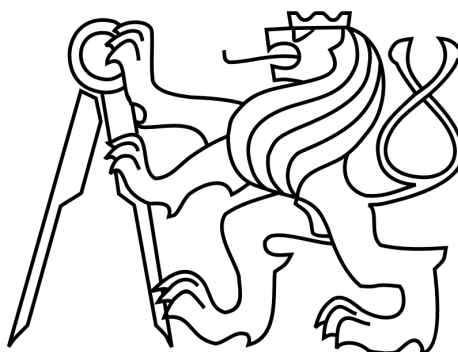


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A KOLEJOVÝCH VOZIDEL



Diplomová práce

DP2015 – MV 01

Robot řazení

Praha 2015

Bc. Jan Ruprich

Vysoká škola: **České vysoké učení technické v Praze**
Fakulta : **strojní**
Ústav: **12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Akademický rok: **2014/2015**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): **Bc. Jan Ruprich**

studijní program: **N 2301 Strojní inženýrství**
studijní obor: **2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika**

Název tématu: **Robot řazení**

Název tématu anglicky: **Gearshift robot**

Označení diplomové práce: **DP 2015 – MV 05**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a zkonstruujte roboty řazení pro obě převodovky v uzavřeném zkušebním stavu ve VTP Roztoky. Snažte se využít již nakoupené díly. Konstrukci dokumentujte výkresem sestavy ve všech potřebných pohledech a řezech a připravte kompletní výrobní dokumentaci. Po vyrobení dílů, roboty sestavte a nainstalujte do zkušební laboratoře.

Naprogramujte ovládání robotů v SW Labview. Zpracujte velmi podrobný popis pro zapojení robota, tak aby bylo možné snadno robota oživit i při přeinstalování počítače. Zpracujte podrobný popis pro učení robota v případě jiného typu zkoušené převodovky. Jako zvláštní přílohu DP připravte manuál, ve kterém bude tento popis podrobně shrnut.

Výsledný program musí umožnit snadnou integraci do řídicího SW celého zkušebního stavu. Naprogramujte hlídání prahových hodnot a kontrolu zařazení souhlasného převodového stupně v obou převodovkách. Při nedodržení podmínek naprogramujte zaslání varovné zprávy do řídicího SW celého zkušebního stavu.

Rozsah průvodní zprávy: min. 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek v textu)

Rozsah grafických prací: Výkresy sestav. Výrobní výkresy všech částí.

Doporučené podklady: Dvořák J.: Stav řazení. DP 2013-MV23. ČVUT v Praze.

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Odborný konzultant: Ing. Michal Strapko

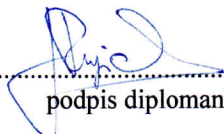
Datum zadání diplomové práce: 10.4.2015

Datum odevzdání diplomové práce: 19.6.2015

Studijní a zkušební řád ČVUT v Praze, čl. 21, odst. 4: „Pokud student neodevzdal bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.“

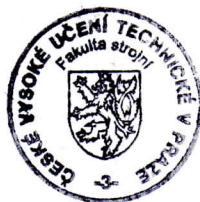
Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Zadání diplomové práce převzal dne: 10.4.2015


.....
podpis diplomanta



Doc. Ing. Oldřich VÍTEK, Ph.D.
vedoucí ústavu 12120





Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.
děkan fakulty strojní

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Jan Ruprich
Název DP:	Robot řazení
Anglický název:	Gearshift robot
Akademický rok:	2014/2015
Ústav:	12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Studijní obor:	2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika
Vedoucí DP:	Doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová
Bibliografické údaje:	Počet stran: 70 Počet obrázků: 39 Počet příloh: 3
Klíčová slova:	uzavřený zkušební stav převodovek, řadicí mechanismus, robot řazení, software Labview, řadicí smyčka, proudová smyčka
Keywords:	close-loop stand for gear-box testing, shifting mechanism, gearshift robot, software Labview, shifting loop, current loop
Abstrakt:	Tato práce se zabývá návrhem, konstrukcí a programovým vybavením robota řazení pro ovládání převodovek v uzavřeném zkušebním stavu ve VTP Roztoky. Řídicí program je proveden v softwaru Labview a obsahuje dvě stěžejní části – smyčku obsluhující vlastní řadicí proces a smyčku hlídající maximální hodnotu elektrického proudu protékajícího servomotory.
Abstract:	This thesis deals with design, construction and program equipment of the shifting robot which is aimed for handling the gear-boxes in the close-loop stand in VTP Roztoky. The program is implemented into the software Labview and consists of two crucial parts – the loop that handles with the shifting process itself and the electric current loop monitoring the maximal value of the current flowing through the servomotors.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne 16. 6. 2015

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce Doc. Dr. Ing. Gabriele Achtenové za odborné vedení a za nabídku stát se prostřednictvím robota řazení dočasným členem kolektivu VTP Roztoky. Dále bych rád poděkoval konzultantovi Ing. Michalu Strapkovi za trpělivé zodpovídání mých dotazů a nakonec všem blízkým, kteří mě při psaní této práce podporovali.

Obsah

Anotační list

Prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod	6
1 Robot řazení v souvislostech	7
1.1 Zkušební stav otevřený	7
1.2 Zkušební stav uzavřený	8
1.3 Historie	10
1.3.1 Mechanická koncepce uzavření	10
1.3.2 Elektrická koncepce uzavření	10
1.4 Měření na současném uzavřeném zkušebním stavu ve VTP Roztoky	11
1.5 Řadicí mechanismus	12
1.5.1 Vnitřní řadicí mechanismus	14
1.5.2 Vnější řadicí mechanismus	15
2 Konstrukce robota řazení	17
2.1 Základní požadavky	17
2.2 Volba koncepce	17
2.3 Okrajové podmínky konstrukce	18
2.3.1 Servomotor ALI1, výrobce: MecVel	18
2.3.2 Lineární vedení LLHMS 12 se specifickým vozíkem, výrobce: SKF	20
2.3.3 Hardware pro řízení motorů a celkové ovládání robota, výrobce: National Instruments	20
2.4 Konstrukce vlastního robota řazení	20
2.4.1 Vstupní rozměry	20
2.4.2 Délky lineárních vedení	21
2.4.3 Kinematické schéma	22
2.4.4 Ověření pohyblivosti	23
2.4.5 Popis vyráběných komponent	24
2.5 Konstrukce stojanů pro robota řazení	25
2.5.1 Důvody pro konstrukci	25
2.5.2 Popis konstrukce	26
2.6 Celková montáž	27
2.6.1 Popis montáže vlastního robota řazení	27
2.6.2 Popis montáže celkových sestav	28

3	Hardware robota řazení.....	30
3.1	Popis použitých hardwarových komponent.....	30
3.1.1	Platforma CompactRIO	30
3.1.2	Modul NI 9505.....	31
3.1.3	Zdroj NI PS-16	31
3.2	Principiální schéma zapojení.....	31
3.3	Detailní elektrické zapojení.....	33
3.4	Koncepce ovládání procesu řazení	36
4	Řídicí program.....	39
4.1	Struktura programu	39
4.2	Podprogram pro FPGA	40
4.3	Prvotní seřízení robota	42
4.4	Podprogram pro kontroler	45
4.4.1	Program kalibrace.vi.....	45
4.4.2	Program „vykonavatel“	47
4.4.3	Řídicí smyčka včetně proudové ochrany	49
4.4.3.1	Řídicí smyčka část 1.	51
4.4.3.2	Proudová ochrana	53
4.4.3.3	Řídicí smyčka část 2.	57
5	Problematika integrace do řídicího SW celého stavu.....	60
5.1	Úpravy a změny oproti samostatně pracujícímu programu.....	60
5.1.1	Obslužná smyčka.....	60
5.1.2	Program robot.vi.....	61
5.1.3	Kód výsledku.....	62
5.2	Požadavky na řídicí SW celého stavu.....	63

Závěr

Seznam použité literatury

Seznam příloh na CD

Úvod

Zkušebnictví v širším slova smyslu je staré jako lidstvo samo. Onen šťastný člověk, který před tisíci let kdesi v Mezopotámii poprvé vyzkoušel jeho nový výtvar, jemuž dnes říkáme kolo, určitě nepřemýšlel nad metodami a postupy tak, jako to děláme nyní, ani netušil, že vlastně provádí zkoušku prvního vývojového vzorku. On jen chtěl zkusit, zdali to, co sestrojil, opravdu funguje. Myslím, že zkoušet (si) věci je základní lidskou touhou, ba dokonce nutností, bez níž by nic nemohlo fungovat.

Postupem věků a rozmachem průmyslu v posledních dvou stech letech se ukázalo, že zkušebnictví je zcela nenahraditelný obor. Ani nejmodernější simulace pomocí nejvýkonnějších počítačů nedokážou poskytnout stejně zaručené výsledky jako experiment v rovině exaktní, měřitelné a zároveň nedokážou spočítat lidský subjektivní pocit z finálního díla.

Dnešní svět klade obrovské nároky na snižování ceny, efektivitu ve využívání zdrojů, rychlost a kvalitu. To úzce souvisí s používáním stále složitějších a na obsluhu náročných zařízení, či naopak nutností jeden proces provádět zcela rutinně, opakovatelně, bez přemýšlení. Vystává tedy otázka, jak toho dosáhnout. Jednou z odpovědí je automatizace. Lze ji považovat za příklad zrcadla technické vyspělosti.

Cílem této práce je navrhnout, zkonstruovat a zprovoznit robota řazení pro uzavřený zkušební stav převodovek ve VTP Rožtoky. Tento robot je dílčím projektem celkové automatizace tohoto pracoviště.

Úkolem robota je zajistit zařazení libovolného dopředného převodového stupně, neutrálu a zpátečky na obou převodovkách, tedy jak na převodovce zkoušené, tak i na převodovce technologické. Jeho ovládání následně bude začleněno do řídicího programu celého stavu, který je realizován pomocí programu LabVIEW.

1 Robot řazení v souvislostech

Převodovka má v dopravní technice nezastupitelnou roli, transformuje moment přicházející od hnacího agregátu na momentovou hladinu potřebnou pro pohon daného dopravního prostředku – konkrétně automobilu. Jsou na ni kladeny vysoké nároky, které musí plnit po celou dobu své životnosti a které bych rozdělil do dvou skupin podle toho, kde vznikají, a to na nároky převodovky samotné a na nároky člověka. Do první kategorie bych zařadil požadavky pevnostní, tedy ohyb, dotyk a skluz zubů a do kategorie druhé nároky, které si klade člověk, tedy pohodlí při používání. Rozdělení není černobílé, jednotlivé požadavky se vzájemně ovlivňují. Je tedy zapotřebí zjišťovat a zlepšovat parametry jako jsou účinnost, životnost, vibrace nebo hluk.

Aby současná převodovka dosáhla patřičné směsi těchto vlastností a automobilka uspěla na trhu, je nutné používat nenormalizovaná řešení ozubení, tedy nestandardní profil zubu. Důsledkem tohoto faktu je, že při návrhu nelze plně spoléhat na existující normy. Jak se soukolí bude chovat při provozu lze zjistit pouze zkoušením. K tomuto účelu byly vyvinuty zkušební zařízení (stavy) dvojího typu – stav otevřený a uzavřený.

1.1 Zkušební stav otevřený

Protože tento druh stavu přímo nesouvisí s touto prací, bude o něm pojednáno jen velmi krátce.

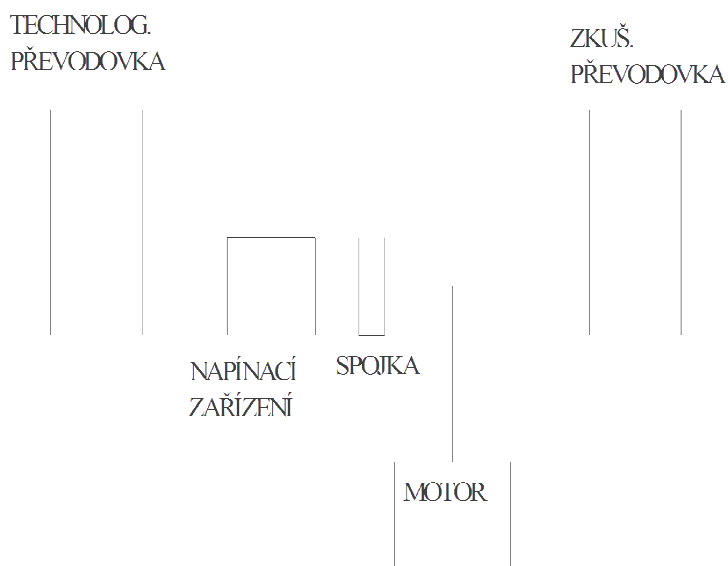
Schéma otevřeného stavu je uvedeno na obrázku 1. Pohonný agregát i brzda jsou nahrazeny dynamometry, z nichž první výkon do zkoušené převodovky přivádí a druhý jej maří. Z energetického hlediska je provoz takového stavu nevýhodný. Nejmodernější varianty uspořádání však umožňují přebytečnou energii vracet zpět do sítě nebo systém elektricky uzavřít. Výhodou tohoto stavu je, že přechody z jednoho ustáleného stavu do druhého mohou být velmi rychlé, a proto dokáže simulovat zátěžné spektrum všech rychlostních stupňů přesně tak, jak bylo naměřeno při jízdě na zkušebním okruhu.



Obrázek 1 – otevřený zkušební stav

1.2 Zkušební stav uzavřený

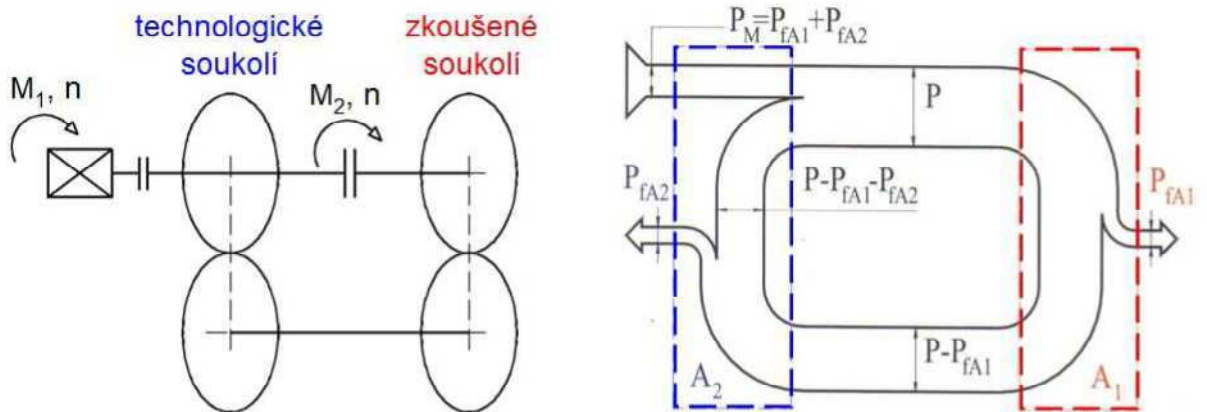
Zkoušky na tomto zařízení jsou založeny na principu vytvoření předpětí v uzavřeném okruhu dvou převodovek, kdy jedna z nich je zkoušená a druhá technologická, viz obrázek 2. Nutnou podmínkou správné funkce je stejný kinematický převodový poměr obou převodovek. Nemusí se však nutně jednat o celé převodovky, ale jen o samostatná soukolí. Předpětí je v soustrojí zajištěno vzájemným nakroucením dvou konců hřídelů proti sobě. Tímto zapojením je ve zkušebním stavu záměrně navozena cirkulace výkonu, takže hnací elektromotor slouží pouze pro krytí ztrát v soustrojí. Z toho vyplývá nižší energetická náročnost takového druhu zkoušení, což lze považovat za hlavní výhodu tohoto zařízení.



Obrázek 2 – uzavřený zkušební stav [1]

Uzavřený zkušební stav je proto určen především pro únavové a životnosti zkoušky převodových agregátů, kde časová náročnost těchto zkoušek dává význam energetické úspore. Dále na něm lze provádět měření mechanické účinnosti převodů, měření hluku a vibrací, případně deformací převodových skříní. [1]

Zkoušená převodovka musí být protáčena ve stejném smyslu, jako je tomu ve vozidle, čímž je definován směr vektoru úhlové rychlosti jejího vstupního hřídele. Nyní připadají do úvahy dvě možnosti směru toku výkonu v soustrojí. Jestliže se směr vektoru úhlové rychlosti shoduje se směrem vektoru krouticího momentu, pak směr toku výkonu bude dán vektorem jejich součinu; jestliže jsou vůči sobě orientovány opačně, pak výkon bude cirkulovat v opačném směru. Případ, kdy se směry shodují, je znázorněn v diagramu toku výkonu na obrázku 3, na kterém je A_1 převodovka zkoušená a A_2 je převodovka technologická. Tento diagram ale postihuje princip zkoušení jako takový, tedy zahrnuje pouze výkonové ztráty na obou převodovkách. Na skutečném zkušebním zařízení mohou být další ztráty: řemenový převod z elektromotoru pro pohon celého soustrojí, ložiska, kloubové hřídele, případně planetové předepínací zařízení. [2]

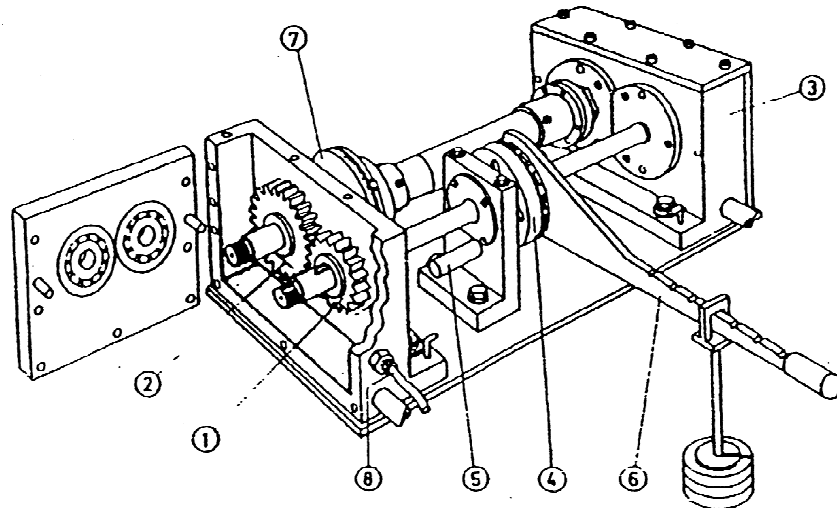


Obrázek 3 – diagram toku výkonu [2]

1.3 Historie

1.3.1 Mechanická koncepce uzavření

Historie mechanicky uzavřené koncepce stavu sahá do roku 1951, kdy Prof. Dr.-Ing. Gustav Niemann založil institut FZG (Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau) jako samostatnou část mnichovské technické univerzity. [1]



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 – zkoušený pastorek | 5 – zajišťovací čep |
| 2 – zkoušené kolo | 6 – závaží |
| 3 – uzavírací převodovka | 7 – torzní spojka |
| 4 – napínací spojka | 8 – teploměr |

Obrázek 4 – zařízení prof. Niemann [3]

Na obrázku je znázorněno zařízení, které prof. Niemann navrhl. Je z něj také patrné, že se jedná o zkoušení pouze jednoho soukolí, nikoliv celé převodovky včetně její skříně. Předpětí je vyvozováno závažím zavěšeným na páce, která je připevněna k jednomu z hřídelů. Po nastavení požadovaného zkušebního momentu jsou příruby napínací spojky sešroubovány. Tato relativně jednoduchá zařízení jsou v tamějších laboratořích v provozu dodnes.

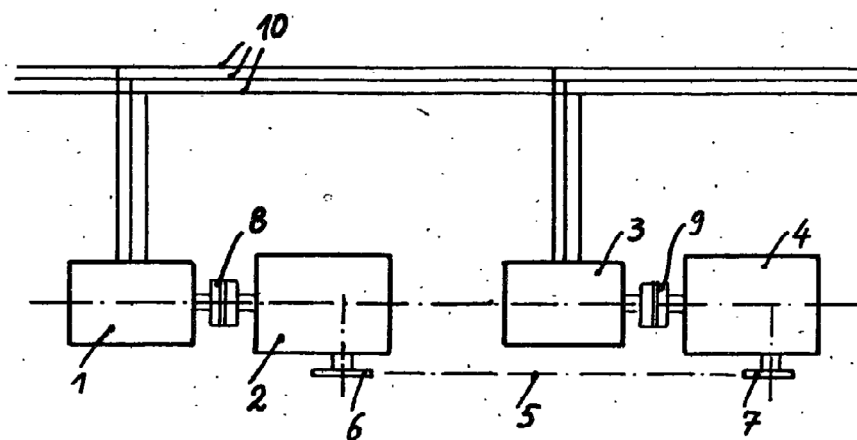
1.3.2 Elektrická koncepce uzavření

V odstavci o otevřených zkušebních stavech jsem uvedl, že okruh lze uzavřít i elektricky. Tento fakt je znám mnoho desítek let a byl realizován pomocí stejnosměrných strojů či soustrojí Ward-Leonard, avšak provoz těchto systémů ani před padesáti lety v Československu nebyl optimální. Patentový spis vydaný roku

1963 říká, že tyto elektrické stroje nejsou běžně vyráběny a tudíž nebývají k dispozici, jsou nákladné a obvykle se po ukončení zkoušek k žádnému jinému účelu nehodí. Tento nedostatek se zvláště projevuje u strojů s velkými výkony nebo při velkém množství zkušebních stanišť. A proto je v tomto patentu navrženo využití asynchronních motorů. Na obrázku 5 je uveden jeden z předmětů tohoto patentu a doplňuji popis obrázku 6: 5 – řetěz, 6 a 7 – řetězová kola, 8 a 9 – spojky, 10 – elektrická síť. [4]

1. Zařízení k současnému zkoušení převodovek nebo řady převodovek elektricky uzavřeným cyklem, vyznačené tím, že hnací asynchronní motor (1) je připojen na vstupní hřídel první převodovky (2), a že hnací asynchronní motor (3) je připojen na výstupní hřídel poslední převodovky (4), přičemž převod mezi hřídelem hnacího asynchronního motoru (1) a hřídelem hnacího asynchronního motoru (3) je upraven tak, aby hnací asynchronní motor (3) se otáčel v nadsynchronních otáčkách.

Obrázek 5 – předmět patentu [4]



Obrázek 6 – schéma soustrojí [4]

1.4 Měření na současném uzavřeném zkušebním stavu ve VTP Rostoky

Toto zkušební zařízení, viz obrázek 7, bylo poprvé použito v roce 2004 a od té doby na něm proběhly některé změny, úpravy či vylepšení. Chtěl bych proto v krátkosti rekapitulovat současný stav měření fyzikálních veličin. Celý zkušební

stav je řízen pomocí programu vytvořeného v LabVIEW a rovněž veškerá získávaná data jsou zpracovávána přes tentýž ovládací program.

Převodovka je na zkušebním stavu uložena přesně tak, jak je tomu ve vozidle, je tedy přišroubována k bloku motoru. Celek, včetně hlavy válců, visí na dvou silentblocích, přičemž reakční moment k momentu hnacímu tvoří vzpěra, umístěná v dolní části skříně převodovky. Na drážkování místo spojky je nasazen homokinetický kloub hnacího hřídele. Převodovky pro účely testování musejí mít deaktivovaný diferenciál tak, že levý a pravý výstup jsou pevně spojeny, protože odvod výkonu z převodovek je pouze jednostranný.

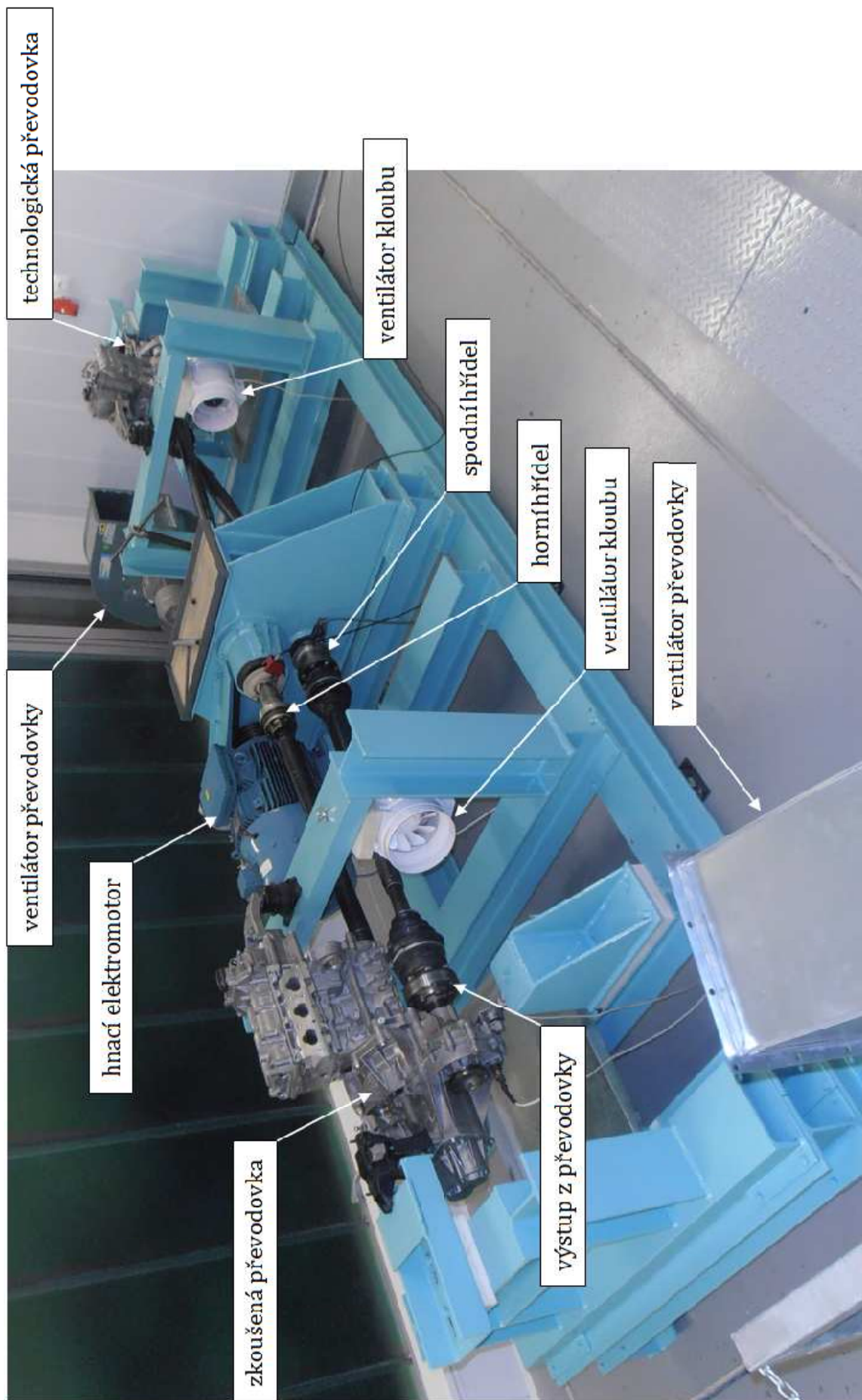
Jsou k dispozici tato měření:

1. otáčky výstupního hřídele převodovek (spodní hřídel)
2. otáčky a výkon elektromotoru
3. moment přenášený vstupním a výstupním hřídelem (horní a spodní hřídel)
4. teplota obou skříní převodovek
5. síla v reakčních vzpěrách uložení převodovek
6. vibrace – dva akcelerometry s rozdílným rozsahem na obou skříních převodovek

1.5 Řadicí mechanismus

Jako příklad budu uvažovat převodovku MQ200 vyráběnou společností ŠKODA AUTO a.s. Volba je účelná, protože právě tato převodovka je zkoušena na uzavřeném zkušebním stavu ve VTP Rožtoky a nový robot řazení má primárně ovládat právě tuto převodovku.

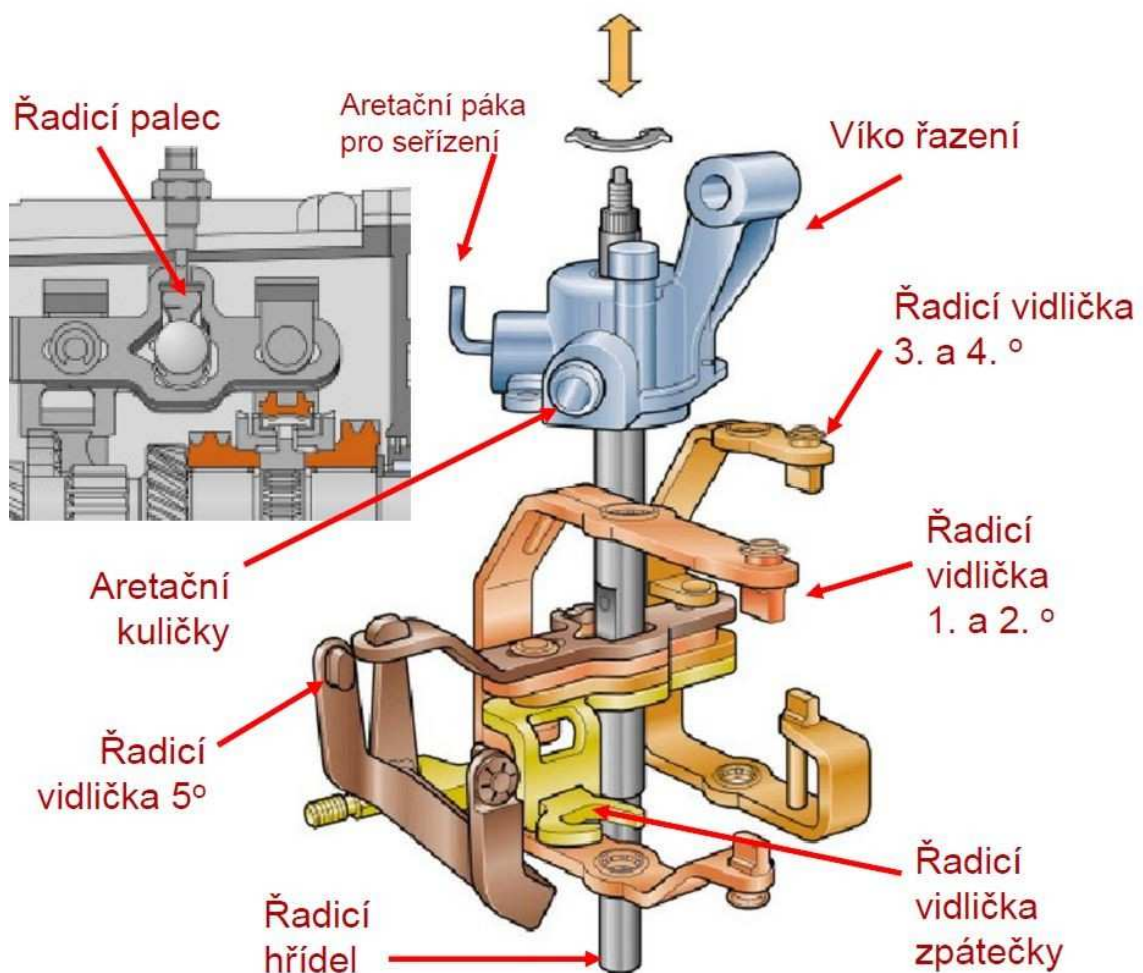
Jedná se o ručně řazenou převodovku s pěti dopřednými rychlostními stupni a jedním stupněm pro jízdu vzad. Převodovka je dvouhřídelová. Všechny dopředné stupně jsou vybaveny blokovou synchronizací. Ozubená kola pro dopředný chod mají šikmé ozubení a pracují ve stálém záběru. Řazení dopředných stupňů zajišťují přesuvné objímky synchronizačních spojek. Kola zpětného chodu mají přímé ozubení a řadí se vloženým mezikolem obracejícím smysl otáčení. [5]



Obrázek 7 – uzavřený zkušební stav ve VTP Roztoky

1.5.1 Vnitřní řadicí mechanismus

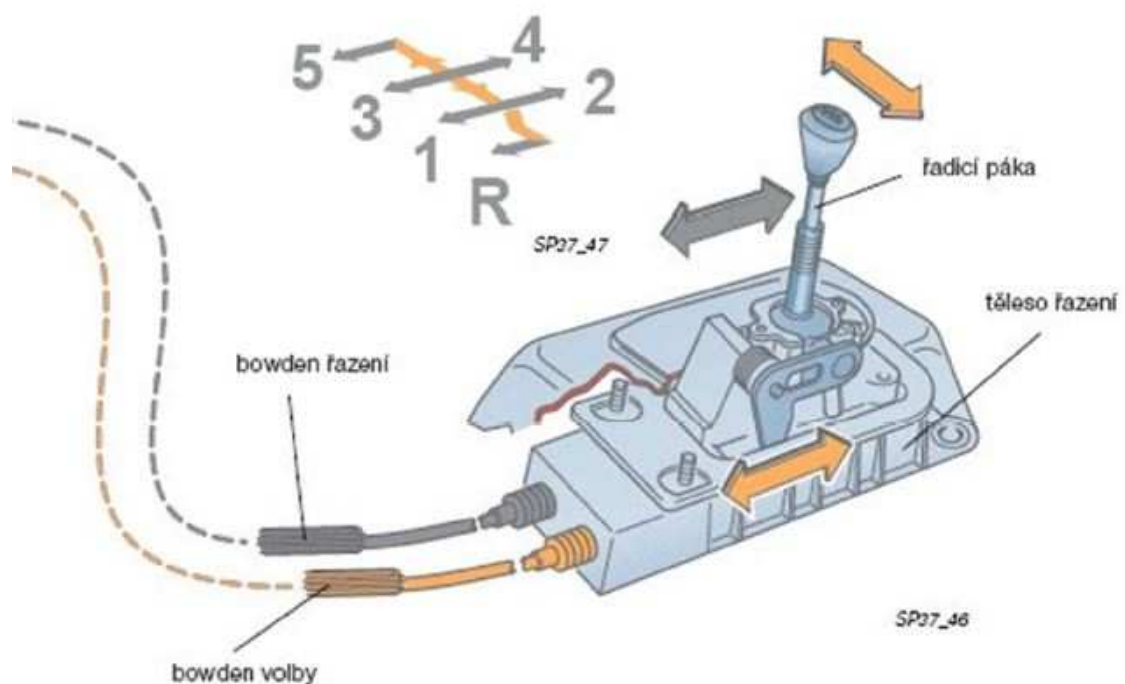
Vnitřní řadicí mechanismus (obrázek 8) je uvnitř převodovky a musí zajistit fyzické přeřazení jednoho převodového stupně na druhý. Skládá se z řadicích vidliček jednotlivých spojek, řadicího hřídele a řadicího palce. Pohybem řadicího hřídele nahoru a dolů dochází k výběru řadicí vidličky. Jsou zde tedy čtyři možnosti: úplně nahoře je řadicí vidlička pro 5. převodový stupeň, v poloze neutrálu to je vidlička pro 3. a 4. stupeň, níže pak vidlička pro 1. a 2. stupeň a úplně dole pak vidlička pro zpátečku. Rotací řadicího hřídele na jednu či druhou stranu začne řadicí palec tlačít na řadicí vidličku, která tuto sílu přenesení až na přesuvnou objímku synchronizační spojky, po vyrovnání rychlostí dojde k zařazení požadovaného rychlostního stupně.



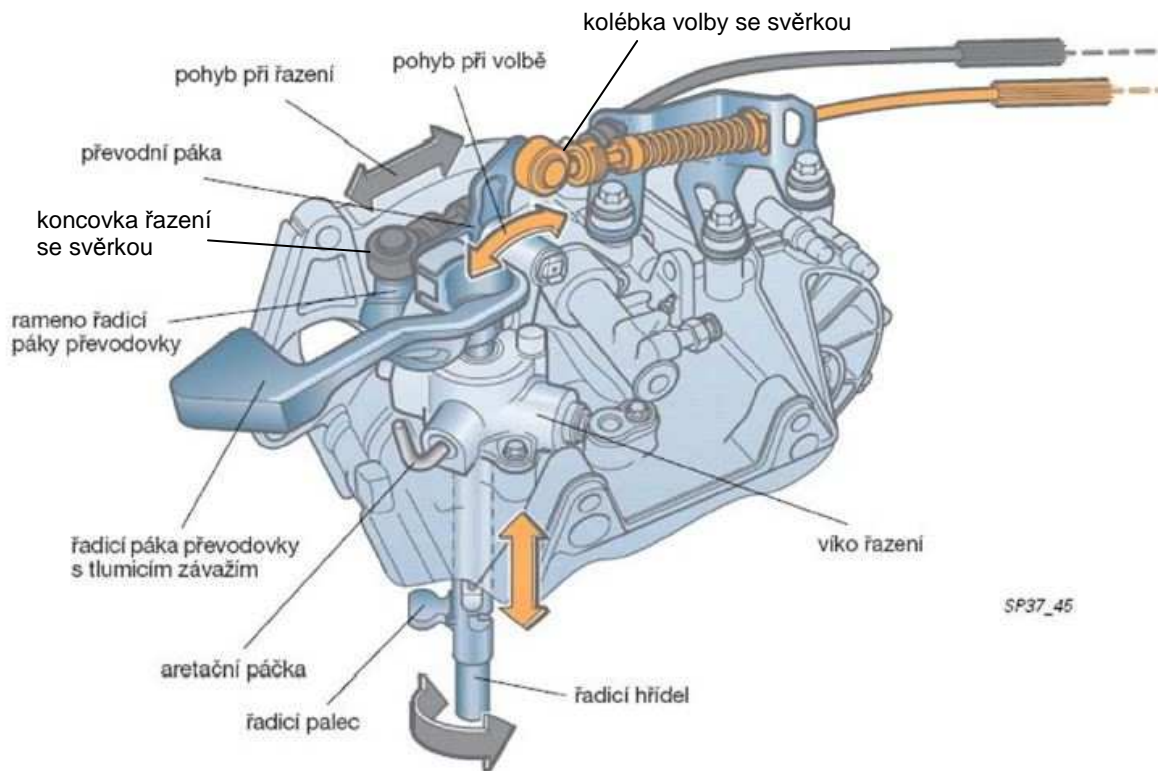
Obrázek 8 – vnitřní řadicí mechanismus [6]

1.5.2 Vnější řadicí mechanismus

Vnější řadicí mechanismus má dvě části vzájemně propojené dvěma řadicími bowdeny – bowdenem volby a bowdenem řazení. První část (obrázek 9) obsahuje řadicí páku, ovládanou řidičem vozidla, a těleso řazení, v němž je umístěn mechanismus převádějící pohyby řadicí páky na posuv vpřed či vzad, který je dále přenášen právě pomocí bowdenů do druhé části (obrázek 10). Tato část má za úkol převést pohyby bowdenů na axiální a rotační pohyb řadicího hřídele, viz výše, čehož je dosaženo vhodným tvarováním převodní a řadicí páky převodovky.



Obrázek 9 – řadicí páka [6]



Obrázek 10 – řadící mechanismus na převodovce [6]

2 Konstrukce robota řazení

2.1 Základní požadavky

- a) Robot musí umět zařadit kterýkoli dopředný rychlostní stupeň, neutrál a zpátečku v libovolném pořadí.
- b) Zařazení musí být vždy provedeno na obou převodovkách – jeden robot pro jednu převodovku
- c) Robot musí respektovat prostorové podmínky a další nároky, aby nikterak neomezoval provoz zkušebny.
- d) Koncepte robota by měla dovolovat aplikaci i na jinou převodovku než na návrhovou MQ 200.
- e) Ovládání musí být realizováno pomocí LabVIEW a být tak včlenitelné do ovládacího programu celého pracoviště.
- f) Robot musí umět vyhodnotit správné, resp. chybné zařazení

2.2 Volba koncepce

Prvotním problémem jakékoli konstrukční úlohy je zvolit co možná nejvhodnější koncepci. Ani geniální konstruktér v rámci špatně vybrané koncepční varianty nedokáže napravit její nedostatky, protože to často jednoduše nejde. V úvahu připadaly tři možné konstrukce:

1. vynechání celého vnějšího řadicího mechanismu a ovládat přímo řadicí hřídel převodovky
2. vynechání první části (obrázek 9) vnějšího řadicího mechanismu, tedy řadicí páky řidiče a tělesa řazení, a ovládat tak přímo posuvné pohyby obou bovdenů
3. použití celého vnějšího řadicího mechanismu, tedy napodobovat pohyby ruky řidiče při volbě a řazení rychlostních stupňů

Koncepční varianta č. 1 je podrobně konstrukčně rozpracována panem Milanem Hradilem v jeho diplomové práci [7], bohužel nikdy nedošlo k úplnému oživení tohoto robota a uvedení do provozu, kde by se skutečně ověřily klady a

zápory tohoto provedení. Vzhledem k tomu, že cílem této diplomové práce je navrhnout robota řazení pro uzavřený zkušební stav do VTP Roztoky, kde jsou jiná prostorová omezení než v hale motorových vozidel v laboratořích na Julisce, kam byl robot varianty č. 1 navrhován, nelze jednoduše tuto konstrukci aplikovat i pro můj případ.

Použití celého vnějšího řadicího mechanismu naráží na jeden z požadavků zadání, kterým je variabilita. Lze předpokládat, že jiný typ převodovky bude mít i jiné těleso řazení, tzn. přípojně rozměry i přepákování uvnitř tělesa. Bylo by tak nutné řešit variabilitu zástavbového prostoru a následně přeprogramovat rovinné dráhy, kudy robot vodí řadicí páku. Toto řešení je realizováno na otevřeném zkušebním stavu ve VTP Roztoky.

Varianta č. 2 se vyznačuje svou jednoduchostí, a proto se stala i variantou vítěznou. Využívá celé druhé části (obrázek 10) vnějšího řadicího mechanismu, odkud vedou oba bovdeny už přímo do robota místo do tělesa řadicí páky. Robot tedy vykonává žádoucí posuvné pohyby, které přesně odpovídají již přetransformovaným pohybům řadicí páky. Pro získání volných konců bovdenů je nutné těleso řadicí páky rozmontovat a následně je bez poškození vyjmout.

2.3 Okrajové podmínky konstrukce

V okamžiku, kdy jsem si vybíral tuto diplomovou práci, byly zásadní stavební kameny robota buď již nakoupeny, nebo byly k dispozici jako použité ze starších projektů. Celková konstrukce robota musela tento fakt respektovat. Dále uvedu výčet těchto komponent s jejich stručným popisem.

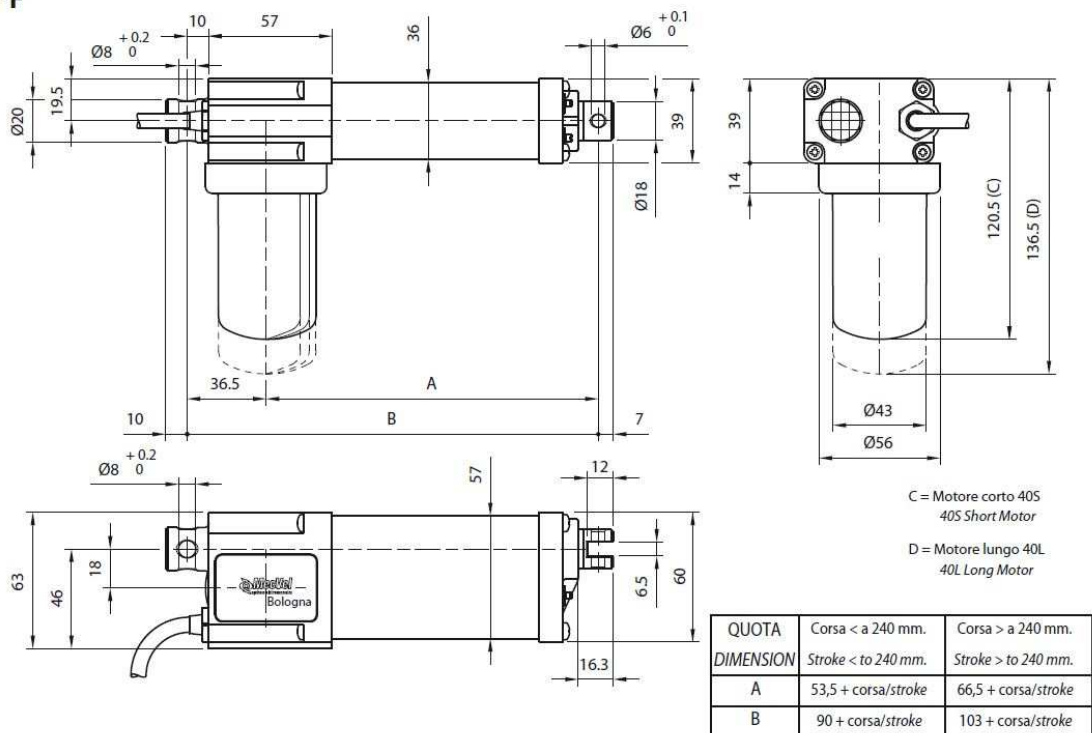
2.3.1 Servomotor ALI1, výrobce: MecVel

Jedná se o bezkomutátorový stejnosměrný motor na 24 V s těmito parametry:

úplné označení	ALI1-F_0100_M03_24_M0_C01_P1_A1
zdvih	100 mm
max. rychlost	15 mm/s
max. proud	5 A
max. zatížení	1200 N

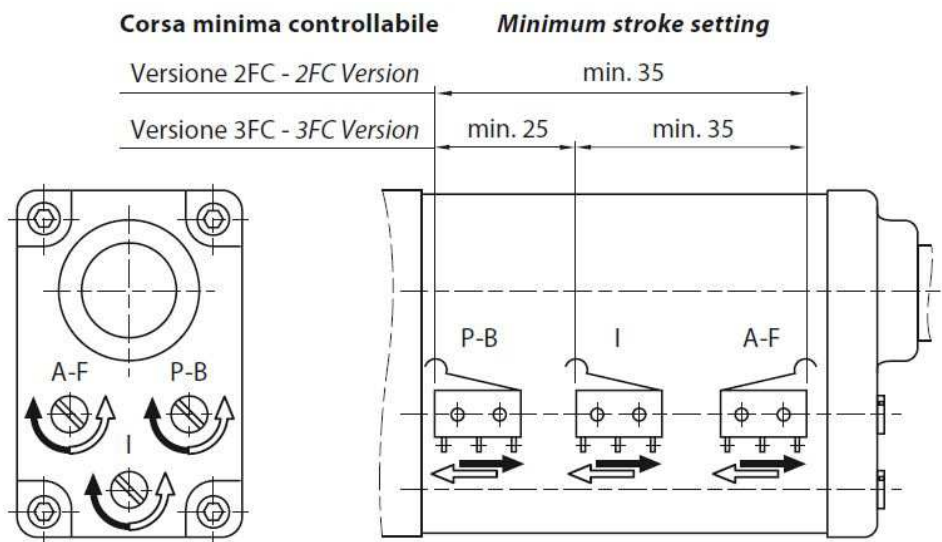
zástavba viz obrázek 11

ALI1-F



Obrázek 11 – rozměry servomotoru

Servomotor, nebo jen motor, obsahuje tři mikropínače, které fungují jako rozpínací kontakty, viz obrázek 12



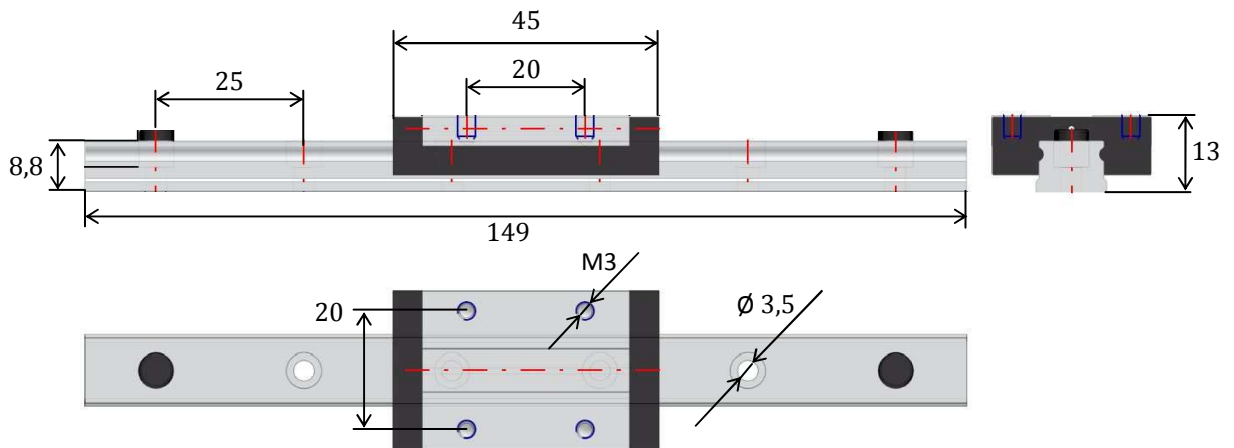
Obrázek 12 – ovládání mikropínačů

A dále obsahuje enkodér – rotační inkrementální snímač se dvěma kanály a čtyřmi pulsy na otáčku. Více v kapitole 4.2 nebo např. v [8].

2.3.2 Lineární vedení LLHMS 12 se specifickým vozíkem, výrobce: SKF

Lineární vedení patří do řady miniaturních výrobků. Kontakt mezi vedením a vozíkem je zajištěn přes kuličky. Necht' toto vedení délky 149 mm slouží jako příklad.

úplné označení LLMHS12LA1T0-149P5W1



Obrázek 13 – rozměry lineárního vedení

2.3.3 Hardware pro řízení motorů a celkové ovládání robota, výrobce: National Instruments

- platforma CompactRIO (controller NI c-RIO 9024, chassis NI c-RIO 9112)
- modul NI 9505
- zdroj NI PS-16

Podrobnější popis pro mě důležitých vlastností hardwaru je zpracován v kapitole 3.1.

2.4 Konstrukce vlastního robota řazení

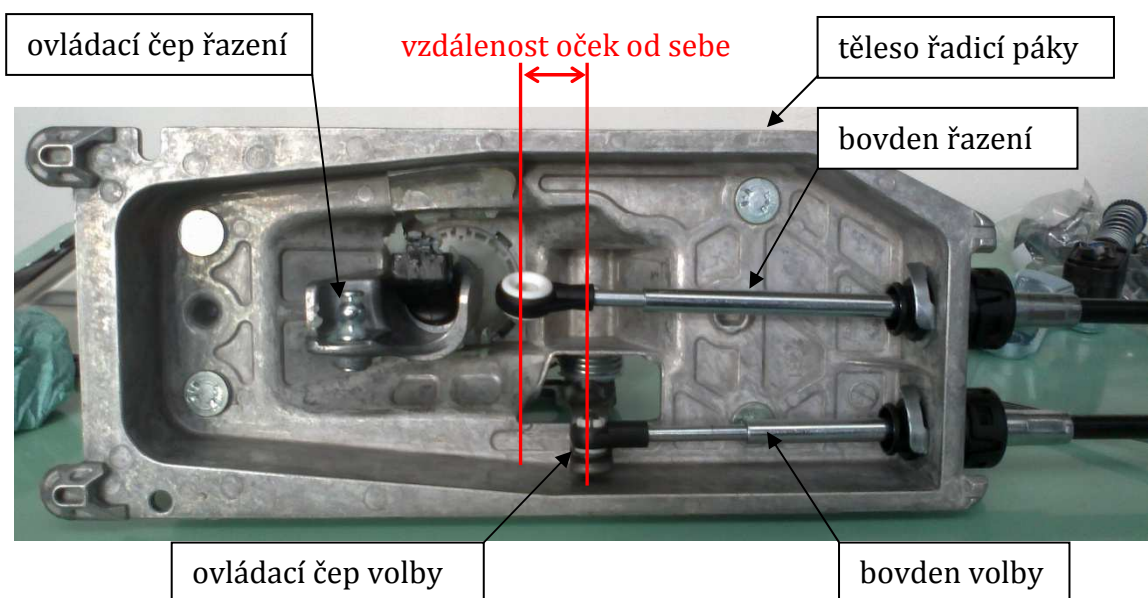
2.4.1 Vstupní rozměry

Základní vstupní rozměry a požadavky jsou trojí. Za prvé to jsou zástavbové a přípojné rozměry servomotoru. Za druhé to jsou rozměry a rozteče děr pro připevnění lineárních vedení. Za třetí je to rozsah krajních poloh obou bovdenů a jejich celkové umístění v tělese řadicí páky, viz obrázek 14. Tyto potřebné rozměry

jsem zjistil prostým odměřením v tělese bez připojení k převodovce. Změřil jsem vzdálenost, kterou musí bovden urazit, aby došlo k přeřazení z lichého na sudý převodový stupeň, vždy měřeno od dorazu k dorazu. Totéž jsem provedl i pro bovden volby řadicí vidličky, tedy od zpátečky po 5. převodový stupeň, opět měřeno od dorazu k dorazu. Tato metoda není zcela přesná, avšak dává uspokojivé výsledky pro návrh potřebných délek lineárních vedení a uložení motorů. Reálné rozsahy mohou být pouze menší, nikoliv větší. Lanka bovdenů jsou na koncích opatřena očky, do nichž se montují ovládací čepy. Vzdálenost těchto oček od sebe jsem odměřil v poloze, kdy jsou lanka nejvíce zasunuta.

Z měření vzešly tyto hodnoty:

rozsah pro řazení	63 mm
rozsah pro volbu	28 mm
vzdálenost oček od sebe	36 mm



Obrázek 14 – detail umístění bovdenů v tělese řazení

2.4.2 Délky lineárních vedení

Dále jsem chtěl zachovat originální rozteč mezi oběma bovdeny, tj. 45 mm, aby byly zachovány kompaktní rozměry a z toho plynoucí nižší hmotnost celé konstrukce. Vzhledem ke stomilimetrovému zdvihu servomotorů a potřebným rozsahům polohování obou bovdenů, jsem zvolil uložení zadní části pohonů na

společné hřídeli. Tato volba má tu výhodu, že se tento konstrukční uzel zjednoduší a bude zaručena sousost.

Délky lineárních vedení jsou navrženy tak, aby samozřejmě plnily dané rozsahy polohování a aby vozíky měly v krajních polohách zaručen volný dojezdový prostor. Prvním důvodem je požadovaná variabilita robota, lze totiž předpokládat, že jiná převodovka bude mít jinak dlouhé dráhy. A za druhé, výrobce vedení nedoporučuje pohyb vozíku až na samý konec vedení z důvodu nebezpečí vypadnutí vozíku z dráhy a následného vysypání kuliček.

Pro realizaci výše uvedených požadavků jsem měl k dispozici jedenkrát lineární vedení o délce 298 mm se dvěma vozíky a jedenkrát lineární vedení o délce 98 mm s jedním vozíkem. Navrhl jsem přepůlit první jmenované a dokoupit druhé jmenované, což bylo vedoucím této práce schváleno.

Výsledek:

délka vedení pro řazení 149 mm,

délka vedení pro volbu 98 mm,

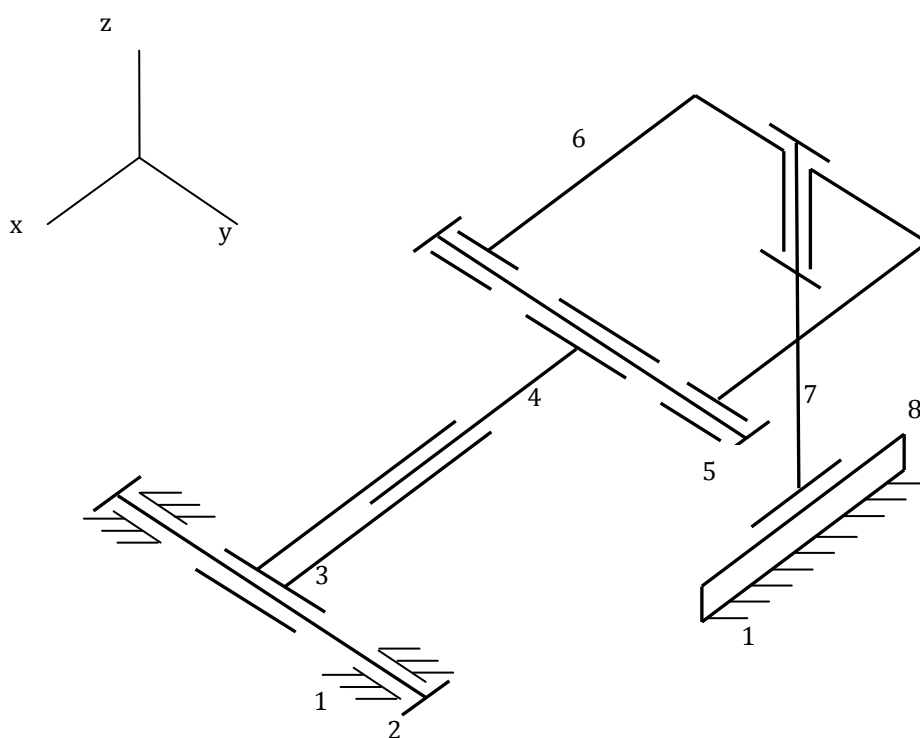
to vše dvakrát a každé vedení má jeden vozík.

2.4.3 Kinematické schéma

Protože bovdeny mají vykonávat pouze posuvný pohyb, bylo použítí výše uvedeného lineárního vedení nasnadě. Aby však mohl robot správně fungovat, musel jsem navrhnout vhodnou kinematickou strukturu pro převod posuvného pohybu motoru na posuvný pohyb bovdeny s ohledem na realizovatelné výrobní tolerance všech součástí a uložení motoru, viz obrázek 15. Kinematika musí umožnit, aby se soustava mohla sama ustanovit do základní polohy a aby následně mohlo dojít k pohybu vozíku (7) po lineárním vedení (8), což můžeme považovat za absolutně přesné. Tedy reálně obráceně, poloha všech součástí se musí podřít pohybu vozíku po vedení, ať už bude k rámu, resp. základní desce, připevněno jakkoli, právě protože zde není žádná vůle.

Pro úplnost celé kinematické schéma popíši. Zadní část motoru (3) je přes čep (2) pomocí válcové vazby připevněna k základní desce (1). Tato vazba dovoluje jak rotaci, tak i axiální posuv. Přední výsuvná část motoru (4), dále jako aktuátor,

navazuje přes čep (5) a opět pomocí válcové vazby na mezikus (6), který je rotačně uložen na vozíku (7). Válcové vazby dovolují ztotožnění os lineárního vedení (8) a motoru (3), (4) v rovině xy a zároveň válcová vazba mezi tělesy (4) a (5) řeší případnou nerovnoběžnost těchto os v rovině xz. Rotační vazba mezi tělesy (6) a (7) dovoluje vyrovnat případnou odchylku kolmosti čepu (2) na vedení (8) v rovině xy, což je reálně očekávatelné, teoreticky však nikoli, protože rám (1) by měl být ideální. Použití dvou rotačních vazeb na muzikusu (6) je vlastně náhrada vazby sférické, realizovatelné jako kulový kloub.



Obrázek 15 – kinematické schéma

2.4.4 Ověření pohyblivosti

$$n' = \# \text{ těles} \cdot (\# \text{ těles} - 1) - 5 \cdot \# \text{ rotačních} - 5 \cdot \# \text{ posuvných} - 4 \cdot \# \text{ válcových} - 6 \cdot \# \text{ pevných vazeb} \quad [9]$$

$$n' = 7 \cdot (7 - 1) - 5 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 2 - 6 \cdot 1 = 42 - 39 = 3^\circ \text{ volnosti}$$

Odečtení parazitních rotací těles (2) a (5):

$$n = n' - 2^\circ = 1^\circ \text{ volnosti}$$

2.4.5 Popis vyráběných komponent

V následující podkapitole budou krátce popsány vyráběné součásti robota, přičemž jejich výrobní výkresy tvoří Přílohu A.

Základní deska: Aby byla zaručena přesnost, tuhost uložení a rozmístění všech součástí jsem zvolil, že hlavním nosným prvkem bude *základní deska* z plechu tloušťky 12 mm, k níž bude přišroubována *patka zadního uložení motorů*, obě dvě lineární vedení a *opěrný plech* pro uchycení bovdenů.

Patka zadního uložení motorů je navržena jako svařenec třech přesných výpalků z plechu tloušťky 6 mm použitím technologie pálení laserem. Uložení motorů je provedeno přes čep o průměru 8 mm s vůlí, tento rozměr je dán připojovacími rozměry motoru, viz obrázek 11.

Opěrný plech je svařenec dvou součástí – ohnutého plechu a výztuhy, vše z plechu tloušťky 3 mm. Polotovary opět vyrobeny technologií pálení laserem. Ohnutý plech je opatřen oválnými dírami, aby byl umožněn pohyb po *základní desce* v rozsahu 15 mm, tím je zaručena variabilita a možnost při prvotním uvedení robota do provozu nastavit polohu bovdenů dle potřeby.

Mezikus je obrobek, realizující rotační vazby dle kinematického schématu. Obě uložení jsou navržena jako uložení s vůlí, čep o průměru 6 mm vychází z připojovacích rozměrů přední části motoru (viz obrázek 11).

Čep se závitem je opatřen jemným závitem M12x1, přes který je upevněn v *držáku L* či *držáku R*. *Mezikus* je nasazen na jeho průměr 8 mm a proti uvolnění je zajištěn samojistící maticí se závitem M6.

Držák L, držák R: Vozík je vyroben se čtyřmi slepými dírami se závity M3 v roztečích 20 mm. Musel jsem proto navrhnout držáky, které se přišroubují na vozík a k nimž půjde připevnit *čep řazení* a *čep volby* (ovládací čepy, viz obrázek 14) a přes *čep se závitem* navážou na *mezikus*. Pro jejich výrobu jsem zvolil válcovaný profil L 80x80x8 z důvodu snížení množství obráběného materiálu

v porovnání s kvádrem. Jejich rozdílný tvar plyne z nutnosti vyrovnat oněch 36 mm vzdálenosti oček bovdenů od sebe (viz bod 2.4.1). Držáky se liší o 21 mm, zbývajících 15 mm je vyřešeno tím, že vozíky nejsou v oné krajové poloze v zákrytu, ale jsou posunuty.

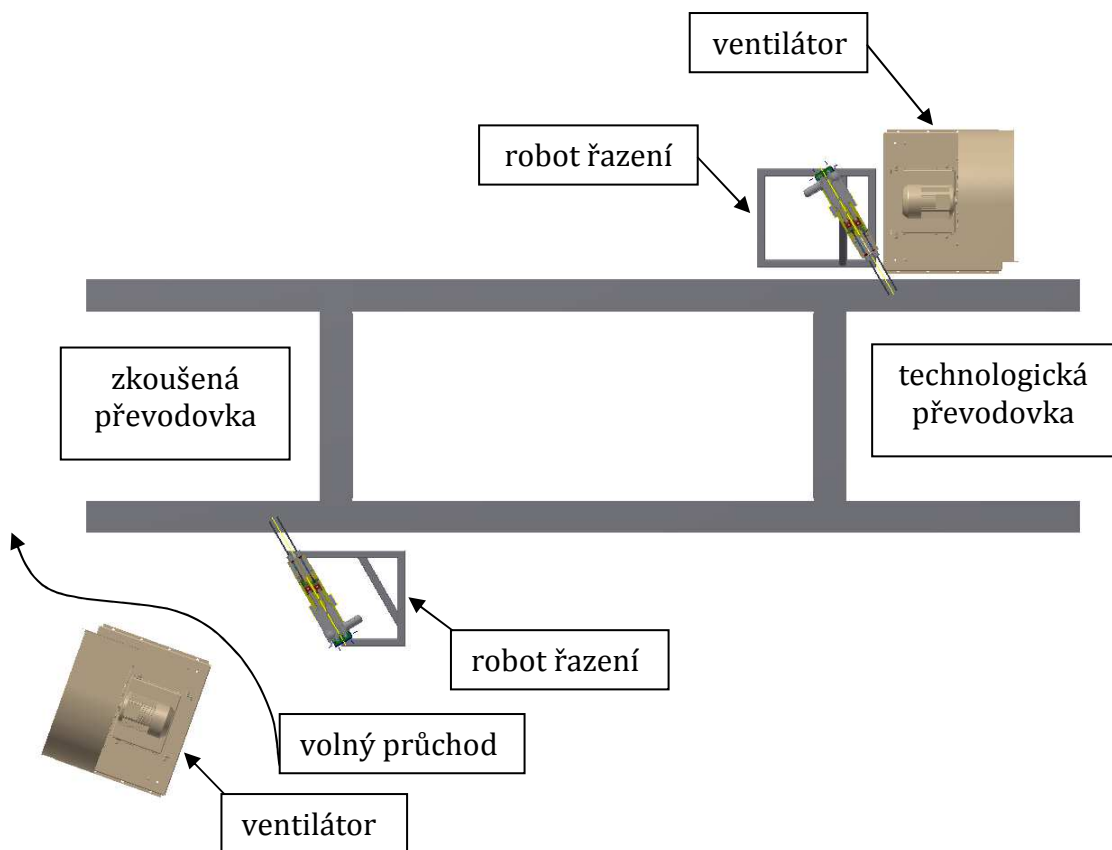
Čep volby, čep řazení: Tyto dva speciální čepy slouží k uchycení oček jednotlivých bovdenů k *držáku L* či *držáku R*. Ve skutečnosti se jedná o kopie čepů, které jsou součástí tělesa řadicí páky a nelze je přímo použít, protože jsou připevněny nerozebíratelně nalisováním. Oba čepy mají závity M6 pro přišroubování k držákům.

2.5 Konstrukce stojanů pro robota řazení

2.5.1 Důvody pro konstrukci

Převodovky jsou na zkušebním stavu umístěny v určitých konkrétních místech a výšce nad zemí. Součástí zkušebny jsou také dva ventilátory sloužící k ofukování obou převodovek v průběhu zkoušky. Je zřejmé, že robot musí být těmto požadavkům přizpůsoben, tedy musí být v takové poloze vůči převodovkám, aby bovdeny nebyly nijak pokrouceny, a dále robot nesmí bránit proudu vzduchu z ventilátorů. Posledním nárokem je, že musí být zachován volný průchod kolem celého stavu, resp. průchod do zkušebny o patro níž. Tyto požadavky schematicky dokumentuje obrázek 16.

Řešením je výroba dvou speciálních stojanů, ke kterým bude robot přišroubován. Z výše uvedených důvodů bude mít každý stojan jiný tvar vzhledem k jeho umístění. Vstupních údajů pro návrh stojanů je několik. Ty hlavní jsou výška a požadovaný směr natočení robota vůči převodovce, vzdálenost od převodovky je dána délkou bovdenů. Jako vedlejší konstrukční omezení považuji již zmiňovaný limitovaný prostor v okolí stavu.

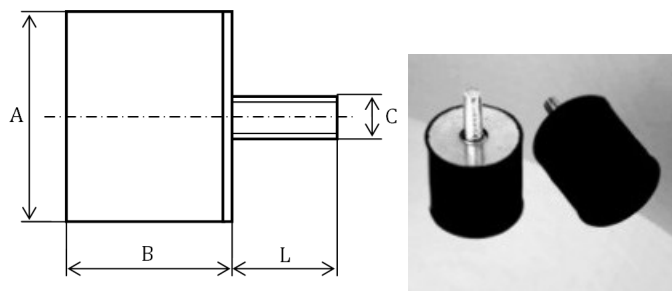


Obrázek 16 – situace ve zkušebně

2.5.2 Popis konstrukce

Oba stojany jsou koncipovány jako svařence ze čtyřhranného profilu 40x40x3. Jejich výrobní výkresy tvoří opět Přílohu A.

Na spodní ploše stojanů jsou přivařeny čtyři matice se závity M8, do nichž se následně zašroubují silentbloky (obrázek 17). Propojení stojanu a robota je realizováno pomocí *výsuvu*. Jedná se o svařenec dvou částí – *trubky výsuvu* a *patky*. Trubka má průměr 33,7 mm a lze ji tak zasunout do jeklu stojanu, čímž je zajištěna možnost natáčet robotem dle potřeby, a to nezávisle na zbytku stojanu. Tato konstrukce rovněž umožňuje změnu výšky vysunutím, resp. zasunutím trubky. Robot je přišroubován k *patce* čtyřmi šrouby M8. Aretace *výsuvu* k vlastnímu tělesu stojanu je provedena pomocí dvou šroubů M10, které se zašroubují do navařených matic v horní části stojanu a dotáhnou se proti trubce uvnitř jeklu.



Obrázek 17 – použité silentbloky [10]

Rozměry použitých silentbloků:

$$A = \varnothing 40 \text{ mm}$$

$$B = 30 \text{ mm}$$

$$C = M8$$

$$L = 20 \text{ mm}$$

2.6 Celková montáž

Montáž robota řazení shrnuje sestavný výkres „Sestava robota řazení“ a celková montáž robotů řazení k jednotlivým stojanům je zachycena na sestavných výkresech „Celková sestava s obdélníkovým stojanem“ a „Celková sestava s kosoúhlým stojanem“. Tyto tři výkresy jsou rovněž součástí Přílohy A.

2.6.1 Popis montáže vlastního robota řazení

Nejprve se k *základní desce* (poz. 6) přišroubují tyto komponenty: *zadní uložení motorů* (poz. 7), *lineární vedení L* (poz. 3), *lineární vedení R* (poz. 4) a *opěrný plech* (poz. 11). Následně se k aktuátorům obou *motorů* (poz. 1 a 2) pomocí *čepu předního* (poz. 13) připevní *mezikusy* (poz. 8) a to tak, že na jednu stranu tohoto čepu se naklepne zajišťovací kroužek STARLOCK (poz. 28), čep se dále prosune dírami a stejným způsobem zajistí i z druhé strany. Takto připravené *motory* se namontují do *zadního uložení motorů* (poz. 7), začepování je provedeno stejným způsobem jako u předního uložení, přičemž mezi oba motory se na *čep zadní* (poz. 12) nasadí *trubka distanční* (poz. 17). K *držáku L* (poz. 9) se přišroubuje *čep volby* (poz. 15) a k *držáku R* (poz. 10) se přišroubuje *čep řazení* (poz. 16) a následně se do obou držáků zašroubuje *čep se závitem* (poz. 14). Takto připravené držáky se

teprve přišroubují k vozíkům lineárního vedení pomocí šroubů M3x6 (poz. 21) doporučeným utahovacím momentem 2 Nm. Pokud jsou *motory* dostatečně vysunuty, může být *mezikus* nasazen na *čep se závitem* a zajištěn samojistící maticí (poz. 23). Po celou dobu montáže je nutné dbát na to, aby vozíky nesjely z lineárního vedení a nevysypaly se tak kuličky. Do děr o průměru 23 mm v *opěrném plechu* se prostrčí *bovdeny* (poz. 5) a zajistí se originálními pružnými *C-kroužky* (poz. 29), které jsou k dispozici po demontáži *bovdenů* z tělesa řazení. *Bovden* řazení se nacvakne na *čep řazení* a *bovden volby* je upevněn na *čepu volby* pomocí *vložky plastové* (poz. 18), která je opět k dispozici po demontáži *bovdenů* z tělesa řazení. Pokud by však byla při demontáži zničena, bylo by nutné vyrobit její obdobu např. z tvrdého plastu a axiální zajištění řešit pomocí pojistného kroužku. Šrouby M8x18 (poz. 19) musí být dotaženy před prvotním uvedením robota do provozu, protože se tak mimo jiné definuje poloha *bovdenů* vůči vozíkům na lineárním vedení.

poznámka:

Pro axiální zajištění čepů motorů jsem použil kroužky STARLOCK, protože nepředpokládám prakticky žádnou demontáž. Pokud by tomu někdy mělo být jinak, lze v *čepu předním* (poz. 13) i *čepu zadním* (poz. 12) vysoustružit drážku a použít jiný typ zajišťovacího kroužku.

Tento montážní postup předpokládá, že *bovdeny* jsou volné, to znamená, že **nej**sou připojeny k převodovce. Prvotní seřízení řeší kap. 4.3.

2.6.2 Popis montáže celkových sestav

Posledním krokem je montáž robota řazení ke stojanům. Nejprve se stojany opatří *silentbloky* (poz. 4) našroubováním do připravených otvorů, následně se do svislého jeklu stojanu nasune *výsuv* (poz. 3), který se upevní dotažením šroubů M10x20 (poz. 5) v žádoucí poloze, a nakonec se pomocí čtyřech šroubů M8x30 (poz. 6) pevně spojí robot řazení s jeho stojanem.

poznámka:

Robot řazení s kosoúhlým stojanem má horší stabilitu než robot s obdélníkovým stojanem, je to dáno přílišným vyosením robota vůči stojanu, těžiště celé konstrukce je tak blízko okraji. Pokud by se míra nestability v opravdovém provozu na místě určení ukázala jako nepřijatelná, muselo by se na stojan umístit závaží, které by těžiště celé konstrukce posunulo více do středu.

3 Hardware robota řízení

Aby robot řízení mohl být nazýván robotem, je nutné mu vštípit „inteligenci“ v podobě ovládacího programu, který bude řídit jeho práci a který vytvoří rozhraní pro komunikaci s obsluhou. Celý problém má nutně dvě neodlučitelné roviny – hardwarovou a softwarovou, jejichž vzájemným propojením vznikne systém ovládající jednotlivé servomotory tak, aby byly splněny funkční požadavky (viz kapitola 2.1).

3.1 Popis použitých hardwarových komponent

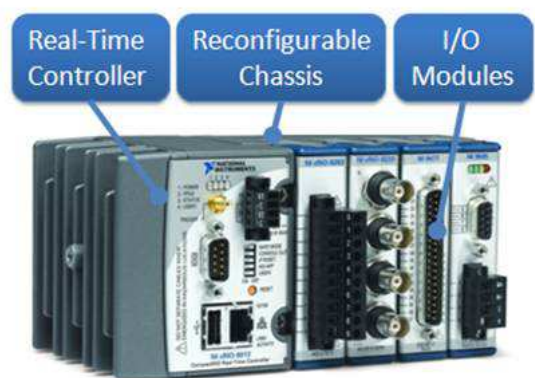
Tato kapitola navazuje na kapitolu 2.3.3 o okrajových podmínkách konstrukce, resp. o použitém hardwaru. Jejím cílem není teoreticky rozebírat všechny vlastnosti jednotlivých systémů, ale vybrat jen ty, které mají přímou souvislost s touto diplomovou prací.

poznámka:

Anglické termíny „controller“ a „chassis“ budou v následujícím textu počestěny na „kontroler“ a „šasi“.

3.1.1 Platforma CompactRIO

Tato platforma slouží nejen ke sběru dat (DAQ), ale i k aktivnímu řízení aplikací prostřednictvím speciálních I/O (IN/OUT) modulů. To je zcela zásadní pro použití při ovládání pohonů. CompactRIO se obecně skládá ze dvou částí, a to kontroleru a šasi. Kontroler obsahuje mikroprocesor sloužící k RT (real-time) výpočtům, tedy výpočtům běžícím



Obrázek 18 – CompactRIO [11]

v reálném čase s garantovanou dobou odezvy. Do šasi se upevňují jednotlivé I/O moduly, kterých existuje celá řada pro různé aplikace, a zároveň je zde umístěno programovatelné hradlové pole – FPGA (Field Programmable Gate Array), které je

základem právě pro rychlé aktivní řízení. Napájecí napětí pro CompactRIO se může pohybovat v rozmezí 9 až 35 VDC.

Více informací lze nalézt na webových stránkách výrobce. [12]

3.1.2 Modul NI 9505

Jedná se o speciálně navržený modul pro ovládání stejnosměrných motorů. Tento modul obsahuje H-můstek [13] pro reverzaci chodu motoru, rozhraní pro komunikaci s enkodérem a snímač aktuálního proudu jdoucího do motoru. Proudová zatížitelnost modulu je trvalých 5A při 40°C.



Více informací lze nalézt na webových stránkách výrobce. [14]

Obrázek 19 – modul 9505 [14]

3.1.3 Zdroj NI PS-16

Tento zdroj transformuje síťové napětí 230 VAC na 24 až 28 VDC při zatížitelnosti 10 A a bude použit pro napájení jak platformy CompactRIO, tak všech čtyřech motorů. Jeho výstupní napětí bude nastaveno na jmenovité napětí motorů, tedy na 24 VDC.

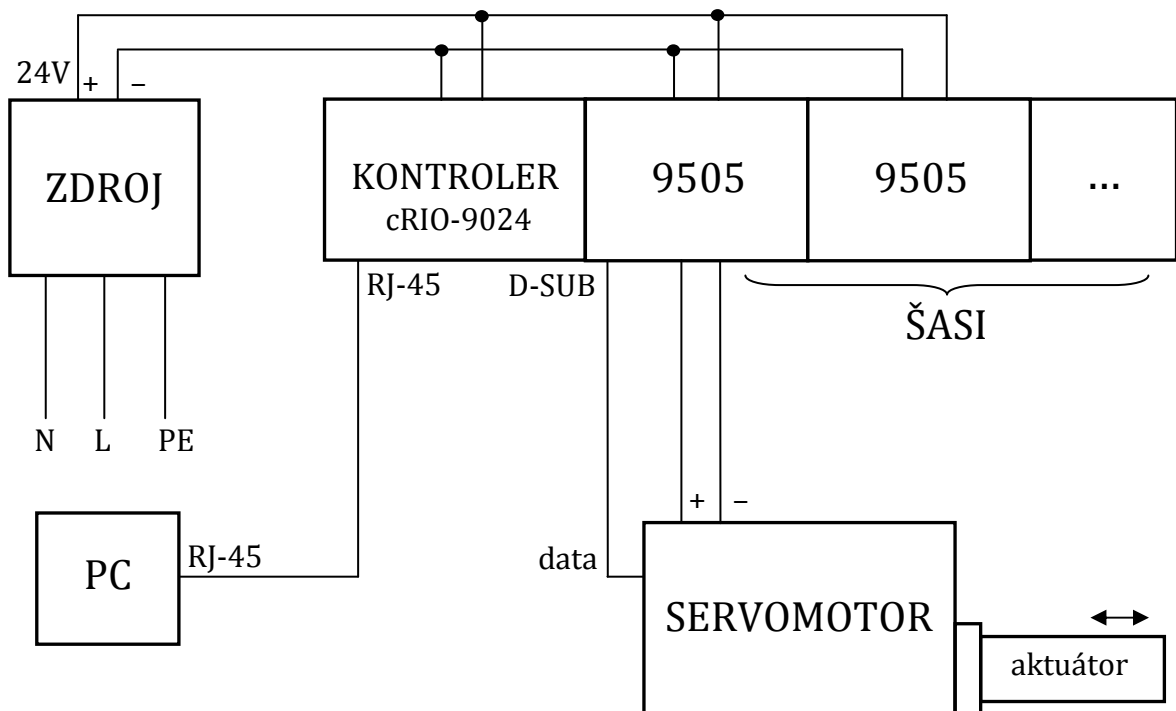
Více informací lze nalézt na webových stránkách výrobce. [15]

3.2 Principiální schéma zapojení

Následující popis principiálního schématu vychází z obrázku 20.

Zdroj stejnosměrného napětí je na jedné straně připojen k síti a na straně druhé napájí kontroler a všechny čtyři moduly, které jsou zasunuty do šasi. Každý modul ovládá právě jeden pohon. Propojení mezi modulem a pohonem je dvojí – silové a datové. Silové realizuje napájení motoru a datové přenos signálu z enkodéru do modulu, který je pro tento účel opatřen D-SUB female konektorem. Celý systém pak komunikuje s počítačem pomocí síťového kabelu.

Výrobce komponent vždy doporučuje vhodné vodiče pro to které propojení. Tato doporučení shrnuje Tabulka 1.



Obrázek 20 – principiální schéma zapojení

Tabulka 1 – Doporučené průřezy vodičů

Propojení	průřez vodiče [mm ²]	specifikace
síť – zdroj	1,5	
zdroj – kontroler	0,82 – 3,31	kroucené, stíněné
zdroj – modul	0,21 – 3,31	kroucené, stíněné
modul – motor (signál)	0,25	kroucené, stíněné
modul – motor (napájení)	min. 0,22	kroucené, stíněné

poznámka:

Průřezy vodičů „zdroj – kontroler“ a „zdroj – modul“ byly přepočteny ze stupnice AWG (American wire gauge) pomocí přepočetni tabulky. [16]

Průřez vodiče modul – motor (signál) převzat z údaje na kabelu vedoucího ze servomotoru.

3.3 Detailní elektrické zapojení

Toto schéma celkového elektrického zapojení je uvedeno na obrázku 21.

Jak přívodní, tak výstupní svorky zdroje jsou opatřeny pružinovým mechanismem, takže upevnění vodičů lze provést bez použití nářadí. Výstupy jsou zdvojené, tzn. dva pro + pól a dva pro – pól. Na šroubovací svorky kontroleru se přivede napájecí napětí ze zdroje, + pól na svorku V1 a – pól na svorku C. Na tento přívod je nutné instalovat ferit, který je součástí balení platformy CompactRIO, ve vzdálenosti 50 – 75 mm před svorkami kontroleru. Napojení modulů se provede ze zbývajících dvou svorek zdroje, aby přívod do kontroleru nemohl být ovlivněn proudy tekoucími do modulů, resp. dále k motorům, a to tak, že + pól se přivede na svorku V a – pól na svorku C modulu. Propojení mezi počítačem a kontrolerem je realizováno pomocí síťového kabelu s klasickými konektory RJ-45, tento kabel se zapojí do zdířky 1 na kontroleru.

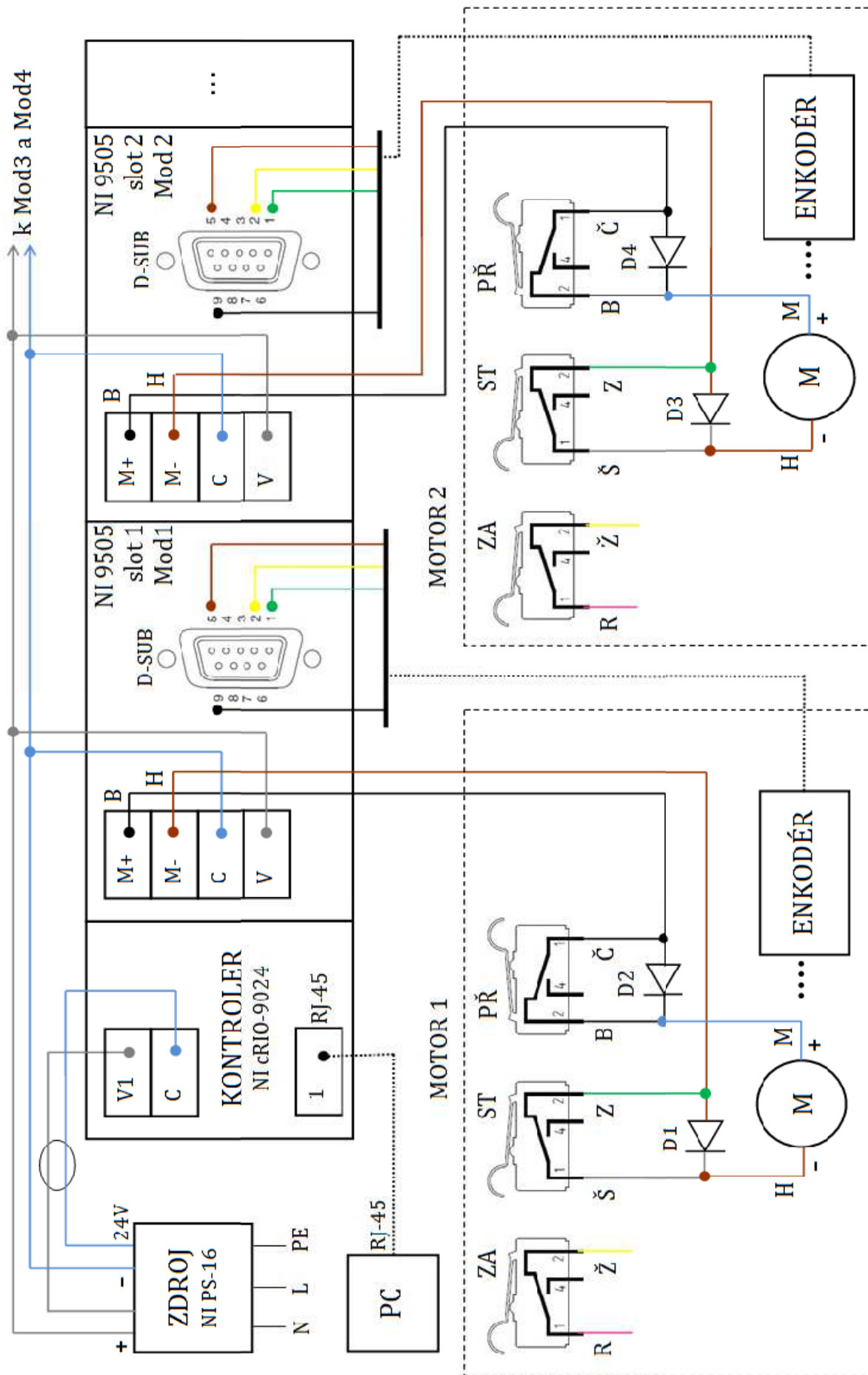
Z každého motoru jsou vyvedeny dva kabely, jeden pro komunikaci s enkodérem a jeden pro napájení, jejich délka je cca 0,5 m. Platforma CompactRIO bude umístěna ve velině celé zkušebny, zatímco poloha robotů je dána polohou převodovek. Proto musely být tyto dva kabely prodlouženy na cca 10 m.

Kabel vedoucí do enkodéru obsahuje čtyři vodiče, jejichž funkci shrnuje Tabulka 2 a zároveň v Příloze B je uveden výkres přímo od výrobce motorů, z něhož tato tabulka vychází.

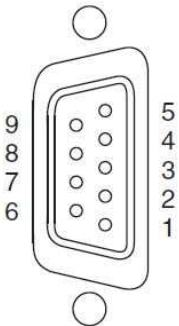
Tabulka 2 – identifikace vodičů pro enkodér

barva	funkce	pin na D-SUB male
bílý	GND (uzemnění)	9
hnědý	+ napájecí napětí (3,8 až 24 VDC)	5
zelený	kanál A enkodéru	1
žlutý	kanál B enkodéru	2

Jak jsem již popsal výše, modul je pro komunikaci s enkodérem vybaven D-SUB female konektorem. Funkce jednotlivých pinů jsou patrné z obrázku 22. Výsledkem tedy je, že kabel vedoucí z enkodéru musí být opatřen D-SUB male konektorem. Na který pin bude připájen který vodič rovněž znázorňuje Tabulka 2.



Obrázek 21 - Detailní schéma elektrického zapojení

Connector	Pin	Signal
	1	Encoder Phase A+
	2	Encoder Phase B+
	3	Encoder Index+ (Phase Z+)
	4	Emergency Stop (E-Stop)
	5	+5 V (output)
	6	Encoder Phase A-
	7	Encoder Phase B-
	8	Encoder Index- (Phase Z-)
	9	Common (COM)

Obrázek 22 – funkce pinů konektoru D-SUB na modulu NI 9505

Kabel realizující napájení se skládá z osmi vodičů, což je dáno tím, že sdružuje skutečné dva napájecí vodiče a vodiče procházející mikrospínači uvnitř motoru. Barevné označení shrnuje Tabulka 3 a zároveň v Příloze B je uveden výkres přímo od výrobce motorů, z něhož tato tabulka vychází. Rozmístění mikrospínačů v motoru ukazuje obrázek 12.

Tabulka 3 – identifikace vodičů pro mikrospínače

Barva	Funkce	Označení mikrospínače na motoru
Růžový	mikrospínač 1 (zadní = ZA)	P-B
Žlutý		
Zelený	mikrospínač 2 (střední = ST)	I
Šedý		
Bílý	mikrospínač 3 (přední = PŘ)	A-F
Černý		
Hnědý	- pól motoru	
Modrý	+ pól motoru	

Nejjednodušší variantou, jak realizovat obvod, který by vypnul zdroj napájení pro motor po rozpojení některého z mikrospínačů a zároveň umožnil návrat z tohoto stavu, je použití diod. Zvolil jsem diodu P1000K, jejíž zatížitelnost je až 10 A. [17]

Předpokládejme, že motor 1 se pohybuje ze střední polohy do polohy přední, tedy hnědý vodič aktuálně představuje + pól, zatímco bílý vodič představuje - pól. Elektrický proud ve vodičích dle dohody teče od + k -, takže po průtoku motorem tento proud nemůže procházet přes diodu D2, která je vůči němu orientována závěrně, ale nutně musí procházet přes přední mikrospínač (PŘ). Pokud ovšem motor dosáhne koncové polohy, tento mikrospínač (PŘ) rozepne, čímž obvod přeruší a motor se zastaví. Přejde-li z řízení požadavek na obrácený směr pohybu, v modulu dojde k přepólování, takže z hnědého přívodního vodiče se nyní stává - pól a z bílého vodiče + pól. Dioda D2 je tak orientována propustně vůči novému směru proudu a motor se tím může dát do pohybu na druhou stranu. V druhé krajové poloze by tento princip fungoval analogicky.

3.4 Koncepce ovládání procesu řazení

Ze schématu celkového elektrického zapojení (obrázek 21) zbývá už jen odůvodnit zapojení jednotlivých mikrospínačů u obou motorů.

Aby řídicí software mohl správně ovládat jednotlivé motory, musí bezpodmínečně znát jejich okamžitý stav, avšak cesta k tomu, jak toto zajistit není přímočará. Z konstrukce motoru se nabízejí dvě možnosti. První z nich je ovládat motory pomocí integrovaných mikrospínačů, což by znamenalo, že řízení má k dispozici tři rozhodné polohy. Druhá možnost je řídit polohu motoru pomocí enkodéru, který je konstruován jako rotační inkrementální snímač, tedy zaznamenává počet pulsů při průjezdu z jedné polohy do druhé. Tím, že má dva kanály, lze po vyhodnocení rozlišit, na kterou stranu se motor právě pohybuje. Nedokáže však dát informaci, kde se motor nachází absolutně vzato, řekne pouze, o kolik se motor relativně posunul vůči předchozímu stavu.

První pokus, jak schéma ovládání postavit, bylo použít právě mikrospínače pro určení lichého a sudého převodového stupně a neutrálu. Tři možné polohy bovdenu řazení, tři mikrospínače. Tato myšlenka se záhy ukázala být nerealizovatelnou. Mikrospínače nebylo možné posunout tak blízko k sobě, jak to vyžaduje pracovní rozsah pohybu bovdenu pro jednotlivé převodové stupně, jinými slovy reálná vzdálenost mezi neutrálem a lichým převodovým stupněm je menší než 35 mm (obrázek 12).

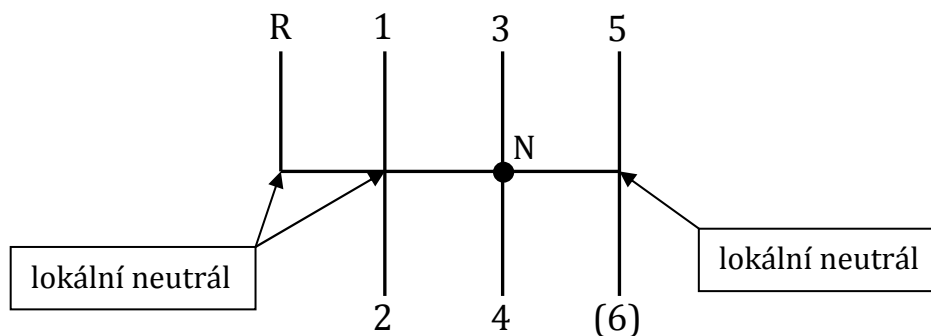
Byl jsem si vědom skutečnosti, že „správná“ koncepce toho, jak ovládat řazení jednotlivých převodových stupňů, je pro budoucí programování zcela zásadní. Zde je právě nejvíce patrné provázání mezi hardwarem a softwarem. Špatné rozvržení hardwaru může mít za následek zbytečně složitý software v tom lepším případě a v tom horším nefunkčnost celého systému.

Výsledná koncepce respektuje pevně danou polohu motorů vůči lineárním vedením a kombinuje oba možné způsoby řízení pohybu motorů. Tato koncepce je shrnuta v Tabulce 4 a pro lepší představu doplňuji obrázek 23, kde jsou znázorněny dráhy řadicí páky, jak je vnímá řidič. **Pohybovat řadicí pákou od zpátečky k V. (a příp. VI.) převodovému stupni znamená vytahovat bovden volby, resp. zasouvat motor; pohybovat řadicí pákou od sudého převodového stupně k lichému znamená opět vytahovat bovden řazení, resp. zasouvat motor.** Vzhledem ke schématu celkového elektrického zapojení (obrázek 21) motor 1 obsluhuje bovden řazení, zatímco motor 2 obsluhuje bovden volby. Dvojice motorů na druhém robotu je pojmenována analogicky – motor 3 obsluhuje bovden řazení a motor 4 obsluhuje bovden volby.

Číselné hodnoty v závorkách v tabulce 4 jsou vysvětleny v kapitole 4.3.

Tabulka 4 – koncepce ovládání procesu řazení

VOLBA		ŘAZENÍ	
R	mikrospínač (PŘ) a (0)	sudé	mikrospínač (PŘ) a (-1100)
I a II	enkodér (240)	neutrál	enkodér (-620)
III a IV	enkodér (500)	liché	mikrospínač (ST) a (0)
V (a VI)	enkodér (720)	X	



Obrázek 23 – dráhy řadicí páky

Poznámka:

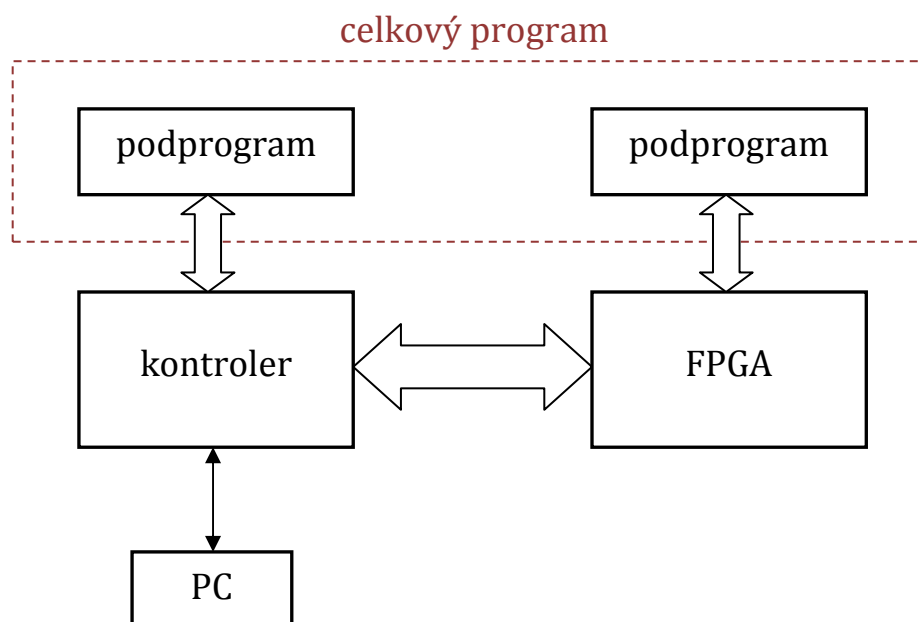
Střední mikrospínač (ST) motoru 2, resp. motoru 4 nemá reálně při procesu řazení žádnou funkci. Slouží pouze k tomu, aby např. při poruše došlo k rozpojení obvodu v nějaké krajové poloze.

4 Řídicí program

Volbou koncepce pro ovládání řazení budiž hardwarová rovina připravena. Tato kapitola nyní bude pojednávat o rovině softwarové. Řídicí program je dle zadání proveden v LabVIEW.

4.1 Struktura programu

Ze schématu na obrázku 24 je patrné, že pro ovládání robota jsou nutné podprogramy dva, neexistuje však přímá metoda, jak vytvořit architekturu celkového programu a tyto dva podprogramy od sebe oddělit. Obecně vzato lze říci, že podprogram v FPGA by měl obsluhovat základní funkce celkového programu, vše ostatní zvládne kontroler. FPGA zajišťuje odezvu v řádu mikrosekund a provádí fyzické řízení motorů, avšak omezení spočívá v menším počtu použitelných funkcí vzhledem k možnostem u programování v kontroleru. Nahrávání programu do FPGA probíhá na hardwarové úrovni – hradlová pole se musí překonfigurovat, což je časově náročné, řádově to mohou být až desítky minut, zatímco nahrávání programu do kontroleru trvá řádově sekundy. Proto je časově neúnosné příliš experimentovat s podprogramem pro FPGA, sebemenší změna znamená opětovnou konfiguraci.



Obrázek 24 – struktura ovládacího programu

4.2 Podprogram pro FPGA

Tento program (FPGA_robot.vi) sdružuje čtyři funkce pro ovládání servomotoru, to vše samozřejmě čtyřikrát, pro každý motor zvlášť:

- řízení rychlosti pohybu motoru pomocí PWM (Pulse-Width Modulation), [18]
- odečet aktuální polohy z informací přicházejících z enkodéru,
- ruční nulování polohy,
- snímání okamžitého proudu procházejícího motorem.

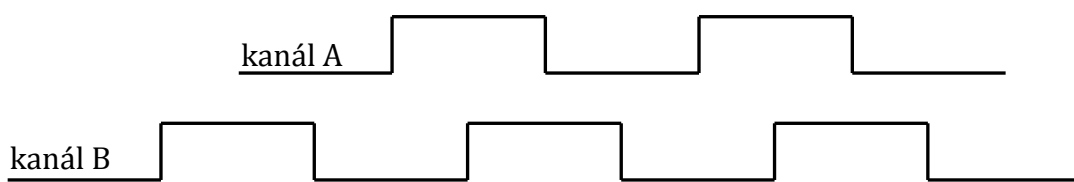
Jediným vstupním parametrem pro tento program je požadovaná rychlost pohybu servomotoru, která lze ovládat buď přímo ručně pomocí čelního panelu, nebo přes program běžící v kontroleru.

Nyní k jednotlivým funkcím podrobněji. Jejich grafickou reprezentaci ukazují obrázky 26, 27 a 28.

Základní frekvence PWM je zvolena jako 1 kHz, tedy perioda tohoto signálu je 1 ms. Z toho také plyne, že rozsah rychlostí je -1000 až $+1000$. Základ algoritmu tvoří struktura „Flat Sequence“, která reálně řídí spínání motoru. Nastavme nyní rychlost na 750. Do prvního okna „Flat Sequence“ přichází 250 ($1000 - 750 = 250$) a do druhého okna přímo 750. To má za následek, že motor je vypnut po dobu $250 \mu s$ a spuštěn po dobu $750 \mu s$, je tak dosažena tříčtvrtinová rychlost pohybu motoru v rámci každé milisekundy. Pokud by rychlost motoru byla příliš malá, je jeho pohyb úplně zastaven, tato hranice je nastavena na ± 10 .

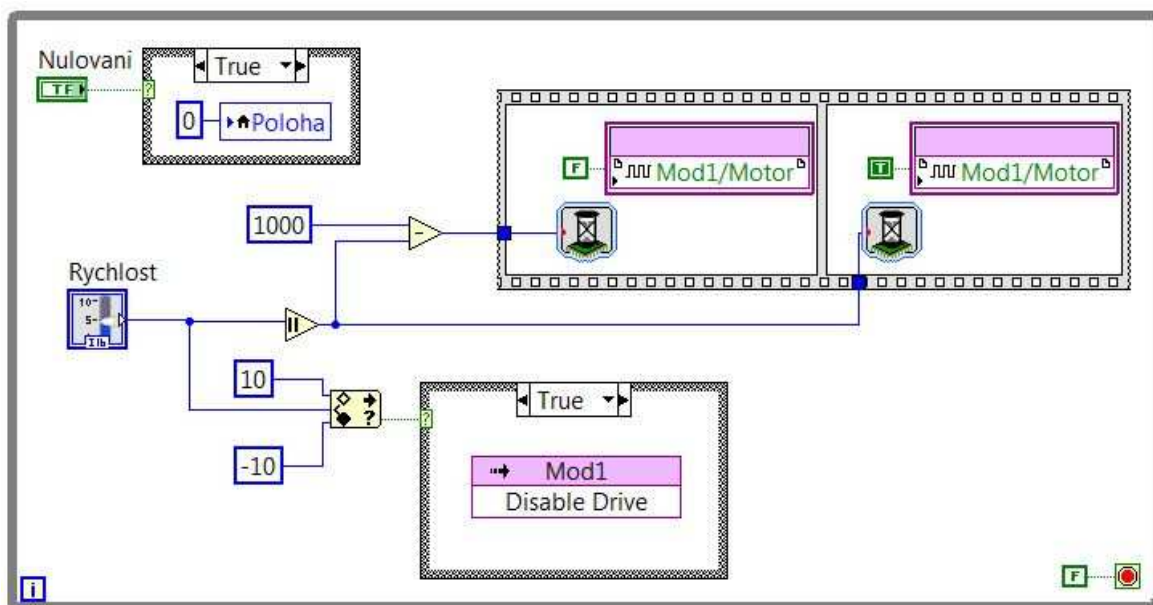
Stejná nikdy nekončící „While“ smyčka rovněž obsahuje tlačítko pro nulování polohy enkodéru. Kdykoliv se tlačítko použije, do aktuální polohy enkodéru se zapíše nula a enkodér tak začíná čítat pulsy od tohoto okamžiku.

Enkodér je vybaven dvěma kanály, jejichž signál je vzájemně posunut o čtvrt periody, viz obrázek 25. Tento signál je v LabVIEW interpretován jako booleovské hodnoty Tru/False. Pokud provedeme transformaci hodnot T/F na 1/0 a pokud budeme brát kanál B jako referenční a kanál A jako rozhodný, pak v každém opakování „While“ smyčky dostaneme binární číslo buď 00, nebo 10, což v dekadické soustavě je 0, nebo 2. Na základě znalosti hodnoty aktuální a hodnoty z předešlé smyčky lze rozhodnout, kterým směrem se motor pohybuje, tzn. má-li se nový puls enkodéru k aktuální poloze přičíst, či odečíst.

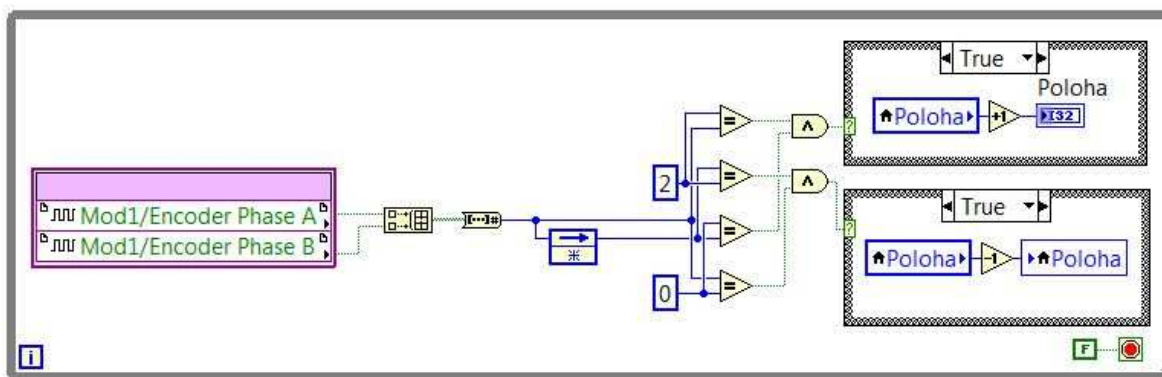


Obrázek 25 – posun kanálů enkodéru

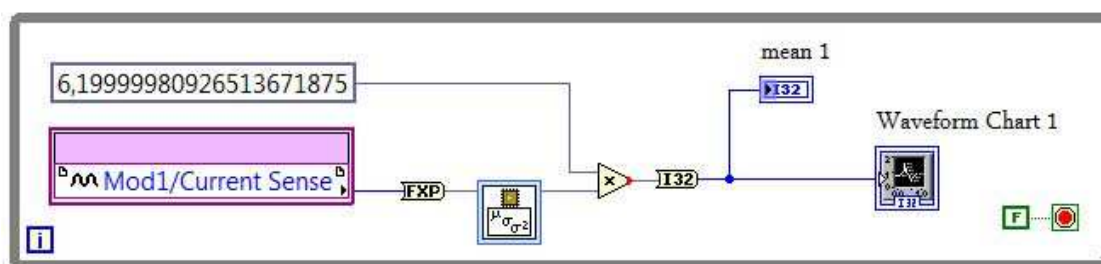
Poslední funkcí je odečet okamžitého proudu procházejícího motorem. Tato funkce má smysl pouze pro motory řazení, u motorů volby teoreticky nehrozí zaseknutí a tím pádem růst proudu, více o této problematice je uvedeno v podkapitole 4.4.3.2. „While“ smyčka snímá proud s periodou $20 \mu\text{s}$, následuje průměrování přes 250 vzorků, aby byly vyhlazeny zátky s největší frekvencí, a tím získáváme průměrnou hodnotu proudu za každých 5 ms . Dalším důležitým krokem je vynásobení této hodnoty konstantou $6,2 \text{ mA/LSB}$ (Least Significant Bit) čímž je výslednému číslu dán fyzikální rozměr miliampér. [19] Smyčka dále vytváří graf, kde lze sledovat průběh proudu při řazení. Aby tento algoritmus správně fungoval, je nutné vždy připravit odpovídající datový typ pro tu kterou funkci.



Obrázek 26 – PWM regulace a nulování polohy



Obrázek 27 – odečítání polohy z hodnot dvou kanálů enkodéru



Obrázek 28 – odečítání proudu

Funkce jednotlivých servomotorů na zkušebním stavu shrnuje následující tabulka 5.

Tabulka 5 – přiřazení funkce jednotlivým servomotorům

Označení servomotorů	Co ovládá?
Mot1	řazení na zkoušené převodovce
Mot2	volbu na zkoušené převodovce
Mot3	řazení na technologické převodovce
Mot4	volbu na technologické převodovce

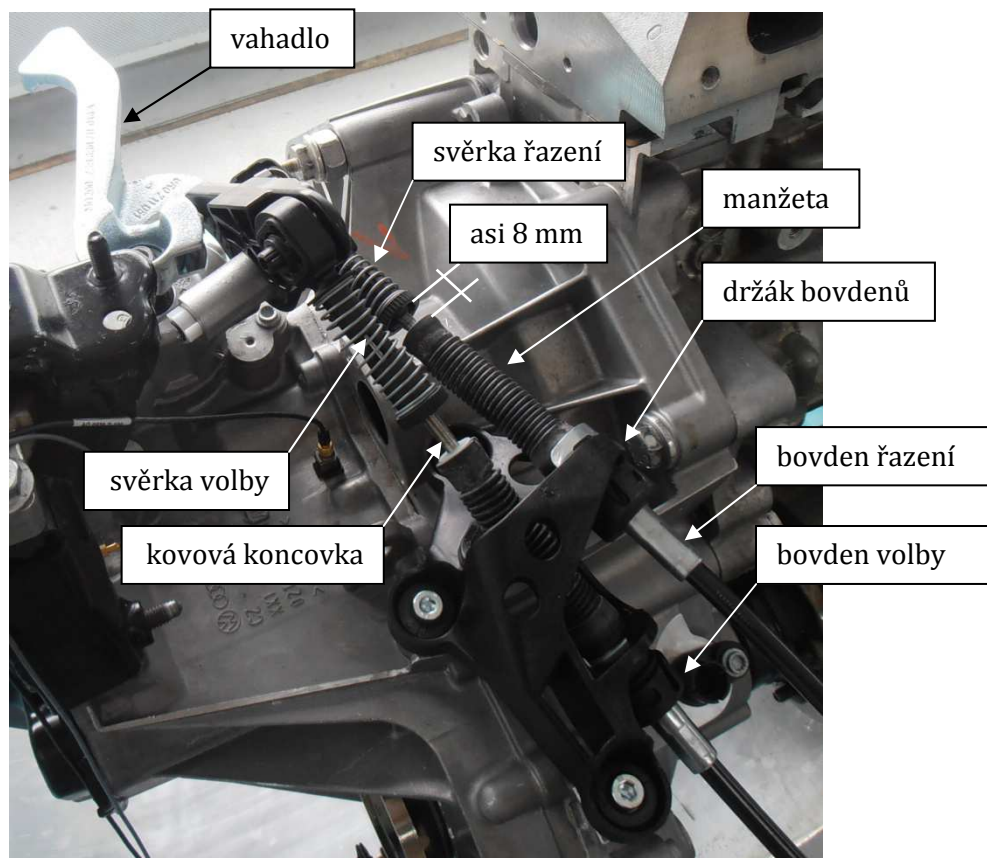
4.3 Prvotní seřízení robota

Robot je smontován dle montážního postupu uvedeného v kap. 2.6.1. Nyní se odmontuje samojistící matice (poz. 23) na obou vozících, čímž jsou motory uvolněny a lze je odklopit a vhodným předmětem podložit tak, aby se vozíky mohly volně pohybovat po vedení.

Další fází je propojení robota řazení s převodovkou, což je realizováno pomocí originálních dílů používaných automobilkou. Nejprve připevníme plastový držák bovdenů k převodovce pomocí třech šroubů M8x30. Ve vhodných krajových polohách řadicí páky převodovky s tlumicím závažím, viz obrázek 10, dále jen „vahadlo“, umístíme kovové koncovky bovdenů do otevřených svěrek. Pro zařazený V. stupeň by vozík bovdenu volby měl mít vůli asi 5 až 8 mm od konce lineárního vedení. Zařadíme tedy V. stupeň a vymezíme tuto vzdálenost. Kovovou koncovku bovdenu volby sevřeme pomocí svěrky volby. Následně kovovou koncovku bovdenu řazení sevřeme pomocí svěrky řazení tak, aby vzdálenost mezi touto svěrkou a pryžovou manžetou bovdenu byla asi 8 mm, viz obrázek 29. Pokud teď budeme ručně pohybovat vahadlem, tyto pohyby se budou zpětně přenášet přes bovdeny až k vozíkům na lineárních vedeních.

Toto nastavení budiž prohlášeno za výchozí. Poloha bovdenů vůči převodovce a robotu řazení lze ovlivnit dvěma způsoby:

1. mírou zasunutí kovové koncovky bovdenů do svěrek
2. posuvem *opěrného plechu* (poz. 11) vůči *základní desce* (poz. 6).



Obrázek 29 – připojení bovdenů na převodovku

UPOZORNĚNÍ: Aktuátor servomotoru musí být vždy veden, nesmí se nechat volně otáčet. Ruční manipulace šroubováním je nepřípustná. Rotace aktuátoru v blízkosti mikropsínačů může způsobit jejich zničení.

Veškeré ovládání robota řazení je prováděno pomocí čelního panelu podprogramu pro FPGA. Vahadlem zařadíme zpátečku a provedeme seřízení motoru volby, resp. jeho mikropsínače (PŘ) a následně i mikropsínače (ST). Postup je svým způsobem iterační. Otáčením šroubu A–F doprava (**jedna otáčka odpovídá 0,7 mm posuvu**), či doleva, viz obrázek 12 a tabulka 3, posuneme mikropsínač (PŘ) do předpokládané polohy, následně ručně nastavíme rychlost motoru na maximum a čekáme, až mikropsínač (PŘ) rozepne a motor tak zastaví. Vzdálenost, ze které motor najíždí na mikropsínač, musí být dostatečně dlouhá, aby bylo dosaženo plné rychlosti. Nyní motor sklopíme zpět a pokusíme se nasadit *mezikus* (poz. 8) na *čep se závitem* (poz. 14). Tento postup opakujeme, dokud se to nepodaří tak, aby v bovdenu nevznikala žádná zbytková síla, resp. *mezikus* musí jít nasadit na *čep se závitem* úplně volně. Mikropsínač (ST) seřídíme cca 10 mm za polohu pro V. (případně VI.) převodový stupeň, aby se nemohl účastnit běžného provozu a sloužil pouze jako pojistka pro vypnutí motoru. Seřízení mikropsínačů motoru řazení provedeme analogicky, a to na zařazeném III. a IV. převodovém stupni.

Nastavení enkodérů je opět velmi podobné. Nejprve popíši polohu neutrálu z pohledu bovdenu řazení. Motor řazení je v pracovní poloze, tedy je nasazen na čepu, a motor volby je odklopen. Ručně nastavíme plnou rychlost vzad pro motor řazení, čímž je zařazen III. převodový stupeň. Nyní ručně pomocí tlačítka na čelním panelu vynulujeme polohu enkodéru. Motor řazení odklopíme, abychom mohli vahadlem zařadit neutrál. Další postup je iterační a podobný postupu pro nastavení mikropsínačů. Ručně ovládáme rychlost tohoto motoru, dokud se nepodaří volně nasadit *mezikus* na *čep se závitem*. Až je to splněno, odečteme z čelního panelu už správnou hodnotu udávající polohu neutrálu a poznamenejme si ji.

Nyní popíši nastavení enkodéru motoru volby. Motor řazení je odklopen a motor volby je v pracovní poloze. V tomto okamžiku nesmí být zařazen žádný

převodový stupeň. Ručně nastavíme plnou rychlost vpřed pro motor volby, čímž je zvolena řadicí vidlička zpátečky. Nyní ručně pomocí tlačítka na čelním panelu vynulujeme polohu enkodéru. Další postup už je analogický postupu předcházejícímu a musí být proveden celkem třikrát, viz tabulka 4.

Výsledné polohy, do nichž mají motory podle enkodérů najíždět, jsou také shrnuty v Tabulce 4 stejně jako hodnoty zařazených převodových stupňů.

Seřízení druhého robota je shodné.

poznámka:

Toto nastavení mikrospínačů a enkodérů je platné pouze pro moje prvotní seřízení robota. Pokud by z jakéhokoli důvodu došlo k posunu *opěrného plechu* (poz. 11) vůči *základní desce* (poz. 6), musí být robot seřízen nanovo. Výměna jedné převodovky za druhou, ovšem stejného typu, je popsána v **Manuálu pro robota řazení**, který tvoří samostatnou přílohu této diplomové práce.

4.4 Podprogram pro kontroler

Základní funkce robota jsou zajištěny podprogramem pro FPGA, následující kapitoly se budou zabývat už jen podprogramem, resp. podprogramy běžícími v kontroleru. Ve zbytku této podkapitoly bude popsána logika ovládání obou robotů. O provázání robotů s hlavním řídicím programem celého stavu bude pojednávat celá následující kapitola. Grafické znázornění vlastního programu vzhledem k jeho velikosti není dost dobře možné a, myslím si, ani účelné, proto ve zbytku této práce, budou funkce programu popisovány slovně s pomocí schémat či diagramů a případně i s pomocí fragmentů programu reálného.

4.4.1 Program kalibrace.vi

Inkrementální charakter snímače v enkodéru neumožňuje odečítat polohu motoru v absolutním slova smyslu, což má za následek, že při spuštění řídicí aplikace software nemá informaci, v jaké poloze se jednotlivé motory nacházejí. Proto při každém novém spuštění musí dojít k tzv. kalibraci.

Volba nulových poloh inkrementálních snímačů, které jsou popsány v kapitole 4.3 o prvotním seřízení robota řazení, není náhodná, ale souvisí právě s touto kalibrací. Sekvence pohybů motorů musí být zvolena tak, aby mohla být vykonána vždy, resp. z kterékoli polohy – neutrál či všechny rychlostí stupně.

Kalibrační sekvence:

Prvním pohybem je pohyb motorů řazení plnou rychlostí vzad, čímž dojde k zařazení některého lichého převodového stupně nebo zpátečky. Do údaje enkodéru o poloze motorů řazení je zapsána nula. Následuje pohyb týchž motorů do neutrálu pomocí speciálního podprogramu nazvaného „vykonavatel“ (dále jen „vykonavatel“), jehož popis bude uveden níže. Nyní se už mohou rozjet motory volby plnou rychlostí směrem ke zpátečce. Tak jako předtím se samy zastaví po rozpojení mikrospínače. Do údaje o poloze motorů volby je zapsána nula. Opět následuje pohyb týchž motorů do neutrálu pomocí „vykonavatele“. Na závěr sekvence se zkontroluje, zda neutrál je dosažen s požadovanou přesností, kterou jsem zvolil na ± 5 pulsů enkodéru na všech čtyřech motorech.

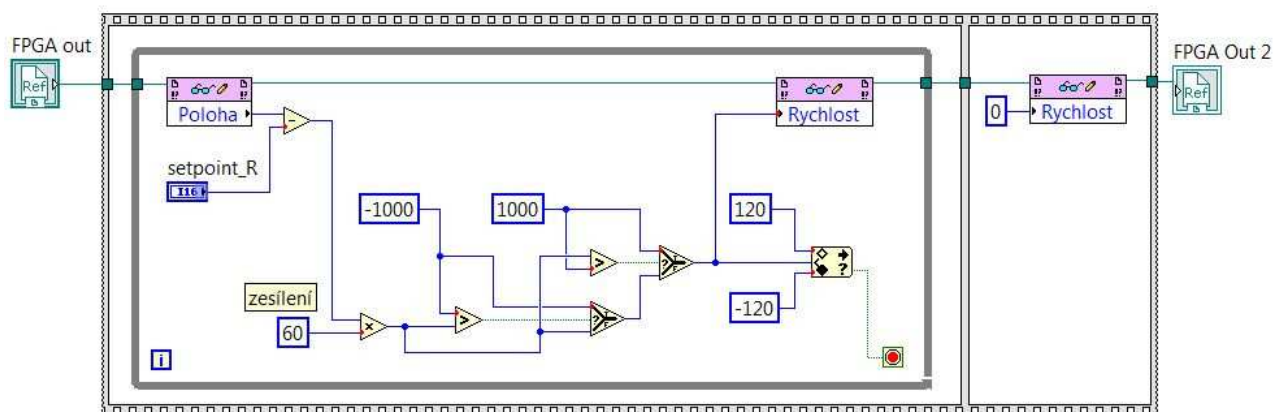
Zde narážíme na skutečnost, vycházející z konfigurace hardwaru a zvolené koncepce ovládání robota řazení, že ovládání motoru, má-li být pohyb zastaven mikrospínačem, je jiné, než ovládání pro zastavení pomocí předdefinované polohy pro enkodér. V prvním případě stačí do podprogramu běžícím v FPGA poslat požadavek na maximální rychlost a čekat, zbytek zařídí mikrospínač, který obvod mechanicky rozpojí. Tím je zajištěno, že motor bude dojíždět stále do stejné přednastavené polohy, u níž, vzhledem k seřízení, víme, že zbytková síla v bovdenu bude po zařazení nulová. Při předpokládaném pracovním zatížení motoru prakticky neexistuje vazba mezi rychlostí jeho pohybu a právě tímto zatížením. Lze tak usuzovat z práce pana Jana Dvořáka [20] a z grafu závislosti rychlosti motoru na zatížení, viz Příloha B. V druhém případě je to však jinak, a proto i vznikl „vykonavatel“, viz obrázek 30, jehož grafickou interpretaci uvádím z důvodu správného pochopení tohoto základního stavebního kamene celého programu.

4.4.2 Program „vykonavatel“

„Vykonavatel“ je krátký program, jehož úkolem je přemístit aktuátor z výchozí polohy do polohy požadované pouze ze znalostí údajů z enkodéru. Program se spustí, jakmile obdrží informaci o požadované poloze, např. -620 pro neutrál motoru řazení (v programu je tato proměnná pojmenována „setpoint“) a ukončí se po jejím dosažení. Program nejprve odečte hodnotu „setpoint“ od aktuální polohy a tento rozdíl vynásobí konstantou, v tomto případě je to 60. Tato konstanta má vlastně význam zesílení P-regulátoru. Zákony dynamiky se uplatňují při každém pohybu, a proto motor nelze zastavit z plné rychlosti na místě. Zastavení musí být tím pádem regulováno tak, aby zpomalení nebylo skokové, nýbrž pozvolné, a tuto funkci právě plní zmíněný P-regulátor.

Předpokládejme, že motor se nachází 20 pulsů enkodéru před hodnotou „setpoint“. Následně dojde k vynásobení zesílením 60 ($20 \cdot 60 = 1200$). Rychlost pohybu by tedy měla být 1200, to ovšem nejde, protože maximum je 1000, motor tak pokračuje ve svém pohybu dál plnou rychlostí. Za několik dalších průběhů smyčky „While“ motor dospěje např. o 8 pulsů dál. Tam už je ale situace jiná. P-regulátor začíná fungovat, a proto rychlost motoru je už jen 720 ($12 \cdot 60 = 720$). Takto v každém následujícím vykonání smyčky „While“ klesne rychlost právě o 60. Jakmile rychlost dosáhne hodnoty ± 120 , tj. dva pulsy enkodéru před hodnotou „setpoint“, dojde k ukončení této smyčky. V následujícím okně je pohyb zastaven úplně. Toto opatření je zde provedeno z důvodu toho, aby motor nemohl zůstat stát např. jeden puls enkodéru před cílovou polohou a zmařit tak ukončení této smyčky. Rychlost 60 totiž reálně motorem už nepohybuje.

Smyčka také obsahuje algoritmus, který právě přiřadí maximální rychlost ± 1000 pro teoretické hodnoty rychlosti mimo uskutečnitelný interval rychlostí $< -1000; +1000 >$ a zároveň umožňuje používat téhož „vykonavatele“ pro pohyb motoru vpřed i vzad.



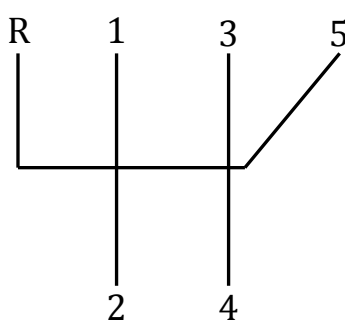
Obrázek 30 – program „vykonavatel_R“ pro Mot1

Prováděné zkoušky řazení na převodovce ukázaly, že zesílení P-regulátoru má zásadní vliv na úspěšné přeřazení. Pokud požadujeme razantnější pohyb motoru, je třeba použít zesílení vyšší a nechat tak více působit dynamiku systému, zatímco pro přesné najetí do požadované polohy zesílení nižší. Použití vyššího zesílení má však za následek, že motor požadovanou polohu může přejet. Z tohoto důvodu existují dva druhy „vykonavatelů“, co se týče zesílení. Celkem však existuje „vykonavatelů“ šest, protože každý z nich je naprogramován pro ovládání právě jednoho motoru. Jejich použití shrnuje tabulka 6. „R“ v názvu znamená řazení, „V“ znamená volbu, druhé „V“ v pořadí symbolizuje použití pro volbu V. stupně a „2“ na konci je určena pro robota u technologické převodovky.

Větší zesílení pro volbu V. rychlostního stupně jsem zvolil proto, že skutečná dráha řadicí páky mezi neutrálem a právě V. stupněm není přesně pravoúhlá, jak je znázorněno na obrázku 23, ale je více šikmá dle následujícího obrázku 31. Tím při pravoúhlém řazení robota dojde k většímu napnutí bovdeny volby, kterému je vnucena koncová poloha rovnou, aniž by se bovden řazení pohnul. K uvolnění bovdeny volby dojde až po samotném zařazení V. rychlostního stupně, viz podkapitola 4.4.3.3.

Tabulka 6 – použití programů „vykonavatel“

Název_programu.vi	Motor	Co obsluhuje	Zesílení
vykonavatel_R	Mot1	vyřazení do neutrálu	60
vykonavatel_R_2	Mot3	vyřazení do neutrálu	60
vykonavatel_V	Mot2	volba ŘV I., II. a ŘV III., IV.	60
vykonavatel_V_2	Mot4	volba ŘV I., II. a ŘV III., IV.	60
vykonavatel_V_V	Mot2	volba ŘV V.	90
vykonavatel_V_V_2	Mot4	volba ŘV V.	90

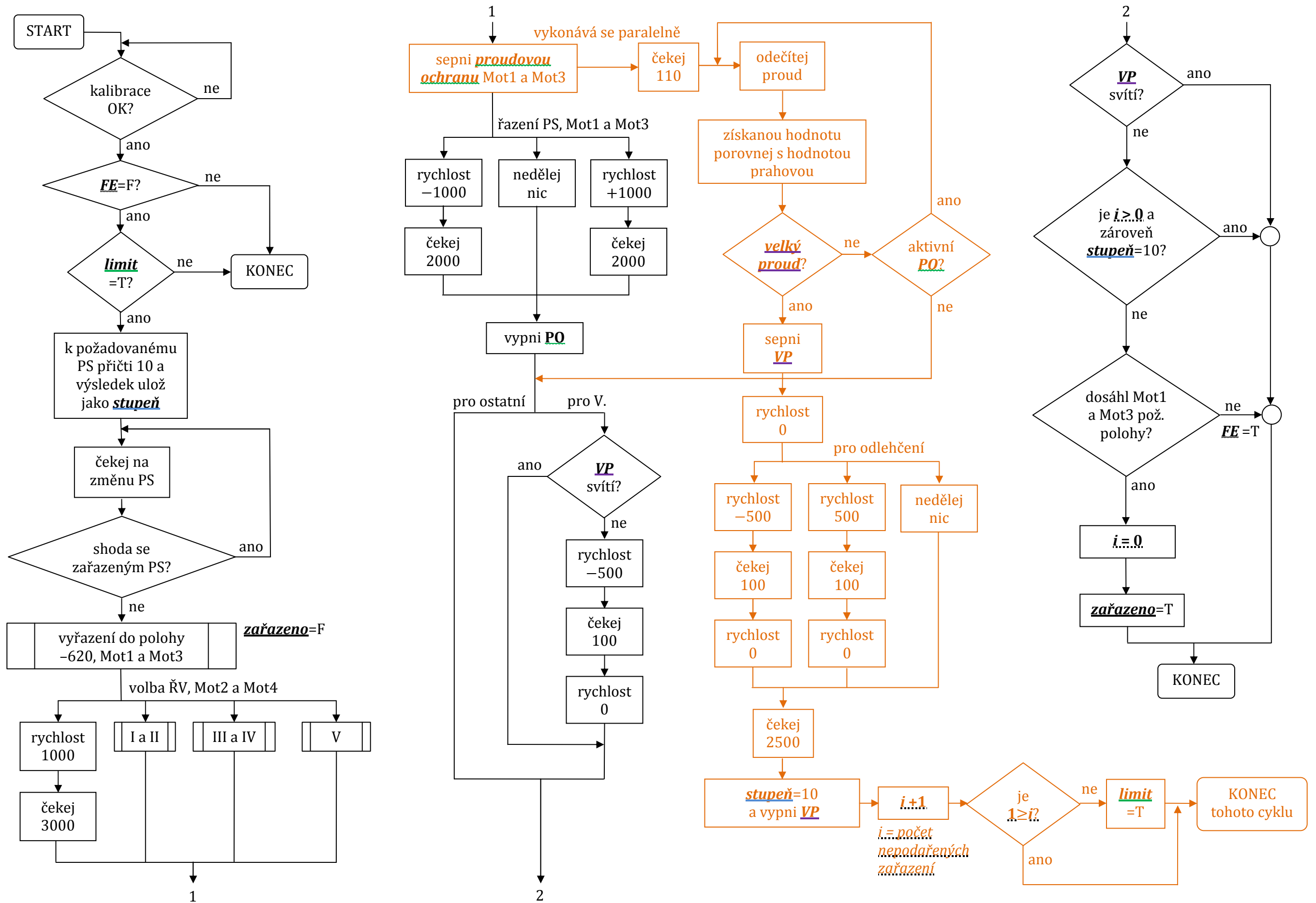


Obrázek 31 – reálná dráha V. stupně

4.4.3 Řadicí smyčka včetně proudové ochrany

Řadicí smyčka tvoří jádro celého programu (robot_samostatny.vi), doposud popisované části ovládacího programu jsou podpůrné algoritmy pro její funkci; bez nich by však nemohla samostatně pracovat. **Následující popis se váže k samostatně pracujícímu robotu řazení bez vazby na hlavní řídicí program celé zkušebny.**

Pro snazší pochopení řídicích algoritmů robota řazení jsem sestrojil diagram, který zachycuje běh tohoto programu v celé jeho šíři. Tento diagram je zobrazen na následujícím obrázku 32.



Obrázek 32 – diagram funkce robota řazení

4.4.3.1 Řadicí smyčka část 1.

Řadicí smyčku tvoří struktura „While“, jejíž ukončovací podmínkou je ruční zmáčknutí tlačítka STOP na hlavním panelu, běží tedy neustále, až do zastavení uživatelem, s periodou 20 ms. Uživatelský vstup do této smyčky je pouze jeden, a to požadovaný převodový stupeň (PS), který se má zařadit. Uživatelský výstup je také jen jeden, a to, zda je zařazeno, nebo není, ovšem s tou informací, že robot po zastavení detekuje, proč se zastavil pomocí indikátorů hodnot v proměnných limit a fatal error.

Po spuštění programu robota řazení se nejprve automaticky spustí kalibrace, která do tohoto programu odešle hodnotu T/F (True/False), jestli kalibrace byla úspěšná, nebo ne. Tato hodnota následně vstoupí do řadicí smyčky. Uvnitř řadicí smyčky je pak načtena proměnná limit, která opět nabývá hodnot T/F. Pokud je vše v pořádku, má hodnotu True, funkce této proměnné bude vysvětlena v následující podkapitole. Dalším krokem, který se provede uvnitř řadicí smyčky, je přičtení čísla 10 k proměnné požadavek a uložení této nové proměnné jako stupeň, viz tabulka 8. Tato operace je nutná, aby v paměti programu zůstal původní požadavek na zařazení, i když smyčka proběhne opět nanovo. Další výpočet před spuštěním řadicí sekvence je porovnání požadavku aktuálního s požadavkem předešlým. Pokud se tyto dvě čísla shodují, robot nebude opět řadit totéž, ale bude čekat na změnu požadavku uživatelem, na výstupu se objeví False. Jakmile je požadavek změněn, proměnná se přepne na True. Čtvrté porovnání má funkci takovou, aby při prvním průběhu řadicí smyčky robot neřadil požadavek, který svítí na čelním panelu ještě předtím, než jej uživatel poprvé změní. Poslední kontrola je načtení negace hodnoty v proměnné fatal error (FE). Pokud je vše v pořádku, má tato negace hodnotu True. Její význam bude vysvětlen v podkapitole 4.4.3.3. Spuštění řadicí sekvence je ve skutečném programu, na rozdíl od diagramu, podmíněno pětinasobným logickým operátorem typu AND. Všechny vstupy musejí být True, aby řadicí sekvence byla spuštěna. Toto rozhodnutí shrnuje tabulka 7. Pokud kterýkoli ze vstupů nabyde hodnotu False, neprovede se nic.

Tabulka 7 – rozhodování před začátkem řazení

Vstup	Možné hodnoty	Operátor
kalibrace ok?	T/F	AND
je v proměnné <i>limit</i> hodnota True?		
požadavek není shodný s požadavkem předešlým?		
není to první průběh smyčky?		
je negace hodnoty v proměnné <i>fatal_error</i> True?		

V logice programu robota řazení je každému požadovanému převodovému stupni, proměnná *požadavek*, přiřazena proměnná *stupeň* dle výše uvedeného algoritmu, v následující tabulce 8 je označení shrnuto. Pro neutrál je zvolena nula a pro zpátečku číslo 7.

Tabulka 8 – přiřazení proměnných k požadovanému PS

Požadovaný PS	1	2	3	4	5	6	N	R
Proměnná <i>požadavek</i>	1	2	3	4	5	6	0	7
Proměnná <i>stupeň</i>	11	12	13	14	15	16	10	17

Řadicí sekvence je tvořena strukturou „Flat Sequence“, aby byla dodržena následnost vykonávání operací. První okno této struktury (z celkových pěti) obsahuje pokyn pro odeslání čísla –620 do programu „vykonavatel_R“ a „vykonavatel_R_2“, čímž je vyřazeno do lokálního neutrálu, viz obrázek 37, a přiřazení hodnoty False do proměnné *zařazeno*. Tyto úkony jsou vykonány vždy při každém průběhu řadicí smyčky.

Další okno se nemůže spustit, dokud neskončí programy „vykonavatel...“ z prvního okna. Jakmile k tomu dojde, přichází na řadu struktura „Case“ ve druhém okně. Tato struktura reálně obsahuje 6 různých případů a jejím cílem je zvolit řadicí vidličku (ŘV) pomocí programů „vykonavatel...“. Pro názornost uvádím tabulku 9, kde jsou jednotlivé případy shrnuty. S touto tabulkou souvisí ještě tabulky 4 a 5. Ve všech případech, kromě zpátečky, jsou do programů „vykonavatel...“ poslány čísla, kam mají motory najet – hodnota setpoint. V případě 17, tzn. při volbě řadicí vidličky zpátečky, je polohování motorů 2 a 4 řešeno

pomocí rozpojení obvodu mikrospínačem, stejně jako při kalibraci. Do motorů je tak poslán pokyn na plnou rychlost vpřed. Následuje čekání 3000 ms, potom teprve může dojít k posunu do dalšího okna.

V následujícím okně je do proměnné proudová ochrana (PO) přiřazena hodnota True. Tato skutečnost má za následek, že se běh programu rozdvojí a paralelně s běžící řadicí smyčkou se začne vykonávat i následná sekvence po spuštění právě proudové ochrany, viz následující podkapitola 4.4.3.2.

Pokračování popisu řadicí smyčky řeší podkapitola 4.4.3.3. Toto rozdělení je nutné pro srozumitelnost textu.

Tabulka 9 – volba řadicí vidličky

Případ	Úkon	„vykonavatel...“
Default, 10	500	V a V_2
11, 12	240	V a V_2
13, 14	500	V a V_2
15	720	V_V a V_V_2
16	500	V a V_2
17	v textu výše	

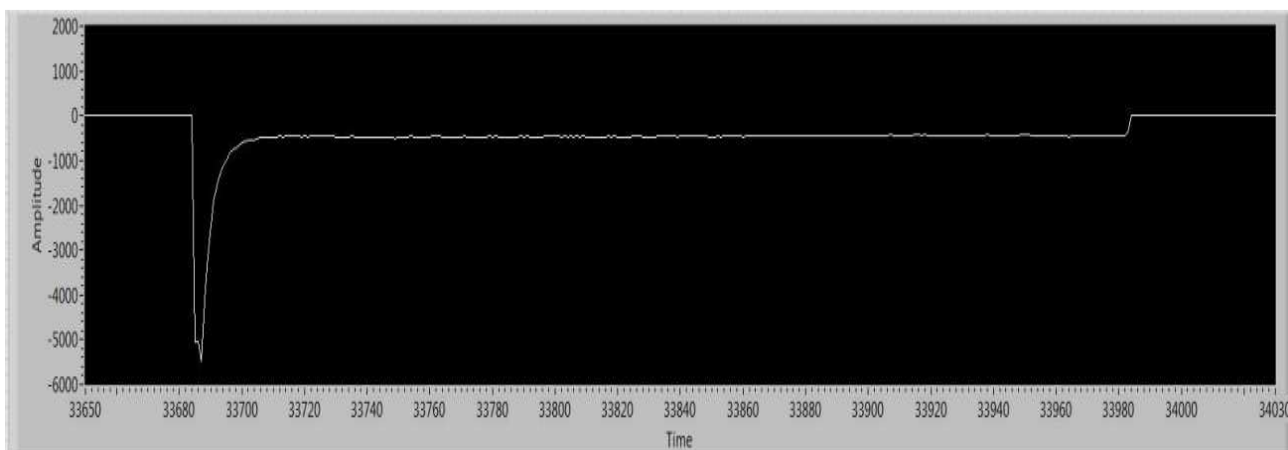
4.4.3.2 Proudová ochrana

Motivací pro vznik proudové ochrany je zamezení možnosti zničení některé součásti robota nebo vnějšího řadicího mechanismu při špatné konfiguraci zubů synchronizační spojky vůči sobě při pokusu o zařazení. Nejslabším místem v celém řetězci robot – řadicí vidlička v převodovce jsou plastové díly zajišťující propojení bovdenů s řadicím hřídelem. Avšak i tato eventualita destrukce je nepřípustná a robot jí musí umět předejít. Z tohoto důvodu má smysl použít proudovou ochranu pouze při vlastním řazení převodových stupňů, v jiném okamžiku během procesu řazení nepředpokládám, že by byla tato ochrana nutná.

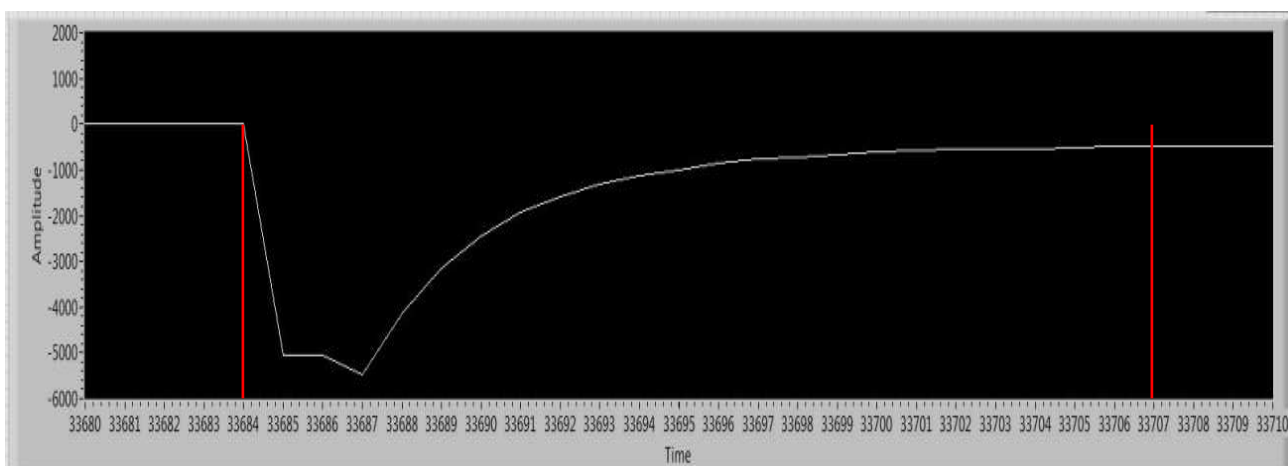
Proudová ochrana je založena na odečítání aktuálního proudu tekoucího motorem. Vzhledem k funkci jednotlivých motorů je tato ochrana aktivní pro motor 1 (Mot1) a motor 3 (Mot3). Hodnota proudu v FPGA je obnovována každých 5 ms (viz kapitola 4.2), a proto jsem zvolil periodu opakování kontrolní smyčky

také 5 ms. Spuštění proudové ochrany v řadící smyčce, bezprostředně předtím než bude řazeno, po 110 ms spustí právě tuto kontrolní smyčku typu „While“, která každých 5 ms porovná absolutní hodnoty proudů s přednastavenou prahovou hodnotou. Pokud se zakázaná hodnota proudu během řazení neobjeví, je ochrana vypnuta, čímž se zároveň ukončí i tato kontrolní smyčka. Anebo se nadproud objeví a začne probíhat sekvence připravená pro tuto situaci, vysvětlena ale bude níže.

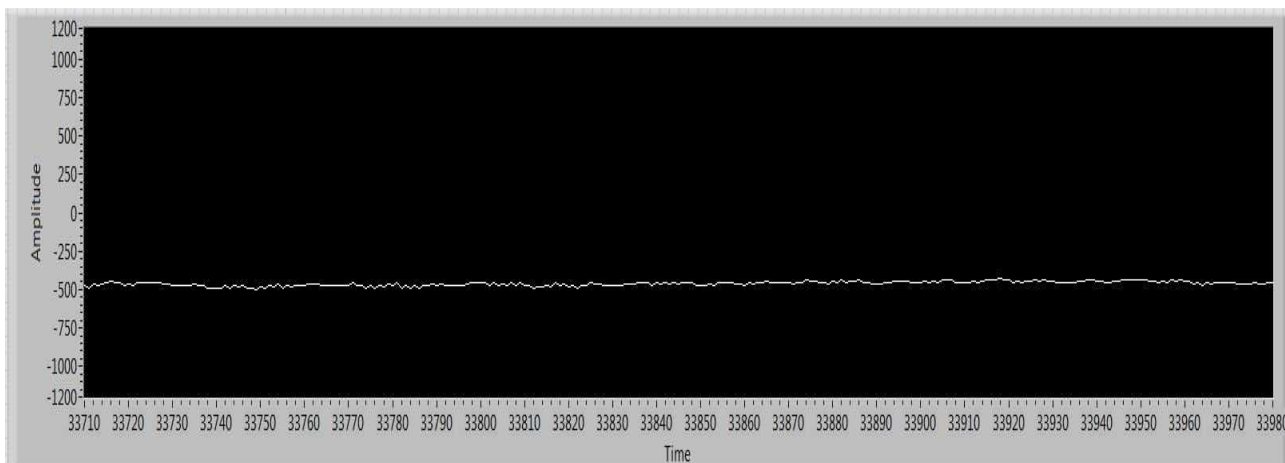
Nyní musí být objasněny dva jevy, a to čekání 110 ms mezi sepnutím proudové ochrany, resp. začátkem skutečného řazení, a spuštěním kontrolní smyčky a za druhé, nastavení oné prahové hodnoty proudu. Oboje lze snadno ukázat na grafech závislosti proudu (mA) na čase (5 ms) při řazení převodového stupně, viz obrázky 33, 34 a 35.



Obrázek 33 – průběh proudu motorem při řazení; osa x: 5 ms, osa y: 1 mA



Obrázek 34 – detail rozběhového proudu; osa x: 5 ms, osa y: 1 mA



Obrázek 35 – ustálený stav během řazení; osa x: 5 ms, osa y: 1 mA

Tyto grafy byly sejmuty při řazení **bez propojení s převodovkou**, abych tak získal informace o tom, jaký proud teče motorem bez zatížení. Osa x má měřítko 5:1, tedy mezi časem 33 684 a 33 685 uplyne 5 ms, osa y má měřítko 1:1.

Při sepnutí stojícího motoru požadavkem na plnou rychlost se zde objeví rozběhový proud dosahující špičkové hodnoty přibližně 5500 mA. Proudová ochrana ovšem na tento proud nesmí reagovat, protože se vyskytuje při každém spuštění motoru a není to jev nebezpečný, ale přirozený. Z grafu na obrázku 34 lze odečíst, že časový interval mezi spuštěním motoru a ustálením hodnoty proudu je 110 ms, což je výsledek výpočtu $(33707 - 33684) \cdot 5$, a je to také doba čekání před spuštěním vlastní kontrolní smyčky proudové ochrany.

Ustálená hodnota proudu protékajícího motorem je dle obrázku 35 500 mA. Výrobce motoru poskytuje graf závislosti proudu na zatížení, viz Příloha B, ovšem počátek neodpovídá mému měření proudu. Pomocí tohoto grafu a mého měření jsem dopočítal rovnici, která jednoznačně přiřazuje proudový limit požadované maximální síle v bovdenu. Jako počátek tedy uvažuji 500 mA při nulovém zatížení a jako konec 5000 mA při 1200 N.

$$I_{limit} = \frac{5000 - 500}{1200} F + 500 [mA]$$

$$I_{limit} = 3,75 \cdot F + 500 [mA]$$

Výchozí hodnotu síly volím 150 N dle měření, které je provedeno v práci pana Jana Dvořáka. [20] Tato síla odpovídá 1063 mA, což zaokrouhlím dolů na

1000 mA. Pokud se v reálném provozu ukáže, že tato prahová hodnota je nedostačující, lze ji samozřejmě libovolně změnit. Podle dosavadních zkoušek provedených na převodovkách limit 1000 mA funguje.

Pokud se při řazení objeví nadproud, rozsvítí se kontrolka velký proud a je spuštěna sekvence následných úkonů. Nejprve je do rychlosti obou motorů zapsána nula, čímž je tedy dán pokyn k zastavení. Podotýkám, že jsou zastaveny oba motory, i když se nadproud objevil jen na jednom z nich. Odečet proudu funguje pro každý motor zvlášť, ale tato následná sekvence je společná. Bezprostředně po zastavení je zde naprogramován krátký puls v délce 100 ms pro pohyb motorů zpět vůči směru, kam se doposud pohybovaly z důvodu jejich okamžitého odlehčení. Samotné provedení je realizováno pomocí struktury „Case“, jejíž jednotlivé případy shrnuje tabulka 10.

Tabulka 10 – odlehčení bovdenů po detekci nadproudu

Případ	Úkon 1	Úkon 2
Default, 10	nic	
11, 13	500 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 100 ms	zastavení motorů
12, 14	-500 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 100 ms	zastavení motorů
15	500 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 100 ms	zastavení motorů
16	nic	
17	500 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 100 ms	zastavení motorů

Následuje čekání 2500 ms, které je zde nutné pro synchronizaci s řadicí smyčkou, která se vykonává paralelně.

V posledním okně je do proměnné velký proud přiřazena hodnota False a do proměnné stupeň je přiřazena hodnota 10. To má za následek, že řadicí smyčka načte tuto hodnotu a provede vyřazení do neutrálu, ovšem při dalším načtení proměnné stupeň už je zde opět původní požadavek na změnu převodového stupně zvětšený o 10 a řadí se tak podruhé. Posledním krokem v tomto okně je přičtení jedničky do proměnné i, která doposud byla nula, protože se jedná o první pokus

nového požadavku na řazení, a porovnání této nové hodnoty s přednastavenou konstantou. Pokud požadujeme pouze jedno opakování řazení, bude tato konstanta rovna jedné, pokud dvě opakování, bude konstanta dva atd. Dokud je konstanta větší nebo rovna proměnné i , v proměnné limit je hodnota True. Jakmile se to změní, do proměnné limit se zapíše False, kontrolka na hlavním panelu zhasne a robot se zastaví. Proměnná i vlastně určuje počet nepodařených pokusů zařadit.

4.4.3.3 Řadicí smyčka část 2.

Řadicí smyčku jsme opustili v okamžiku sepnutí proudové ochrany, nyní bude vysvětleno vlastní řazení požadovaného převodového stupně a vyhodnocení správného zařazení.

Struktura „Flat Sequence“ pokračuje polem, kde je provedeno řazení požadavku opět za pomoci příkazu „Case“, který obsahuje šest různých případů stejně jako v předchozím poli. Pro názornost uvádím tabulku 11, kde jsou jednotlivé případy shrnuty.

Tabulka 11 – řazení požadovaného PS

Případ	Úkon 1	Úkon 2	Úkon 3
Default, 10	nic	vypnutí PO	
11, 13	-1000 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 2000 ms	vypnutí PO	
12, 14	+1000 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 2000 ms	vypnutí PO	
15	-1000 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 2000 ms	vypnutí PO	odlehčení bovdeny
16	nic	vypnutí PO	
17	-1000 pro Mot 1 a Mot 3 čekání 2000 ms	vypnutí PO	

Pokud během řazení proudová ochrana nezaznamená nadproud, je to jeden z předpokladů, že je zařazeno, a následuje vypnutí této ochrany. Toto platí i u V. stupně, pokračování je však jiné. Vzhledem k tomu, že dráha pro jeho zařazení není pravoúhlá (viz obrázek 31 a poslední odstavec kapitoly 4.4.2), bovden řazení by po

úspěšném zařazení zůstal napnutý, což je dle zadání nepřijatelný stav. Musí proto dojít k jeho odlehčení ihned po samotném zařazení. Sekvence pohybů je použita stejná jako u odlehčování při detekci nadproudu ve smyčce proudové ochrany, tzn. impuls dlouhý 100 ms pro pohyb motorů zpět.

Posledním okno má za úkol provést vyhodnocení řazení. Jak jsem již napsal, správné zařazení je vázáno jednak na detekci nadproudu a za druhé na porovnání počtu načtených pulsů enkodéru s hodnotou očekávanou. Toto porovnání je provedeno v rámci struktury „Case“, která obsahuje čtyři různé případy. V každém okně kromě případu, kdy je volen neutrální, je porovnán aktuální údaj enkodéru s hodnotou teoretickou dle tabulky 4 s určitou mírou nejistoty pomocí příkazu „In Range?“ Veškeré potřebné parametry shrnuje následující tabulka 12. Horní a dolní limity byly odhadnuty sledováním skutečných koncových poloh při řazení. V případě volby neutrálu nebylo řazeno, tudíž výsledkem je rovnou hodnota True. Pro V. stupeň dochází k odlehčení bovdenů, proto se limity liší od ostatních lichých stupňů. Výsledkem tohoto porovnání je booleovská hodnota (T/F), která je negována a následně nazvána *fatal error* (FE). Negativní výstup je nutnou podmínkou správného zařazení. Je-li však pozitivní znamená to, že došlo k vážnému selhání robota, např. rozpínací mikrospínač se pohnul vlivem provozu nebo byl přerušen datový či napájecí kabel servomotoru, více v 5. kapitole. Pokud je tedy zjištěna hodnota True v proměnné *fatal error*, robot se zastaví stejně jako při detekci hodnoty False v proměnné *limit* a na hlavním panelu se rozsvítí příslušná kontrolka.

Tabulka 12 – limity pro kontrolu dle teoretické hodnoty

Případ	Teoretická hodnota dle tab. 4	Horní limit	Dolní limit
Default, 10	odeslána hodnota True		
11, 13, 17	0	40	-40
12, 14	-1100	-1060	-1140
15	není	-10	-80

Leží-li počet načtených pulsů enkodéru v daném intervalu kolem hodnoty teoretické a zároveň není-li indikován nadproud, je fyzicky zařazeno, tedy do proměnné zařazeno je zapsána hodnota True.

To má za následek vynulování proměnné *i*. Součástí vyhodnocení je také algoritmus, který má za úkol zajistit, aby při onom řazení neutrálu během vykonávání následné sekvence po detekci nadproudu nemohl být tento stav logikou robota chápán jako zařazeno. Jednoduchý porovnávací výpočet dokáže tento stav rozpoznat, protože může nastat právě tehdy, když je proměnná *i* větší než nula a zároveň v proměnné stupeň je hodnota 10.

poznámka:

Je pravděpodobné, že následná praxe při používání robota řazení ukáže, že hodnoty pro horní a dolní limity z tabulky 12 potřebují jistou korekci, aby správně plnili funkci, pro kterou byly navrženy.

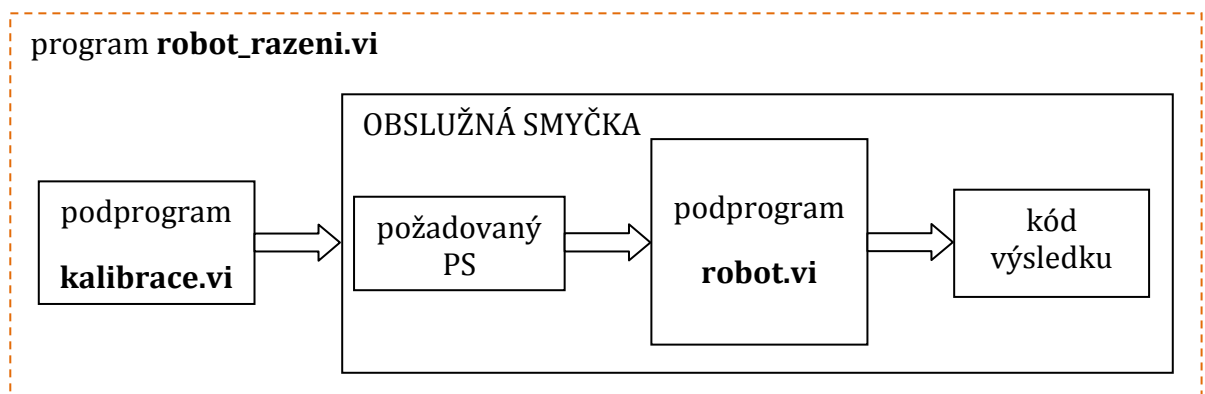
5 Problematika integrace do řídicího SW celého stavu

Doposud popisovaný program (robot_samostatny.vi) je naprogramován pro samostatné ovládání robotů bez vazby na řídicí SW celého stavu. Následující kapitola popisuje nutné úpravy, aby program pro ovládání robota řazení mohl pracovat jako podprogram. A zároveň popisuje nároky kladené na řídicí SW stavu za strany robota řazení.

5.1 Úpravy a změny oproti samostatně pracujícímu programu

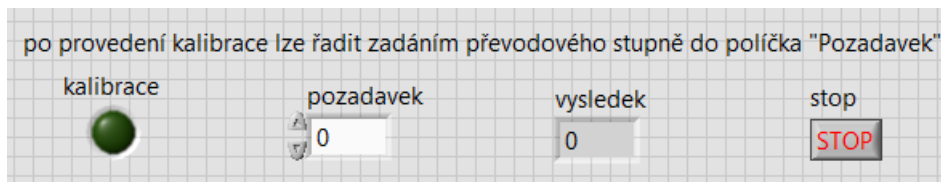
5.1.1 Obslužná smyčka

Abych mohl ověřit, že podprogram robot.vi funguje, musel jsem vytvořit nový hlavní program (robot_razeni.vi), jehož schéma je znázorněno na obrázku 36.



Obrázek 36 – schéma programu robot_razeni.vi

Po spuštění hlavního programu robot_razeni.vi je nejprve provedena kalibrace. Do obslužné smyčky a pak dále do podprogramu robot.vi vstupuje její výsledek, a to buď hodnota True, nebo False. Tím je také zajištěna následnost operací, protože obslužná smyčka nezačne fungovat, dokud neobdrží tuto informaci. Zároveň je do proměnné kalibrace přiřazena hodnota False, aby indikátor na hlavním panelu, viz obrázek 37, ukazoval aktuální hodnotu. Diagram funkce podprogramu robot.vi je znázorněn na obrázku 38.



Obrázek 37 – hlavní panel programu robot_razeni.vi

Obslužná smyčka plní několik úkolů. Za prvé hlídá, aby nebyl řazen dvakrát za sebou stejný požadavek a za druhé, aby se neřadil požadavek, který svítí na čelním panelu při spuštění, a program čekal na změnu požadavku uživatelem. Jsou-li následně obě tato kritéria vyhodnocena operátorem AND jako True, robot začne řadit a do proměnné výsledek je přiřazena hodnota 255, jakožto kód výsledku. Tato komunikace bude vysvětlena níže. Po ukončení řazení je tato hodnota přepsána výslednou hodnotou z řadicího robota. Jsou-li ale vyhodnocena jako False, robot neřadí a v proměnné výsledek je ponechána aktuální hodnota. Toto rozhodování je řešeno strukturou „Case“.

5.1.2 Program robot.vi

Vstupy do podprogramu robot.vi jsou tři – booleovská hodnota kalibrace (T/F), požadavek na řazení a reference pro komunikaci s FPGA, výstupy jsou dva – kód výsledku v proměnné výsledek a výstup reference pro komunikaci s FPGA.

Podotýkám, že tato podkapitola popisuje pouze změny oproti programu robot_samostatny.vi.

Před vstupem do řadicí smyčky je proměnná požadavek přepočítána na proměnnou stupeň. Dále následuje kontrola pomocí logického operátoru AND stejně jako u samostatného programu s tím rozdílem, že není kontrolováno, jedná-li se o první řazení nebo o opakování téhož požadavku na řazení, tyto funkce přebrala obslužná smyčka. Kontrola je tak pouze trojnásobná, viz tabulka 7.

Řadicí smyčka má ještě několik dalších úprav. První z nich je opětovný přepočet proměnné požadavek na proměnnou stupeň ve druhém okně struktury „Flat Sequence“ u volby řadicí vidličky. Tento úkon je nutný z důvodu řazení neutrálu v rámci sekvence po zaznamenání nadproudu. V samostatně pracujícím programu se provedl automaticky při dalším obnovení řadicí smyčky. Druhou je její řádné ukončení po úspěšném zařazení. Je-li v proměnné zařazeno hodnota

True, je tato hodnota zároveň použita právě pro ukončení řadicí smyčky, smyčky proudové ochrany a ve výsledku celého podprogramu robot. Ukončení celého programu lze rovněž realizovat zmáčknutím tlačítka STOP na hlavním panelu. Třetí úpravou je definování stavu po překročení nastaveného počtu pokusů o zařazení v rámci jednoho spuštění podprogramu robot, v logice programu se jedná o hodnotu False v proměnné *limit*, a stavu po detekování hodnoty True v proměnné *fatal_error*. Zvolil jsem, že při prvním jmenovaném stavu robot vyřadí do neutrálu a následně ukončí podprogram a při druhém jmenovaném stavu dojde pouze k ukončení programu. Obě tato ukončení jsou spojena s odesláním patřičného kódu výsledku.

Smyčka proudové ochrany zůstává beze změny.

5.1.3 Kód výsledku

Poslední úpravou je změna komunikace programu robot.vi s okolím. Je nutno si uvědomit, že robot.vi bude komunikovat výhradně s počítačem, a nikoli s člověkem tak, jak tomu bylo u programu robot_samostatny.vi. Pro bezproblémový běh řídicí aplikace a pro snazší hledání případných chyb bylo také potřeba doplnit diagnostikování poruchových stavů více konkrétně, ne jen pomocí dvou proměnných – *limit* a *fatal_error*.

Koncepce byla zvolena následující. Vybral jsem osm různých poruch, které mohou nastat dle možností odečítání různých parametrů z robotů řazení. Porucha budiž definována booleovskými hodnotami T/F. Z těchto osmi hodnot jsem sestavil pole o osmi prvcích, které následně převádím do desítkové soustavy, přičemž pozice 1 odpovídá nejméně významnému bitu (LSB), zatímco pozice 8 nejvíce významnému bitu (MSB). Následující tabulka 13 přiřazuje jednotlivé chyby k pozicím v poli. Výsledný kód chyby je tedy dán součtem všech dílčích hodnot. Libovolná kombinace chyb je tak jednoznačně určena. Toto číslo se zobrazí na čelním panelu programu robot_razeni.vi po ukončení podprogramu robot.vi a na základě této informace může dále řídicí program celého stavu patřičně reagovat. **V případě, že řazení proběhlo úspěšně, což odpovídá hodnotě True v proměnné *zařazeno*, je součet nula.** Je-li např. součet maximálně 63 včetně, pak nastal *fatal_error*. Nebo, je-li součet buď 64, nebo 128, byl detekován nadproud.

Tabulka 13 – přiřazení chyby k pozicím v poli

Pozice č.	Obecný popis chyby	Konkrétní místo	Odpovídající hodnota
1	počet načtených pulsů enkodéru neodpovídá hodnotě teoretické, což uvnitř programu znamená <i><u>fatal error</u></i> = T	Mot1 při řazení I, III nebo R	$2^0 = 1$
2		Mot3 při řazení I, III nebo R	$2^1 = 2$
3		Mot1 při řazení V	$2^2 = 4$
4		Mot3 při řazení V	$2^3 = 8$
5		Mot1 při řazení II nebo IV	$2^4 = 16$
6		Mot3 při řazení II nebo IV	$2^5 = 32$
7	detekován nadproud při posledním pokusu o zařazení v rámci jednoho požadavku, <i><u>velký proud</u></i> = T	Mot1	$2^6 = 64$
8		Mot3	$2^7 = 128$

V samotném programu je tento způsob vyhodnocení řešen po ukončení všech smyček pomocí příkazu „Built Array“, kam jsou načteny hodnoty T/F všech výše uvedených proměnných. Poslední příkaz je „Boolean Array to Number“, který provede převod tohoto pole právě do desítkové soustavy.

5.2 Požadavky na řídicí SW celého stavu

Vzhledem k tomu, že uzavřený zkušební stav včetně robotů by měl fungovat plně automaticky, je nutné pro řídicí program definovat sekvenci úkonů po obdržení jakéhokoli výsledku z robota řazení. Tyto postupy shrnuje tabulka na obrázku 39.

Můžeme rozlišit čtyři základní stavy, které mohou nastat. Prvním stavem je, že výsledkem je číslo nula, tzn. vše je v pořádku. Musíme však předpokládat nejhorší variantu, což by znamenalo zařazené neshodné převodové stupně nebo variantu, že na jedné převodovce je zařazen požadovaný převodový stupeň a na druhé vypadl do neutrálu. Tomu je potřeba přizpůsobit rozběh stavu. Byla navržena sekvence úkonů, která tyto předpoklady respektuje.

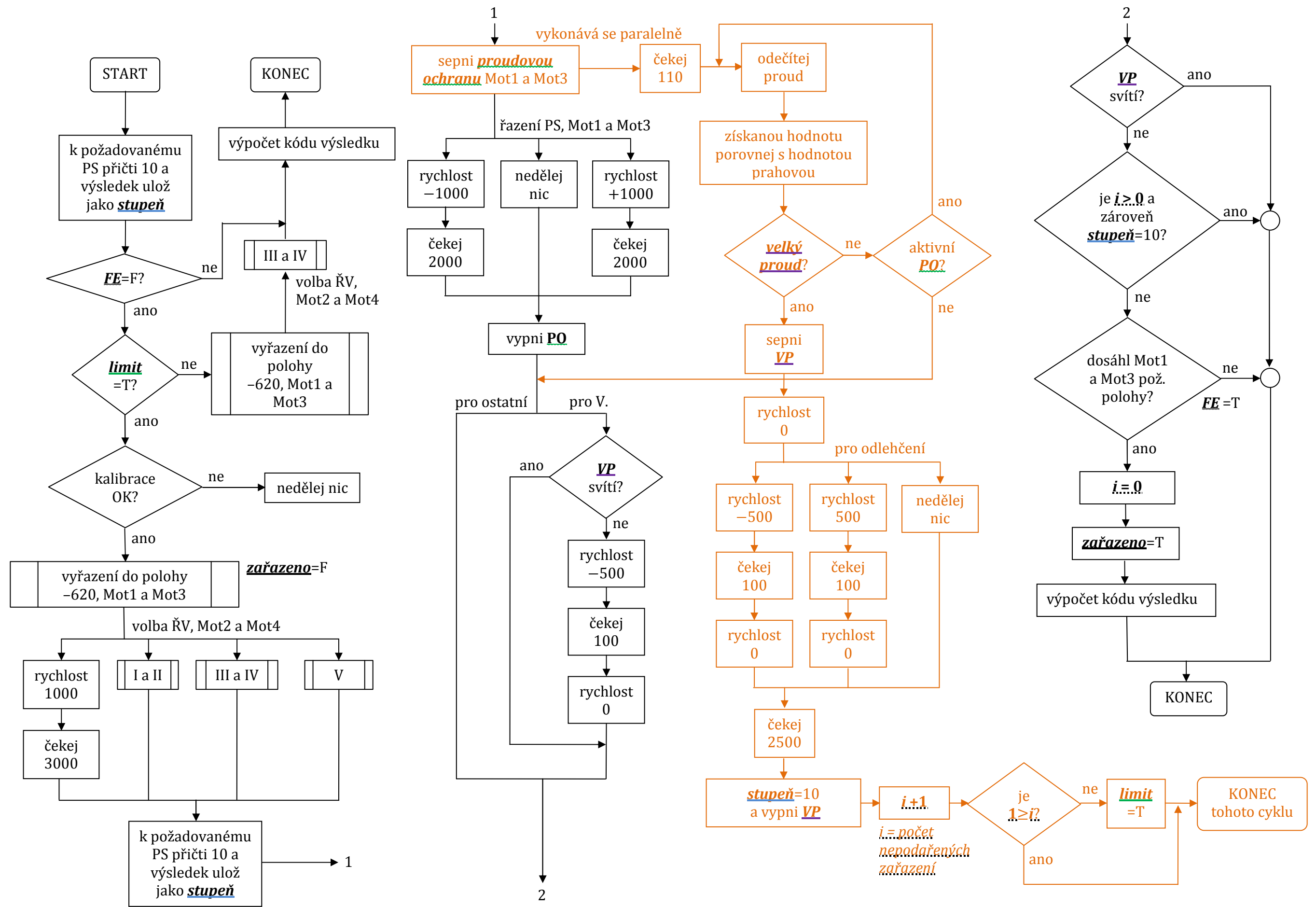
Druhým možným stavem je výsledek 64, nebo 128, což znamená, že byl detekován nadproud i při druhém pokusu o zařazení. Navržená sekvence vychází z předpokladu, že zuby synchronizačních spojek jsou ve špatné konfiguraci vůči

sobě. Pootočení vstupním hřídelem může tento stav změnit a následný pokus o zařazení téhož požadavku bude již úspěšný. Počet cyklů tohoto opakování je však nutné omezit, aby pokusy o řazení neprobíhaly stále dokola, přičemž příčina problému je jiná.

Třetím předpokládaným stavem je nesoulad mezi počtem načtených pulsů enkodéru při pokusu o zařazení z lokálního neutrálu na daný převodový stupeň a hodnotou teoretickou. Tento stav může nastat pouze při vážných okolnostech a je pro robota řazení stavem fatálním. Diagnostika není možná a je nutný zásah obsluhy.

Posledním stavem je neobdržení jakékoli odpovědi z robota řazení v určitém čase. Tento stav je rovněž fatální a je nutný zásah obsluhy.

Teoreticky je možná kombinace druhého a třetího stavu a dle kódu výsledku je možné diagnostikovat, co se událo.



Obrázek 38 – diagram funkce robota řazení

Odpovědi robota řízení na požadavek a nároky na řízení stavu

kód výsledku	co to znamená?	předpoklad	řešení
0	nebyl indikován nadproud a aktuátor dosáhl požadované polohy	není zařazen požadovaný PS na obou převodovkách	<p>možné situace A: oba PS zařazený – vše OK B: Pož. PS + neutrál – rychlost nebyla správně zařazena nebo vypadla C: Pož. PS + jiný PS – byla zařazena nesprávná rychlost</p> <p>pootočení vstupním hřídelem pomocí hlavního el. motoru bez předpětí</p>
		<p>pro A Moment je konst. (0 Nm) pro B Moment je konst. (0 Nm) pro C Původní nulový moment se zvyšuje</p>	<p>Předejpnout moment se nemění (10 Nm) na 10 Nm moment se nezačne zvyšovat dle barvy</p>
64 nebo 128	byl "j" krát indikován nadproud	možná příčina problém na převodovce	je vyřazeno na N nelze zařadit 2x totéž může být řazen jiný PS než požadovaný, např. neutrál
1 až 63	aktuátor nedosáhl požadované polohy	posunul se koncový spínač vlivem provozu vypadl kabel datový vypadl kabel napájení	pootočení vstupním hřídelem pomocí hlavního eM bez předpětí opětovný pokus o zařazení požadovaného PS cyklus možno několikrát opakovat, jinak nutný zásah obsluhy
ČASOVÝ LIMIT PRO ZPĚTNOU VAZBU Z ROBOTY	ovládací program stavu nedostal v daném limitu žádnou informaci z robota	nedokončení podprogramu „vykonavatel“ vypadl kabel datový vypadl kabel napájení	může být řazen jiný PS než požadovaný, např. neutrál opětovný pokus o zařazení požadovaného PS cyklus možno několikrát opakovat, jinak nutný zásah obsluhy

Obrázek 39 – odpovědi robota řízení na požadavek

Závěr

Tato diplomová práce má tři neodlučitelné roviny: konstrukční, hardwarovou a softwarovou. Teprve jejich vzájemné propojení umožňuje vznik fungujícího robota řazení.

První etapou této práce byl návrh a konstrukce robotů, jenž byla omezena již nakoupenými díly a respektováním prostorového uspořádání zkušebny ve VTP Roztoky. Rozhodujícím elementem pro další práci byla volba vhodné koncepce nového robota s ohledem na to, jak bude převodovku ovládat. Vznikla kompletní výkresová dokumentace pro výrobu robotů a jejich stojanů.

Druhá etapa představovala propojení hardwaru a softwaru, neboli zvolení principů řízení pohybu servomotorů s ohledem na jejich vnitřní konstrukci. Následovalo elektrické spojení jednotlivých komponent do jednoho celku a ověření funkcí pomocí podprogramu pro FPGA.

Poslední etapou bylo oživení robota. Byl vytvořen samostatně pracující program pro ovládání obou robotů, jehož všechny funkce byly podrobně popsány. Výsledný program je schopný rozpoznat komplikace při řazení na základně snímání elektrického proudu tekoucího servomotory či porovnáním koncové polohy po zařazení s polohou teoretickou. Případné nesoulady jsou identifikovány a odeslány do řídicího softwaru celého stavu.

Teprve až dlouhodobější používání těchto robotů ukáže na jejich slabá místa a odhalí doposud nepoznané problémy. Věřím však, že tato nová zjištění nebudou zásadní nebo neřešitelná a že se tyto roboty osvědčí.

Přemýšlel jsem, zda slovo robot není pro toto zařízení příliš honosné. Otevřel jsem proto Nový akademický slovník cizích slov, v němž je psáno: *„Robot je zařízení ovládané počítačem, schopné vnímat a analyzovat vlastnosti prostředí, dorozumívat se s člověkem a samostatně do prostředí zasahovat.“* Už si to nemyslím.

Seznam použité literatury

- [1] ADÁMEK, Jan. *Uzavřený zkušební stav převodových ústrojí*. Praha: ČVUT 2004. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní
- [2] MORAVEC, V., FOLTA Z., HAVLÍK, J., ACHTENOVÁ, G. Analysis of Power Flow in Closed Loop Stands for Endurance tests of Gears and Transmissions. *MECCA*. 2004. ISSN 1214-0821
- [3] HÖHN, B.-R. *Testmethods for Lubricant Related Influences on the Gear Load Capacity* [přednáška]. Moskva, 23. 11. 2006
- [4] František Světnička, Jiří Faiman. *Zařízení k současnému zkoušení převodovek nebo řady převodovek elektricky uzavřeným cyklem* [online]. František Světnička, Jiří Faiman. 20. 3. 1961. MPT: G 01 m. 109363. Úřad pro patenty a vynálezy. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/109/109363.pdf>
- [5] VACÍK, David. *Zkušební stav převodných ústrojí*. Praha: ČVUT 2005. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní
- [6] Školící materiály společnosti ŠKODA AUTO a.s.
- [7] HRADIL, Milan. *Konstrukce robota řazení pro zkušební stav převodovek*. Praha: ČVUT 2008. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní
- [8] *Rotary encoder* [online]. Wikipedia. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder#Incremental_rotary_encoder
- [9] STEJSKAL, V., VALÁŠEK, M. *Kinematics and Dynamics of Machinery*. New York: Marcel Dekker, 1996. ISBN 0-8247-9731-0
- [10] *Silentbloky provedení D* [online]. FRAM. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://www.rubber.cz/cs/231-silentbloky-d-sroub>
- [11] *Advantages of NI CompactRIO* [online]. National Instruments. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/8151/en/>
- [12] *NI CompactRIO* [online]. National Instruments. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://www.ni.com/compactrio/>
- [13] *H-bridge* [online]. Wikipedia. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge
- [14] *Module NI 9505* [online]. National Instruments. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/202711>
- [15] *NI PS-16 Power Supply* [online]. National Instruments. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/207474>

[16] *American wire gauge* [online]. Wikipedia. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/American_wire_gauge

[17] *Dioda P1000K* [online]. GM electronic. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/dioda-p1000k-p221-047>

[18] *Pulse-width modulation* [online]. Wikipedia. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation

[19] *NI 9505 (FPGA Interface)* [online]. National Instruments. [cit. 1. 6. 2015]. Dostupné z: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370984T-01/target4devicehelp/9505_io_reference/

[20] DVOŘÁK, Jan. *Stav řazení*. Praha: ČVUT 2013. Diplomová práce, ČVUT, Fakulta strojní

Seznam příloh na CD

Tato diplomová práce ve formátu *.pdf včetně Přílohy A i Přílohy B

Manuál pro robota řazení ve formátu *.pdf

Složka se všemi potřebnými programy a podprogramy

Výkresy výpalků ve formátu *.dxf

Veškerá mě dostupná dokumentace k servomotorům včetně katalogu a návodu na používání

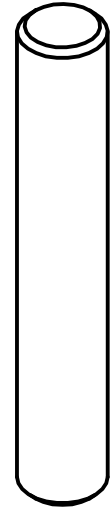
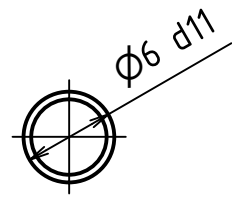
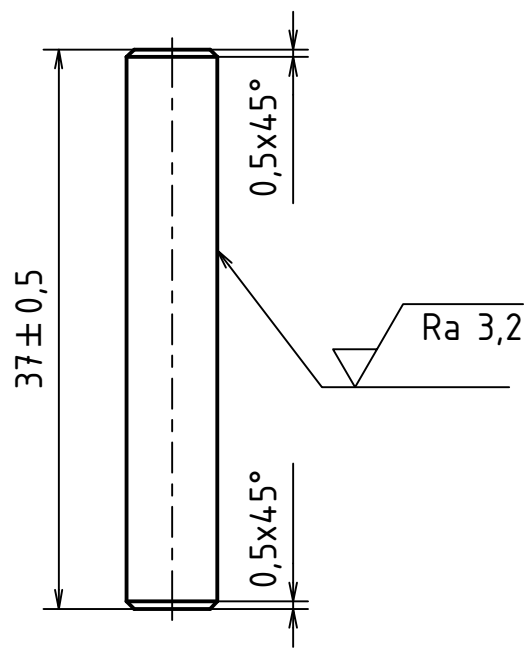
Příloha A

Výrobní a montážní dokumentace robota řazení. Jednotlivé výkresy jsou řazeny abecedně.

6 5 4 3 2 1

D

D



B

B

ALTERNATIVNĚ KOUPEŇÁ TYČ Ø6 h11, POTOM ✓

MATERIÁL: S235JR		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: KR 8 - 4.0					
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)					
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO					
PŘESNOST ISO 2768 - mk					

NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,008 kg	MĚŘITKO	2:1
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PREZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

A

A

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV: **ČEP PŘEDNÍ** TYP:

ČÍSLO VYKRESU

6 5 4 3 2 1

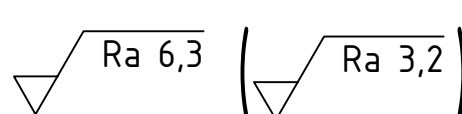
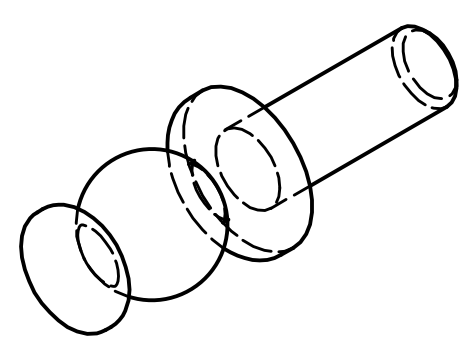
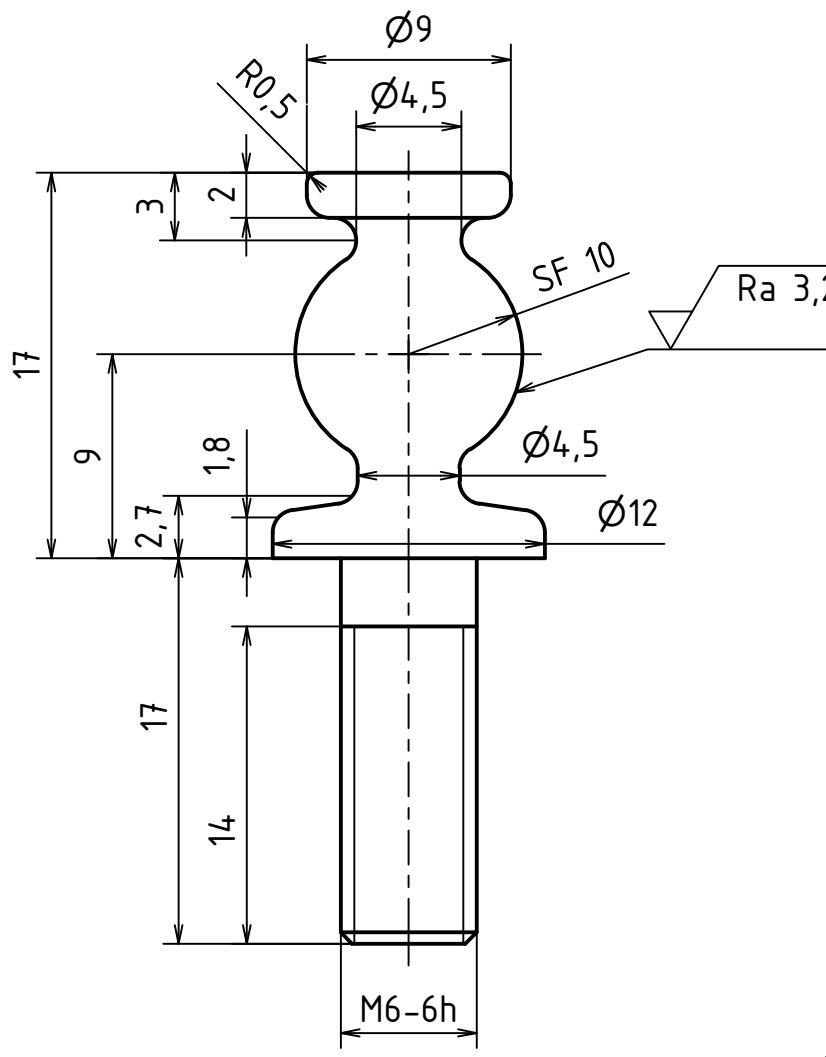
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

LIST:

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



NEKÓTOVANÉ RADIUSY R1

MATERIÁL: 11 500		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: KR 14 - 35					
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)					
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO					
PŘESNOST ISO 2768 - mk					

NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,011 kg	MĚŘITKO	3:1
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

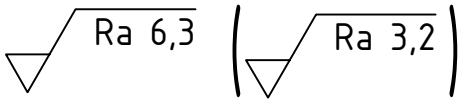
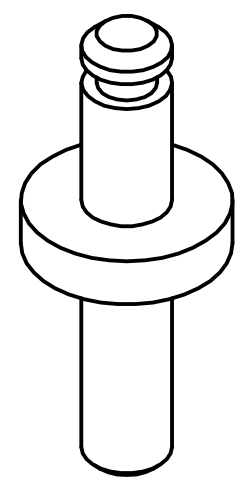
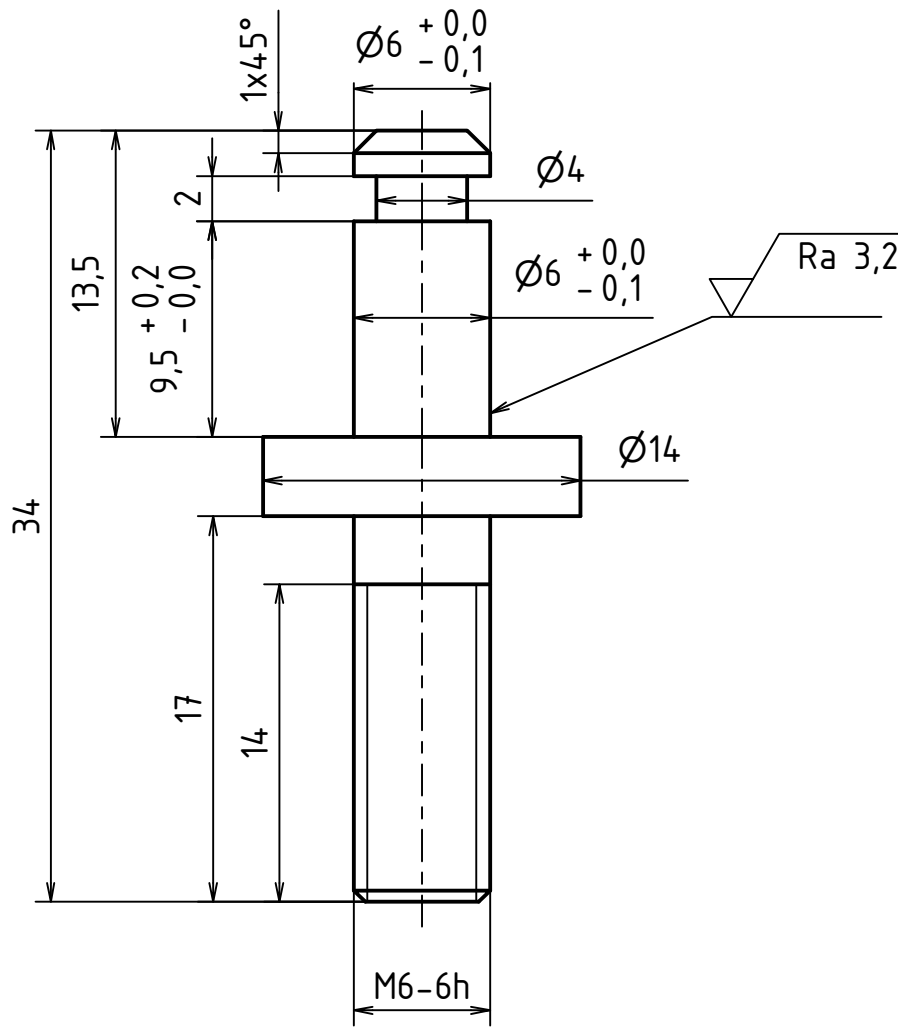
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV: **ČEP ŘAZENÍ**
 TYP:

ČÍSLO VYKRESU

LIST:

6 5 4 3 2 1



MATERIÁL: 11 500	(ISO E)	()	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: KR 16 - 35						
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)						
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO						
PŘESNOST ISO 2768 - mk						

NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,01 kg	MĚŘÍTKO	3:1
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PREZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV ČEP VOLBY	TYP:
	ČÍSLO VYKRESU	

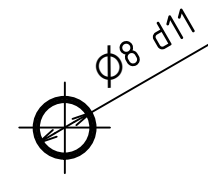
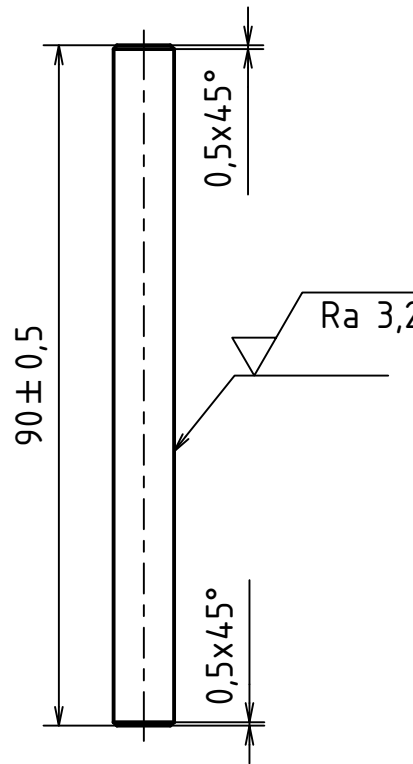
6 5 4 3 2 1

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



ALTERNATIVNĚ KOUPEŇÁ TYČ $\varnothing 8\ h11$, POTOM ✓

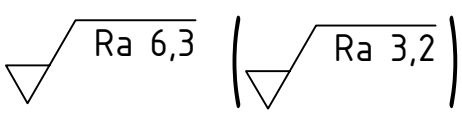
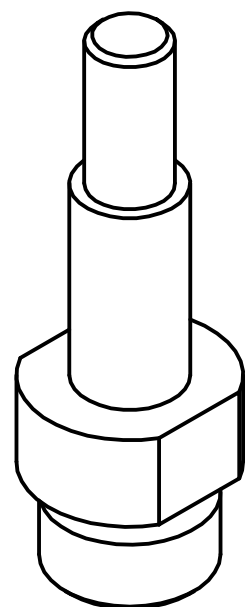
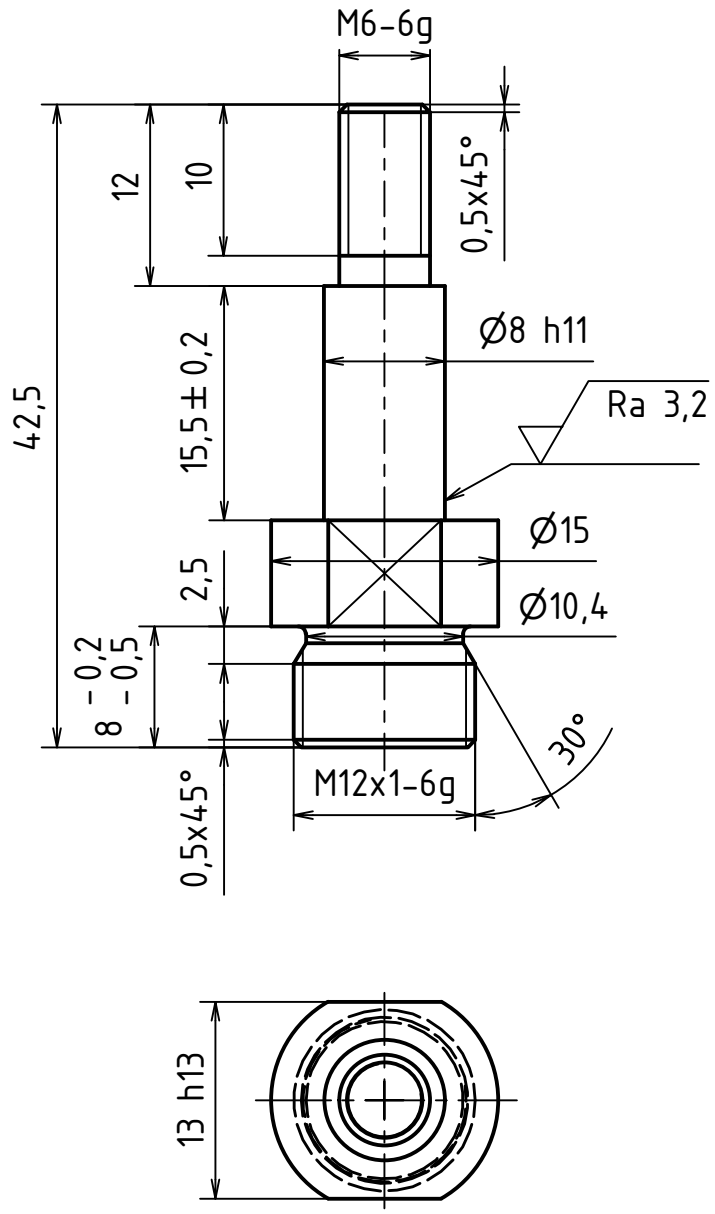
MATERIÁL: S235JR				INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: KR 10 - 95							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk		Podpis	Datum	Podpis	Datum	MĚŘITKO	
NAVRHL						HMOTNOST	0,035 kg
KRESLIL	Ruprich					MIKROFILM	Č. SVITKU
SKUPINÁŘ						SESTAVA	KUSOVNIK
TECHNOL.						STARÝ V.	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV: **ČEP ZADNÍ**
 TYP:
 ČÍSLO VYKRESU

LIST:

6 5 4 3 2 1



MATERIÁL: 11 500		POLOTOVAR: KR 16 - 45		PROMÍTÁNÍ: (ISO E)		TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO		PŘESNOST ISO 2768 - mk		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
------------------	--	-----------------------	--	---------------------	--	--------------------------------	--	------------------------	--	-------	-------	-------	--------

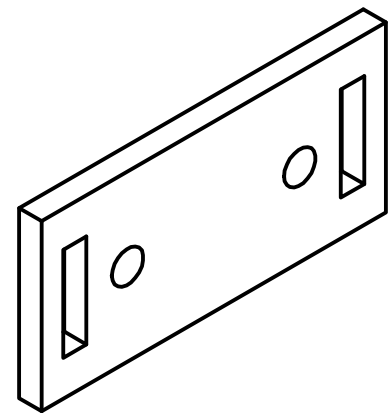
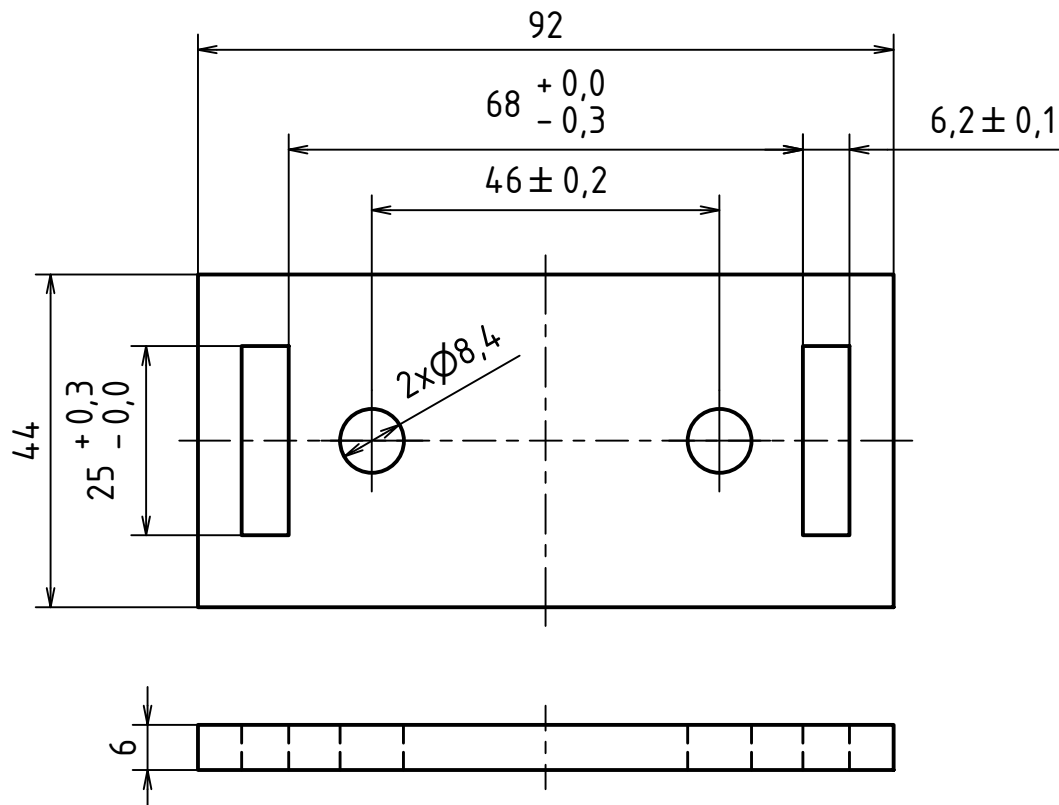
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,021 kg	MĚŘITKO	2:1
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PREZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ				NÁZEV ČEP SE ZÁVITEM				TYP:	
				ČÍSLO VYKRESU					

6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



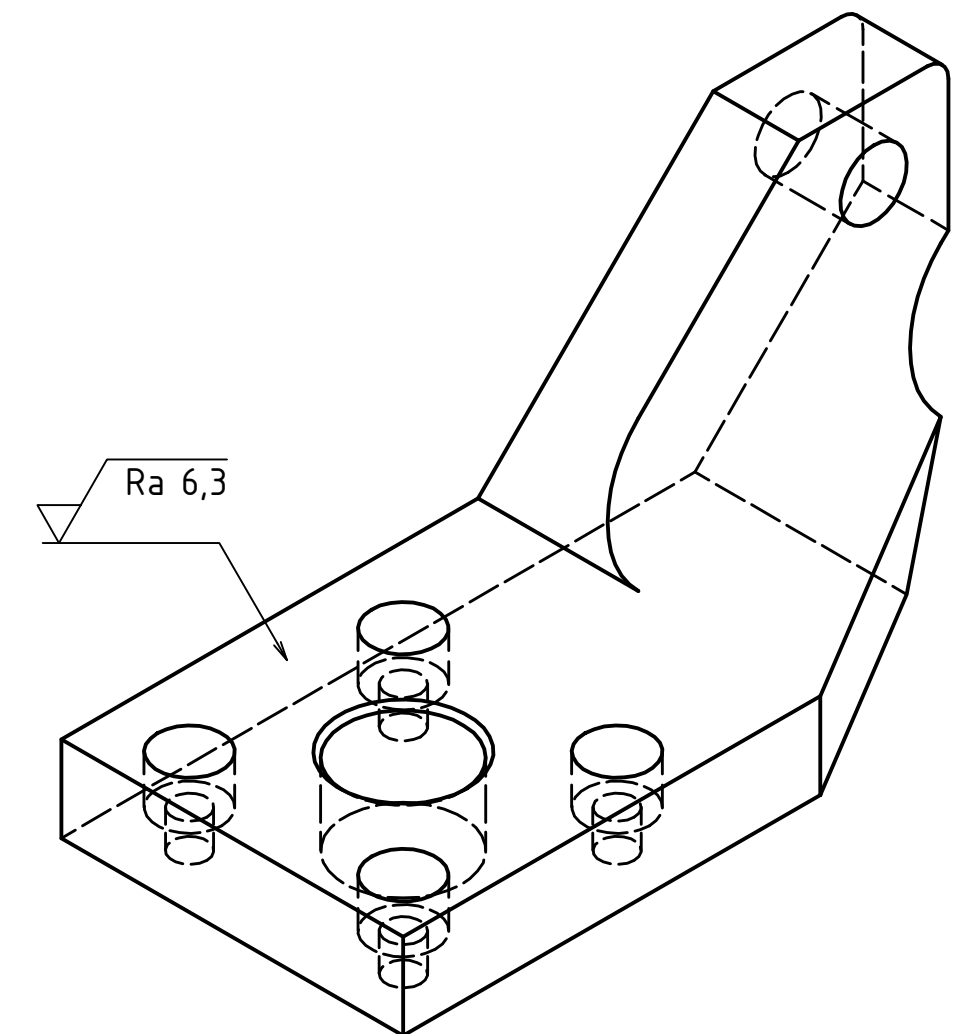
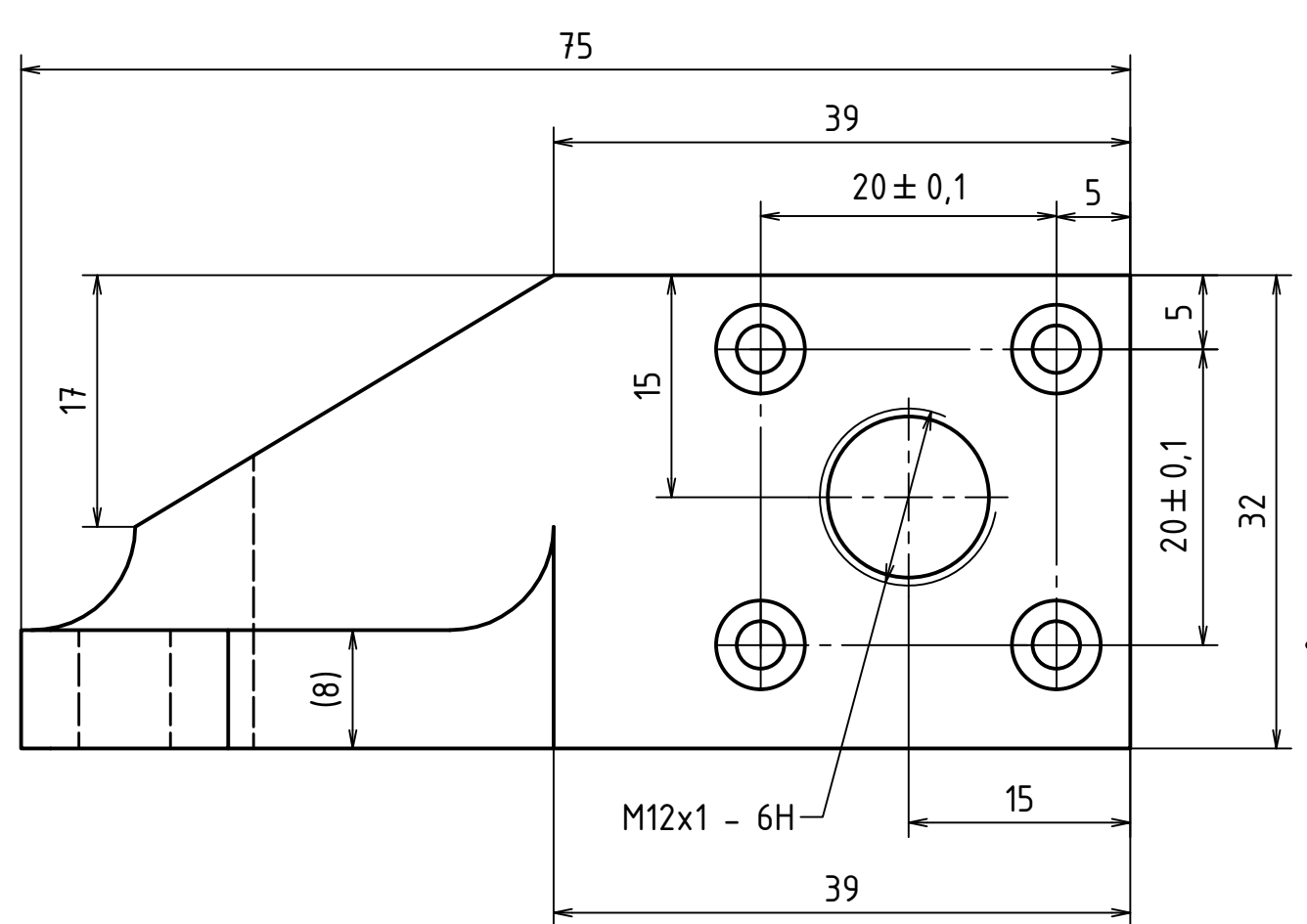
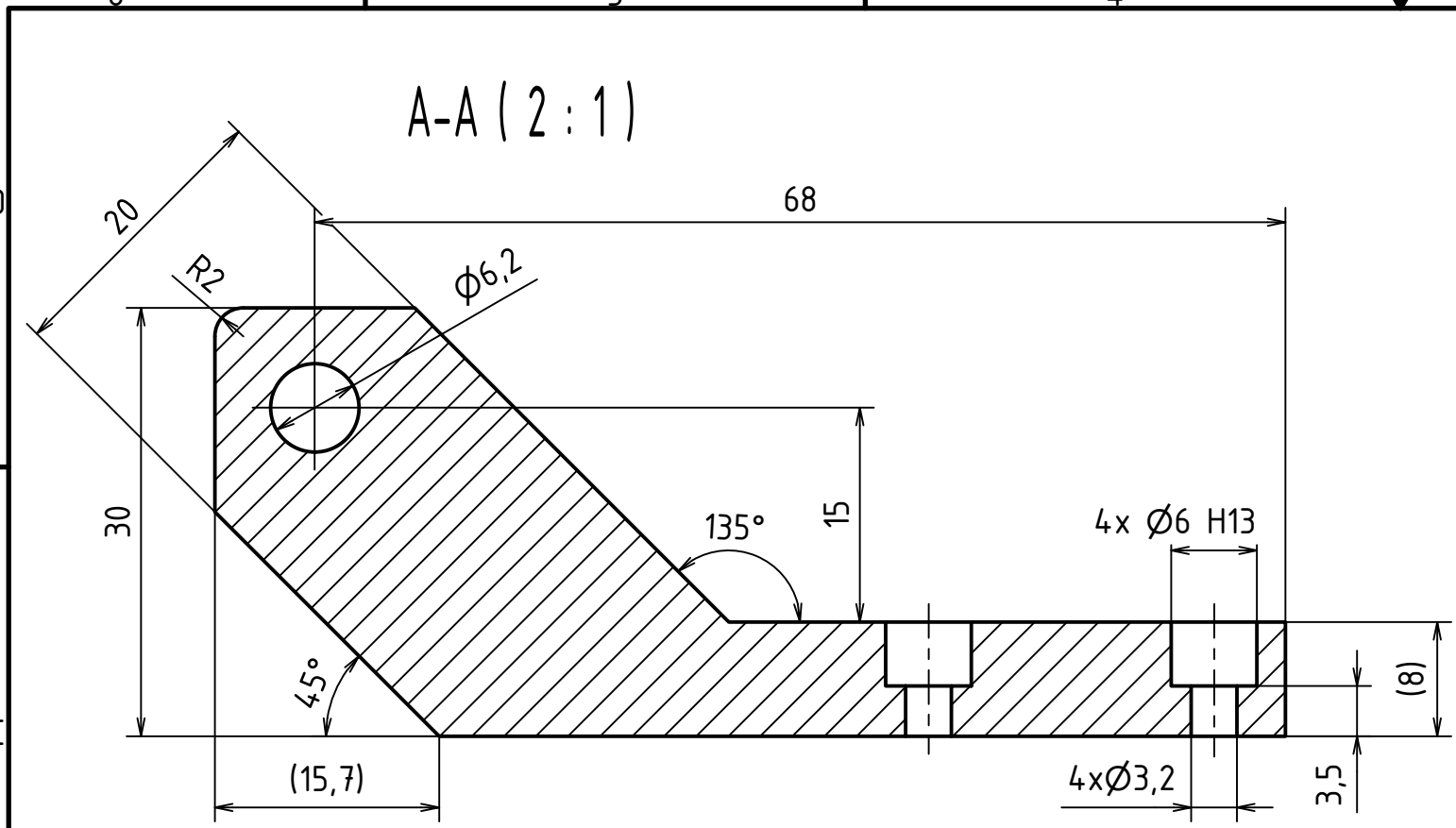
MATERIÁL: S235JRG1				INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: PL 6							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk		Podpis	Datum	Podpis	Datum	MĚŘITKO	
NAVRHL				STATIK		HMOTNOST	0,171 kg
KRESLIL	Ruprich			NORM. REF		MIKROFILM	1:1
SKUPINÁŘ				PREZK.		SESTAVA	Č. SVITKU
TECHNOL.				SCHVÁLIL		STARÝ V.	KUSOVNIK

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	TYP:
	DESKA ZADNÍ	
	ČÍSLO VYKRESU	

LIST:

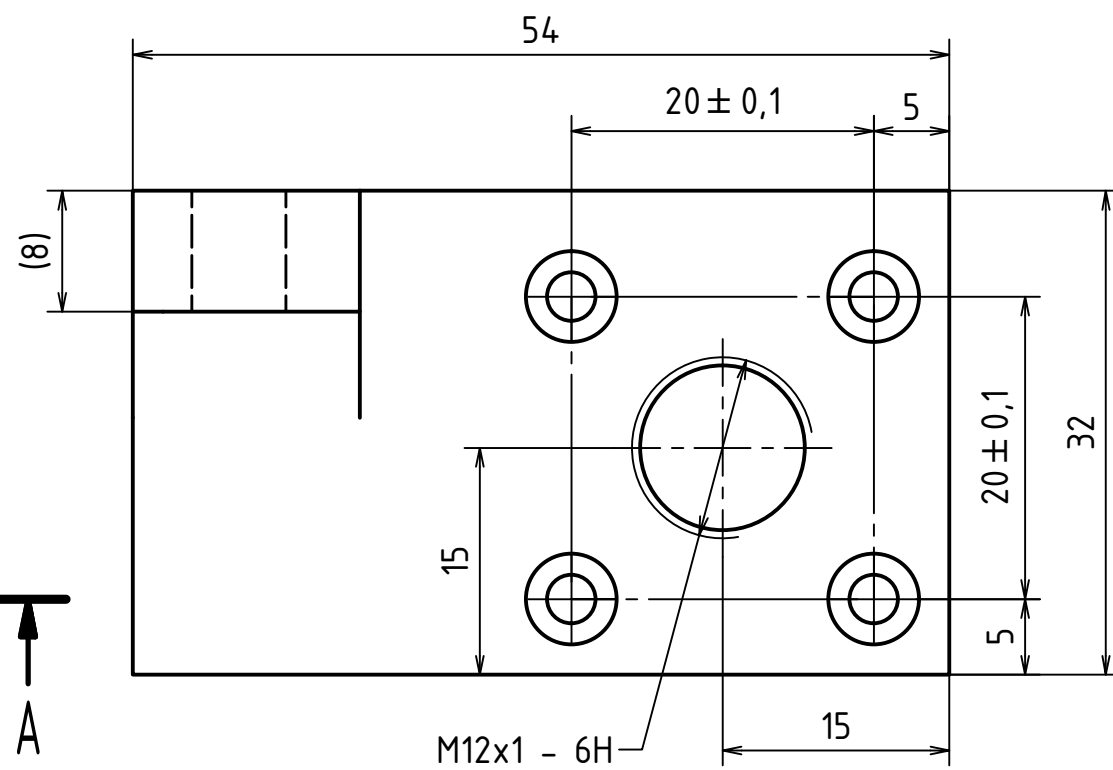
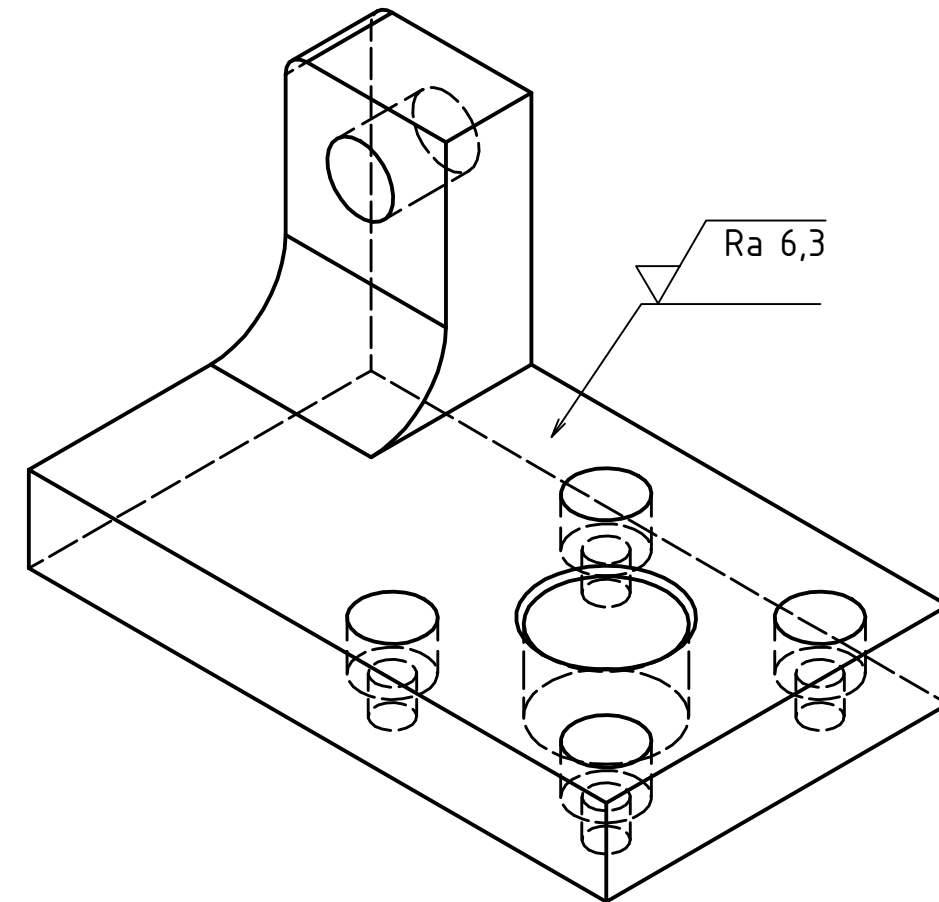
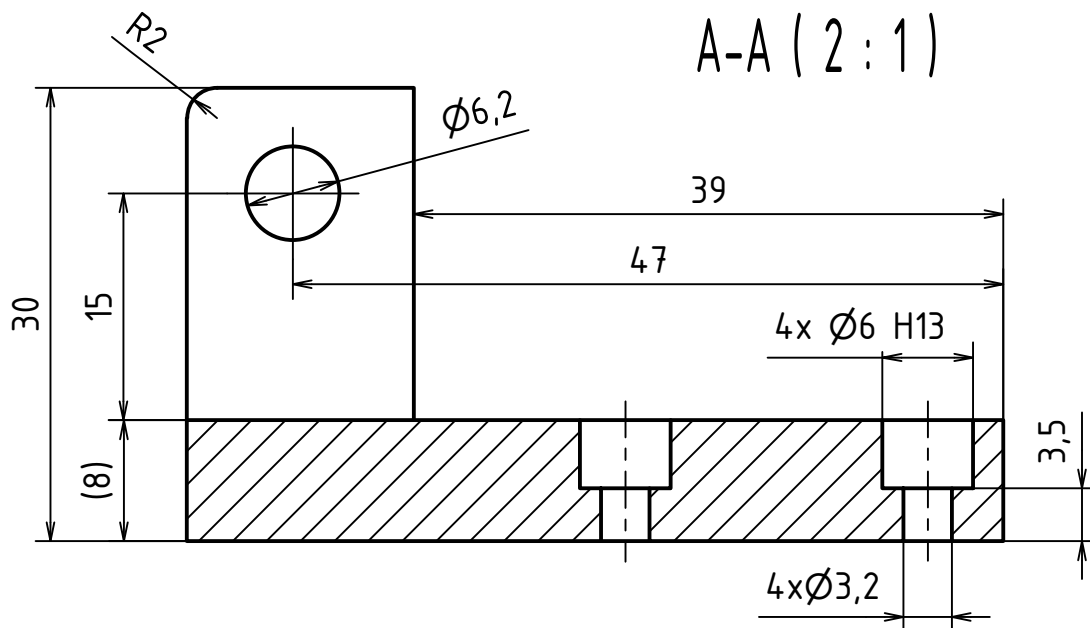
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

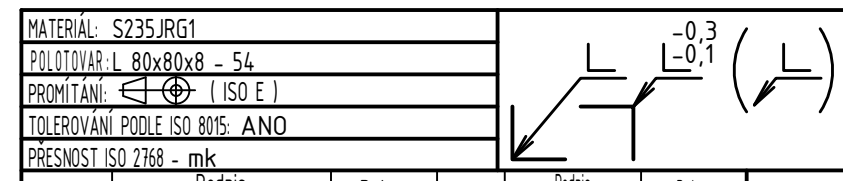


plocha vzniklá po odříznutí (odfrézování) ramena L profilu

MATERIAL: S235JRG1		POLOTOVÁŘ: L 80x80x8 - 75		PROMÍTÁNÍ: (ISO E)		TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO		PŘESNOST ISO 2768 - mk		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,138 kg	MĚŘÍTKO 2:1					
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF.			MIKROFILM		Č. SVITKU					
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK					
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.		TYP:					
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE							DRŽÁK L						
FAKULTA STROJNÍ							ČÍSLO VYKRESU						



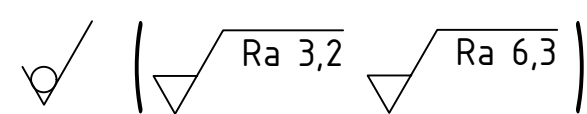
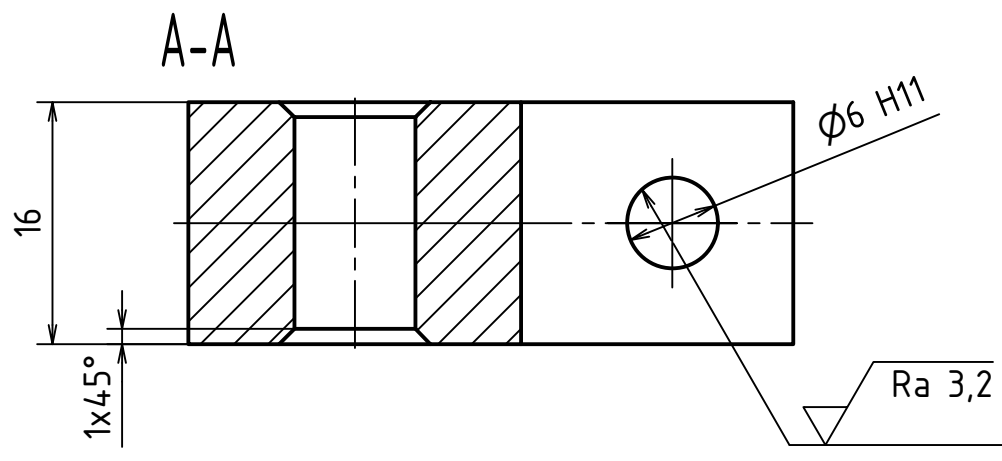
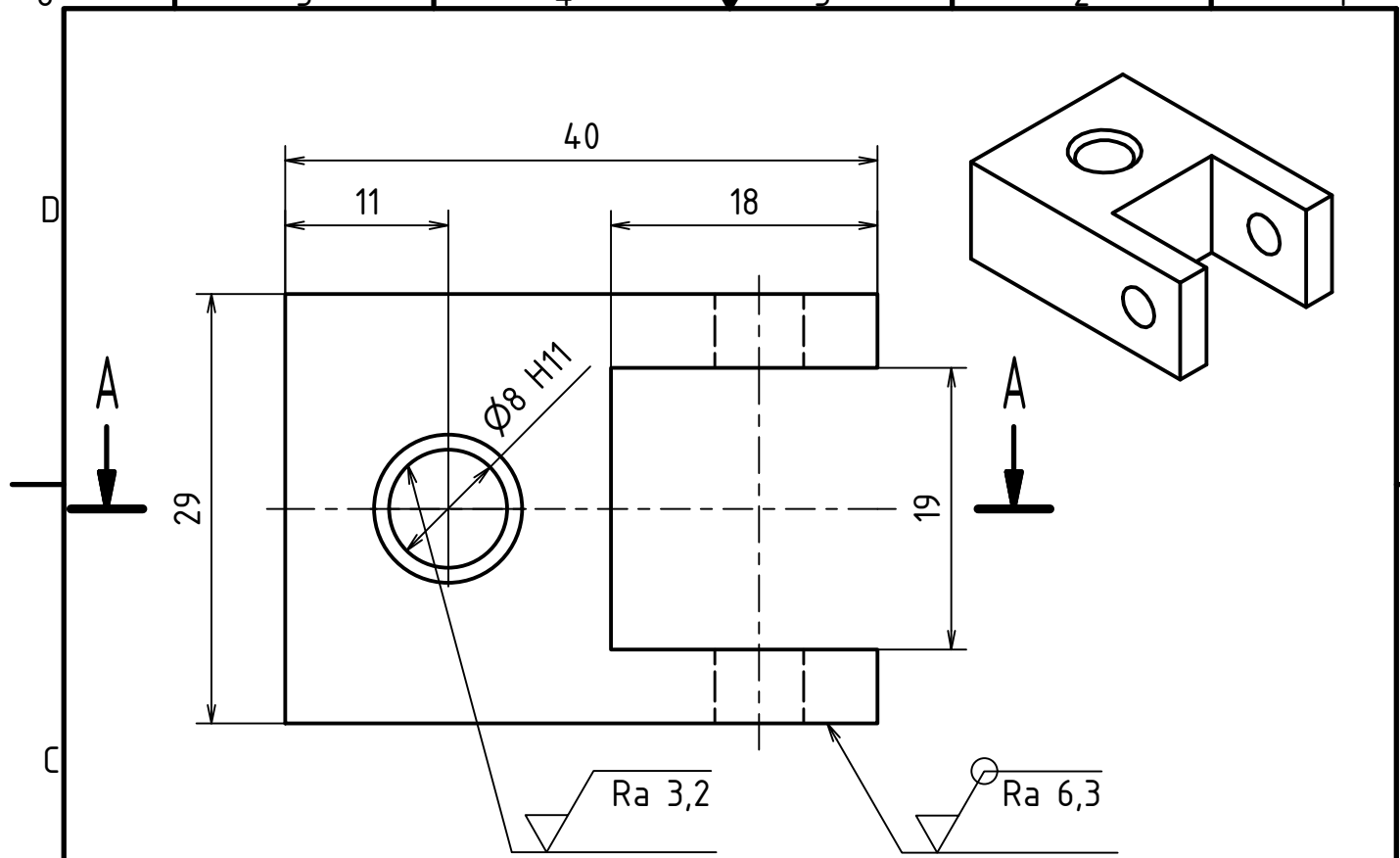
plocha vzniklá po odříznutí (odfrézování)
ramena L profilu



MATERIAL: S235JRG1							
POLOTOVÁŘ: L 80x80x8 - 54							
PROMĚTÁNÍ:							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk							
Podpis	Datum	Podpis	Datum	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
NAVRHL		STATIK		HMOTNOST	0,118 kg	MĚŘÍTKO	2:1
KRESLIL	Ruprich	NORM. REF		MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ		PREZK.		SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.		SCHVÁLIL		STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	DRŽÁK R	TYP:
	ČÍSLO VYKRESU		

6 5 4 3 2 1



MATERIÁL: S235JRG1									
POLOTOVAR: PL 16									
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)									
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO									
PŘESNOST ISO 2768 - mk									
						INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,094 kg	MĚŘÍTKO	2:1
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁL			STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV MEZIKUS	TYP:
	ČÍSLO VYKRESU	

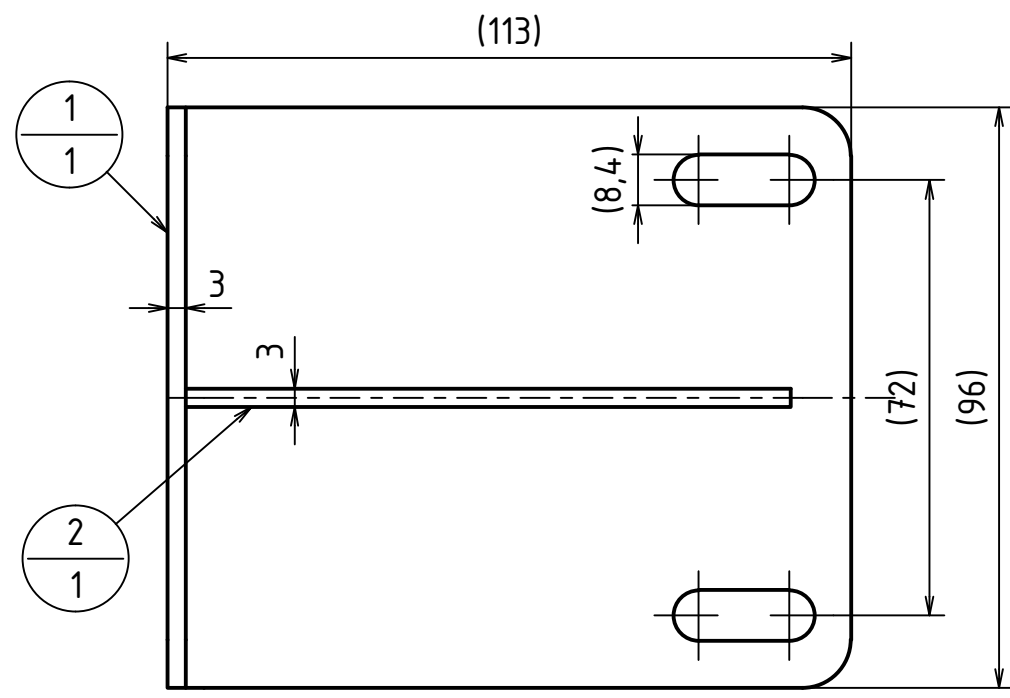
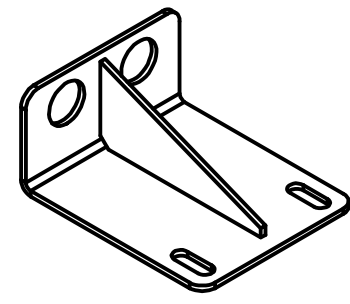
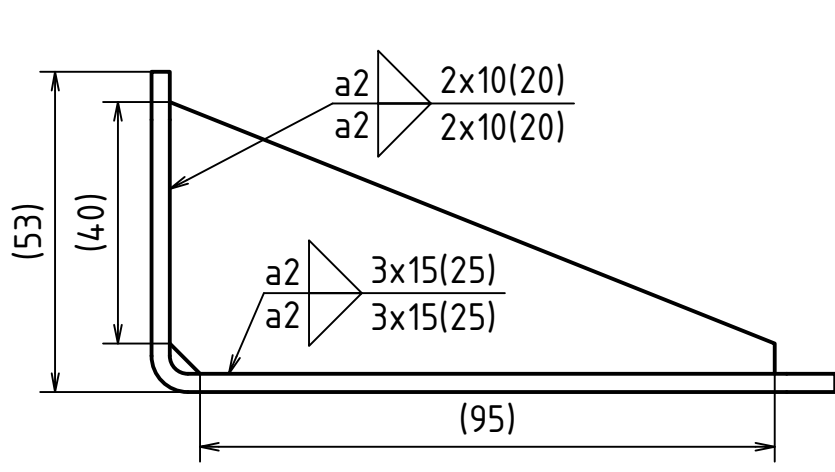
6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

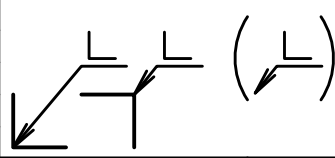
LIST:

6 5 4 3 2 1



Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	plech ohnutý
2	1	výztuha

MATERIÁL:	
POLOTOVAR:	
PROMÍTÁNÍ:	(ISO E)
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:	
PŘESNOST ISO 2768 -	



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

Podpis	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO
				0,405 kg	4:5
NAVRHL		STATIK		MIKROFILM	Č. SVITKU
KRESLIL	Ruprich	NORM. REF		SESTAVA	KUSOVNIK
SKUPINÁŘ		PŘEZK.		STARÝ V.	
TECHNOL.		SCHVÁLIL			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

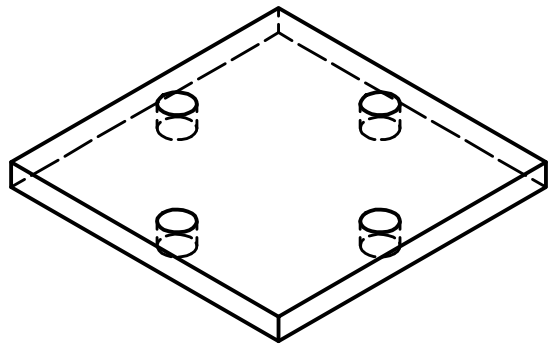
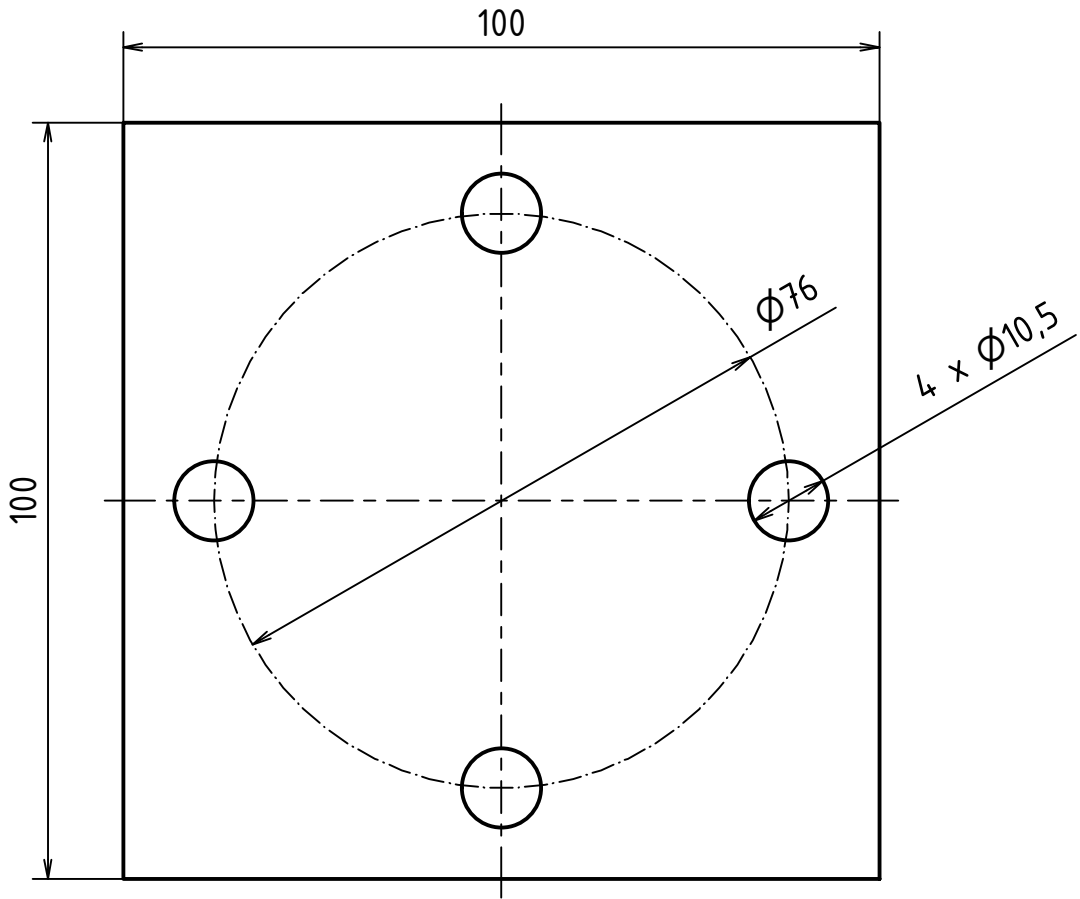
NÁZEV: **OPĚRNÝ PLECH**
 TYP: **svařenec**
 ČÍSLO VYKRESU

6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

6 5 4 3 2 1



MATERIÁL: S235JRG1				INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: PL 8							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk		Podpis	Datum	Podpis	Datum	MĚŘITKO	

NAVRHL		STATIK		HMOTNOST	0,606 kg	MĚŘITKO	
KRESLIL	Ruprich	NORM. REF		MIKROFILM		1:1	
SKUPINÁŘ		PREZK.		SESTAVA		Č. SVITKU	
TECHNOL.		SCHVÁLIL		STARÝ V.		KUSOVNIK	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ			NÁZEV PATKA				TYP:	
			ČÍSLO VYKRESU					

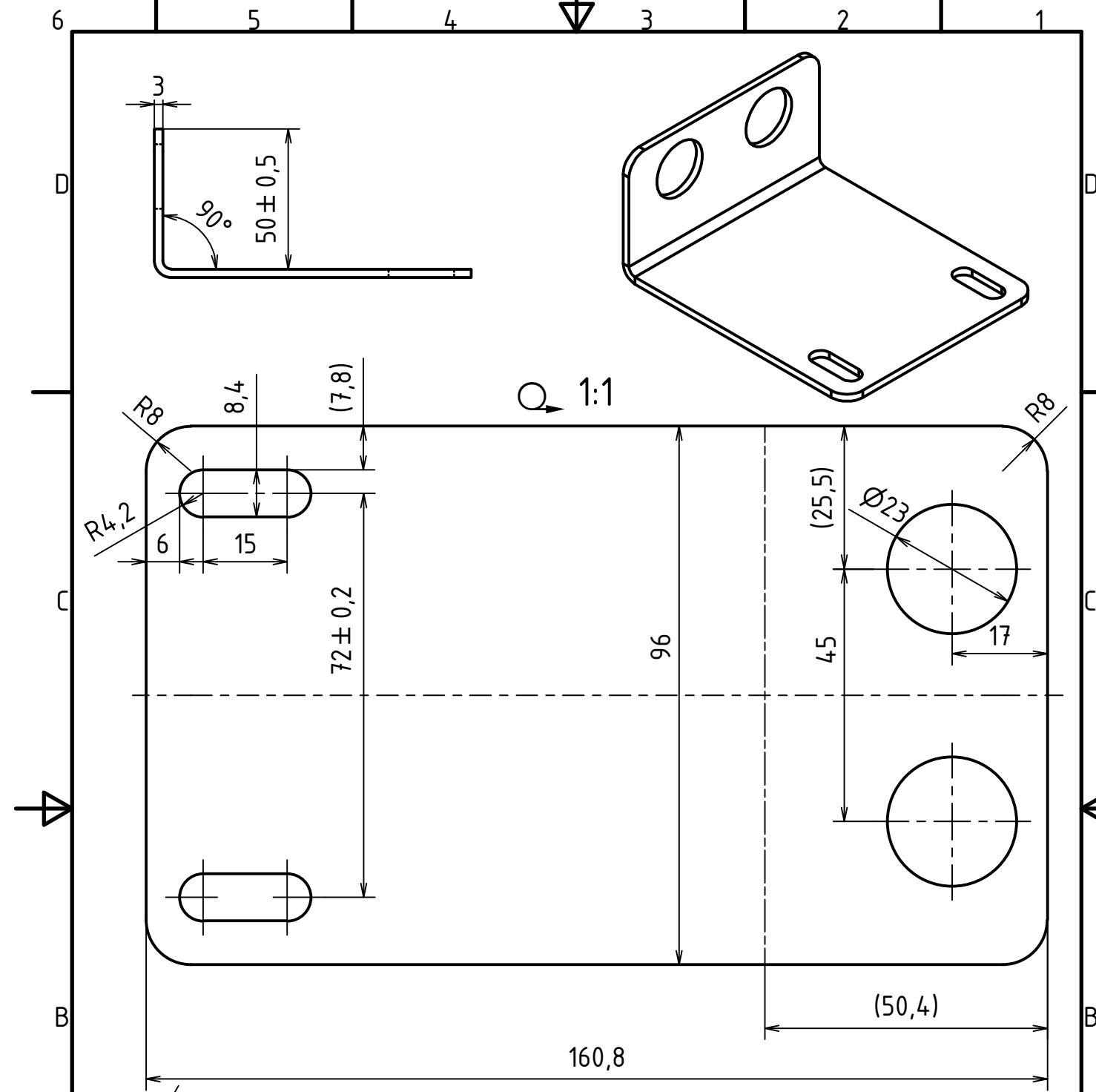
6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



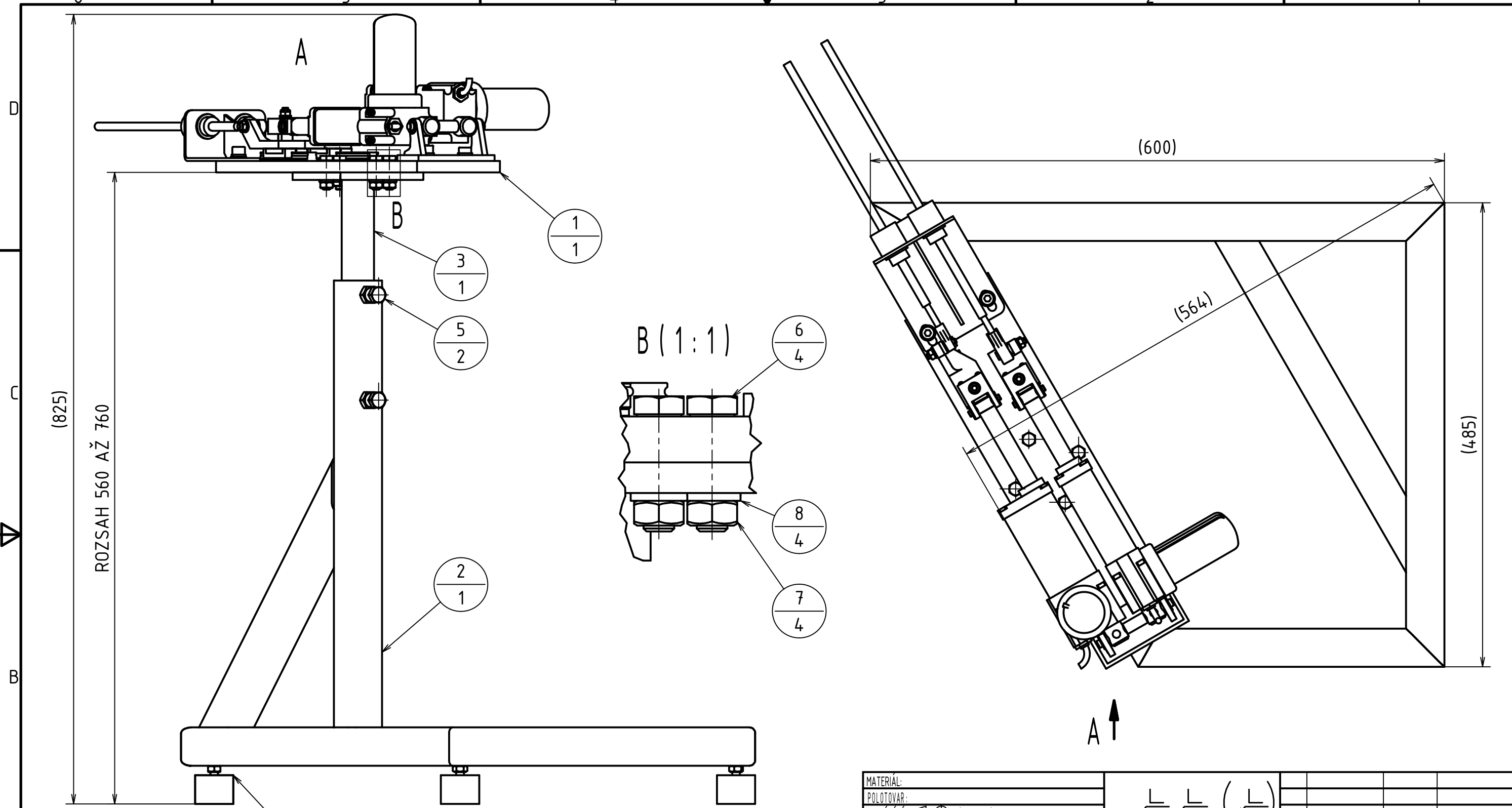
MATERIÁL: S235JRG1				INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: PL 3							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk							

Podpis	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,346 kg	MĚŘÍTKO	1:2
NAVRHL		STATIK		MIKROFILM		Č. SVITKU	
KRESLIL	Ruprich	NORM. REF		SESTAVA		KUSOVNIK	
SKUPINÁŘ		PREZK.		STARÝ V.			
TECHNOL.		SCHVÁLIL					

A ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV PLECH OHNUTÝ	TYP:
	ČÍSLO VYKRESU	

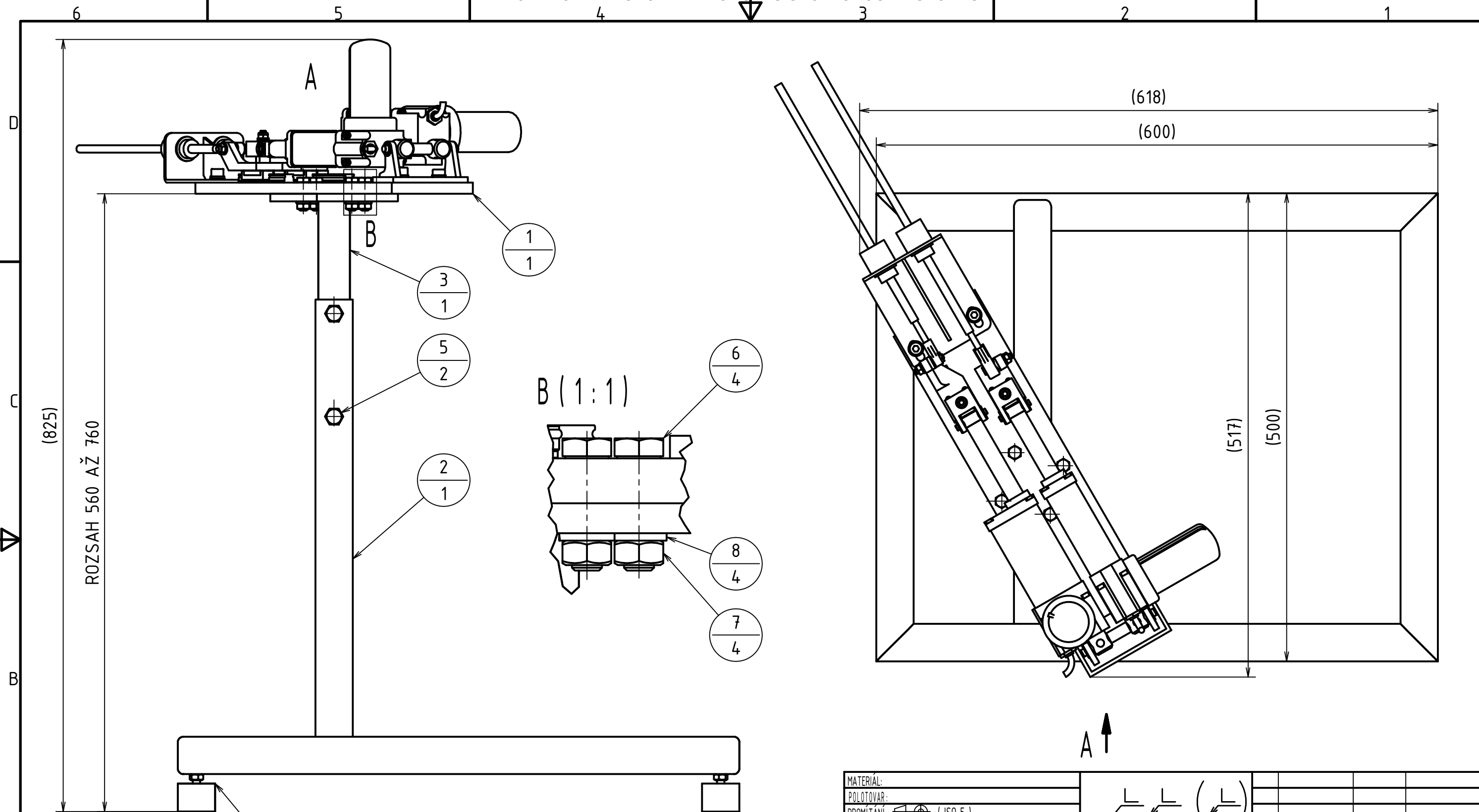
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	Sestava robota řazení
2	1	stojan kosoúhlý
3	1	výsuv
4	4	silentblok
5	2	ISO 4017 - M10 x 20
6	4	ISO 4017 - M8 x 30
7	4	DIN 934 - M8
8	4	DIN 127 - A 8

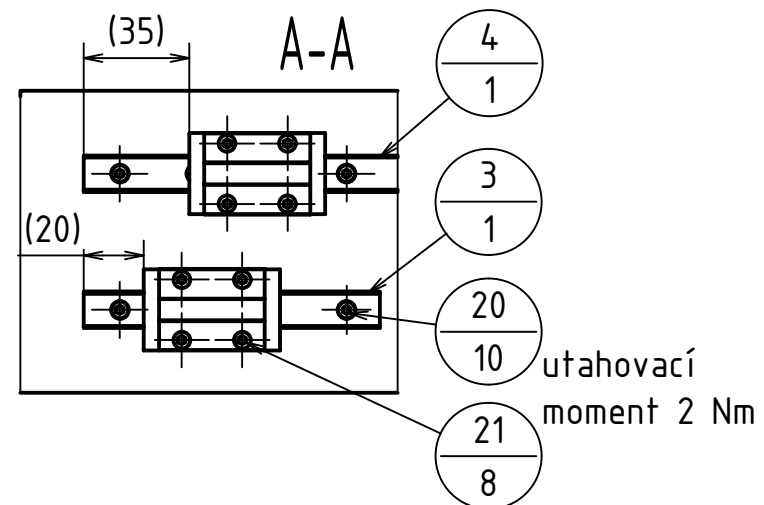
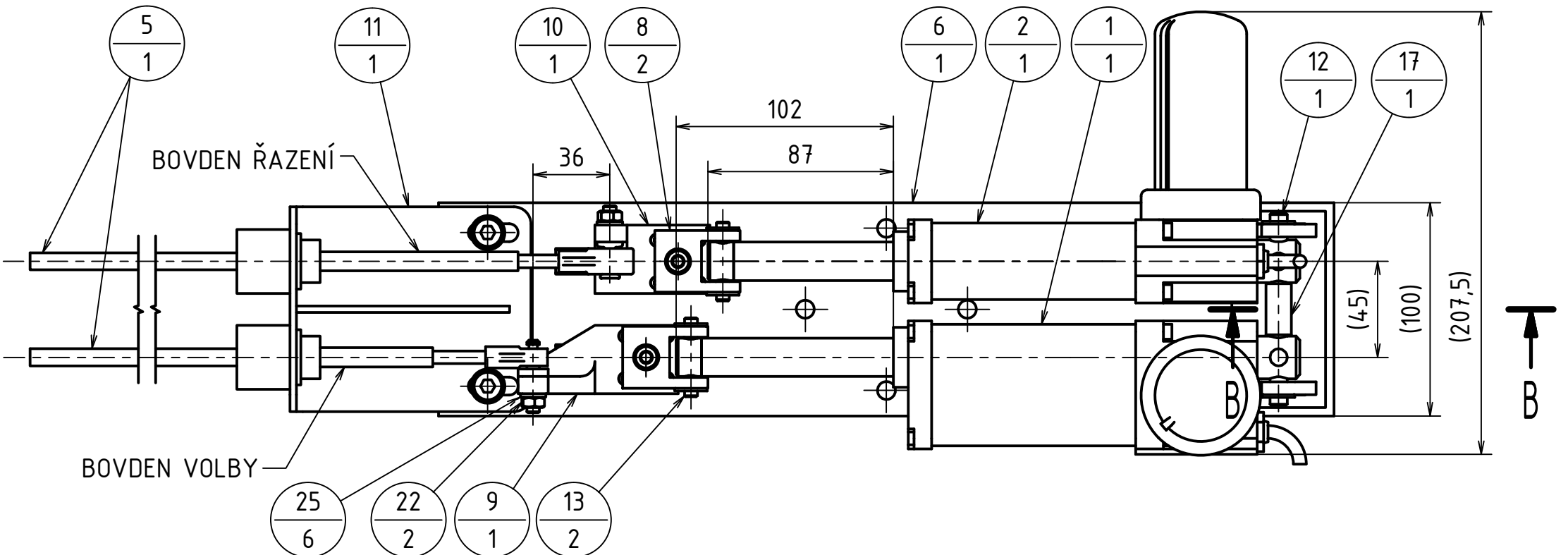
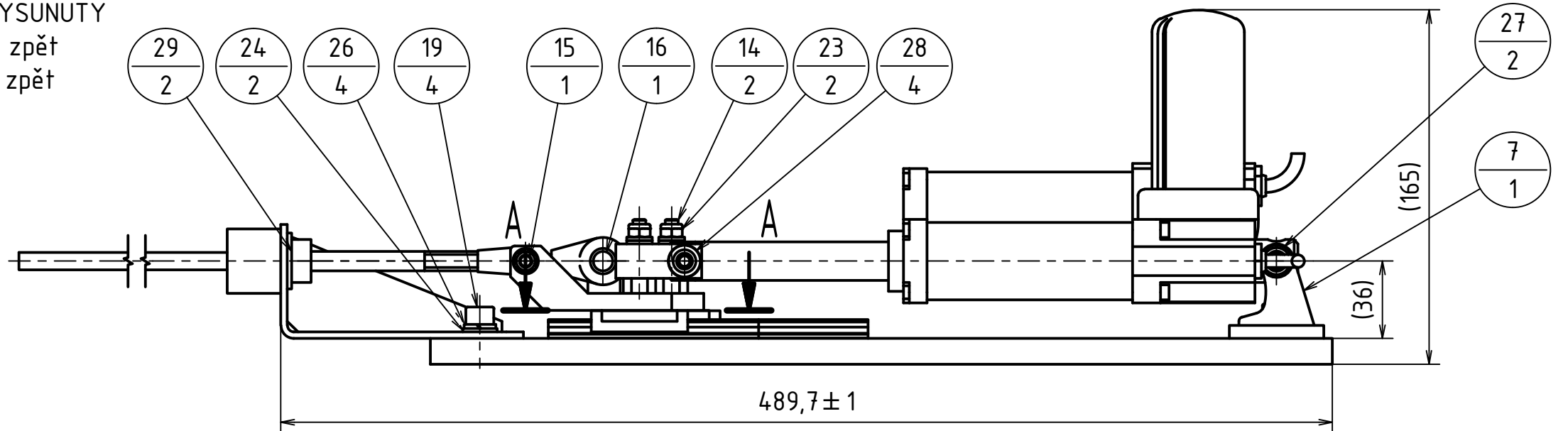
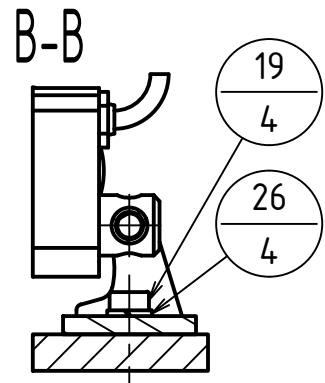
MATERIAL:									
POLOTOVÁŘ:									
PROMÍTÁNÍ: $\begin{matrix} \text{L} \\ \text{L} \end{matrix}$ (ISO E)									
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:									
PŘESNOST ISO 2768 -									
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	17 kg	MĚŘÍTKO	1:4
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PREZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE						NÁZEV			
FAKULTA STROJNÍ						SESTAVA CELKOVÁ			
						s kosoúhlým stojanem			
						TYP:			
						ČÍSLO VYKRESU			



Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	Sestava robota řazení
2	1	stojan obdelníkový
3	1	výsuv
4	4	silentblok
5	2	ISO 4017 - M10 x 20
6	4	ISO 4017 - M8 x 30
7	4	DIN 934 - M8
8	4	DIN 127 - A 8

MATERIAL:									
POLOTOVÁŘ:									
PROMÍTÁNÍ: $\left(\begin{smallmatrix} \oplus \\ \ominus \end{smallmatrix} \right)$ (ISO E)									
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:									
PŘESNOST ISO 2768 -									
INDEX		ZMĚNA		DATUM		PODPIS			
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	18 kg	MĚŘITKO	1:4
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNÍK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE						NÁZEV			
FAKULTA STROJNÍ						SESTAVA CELKOVÁ			
						s obdelníkovým stojanem			
						TYP:			
						ČÍSLO VYKRESU			

ZOBRAZENÁ POLOHA: MOTORY NEJVÍCE VYSUNUTY
 CHOD VOLBY - o 25 mm z této polohy zpět
 CHOD ŘAZENÍ - o 63 mm z této polohy zpět

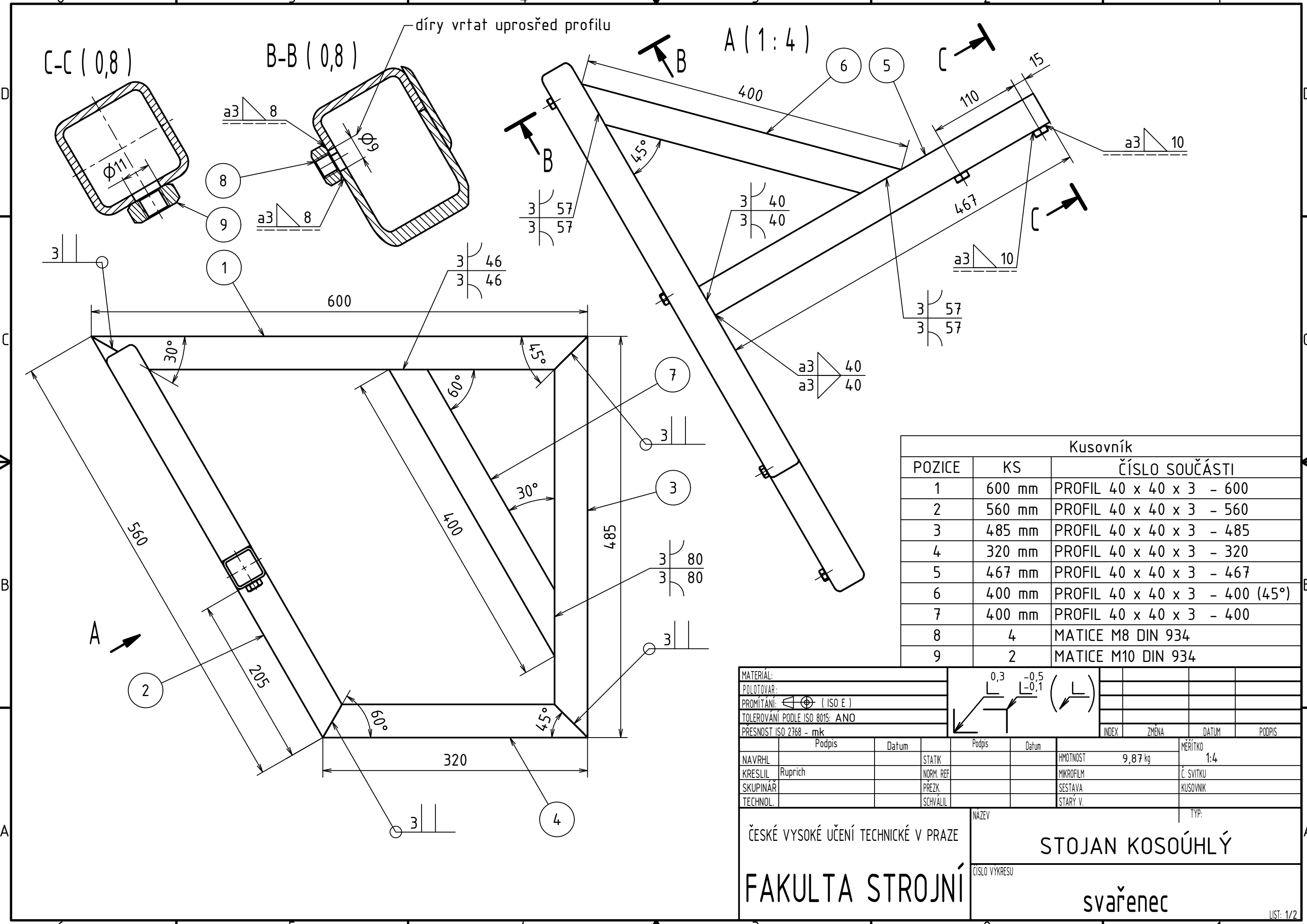


Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	motor_L
2	1	motor_R
3	1	vedení_L
4	1	vedení_R
5	1	bovdny
6	1	základní deska
7	1	zadní uložení motorů
8	2	mezikus
9	1	držák_L
10	1	držák_R
11	1	opěrný plech
12	1	čep zadní
13	2	čep přední
14	2	čep se závitem
15	1	čep volby
16	1	čep řazení
17	1	trubka distanční
18	1	vložka plastová
19	4	DIN 912 - M8 x 18
20	10	DIN 912 - M3 x 10
21	8	DIN 912 - M3 x 6
22	2	DIN 934 - M6
23	2	DIN 985 - M6_sam
24	2	DIN 125 - A 8,4
25	6	DIN 125 - A 6,4
26	4	DIN 127 - A 8
27	2	starlock_8
28	4	starlock_6
29	2	C-kroužek

MATERIAL:		POLŮTOVÁŘ:		PROMĚTÁNÍ:		TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:		PŘESNOST ISO 2768 -		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	7 kg	MĚŘÍTKO 1:2					
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF.			MIKROFILM		Č. SVITKU					
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNÍK					
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.		TYP:					
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE							SESTAVA ROBOTA ŘAZENÍ						
FAKULTA STROJNÍ							ČÍSLO VYKRESU						

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



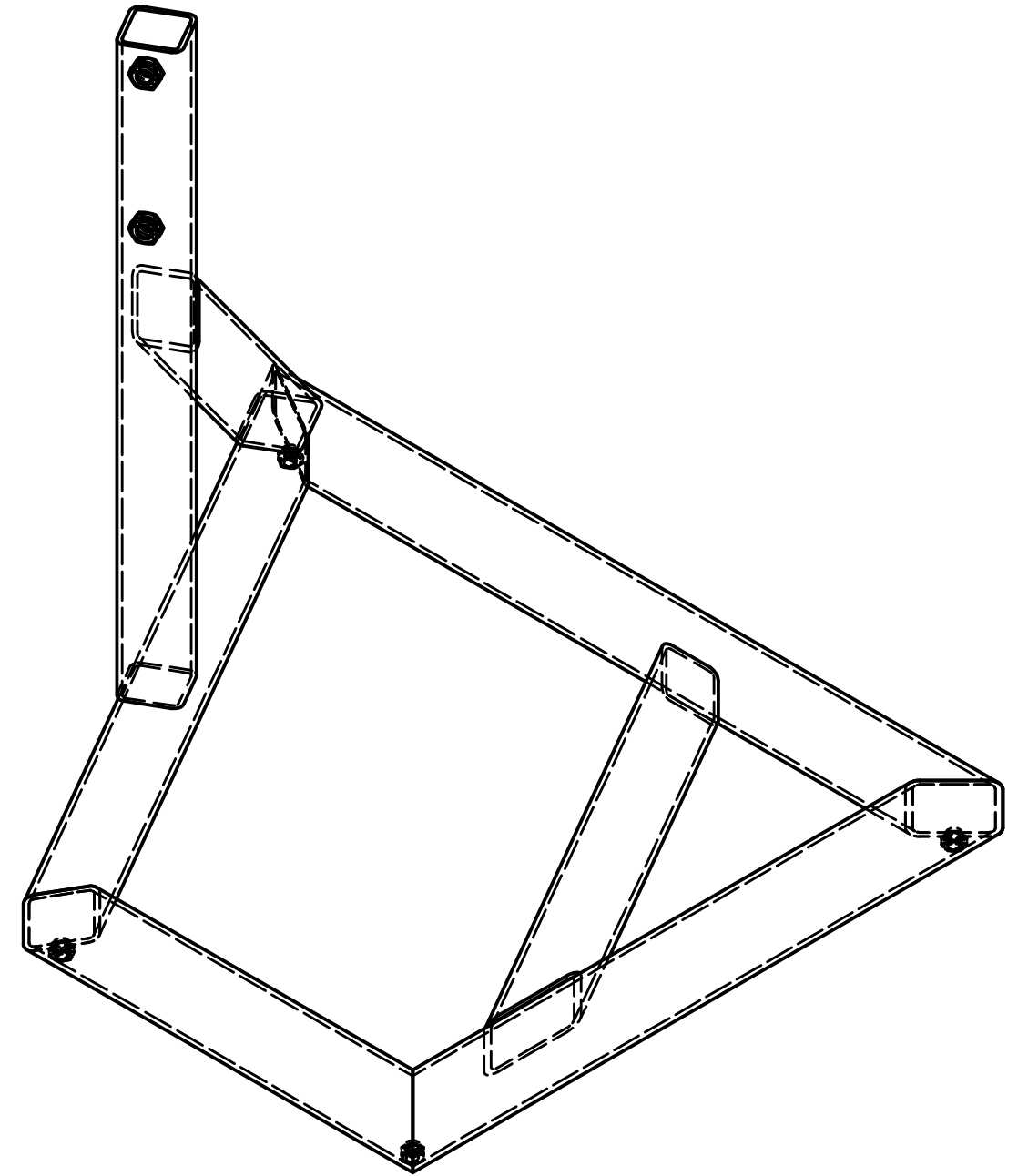
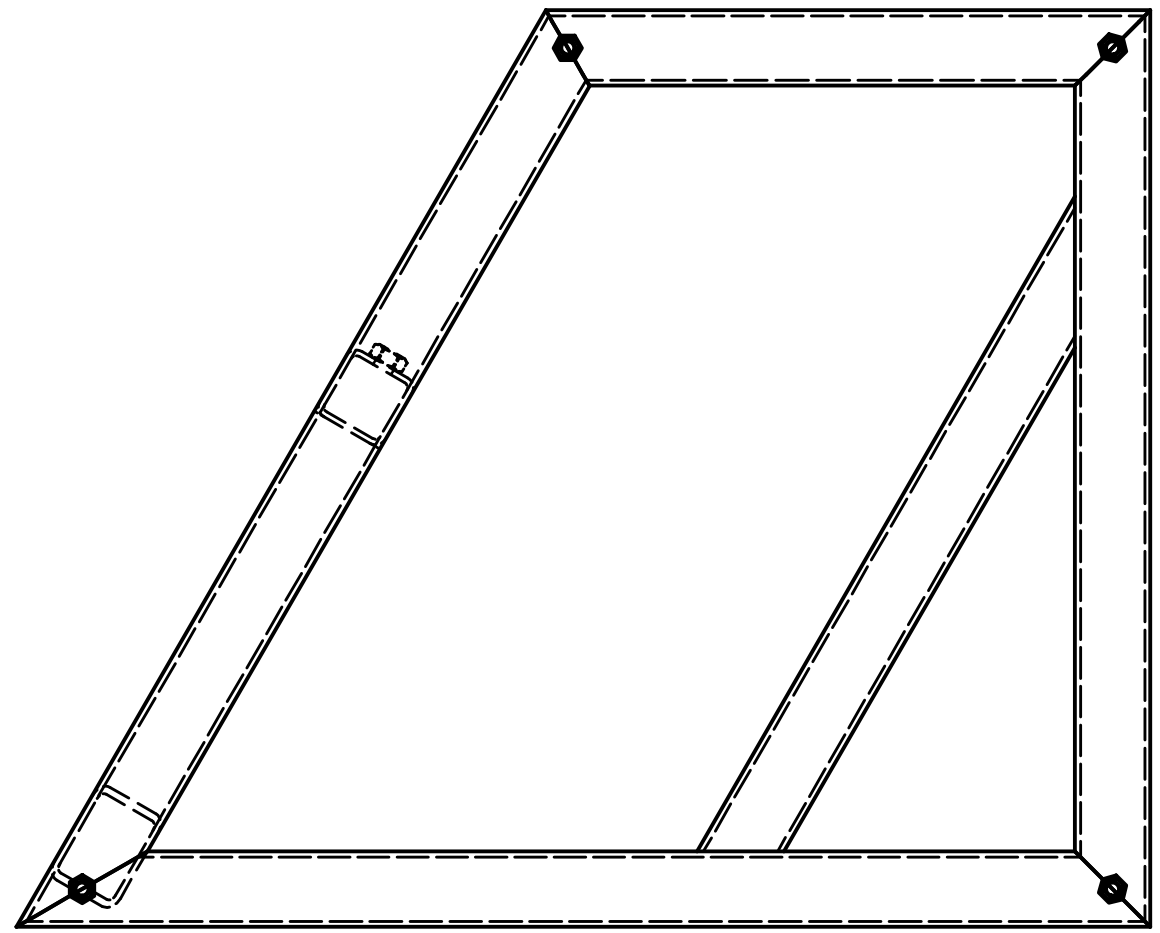
Kusovník

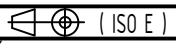
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	600 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 600
2	560 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 560
3	485 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 485
4	320 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 320
5	467 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 467
6	400 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 400 (45°)
7	400 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 400
8	4	MATICE M8 DIN 934
9	2	MATICE M10 DIN 934

MATERIAL:							
POLOTOVÁŘ:							
PROMĚTÁNÍ: H (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk							
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	DATUM	PODPIS		

NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	9,87 kg	MĚŘITKO	1:4
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNÍK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

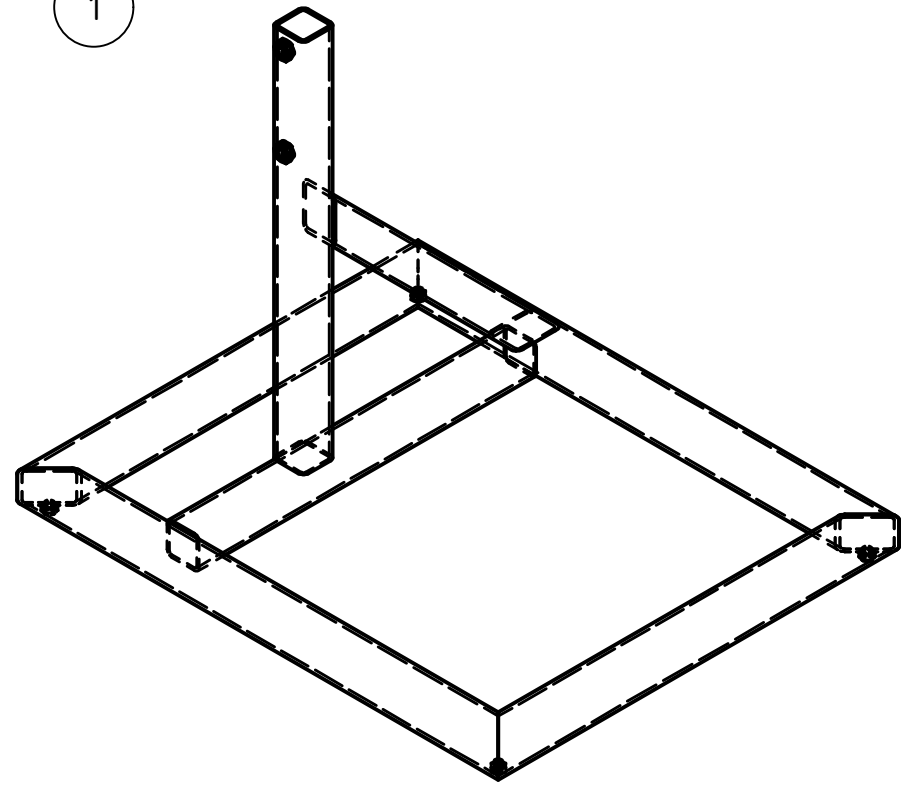
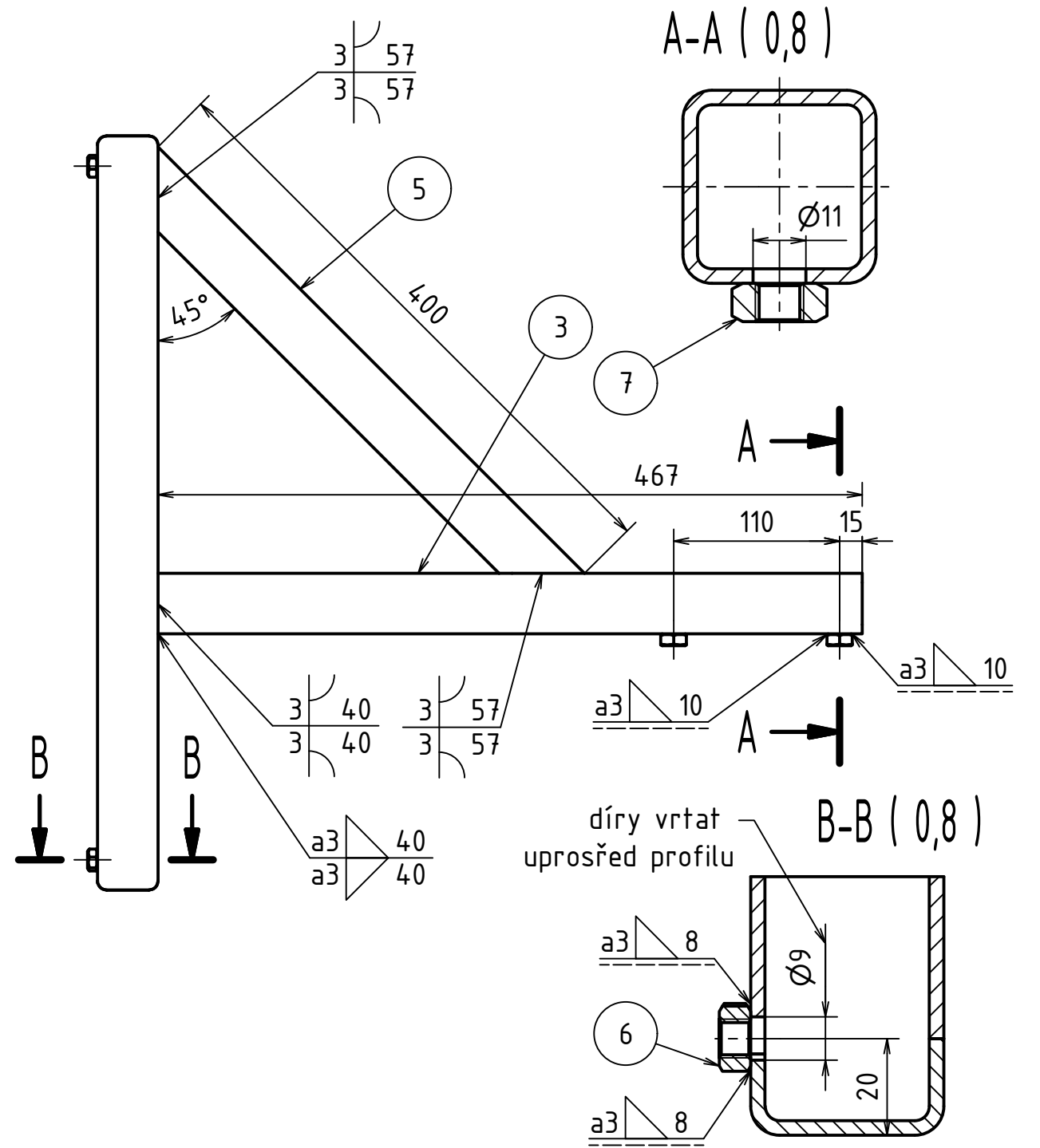
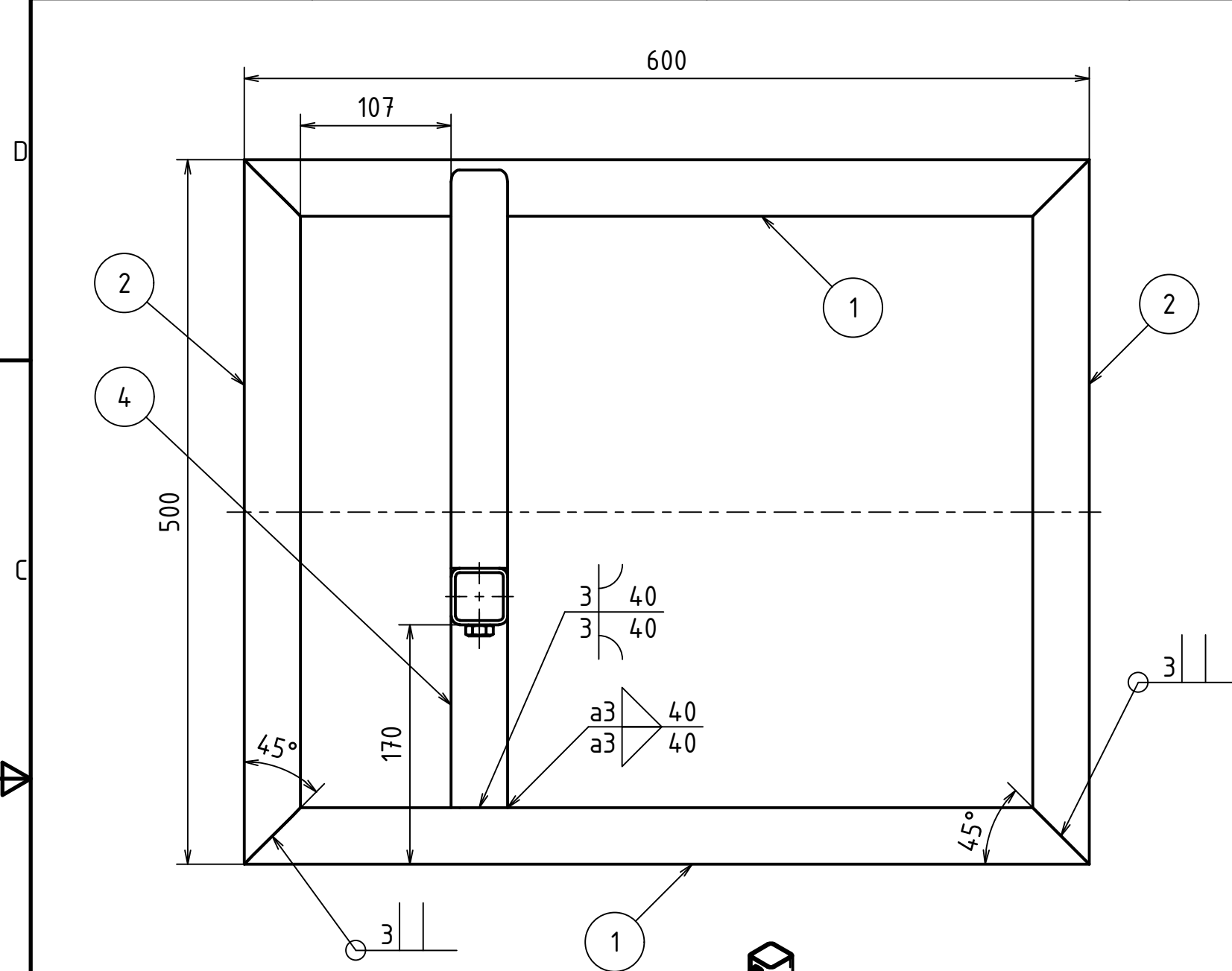
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	STOJAN KOSOÚHLÝ	
	ČÍSLO VYKRESU	svařenec	
		TYP:	



MATERIAL:									
POLOTOVÁŘ:									
PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)									
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO									
PŘESNOST ISO 2768 -									
	Podpis	Datum		Podpis	Datum	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
NAVRHL			STATIK			HMOTNOST	9,87 kg	MĚŘITKO	1:4
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE						NÁZEV			
FAKULTA STROJNÍ						STOJAN KOSOÚHLÝ			
						TYP:			
						svařenec			
						ČÍSLO VYKRESU			

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

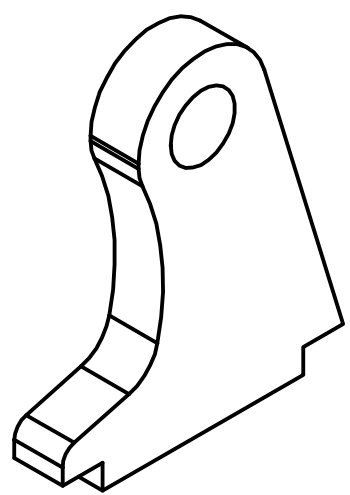
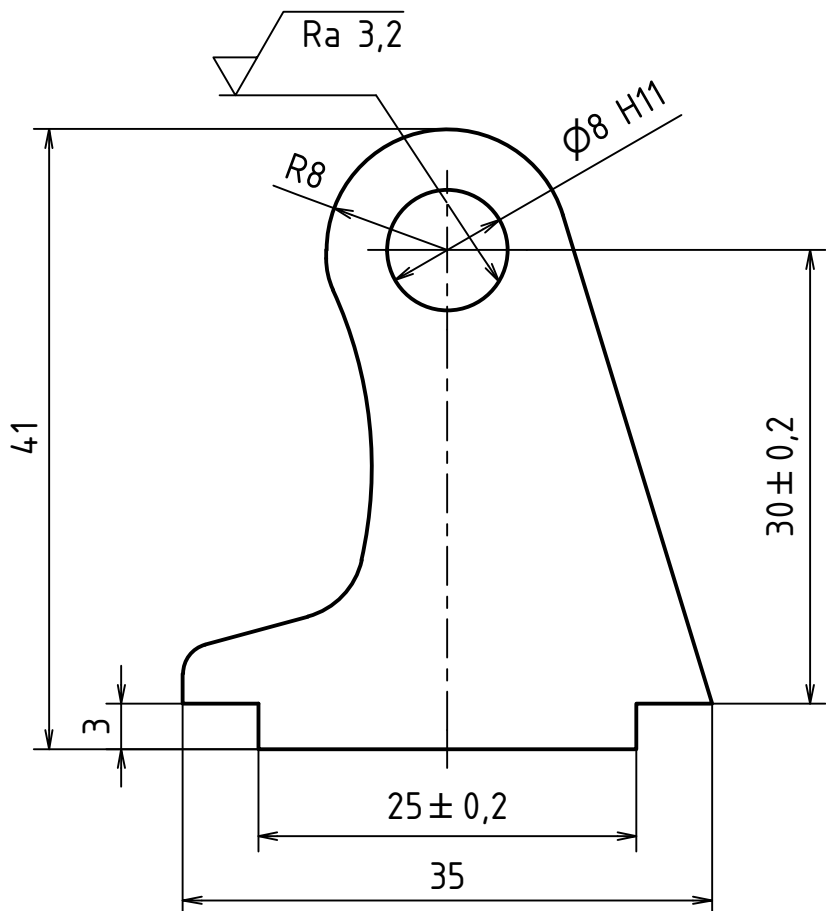


Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	600 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 600
2	500 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 500
3	467 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 467
4	420 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 420
5	400 mm	PROFIL 40 x 40 x 3 - 400 (45°)
6	4	MATICE M8 DIN 934
7	2	MATICE M10 DIN 934

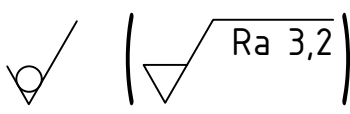
MATERIAL:		POLOTOVÁŘ:		PROMÍTÁNÍ: (ISO E)		TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO		PŘESNOST ISO 2768 -	
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	DATUM	PODPIS	HMOTNOST	10,9 kg	MĚŘÍTKO	1:4
NAVRHL						STATIK		Č. SVITKU	
KRESLIL	Ruprich					NORM. REF.		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ						PŘEZK.		KUSOVNIK	
TECHNOL.						SCHVÁLIL		SESTAVA	STARÝ V.
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE						NÁZEV			
FAKULTA STROJNÍ						STOJAN OBDÉLNÍKOVÝ			
						TYP:			
						svařenec			

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



PŘESNÝ TVAR URČEN ELEKTRONICKY

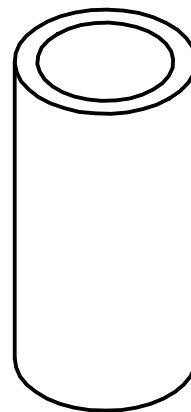
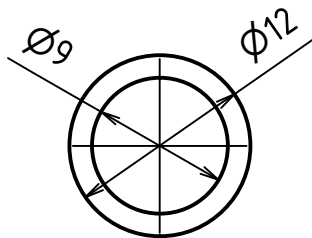
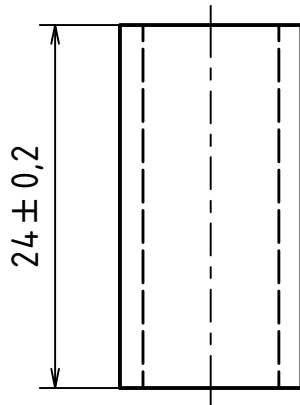


MATERIÁL: S235JRG1									
POLOTOVAR: PL 6									
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)									
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO									
PŘESNOST ISO 2768 - mk									
						INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

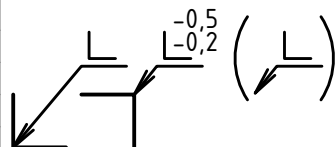
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,035 kg	MĚŘITKO	2:1
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	TYP:
	STOJKA ZADNÍ	
	ČÍSLO VYKRESU	

6 5 4 3 2 1



MATERIÁL: 11 353.1									
POLOTOVAR: TR KR 12x1,5-24 ČSN 42 0260									
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)									
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO									
PŘESNOST ISO 2768 - mk									
						INDEX		ZMĚNA	
						DATUM		PODPIS	
Podpis		Datum		Podpis		Datum		MĚŘITKO	
NAVRHL				STATIK		HMOTNOST		0,009 kg	
KRESLIL		Ruprich		NORM. REF		MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ				PREZK.		SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.				SCHVÁLIL		STARÝ V.			



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE		NÁZEV		TYP:	
FAKULTA STROJNÍ		TRUBKA DISTANČNÍ			
		ČÍSLO VYKRESU			

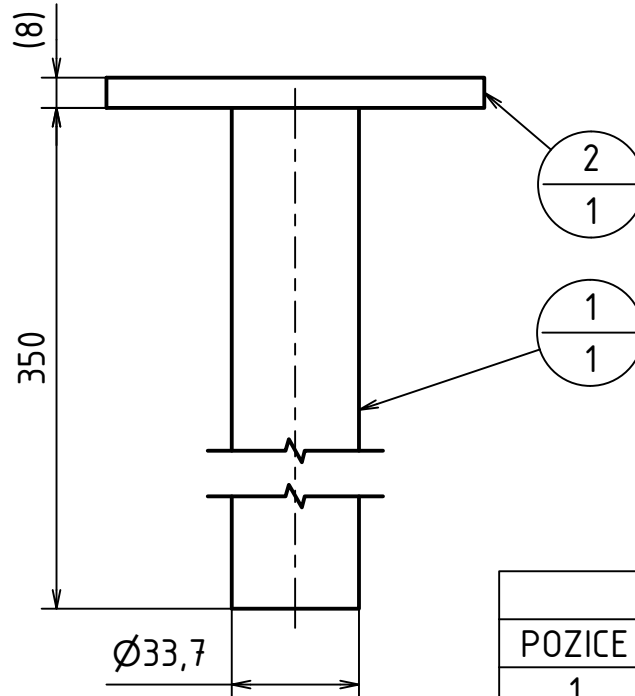
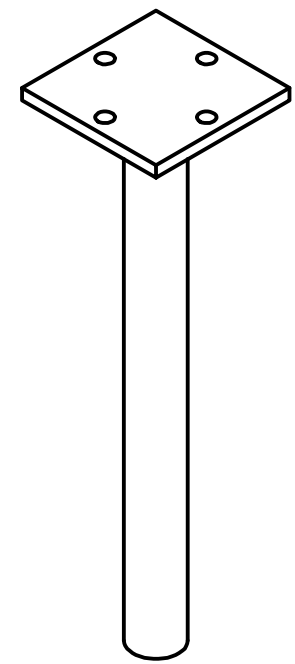
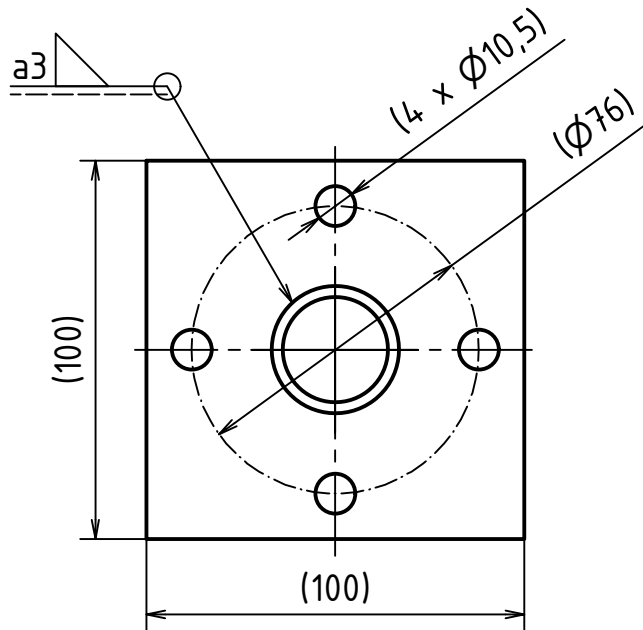
6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

LIST:

6 5 4 3 2 1



Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	trubka 33,7x3-350
2	1	patka

MATERIÁL:							
POLOTOVAR:							
PROMÍTÁNÍ:							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 -				INDEX		ZMĚNA	
				DATUM		PODPIS	
Podpis		Datum		Podpis		Datum	
NAVRHL		STATIK		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
KRESLIL Ruprich		NORM. REF		1,401 kg		1:2	
SKUPINÁŘ		PŘEZK.		MIKROFILM		Č. SVITKU	
TECHNOL.		SCHVÁLIL		SESTAVA		KUSOVNIK	
				STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

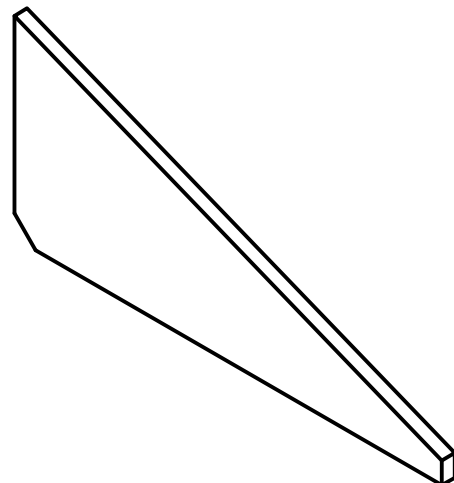
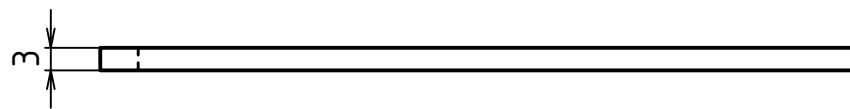
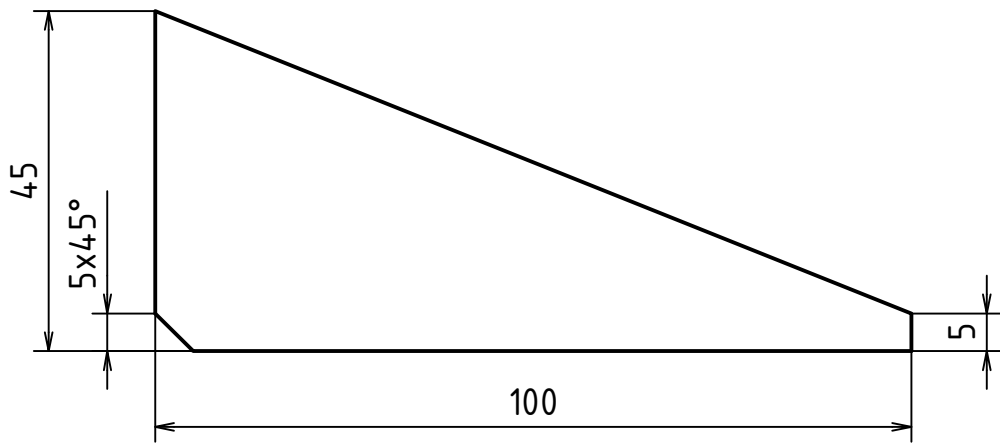
NÁZEV
VÝSUV
 ČÍSLO VYKRESU
svařenec
 TYP:

6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

6 5 4 3 2 1



MATERIÁL: S235JRG1				INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: PL 3							
PROMÍTÁNÍ: (ISO E)							
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO							
PŘESNOST ISO 2768 - mk							

Podpis	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	0,059 kg	MĚŘÍTKO	1:1
NAVRHL		STATIK		MIKROFILM		Č. SVITKU	
KRESLIL	Ruprich	NORM. REF		SESTAVA		KUSOVNIK	
SKUPINÁŘ		PREZK.		STARÝ V.			
TECHNOL.		SCHVÁLIL					

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	VÝZTUHA	TYP:
	ČÍSLO VYKRESU		

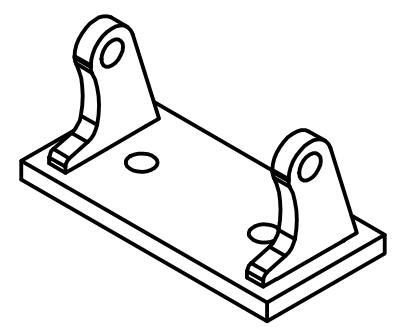
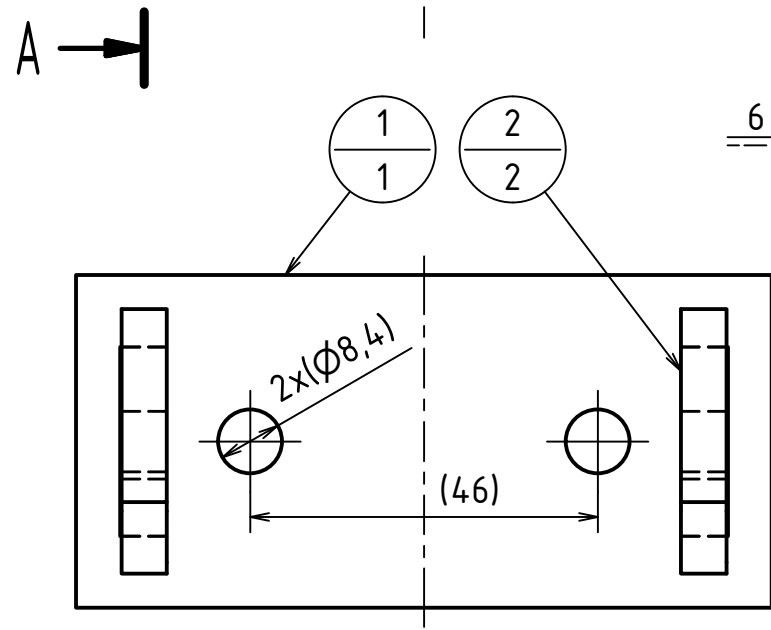
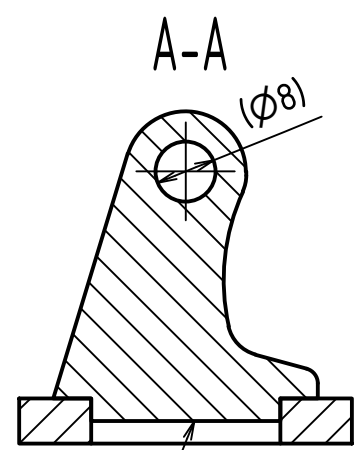
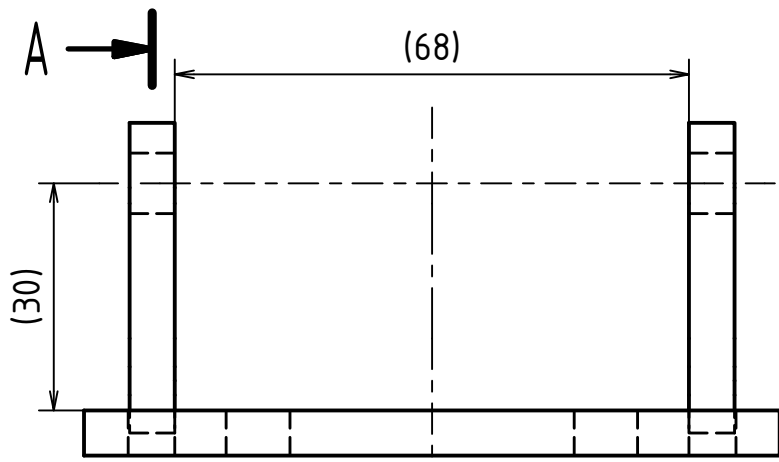
6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

LIST:

6 5 4 3 2 1



VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

Kusovník		
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI
1	1	deska zadní
2	2	stojka zadní

SVAŘOVAT S UMÍSTĚNÝM ČEPEM

MATERIÁL:								
POLOTOVAR:								
PROMÍTÁNÍ:								
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015:								
PŘESNOST ISO 2768 -								
	Podpis	Datum	Podpis	Datum	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

NAVRHL		STATIK		HMOTNOST	0,242 kg	MĚŘÍTKO	1:1
KRESLIL	Ruprich	NORM. REF		MIKROFILM		Č. SVITKU	
SKUPINÁŘ		PREZK.		SESTAVA		KUSOVNIK	
TECHNOL.		SCHVÁLIL		STARÝ V.			

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ	NÁZEV	ZADNÍ ULOŽENÍ MOTORŮ	TYP:
	ČÍSLO VYKRESU	svařenec	

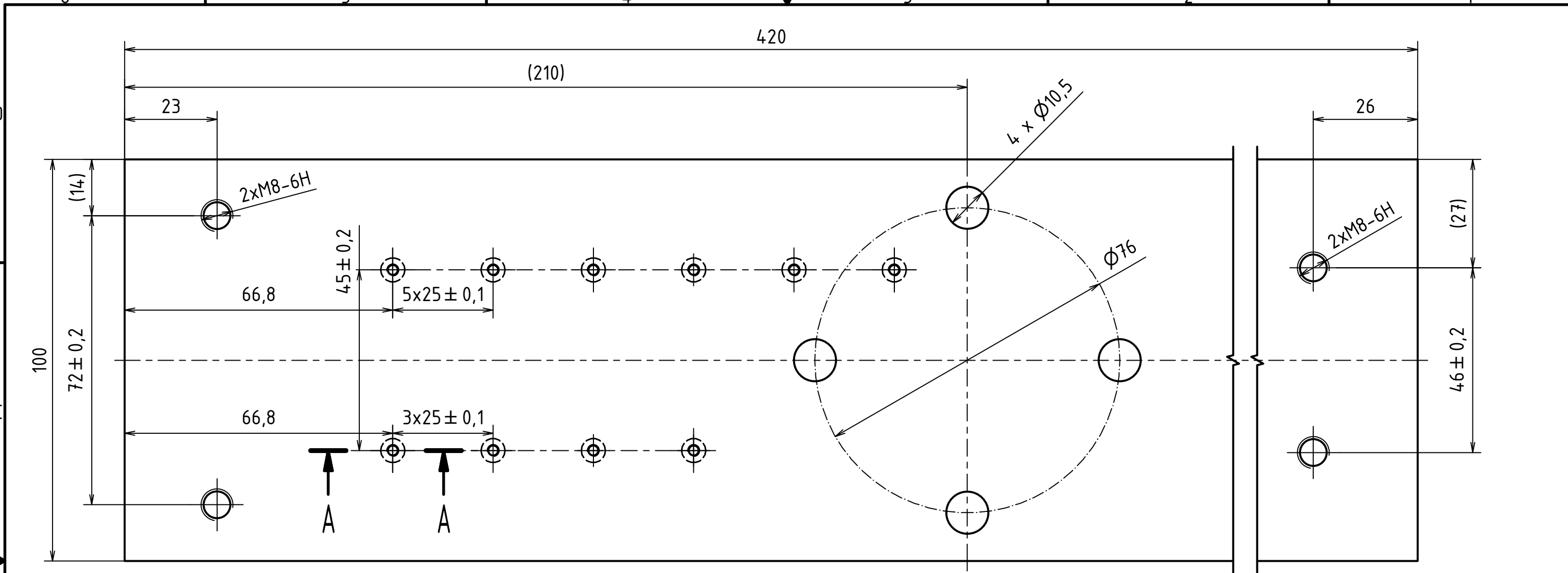
6 5 4 3 2 1

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

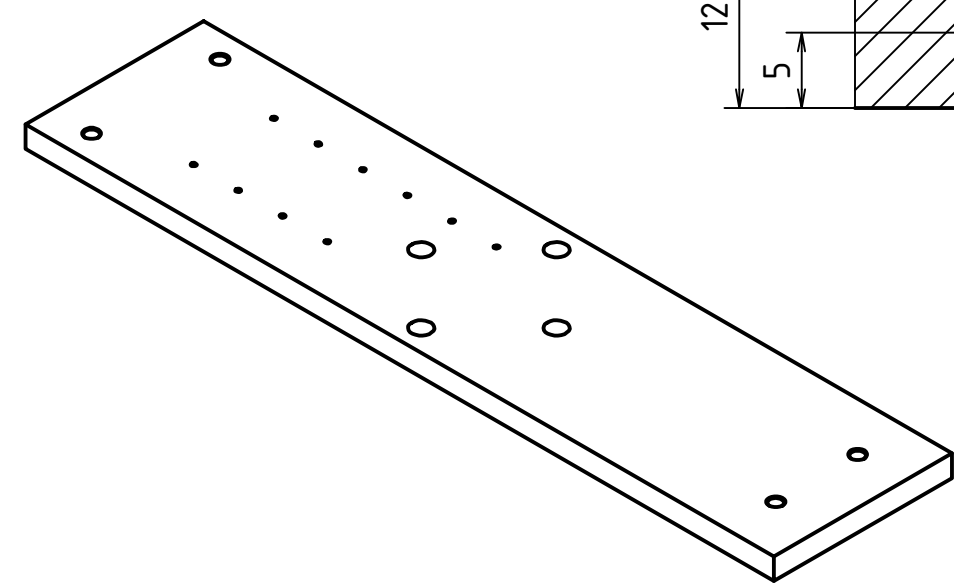
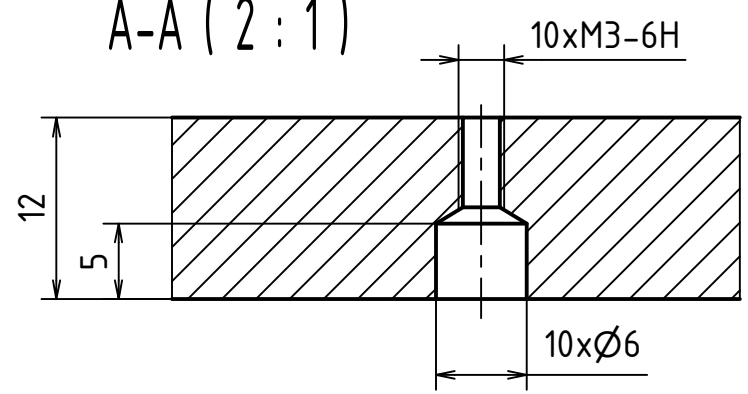
LIST:

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



A-A (2:1)



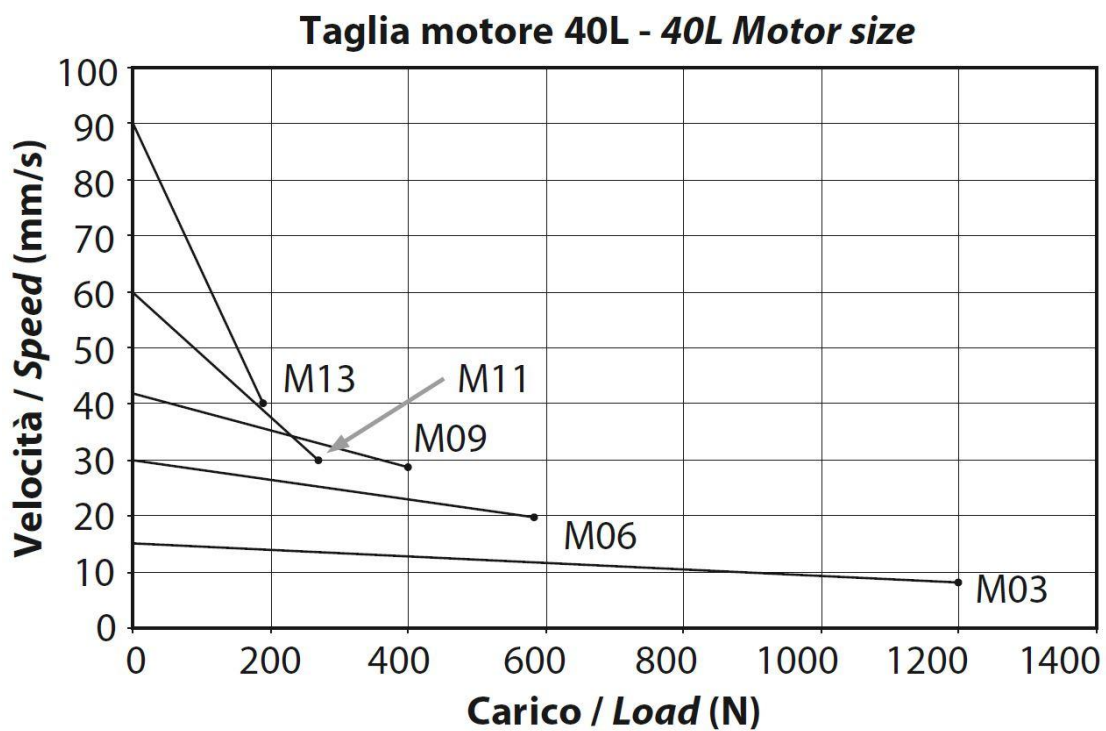
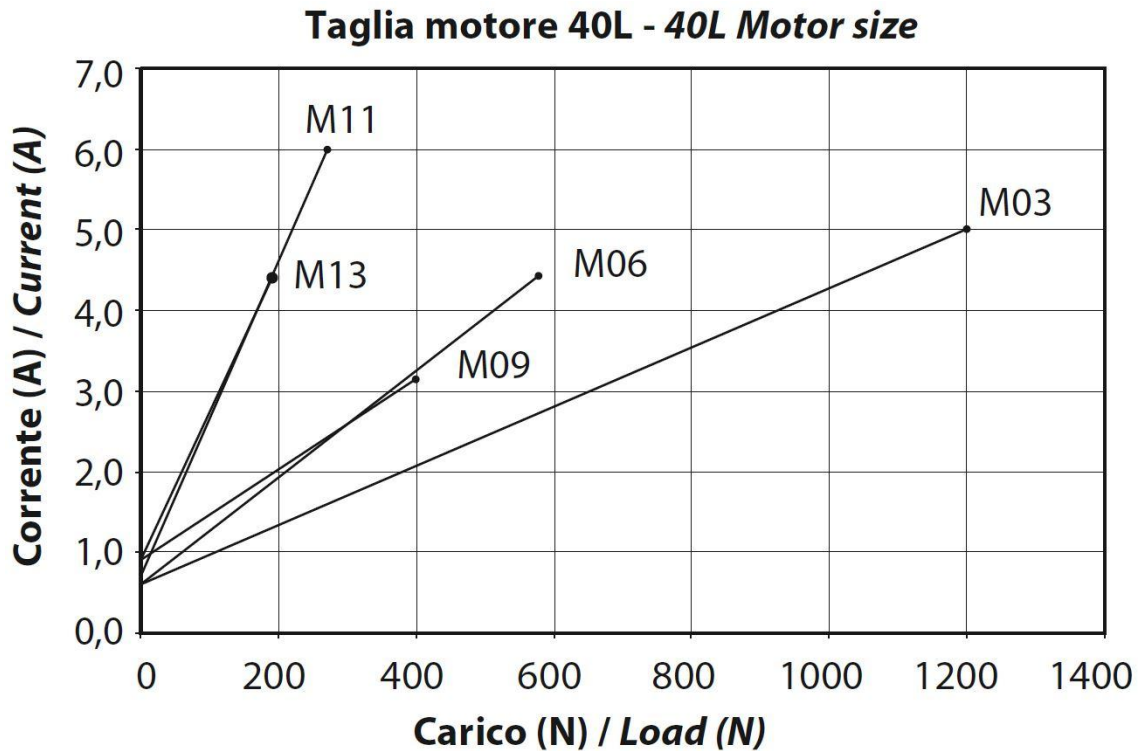
✓ (Ra 6,3)

MATERIAL: S235JRG1		POLOTOVÁŘ: PL 12		PROMÍTÁNÍ: (ISO E)		TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015: ANO		PŘESNOST ISO 2768 - mk		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
NAVRHL	Podpis	Datum	STATIK	Podpis	Datum	HMOTNOST	3,896 kg	MĚŘITKO 1:1					
KRESLIL	Ruprich		NORM. REF			MIKROFILM		Č. SVITKU					
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA		KUSOVNIK					
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.							

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE		NÁZEV		TYP:	
FAKULTA STROJNÍ		ZÁKLADNÍ DESKA			
ČÍSLO VYKRESU					

Příloha B

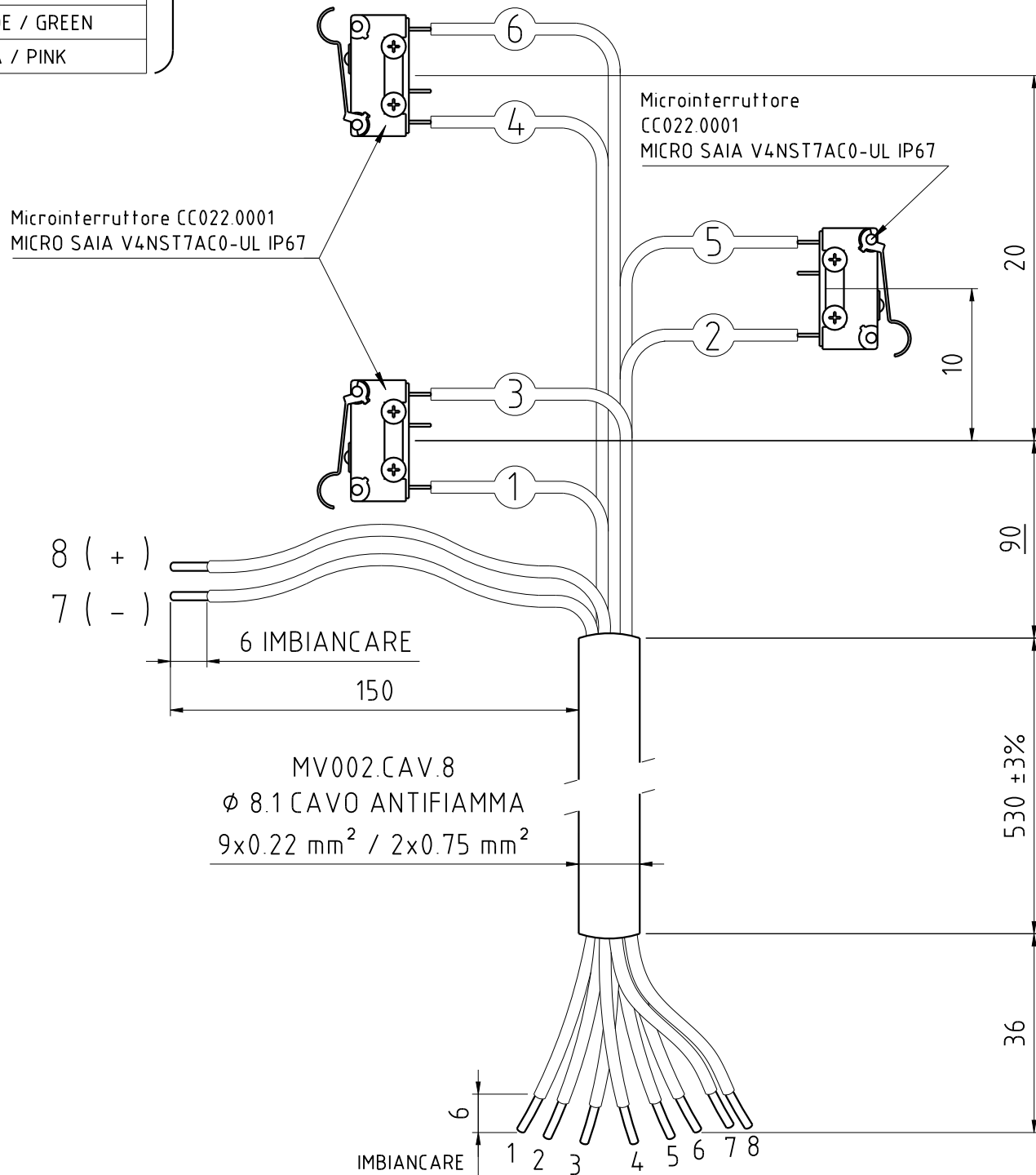
Dokumentace a vlastnosti servopohonů MecVel ALI1-F_0100_M03_24_M0_C01_P1_A1.



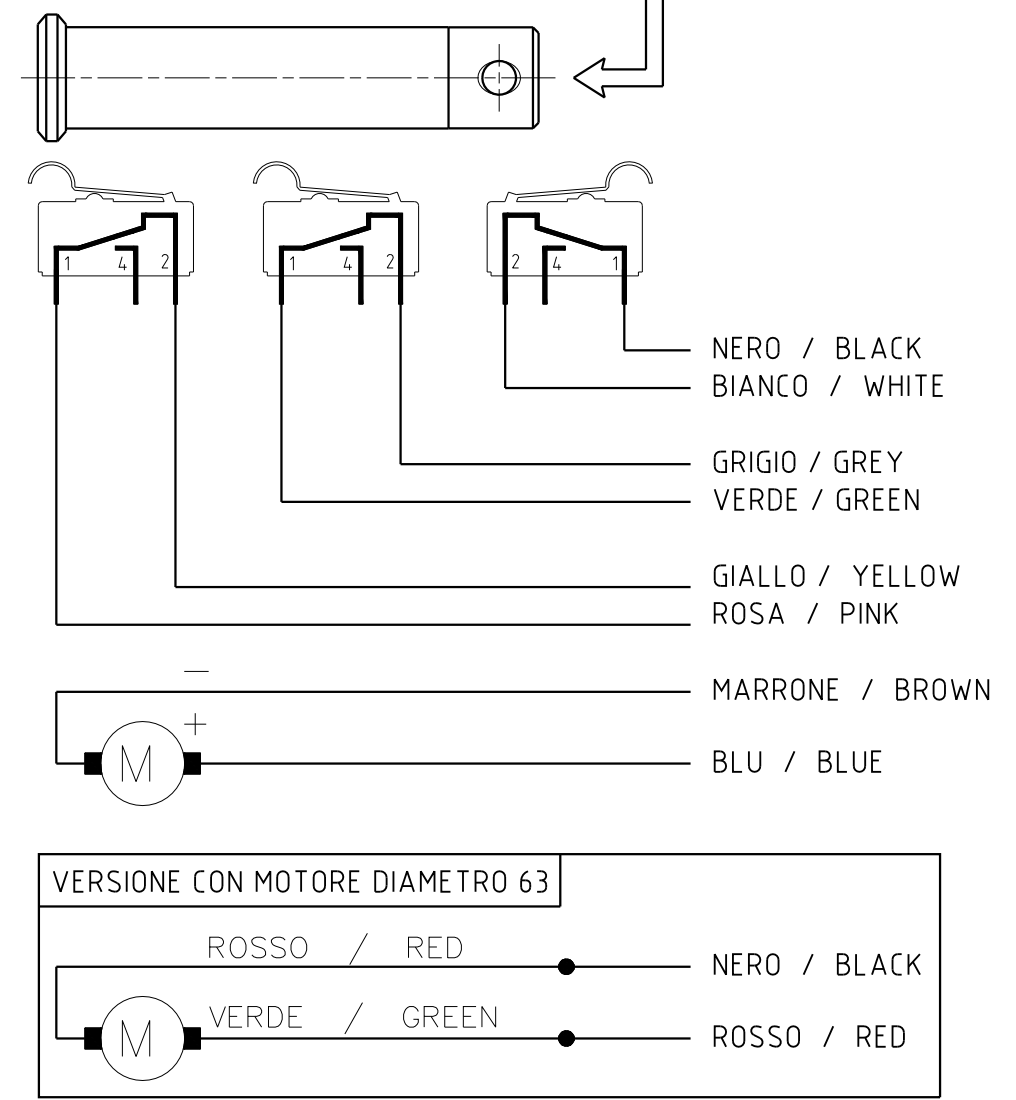
COLORI CAVI	
8	BLU/BLUE
7	MARRONE/BROWN
6	NERO/BLACK
5	GRIGIO / GREY
4	BIANCO / WHITE
3	GIALLO / YELLOW
2	VERDE / GREEN
1	ROSA / PINK

0.75 mm²
0.22 mm²

1 PEZZO CC021.0184 GUAINA PVC 70° NERA D.4.3 SPESSORE 0.5 L = 90
1 PEZZO CC021.0184 GUAINA PVC 70° NERA D.4.3 SPESSORE 0.5 L = 80
1 PEZZO CC021.0184 GUAINA PVC 70° NERA D.4.3 SPESSORE 0.5 L = 70



Verso di avanzamento stelo con alimentazione come da schema per motore DX, per motore SX invertire polarità



Eseguire secondo istruzione operativa IOP 7.5 15 C04

UNI EN 22768 SCOSTAMENTI PER DIMENSIONI LINEARI NOMINALI (±)								QUOTE SENZA INDICAZIONE DI TOLLERANZA			
UNI EN 22768 MOVEMENTS FOR NOMINAL LINEAR DIMENSIONS (±)								DIMENSIONS WITHOUT TOLERANCE			
Designazione	Denominazione	da 0.5 a 3 ×	>3 a 6	>6 a 30	> 30 a 120	> 120 a 400	> 400 a 1000	> 1000 a 2000	Raggi utensile non quotati - Tool radiuses without indication R 0.2 max		
m	medio	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	Spigoli esterni non quotati - Sharp external without indication sm 0.5x45°		
f	fine	0.05	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	Spigoli interni non quotati - Sharp internal without indication R1 max		
MATERIALE-MATERIAL		TRATT. TERMICO - HEAT TREATMENT			PROF. CEMENTAZIONE CASEHARDENING DEPTH		DUREZZA SUPERF. HARDNESS		TRATTAMENTO SUPERFICIALE SURFACE TREATMENT		
		MODELLI - MODELS			SCALA - SCALE		RICAVARE DA OBTAINED FROM		DATA-DATE		
		AL11			1:1		RICAVABILE DA EXTRACTIBLE FROM		13.12.2004		
Via Due Portoni, 23 40132 Bologna Italy		FIRMA SIGNATURE			CONTROLLO APPROVED		C.Fiorini		CODICE - PART N.		
NOTE		DESCRIZIONE / DESCRIPTION			CD015.0206		REV.		A		

A = CORSA - 10

DESCRIZIONE / DESCRIPTION CABLAGGIO 3FC C04 MOD.AL11-N, CORSA 100, CAVO STANDARD CM 50

CD015.0206

REV. A

8	R. ABRUZZESE	FIRMA SIGNATURE
04/12/2013	DATA DATE	
IMMESSO IN PDM	OGGETTO ITEM MODIFIED	
A	QUESTO DISEGNO E' DI PROPRIETA' DELLA "MecVel" BOLOGNA ED A TERMINI DI LEGGE NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO O RESO NOTO A TERZE PERSONE. SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA DELLA MEDESIMA. THIS DRAWING IS PROPERTY OF "MecVel" AND BY LAW DISPOSAL IT CANNOT BE REPRODUCED OR NOTIFIED TO THIRD PERSONS WITHOUT ITS WRITTEN AUTHORIZATION.	