

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přestavba staršího motocyklu na elektrický pohon

Autor: **Martin ŠANTORA**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří KOŘÍNEK**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin ŠANTORA**
Osobní číslo: **S19B0080P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Přestavba staršího motocyklu o malém zdvihovém objemu na elektrický pohon**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhňte konstrukční úpravy motocyklu nutné k instalaci elektrického pohonu včetně výkresové dokumentace, se zaměřením na konkrétní vyráběný typ motocyklu. Proveďte výběr vhodných pohonných komponent. Zhodnoťte finanční náročnosti přestavby. Proveďte rešerši na legislativní rámec přestavby silničního motorového vozidla.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků
2. Konstrukční návrh
3. Ověření navržené konstrukce na prototypu
4. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

WOHLMUTH, P. *Jawa 50 Pionýr-historie, vývoj, technika, sport* Praha: Grada Publishing a.s., 2015

VOŽENÍLEK, L. *Kurs elektrotechniky* Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Obecné strojní části 1* Praha: Computer Press, 1999

KRÁTKÝ, J., KRÓNEROVÁ, E., HOSNEDL, S. *Obecné strojní části 2* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kořínek**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ladislav Tříška, Ph.D.**
Strkan s.r.o.
Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šantora	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 – Dopravní a manipulační technika		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kořínek	Jméno Jiří	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Přestavba staršího motocyklu na elektrický pohon		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	49	GRAFICKÁ ČÁST	11
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh uložení elektromotoru místo spalovacího motoru a výpočet ozubeného řemene, kterým je koncept poháněn. V práci je rovněž uvedeno zapojení elektroniky potřebné k provozu vozidla. Popsán je výběr klíčových pohonných komponent: Elektromotoru, řídicí jednotky a akumulátoru. Návrh byl proveden v softwaru Solid Edge.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">přestavba, elektromotor, design, pohon vozidel, řemen, motocykl, CAD, akumulátor</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Šantora	Name Martin	
FIELD OF STUDY	2301R016 – Transport and handling machinery		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kořínek	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU – FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Reconstruction of an old electric motorcycle into electric one		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	49	GRAPHICAL PART	11
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis consists of design of an electric engine bay. It includes calculation of synchronous drive required for a specific motorbike described in thesis. It also includes selection of required parts. Models were created by Solid Edge CAD.
KEY WORDS	Reconstruction, electric engine, design, motorcycle drive, belt, CAD, battery

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Jiřímu Kořínkovi, za velmi cenné rady a připomínky, které byly klíčové k vypracování této bakalářské práce. Stejně tak děkuji svému konzultantovi Ing. Ladislavu Třískovi.

Dále děkuji své rodině a přítelkyni za neutuchající podporu během celého studia.

Seznam použitých zkratek a symbolů

n_s	[ot/min]	otáčky
p_d	[-]	počet pólových dvojic
f_r	[Hz]	frekvence
U	[V]	napětí
I	[A]	proud
P	[kW]	výkon
R	[Ω]	elektrický odpor
ϵ	[-]	dielektrická konstanta elektrolytu
C	[μ F]	kapacitance
S	[m ²]	plocha
F	[N]	síla
α	[rad, °]	úhel sklonu svahu
β	[rad, °]	úhel opásání
γ	[rad, °]	pomocný úhel
f	[-]	součinitel tření
d_1	[mm]	průměr hnacího kola či řemenice
d_2	[mm]	průměr hnaného kola či řemenice
z_1	[-]	počet zubů hnacího kola či řemenice
z_2	[-]	počet zubů hnaného kola či řemenice
a	[mm]	osová vzdálenost
p	[mm]	rozteč
L	[mm]	délka řemene
D	[mm]	průměr roztečné kružnice řetězového kola
Z_k	[N]	normálová reakce vozovky
O_{fk}	[N]	valivý odpor kola
M_{fk}	[N·m]	moment posunuté síly
r_k	[mm]	valivý poloměr kola
r_D	[mm]	dynamický poloměr
e	[m]	rameno valivého odporu
f_k	[-]	součinitel valivého odporu kola
c_x	[-]	součinitel vzdušného odporu
ρ_{vz}	[kg/m ³]	hustota vzduchu
\vec{v}_v	[m/s]	rychlost větru
S_x	[m ²]	čelní plocha
G	[N]	tíhová síla
s	[-]	součinitel pro sklon svahu
\vec{a}	[m/s ²]	vektor zrychlení
O_{zp}	[N]	odpor zrychlení
J_{ki}	[kg·m ²]	hmotnostní moment setrvačnosti
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
SWOT		strengths, weaknesses, opportunities, threads
PWM		pulse-width modulation
PHEV		plug-in hybrid vehicle
BEV		battery electric vehicle
VFD		variable-frequency drive
BLDC		brushless direct-current

Úvod

Elektromotor je nejstarší známý typ pohonu. K nalezení je téměř ve všech aplikacích, ať už pro pohon různých zdvihacích zařízení, nářadí, dopravníků, ale i ovládacích prvků v podobě servomotorů. Historicky je elektromotor starší než spalovací motor, dokonce první automobily byly poháněny právě elektromotorem. První elektrický vůz byl zkonstruován již v roce 1890 Williamem Morissonem. [1] Tehdejší technologie, zejména v oblasti baterií, však nedokázaly konkurovat spalovacímu motoru s vyšším dojezdem, nižší spotřebou (tehdy dostupné) energie a levnější pořizovací cenou, a proto byly elektromotory z osobní přepravy vytlačeny.

V současné době se automobilky vrací k elektrickým motorům. Vývoj baterií postupuje stále kupředu a moderní elektromobily mají dojezd až 500 km. Oproti klasickému spalovacímu motoru vykazuje elektromotor zcela odlišné jízdní vlastnosti, například zátah od nízkých otáček, nesrovnatelně větší zrychlení nebo tišší chod. Ve vozidle s elektrickým motorem je o poznání méně mechanických komponent, proto je třeba se zaměřit i na řízení vstupních a výstupních signálů. Elektropohony se začaly objevovat i v jednostopých vozidlech, rozšířená jsou v současné době elektrokola, která svým motorem pomáhají jezdcům a cyklistika se stává dostupná většímu okruhu osob. Posledním příkladem vozidel jsou motocykly, které cíleně využívají výše zmíněné charakteristiky elektromotoru. Příkladem mohou být cross-biky nebo elektrické skútry do města, v cestovních motocyklech zatím elektrické motory nejsou dostupné. Současně s rostoucím prodejem elektrických vozidel roste i dostupnost pohonných komponent pro případné modifikace či úplné přestavby. Tato práce se zabývá právě přestavbou československého mopedu Jawa 20 na motocykl poháněný elektrickým motorem.

Kapitola 1

Legislativa

1.1 Zákon č. 56/2001 Sb.

Důležitá poznámka: V následujícím odstavci bude pracováno s informacemi ze zákona č. 56/2001 Sb. zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb. U odkazů na jednotlivé paragrafy nebude vypisováno kvůli přehlednosti vždy celé jméno zákona, ale daný paragraf (§) a číslo odstavce (N). Pro rychlé zorientování v zákoně jsou v této práci některé odstavce v paragrafech kráceny a uváděny jen ty nejnnutnější. Přestavbou silničního vozidla v daném zákoně řeší §73: [2][3][5]

"Přestavba silničního vozidla

1. *Přestavbou silničního vozidla je změna nebo úprava podstatných částí mechanismu nebo konstrukce provozovaného silničního vozidla.*
2. *Za změnu podstatných částí mechanismu nebo konstrukce silničního vozidla se považují*
 - a. *změna druhu pohonu, vestavění jiného typu motoru,*
 - b. *změna karoserie, pérování vozidla a kol způsobující změnu povoleného zatížení,*
 - c. *změna druhu karoserie nebo nástavby, pro které se mění účel a způsob použití silničního vozidla,*
 - d. *změna kategorie vozidla.*

(...)

7. *O přestavbu silničního vozidla se nejedná, jestliže výrobce vozidla prohlásí podstatnou část mechanismu nebo konstrukce silničního vozidla za náhradní díl k tomuto vozidlu."*

Nastává-li jedna z těchto změn, jedná se o přestavbu silničního vozidla, vozidlo přestává být (bylo-li) historickým vozidlem. Je-li vozidlo přihlášeno, je nutné přestavbu hlásit na dopravní inspektorát v místě bydliště (§74). V této poměrně rané fázi se začínají zákony složitě větvit, případné situace jsou rozděleny do tří variant. [2][3][5]

Varianta A Majitel představovaného motocyklu má k dispozici technický průkaz, registrační značky a ostatní právní dokumenty.

Tato situace je z hlediska zákona nejjednodušší, postupuje se dle §73 a §74, tj. přestavené vozidlo se hlásí na dopravní inspektorát společně se všemi formuláři (žádost o změnu v TP, žádost o změnu v registru vozidel). Do této varianty je řazena i možnost přihlásit stroj v zahraničí (Slovensko, Německo) a následně dovézt do ČR, kdy se neprochází technickou kontrolou, ale pouze evidenční.

Varianta B Majitel představovaného motocyklu má k dispozici veteránský technický průkaz a veteránskou testaci společně s příslušnými značkami. V tomto případě již veteránská testace není platná. Tento fakt popisuje §79a:

"Registr historických a sportovních vozidel

- 1. Registr historických a sportovních vozidel vedou obecní úřady obcí s rozšířenou působností v sídle kraje, (...)*
- 2. Při registraci historického vozidla místně příslušný úřad na základě předložení protokolu o platném testování vydá průkaz historického vozidla a osvědčení o registraci vozidla. Historickému vozidlu přidělí zvláštní registrační značku pro historická vozidla a vydá tabulku s registrační značkou pro historické vozidlo.*

(...)

- 5. Žadatel o registraci historického vozidla zapsaného v registru silničních vozidel místně příslušnému úřadu podle odstavce 1 se žádostí předloží osvědčení o registraci silničního vozidla v registru silničních vozidel a technický průkaz silničního vozidla a odevzdá tabulky s registrační značkou silničního vozidla. Při registraci historického vozidla místně příslušný úřad kromě úkonů podle odstavce 2 odebere osvědčení o registraci silničního vozidla a tabulky s registrační značkou silničního vozidla, v technickém průkazu zapíše převod silničního vozidla z registru silničních vozidel do registru historických a sportovních vozidel a v registru silničních vozidel tuto skutečnost zaznamená.*

- 6. Prováděcí právní předpis stanoví způsob a podmínky registrace..."*

Z §79a (5) vyplývá, že historický motocykl prochází "zkouškou dobovosti", tedy zdali odpovídá původnímu historickému stavu. V případě přestavby tuto podmínku nesplňuje a osvědčení o registraci historických motorových vozidel nejsou platná. [2]

Varianta C Majitel motocyklů nemá žádný typ dokladů ani osvědčení.

Právně je tato varianta nejkomplicovanější ze všech situací, neboť zákon neočekává přestavby motocyklů na elektrické pohony. Obecně jejich charakteristiky popisuje evropská směrnice EU168/2013 článek 4, která dělí motorová vozidla do příslušných kategorií. V případě této práce se jedná o malý motoped kat. L₁e-B (dvoukolové mopedy), případně L₃e-A1. Ohledně výkonů hovoří legislativa poněkud okrajově, k zmíněné evropské směrnici je v příloze uvedena tabulka 1.1.

kde v_{max} je "maximální konstrukční rychlost vozidla" a P_{max} je "maximální netto výkon nebo maximální trvalý jmenovitý výkon". Jednotlivé kategorie jsou ekvivalentní k AM, A1,

Cyklus	Třída WHMTC	v_{max} [km/h]	P_{max} [kW]
1	1	≤ 50	≤ 6
2	1	$50 < v_{max} < 100$	< 14
3	2	$100 \leq v_{max} < 130$	≥ 14
4	3	$130 \leq v_{max}$	-

Tabulka 1.1: Tabulka rychlostí dle EU 168/2013

A2 a A. V tomto dělení se však neuvádí špičkový výkon elektromotoru, který může být až dvojnásobný. V praxi se zařazuje vozidlo po domluvě na příslušném úřadě.

Nejdůležitější pro registraci je projít technickou kontrolou, kde je vydán technický průkaz vozidla. [4][5]

1.2 Vyhláška č. 211/2018 Sb

Zde je popsána Vyhláška č.211/2018 Sb., Vyhláška o technických prohlídkách vozidel, příloha 1. Graf na obrázku 1.2 popisuje základní úkony, které provádí technik v STK na testovaném motocyklu. V grafu nejsou zahrnuty všechny testované kategorie, pouze ty, které jsou relevantní k motocyklům a elektrickému pohonu. Případný žadatel o přestavbu může pomocí grafu získat přehled o oblastech, které budou s nejvyšší pravděpodobností posuzovány. [6]

1.3 Formuláře a doklady

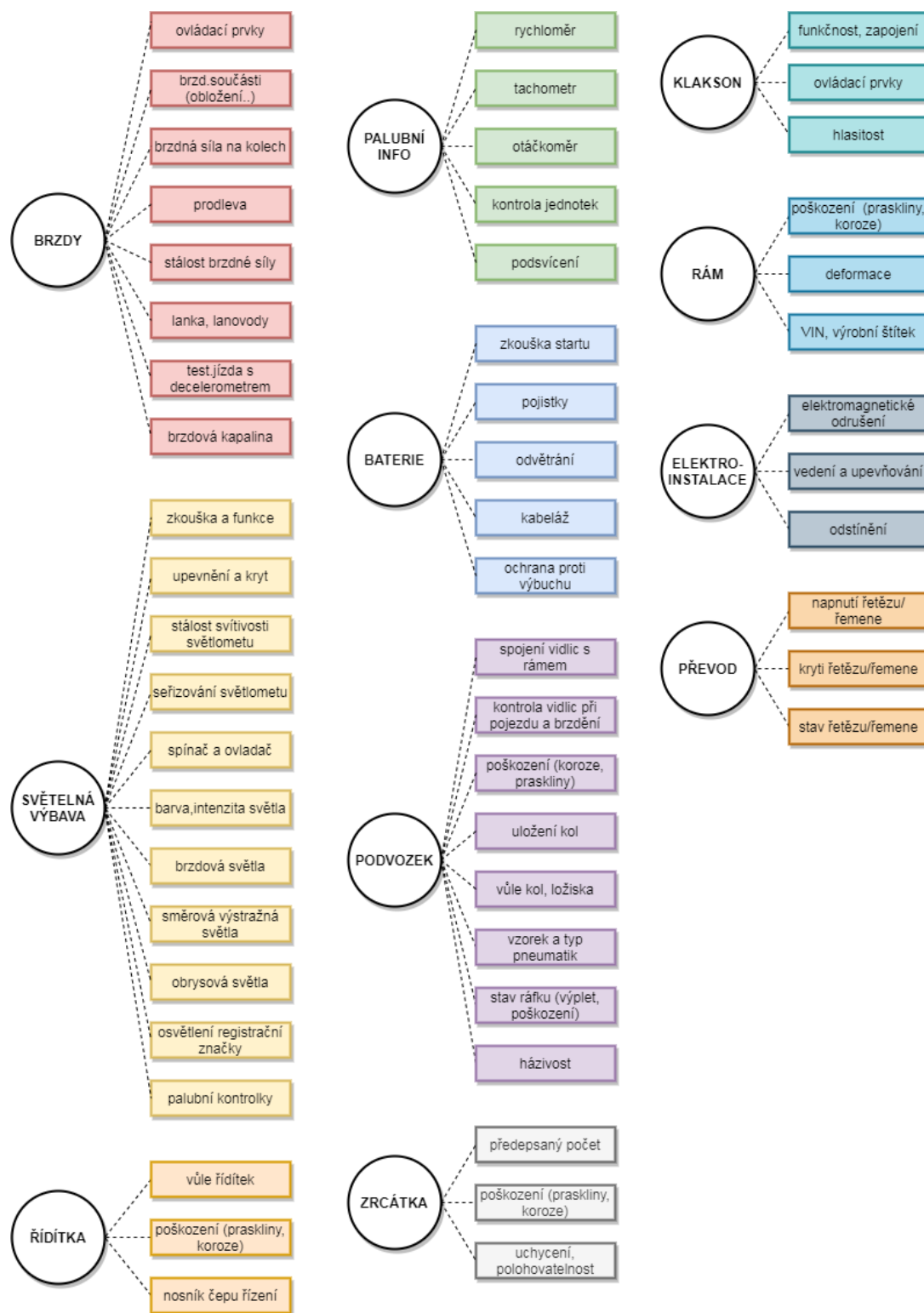
Žádost o povolení přestavby SV se podává na příslušném městském úřadu. Tato žádost musí obsahovat:

1. jméno a příjmení, pobyt, rodné číslo fyzické osoby, případně ekvivalent pro právnické osoby,
2. druh a kategorii silničního vozidla,
3. účel, pro který má být SV používáno.

K žádosti je nezbytné přiložit následující doklady:

1. podrobný popis přestavby SV,
2. návrh na změnu údajů zapisovaných v technickém průkazu,
3. technický popis a výkresovou dokumentaci systému vozidla, konstrukční části vozidla nebo samostatného technického celku vozidla, pokud nebyla schválena jejich technická způsobilost typu,
4. technickým protokolem vydaným zkušební institucí.

Dále je k přestavbě vozidla nutné získat vyjádření výrobce daného vozidla. Nemůže-li výrobce údaje dostatečně poskytnout, má v kompetenci daná technická stanice tyto údaje doplnit. Veškeré informace se pak vyplňují do formuláře, kam se uvádí např. druh vozidla, kategorie, značka atp. [3][5]



Obrázek 1.1: Oblasti kontrolované STK [6]

Kapitola 2

Elektromotocykly

Elektrifikace vozového parku se netýká jen automobilů, tento trend lze nalézt již i v motocyklovém světě. Stále více výrobců nabízí elektrické skútry, které jsou vhodnou alternativou k elektrokolům a rovněž dobrou alternativou pro dopravu po městě. Řada výrobců již představila elektrické motocykly, příkladem je Harley-Davidson s modelem LineWire, jehož prototyp byl zveřejněný v červnu roku 2014. Dalším příkladem je italský výrobce Piaggio s elektrifikovaným modelem skútru Vespa. Z Čech pak Čezeta 506, která je v současnosti nejrychlejším elektrickým skútre.

2.1 Vespa Elettrica

Elektrický model legendárního italského skútru Vespa je koncipován pro městský provoz. Pohání jej elektromotor o výkonu 3,5 kW a je nastavitelný v režimu EKO, kdy je maximální rychlost omezena na 30 km/h, v režimu POWER, který využívá maximální potenciál elektromotoru a REVERSE pro zpětný chod. Vespy se dodávají ve dvou variantách L1 a L2 podle maximální rychlosti. U L1 je omezena na 45 km/h, u L2 na 53 km/h. Motocykl je vybaven rekuperací, tj. při zavřeném plynu funguje elektromotor jako alternátor a zpětně dobíjí baterii.[7]

2.2 KTM Freeride E-XC 2020

Elektromobilita se neomezuje pouze na městskou dopravu, vlastní elektromotocykl vyvinul i rakouský výrobce KTM. Bezkartáčový stejnosměrný vodou chlazený motor s permanentními magnety váží 111 kg a má špičkový výkon 18 kW. Maximální výkon je 9 kW a točivý moment 42 Nm. Nabízeny jsou tři jízdní módy. Mód Economy má maximální rychlost omezenou na 50 km/h, Enduro má výkon omezený na 16 kW a třetí mód Cross využívá plný potenciál motoru. Již zmíněná chladicí kapalina je rozváděna dvěma postranními výměníky a chladicí kapalina je poháněna elektrickou pumpou. Kompozitový rám s chrommolybdenové oceli, hliníkových prvků a vysokopevnostního polymeru je nižší než u podobného modelu Freeride 250 F. Podvozek používá tlumiče s dráhou 250 mm o průměru 43 mm. Brzdové páčky jsou obě umístěny na řídítkách, tudíž motocykl nemá brzdu na pravé noze jako u klasické koncepce. Používá dvoupístkové kotoučové brzdy. Baterie pod sedlem je připojitelná na 230V zásuvku a bere proud 10 až 13 A. Na plnou kapacitu se nabije za 110 minut, na 80% za 75 minut. [8]



Obrázek 2.1: KTM Freeride E-XC 2020 [8]

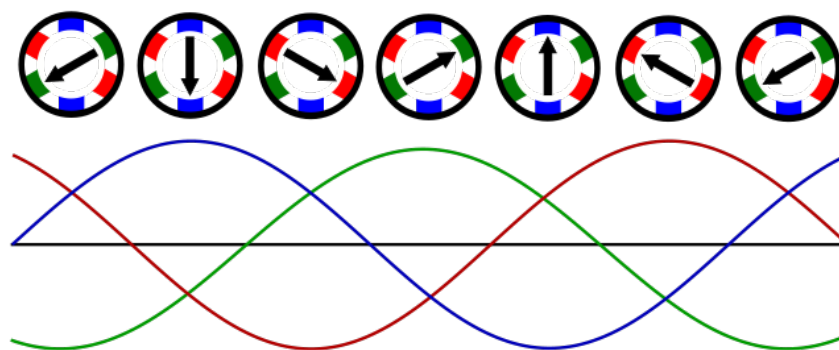
2.3 ČZ 506 2018

Koncepce Čezety byla připravena již v září 2014, ale kvůli homologacím byla sériová výroba oficiálně zahájena až v roce 2018. Původní plán zachovat historický podvozek nevyhovoval současným normám, ČZ 506 tedy jezdí na novém podvozku již uzpůsobeném nesení baterie. Na palubní desce se nachází dva kruhové budíky, rychloměr a kontrola nabití baterie. Již zmíněný rám je svařen ze čtyřhranných ocelových profilů. 13" kola, kotoučové brzdy a rozvor 1340 mm dávají motocyklu jistější jízdní vlastnosti, než měl jeho historický předchůdce. Výkonnější verze ČZ 506/02 má 6 kWh baterii, zatímco slabší verze ČZ 506/01 pouze 4 kWh. Výkonnější verze váží 147 kg. Nominální výkon silnější varianty činí 9,2 kW a špičkový výkon 11 kW. Maximální rychlost je 120 km/h a udávaný dojezd 120-150 km. [9]

Kapitola 3

Elektromotory

Elektromotor je elektrický stroj, který za pomoci třífázové soustavy přeměňuje elektrickou energii na mechanickou a generuje zpravidla otáčivý pohyb. Dělí se podle rotace magnetického pole na synchronní a asynchronní. Dále se dělí dle proudu na střídavé a stejnosměrné.



Obrázek 3.1: Průběh proudů v třífázové soustavě a vznik točivého magnetického pole [10]

3.1 Asynchronní motory

Asynchronní (indukční) motor pracuje na principu točivého magnetického pole, které se indukuje pravidelným přepólováním cívek statoru. Připojením statoru na trojfázovou síť se v souladu s křivkami na obrázku 3.1 mění polarita, což má za následek právě vznik otáčivého magnetického pole.

Kostra statoru se skládá z tenkostěnné litiny. V kostře je pak uložen pevně sepnutý svazek elektrotechnických plechů ve tvaru dutého válce, který usměrňuje tok magnetického pole. Plechy jsou od sebe izolovány lakem. V drážkách je pak uloženo izolovaně trojfázové vinutí. Začátky a konce fází jsou následně vedeny na svorkovnici, kde je možné zapojit trojfázovou soustavu do hvězdy nebo do trojúhelníka. Svorkovnice se obvykle umístí uje na pravou stranu motoru.

Rotor je rovněž složen z balení elektrotechnických plechů a je lisován na vroubkovaný hřídel. Ten se otáčí ve valivých ložiskách nebo kluzných ložiskách, které jsou ve štítech motoru. Přední štít je u řemenice, zadní štít je pak opačný.

Rozdílem mezi otáčkami rotoru a otáčkami magnetického pole je definován skluz motoru, který bývá od 1% do 10%. Asynchronní motory jsou dále děleny na motory kroužkové, nakrátko (místo balení plechu v rotoru je vinutí tvořeno z neizolovaných tyčí vedoucích

do vodivých kruhů "nakrátko", tvoří takzvanou klec), dále motory s dvojitou klecí, vírovou kotvou apod.

Otáčky asynchronního motoru jsou závislé na počtu pólů a vstupní frekvenci a určuje je důležitý vztah

$$n_s = \frac{60 \cdot f_r}{p} \quad (3.1)$$

kde n_s jsou otáčky [min^{-1}], f_r je frekvence [Hz] a p_D je počet pólových dvojic. [12]

3.2 Synchronní motory

Synchronní motor funguje stejně jako alternátor, resp. každý synchronní motor lze použít jako alternátor a vice versa. Konstrukce statoru je stejná jako u asynchronního motoru, viz část 3.1. Hlavní rozdíl oproti asynchronním motorům je v rotoru. Rotorem prochází rovněž vinutí generující magnetické pole. Synchronní motory mají tedy dva typy magnetického pole a právě vyrovnání jejich otáček (rotoru a točivého mag.pole statoru) je udržován v běhu. Parametrem synchronních motorů je tah, což je veličina závislá na přitažlivé síle mezi rotujícím magnetickým polem statoru a rotujícím magnetickým polem rotoru. Motory se po připojení do sítě samy nerozběhnou - jestliže je motor v klidu, střídají se póly točivého pole statoru a rotoru poměrně rychle a setrvačnost hmoty rotoru nedovolí jeho rozběh. Obtížně se také regulují otáčky. Synchronní motory mají velkou účinnost (0,95 - 0,98) a jsou buzeny na účinník $\cos \phi = 1$.¹ Synchronní motory opatřené rozběhovým vinutím přímo na rotoru se nazývají autosynchronní. Rozběhové vinutí je tvořeno plechy po obou stranách rotoru spojených bronzovými tyčemi. Tato klecovitá konstrukce zabraňuje kývání rotoru, k němuž by docházelo při náhlém zatížení nebo odlehčení. [12][13]

3.3 Stejnoseměrné motory

Stejnoseměrné motory mají shodnou konstrukci s dynamem, skládají se ze statoru, rotoru a komutátoru. Komutátor je ve své podstatě rotující spínač, který mění polaritu magnetů. Na kartáčových motorech jsou právě na komutátor připojeny kartáče, které přivádí elektrický proud ze zdroje. Rotor je pak tvořen vinutím (které funguje jako elektromagnet) a permeabilními² plechy. Stator je tvořen ze statorových plechů a statorových cívek, jež slouží jako permanentní magnety.

U bezkartáčových motorů, označovaných zkratkou BLDC³, je mechanický komutátor nahrazen elektronicky. To umožňuje změnit vnitřní strukturu motoru. Permanentní magnety, u kartáčových motorů umístěné ve statoru, jsou u bezkartáčových umístěny v rotoru. Elektromagnety jsou umístěny ve statoru. Řídící jednotka pak zajišťuje přepólování elektromagnetů ve statoru, čímž plně nahrazuje činnost mechanického komutátoru. [12][13]

¹To má za následek, že ze sítě odebírají pouze činný, tedy "využitelný" proud. Při $\cos \phi = 0$ by byl všechn odebíraný proud jalový, tedy "nevyužitelný".

²Permeabilita je schopnost ovlivňovat magnetické pole.

³Brushless direct current - bezkartáčový stejnosměrný motor.

Kapitola 4

Řízení výkonu

Autobaterie, případně pohonná baterie v elektromotocyklech dává střídavý proud. V případě, že je třeba získávat stejnosměrný proud kvůli motoru lze proud přeměňovat a tím regulovat proud a napětí.

4.1 Regulace frekvenčním měničem

Frekvenční měnič (VFD¹) je zařízení, které slouží k přeměně vstupní frekvence a často je využíván u asynchronních motorů k regulaci otáček s ohledem na rovnici 3.1.

Střídavý proud přicházející do zdroje je např. pomocí PWM (srov. 4.4) nebo diodových můstků přeměněn na stejnosměrný proud. To se děje průměrováním jednotlivých časových úseků sinusovky. Následně je signál "vyhlazen" pomocí obvodu, který se skládá především z kapacitorů a cívek. Hladký analogový diskrétní signál je pak pomocí měniče, který na principu MOSFETem² ovládaných přepínačů a komparátorů³ generuje zpět střídavý proud o požadované frekvenci a napětí. [15]

4.2 Odporová výkonová regulace

Odporová regulace je nejstarší typ regulace výkonu a používá se např. v drážních vozidlech. Elektrické lokomotivy mají na střeše rezistory, které jsou za jízdy chlazeny vzduchem. Druh této regulace tedy spočívá v sériovém zapojení odpovídajícího odporu do obvodu. Ten se dá následně regulovat potenciometrem. Výkon odporu je přímo ekvivalentní odevzdanému teplu. S ohledem na Ohmův zákon,

$$R = \frac{U}{I} \quad (4.1)$$

kde R je odpor [Ω], U je elektrické napětí [V] a I je elektrický proud [A] a vzorec pro elektrický výkon,

$$P = U \cdot I \quad (4.2)$$

kde P je výkon [W], můžeme získat výkon odporu.

$$P = R \cdot I^2 \quad (4.3)$$

¹Variable frequency drive.

²MOSFET tranzistor ovládaný elektrickým polem. V měniči slouží k rychlému přepínání spínačů.

³Komparátor porovnává dva analogové signály a vygeneruje "ano-ne" hodnotu-v případě analogového signálu maximální napětí nebo minimální.

Je tedy zřejmé, že odporová regulace je ztrátová regulace (ztrátami je teplo) a je třeba obvod účinně chladit. [16]

4.3 Tyristorová regulace

Tyristor je součástí se čtyřmi PN⁴ přechody a třemi elektrodami-anodou, katodou a řídicí elektrodou (angl. gate). Tyristor se chová jako vysokofrekvenční spínač, tj. za malý časový okamžik rychle spíná a rozepíná obvod. Zároveň má tzv. blokující a propustný stav. V blokujícím stavu při nízkém napětí neprochází tyristorem téměř žádný proud. V momentě, kdy dosáhne spínacího napětí se proud prudce zvyšuje a tyristor přechází do propustného stavu. Blokovací stav trvá řádově několik milisekund. Tyristorová regulace tedy funguje na bázi spínače, proto lze jistým způsobem tvrdit, že se jedná o bezeztrátovou regulaci. Jsou-li uvažovány vzorce 4.1 a 4.2, při blokujícím stavu neprochází obvodem proud, tedy výkon je nulový. Při propustném stavu je naopak proud maximální a odpor nulový, což opět vede na nulový výkon. Samozřejmě, stav beze ztrát se uvažuje v ideálním případě. [16]

4.4 Pulzně šířková modulace

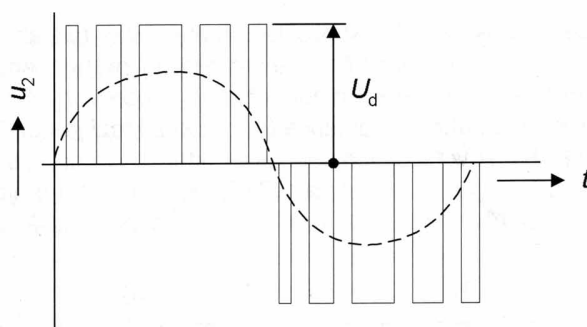
Pulzně šířková modulace umožňuje jednoduše ovládat napětí na stejnosměrných motorech. Její princip spočívá v převodu digitálního signálu na diskrétní analogový, viz obrázek 4.4.

Převedený analogový signál vysílá pulsy, kde je maximální a minimální hodnota, de facto "ano-ne". Šířka vlny je vyjádřena procentuálním vyjádřením časového poměru mezi hodnotami "ano-ne" v jednom cyklu. Doba od počátku jednoho cyklu do začátku druhého cyklu se nazývá perioda T [s]. Počet period za časový úsek je frekvence f [Hz].

PWM⁵ umožňuje regulovat napětí změnou šířky vlny. Bude-li například šířka vlny 60%, maximální napětí 5V a minimální napětí 0V, výstupní napětí bude

$$U = U_{max} \cdot s_v = 5 \cdot 0,6 = 3V \quad (4.4)$$

kde s_v je šířka vlny [%]. Šířka vlny udává, že 60% času bude aktivních 5V a 40% 0V. [14][15]



Obrázek 4.1: Pulzně šířková modulace [14]

⁴Jedná se o polovodiče P a N, mají stejnou vlastnost jako diody-propouští proud jedním určeným směrem.

⁵Pulse-width modulation, pulzně šířková modulace.

Kapitola 5

Akumulátory

Akumulátor je zařízení skládající se alespoň ze dvou článků, které má dva výstupy a dokáže hromadit, uchovat a uvolnit elektrickou energii. Další části se budou týkat především akumulátorů v elektrických vozidlech. Tím nejběžnějším typem je lithiový akumulátor.

5.1 Popis a druhy lithiových akumulátorů

Lithiových akumulátorů existuje mnoho variant podle příměsi aktivního kovu. Lithium-kobalt oxidové baterie (LCO) se běžně používají v noteboocích a mobilních telefonech, Lithium-mangan oxidové zas v elektrických nástrojích. Dalšími mohou být Li-Pol či Li-O. Pro pohony elektrických dopravních prostředků vyjma automobilů jsou používány akumulátory Lithium Nikl Mangan Kobalt Oxid se zkratkou NMC.

V elektromobilech jsou v současné době nejrozšířenější dva typy akumulátorů - PHEV trakční baterie (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), které se používají do automobilů s hybridním pohonem, a BEV trakční baterie, jejíž využití je v automobilech čistě na elektrický pohon. V každém případě je však v elektromobilech nejvíce rozšířeným druhem Li-Ion akumulátor. Důvodem je zřejmě napětí ová kapacita 3,6V oproti standardním 1,2V u Ni-MH či Ni-Cd baterií.

5.2 Li-Ion akumulátor

Akumulátor se skládá z katody, anody, elektrolytu, dvou proudových sběračů a separátoru. Separátorem se rozumí propustná membrána mezi elektrodami. V elektrodách je uskladněno lithium, které je následně přenášeno elektrolytem s aditivy. Tento pohyb lithia produkuje na anodě volné elektrony, jež jsou odváděny sběračem s kladným nábojem do napájeného obvodu. Proud protéká směrem k zápornému náboji sběrače a dostává se do okolí katody. Tento celý proces popisuje vybíjení baterie. Její nabíjení je proces opačný, tedy lithiové elektrony putují směrem z katody k anodě.

5.3 Li-Pol a Li-O akumulátor

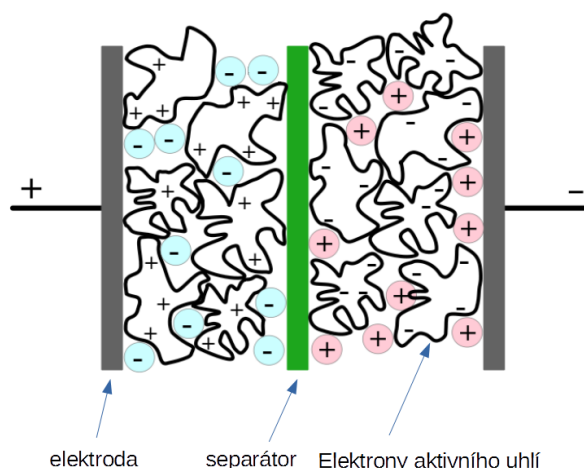
Lithium-polymer akumulátor je velmi podobný Li-Ion akumulátoru, viz 5.2. Používá stejné elektrody a stejný princip, liší se pouze elektrolytem. U Li-Pol je elektrolyt právě polymer, tj. "nemá tvrdý obal", tudíž lze články skládat do nejrůznějších tvarů. Dále ještě Li-Pol může

využívat tzv. semi-liquid elektrolyt, neboli gel. Dává 3,6V a používá se např. do notebooků, mobilních telefonů, RC modelů apod.

V lithium-oxidové baterii není aktivní materiál katody, kyslík, uskladněn, ale je odebírán z okolního prostředí. Baterie se skládá z lithiové anody, pevné polymerové membrány, které vede elektrony lithia a uhlíkové elektrody. Ta vystupuje do prostředí a na ní se redukuje kyslík, který při vybíjení generuje elektrickou energii. Elektrolytická membrána z organického polymeru slouží zároveň jako separátor, který izoluje obě elektrody od sebe a převádí lithiové elektrony z lithiové anody na kyslíkovou katodu. [18][19]

5.4 Superkapacitor

Superkapacitor (EDLC¹) lze definovat jako zařízení, které používá vyvolané (indukované) ionty mezi elektrolytem a elektrodou. Kapacitor může dodávat elektrickou energii během krátkých výpadků zdroje napětí. Používá se především pro malé rozměry, uplatňuje se například tam, kde jsou paměti RAM či mikroprocesory. Zkoumá se však využití v elektromobilitě kvůli jejich vysoké energetické hustotě. V superkapacitorech se vyskytuje aktivní uhlí (activated carbon). Jedná se o krystaly uhlíku, které jsou vysoce porézní a propustné.



Obrázek 5.1: Složení superkapacitoru [17]

Kladně a záporně nabité částice jsou vyzářovány na extrémně krátkou vzdálenost, řádově mikrometry. Tento přenos se děje mezi dvěma fázemi (například tekutá a pevná). Oblast, kde dochází k výměně částic se nazývá elektrická dvojitá vrstva². Během nabíjení se částice upnou právě na pevnou elektrodu a během vybíjení jsou z ní vypouštěny. Kapacitance C , tj. schopnost pojmout elektrický náboj je přímo závislá na šířce elektrické dvojitě vrstvy, celková kapacitance superkapacitoru se pak odvíjí od plochy, na níž jsou elektrony vázány. Tato závislost je popsána vztahem

$$C = \frac{\epsilon}{4\pi\delta} \int dS \quad (5.1)$$

kde ϵ je dielektrická konstanta elektrolytu, δ je vzdálenost od středu částice k okraji elektrody a dS je plocha elektrické dvojitě vrstvy. [17]

¹Electrical double-layer capacitors, elektrické dvouvrstvé kapacitory.

²Přeloženo z electric double-layer

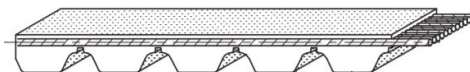
Kapitola 6

Přenos kroutícího momentu

6.1 Řemenové převody

Řemenový převod využívá principu tření mezi řemenicí a řemenem. Výjimku tvoří ozubený řemen, kde je přenos zajištěn vzájemným zapadáním tvarových elementů a nedochází u něj k prokluzu. Řemenové převody jsou tiché a bez vibrací. Parametry ovlivňující přenos kroutícího momentu jsou úhel opásání, materiál řemene a řemenice, napínání řemene a velikost napínací síly. Řemeny dělíme dle průřezu na klínové, ploché a kulaté řemeny.

Ploché řemeny vyžadují napínání a používají se především na velké osové vzdálenosti¹ Jejich kostra se skládá z polyesterových či polyamidových vláken a určuje celkovou pevnost řemene v tahu. Dalšími vrstvami jsou pak ovlivňovány další vlastnosti jako součinitel tření, tvrdost, teplotní a minerální odolnost atp. [23]



Obrázek 6.1: Stavba řemene [20]

Klínové řemeny jsou nejpoužívanější typ řemenů, jsou k nalezení především v automobilech na pohon ventilátoru či alternátoru. Klínové řemeny mohou být opláštěné nebo řezané. Opláštěné řemeny jsou odolnější vůči vnějším chemickým působením, tkanina řemene umožňuje prokluz a lze je využít i pro třecí převod (spojky). Řezané řemeny sedí lépe v drážkách řemenice, čímž zvyšují součinitel tření a tedy svojí účinnost, mají stabilnější chod a méně se zahřívají při vysokých rychlostech v porovnání s klasickými klínovými řemeny. Řezané řemeny rovněž potřebují nižší předepínací hodnotu.² Kulaté řemeny se opatřují polyesterovým tažným vláknem, což zvyšuje jejich pevnost. Aplikaci nachází v průmyslu jako dopravníky či řemeny, u nichž je vyžadována určitá elasticita. Speciálním typem je ozubený řemen. Je velmi účinný, neboť přenosu kroutícího momentu je dosaženo tvarovými elementy zapadajícími do sebe. Řemen nevyžaduje mazání, tudíž jej není třeba zvlášť udržovat. Řemeny mohou být buď gumové nebo polyuretanové, s kulatými zuby (tzv. HTD řemeny) či hranatými. Stavba řemene je na obrázku 6.1. Charakteristickým parametrem řemene je jeho rozteč. Ta bývá uváděna v milimetrech či palcích. Na obrázku 6.2 je ozubený

¹Osová vzdálenost je nejkratší vzdálenost středů řemenic.

²Tyto dva typy řemene vyrábí např. firma Haberkorn.

řemen na motocyklu Harley-Davidson vedený přes řemenici z motoru na řemenici kola přes polohovatelný napínák řemene. [20][23]



Obrázek 6.2: Ozubený řemen na motocyklu Harley-Davidson [21]

6.1.1 Návrh řemenového převodu

Délka řemene je určena analogicky s výpočtem délky řetězu. Silový rozklad v plochých řemenech je zobrazen dále. Síla F_1 je síla v zatěžované větvi a F_2 je síla v odlehčované větvi. F je akční otáčivý účinek. Pak lze psát

$$F = F_1 - F_2 \quad (6.1)$$

Zde je kladen důraz na to, že se jedná pouze o *skalární* rovnici, tedy není síla uvažována jako vektor, kterým samozřejmě je. Výpočet je tedy pouze orientační. Jelikož dochází k tření vláken řemene, platí vztah

$$F_1 = F_2 \cdot e^{\beta f} \quad (6.2)$$

kde β je úhel opásání a f součinitel tření. Dosazením (6.2) do (6.1) a úpravou získáme vztah pro zatěžovanou větev

$$F_1 = F \frac{e^{\beta f}}{e^{\beta f} - 1} \quad (6.3)$$

a odlehčovanou větev

$$F_2 = F \frac{1}{e^{\beta f} - 1} \quad (6.4)$$

Pro vnitřní délku řemene platí

$$L = 2 \cdot a \cdot \cos \gamma \quad (6.5)$$

kde L je délka řetězu, β je úhel opásání řemene, d_1 je průměr hnacího kola a d_2 je průměr hnaného kola. Pro úhel opásání β platí vztah: [22][23]

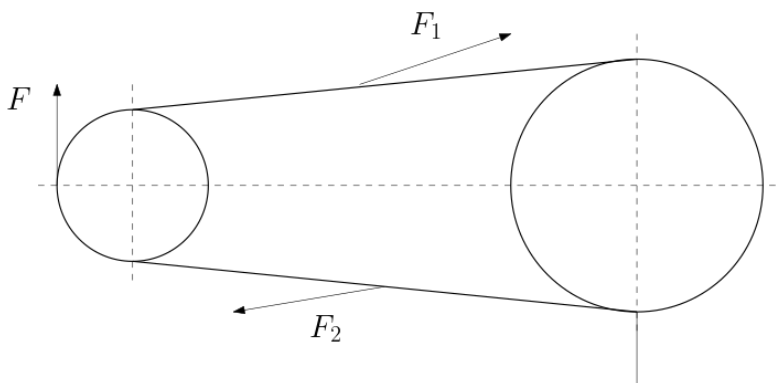
$$\beta = 180^\circ - 2 \cdot \gamma \quad (6.6)$$

a pro úhel γ platí vztah:

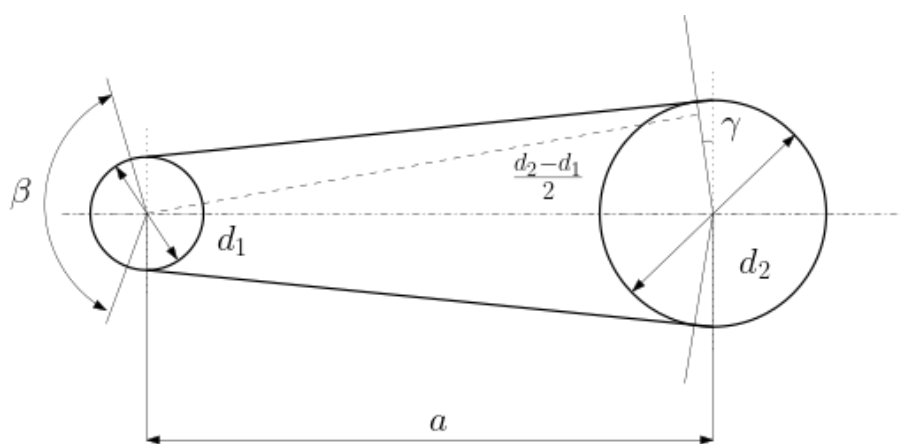
$$\gamma = \arcsin \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot a} \quad (6.7)$$

Protože $\cos \gamma = \cos \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right) = \sin \left(\frac{\beta}{2} \right)$, lze vztah (6.5) přepsat pomocí úhlu opásání na vztah:

$$L = 2 \cdot a \cdot \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) + \frac{d_1}{2} \cdot \beta + \frac{d_2}{2} \cdot (2 \cdot \pi - \beta) \quad [23] \quad (6.8)$$



Obrázek 6.3: Síly v řemenu [23]



Obrázek 6.4: Schéma pro výpočet řemenů [23]

6.2 Řetězové převody

Řetězový převod, obdobně jako řemenový převod, slouží k přenosu obvodové síly hnacího kola na hnané řetězové kolo. Převod probíhá bez prokluzu. Vyžaduje pravidelnější údržbu (mazání). K výhodám řetězových převodů patří menší namáhání ložisek, neboť se řetěz napíná, ale nepředepíná. Řetězové převody mají vysokou účinnost a odolnost proti vnějším podmínkám. K nevýhodám pak patří větší hlučnost, vyšší cena oproti řemenům a neschopnost spolehlivě odtlumit rázy soustavy. Řetězy se dělí mimo jiné na válečkové, pouzdrové, čepové.

Nejčastějším typem řetězu je válečkový řetěz. Ten se skládá z válečků, čepů a bočních tvarovaných destiček. U řetězů časem dochází k opotřebování stykové plochy. Tím může být

narušena výrobní rozteč a tím hrozí přeskočení řemene. Pro řetěz je vždy výhodnější konstantní zatížení než míjivé či dynamické. Evropské řetězové sady jsou unifikovány normou ISO/R 606-1982. [20][23]

6.2.1 Návrh řetězového převodu

Pro stanovení délky řetězu se užívá empirický vztah:

$$L = 2 \cdot \frac{a^o}{p} + \frac{Z_2 - Z_1}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{6,28} \right)^2 \cdot \frac{p}{a^o} \quad (6.9)$$

kde L je délka řetězu, a^o je osová vzdálenost řetězových kol, Z_2 je počet zubů hnaného kola, Z_1 je počet zubů hnacího kola a p je rozteč. Počet článků řetězu je dán vztahem

$$x = \frac{L_h}{p} \quad (6.10)$$

Pro rozteč p pak platí vztah

$$p = D \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{Z_2}\right) \quad (6.11)$$

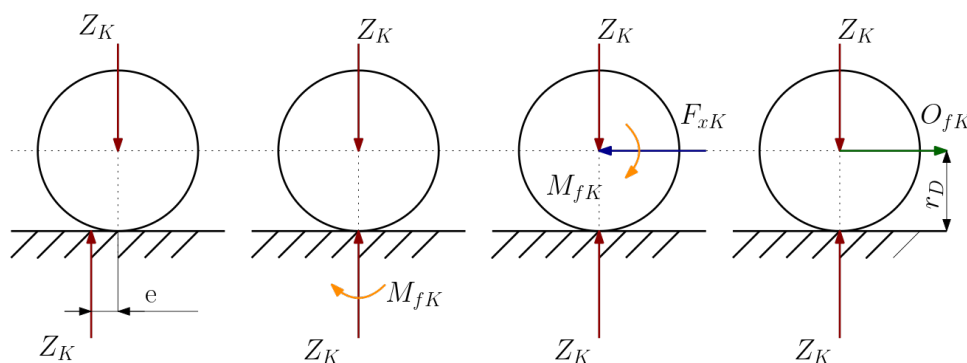
kde D je roztečná kružnice řetězového kola a Z_2 je počet zubů hnaného řetězového kola. Tyto výpočty slouží spíše k určité orientaci, pro přesný výpočet je samozřejmě třeba uvažovat další mechanické vlastnosti, jako zrychlení článků řetězu, hmotnost apod. [22]

Kapitola 7

Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou hrubě vypočítané síly, které působí proti pohybu vozidla. Jízdní odpor ovlivňuje řada faktorů, jako například velikost kol, velikost čelní plochy, zda je za vozidlo zapřažen přívěs apod. V následujících kapitolách jsou jízdní odpory vztaženy na motocykl.

7.1 Valivý odpor



Obrázek 7.1: Valivý odpor kola [24]

Valivý odpor je dán deformací pneumatiky a reakcí vozovky. Místo styku pneumatiky s vozovkou se nazývá stopa. U osobních automobilů významně ovlivňuje valivý odpor huštění pneumatik, v této práci je však tento parametr zanedbán vzhledem k malým rozměrům pneumatik v porovnání s automobilem. S ohledem na obrázek 7.1 lze psát vztahy uvedené níže. U poháněného kola je normálová reakce vozovky Z_k posunutá o rameno valivého odporu e . Tato reakce Z_k je stejná jako zatížení kola, které lze zjistit při daném poměru rozložení hmotností. U Jawy 20 tento poměr výrobcem nebyl udáván, proto byl pro výpočty učiněn "kvalifikovaný odhad" na rozložení hmotnosti zadní kolo/přední kolo na 65%/35%. Posunutím normálové síly Z_k na nositelku osy kola je nutné připojit moment M_{fK} . Nutno dodat, že síly tvoří silovou dvojici, tedy síly stejně velké, opačně orientované ležící na vzájemně rovnoběžných nositelkách. Moment vyvodí reakci O_{fK} , kterou nazýváme valivý odpor kola. Aby opět vznikala silová dvojice, musí ve středu působit proti valivému odporu kola O_{fK} síla F_{xK} . Rameno r_D značí dynamický poloměr, tj. kolmou vzdálenost od středu kola k vozovce při pohybu. Pro hodnotu momentu M_{fK} lze psát:

$$M_{fK} = Z_K \cdot e \quad (7.1)$$

a protože vzniká silová dvojice, platí

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

vyjádřením dostáváme valivý odpor

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

kde f_K je součinitel valivého odporu kola pro různé povrchy vozovky. Seznam rozsahu hodnot tohoto součinitele je uveden v tabulce v části 9.2. [24]

7.2 Aerodynamický odpor

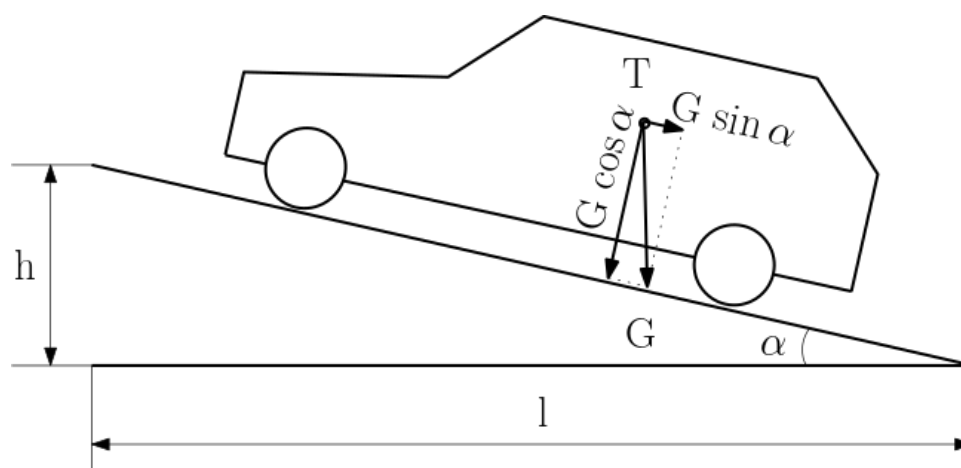
Vzdušný odpor, nebo též aerodynamický odpor vzniká obtékáním vzduchu kolem horní části vozidla a jezdce. Proudění není laminární, za motocyklem nastává víření, které vytváří zmíněný odpor O_V . Pro určování odporu platí aerodynamický vztah

$$O_V = c_x \cdot \frac{\rho_{vz}}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 \quad (7.4)$$

kde c_x je součinitel vzdušného odporu, ρ_{vz} je hustota vzduchu, S_x je čelní plocha vozidla a v_r je náporová rychlost. Náporová rychlost se skládá z vektoru rychlosti vozidla \vec{v} a vektoru rychlosti větru \vec{v}_v . V praxi se počítá s hodnotou $\vec{v}_v = 17 \text{ km/h} = 4,72 \text{ m/s}$. Celkový skalár rychlosti větru je získán vztahem [24]

$$v_{celk} = \sqrt{v^2 + v_v^2} \quad (7.5)$$

7.3 Odpor stoupání



Obrázek 7.2: Odpor stoupání [24]

Odpor stoupání je roven složce tíhové síly, která je rovnoběžná s vozovkou. Platí pro něj vztah

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha \quad (7.6)$$

kde G je tíhová síla a α je úhel stoupání vozovky. Kladné znaménko je při jízdě do kopce, kdy je vozidlo bržděno, záporné znaménko při jízdě z kopce, kdy je vozidlo poháněno. V praxi je stoupání zadáno ve stupních, které lze vyjádřit tangentou úhlu α , tedy

$$\tan \alpha = \frac{h}{l} = s \quad (7.7)$$

kde s je součinitel pro sklon svahu. Budeme-li uvažovat rozdíl mezi $\sin \alpha$ a $\tan \alpha$ do 5° , lze přepsat vzorec pro odpor do tvaru

$$O_s = \pm Gs \quad (7.8)$$

Tento zjednodušující předpoklad je funkční pro $\alpha = 17^\circ$, kdy $\tan \alpha = 0,3$ (= 30%), kdy je právě rozdíl mezi sinem a tangentou již zmíněných 5° . Silnice mají zpravidla stoupání do 12 %, větší stoupání mají vysokohorské cesty. [24]

7.4 Odpor zrychlení

Odpor zrychlení je v podstatě jiný název pro setrvačnou sílu motocyklu. Odpor zrychlení je složen ze dvou složek, odporu zrychlení posuvné části

$$O_{zP} = m \cdot \vec{x} = m \cdot \vec{a} \quad (7.9)$$

a odporu zrychlení rotačních částí motoru

$$O_{zR} = \sum_{i=1} \frac{J_{Ki}}{r_{di} r_{Ki}} \quad (7.10)$$

kde J_{Ki} je hmotnostní moment setrvačnosti, r_{di} je dynamický poloměr kola (viz část 7.1) a r_{Ki} je valivý poloměr kola, což je fiktivní veličina reprezentující poloměr nezátíženého kola. Celkový vztah pro odpor ještě zahrnuje odpor rotačních součástí motoru. Všechny tyto koeficienty vyplývají z dynamiky rotačních součástí, ale vzhledem k elektromotoru budou tyto hodnoty odhadnuty do koeficientu $\theta=1,2$. Zrychlení a je popsáno jednoduchým vztahem $a = \frac{v}{t}$. Celkový odpor zrychlení potom bude [24]

$$O_z = \theta \cdot m \cdot a \quad (7.11)$$

Kapitola 8

Návrhy variant

Při výběru varianty přestavby byla využita modifikovaná SWOT analýza. Zkratka SWOT znamená strengths-weaknesses-opportunities-threats, nebo přeloženo, silné stránky-slabé stránky-příležitosti-hrozby. Tato metoda spočívá v rozdělení požadavků na daný technický systém do několika kategorií. Těmto požadavkům je pak přiřazována váha na zvolené stupnici a je porovnávána s ideálním stavem, který má vždy hodnocení 100%. Následně se obodované varianty přepočítají na procentuální vyjádření, čímž dojde k okamžitému porovnání variant a vyhodnocení nejlepší možné varianty. Jelikož se tato metoda korektně používá ve více lidech a bývá aplikována pro vedení podniku, bylo nutné některé postupy omezit. Během bodování kritérií bylo přihlíženo právě na tyto čtyři základní pilíře této metody.

8.1 Popisy variant

8.1.1 Varianta A

První variantou přestavby je zvolit "cestu nejmenšího odporu". Převod kroutícího momentu zajišťuje původní řetěz. Na hnací hřídel elektromotoru je nutné dodat nové řetězové kolo a je nutné udržovat řetěz správně napnutý a dostatečně namazaný. Tato varianta rovněž nepočítá s jakýmkoliv dodatečným odečítáním dat z řídicí jednotky, jako je aktuální proud dodávaný do elektromotoru, kalkulovaný dojezd atp. Varianta počítá s jednomístným sedlem, neboť na pozici spolujezdce je umístěn nosič pro akumulátor. Počítá zároveň s akumulátory do elektrokol. Lak motocyklu neprochází v této variantě žádnou úpravou a měněny jsou pouze komponenty nutné k přestavbě nebo nezpůsobilé provozu.

8.1.2 Varianta B

Ve druhé variantě je přenos kroutícího momentu zajištěn ozubeným řemenem. U řemene je důležité pečlivě dbát na dodržení osové vzdálenosti (tento problém je uveden v kapitole 6.1). Je rovněž nutné vyřešit problematiku napínání, například přes třetí kladku nebo řemenový napínák. Je nutné získat řemenovou sadu pro osazení řemenice na hřídel motoru a na zadní kolo místo původního řetězového kola. Jsou uvažovány dva lithiové akumulátory. Motocykl je kvůli akumulátorům jednomístný, jeden akumulátor je na místě spolujezdce jako ve variantě A a druhý umístěn v přední části motocyklů místo původní lékárníčky a vzduchového filtru. Součástí je základní "infotainment", například LED-diody indikující stav baterie (červená-žlutá-zelená). Původní zůstává mechanický rychloměr montovaný v hlavě moto-

cyklu pod spínačem zapalování, který je nahrazen vypínačem baterie. Lak motocyklu je renovován a další prvky jsou taktéž renovovány či repasovány.

8.1.3 Varianta C

Ve třetí variantě je přenos kroutícího momentu zajištěn ozubeným řemenem se stejnými požadavky jako ve variantě B. Tato varianta počítá s přídatným vozíkem PAV-40, který nese další přídatné lithiové akumulátory, které výrazně zvyšují dojezd. Lak na motocykl je kompletně renovován včetně zlatých linek, k elektrovýzbroji je přidáno silnější dynamo na osvětlení. V hlavě motocyklu je kolem tachometru montován kulatý diodový kruh ukazující přesnou kapacitu akumulátoru(ů). Tato varianta rovněž počítá s výměnou pohonné jednotky za silnější verzi s výkonem 5 kW. Stejně jako ve variantě B je zde vypínač baterie a na původním místě vzduchového filtru je schránka pro nabíjecí kabel.

8.2 Výsledky hodnocení

Každé popsané variantě byly přiřazeny body, které byly zváženy po komplexním pohledu na problematiku. Při vytváření konstrukčního návrhu byla snaha orientovat se na provozní fázi životního cyklu, tj.

Parametry	Váha	Varianta			
		A	B	C	Ideál
Dojezd	4	2	3	4	4
Spotřeba energie	4	2	2	3	4
Náročnost oprav	2	3	3	3	4
Ovladatelnost	4	3	4	4	4
Výkon	3	1	4	4	4
Hodnocení vhodnosti		0,46	0,68	0,78	0,85
Hmotnost	2	3	3	3	4
Intuitivnost	3	1	3	4	4
Bezpečnost	1	4	4	4	4
Bezúdržbovost	4	4	4	3	4
Hodnocení vhodnosti		0,30	0,48	0,47	0,56
Cena elektrovýzbroje	3	4	2	1	4
Provozní náklady	4	3	4	4	4
Hodnocení vhodnosti		0,75	0,69	0,59	0,88

Tabulka 8.1: Rozhodovací tabulka

Kapitola 9

Parametry

9.1 Převodový poměr

Převodový poměr elektromotoru je vypočten z uvažovaných základních parametrů.

$$i = \frac{n_2}{n_1} \quad (9.1)$$

kde i je převodový poměr, n_1 jsou otáčky hnaného kola, n_2 jsou otáčky hnacího kola. Jelikož je zadán poloměr zadního kola $r = 275$ mm, lze za pomoci kinematické podmínky valení 9.2 určit otáčky na zadním kole.

$$v = \omega \cdot r = 2\pi \cdot n \cdot r \quad (9.2)$$

$$v_1 \cdot \frac{1000}{60} = 2\pi \cdot n_1 \cdot r \quad (9.3)$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{60 \cdot 0,275 \cdot 2\pi} = 578,7 \approx 600 \text{ [ot/min]} \quad (9.4)$$

Převodový poměr je

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3000}{600} = 5 [-] \quad (9.5)$$

9.2 Výsledky jízdních odporů

Zadané parametry a výsledky pro aerodynamický odpor jsou v tabulce 9.1. Jelikož nebyla Jawa 20 testována v aerodynamickém tunelu, je hodnota součinitele odporu uvažována podle průměrné hodnoty součinitele pro "classic bike", tedy motocykly klasické koncepce, jehož rozmezí činí 0,394, 0,491. Hodnota byla zaokrouhlena na 0,500. Čelní plocha byla určena kvalifikovaným odhadem.

Celkový jízdní odpor je pak součet všech odporů, tzn.

$$O_{celk} = O_z + O_s + O_v + O_{fk}^{asfalt} = 958,651 \text{ [N]} \quad (9.6)$$

dáno		vypočteno	
součinitel odporu	0,500	rychlost větru [m/s]	4,722
čelní plocha [m ²]	0,500	rychlost vozidla [m/s]	16,667
rychlost vozidla [km/h]	60,000	celková rychlost [m/s]	17,323
rychlost větru [km/h]	17,000	celková rychlost [km/h]	62,362
hustota vzduchu [kg/m ³]	1,250	aerodynamický odpor [N]	46,887

Tabulka 9.1: Výsledky pro aerodynamický odpor

dáno		vypočteno	
gravitační zrychlení [m/s ²]	9,810	koeficient s [-]	0,176
úhel stoupání α [°]	10	stoupání svahu [%]	17,663
celková hmotnost [kg]	175	odpor stoupání [N]	302,709

Tabulka 9.2: Výsledky pro odpor stoupání

veličina	hodnota
celková hmotnost [kg]	175
maximální rychlost [km/h]	60
čas do max. rychlosti [s]	6
zrychlení [m/s]	2,778
odpor zrychlení [N]	583,333

Tabulka 9.3: Výsledky pro odpor zrychlení

Povrch	zadní kolo [N]	přední kolo [N]	f_k [-]
asfalt	16,738	9,013	0,015
beton	22,318	12,017	0,020
dlažba	27,897	15,022	0,025
polní cesta-suchá	100,430	54,078	0,090
polní cesta-mokrá	156,224	84,121	0,140
travnatý terén	122,748	66,095	0,110
hluboký písek	256,654	138,198	0,230
čerstvý sníh	278,972	150,216	0,250
bahnitá půda	334,766	180,259	0,300
náledí	18,970	10,215	0,017

Tabulka 9.4: Výsledky valivého odporu pro různé povrchy

9.3 Výpočet řemenového převodu

V této kapitole je dimenzován řemenový převod. Ve výpočtu bylo přihlédnuto k faktu, že napínání ozubeného řemene je pouze v řádech desetin procent kvůli tvarovým elementům. Během výpočtu bylo postupováno následujícím způsobem:

1. Byl zvolen průměr malé řemenice d_1 .
2. Pomocí konstantního převodového poměru ($i=5$) byl určen průměr velké řemenice d_2 .
3. Ze strojnických tabulek byl určen úhel opásání (6.6). [22]
4. Pomocí vztahu (6.8) byla určena délka řemenu.

Při návrhu byla uvažována následující omezující kritéria:

- Maximální průměr malé řemenice musí být 69 mm. To je dáno maximálním rozměrem velké řemenice kvůli konstrukci kola (maximální průměr je 345 mm \rightarrow 345/5=69).
- Vnitřní průměr malé řemenice musí být větší nebo roven 20 mm. To je dáno průměrem hřídele elektromotoru.
- Snaha o co největší počet zubů na malé řemenici kvůli účinnosti záběru.
- Požadovaná šířka řemene 10-20 mm kvůli konstrukci uchycení zadního kola. Příliš široká řemenice by zavazela o kyvnou vidlici.

Z CAD modelu byla změřena orientačně délka řemenu. Požadovaná hodnota se pohybuje mezi 1530-1630 mm. Při výběru řemenic byl využit katalog firmy Pikron s.r.o. [26] Značení řemenic vypadá následovně. Mějme například řemenici HTD 26-8M-20 TB 1108 Taper-lock. Jednotlivé položky jsou: počet zubů-rozteč zubů-šířka řemene. TB je zkratka pro upínací pouzdro (ang. Taper bush), které se vsazuje do díry uzpůsobené řemenice. Tento celek se přes pero nasadí na hřídel. To má výhodu, že lze řemenice rychle měnit, pokud mají odpovídající vnitřní průměr na tento upínák. Číslo 1108 je označení pouzdra. Tabulka 9.5 ukazuje vypočtené rozměry převodu. V tabulce "S" znamená standardní uchycení, tj. řemenice nasazená přímo na hřídeli. "TL" znamená taper-lock.

Tabulka 9.6 udává, jak se mění délka řemene v závislosti na osové vzdálenosti. V levém sloupci je pro orientaci průměr malé řemenice, stejně jako v tabulce 9.5. Jelikož se chceme přiblížit číslu 1600, z tabulky 9.6 je vidět, že nejlepší hodnota by byla pro řemenici o $\varnothing 56,02$ mm. Délka řemene sice o 2,9 mm překračuje změřenou hodnotu, ale protože lze korigovat osovou vzdálenost posunutím zadního kola, je tento převod nejvhodnější. Volené řemenice tedy jsou 20-8M-22 TB 1008 na motor a k ní odpovídající 21-8MGT-PC¹-TB 2517.

¹PC je z angl. poly-chain.

malá řemenice	velká řemenice	β [rad]	β [°]	délka	uchycení
45,84	299,200	2,781	159,308	1469,5414	S
50,93	254,650	2,740	156,981	1521,396	S
56,02	280,100	2,699	154,644	1573,666	S
61,12	308,600	2,658	152,292	1626,455	S
63,66	318,300	2,638	151,116	1652,903	S
66,21	331,050	2,617	149,932	1679,560	S
68,89	344,450	2,595	148,684	1707,690	TL
64,84	324,20	2,628	150,568	1665,225	TL
52,97	264,850	2,724	156,046	1542,295	TL
54,65	273,250	2,710	155,274	1559,556	TL

Tabulka 9.5: Vypočtené rozměry převodu

d_1/a	510.500	515.500	520.500	525.500	530.500	535.500
45,840	1469,541	1479,379	1489,216	1499,053	1508,891	1518,728
50,930	1521,396	1531,195	1540,994	1550,793	1560,592	1570,390
56,020	1573,666	1583,422	1593,178	1602,934	1612,691	1622,447
61,120	1626,455	1636,164	1645,873	1655,583	1665,292	1675,000
63,660	1652,903	1662,587	1672,271	1681,955	1691,639	1701,323
66,210	1679,560	1689,218	1698,875	1708,533	1718,191	1727,849
68,890	1707,690	1717,318	1726,947	1736,576	1746,205	1755,834
64,840	1665,225	1674,897	1684,569	1694,241	1703,913	1713,585
52,970	1542,295	1552,078	1561,860	1571,642	1581,425	1591,207
54,650	1559,556	1569,324	1579,093	1588,861	1598,629	1608,397

Tabulka 9.6: Závislost délky na osové vzdálenosti

Kapitola 10

Konstrukční úpravy

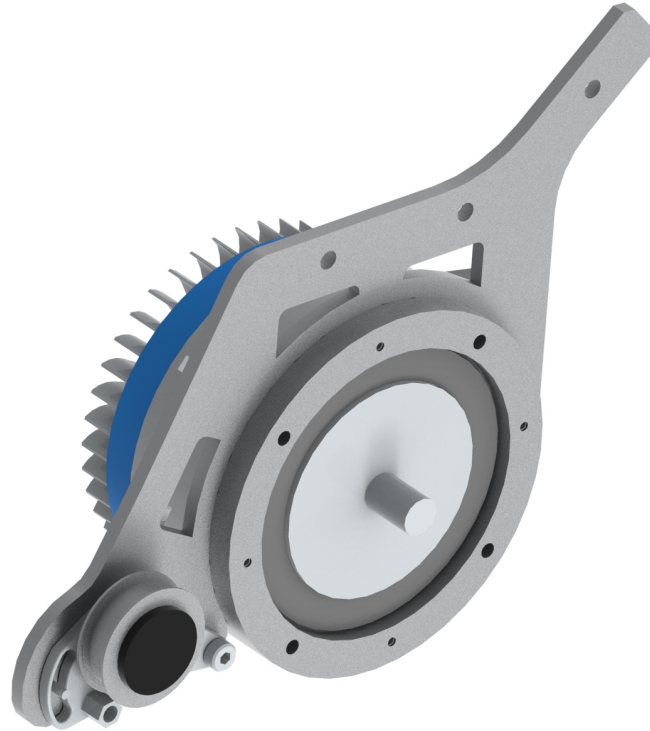
Výměna spalovacího motoru s sebou nese nutné konstrukční změny nezbytné pro správné fungování pohonu. V této kapitole jsou popsány konstrukční změny, k nimž v průběhu přestavby došlo. V původní variantě je spalovací motor společně s převodovkou umístěný na držácích, které jsou navařeny na rám. Motor je k rámu přišroubován dvěma šrouby M8x50. Na motor je dále napojen výfuk a na karburátor hadička vedoucí přes palivový filtr a palivový kohout do nádrže.

10.1 Uchycení motoru

Všechny tyto komponenty při záměně za elektromotor samozřejmě nejsou potřeba. K uchycení elektromotoru je však třeba použít zcela nový úchyt, který zajistí stabilní polohu motoru, dodrží osovou vzdálenost od osy zadního kola kvůli řemenu a částečně utlumí vibrace. Jeho vizualizace je na obrázku 10.1. U zvoleného elektromotoru je výhodou, že jeho vibrace jsou v porovnání s původním agregátem minimální, ke tlumení stačí použít tenkou gumu, která je umístěna po obvodu elektromotoru a zabraňuje styku dvou kovových ploch. Samotný držák elektromotoru se skládá ze dvou částí. První část je samotný úchyt motoru, což je trubka $\varnothing 192 \times 10-75$. V případě potřeby lze vnitřní průměr soustružit a dodávat další tlumící prvky. Na trubce je navařen prstenec s dírami pro šrouby M8, do kterých se danými šrouby přichytí samotný elektromotor. Druhá část úchytu motoru je připevnění k rámu. To je zajištěno výpalkem o tloušťce 8 mm. Horní profil kopíruje zakřivení rámu a obsahuje 3 díry pro šrouby M10. Těmito šrouby je výpalek svrtán s rámem. Do největšího kruhového výřezu je vsazena trubka s elektromotorem a svařena oboustranným koutovým svarem. Odsazení od kraje trubky je 15 mm z důvodu srovnání řemene. Pokud by odsazení nebylo dodrženo, řemen by mohl zavazet o kraj výpalku, otírat se a poškozovat.

V dolní části výpalku jsou tři otvory sloužící napínáku řemene. Napínák je šroubem umístěn v díře $\varnothing 10$ mm v levé dolní části napínáku. Osa této díry je zároveň osou otáčení napínáku. Mezní polohy napínáku koriguje drážka s radiusy, v níž klouže prodloužený napínákový čep. Tento čep má 5 mm od kraje vrtanou díru. V díře vlevo je navařen čep $\varnothing 5$ mm, který rovněž koriguje polohu napínáku. Držák je opatřen odlehčovými otvory, radiusy R10 a R20 a zkoseními $2 \times 45^\circ$. Mezi úchytem a trubkou jsou navařena dvě zpevňovací žebra. Na zadní části úchytu je obdélníkový návarek se zkosenými rohy a dírou pro šroub uprostřed. V této díře je šroub M8 a dvě kontramatky. Ve šroubu je vrtána díra podobně jako v čepu napínáku. Do těchto děr je zaháknuta pružina. Povolením kontramatky a zvedáním šroubu se zvedá napínák řemene a tím se zároveň určuje jeho předepnutí. Použitý napínák řemene je z automobilu Volkswagen Passat. Drážkování řemenice je soustruženo do hladka, tudíž může

být napínána hladká strana řemene. Napínána je spodní větev. Napínání zdola má oproti napínání ze strany se zuby výhodu, že se zároveň zvětšuje úhel opásání a tedy i účinnost řemenového převodu.



Obrázek 10.1: Sestava uchycení motoru

10.2 Řídící jednotka

Řídící jednotka je připevněna pomocí plechu tloušťky 1 mm na rám na původní místo palivové nádrže. Toto umístění je výhodné z hlediska rozvodu kabeláže. Mezi řídicí jednotkou a kolem je gumový profil, který chrání řídicí jednotku před nečistotami od kola. Schéma zapojení řídicí jednotky je pak v příloze práce.

Na šrouby řídicí jednotky byly zapojeny tři kabely, oproti manuálu však byly prohozeny dvě fáze. Toto prohození je z důvodu chybného zapojení kabelů v konektorech z výroby. Při zapojení kabelů dle manuálu se aktivují dvě protichůdné pólové dvojice a motor se netočí, neboť na sebe nenavazují modré a žluté kabely hallových sond. Vypínač baterie se připojí na plusový konektor řídicí jednotky. Nejprve je tedy zapojen motor dle fází, dále jsou zapojeny hallové sondy dle fází. Posléze je zapojena výkonová část, napájení řídicí jednotky a ovládací část, v tomto případě ovladač v podobě plynové rukojeti.

NASTAVENÍ MONITORU			
TPS pedal	42/131	Fault	-
Brake pedal	0	Motor speed	0/1044
Brake SW1	1	Phase current	0/7
Foot SW	0	Reserved	0
Forward SW	0	Reserved	0
Reverse SW	0	Reserved	0
Hall A	1	Reserved	0
Hall B	0	Reserved	0
Hall C	1	Reserved	0
Battery voltage	31	Reserved	0
Motor temp	0	Reserved	0
Controller temp	18	Reserved	0
Setting dir	0	Reserved	0
Actual dir	0	Reserved	0
Brake SW2	0	Reserved	0
Low speed	0	Reserved	0

Tabulka 10.1: Nastavení motoru v SW řídicí jednotky bez zátěže a **během zátěže**

NASTAVENÍ VOZIDLA					
Module name	KLS7230N	TPS dead high	90	Startup H-pedel	disabled
User name	BP-MS	TPS fwd MAP	30	Brake H-pedel	disabled
Serial number	111600001	TPS rev MAP	20	NTL H-pedel	disabled
Software version	2050005	Brake type	0	Joystick	disabled
Controller Volt	72	Brake dead low	20	Three gears switch	disabled
Low Volt	18	Brake dead high	80	Boost	disabled
Over Volt	90	Max output fre	1000	Foot swicthc	disabled
Hall Galvanometer	480	Max speed	4000	SW level	enabled
PhaseCurr Max AD	360	Max fwd speed %	100	0,HIM;1,KIM	enabled
Curren percent	100	Max rev speed %	50	Cruise	disabled
Battery limit	50	Midspeed forw	50	Anti-slip	disabled
Identification angle	85	Midspeed rev speed	30	Change direction	enabled
TPS low Err	0	Lowspeed forw	50		
TPS high err	95	Lowspeed rev speed	30		
TPS type	2	Three speed	0		
TPS dead low	20	PWM frequency	16		

Tabulka 10.2: Nastavení vozidla v SW řídicí jednotky

NASTAVENÍ MOTORU			
Motor nominal current	80	0° hall value	1
Motor poles	8	120° hall value	5
Speed sensor type	2	180° hall value	4
Resolver poles	2	240° hall value	6
Motor temp sensor	0	300° hall value	2
High temp cut °C	130	Forward HA rising	5
Resume °C	110	Forward HA falling	2
High temp str °C	100	Reverse HA rising	6
High temp week %	0	Reverse HA falling	1
Line hall zero	508		
Line hall amplitude	410		
Line hall high err	972		
Line hall low err	50		
Swap motor phase	0		
Resolver init angle	8129		
0° hall value	3		

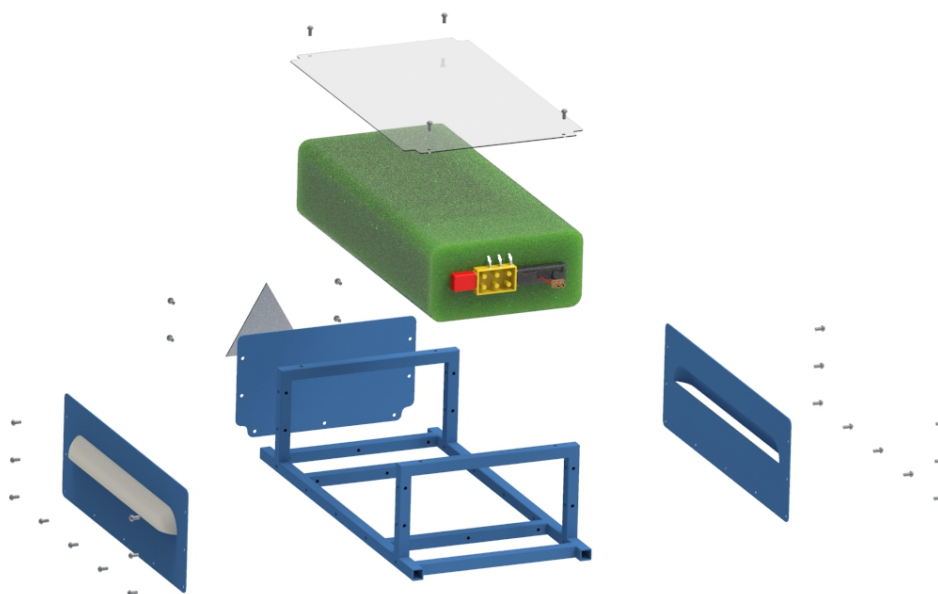
Tabulka 10.3: Nastavení motoru v SW řídicí jednotky

10.3 Akumulátor

Dvoumístné sedlo bylo nahrazeno jednomístným sedlem a nově vzniklý zadní prostor využívá akumulátor. Tento je uložen na nosiči, jenž se skládá ze svařovaných jechlů 10x10 mm a krycích plechů, které jsou k jechlům přinýtovány. Z boční strany nosiče jsou větrací otvory. Kvůli natočení je nutné použít akumulátor bez elektrolytu, v ideálním případě je použit akumulátor seskládaný z jednotlivých článků.

Zvolený lithiový akumulátor je poskládán z článků Samsung 35E. Tyto články mají jmenovité napětí 3,6 V a maximální vybíjecí proud 8 A. Jeden akumulátor váží přibližně 50 g. [16] Akumulátor se samozřejmě neskládá pouze z článků, ale je v něm obsažena i ochrana proti předpětí, podpětí, zkratu či ochrana proti přehřátí. Akumulátor je z článků svařen bodovou svářečkou. Jeho kapacita je 24 Ah, napětí 48 V, průběžný vybíjecí proud 25 A a maximální vybíjecí proud 50 A. Maximální vybíjecí proud je možné využívat přibližně 150 vteřin, což je na aplikaci v motocyklu dostačující, např. při předjíždění.

S odkazem na rovnici (4.2) je možné vypočítat přibližný výkon motoru: Při 25 A je výkon 1,2 kW a při 50 A je výkon 2,4 kW. Paralelním zapojením dalšího akumulátoru bychom získali požadovaný proud, který je nutný k maximálnímu výkonu elektromotoru, tj. alespoň 60 A. Z kapacitních důvodů je však v této práci uvažován pouze jeden akumulátor. Rozměry akumulátoru jsou 280x135x67 mm. Standartní nabíjecí doba je 5 hodin. V tomto konceptu je akumulátor umístěn viditelně za spolujezdcem na již zmíněném rámovém nosiči. Umístění je funkční - akumulátor je poblíž řídicí jednotky a nehrozí kontakt s kolem ani s vozovkou.



Obrázek 10.2: Rozpad sestavy nosiče

Kapitola 11

Ekonomické hodnocení projektu

Částečné hodnocení již bylo provedeno v kapitole 8. Obecně vzato lze konstatovat, že přestavba motocyklu je finančně nepoměrně náročnější než koupě např. elektrického skútru. V případě této práce bylo přistoupeno k nákupu pouze základní pohonné elektroniky, tj. motoru, řídicí jednotky, akumulátoru a příslušné kabeláže.

Předmět	Cena	Množství	Doprava	Součet
motor BLDC	9 975,00 Kč	1	P	10 085,00 Kč
řídicí jednotka	7 500,00 Kč	1		7 500,00 Kč
plynová rukojeť s hallovou sondou	695,00 Kč	1	P	805,00 Kč
lakování a odrezání	250,00 Kč	10		2 626,00 Kč
výplet kola	390,00 Kč	2	P	890,00 Kč
brusiva	100,00 Kč	10		1 000,00 Kč
akumulátor	14 500,00 Kč	1		14 500,00 Kč
elektronika	1 467,50 Kč	1		1 467,50 Kč
brzdové čelisti	149,00 Kč	2		298,00 Kč
ložiska	40,00 Kč	2		80,00 Kč
gumové díly	75,00 Kč	8	P	770,00 Kč
spojovací materiál	500,00 Kč	1		500,00 Kč
malá řemenice	134,00 Kč	1		134,00 Kč
velká řemenice	1605,00 Kč	1		1605,00 Kč
malé pouzdro TL	63,00 Kč	1		63,00 Kč
velké pouzdro TL	215,00 Kč	1		215,00 Kč
Celková cena				42 538,00 Kč

Tabulka 11.1: Ukázka cen

V tabulce 11.1 jsou uvedeny některé cenové položky. Písmeno P u dopravy značí standardní dopravu českou poštou, která stojí 110,00 Kč. Důležitým cenovým faktorem je rozhodnutí, do jaké míry bude prováděna renovace motocyklu.

Zásadně snížit cenový rozpočet lze několika způsoby - sehnat levnější, ale méně výkonný elektromotor (například 250 W motory do nábojů kol stojí zhruba 5 000 Kč za kus) a odpovídající řídicí jednotky (cena odhadem 4 500 Kč). Odpadá-li nutnost renovace dílů, pak může odhadem přestavba vycházet kolem 20 000 Kč.

Závěr

Byla provedena rešerše na problematiku potřebnou k pochopení základních principů elektrotechniky. Tyto znalosti byly posléze aplikovány při výběru elektrických komponent potřebných k přestavbě motocyklu. Byla provedena rešerše v oblasti silničního zákona a vyhlášek týkajících se technických kontrol, rozdělení vozidel a právních dokumentů potřebných k přestavbě. Následně byly posuzovány jednotlivé varianty stupňů přestavby, z nichž byla vybrána varianta B. Toto rozhodnutí bylo podpořeno výsledkem SWOT analýzy. Varianta A totiž zcela nevyhovovala zadání práce, neboť uvažovala akumulátory pro elektrokola, které v současné době svoji kapacitou nedokáží poskytnout potřebný dojezd ani dostatečný výkon. V neposlední řadě proběhlo seznámení se základními aspekty dynamiky vozidel a výpočtu řemenových a řetězových převodů.

V druhé části práce byl proveden nový návrh uchycení motoru, neboť původní koncepce uvažovala motor se záchytnými oky. U návrhu uchycení byla zohledněna nutnost dodržení osové vzdáleností kvůli synchronním převodům. Přesná pozice držáku byla dosažena navrtáním rámu motocyklu. Dle poznatků získaných v první části práce byl určen celkový jízdní odpor vozidla. Proběhlo rovněž testování a kalibrace elektromotoru pomocí softwaru Kelly dodávanému k řídicí jednotce stejnojmenného výrobce. Byl zkonstruován nosič na akumulátor a upraveno sedlo motocyklu s přihlédnutím na požadované rozměry nosiče. K vytváření modelů byl používán sw Solid Edge a pro renderování výsledných obrázků sw KeyShot. V neposlední řadě byl projekt krátce zhodnocen z hlediska financí.

Konstrukce je v prezentované podobě funkční. Autor si je však vědom nedostatku v oblasti akumulátorů. V současné době není na trhu nabízen akumulátor, který by uspokojivě plnil proudové a napěťové požadavky zvoleného elektromotoru a zároveň nebyl mimo přijatelnou cenovou kategorii. Další úpravy mohou směřovat právě k optimalizaci zdroje elektrické energie, ať už z hlediska jeho integrace do designu stroje nebo jeho výkonu.

Literatura

- [1] Edison tech center. Miracle of Electricity and engineering. Dostupné k 26.7.2020.
<https://edisontechcenter.org/ElectricCars.html#timeline>
- [2] Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb., část pátá.
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56#cast5>
- [3] Žádost o přestavbu silničního vozidla, Magistrát města Plzně - odbor registru vozidel a řidičů, 2019
<https://soubor.plzen.eu/situace/default/557>
- [4] Nařízení evropského parlamentu a rady (EU) č. 168/2013 ze dne 15. ledna 2013 o schvalování dvoukolových nebo tříkolových vozidel a čtyřkolek a dozoru nad trhem s těmito vozidly, 2013.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168&from=SV>
- [5] Legislativní postupy pro schválení výroby a stavby silničního vozidla.
<https://www.dekra-automobil.cz/vnitrek/stranky/seznam-tech-listu/dokumenty/prehled-legislativy.pdf>
- [6] Vyhláška č. 211/2018 Sb., Vyhláška o technických prohlídkách vozidel
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-211>
- [7] Katalog Vespa Elettrica. Dostupné k 23.7.2020.
https://www.vespa.com/cz_CS/Vespa-Models/vespa-elettrica/vespa-elettrica.html
- [8] Katalog KTM. Dostupné k 23.7.2020.
<https://www.ktm-autonova.cz/motocykly/ktm-freeride-e-xc-ng-2020/>
- [9] Oficiální stránky elektroskútru Čezeta 506. Dostupné k 23.7.2020.
<https://cezeta.cz/>
- [10] Rotating Magnetic Field Three-phase Electric Power Electromagnetic Induction Motor. Dostupné k 24.7.2020.
<https://pnghut.com/png/TwUxqWxymK/rotating-magnetic-field-three-phase-electric-power-electromagnetic-induction-motor-magnet-transparent-png>

- [11] Ahmed J. Fattah: Design and Analysis of Speed Control Using Hybrid PID-Fuzzy Controller for Induction Motors. Computer Science, 2015. <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-and-Analysis-of-Speed-Control-Using-Hybrid-Fattah/d07f7f72094721185acbcc257981c58a39b11382>
- [12] Voženílek, L.: Kurs elektrotechniky. Nakladatelství technické literatury, n.p., Spálená 51, Praha 1, 1988
- [13] Roubíček, O.: Elektrické motory a pohony - příručka techniky, volby a užití vybraných druhů. BEN - technická literatura, Praha, 2004
- [14] Pulse width modulation (PWM) provides a way of controlling certain analog quantities, by varying the pulse width of a fixed frequency rectangular waveform. Dostupné k 23.7.2020.
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulse-width-modulation>
- [15] Variable frequency drive PWM waveform measurements. Dostupné k 23.7.2020.
<http://www.variablefrequencydrive.org/vfd-pwm-waveform-measurements>
- [16] Tichý, M.: Elektronika. Hypertextová učebnice, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha. Dostupné k 23.7.2020.
<https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/index2.html>
- [17] Saman Rashidi, Javad A.Esfahani, Faramarz Hormozi: Classifications of Porous Materials for Energy Applications, dostupné od 13. ledna 2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818117394>
- [18] BU-206: Lithium-polymer: Substance or Hype? Dostupné k 23.7.2020.
https://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype
- [19] Zhenghai Liao, Shen Zhang, Yikun Zhao, Zongjia Qiu, Kang Li, Dong Han, Guoqiang Zhang, Thomas G. Habetler: Experimental evaluation of thermolysis-driven gas emissions from LiPF₆-carbonate electrolyte used in lithium-ion batteries. Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10 0 039, China, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, United States. Dostupné od 13. ledna 2020.
https://www.researchgate.net/publication/330288725_Evaluating_the_thermal_failure_risk_of_large-format_lithium-ion_batteries_using_a_cone_calorimeter
- [20] Katalog výrobce pohonů Matis, s.r.o. Dostupné k 23.7.2020.
<https://www.matis.cz/cs/kategorie/retezove-a-remenove-prevody>
- [21] Motorcycle cogbelt drive. Dostupné k 24.7.2020.
<https://moto-manual.com/the-motorcycle-unit/main-gear/gear-belt-transmission-motorcycle/>

- [22] Vávra, P., Leinveber, J.: Strojnické tabulky. ALBRA - pedagogické nakladatelství, Úvaly, Havlíčkova 197, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [23] Krátký Jaroslav, Eva KUBEC KRÓNEROVÁ a Stanislav HOSNEDL: Obecné strojní části 2: základní a složené převodové mechanismy, Západočeská univerzita, Plzeň, 2011. ISBN 978-80-261-0093-5.
- [24] Vlk, František. Dynamika motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Mokrohorská 34, Brno, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [25] Kelly KLS-M/N Brushless Motor Controller User's Manual. Dostupné k 24.7.2020.
<https://kellycontroller.com/wp-content/uploads/kls-nm/KellyKLS-M-N-UserManualV2.5.pdf>
- [26] Katalog ozubených řemenic Pikron. Dostupné k 26.7.2020.
https://www.pikron.cz/obrazky/pdf_detail/PIKRON_-_ozubene_remenice.pdf

Seznam obrázků

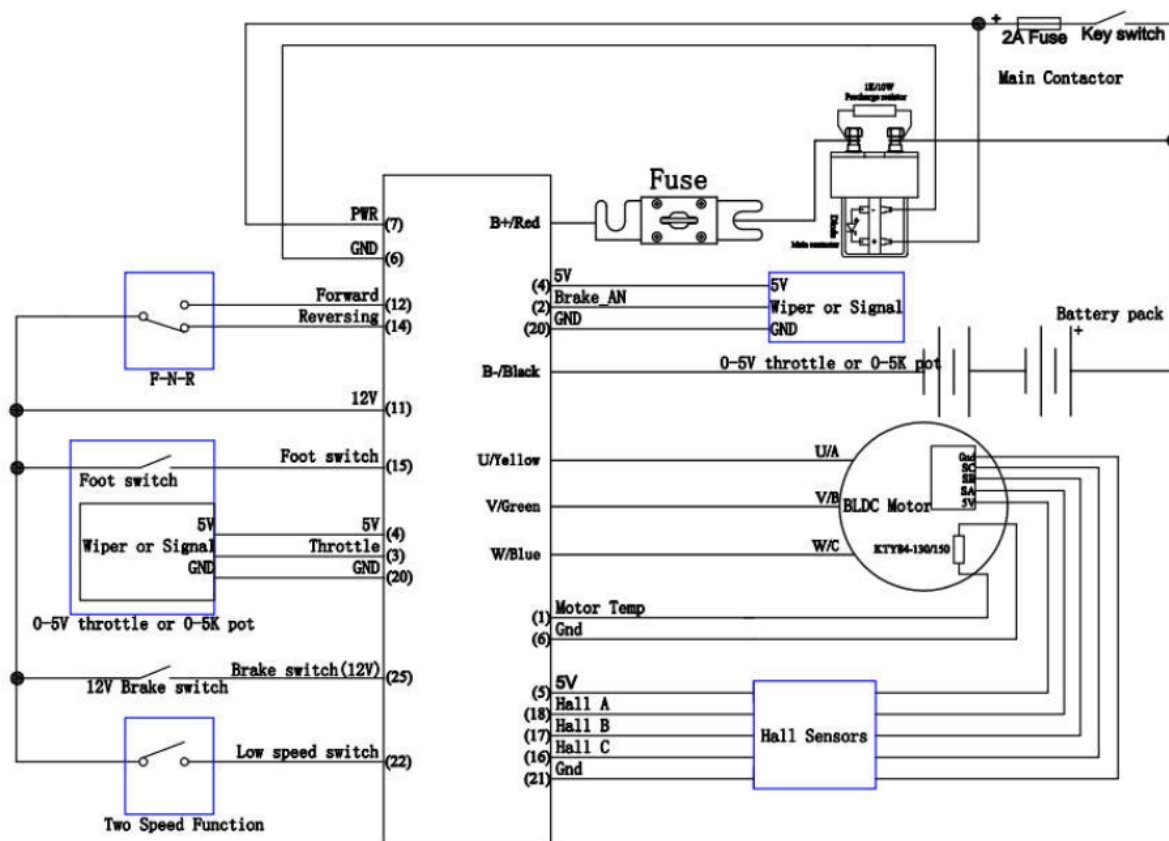
1.1	Oblasti kontrolované STK [6]	6
2.1	KTM Freeride E-XC 2020 [8]	8
3.1	Průběh proudů v třífázové soustavě a vznik točivého magnetického pole [10]	9
4.1	Pulzně šířková modulace [14]	12
5.1	Složení superkapacitoru [17]	14
6.1	Stavba řemene [20]	15
6.2	Ozubený řemen na motocyklu Harley-Davidson [21]	16
6.3	Síly v řemenu [23]	17
6.4	Schéma pro výpočet řemenů [23]	17
7.1	Valivý odpor kola [24]	19
7.2	Odpor stoupání [24]	20
10.1	Sestava uchycení motoru	29
10.2	Rozpad sestavy nosiče	32
A.1	Zapojovací schéma řídicí jednotky [25]	40
A.2	Zapojení řídicí jednotky	41
A.3	Přední pohled na sestavu	42
A.4	Zadní pohled na sestavu	42

Seznam tabulek

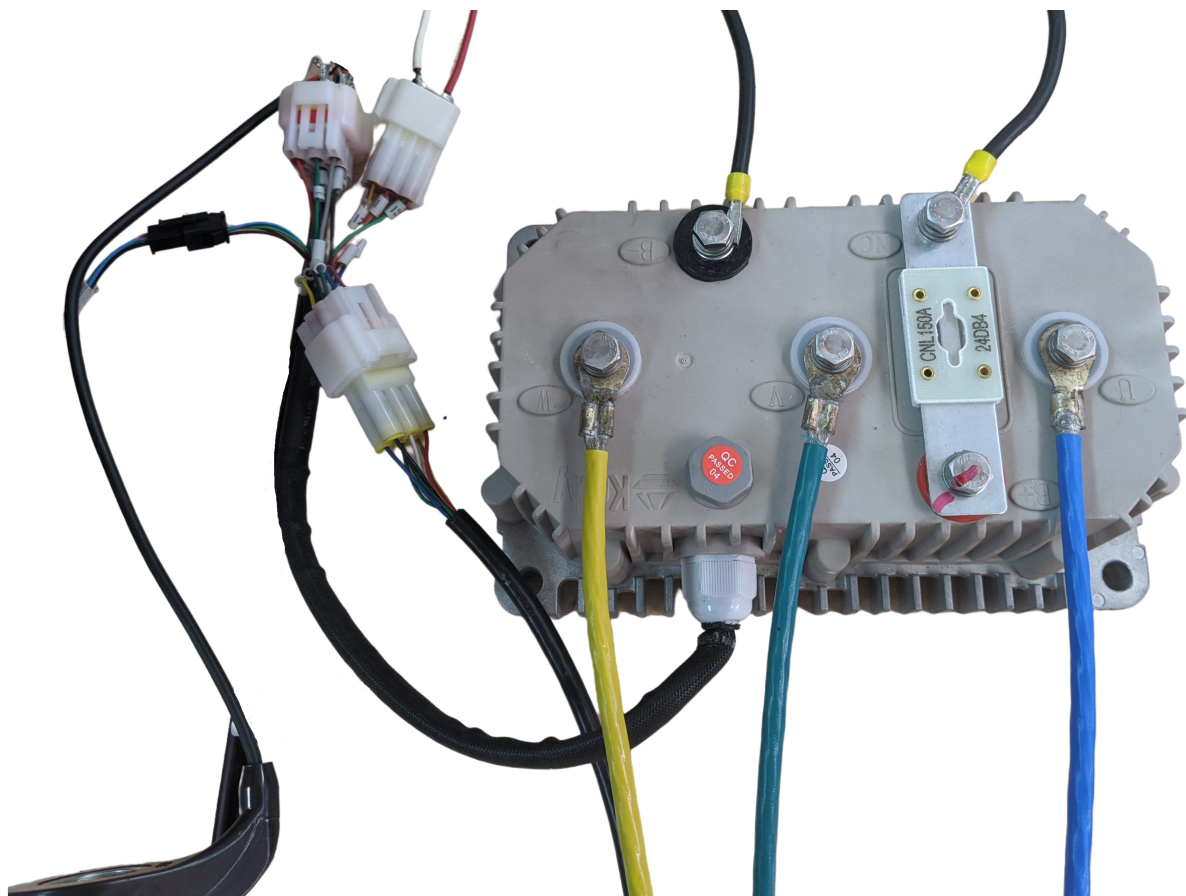
1.1	Tabulka rychlostí dle EU 168/2013	4
8.1	Rozhodovací tabulka	23
9.1	Výsledky pro aerodynamický odpor	25
9.2	Výsledky pro odpor stoupání	25
9.3	Výsledky pro odpor zrychlení	25
9.4	Výsledky valivého odporu pro různé povrchy	25
9.5	Vypočtené rozměry převodu	27
9.6	Závislost délky na osově vzdálenosti	27
10.1	Nastavení motoru v SW řídicí jednotky bez zátěže a během zátěže	30
10.2	Nastavení vozidla v SW řídicí jednotky	31
10.3	Nastavení motoru v SW řídicí jednotky	31
11.1	Ukázka cen	33

Příloha A

Obrazová příloha

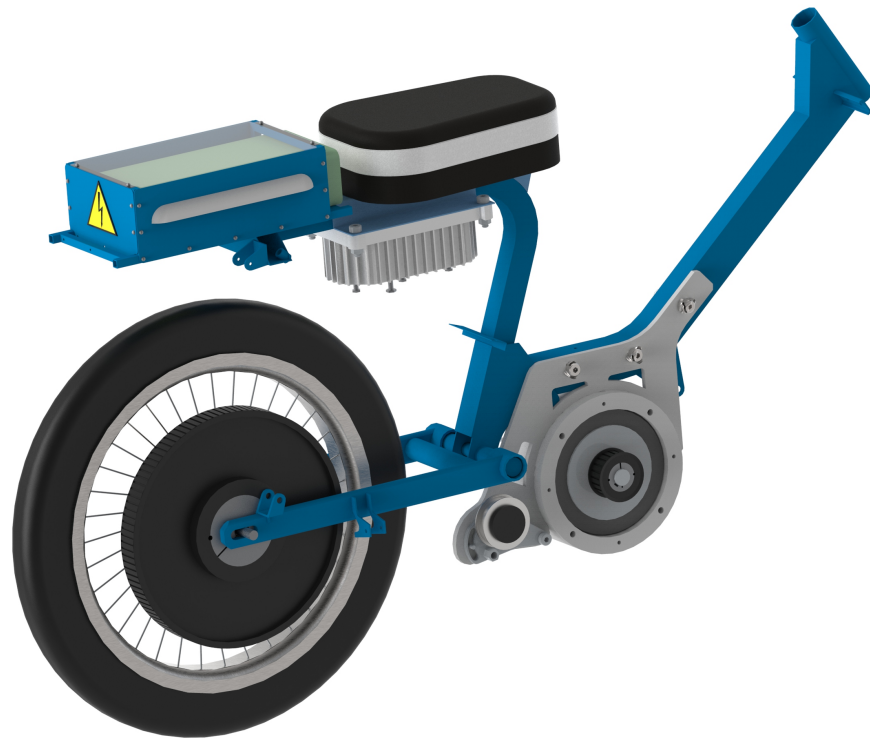


Obrázek A.1: Zapojovací schéma řídicí jednotky [25]

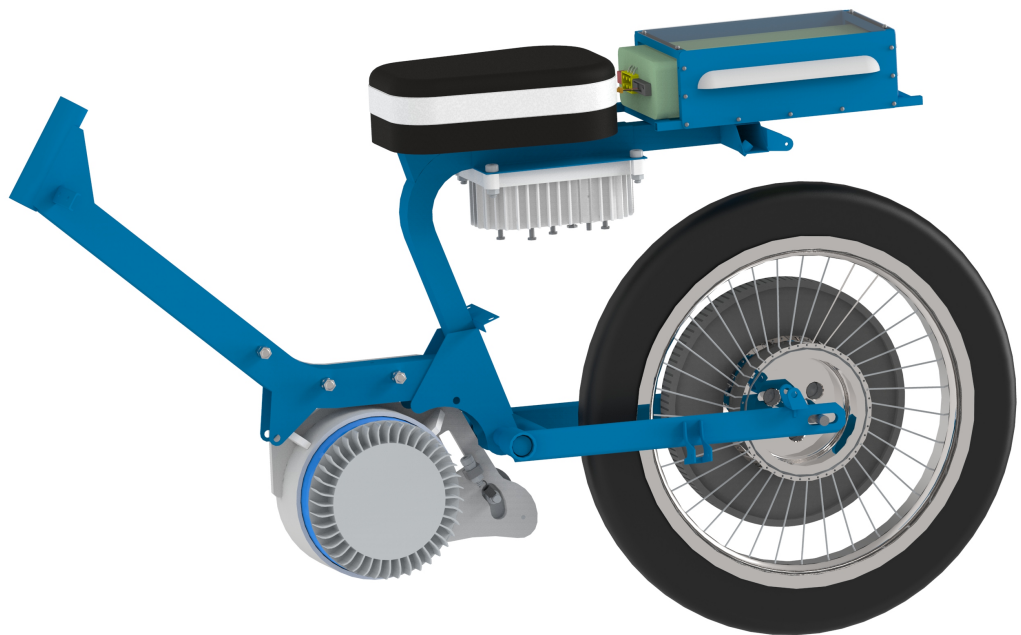


Obrázek A.2: Zapojení řídicí jednotky

Barevné kabely jsou zapojené fáze od motoru, horní dva černé jsou zapojení ke zdroji. Svazek kabelů nalevo propojuje napájení a funkci plynové rukojeti.

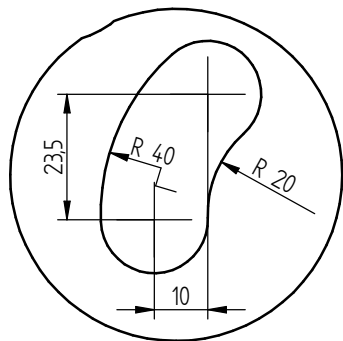


Obrázek A.3: Přední pohled na sestavu

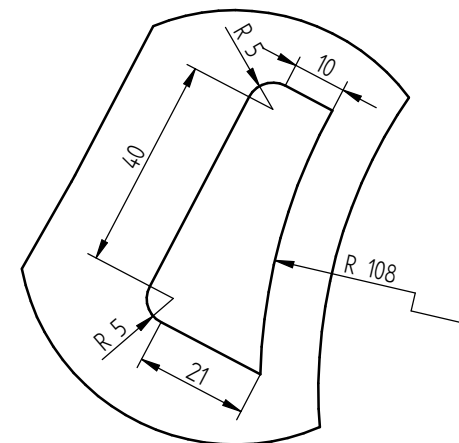
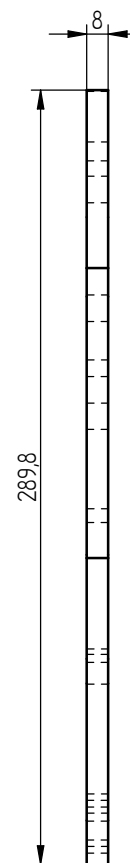
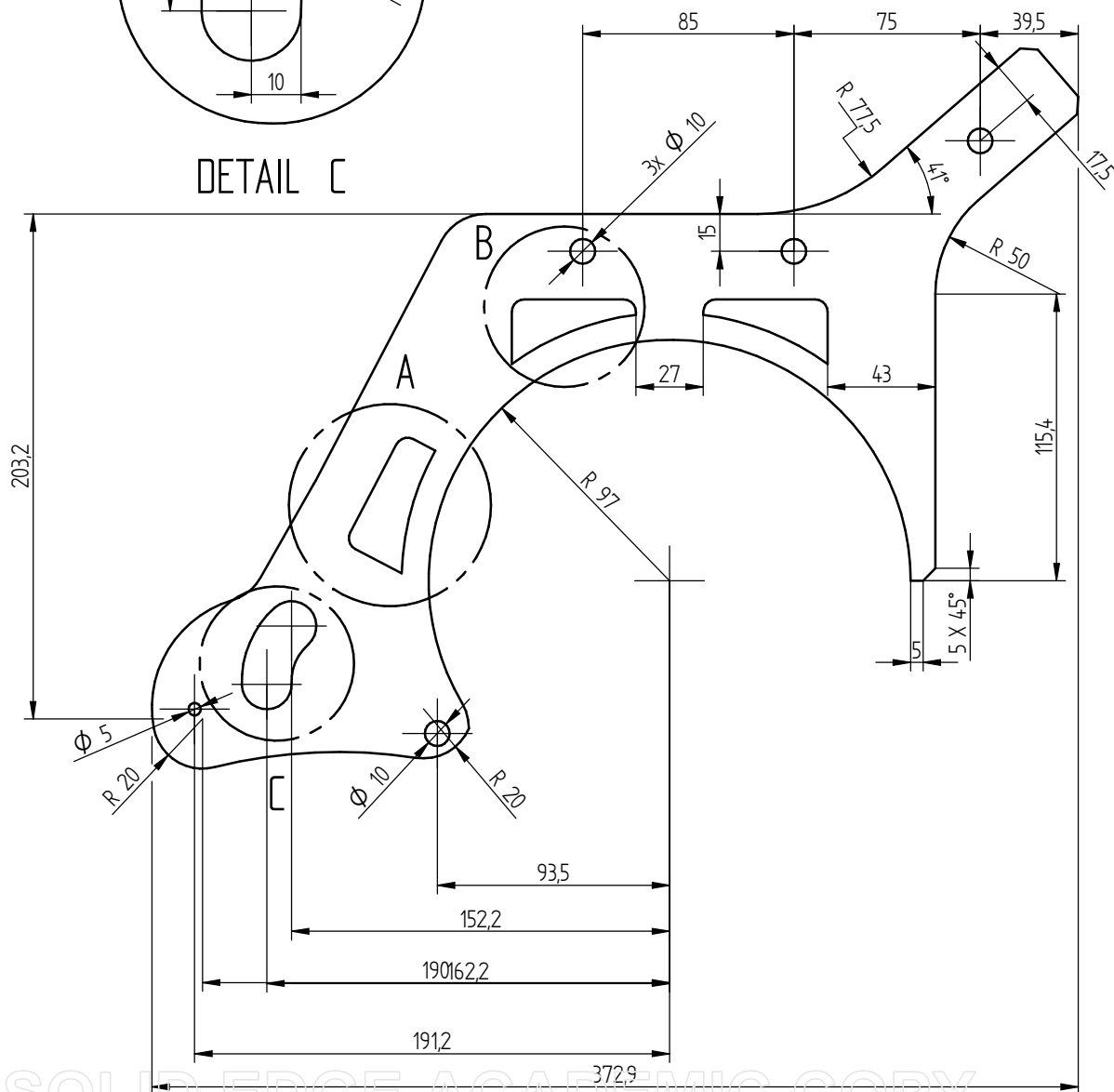


Obrázek A.4: Zadní pohled na sestavu

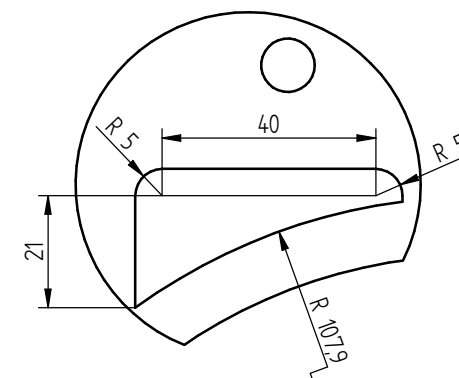
Ra 6,3



DETAIL C



DETAIL A



DETAIL B

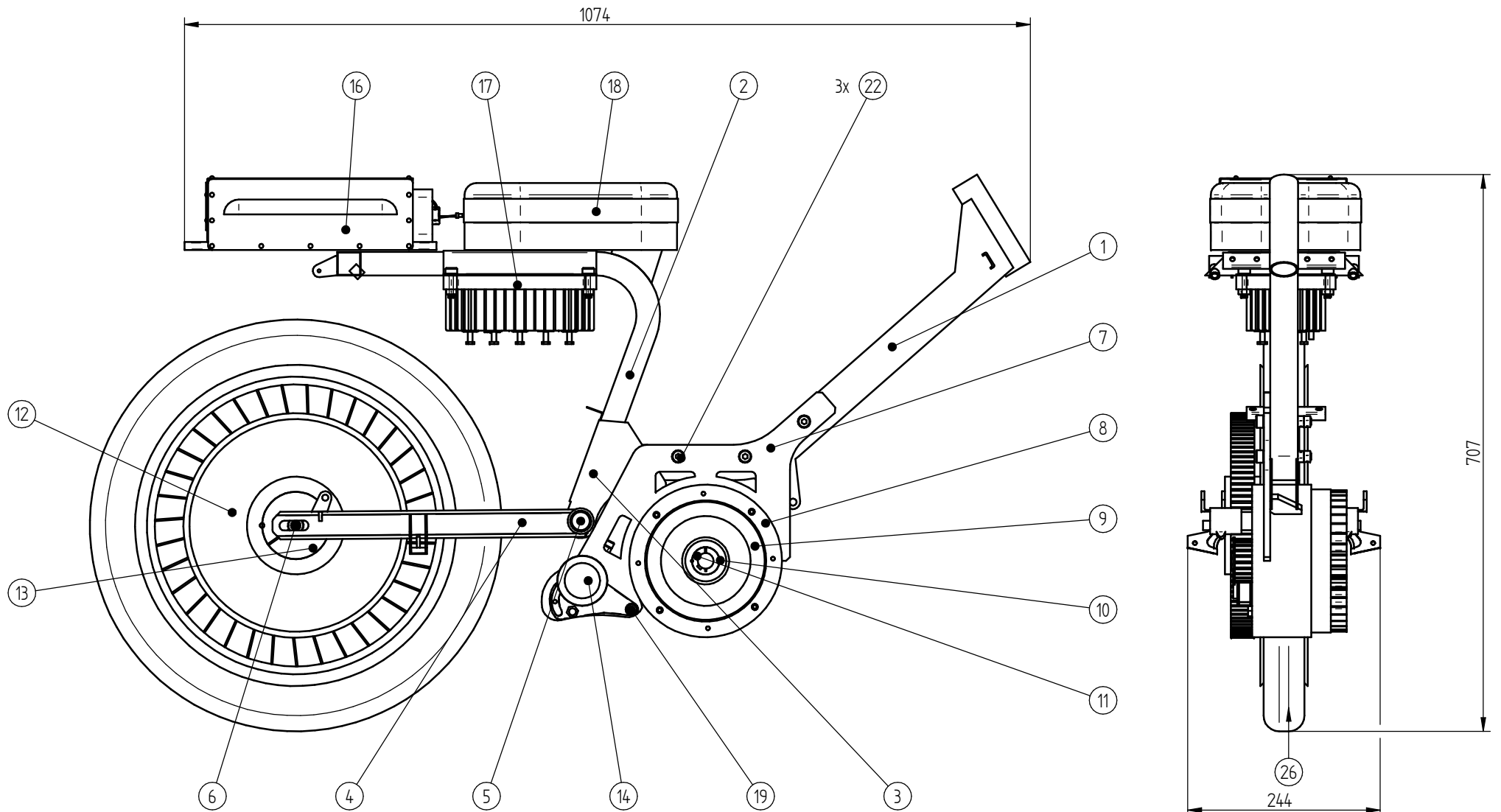
POZNÁMKY:
VÝKRES DODÁN VE FORMÁTU DXF
VYPÁLIT

NAME		DATE	Solid Edge	
DRAWN	SANTORA	07/27/20	TITLE	
CHECKED			DRZAK MOTORU	
ENG APPR			SIZE	DWG NO
MGR APPR			A3	BP-01
			MATERIAL:	Nerezová ocel
			SCALE:	WEIGHT:
			SHEET 1 OF 1	




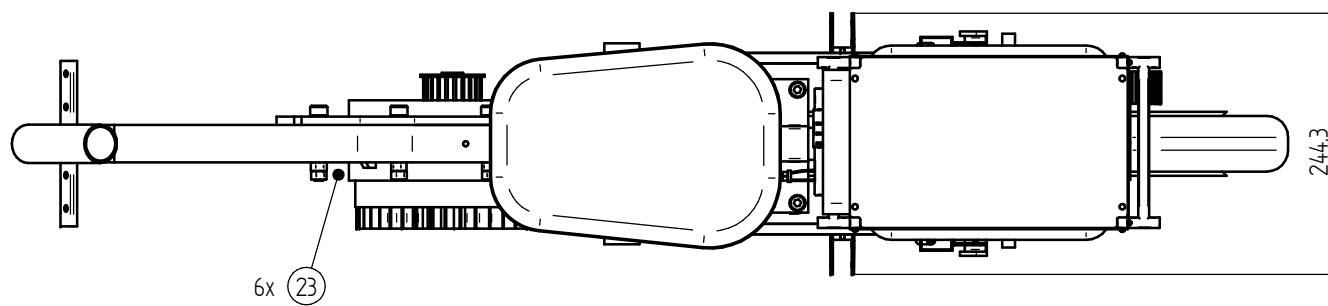
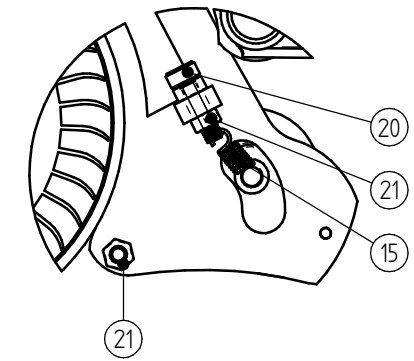
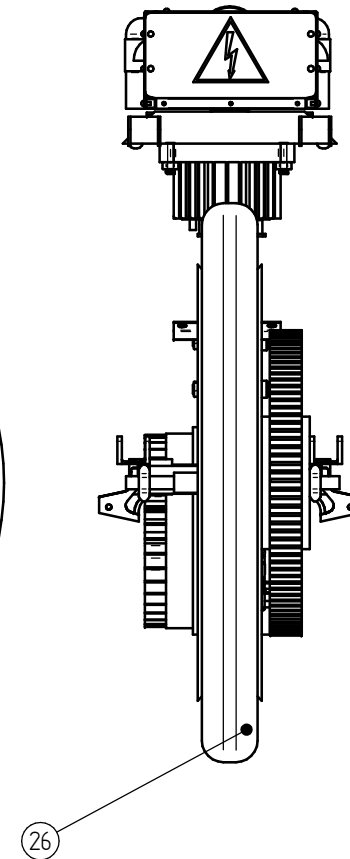
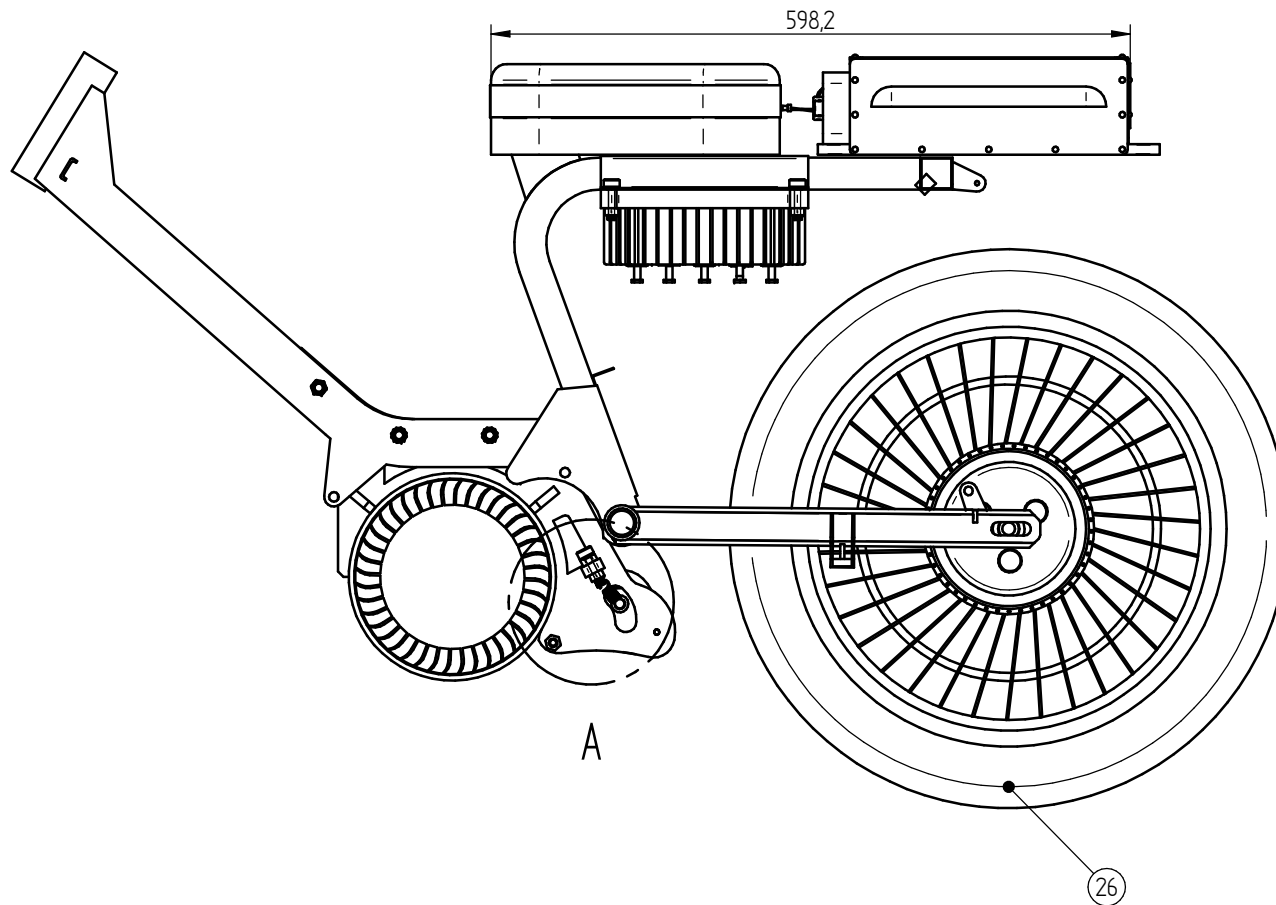
ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

SOLID EDGE ACADEMIC COPY




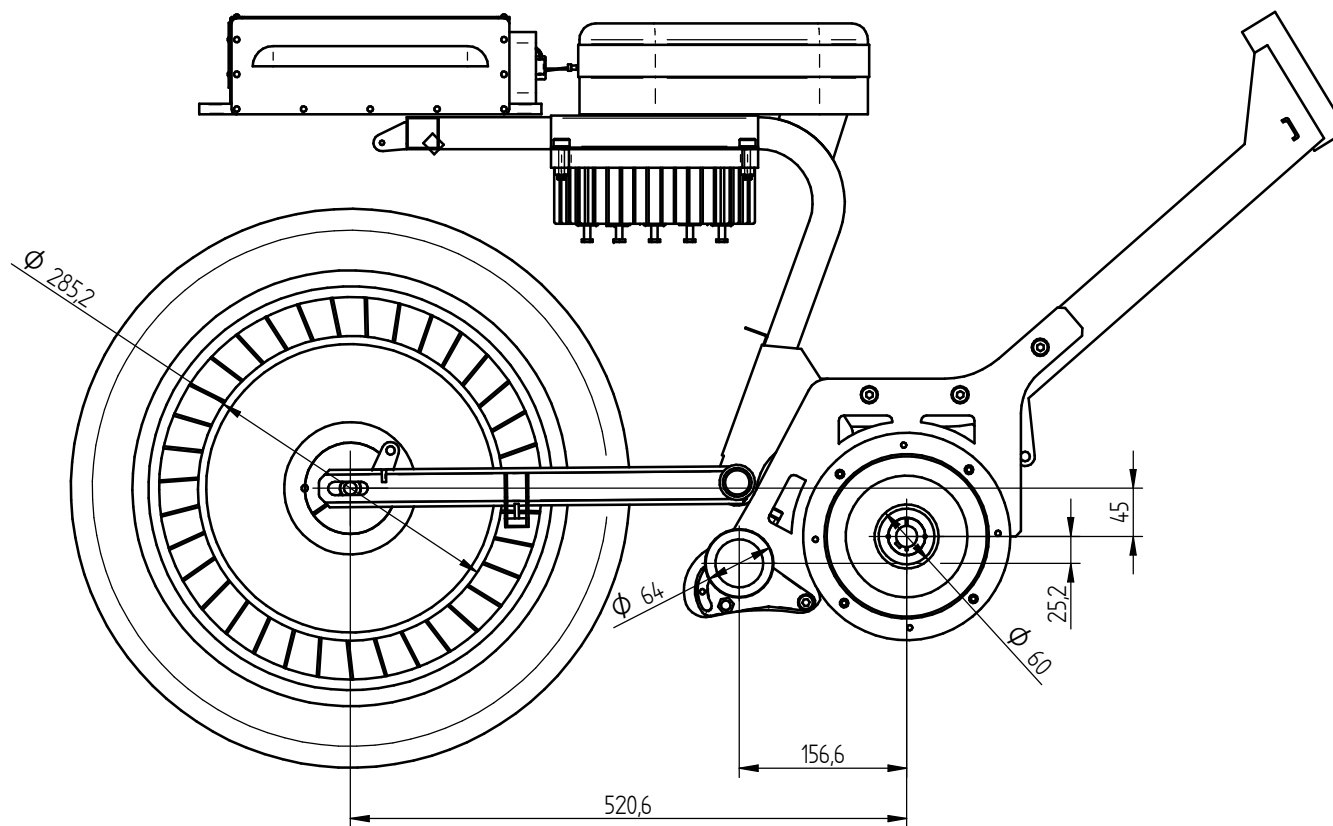
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	Solid Edge					
DRAWN	SANTORA	07/27/20				TITLE		
CHECKED						SESTAVA POHONU		
ENG APPR								
MGR APPR			SIZE	DWG NO	REV			
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI			A3	BP-02				
			FILE NAME: vykres_sestav.dft					
			SCALE: 1:5	WEIGHT:	SHEET 1 OF 4			




SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	SANTORA	07/27/20			
CHECKED			TITLE		
ENG APPR			SESTAVA POHONU		
MGR APPR			SIZE	DWG NO	REV
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI			A3	BP-02	
			FILE NAME: vykres_sestav.dft		
SCALE: 1:5		WEIGHT:	SHEET 2 OF 4		

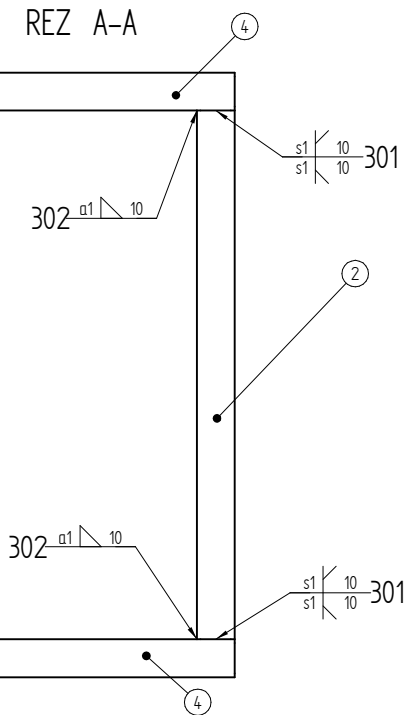
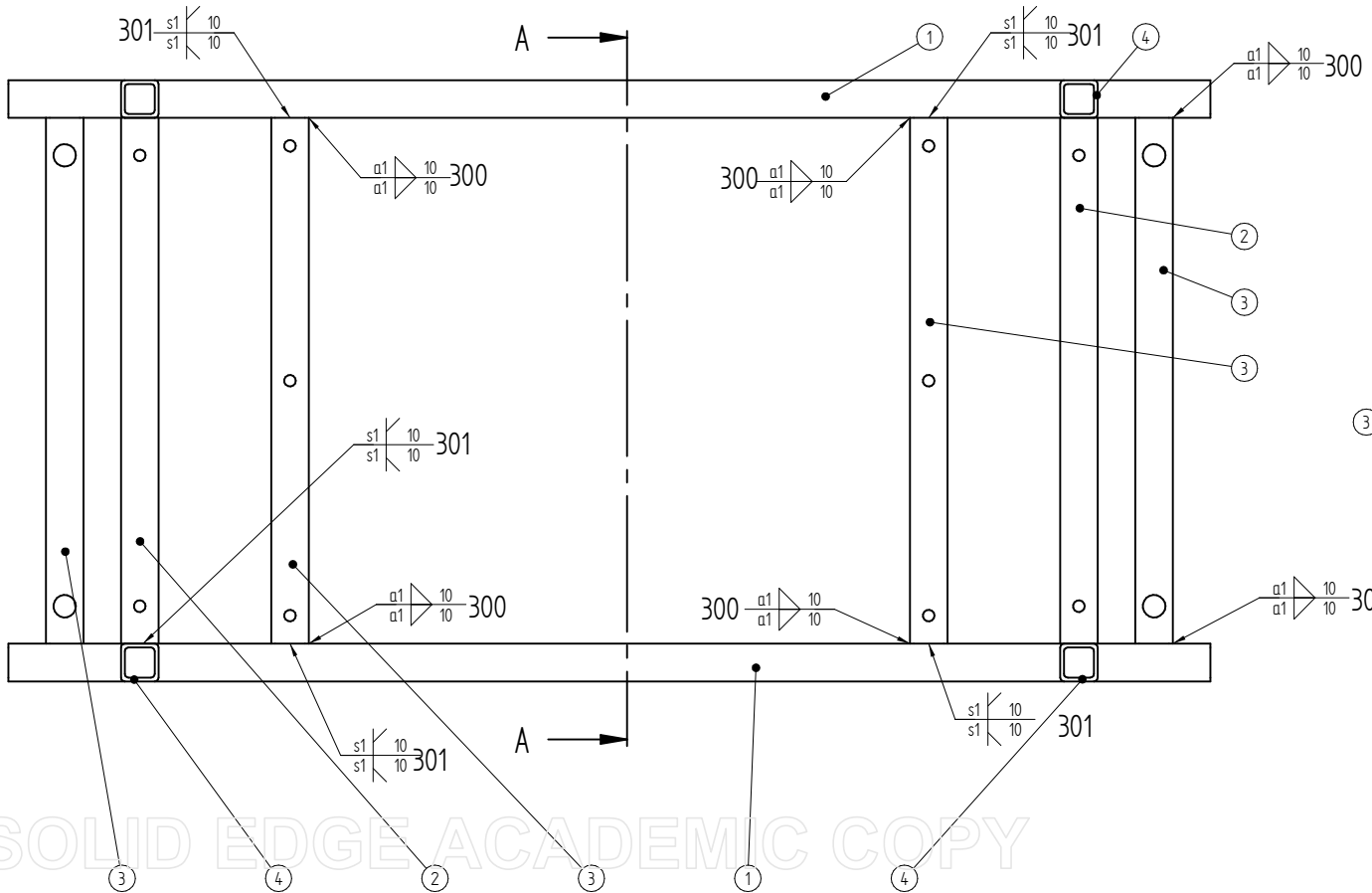
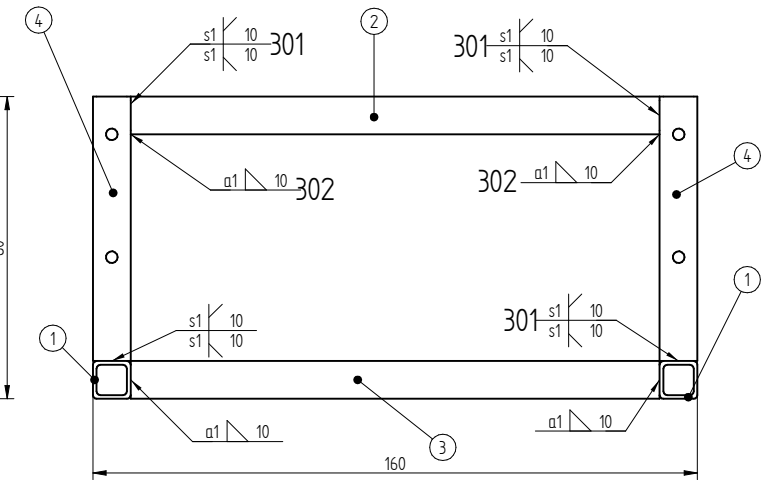
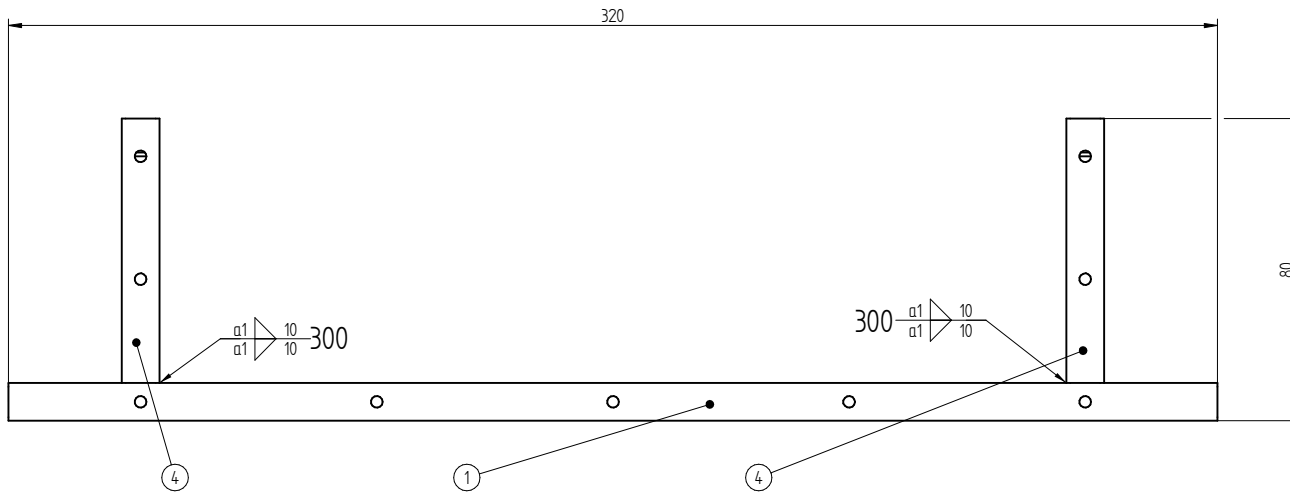


PŮZNAMKA: OSOVOU VZDALENOST LŽE MENIT POSUNUTIM ZADNIHO KOLA
V ROZMEZI 510,5 MM – 535,5 MM.

	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	SANTORA	07/27/20			
CHECKED					
ENG APPR					
MGR APPR			TITLE SESTAVA POHONU		
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI			SIZE A3	DWG NO BP-02	REV
			FILE NAME: vykres_sestavy.dff		
			SCALE: 1:5	WEIGHT:	SHEET 3 OF 4

CISLO POLOZKY	POLOZKA	MNOZSTVI
1	JEKL 35x35	1
2	SESTAVA JEKLU 30x30	1
3	PLECH	1
4	VIDLICE	1
5	CEP VIDLICE	1
6	OSA ZADNIHO KOLA	1
7	DRZAK MOTORU	1
8	MOTOR	1
9	REMENICE MALA 22-8M-20	1
10	TRUBKA 192x10-70	1
11	POUZDRO TL 1008	1
12	REMENICE VELKA 112-8M-21	1
13	POUZDRO TL 2715	1
14	SESTAVA NAPINAKU	1
15	PRUZINA	1
16*	SESTAVA NOSICE AKUMULATORU	1
17	SESTAVA RIDICI JEDNOTKY	1
18	SEDLO	1
19	SROUB M8x30	2
20	SROUB M8x30 S DIROU	1
21	MATICE M8	3
22*	SROUB M10x60	3
23	MATICE M10	6

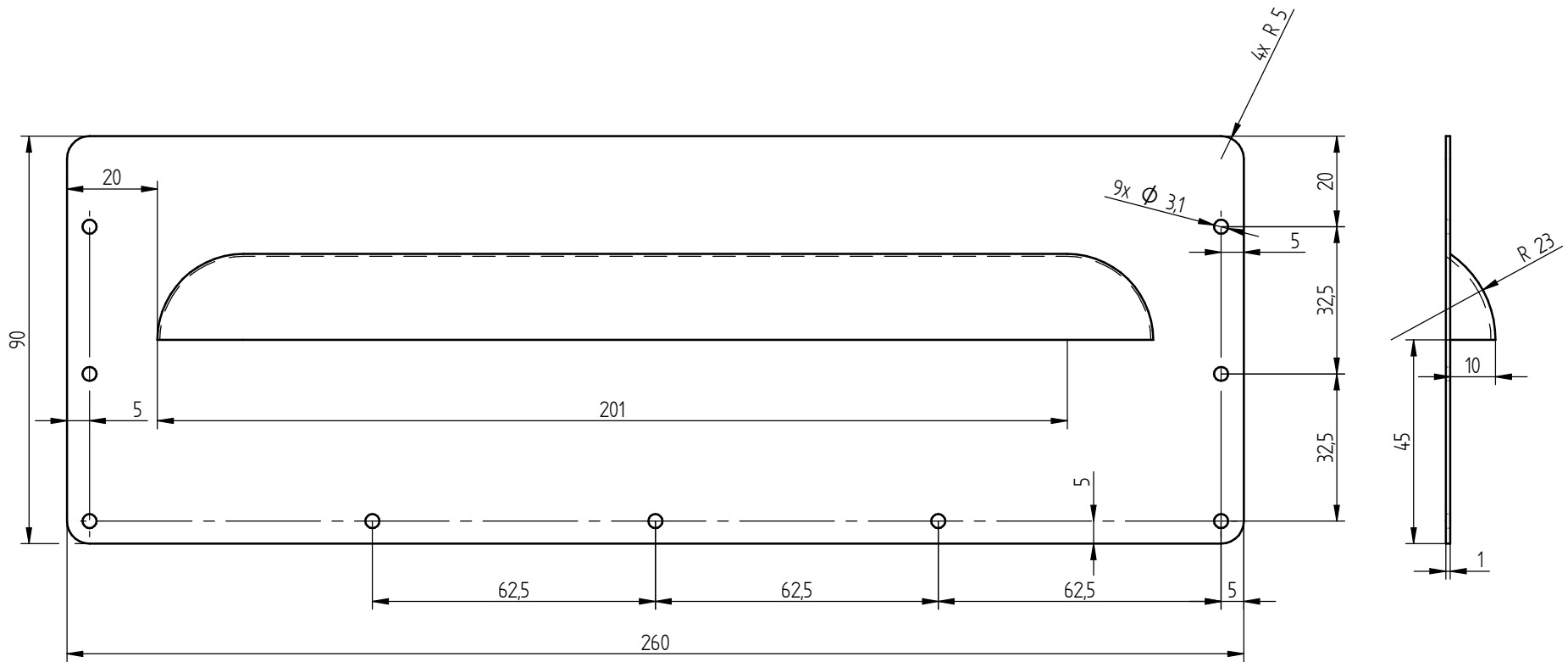
		NAME	DATE	TITLE	
		DRAWN	SANTORA	07/27/20	SESTAVA POHONU
		SIZE	DWG NO	REV	
		A4	BP-02		
FILE NAME: vykres_sestavy.dft					
SCALE:		WEIGHT:		SHEET 4 OF 4	




SOLID EDGE ACADEMIC COPY

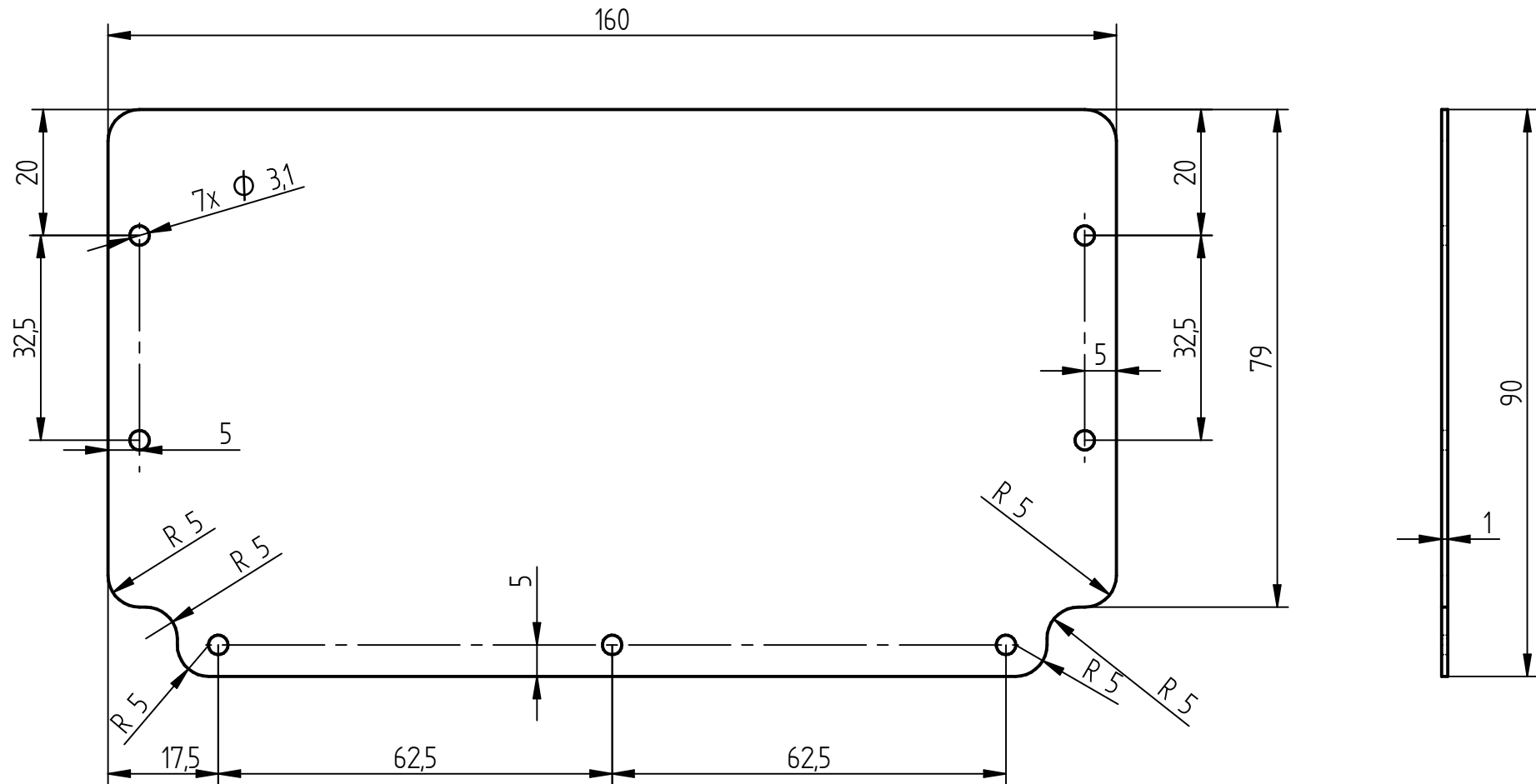
DRAWN	NAME	DATE	Solid Edge	
CHECKED	SANTORA	07/28/20	TITLE	
ENG APPR			SESTAVA NOSICE	
MGR APPR			SIZE	DWG NO
			A2	BP-03
			FILE NAME	Sestava_nosice.dft
			SCALE	1:1
			WEIGHT	
			SHEET 1 OF 1	






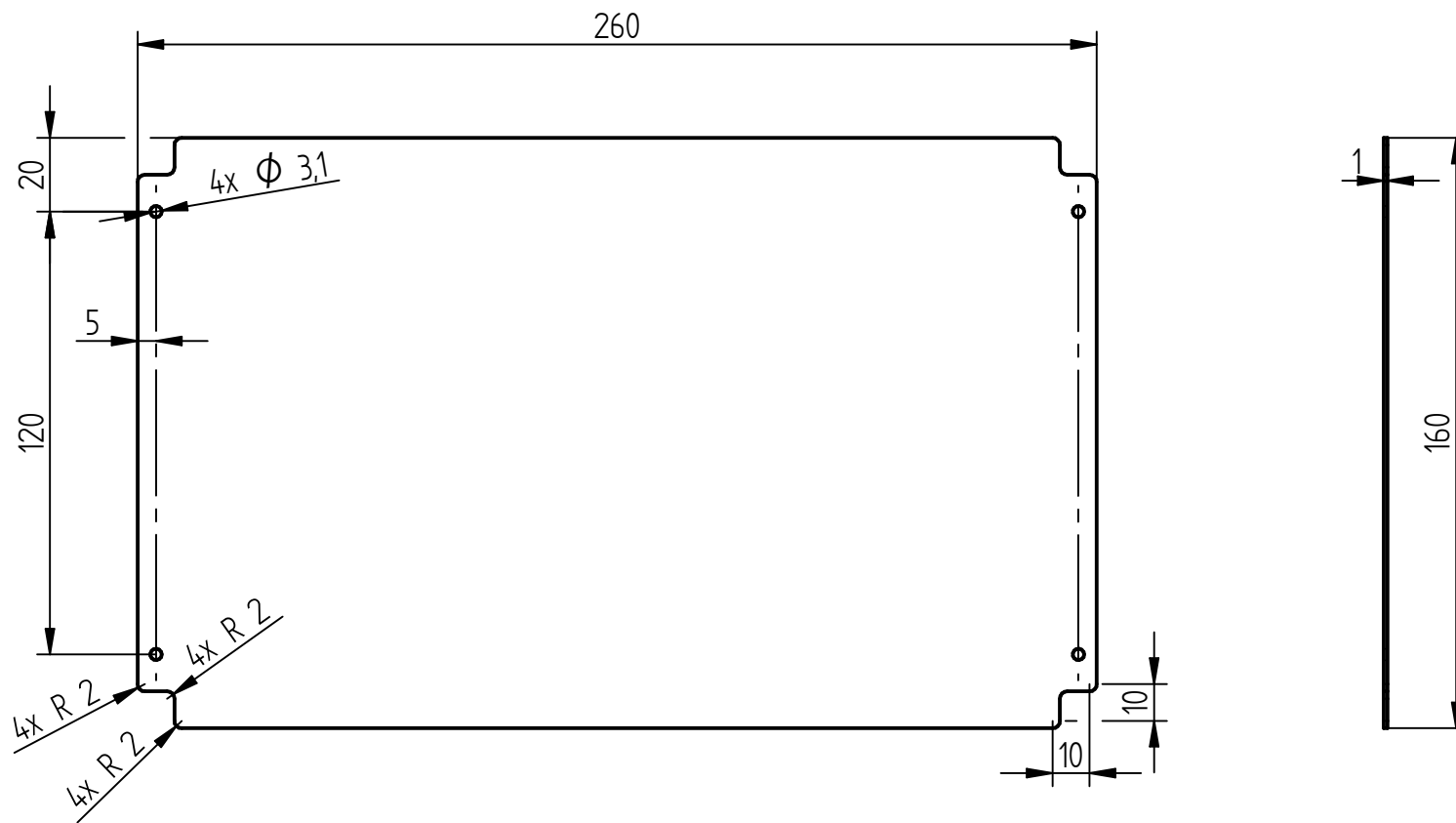
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

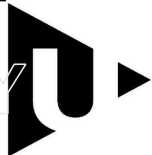
	NAME	DATE	Solid Edge					
DRAWN	SANTORA	07/28/20				TITLE BOCNI PLECH		
CHECKED								
ENG APPR								
MGR APPR			SIZE A3	DWG NO BP-04	REV			
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI			MATERIAL: Pozinkovaná ocel					
			SCALE: 1:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1			



		NAME	DATE	Solid Edge	
DRAWN	SANTORA	07/28/20	TITLE		
CHECKED			ZADNI PLECH		
ENG APPR			SIZE	DWG NO	REV
MGR APPR			A4	BP-05	
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI			FILE NAME: plech zadni.dft		
			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

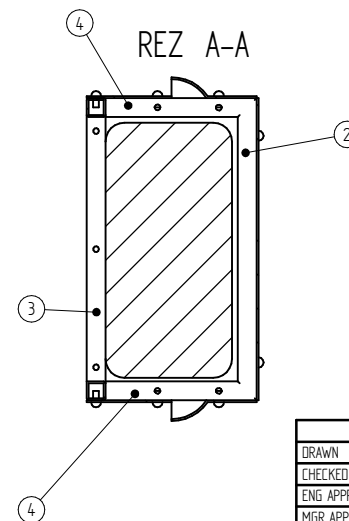
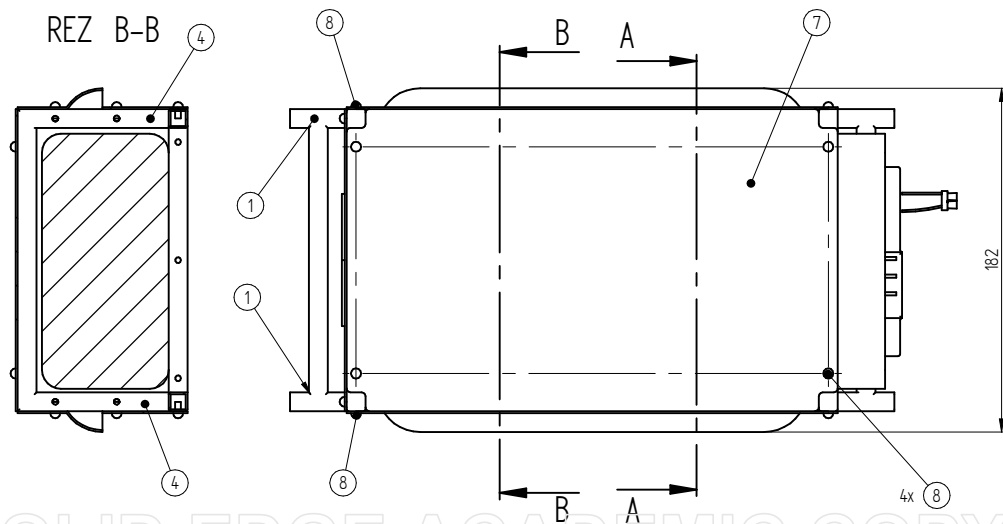
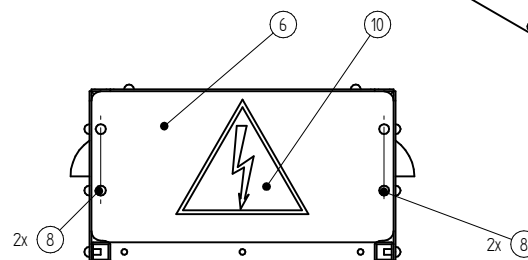
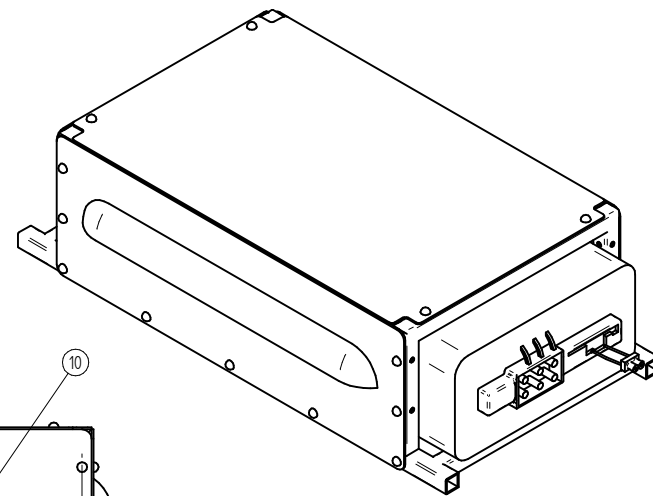
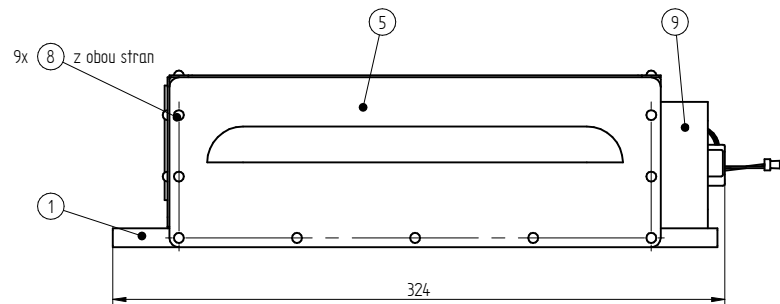
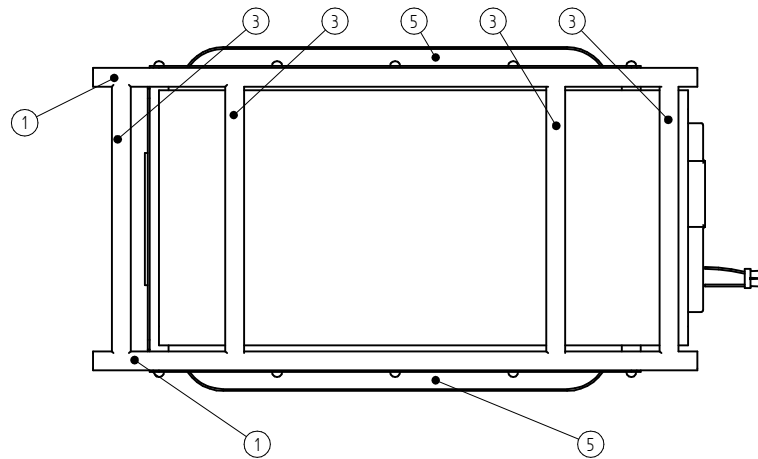


	NAME	DATE	Solid Edge		
DRAWN	SANTORA	07/28/20			
CHECKED			TITLE HORNÍ KRYT		
ENG APPR					
MGR APPR			SIZE A4	DWG NO BP-06	REV
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI			MATERIAL: Akryl, vysoce odolný		
			SCALE: 1:2	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

CISLO POLOZKY	POLOZKA	MNOZSTVI
1*	JEKL 10x10x1-320	2
2*	JEKL HORNÍ 10x10x1-140	2
3*	JEKL DOLNÍ 10x10x1-140	4
4*	JEKL 10x10x1-70	4
5*	BOCNI PLECH	2
6*	ZADNI PLECH	1
7*	HORNÍ KRYT	1
8*	NYT S PULKULATOU HLAVOU DIN 660	26
9*	AKUMULATOR	1
10*	CEKULE	1

	NAME	DATE	TITLE		
DRAWN	SANTORA	07/28/20	KUSOVNIK		
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI	SIZE	DWG NO	REV		
	A4	BP-07			
	FILE NAME: kusovnik sestavy.dft				
SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1			



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	NAME	DATE	Solid Edge	
DRAWN	SANTORA	07/28/20	TITLE	
CHECKED			SESTAVA NOSICE	
ENG APPR			SIZE	DWG NO
MGR APPR			A2	BP-08
			FILE NAME:	sestava_nosi_e.dft
			SCALE:	WEIGHT:
			SHEET 1 OF 1	



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI