

Konstrukční návrh polymerního výrobku Trilobit

Bc. Kamil Máčala

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kamil MÁČALA**
Osobní číslo: **T11165**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh polymerního výrobku Trilobit**

Zásady pro vypracování:

- 1. Úvod**
- 2. Lokomoční pomůcky určené pro sport**
- 3. Přehled kompozitních polymerů a technologií výroby výrobků**
- 4. Konstrukční návrh výrobku a základní pevnostní výpočet**
- 5. Technologický návrh výroby vybrané části**
- 6. Závěr**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Literatura dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

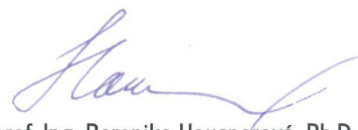
10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: MÁČALA KAMIL.....

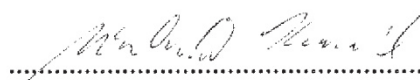
Obor: KTZ.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 3. 5. 2013.....


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požít na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídáne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem části multifunkčního vozíku pro tělesně postižené sportovce, který vychází s designové studie Trilobit. Rozšiřuje bakalářskou práci o možnost konstrukce z polymerních kompozitů. V teoretické části se zabývá rozdělením sportovních pomůcek pro invalidní sportovce, volbou materiálu na výrobu a technologií výroby.

Praktická část diplomové práce se věnuje konstrukčnímu návrhu sledge a in-line brusle. Návrh obsahuje základní pevnostní výpočty a technologický návrh výroby sedlové částí.

Klíčová slova: Trilobit, sledge brusle, in-line brusle

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the structural design of the multi wheelchair for disabled athletes, which is based on a design study Trilobite. The thesis extends bachelor thesis about the possibility of construction of polymeric composites. The theoretical part concerned with the distribution of sports equipments for disabled athletes, choice of material for the manufacture and producing technology.

The practical part of the thesis deals with engineering design sledge and in-line skates. The proposal includes basic strength calculations and technological design production of saddle parts.

Keywords: Trilobite, sledge skates, in-line skates

Děkuji mému vedoucímu doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi CSc. za odborné rady a podněty, které mi poskytl při zpracování diplomové práce.

Děkuji Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za pomoc při výrobě formy.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 DESIGNOVÁ STUDIE TRILOBIT	13
2 LOKOMOČNÍ POMŮCKY URČENÉ PRO SPORT	14
2.1 LOKOMOCE ČLOVĚKA.....	14
2.2 VOZÍKY PRO TĚLESNĚ POSTIŽENÉ	14
2.2.1 Aktivní vozíky pro tělesně postižené s pevným rámem.....	15
2.2.2 Skládací aktivní vozíky pro tělesně postižené	15
2.2.3 Aktivní vozík Trilobit	16
2.3 HANDBIKE A HANDCYCLING.....	16
2.3.1 Handbike	17
2.3.2 Adaptér na vozík pro tělesně postižené.....	18
2.3.3 Handbike Trilobit	19
2.4 MONOSKI	19
2.4.1 Monoski.....	19
2.4.2 Monoski Trilobit	20
2.5 IN-LINE BRUSLE.....	20
2.6 SLEDGE BRUSLE	21
2.6.1 Sledge brusle	21
2.6.2 Sledge brusle Trilobit	22
3 KOMPOZITNÍ POLYMERY	23
3.1 DEFINICE KOMPOZITU	23
3.2 SYNERGICKÝ EFEKT	24
3.3 VŠEOBECNÉ VLASTNOSTI	24
3.4 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	25
3.5 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA.....	26
3.5.1 Skleněná vlákna	29
3.5.2 Aramidová vlákna	30
3.5.3 Uhlíková vlákna	32
3.5.4 Přírodní vlákna	33
3.6 SROVNÁNÍ VYZTUŽUJÍCÍCH VLÁKEN.....	33
3.7 MATRICE.....	35
3.8 REAKTIVNÍ PRYSKYŘICE.....	36
3.8.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)	37
3.8.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)	37
3.8.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)	38
3.8.4 Fenolické pryskyřice (PF-R)	38
3.9 SHRNUÍ VLASTNOSTÍ REAKTIVNÍCH PRYSKYŘIC	39
3.10 TERMOPLASTY	39
3.10.1 Termoplasty vyztužené krátkými vlákny	40
3.10.2 Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny	40
3.10.3 Vysokopevnostní termoplastové kompozity	41

3.11	SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ TERMOPLASTICKÉ MATRICE	42
4	TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ	43
4.1	PREPREG.....	43
4.2	RUČNÍ KLADENÍ.....	44
4.1	LISOVÁNÍ POMOCÍ VAKUOVÉHO VAKU	45
4.2	LISOVÁNÍ POMOCÍ TLAKOVÉHO VAKU	46
4.3	NAVÍJENÍ.....	46
4.4	AFP – NAVÍJENÍ ROVINOVÉHO PREPREGU.....	48
4.5	OPLÉTÁNÍ.....	48
4.6	RTM	48
4.7	RIM	49
4.8	PULTRUZE	49
4.8.1	Zásobník výztuží a naváděcí systém	50
4.8.2	Impregnační sektor a předtvarování.....	51
4.8.3	Tvarovací a vytvrzovací hlava	51
4.8.4	Tažná sekce	52
4.8.5	Dělicí sekce	52
4.9	PULFORMING.....	52
4.10	PDM PULTRUZE	52
5	RECYKLACE	53
5.1	SPALOVÁNÍ	54
5.2	CHEMICKÉ ZPRACOVÁNÍ.....	54
6	TVAROVÁNÍ ZA TEPLA	55
6.1	TVAROVÁNÍ MECHANICKÉ.....	55
6.2	TVAROVÁNÍ PŘETLAKOVÉ	56
6.3	TVAROVÁNÍ PODTLAKOVÉ	57
6.4	PŘEDTVAROVÁNÍ	57
6.4.1	Mechanické přetvarování	57
6.4.2	Pneumatické předtvarování.....	58
6.5	MATERIÁL FOREM	59
6.6	POUŽÍVANÉ TERMOPLASTY	60
7	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	61
II	PRAKTICKÁ ČÁST	62
8	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	63
9	INOVOVANÝ DESIGNOVÝ NÁVRH SLEDGE BRUSLE.....	64
10	KONSTRUKČNÍ NÁVRH SLEDGE BRUSLE.....	65

10.1	KONSTRUKČNÍ NÁVRH Z KOVOVÝCH PROFILŮ.....	65
10.2	KONSTRUKČNÍ NÁVRH 1.....	66
10.3	KONSTRUKČNÍ NÁVRH 2.....	67
10.4	KONSTRUKČNÍ NÁVRH 3.....	68
10.5	SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKČNÍCH VARIANT	69
10.6	PŘEDNÍ ČÁST BRUSLE	69
10.7	SEDLOVÁ ČÁST BRUSLE.....	70
10.8	SPODNÍ ČÁST BRUSLE	71
10.8.1	Spodní část sledge brusle	72
10.9	KOLÍKOVÝ KLOUB S ARETACÍ.....	72
10.10	ZADNÍ ULOŽENÍ	75
10.11	PRUŽNÝ ČLEN.....	77
10.12	VKLÁDÁNÍ A LEPENÍ DÍLŮ	78
10.13	SEDLO	78
11	MECHANICKÁ ANALÝZA.....	80
11.1.1	Maximálního zatížení:.....	81
11.1.2	Běžné zatížení	83
12	KONSTRUKČNÍ NÁVRH IN-LINE BRUSLE.....	84
12.1	KONSTRUKČNÍ NÁVRH DVOUSTOPÉ IN-LINE BRUSLE	84
12.2	KONSTRUKČNÍ NÁVRH IN-LINE BRUSLE	86
13	TECHNOLOGIE VÝROBY SEDLOVÉ ČÁSTI.....	87
13.1	VÝROBA RUČNÍM KLADENÍM A LEPENÍM	87
13.1.1	Aplikace na navrženou konstrukci	87
13.2	VÝROBA RUČNÍM KLADENÍM S VYUŽITÍM PŘETLAKU	88
13.2.1	Aplikace na navrženou konstrukci	88
13.3	VÝROBA POMOCÍ PDM PULTRUZE	90
14	VÝROBA MODELU SEDLA A SEDLOVÉ ČÁSTI BRUSLE	91
14.1	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY SEDLA.....	91
15	VÝROBA SEDLOVÉ ČÁSTI SLEDGE BRUSLE	96
15.1	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY FORMY NA SEDLOVOU ČÁST	96
	ZÁVĚR	99
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	101
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	103
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104
	SEZNAM TABULEK.....	107
	SEZNAM PŘÍLOH.....	108

ÚVOD

S nadsázkou se dá říct, že konec 20. století nastartoval dobu polymerů. Polymery jsou materiály složené z neustále se opakujících merů, z toho vznikl název polymer. Polymery postupně vytlačují doposud používané materiály ve všech odvětví průmyslu. Ve stavebnictví se používají především jako tepelně izolační materiály, v potravinářství na obalové materiály, v lékařství jako náhrady nebo protézy, jejich využití je opravdu veliké. Oproti kovům mají výhodu především ve zpracování, a to díky nižším zpracovatelským teplotám. Další nespornou výhodou je možnost efektivní sériové výroby dílů bez nutnosti použití dalšího způsobu zpracování materiálu. Největší výhodou polymerů ve srovnání s kovy, je jejich nízká hmotnost.

Limitujícím prvkem polymerů proti kovům – je jejich nízká pevnost a vysoká závislost na okolní teplotě. Pokud požadujeme dobré mechanické vlastnosti a nízkou hmotnost jako u polymerů, je vhodné použít kompozitní materiály. Kompozitní materiály neboli kompozity, jsou materiály složené ze dvou nebo více substancí s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi, lidstvo tento materiál využívá od nepaměti. Ve starověku se z hlíny a slámy stavěly chýše, z kamene a jílu dělaly ohniště. V dnešní době se využívají železobetonové konstrukce na stavby domů, sklolaminát se používá v chemickém průmyslu na chemicky odolné nádoby, kompozity s uhlíkovou výztuží neboli karbon se užívají na výrobu sportovních pomůcek a sportovních vozů.

Karbon se používá pro výrobu sportovního nářadí, především pro svou vysokou pevnost a nízkou hmotnost pomalu vytlačuje tradiční materiály. Příkladem ústupu tradičních materiálů ve vrcholovém sportu je nahrazování dřevěných hokejových holí kompozitními.

Diplomová práce poukazuje na to, že v tomto trendu nahrazování jednotlivých materiálů lze pokračovat i ve sportech pro tělesně postižené jedince, proto se práce věnuje využití moderních materiálů, jako jsou kompozity pro konstrukci multifunkčního vozíku pro tělesně postižené s názvem Trilobit.

Trilobit je multifunkční zařízení (dále jen vozík Trilobit), které v sobě spojuje pět sportovních pomůcek – aktivní vozík pro tělesně postižené, monoski, handbike, in-line a sledge brusle. Práce se zabývá konstrukčním návrhem dvou vybraných částí, a to sledge a in-line brusle.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DESIGNOVÁ STUDIE TRILOBIT

Vozík pro tělesně postižené nemusí být jen transportní prostředek pro tělesně postiženého člověka, ale může být multifunkční sportovní pomůcka. Právě toto platí, pro designový návrh vozíku Trilobit. Tento projekt vznikl ve spolupráci studentů Ateliéru průmyslového designu a Ústavem tělesné výchovy na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Jeho vývoj začal roku 2007. Hlavní podíl na tomto návrhu měl tehdejší student 4. ročníku Ateliéru průmyslového designu Jan Škola, který je hlavním designérem projektu Trilobit. Jan Škola také tento projekt představil na paralympiádě ve Vancouveru. [6]

Vozík Trilobit lze použít k přepravě, jako běžný vozík pro tělesné postižené, ale stačí málo a může se za jeho pomocí začít sportovat. Velmi lehce se může stát několika sportovními pomůckami. Trilobit nabízí několik variant, jako jsou in-line, lyže, sledge brusle nebo se může přestavět na handbike. Sedlová část vozíku je pro všechny varianty stejná a mění se jen spodní a přední komponenty. Studie počítá s použitím moderních materiálů, jako jsou uhlíková vlákna pro jeho konstrukci. To vozíku zaručí nízkou hmotnost a vysokou pevnost.

Diplomová práce se zabývá návrhem sledge brusle, která je jednou ze sportovních variant vozíku Trilobit. Sedlová část je shodná pro všechny varianty a musí zajišťovat dostatečné pohodlí ve všech variantách vozíků. Kloubové uchycení mezi sedlovou částí a další částí, musí zajistit tuhou konstrukci, ale zároveň musí být rychle odmontovatelné a vyměnitelné za jiný komponent.



Obr. 1. Ukázka variability vozíku Trilobit v pěti různých variantách. [7]

2 LOKOMOČNÍ POMŮCKY URČENÉ PRO SPORT

V teoretické části práce je popsáno rozdělení pomůcek pro tělesně postižené sportovce. Rozdělení je podle jednotlivých variant designového návrhu Trilobit.

2.1 Lokomoce člověka

Je schopnost pohybu člověka v daném prostoru pomocí vlastní svalové činnosti. Tato schopnost je zajištěna pomocí lokomočního systému člověka, který je podsystém pohybového systému, který zajišťuje a řídí aktivní přemístění člověka v daném prostoru. Pohyb pomocí dolních končetin je bipedální lokomoce. V důsledku onemocnění nebo úrazu může dojít k poruše lokomoční schopnosti člověka. [11]

2.2 Vozíky pro tělesně postižené

Základní rozdělení vozíků je podle pohonu – na elektrické a mechanicky ovládané. Elektrické vozíky jsou převážně využívány u lidí s větší omezenou hybností celého těla.

Mechanicky ovládané vozíky se dělí na:

- Standardní vozíky pro tělesně postižené:
 - Určeny pro běžné použití.
- Odlehčené vozíky pro tělesně postižené:
 - Lehčí varianty standardních vozíků.
 - Umožňují větší rozsah individuálního nastavení.
- Aktivní vozíky pro tělesně postižené:
 - Slouží pro sportovní a rekreační účely.
 - Mají nízkou hmotnost.
 - Mají větší množství doplňků, (blatníky, odnímatelná kola).

Aktivní vozíky pro tělesně postižené pro svůj charakter, jsou nejvíce podobné variantě aktivního vozíku Trilobit. Aktivní vozíky pro tělesně postižené jsou určeny pro lidi, kteří se chtějí aktivně účastnit denního života bez omezení. Jsou vyrobeny z nejlehčích materiálů zaručující vysokou pevnost. Nízká hmotnost a možnost nastavení těžiště, zaručuje nejlepší ovladatelnost ze všech vozíků pro tělesně postižené. Jejich základní variabilita bývá doplněna o různá přídatná zařízení pro pohodlnější užívání, (blatníky, odnímatelná kola). Hmotnosti aktivních vozíků se pohybují v rozmezí 8-13 kg. Nízké hmotnosti je docíleno

použitím slitin lehkých kovů a kompozitních materiálů vyztužených uhlíkovými vlákny. [15]

2.2.1 Aktivní vozíky pro tělesně postižené s pevným rámem

Jejich výhodou je, že jsou ze všech vozíků nejlehčí a zaručují tužší konstrukci proti skládacím vozíkům. Naopak nevýhodou jsou jen omezené možnosti rozložení a tím pádem i špatná možnost přepravy. Konstrukce aktivních vozíků je trubková a použité materiály jsou slitiny lehkých kovů v kombinaci s polymerními kompozity. [15]



Obr. 2. Aktivní invalidní vozík - Voyager.[15]

2.2.2 Skládací aktivní vozíky pro tělesně postižené

Jejich výhodou je poměrně nízká hmotnost a možnost složení vozíku. Nevýhodou je menší tuhost konstrukce a vyšší cena. Skládací aktivní vozíky jsou nejvíce podobné projektu Tribolbit. Konstrukce je složena z trubek z lehkých slitin a doplněna o kompozitní a polymerní materiály ve spojovacích částech. [15]



Obr. 3. Skládací aktivní vozík pro tělesně postižené - Avangarde T. [15]

2.2.3 Aktivní vozík Trilobit

Aktivní vozík Trilobit bude sloužit pro sportovce s tělesným postižením. Požadavkem je, využívat vozík Trilobit i ke každodennímu použití, proto musí zajistit dostatečné pohodlí pro uživatele. Konstrukce by měla být z nejlhčích materiálů, jako jsou polymerní kompozity. Konstrukce musí umožnit uživateli snadnou přestavbu vozíku na jinou variantu. Při konstrukci vozíku pro tělesně postižené se vychází z předpokladu, že sedlo a sedlová část konstrukce je pro všechny varianty totožná a bude se přidávat pouze podvozková část.



Obr. 4. Aktivní vozík Trilobit.[7]

2.3 Handbike a handcycling

Historie handcyclingu sahá až k roku 1983, kdy byl v USA sestaven první handbike. Z Evropy do USA se dostaly první americké handbiky až v roce 1990. Tehdy se Evropa začala zabývat cyklistikou tělesně postižených. První sportovní handbiky v Evropě sestrojili pánové Kees Van Breukelen roku 1993 v Holandsku a Gregor Peterson téhož roku v Německu. Německo s Holandskem se dodnes považují za kolébkou evropského handcyclingu. Historie závodů v handbike odstartovala roku 1993 Mistrovstvím Evropy ve Švýcarsku v rámci Human Powered Vehicles, kde byla vyčleněna samostatná kategorie pro handicapované cyklisty. Závodní handbike dostal své první podoby v roce 1995 a to v Německu, kde vznikl pod rukama Heino Schnula a Wolfganga Petersona. Prvním důležitým mezníkem v historii handcyclingu bylo jeho zařazení jakožto součást programu Mezinárodního paralympijského výboru. V roce 2001 došlo k dalšímu historickému průlomů. Tehdy byla založena European Handcycling Federation (EHF) s ředitelstvím v Belgii. [4]

Mezi jednotlivé typy závodů, v nichž každý tělesně postižený jedinec může startovat, se řadí silniční závody, silniční kritérium, časovka a etapové závody. Handicapovaní cyklisté mají i svou horskou cyklistiku, za zmínku stojí oficiální český pohár v mtb cyklistice. [4]

Rozdělení handbiků:

- Podle typu závodu:
 - Silniční handbike.
 - Handbike na horskou cyklistiku.
- Podle konstrukce
 - Handbike pevný.
 - Adaptér na vozík pro tělesně postižené.

2.3.1 Handbike

Lze je rozdělit na silniční a horské použití. Konstrukce handbiků vychází v některých částech z klasických silničních bicyklů a horských kol. Rám handbiku tvoří trubkovou konstrukci, na které je umístěno sedlo a řídítka, které slouží jako pohonná jednotka. Řídítka jsou opatřena převodovým ústrojím a brzdou. Pro zvýšení pohodlí bývají handbiky opatřeny odpružením. Je několik variant rámu s pohonem dvou kol nebo s pohonem jednoho kola. Materiály použité na jejich výrobu jsou podle účelu použití, od rekreačních vyráběných z ocelových profilů až po sportovní vyráběné z kompozitních materiálů. Hmotnost handbiků se pohybuje v rozmezí 5 – 20 kg.



Obr. 5. Silniční sportovní handbike. [4]



Obr. 6. Horský handbike.[18]

2.3.2 Adaptér na vozík pro tělesně postižené

Je variantou pro rekreační použití. Konstrukce je trubková a umožňuje připojení na aktivní invalidní vozíky pomocí speciálních upínačů. Materiály použité na výrobu jsou slitiny lehkých kovů nebo ocel.



Obr. 7. Adaptér v podobě handbiku.[19]

2.3.3 Handbike Trilobit

Handbike Trilobit bude sloužit pro aktivní využití volného času při rekreačním použití. Konstrukce vychází z vozíku Trilobit, která je doplněna hnací částí. Inspirací pro konstrukci mohou být přídatné adaptéry v podobě handbiků.



Obr. 8. Návrh handbiku Trilobit.[7]

2.4 Monoski

Monoski je jízda na jedné širší lyži, kde lyžař má obě nohy pevně upnuty vedle sebe. Technika jízdy je do určité míry podobná jízdě na lyžích. Jeden z prvních typů monoski byl vynalezen v 60. letech a byl později propagován jezdcem Mike Doylem. [5]

2.4.1 Monoski

Konstrukce monoski je rozdělena do několika částí. První částí je samotná lyže, používají se speciální lyže přímo od výrobce monoski nebo klasické lyže s univerzálním vázáním. Další částí je sedlo s odpružením a vázáním. Odpružení je řešeno pomocí plynokapalinného tlumiče s pružinou.

Materiály použité na výrobu jsou slitiny lehkých kovů a kompozitní polymery. Hmotnost monoski je 8-20 kg. Pro dobrou ovladatelnost lyže, je podstatná pevná fixace jezdce v sedle.



Obr. 9. Monoski.[20]

2.4.2 Monoski Trilobit

Monoski Trilobit využívá sedlové konstrukce, která je uchycena do sportovního vázání lyže. Odpružení je pomocí plynokapalinového tlumiče. Pro pohodlné užívání, je nutné řešit dobrou fixaci sportovce v sedle.



Obr. 10. Monoski Trilobit.[7]

2.5 In-line brusle

In-line brusle má totožnou konstrukci jako sledge brusle, jen spodní část bude obsahovat místo nožů pryžová kolečka.



Obr. 11. In-line brusle Trilobit.[7]

2.6 Sledge brusle

Sledge hokej se hraje ve speciálních sáních, odtud pochází i jeho název (anglicky sledge = sáně). Sáně jsou zkonstruovány ze sedáku, ocelového rámu a dvou nožů k bruslení. Hráči se pohybují a zároveň ovládají puk pomocí dvou krátkých hokejek opatřených na konci ocelovými hroty. [8]

2.6.1 Sledge brusle

První sledge brusle, které byly vyrobeny ve Švédsku kolem roku 60. minulého století, byly z ohnutých ocelových trubek opatřených dřevěným sedákem. Po rozšíření hry po celém Švédsku, se začaly objevovat první brusle vyrobené ze slitin lehkých kovů (především hliníku) a dřevěných sedáků s měkkou výstelkou. [15, s.32]

V současné době se stále sledge brusle vyrábí ze slitin lehkých kovů. Sedla jsou zhotovena z polymerních materiálů, vybavených koženými nebo polymerními upínacími popruhy. Konstrukce je téměř identická s prvními sledge bruslemi, kde trubkový rám tvoří základní část, na kterou je připevněno sedlo a nože.



Obr. 12. Sledge brusle.[21]

2.6.2 Sledge brusle Trilobit

Vývoj sledge brusle se zastavil s použitím slitin lehkých kovů. V současné době se ve všech vrcholových sportech využívá předností kompozitních materiálů na konstrukci sportovního náradí. Použití kompozitních materiálů přinese snížení hmotnosti.

Základní rám brusle bude vyroben z kompozitního polymeru a sedlo z polymeru. Pro lepší konstrukci a snížení nákladů je vhodné použití kompozitních profilů, které jsou v současné době v nabídce výrobců. Klouby a zajišťovací prvky je vhodné zhotovit ze slitin lehkých kovů a do rámu z kompozitu zafixovat lepením nebo nalisováním.



Obr. 13. Sledge brusle – trilobit.[7]

3 KOMPOZITNÍ POLYMERY

Kompozitní materiály jsou typické moderní konstrukční materiály. S rozvojem výrobních technologií se jejich uplatnění stále rozšiřuje do většího počtu výrobků. Nové výrobní technologie umožňují i lepší cenovou hladinu výrobků z kompozitních materiálů a tím i lepší distribuci ke spotřebitelům. Tyto materiály začínají postupně vytlačovat jiné konstrukční materiály, jako jsou slitiny lehkých kovů. Pro uplatnění v dané oblasti použití je nutné, aby kompozitní výrobek splňoval všechny požadavky, které na něj budou kladeny.

3.1 Definice kompozitu

Pro správné pochopení kompozitních materiálů je důležité si je definovat. Kompozitní materiály jsou složeny ze dvou nebo více materiálů, které se od sebe odlišují. Takto použitá definice kompozitního materiálu umožňuje považovat za kompozit téměř jakýkoliv technický materiál. Proto je nutné definici kompozitních materiálů více zpřesnit. [1, s. 5]

Přesná definice kompozitního materiálu, která by byla všeobecně uznávaná neexistuje. Zde jsou uvedeny dvě definice zpřesňující kompozitní materiály. [1, s. 7]

První definice, používaná v USA, vytvořená ve spolupráci NASA a amerických vojenských vývojových center, používaná v Composite Metals Handbooku. [1, s. 7]

Kompozitní materiál je kombinace dvou nebo více materiálů (vyztužovací elementy, výplně a spojovací matrice), lišících se v makroměřítku tvarem nebo složením. Složky si v nich zachovávají svou identitu (tzn. vzájemně se úplně nerozpouštějí ani neslučují), ačkoliv na svém okolí působí v součinnosti. Každá složka může být fyzikálně identifikována a mezi ní a dalšími složkami je rozhraní. [1, s. 7]

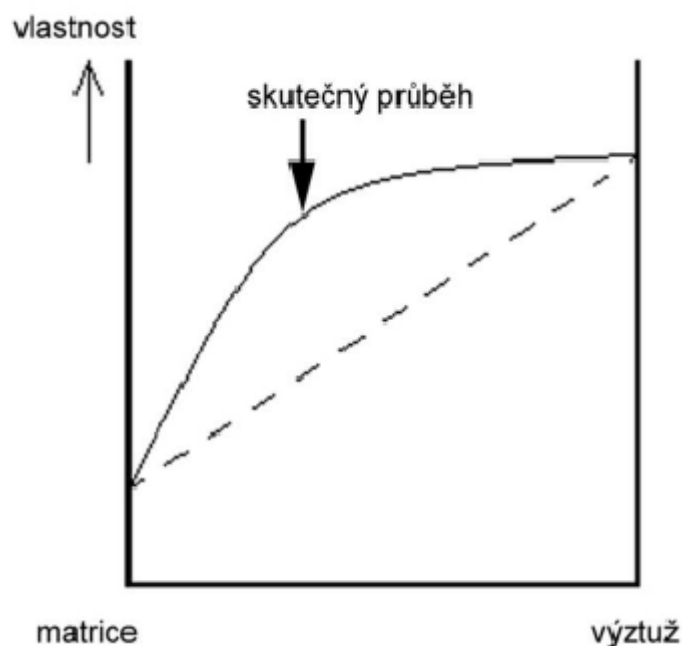
Druhá definice je od G.F.Miltona, zveřejněná v knize Theory of Composites, která je používána jako učebnice v Cambridge. [1, s. 7]

Kompozity jsou materiály, ve kterých jsou délkové nehomogenity v rozměrech mnohem větší, než jsou atomární (což nám umožňuje používat pro tyto nehomogenity rovnice klasické fyziky), které jsou ale v makroskopickém měřítku přirozeně (statisticky) homogenní. [1, s. 7]

3.2 Synergický efekt

Jako synergický efekt lze označit efekt, kdy dochází v kompozitním materiálu ke kombinaci pozitivních vlastností jeho složek tak, že celek přesahuje poměrný součet složek. Zjednodušeně lze říci že $1+1=3$. [1, s. 11]

Z pravidla se snažíme připravit kompozitní materiál tak, aby v nich byl synergický efekt co nejsilnější. Především se tohoto efektu snažíme dosáhnout u vlastností, které jsou rozhodující při použití kompozitu. [1, s. 11]



Obr. 14. Synergické chování kompozitu. [9]

3.3 Všeobecné vlastnosti

Plasty vyztužené vlákny obsahují konečná nebo nekonečná 3,5 až 24 μm silná vyztužující vlákna ze skla, uhlíku nebo aramidu a matrici z termosetu nebo termoplastu. Jednotlivé složky jsou vybírány individuálně. [2, s. 22]

U vyztužených plastů se v mnoha případech požaduje cílené vyztužení ve směru namáhání, takže výsledkem je – na rozdíl od kovů nebo nevyztužených plastů – anizotropní materiál, tj. materiál vykazující v různých směrech rozdílné vlastnosti. [2, s. 22]

Vstříkované plasty vyztužené krátkými vlákny se často řadí mezi vyztužené plasty, protože technologie zpracování, která je obdobná jako u nevyztužených plastů, pouze omezeně ovlivňuje požadovanou anizotropii. Avšak 90 % všech vyztužených plastů se skládá ze

směsi dlouhých skleněných vláken a polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic. Z aplikačního hlediska je většina vyztužených plastů uspořádána vrstevnatě a je nazývána lamináty. Tento materiál má řadu výhod, ale i nevýhod, které ovlivňují jeho uplatnění na trhu. [2, s. 22]

Výhody laminátů:

- Velká pružnost.
- Vysoká pevnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a druhu zatížení, zejména při zatížení v tahu ve směru vláken, při nízké hmotnosti kompozitu.
- Značná přizpůsobivost každému tvaru.
- Značná odolnost vůči dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení.
- Nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti.
- Vysoká odolnost proti stárnutí a korozi.
- Mnoho možností kombinace matrice a vláken.
- Dobrá surovinová základna.
- Menší požadavek na investice při malém počtu výrobku.
- Možnost oprav při použití termosetické matice.

Nevýhody

- Neexistuje standardní kompozit.
- Neobvyklé chování materiálu.
- Specifické vlastnosti materiálu a způsoby zpracování.
- Obtížné nedestruktivní zkoušky materiálu.
- Nízká mez pevnosti v tahu ve směru kolmo ke směru uložení vláken.
- Vysoké náklady při dimenzování náročných konstrukcí.
- Horší oprava poškození než u kovových materiálů.

[2, s. 22]

3.4 Rozdělení kompozitních materiálů

Vzhledem k velkému spektru kompozitních materiálů je nutné k jejich bližšímu popisu a uspořádání použít určitá kritéria rozdělení kompozitů. Kompozitní materiály lze klasifikovat podle mnoha parametrů. Základní rozdělení je podle povahy výztuže a podle povahy matrice.

Podle tvaru výztuže:

- Částicové.
- Vláknové.
 - Spojitá vlákna.
 - Dlouhá vlákna ($L/D > 100$).
 - Krátká vlákna ($L/D < 100$).
- Deskové.

Podle typu matrice

- PMC (Plastic Matrix Composites) – Kompozitní materiály s polymerní matricí.
 - Termoplasty (polystyren PS, polypropylen PP, polyetylen PE).
 - Reaktoplasty (epoxidové pryskyřice, formaldehydové pryskyřice).
- MMC (Metal Matrix Composites) – Kompozitní materiály s kovovou matricí.
- CMC (Ceramic Matrix Composites) – Kompozitní materiály s keramickou matricí.

[2]

Diplomová práce se věnuje pouze kompozitním materiálům s polymerní matricí PMC. Při volbě materiálu je nutné brát na zřetel mechanické vlastnosti kompozitu (matrice i výztuže), cenu jednotlivých materiálů a náročnost technologie výroby jednotlivých dílů.

3.5 Vyztužující vlákna

Materiál ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu v kompozitních materiálech. Kompozitní – vlákny vyztužené – plasty se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, příp. tuhostí, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu – matrice. [2, s. 37]

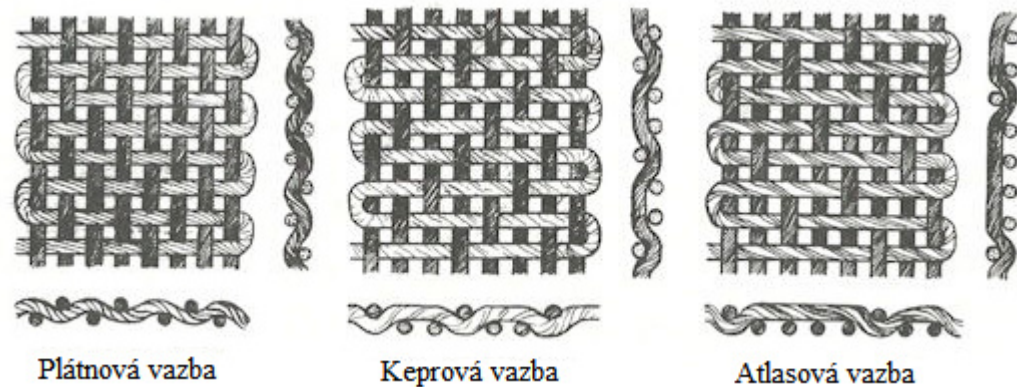
Jednotlivá vyztužující vlákna se samostatně používají jen výjimečně. Ze zpracovatelských důvodů se většinou aplikují upravené produkty. Vlákna se používají pro textilní zpracování, pro vyztužování termosetů, termoplastů, pro výrobu povrchových rohoží a papírů. Následující pojmy uvedené pro skleněná vlákna platí i pro ostatní typy vláken: [2, s. 43-44]

- Příze – vyrábí se spřádáním z vláken a zpracovává se dále na tkaninu, pásy a pletené výrobky.

- Nitě (skaná příze) – vyrábějí se jedno - nebo víceúrovňově, skládají se z jedné nebo více přízí, které jsou společně spředeny.
- Roving (pramenec) – skládá se z 20 až 60 konců, sdružených z rovnoběžně uložených nestočených vláken nebo tažených přímo z taveniny (6 až 12000 elementárních vláken). Zpracovává se buď sekáním nebo tkaním, navíjením nebo tažením nekonečného pramence.
- Spředený roving – vyrábí se z vláken stočených kolem podélné osy.
- Rohože ze sekaných pramenců – netkané plošné výrobky o hmotnosti 300 až 900 g.m⁻².
- Rohože z kontinuálních vláken – skládají se z nekonečných skleněných vláken, která jsou uložena nepravidelně bez jakékoli orientace ve smyčkách, v několika vrstvách a jsou vzájemně spojena pojivem. Tvarují se lépe než rohože ze sekaných pramenců.
- Povrchové rohože – netkané plošné výrobky o hmotnosti 20 až 50 g.m⁻² ze skleněných nebo termoplastových vláken, které se pokládají do povrchové vrstvy laminátu s vysokým obsahem pryskyřice, aby se zamezilo vzniku trhlin. Zabraňují proražení struktury hrubší výztuže na povrch a zesilují tenké vrstvy.
- Krátká vlákna – mletá elementární vlákna, rozptýlená vlákna o různé délce (0,1 až 5 mm), používaná pro vyztužení termoplastů.
- Tkaniny – plošné výrobky z vláken nebo pramenců uložených pravoúhle v útku a osnově, které působí výztužně ve dvou směrech. Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby. Tkaniny jsou v porovnání s jednosměrně orientovanou výztuží snáze zpracovatelné.

Druhy vazeb:

- Plátňová vazba – jednoduchá základní vazba, jednoduché zpracování tkaniny vzhledem k dobré rozměrové stálosti a malému otřepu při řezání.
- Keprová vazba – vyšší pevnost a tuhost laminátu způsobená menším zvlněním vláken. Tkaniny jsou ohebnější a jsou proto vhodnější pro tvarované prvky, než tkaniny s plátňovou vazbou.
- Atlasová vazba – má menší vychýlení vláken než keprová vazba, velmi dobrou řasitelnost a z toho vyplývající vhodnost pro prostorově složitě tvarované prvky. Atlasové tkaniny umožňují dosáhnout velmi hladký povrch.



Obr. 15. Druhy vazeb.

- Jednosměrné pásy – textilní pásy z jedné nebo více rovnoběžně uložených vrstev přímých, nezvlněných netkaných vláken, které jsou spojeny příčně tenkou vrstvou lepicí rohože nebo útkovými vlákny, uloženými ve větším odstupu. Na rozdíl od tkanin se mohou pásy navzájem ukládat pod libovolným úhlem.
- Úplety – textilní plošné výrobky, které se vyrábějí z jednoho nebo více druhů vláken pletením, umožňujícím volbu nejrůznějších geometrických tvarů.
- Trojrozměrné tkaniny – při vysokých požadavcích na přesnost uložení výztuže v trojrozměrně složitém prvku existují pouze dvě možnosti: řásitelné úplety nebo vytvarované, málo řásitelné pleteniny a úplety, které jsou pro zachování tvaru ještě sešity. Trojrozměrné tkaniny jsou textilní plošné výrobky, které jsou vyrobeny z jednoho nebo více vláknových systémů technologií pletení.
- Pleteniny – jiný typ vyztužení představují úplety a pleteniny, které mohou být přizpůsobeny tvaru a způsobu namáhání konstrukčních prvků formou předtvarovaných a bezprořezových prostorových výztuží prosycených pryskyřicí. Umožňují zabudování jednosměrných pásů v různých směrech. Stabilizace geometrie jejich uložení, je v případě potřeby zajištěna prošitím. Jejich použitím může být zajištěn plynulý přechod měnícího se průřezu, vyztužení v různých rovinách a uložení vláken, odpovídající zatížení. Řásitelnost takových struktur je velmi malá, jejich pevnost a tuhost je naopak vysoká, vzhledem k cíleně orientovaným spleteným vláknům. [2, s. 44-48]

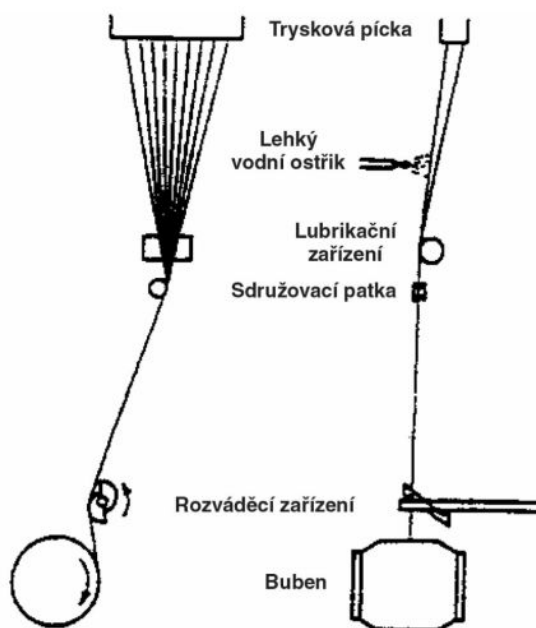
Ve všech těchto výrobcích lze různé typy výztuží (roving, rohož, tkanina) nebo druhy vláken (skelné vlákna, uhlíková vlákna, aramidová vlákna) kombinovat a vyrábět tak hybridní kompozity (smíšená výztuž). Tato možnost dává materiálovému inženýrovi další stupeň

volnosti při tvorbě a výrobě materiálu šitého na míru požadované aplikaci nebo výrobku [3, s. 70]

Součástí práce je přehled základních vyztužujících vláken vhodných pro výrobu kompozitních dílců.

3.5.1 Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF – Glass Fiber) je společný název pro tenká vlákna (\varnothing 3,5 až 24 μm) s pravidelným kruhovým průřezem. Vyrábí se tažením z roztavené skloviny, najednou se táhne 200 až 4000 vláken. Roztavená sklovina pomalu vytéká a rychle tuhne do tvaru vláken. Vlákna na výstupu z trysky mají průměr 2 mm. Teprve dloužením vysoce viskózních vláken na velmi rychle rotujícím navíjecím zařízení, se vlákna kalibrují na požadovaný průměr a současně prodlužují až na 40000 násobnou délku. Odtahová rychlost vláken je až $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vytažený pramenec vláken se navíjí na buben. Ještě před samotným navinutím je vlákno, které je samo o sobě velmi abrazivní a lámavé, opatřeno lubrikací. [2, s. 37]



Obr. 16. Výroba skleněných vláken.

Lubrikace se nanáší na čerstvě tažená vlákna ve formě vodní emulze. Úkolem lubrikace je:

- Spojit jednotlivá vlákna do manipulovatelného spřádacího vlákna.
- Chránit citlivý povrch křehkých elementárních vláken.
- Přizpůsobit stávající vlákna dalšímu zpracovatelskému procesu.
- Zlepšit vazby mezi organickou pryskyřicí a anorganickým vláknem. [2, s. 39]

Lubrikace obsahuje čtyři základní složky:

- Filmotvornou – chrání elementární vlákna a spojuje je do pramenu.
- Maziva – poskytuje vláknu potřebné kluzné vlastnosti.
- Apretace – zlepšují vazbu mezi vláknem a matricí.
- Antistatika – odvádějí elektrostatický náboj. [2, s. 39]

Tab. 1. Vlastnosti skleněných vláken. [2, s. 38]

	E - sklo	S - sklo	C - sklo	ECR - sklo	AR - sklo
Hustota [g.cm ⁻³]	2,6	2,53	2,52	2,72	2,68
Mez pevnosti v tahu [N.mm ⁻²]	3400	4400	2400	3440	3000
E – modul [N.mm ⁻²]	73000	86000	70000	73000	73000
Poměrné prodloužení při přetržení [%]	<4,8	<4,6	<4,8	<4,8	<4,4
Součinitel teplotní roztažnosti [K ⁻¹]	5,0x10 ⁻⁶	4,0x10 ⁻⁶	6,3x10 ⁻⁶	5,9x10 ⁻⁶	6,5x10 ⁻⁶
Teplota měknutí [°C]	850	980	750	880	770

Tab. 2. Příklady použití. [3, s. 28]

Označení	Použití
E - sklo	Elektrické izolace
S - sklo	Vysokopevnostní kompozity
A - sklo	Tepelné izolace
C - sklo	Chemické aplikace

3.5.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (AF – Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna, předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. [2, s 49]

Molekuly jsou navzájem spojeny vazbami vodíkových můstků. Aromatická jádra v řetězcích jsou nositeli vysoké tuhosti. Odhadovaná teoretická pevnost je kolem 200000 N.mm⁻². Jediná dosud komerčně dosažitelná vlákna, blíží se svými vlastnostmi těmto hodnotám,

jsou vlákna na bázi aromatických polyamidů, které dosahují např. při průměru vlákna 12 μm hodnot pevnosti v tahu $3600 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a E-modul $125000 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. [2, s 49]

Výroba polyfenyltereftalamidových vláken spřádáním z taveniny není možná, protože teplota roztavení leží nad teplotou tepelného rozkladu. Vysoce krystalická vlákna se silně orientovanými molekulami se proto spřádají z vysokoviskozního 20 % roztoku v koncentrované kyselině sírové. Jednotlivá elementární vlákna se spojují a pro zlepšení zpracovatelnosti se mnohokrát propírají, neutralizují a opatřují aviváží. [2, s. 50]

Aramidová vlákna se vyrábějí v různých druzích, které se od sebe odlišují hodnotami modulu pružnosti v tahu a tažnosti. Typy s nízkým E-modulem a vyšším protažením jsou schopny pojmout podstatně vyšší deformační práci, než vlákna s vyšším E-modulem a nižší tažností. [2, s. 51]

Jednotlivá aramidová vlákna mají kruhový průřez a povrch lehce zdrásněný, průměr vlákna je kolem 12 μm . Měrná hmotnost $1,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ je v porovnání s ostatními vyztužujícími vlákny nízká a tím je vedle vysoké meze pevnosti v tahu další vynikající vlastností.

Aramidová vlákna jsou na trhu ve formě pramenců, přízí, tkanin a povrchových rohoží.

Tab. 3. Mechanické vlastnosti aramidových vláken. [2, s. 52]

Aramid	Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Průměr [μm]	E-modul v tahu [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	Mez pevnosti v tahu [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	Tažnost [%]
vysokotažný	1,45	12	80000	3600	4
s vysokou tuhostí	1,45	12	131000	3800	2,8
ultratučný	1,45	12	186000	3400	2

Tab. 4. Vlastnosti jednosměrně vyztuženého epoxidového laminátu vyztuženého vysokomodulovým aramidovým vláknem (obsah výtzuže 65 až 70% objemu) [2, s. 53]

Vlastnosti	Ve směru vláken		Kolmo na vlákno	
	Tah	Tlak	Tah	Tlak
E-modul [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	80000	80000	6500	5100
Pevnost [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	1800	230	8	53
Tažnost [%]	2,2	0,5	0,16	1,4
Příčné smrštění	0,3	0,3	0,025	0,02
Souč. tep. roztažnosti [K^{-1}]	-2×10^{-6}		70×10^{-6}	
Vodivost [$\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$]	-2×10^{-13}		-	

3.5.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fibre) jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafítizací, zlepšují se mechanické vlastnosti. Při teplotě nad 1800 °C je tvorba grafitové struktury ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém stavu. [2, s. 55]

Pro výrobu uhlíkových vláken se používají tři materiály:

- Celulóza – vlákna mají méně dokonalou strukturu, používají se především jako izolační materiály v zařízeních s vysokou teplotou.
- Polyakrylonitril (PAN) – používá se od roku 1980 stále častěji, vyrobená vlákna jsou považována za standardní vlákna pro běžnou aplikaci.
- Smola – nákladným způsobem se z ní připravují vlákna, jejich konečná cena je vzhled k výhodné ceně výchozí suroviny příznivá. Tato vlákna mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a velice dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Pevnost v tlaku je ve srovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řidší. Tyto vlákna mají na trhu pouze malý podíl. Většina vláken s vysokým modulem pružnosti (HM) a vysokou pevností (HS) se používají pro speciální účely. [2, s. 56]

Dělení uhlíkových vláken:

HS – high strength – vysokopevnostní uhlíková vlákna.

- Vlákna získaná při teplotě 900 °C až 1500 °C.

HM – high modulus – vysokomodulová uhlíková vlákna.

- Vlákna získaná při teplotě 2000 °C až 2800 °C.

Předpokladem pro HS a HM vlákna je co nejtěsněji uložená kontinuální síť silných vazeb. Vzhledem k požadované nízké měrné hmotnosti výsledného materiálu, je vhodné použít pro tyto účely prvky prvních dvou řad periodické soustavy (bor, uhlík, dusík, kyslík). Nejpevnější kovalentní vazby nemusí být přitom uspořádány trojrozměrně. U vláken s převážně jednosměrným přenosem sil postačuje jedno nebo dvourozměrné molekulární struktury v ose vlákna. [2, s. 57]

Složení uhlíkových vláken je tvořeno z více než 90% z uhlíku, <7% dusíku, <1% kyslíku a <0,3% vodíku. Vlákná mají průměr 4 až 10 μm . E-modul a pevnost se mohou měnit ve velmi širokém rozsahu. Tyto vlastnosti jsou závislé na mnoha faktorech, například na stupni orientace uhlíkových vrstev a na četnosti výskytu vadných míst vzniklých při výrobě vlákná. [2, s. 57]

Tab. 5. Rozdělení uhlíkových vláken podle struktury. [2, s. 60]

Hlavní znaky struktury	Typ uhlíkového vlákna
Roviny vrstev převážně rovnoběžné s osu vláken, osově pravidelná struktura	Vysokopevnostní vlákno HT
Roviny vrstev zcela rovnoběžné s osou vláken, osově pravidelná struktura	Vysokomodulární vlákno HM
Žádná znatelná orientace, velmi slabé uspořádání vláken v osovém směru	Sekaná vlákna s nízkou pevností LM

3.5.4 Přírodní vlákna

Pro vyztužování kompozitu jsou vhodná pouze vlákna rostlinná, které mají jako základ celulózu. Mezi ně patří len, konopí, sisál, juta a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Výborná je i pevnost v tahu. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou vhodná pro použití v lehkých konstrukcích. Jejich velkou výhodou je i možnost likvidace spalováním. [2, s. 61]

Pro aplikaci na nosnou konstrukci nejsou příliš vhodná. Jejich mechanické vlastnosti jsou proti skleněným nebo uhlíkovým vláknům horší. Jejich nevýhodou je i fakt, že jsou citlivé na působení vlhkého prostředí.

3.6 Srovnání vyztužujících vláken

Pro použití v technické praxi je důležité udělat srovnání jednotlivých vyztužujících vláken. Vlastností vyztužujících vláken se liší navzájem, ale jsou ovlivněna i použitou matricí, ve které jsou vlákna použita. Matrice ovlivňuje mechanické vlastnosti, hodnoty součinitelů teplotní roztažnosti a i chemickou odolnost.

Použití vyztužujících vláken má spoustu výhod ale i nevýhod, proto je nutné dobře uvážit volbu použitého vyztužující vlákna vždy na jednotlivou aplikaci.

Tab. 6. Přehled vlastností vláken. [2, s. 69]

Vlákno	ρ [g.cm ⁻³]	σ [N.mm ⁻²]	E_R [kN.mm ⁻²]	E_K [kN.mm ⁻²]	δ [%]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Skleněná vlákna						
E-sklo	2,60	2400	73	73	3,0	1
R-sklo	2,53	3500	86	86	4,1	1
Uhlíkové vlákno						
HM1	1,96	1750	500	5,7	0,35	-
HM2	1,80	3000	300	-	1,0	15
HT	1,78	3600	240	15	1,5	17
HST	1,75	5000	240	-	2,1	17
IM	1,77	4700	295	-	1,6	-
Aramidová vlákna						
HM	1,45	3000	130	5,4	2,1	0,04
LM	1,44	2800	65	-	4,3	-

Tab. 7. Všeobecné srovnání vlastností kompozitů.(+ dobré vlastnosti, - nevhodné vlastnosti) [2, s. 59]

Vlastnosti	Kompozity		
	Vyztužené sklem	Aramidové	Uhlíkové
Hustota	+-	++	+
Mez pevnosti v tahu	+	+	+
E-modul	-	+	++
Mez pevnosti v tlaku	+	-	+
Rázová houževnatost	+	+	-
Tlumení	-	+	-
Chování při statickém a dynamickém namáhání	+	+	++
Dielektrické vlastnosti	++	++	-
Adheze, přilnavost	++	-	+
Nasákavost	+	-	+
Cena	++	+-	-

Cena použité výztuže se promítne do koncové ceny výrobku. Ceny výztuží se odvíjejí od cen použitých surovin, použitých na výrobu, výrobních postupů a od aktuální situace na trhu. [2, s. 70]

Skleněná vlákna se vyrábějí z levných a snadno dostupných surovin spřádáním z taveniny, a jsou proto levná. Na výrobu aramidových vláken je výchozí surovina levná a dostupná, avšak samotná výroba probíhá poměrně pomalu mokřým spřádáním za přítomnosti agre-

sivních rozpouštědel. Výsledkem jsou proto vysoké výrobní náklady. Pro výrobu uhlíkových vláken je zapotřebí drahé kvalitní předupravené příze. Malá výrobní rychlost a velká energetická náročnost cenu uhlíkových vláken ještě navyšují. [2, s. 70]

3.7 Matrice

Matrice je materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne stálý výrobek. Takto vzniklá surovina se označuje jako kompozit.

Základním úkolem matrice je:

- Přenos namáhání na vlákna.
- Převedení namáhání z vláken na vlákno.
- Zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku.
- Ochrana vlákna před okolními vlivy. [2, s. 71]

Pro kvalitní kompozit je velmi důležité zajistit adhezi na fázovém rozhraní matrice-vlákno. Pro zajištění lepší chemické nebo fyzikální vazby se nanáší apretace, která je vhodná na určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez bublin. [2, s. 71]

Polymerní kompozity lze podle typu matrice rozdělit na termosety (reaktoplasty) a termoplasty.

V technologii vláknových kompozitních materiálů se v současné době používá jako matric převážně reaktoplastů, v menší míře jsou však zkoušeny i matrice termoplastické, které mají některé výhody ve srovnání s reaktoplasty. Jako největší překážka pro větší rozšíření termoplastů, jako kompozitní matrice, je jejich velká viskozita taveniny při zpracování, která je o 2 až 4 řády vyšší než u běžných reaktoplastů. To vede ke vzniku nežádoucích defektů při smáčení výztuže a tím ke vzniku kompozitů s nedostatečnými užitnými vlastnostmi. [3, s. 15]

Tab. 8. Vlastnosti nejčastěji používaných matic. [3, s. 16]

Matrice	Hustota [g/cm ³]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Deformace do lomu [%]
Reaktoplasty	1,1 - 1,67	1,3 - 6,0	20 - 180	1 - 30
Epoxidové pryskyřice	1,1 - 1,4	2,1 - 6,0	35 - 90	1 - 10
Polyestrové pryskyřice	1,1 - 1,5	1,3 - 4,5	45 - 85	1 - 5
Fenolické pryskyřice	1,3	4,4	50 - 60	1 - 3
Termoplasty	0,9 - 1,45	1,0 - 4,0	20 - 250	5 - 150
PP	0,9	1,1 - 1,5	28 - 41	10 - 700
PA	1,42	2,8 - 3,4	76 - 83	60 - 300
PC	1,21	2,1 - 2,8	62 - 76	110 - 130
PEEK	1,31	3,8	70	50 - 150

3.8 Reaktivní pryskyřice

Reaktivní pryskyřice jsou skupinou reaktoplastů, které jsou nejčastěji používané při výrobě kompozitů. Jsou to kapalné nebo tavitelné pryskyřice, které se buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek – tvrdidel, iniciátorů, katalyzátorů, urychlovačů, aldehydů – vytvrzují polyadící nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek. [2, s. 73]

Nejpoužívanější reaktivní pryskyřice, používané při výrobě polymerních kompozitů:

- Nenasycená polyesterová pryskyřice (UP-R).
- Vinylesterová pryskyřice (VE-R).
- Epoxidová pryskyřice (EP-R).
- Fenolická pryskyřice.
- Metakrylátová pryskyřice.

Reaktivní pryskyřice se vytvrzují smícháním s tvrdidly. Tvrdidla jsou sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřic a ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice. [2, s. 74]

Tvrdidla jsou sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřic nebo ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice. [2, s. 74]

Urychlovače jsou látky, které přidáním v malém množství urychlují síťovací proces. [2, s. 74]

3.8.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Nenasycené polyesterové pryskyřice jsou používány od roku 1936 a v kompozitních materiálech se uplatňují nejvíce. Přes 70 % produkce UP-R, je dále zpracováno ve formě kompozitů. [2, s. 75]

UP-R jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za zvýšené nebo normální teploty, aniž by vznikaly těkavé složky. Při procesu vytvrzování dochází ke smrštění o 5 až 9 % a zároveň se uvolňuje reakční teplo. K vytvrzování dochází radikálovým mechanismem. Nízká viskozita, dobré smáčení vláken, vysoká rychlost vytvrzení a relativně nízká cena předurčuje nenasycené polyesterové pryskyřice, jako nejpoužívanější materiál pro výrobu polymerních kompozitů. [2, s. 75]

Existuje mnoho typů polyesterových pryskyřic s nejrůznějšími vlastnostmi, které se liší druhem základní molekuly. Nenasycené polyesterové pryskyřice vyrábějí reakcí dikarboновых kyselin (maleinová kyselina) s glykoly. [2, s. 75]

3.8.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)

Pojem vinylesterová pryskyřice je mírně zavádějící. Vinylester je v běžném názvosloví obecný název pro polymery s esterovou skupinou, vzniklou esterifikací monomerní organické kyseliny obsahující vinylovou $-\text{CH}=\text{CH}_2$ skupinu (např. kyseliny akrylové) s alkoholem. Polymerace potom probíhá na vinylové skupině tohoto esteru. Příkladem klasického polyvinylesteru je polyvinylacetát, který je lineárním termoplastem. Vinylesterové pryskyřice je pojem převzatý a používaný v anglosaské literatuře, určující velmi úzké spektrum chemických sloučenin vzniklých na bázi reakce dianových epoxidů (bisfenol A) a kyseliny akrylové. Též je někdy používán název epoxidové vinylestery nebo vinylestery na epoxidové bázi. [3, s. 39]

Vinylesterové pryskyřice (VE-R) patří mezi termosety velmi vhodné pro použití v kompozitech, vyztužených skleněnými i uhlíkovými vlákny určených pro náročné aplikace. Především do agresivního chemického prostředí a na výrobu dílu snášející velké mechanické namáhání. Není vhodná pro aplikaci v elektrotechnice a v místech, kde je vystavena vysokým teplotám. Lze ji použít i jako náhradu dražších a hůře zpracovatelných epoxidových pryskyřic. [3, s. 39]

3.8.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)

Název epoxidové pryskyřice vychází ze sloučenin obsahující epoxidovou (oxiranovou) skupinu. Epoxidové pryskyřice jsou za normálních teplot kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přidané pomocné látky (rozpouštědla). V molekule obsahují nejméně jednu avšak většinou dvě epoxidové skupiny, nutné jako funkční skupiny pro stavbu makromolekuly. Tvrdidlo se do epoxidové pryskyřice přidává ve formě kapalné nebo pevné formě a obsahuje v molekule aktivní vodíkové ionty, které reagují s epoxidovými skupinami pryskyřice. [3, s. 44]

Epoxidové pryskyřice mají velmi dobré mechanické vlastnosti, vysokou rozměrovou stálost (2 až 5 %), dobré elektrické vlastnosti a dobrou přilnavost k podkladu. Pouze 8 % z celkové produkce EP-R se zpracovává ve formě vyztužených kompozitů. Největší uplatnění nachází v elektrotechnice jako zalévací hmoty, ve výrobě forem a nástrojů a různé povlaky, zejména pro práškové nanášení. [2, s. 86]

V oblasti vyztužených kompozitů se používají EP-R jako matrice pro vysoce kvalitní materiály v elektrotechnice, pro aplikaci v oboru letectví, kosmonautice a sportovní potřeby. Dobré mechanické vlastnosti jsou však vykoupeny vysokou cenou proti jiným matricím (3 až 4krát dražší než UP-R).

3.8.4 Fenolické pryskyřice (PF-R)

Fenolické pryskyřice jsou reaktivní pryskyřice, které se vyrábějí kondenzací fenolu a 30 % až 50 % vodných roztoků aldehydů. Fenolické pryskyřice jsou termosety s vysokou tvrdostí, modulem pružností a malou houževnatostí. Poprvé byly studovány Otto Bayerem kolem roku 1880 a použity jako základ lepidel. Později je studoval Dr. Leo Bakeland, který poprvé vyrobil fenolformaldehydovou pryskyřici komerčně bakelit. [3, s. 59]

Podíl fenolických pryskyřic PF-R ve výrobě klasických vyztužených kompozitů je poměrně nízký. I když mohou být zpracovávány řadou běžných technologií. Jejich využití je omezeno tím, že při vytvrzování tvoří těkavé látky a že jsou příliš křehké pro velkorozměrové díly. Naopak mezi jejich výhody patří vysoká chemická a teplotní odolnost.

Pro použití na výrobu nosné části konstrukce nejsou příliš vhodné, zejména pro svou velkou křehkost a nedosahují tak dobrých mechanických vlastností jako jiné pryskyřice.

3.9 Shrnutí vlastností reaktivních pryskyřic

Vzhledem k velkému počtu různých druhů reaktoplastů, je obtížné shrnout jejich vlastnosti. V diplomové práci jsou uvedeny nejvíce používané reaktoplasty. Každá reaktivní pryskyřice má trochu odlišné vlastnosti a jsou používány na specifické aplikace. Do chemicky agresivního prostředí se hodí fenolické pryskyřice. Pro použití v elektrotechnice zase nenasycené polyesterové pryskyřice. Pro aplikaci na výrobu nosných částí konstrukce jsou důležité mechanické vlastnosti a nízká hmotnost, proto je výhodné použít vinylesterové pryskyřice (VE-R) nebo epoxidové pryskyřice (EP-R).

3.10 Termoplasty

Termoplasty se liší od reaktoplastů zpracovatelskými vlastnostmi. Porovnání reaktoplastů a termoplastů je velmi složité vzhledem k jejich velkému počtu a jejich různorodosti. [2, s. 116]

Termoplasty jsou za normální teploty pevné látky, až po zahřátí na vyšší teplotu dochází k tání a změně viskozity. Použitím rozpouštědel pro snížení viskozity termoplastů je problematické, protože po odstranění rozpouštědla zůstává u termoplastů snížená odolnost proti korozi pod napětím. [2, s. 118]

Výhodou termoplastů oproti reaktoplastům je velká houževnatost. Další výhodou je, že v průběhu zpracování probíhá pouze roztavení a zatuhnutí matrice z termoplastu a nikoli chemický proces. Chemický proces může ovlivnit jakost výrobku a narušovat životní prostředí.

Nevýhodou termoplastu je jejich energetická náročnost, vzhledem k tomu že samotný proces výroby kompozitů dochází za vyšší teploty. Termoplasty nedosahují takových hodnot pevnosti a tuhosti jako reaktoplasty.

Pro vyztužení termoplastů jsou používána následující vlákna:

- Krátká vlákna (0,2 mm) – pro zesílení matrice při vstřikování.
- Dlouhá vlákna (až 25 mm) – většinou se dávkuje z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy.
- Nekonečná vlákna – se používají na polotovary pro další zpracování, nebo u termoplastů vyztužených skleněnou rohoží, tkaninou nebo jednosměrnými pásy.

[2, s. 181]

3.10.1 Termoplasty vyztužené krátkými vlákny

Důležitým hodnotícím kritériem je cena. Vyztužení termoplastu krátkými vlákny se vyplatí pouze v případě že:

- Dochází k výraznému zlepšení mechanických vlastností nebo snížení ceny v porovnání s nevyztuženými termoplasty.
- Nelze dosáhnout zlepšení mechanických vlastností jiným způsobem.

Je nutné vzít v úvahu, že obsah výztuže termoplastu nelze zvyšovat libovolně, protože by mohlo dojít k omezenému smočení vláken, které je nezbytným předpokladem pro další zpracování. Obsah výztuže se pohybuje mezi 15 až 50hm. %. Obsah výztuže nižší než 15 % nemá téměř žádný vyztužující účinek, při obsahu nad 50 %, je obtížné rovnoměrné smáčení výztuže. Velký obsah vyztužujících vláken má za následek opotřebení nástroje a zařízení vlivem abraze. [2, s. 120]

Náklady na zpracování vláken do plastu jsou u běžných materiálů, jako u PS, PVC a PE, v porovnání se zpracovatelskými náklady nevyztužených plastů poměrně vysoké, proto se většinou nevyztužují. Vyztužují se většinou dražší konstrukční materiály, jako PA 6, PA 66, PC, POM u nichž se tak rozšiřuje možnost použití. [2, s. 120]

3.10.2 Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny

Očekávaný přínos použití těchto materiálů:

- Výhody při zpracování (bez chem. reakce).
- Nižší surovinové náklady.
- Houževnatější materiál.
- Odolnost proti poškození. [2, s. 121]

Představa, že použitím termoplastů se zabraní některým problémům, které vznikají při použití reaktoplastů, se splnila pouze částečně. Vznikly totiž nové problémy:

- Krystalická struktura závisí na podmínkách zpracování.
- Nízká odolnost proti povrchově aktivním látkám, které mohou způsobit korozi za napětí.
- Větší náchylnost ke kríčovému chování než u matrice z termosetu.
- Špatná kvalita povrchu, nízká tvrdost, špatná přilnavost nátěrů. [2, s. 121]

3.10.3 Vysokopevnostní termoplastové kompozity

Vysokopevnostní termoplastické kompozity obsahují až 80 % vyztužujících vláken. Snížení nákladů za použití termoplastické matrice nemá velký vliv na celkové snížení nákladů, protože je finančně náročný způsob výroby polotovaru. [2, s. 122]

Mezi nejdůležitější výrobky patří termoplasty vyztužené prošívanými skleněnými rohožemi (GTM), které jsou složeny ze dvou vrstev skleněných rohoží a většinou z PP matrice a dále termoplasty vyztužené dlouhými vlákny (LFT). Prošitím rohože se udržuje její tloušťka, na druhé straně dochází k lámání vláken, takže materiál snadněji vyplní formu. GMT je jako polotovar zahříván nad teplotu tavení matrice a lisuje se v ocelových formách při teplotě 50 až 80°C a tlaku 150 až 250 bar. U LFT je nutné rozlišovat granulát ve formě tyčinek (G-LFT) a taveninou obsahující skleněné vlákno (D-LFT). G-LFT obsahuje skleněné vlákna o délce 12,5 nebo 25 mm. D-LFT se vytlačuje přímo do otevřené formy vertikálně se uzavírajícího lisu. Délka vláken se vlivem namáhání při zpracování mění na 2 až 6 mm u G-LFT a na 8 až 10 mm u D-LFT. [2, s. 123]

Při přípravě D-LFT zabraňuje zjednodušený výrobní postup dosažení větší rovnoměrnosti rozdělení výztuže v rohoži. Tento postup vynechává stádium polotovaru a extrudovaná propojená rohož se v polotekutém stavu dále zpracovává lisováním při tlaku 15 bar. Přímé zpracování polotovaru přímo z extruderu působí silné kolísání vlastností, ale umožňuje společné slisování fólie a jiné plošné dekorační materiály. [2, s. 123]

Smáčení skleněných vláken termoplastickou matricí je vzhledem k vysoké viskozitě obtížnější než u nízkoviskozních termosetů. Viskozita termoplastů se dá ovlivnit zvýšením teploty, přitom však může dojít k tepelné degradaci termoplastu. [2, s. 123]

Snížení viskozity pomocí rozpouštědel není příliš vhodné. Rozpouštědlo má vliv na změny vlastností termoplastu. Další nevýhodou je zvýšení nákladů z důvodu recyklace rozpouštědel. [2, s. 123]

Při práškovém nanášení termoplastu je nutné pro optimální propojení vláken a matrice, aby se velikost zrn pohybovala v rozsahu velikosti průměru vyztužujících vláken. Proto se musí polymery za studena rozemlít. [2, s. 124]

Při zpracování směsi vláken se vyrobí z matrice vlákna, která se smísí s vyztužujícími vlákny. Při výrobě musí dojít k rovnoměrnému promísení a neporušení vláken výztuže. Nejjednodušší způsob provedení je - setkat do tkaniny kombinaci vláken výztuže a vláken

termoplastické matrice, jde o tzv. hybridní tkaniny. Tato kombinace je pro mnoho aplikací nedostačující (nedojde k dostatečnému spojení vláken s matricí). Hybridní vlákna se vyrábějí buď smísením vláken jednotlivých složek, nebo opřádáním, nebo vzájemným spřádáním. Vzniklé materiály jsou flexibilní a snadno tvarovatelné, jsou použitelné pro složité a vícerozměrné tvary. K prosycování dochází roztavením termoplastické matrice ve formě vláken bez nutnosti přidávání přísad. Nejčastější technologie jsou lisování, navíjení nebo pokládání pásů. [2, s. 124]

3.11 Shrnutí vlastností termoplastické matrice

Použití termoplastické matrice při aplikaci na nosnou konstrukci invalidního vozíku Trilobit není příliš vhodné. Nižší cena termoplastických materiálů proti reaktoplastům, je vykoupena drahou a náročnou technologií předimpregnace. Další nevýhodou je špatné prosycování matrice a tím i horší mechanické vlastnosti proti termosetům. Mechanické vlastnosti termoplastických kompozitů jsou více závislé na okolní teplotě.

4 TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ

Při návrhu konstrukce je nutné brát v potaz výrobní technologie, které se budou muset použít. Technologie na výrobu kompozitních dílů jsou relativně finančně a technologicky náročné. Pro každý specifický výrobek je nutné určit technologii a postup výroby. V následujících kapitolách jsou popsány základní metody výroby kompozitních prvků, které lze aplikovat při výrobě multifunkčního invalidního vozíku Trilobit.

Při výrobě kompozitu je nutné rozlišit, zda je matrice z reaktivní pryskyřice nebo zda ji tvoří termoplast.

Reaktivní pryskyřice jsou složeny z nízkomolekulárních až oligomerních podílů, které se chemickou reakcí spojují na pevnou hmotu. To je podstatnou předností při smáčení a prosyčování výztuže, které se většinou používá ve formě plochých polotovarů. Nevýhodou při použití reaktivní pryskyřice je obtížné řízení latentní (skryté) chemické reakce. [2, s. 181]

Termoplasty jsou zcela polymerované makromolekulární látky, které se působením teploty roztaví, ve formě taveniny smáčí a prosytí výztuž a po ochladnutí ztuhnou jako polotovar. Jejich nevýhodou je vysoká viskozita proti reaktivním pryskyřicím.

[2, s. 181]

Nosná konstrukce všech variant invalidního vozíku je z obdélníkových profilů. Pro konečný výrobek je možné použít i jiné profily, například kruhové, protože výroba obdélníkových nebo čtvercových profilů je náročná. Spojovací části jednotlivých dílů mohou být vyrobeny ze slitin lehkých kovů a v profilu přilepeny nebo vsazeny.

Výroba uzavřených profilů z kompozitních materiálů je náročnější než výroba plošných dílů a vyžaduje speciální stroje a nástroje. Firmy zabývající se výrobou kompozitních dílů si své technologie chrání před konkurencí, většinou se jedná o úpravy stávajících technologií nebo jejich kombinaci.

4.1 Prepreg

Pro výrobu kompozitů se často využívá tzv. prepregů, z anglického slova preimpregnated fibres (předimpregnovaná vlákna). Jsou to polotovary k výrobě vláknových kompozitů, jejichž hlavní složkou je výztuž předimpregnovaná částečně vytvrzenou pryskyřicí. [10]

Prepregy se vrství do požadované tloušťky a tvarují se na požadovaný tvar. Na výztuže se nejčastěji používají:

- Skleněná vlákna.
- Uhlíková vlákna.
- Aramidová vlákna.

Na prosycení vyztuzujících vláken se používají nenasycené polyesterové pryskyřice, vinyl-esterové pryskyřice a epoxidové pryskyřice. [10]

Prepregy s reaktivním termosetickým pojivem se musí až do doby dalšího zpracování skladovat za chladu asi $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, přesto jsou však skladovatelné nejvýše 6 měsíců. Vždy před samotným zpracováním se prepreg rozmrazí, pokud možno bez přístupu vzduchu. [10, s. 184]

Prepregy s termosetickou matricí mají za normální teploty lehce lepivý povrch, což lze ještě zlepšit slabým zahřátím. Výhodou je jejich neomezené skladování. [2, s. 184]

Rozdělení prepregu:

- Reaktoplastické prepregy:
 - Ruční kladení prepregů.
 - Strojní kladení prepregů.
- Termoplastické prepregy:
 - Strojní kladení prepregů.

4.2 Ruční kladení

Nejjednodušší pracovní postup pro výrobu kompozitu, který je vhodný pro malé série, prototypy a velkoplošné díly. Nástroje a pomůcky jsou levné a jednoduché. Jakost výrobku závisí na zkušenostech zpracovatele. Postup výroby je jednoduchý, nejprve se nanese na formu separační prostředek a na něj se nanese vrstva pryskyřice o tloušťce 0,3 až 0,6 mm, zvaná gelcoat. Tato vrstva má za úkol zamezit proražení výztuže na povrchu výrobku a může být i probarven z estetických důvodů. Pak se do vrstvy pryskyřice kladou přřezy výztuže, které se pomocí válečku prosycují pryskyřicí. Tento postup je kladení za mokra. [2, s. 196]

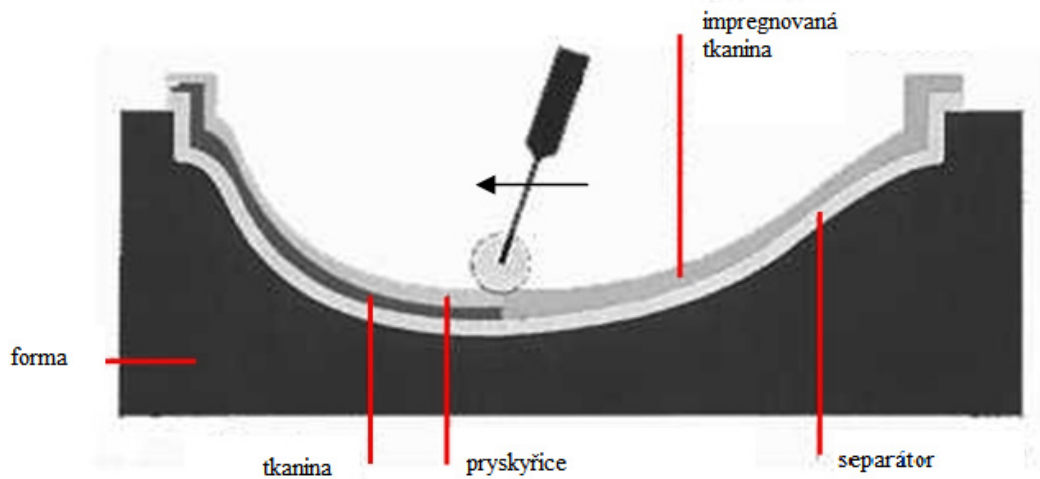
Nanášení pryskyřice probíhá štětcem, stěrkou, nebo nástřikem stříkácí pistolí. Důležitou součástí postupu je dobré zabudování výztuže do předem nanesené vrstvy pryskyřice. Při-

tom je nutno zamezit vzniku vzduchových bublin, které působí negativně na mechanické vlastnosti výrobku. Úplné odvzdušnění výrobku je téměř nemožné. [2, s. 196]

Tab. 9. Vlastnosti kompozitu vyrobených technikou ručního kladení.

[3, s. 138]

	Výztuž ve formě rohože	Tkaná výztuž
Obsah skla [%]	20 - 40	45 - 55
Pevnost v tahu [MPa]	70 - 140	210 - 350
Pevnost v ohybu [MPa]	140 - 280	360 - 520
Modul pružnosti v tahu [GPa]	6 - 13	10 - 31



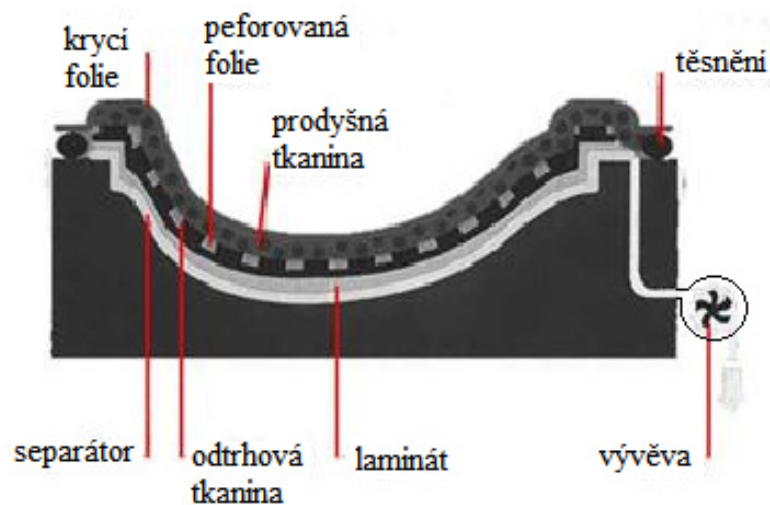
Obr. 17. Schéma ručního kladení. [13]

4.1 Lisování pomocí vakuového vaku

Podobně jako při ručním kladení se používá jednodílná vstřikovací forma. Následně se přikryje laminát porézní separační folií, na kterou se položí hrubá odsávací tkanina a forma se utěsní pomocí fólie a těsnění. Připojením k čerpadlu se celá forma vakuuje. Atmosférický tlak způsobí zhutnění laminátu. Pokud je ve formě vakuum, nevznikají ve výrobku bubliny. Přebytková pryskyřice se přitom odvede z odsávací tkaniny i ze žlábků, který je umístěný na obvodu formy. [2, s. 198]

Tab. 10. Vlastnosti kompozitu vyrobených technikou vakuového vaku.
[3, s. 139]

	Výztuž ve formě rohože	Tkaná výztuž
Obsah skla [%]	40	55 - 60
Pevnost v tahu [MPa]	140 – 160	350 - 400
Pevnost v ohybu [MPa]	280	400 - 620
Modul pružnosti v tahu [GPa]	13 – 17	25 - 36



Obr. 18. Schéma lisování pomocí vakuového vaku. [13]

4.2 Lisování pomocí tlakového vaku

Jedná se v podstatě o obrácenou variantu lisování pomocí vakuového vaku. Při této technologii musí být negativní forma uzavřena krytem tak, aby bylo možno dosáhnout ve formě rovnoměrného přetlaku. Vysokým rozdílem tlaků se dosáhne lepšího zhutnění laminátu. [2, s. 199]

4.3 Navíjení

Tato technologie je určena pro výrobu kruhových profilů. Princip technologie je založen na kontinuálním navíjení svazku vláken nebo jinak upravených výztuží na kruhovou formu. Forma neboli jádro je buď vyjímatelné, nebo po skončení procesu navíjení se stane součástí výrobku. Vyztužující vlákna jsou navíjena buď již navlhčena pryskyřicí, nebo se provlh-

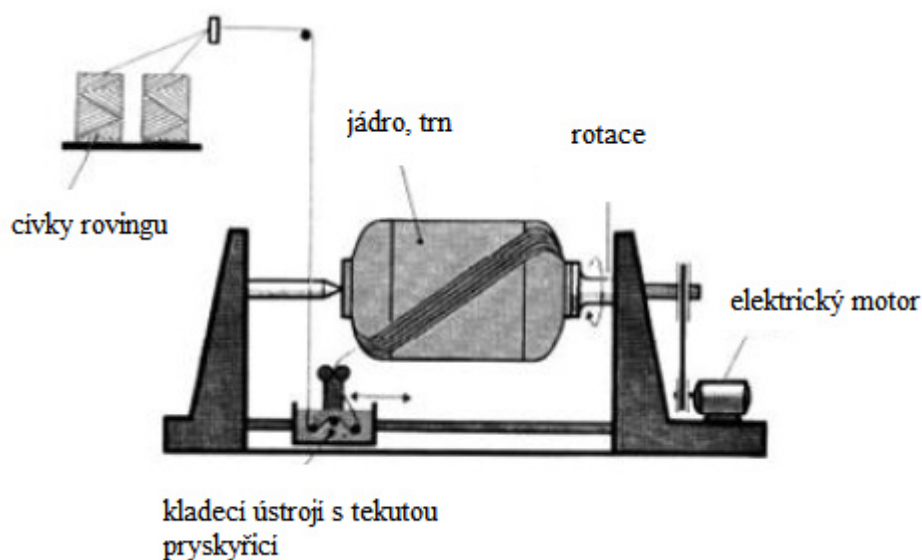
čují až po navinutí. Požadovaných vlastností kompozitu se dosahuje přesným uspořádáním a orientací pramenců vláken a výztuží. [3, s. 142]

Výhodou této technologie je použití nejlevnější formy výztuže – rovingu. Proces má poměrně dobrou produktivitu a lze jej vysoce automatizovat. Hodí se především pro výrobu potrubí, kolen, zásobníků paliv, velkých součástí s konkávním povrchem, používá se i na výrobu tlakových nádob. Při výrobě není žádný limit na délku výrobku. Výrobky mají dobré mechanické vlastnosti. [3, s. 142]

Nevýhodou jsou vysoké pořizovací ceny navíjecích strojů, nesnadné odstraňování vnitřních forem. [3, s. 142]

Tab. 11. Vlastnosti kompozitu vyrobených technikou navíjení. [3, s. 143]

	Hodnota
Obsah skla [%]	50 - 85
Pevnost v tahu [MPa]	550 - 1800
Pevnost v ohybu [MPa]	700 - 1400
Modul pružnosti v tahu [GPa]	34 - 50



Obr. 19. Schéma technologie navíjení. [12]

4.4 AFP – navíjení rovinového prepregu

Proti klasickému navíjení za mokra, je možno při použití rovingového prepregu vyrobit i tvary s konkávními plochami. [12]

4.5 Oplétání

Je podobnou technologií jako navíjení, je však mnohem technicky náročnější a nákladnější. Oplétání je technologie převzatá z textilního průmyslu. [2, s. 211]

Vzhledem k vysokému tření mezi vlákny při mnohonásobném překřížení vláken, je možno uskutečnit i velmi složitá ukládání vláken. Tímto způsobem je možno vyrábět i velmi složitá tělesa, jako například kolena potrubí s proměnným průřezem. Prosyncování vyztužujících vláken pryskyřicí se provádí většinou technologií RIM nebo RTM, protože prosyncování v lázni běžně používané při navíjení, aplikované na rotujícím a pohyblivém oplétacím zařízení, by bylo velmi nákladné. [2, s. 211]

Tato technologie se používá i na výrobu tenisových raket nové generace, u nichž je držadlo a rám vyroben z hadice z hybridní tkaniny (uhlíková a skleněná vlákna). [2, s. 211]

4.6 RTM

RTM (Resin-transfer-moulding = vysokotlaké vstřikování) jedná se o injektážní technologii, která spojuje nízké základní investice s dobrou kvalitou výlisku. Je vhodná pro středně velké série. Princip technologie je kombinace lisování a vstřikování. Nejprve se vloží do formy přířezy výztuže nebo přetvarovaná výztuž tzv. preform. Mohou to být různé druhy skleněných tkanin, nebo také pěnové jádro pro zvýšení ohybové pevnosti. Používané dvoudílné lisovací formy jsou vyrobeny většinou z laminátu nebo vysoce plněných pryskyřicí (plast beton), při větších sériích nebo pro vytápěné formy se používají ocelové formy. Pryskyřice se s tvrdidlem smísí těsně před injektáží. Pryskyřice se do uzavřené formy přivádí pod tlakem max 5 barů. Následné použití vakua pomáhá prosyncování výztuže a zabraňuje výskytu bublin pryskyřice. Při použití vytápěných forem se zkracují výrobní časy a snižuje se viskozita pojiva. Pro zvýšení tuhosti v ohybu a odolnosti proti vyboulení se používá jádro z polyuretanové pěny, které se vyrobí ve speciální formě. Pro ideální spojení jádra s pryskyřicí se jádro zdrsní. Touto technologií se vyrábí opakovaně výlisky s dobrými vlastnostmi a nízkým obsahem bublinek. Používá se pro výrobu dílu sportovních vozů. [2, s. 200]

4.7 RIM

RIM (reaction injection moulding) je podobnou technologií jako RTM, ale zkracuje čas potřebný na výrobu. Zkrácení času se dosáhne tím, že se směs jednotlivé složky matrice (tvrdilo a pryskyřice) mísí přímo ve formě. Další výhodou je dlouhodobá skladovatelnost jednotlivých složek a možnost dosáhnouti extrémně krátkých vytvrzovacích časů. [2, s. 201]

S-RIM (Structural RIM) před vstříknutím reakční pryskyřice se do formy vloží předtvarovaná výztuž. [2, s. 201]

4.8 Pultruze

Princip technologie je založen na tažení svazku vláken, rohoží a tkanin pryskyřičnou lázní, kde dojde k prosycení výztuže. V dalším kroku je prosycená výztuž tvarována do požadovaného profilu a dochází k následnému vytvrzování v kontinuální vytvrzovací hlavě. [3, s. 148]

Velkou výhodou pultruze je neomezená variabilita tvarů průřezů, nekonečná délka výrobku, vysoká produktivita, vysoký stupeň automatizace a vysoká reprodukovatelnost mechanických a fyzikálních vlastností. [3, s. 149]

Mezi nevýhody patří poměrně vysoké investiční náklady na pořízení výrobního zařízení, relativně drahý provoz a nutnost kvalitního řídicího systému. [3, s. 149]

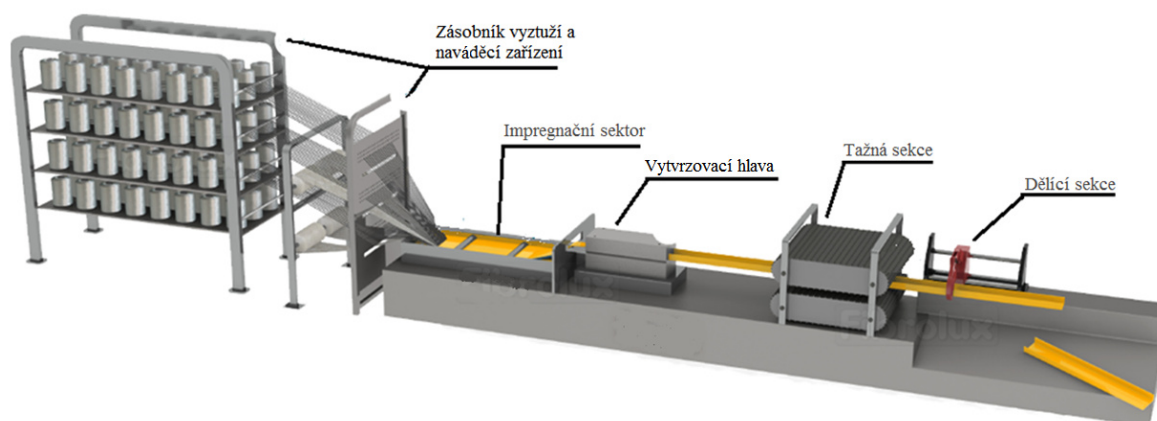
Technologickou jednotkou pro výrobu tažených kompozitních profilů je pultruder. Základní části pultruderu jsou:

- Zásobník výztuží a naváděcí systém.
- Impregnační sekce a přetvarování.
- Tvarovací a vytvrzovací forma.
- Tažná sekce.
- Pohyblivá pila – dělicí sekce.

Při tažení dutých profilů je nutné, aby v ose celé soustavy byl trn s požadovaným tvarem dutiny. [3, s. 149]

Tab. 12. Vlastnosti pultrudovaného kompozitního materiálu. [3, s. 149]

	UP/sklo
Obsah skla [%]	80
Pevnost v tahu [MPa]	280 - 700
Pevnost v ohybu [MPa]	500 - 2000
Modul pružnosti v tahu [GPa]	17 - 55



Obr. 20. Schéma pultruzní linky.[22]

4.8.1 Zásobník výztuží a naváděcí systém

Zásobník výztuží a naváděcí zařízení je konstrukčně i strojně jednoduché zařízení, ale je velmi důležité. Většina firem považuje tuto část stroje za předmět vlastního know-how, protože správné prostorové uspořádání výztuže v rámci taženého profilu je nutným předpokladem pro dosažení maximálních užitných vlastností.

Pro výrobu jednoduchých profilů (tyčovina) s převažujícím longitudálním rozměrem, jsou výztuže pouze jednosměrnými svazky vláken (roving) ve směru osy. Pro složitější tvary je nutné zajistit i výztužení ve směrech kolmých k délce profilu. K tomuto účelu se používají tkané či netkané rohože. Vzájemné prostorové uložení rovingu a rohoží v profilu pak určuje charakter deformačního chování a především způsob porušování a lomu. [3, s. 150]

Zásobník výztuží se skládá ze stojanu pro roving a držáku pro zavěšení rolí rohoží. Je několik druhů uložení těchto stojanů a držáků, liší se umístěním nebo formou uložení (horizontální, vertikální). [3, s. 150]

Naváděcí zařízení pro roving a rohože je většinou ve formě desek kolmých ke směru tažení se soustavou otvorů a štěrbin. Otvory se starají o prostorové uspořádání vláken, a proto

musí být opracovány a zajištěny tak, aby nedocházelo k poškozování vláken, znehodnocování samotného výrobku a k technologickým odstávkám v důsledku ucpání naváděcích otvorů poškozenými vlákny. Naváděcí zařízení se liší podle typu profilu. [3, s. 151]

4.8.2 Impregnační sektor a předtvarování

Smočení vyztužujících vláken v pojivu (pryskyřici) je dalším krokem pro dosažení požadovaných vlastností kompozitu. Špatná impregnace zhoršuje mechanické vlastnosti kompozitu, jakost povrchu a další fyzikální a chemické parametry. [3, s. 151]

V současné době se používají dva typy impregnace, a to otevřená lázeň a tlaková impregnace buď ve speciální uzavřené komoře, nebo přímo ve vytvrzovací hlavě. Každý s těchto systému má své klady i zápory a více používaný je pro svou jednoduchost, systém s otevřenou lázní. [3, s. 151]

Během průchodu výztuže impregnační lázní dochází pomocí soustavy tyčí ke změně směru výztuže a dochází tak k lepšímu pronikání pryskyřice do výztuže. Je možné lázeň vyhřívat, aby se zmenšila viskozita pryskyřice a došlo tak k lepší impregnaci. Je však nutné nastavit iniciační systém tak, aby nedošlo k vytvrzování. [3, s. 151]

Po výstupu z lázně je na spodní i horní povrch impregnované výztuže nanese rouška. Tato velmi tenká, tkaná nebo netkaná rouška slouží k dosažení kvalitního povrchu a ke zlepšení odolnosti proti UV záření. Rouška bývá nejčastěji ze syntetických vláken (polyester). U složitějších profilů, je součástí impregnační komory i předtvarovací hlava. Ta má za úkol postupně naimpregnovanou výztuž natvarovat do požadované geometrie. Cílem předtvarování je dosažení požadovaného tvaru profilu, zmenšení vnitřních pnutí a odstranění přebytečné pryskyřice. [3, s. 152]

4.8.3 Tvarovací a vytvrzovací hlava

Slouží pro kontinuální vytvrzování pryskyřice. K vytvrzování dochází ve vytvrzovací hlavě v délce 0,3 až 1,6 m. Hlava může být vyhřívána buď elektricky, nebo olejovým topením a je konstruována tak, že obsahuje 1 až 4 teplotní zóny. Počet teplotních zón je volen podle procesních podmínek a ty jsou ovlivněny použitou pryskyřicí a délkou vytvrzovací hlavy. Je nezbytné kontrolovat maximální teplotu podél vytvrzovací hlavy, protože v průběhu vytvrzování dochází i k exotermním reakcím. [3, s. 152]

Konstrukce vytvrzovací hlavy bývá dvoudílná s leštěným povrchem. Pouze pro speciální aplikace, kdy je požadována dlouhá životnost hlavy se používají speciální tvrzené oceli. Z tohoto důvodu je cena vytvrzovací hlavy nižší než cena vstřikovacích forem. [3, s. 152]

4.8.4 Tažná sekce

Podle této sekce se celá technologie jmenuje. Tažná sekce se skládá ze zařízení, které mechanicky kontinuálně táhne vytvrzený profil, tím je zajištěn pohyb výztuže skrz impregnační sektor a je pohonem celé technologické linky. [3, s. 152]

4.8.5 Dělicí sekce

Tato část linky slouží k dělení taženého profilu na požadovanou délku a je umístěna na konci linky za tažným zařízením. U malých linek se používají ruční kotoučové pily. U velkých sofistikovaných linek, se používá kotoučové pily se zpětnou vazbou k celé lince. Vzhledem k tomu, že se především jako výztuže používají skleněná vlákna, tak musí být ostří pily pokryto diamantovým práškem. [3, s. 153]

4.9 Pulforming

Jde o proces, který kombinuje pultruzi a BMC (Bulk Molding Campaund). Lze jim vyrábět i zakřivené profily. [12]

BCM pracuje na principu tak, že do uzavřené vytápěné formy je vložena tableta nebo prášek směsi reaktoplastu ve stavu resitolu s plnivý, sekanou vláknovou výztuží (délka kolem 12 mm) a tvrdidly. Teplem dojde k roztavení resitolu, k jeho toku a vytvrzení (dojde k změně pryskyřice v resit). Rozvoji této technologie se věnuje americká firma Premix, Inc. Tato technologie je vhodná pro výrobu nosných profilů pro naši aplikaci. [12]

4.10 PDM pultruze

PDM (Post Die Manipulation Pultrusion) neboli 3D pultruze umožňuje řízené proměnné zakřivení profilu. Vlastní vytvrzení profilu nastává UV zářením za tvarovací částí pultruderu. [12]

5 RECYKLACE

Při výrobě je nutné vždy myslet na to, co se stane s výrobkem na konci jeho životnosti. Proto je nutné uvést základní způsoby recyklace kompozitů.

Vyztužené kompozity jsou heterogenní materiály, které se skládají z vláken různých typů a délek, termoplastové nebo termosetické matrice a dalších plniv a pomocných látek. Recyklace těchto materiálů je velmi obtížná a umožňuje pouze sekundární využití recyklátu, u kterého jsou tolerovány snížené hodnoty požadovaných vlastností. [2, s. 237]

Sklem plněné prepregy jsou nejčastěji používané a neumožňují ve vytvrzeném stavu ani znovu tvarovatelné ani tavitelné, a musí být proto před dalším využitím rozdraceny. Prepreg se skládá z jedné třetiny z UP-R, anorganických plniv a ze svazku skleněných vláken. Zbytek tvoří pomocné látky. Po hrubém rozdracení následuje mletí. Výsledkem je mletá drť, která obsahuje několik centimetrů dlouhé svazky skleněných vláken propojených zbytky matrice a zbytky matrice v práškové formě. Tato drť může plnit funkci plniva nebo svazky původních vláken mohou znovu plnit funkci výztuže v méně náročných aplikacích. Tento způsob nazýváme částečnou recyklací. [2, s. 237]

Mletá práškovitá směs se mísí s novou dávkou pryskyřice a použije se pro výrobu prepregového recyklátu, ke kterému se přidávají nová vlákna a směs vláken z recykláž. Pro nový materiál je možno použít až 20 % recyklátu, aniž by došlo k podstatnému zhoršení mechanických vlastností. Nevýhodou tohoto postupu je zhoršující se jakost povrchu výrobku, takže lze tuto metodu použít pouze u krytých nebo neviditelných částí výrobku. Zpracovatelské vlastnosti se musí přizpůsobit horším vlastnostem při zatékání. [2, s. 237]

Pro opětovné využití kompozitních materiálů s termoplastickou matricí je mnoho postupů. Materiál se dá po roztavení termoplastové matrice znovu přetvářet. Při žádném postupu se však nezískají vlastnosti nového materiálu, i když kompozity s termoplastickou matricí se považují za recyklovatelné. [2, s. 238]

Každé nové použití recyklátu zhoršuje vlastnosti, takže je nutno najít stupňovitou škálu aplikací se stále nižšími požadavky, na jejímž konci by bylo pouze energetické zhodnocení výrobou tepla. [2, s. 238]

5.1 Spalování

Spalovny vybavené odpovídajícím spalovacím a čistícím zařízením umožňují ekologicky přijatelné spalování plastů a získávání energie. Náhradou příměsí, jejichž spalováním vznikají škodlivé látky (separátory, změkčovadla) je možno výsledný obsah škodlivých látek dále snížit. [2, s. 239]

Tvrzení, že spalování je plýtvání cenných surovin je mylné, protože 90 % nafty se spotřebuje na výrobu benzínu a topných olejů a jen 5 % se spotřebuje na výrobu plastů. [2, s. 237]

5.2 Chemické zpracování

Chemické zpracování kompozitů pomocí hydrolyzy, hydrogenerace a pyrolyzy je možné, ale nevhodné. Při těchto postupech je výsledkem pouze získání vyztužujících materiálů. Další nevýhodou je fakt, že působení tepla a chemikálií vede ke zhoršení vlastností vyztuže. Zvláště se oddělují rozkladné produkty matrice, které slouží jako surovina pro novou výrobu. [2, s. 240]

6 TVAROVÁNÍ ZA TEPLA

Tvarování je výrobní postup, u kterého polotovar ve tvaru desky nebo fólie mění svůj tvar bez většího přemísťování částic hmoty. Při tvarování za tepla se fólie zahřeje na tvarovací teplotu a pomocí přetlaku nebo podtlaku zaujme tvar formy. Poté se pomocí vzduchu ochladí na potřebnou teplotu. Pro tvarování se používají polotovary (fólie, desky) z termoplastu. Tvarování za tepla se hodí pro menší série, v některých případech je vhodná i pro kusovou výrobu. [14]

Tvarování za tepla lze rozdělit podle několika kritérií:

Podle vyvinuté síly:

- Mechanické.
- Pneumatické.
 - Přetlakové.
 - Podtlakové.

Podle tvaru formy:

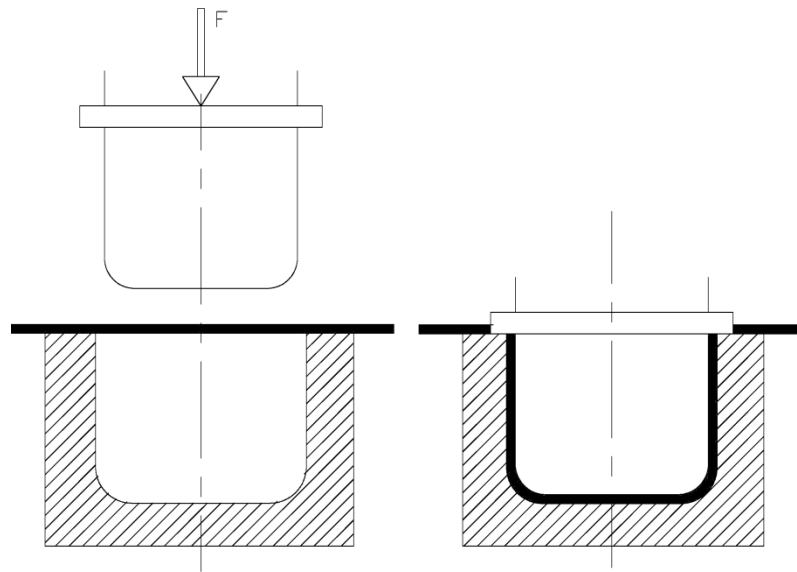
- Negativní – forma má tvar dutiny, (nutný přídavek na smrštění).
- Pozitivní – tvárník má tvar výrobku, (nutný přídavek na smrštění).

Podle způsobu předtvarování:

- Mechanické.
- Pneumatické. [17, s.16]

6.1 Tvarování mechanické

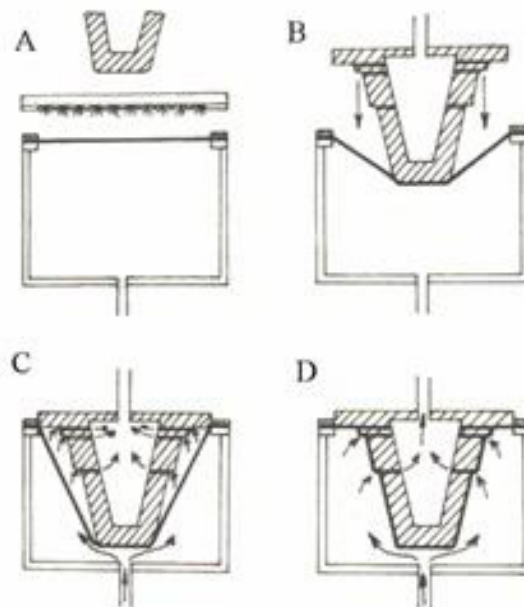
U mechanického tvarování se používá tvárník a tvárnice, které kontaktním způsobem určují výsledný tvar výrobku. Mechanické tvarování umožňuje větší působení sil a bývá často spojeno se střížným nástrojem, který odděluje výrobek od zbytku materiálu. [14]



Obr. 21. Princip mechanického tvarování.

6.2 Tvarování přetlakové

Používá se pro špatně tvarovatelné termoplasty nebo pro desky velkých tloušťek. Do vyhřáté desky se nejprve vtlačí pozitivní forma, která dosedne na rám. Do komory se potom přivede stlačený plyn, nejčastěji vzduch, který dokončí tvarování (lze použít společně s vakuovým tvarováním). Stlačený plyn má tlak 1 až 2 MPa.[14]

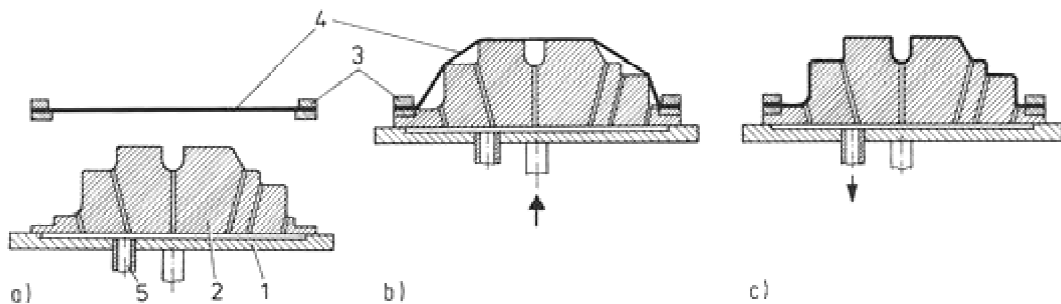


Obr. 22. Princip přetlakového tvarování.[14]

6.3 Tvarování podtlakové

Tvarovací síla, je vyvozena podtlakem mezi polotovarem a formou (rozdíl atmosférického tlaku a vakua). Rozdíl tlaků bývá v rozmezí 10 až 60 kPa a volí se podle typu materiálu a jeho tloušťky. [14]

Tato technologie se používá nejčastěji z důvodu nízkých nákladů na formy a možnost tvarování fólií a desek až do 5 m². [14]



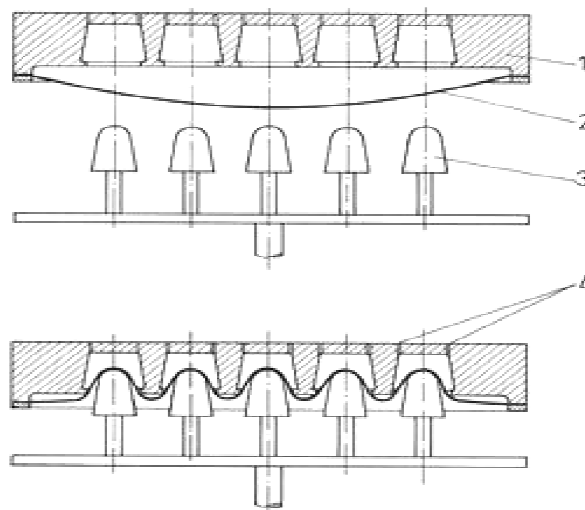
Obr. 23. Princip pozitivního podtlakového tvarování. 1 – stůl stroje, 2 – tvárník, 3 – rám stroje, 4 – deska [14]

6.4 Předtvarování

Slouží pro dosažení rovnoměrné tloušťky stěny tvarovaného materiálu.

6.4.1 Mechanické přetvarování

Je méně používaný způsob předtvarování, používá se pro negativní formy. Jedná se o kombinaci pozitivního a negativního tvarování. Pomocný tvárník přetvaruje vyhřátou desku, kterou vtlačuje směrem do dutiny formy, při dosažení 70 % se spustí vakuum pro konečné vytvarování. Materiál použitý na předtvarovací tvárník musí mít špatnou tepelnou vodivost, aby nedošlo k přílišnému ochlazení polotovaru. [14]

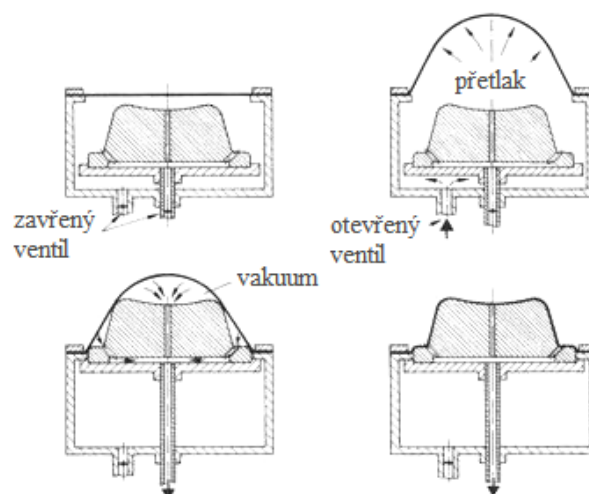


Obr. 24. Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním.

1 – tvárnice, 2 – deska, 3 – tvárník, 4 – odsávací otvory [14]

6.4.2 Pneumatické předtvarování

Po ohřátí materiálu na tvarovací teplotu je pomocí přetlaku mezi tvárníkem a polotovarem vytvořena vzduchová bublina. Velikost předtvarování je řízena pomocí tlaku a teploty plynného média. Tloušťka stěny bubliny je ve všech místech stejná. Do vytvořené bubliny se ze spodní strany vsune pozitivní forma a polotovar se pomocí vakua vytvaruje. [14]



Obr. 25. Princip pozitivního podtlakového tvarování s pneumatickým předtvarováním. [14]

6.5 Materiál forem

Velkou předností tvarování termoplastických desek patří možnost používání jednodílných tvarovacích forem. Tvarovací síly jsou poměrně malé, a proto formy mohou být z méně odolných materiálů. Materiál formy musí snášet teploty v rozmezí od 20 do 200 °C a musí splňovat požadovanou jakost povrchu výrobku, pokud je na pohledové straně. [14]

Forma musí být opatřena odsávacími otvory, které spojují prostor dutiny formy s odsávacím zařízením. Otvory musí být rovnoměrně rozmístěny po celém funkčním povrchu formy, aby nedocházelo k uzavření vzduchu v dutině formy. Průměr otvorů se volí podle použitého materiálu a jeho tloušťky. [14]

- Sádrové formy
 - Pro kusovou výrobu.
 - Nízká odolnost.
 - Vlivem teplotních změn praská.
- Dřevěné formy
 - Pro malé série (desítky kusů).
 - Postupně zhoršující se kvalita.
 - Špatně dosažitelný hladký povrch formy.
 - Změna tvaru vlivem vlhkosti.
- Formy z epoxidových pryskyřic
 - Pro střední série.
 - Dobrá rozměrová stabilita.
 - Špatná tepelná vodivost (pro zlepšení se přidává hliníkový prášek).
- Formy ze slitin lehkých kovů
 - Především slitiny hliníku.
 - Pro velké série.
 - Vyrábí se odléváním a dodatečným obráběním. [14]

6.6 Používané termoplasty

Všechny termoplasty jsou za určité teploty tvarovatelné. Volba vhodného materiálu závisí především na oblasti použití výsledného výrobku. [17, s.16]

Tab. 13. Tabulka teplot pro amorfní polymery. [16, s.18]

Amorfní polymery				
	T _g [°C]	T _f [°C]	Teplota tvarování [°C]	Teplota formy [°C]
PVC	85-95	170-180	120-140	20-40
PS	80-85	160-170	90-130	30-60
ABS	100-120	160-190	130-150	50-70
PC	150	220	160-210	110-130
PMMA	95-115	170-190	95-150	50-70

Tab. 14. Tabulka teplot pro krystalické polymery. [16, s.18]

Krystalické polymery			
	T _m [°C]	Teplota tvarování [°C]	Teplota formy [°C]
PP	165-175	140-160	60-110
POM	165-175	150-160	100-140

7 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části jsou popsány sportovní pomůcky, které lze vytvořit z multifunkčního vozíku Trilobit. Je zde uvedeno jejich rozdělení, popis konstrukce a obvykle používané materiály na jejich výrobu. Další část diplomové práce se věnuje kompozitním materiálům, které mohou být aplikovány na výrobu nosných částí projektu Trilobit. V práci jsou uvedeny nejpoužívanější matrice, vyztužující materiály a jejich výhody a nevýhody. Teoretická část obsahuje i popis jednotlivých technologií pro zpracování kompozitních materiálů a termoplastů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem praktické části diplomové práce je vytvořit konstrukční návrh sledge a in-line brusle podle inovované designové studie Trilobit. Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci, kde je vypracován návrh sledge brusle z kovových profilů. Diplomová práce tento návrh rozšíří o konstrukční návrh z kompozitních materiálů, které mají specifické požadavky na výrobu a zpracování. Práce dále obsahuje základní pevnostní výpočty, technologický postup výroby a výkresovou dokumentaci.

9 INOVOVANÝ DESIGNOVÝ NÁVRH SLEDGE BRUSLE

Designový návrh vychází z kombinace dvou hlavních materiálů, slitin hliníku a kompozitních materiálů. Velkou výhodou kompozitních materiálů je především jejich nízká hmotnost a vysoká pevnost. Jejich nevýhodou je odlišný způsob výroby a zpracování proti běžným materiálům.

Pro spojovací části jednotlivých prvků sledge brusle je vhodné použít slitiny hliníku (dural). Mají dobré mechanické vlastnosti a dobrou obrobitelnost. Jejich hmotnost je podstatně nižší než u oceli.



Obr. 26. Designový návrh sledge brusle.

10 KONSTRUKČNÍ NÁVRH SLEDGE BRUSLE

Zadané hodnoty:

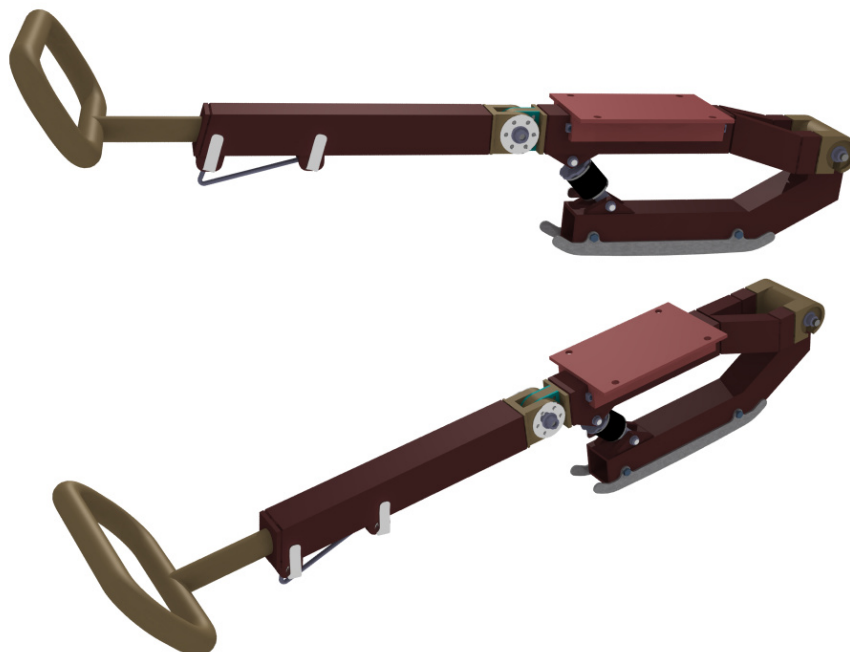
- Maximální hmotnost osoby: 105 kg
- Maximální výška osoby: 180 cm

Na základě designové studie byly vypracovány tři konstrukční návrhy sledge brusle. Jednotlivé návrhy jsou konstruovány tak, aby šly vyrábět z kompozitních materiálů. Všechny návrhy jsou zpracovány pomocí programu CATIA V5 R18.

Konstrukční návrhy se liší především sedlovou částí, která je při použití kompozitních materiálů nejnáročnější na výrobu a je u všech variant designového návrhu Trilobit stejná. Každý konstrukční návrh má své výhody, ale i nevýhody, proto je nutné zvážit použití jednotlivých konstrukčních řešení a zjistit přínos použití kompozitních materiálů.

10.1 Konstrukční návrh z kovových profilů

Bakalářská práce obsahovala variantu vyrobenou kompletně z hliníkových profilů. Tento návrh je výrobně jednoduchý, jedná se o zkracování a svařování běžně dostupných profilů. Nevýhodou je vysoká hmotnost výrobku. Tento návrh se již realizoval a slouží pro zkoušky ergonomie a zkoušky jednotlivých upínacích prvků.



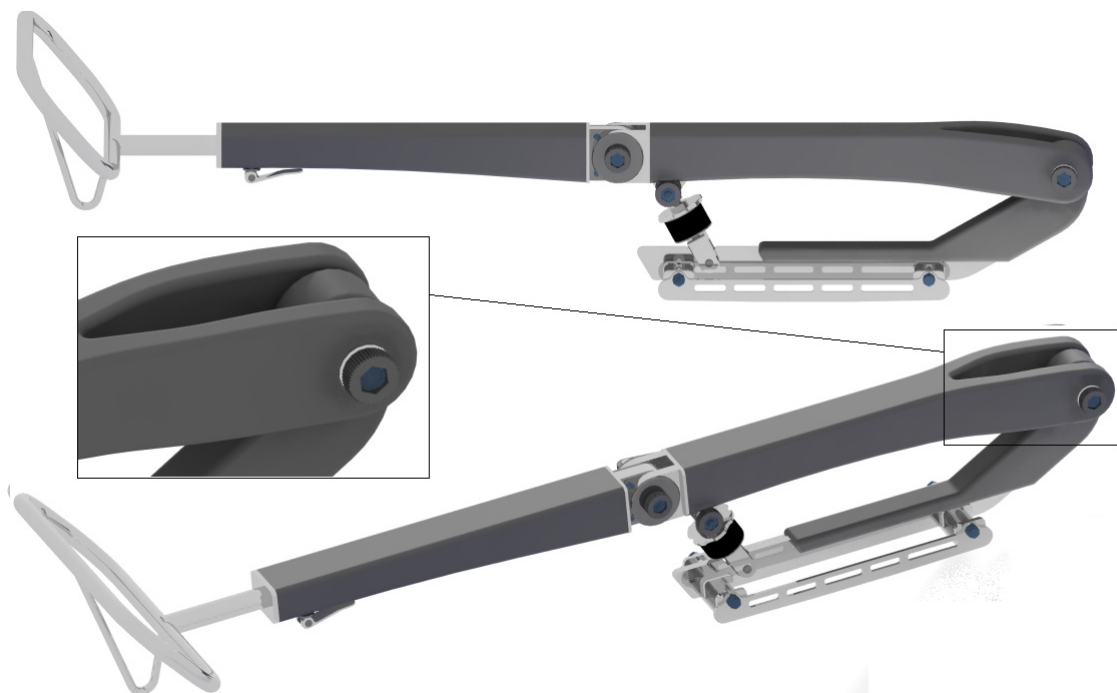
Obr. 27. Konstrukce z kovových profilů.[15]

10.2 Konstrukční návrh 1

Tato varianta je nejvíce podobná designovému návrhu. Tělo sedlové části je vytvořeno kompletně z kompozitních materiálů, v kterém jsou vloženy a zafixovány upínací prvky tak, aby nedocházelo k poškozování kompozitních dílů vlivem svěrného spojení. Největší výhodou této varianty je nízká hmotnost.

Při volbě této varianty je nutné se vypořádat s několika nástrahami. Největší nevýhodou je náročnost výroby formy, kdy je obtížné správně zafixovat tvar kompozitního materiálu uvnitř formy tak, aby vytvořil zaoblený a uzavřený konec vidlice.

Další nevýhodou je nutnost vrtat otvory pro vložení jednotlivých upínacích částí a následně je fixovat lepením, zde je nutné klást důraz na sousost otvorů. Tato varianta znemožňuje použití současně navrženého uchycení sedla, které umožňuje jeho podélný posuv. Bylo by tedy nutné vytvořit nové uchycení sedla nebo zamezit jeho podélnému nastavení úplnou fixací a snížením variability.



Obr. 28. Konstrukční návrh 1 – sedlová část je vyrobena kompletně z kompozitních materiálů.

Výhody:

- Nejvíce podobné designovému návrhu.
- Nejnižší hmotnost dílu.

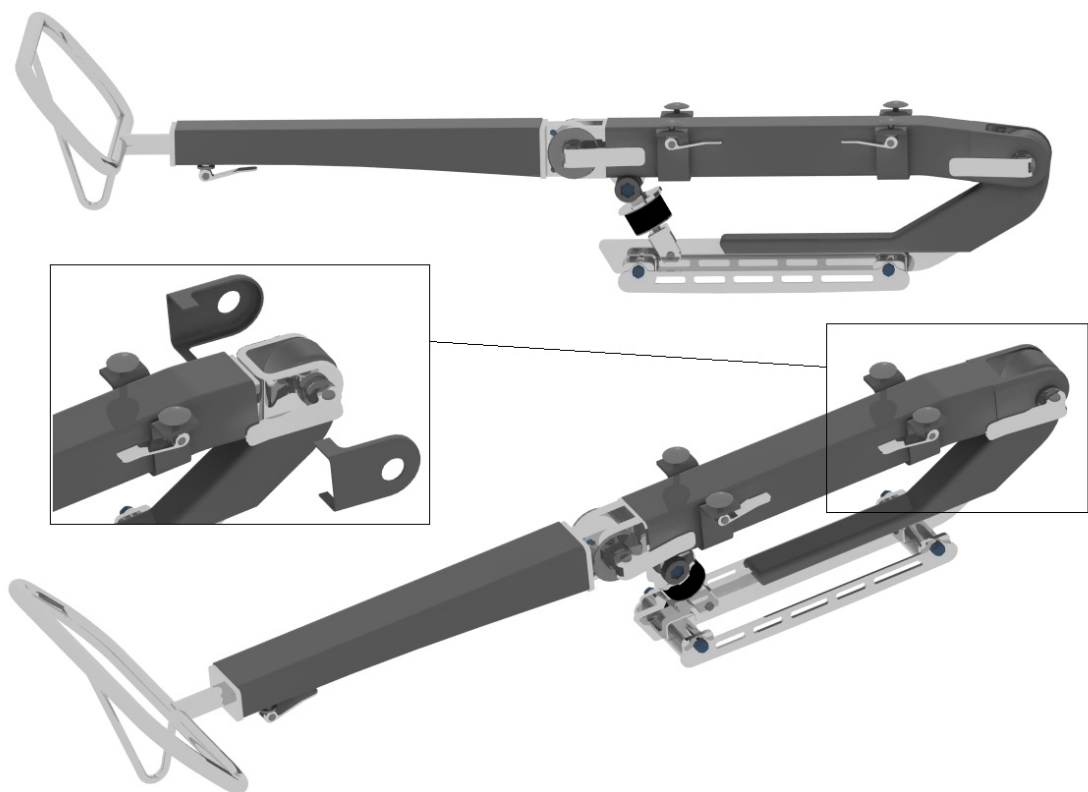
Nevýhody:

- Nejnáročnější způsob výroby kompozitního dílu.
- Dodatečné operace při výrobě.
- Obtížná fixace sedla k sedlové části.

10.3 Konstrukční návrh 2

Tato varianta je kombinací kompozitního a kovového materiálu. Kompozitní část tvoří jen čtvercový profil, v kterém je vložený nosný díl ze slitiny hliníku, na kterém jsou pouze designové kryty.

Výhodou této varianty je nejsnadnější výroba a tudíž i nižší cena. Nevýhodou je odklon od původního designu a zvýšení celkové hmotnosti konstrukce.



Obr. 29. Konstrukční návrh 2 – kombinace kovu a kompozitu.

Výhody:

- Snadný způsob výroby.

Nevýhody:

- Vyšší hmotnost.

- Změna designu.
- Nevyužití potenciálu kompozitního materiálu.

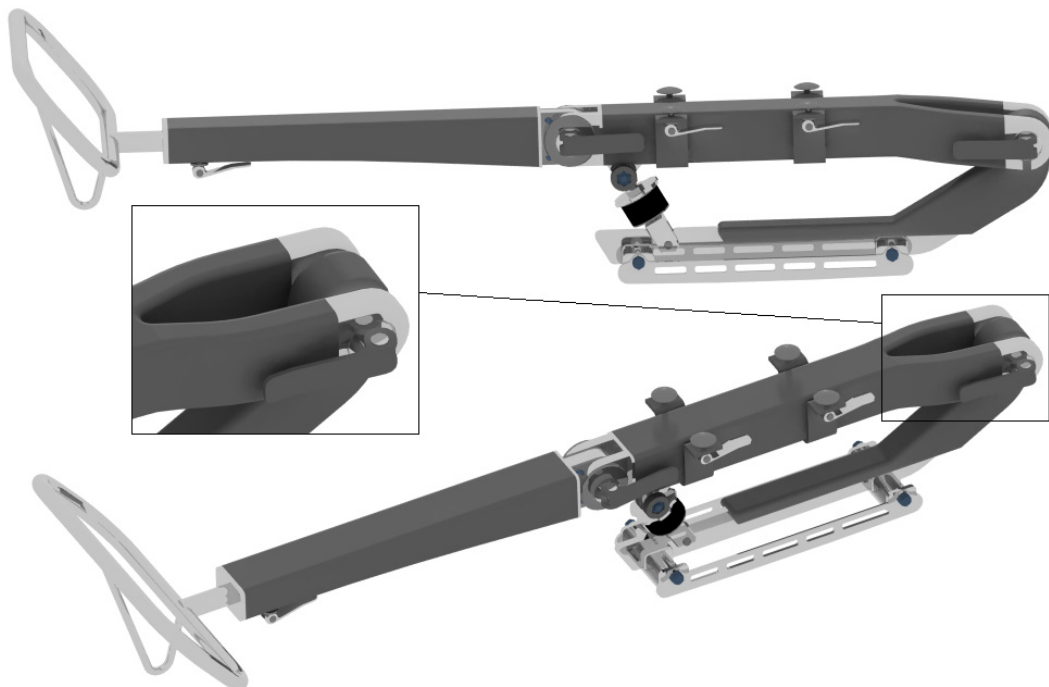
10.4 Konstrukční návrh 3

Třetí varianta je kombinací dvou různých materiálů potřebných na výrobu nosných prvků sedlové části. Zde se vytvořilo tělo z kompozitního materiálu, v kterém jsou vsazeny nosné prvky ze slitin hliníku. Tvar sedlové části je upraven tak, aby vyhovoval technologii výroby a variabilitě konstrukce.

Tato varianta je méně náročná na výrobu, než konstrukční návrh 1. Není nutné vytvářet uzavřenou dutinu a je zde lepší možnost fixace tvaru kompozitního dílu. Tvar umožňuje použití stávajícího uchycení sedla s podélným posuvem.

Nevýhodou je odlišný tvar proti designovému návrhu a nepatrné zvýšení hmotnosti kvůli použití nosných kovových prvků.

Při výrobě je nutné zajistit dostatečnou fixaci lepením kovových prvků s kompozitem tak, aby kovový prvek byl přilepen po celém obvodu s maximální styčnou plochou.



Obr. 30. Konstrukční návrh 3 – kombinace kompozitu s kovem.

Výhody:

- Snadnější způsob výroby kompozitního dílu.

- Snadná fixace a možnost posuvu sedla.

Nevýhody:

- Odklon od původního designu.
- Nutnost výroby vyššího počtu kovových prvků.

10.5 Srovnání jednotlivých konstrukčních variant

Do srovnání konstrukčních variant je zahrnuta i varianta z bakalářské práce, vyrobená z hliníkových profilů. To umožní zjistit, jaký mají přínos kompozitní materiály na snížení hmotnosti výrobku.

Tab. 15. Porovnaní hmotnosti jednotlivých konstrukčních řešení.

	Hmotnost [kg]	Hmotnost [%]
Návrh z bakalářské práce	6,46	100,0
První varianta konstrukčního návrhu	3,07	47,5
Druhá varianta konstrukčního návrhu	3,32	51,4
Třetí varianta konstrukčního návrhu	3,29	50,9

Z následující tabulky je patrné, že snížení hmotnosti je větší než 50 % proti konstrukci z hliníkových profilů. Snížení hmotnosti není způsobeno jen použitím kompozitního materiálu, ale taky odlišnou konstrukcí nosných prvků, především ve spodní části.

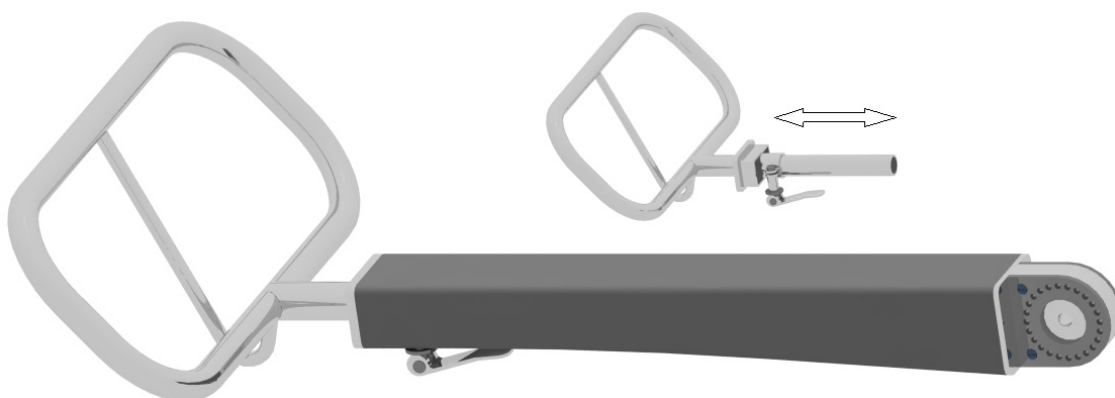
Při srovnání jednotlivých konstrukčních variant je nutné brát v potaz ceny výrobních technologií a materiálů. Jelikož se jedná o návrh vycházející z designové studie, tak se musí akceptovat i návrh designéra.

Ze tří variant konstrukčních návrhů se pro realizaci nejvíce hodí návrh 3. Kombinuje relativně snadnou technologii výroby s požadovaným designem. Jednotlivé konstrukční prvky návrhu 3 jsou popsány v další kapitole diplomové práce.

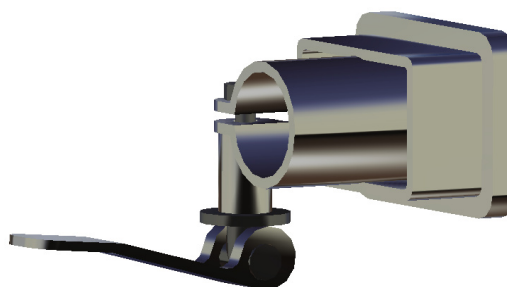
10.6 Přední část brusle

Přední část brusle slouží jako opora pro nohy hráče a tvoří třetí styčný bod s ledem při hře. Tato část sledge brusle je namáhaná především na ohyb. Přední část brusle je spojena se sedlovou částí pomocí kolíkového kloubu s aretací, který dovoluje nastavení sklonu přední části po 15°. Opora nohou je plynule nastavitelná v podélném směru

(v rozsahu 0 mm až 110 mm), pomocí svěrného spoje, který lze snadno uvolnit pomocí excentrické páky.



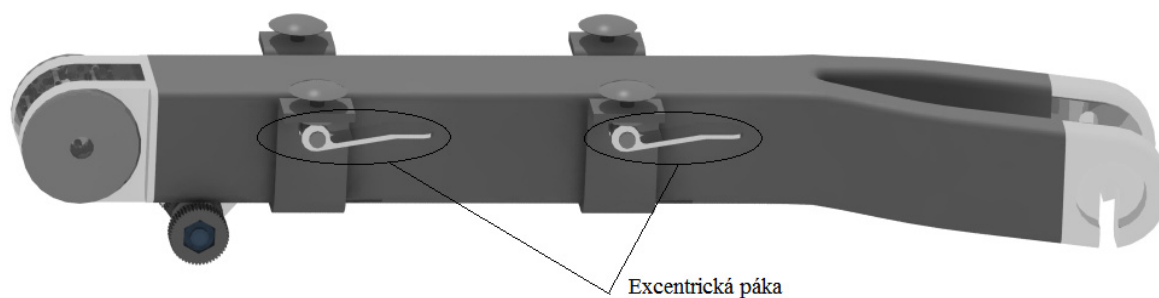
Obr. 31. Přední část brusle – ukázka nastavení délky.



Obr. 32. Detail svěrného spoje.

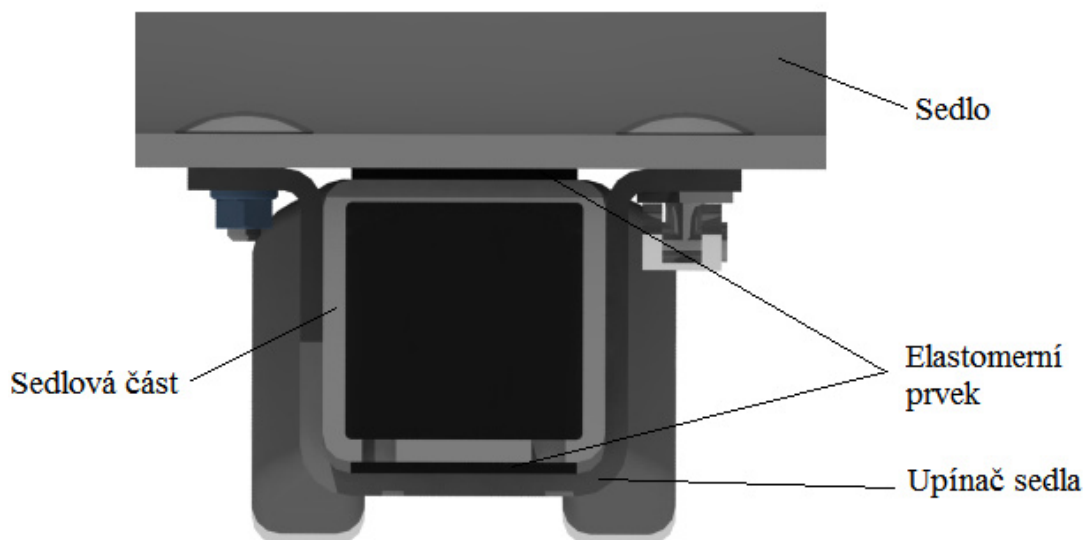
10.7 Sedlová část brusle

Sedlová část slouží jako nosná konstrukce sedla a upevňují se na ní ostatní části brusle. Tento prvek je společný pro všechny modifikace invalidního vozíku Trilobit. Pomocí dvou excentrických pák lze nastavit umístění sedla v podélném směru (v rozsahu 0 mm až 50 mm) a měnit tak těžiště uživatele.



Obr. 33. Sedlová část brusle – upínače sedla s excentrickou pákou.

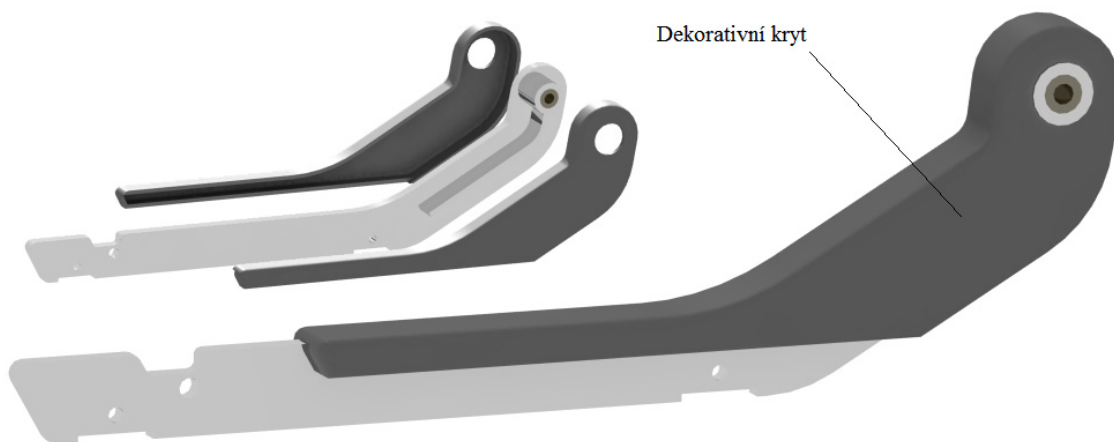
Po uvolnění excentrické páky dojde k uvolnění svěrného spoje a to dovolí podélné nastavení sedla. Mezi upínačem sedla a sedlovou částí je elastomerní prvek, který brání poškození jednotlivých prvků vlivem deformačních sil od upínače sedla.



Obr. 34. Detail upínače sedla.

10.8 Spodní část brusle

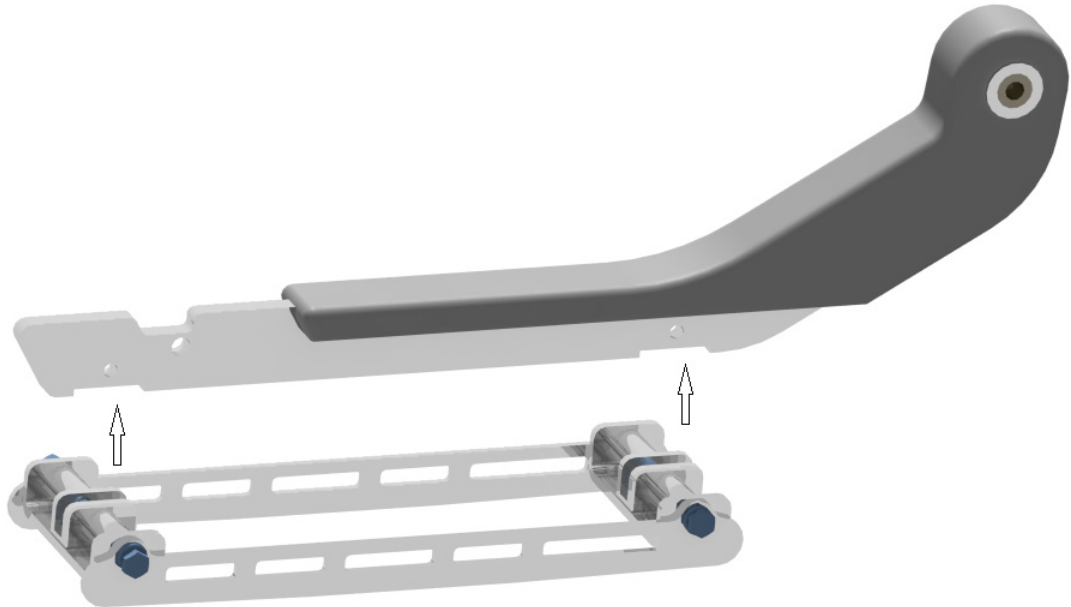
Spodní část brusle zabezpečuje kontakt hráče s ledem nebo vozovkou (in-line brusle). Ve spodní části je nejpodstatnější změna v konstrukci. Zde byl původní čtvercový profil nahrazen plechem, který je opatřen dekorativním krytem. Pod tímto krytem je uschováno vyztužující žebro, které brání deformaci dílu. Na spodní část se přes upínací konzole připevní pomocí šroubů bruslařský nůž nebo podvozek pro in-line brusli.



Obr. 35. Spodní část brusle – rozložený dekorativní kryt.

10.8.1 Spodní část sledge brusle

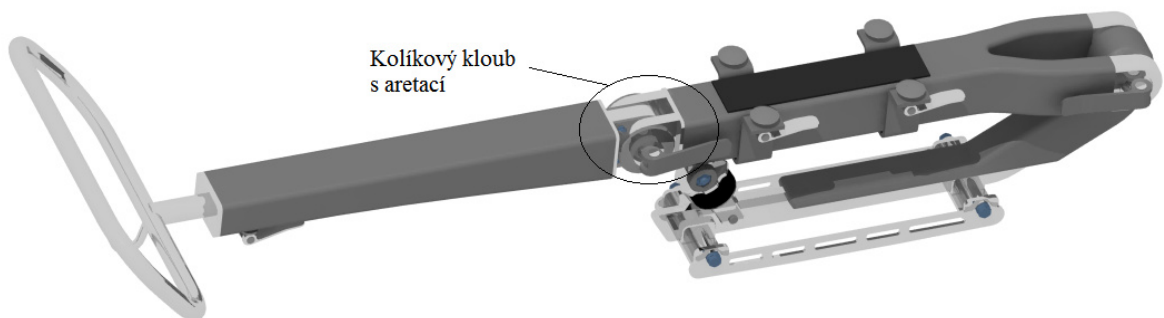
Ke spodní části brusle lze pomocí dvou šroubů a upínací konzole připevnit bruslařské nože. Při výrobě je možné vyrábět upínací konzole v různých rozměrech podle požadavků hráčů a platných pravidel sledge hokeje.



Obr. 36. Detail uchycení bruslařských nožů.

10.9 Kolíkový kloub s aretací

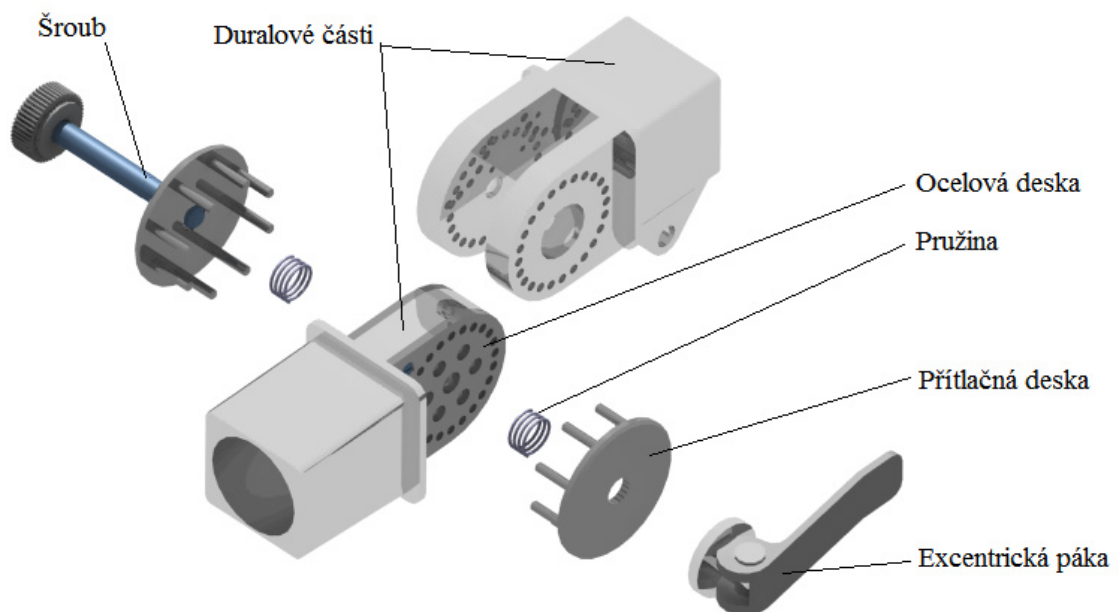
Kloub slouží pro nastavení sklonu přední části brusle a umožňuje nastavení po 15° . Původně navržený kloub v bakalářské práci se dal nastavit po 20° . U kloubu došlo jen ke změně geometrie jednotlivých prvků a k odlehčení konstrukce.



Obr. 37. Umístění kolíkového kloubu s aretací.

Kolíkový kloub s aretací je složen z 11 částí. Princip tohoto kloubu spočívá v zapadávání kolíku do otvoru. Pro lepší manipulaci a nastavení polohy kloubu je přítlačná deska po

uvolnění excentrické páky odlačována pružinou. Ocelová deska se do kloubu vkládá z důvodu lepších mechanických vlastností, než má dural.



Obr. 38. Detail jednotlivých částí kolíkového kloubu s aretací.

Kontrola navržené konstrukce.

Vstupní hodnoty:	Počet kolíků:	$n = 16$
	Průměr kolíku:	$d = 3,5 \text{ mm}$
	Průměr roztečné kružnice:	$D_R = 40 \text{ mm}$
	Tloušťka ocelového plechu:	$h = 3 \text{ mm}$
	Materiál:	ČSN 16 220
	Velikost působící síly:	$F_{2\max} = 1050 \text{ N}$
	Rameno působící síly:	$l = 500 \text{ mm}$

Výpočet kroucího momentu v kloubu M_k :

$$M_k = F_{2\max} \cdot l = 1050 \cdot 0,5 = 525 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (1)$$

Tangenciální síla působící na jeden kolík F_t :

$$F_t = \frac{2M_k}{n \cdot D_R} = \frac{2 \cdot 525}{16 \cdot 0,04} = 1640,7 \text{ N} = 1640 \text{ N} \quad (2)$$

Povrch kontrolovaný na otláčení S_{ot} :

$$S_{ot} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 1,75 \cdot 3 = 32,98 = 33 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

Kontrola na otláčení ocelové desky p :

Ocel ČSN 16 220 => $p_D = 120 \text{ MPa}$

$$p = \frac{F_t}{S_{ot}} = \frac{1640}{33} = 49,69 \text{ MPa} \quad (4)$$

- Kontrole na otláčení ocelový plech vyhovuje.

Plocha průřezu zatěžovaného kolíku S_τ :

$$S_\tau = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3,5^2}{4} = 9,62 = 9,6 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

Kontrola na stříh.

Dovolené napětí pro smyk se určí z dovoleného napětí pro tah.

Ocel ČSN 16 220 => $\sigma_{Dt} = 640 \text{ MPa}$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} = 0,6 \cdot 640 = 384 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$\tau = \frac{F_t}{S_\tau} = \frac{1640}{9,6} = 171 \text{ MPa} \quad (7)$$

- Součást kontrole na stříh vyhověla.

Kontrola šroubu na tah.

Vstupní hodnoty:	Materiál šroubu:	ČSN 14 341
	Průměr šroubu:	$d = 8 \text{ mm}$
	Upínací síla pákového excentru:	$F_{exc} = 6000 \text{ N}$

Plocha průřezu šroubu S_σ :

$$S_\sigma = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,26 \quad (8)$$

Kontrola na tah σ :

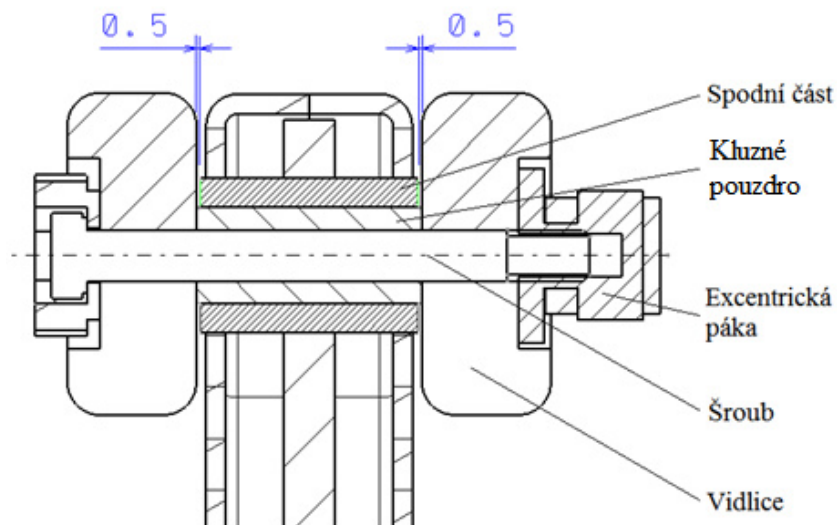
Ocel ČSN 14 341 $\Rightarrow \sigma_{Dt} = 780 \text{ MPa}$

$$\sigma = \frac{F_{exc}}{S_{\sigma}} = \frac{6000}{50,26} = 119,38 \text{ MPa} \quad (9)$$

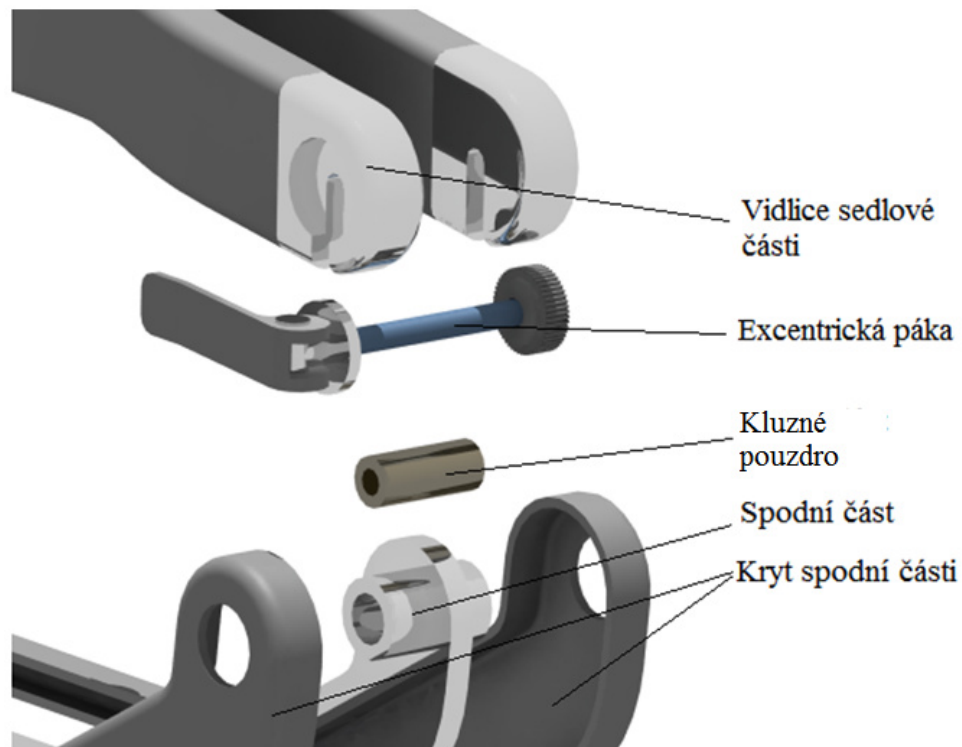
- Šroub vyhovuje kontrole na tah.

10.10 Zadní uložení

Zadní uložení spojuje sedlovou část se spodní částí. Toto uložení musí dovolit pohyb jednotlivých prvků vůči sobě, jinak by bylo použití pružného členu zbytečné. Princip uložení je založen na funkci kluzného ložiska. Excentrická páka se šroubem tvoří osu otáčení a přes vidlici svírá kluzný prvek uložení, na kterém se otáčí spodní část brusle. Kluzný prvek uložení je delší než spodní část, protože při svěrném spojení musí dovolit pohyb spodní části.



Obr. 39. Řez zadního uložení.



Obr. 40. Popis jednotlivých dílů.

Zadní uložení je nutné kontrolovat na střih.

Vstupní hodnoty:	Materiál:	ČSN 14 341
	Průměr šroubu:	$d = 8 \text{ mm}$
	Velikost působící síly:	1600 N

Plocha průřezu šroubu S_{τ} :

$$S_{\tau} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,26 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

Dovolené napětí pro smyk určíme z dovoleného napětí pro tah.

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} = 0,6 \cdot 780 = 468 \text{ MPa} \quad (11)$$

Kontrola na střih τ :

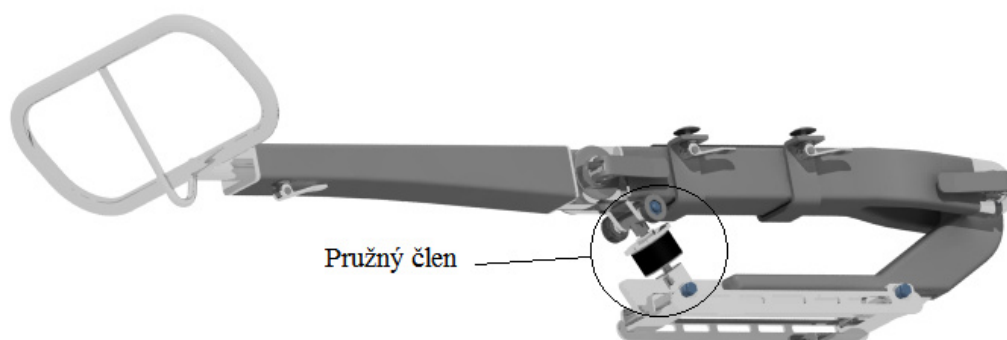
$$\tau = \frac{F_{1max}}{2 \cdot S_{\tau}} = \frac{1600}{2 \cdot 50,26} = 15,91 \text{ MPa} \quad (12)$$

- Kontrola na střih potvrdila správnost navržené konstrukce a šroub namáhání na střih vyhovuje.

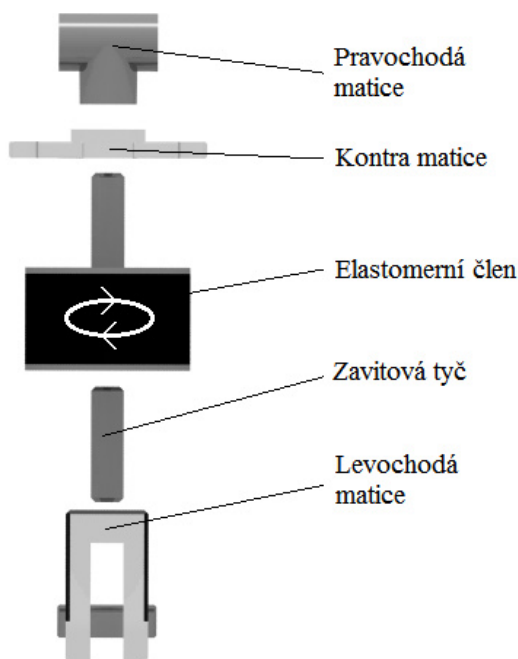
10.11 Pružný člen

Pružný člen slouží jako bezpečnostní prvek, který tlumí nárazy do překážek při převržení brusle na stranu. Další funkcí je zvýšení komfortu pro uživatele a možnost nastavení sklonu a výšky sedlové části.

Pružný člen má normalizovaný tvar a lze zakoupit u výrobců elastomerních pružin. To snižuje náklady na výrobu. V sedlové části je uchycen pomocí šroubu a ve spodní části je uchycen pomocí čepu. Použití levochodého a pravochoďého závitu v místech uchycení, umožní použít šroub jako rozpěrnou tyč s proměnnou délkou. Nastavení potřebné délky se provede otáčením elastomerního členu. Změnu délky lze provádět v rozsahu 0 až 18 mm. Šroub je opatřen kontra maticí zamezující jeho povolání.



Obr. 41. Umístění pružného členu.

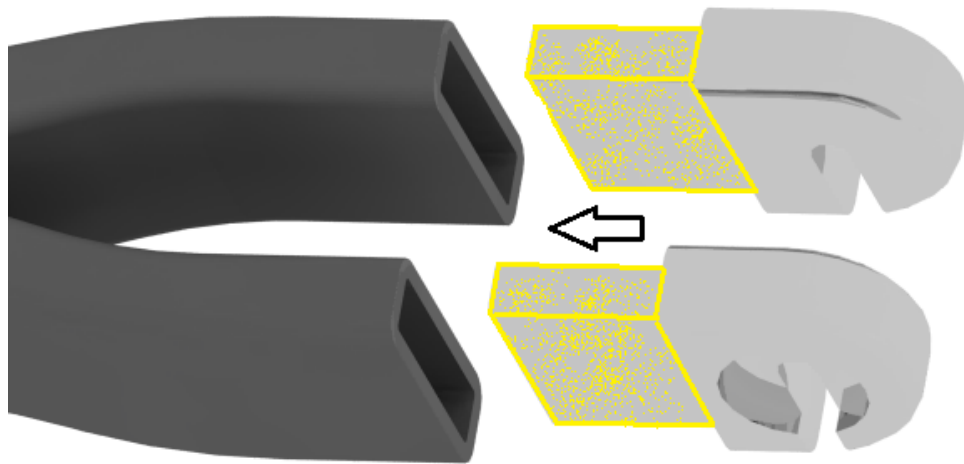


Obr. 42. Pružný člen – jednotlivé části.

Pružný člen se nabízí pouze s pravochodým závitem, proto je nutné vytvořit na části závitové tyče pravochodý závit, který se zašroubuje do pružného členu a zafixuje se lepidlem proti povolení šroubu. Druhá strana závitové tyče je opatřena levochodým závitem pro nastavení výšky.

10.12 Vkládání a lepení dílů

Díly vložené do kompozitní konstrukce se musí pevně spojit lepením po celé styčné ploše tak, aby bylo zamezeno jejich uvolnění při užívání zařízení.



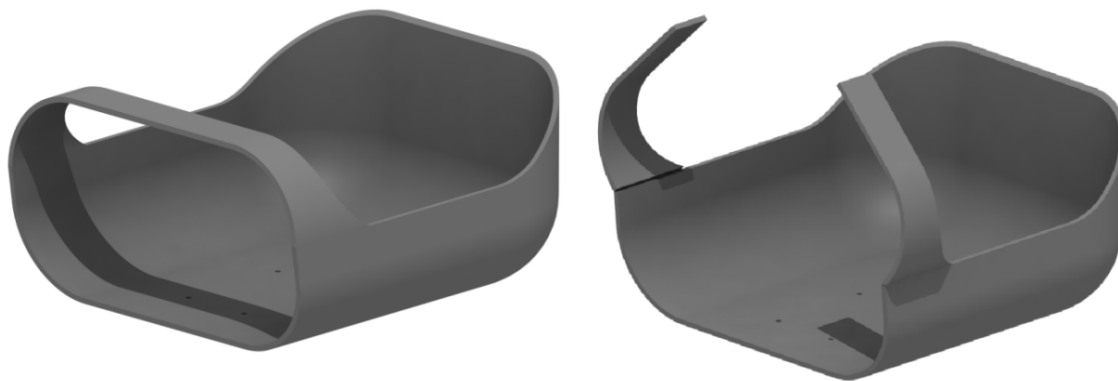
Obr. 43. Detail lepení a vkládání kovového dílu do kompozitní konstrukce.

10.13 Sedlo

Sedlo je nedílnou součástí všech variant designové studie Trilobit a zajišťuje pohodlné užívání.

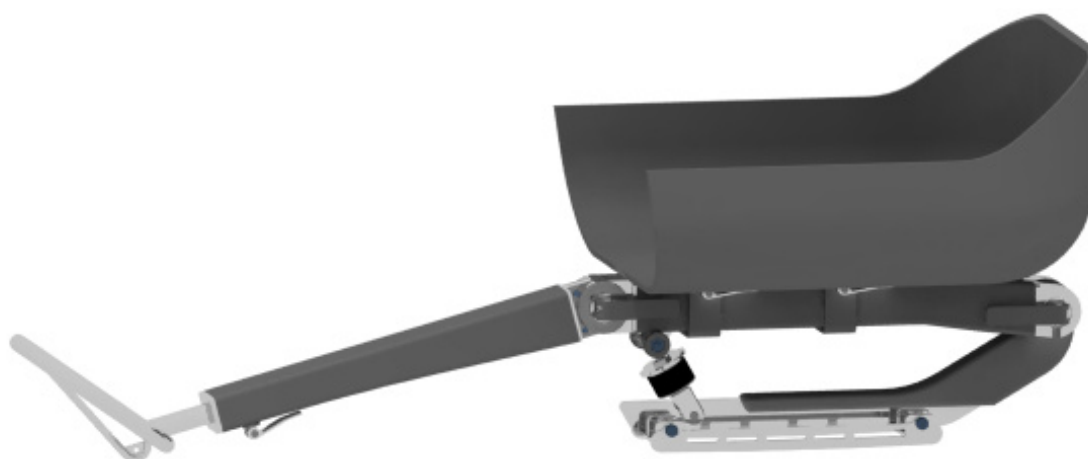
Vnitřní polstrování se vyrábí z pěnových materiálů, které nesají vodu a má dobré tepelně izolační vlastnosti. Pro tyto účely se hodí pěnový polyetylen, protože se dá velmi snadno tvarovat, lepit a je hygienicky nezávadný. Ergonomický tvar sedla se dá dotvarovat podle požadavků uživatele.

Vnější nosná část sedla se vyrábí z materiálu ABS vakuovým tvarováním. Pro sportovní účely je nutné pevně fixovat uživatele v sedle, ale zároveň musí sedlo dovolit snadné nasedání a vasedání.



Obr. 44. Vizualizace sedla s upínacím popruhem.

Sedlo je opatřeno upínacím popruhem, který brání nechtěnému pohybu těla a nohou při sportovní aktivitě. Tento popruh se může vyrábět z ABS, je však nutné zajistit pružné spojení se sedlem. Upínací popruh z ABS lze nahradit koženým popruhem nebo jinou syntetickou textilií.



Obr. 45. Vizualizace sledge brusle se sedlem.

11 MECHANICKÁ ANALÝZA

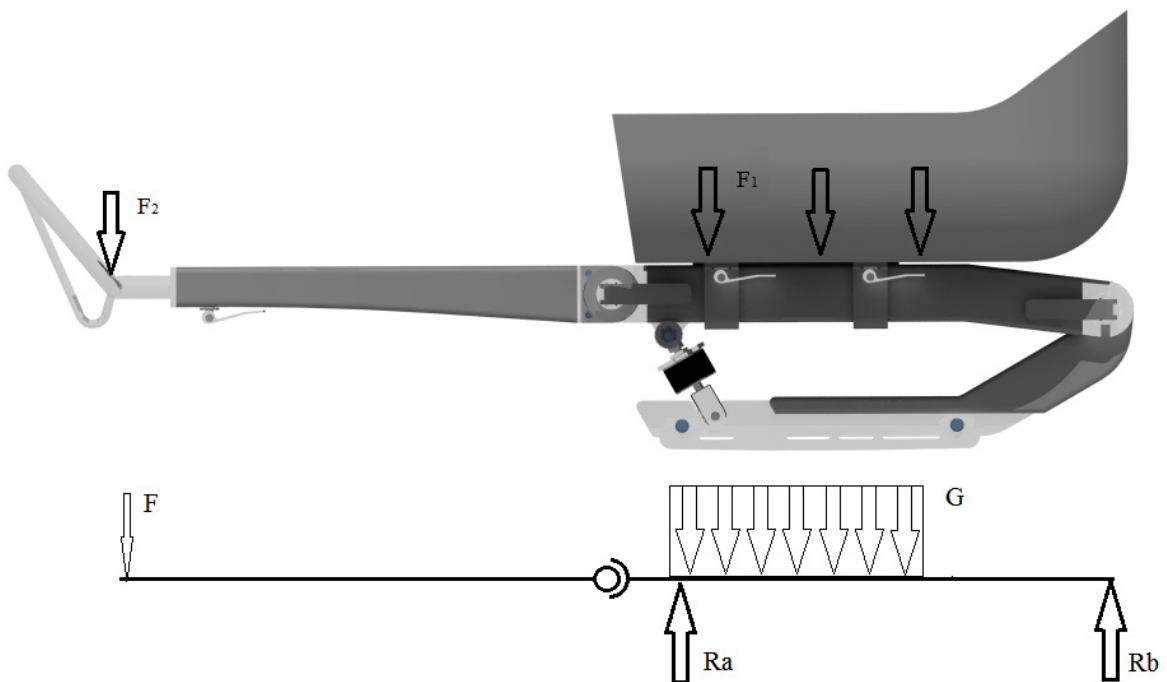
Mechanická analýza slouží pro ověření mechanických vlastností navržené konstrukce. FEM analýza je vytvořena za pomoci softwaru Catia V5 R18 v modulu Generative structural analysis. Při analýze je důležité vhodně zvolit materiálové vlastnosti a okrajové podmínky analýzy.

Konstrukční návrh obsahuje pět rozdílných materiálů (ocel, hliník, ABS, uhlíkový kompozit, elastomer). Z FEM analýzy se vyloučil elastomerní materiál v pružném členu, protože by zkresloval informace o posunutí (deformaci). Pružný člen byl nahrazen ocelovým prvkem, který neumožní posunutí.

Okrajové podmínky mechanické analýzy jsou vytvořeny pro dvě varianty zatížení (maximální dovolené zatížení a běžné zatížení).

Tab. 16. Materiálové vlastnosti potřebné pro mechanickou analýzu.

Materiálové vlastnosti - FEM				
	Ocel	Hliník	Uhlíkový kompozit	ABS
Modul pružnosti v tahu [GPa]	200	70	140	2,4
Poissonova konstanta	0,27	0,34	0,35	0,38
Hustota [kg/m ³]	7800	2710	1700	1040

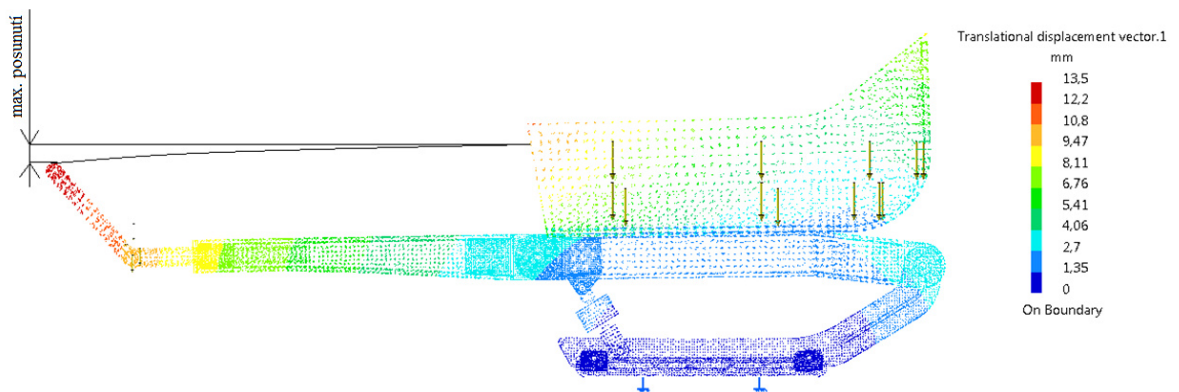


Obr. 46. Ukázka zatížení a schematické zobrazení zatížení.

11.1.1 Maximálního zatížení:

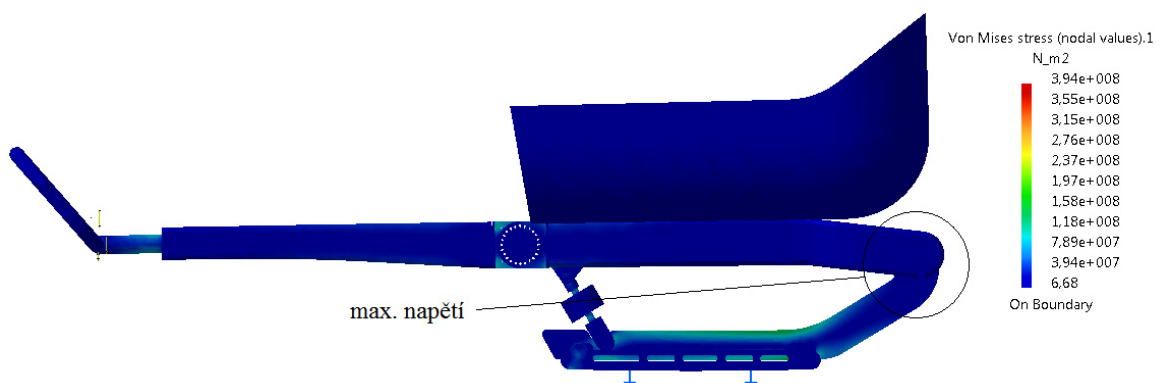
Maximální možné zatížení vychází ze zadaných hodnot, je však nutné uvažovat bezpečnost k ($105 \text{ kg} \Rightarrow 1050 \text{ N} \Rightarrow 1050 \times 1,5k = 157,5 \Rightarrow 1600 \text{ N}$). Zatížení opory nohou při běžném užívání není tak vysoké, maximální zatížení se v této části rovná 1050 N .

- $F_{1\max} = 1600 \text{ N}$ – zatížení sedlové části
- $F_{2\max} = 1050 \text{ N}$ – zatížení opory nohou



Obr. 47. Posunutí při maximálním zatížení.

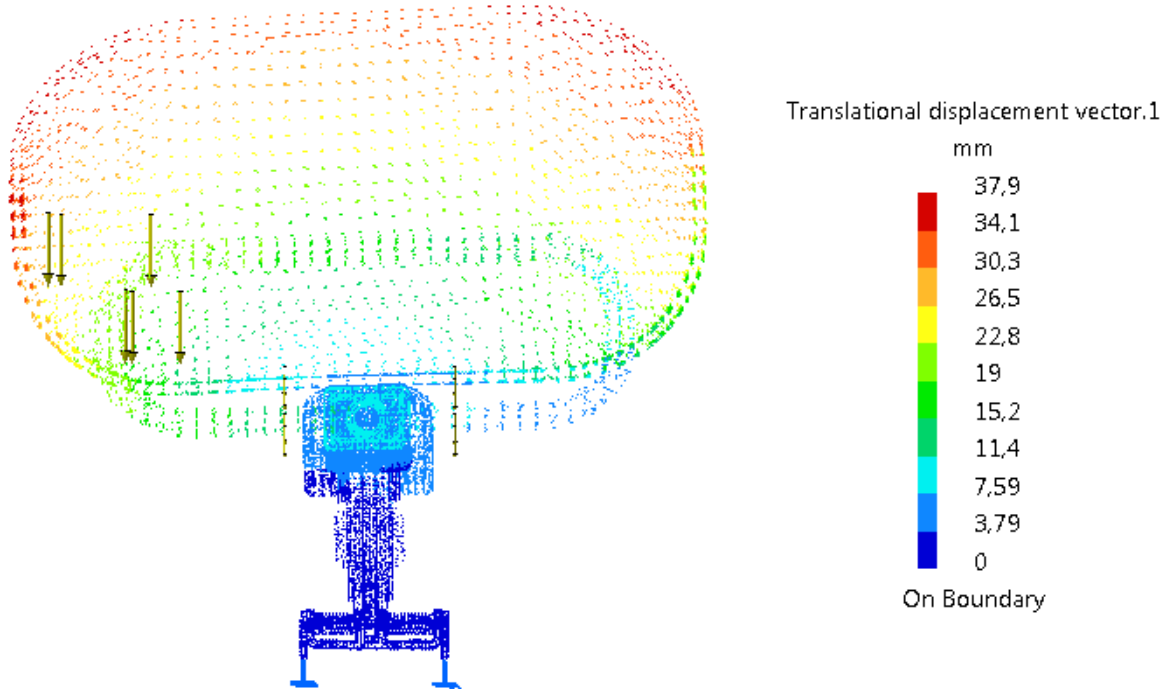
Konstrukce se při maximálním zatížení deformuje. K maximálnímu posunutí dochází v přední části konstrukce, která tvoří jedno dlouhé rameno, které je podepřeno jen v jednom místě (podobně jako vetknutý nosník). Maximální posunutí je v přední části $\delta_{\max} = 13,5 \text{ mm}$.



Obr. 48. Von Missesovo napětí při maximálním zatížení.

Maximální hodnota Von Missesova napětí je 394 MPa a je v místě uložení spodní části na ose excentrické páky, která je vyrobena z oceli.

V případě, že hráč chce změnit směr jízdy, tak svou váhu přenesou na požadovanou stranu brusle. V tomto případě, je brusle namáhána ve spodní části na ohyb. Spodní část brusle je opatřena vyztužujícím žebrem, které má zamezit prohnutí konstrukce.



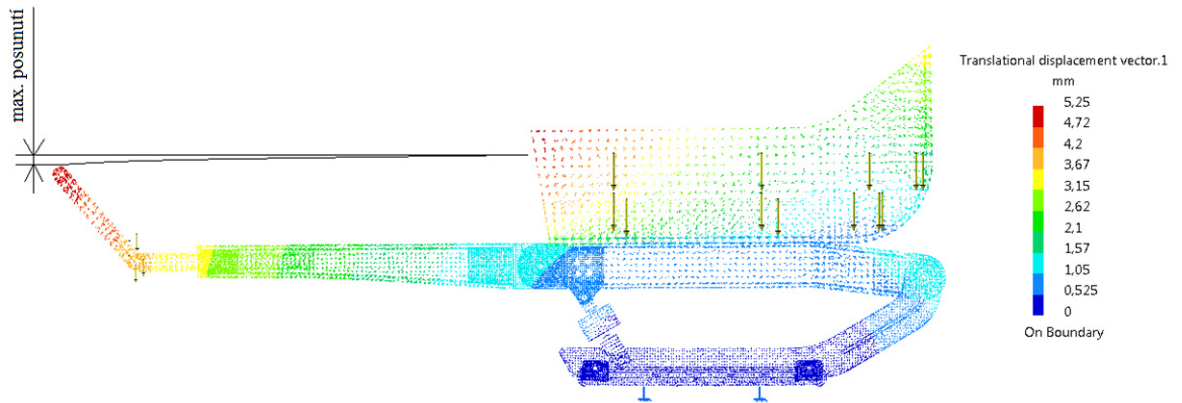
Obr. 49. Posunutí při zatížení jedné strany konstrukce.

Posunutí je $\delta_{\max} = 37,9$ mm, ale jedná se o posunutí sedla vyrobeného z ABS, nikoliv nosné konstrukce. Posunutí v nosné konstrukci je maximálně $\delta = 4$ mm.

Velikost napětí nepřekračuje dovolenou mez jednotlivých materiálů. Navržená konstrukce vyhovuje mechanickým požadavkům.

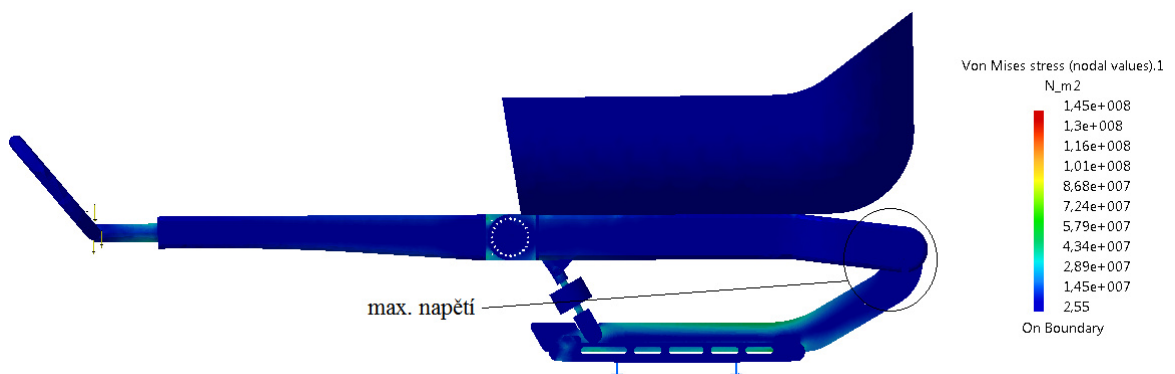
11.1.2 Běžné zatížení

- $F_{1b} = 800 \text{ N}$ – běžné zatížení v sedlové části.
- $F_{2b} = 400 \text{ N}$ – běžné zatížení opory nohou.



Obr. 50. Posunutí při běžném zatížení.

Při běžném zatížení je maximální posunutí $\delta_{\max} = 5,25 \text{ mm}$. Místo maximálního posunutí je totožné jako posunutí při maximálním zatížení.

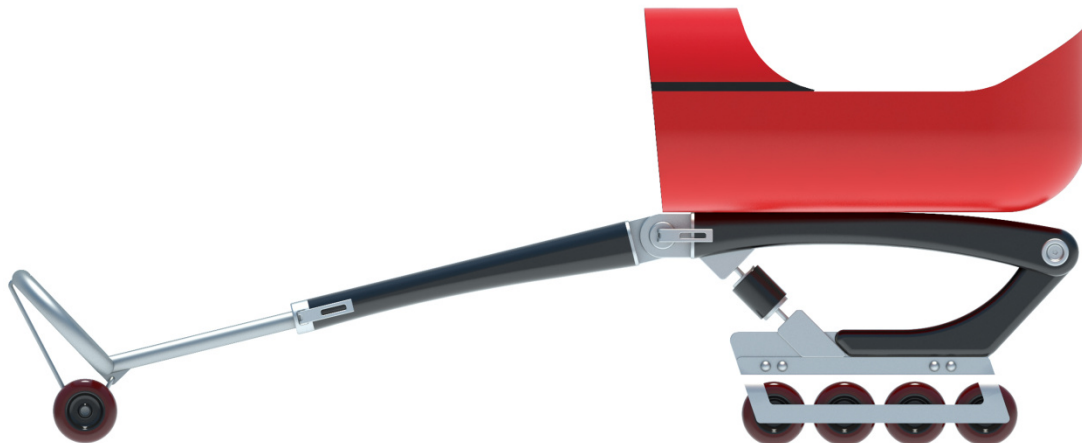


Obr. 51. Von Missesovo napětí při běžném zatížení.

Maximální hodnota Von Missesova napětí je 145 MPa a je v místě uložení spodní části na ose excentrické páky.

12 KONSTRUKČNÍ NÁVRH IN-LINE BRUSLE

Na základě designové studie jsou zpracovány dva konstrukční návrhy in-line brusle. Všechny nosné části jsou totožné se sledge bruslí, jen se vyměnil podvozek a na přední část brusle se připevnil slide, který umožní brzdit, ale nebrání v pohybu.



Obr. 52. Designová studie in-line brusle.

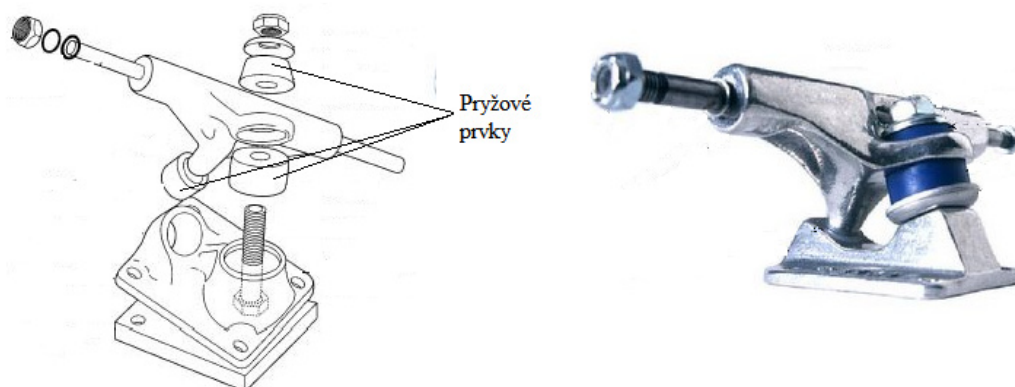
12.1 Konstrukční návrh dvoustopé in-line brusle

První návrh počítá s možností umístění čtyř koleček do dvou stop a zařízení by se spíše podobalo skateboardu než in-line brusli.

Výhodou tohoto řešení je větší stabilita při provozu a možnost stání na místě. Těžiště uživatele je ve stejné výšce jako na sledge brusli.

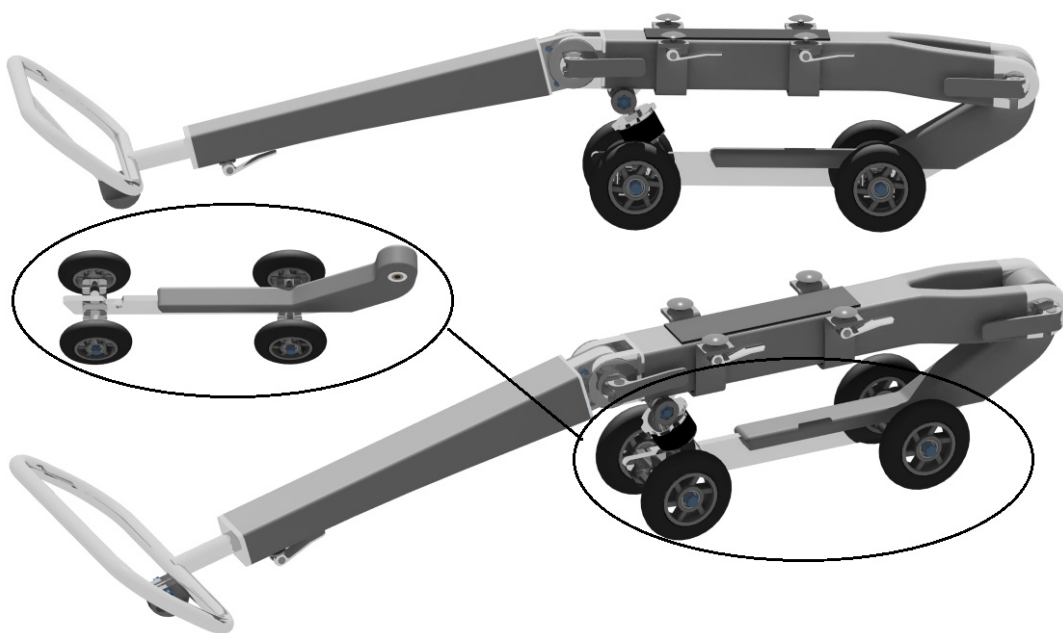
Nevýhodou je nutnost použití větší síly pro změnu směru jízdy nebo přenesení hmotnosti na zadní kolečka. Další nevýhodou je nutnost použití dražších in-line koleček o větších průměrech.

Řešením horší ovladatelnosti je možnost použití podvozku ze skateboardu tzv. trucku. Využití tohoto systému by umožnilo změnu směru jízdy pouhým nakloněním se v sedle. Velikost změny směru jízdy lze regulovat tvrdostí pryžové části trucku.



Obr. 53. Schéma tzv. trucku ze skateboardu.

Konstrukce prvního návrhu in-line brusle je totožná se sledge bruslí. Na upínací konzole se místo bruslařských nožů připevní in-line kolečka z klasických in-line bruslí. V případě nahrazení upínací konzoly truckem, se truck upne přímo na spodní část brusle.



Obr. 54. Vizualizace dvoustopé in-line brusle.

V přední části brusle je připevněný slide, který umožňuje brzdění. Je vyroben z polymeru a upíná se přímo na oporu nohou pomocí šroubu. Další jeho funkcí je ochrana duralové trubky před poškozením.



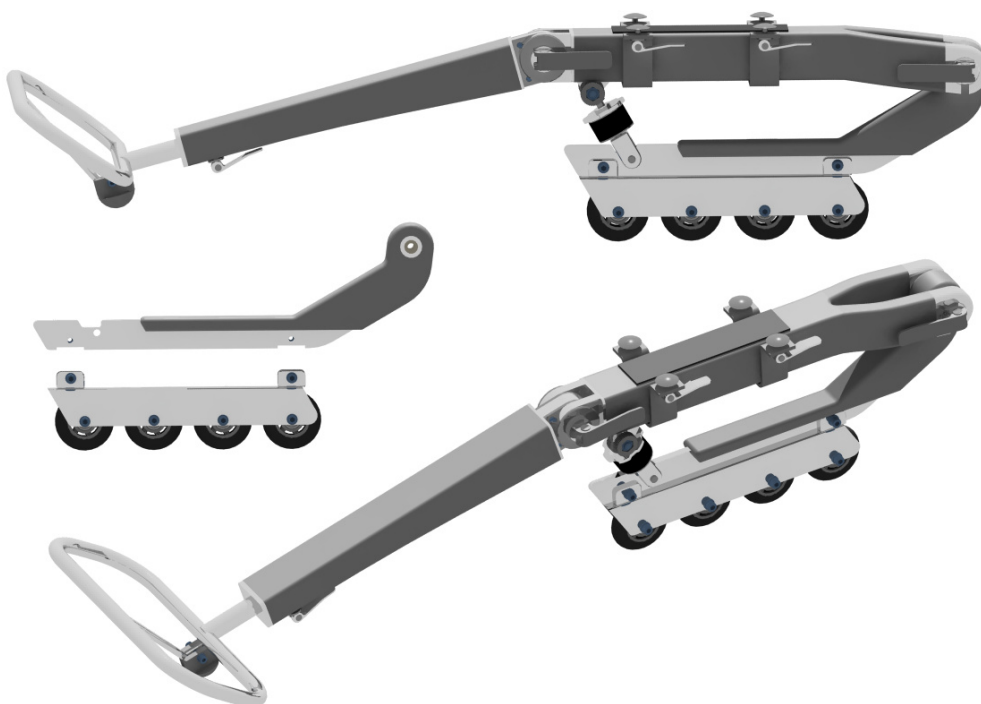
Obr. 55. Uchycení slidu.

12.2 Konstrukční návrh in-line brusle

Druhý návrh in-line brusle se drží designového návrhu, kdy kola tvoří jednu stopu. Připevnění koleček je provedeno pomocí vlastní upínací konzole ke spodní části brusle pomocí dvou šroubů. Přední část obsahuje jako v předešlém návrhu slide pro brzdění.

Výhodou je použití samostatné upínací konzole, která dovolí snadnější manipulaci a upevnění podvozku. Další výhodou je možnost užití menších a levnějších koleček o průměru 64 mm.

Nevýhodou konstrukce je zvýšení těžiště uživatele a menší stabilita při užívání. Při zastavení neudrží rovnováhu.



Obr. 56. Vizualizace in-line brusle.

13 TECHNOLOGIE VÝROBY SEDLOVÉ ČÁSTI

Tato část diplomové práce se věnuje jednotlivým technologickým možnostem výroby sedlové části sledge brusle. Sedlová část je technologicky nejnáročnějším prvkem celé konstrukce, je tedy nutné zvolit optimální způsob výroby. Pro daný tvar sedlové části je několik způsobů výroby.

13.1 Výroba ručním kladením a lepením

Ruční kladení je nejlevnější a technologicky nejméně náročný způsob výroby kompozitu. Tato technologie je výhodná pro výrobu prototypů a méně náročných aplikací. S výhodou lze ruční kladení kombinovat s vakuovým lisováním, kde dosáhneme lepšího prosycení výztuže bez vzduchových bublinek.

13.1.1 Aplikace na navrženou konstrukci

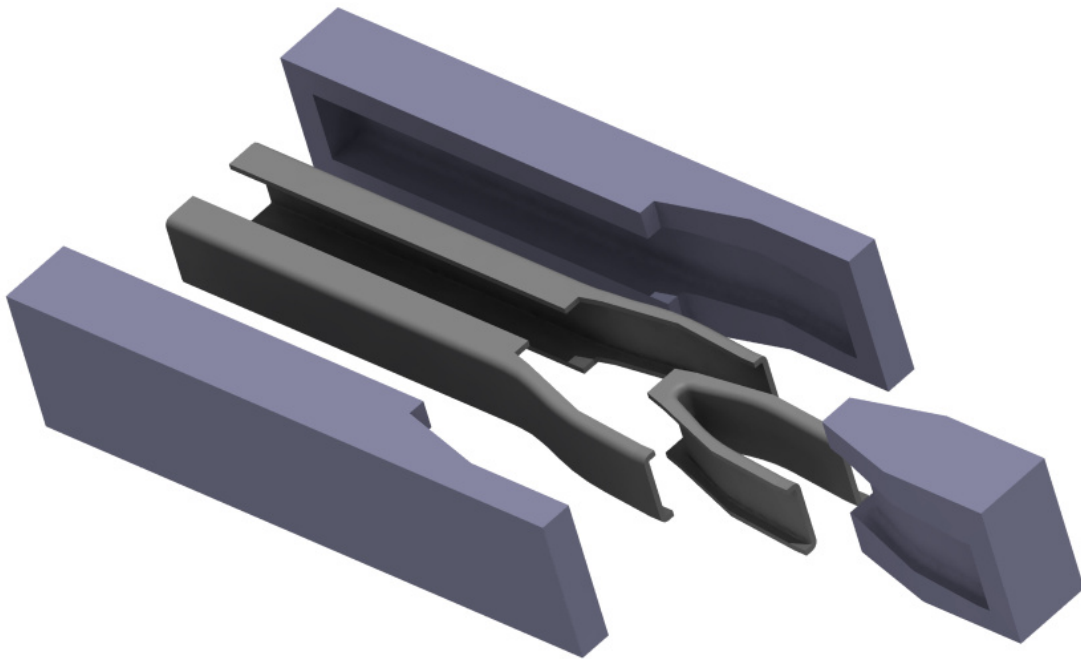
Při použití ručního kladení na výrobu sedlové části se nejprve vytvoří tři samostatné negativní formy, které přesně kopírují vnější tvar výrobku. Jakost povrchu formy musí splňovat požadované vlastnosti povrchu výrobku. Forma musí obsahovat přesahy, aby bylo možné vytvořit styčné plochy pro lepení.

Před samotným procesem ručního kladení, se podle šablon vyřeže nebo vystříhne požadovaný tvar výztuže z připravených rohoží.

Na povrch formy se nanese separační prostředek, který zajistí správné odformování hotového výrobku, na separační prostředek se nanese tenká vrstva pryskyřice v tloušťce 0,5 mm. Tato vrstva tvoří vnější pohledovou část výrobku, zároveň slouží jako ochrana proti poškození výztuže. Dalším krokem je kladení jednotlivých vrstev výztuže, které se vždy musí dostatečně zapracovat do formy a prosytit pryskyřicí. Před procesem vytvrzování se odstraní přečnívající konce výztuže.

Vytvrzení probíhá jednotlivě v každé formě zvlášť a výsledkem jsou tři samostatné díly sedlové konstrukce. Po vytvrzení se kompozitní díl odformuje a obrobí se styčné plochy pro lepení. Využití CNC obráběcích strojů je vhodné při výrobě větší série.

Posledním krokem je lepení jednotlivých dílů k sobě. Na připravené styčné plochy se nanese lepidlo v potřebné vrstvě, všechny tři díly se spojí a zafixují až do vytvrzení lepidla.



Obr. 57. Odformované díly před slepením.

13.2 Výroba ručním kladením s využitím přetlaku

Tento způsob výroby sedlové části je podobný předchozí technologii, ale odpadá nutnost obrábění a lepení jednotlivých dílů.

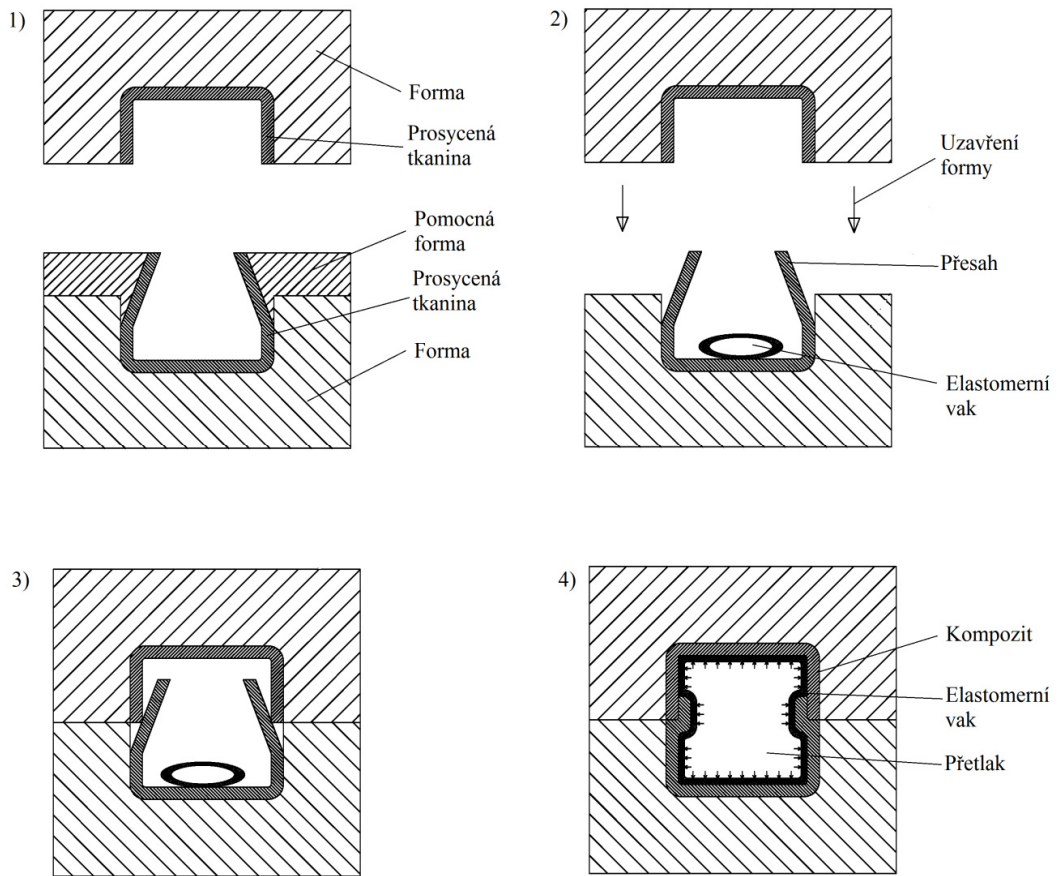
13.2.1 Aplikace na navrženou konstrukci

Forma pro výrobu sedlové části se skládá ze tří dílů a tvoří vnější tvar výrobku. Jakost povrchu formy musí splňovat požadavky na jakost výrobku.

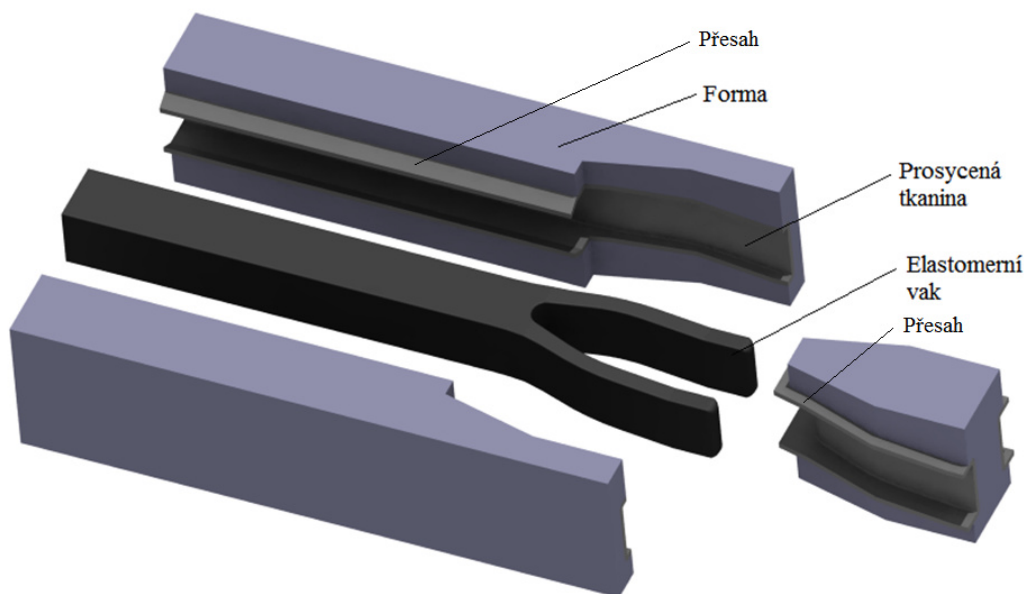
Postup kladení materiálu je totožný s předešlou technologií, jen se na požadovaných místech vytvoří přesahy vyztužujícího materiálu, které se neodstraňují. Tyto přesahy slouží pro zvětšení styčné plochy při lepení a zvyšují pevnost konstrukce.

Vytvrzení všech částí probíhá současně ve složené formě a výsledkem je celý kompozitní díl. Před složením jednotlivých dílů formy k sobě se do dutiny formy vloží elastomerní vak požadovaných rozměrů, který je opatřen separační vrstvou. Po složení formy k sobě a jejím zafixování, se elastomerní vak nafoukne a vytvoří dostatečný tlak na stěny formy. Přesahy vytvořené při ručním kladení vytvoří dostatečně velké plochy pro slepení materiálu pryskyřicí. Jedná se o obrácený postup vakuového lisování kompozitních materiálů. Po rozfouknutí elastomerního vaku nastane proces vytvrzování pryskyřice. Po vytvrzení je elastomerní vak vyjmut z formy a připraven pro další použití.

Výsledkem po odformování je celý kompozitní díl a není nutné další lepení kompozitních dílů. Do výrobku se lepí jen upínací části konstrukce vyrobené ze slitin hliníku.



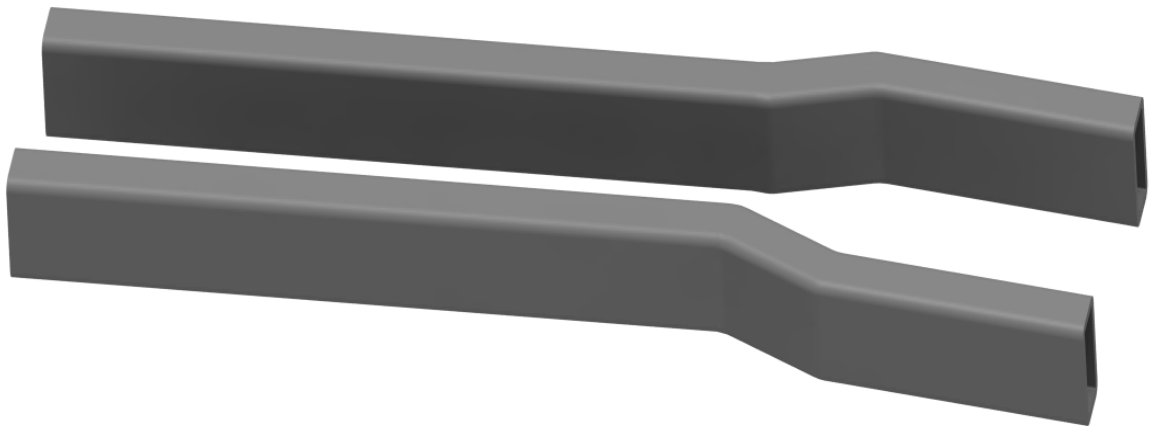
Obr. 58. Řez formou při výrobě.



Obr. 59. Jednotlivé díly formy s prosycenou tkaninou.

13.3 Výroba pomocí PDM pultruze

Pro výrobu sedlové části lze použít i pultruzi. Při použití pultruze se model rozdělí na dvě samostatné části (pravá část, levá část), které se spojí lepením a vytvoří sedlovou část výrobku. Nevýhodou této technologie je vznik viditelné spáry mezi levou a pravou částí. PDM pultruze umožňuje vytažený profil dodatečně tvarovat za samotným pultrudérem a umožní vytvořit prohnutý tvar sedlové části.



Obr. 60. Dva díly před slepením.

Tento způsob výroby je vhodný pro větší série výrobků, protože vyžaduje drahé výrobní zařízení a nutnost výroby pultruzní hlavy a PDM formovacího zařízení, které zafixuje tvar výrobku po vytažení profilu.

14 VÝROBA MODELU SEDLA A SEDLOVÉ ČÁSTI BRUSLE

Součástí praktické části je výroba sedla pro sledge brusli. V univerzitních dílnách byl vyroben model sedla v měřítku 1:2. Volba zmenšeného modelu byla nutná z technických a ekonomických důvodů. Pro vyzkoušení technologie je model 1:2 plně postačující.

Tvar sedla vychází z designového návrhu a je složen ze dvou částí (sedací část a upínací část). Obě části je možné vyrobit pomocí totožné formy.

14.1 Technologický postup výroby sedla

Technologický postup výroby sedla lze rozdělit na dvě samostatné části. První částí je výroba formy. Druhou částí je výroba samostatného výrobku (model sedla).

Výroba formy:

1. Výroba 3D modelu pomocí software Catia V5 R18.
 - a. Z designového návrhu se zhotovil rozměrový výkres nutný pro výrobu 3D modelu.
 - b. Na základě výrobního výkresu byl zhotoven 3D model, který slouží pro import do CAM programu.
2. Pomocí CAM programu NX se zhotovil program pro výrobu formy na CNC frézce.
3. Po importování programu na CNC frézku byla vyrobena forma.
 - a. Výroba formy je rozdělena do tří částí z důvodu nemožnosti výroby z jednoho kusu materiálu.
4. Dokončovací práce – broušení hran a stop po obráběcích nástroji.

Před samotnou výrobou formy bylo nutné určit maximální rozměry formy, které jsou možné použít na vakuovém lisu. Pro volbu maximálních rozměrů vycházíme z technických parametrů.

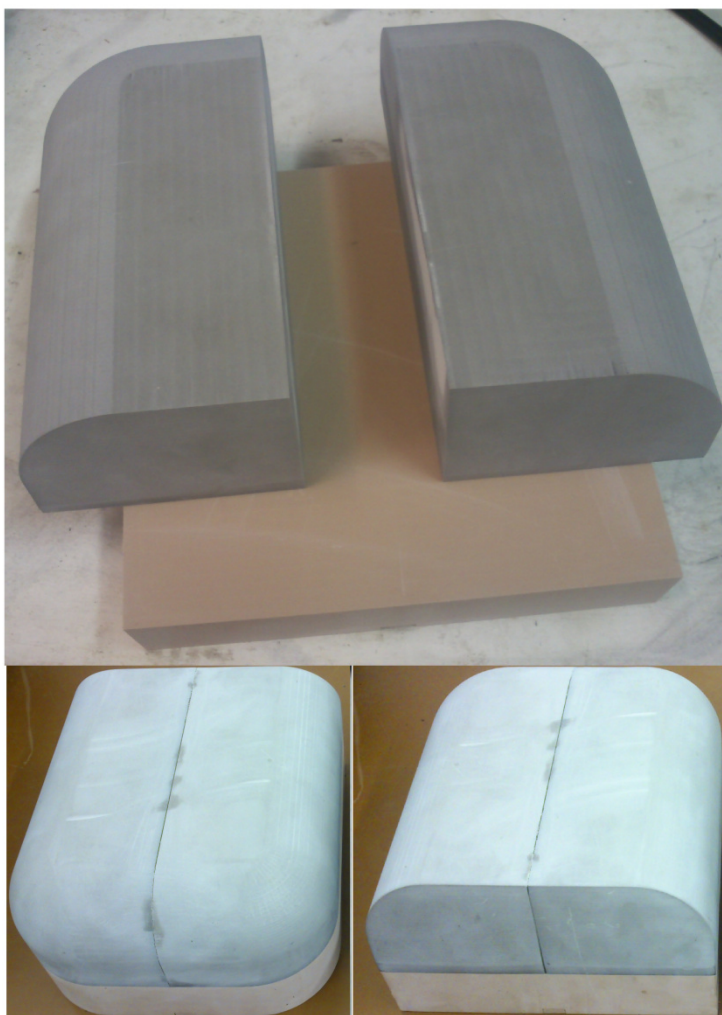
Tab. 17. Technické parametry.

Formech 300x	
Maximální rozměry folie [mm]	450x300
Maximální tloušťka folie [mm]	6
Maximální výška modelu [mm]	180

Technické možnosti vakuového lisu ovlivnili velikost měřítka vyrobené formy. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce se určilo měřítko 1:2. Z dostupných výkresů byl zhotoven 3D model formy, který se použil pro import do CAM programu NX.

Materiál na výrobu formy je Necuron. Tento materiál vyniká snadným a rychlým strojním opracováním a dobrými mechanickými vlastnostmi pro vakuové tváření. Dodává se v blokovém a deskovém provedení v rozměrech 1500x500x50 mm až 1500x500x100 mm. Je možné ho spojovat lepením nebo jiným mechanickým spojením. Teplotní odolnost je až 130°C. Nejčastější oblast použití Necuronu je pro prototypové, modelářské a architektonické modely.

Formu bylo nutné zhotovit z více částí, protože technické možnosti CNC frézky neumožňovali výrobu z jednoho kusu. Jednotlivé díly byly spojeny pomocí lepidla s teplotní odolností do 200 °C.



Obr. 61. Forma složená ze tří částí.

Po slepení jednotlivých částí se ještě brousily jednotlivé části, aby vznikla forma bez spár mezi jednotlivými částmi.

Výroba modelu sedla:

1. Sušení ABS fólie.
2. Vytemperování vakuového lisu.
3. Vložení formy do vakuového lisu.
4. Vakuové tvarování.
5. Odformování.
6. Vyřezání tvaru sedla.
7. Spojení jednotlivých částí sedla.

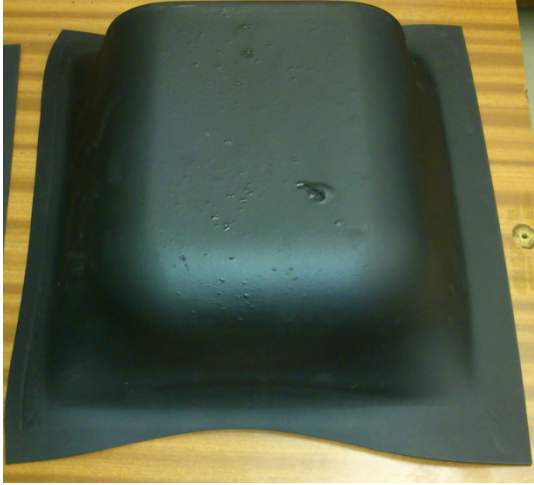


Před samotnou výrobou se vysušili jednotlivé fólie ABS. Vysušení probíhalo v horkovzdušné sušárně, a to 3 hodiny při teplotě 60°C. V případě špatného vysušení vznikají na povrchu vady (bublinky).



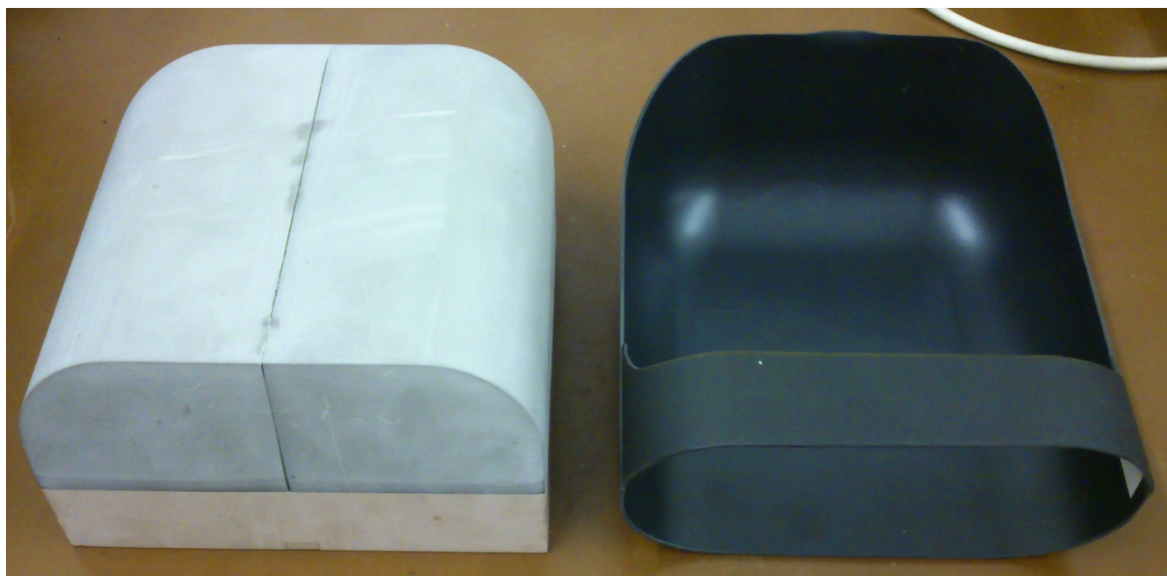
Obr. 62. Povrchové vady špatně vysušeného ABS.

Do vytemperovaného vakuového lisu se vloží forma a vysušené fólie z ABS o rozměrech 3x310x310 mm. Po zahřátí fólie na tvarovací teplotu je vysunuta forma ze spodní části lisu a je zapnuta vývěva pro vytvoření vakua. Z důvodu nedostatku potřebných fólií se na několika vzorcích určila potřebná doba ohřevu fólie.

Tab. 18. Volba optimálních procesních podmínek pro výrobu sedla.

	Doba sušení:	1 hod
	Doba ohřevu folie:	90 s
	<ul style="list-style-type: none"> • Nedostatečné vysušení způsobuje vady na povrchu výrobku. • Krátká doba ohřevu způsobila vysokou viskozitu fólie a to znemožní dostatečné vytvarování. 	
	Doba sušení:	2 hod
	Doba ohřevu folie:	120 s
	<ul style="list-style-type: none"> • Vysušení fólie je stále nedostatečné a na povrchu vznikají vady. • Doba ohřevu je dostatečná pro vytvarování tvaru sedla. 	
	Doba sušení:	3 hod
	Doba ohřevu folie:	120 s
	<ul style="list-style-type: none"> • Vysušení fólie je dostatečné, na povrchu nevznikají vady. • Doba ohřevu sedla je dostatečná pro vytvarování sedla. • Polotovár je vhodný pro výrobu modelu sedla. 	

Po odformování se z polotovaru vyřezal pomocí přímé ruční brusky finální tvar sedla. Pro hromadnou výrobu je ideální tuto operaci provádět na 5-osém obráběcím centru. Obě části sedla jsou spojeny lepením. V reálném modelu by bylo nutné zajistit pružné spojení obou částí pro snadnější nasedání a vasedání ze sedla.



Obr. 63. Forma a výrobek.



Obr. 64. Vizualizace sedla pomocí Catia V5 R18.

15 VÝROBA SEDLOVÉ ČÁSTI SLEDGE BRUSLE

Při výrobě sedlové části sledge brusle byla použita technologie vakuového tvarování a byl vytvořen model v měřítku 1:2. Použití modelu 1:2 je z technických a ekonomických důvodů. Model slouží pro vizuální zobrazení reálného modelu a vyzkoušení simulace technologie výroby.

Úkolem výroby modelu je vyzkoušení technologie výroby, ta spočívá ve vytvoření jednotlivých dílů a jejich lepení. V reálné výrobě by však termoplast byl nahrazen kompozitním materiálem na bázi uhlíkových vláken a na vytvrzování by bylo použito jiného zařízení.

15.1 Technologický postup výroby formy na sedlovou část

Při výrobě modelu sedlové části byl postup obdobný jako při výrobě sedla a lze jej rozdělit do dvou částí. První částí je výroba formy a druhou částí je výroba samotného modelu.

Výroba formy:

1. Výroba 3D modelu pomocí software Catia V5 R18.
 - a. U pozitivní formy je nutné uvažovat tloušťku stěny materiálu.
2. Pomocí CAM programu NX se zhotovil program pro výrobu formy na CNC frézce.
3. Po importování programu na CNC frézku byla vyrobena forma.
4. Dokončovací práce – broušení hran a stop po obráběcích nástroji.

Materiál použitý na výrobu formy je Necuron. Pro výrobu bylo nutné zhotovit tři formy. Pro zjednodušení práce byly dvě formy vytvořeny zároveň při jednom procesu obrábění a posléze byly rozděleny.



Obr. 65. Jednotlivé formy pro vakuové tvarování.

Výroba modelu sedlové části:

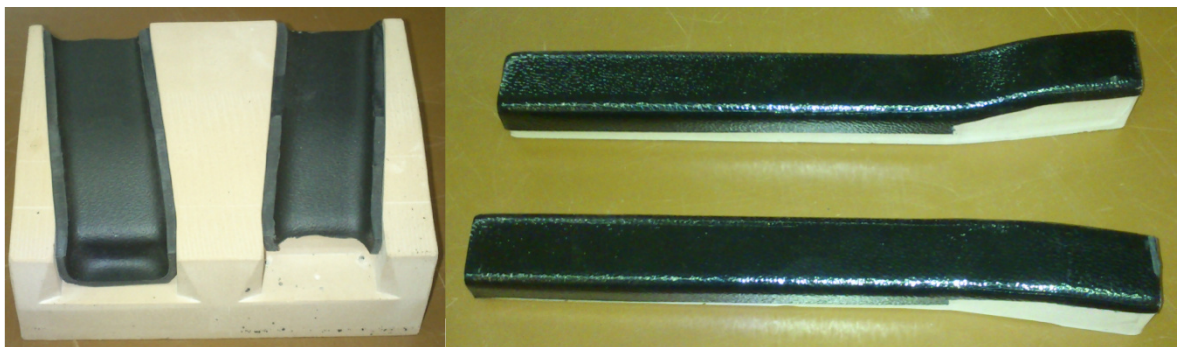
1. Sušení ABS fólie.
2. Vytemperování vakuového lisu.
3. Vložení formy do vakuového lisu.
4. Vakuové tvarování.
5. Odformování.
6. Vyřezání tvaru sedla.
7. Spojení jednotlivých částí sedla.

Před samotným procesem bylo nutné materiál vysušit. Sušení probíhalo v horkovzdušné troubě 3 hodiny, při teplotě 65 °C.

Do vytemperovaného vakuového lisu se vloží forma a vysušené fólie z ABS. Doba ohřevu fólie je 150 s. Po zahřátí fólie na tvarovací teplotu je vysunuta forma ze spodní části lisu a je zapnuta vývěva, pro vytvoření vakua.



Obr. 66. Vytvarovaná fólie.

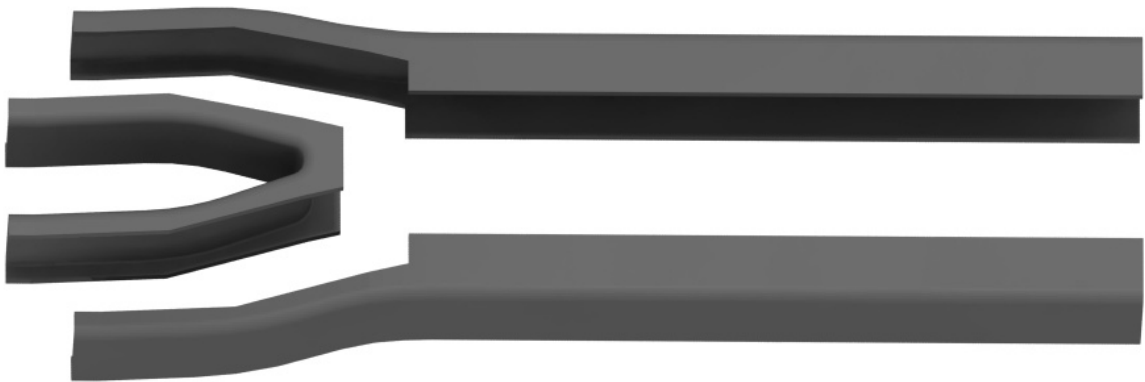


Obr. 67. Ořezané díly vložené ve formě.

Po odformování polotovaru se vyřezala požadovaná geometrie dílu. Před lepením se musí jednotlivé plochy očistit a musí přiléhat celou plochou k lepené ploše. Po nanesení lepidla (acetón) se spojí jednotlivé díly a zafixují.



Obr. 68. Výrobek složený ze tří částí.



Obr. 69. Vizualizace sedlové části před lepením.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh vybraných částí (sledge a in-line brusle) polymerního výrobku Trilobit. Konstrukční návrh počítá s využitím kompozitů, které mají odlišný způsob zpracování oproti jiným konstrukčním materiálům.

Teoretická část je rozdělena do tří částí. V první části jsou popsány jednotlivé varianty multifunkčního vozíku Trilobit a běžně prodávaných sportovních pomůcek pro tělesně postižené jedince. V druhé části jsou popsány kompozitní materiály a jednotlivé typy matic a výztuží, které mohou být aplikovány na výrobu nosných částí. Poslední část se zabývá technologií výroby kompozitu a tvarování termoplastů.

V praktické části se pomocí programu Catia V5 R18 vytvořili podle designové studie tři konstrukční návrhy. U jednotlivých návrhů jsou vypsány hlavní přednosti a nedostatky.

Konstrukční návrh 1 je vytvořen s největším podílem kompozitních materiálů v konstrukci. Výhodou tohoto návrhu je nízká hmotnost. Nevýhodou je finančně i technologicky náročná výroba.

Konstrukční návrh 2 je kombinací kompozitního materiálu a slitiny hliníku. Použití slitiny hliníku zvýšilo hmotnost konstrukce, ale usnadnilo technologii výroby. Tento konstrukční návrh je výrobně nejméně náročný, ale jeho nevýhodou je odklon od požadovaného designu.

Konstrukční návrh 3 je též kombinací kompozitního materiálu a slitiny hliníku. Tento návrh kombinuje relativně snadnou technologii výroby kompozitních dílů s požadovaným designem. Z uvedených konstrukčních návrhů je nejvíce vhodný pro výrobu. Jednotlivé upínací části jsou v práci detailně popsány a jsou zde provedeny základní pevnostní výpočty. Na konstrukční návrh 3 byla vypracována FEM analýza mechanických vlastností, která potvrdila správnost navržené konstrukce.

Pro sedlovou část vyrobenou z kompozitních materiálů jsou navrženy tři základní způsoby technologie výroby. První technologie je ruční kladení a lepení. Je technologicky nejméně náročná. Limitujícím prvkem je pevnost lepených spojů.

Druhá technologie je ruční kladení s využitím přetlaku je podobná první technologii, ale po odformování vznikne celý kompozitní výrobek a odpadá zde lepení. Zhotovený výrobek má i lepší vlastnosti než lepený.

Třetí technologie je PDM pultruze. Technologie se hodí pro produkci větší série výrobků, protože vyžaduje drahé strojní zařízení.

Součástí diplomové práce je i výroba modelu sedla a sedlové části v měřítku 1:2. Na oba modely byla použita technologie vakuového tváření.

Diplomová práce ukazuje, že slitiny hliníku mohou být nahrazeny kompozitním materiálem i v navržených sportovních pomůckách. Zlepší se tak uživatelské vlastnosti brusle, které poskytnou větší komfort pro jedince využívající multifunkční vozík Trilobit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DAŘOUREK, Karel. *Kompozitní materiály-druhy a jejich užití*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] JANČÁŘ, J. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s. ISBN 8021424435.
- [4] *Handcycling jízda na třech kolech*. MTBS.cz [online]. [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: <http://mtbs.cz/clanek/handcycling-jizda-na-trech-kolech/kategorie/ostatni>
- [5] *Historie*. cstps.cz [online]. [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: <http://www.cstps.cz/lyzovani/historie>
- [6] *Invalidní vozík ze Zlína umožní běžné přemísťování, lyžování, bruslení i hokej*. Novinky.cz: [online]. 2010 [cit. 2011-01-25]. Dostupné z WWW: <http://www.novinky.cz/veda-skoly/198206-invalidni-vozik-ze-zlina-umoznibezne-premistovani-lyzovani-brusleni-i-hokej.html>
- [7] *Trilobit*. trilobitmotion.com: [online]. 2010 [cit. 2011-01-25]. Dostupné z WWW: <http://trilobitmotion.com/>
- [8] *O sledge hokeji*. CSLH.cz [online]. [cit. 2012-11-12] Dostupné z WWW: <http://www.cslh.cz/text/62-o-sledge-hokeji.html>
- [9] *Kompozitní materiály*. Stefanmichna.com [online]. [cit. 2011-01-11]. Dostupné z WWW: http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy_II/kompozitni_materialy.pdf
- [10] *Prepreg*. Wikipedia.org [online]. 2013 [cit. 2012.-1-19] Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Prepreg>
- [11] *Lokomoce člověka*. Wikipedia.org [online]. 2012 [cit.2013-1-12] Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomoce_%C4%8Dlov%C4%9Bka
- [12] *Technologie výroby kompozitu*. [online]. [cit. 2013-16-1]. Dostupné z WWW: <http://www.volny.cz/zkorinek/technologie.pdf>

- [13] *Výroba rotorového listu větrné elektrárny*. Csve.cz [online]. [cit. 2013-17-1]. Dostupné z WWW: <http://www.csve.cz/clanky/Vyroba-rotoroveho-listu-vetrne-elektrarny/315>
- [14] *Technologie II - tvarování plastů* [online]. [cit.2013-5-2]. Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/08.htm
- [15] MÁČALA, K. *Konstrukční návrh sledge brusle*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Zdeněk Dvořák.
- [16] SEDLÁŘ, R. *Vývoj a výroba tvarové formy pro vakuové tváření*. Zlín, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Imrich Lukovics.
- [17] CHLUP, P. *Konstrukce zařízení pro vakuové lisování plastů*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Daniel Koutný.
- [18] *Netradiční handbike* [online]. [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: <http://www.cykloplanet.cz/blog/netradicni-handbike/>
- [19] *Handbike Challenger* [online]. [cit. 2012-10-12]. Dostupné z WWW: <http://www.sivak.cz/handbike-challenger-298/>
- [20] *Leisure Uniski/Dualski* [online]. [cit. 2012-11-12]. Dostupné z WWW: <http://www.dualski.com/en/uniskidualski-loisir/>
- [21] *Cincinnati Icebreakers: Sled hockey* [online]. [cit. 2012-11-12]. Dostupné z WWW: http://cincinnati-sledhockey.org/?page_id=10
- [22] *Fibrolux: pultruze – postup* [online]. [cit. 2013-18-1]. Dostupné z WWW: <http://fibrolux.com/cs/main/knowledge/pultruze/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

n	Počet kolíků	[-]
d	Průměr kolíku	[mm]
D_R	Průměr roztečné kružnice	[mm]
h	Tloušťka ocelového plechu	[mm]
F_{1max}	Síla působící na plochu sedla	[N]
F_{2max}	Síla působící na přední část	[N]
l	Rameno působící síly	[mm]
M_k	Kroutící moment	[N.m]
F_t	Tangenciální síla působící na jeden kolík	[N]
S_{ot}	Plocha kontrolovaná na otláčení	[mm ²]
p	Tlak	[MPa]
p_D	Dovolený tlak	[MPa]
S_τ	Plocha průřezu kontrolovaná na střih	[mm ²]
τ	Smykové napětí	[MPa]
τ_{Ds}	Dovolené smykové napětí	[MPa]
S_σ	Plocha průřezu kontrolovaná na tah	[mm ²]
σ_{Dt}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ	Napětí v tahu	[MPa]
F_{exc}	Maximální upínací síla pákového excentru	[N]
F_{1b}	Běžné zatížení v sedlové části	[N]
F_{2b}	Běžné zatížení v místě opory nohou	[N]
δ	Posunutí	[mm]
ρ	Hustota	[g.cm ⁻³]
E	Modul pružnosti v tahu	[kN.mm ⁻²]
λ	Koeficient tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Ukázka variability vozíku Trilobit v pěti různých variantách. [7]</i>	13
<i>Obr. 2. Aktivní invalidní vozík - Voyager.[15]</i>	15
<i>Obr. 3. Skládací aktivní vozík pro tělesně postižené - Avangarde T. [15]</i>	15
<i>Obr. 4. Aktivní vozík Trilobit.[7]</i>	16
<i>Obr. 5. Silniční sportovní handbike. [4]</i>	17
<i>Obr. 6. Horský handbike.[18]</i>	18
<i>Obr. 7. Adaptér v podobě handbiku.[19]</i>	18
<i>Obr. 8. Návrh handbiku Trilobit.[7]</i>	19
<i>Obr. 9. Monoski.[20]</i>	20
<i>Obr. 10. Monoski Trilobit.[7]</i>	20
<i>Obr. 11. In-line brusle Trilobit.[7]</i>	21
<i>Obr. 12. Sledge brusle.[21]</i>	22
<i>Obr. 13. Sledge brusle – trilobit.[7]</i>	22
<i>Obr. 14. Synergické chování kompozitu. [9]</i>	24
<i>Obr. 15. Druhy vazeb.</i>	28
<i>Obr. 16. Výroba skleněných vláken.</i>	29
<i>Obr. 17. Schéma ručního kladení. [13]</i>	45
<i>Obr. 18. Schéma lisování pomocí vakuového vaku. [13]</i>	46
<i>Obr. 19. Schéma technologie navíjení. [12]</i>	47
<i>Obr. 20. Schéma pultruzní linky.[22]</i>	50
<i>Obr. 21. Princip mechanického tvarování.</i>	56
<i>Obr. 22. Princip přetlakového tvarování.[14]</i>	56
<i>Obr. 23. Princip pozitivního podtlakového tvarování. 1 – stůl stroje, 2 – tvárník, 3 - rám stroje, 4 – deska [14]</i>	57
<i>Obr. 24. Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním.</i>	58
<i>Obr. 25. Princip pozitivního podtlakového tvarování s pneumatickým předtvarováním. [14]</i>	58
<i>Obr. 26. Designový návrh sledge brusle</i>	64
<i>Obr. 27. Konstrukce z kovových profilů.[15]</i>	65
<i>Obr. 28. Konstrukční návrh 1 – sedlová část je vyrobena kompletně z kompozitních materiálů.</i>	66

<i>Obr. 29. Konstrukční návrh 2 – kombinace kovu a kompozitu.</i>	67
<i>Obr. 30. Konstrukční návrh 3 – kombinace kompozitu s kovem.</i>	68
<i>Obr. 31. Přední část brusle – ukázka nastavení délky.</i>	70
<i>Obr. 32. Detail svěrného spoje.</i>	70
<i>Obr. 33. Sedlová část brusle – upínače sedla s excentrickou pákou.</i>	70
<i>Obr. 34. Detail upínače sedla.</i>	71
<i>Obr. 35. Spodní část brusle – rozložený dekorativní kryt.</i>	71
<i>Obr. 36. Detail uchycení bruslařských nožů.</i>	72
<i>Obr. 37. Umístění kolíkového kloubu s aretací.</i>	72
<i>Obr. 38. Detail jednotlivých částí kolíkového kloubu s aretací.</i>	73
<i>Obr. 39. Řez zadního uložení.</i>	75
<i>Obr. 40. Popis jednotlivých dílů.</i>	76
<i>Obr. 41. Umístění pružného členu.</i>	77
<i>Obr. 42. Pružný člen – jednotlivé části.</i>	77
<i>Obr. 43. Detail lepení a vkládání kovového dílu do kompozitní konstrukce.</i>	78
<i>Obr. 44. Vizualizace sedla s upínacím popruhem.</i>	79
<i>Obr. 45. Vizualizace sledge brusle se sedlem.</i>	79
<i>Obr. 46. Ukázka zatížení a schematické zobrazení zatížení.</i>	80
<i>Obr. 47. Posunutí při maximálním zatížení.</i>	81
<i>Obr. 48. Von Missesovo napětí při maximálním zatížení.</i>	81
<i>Obr. 49. Posunutí při zatížení jedné strany konstrukce.</i>	82
<i>Obr. 50. Posunutí při běžném zatížení.</i>	83
<i>Obr. 51. Von Missesovo napětí při běžném zatížení.</i>	83
<i>Obr. 52. Designová studie in-line brusle.</i>	84
<i>Obr. 53. Schéma tzv. trucku ze skateboardu.</i>	85
<i>Obr. 54. Vizualizace dvoustopé in-line brusle.</i>	85
<i>Obr. 55. Uchycení slidu.</i>	86
<i>Obr. 56. Vizualizace in-line brusle.</i>	86
<i>Obr. 57. Odformované díly před slepením.</i>	88
<i>Obr. 58. Řez formou při výrobě.</i>	89
<i>Obr. 59. Jednotlivé díly formy s prosycenou tkaninou.</i>	89
<i>Obr. 60. Dva díly před slepením.</i>	90
<i>Obr. 61. Forma složená ze tří částí.</i>	92

<i>Obr. 62. Povrchové vady špatně vysušeného ABS.</i>	93
<i>Obr. 63. Forma a výrobek.</i>	95
<i>Obr. 64. Vizualizace sedla pomocí Catia V5 R18.</i>	95
<i>Obr. 65. Jednotlivé formy pro vakuové tvarování.</i>	96
<i>Obr. 66. Vytvarovaná fólie.</i>	97
<i>Obr. 67. Ořezané díly vložené ve formě.</i>	97
<i>Obr. 68. Výrobek složený ze tří částí.</i>	98
<i>Obr. 69. Vizualizace sedlové části před lepením.</i>	98

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vlastnosti skleněných vláken. [2, s. 38].....</i>	30
<i>Tab. 2. Příklady použití. [3, s. 28].....</i>	30
<i>Tab. 3. Mechanické vlastnosti aramidových vláken. [2, s. 52].....</i>	31
<i>Tab. 4. Vlastnosti jednosměrně vyztuženého epoxidového laminátu vyztuženého vysokomodulovým aramidovým vláknem (obsah vyztuže 65 až 70% objemu) [2, s. 53]</i>	31
<i>Tab. 5. Rozdělení uhlíkových vláken podle struktury. [2, s. 60].....</i>	33
<i>Tab. 6. Přehled vlastností vláken. [2, s. 69]</i>	34
<i>Tab. 7. Všeobecné srovnání vlastností kompozitů.(+ dobré vlastnosti, - nevhodné vlastnosti) [2, s. 59].....</i>	34
<i>Tab. 8. Vlastnosti nejčastěji používaných matric. [3, s. 16].....</i>	36
<i>Tab. 9. Vlastnosti kompozitu vyrobených technikou ručního kladení. [3, s. 138].....</i>	45
<i>Tab. 10. Vlastnosti kompozitu vyrobených technikou vakuového vaku. [3, s. 139]</i>	46
<i>Tab. 11. Vlastnosti kompozitu vyrobených technikou navíjení. [3, s. 143]</i>	47
<i>Tab. 12. Vlastnosti pultrudovaného kompozitního materiálu. [3, s. 149]</i>	50
<i>Tab. 13. Tabulka teplot pro amorfní polymery. [16, s.18]</i>	60
<i>Tab. 14. Tabulka teplot pro krystalické polymery. [16, s.18].....</i>	60
<i>Tab. 15. Porovnání hmotnosti jednotlivých konstrukčních řešení.....</i>	69
<i>Tab. 16. Materiálové vlastnosti potřebné pro mechanickou analýzu.</i>	80
<i>Tab. 17. Technické parametry.</i>	91
<i>Tab. 18. Volba optimálních procesních podmínek pro výrobu sedla.</i>	94

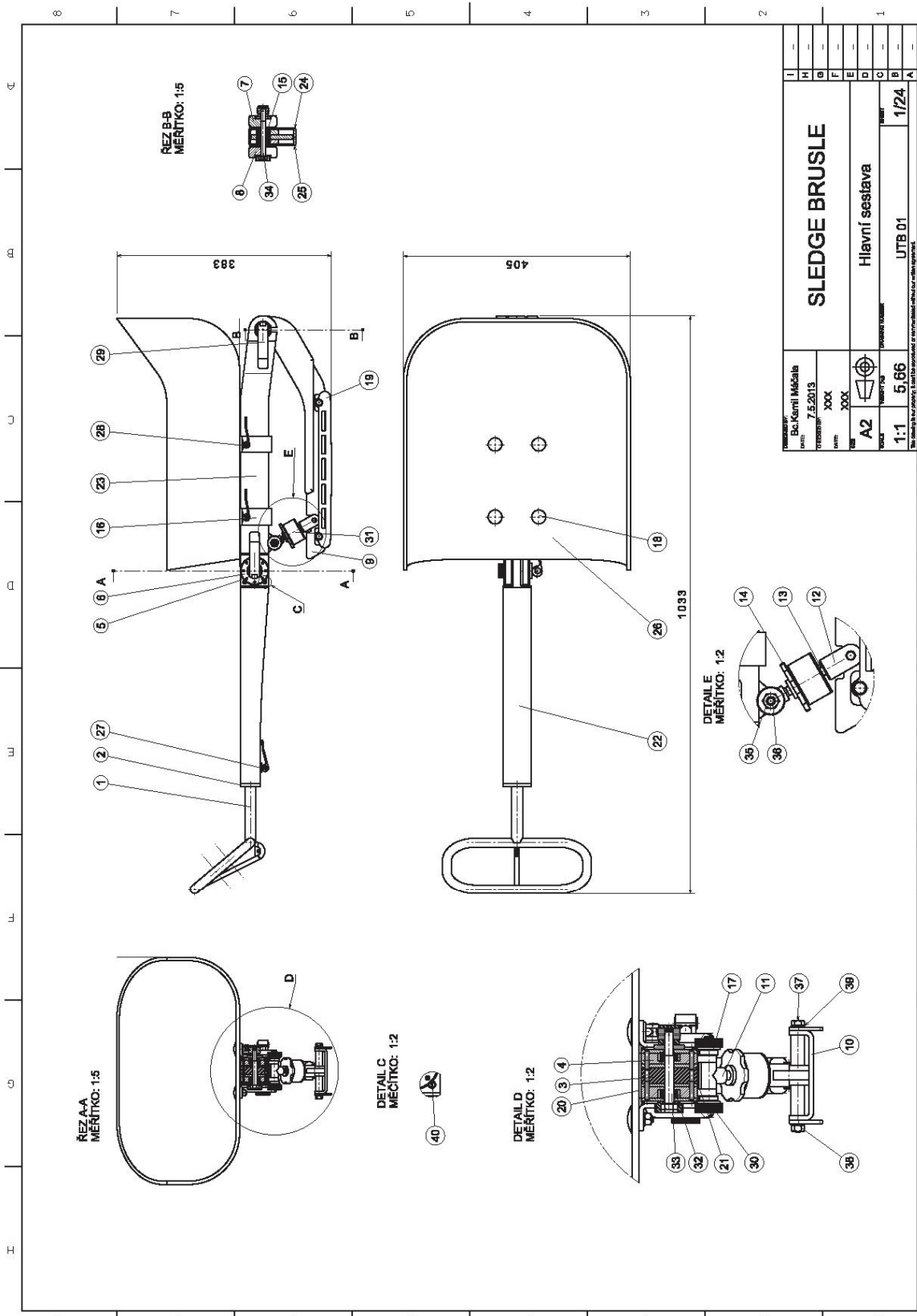
SEZNAM PŘÍLOH

PI – Výkresová dokumentace

PII – DVD ROM disc

PŘÍLOHA PI: VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

45.					
44.					
43.					
42.					
41.					
40.	Šroub se zápuštnou hlavou M3		ČSN 02 1151		4 ks
39.	Podložka 6,4		ČSN 02 1703		6 ks
38.	Matice M6		ČSN 02 1403		4 ks
37.	Šroub M6x95		ČSN 02 1101		2 ks
36.	Matice M8		ČSN 02 1403		1 ks
35.	Šroub šestihřanný M8x60		ČSN 02 1101		1 ks
34.	Šroub šestihřanný M8x85		ČSN 02 1101		1 ks
33.	Šroub šestihřanný M8x65		ČSN 02 1101		1 ks
32.	Pružina tlačná 2x18x14x6		DIN 17 224		2 ks
31.	Pružný člen				1 ks
30.	Matice rýhovaná M8				4 ks
29.	Pákový excentr M8				2 ks
28.	Pákový excentr M6				2 ks
27.	Pákový excentr M5				1 ks
26.	Sedlo		ABS		1 ks
25.	Kryt - pravý		Uhlíkový komp.		1 ks
24.	Kryt - levý		Uhlíkový komp.		1 ks
23.	Sedlová část		Uhlíkový komp.	UTB 01-23	1 ks
22.	Přední část		Uhlíkový komp.	UTB 01-22	1 ks
21.	Elastomerní prvek - malý		Pryž - NBR 65 Z	UTB 01-21	2 ks
20.	Elastomerní prvek - velký		Pryž - NBR 65 Z	UTB 01-20	1 ks
19.	Nůž	P3 - 30x280	ČSN 17 240	UTB 01-19	2 ks
18.	Šroub sedlový	KR 25-23	EN AW-6082 T6	UTB 01-18	4 ks
17.	Podložka	KR 16-5	EN AW-6082 T6	UTB 01-17	2 ks
16.	Uchycení sedla	P4 - 30x196	EN AW-6082 T6	UTB 01-16	2 ks
15.	Kluzné pouzdro	TR KR 15x3,5-35	Mosaz	UTB 01-15	1 ks
14.	Kontra matice	KR 48-8	EN AW-6082 T6	UTB 01-14	1 ks
13.	Závitová tyč	KR 8-28	ČSN 17 240	UTB 01-13	1 ks
12.	Levochodá matice		ČSN 17 240	UTB 01-12	1 ks
11.	Pravochoďá matice		ČSN 17 240	UTB 01-11	1 ks
10.	Upínací konzole		EN AW-6082 T6	UTB 01-10	2 ks
9.	Spodní část		EN AW-6082 T6	UTB 01-09	1 ks
8.	Vidlice - pravá	PLO 50x20-85	EN AW-6082 T6	UTB 01-08	1 ks
7.	Vidlice - levá	PLO 50x20-85	EN AW-6082 T6	UTB 01-07	1 ks
6.	Přítlačná deska		ČSN 16 220	UTB 01-06	2 ks
5.	Aretační deska	P3 - 50x52	ČSN 16 220	UTB 01-05	2 ks
4.	Kloub - vnější	4HR50-96	EN AW-6082 T6	UTB 01-04	1 ks
3.	Kloub - vnitřní	4HR50-105	EN AW-6082 T6	UTB 01-03	1 ks
2.	Svěrný spoj		EN AW-6082 T6	UTB 01-02	1 ks
1.	Opора nohou		EN AW-6082 T6	UTB 01-01	1 ks
Pozice	Název	Polotovár	Materiál/ norma	Číslo výkresu	Množství
Vypracoval: Bc.Kamil Máčala			Datum:	7.4.2013	
Sledge brusle (č. sestavy UTB 01)					



REZ A-A
MĚŘITKO: 1:5

REZ B-B
MĚŘITKO: 1:5

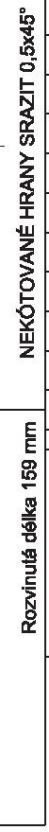
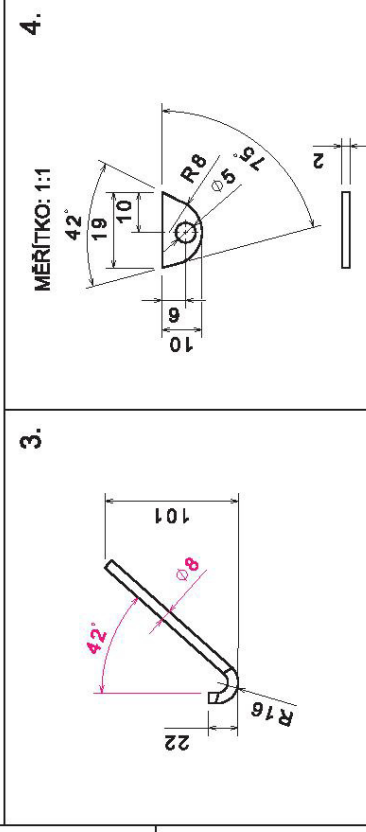
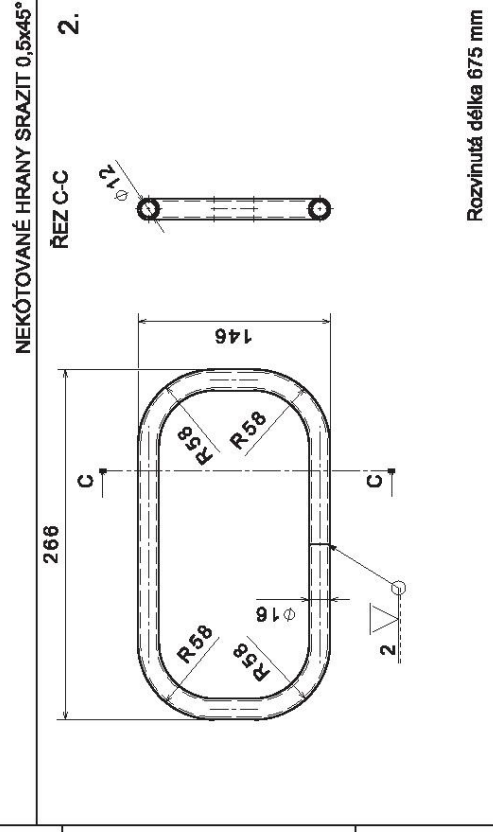
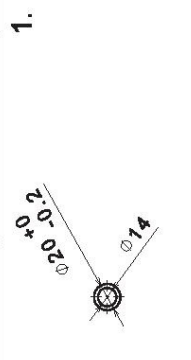
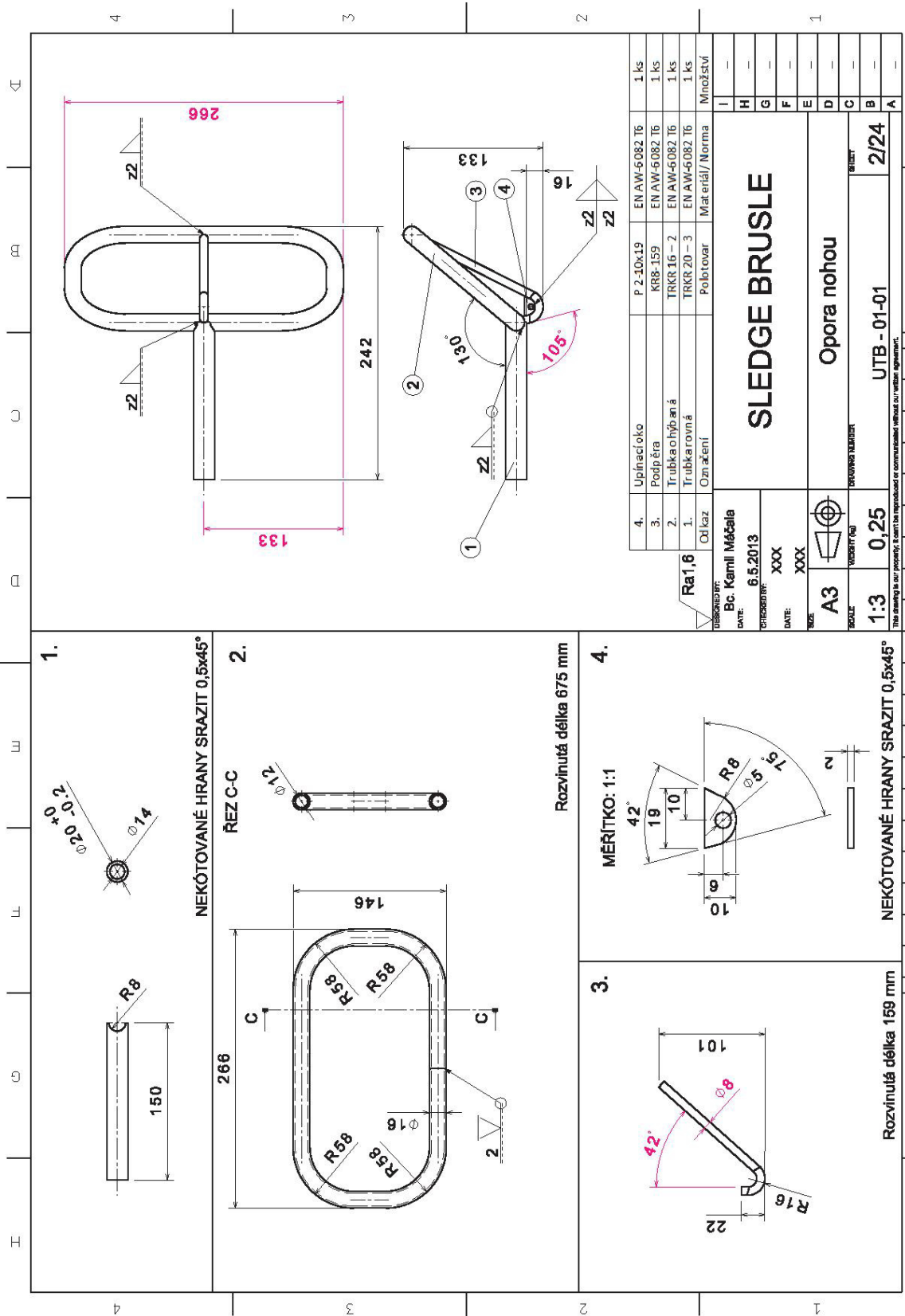
DETAIL C
MĚŘITKO: 1:2

DETAIL D
MĚŘITKO: 1:2

DETAIL E
MĚŘITKO: 1:2

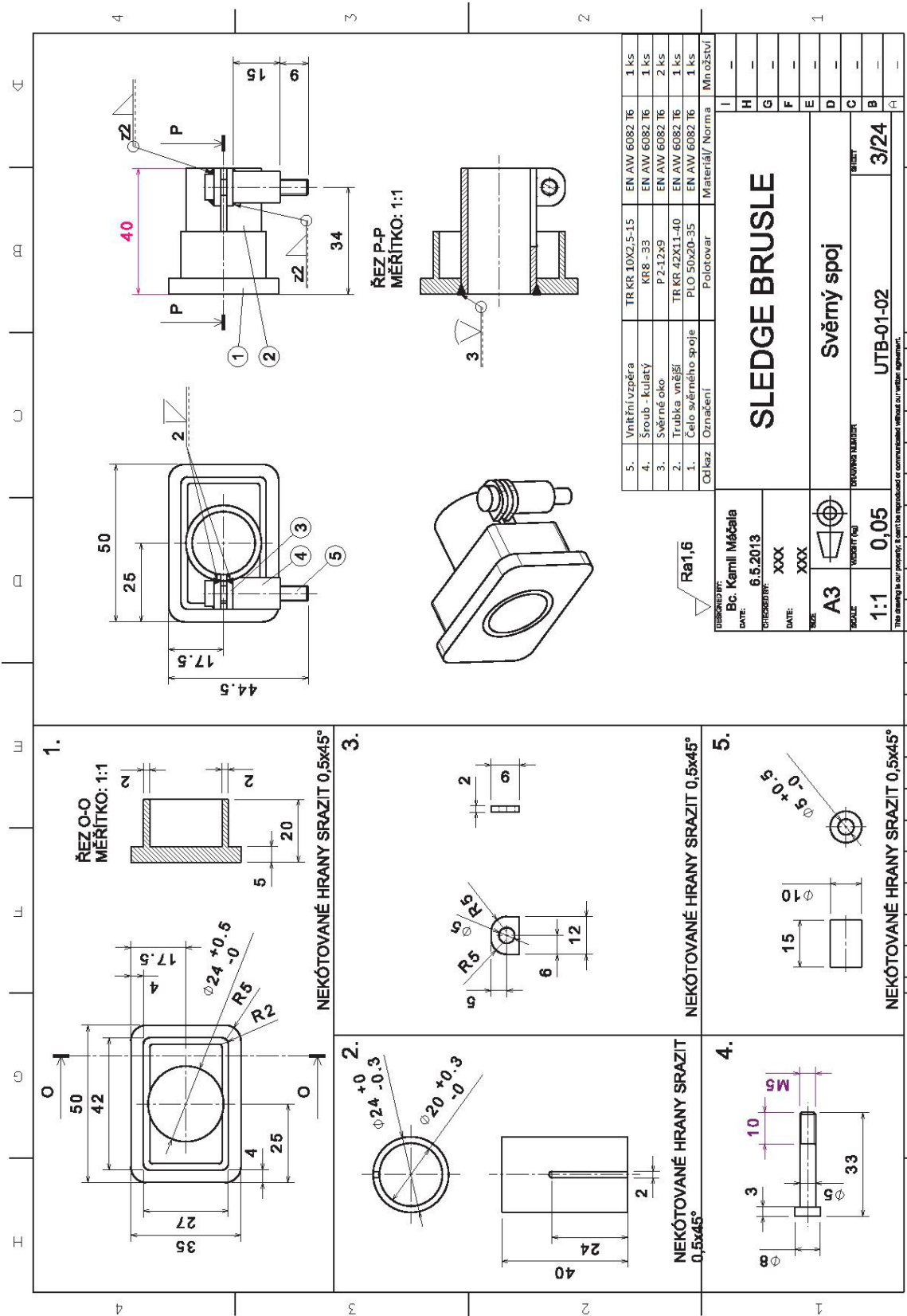
Vypracoval: Bc. Kamil Měchala Datum: 7.5.2013 Technická zpráva: XXX Stav: XXX Měřítko: A2 Měřítko: 1:1 Číslo: 5.66 Úroveň: 1/24		SLEDGE BRUSLE Hlavní sestava UTB 01
--	--	---

8 7 6 5 4 3 2 1 A B C H



4.	Upínací oko	P 2-10x19	EN AW-6082 T6	1 ks
3.	Podpěra	KR8-159	EN AW-6082 T6	1 ks
2.	Trubka ohybová	TRKR 16-2	EN AW-6082 T6	1 ks
1.	Trubka rovná	TRKR 20-3	EN AW-6082 T6	1 ks
	Oznáčení	Polotovary	Material/ Norma	Množství
SLEDGE BRUSLE				
Opora nohou				
UTB - 01-01				
2/24				

DISKUSIONÍ: Bc. Kamil Měčala
 DATE: 6.5.2013
 UPRÁVĚNÍ: XXXX
 DATE: XXXX
 VEŠTĚNÍ: A3
 VEŠTĚNÍ (kg): 0,25
 MĚŘÍTKO: 1:3
 THIS DRAWING IS OUR PROPERTY & CANNOT BE REPRODUCED OR COMMERCIALIZED WITHOUT OUR WRITTEN AGREEMENT.



ŘEZ P-P
MĚŘÍTKO: 1:1

5.	Vnitřní vzhpěra	TR KR 10X2,5-15	EN AW 6082 T6	1 ks
4.	Šroub - kulatý	K88 - 33	EN AW 6082 T6	1 ks
3.	Svěrné oko	P 2-12x9	EN AW 6082 T6	2 ks
2.	Trubka vnější	TR KR 42X11-40	EN AW 6082 T6	1 ks
1.	Celo svěrného spoje	PLC 50x20-35	EN AW 6082 T6	1 ks
	Odkaz	Označení	Materiál/ Norma	Množství

Ra1,6

DESIGNER/ BY:	Bc. Kamil Měčala
DATE:	6.5.2013
OPERATOR/ BY:	XXX
DATE:	XXX
SIZE:	XXX
SCALE:	A3
BRUSH:	VEŠTĚNÝ (g)
SCALE:	1:1
SCALE:	0,05
SCALE:	3/24

SLEDGE BRUSLE

Svěrný spoj

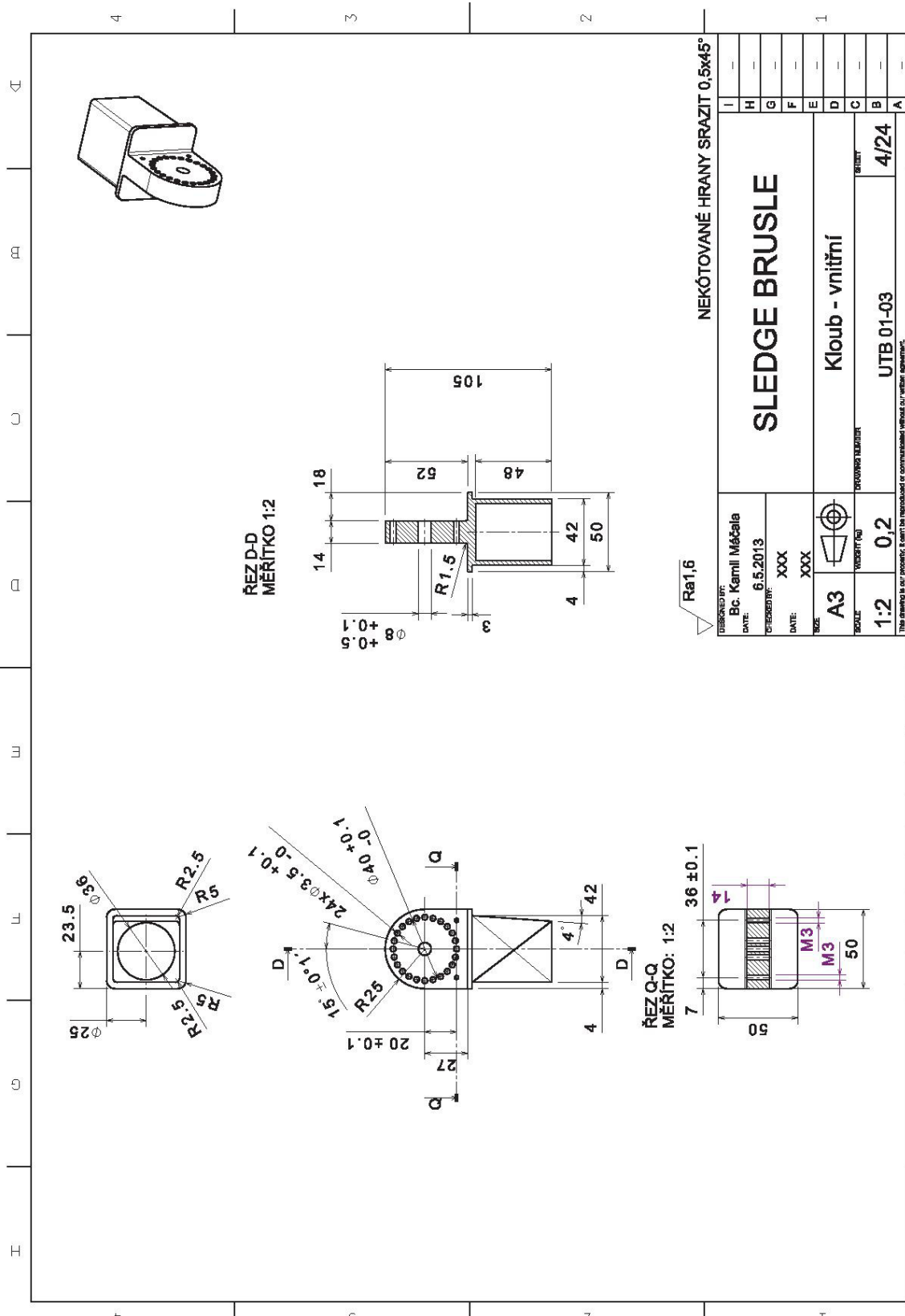
UTB-01-02

A

B

G

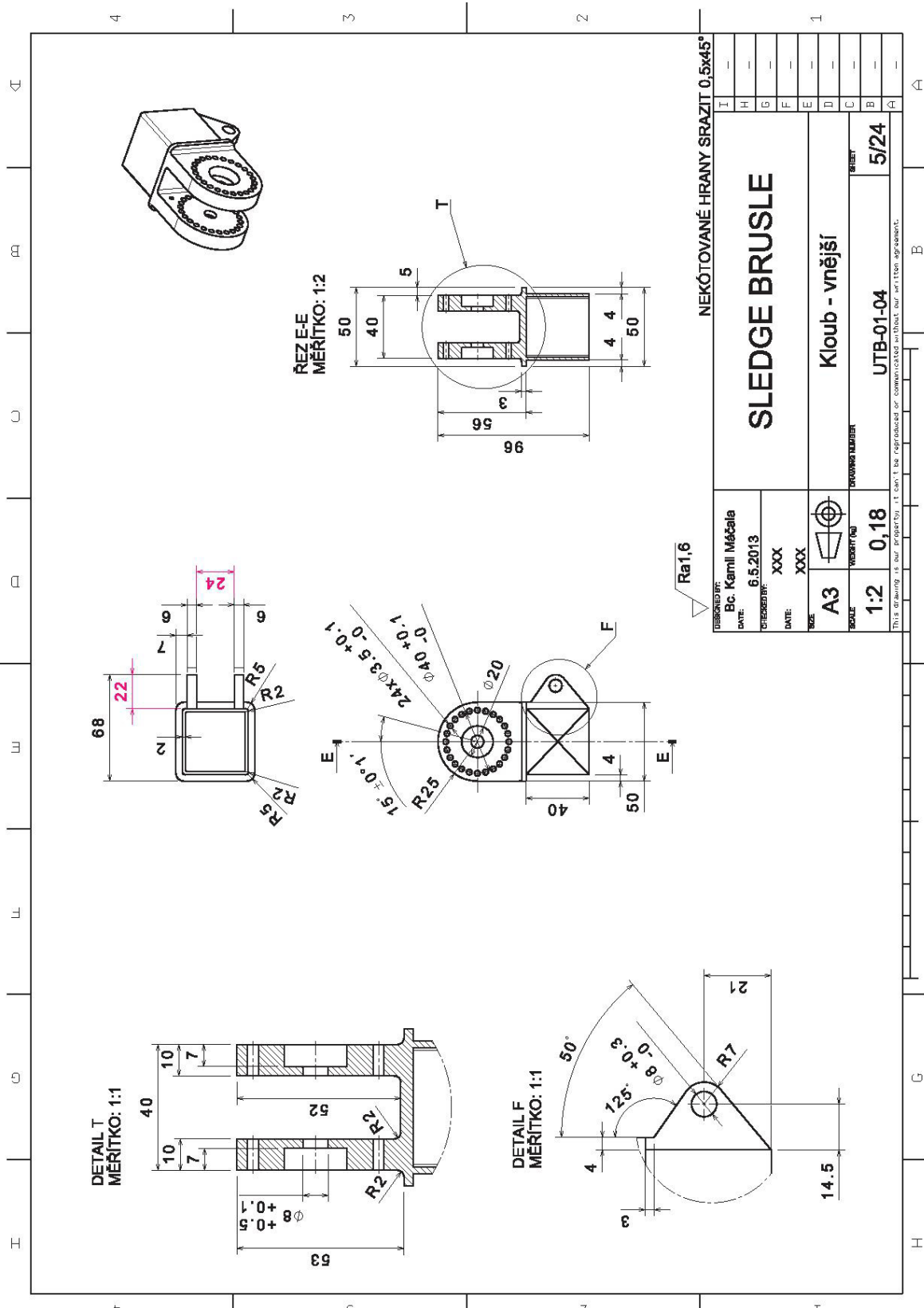
H



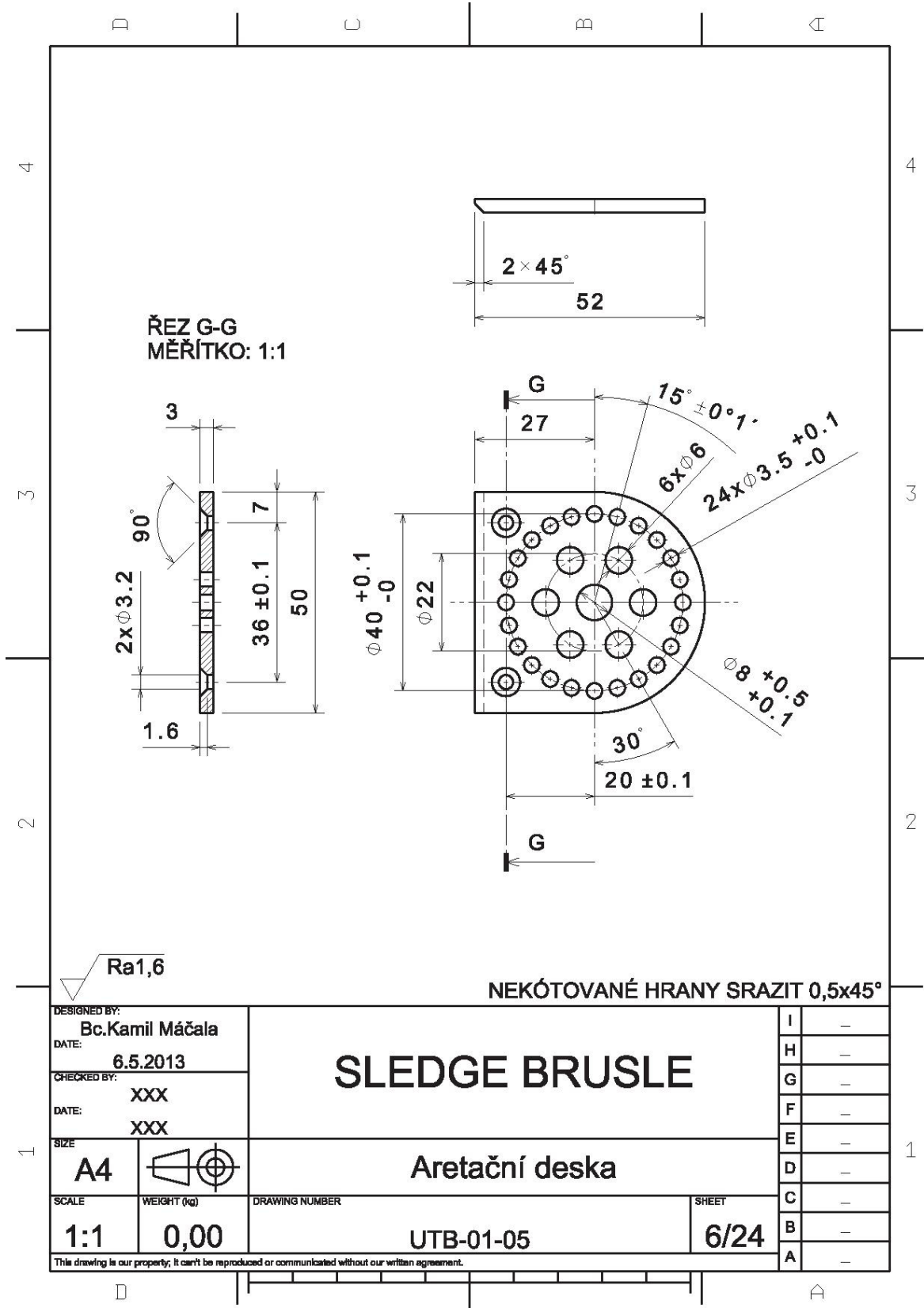
REZ D-D
MĚŘITKO 1:2

REZ Q-Q
MĚŘITKO: 1:2

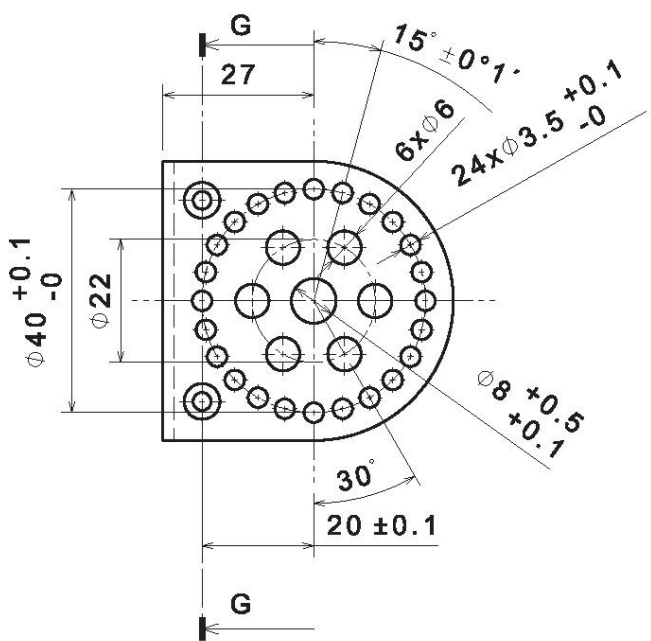
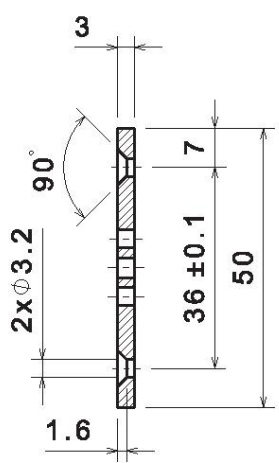
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°		I	—
		H	—
		G	—
		F	—
		E	—
		D	—
		C	—
		B	—
		A	—
Ra1,6			
DESIGNED BY:	Bc. Kamil Měčala		
DATE:	6.5.2013		
DESIGNED BY:	XXX		
DATE:	XXX		
SIZE:	XXX		
SYMBOL:			
SYMBOL:	A3		
SYMBOL:	VERZITÍ (%)		
SCALE:	1:2	PROJEKČNÍ TECHNIK:	UTB 01-03
DATE:	0,2	DATE:	4/24
This drawing is our property. It can be reproduced or communicated without our written agreement.			



DISIGNED BY: Bc. Kamil Měčala		DATE: 6.5.2013		CHECKED BY: XXXX		DATE: XXXX		SIZE: A3		SCALE: 1:2		SURFACE FINISH: 0,18		DRAWING NUMBER: UTB-01-04		VERSION: 5/24	
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°																	
SLEDGE BRUSLE																	
Kloub - vnější																	
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.																	



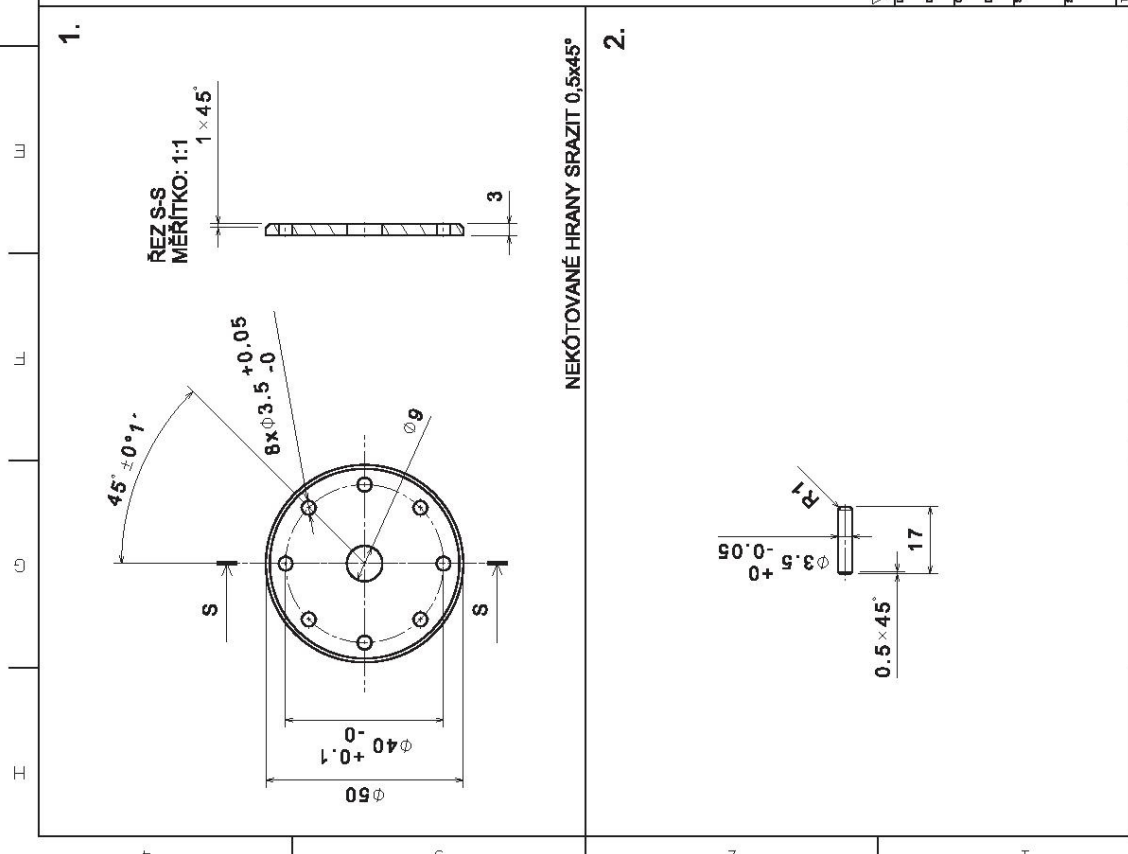
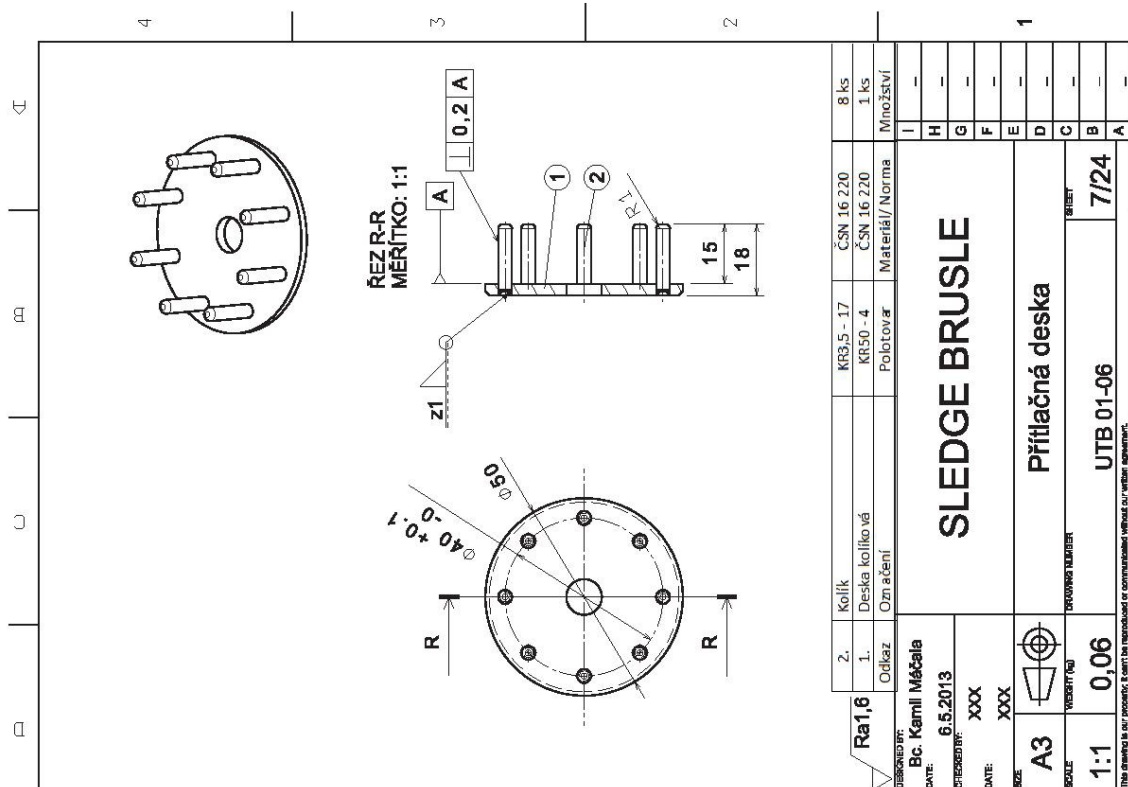
ŘEZ G-G
MĚŘÍTKO: 1:1



Ra1,6

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

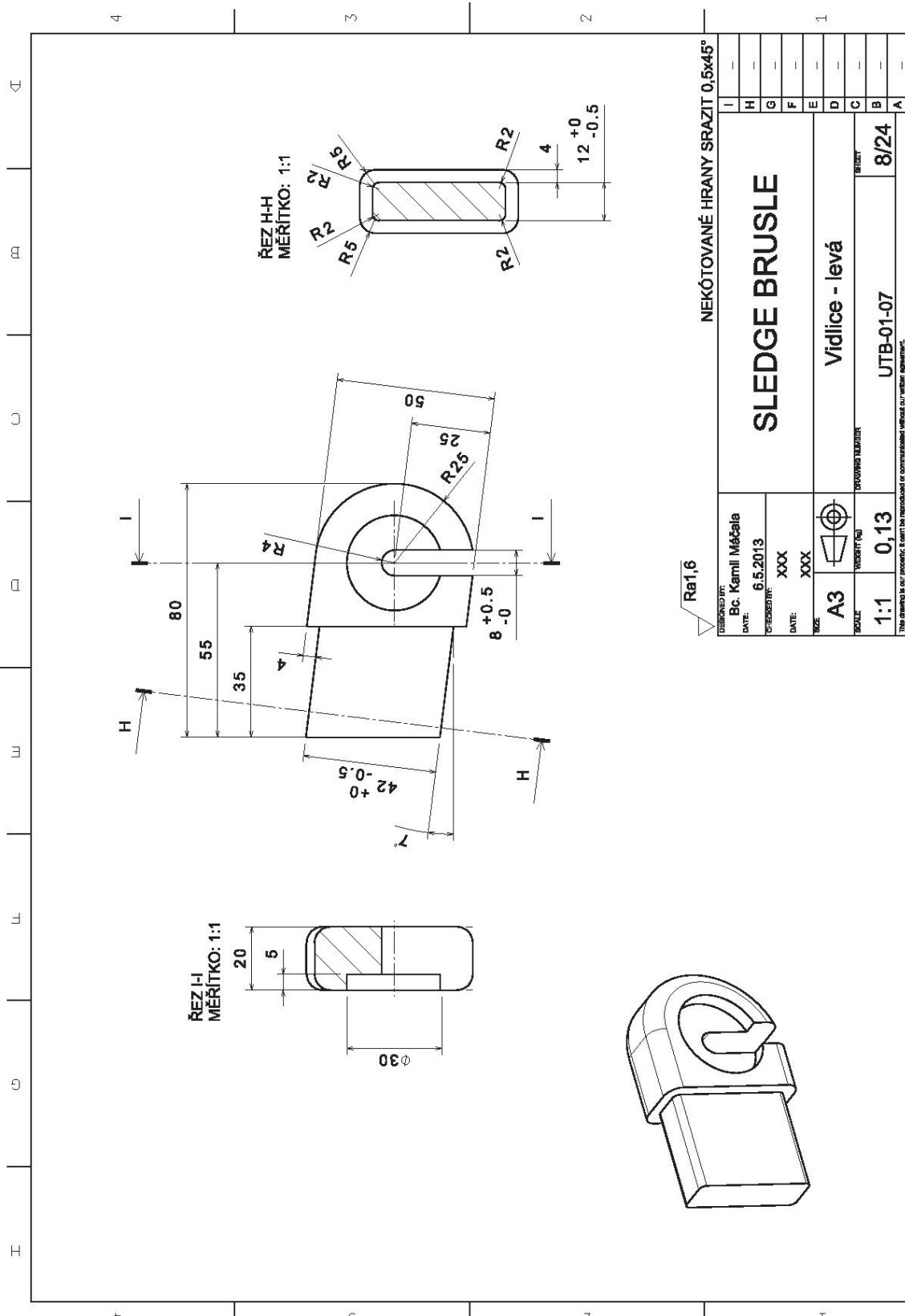
DESIGNED BY: Bc.Kamil Máčala	<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 6.5.2013			H	-
CHECKED BY: XXX			G	-
DATE: XXX			F	-
SIZE A4	<h2>Aretační deska</h2>		E	-
SCALE			C	-
WEIGHT (kg) 0,00	DRAWING NUMBER UTB-01-05	SHEET 6/24	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			B	-
			A	-



Ra1,6		2. Kolík	KR5,5 - 17	ČSN 16 220	8 ks
DISKUSNÍ FIRM: Bc. Kamil Měčala		1. Deska kolíková	KR50 - 4	ČSN 16 220	1 ks
DATE: 6.5.2013		Odkaz	Polotovár	Materiál/Norma	Množství
OPEKOVANÝ FIRM: XXXX		DATE: XXXX			
DATE: XXXX					
SIZE: A3					
SCALE: 1:1					
TITLE: SLEDGE BRUSLE					
SUBTITLE: Přítlačná deska					
DOKUMENTAČNÍ KÓD: UTB 01-06					
VERZE: 7/24					
This drawing is not protected. It can be reproduced or communicated without our written agreement.					

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

4 3 2 1 A B G H

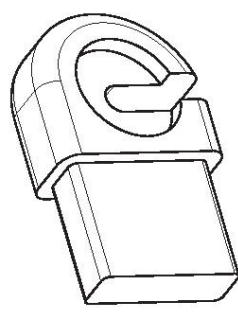


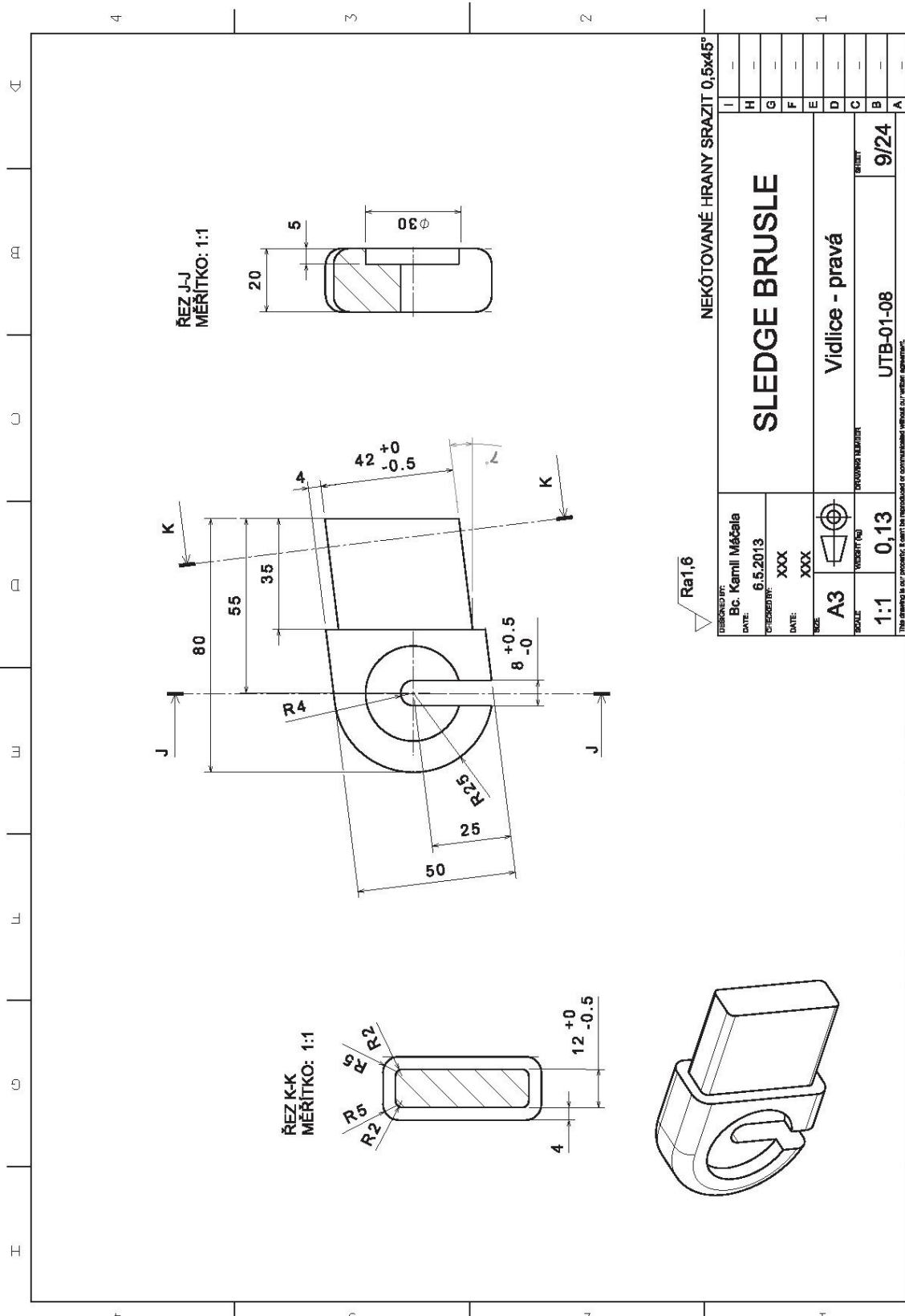
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

DESIGNED BY:	Bc. Kamil Máčala	I	—
DATE:	6.5.2013	H	—
OPERATOR:	XXX	G	—
DATE:	XXX	F	—
SIZE:	XXX	E	—
SCALE:	1:1	D	—
BRUSH:	A3	C	—
VELOCITY (m/s):	0,13	B	—
PROJEKTOR TECHNIK:	UTB-01-07	A	—
DATE:	8/24		

SLEDGE BRUSLE

Vidlice - levá

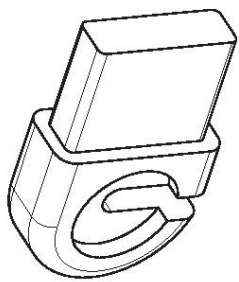


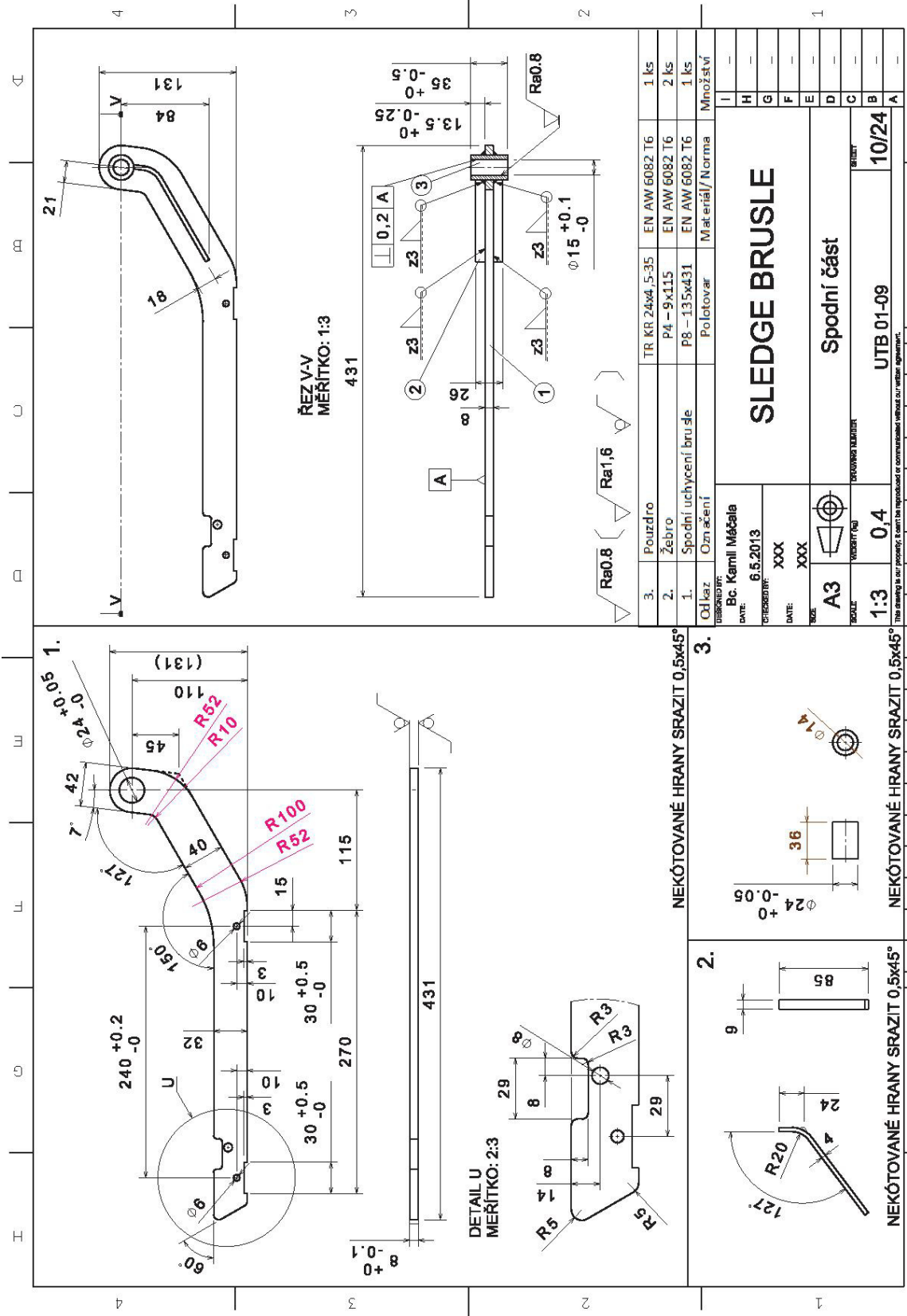


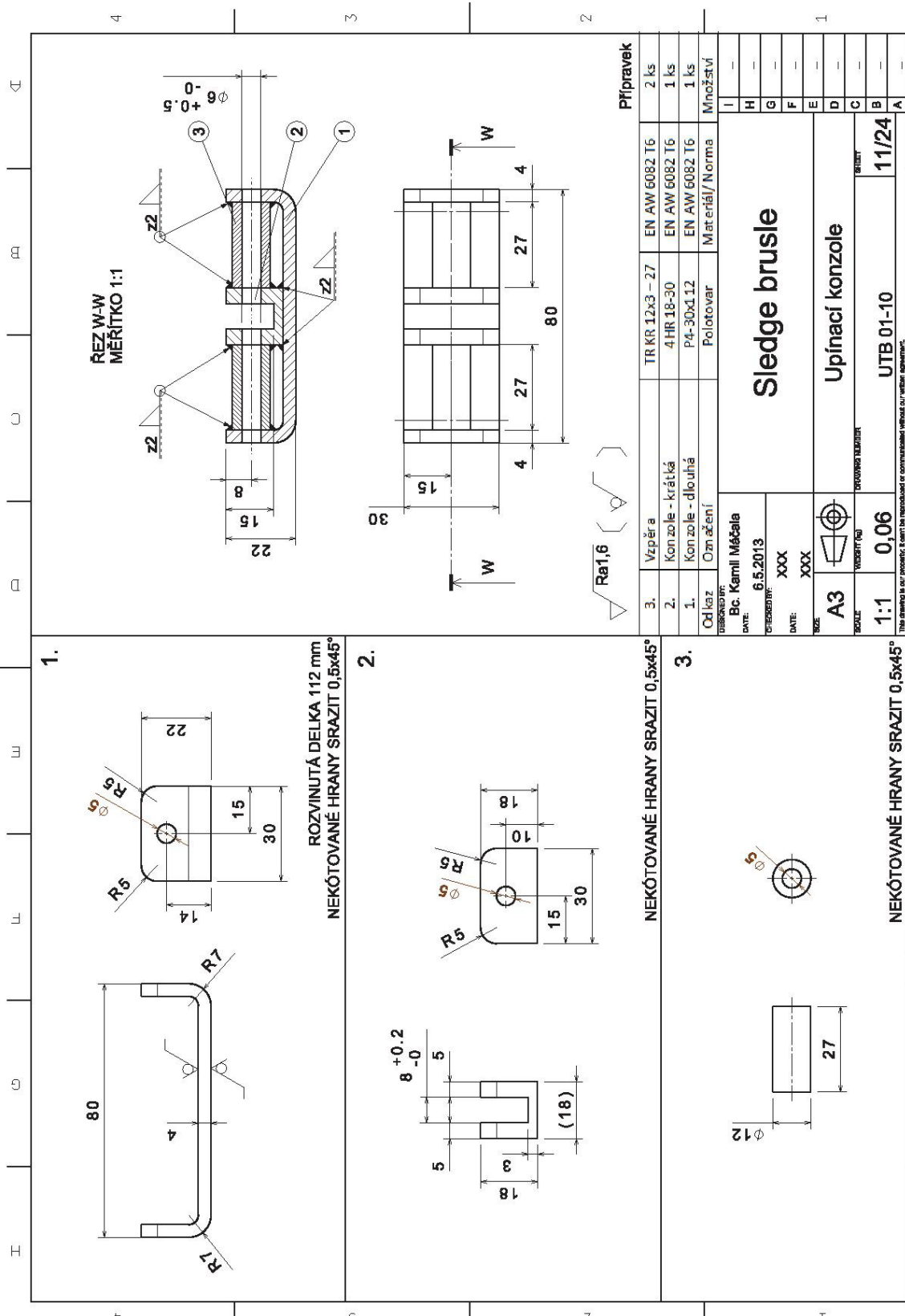
ŘEZ J-J
MĚŘITKO: 1:1

ŘEZ K-K
MĚŘITKO: 1:1

<p>PODŘÍZENÝ: Bc. Kamil Měčala</p> <p>DATE: 6.5.2013</p> <p>OPROJEKTOVÁNÍ: XXXX</p> <p>DATE: XXXX</p> <p>SCALE: 1:1</p> <p>BRUSLE: A3</p> <p>VEŠTĚNÍ (kg): 0,13</p> <p>1:1 0,13</p> <p>UTB-01-08</p> <p>9/24</p>		<p>NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°</p> <p>SLEDGE BRUSLE</p> <p>Vidlice - pravá</p> <p>UTB-01-08</p> <p>9/24</p>		I	H	G	F	E	D	C	B	A
--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---







REZ W-W
MĚŘITKO 1:1

$\sqrt{Ra1,6}$ ()

Přípravek			
3.	Vzpěra	TR KR 12x3 - 27	EN AW 6082 T6
2.	Konzole - krátká	4 HR 18-30	EN AW 6082 T6
1.	Konzole - dlouhá	P4-30x12	EN AW 6082 T6
	Od kaz. Označení	Polotovary	Materiál/ Norma
			Množství
			I
			H
			G
			F
			E
			D
			C
			B
			A
Bc. Kamil Měčala		Sledge brusle	
DATE:	6.5.2013	Upínací konzole	
OPROJEKTOVÁTEL:	XXX	UTB 01-10	
DATE:	XXX	11/24	
VERZE:	XXX		
SCALE:	1:1		
SCALE:	0,06		
VÝKRESY (kg)		VÝKRESY (kg)	
ROZKRYV		ROZKRYV	
Tento náčrt je součástí projektu a není jeho reprodukce či komerční nabídka s jiným označením.			

1.

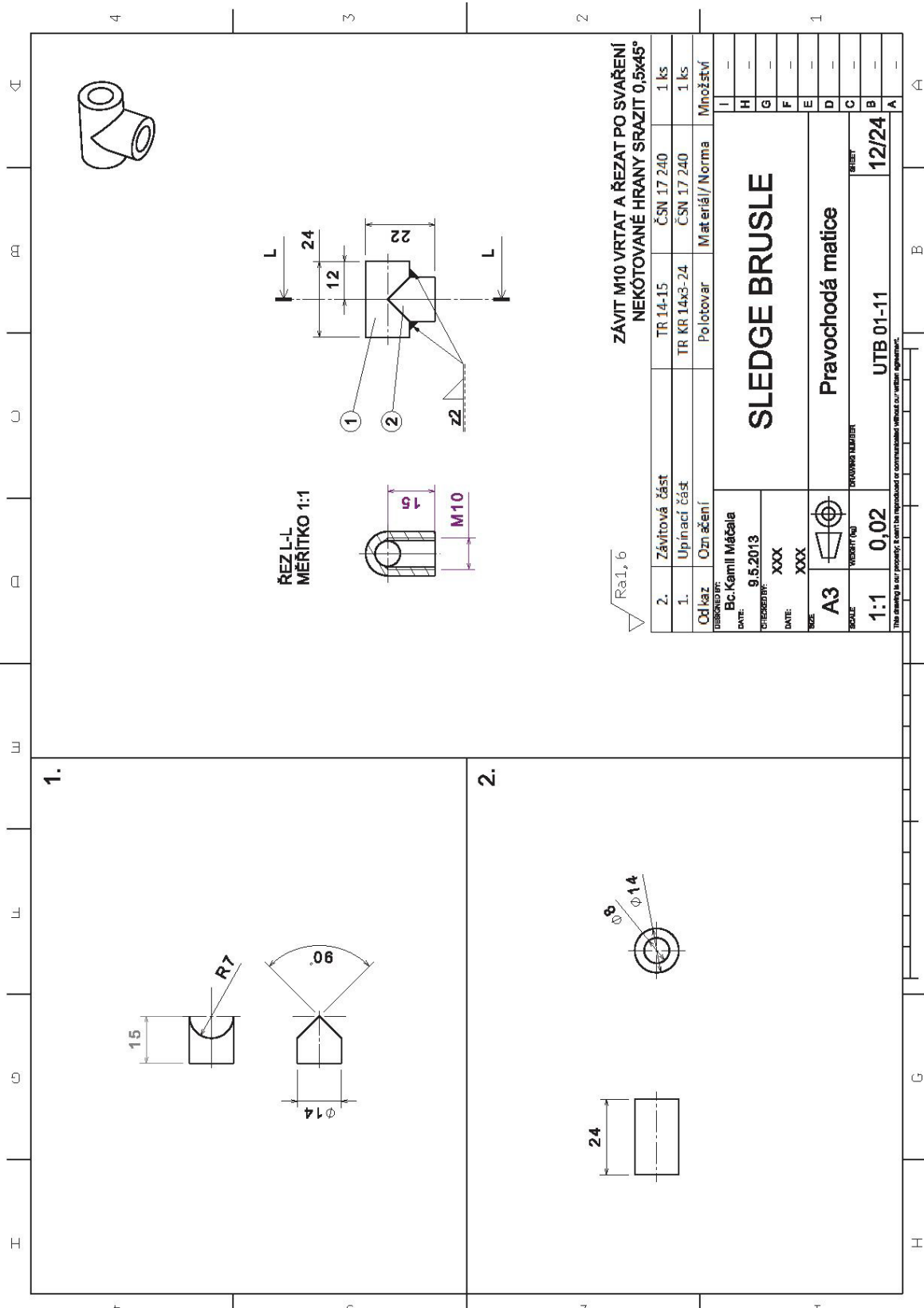
ROZVINUTÁ DELKA 112 mm
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

2.

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

3.

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

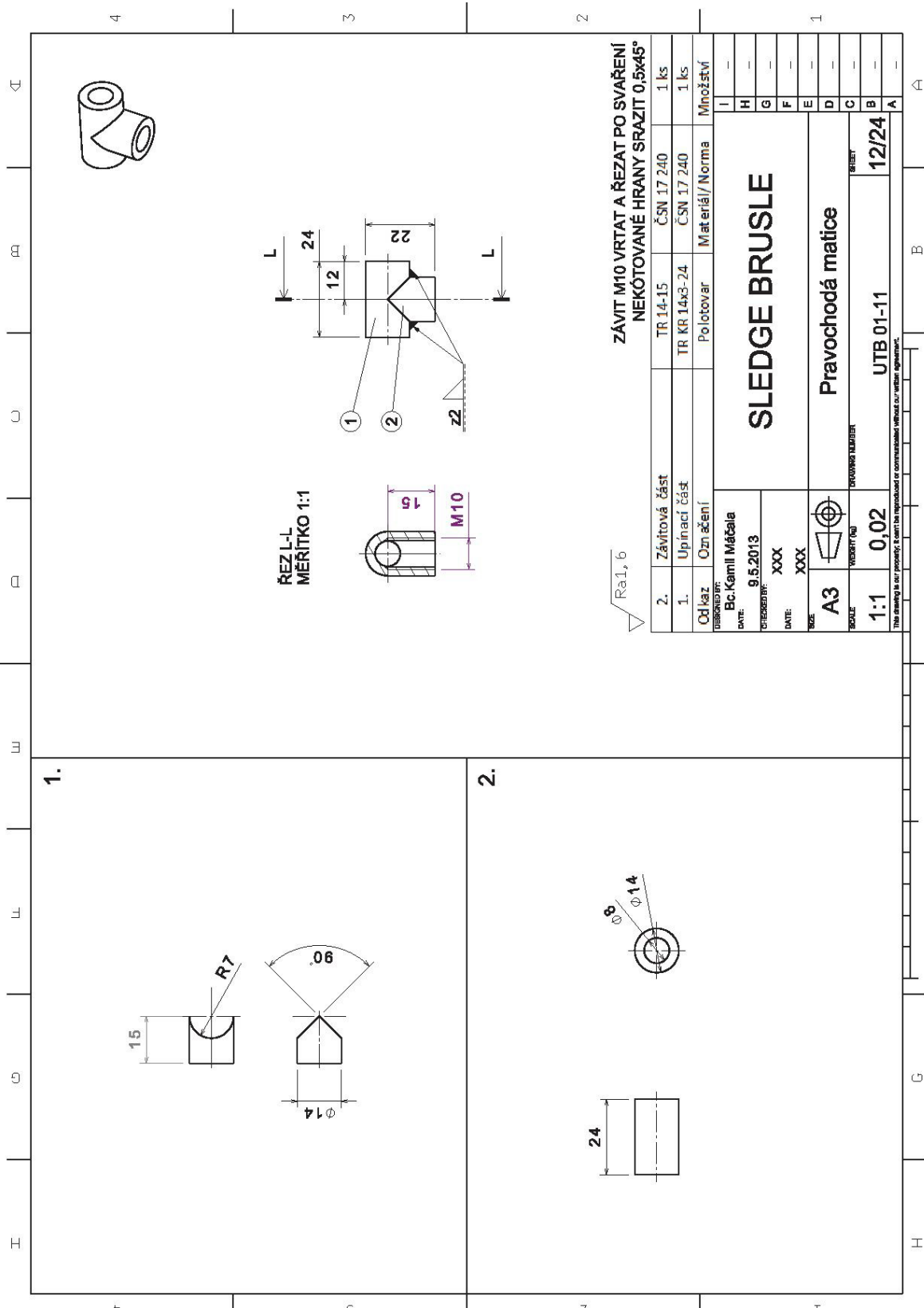


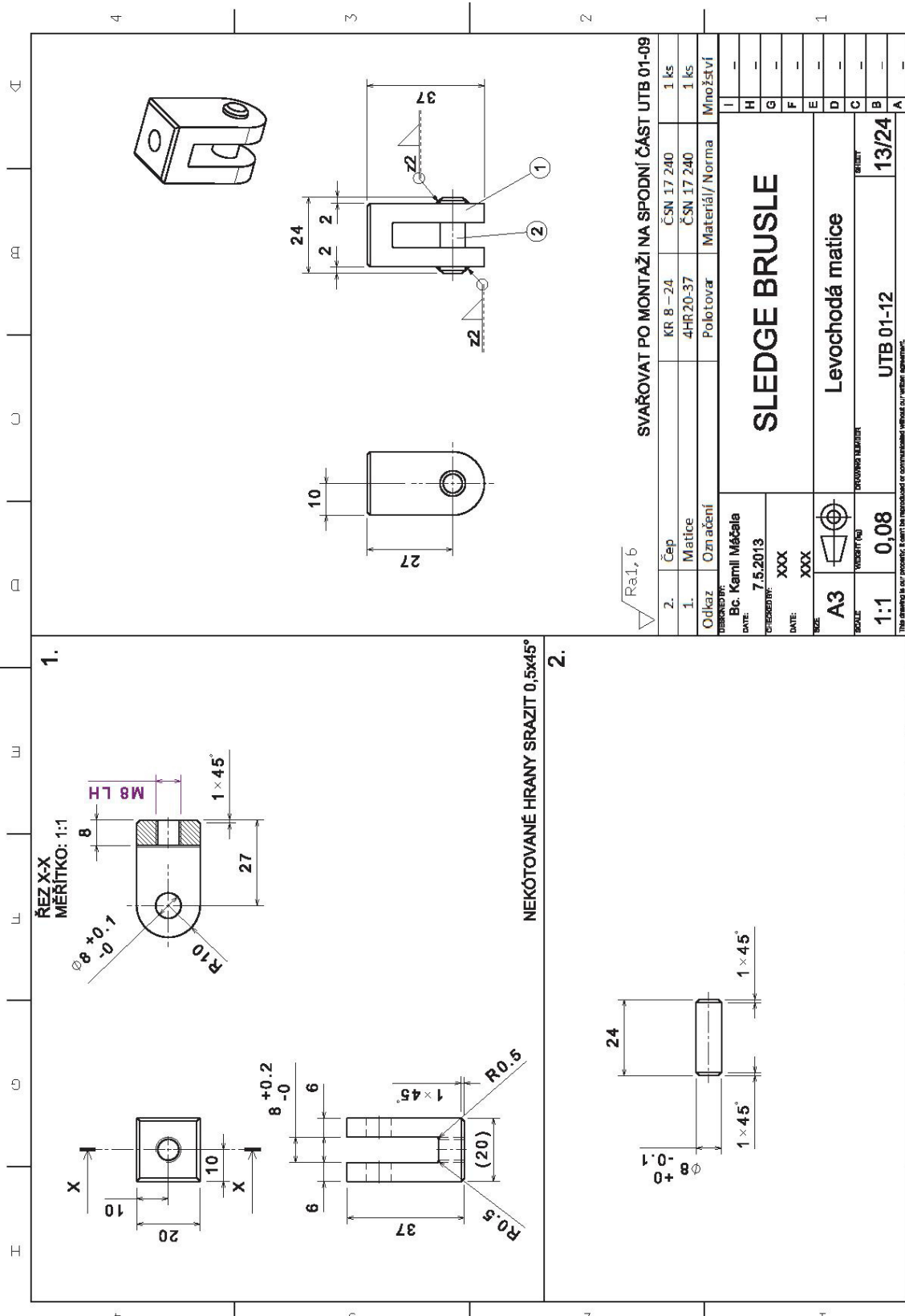
ŘEZ L-L
MĚŘÍTKO 1:1

√ Ra1,6

**ZÁVIT M10 VRTAT A ŘEZAT PO SVARĚNÍ
NEKŮTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°**

2.	Závítová část	TR 14-15	ČSN 17 240	1 ks
1.	Upinací část	TR KR 14x3-24	ČSN 17 240	1 ks
	Od kaz	Oznáčení	Materiál/Norma	Množství
SLEDGE BRUSLE				
Pravochoďá matice				
<small>OPROPOVA TECHNICKÝ</small>				
<small>UTB 01-11</small>				
<small>12/24</small>				
<small>1:1 0,02</small>				
<small>THE DRAWING IS AN UNCONTROLLED COPY. IT CAN BE REPRODUCED OR COMMUNICATED WITHOUT OUR FURTHER AGREEMENT.</small>				





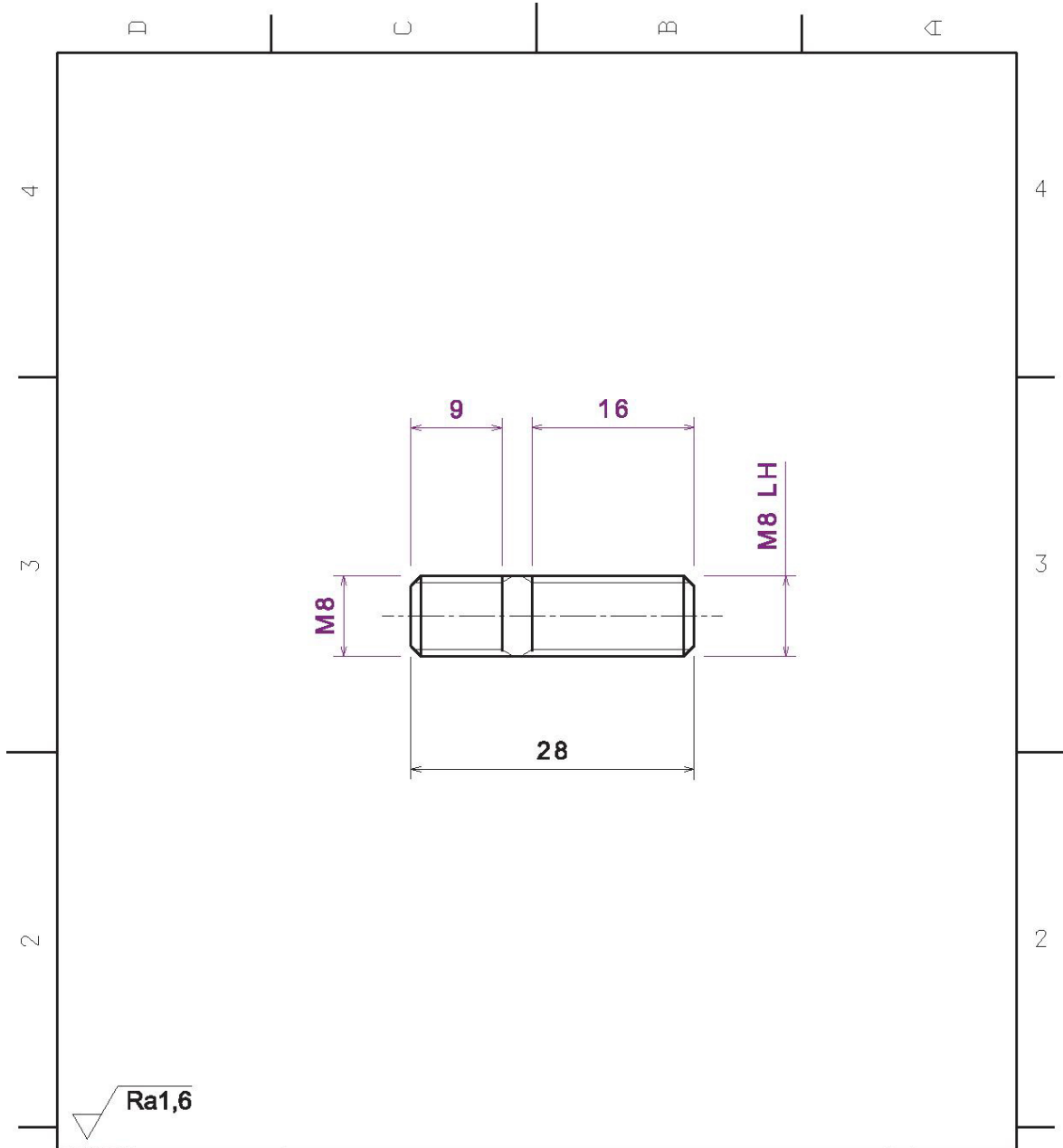
1.

ŘEZ X-X
MĚŘITKO: 1:1

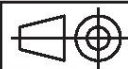
2.

NEKŮTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

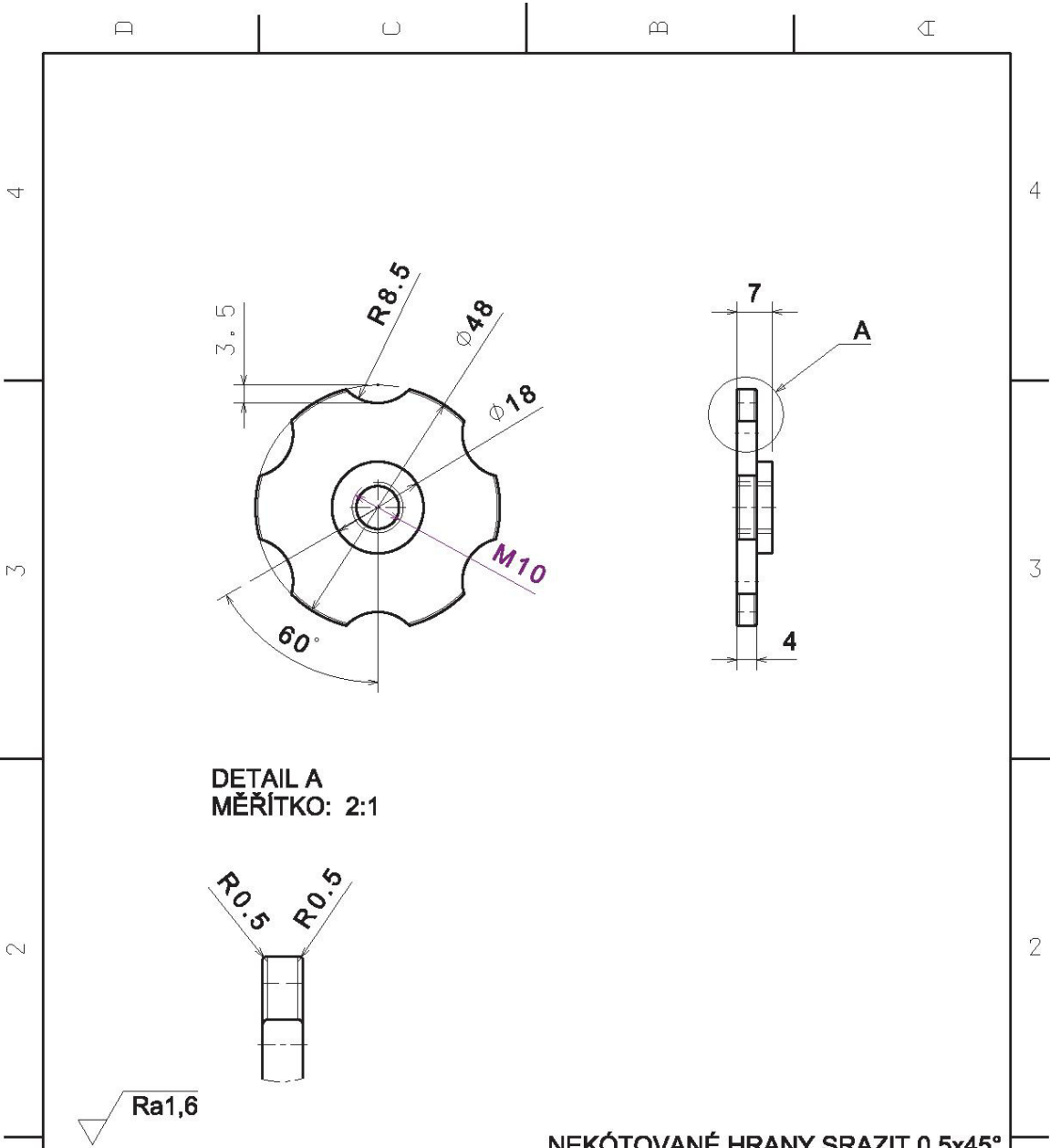
SVAŘOVAT PO MONTÁŽI NA SPODNÍ ČÁST UTB 01-09		Čep	KR 8 - 24	ČSN 17 240	1 ks
		Matice	4HR20-37	ČSN 17 240	1 ks
		Oznáčení	Polotovár	Materiál/ Norma	Množství
<p>UPOZORNĚNÍ: Bc. Kamil Měčala DATE: 7.5.2013 OPRAVENÍ: DATE: XXXX SIZE: XXXX</p>		<p>SLEDGE BRUSLE</p> <p>Levochodá matice</p> <p>UTB 01-12</p> <p>13/24</p>			
A3	0,08				
<p>1:1</p> <p>0,08</p> <p>UTB 01-12</p> <p>13/24</p>					



Ra1,6

DESIGNED BY: Bc. Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-		
DATE: 7.5.2013				H	-		
CHECKED BY: XXX				G	-		
DATE: XXX		<h2>Závitová tyč</h2>		F	-		
SIZE: A4				E	-		
		<h3>UTB 01-13</h3>		D	-		
				14/24		C	-
SCALE: 2:1	WEIGHT (kg): 0,01	DRAWING NUMBER: UTB 01-13				SHEET: 14/24	B
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.						A	-

D C B A

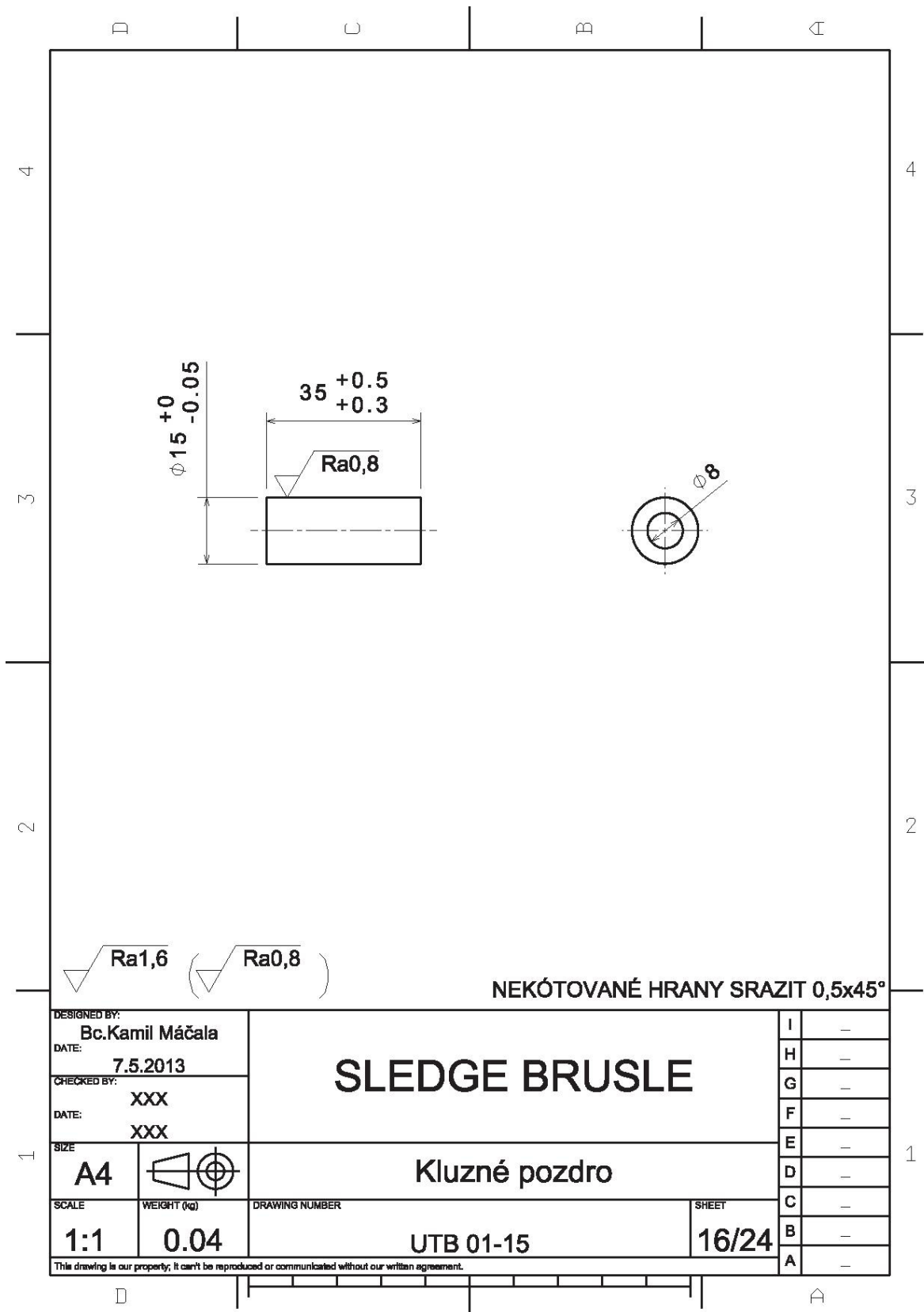


DETAIL A
MĚŘITKO: 2:1

NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

DESIGNED BY: Bc.Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 7.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX		<h2>Kontra matice</h2>		F	-
SIZE: A4				E	-
SCALE: 1:1		UTB 01-14		D	-
WEIGHT (kg): 0,02				C	-
DRAWING NUMBER:		15/24		B	-
SHEET:				A	-

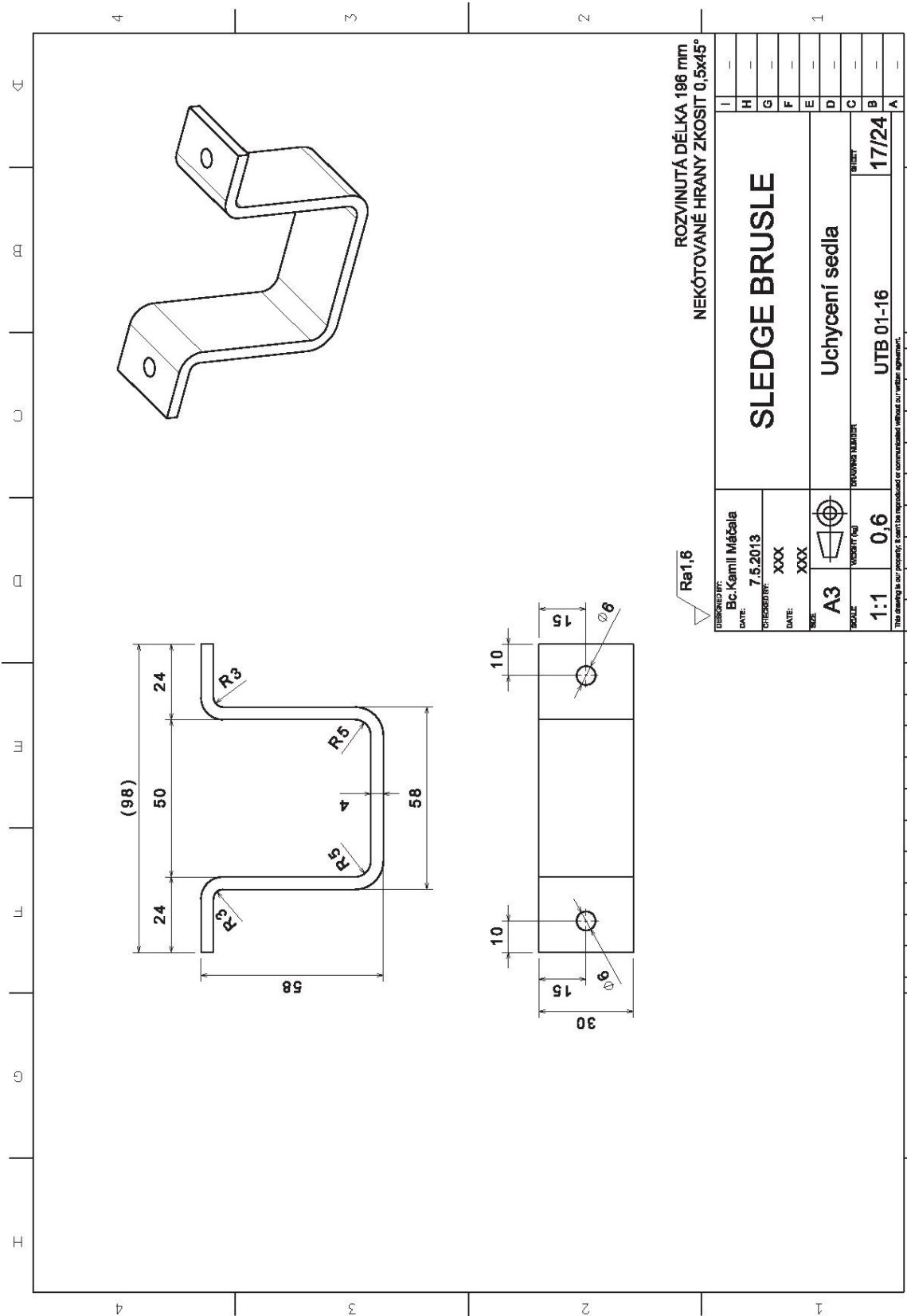
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Ra1,6
 Ra0,8

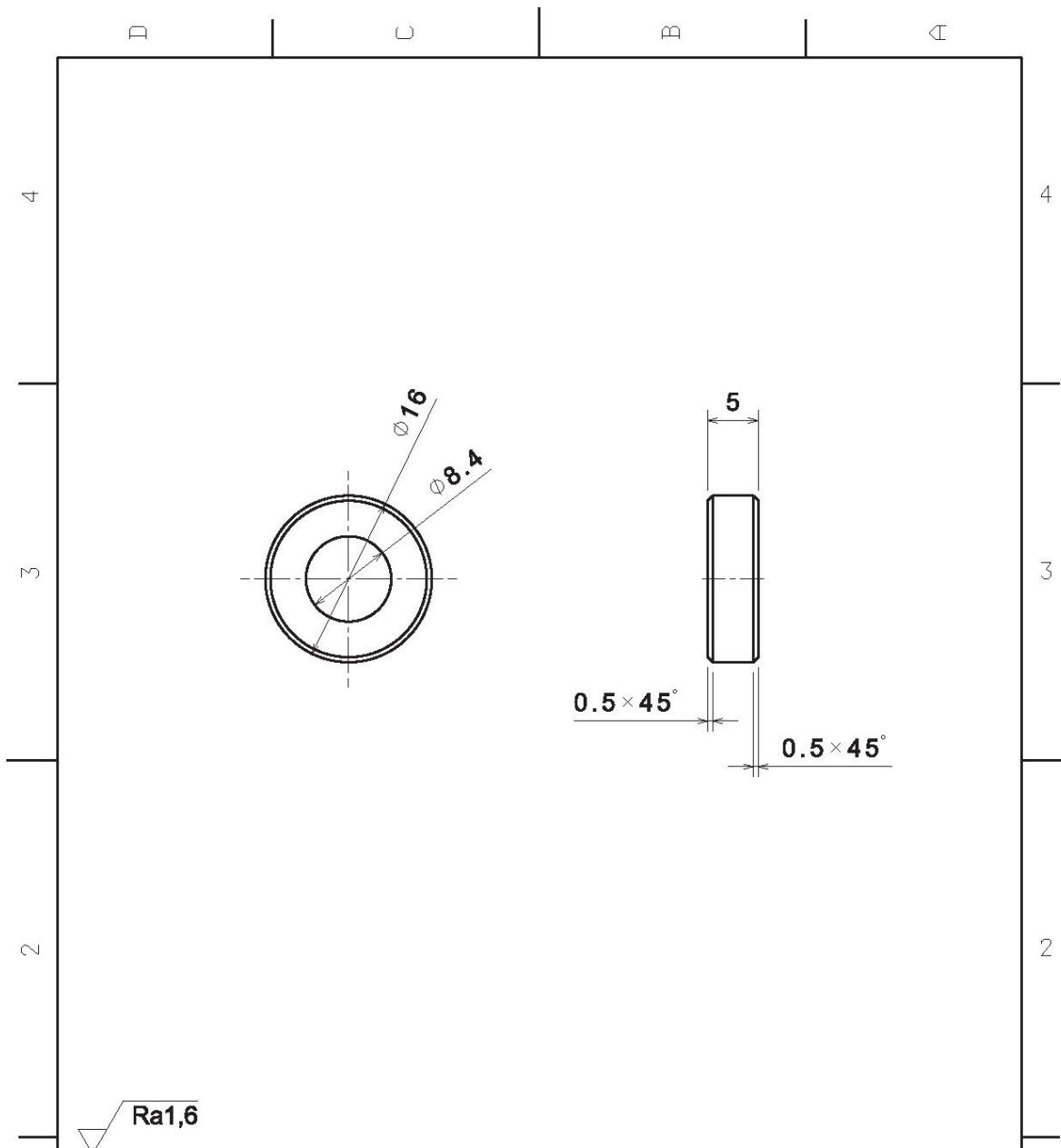
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

DESIGNED BY: Bc.Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 7.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX		<h2>Kluzné pozdro</h2>		F	-
SIZE: A4				E	-
SCALE: 1:1		UTB 01-15		D	-
WEIGHT (kg): 0.04				C	-
DRAWING NUMBER:		16/24		B	-
SHEET:				A	-
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>					



ROZVINUTÁ DÉLKA 196 mm
NEKÓTOVANÉ HRANY ZKOSIT 0,5x45°

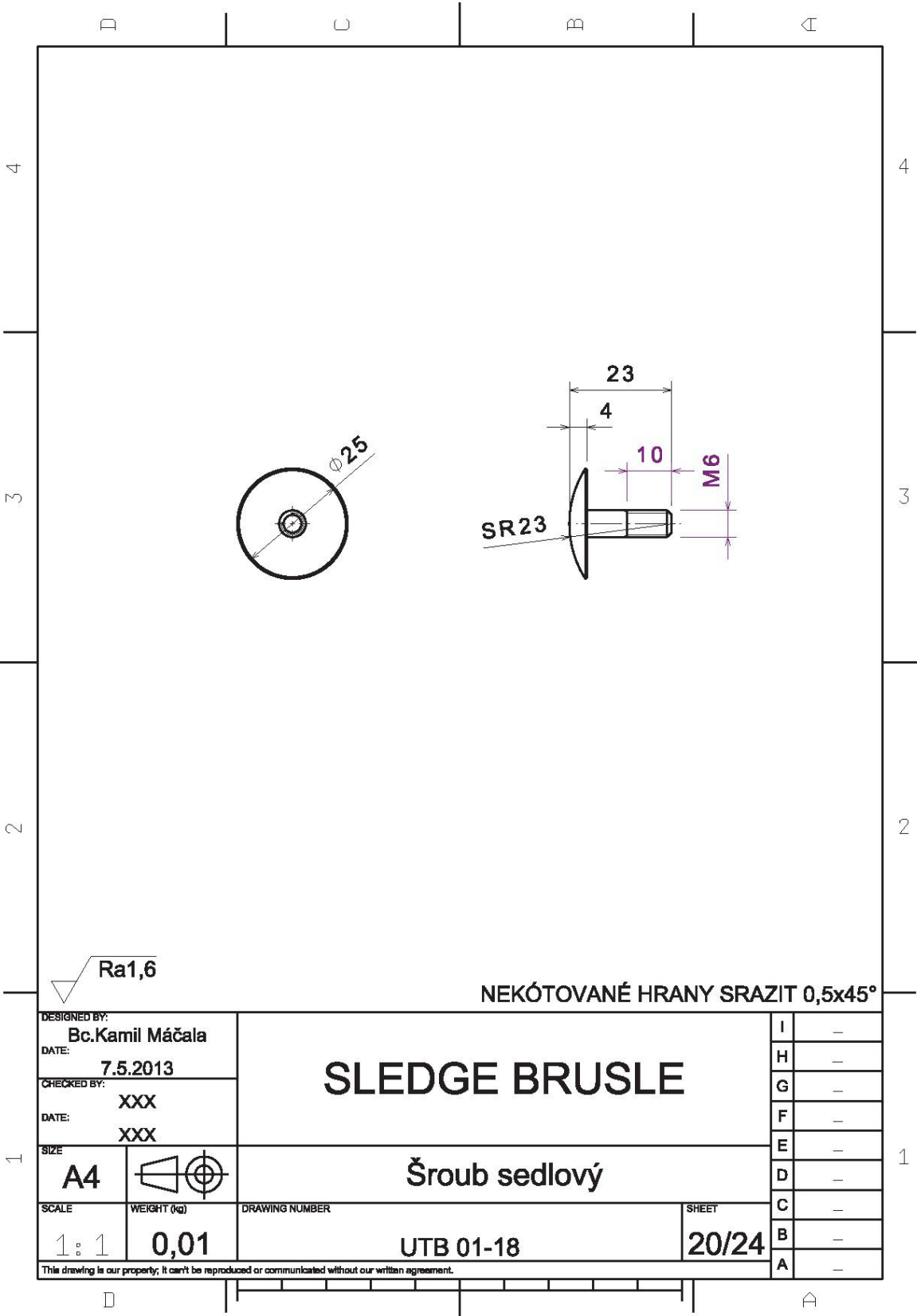
DISSEKED BY: Bc. Kamil Mátala		DATE: 7.5.2013		CHECKED BY: XXXX		DATE: XXXX		SIZE: A3		SCALE: 1:1		VELOCITY (m/s): 0,6		NUMBER: 17/24	
SLEDGE BRUSLE												Uchycení sedla			
UTB 01-16															
This drawing is our property & can't be reproduced or commercialized without our written agreement.															



Ra1,6

DESIGNED BY: Bc.Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 7.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE: A4		<h2>Podložka</h2>		E	-
SCALE: 2:1	WEIGHT (kg): 0,01	DRAWING NUMBER: UTB 01-17	SHEET: 19/24	D	-
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>				C	-
				B	-
				A	-

D A

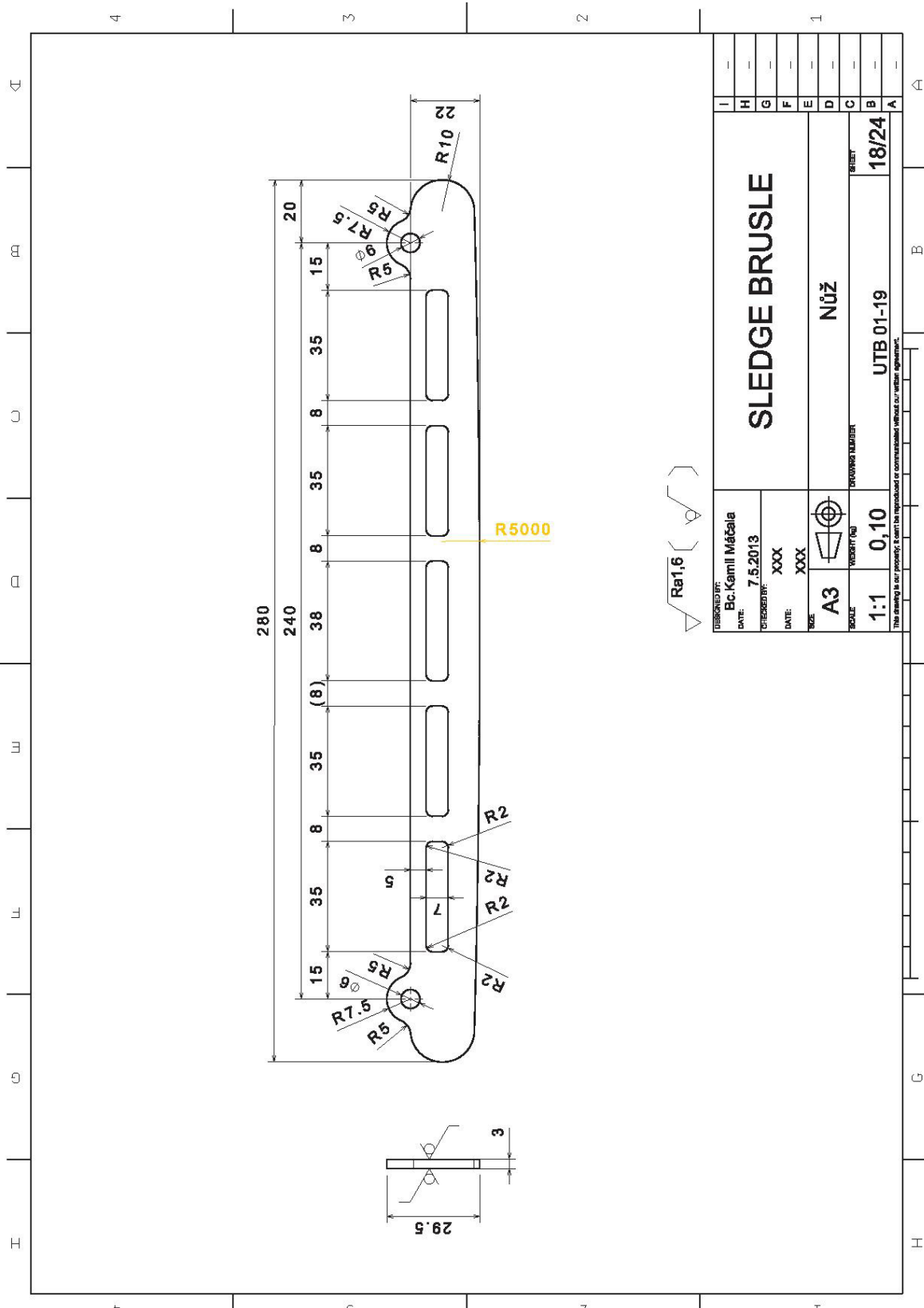


Ra1,6

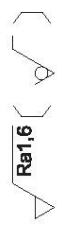
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

DESIGNED BY: Bc.Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 7.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX		<h2>Šroub sedlový</h2>		F	-
SIZE: A4				E	-
SCALE: 1:1		UTB 01-18		D	-
WEIGHT (kg): 0,01				C	-
DRAWING NUMBER:		20/24		B	-
SHEET:				A	-

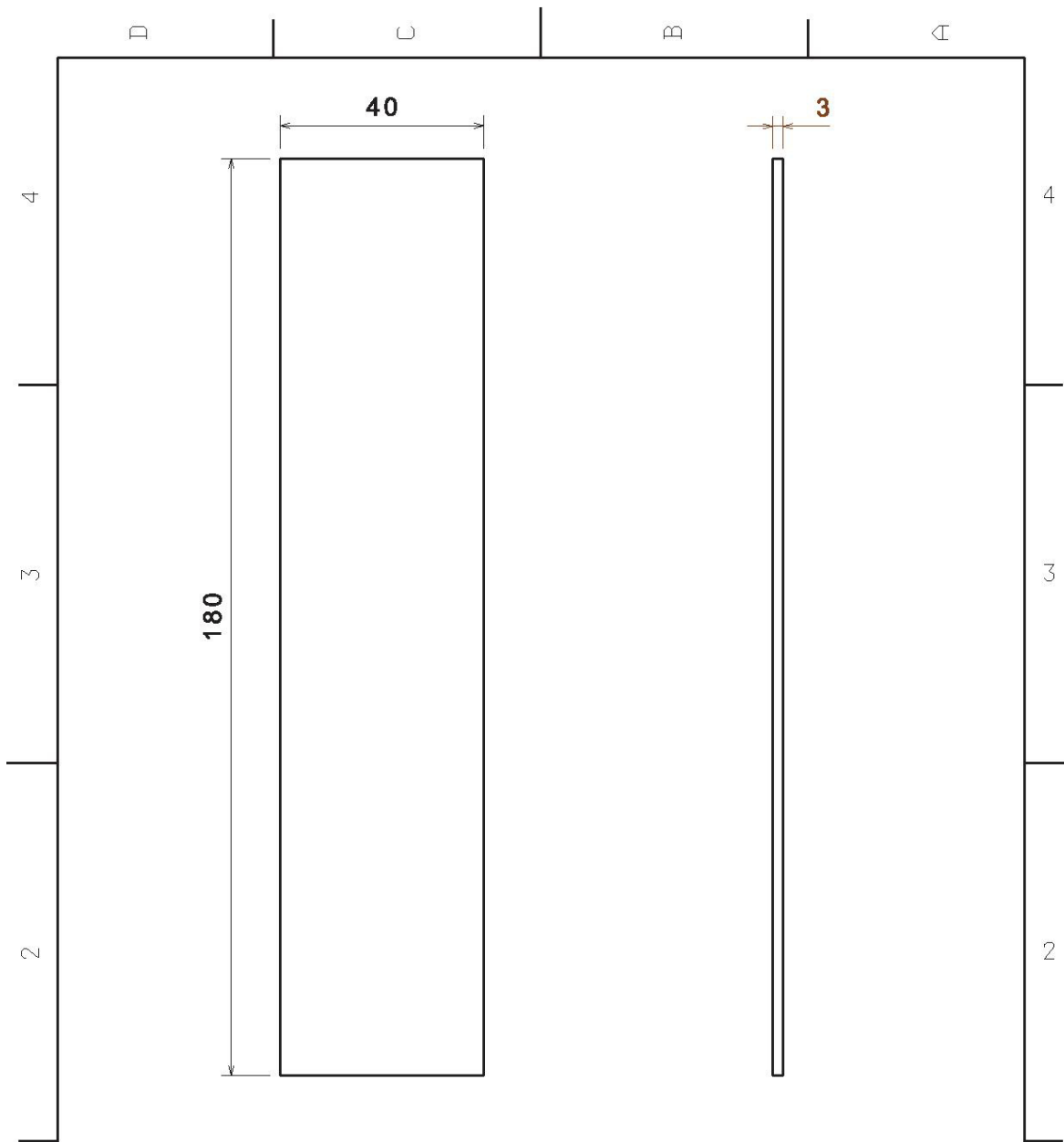
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



SLEDGE BRUSLE		I — H — G — F — E — D — C — B — A —
		I — H — G — F — E — D — C — B — A —
DISIGNED BY: Bc. Kamil Mátala	DATE: 7.5.2013	NÜŽ
CHECKED BY: XXXX	DATE: XXXX	
SIZE: A3	VEDRYŤ (kg) 0,10	VÝROBY 18/24
This drawing is our property & can't be reproduced or commercialized without our written agreement.		UTB 01-19

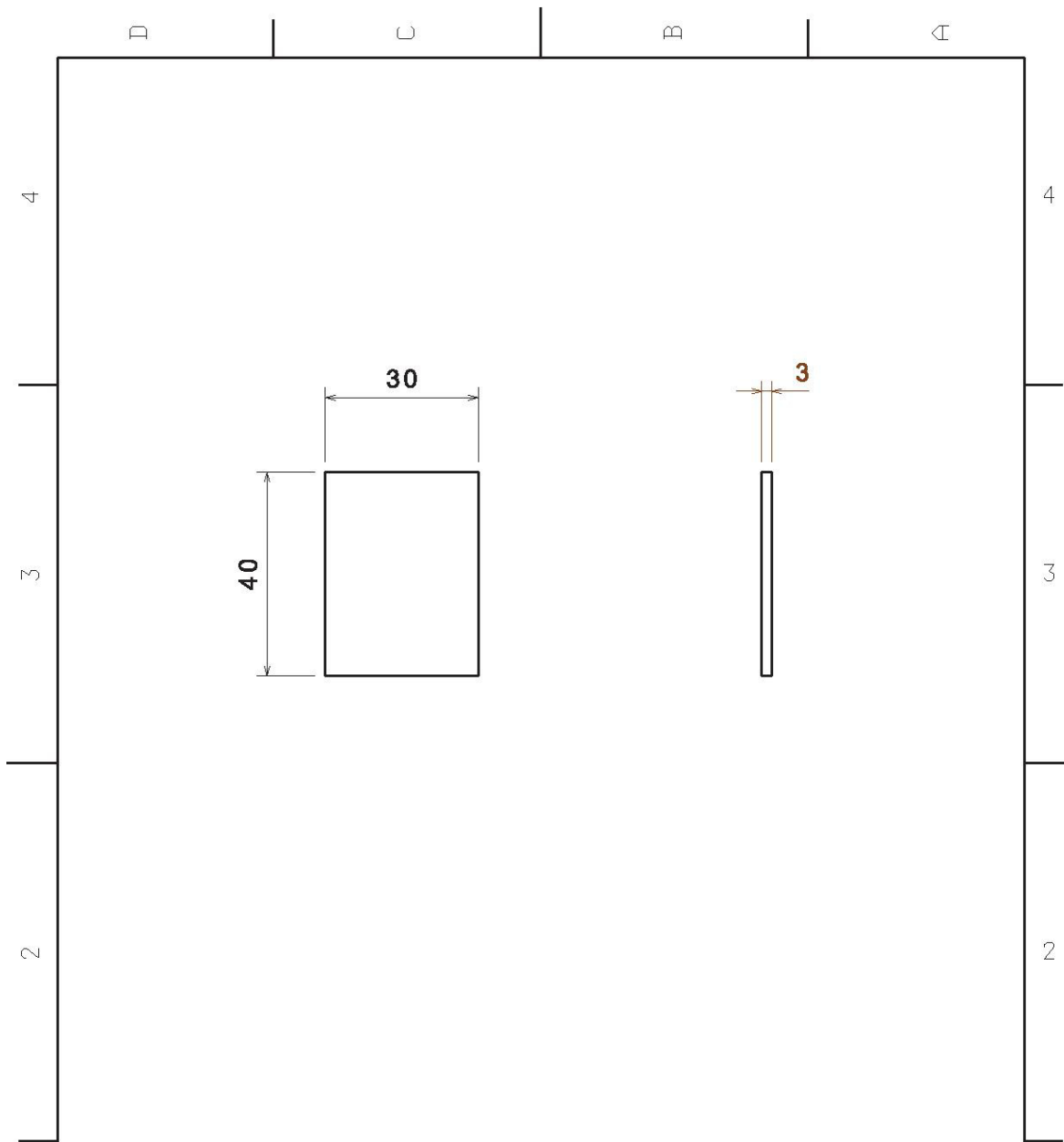


R5000



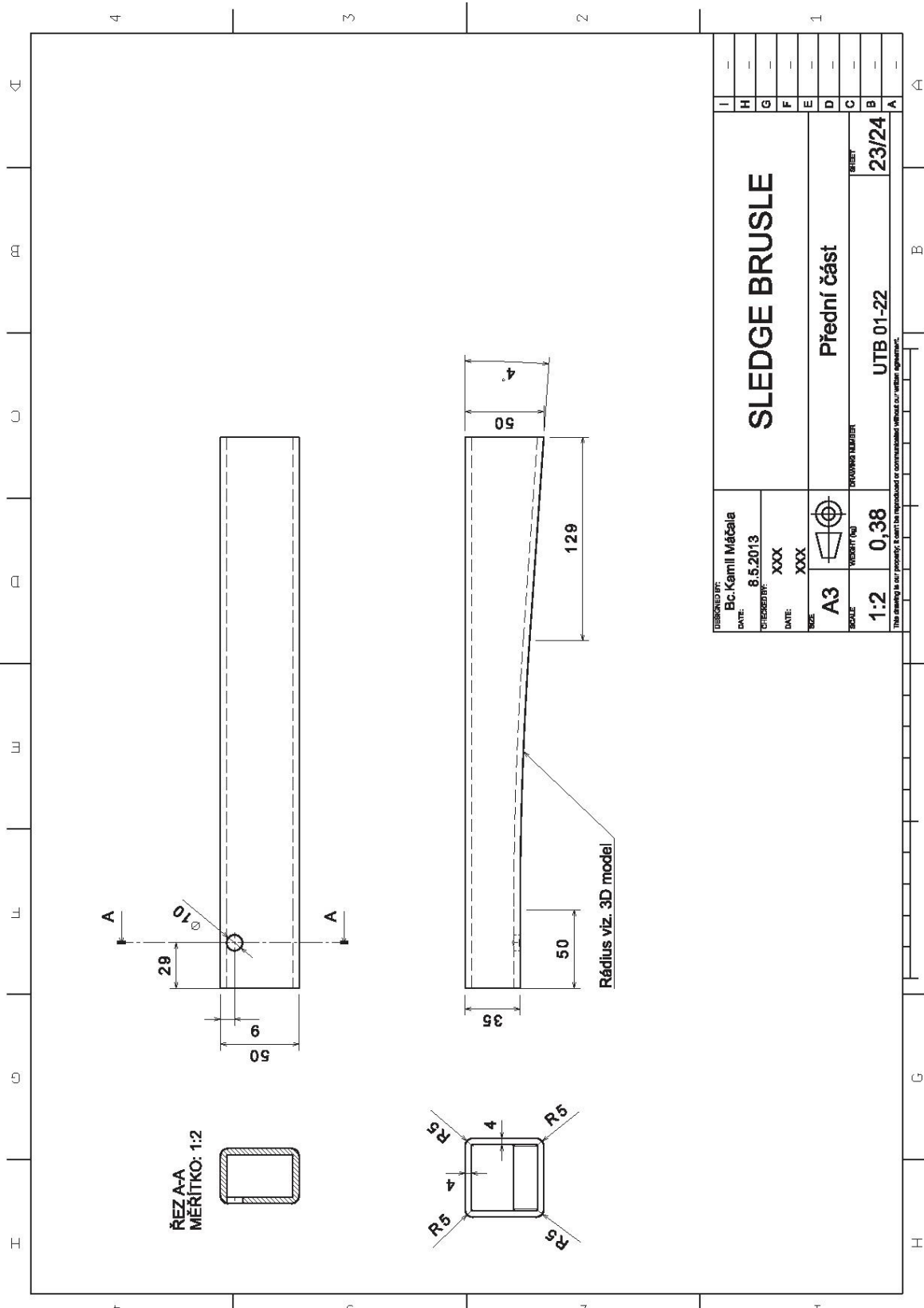
DESIGNED BY: Bc. Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 7.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX		F	-		
SIZE: A4		<h2>Elastomerní prvek-velký</h2>		E	-
				D	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (kg): 0,05	DRAWING NUMBER: UTB 01-20	SHEET: 21/24	C	-
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>				B	-
				A	-

D A



DESIGNED BY: Bc, Kamil Máčala		<h1>SLEDGE BRUSLE</h1>		I	-
DATE: 7.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX		<h2>Elastomerní prvek-malý</h2>		F	-
DATE: XXX				E	-
SIZE A4		<h2>UTB 01-21</h2>		D	-
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) XXX			<h2>22/24</h2>	
DRAWING NUMBER		<h2>22/24</h2>			
SHEET				<h2>22/24</h2>	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					

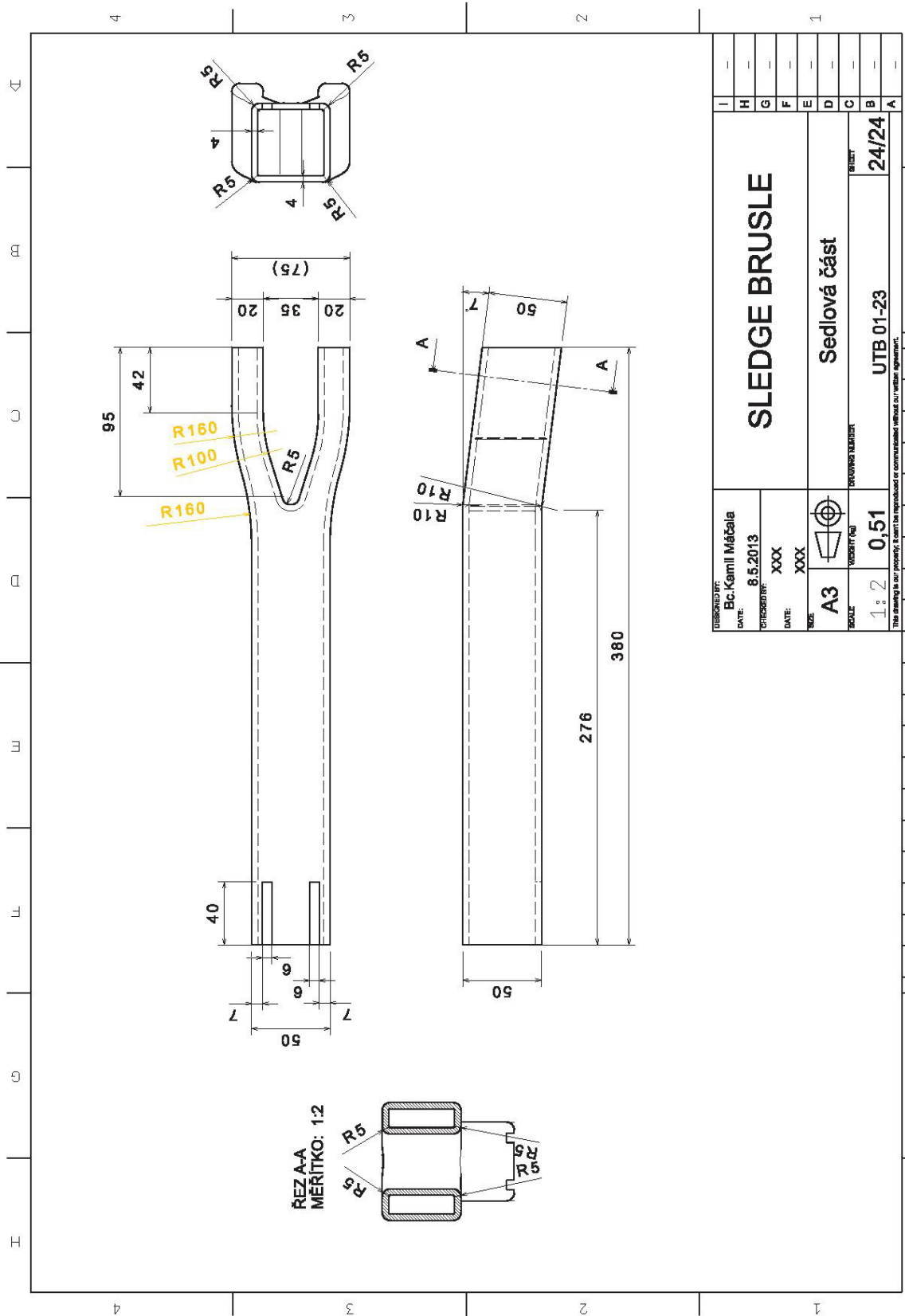
D C B A



ŘEZ A-A
MĚŘITKO: 1:2

Rádus viz. 3D model

DESIGNED BY: Bc. Kamil Měčala	DATE: 8.5.2013	CHECKED BY: XXX	DATE: XXX	SIZE: A3	SCALE: 1:2	PROJEKT NÁZEV: Přední část	VERZE: 23/24
SLEDGE BRUSLE				UTB 01-22			
I				A			
H				B			
G				C			
F				D			
E				E			
D				F			
C				G			
B				H			
A				I			



DISIGNED BY: Bc. Kamil Mátala		I
DATE: 8.5.2013		H
CHECKED BY: XXXX		G
DATE: XXXX		F
SIZE: A3		E
SCALE: 1:2		D
WEIGHT (kg): 0,51		C
MATERIAL: UTB 01-23		B
DRAWING NUMBER: 24/24		A
This drawing is our property & can't be reproduced or commercialized without our written agreement.		

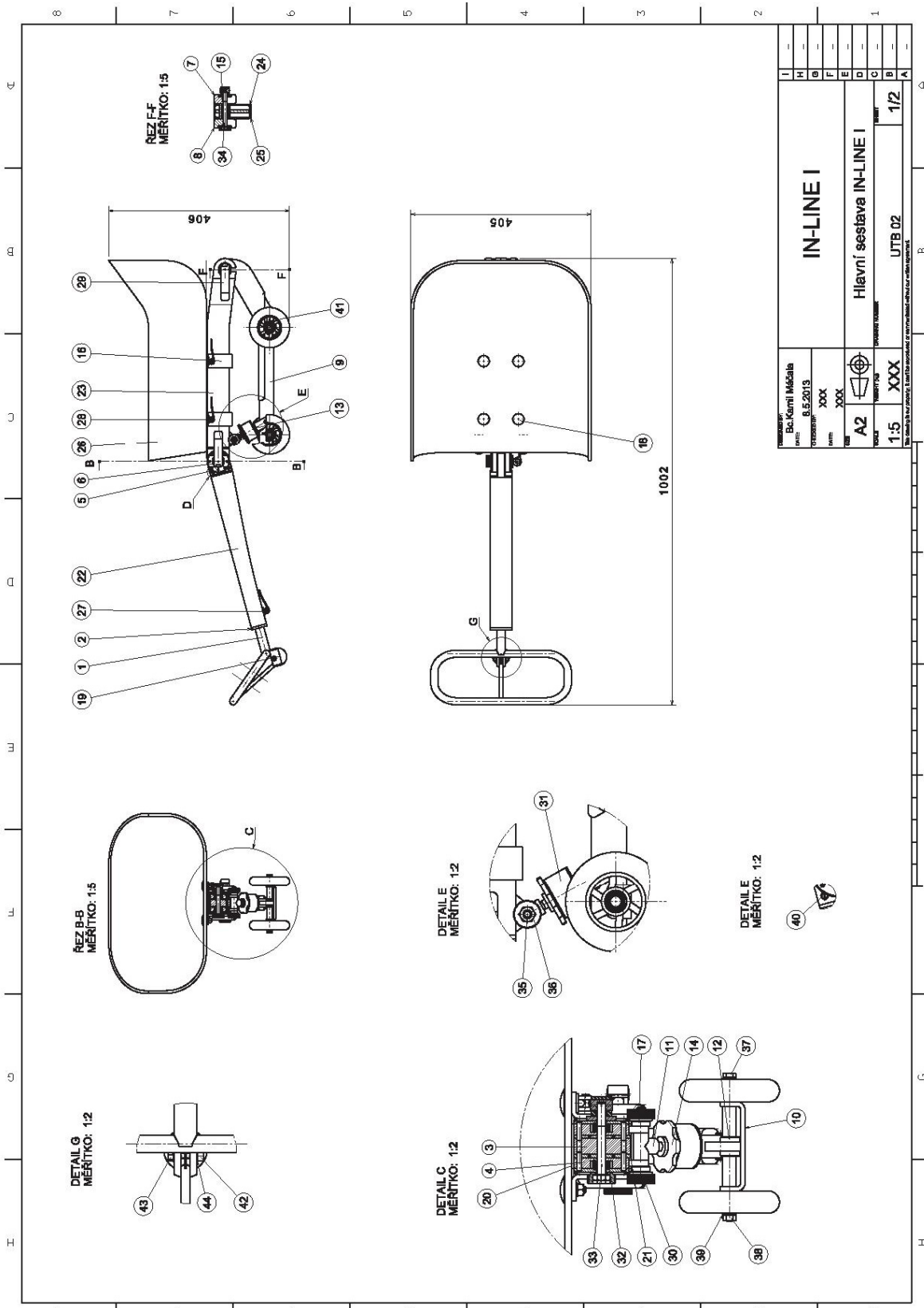
SLEDGE BRUSLE

Sedlová část

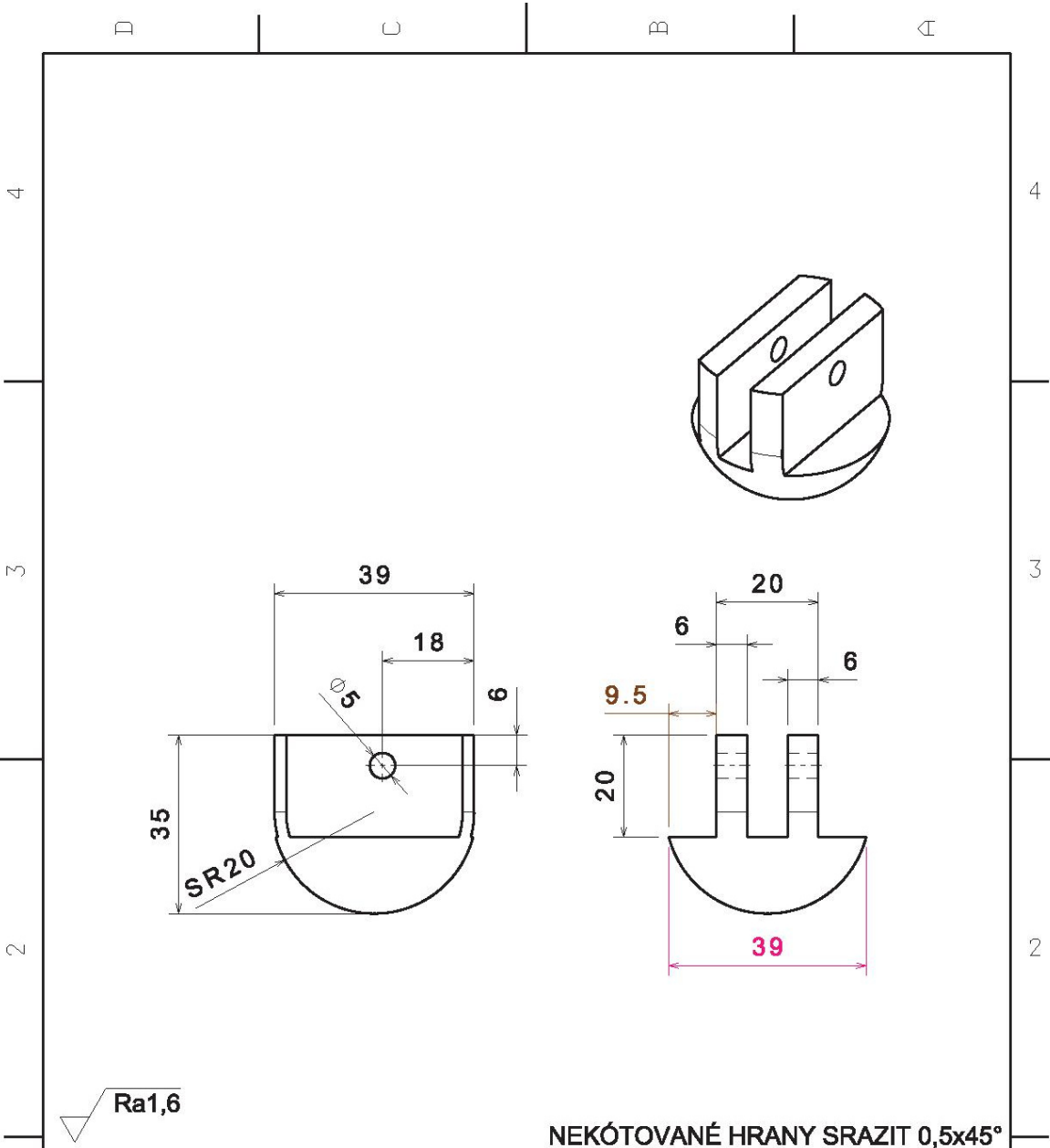
UTB 01-23

24/24

45.					
44.	Podložka 5		ČSN 02 1703		2 ks
43.	Matice M5		ČSN 02 1403		2 ks
42.	Šroub s vnitř šestihranem M5x35		ČSN 02 1143		1 Ks
41.	In-line kolečko 90				4 ks
40.	Šroub se zápusťnou hlavou M3		ČSN 02 1151		4 ks
39.	Podložka 6,4		ČSN 02 1703		6 ks
38.	Matice M6		ČSN 02 1403		4 ks
37.	Šroub šestihranny M6x130		ČSN 02 1101		2 ks
36.	Matice M8		ČSN 02 1403		1 ks
35.	Šroub šestihranný M8x60		ČSN 02 1101		1 ks
34.	Šroub šestihranný M8x85		ČSN 02 1101		1 ks
33.	Šroub šestihranný M8x65		ČSN 02 1101		1 ks
32.	Pružina tlačná 2x18x14x6		DIN 17 224		2 ks
31.	Pružný člen				1 ks
30.	Matice rýhovaná M8				4 ks
29.	Pákový excentr M8				2 ks
28.	Pákový excentr M6				2 ks
27.	Pákový excentr M5				1 ks
26.	Sedlo		ABS		1 ks
25.	Kryt - pravý		Uhlíkový komp.		1 ks
24.	Kryt - levý		Uhlíkový komp.		1 ks
23.	Sedlová část		Uhlíkový komp.	UTB 01-23	1 ks
22.	Přední část		Uhlíkový komp.	UTB 01-22	1 ks
21.	Elastomerní prvek - malý		Pryž - NBR 65 Z	UTB 01-21	2 ks
20.	Elastomerní prvek - velký		Pryž - NBR 65 Z	UTB 01-20	1 ks
19.	Slide	KR 39 - 35	PA	UTB 02-19	1 ks
18.	Šroub sedlový	KR 25-23	EN AW-6082 T6	UTB 01-18	4 ks
17.	Podložka	KR 16-5	EN AW-6082 T6	UTB 01-17	2 ks
16.	Uchyacení sedla	P4 - 30x196	EN AW-6082 T6	UTB 01-16	2 ks
15.	Kluzné pouzdro	TR KR 15x3,5-35	Mosaz	UTB 01-15	1 ks
14.	Kontra matice	KR 48-8	EN AW-6082 T6	UTB 01-14	1 ks
13.	Závitová tyč	KR 8-28	ČSN 17 240	UTB 01-13	1 ks
12.	Levochodá matice		ČSN 17 240	UTB 01-12	1 ks
11.	Pravochodá matice		ČSN 17 240	UTB 01-11	1 ks
10.	Upínací konzole		EN AW-6082 T6	UTB 01-10	2 ks
9.	Spodní část		EN AW-6082 T6	UTB 01-09	1 ks
8.	Vidlice - pravá	PLO 50x20-85	EN AW-6082 T6	UTB 01-08	1 ks
7.	Vidlice - levá	PLO 50x20-85	EN AW-6082 T6	UTB 01-07	1 ks
6.	Přítlačná deska		ČSN 16 220	UTB 01-06	2 ks
5.	Aretační deska	P3 - 50x52	ČSN 16 220	UTB 01-05	2 ks
4.	Kloub - vnější	4HR50-96	EN AW-6082 T6	UTB 01-04	1 ks
3.	Kloub - vnitřní	4HR50-105	EN AW-6082 T6	UTB 01-03	1 ks
2.	Svěrný spoj		EN AW-6082 T6	UTB 01-02	1 ks
1.	Opора nohou		EN AW-6082 T6	UTB 01-01	1 ks
Pozice	Název	Polotovary	Materiál/ norma	Číslo výkresu	Množství
Vypracoval: Bc. Kamil Máčala			Datum:	7.4.2013	
IN-LINE I (č. sestavy UTB 02)					



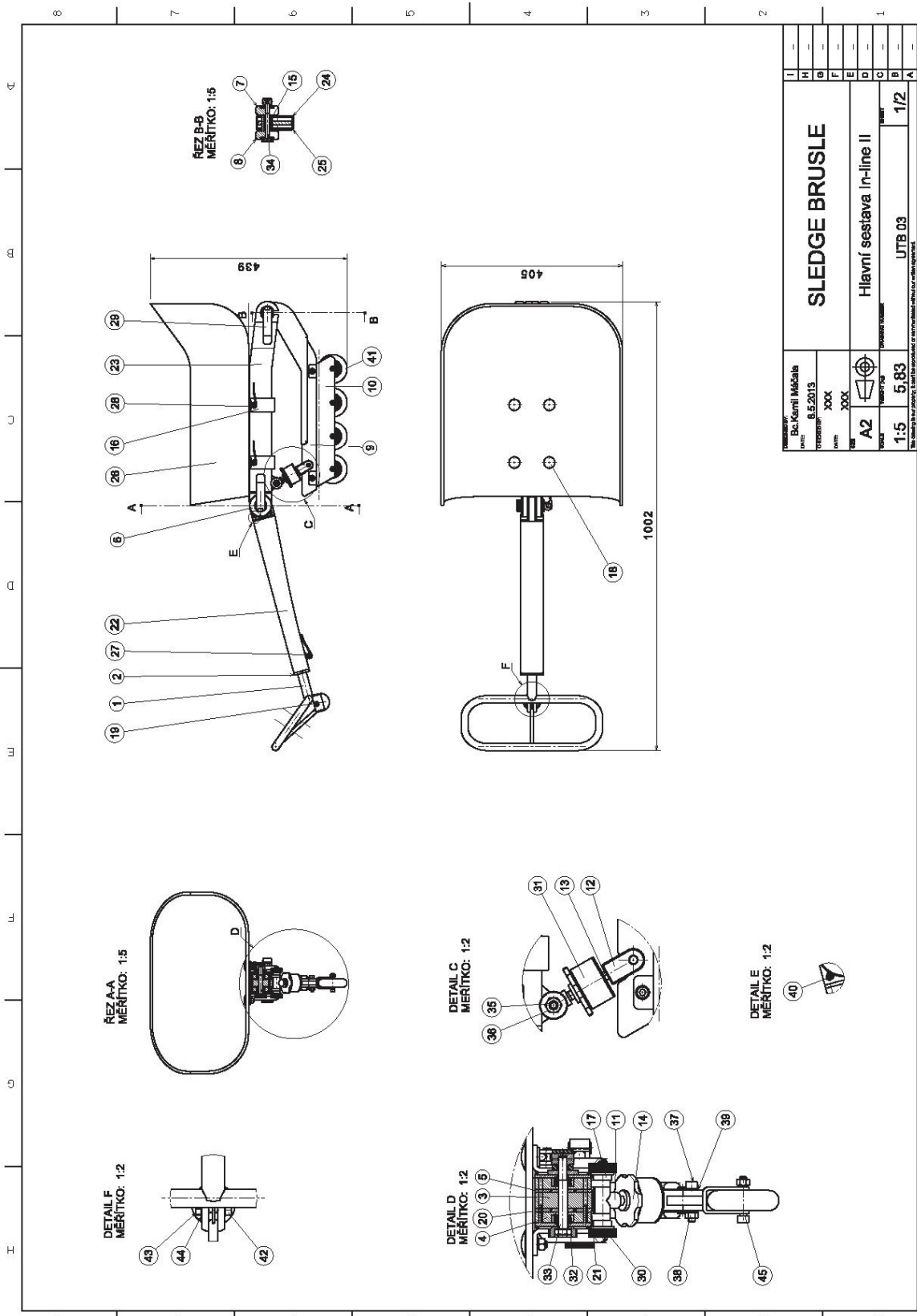
IN-LINE I		UTB 02		1/2	
Hlavní sestava IN-LINE I					
A2		XXX		XXX	
1:5		XXX		XXX	
UTB 02		1/2			



NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT 0,5x45°

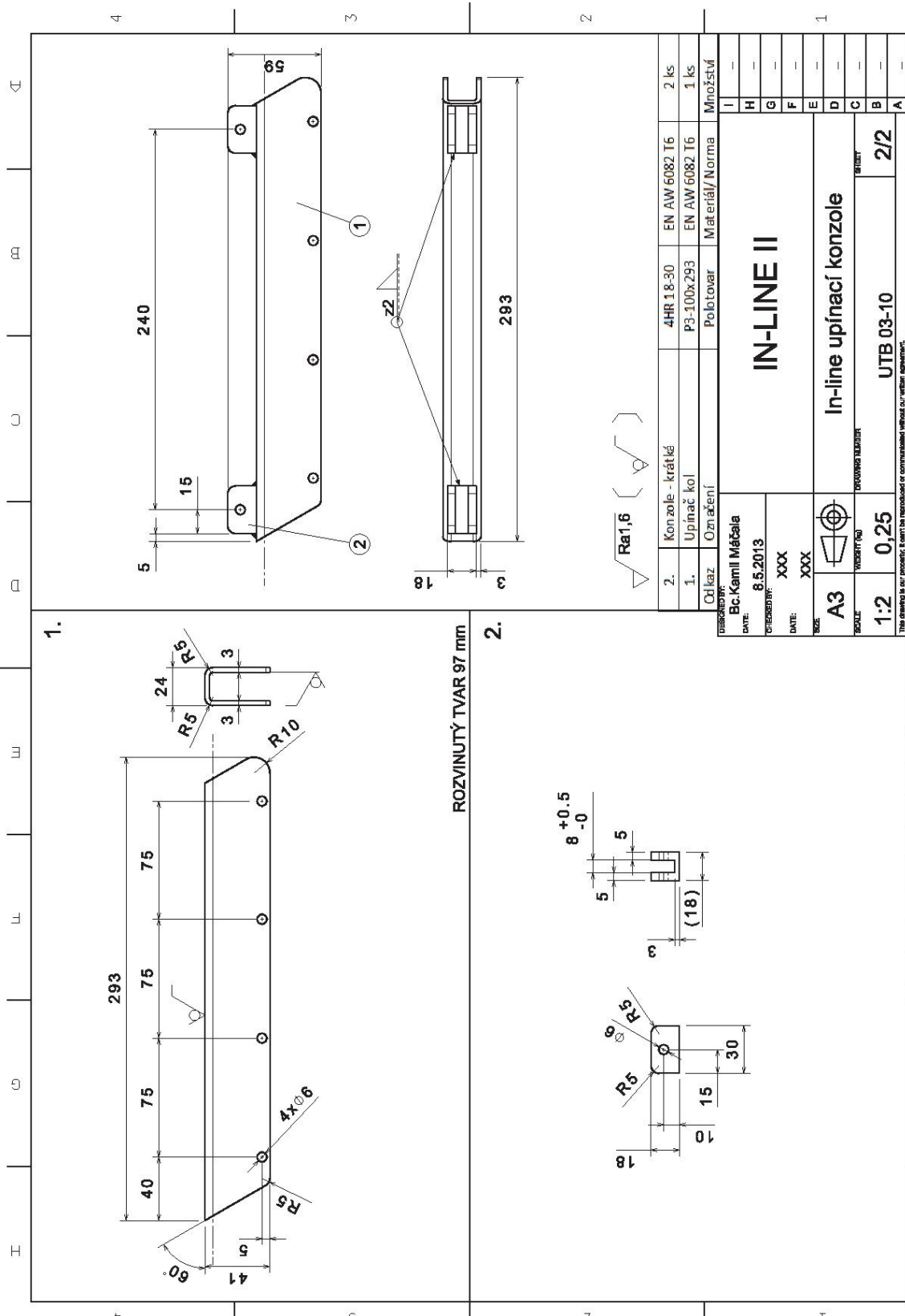
DESIGNED BY: Bc.Kamil Máčala		<h1>IN-LINE</h1>		I	-
DATE: 8.5.2013				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX		<h2>Slide</h2>		F	-
SIZE: A4				E	-
				D	-
		C	-		
SCALE: 1:1	WEIGHT (kg): 0,02	DRAWING NUMBER: UTB 02-19	SHEET: 2/2	B	-
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>				A	-

45.	Šroub s vnitř. šestihranem M6x35		ČSN 02 1143		4 ks
44.	Podložka 5		ČSN 02 1703		2 ks
43.	Matice M5		ČSN 02 1403		1 ks
42.	Šroub s vnitř. šestihranem M5x35		ČSN 02 1143		1 ks
41.	In-line kolečko 64 mm				4 ks
40.	Šroub se zápuštnou hlavou M3		ČSN 02 1151		4 ks
39.	Podložka 6,4		ČSN 02 1703		14 ks
38.	Matice M6		ČSN 02 1403		8 ks
37.	Šroub s vnitř. šestihranem M6x30		ČSN 02 1143		2 ks
36.	Matice M8		ČSN 02 1403		1 ks
35.	Šroub šestihranný M8x60		ČSN 02 1101		1 ks
34.	Šroub šestihranný M8x85		ČSN 02 1101		1 ks
33.	Šroub šestihranný M8x65		ČSN 02 1101		1 ks
32.	Pružina tlačná 2x18x14x6		DIN 17 224		2 ks
31.	Pružný člen				1 ks
30.	Matice rýhovaná M8				4 ks
29.	Pákový excentr M8				2 ks
28.	Pákový excentr M6				2 ks
27.	Pákový excentr M5				1 ks
26.	Sedlo		ABS		1 ks
25.	Kryt - pravý		Uhlíkový komp.		1 ks
24.	Kryt - levý		Uhlíkový komp.		1 ks
23.	Sedlová část		Uhlíkový komp.	UTB 01-23	1 ks
22.	Přední část		Uhlíkový komp.	UTB 01-22	1 ks
21.	Elastomerní prvek - malý		Př.ž - NBR 65 Z	UTB 01-21	2 ks
20.	Elastomerní prvek - velký		Př.ž - NBR 65 Z	UTB 01-20	1 ks
19.	Slide	KR 39 - 35	PA	UTB 02-19	2 ks
18.	Šroub sedlový	KR 25-23	EN AW-6082 T6	UTB 01-18	4 ks
17.	Podložka	KR 16-5	EN AW-6082 T6	UTB 01-17	2 ks
16.	Uchyacení sedla	P4 - 30x196	EN AW-6082 T6	UTB 01-16	2 ks
15.	Kluzné pouzdro	TR KR 15x3,5-35	Mosaz	UTB 01-15	1 ks
14.	Kontra matice	KR 48-8	EN AW-6082 T6	UTB 01-14	1 ks
13.	Závitová tyč	KR 8-28	ČSN 17 240	UTB 01-13	1 ks
12.	Levochodá matice		ČSN 17 240	UTB 01-12	1 ks
11.	Pravochodá matice		ČSN 17 240	UTB 01-11	1 ks
10.	In-line konzole	P3 - 97x293	EN AW-6082 T6	UTB 03-10	1 ks
9.	Spodní část		EN AW-6082 T6	UTB 01-09	1 ks
8.	Vídlíce - pravá	PLO 50x20-85	EN AW-6082 T6	UTB 01-08	1 ks
7.	Vídlíce - levá	PLO 50x20-85	EN AW-6082 T6	UTB 01-07	1 ks
6.	Přítlačná deska		ČSN 16 220	UTB 01-06	2 ks
5.	Aretační deska	P3 - 50x52	ČSN 16 220	UTB 01-05	2 ks
4.	Kloub - vnější	4HR50-96	EN AW-6082 T6	UTB 01-04	1 ks
3.	Kloub - vnitřní	4HR50-105	EN AW-6082 T6	UTB 01-03	1 ks
2.	Svěrný spoj		EN AW-6082 T6	UTB 01-02	1 ks
1.	Opora nohou		EN AW-6082 T6	UTB 01-01	1 ks
Pozice	Název	Polotovár	Materiál/ norma	Číslo výkresu	Množství
Vypracoval: Bc. Kamil Máčala			Datum:	7.4.2013	
IN-LINE II (č. sestavy UTB 03)					



Vyrobca: Bc. Kemil Měděla Datum: 8.5.2013 Verze: XXX Stav: XXX Měřítko: A2 Měřítko: 1:5 Číslo: 5.83		SLEDGE BRUSLE Hlavní sestava In-line II UTB 03 1/2	
I	—	A	—
H	—	B	—
F	—	C	—
E	—	D	—
D	—	B	—
C	—	A	—

Hlavní sestava In-line II, UTB 03, 1/2, 5.83, A2, 1:5, XXX, XXX, 8.5.2013, Bc. Kemil Měděla



2. Konzole - krátké EN AW 6082 T6 4HR 1.8-30 EN AW 6082 T6 2 ks	
1. Upínač kol P3-100x293 EN AW 6082 T6 1 ks	
Odkaz Označení Polotovár Materiál/Norma Množství	
IN-LINE II	
In-line upínací konzole	
UTB 03-10	
2/2	

TĚŽISŤOVNÍK: Bc. Kamil Mátěala	
DATE: 8.5.2013	
OPRÁVĚNÍ: XXXX	
DATE: XXXX	
ÚZEL: XXXX	
TYP: A3	
MĚŘÍTKO: 1:2	
ÚROVEŇ: 0,25	
PRŮMYSLOVÝ NÁČRTEK	
This drawing is not protected. It can be reproduced or communicated without our written agreement.	