

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh volantu pro závodní vůz kategorie Formula Student

Autor: **Stanislav Vrba**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**
Konzultant: **Ing. František Sedláček**

Akademický rok 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav VRBA**
Osobní číslo: **S14B0292P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Návrh volantu pro závodní vůz kategorie Formula Student**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte návrh volantu s vybranými navazujícími prvky pro vůz kategorie Formule Student a implementujte jej do celkové konstrukce vozidla. Přičemž navržená konstrukce musí zcela splňovat pravidla stanovená soutěží FSAE pro rok 2016/17 s upřednostňujícím ohledem na funkčnost a hmotnost systému.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Proveďte rešerši současného stavu v oblasti konstrukčního provedení volantů u monopostových vozů kategorie Formule SAE
2. Specifikace požadavků
3. Návrh nového konstrukčního řešení
4. Vypracování CAD modelu se začleněním do sestavy
5. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

BARBERO, E. J. *Introduction to Composite Materials Design, Second Edition.* Miami: CRC Press, 2011

TRZESNIEWSKI, M. *Rennwagentechnik.* Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014

INTERNATIONAL, SAE 2017-18 Formula SAE Rules. <http://www.fsaeonline.com/>.
[Online] 2. September 2016.
<http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%209.2.16a.pdf>,
2016

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce:

Ing. František Sedláček

Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat kolegům z firmy CompoTech Plus, zejména Ing. Vítku Šprdlíkovi a Petru Jíchovi za cenné odborné rady. Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Martinu Hynkovi, Ph.D. za vedení.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mi umožnila studovat na vysoké škole a byla mi po celou dobu studia oporou.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vrba	Jméno Stanislav	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, PhD.	Jméno Martin	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh volantu pro závodní vůz kategorie Formula Student		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	84	TEXTOVÁ ČÁST	42	GRAFICKÁ ČÁST	42
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá návrhem volantu pro závodní vůz kategorie Formula Student. V práci jsou nejprve specifikovány požadavky na návrh. Následně práce řeší konstrukci volantu a technologii výroby, včetně přidružených přípravků.</p> <p>Pevnostní a tuhostní vlastnosti konstrukce jsou ověřeny za pomoci numerických simulací na principu metody konečných prvků. Pozornost je rovněž věnována řešení ergonomie systému řízení od otisků dlaní řidičů až po pokročilé ergonomické analýzy.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>kompozit, MKP, volant, laminát, FSAE</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vrba	Name Stanislav	
FIELD OF STUDY	2301R016 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, PhD.	Name Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design steering wheel for racing car Formula Student category		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	42	TEXT PART	42	GRAPHICAL PART	42
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis deals with design of a steering wheel for Formula Student. Firstly, the requirements for design are specified. After that the thesis solves design of a steering wheel and a technology of manufacturing including associated products. The strength and stiffness are verified by numerical simulation on a principle of finite element model. The ergonomics of a system is also taken into account.
KEY WORDS	composite, FEA, steering wheel, laminate, FSAE

Obsah

Seznam použitých veličin	8
Úvod	9
1 Specifikace požadavků	10
1.1 Rozměry a tvar	10
1.2 Ergonomie	10
1.3 Připojení	10
1.4 Elektroinstalace	10
1.5 Řazení	12
1.6 Povrch	12
1.7 Pevnost	12
1.8 Cena	13
2 Současné řešení - volant UWB03	14
3 Návrh konstrukčního řešení	15
3.1 Použitý materiál	15
3.2 Výrobní postup	16
3.2.1 Formy	16
3.2.2 Způsoby laminace	16
3.2.3 Laminace prepregové tkaniny	16
3.2.4 Laminace prosycené tkaniny a tupý spoj	17
3.2.5 Laminace prosycené tkaniny a přeplátovaný spoj	18
3.3 Postup návrhu	18
3.3.1 Vnější tvar	18
3.3.2 Střední část	19
3.3.3 Zástavba elektroniky	20
3.3.4 Připojení	22
3.4 Ergonomie	23
3.5 Řazení	24
3.6 Skladba	26
3.7 Forma volantu	27
3.8 Pevnostní výpočet	29
3.8.1 Definice materiálu	29
3.8.2 Výpočtový model	30
3.8.3 Síť	32
3.8.4 Simulace	34
3.8.5 Vyhodnocení výpočtu	38
3.9 Začlenění do sestavy	43
3.10 Ověření ergonomie pomocí Human modeling	45
3.11 Výrobní dokumentace	45

4	Výroba	47
4.1	Příprava forem a rámečků	47
4.2	Separace	47
4.3	Laminace pohledové vrstvy	47
4.4	Laminace nosných vrstev	47
4.5	Zalisování	47
4.6	Spojení polovin	48
4.7	Montáž	48
5	Závěr	49
	Literatura	51
	Příloha A Podklady k použitému tlačítku	54
	Příloha B Podklady k použitému otočnému přepínači	56

Seznam použitých veličin

Veličina	Jednotka	Název
F	[N]	Síla
m	[kg]	Hmotnost
a	[m · s ⁻²]	Zrychlení
g	[m · s ⁻²]	Gravitační zrychlení (9,81 m · s ⁻²)
M	[N · m]	Točivý moment
1, 2, 3	-	Souřadnicové osy (též x,y,z nebo L,T,T')
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
E_1	[MPa]	Modul pružnosti v tahu ve směru 1
E_2	[MPa]	Modul pružnosti v tahu ve směru 2
E_3	[MPa]	Modul pružnosti v tahu ve směru 3
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
G_{12}	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku v rovině 12
G_{13}	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku v rovině 13
G_{23}	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku v rovině 23
ν	[-]	Poissonova konstanta
ν_{12}	[-]	Poissonova konstanta v rovině 12
ν_{13}	[-]	Poissonova konstanta v rovině 13
ν_{23}	[-]	Poissonova konstanta v rovině 23
R_m	[MPa]	Napětí na mezi pevnosti v tahu
$R_{P0,2}$	[MPa]	Smluvní napětí na mezi kluzu
s	[-]	Bezpečnost
ρ	[kg · m ⁻³]	Hustota
T	[°C]	Maximální teplota
T_{MAX}	[°C]	Teplota
U	[V]	Elektrické napětí
v_f	[%]	Objemový podíl vláken
v_m	[%]	Objemový podíl matrice
X^T	[MPa]	Mez pevnosti v tahu v podélném směru
Y^T	[MPa]	Mez pevnosti v tahu v příčném směru
Z^T	[MPa]	Mez pevnosti v tahu ve směru kolmo na vrstvu
X^C	[MPa]	Mez pevnosti v tlaku v podélném směru
Y^C	[MPa]	Mez pevnosti v tlaku v příčném směru
Z^C	[MPa]	Mez pevnosti v tlaku ve směru kolmo na vrstvu
S^L	[MPa]	Podélná mez pevnosti ve smyku
S^T	[MPa]	Příčná mez pevnosti ve smyku
σ_1	[MPa]	Normálové napětí ve směru 1
σ_2	[MPa]	Normálové napětí ve směru 2
σ_{12}	[MPa]	Smykové napětí ve směru 12

Úvod

Formule student je mezinárodní soutěž univerzitních týmů organizovaná asociací SAE (Society of Automotive Engineers). Šampionátu se účastní týmy univerzit z celého světa složené ze studentů různých fakult.



Obrázek 1: Vůz UWB 03 - pro sezonu 2015-2016

Podstatou soutěže je postavit pro každou sezónu okruhový závodní vůz, řízený studentem, který není držitelem profesionální závodní licence. Výstupem práce týmu není pouze samotná konstrukce vozu, ale i ekonomická rozvaha pro výrobu 1000 kusů vozu ročně. Pro splnění těchto úkolů je třeba hladké spolupráce budoucích techniků, ekonomů, ale i manažerů a dalších.

Jednotlivá navržená řešení je třeba obhájit před komisaři z řad odborníků. Nadpoloviční většinu bodového hodnocení však tvoří dosažené výkony v závodních disciplínách jako sprint, autocross a další...

Cílem předkládané práce je konstrukce volantu s ohledem zejména na hmotnost a ergonomii. Je třeba zvolit materiál a koncepci provedení. Dále navrhnout tvar s ohledem na připojení návazných systémů. Následně pak ověřit tuhostní vlastnosti pomocí výpočtu.

1 Specifikace požadavků

Celý vůz podléhá pravidlům **Formula Student 2016-2017**. Splnit požadavky dané pravidly je bezpodmínečně nutné proto aby vůz prošel technickou přejímkou. Další nároky kladené na konstrukci v této kapitole mají za cíl hlavně zpříjemnění řízení.

1.1 Rozměry a tvar

Jsou omezeny pravidly T6.5.6 a T6.5.7.

Z bezpečnostních důvodů musí mít volant spojený vnější tvar. Zároveň nesmí kterákoli jeho část v žádné poloze být vyšší než rám vozu. Toto pravidlo má ochránit jezdce pokud by došlo k převrácení vozu.

Z hlediska minimalizace ovládacích sil a zvýšení přesnosti řízení je výhodný co největší volant. Musí však respektovat výše uvedená pravidla.

1.2 Ergonomie

Je nezbytné aby volant řidiči poskytoval pohodlný úchop a dobrou oporu pro přenos ovládacích sil.

Dále je třeba zajistit pohodlný přístup k ovládacím prvkům, které budou aktivně používány během jízdy. Zároveň je třeba zabránit nechtěnému stisku tlačítek v krajní poloze volantu. Tato poloha je vymezena rozsahem otáčení $+90^\circ$ až -90° . V krajním případě $+120^\circ$ až -120° .

Pravidlo T3.12.5 hovořící o maximální vzdálenosti volantu od rámu vozu ovlivňuje ergonomii posezu řidiče v kokpitu.

1.3 Připojení

Volant navazuje na tyč řízení. Tohoto spojení se týkají pravidla T6.5.1, T6.5.4 a T4.8. Volant musí být tedy mechanicky spojen s tyčí řízení pomocí rychlospojky, kterou je řidič schopen ovládat v rukavicích. Z bezpečnostních důvodů je nutné aby rychlospojka pracovala bezchybně, přenesla dostatečný moment a zároveň měla dostatečně jednoduché ovládání s jasně vymezenou polohou „odemčeno“ a „zamčeno“.

1.4 Elektroinstalace

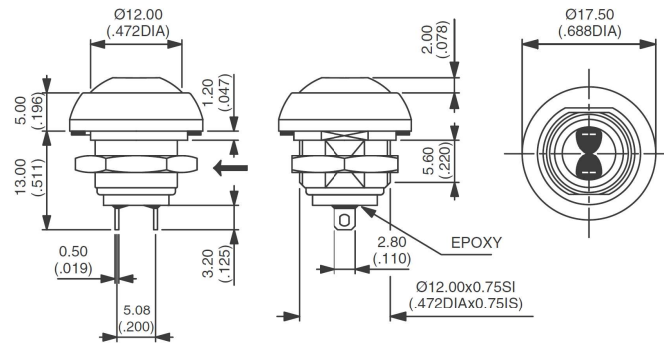
Volant ovšem neslouží pouze k ovládání řízení, ale obsahuje řadu prvků elektroinstalace. Samotná implementace ovladačů bude vyžadovat přípravu ploch pro montážní otvory. Zároveň je třeba řešit otázku způsobu montáže ovladačů.

Ve volantu bude umístěna na míru navržená řídicí jednotka, která je napájena palubním napětím 12V. Jednotka bude s palubními systémy komunikovat pomocí sběrnice CAN. Propojení bude realizováno 4žilovým kabelem (2 žíly napájení, 2 žíly CAN). Kabel bude zakončen konektorem Binder 712 s deklarovaným krytím IP67.

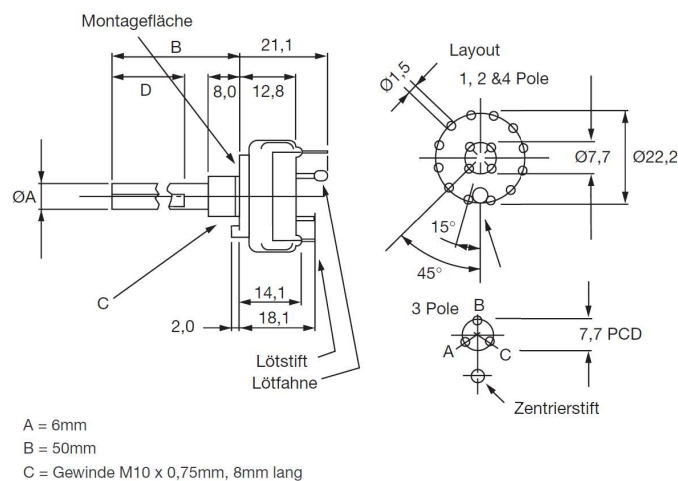
Potřebné ovládací prvky:

- Tlačítko DRS (drag reduction systém)
- Otočný přepínač DRS
- Tlačítko spojky
- Tlačítko neutrální polohy převodovky
- Tlačítko radiostanice
- Tlačítko start limiter
- Otočný přepínač palivové mapy
- 2 tlačítka ovládání řazení

Zvolená tlačítka a otočné ovladače již byly použita v předchozích verzích. Kompletní specifikace v přílohách A a B.



Obrázek 2: Tlačítko APEM IBR3SAD2 - viz PŘÍLOHA A



Obrázek 3: Otočný přepínač LORLIN CK-1051 - viz PŘÍLOHA B

1.5 Řazení

Součástí konstrukce je i řešení ovládání řazení. Systém řazení je realizován dvojicí elektronických spínačů, které ovládají pneumatický rozvaděč řazení. Vstupem do řídicí jednotky je tedy elektronická informace o zařazení nižšího či vyššího rychlostního stupně.

Systém ovládání musí být mechanicky velmi odolný. Rovněž je vhodné minimalizovat počet pohyblivých součástí. Jelikož bude vystaven velmi hrubému zacházení, zejména při průjezdu zatáček a brždění bude pro řidiče obtížné dávkovat ovládací sílu. K mechanické odolnosti přispěje i umístění většiny pohyblivých dílů uvnitř skořepiny volantu. Ta jim poskytne dostatečnou ochranu.

1.6 Povrch

Úprava povrchu by měla být příjemná na dotyk, zejména v místech úchopu. Ergonomický tvar samotného volantu nevyžaduje protiskluzovou úpravu. Na druhou stranu je volant viditelný díl a je třeba zvolit vhodnou technologii laminace tak, aby vznikl na pohled přitažlivý povrch.

1.7 Pevnost

Ovládací síly na tyč řízení přenáší právě volant, ten tedy musí odolávat mechanickému namáhání. Na volant budou působit dva druhy zatížení:

- **Axiální síla od řidiče při zrychleném a zpomaleném pohybu**

Během decelerace působí na vůz zpomalení o velikosti zhruba 1,5 násobku gravitačního zrychlení. Řidič se zapře o volant, aby odolával setrvačné síle a působí tak na volant statickou silou. Z bezpečnostních důvodů musí být volant schopný přenést zatížení vyvolané zpomalením o velikosti dvojnásobku gravitačního zrychlení.

Velikost statické síly D_1 :

$$D_1 = m \cdot a = 100 \cdot 2 \cdot 9,81 = 1962 \text{ N} \quad (1)$$

Při akceleraci se vůz pohybuje se zrychlením 1,2 násobku gravitačního zrychlení. Z bezpečnostních důvodů musí být volant schopný přenést zatížení vyvolané zapřením se řidičem do volantu při zrychlení o velikosti 1,7 násobku gravitačního zrychlení.

Velikost statické síly D_2 :

$$D_2 = m \cdot a = 100 \cdot 1,7 \cdot 9,81 = 1667,7 \text{ N} \quad (2)$$

Směr sil se určí ze směru zrychlení (zpomalení) pohybu. Při zrychlení působí síla na volant proti směru jízdy. Při zpomalení po směru jízdy.

Tato zatížení poslouží k definici zátěžných stavů.

• **Krouticí moment z tyče řízení**

Pro určení velikosti momentu působícího na volant lze využít experimentální měření Steva Foxe, jehož měření popisuje silové působení dobrovolníků na volant. Jako statistický vzorek použil 16 studentů ve věku 19-23 let různé tělesné konstituce. K měření použil volant o průměru 254 mm. Síly byly měřeny ve třech polohách. Naměřené hodnoty krouticích momentů v N · m zachycuje následující tabulka.

Řidič	Pohlaví	Výška [cm]	Váha [kg]	Nat. ruce	Uprostřed	Blízko těla
MAT	Ž	183	64	34	41	41
CMM	Ž	173	77	34	37	43
BAK	M	170	70	47	41	47
SAK	M	188	64	41	47	47
NJP	M	170	59	41	47	47
MAF	M	175	77	50	61	56
DHC	M	180	73	47	68	61
SKW	M	175	68	47	61	61
JAC	M	175	64	54	61	61
TMJ	M	190	70	50	57	61
YAY	M	175	68	54	61	68
AAS	M	183	73	68	68	68
JWW	M	175	64	50	64	70
SMF	M	183	84	71	81	81
JAS	M	175	66	50	74	84
PKF	M	175	100	66	80	88

Tabulka 1: Velikosti momentu na volant v N · m - viz [3]

Výsledné hodnoty ukazují, že velikost síly na volant je závislá na síle řidiče a vzdálenosti od volantu. Je patrné, že statický moment nepřekračuje 100 N · m. Moment kritické velikosti bude vyvozen při průjezdu vozu zatáčkou, kde přední kola narazí na překážku v podobě například obrubníku. Při zohlednění těchto nenávrhových stavů a zahrnutí bezpečnosti bude velikost momentu použitého pro výpočet 400 N · m.

1.8 Cena

Značnou část bodového zisku v šampionátu FSAE tvoří “cost analysis“. Největší část ceny volantu tvoří výroba forem pro laminaci. Jejich cenu lze snížit optimalizací výsledného tvaru a volbou výhodné polohy dělicí roviny.

2 Současné řešení - volant UWB03

Současný volant je vyroben ze dvou polovin jako skořepina z uhlíkových vláken. Jako výrobní technologie byla zvolena laminace prepreg tkaniny o gramáži 200 g/m². Pro laminaci předního dílu bylo použito 8 vrstev zadního pak 10.

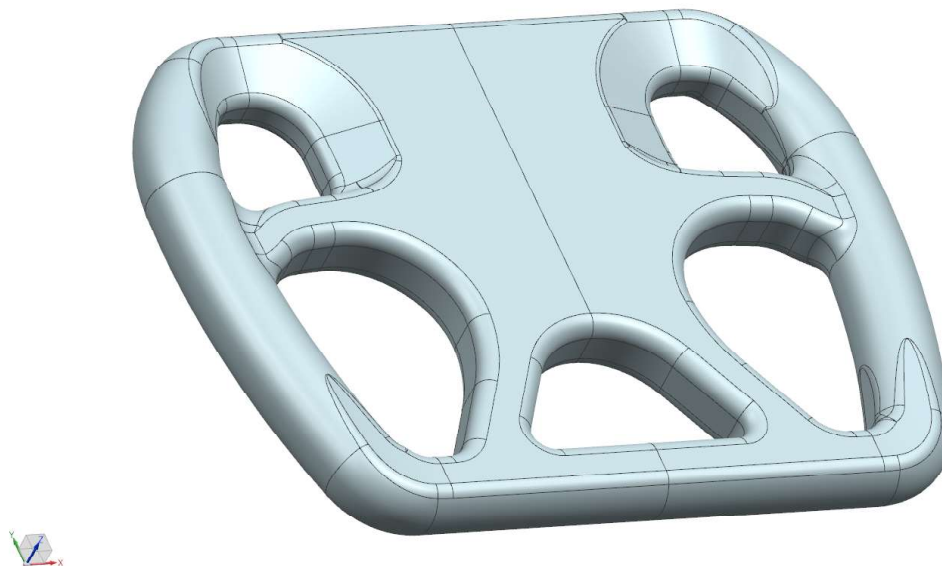
Připojení volantu k tyči řízení je realizováno rychlospojkou od firmy Sparco. Ta je zašroubována do zadního dílu. Není připevněna pouze do kompozitu, ale šroubový spoj vede až do destičky z hliníkové slitiny, která je vlepena zevnitř do skořepiny. Toto řešení přispívá k příznivějšímu rozložení napětí.

Do laminátu jsou zašroubována celkem 4 tlačítka. Další dvě obsahuje mechanismus ovládání řazení. Tlačítka jsou s řídicí jednotkou spojena kabelem. Ten má v místě rychlospojky spirálovitý tvar, což umožňuje manipulaci s volantem mimo rychlospojku.

Samotný tvar není ergonomicky příliš vhodný. Nejvíce si řidiči stěžují na celkově malé rozměry, hlavně malou tloušťku. Malý vnější obvod vyžaduje větší ovládací síly a tedy zvýšené fyzické nároky na řidiče. V místech úchopu je kompozit obšitý látkovým potahem, tím se částečně řeší problém s ergonomií.

V předním dílu je obdélníkový otvor uzavřený destičkou. Slouží pro přístup k elektronice a případným opravám. Je zajištěna čtyřmi nýty. Spoj nýtem vyžaduje pro rozebrání odvrtání nýtu a následné zanýtování. Z tohoto důvodu není příliš vhodný pro častý vstup.

Ovládání řazení je vyřešeno otočnými pádly. V obrobku z hliníkové slitiny je uložena dvojice ovládacích tlačítek. Pádlo je se základním dílem spojeno šroubovitou pružinou. Skrze pružinu vede šroub, kterým lze v určitém rozsahu nastavit zdvih pádla. Použité řešení obsahuje množství pohyblivých součástí. Je tedy náchylné na mechanickou závadu.



Obrázek 4: Volant UWB03 - sezóna 2015-2016

3 Návrh konstrukčního řešení

Tvar volantu je omezen rozměry podle pravidel popsanych v kapitole 1.1 - Specifikace požadavků. Dalším důležitým požadavkem je ergonomický tvar úchopů.

Volant byl proveden jako kompozitová skořepina s jednou dělicí rovinou.

3.1 Použitý materiál

Materiálem použitým pro výrobu je vláknový kompozit. Obecně se vláknový kompozitní materiál skládá ze dvou základních složek. Výztuhy (vláken) a matrice (pryskyřice). Spojením těchto složek vzniká orientovaná makroskopická struktura, která má výrazně lepší vlastnosti než složky samotné. Dochází tedy k synergickému efektu. Funkcí vláken je přenos zatížení. Hlavní funkcí matrice je držet vlákna ve správném směru, pomáhat distribuovat napětí a chránit vlákna před mechanickým poškozením. Zásadní pro maximální únosnost je orientace skladby.

Možné uspořádání vláken v tkanině:

- Jednosměrné uspořádání (UD - Unidirectional)
- Dvousé uspořádání (Bi-axial)
- Rohož - netkaná textilie
- Víceosá výztuž z kontinuálních vláken - tkanina (KEPR)

Materiál používaný na výrobu vláken je sklo, uhlík, aramid a další...

Materiál vlákna	Sklo	Aramid	HS uhlík	HM uhlík	UHM uhlík
E_1 [MPa]	74 000	130 000	230 000	390 000	780 000
X^T [MPa]	2 100	3 000	5 000	3 800	4560
ρ [kg · m ⁻³]	2 500	1 500	1 600	1 700	800

Tabulka 2: Vlastnosti vláken používaných jako výztuha - viz [1]

Matrice je tvořena pryskyřicí. Mezi nejčastěji používané patří:

- Epoxidové
- Polyesterové
- Fenolové
- Polyamidové

Spojením vláken a matrice vznikne materiál, který dosahuje nejen výborných mechanických vlastností, ale i chemické a teplotní odolnosti. Kompozitové díly zároveň mají velmi malou hmotnost.

Druh pryskyřice	Epoxidové	Polyesterové	Fenolové	Polyamidové
E [MPa]	4 500	4 000	3 000	4 000 - 19 000
ν [-]	0,4	0,4	0,4	0,35
R_m [MPa]	130	80	170	70
T_{MAX} [°C]	90 - 200	60 - 100	120 - 200	250 - 300

Tabulka 3: Vlastnosti pryskyřic používaných jako matrice - viz [1]

Při výrobě skořepinového dílu nejsou plochy tvořeny jednotlivými vlákny, ale dopředu připravenou tkaninou. Samotné svazky vláken lze s výhodou použít jako nosné prvky. Podle struktury tkaniny existují různé druhy, např.: KEPR, bi-axial, UD atd. Tkaniny se vzorem KEPR jsou pro svůj charakteristický vzhled používány jako povrchová vrstva. Bi-axiální tkanina přenáší torzní napětí, UD pak ohyb ve směru vláken.

3.2 Výrobní postup

Obecně jde o laminovanou skořepinu s reaktoplastickou matricí, technologií výroby je tedy laminace. Laminace je zaformování tkaniny prosycené pojivem do formy a následné vytvrzení. Během něho dojde ke ztuhnutí pojiva a materiál získá požadované vlastnosti.

3.2.1 Formy

Forma je výrobní prostředek sloužící k zaformování kompozitního materiálu. Tím získá kompozit tvar ve kterém se vytvrdí. Jako materiál formy přichází v úvahu například: hliníková slitiny, dřevo, plast a další...

Materiál a kvalita povrchu formy má zásadní vliv na jakost povrchu výrobku. Například dřevěná forma dodá kompozitu nejhorší povrch, na druhou stranu bude nejlevnější. Stejně jako plastová forma nebude mít dřevěná dlouhou životnost a dojde k jejímu brzkému poškození.

3.2.2 Způsoby laminace

Pro skořepinový díl přichází v úvahu tyto technologie výroby:

1. Laminace prepregové tkaniny
2. Laminace prosycené tkaniny a tupý spoj
3. Laminace prosycené tkaniny a přeplátovaný spoj

3.2.3 Laminace prepregové tkaniny

Uhlíková tkanina ve formě prepregu má oproti jiným technologiím výhodu ve snadném zpracování. Tkanina je již od výrobce prosycena pryskyřicí. Zároveň je pryskyřice rovnoměrně distribuována mezi vlákna, tím je dosaženo vyššího objemového podílu. Během skladování se prepregová tkanina udržuje v mrazu, aby pryskyřice netvrdla.

Postup výroby:

- Příprava forem
- Separace
- Laminace pohledové vrstvy
- Laminace nosných vrstev
- Tepelné vytvrzení (např. v autoklávu)
- Lepení polovin výrobku k sobě
- Dodatečné opracování

3.2.4 Laminace prosycené tkaniny a tupý spoj

- Příprava forem
- Separace
- Laminace pohledové vrstvy
- Laminace nosných vrstev
- Zalisování a vytvrzení
- Lepení polovin výrobku k sobě
- Dodatečné opracování

Před samotnou laminací je nutné provést přípravu formy. Ta spočívá v precizním opracování povrchu formy. Jakákoliv nedokonalost se totiž obtiskne do povrchu výrobku. Následuje tzv. naseparování formy. Jedná se o nátěr míst formy, které přijdou do styku s pryskyřicí separační látkou. Tím bude zaručeno snadné vyjmutí skořepiny z formy. Následně se provede laminace pohledové vrstvy tkaniny. Ta je jen velmi málo prosycena, aby umožnila dobré zaformování do všech tvarových ploch a vytvořila tak kvalitní povrch, nechá se téměř vytvrdnout. Tímto se zafixuje vzor položené vrstvy a nedojde k jeho poškození. Dále se pak laminují již standardně prosycené nosné vrstvy.

Dalším krokem je zalisování laminátu. V tomto kroku dojde k odvedení přebytečné pryskyřice a zhutnění vrstev do výsledné tloušťky. Zároveň se vlivem chemické reakce pryskyřice vytvrdí. Lze jej provést buď protikusem formy (značně nákladné), nebo použít superelastickou folii.

Při použití folie se vloží vylaminovaná forma do vaku z folie a odsaje se z něj vzduch. Tím vyplní všechny dutiny a zalisuje laminát ke stěnám.

Po zalisování se vyjmou obě poloviny skořepiny, zafrézuje se styčná plocha a poloviny se natupo slepí.

Finálně se přebrousí lepený spoj. Výhodou je jednodušší forma a snadnější spojení polovin. Nevýhodou je pak malá únosnost lepeného spoje.

3.2.5 Laminace prosycené tkaniny a přeplátovaný spoj

- Příprava forem a rámečků
- Separace
- Laminace pohledové vrstvy
- Laminace nosných vrstev
- Zalisování
- Spojení polovin
- Dodatečné opracování

Příprava formy je totožná jako u předešlé metody. Rozdíl je ve formě. Ta má navíc ještě rámeček, který se přiloží nad dělicí rovinu a je oproti obrysu formy osazený směrem dovnitř. Vznikne na něm vnitřní plocha budoucího přeplátovaného spoje.

Během samotné laminace existují dva postupy. První možností je vylaminovat obě poloviny, včetně zmíněného osazení, pro přeplátovaný spoj, nechat je vytvrdnout, ofrézovat okraje a dvousložkovým lepidlem slepit vytvrzené poloviny k sobě.

Druhou možností je vylaminovat obě poloviny. Ostříhnout za vlhka okraj nad spodní polovinou. Mezi formy vložit nafukovací vak ze superelastické folie. Přiložit horní, stále nevytvrzený díl a nafouknout vak uvnitř. Tím dojde k zalisování a stisknutí spoje. Ten není vytvořen lepidlem, ale přímo pryskyřicí použitou k prosycení tkaniny. Výhodou takového spoje je větší únosnost. Do jisté míry totiž dojde k propojení kompozitu. Tento způsob je však náročnější na výrobu.

3.3 Postup návrhu

3.3.1 Vnější tvar

Pro návrh tvaru byl omezujícím faktorem maximální zástavbový rozměr, daný pravidly. Ten určil maximální průměr opsané kružnice. Vnitřní rozměr nebyl přesně omezen. Musel však poskytnout dostatek prostoru pro elektroinstalaci.

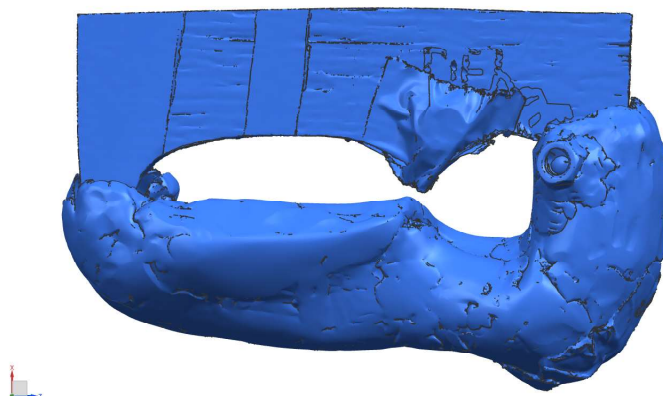
Návrh byl proveden v prostředí Siemens NX, pomocí modulu Surface.

Tvar části volantů, kde je řídič drží, je zásadní pro ergonomii. Tvar byl vytvořen podle otisku rukou řídičů do modelovací hmoty. Celkem byly zhotoveny 4 otisky pravých rukou různých řídičů. Zároveň byly vloženy značky pro umístění tlačítek. Po vytvrzení modelovací hmoty byl řídič vybrán nejpříjemnější tvar, který byl oscanován 3D scane-rem.

Výsledná plocha musí splňovat podmínky na výrobu. V praxi to znamená, že plocha byla vytvořena tak, aby v místě spojení v každém příčném řezu byla tečná na vodorovnou pomocnou čáru. Tím bylo zaručeno, že výrobek bude možné vyjmout z formy. Dále byl tvar vyhlazen a zjednodušen. Tyto úpravy mají za následek drobné místní odchylky od otisků.



Obrázek 5: Vybraný otisk dlaní v modelovací hmotě



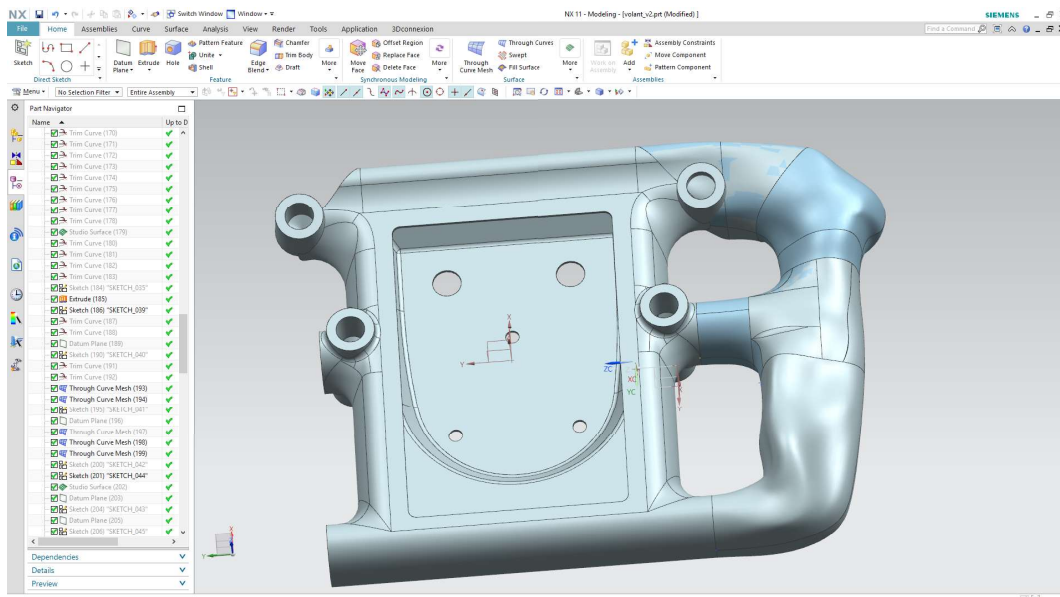
Obrázek 6: 3D scan otisku modelovací hmoty

3.3.2 Střední část

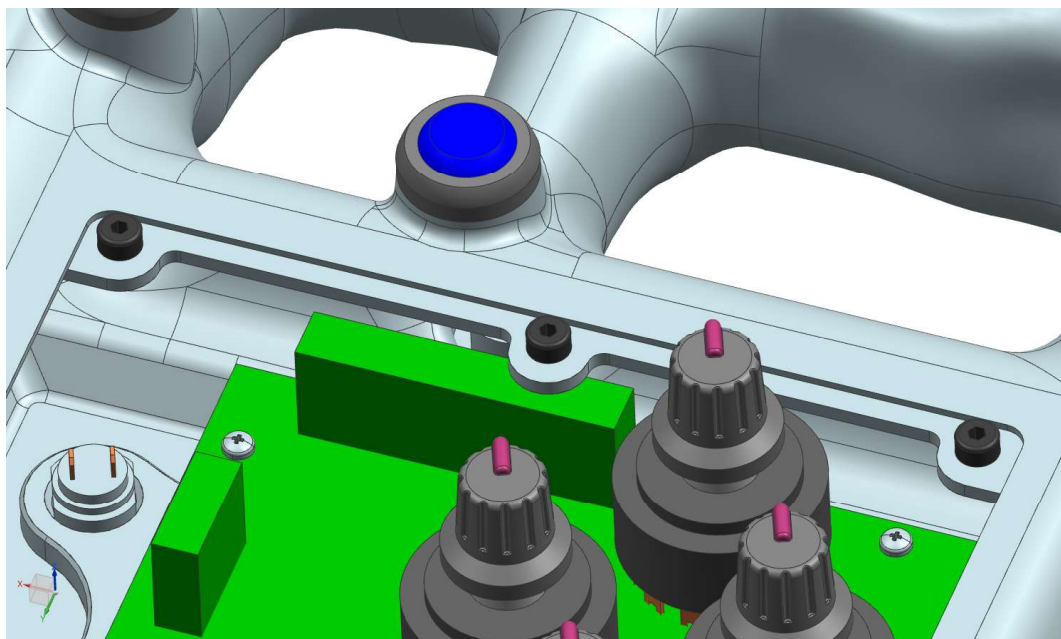
Ve střední části volantu je umístěna většina prvků řazení, elektroinstalace, připojení atd ...

K těmto komponentům bylo potřeba zajistit přístup. Zároveň jsou ve střední části uloženy otočné ovladače. Ve střední části byl proto vyfrézován obdélníkový otvor o rozměrech 120x80 mm. Otvor umožní pohodlnou montáž prvků řazení a elektroniky. Rovněž poskytuje dostatek prostoru pro montáž tlačítek.

Přípevnění krytu bylo vyřešeno pomocí vlepení lišty zevnitř. Z důvodu vyrobitelnosti závitu byla jako materiál lišty zvolena hliníková slitina. Tvar lišty byl optimalizován s ohledem na snížení hmotnosti. K vlepení bylo použito dvousložkové lepidlo Spabond. Samotná destička byla k liště připevněna šroubem M3 s hlavou s vnitřním šestihranem. Použité řešení umožňuje rychlejší rozebrání než nýtovaný spoj (použitý například u UWB03).



Obrázek 7: Postup návrhu v Siemens NX



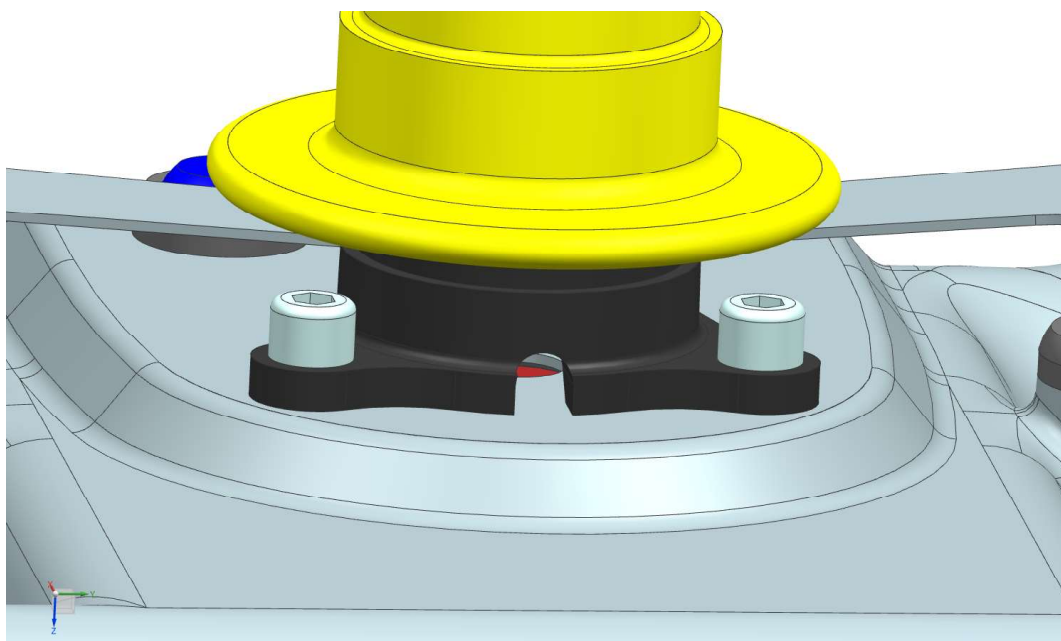
Obrázek 8: Připevnění krytu střední části

3.3.3 Zástavba elektroniky

Podstatná část vnitřního prostoru volantu je vyplněna prvky elektroinstalace. Do vnitřní dutiny bylo nutné uspořádat desku řídicí jednotky, otočné přepínače, tlačítka a v neposlední řadě kabeláž.

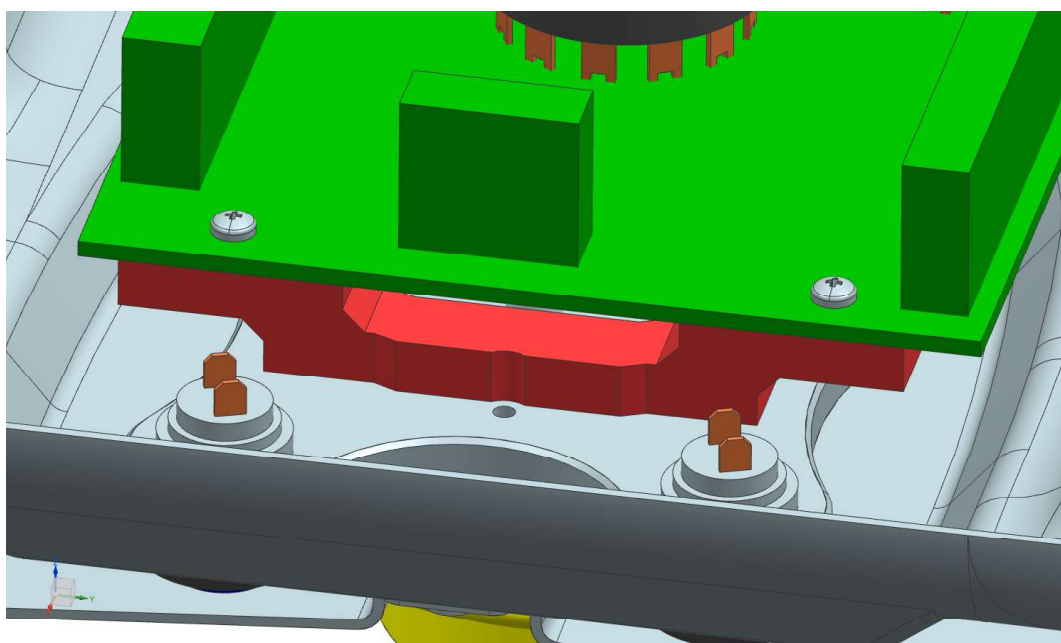
Použití řídicí jednotky je prostorově náročné, ale má řadu výhod. Patří k nim slabší kabel pro připojení volantu k vozu, ale například také možnost změnit rozložení tlačítek pomocí otočného přepínače. Pro kabel bylo třeba připravit otvor, kterým vystupuje z volantu. Otvor má průměr 10 mm a prochází do středu rychlospojky. Zároveň byla

do rychlospojky vyfrézována drážka, která zajišťuje kabel proti vytrhnutí.



Obrázek 9: Průchod kabelu sběrnice

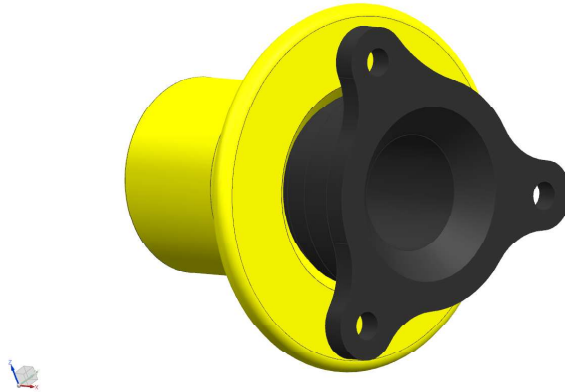
Deska řídicí jednotky má rozměry 120x80 mm a je osazena podle požadavků sběrnice. Pro její uložení ve volantu byly zhotoveny plastové podpory pomocí 3D tisku. Během tisku bylo použito vyplnění objemu voštinou. Díky použití voštiny bylo dosaženo minimální možné hmotnosti.



Obrázek 10: Připevnění desky řídicí jednotky

3.3.4 Připojení

Volant je k tyči řízení připojen rychlospojkou Steering quick release od firmy Sparco, která byla vybrána zejména na základě zkušeností týmu.



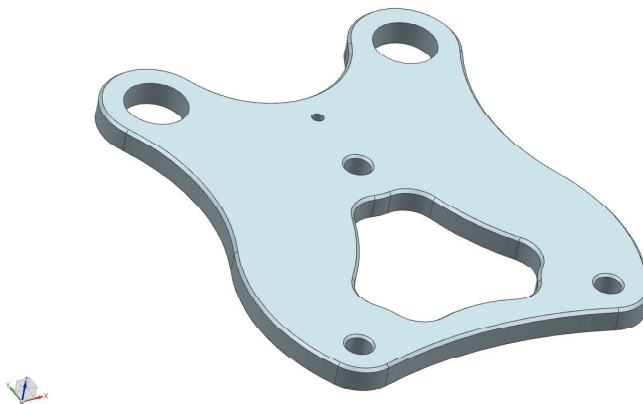
Obrázek 11: Rychlospojka Sparco - UWB04-03-20-002

Rychlospojka řeší požadavek pravidla T4.8, které požaduje, aby byl řidič schopen opustit vůz do 5 vteřin. Má dané připojovací rozměry.

Problematické bylo připojení. V případě, že by byl spoj vyřešen prostým zašroubováním šroubů do kompozitní skořepiny nebyl by spoj schopen přenášet síly z tyče řízení. K lepšímu rozložení napětí do kompozitu byla použita vložná destička z hliníkové slitiny. Byla použita slitina s označením EN AW 7075. Jejím použitím zároveň byla eliminována potřeba vložkovat kompozit, kvůli závitům.

Do vložky byla rovněž zašroubována tlačítka pro ovládání řazení, jejichž ukotvení by jinak vyžadovalo opět závitové vložky.

Tvar i materiál vložky byl vytvořen s ohledem na minimální hmotnost. Z tohoto důvodu je použito množství odlehčovacích otvorů. Středovým otvorem vložky zároveň prochází kabel spojující řídicí jednotku ve volantu s hlavní řídicí jednotkou.



Obrázek 12: Vložky z hliníkové slitiny - UWB04-03-20-008

Hlavní funkcí destičky je rozvést napětí na co největší plochu. Pro její připevnění byl použit lepený spoj, konkrétně dvousložkové lepidlo Spabond 345. Plochy lepeného spoje byly upraveny zdrsněním povrchu kompozitu i hliníkové slitiny. Pevnost ve smyku takto vytvořeného spoje je udávána 30 MPa v závislosti na lepených površích. - viz [2].

Pevnost lepeného spoje byla nadále podpořena silou vyvolanou šrouby, které spojují vložku, skořepinu a rychlospojku. Dále také vytvořením přechodu z lepidla k laminátu. Díky přechodu nehrozí odtržení destičky od laminátu.

3.4 Ergonomie

Zásadním požadavkem na volant bylo kvalitní provedení ergonomie. Vůz je, podle pravidel, vybaven řízením bez posilovače, proto jsou potřebné ovládací síly značné. Z toho plyne, že kvalitní úchop není pouze komfortní pro řidiče, ale umožňuje mu vyvinout nutnou ovládací sílu.

Pohodlného uchopení bylo dosaženo zhotovením ploch úchopu podle otisků, jak bylo popsáno v kapitole Vnější tvar.

Z hlediska ergonomie jsou zásadní výstupky v rozích, díky kterým se může řidič pohodlně zapřít při zatáčení. Nadruhou stranu jejich velikost je limitována jednak pravidlem T6.5.7. a také v jakémkoliv úhlu nesmí být výše než "the front hoop".

Pro ověření zachování ergonomičnosti po vyhlazení tvaru byl zhotoven vytištěný plastový model poloviny volantu.

Neméně důležité je rozložení tlačítek. Jejich poloha byla určena z otisků do modelovací hmoty.



Obrázek 13: Model volantu zhotovený pomocí 3D tisku

Model dostali do rukou řidiči k vyjádření. Každý řidič našel vlastní detail, který by chtěl změnit. Shodli se však na posunutí tlačítek na zadní straně volantu, která byla následně posunuta. Otočné ovladače jsou umístěny v prostřední destičce, a protože nejsou používány během jízdy, je pro ně důležitější úsporné prostorové uspořádání než hledisko ergonomie.

Dalším krokem ověření ergonomie byla ergonomická analýza v prostředí Siemens NX, modulu Human modeling. V tomto modulu se umístí model člověka patřičné tělesné konstituce do pozice, v níž bude užívat analyzované zařízení. Výsledkem analýzy pak je stupnice ukazující namáhání jednotlivých částí těla.

3.5 Řazení

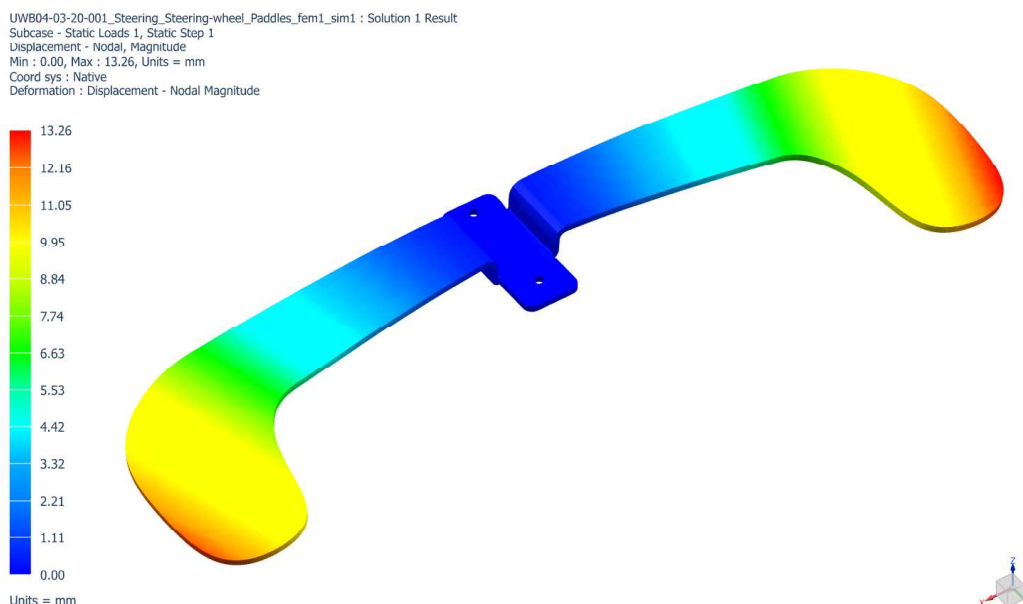
Pro řazení rychlostních stupňů byla použita tzv. pádla. Jejich výhodou oproti klasické řadicí páce je, že řidič nemusí rukou opouštět volant během řazení. Řazení je také výrazně rychlejší.

Obecně je tedy hlavním úkolem systému ovládání řazení získat informaci o zařazení vyššího nebo nižšího rychlostního stupně.

Konstrukční řešení bylo vybíráno ze dvou variant.

- Otočně uložené poloviny pádel
- Pružná pádla

Pro minimální počet pohyblivých částí, nižší hmotnost a minimální zástavbové rozměry byla vybrána varianta pružných pádel.



Obrázek 14: Posunutí pádel v mm při zatížení 20 N

Součástí systému řazení jsou také dvě tlačítka. Pro jejich připevnění byla prodloužena výztuha z hliníkové slitiny. Díky tomu bylo možné zašroubovat tlačítka do výztuhy.

Materiál	Vazba	Gramáž [g/m ²]	Tloušťka [mm]	Obchodní jméno
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T
Uhlík	Bi-axial	200	0.2	CBX200
Sklo	KEPR	200	0.25	UNIGLASS 200 P/T
Uhlík	UD	200	0.2	UD CST 200
Sklo	KEPR	200	0.25	UNIGLASS 200 P/T
Uhlík	Bi-axial	200	0.2	CBX200
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T

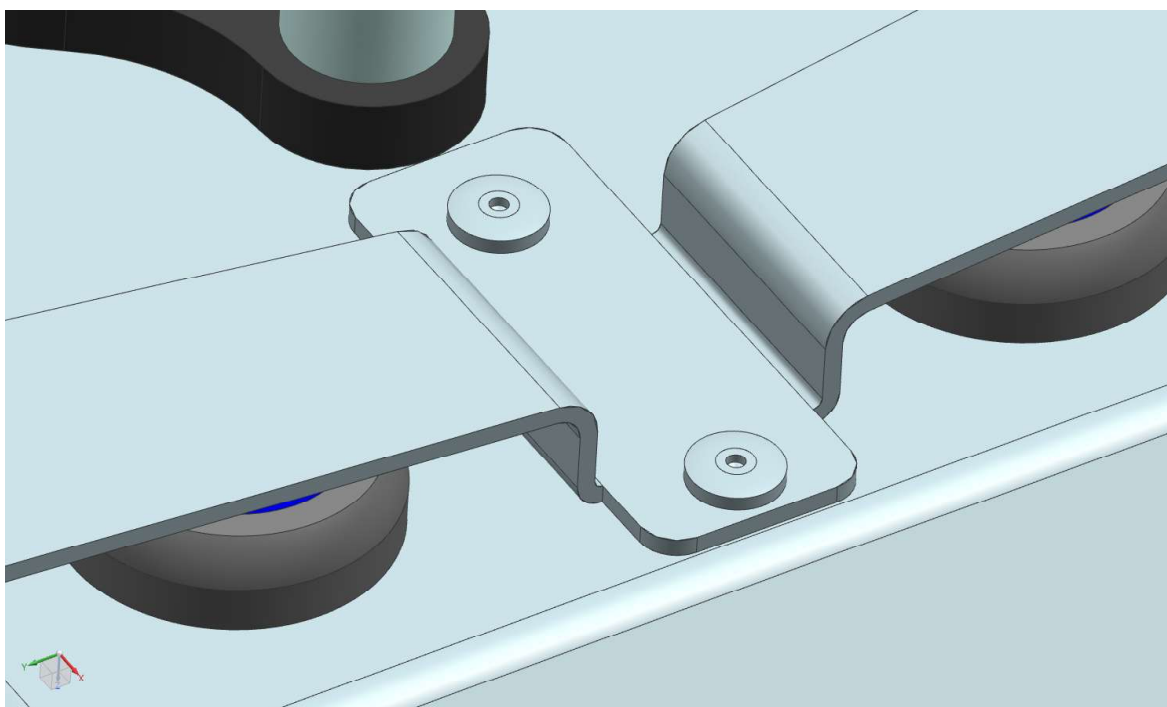
Tabulka 4: Skladba vrstev použitá na pádla

Výhodou použitého řešení je zejména vyšší tuhost celého systému, zároveň bylo možné tlačítka zapustit do skořepiny volantu.

Tvar pádel vznikl podle požadavků řidičů. Problematická byla otázka zdvihu. V místě tlačítek byl zdvih daný zdvihem tlačítka (přibližně 2 mm). Ovládací síla byla rovněž určena podle přání řidičů na 20 N.

Spojení pádel se skořepinou volantu bylo vyřešeno pomocí dvojice nýtů.

Skladba použitá pro pádla byla určena ze zkušenosti. Její vlastnosti pak byly ověřeny jednak pomocí numerické analýzy na principu konečných prvků a také výrobou vzorku.



Obrázek 15: Připojení pádel ke skořepině volantu

3.6 Skladba

Pro dosažení co nejlepších pevnostních vlastností je zásadní skladba a orientace vrstev kompozitu. Pokud jsou všechny vrstvy z totožného materiálu, výsledný výrobek se nazývá laminát. V případě použití rozdílných materiálů jde o tzv. hybridní laminát. V tomto případě jde tedy o uhlíkový laminát.

Materiál	Vazba	Gramáž [g/m²]	Tloušťka [mm]	Obchodní jméno
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T
Uhlík	Bi-axial	200	0.2	CBX200
Uhlík	UD	200	0.25	UD CST 200
Uhlík	Bi-axial	200	0.2	CBX200
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T

Tabulka 5: Skladba vrstev použitá na skořepinu volantu

V okolí připojovacích šroubů byla skladba zesílena o další dvě vrstvy (viz. kapitola Pevnostní výpočet):

Materiál	Vazba	Gramáž [g/m²]	Tloušťka [mm]	Obchodní jméno
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T
Uhlík	Bi-axial	200	0.2	CBX400
Uhlík	UD	200	0.25	UD CST 200
Uhlík	Bi-axial	200	0.2	CBX400
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T
Uhlík	KEPR	200	0.225	GG 200 T

Tabulka 6: Zesílená skladba vrstev použitá na skořepinu volantu

Na povrchovou tkaninu byla pro svůj charakteristický vzor použita tkanina KEPR 200 g/m². Vrstva Bi-axial 400 g/m² má význam z hlediska torzní tuhosti. Vrstva uhlíkové UD 200 g/m² má význam pro pevnost v podélném směru. Nebyla použita ve formě tkaniny, ale na boky byl použit pásek UD vláken o šířce 20 mm a na dno drážky uhlíkové vlákno, které lze vytvarovat do požadovaného tvaru. Poslední vrstva byla opět KEPR 200 g/m². Její účel je držet pohromadě všechny vrstvy. Zároveň vytváří vnitřní povrch skořepiny.

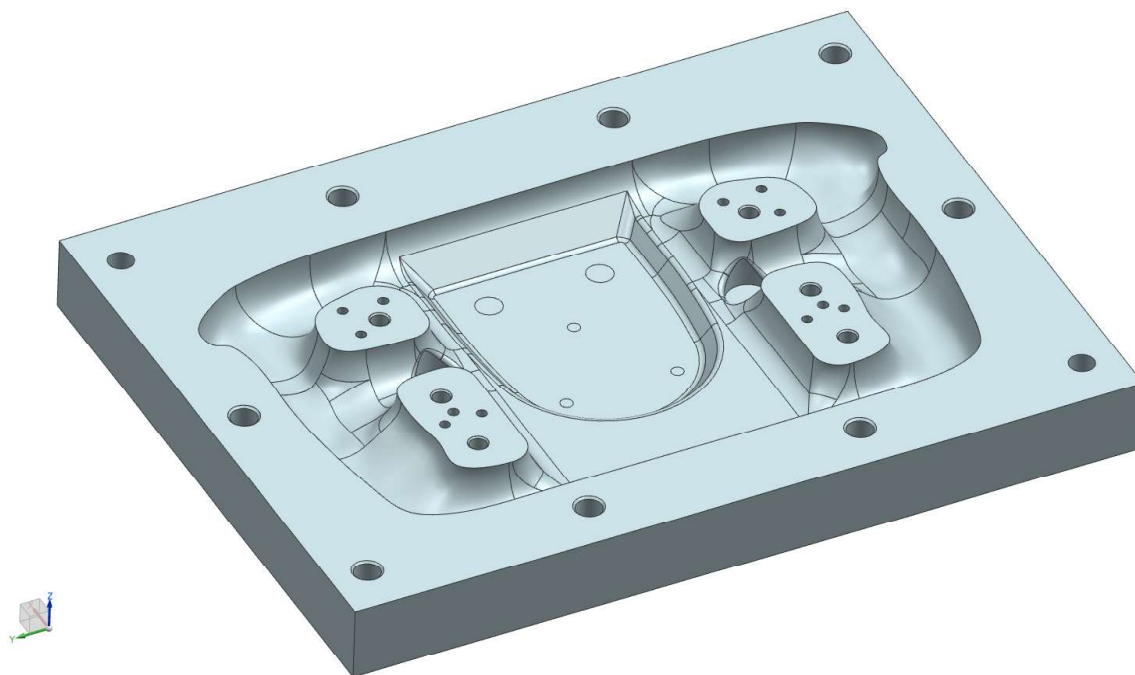
3.7 Forma volantu

Jak bylo výše uvedeno, kvalita povrchu formy je určující pro kvalitu povrchu výrobku. Z možných materiálů (dřevo, hliníková slitina, plast. . .) byla vybrána hliníková slitina. Zvolený materiál zaručí kvalitní povrch výrobku i možnost opakovaného používání. Jako nevýhodu lze uvést vysokou cenu. Nákladný je jednak materiál samotný, tak obrábění, které proběhlo na víceosé číslicově řízené frézce. Pro dosažení co nejlepšího povrchu výrobku je zásadní vyrobít formu s co nejlepší drsností. Jakákoliv nedokonalost, například stopa po fríze, se obtiskne do výrobku. Proto byla po samotném frézování forma ještě ručně dokončena.

Vzájemná poloha polovin formy byla zajištěna pomocí dvojice kolíků. Pak následovalo přitažení polovin k sobě pomocí sady šroubů.

Pro vytvoření přeplátování lepeného spoje bylo nutné opatřit formy oddělitelnými rámečky, rovněž z hliníkové slitiny (na obrázku oranžově). Pro zajištění přesné polohy byl rámeček a příslušný díl formy opatřen dvojicí kolíků pro každý kousek formy. Po nalaminování a vytvrzení byl rámeček vyjmut.

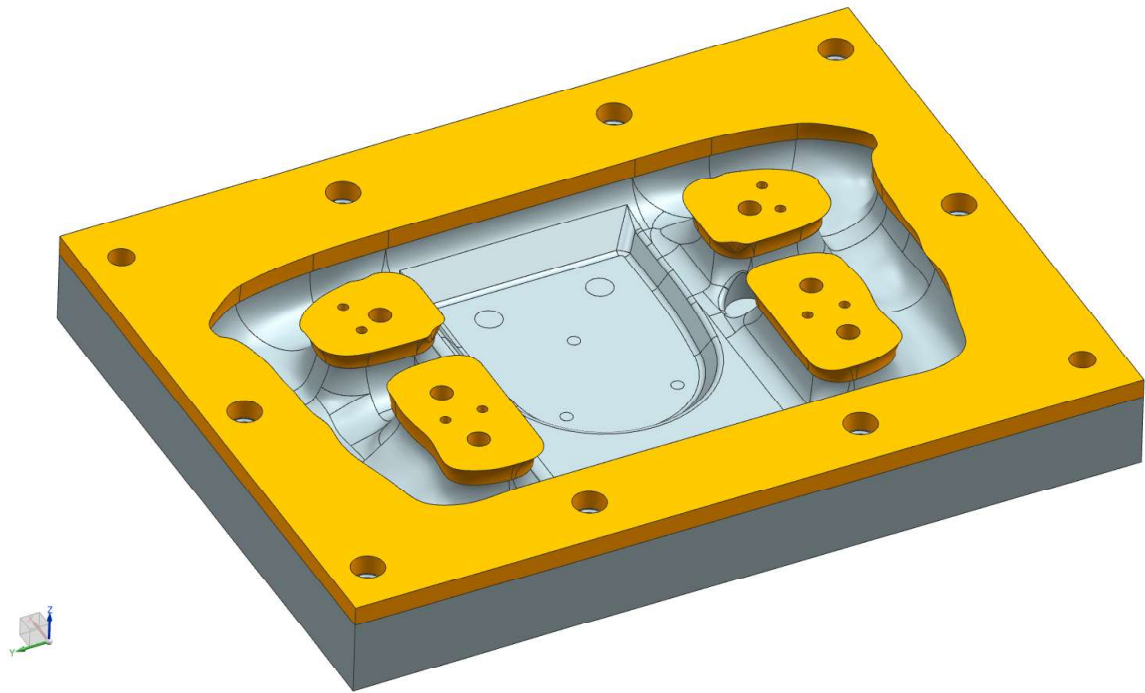
Jak je patrné z obrázku, rámeček je tvořen pěti díly. Na každém z nich je třeba obrobit tvarové plochy. Všechny části rámečku byly obrobena z jediného polotovaru. Protože se jeden kus polotovaru rozpadnul na 5 kusů rámečku, byly na budoucím rámečku vyrobeny otvory pro šrouby a kolíky. Prostřednictvím těchto otvorů se polotovar rámečku spojil s přípravkem, ve kterém byl obráběn. Viz výkresová dokumentace.



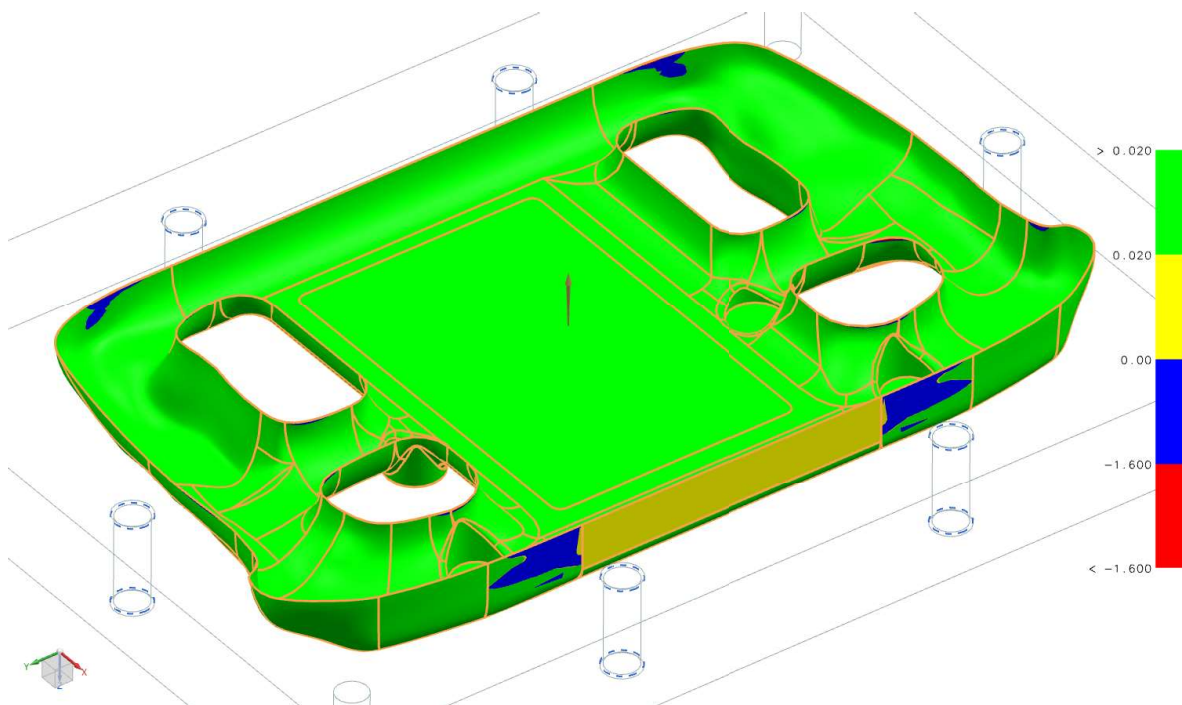
Obrázek 16: Forma spodní poloviny skořepiny

Zda bude možné výrobek vyjmout bylo ověřeno na modelech částí forem pomocí funkce Draft Analysis. Funkce kontroluje sklon stěn vzhledem k vektoru vyjmutí výrobku a výsledky reprezentuje barevnou mapou. Jak je vidět na Obrázku 18, na formě je několik míst, kde vznikly podkoso. Tato místa jsou však malá a podkos dosahuje maximálně

1,6°. Nebudou tedy způsobovat problémy při vyjímání výrobku z formy.



Obrázek 17: Rámeček pro vytvoření přelátování



Obrázek 18: Analýza sklonu stěn vzhledem k vektoru vyjmutí výrobku

3.8 Pevnostní výpočet

Pevnostní výpočet byl realizován za pomoci numerických simulací na principu metod konečných prvků za použití preprocesoru Siemens NX ve spojení s řešičem NASTRAN. Výpočet spadá do oblasti lineární statiky.

Pro výpočet deformací a napětí bylo třeba definovat materiálové konstanty pro všechny použité materiály.

3.8.1 Definice materiálu

Tkanina je ve skutečnosti složena z výztuhy a matrice. Stejně tak byla v preprocesoru vytvořena spojením těchto dvou komponent. Vstupními údaji pro definici tkaniny je materiál výztuhy, materiál matrice, objemové podíly obou složek a typ tkaniny.

Uhlíkové vlákno, výztuha, je příčně izotropní materiál, protože jedna jeho rovina symetrie elasticých vlastností je rovinou izotropie. Důsledkem je, že elastické vlastnosti v této rovině jsou ve všech směrech stejné. Počet nezávislých materiálových konstant je 5 - viz [5].

Materiál	E [MPa]	G [MPa]	ν [-]	ρ [kg · m ⁻³]
EN AW 7075	72 000	27 067	0,33	2 850
Spabond 345	3 000	1 111	0,35	1 180
Pryskyřice LG285/HG286	4 500	1 600	0,4	1 200

Tabulka 7: Materiálové konstanty použitých izotropních materiálů

Mechanické konstanty byly získány z vnitřních zdrojů firmy CompoTech.

Objemový podíl vláken dosažitelný ruční laminací s následným zvakuováním je přibližně 35%. Materiál vlepené výztuhy (hliníková slitina EN AW 7075) je isotropní.

Konstanta	Jednotka	Hodnota
Modul pružnosti v tahu ve směru 1 - \mathbf{E}_1	[MPa]	230 000
Modul pružnosti v tahu ve směru 2 - \mathbf{E}_2	[MPa]	15 000
Modul pružnosti v tahu ve směru 3 - \mathbf{E}_3	[MPa]	15 000
Modul pružnosti ve smyku v rovině 12 - \mathbf{G}_{12}	[MPa]	50 000
Modul pružnosti ve smyku v rovině 13 - \mathbf{G}_{13}	[MPa]	50 000
Modul pružnosti ve smyku v rovině 23 - \mathbf{G}_{23}	[MPa]	50 000
Poissonova konstanta v rovině 12 - ν_{12}	[-]	0.33
Poissonova konstanta v rovině 13 - ν_{13}	[-]	0.013
Poissonova konstanta v rovině 23 - ν_{23}	[-]	0.33
Hustota - ρ	[kg · m ⁻³]	1 600

Tabulka 8: Materiálové konstanty použitých vláken

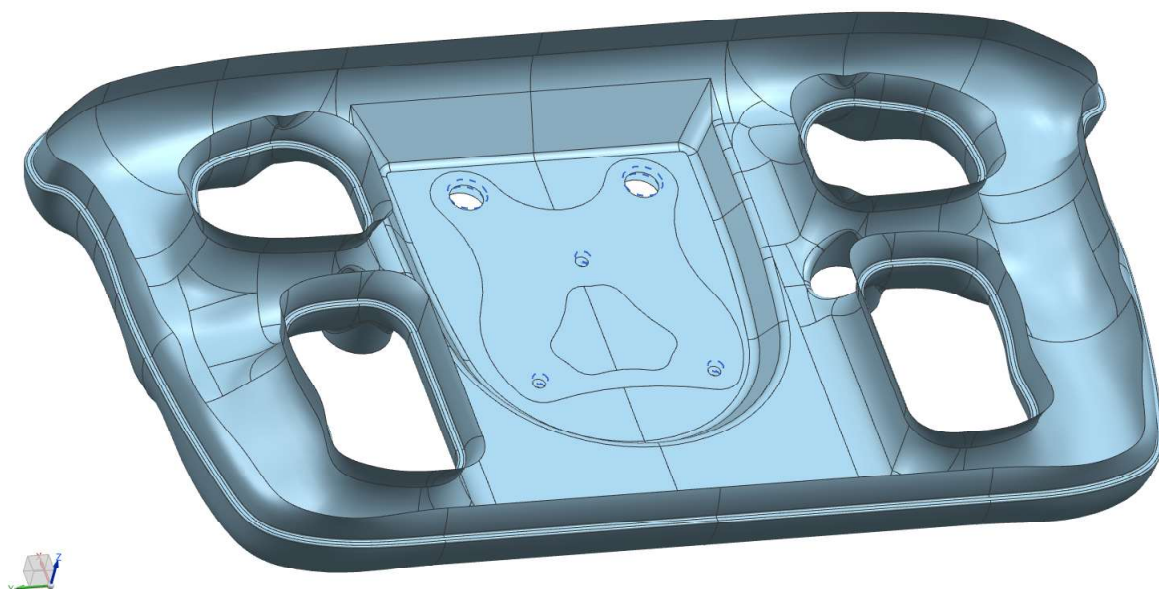
Použité objemové podíly:

- Objemový podíl vláken $\mathbf{v}_f = 35$ [%]
- Objemový podíl matrice $\mathbf{v}_m = 65$ [%]

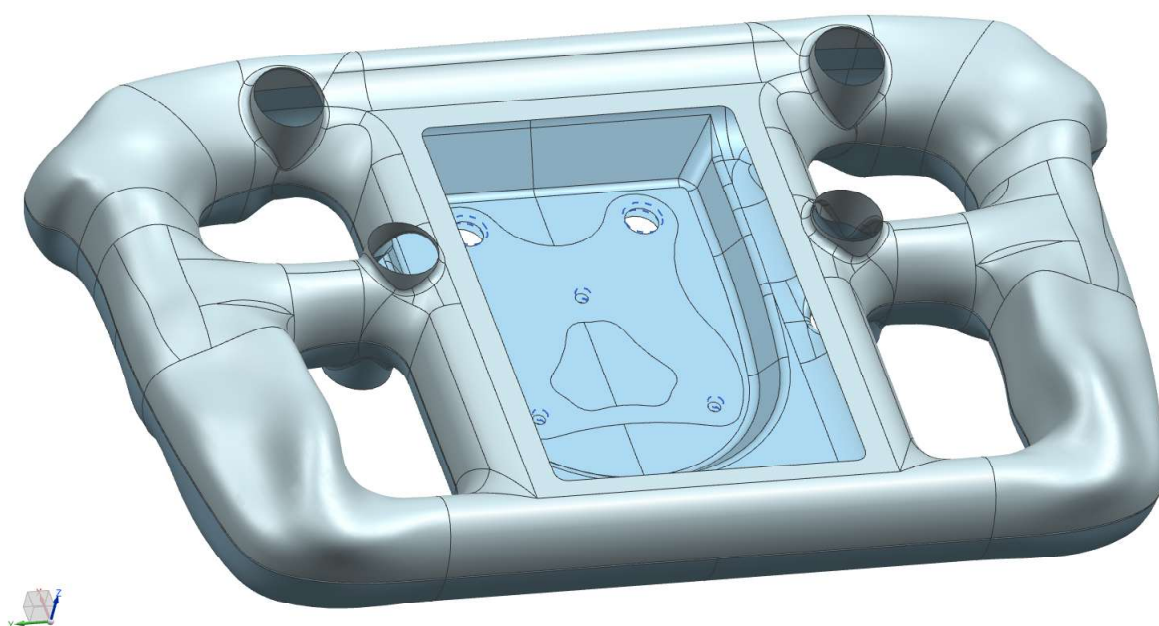
Pro následné vyhodnocení napětí bylo třeba definovat meze pevnosti, viz Vyhodnocení výpočtu.

3.8.2 Výpočtový model

Před vysíťováním bylo potřeba model zjednodušit, tím vznikl výpočtový model. Zjednodušení spočívalo zejména ve vypuštění některých součástí z výpočtu. Mezi nezahrnuté součásti patří: tlačítka, prvky elektroinstalace, kryt střední části, rychlospojka atd. Zmíněné díly byly, kromě tlačítek, vypuštěny z modelu zcela. Tlačítka byla během tvorby sítě nahrazena tzv. rigidní růžicí. Rigidní růžice představuje teoretický, dokonale tuhý, prvek v místě tlačítek. Další zjednodušení nebyla zavedena z důvodu dosažení maximální vypovídající hodnoty výpočtu. Byl tedy zachován i přesah tvořící přeplátovaný spoj.



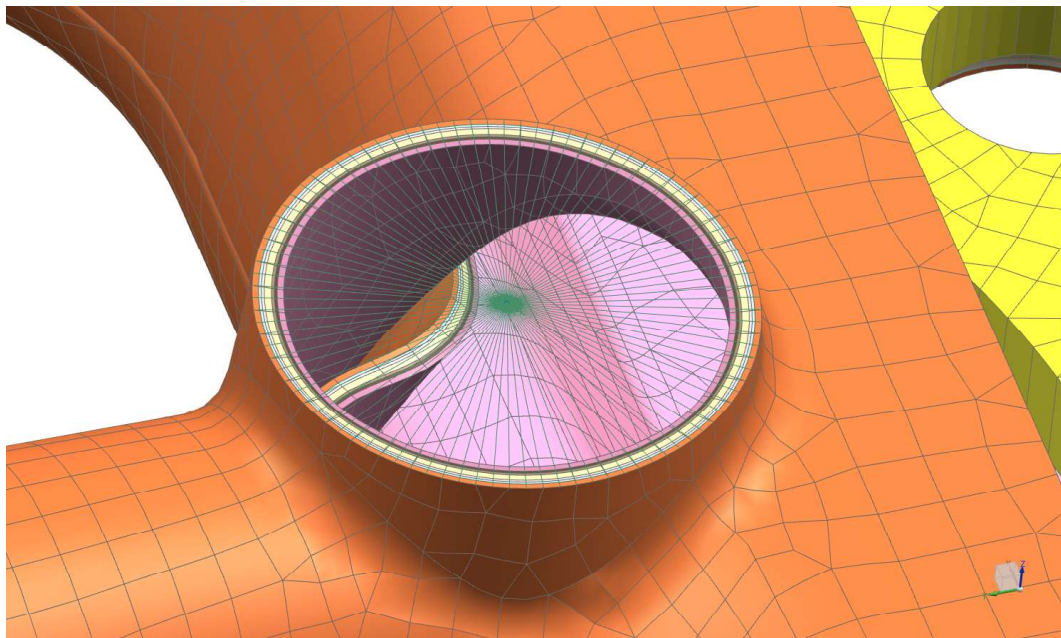
Obrázek 19: Výpočtový model - spodní díl



Obrázek 20: Výpočtový model

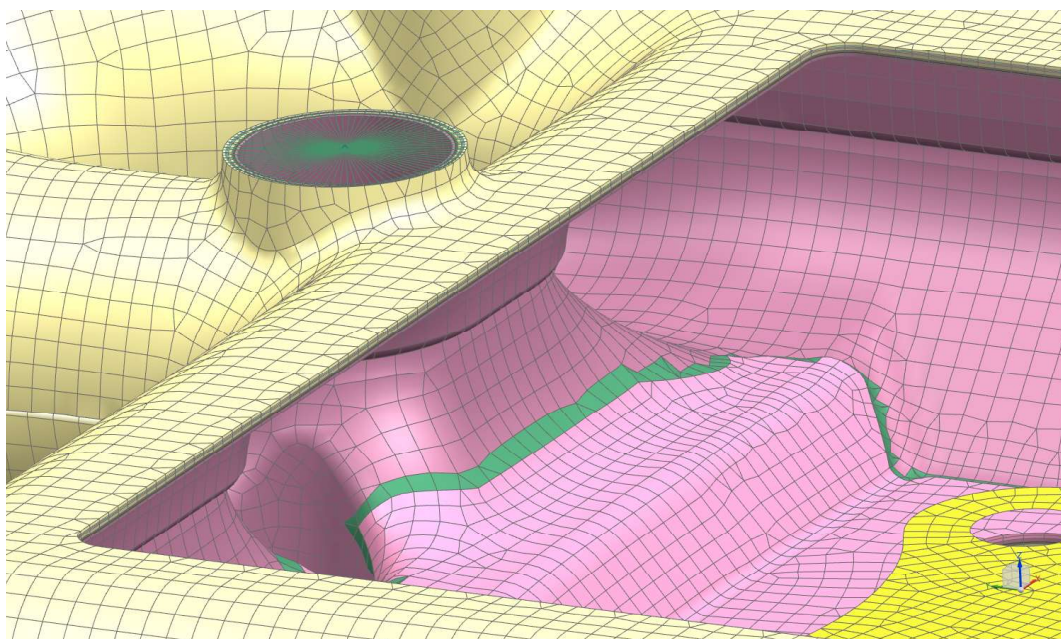
3.8.3 Síť

Následujícím krokem výpočtu byla příprava sítě. Pro co nejpřesnější výsledky bylo zvoleno zasítování laminátu pomocí 3D sítě, namísto běžně používané 2D.



Obrázek 21: Rigidní růžice v místech tlačítek

Při použití 3D sítě je zohledněna i postupná změna tvaru vrstev od vnější plochy skořepiny. Dále jsou vytvořeny přechody z pryskyřice v místech změny počtu vrstev.

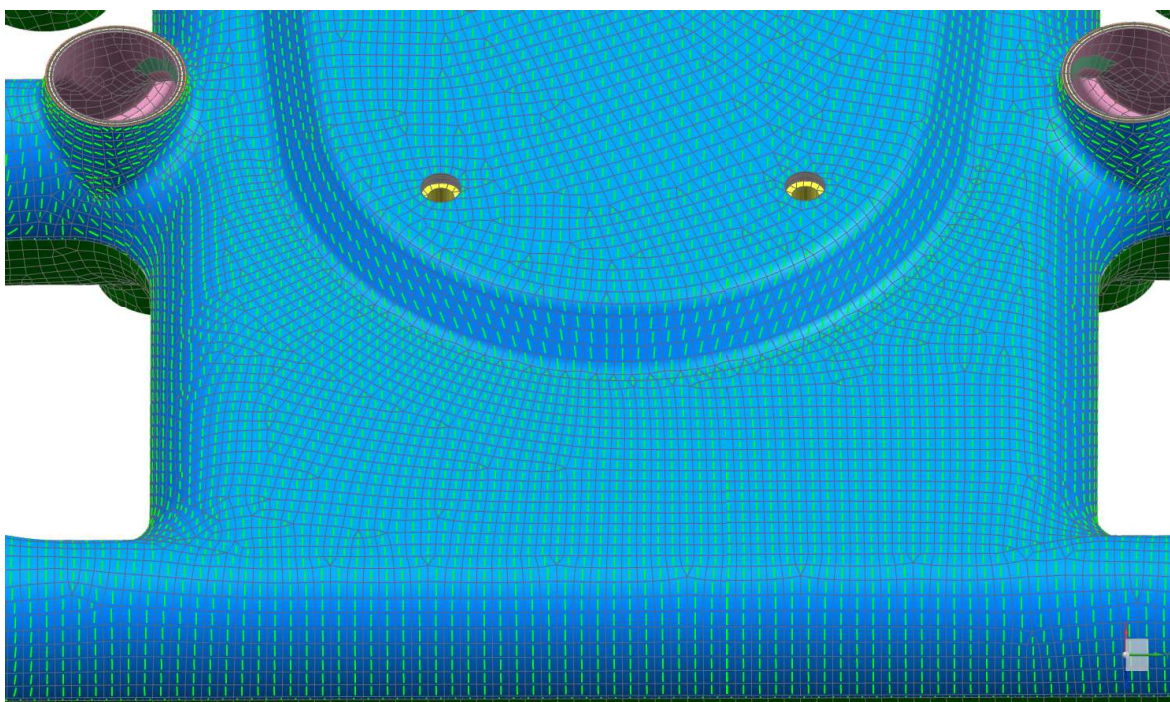


Obrázek 22: Přechod v místě změny počtu vrstvy - zeleně

Nevýhodou 3D sítě je vysoký počet elementů. Na každý jeden plošný element připadá počet prostorových elementů odpovídající počtu vrstev laminátu.

Postup tvorby 3D sítě začíná zasítováním ploch pomocí 2D sítí. Následovalo zorientování elementů (zobrazeno pomocí šipek) metodou MCID. Orientace hlavních směrů je u výpočtů ortotropních materiálů zásadní, protože společně se zorientováním směrů elementu se zorientují i mechanické vlastnosti kompozitu.

Dalším krokem bylo přiřazení fyzikálních vlastností. Jako typ fyzikální vlastnosti byl zvolen "Laminate". Skladba byla přiřazena pomocí "Global Layup". Během definice skladby bylo třeba definovat jednak její složení (popsáno v kapitole Skladba), ale také orientaci vláken. Vláknina tkanin byla orientována pomocí tzv. drapingu. Během drapingu se virtuálně pokrývá povrch vybraných ploch tkaninou o zvolené vazbě (UD, tkanina atd.).

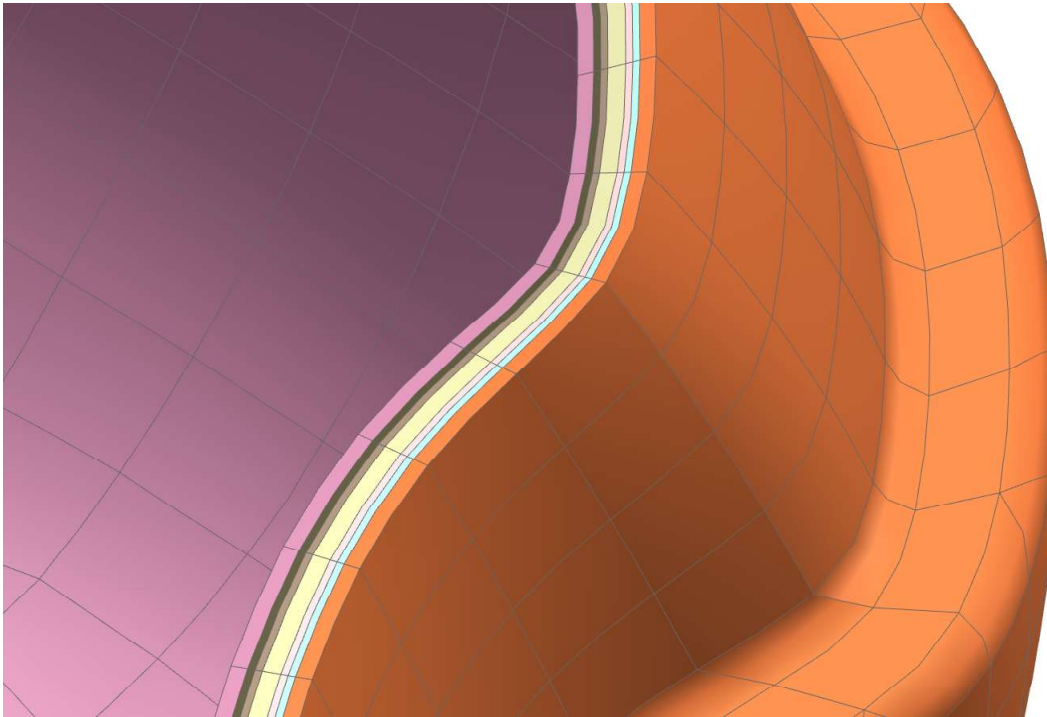


Obrázek 23: Orientace vláken v elementech

Následně byla pomocí funkce "Extrude Laminate" z 2D sítě vytvořena 3D síť. Detail vysunutí laminátu je viditelný na obrázku. Zároveň jsou na obrázku viditelné (barevně odlišené) jednotlivé vrstvy.

Po přepočítání vrstev na obrázku je zřejmé, že jejich počet neodpovídá skladbě. Důvodem je, že vrstvy Bi-axial byly rozděleny na dvě o poloviční tloušťce vzájemně pootočené o 90° .

Z modelu výztuhy byla během přípravy výpočtového modelu získána střednice, která byla zasítována pomocí 2D sítě.

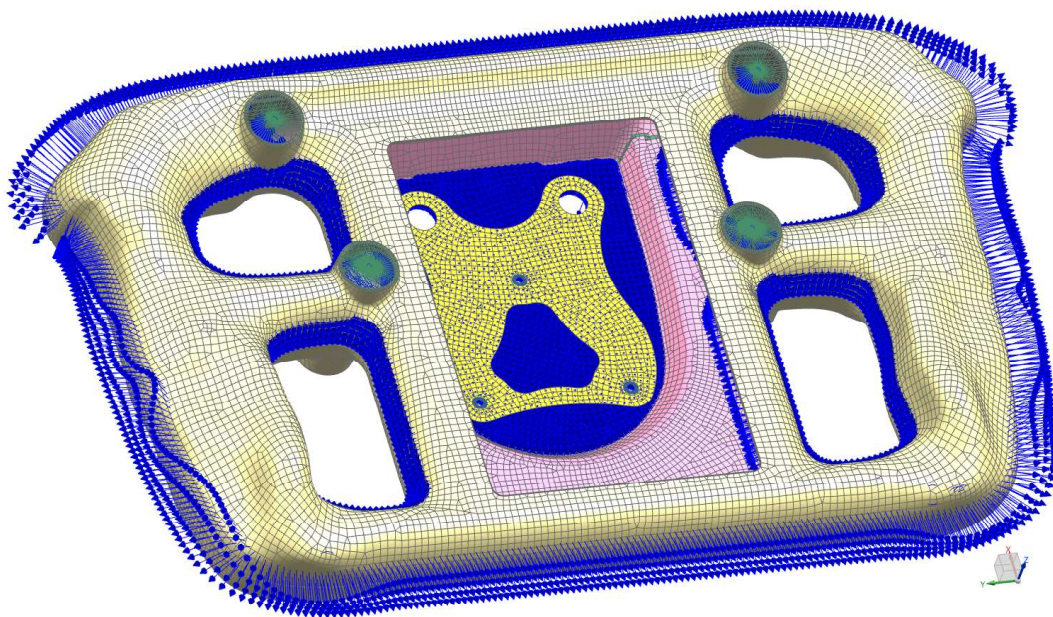


Obrázek 24: Detail vysunutí laminátu

3.8.4 Simulace

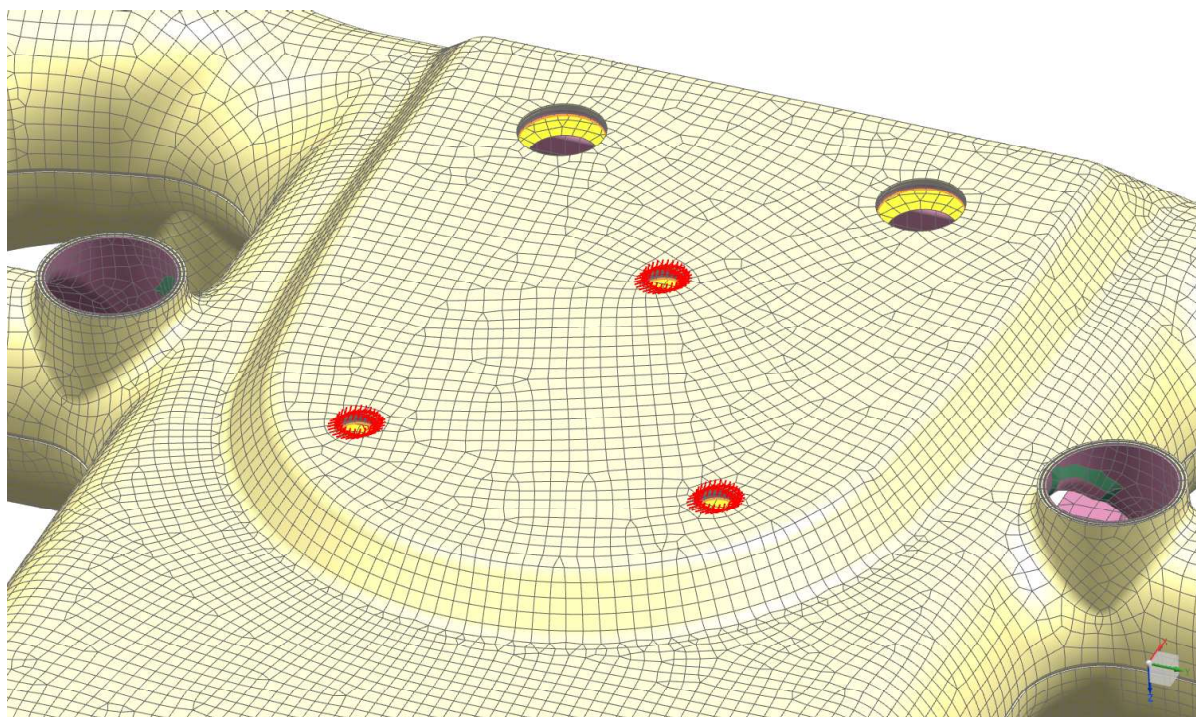
Po přípravě sítě následovala příprava samotné simulace.

Sítě skořepin byly spojeny pomocí funkce "Surface-to-Surface Gluing" v místech, kde se reálně nacházejí lepené spoje. Stejným způsobem byla spojena síť skořepiny a hliníkové výztuhy.



Obrázek 25: Lepení (gluing) - zobrazen šipkami modré barvy

Dále bylo třeba stanovit okrajové podmínky. Podmínka reprezentuje šroubové spoje s rychlospojkou. Odebírá všech šest stupňů volnosti na hranách zvýrazněných na obrázku.



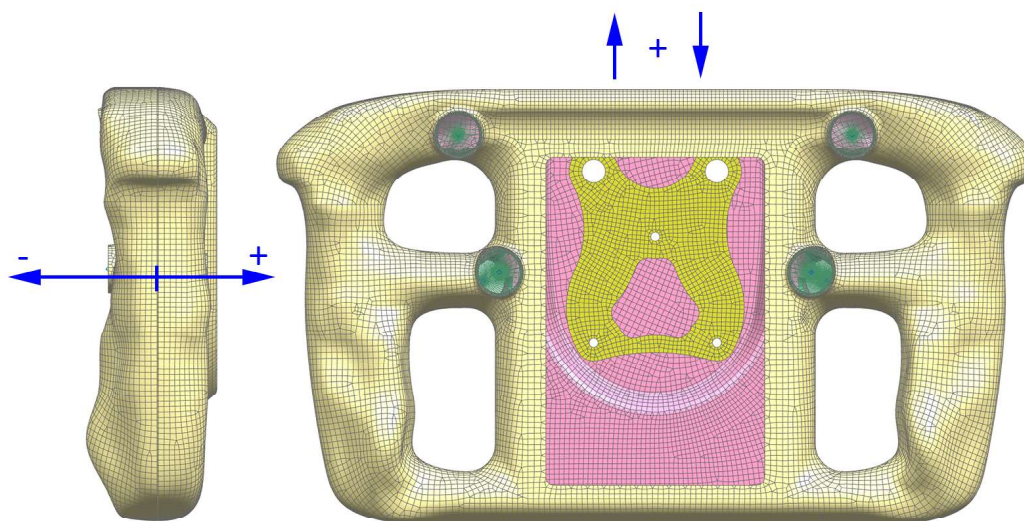
Obrázek 26: Okrajová podmínka reprezentující připojení k rychlospojce

Hodnoty zatížení vycházejí z požadavků stanovených v kapitole Specifikace požadavků. Možné kombinace zatížení definují zátěžné stavy. Vliv vlastní hmotnosti byl zanedbán, jelikož je vzhledem k vnějšímu zatížení minimální.

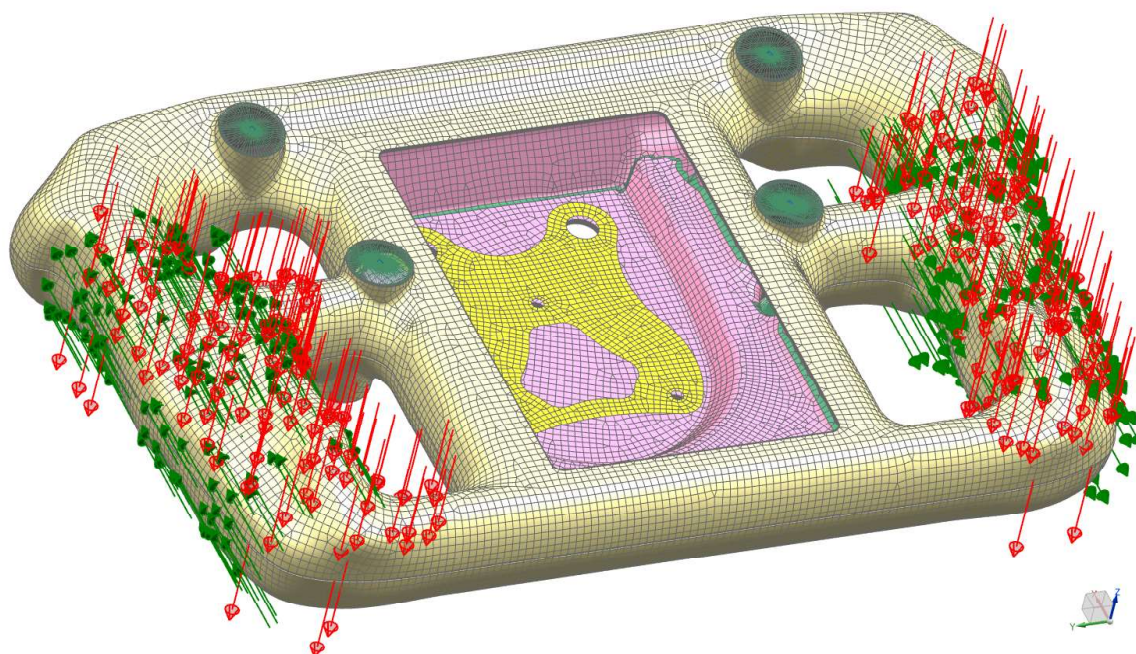
Zátěžný stav	$a \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}]$	$F \text{ [N]}$	$M \text{ [N} \cdot \text{m]}$
Zatáčka s akcelerací	$-1,7 \cdot g$	1667,7	400
Zatáčka s decelerací	$2 \cdot g$	2 000	400
Zatáčka	0	0	400
Rovina s akcelerací	$-1,7 \cdot g$	1667,7	0
Rovina s decelerací	$2 \cdot g$	2 000	0

Tabulka 9: Zátěžné stavy

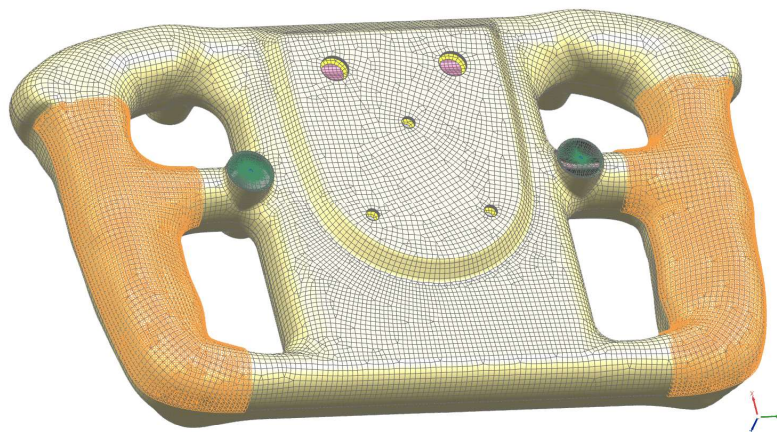
Kromě velikosti a směru působení sil bylo třeba definovat plochy, na které síly působí. Plochy jsou vyznačeny na obrázcích. Zároveň byly stanoveny směry působení sil a momentů.



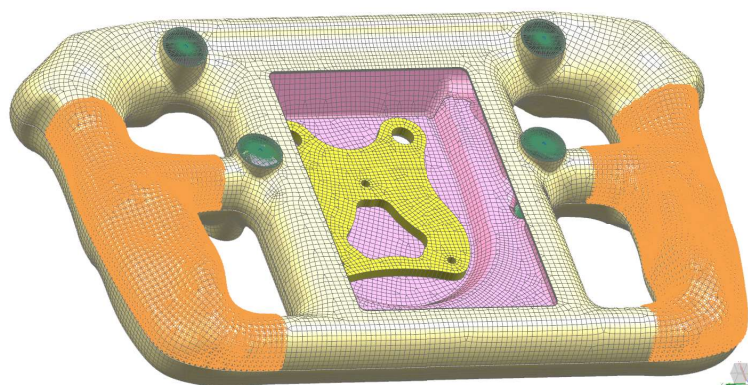
Obrázek 27: Orientace sil a momentů



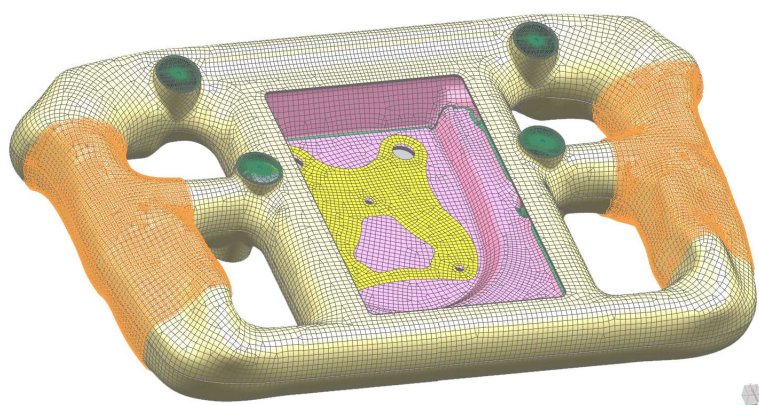
Obrázek 28: Grafická interpretace působících sil - červeně síla od decelerace, zeleně síla od momentu (zátěžný stav - Zatáčka s decelerací)



Obrázek 29: Plochy pro sílu od akcelerace



Obrázek 30: Plochy pro sílu od decelerace

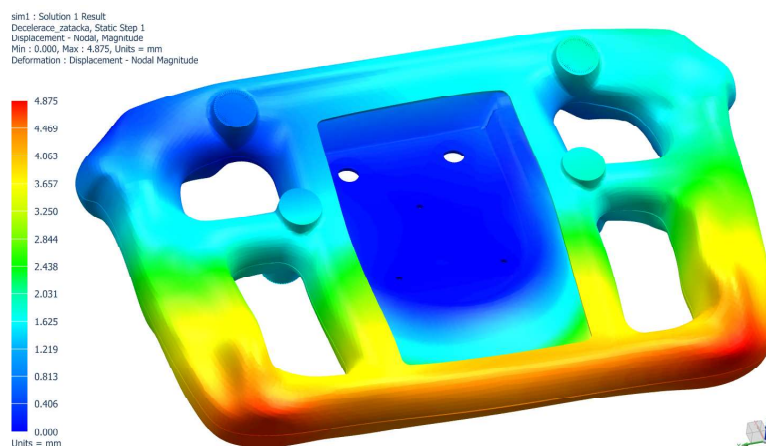


Obrázek 31: Plochy pro sílu od momentu

3.8.5 Vyhodnocení výpočtu

Poslední fází výpočtu bylo zhodnocení výsledků výpočtu. Z celkem šesti zátěžných stavů byly podrobně rozebrány výsledky zatížení s největší deformací, Zatačka s decelerací.

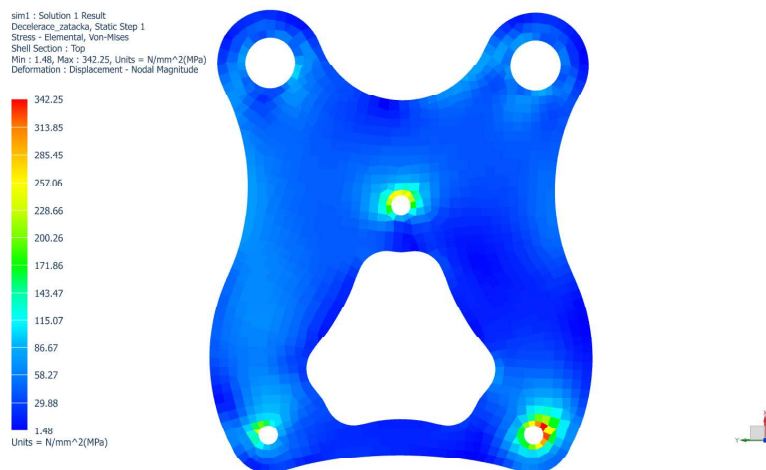
Výpočet byl hodnocen zejména jako úloha tuhosti. Pro tuhost je nejdůležitější posunutí. Úhel natočení slouží spíše ke kontrole, zda výpočet nevystupuje z oblasti lineární statiky (příliš velký úhel natočení by dokonce způsobil zastavení výpočtu).



Obrázek 32: Posunutí v mm - zátěžný stav: Zatačka s decelerací

Z obrázku je patrné, že maximální hodnota posunutí je 4,875 mm a skořepina jej dosáhne na spodní hraně. Při uvážení působících sil, lze tuto hodnotu považovat za vyhovující.

Co se týče hodnot napětí, je třeba rozdělit výsledky na napětí ve výztuze z hliníkové slitiny a napětí v kompozitu.



Obrázek 33: Misesovo napětí ve výztuze v MPa

Napětí ve výztuze dosahuje 342 MPa. Tento výsledek si vyžádal použití na výrobu výztuhy slitinu EN AW 7075 T651. Označení T651 indikuje, že jde o uměle zestárnutou

variantu slitiny, která prošla rozpouštěcím žiháním.

Smluvní napětí na mezi kluzu je $R_{P0,2} = 440$ MPa - viz [6]. Bezpečnost proti mezi kluzu je tedy $s = 1,29$.

Na vyhodnocení napětí v kompozitu je třeba nahlížet dvěma pohledy. Hodnotí se interlaminární a intralaminární porušení. **Interlaminární** porušení se projevuje delaminací, což je děj při kterém se oddělí jednotlivé vrstvy laminátu od sebe. **Intralaminární** porušení vzniká v jednotlivých vrstvách a lze jej predikovat pomocí tzv. kritérií pevnosti.

Kritéria pevnosti se rozdělují na neinteraktivní a interaktivní. **Neinteraktivní** kritéria neuvažují vazbu mezi normálovými složkami napětí ani mezi složkami normálových a smykových napětí. Patří mezi ně kritérium maximálního napětí a maximální deformace. **Interaktivní** kritéria, jsou založena na energetických přístupech a odstraňují nedostatek neinteraktivních kritérií. Patří mezi ně například Tsai-Wu, Puckovo nebo LaRC04.

Jelikož je síť skořepiny rozdělena na dvě poloviny, je třeba i vyhodnocení výsledků provádět pro každou skořepinu zvlášť. Obecně lze říci, že horní polovina volantu je méně namáhána.

Interlaminární pevnost je vyhodnocována pomocí Indexu interlaminárního porušení. Index nabývá hodnot 0 - 1, pokud dosáhne hodnoty 1 dojde k porušení.

sim1 : Solution 1 Result
Decelerace_zatacka, Static Step 1
Solid Inter-Laminar Failure Index - Elemental, Scalar, Ply 1 Top
Min : 0.000, Max : 0.866, Units = Unitless
Coord sys : Native
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

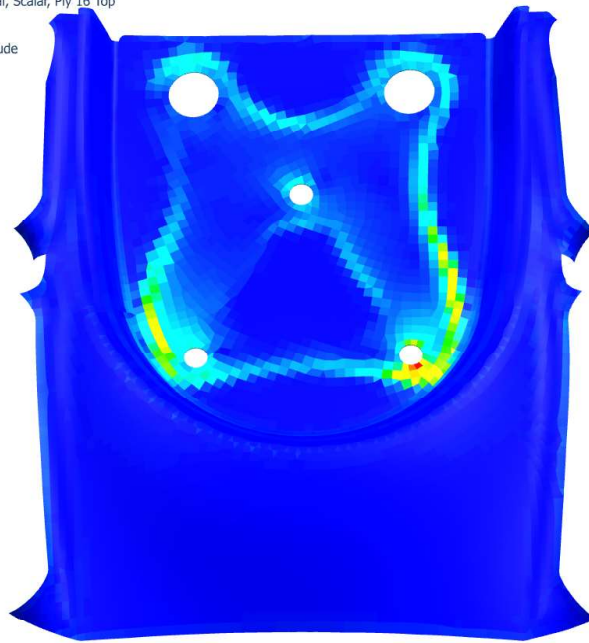
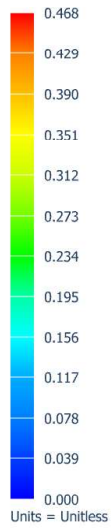


Obrázek 34: Index interlaminárního porušení - spodní skořepina

Jak je patrné z obrázku na spodní polovině dosahuje index 0,866, což je vyhovující. U spodní poloviny skořepiny je zajímavé sledovat tento index v oblasti pod výztuhou v přilehlé vrstvě, která je výztuhou vytrhávána z kompozitu. Lze pozorovat, že vyšší hodnoty indexu porušení poměrně přesně kopírují tvar výztuhy. Nedosahuje však nebezpečných hodnot.

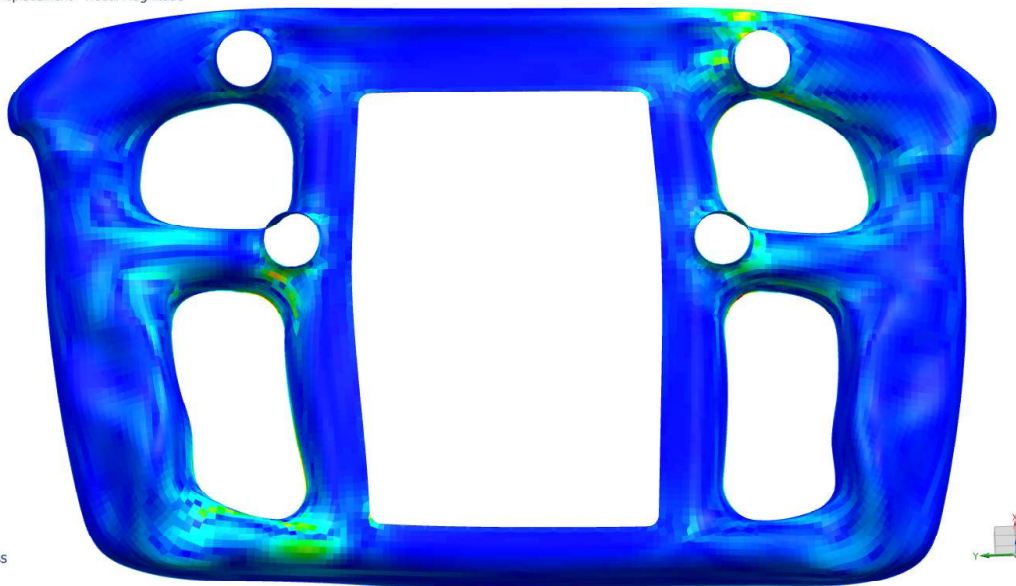
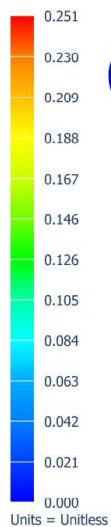
Horní polovina je, podle očekávání, méně namáhána.

sim1 : Solution 1 Result
Decelerace_zatacka, Static Step 1
Solid Inter-Laminar Failure Index - Elemental, Scalar, Ply 16 Top
Min : 0.000, Max : 0.468, Units = Unitless
Coord sys : Native
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 35: Index interlaminárního porušení - pod lepeným spojem

sim1 : Solution 1 Result
Decelerace_zatacka, Static Step 1
Solid Inter-Laminar Failure Index - Elemental, Scalar, Ply 14 Bot
Min : 0.000, Max : 0.251, Units = Unitless
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 36: Index interlaminárního porušení - horní skořepina

Pro intralaminární porušení bylo zvoleno kritérium maximálního napětí. Podle kritéria maximálního napětí dojde k porušení v případě, kdy jedna ze složek napětí v (3) dosáhne meze pevnosti daného materiálu. Dle obecné úmluvy o znaménkách kladná hodnota napětí značí napětí v tahu, záporná pak napětí v tlaku.

-	UD 200g/m ²	KEPR 200g/m ²
$-X^C$ [MPa]	-600	-400
X^T [MPa]	1 200	500
$-Y^C$ [MPa]	-145	-400
Y^T [MPa]	45	500
$-S^L$ [MPa]	-65	-65
S^L [MPa]	65	65

Tabulka 10: Hodnoty mezí pevnosti pro vyhodnocení intralaminární pevnosti

-	11	22	33	12	31	23						
KEPR	208	-313	222	-387	26	-32	37	-37	34	-19	47	-29
Bi-axial +45°	48	-118	42	-55	24	-57	14	-13	49	-36	31	-18
Bi-axial -45°	65	-80	23	-61	25	-57	17	-13	32	-20	37	-49
UD	120	-305	37	-70	22	-59	32	-31	34	-38	28	-44
Bi-axial -45°	89	-157	33	-133	28	-92	42	-23	32	-19	28	-38
Bi-axial +45°	67	-314	44	-132	27	-65	28	-62	30	-23	31	-18
KEPR	219	-202	141	-232	22	-24	34	-37	18	-14	33	-25
KEPR	183	-130	139	-207	27	-16	15	-24	34	-14	15	-22
KEPR	204	-302	250	-173	33	-12	31	-19	20	-12	25	-14

Tabulka 11: Přehled maximálních napětí v jednotlivých směrech ve spodní polovině v MPa

-	11	22	33	12	31	23						
KEPR	219	-241	137	-118	18	-17	21	-31	20	-34	22	-18
Bi-axial +45°	77	-51	31	-40	12	-10	11	-12	13	-13	12	-15
Bi-axial -45°	50	-69	44	-31	12	-8	11	-8	14	-12	13	-12
UD	191	-115	25	-25	12	-7	33	-19	14	-12	10	-11
Bi-axial -45°	57	-75	40	-34	11	-8	11	-10	13	-12	9	-12
Bi-axial +45°	66	-66	34	-46	11	-8	11	-11	9	-12	12	-12
KEPR	194	-263	103	-118	12	-10	26	-37	7	-7	16	-12

Tabulka 12: Přehled maximálních napětí v jednotlivých směrech v horní polovině v MPa

Tabulky ukazují maximální hodnoty napětí v jednotlivých vrstvách v hlavních směrech zaokrouhlené na celé MPa.

$$\frac{\sigma_1}{-X^C} = 1, \frac{\sigma_1}{X^T} = 1, \frac{\sigma_2}{-Y^C} = 1, \frac{\sigma_2}{Y^T} = 1, \frac{\sigma_{12}}{-S^L} = 1, \frac{\sigma_{12}}{S^L} = 1 \quad (3)$$

Stejně jako u interlaminárního porušení je nutné zkontrolovat vrstvy jednotlivě.

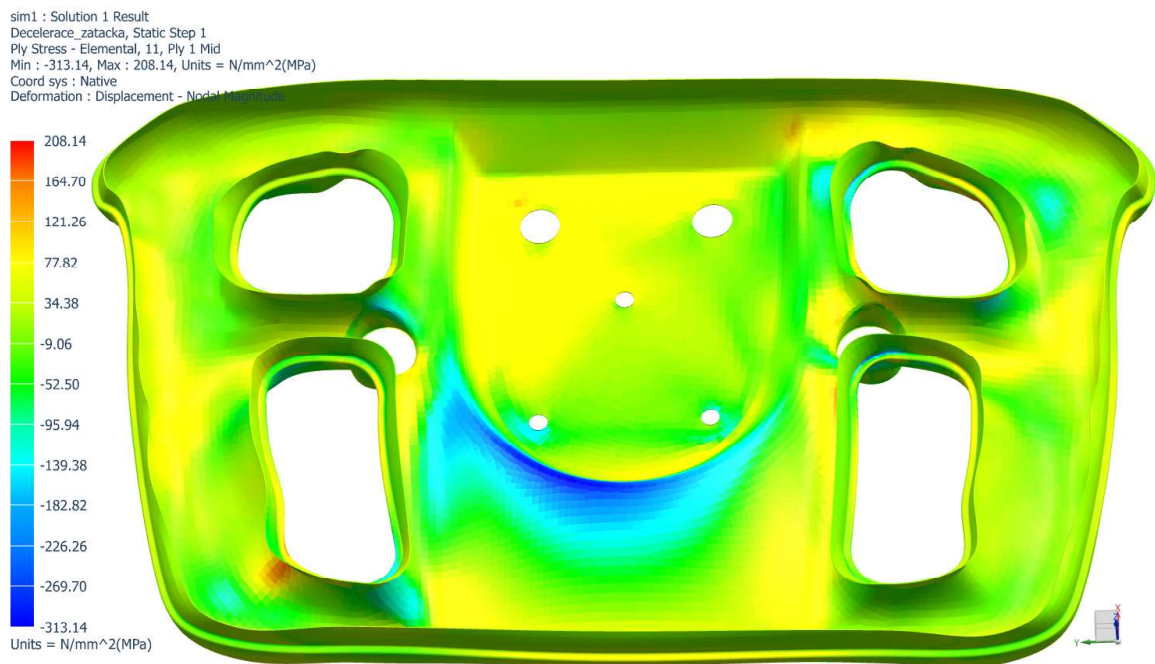
Příklad takového rozboru napětí ve vrstvě:

Vrstva: KEPR - první vrstva spodní poloviny

Kontrola hodnot pomocí podmínky maximálního napětí:

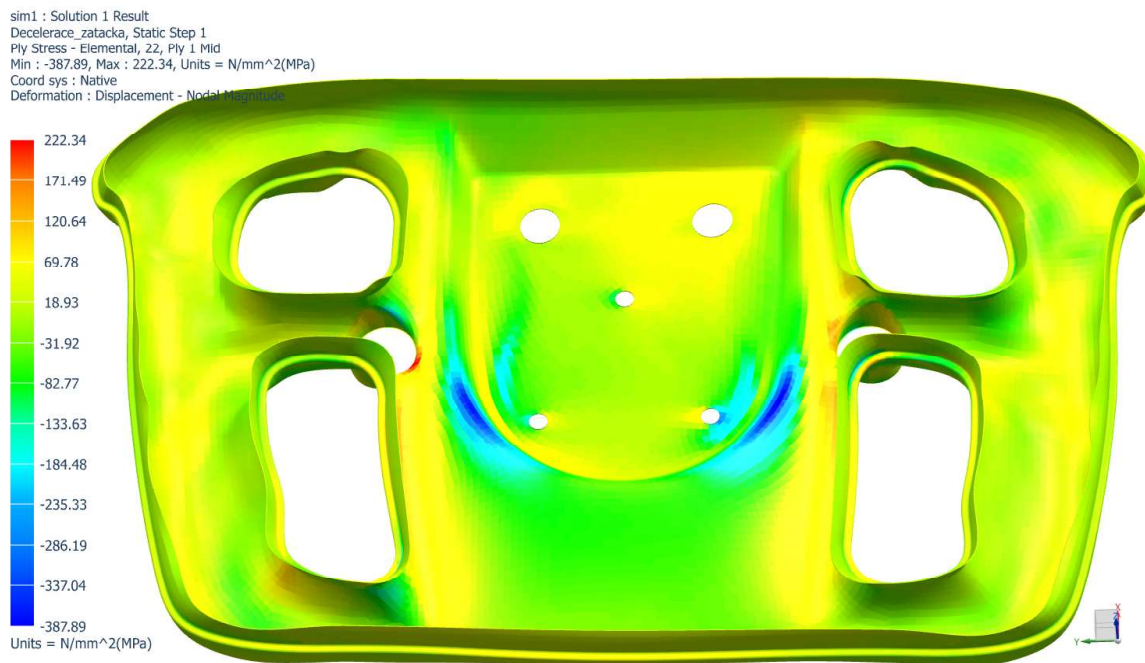
$$\frac{-313}{-400} = 0,78; \frac{208}{500} = 0,42; \frac{-387}{-400} = 0,97; \frac{222}{500} = 0,44; \frac{-37}{-65} = 0,57; \frac{37}{65} = 0,57 \quad (4)$$

Z podmínek (4) plyne, že kritérium maximálního napětí je splněno, jelikož jsou podíly v podmínce (4) větší než 1. Výsledky však nelze hodnotit pouze podle velikosti napětí, ale i jejich rozložení. Z následujících obrázků je patrné rozložení napětí ve směrech 11, 22 a 12.

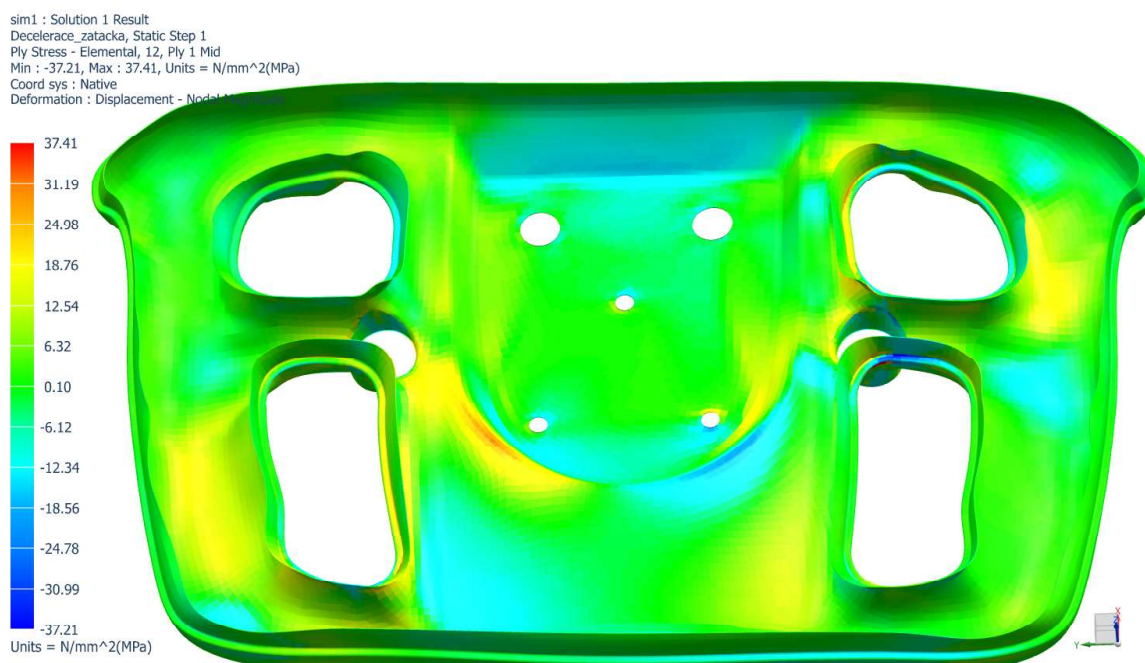


Obrázek 37: Napětí ve zvolené vrstvě - směr 11 v MPa

Jako nejslabší místo se ukázal přechod, ve kterém vzniká tlakové napětí. Z toho plyne doporučení co nejvíce dodržet skladbu v jeho okolí při výrobě. Stejným způsobem byly vyhodnoceny všechny vrstvy.



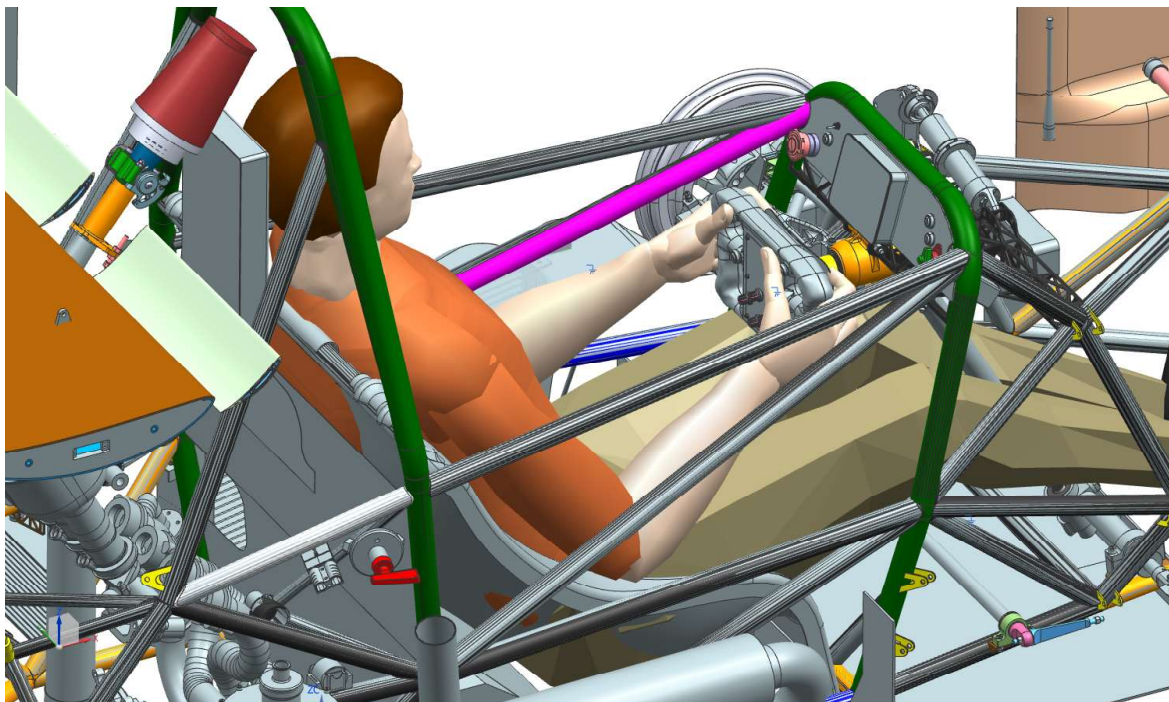
Obrázek 38: Napětí ve zvolené vrstvě - směr 22 v MPa



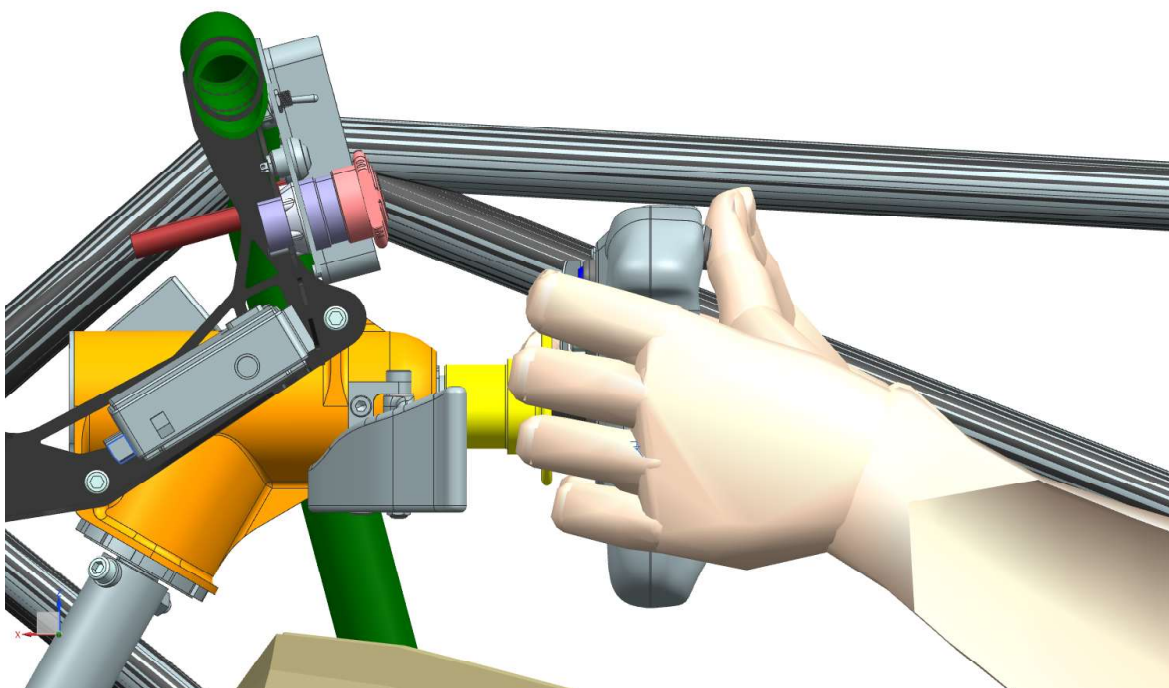
Obrázek 39: Napětí ve zvolené vrstvě - směr 12 v MPa

3.9 Začlenění do sestavy

Na závěr byl CAD model umístěn do sestavy vozu. Začlenění spočívalo i v začlenění výrobní dokumentace.



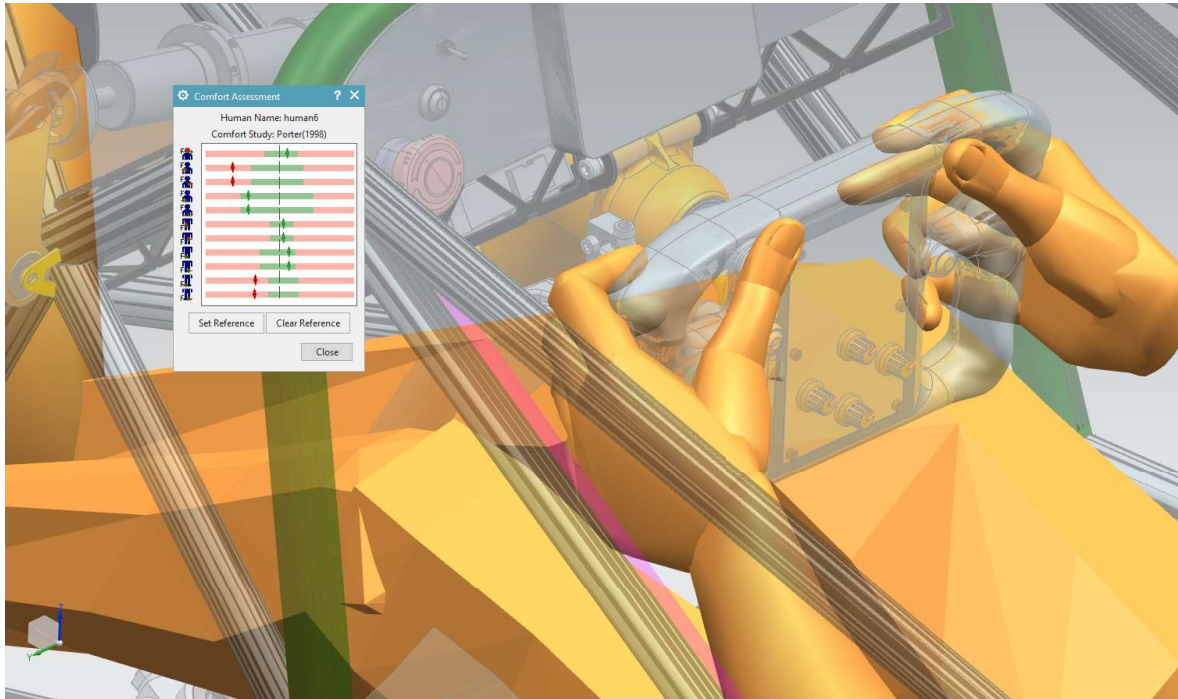
Obrázek 40: Začlenění volantu do sestavy vozu



Obrázek 41: Začlenění volantu do sestavy vozu - pohled z boku

3.10 Ověření ergonomie pomocí Human modeling

Posledním krokem návrhu bylo ověření ergonomie pomocí modulu Human modeling. Tato metoda posloužila pouze informativně, hlavním prostředkem pro ověření ergonomie byl 3D výtisk.



Obrázek 42: Výsledky analýzy ergonomie

3.11 Výrobní dokumentace

Součástí práce je výrobní dokumentace pro výrobu forem a dalších přípravků, skořepiny a všech dalších vyráběných dílů. Systém číslování a šablony korespondují s ostatními výkresy vozu. Výkresy tvoří přílohy bakalářské práce.

Název	Číslo	Druh	Ks.
STEERING WHEEL	UWB04-03-20-000	sestava	1
PADDLES	UWB04-03-20-001	součást	1
QUICK-RELEASE	UWB04-03-20-002	součást	1
PCB	UWB04-03-20-003	součást	1
PCB-HOLDER-MAIN	UWB04-03-20-004	součást	1
PCB-HOLDER	UWB04-03-20-005	součást	1
KNOB-CR-BA	UWB04-03-20-006	součást	4
CK-1051	UWB04-03-20-007	součást	4
STIFFENER	UWB04-03-20-008	součást	1
ISR3SAD	UWB04-03-20-009	součást	8
SROUB ST-2-2x4-C-H	UWB04-03-20-010	součást	4
SROUB M3x10 - 8.8	UWB04-03-20-011	součást	6
SROUB M5x20 - 12.9	UWB04-03-20-012	součást	3
RIVET AL 2x5	UWB04-03-20-013	součást	2
SHELL	UWB04-03-21-000	sestava	1
SHELL-UPPER	UWB04-03-21-001	součást	1
SHELL-LOWER	UWB04-03-21-002	součást	1
SHELL-COVER-EDGE	UWB04-03-21-003	součást	2
SHELL-COVER	UWB04-03-21-004	součást	1
SROUB M3x10 - 8.8	UWB04-03-21-004	součást	6
MOLD	UWB04-03-22-000	sestava	1
UPPER	UWB04-03-22-001	součást	1
LOWER	UWB04-03-22-002	součást	1
UPPER-EDGE	UWB04-03-22-003	součást	1
FIXTURE	UWB04-03-22-004	součást	1
FIXTURE-SMALL	UWB04-03-22-005	součást	1

Tabulka 13: Soupiska dílů použitých k výrobě

4 Výroba

Pro nejlepší pevnostní vlastnosti byl zvolen postup laminace prosycené tkaniny s přeplátovaným spojem.

Obecně byl popsán v kapitole Možnosti výroby. Následující kapitola popisuje návrh konkrétního výrobního postupu.

Výroba byla popsána podle jednotlivých fází.

4.1 Příprava forem a rámečků

Podoba forem byla popsána v kapitole Forma. Příprava formy spočívá zejména v důkladném očištění lihem. Líh odstraní i případné zbytky separace a ostatních nečistot. Použití přeplátovaného spoje vyžaduje využití rámečků nad dělicí rovinou.

4.2 Separace

Separace slouží k oddělení matrice (pryskyřice) od formy. Lze ji vyřešit například povrchovou úpravou formy (povlak na bázi teflonu) nebo jako v tomto případě pomocí chemické separace.

Konkrétně byl použit bariérový separátor PVA All-purpose. Jde o chemickou látku na bázi polyvinylalkoholu, která se na formu nanáší v podobě nátěru.

4.3 Laminace pohledové vrstvy

Před samotnou laminací je potřeba připravit tzv. stříh tkaniny. Jde o výstřížek tkaniny o něco málo větší než výsledný výrobek, který obsahuje nástřihy. Nástřihy umožňují složit hůře tvarovatelné tkaniny do formy.

Jako pohledová vrstva byla použita tkanina KEPR 200 g/m². Důvodem pro použití byla zejména vynikající tvarovatelnost, díky které ji téměř není nutné nástřihovat.

Pro laminaci povrchové i všech dalších vrstev byla použita dvousložková epoxidová pryskyřice s obchodním označením LG 285, která nevyžaduje pro vytvrzení vyšší teplotu. V poměru 100:40 s tužidlem HG 286.

Vrstva byla vytvrzena do tuhého stavu.

4.4 Laminace nosných vrstev

Vrstvy z ostatních tkanin bylo nutné nástřihnout v místech, kde je přebytek tkaniny.

Po nalaminování všech nosných vrstev (popsáno v kapitole Skladba) byla jako poslední použita další vrstva KEPR 200g/m².

4.5 Zalisování

Pro zalisování a dosažení optimálního podílu bylo použito vakuování. Alternativou bylo zalisování pomocí dvoudílné formy (nevýhodou je nutnost výroby druhé poloviny formy).

Nalaminované vrstvy byly překryty strhávací tkaninou, která slouží k oddělení výrobku

a vrstvy geotextilie. Úlohou geotextilie je absorpce přebytečné pryskyřice. Takto připravený výrobek byl vložen do vaku z vakuovací folie.

Použitá vakuovací folie má obchodní název PO 150 XD2. Její specifickou vlastností je extrémní tažnost (až 900 %). Díky velikému prodloužení se folie po vyvakuování, téměř dokonale, vytvaruje do tvaru formy. Následovalo vysátí vzduchu z vaku a samotné zalisování.

Po zalisování byla odstraněna vrstva strhávací tkaniny a geotextilie. Skořepina byla vyjmuta z formy. U formy spodní poloviny byl odstraněn rámeček. Venkovní povrch byl omyt od separační látky (z důvodu přilnavosti lepidla použitého v následujícím kroku).

4.6 Spojení polovin

Před samotným spojením polovin skořepiny byly ofrézovány horní hrany laminátu. Následovalo zdrsnění lepených ploch pro lepší přilnutí lepidla, dále samotné nanesení lepidla na přesah a složení polovin dohromady. Poté byly společně vloženy do formy, která byla sešroubována.

4.7 Montáž

Posledním krokem výroby bylo vlepení výztuhy z hliníkové slitiny včetně držáků plošného spoje do spodní poloviny skořepiny. Nadále byly vlepeny lišty do horní poloviny. Následovalo připojení rychlospojky pomocí trojice šroubů a montáž všech prvků elektrotechniky.

5 Závěr

Cílem práce byl návrh volantu pro vůz Formule Student. Prvním krokem byla specifikace požadavků. Kapitoly práce postupně řeší stanovené požadavky.

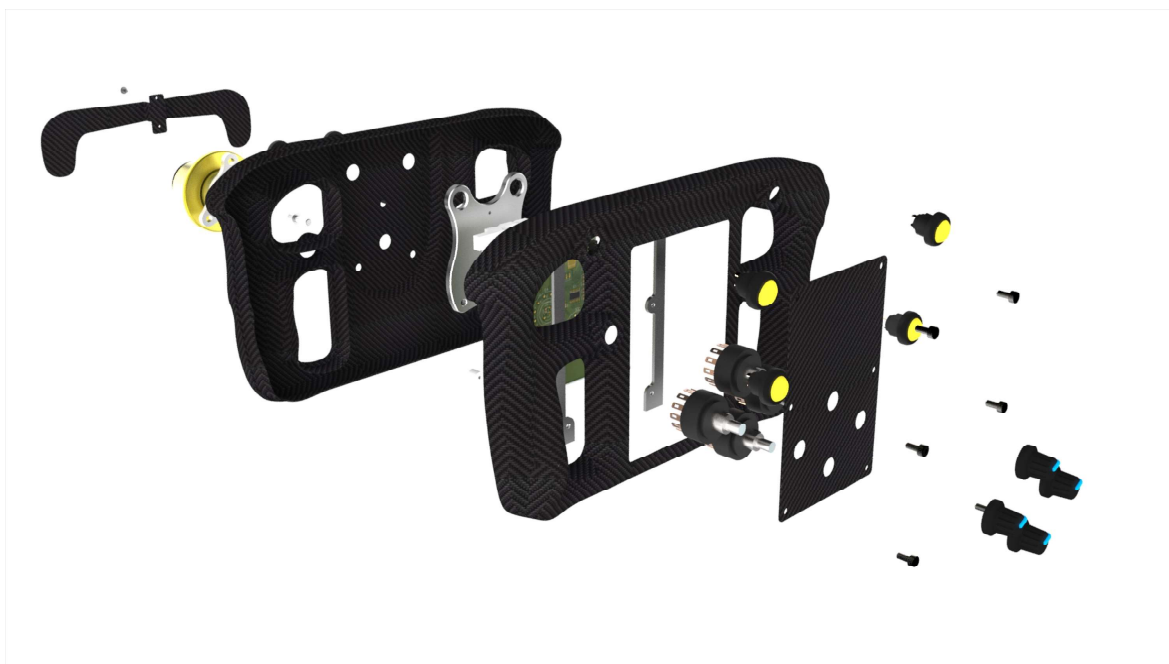
S přihlédnutím k hmotnosti a pevnosti byl zvolen kompozitní materiál, zpracovaný technologií laminace. Obecně tedy jde o laminovanou skořepinu, jejíž poloviny jsou spojeny lepeným spojem. Únosnost lepeného spoje byla podpořena přeplátováním lepených ploch.

Výchozím bodem pro návrh tvaru bylo zhotovení otisků úchopu řídičů do modelovací hmoty. Otisk byl následně oscanován pomocí 3D scanneru. Vzniklá plocha posloužila jako předloha pro návrh úchopových částí. Následovala konstrukce střední části volantu, ve které bylo vyřešeno zejména připojení volantu k tyči řízení. Připojení je, v rámci pravidel, realizováno rychlospojkou, která byla ke skořepině volantu připevněna trojicí šroubů. Z důvodů únosnosti a vyrobiteľnosti závitů ve volantu byla v jeho středu navržena výztuha z hliníkové slitiny. Dále byla ve střední části uložena deska řídicí jednotky a další prvky elektroinstalace jako tlačítka a otočné přepínače. Celá střední část byla zakryta krytem vyrobeným rovněž z kompozitu.

Následně byla navržena skladba vrstev použitých na skořepinu volantu. Pevnost a tuhost byla ověřena pomocí numerické simulace na principu metody konečných prvků. Byl použit pokročilý způsob výpočtu, který uvažuje 3D podobu laminátu oproti většinou používané reprezentace pomocí 2D sítě.

Návrh byl ověřen z hlediska ergonomie dvěma přístupy. Prvním bylo zhotovení 3D výtisku poloviny volantu, ke kterému měli řidiči možnost se vyjádřit a připomínkovat jeho tvar. Druhým přístupem bylo ověření ergonomie pomocí modulu Human modeling.

Nedílnou součástí návrhu byl návrh přípravků pro výrobu, forem. Zároveň byla vytvořena výkresová dokumentace pro výrobu volantu i forem.



Obrázek 43: Rozstřel sestavy

V porovnání s volantem loňského vozu (UWB03) disponuje návrh lepší ergonomií a je osazen více ovládacími prvky. Díky použití řídicí jednotky lze jejich funkci měnit. Komplikovanější konstrukce si však vyžádá časově i finančně náročnější výrobu.

Literatura

- [1] LAŠ, V. Úvod do modelování v mechanice: Mechanika kompozitních materiálů. *Učební text k předmětu Úvod do modelování v mechanice. Západočeská univerzita v Plzni.* [online]. [cit. 2016-12-10].
Dostupné z: [http : //www.kme.zcu.cz/download/predmety/229 – umm – 6.pdf](http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/229-umm-6.pdf), 2010.
- [2] Spabond 345 - Epoxy Adhesive System. *GURIT* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.gurit.com/-/media/Gurit/Datasheets/spabond-345v11pdf.ashx>
- [3] FOX, Steven. *Cockpit Control Forces or How Robust Do Driver Controls Really Need To Be?* [online]. 2010 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: [http : //www.sae.org/students/cockpit_control_forces.pdf](http://www.sae.org/students/cockpit_control_forces.pdf)
- [4] GAY, Daniel. *Matériaux composites*. 2015. Francie: Hermes Science Publications. ISBN 2746247070.
- [5] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 200s.* ISBN 978-80-7043-689-9.
- [6] ALFUN. *Hliníkové plechy a pásy* [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/plechy-a-pasy>

Seznam obrázků

1	Vůz UWB 03 - pro sezonu 2015-2016	9
2	Tlačítko APEM IBR3SAD2 - viz PŘÍLOHA A	11
3	Otočný přepínač LORLIN CK-1051 - viz PŘÍLOHA B	11
4	Volant UWB03 - sezóna 2015-2016	14
5	Vybraný otisk dlaní v modelovací hmotě	19
6	3D scan otisku modelovací hmoty	19
7	Postup návrhu v Siemens NX	20
8	Přípevnění krytu střední části	20
9	Průchod kabelu sběrnice	21
10	Přípevnění desky řídicí jednotky	21
11	Rychlospojka Sparco - UWB04-03-20-002	22
12	Vložky z hliníkové slitiny - UWB04-03-20-008	22
13	Model volantu zhotovený pomocí 3D tisku	23
14	Posunutí pádel v mm při zatížení 20 N	24
15	Připojení pádel ke skořepině volantu	25
16	Forma spodní poloviny skořepiny	27
17	Rámeček pro vytvoření přelátování	28
18	Analýza sklonu stěn vzhledem k vektoru vyjmutí výrobku	28
19	Výpočtový model - spodní díl	31
20	Výpočtový model	31
21	Rigidní růžice v místech tlačítek	32
22	Přechod v místě změny počtu vrstvy - zeleně	32
23	Orientace vláken v elementech	33
24	Detail vysunutí laminátu	34
25	Lepení (gluing) - zobrazen šipkami modré barvy	34
26	Okrajová podmínka reprezentující připojení k rychlospojce	35
27	Orientace sil a momentů	36
28	Grafická interpretace působících sil - červeně síla od decelerace, zeleně síla od momentu (zátěžný stav - Zatačka s decelerací)	36
29	Plochy pro sílu od akcelerace	37
30	Plochy pro sílu od decelerace	37
31	Plochy pro sílu od momentu	37
32	Posunutí v mm - zátěžný stav: Zatačka s decelerací	38
33	Misesovo napětí ve výztuze v MPa	38
34	Index interlaminárního porušení - spodní skořepina	39
35	Index interlaminárního porušení - pod lepeným spojem	40
36	Index interlaminárního porušení - horní skořepina	40
37	Napětí ve zvolené vrstvě - směr 11 v MPa	42
38	Napětí ve zvolené vrstvě - směr 22 v MPa	43
39	Napětí ve zvolené vrstvě - směr 12 v MPa	43
40	Začlenění volantu do sestavy vozu	44
41	Začlenění volantu do sestavy vozu - pohled z boku	44
42	Výsledky analýzy ergonomie	45
43	Rozstřel sestavy	49

Seznam tabulek

1	Velikosti momentu na volant v $N \cdot m$ - viz [3]	13
2	Vlastnosti vláken používaných jako výztuha - viz [1]	15
3	Vlastnosti pryskyřic používaných jako matrice - viz [1]	16
4	Skladba vrstev použitá na pádla	25
5	Skladba vrstev použitá na skořepinu volantu	26
6	Zesílená skladba vrstev použitá na skořepinu volantu	26
7	Materiálové konstanty použitých izotropních materiálů	29
8	Materiálové konstanty použitých vláken	30
9	Zátěžné stavy	35
10	Hodnoty mezí pevnosti pro vyhodnocení intralaminární pevnosti	41
11	Přehled maximálních napětí v jednotlivých směrech ve spodní polovině v MPa	41
12	Přehled maximálních napětí v jednotlivých směrech v horní polovině v MPa	41
13	Soupiska dílů použitých k výrobě	46

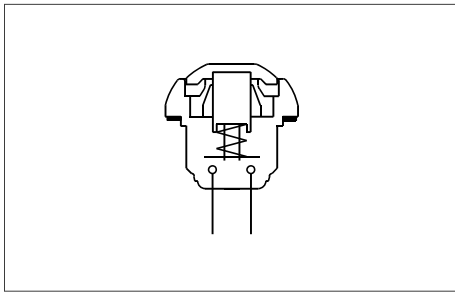
Příloha A

Podklady k použitému tlačítku

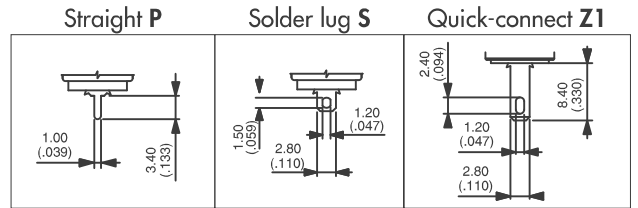
IB & IS SERIES

SEALED MOMENTARY PUSHBUTTON SWITCHES

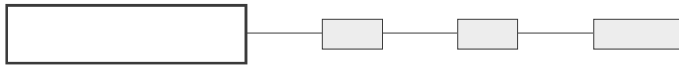
Snap-in or with threaded bushing



- Eight plunger colours
- Flat plunger top allowing marking
- Antirotation bushing



MODEL STRUCTURE



Snap-in mounting - solder lugs

→ Flat

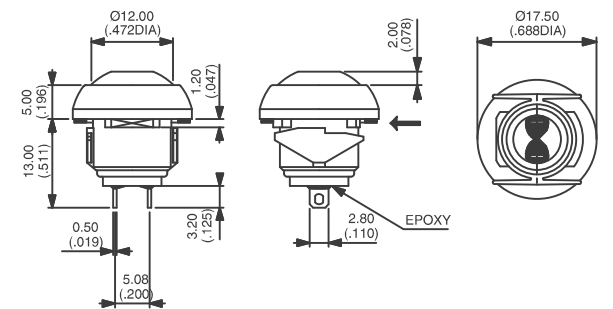
Panel thickness : 0,8 mm to 1,8 mm



IBR3SAD



Normally open



Also available with straight PC : **IBR3PAD** or quick-connect terminals : **IBR3Z1AD**

Mounting by threaded bushing - solder lugs

→ Flat

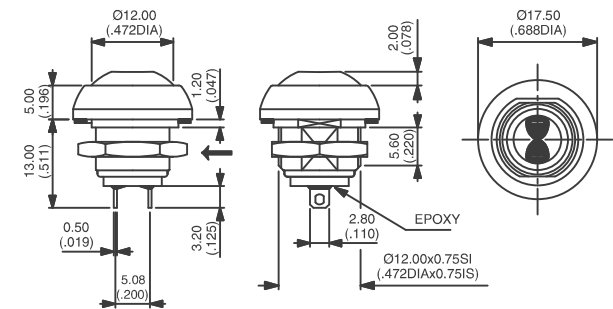
Panel thickness : 1,5 mm to 4 mm



ISR3SAD



Normally open



Also available with straight PC : **ISR3PAD** or quick-connect terminals : **ISR3Z1AD**

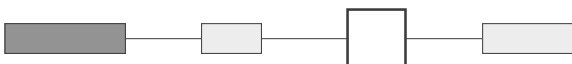
PLUNGER COLOUR



Plunger marking : consult factory.

1 : blue - 2 : black - 3 : green - 5 : yellow - 6 : red - 7/1 : white - 8 : chrome plated - 9 : orange

BUSHING AND BEZEL FINISH



00 : Black (standard)

08 : Chrome plated (IS series only)

10 : White

Příloha B

Podklady k použitému otočnému přepínači

CK ROTARY SWITCH

GENERAL ELECTRICAL & MECHANICAL SPECIFICATION

Switch Rating:	150mA@250V ac/dc resistive load
Current Carrying Capacity	5A non switching
Life:	>10,000 Cycles
Operating Temperature:	-30°C to +85 °C
Proof Voltage:	1,500Vac (Initial)
Insulation Resistance:	>999 MΩ at 500Vdc (Initial)
Contact Resistance:	<20 mΩ (initial)
Operating Torque (nominal)	Standard 8.6 ± 1 cNm Light Action 3.5 ± 0.5 cNm
End Stop Torque (nominal):	0.80 Nm
Moulding Material:	Polyamide 6.6 G.F.
Contact/Terminal Material:	Brass CZ108 Ag Plated

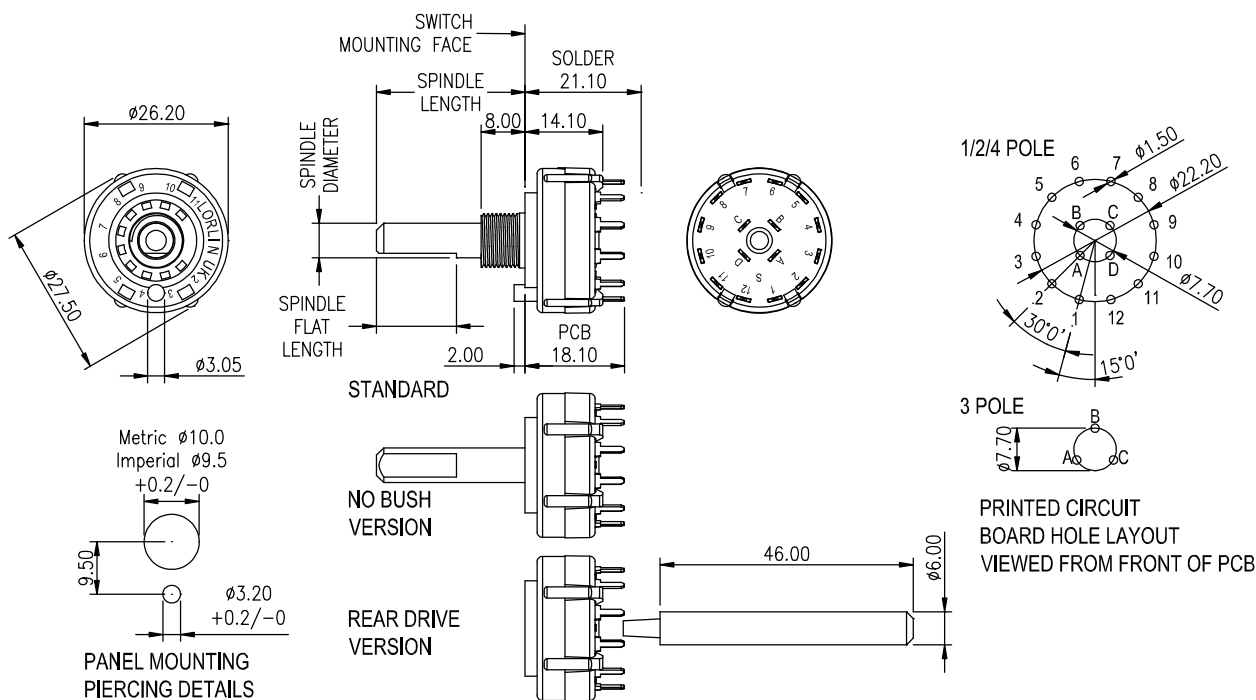
RoHS COMPLIANT

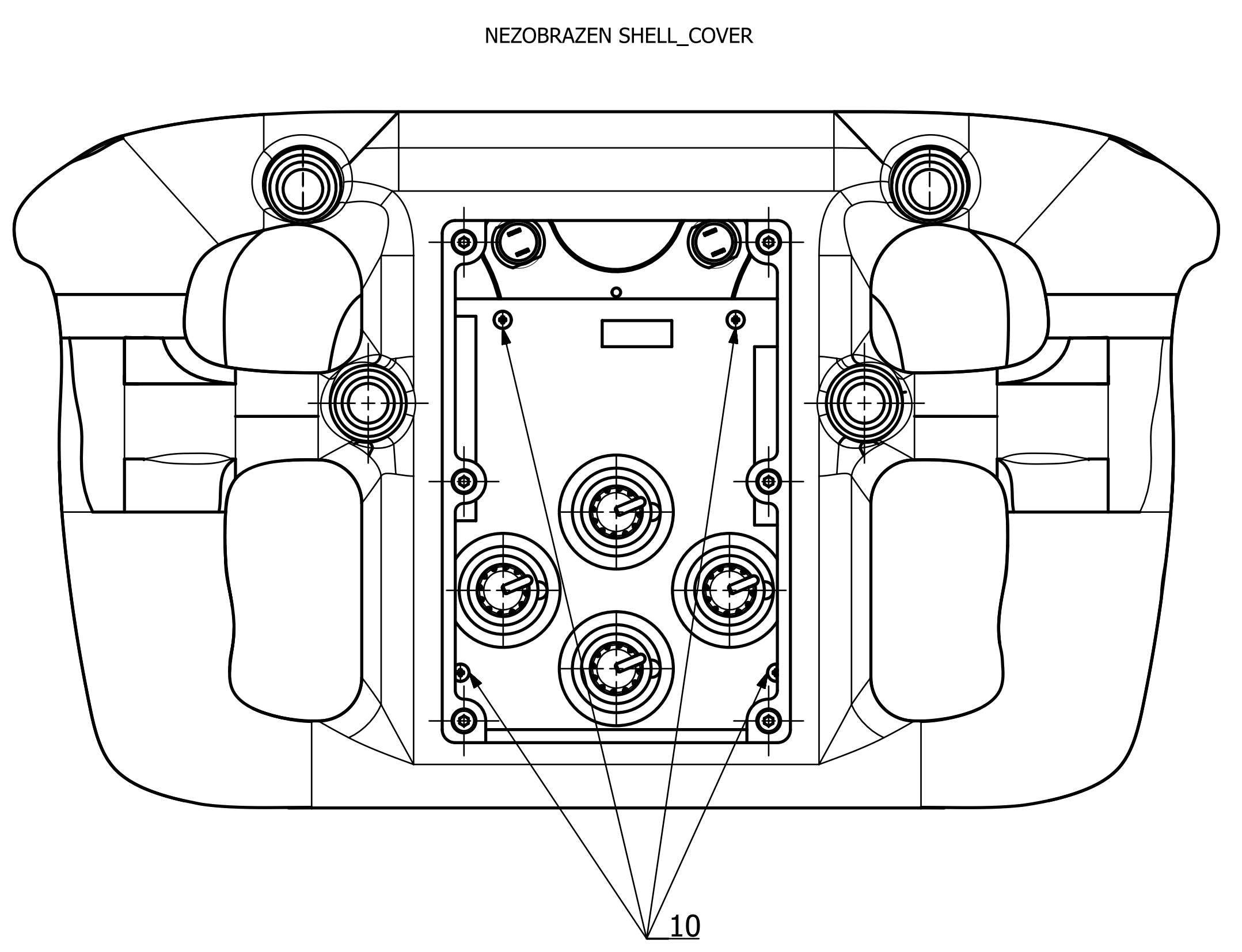
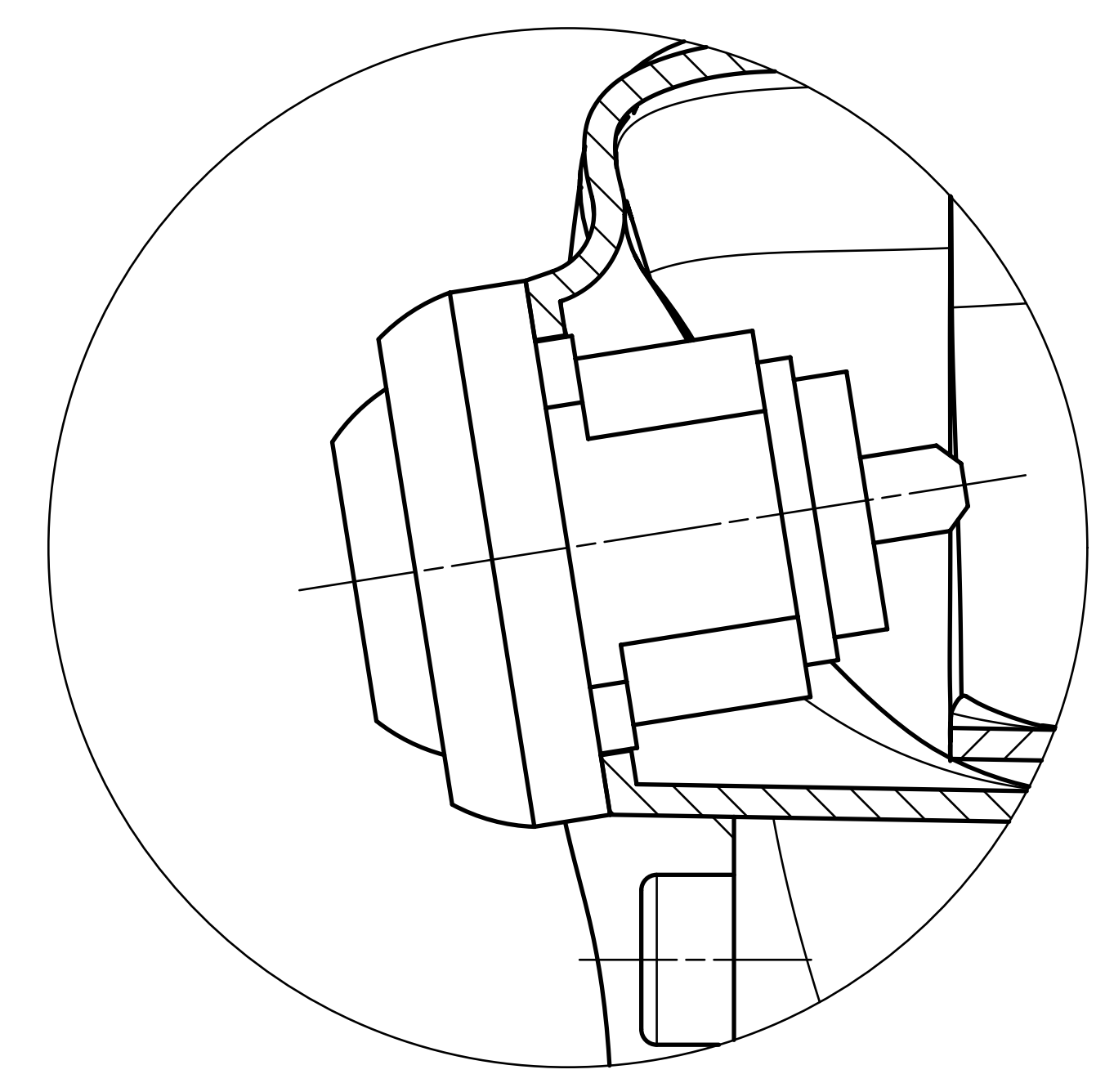
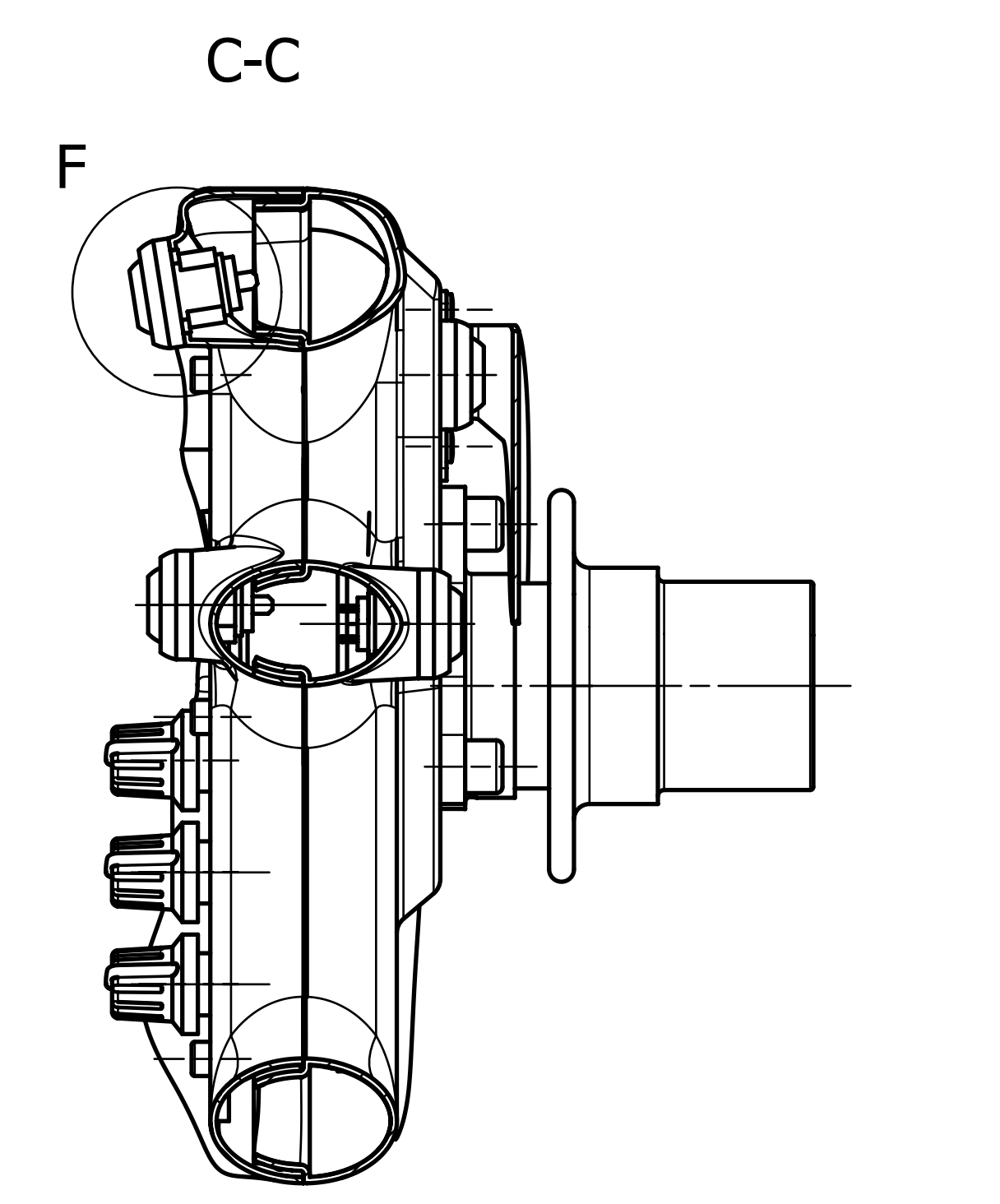
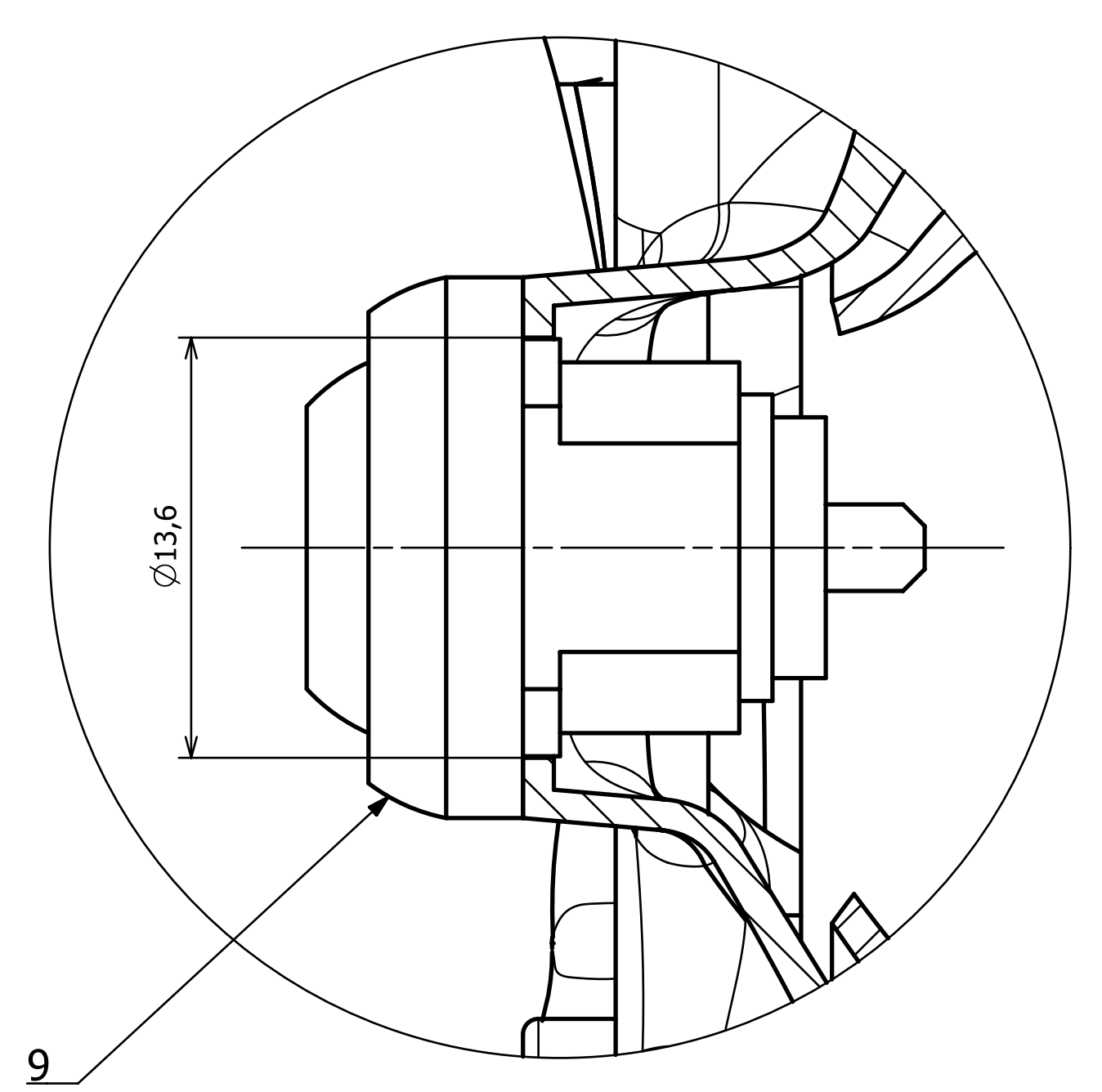
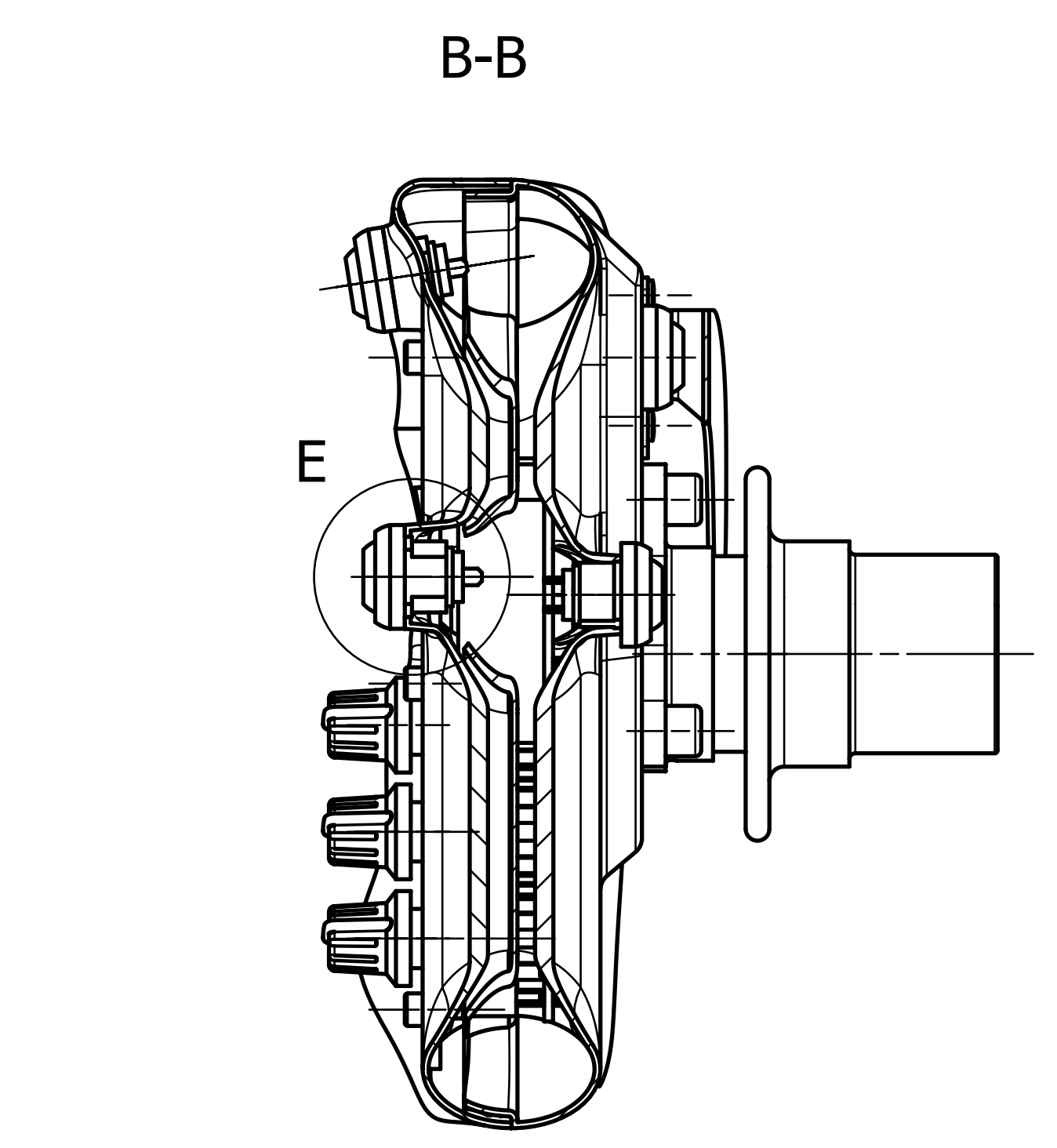
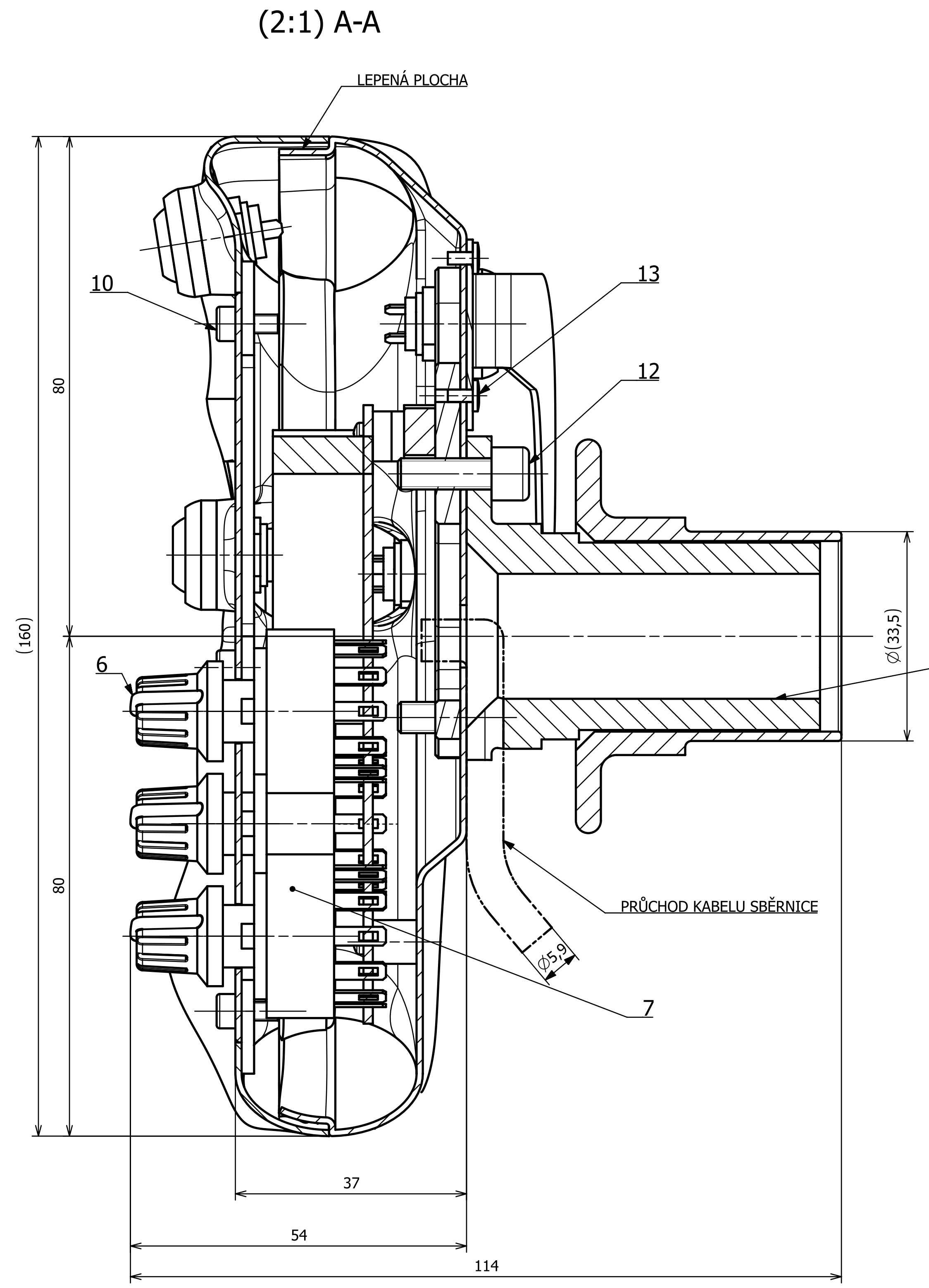
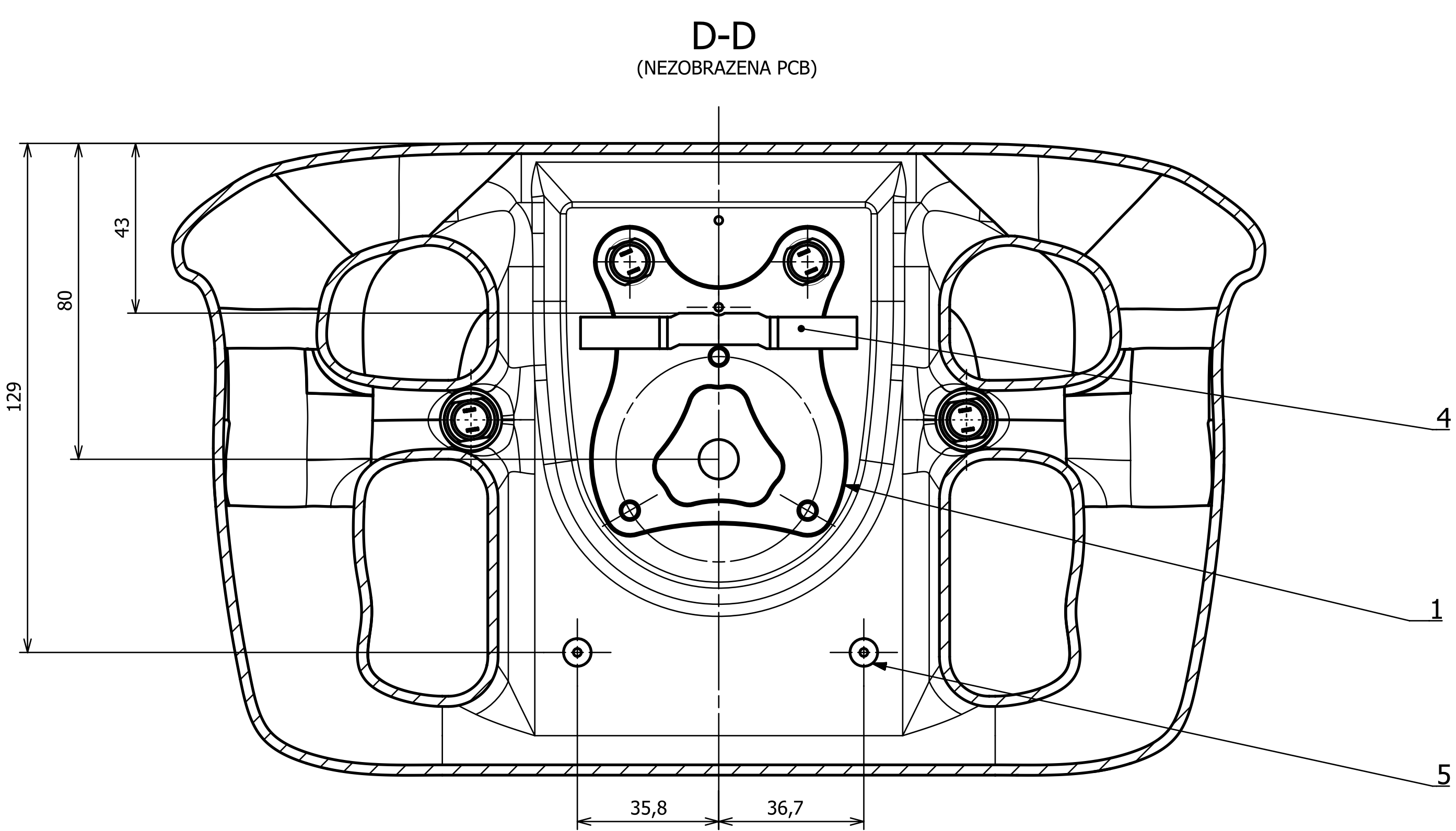
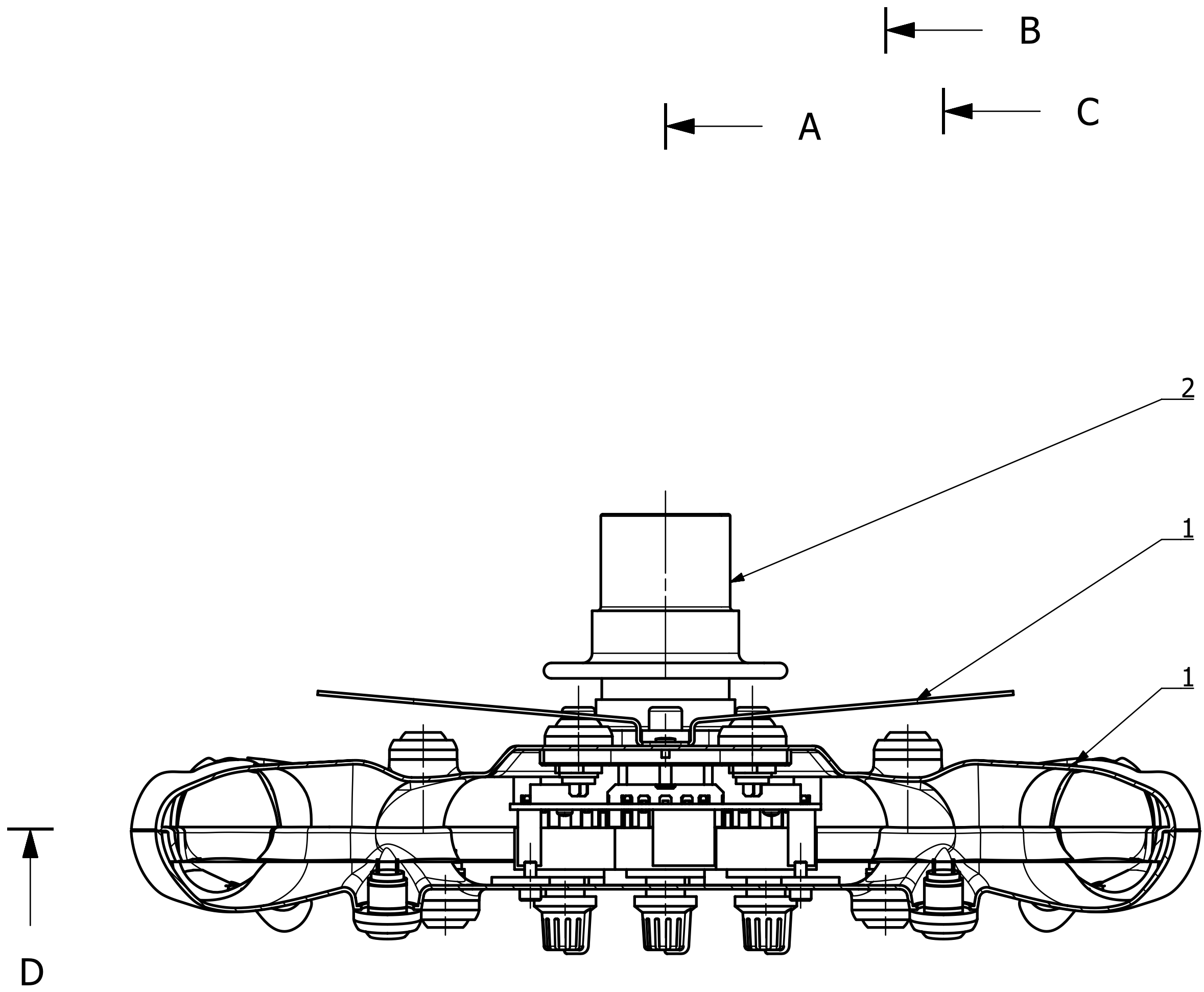
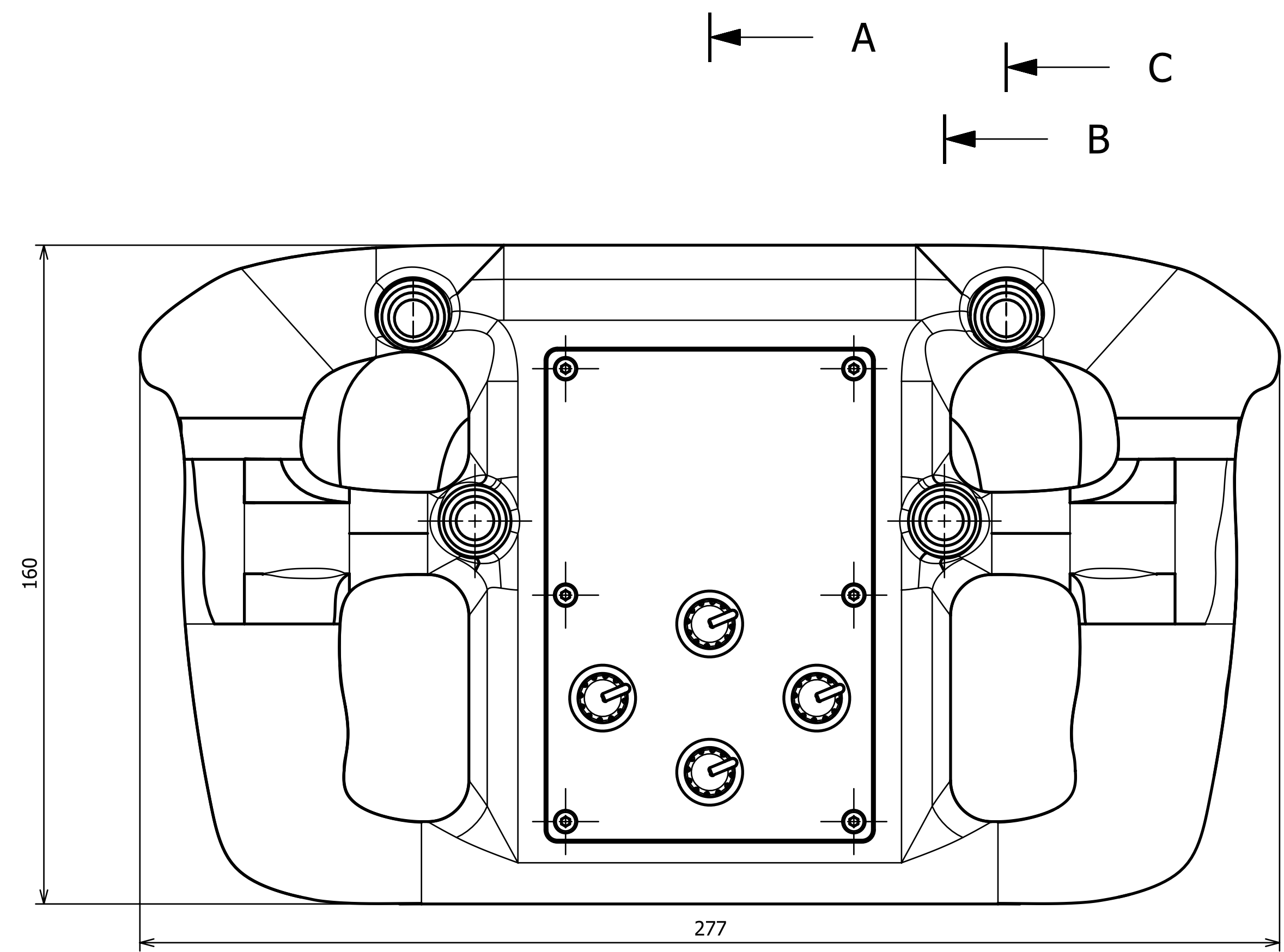


GENERAL FEATURES & OPTIONS

- Made in UK
- Cost effective single wafer switch
- Moulded 27.5mm diameter
- Standard 30° indexing
- Solder or Printed Circuit Board Terminals
- Up to 4 poles per switch
- Maximum 12 positions
- Shorting (make before break 30° indexing only) or non shorting (break before make) contacts.
- Adjustable stop to restrict number of positions
- Special options: 60° or 90° indexing, continuous rotation,
- Optional reinforcement ring.
- Fixed stop, UL-V0 rated material, gold flashed or gold plated contacts, and spindles with special flats, slots or knurls.
- No Bush versions available
- Rear Drive versions available
- Sealed PCB Termination available

CK ROTARY SWITCH SPECIFICATION SHEET





Poz.	Nazev	Vykres - norma	Material	Hmot.	Ks.
17	SHELL_UPPER	UWB04-03-21-002	CF_2	58,0	1
16	SHELL_LOWER	UWB04-03-21-001	CF_1	88,0	1
15	SHELL_COVER	UWB04-03-21-004	CF_3	13,0	1
14	SHELL_COVER-EDGE	UWB04-03-21-003	EN AW 7075		2
13	RIVET_AL_2X5			0,1	2
12	SROUB M5x20 - 12.9	DIN 912		4,6	3
11	SROUB M3x10 - 8.8	DIN 912		0,8	6
10	SROUB ST-2-2x4-C-H	ISO 7049		0,2	4
9	ISR3SAD		---	2,7	8
8	STIFFENER	UWB04-03-20-008	EN AW 7075		1
7	ROTARY-SWITCH-CK1051		---	9,0	4
6	KNOB-CR-BA		---	1,4	4
5	PCB-HOLDER	UWB04-03-20-005	POLYAMID	0,3	2
4	PCB-HOLDER-MAIN	UWB04-03-20-004	POLYAMID	4,1	1
3	PCB	UWB04-03-20-003			1
2	QUICK-RELEASE-HUB	UWB04-03-20-002		363,3	1
1	PADDLES	UWB04-03-20-001	CF_4	7,0	1

SHELL_UPPER (UWB04-03-21-001) SLEPIT S SHELL_LOWER (UWB04-03-21-002) VE FORMĚ (UWB04-03-22-001) POMOCÍ LEPIDLA SPABOND345

STIFFENER (UWB04-03-20-008) SLEPIT S SHELL_LOWER (UWB04-03-21-002) POMOCÍ LEPIDLA SPABOND345

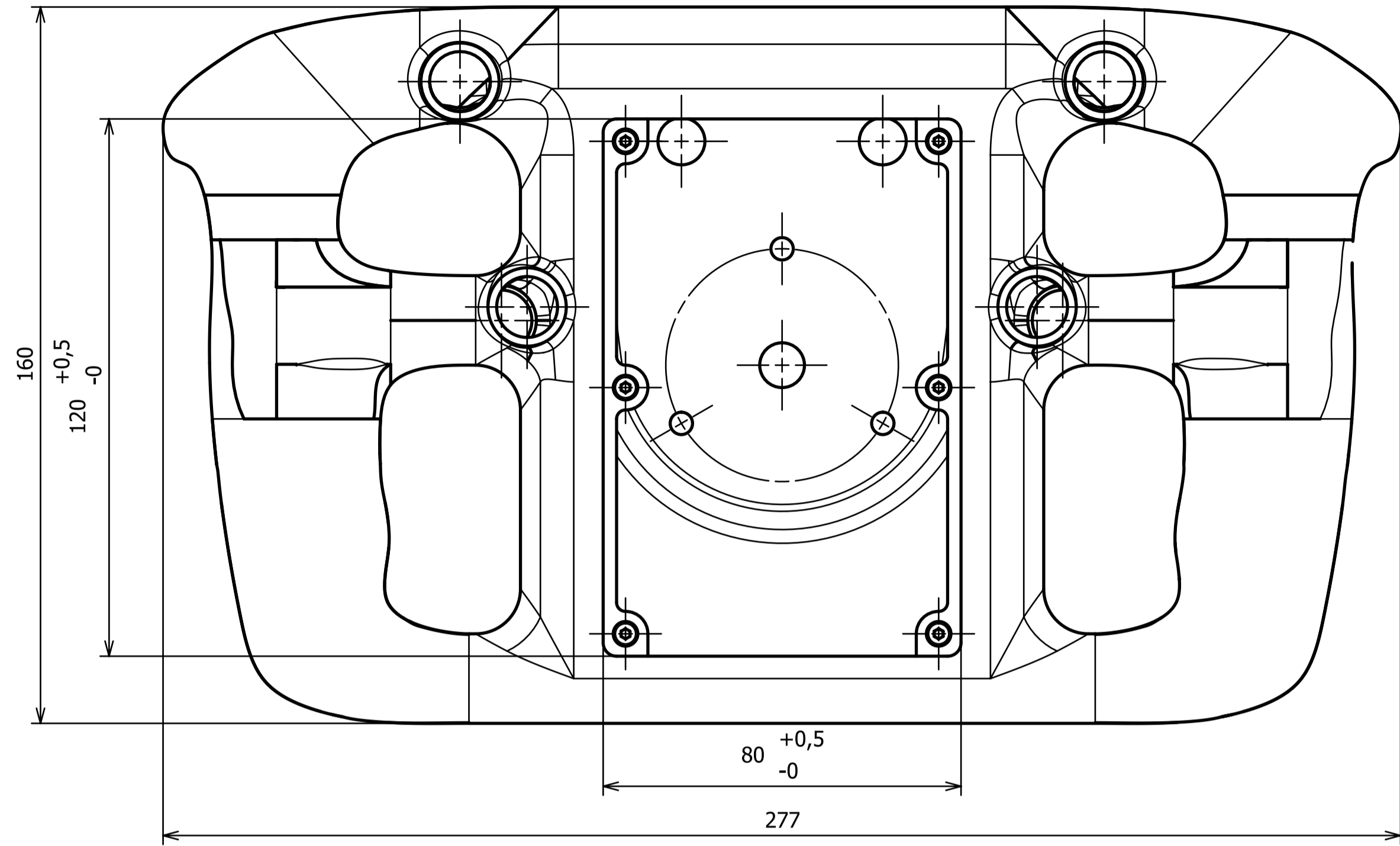
PCB-HOLDER-MAIN (UWB04-03-20-004) a PCB-HOLDER(UWB04-03-20-005) LEPIIT SPOLEČNĚ PO SEŠROUBOVÁNÍ S PCB(UWB04-03-20-003) POMOCÍ LEPIDLA SPABOND345

Proj. / Name	24.3.2017	Drawn by	S.Vrbna
Checked by		Approved by	
Project / Project	UWB04-03-20-000_Steering_Steering-wheel	Project / Project	UWB04-03-20
Scale / Scale	1:1	Sheet / Sheet	AO

STEERING-WHEEL

A →

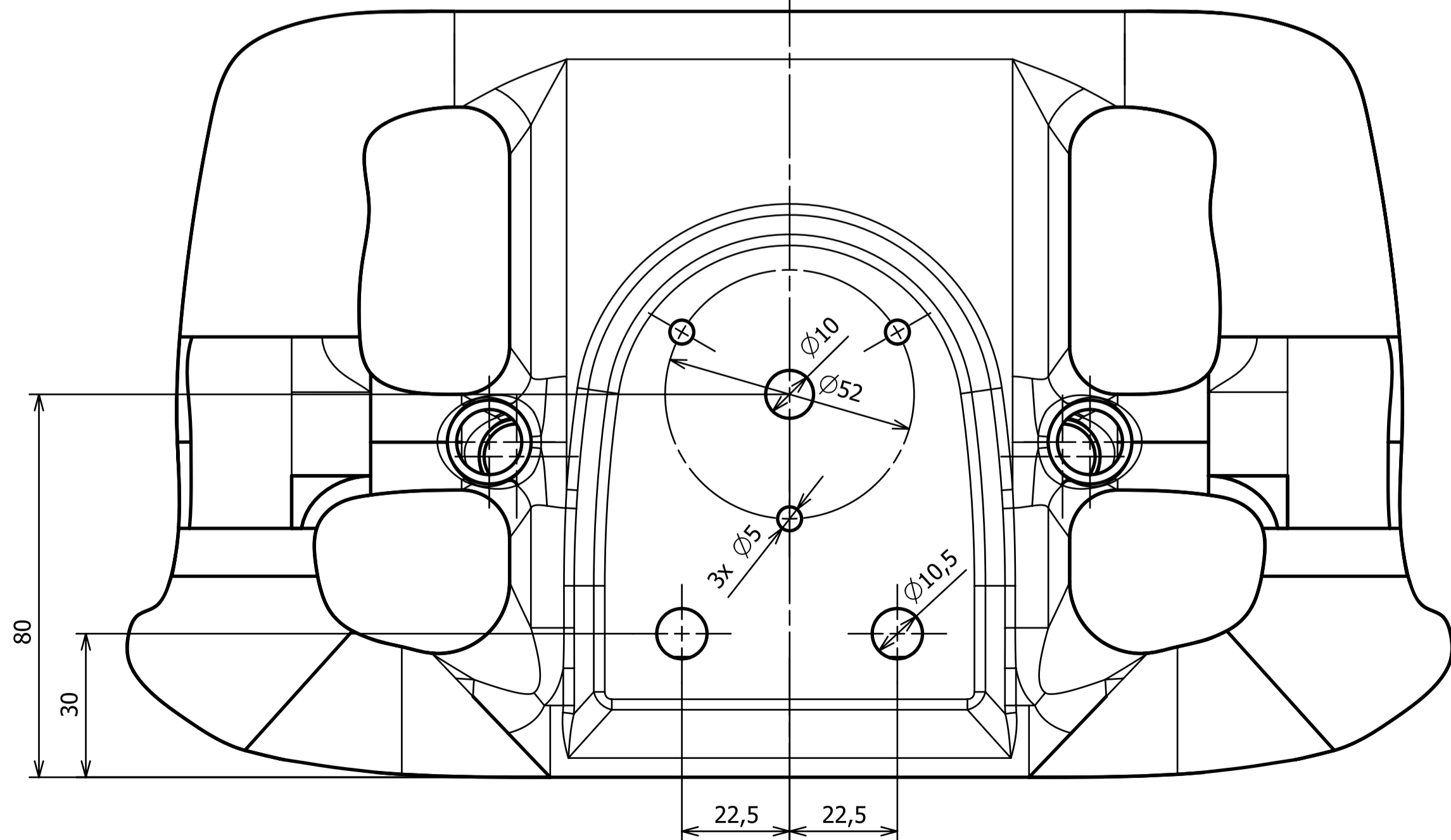
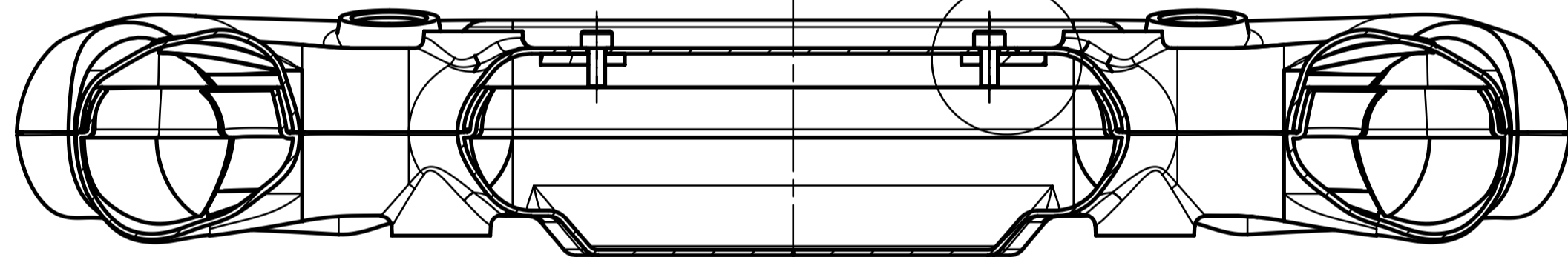
NEZOBRAZEN COVER (UWB04-03-21-004)



A →

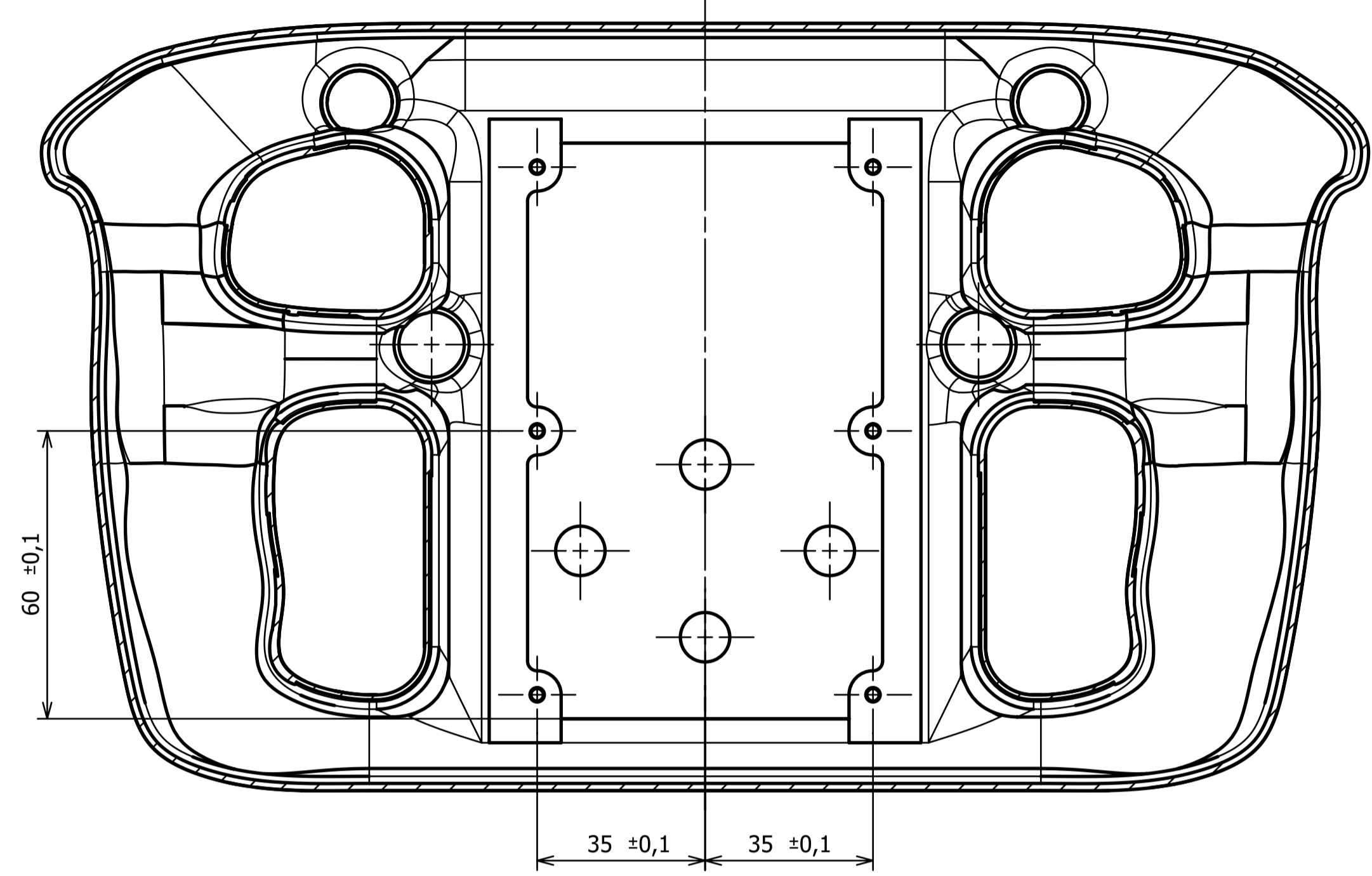
B-B

D



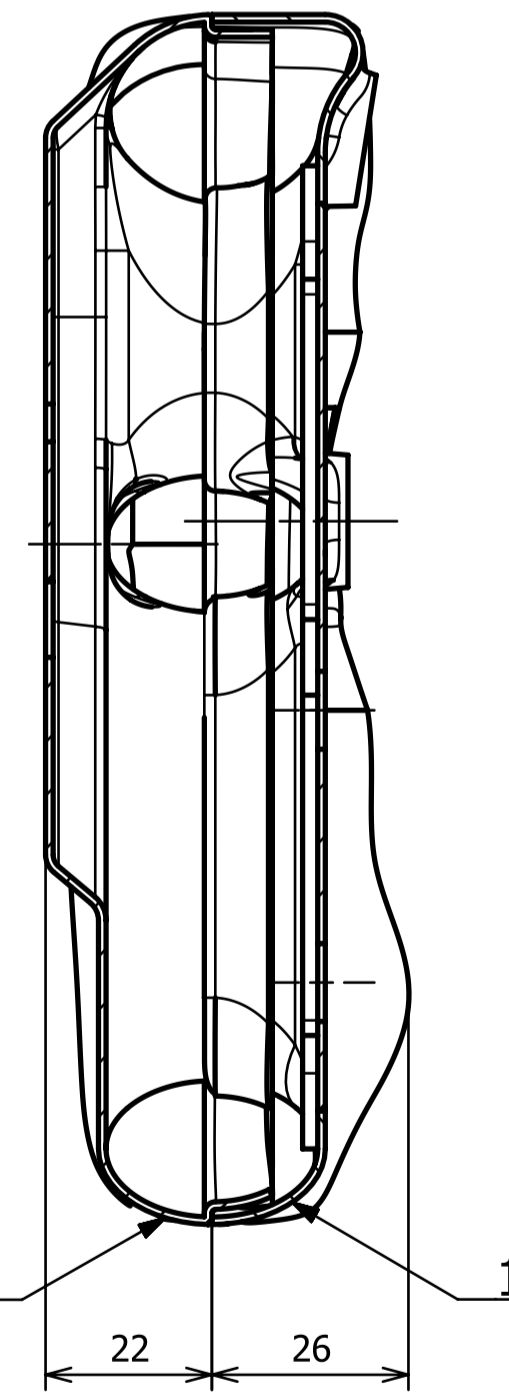
COVER EDGE (UWB04-03-21-003) LEPIK K SHELL_UPPER (UWB04-03-21-1) PO SEŠROUBOVÁNÍ S SHELL_COVER (UWB04-03-21-4)

C-C

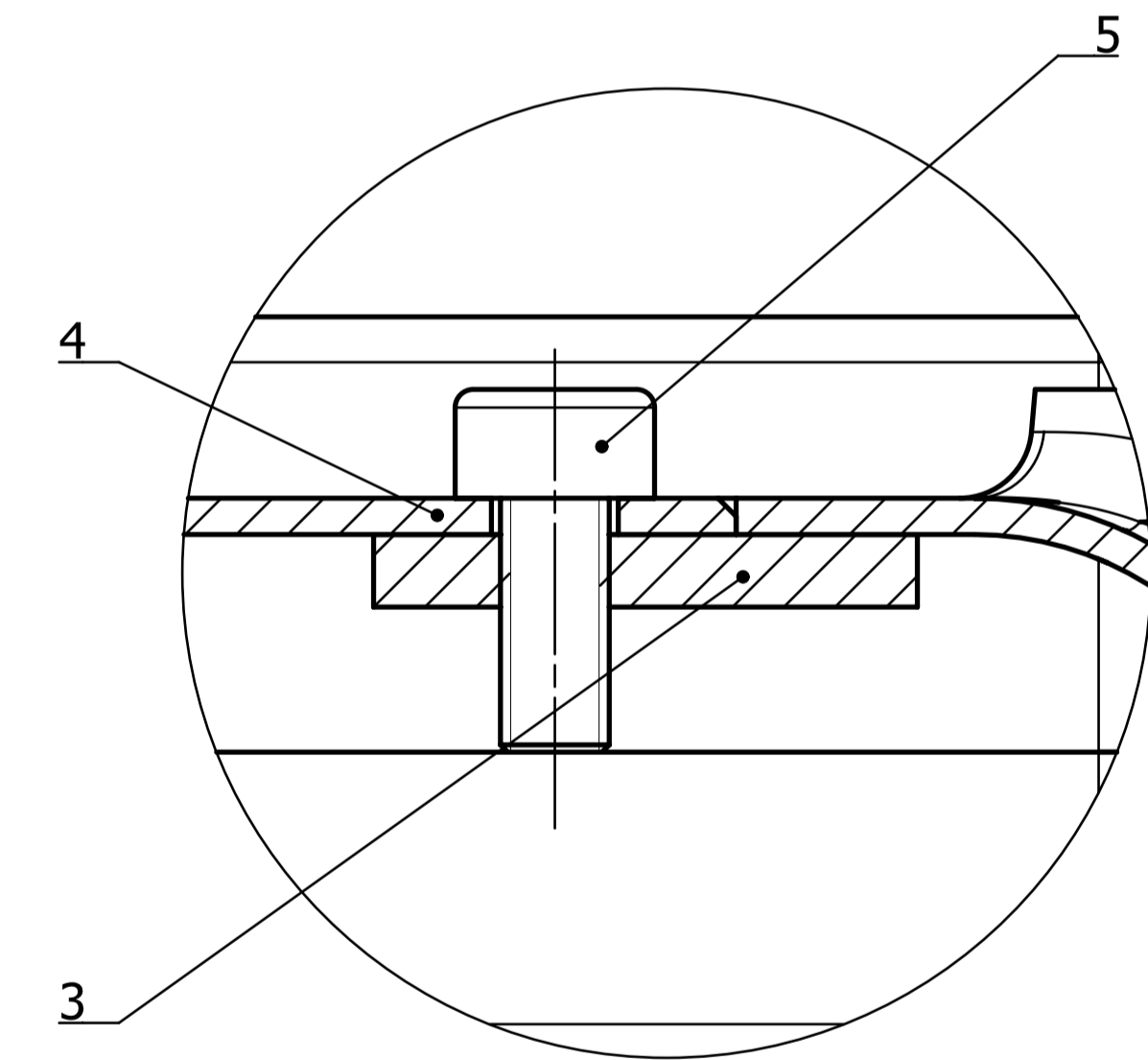


A-A

C →



C →



D (5:1)

Poz.	Název	Vykres - norma	Material	Hmot.	Ks.
5	SROUB M3X10 - 8.8	DIN 912		0,8	6
4	SHELL_COVER	UWB04-03-21-004	CF_3	13,0	1
3	SHELL_COVER-EDGE	UWB04-03-21-003	EN AW 7075		2
2	SHELL_LOWER	UWB04-03-21-001	CF_1	88,0	1
1	SHELL_UPPER	UWB04-03-21-002	CF_2	58,0	1

Kreslí / Drawn by: 25.3.2017		Jméno / Name: S. Vrba			
Schválí / Approved by:		Datum / Date:			
Index změny / change-description		Schvák / APP		Podpis / Signature	
Tolerance / Tolerování: ISO 8015, ISO 2768mK		Seznam dílů / BOM: UWB04-03-21-000_Steering_Steering-wheel_Shell		Projekt / Project: UWB04-03-21 Hmot. / Scale: 178 g, 1:1	
Název / Title: STEERING-WHEEL_SHELL				Rev. / Drawing No.: UWB04-03-21-000 List / sheet no.: 1, Počet listů / sheets: 1	

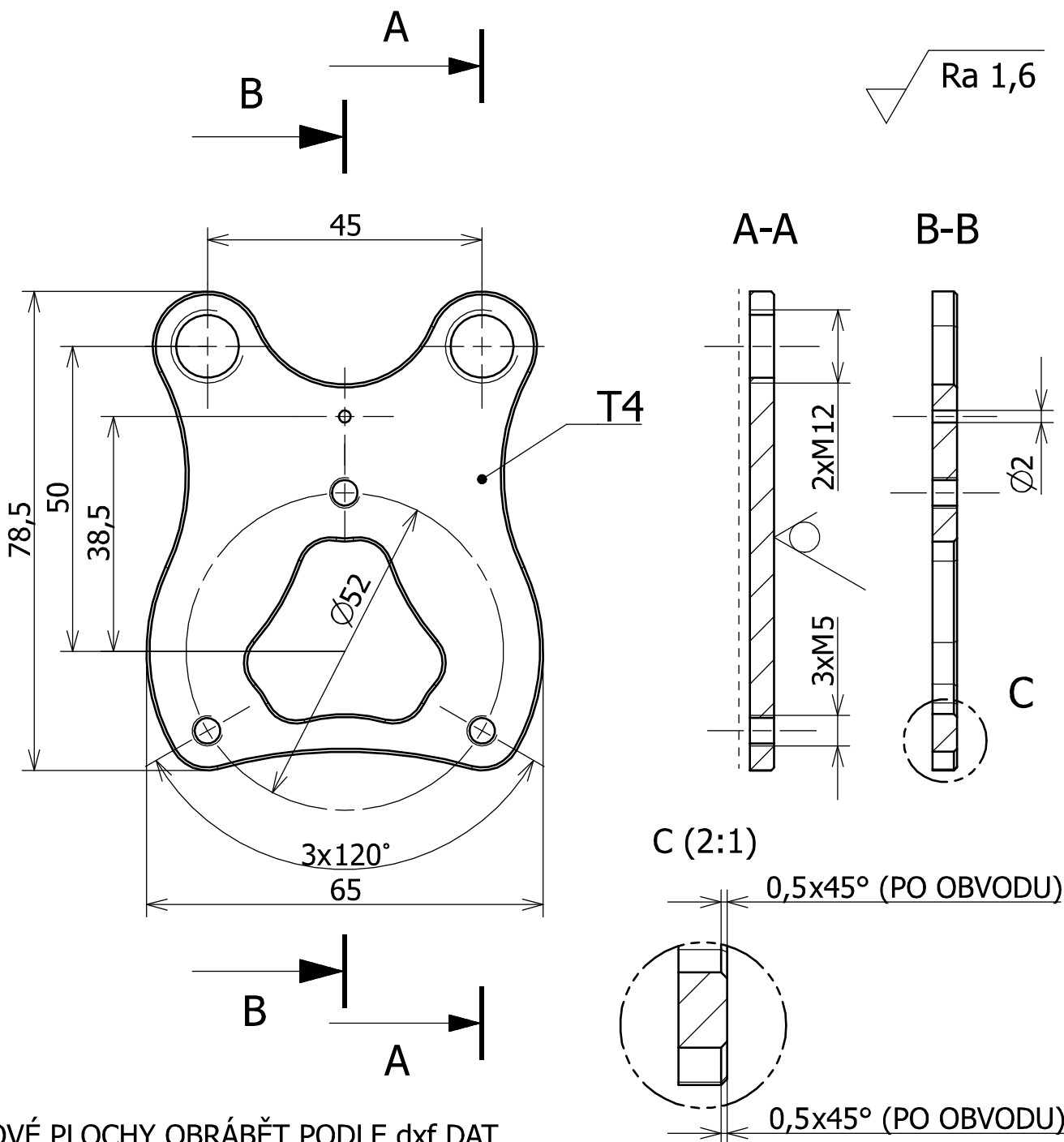
- 1) COVER_EDGE (UWB04-03-21-003) SLEPIT S SHELL_UPPER (UWB04-03-21-001) POMOCÍ LEPIDLA SPABOND345
- 2) SHELL_UPPER (UWB04-03-21-001) SLEPIT S SHELL_LOWER (UWB04-03-21-002) VE FORMĚ (UWB04-03-22-001) POMOCÍ LEPIDLA SPABOND345

4

3



2


1



TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT PODLE dxf DAT
PLOCHY ZNAČENÉ-----ZDRSNIT PRO LEPENÍ

1	STIFFENER	85x75x4	EN AW 7075 T651	---	0,035	---	UWB04-03-20	8
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			  <small>Vsichni prava vyhrazena / All rights reserved</small>	
Kreslil / Drawn by	22.3.2017		S. VRBA				
Prezkoušel / Checked by	---		---				
Schválil / Approved by	---		---				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:		
---	---	---	---	---	---		
---	---	---	---	---	---		

 ISO 128 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file UWB04-03-20-003_Steering_Steering-wheel_Stiffener	Projekt / Project:	---	Meritko / Scale	1:1
	Soubor-vykres / DRW-file UWB04-03-20-003_Steering_Steering-wheel_Stiffener	C.sestavy / Assembly No.	---		
Nazev / Title STIFFENER		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No. UWB04-03-20-008	Format A4	
		List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1

4

3

2

1

4

3

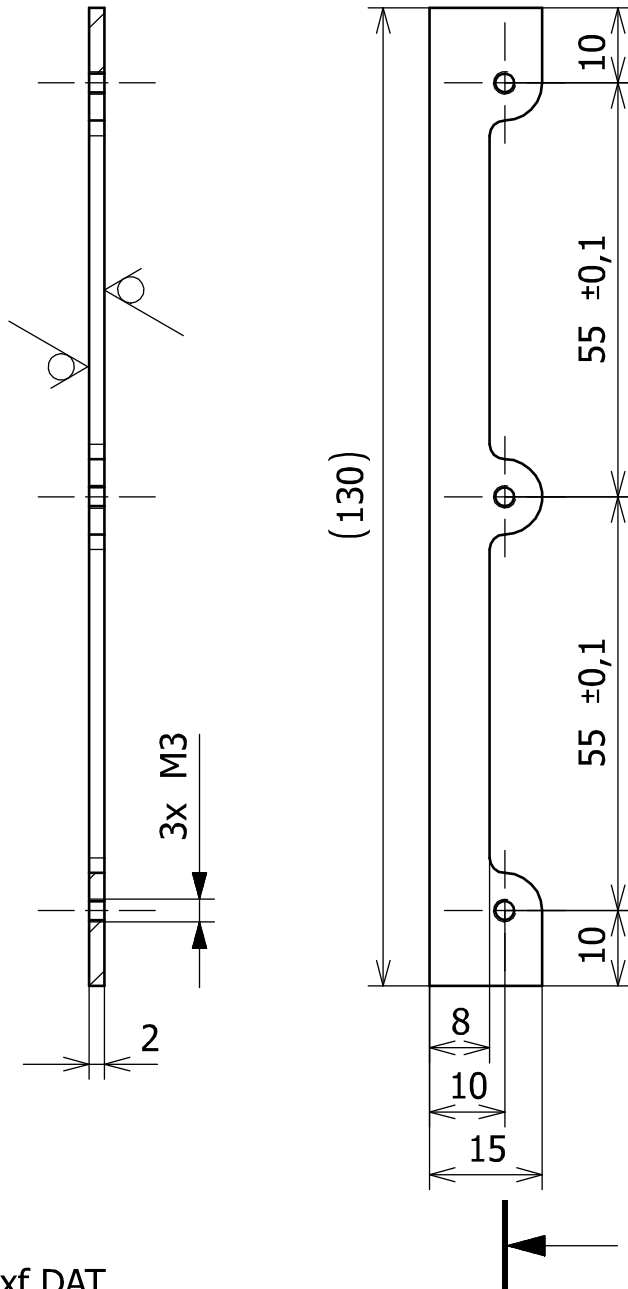
2

1

A-A



A


Ra 1,6



TVAR VYPÁLIT DLE dxf DAT

2	COVER EDGE	140x20x2	EN AW 7075	0,007	UWB04-03-21	3		
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			  <small>Vsichni prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	20.3.2017		S. VRBA			
Prezkousel / Checked by						
Schvalil / Approved by						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:	

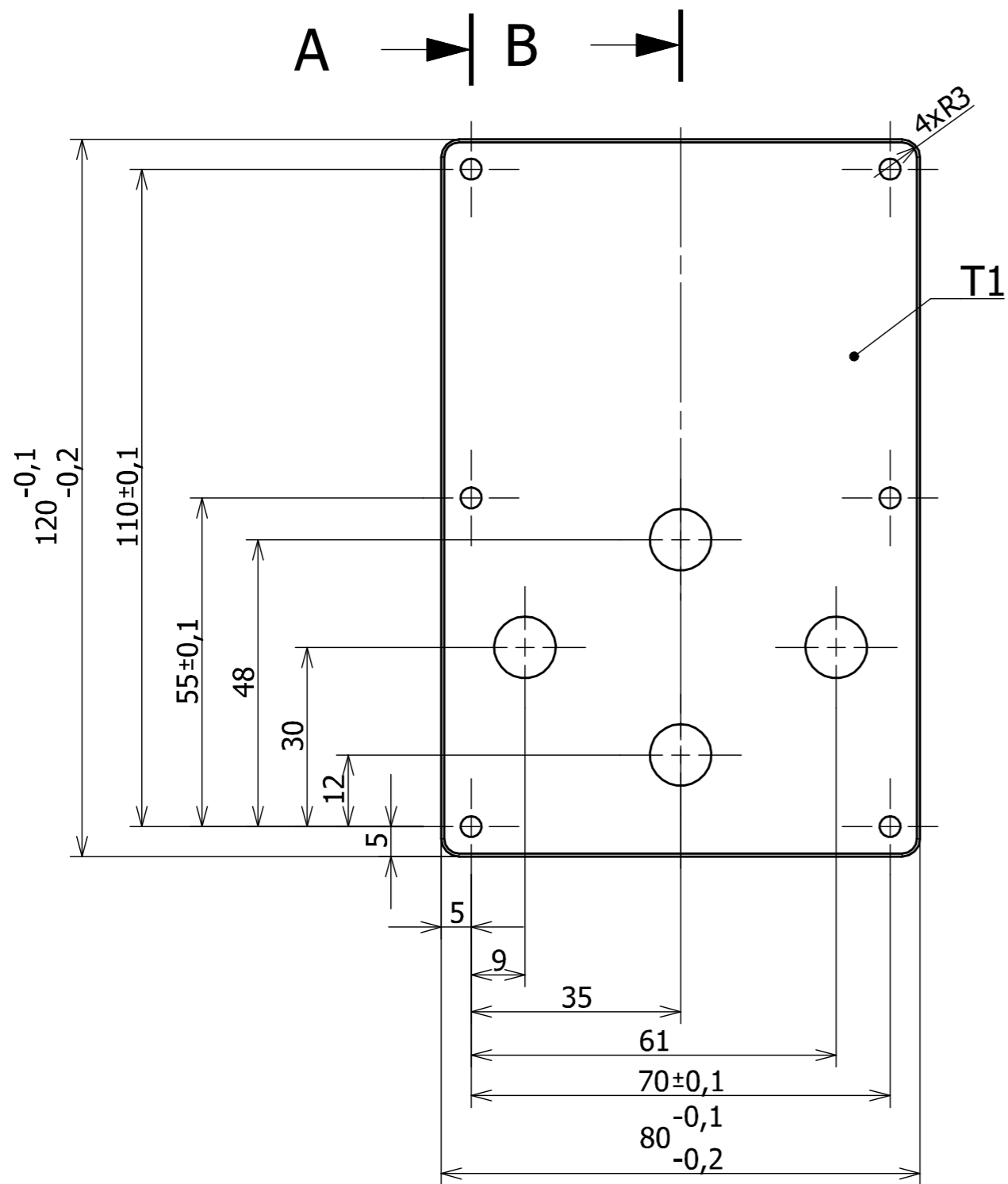
 ISO 128 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	UWB04-03-21-003_Steering_Steering-wheel_Shell_Cover-edge	Projekt / Project:	Meritko / Scale 1:1		
	Soubor-vykres / DRW-file	UWB04-03-21-003_Steering_Steering-wheel_Shell_Cover-edge	C.sestavy / Assembly No.			
Nazev / Title		COVER EDGE		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No. UWB04-03-21-003	Format A4
		List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1	

4

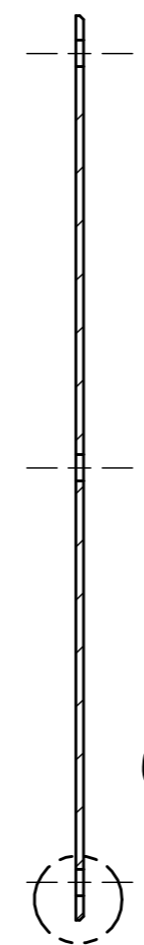
3

2

1

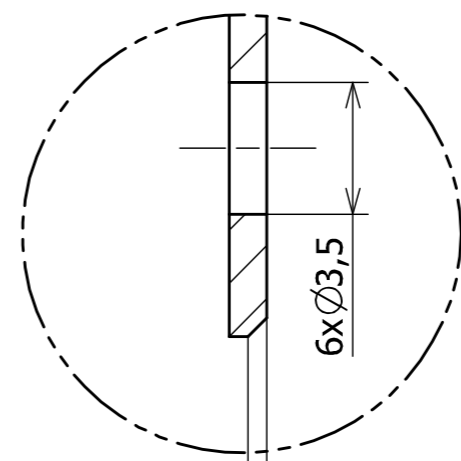


A-A

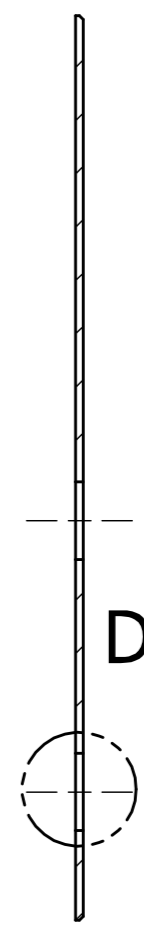


(PO OBVODU) 0,5x45°

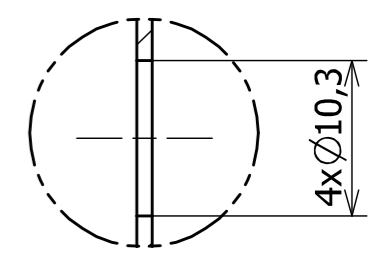
C (5:1)






B-B

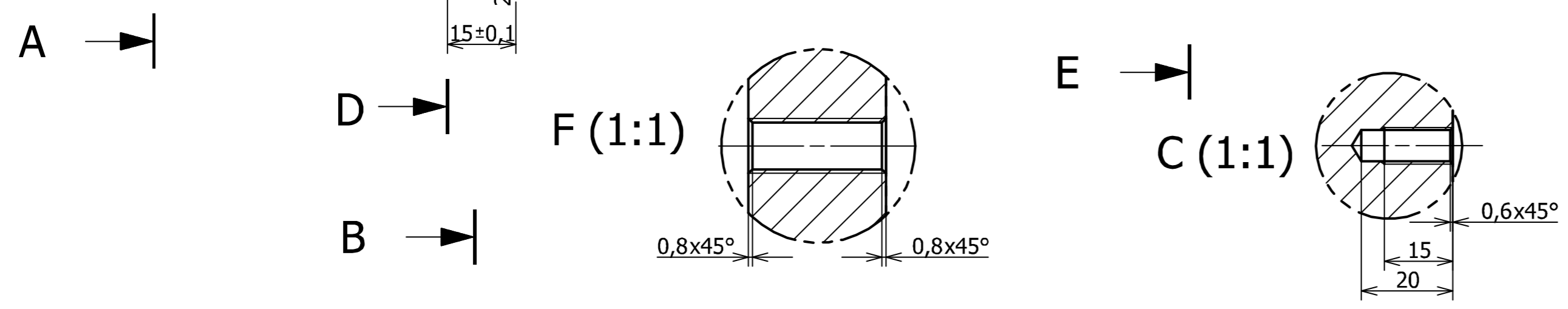
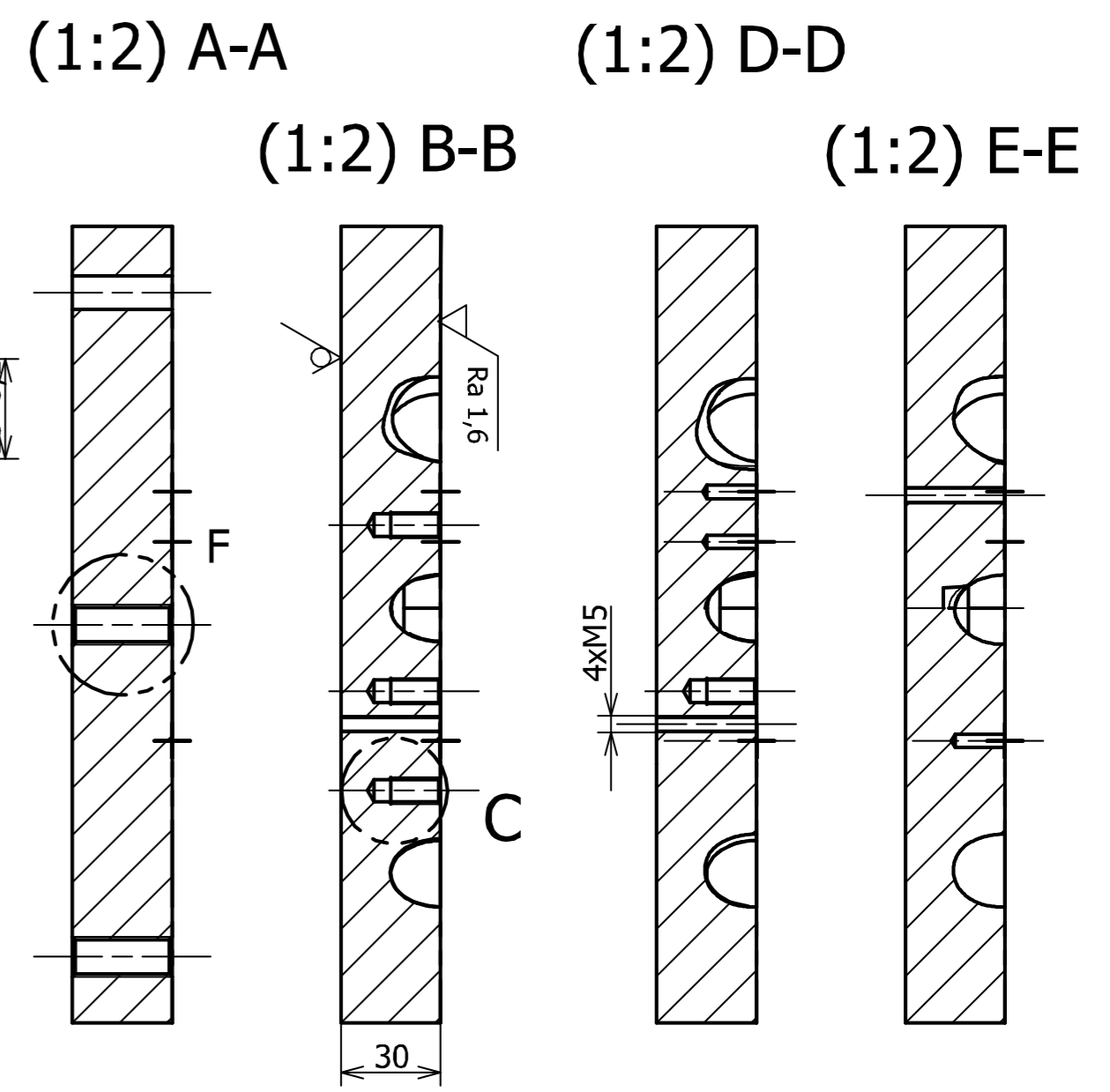
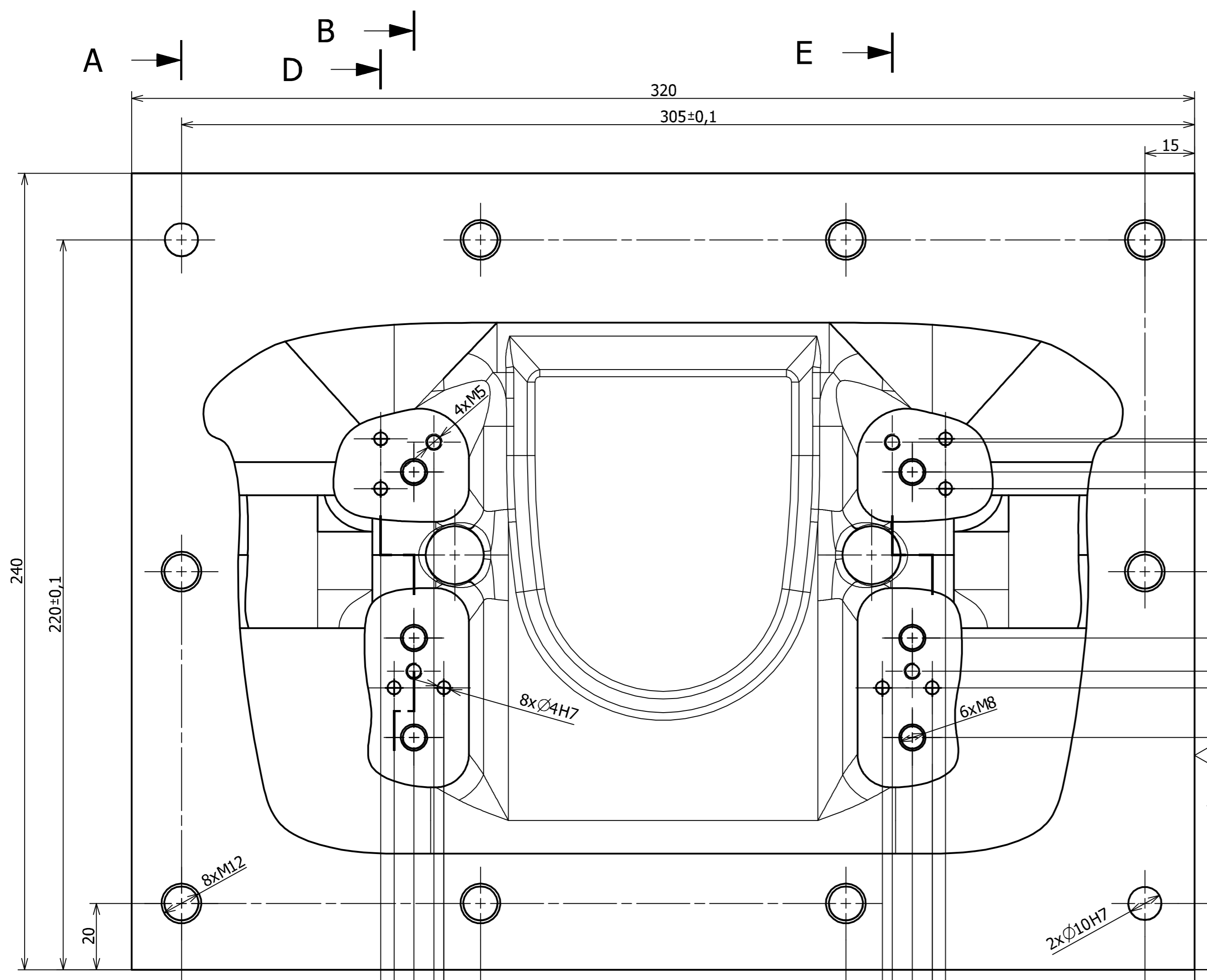


D (2:1)



A —▶ B —▶

1	SHELL_COVER	---	CF_3	---	0,013	---	UWB04-03-21	4
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.
CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			  <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>		
Kreslil / Drawn by			S. Vrba					
Prezkousel / Checked by	---		---					
Schvalil / Approved by	---		---					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:		Meritko / Scale		
	UWB04-03-21-004_Steering_Steering-wheel_Shell_Cover			---		1:1		
Soubor-vykres / DRW-file			C.sestavy / Assembly No.		---		Format	
UWB04-03-21-004_Steering_Steering-wheel_Shell_Cover			---		A3			
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
SHELL_COVER					UWB04-03-21-004			
				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1	

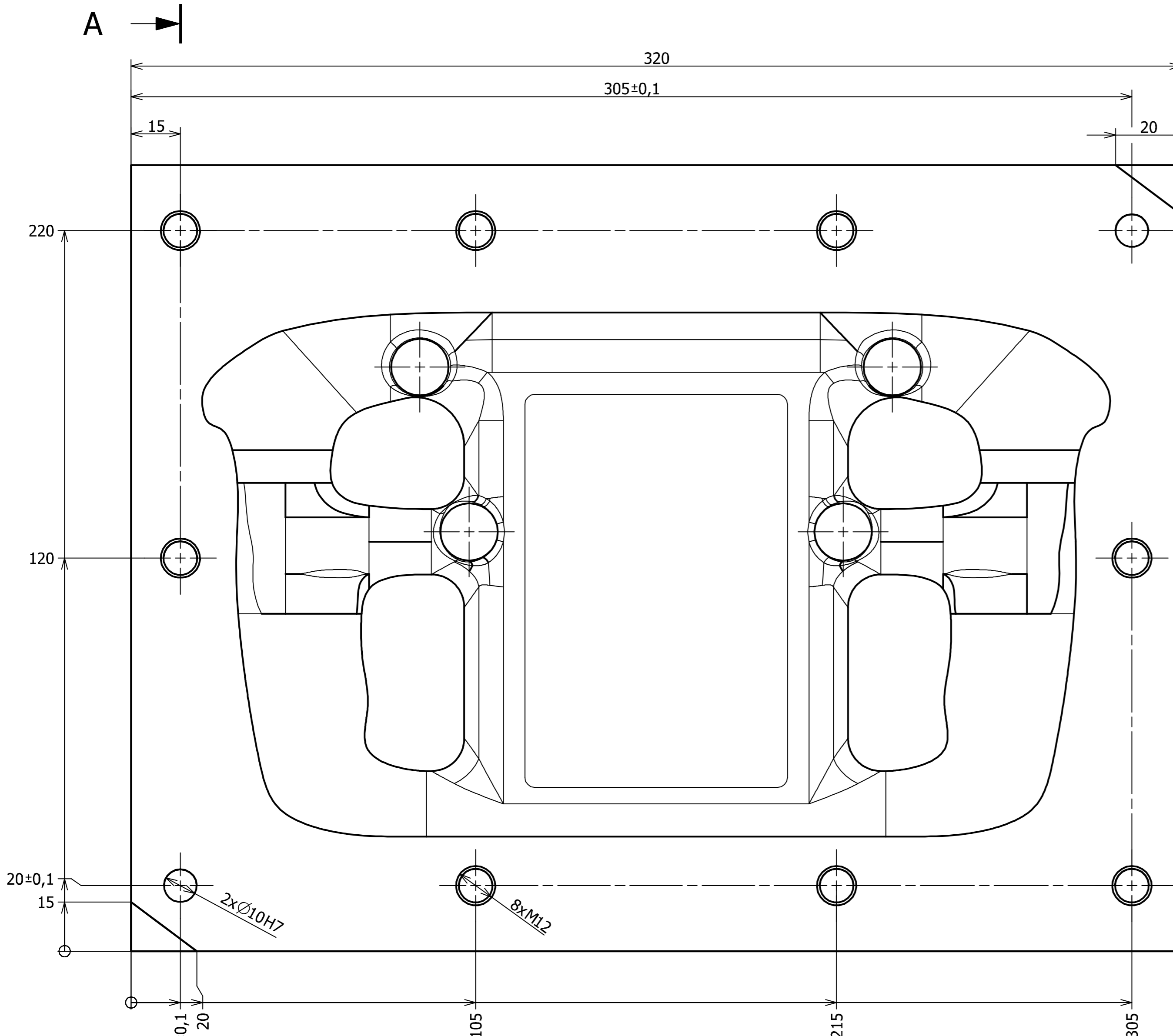


TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT PODLE 3D NA Ra 0,8

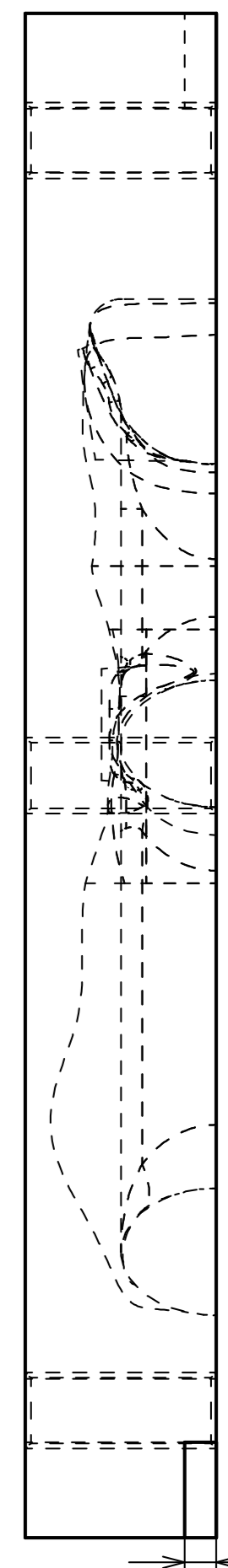
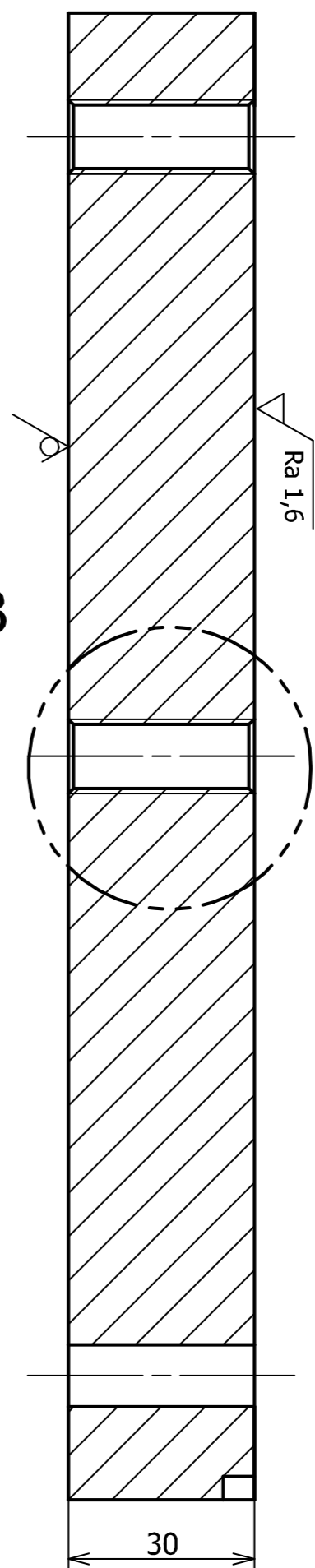
1	UPPER	320x240x30	EN AW 7075	---	4,720	---	UWB04-03-22	1
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovary	Material	T.O.	C.hmot.	H.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.V.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.
Dao 1	Datum / Date		Jmeno / Name					
Kresil / Drawn by	1.3.2017		S. Vrba					
Prezkoušel / Checked by	---		---					
Schválil / Approved by	---		---					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
Tolerance / Tolerovani	Soubor-modul / ASH-file		Projekt / Project		Meritko / Scale			
ISO 128	ISO 8015	ISO 2768mk	UWB04-03-22-001_Steering_Steering-wheel-Mold_Upper		---			
	Soubor-vykres / DRW-file		C.zestavy / Assembly No.		1:1			
	UWB04-03-22-001_Steering_Steering-wheel-Mold_Upper		---					
Nazev / Title	UPPER		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.		Format		
				UWB04-03-22-001		A2		
	List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1				

11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Ra 0,8

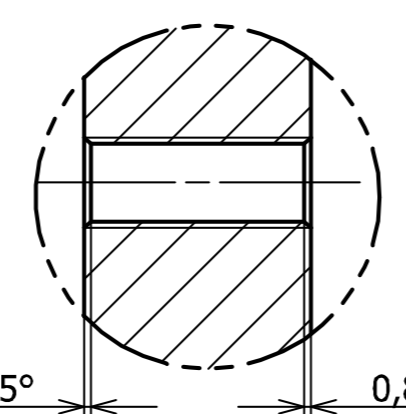


A-A



A →

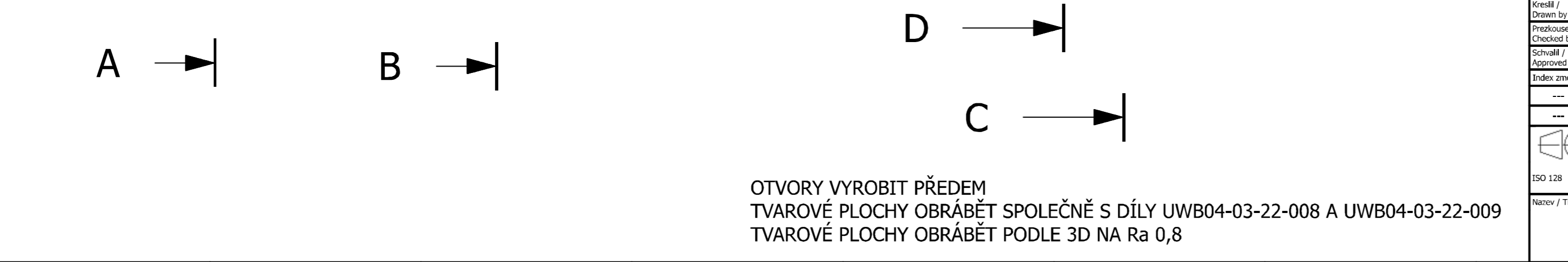
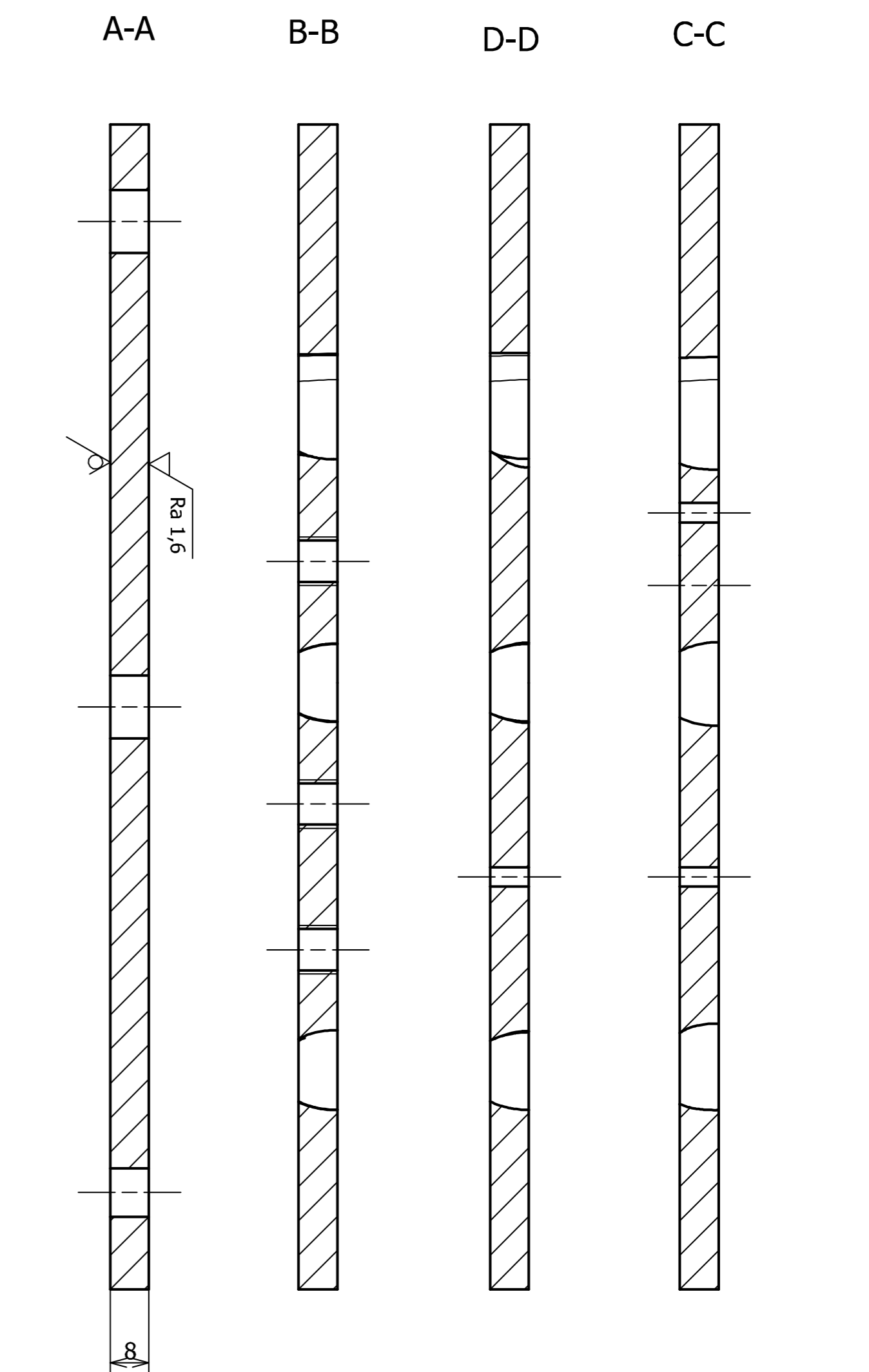
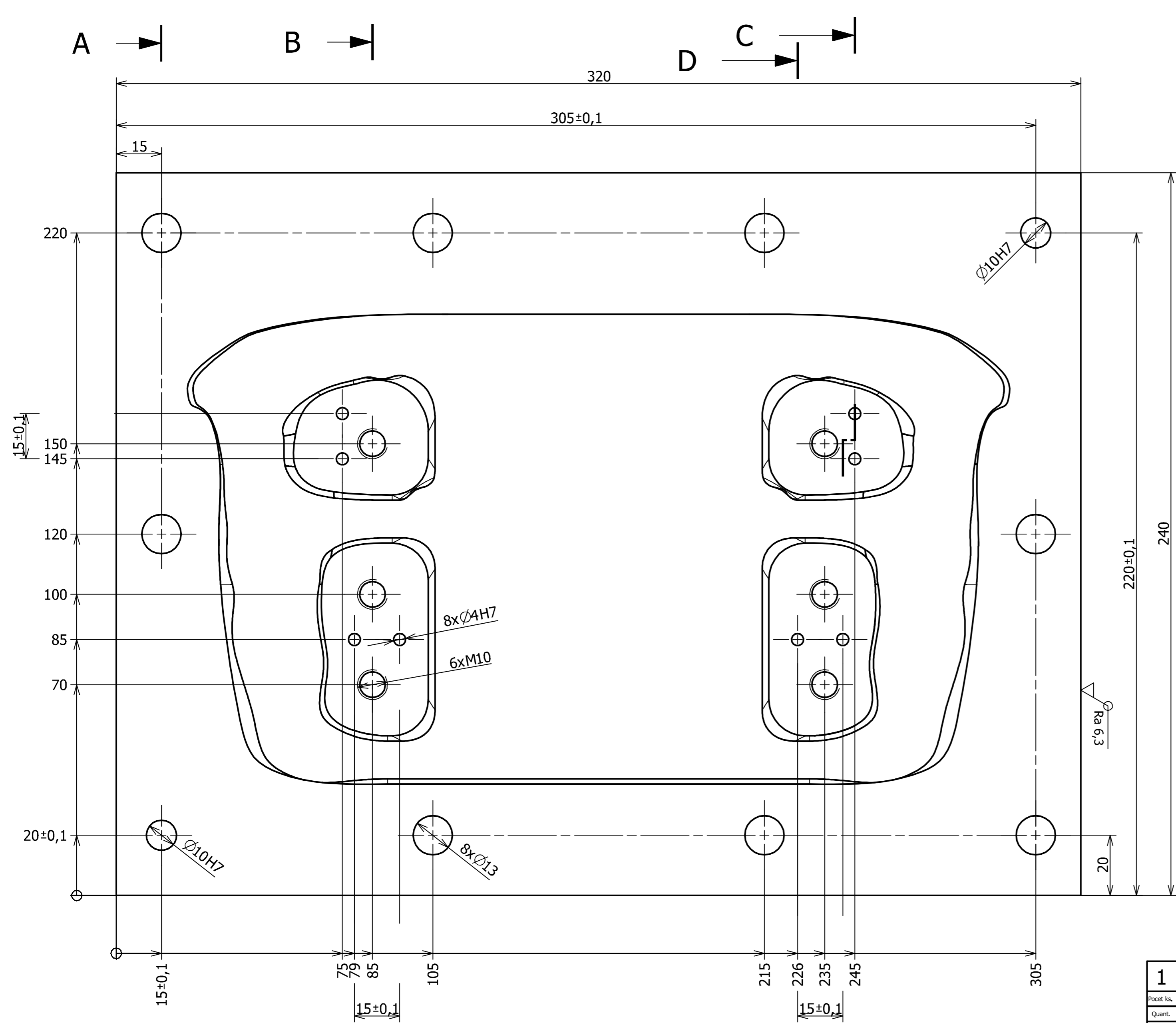
B (1:1)



TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT PODLE 3D NA Ra 0,8

1	LOWER	320x240x30	EN AW 7075	---	4,780	---	UWB04-03-22	2
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polkovar	Material	T.O.	C.hmot.	H.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.V.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.
Dao 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kresil / Drawn by	1.3.2017	S. Vrba						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
ISO 128	Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASH-file UWB04-03-22-002_Steering_Steering-wheel-Mold_Lower		Projekt / Project		---		Meritko / Scale
		Soubor-vykres / DRW-file UWB04-03-22-002_Steering_Steering-wheel-Mold_Lower		C. sestavy / Assembly No.		---		1:1
Nazev / Title			Rev.		Cislo vykresu / Drawing No.		Format	
LOWER					UWB04-03-22-002		A2	
			List / sheet no.		1		Pocet listu / sheets 1	

11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1



OTVORY VYROBIT PŘEDEM
 TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT SPOLEČNĚ S DÍLY UWB04-03-22-008 A UWB04-03-22-009
 TVAROVÉ PLOCHY OBRÁBĚT PODLE 3D NA Ra 0,8

1	UPPER-EDGE	320x240x8	EN AW 7075	---	0,970	---	UWB04-03-22	3
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	H.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Pos.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.V.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.
Dao 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kresil / Drawn by	1.3.2017	S. Vrba						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASH-file		Projekt / Project		Meritko / Scale		
ISO 128	ISO 8015 ISO 2768mk	UWB04-03-22-003_Steering_Steering-wheel-Mold_Upper-edge		---		1:1		
	Soubor-vykres / DRW-file	UWB04-03-22-003_Steering_Steering-wheel-Mold_Upper-edge		C.zestavy / Assembly No.		---		
Nazev / Title	UPPER-EDGE			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
	UPPER-EDGE				UWB04-03-22-003			A2
	List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1				

Ra 0,8

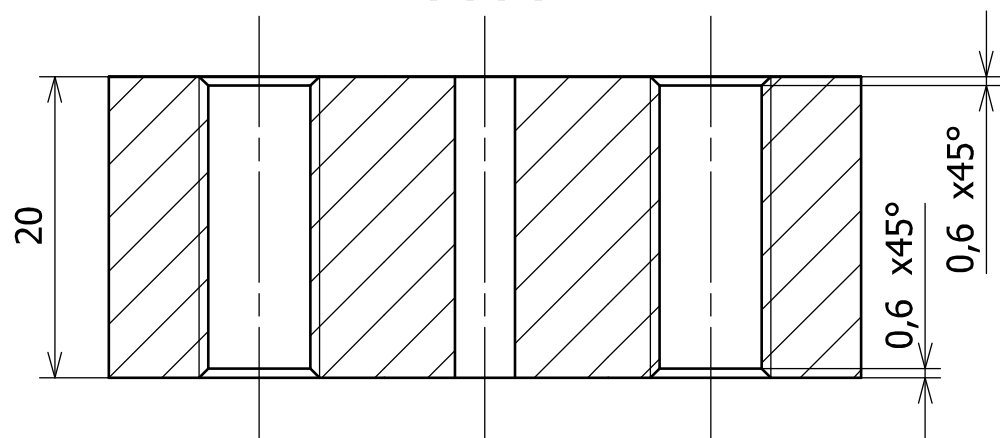
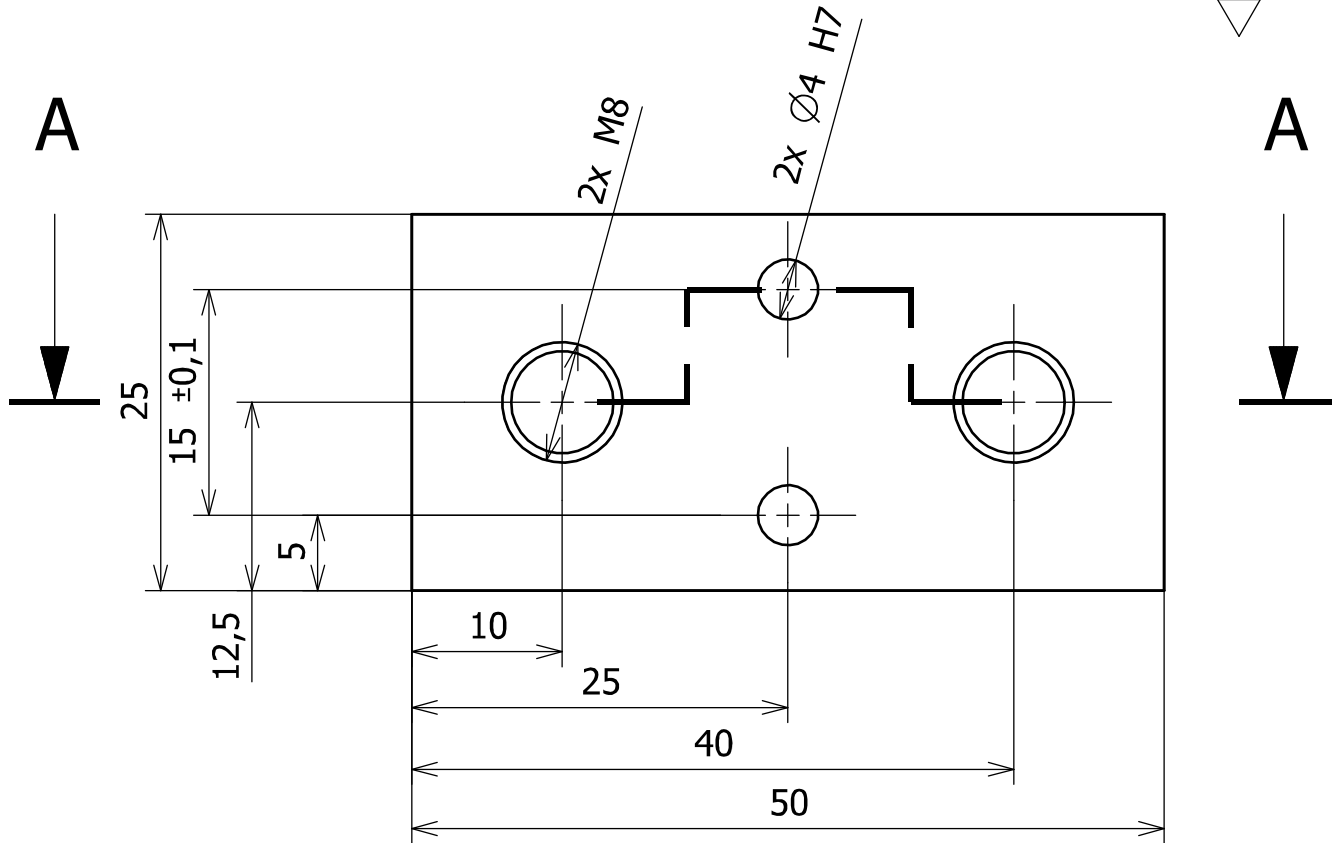
4

3

2



1


Ra 3,2



PŘÍPRAVEK PRO OBRÁBĚNÍ

1	FIXTURE	50x25x20	11 500.0	0,180	UWB04-03-22	8		
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name			  <small>Vsichni prava vyhrazena / All rights reserved</small>	
Kreslil / Drawn by	19.3.2017		S. Vrba				
Prezkoušel / Checked by							
Schválil / Approved by							
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:		

 <small>ISO 128</small>	Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file UWB04-03-22-008_Steering_Steering-wheel-Mold_Fixture	Projekt / Project:	Meritko / Scale 2:1	
		Soubor-vykres / DRW-file UWB04-03-22-008_Steering_Steering-wheel-Mold_Fixture	C.sestavy / Assembly No.		
Nazev / Title FIXTURE			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No. UWB04-03-22-008	Format A4
			List / sheet no. 1	Pocet listu / sheets 1	

4

3

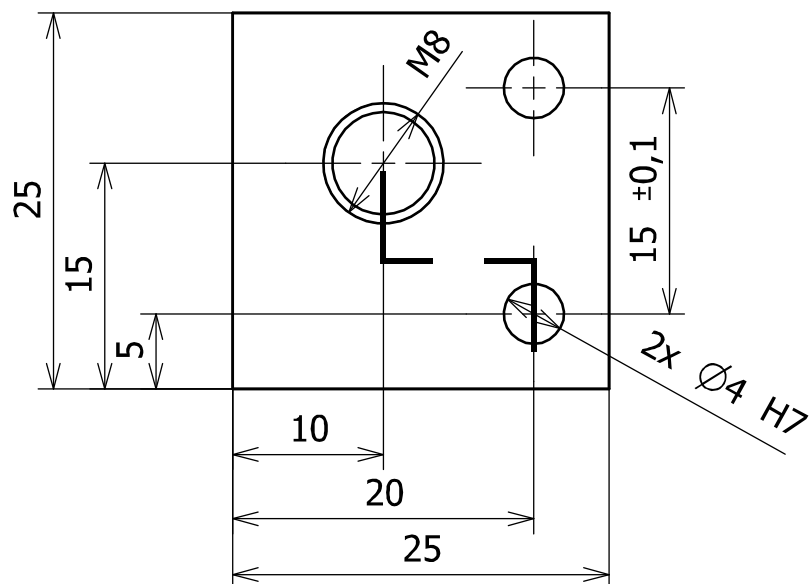
2

1

Ra 3,2

A

A-A



A

PŘÍPRAVEK PRO OBRÁBĚNÍ

1	FIXTURE_SMALL	25x25x20	11 500.0	001	0,089		UWB04-03-22	9
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovaz	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	7.4.2017		S. Vrba		
Prezkousel / Checked by					
Schvalil / Approved by					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	



Vsichni prava vyhrazena / All rights reserved

 ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	fixture_small	Projekt / Project:	Meritko / Scale	
	Soubor-vykres / DRW-file	fixture_small	C.sestavy / Assembly No.		
Nazev / Title			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
FIXTURE_SMALL				UWB04-03-22-009	A4
			List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets
				1	

4

3

2

1