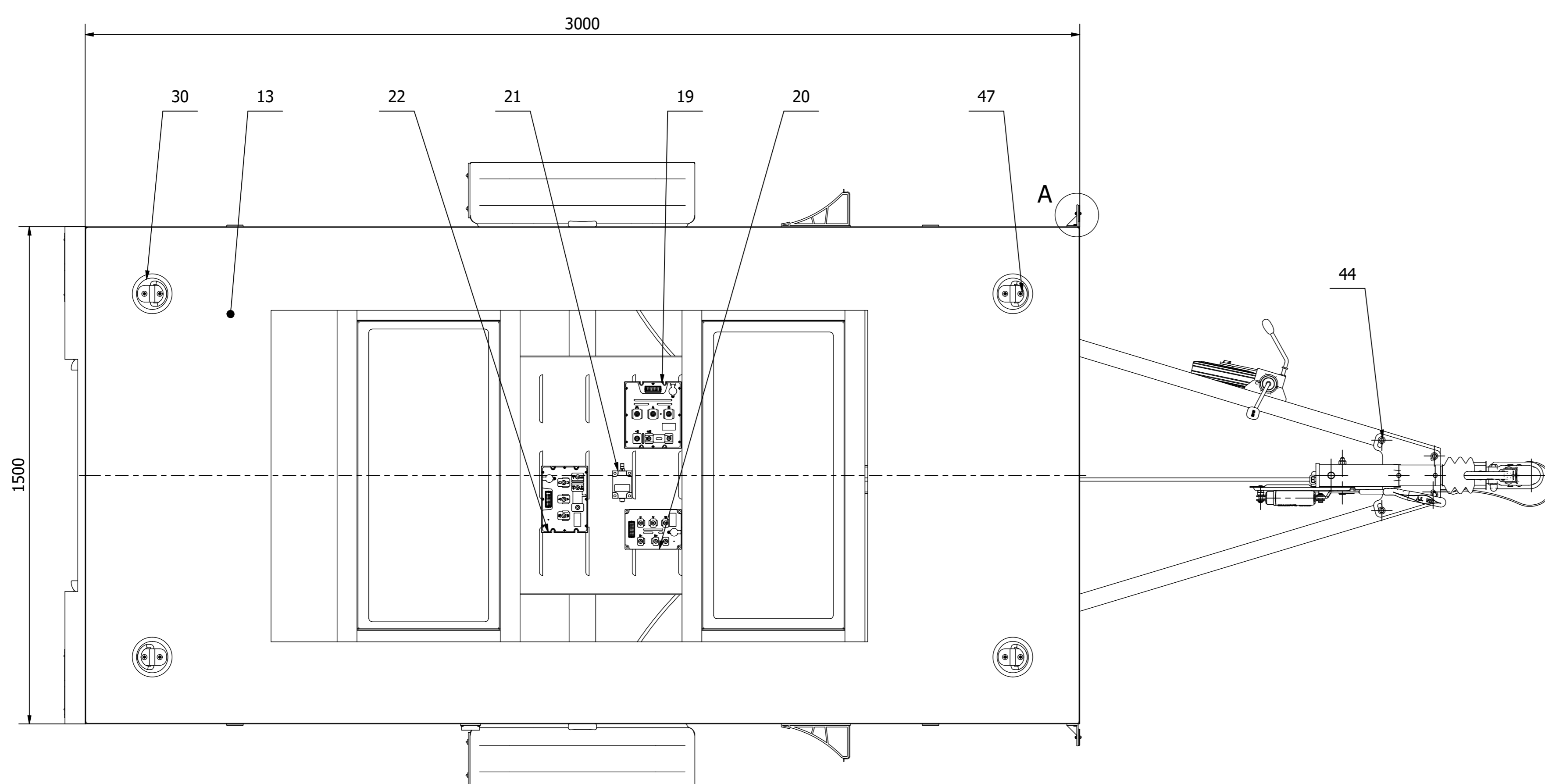
2	Boční uchycení	ZČU-KKS-02-01	2
1	Podložka	ZČU-KKS-02-01	1
POZICE	POPIS SOUČÁSTI	VÝKRES/NORMA	KS
KUSOVNÍK			

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	0,18	Promítání		Formát	A4
---------	-----	---------------	------	-----------	--	--------	----

 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	KATEŘINA KOPELTOVÁ	Název	PŘEDNÍ ÚCHYT ODPRUŽENÍ
	Datum	5.6.2020	Číslo dokumentu	ZČU-KKS-S-1
	Schválil		Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY
KKS	KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			



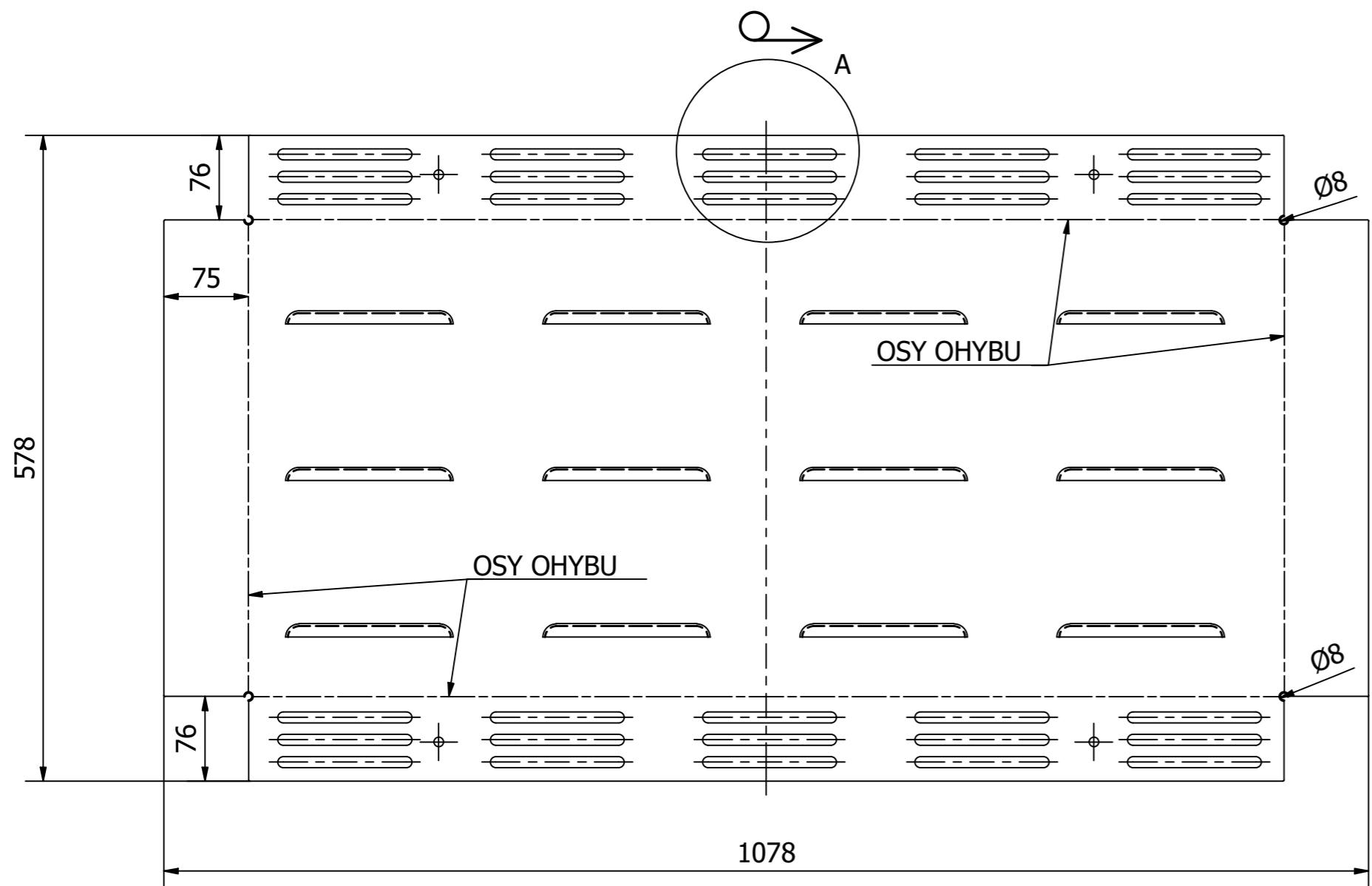
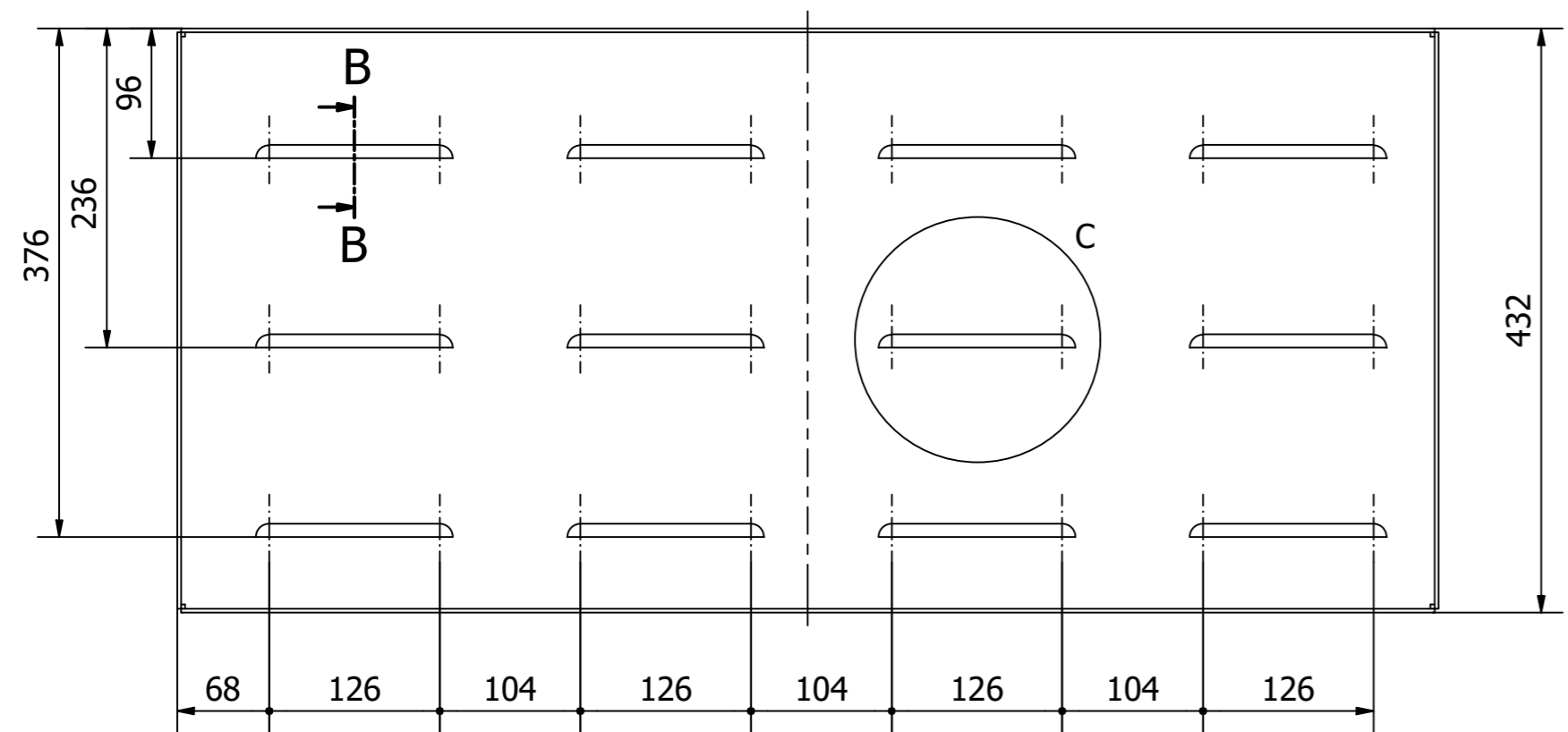
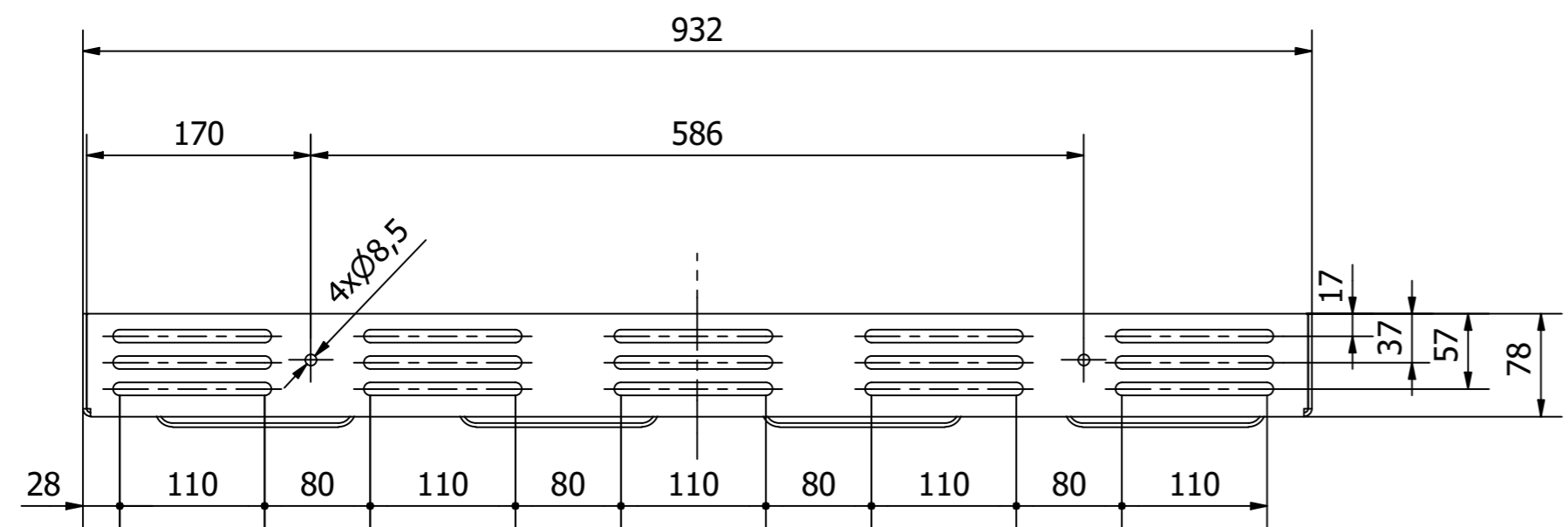
ÚROVEŇ VOZOVKY



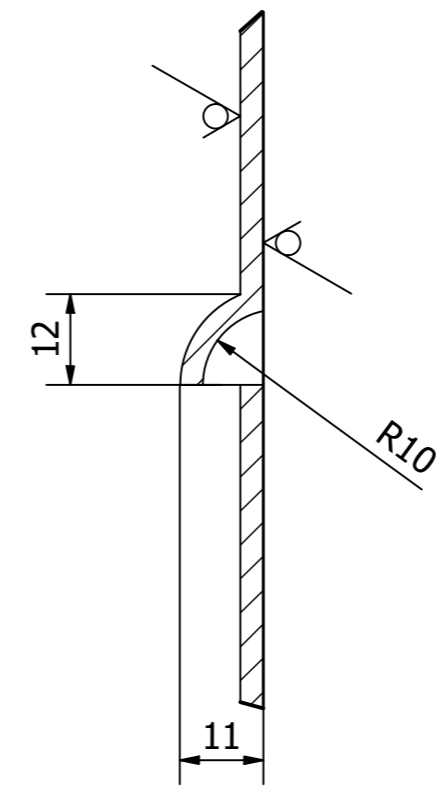
49	NÝT 6x50	ISO1051	4
48	ŠROUB M4x0,7 x 13	ISO 1479	4
47	ŠROUB M8 x 10 - 4.8	ISO 7045	8
46	ŠROUB M4 x 14 - 4.8	ISO 7045	2
45	ŠROUB M10 x 1,5 x 85	ISO 4017	4
44	ŠROUB M10 x 100	ISO 4162	4
43	ŠROUB M14x1,5x45	ČSN 22 341	8
42	MATICE M12	ISO 4161	6
41	MATICE M12x1,25	ISO 4161	6
40	ŠROUB M 12x110	ČSN 02 1111	2
39	MATICE M 10	ISO 4161	8
38	ŠROUB M10x45	ČSN 02 1111	2
37	MATICE M10x1,25	ISO 8674	2
36	PŘEDNÍ ODRAZKA	NAKUPOVANÝ	2
35	BOČNÍ ODRAZKA	NAKUPOVANÝ	4
34	OZNAČENÍ MAXIMÁLNÍ RYCHLOSTI	NAKUPOVANÝ	1
33	OSVĚTLENÍ SPZ	NAKUPOVANÝ	2
32	ZADNÍ SDRUŽENÉ SVĚTLO	NAKUPOVANÝ	2
31	SPZ	NAKUPOVANÝ	1
30	UPÍNAČÍ OKO PODLAHOVÉ	NAKUPOVANÝ	4
29	KYVNÉ ULOŽENÍ	NAKUPOVANÝ	2
28	SILENTBLOK PRUŽINY ZADNÍ	NAKUPOVANÝ	8
27	SILENTBLOK PRUŽINY PŘEDNÍ	NAKUPOVANÝ	4
26	ZÁSTĚRKA	NAKUPOVANÝ	2
25	DORAZ PRUŽINY	NAKUPOVANÝ	2
24	ZAKLÁDACÍ KLÍN	NAKUPOVANÝ	2
23	NABĚDČÍ ZÁSUVKA	NAKUPOVANÝ	1
22	BMS	NAKUPOVANÝ	1
21	SNÍMAČ NÁKLONU	NAKUPOVANÝ	1
20	DC/DC MĚNIČ	NAKUPOVANÝ	1
19	FREKVENČNÍ MĚNIČ	NAKUPOVANÝ	1
18	BLATNÍK	NAKUPOVANÝ	2
17	KOLO	NAKUPOVANÝ	2
16	OPĚRNÉ KOLEČKO	NAKUPOVANÝ	1
15	BUBNOVÁ BRZDA S LANOVODEM	NAKUPOVANÝ	2
14	AKUMULÁTOR	NAKUPOVANÝ	2
13	VODOVZDORNÁ PŘEKLIŽKA	NAKUPOVANÝ	1
12	ELEKTROMOTOR	NAKUPOVANÝ	1
11	KRYT ELEKTROMOTORU	ZČU-KKS-01-11	1
10	BOX ELEKTRONIKY	ZČU-KKS-01-10	1
9	BOX AKUMULÁTORU	ZČU-KKS-01-09	2
8	DRŽÁK LISTOVÉHO PERA A	ZČU-KKS-01-08	2
7	NÁJEZDNÁ BRZDA SE SNÍMAČEM POLOHY	ZČU-KKS-01-07	1
6	TLUMIČ	ZČU-KKS-01-06	2
5	LISTOVÁ PRUŽINA	ZČU-KKS-01-05	2
4	DIFFERENCIÁL S NÁPRAVOU	ZČU-KKS-01-04	1
3	ZADNÍ NÁRAZNÍK	ZČU-KKS-01-03	1
2	V OJ	ZČU-KKS-01-02	1
1	RAM	ZČU-KKS-01-01	1

PARAMETR	HODNOTA	POZ.	NÁZEV	VÝKRES/NORMA	KS
CELKOVÁ DÉLKA	4 460 mm				
CELKOVÁ ŠÍŘKA	1 888 mm				
CELKOVÁ VÝŠKA	693 mm				
LOŽNÁ PLOCHA	3 000 x 1 500 mm				
CELKOVÁ HMOTNOST	1 500 kg				
POHOTOVOSTNÍ HMOTNOST	452 kg				
UŽITNÁ HMOTNOST	1 048 kg				

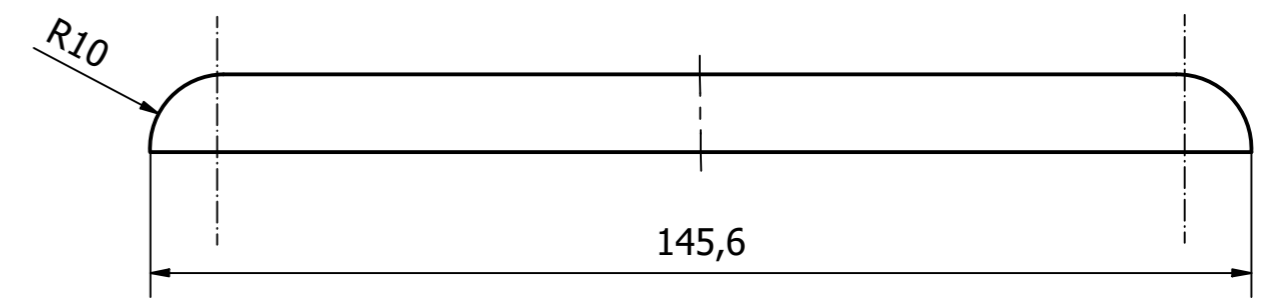
<table border="1"> <tr><td>Škála</td><td>1:10</td></tr> <tr><td>Číslo</td><td>452</td></tr> <tr><td>Formát</td><td>A0</td></tr> </table>	Škála	1:10	Číslo	452	Formát	A0	<table border="1"> <tr><td>Škála</td><td>1:10</td></tr> <tr><td>Číslo</td><td>452</td></tr> <tr><td>Formát</td><td>A0</td></tr> </table>	Škála	1:10	Číslo	452	Formát	A0	<table border="1"> <tr><td>Škála</td><td>1:10</td></tr> <tr><td>Číslo</td><td>452</td></tr> <tr><td>Formát</td><td>A0</td></tr> </table>	Škála	1:10	Číslo	452	Formát	A0	<table border="1"> <tr><td>Škála</td><td>1:10</td></tr> <tr><td>Číslo</td><td>452</td></tr> <tr><td>Formát</td><td>A0</td></tr> </table>	Škála	1:10	Číslo	452	Formát	A0
Škála	1:10																										
Číslo	452																										
Formát	A0																										
Škála	1:10																										
Číslo	452																										
Formát	A0																										
Škála	1:10																										
Číslo	452																										
Formát	A0																										
Škála	1:10																										
Číslo	452																										
Formát	A0																										
<table border="1"> <tr><td>FAKULTA STROJNÍ</td><td>KATEŘINA KOPELTOVÁ</td></tr> <tr><td>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PÍLČI</td><td>5.7.2020</td></tr> </table>		FAKULTA STROJNÍ	KATEŘINA KOPELTOVÁ	ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PÍLČI	5.7.2020	<table border="1"> <tr><td>KKS</td><td>KATEŘINA KOPELTOVÁ</td></tr> <tr><td>STROJNÍ</td><td>VÝKRES SESTAVY</td></tr> </table>		KKS	KATEŘINA KOPELTOVÁ	STROJNÍ	VÝKRES SESTAVY																
FAKULTA STROJNÍ	KATEŘINA KOPELTOVÁ																										
ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PÍLČI	5.7.2020																										
KKS	KATEŘINA KOPELTOVÁ																										
STROJNÍ	VÝKRES SESTAVY																										
<table border="1"> <tr><td>PRŮVĚRNÝ VOZÍK</td></tr> <tr><td>ZČU-KKS-S-2</td></tr> </table>		PRŮVĚRNÝ VOZÍK	ZČU-KKS-S-2	<table border="1"> <tr><td>PRŮVĚRNÝ VOZÍK</td></tr> <tr><td>ZČU-KKS-S-2</td></tr> </table>		PRŮVĚRNÝ VOZÍK	ZČU-KKS-S-2																				
PRŮVĚRNÝ VOZÍK																											
ZČU-KKS-S-2																											
PRŮVĚRNÝ VOZÍK																											
ZČU-KKS-S-2																											



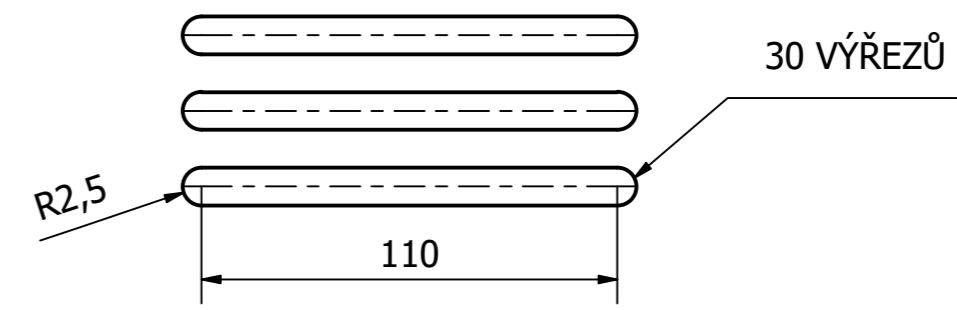
B-B (1:1)



C (1:1)



A (1:2)



- TECHNICKÉ POŽADAVKY:
 1. NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R1
 2. VŠECHNY OHYBY 90° S VNITŘNÍM RADIUSEM R5
 3. TLOUŠŤKA PLECHU 3 mm

Textura povrchu $\sqrt{Ra\ 12,5}$ (✓)	Hrany ISO 13715 -0,4 / +0,4	Měřítko 1:5	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 1,713	Tolerování ISO 8015
			Promítání ☑
Materiál - Polotovár P pozinkovaný 3 - 1078 X 578 ČSN 42 5332		Formát A2	
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ KKS	Kreslil KATEŘINA KOPELTOVÁ Datum 20.5.2020	Název BOX AKUMULÁTORU	
	Schválil Datum	Číslo dokumentu ZČU-KKS-01-09	
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		List 1 Listů 1	