

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301R016 Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce plastového odkládacího zásobníku a vakuové formy na jeho výrobu

Autor: **Jan Rada**

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

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan RADA**
Osobní číslo: **S19B0458P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Konstrukce plastového odkládacího zásobníku a vakuové formy na jeho výrobu**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhnete vakuovou formu včetně výlisku. Při konstrukci zohledněte tvar výlisku a zvolte tak optimální konstrukci formy. Součástí práce je vypracování výkresové dokumentace formy, provedení potřebných výpočtů, případně analýz, které poslouží ke kontrole funkce a správnosti návrhu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše
2. Konstrukční návrh formy
3. Ověření konstrukce pomocí výpočtů, či analýz
4. Zhodnocení práce, závěr

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

Seznam doporučené literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: Computer Press, 1999

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 2*. Praha: Computer Press, 2000

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

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

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petr Votápek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

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:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Rada	Jméno Jan		
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Dopravní a manipulační technika“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, Ph.D.	Jméno Martin		
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Konstrukce plastového odkládacího zásobníku a vakuové formy na jeho výrobu			

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	55	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje návrh vakuové formy pro automatickou výrobní linku a řeší na téma podtlakového tvarování, konstrukce vakuových forem a zásady navrhování výtažků. Dále je zde řešena digitalizace odkládacího zásobníku pomocí ručního skeneru a následné zpracování naměřených dat.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>podtlakové tvarování, vakuová forma, blistr, návrh, CAD, skenování</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Rada	Name Jan		
FIELD OF STUDY	2301R016 “Transport and handling machinery“			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D.	Name Martin		
INSTITUTION	ZČU – FST – KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Design of plastic storage tray and vacuum mold for its production			

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	55	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis disserts on the design of a vacuum mold for an automatic production line and research on the topic of vacuum forming and designing of its products and construction of vacuum molds. Furthermore, the digitization of the storage tank using a hand-held scanner and the subsequent processing of measured data is solved here.
KEY WORDS	vacuum forming, vakuum mold, blister pack, design, CAD, scan

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Martinu Hynkovi, Ph.D. za odborné vedení práce. Zároveň bych chtěl velmi poděkovat Ing. Petru Votápkovi, Ph.D. a Ing. Antonínu Maxovi za veškeré odborné rady a připomínky. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat přítelkyni a rodině za veškerou podporu při studiu.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	3
Úvod.....	4
Teoretická část.....	5
1. Obalový průmysl.....	5
1.1. Dělení obalů.....	5
1.2. Výroba obalů	5
2. Produkty tvarování plastů.....	6
3. Materiály využívané při tvarování za tepla	7
4. Tvarování desek a fólií z termoplastu za tepla	9
4.1. Princip podtlakového tvarování.....	9
4.1.1. Výhody a nevýhody podtlakového tvarování.....	9
4.2. Ohřev materiálu	10
4.3. Tvary forem a způsoby tvarování	10
4.3.1. Negativní tvarování	10
4.3.2. Pozitivní tvarování	11
4.3.3. Kombinované tvarování	12
4.4. Tvarovací stroje	13
4.4.1. Manuální stroje.....	13
4.4.2. Poloautomatické stroje	14
4.4.3. Automatické stroje	14
4.5. Tvarovací formy	14
4.5.1. Materiál forem.....	15
4.5.2. Konstrukce formy.....	15
4.6. Zásady navrhování výtažků a jejich charakteristika.....	16
4.6.1. Zešikmení stěn.....	16
4.6.2. Zaoblení hran a rohů	17

4.6.3.	Zvyšování tuhosti výtažků	17
4.6.4.	Tloušťka stěny	18
	Praktická část.....	20
5.	Úvod praktické části.....	20
5.1.	Zadání a specifikace požadavků	20
6.	Skenování	21
6.1.	Postup skenování	21
7.	Modelování blistru	25
7.1.	Kontrola úkosů	26
7.2.	Porovnání skenu s blistrem.....	27
7.3.	Kontrola kolizí blistru s produkty.....	28
8.	Sestava rámu stroje.....	30
8.1.	Sestava formy	31
8.1.1.	Konstrukce formy.....	31
8.1.2.	Chladicí deska	34
8.1.3.	Uzavírací deska spodní.....	35
8.1.4.	Upínací deska dolní	35
8.2.	Sestava tvárníku.....	36
8.2.1.	Tvárník	36
8.2.2.	Deska pod tvárník.....	37
8.2.3.	Podložky	37
8.2.4.	Uzavírací deska horní.....	38
	Závěr.....	39
	Seznam obrázků	40
	Seznam tabulek	41
	Literatura	42
	Seznam příloh.....	43

Přehled použitých zkratk a symbolů

Symbol/zkratka	Název
3D	trojrozměrný
atd.	a tak dále
BP	bakalářská práce
CA	acetát celulózy
CAD	Computer aided design
např.	například
Obr.	obrázek
PE	polyethylen
PMMA	polymethylmethakrylát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
Tab.	tabulka
tj.	to je

Zkratka	Název
kPa	kilopascal

Úvod

S postupujícím vývojem výrobních procesů je stále více dbáno na produktivitu práce a s ní spjatou ergonomii práce. Pro zlepšení manipulace s výrobky se začaly používat kromě beden a palet různé zásobníky a pořadače, které slouží k uspořádání dílů. Zároveň zamezují volnému pohybu výrobků v přepravech a následným kolizím, které mohou poškodit povrch a v určitých případech i znehodnotit výrobek.

Práce je zaměřena na konstrukci a technologii výroby výtažků z termoplastů a je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsána technologie výroby výtažků a jejich hlavní konstrukční prvky a v praktické části je popsána metoda digitalizace fyzického zásobníku a následné zpracování dat potřebných k návrhu produkčních výrobních nástrojů vhodných k nasazení do sériové výroby zásobníků. V rámci zadání BP byl k dispozici fyzický vzorek zásobníku a 3D modely dvou produktů určených k zakládání do zmíněného zásobníku.

Teoretická část

1. Obalový průmysl

Každý výrobek se ve svém životním cyklu setká s nějakým druhem obalu. Díky tomu je obalový průmysl jeden z největších na světě. Každá fáze životního cyklu produktu využívá jiné druhy obalů, přičemž základním účelem všech obalů je chránit výrobek před poškozením. Dále se na obal často udávají informace o výrobku, jako například název výrobku či datum výroby. [7]

1.1. Dělení obalů

Obaly se obecně dělí buď podle použitého materiálu (plast, kov, papír, sklo...) nebo podle účelu použití (přepravní, skupinové, spotřebitelské). Každé odvětví má různé nároky na zpracování a na vlastnosti materiálů. Například u průmyslových obalů (přepravní a skupinové) se tolik nedbá na vzhled. U spotřebitelských obalů, se kterými je v kontaktu zákazník, vzhled hraje významnou roli v upoutání zákazníka a tím i možnosti zvýšení prodeje výrobku. Dále je potřeba oddělit od ostatních např. obaly určené pro potravinářský průmysl, kde se i při výrobě musí dodržovat určitá zvýšená hygienická pravidla. [7]

1.2. Výroba obalů

Existuje mnoho různých technologií zpracování plastů, jenž jsou využívány pro výrobu obalů. Mezi nejznámější patří např. vstřikování, vytlačování a vyfukování. Další, velice využívaná technologie pro výrobu obalů je tvarování za tepla, které je popsána v dalších kapitolách. Existuje i tvarování za studena, tato metoda však není tolik využívána. [9]



Obr. 1: Přepravka vyrobená metodou vstřikování Obr. 2: Nádoba vyrobená metodou vyfukování [12]
[11]

2. Produkty tvarování plastů

Tvarování za tepla je v obalovém průmyslu využíváno pro výrobu různých nádob, přepravek, kelímků, krytů atd. V praktické části je často využíván pojem blistr, což je také jeden z produktů tvarování za tepla. Pojem blistr je používán pro označení výtažku s často vyšším počtem stejných kavit. Takto tvarované fólie mohou být dále děleny na jednotlivé produkty (např. na jednotlivé kelímky), anebo mohou být zanechány vcelku a být využity jako skladovací či přepravní zásobníky. Příklady blistrů jsou znázorněny na Obr. 3 a Obr. 4.



Obr. 3: Ukázka blistru (zásobník) [7]



Obr. 4: Ukázka blistru (spotřebitelský obal) [7]

3. Materiály využívané při tvarování za tepla

Tvarováním za tepla lze tvarovat většinu termoplastů zpracovaných do fólií a desek (fólie je označení pro plošný výrobek s konstantní tloušťkou přibližně do 2 mm). Pro zjednodušení budou dále v textu fólie i desky označovány jako polotovary. [1]

Pro tvarování se obvykle využívá polotovar s tloušťkou od 0,1 mm do 10 mm, který musí mít alespoň z jedné strany hladký povrch (lesklý i matný) a nesmí obsahovat žádné vzduchové bubliny či nečistoty. Pokud by byl polotovar tvarován s takovými nečistotami, materiál by se v jejich místě porušoval a trhal. Musí být rovněž zajištěna konstantní tloušťka polotovaru

(s ohledem na výrobní tolerance). [1]

Je možné tvarovat i polotovar s povrchovou úpravou z jedné strany. Existují polotovary, které mají předem připravený dekorativní vzor. Zde je však třeba počítat s vyšší cenou a s deformací vzoru při tvarování. Také je potřeba zvolit vhodnou metodu tvarování, jelikož tvárníky by mohly způsobit poškození tohoto upraveného povrchu.



Obr. 1: Výtažek z lesklého plastu [7]



Obr. 2: Výtažek se vzorovaným povrchem [7]

Výběr materiálu pro výtažek závisí na mnoha parametrech. Při navrhování výtažku je třeba zohlednit v jakých pracovních teplotách a v jakém prostředí se bude výtažek pohybovat, jak bude namáhán (tedy jaká je potřebná houževnatost a tuhost výtažku), či jak odolává materiál proti stárnutí. Dále je potřeba zohlednit technologii výroby. Velikou roli hraje tvarovatelnost materiálu (poměr výšky a průměru při tvarování dutin) a tvarovací teplota. Dalšími aspekty mohou být přímo potřebné vlastnosti výtažku, jako např. průhlednost. [1]

Mezi nejpoužívanější materiály patří styrenové plasty, polyethylen (PE), polypropylén (PP), polyvinylchlorid (PVC) a deriváty celulózy, tedy acetát celulózy (CA) a polymethylmethakrylát (PMMA). [1]

Standartní polystyren (PS) není pro tvarování příliš využíván kvůli křehkosti výrobků. Častěji se setkáme s houževnatým polystyrénem, jelikož lépe odolává nárazům. Velmi často se také můžeme setkat s výrobky z pěnového polystyrénu, které jsou využívány pro svou nízkou hustotu a tepelné izolační vlastnosti. PE a PP se vyznačují svou výbornou tvarovatelností. Avšak kvůli své struktuře (jedná se o semikrystalické plasty) je třeba počítat s delší dobou ohřevu a chladnutí. Mezi amorfní plasty patří například PVC a jeho kopolymery, CA a PMMA (také známo jako plexisklo), což je čirý a průhledný amorfní plast s výbornými optickými vlastnostmi. [1]

Základní hodnoty jednotlivých termoplastů jsou uvedeny v Tab. 1, kde R_m – mez pevnosti v tahu, T_{max} – maximální teplota pro provoz výrobku, T_{min} - minimální teplota pro provoz výrobku.

Plast	Hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	R_m [MPa]	Tažnost při 23°C [%]	T_{max} [°C]	T_{min} [°C]	Tvarovací teplota [°C]
PS	1040 - 1060	35 - 60	1,0 - 4,0	65 - 70	-20	110 - 130
PS-HI	1030 - 1040	20 - 45	20 - 60	60 - 65	-60	110 - 135
ABS	1030 - 1060	30 - 50	15 - 30	75 - 115	-30	110 - 135
PE	920 - 960	15 - 25	200 - 900	70 - 90	-60	120 - 140
PP	900 - 910	30 - 40	250 - 700	100 - 120	-10	160 - 170
PVC-U	1360 - 1400	45 - 60	20 - 50	60	-5	110 - 130
PVC-P	1200 - 1340	20 - 30	200 - 300	40	-5 až -40	100 - 120
CA	1260 - 1290	35 - 60	10 - 70	60 - 80	-10 až -20	130 - 150
CAB	1170 - 1220	20 - 45	15 - 70	65 - 90	-30	130 - 150
PMMA	1180	60 - 80	5 - 10	75 - 85	-40	120 - 150
PC	1220	55 - 60	80 - 120	130 - 140	-60	175 - 190

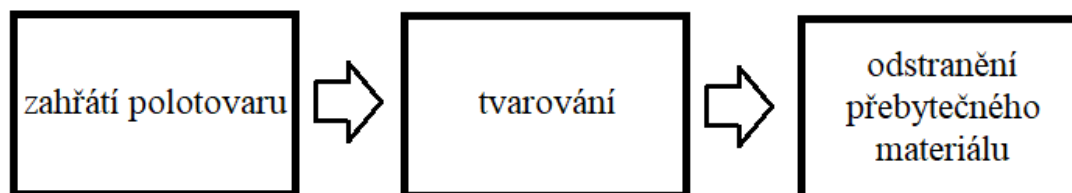
Tab. 1: Materiálové vlastnosti [1]

4. Tvarování desek a fólií z termoplastu za tepla

Tvarování za tepla je výrobní postup, který využívá tvarovatelnosti termoplastu při zahřátí na tvarovací teplotu. Slouží k výrobě jednoduchých tvarů z fólií nebo desek, při kterém nedochází k většímu přemísťování částic hmoty. Jedním z odvětví tvarování za tepla je podtlakové tvarování. Jedná se o nejvyužívanější metodu tvarování v praxi, která využívá síly dané rozdílem působících tlaků nad a pod dělicí rovinou na plochu polotovaru. Maximální tvarovací tlak tedy odpovídá maximálně několika desítkám kPa. [1]

4.1. Princip podtlakového tvarování

Podtlakové tvarování se skládá ze třech hlavních operací, viz Obr.5. V první operaci je polotovar upnut do rámu stroje a rovnoměrně ohříván na tvarovací teplotu. Následně je polotovar podle zvolené metody tvarování (viz kapitola 4.3.) tvarován ve formě, kde dojde k natažení polotovaru na formu díky podtlaku. Samotné tvarování musí být provedeno v jednom tvarovacím cyklu (nelze zde použít postupné tvarování), jelikož by při opětovném zahřátí dílu docházelo k nežádoucím deformacím. Zároveň musí být doba tažení co nejkratší, z důvodu rychlého ochlazování polotovaru. V poslední operaci je po vytvarování a ztuhnutí výtazku odstraněn přebytečný materiál. [2]



Obr. 5: Schéma podtlakového tvarování

4.1.1. Výhody a nevýhody podtlakového tvarování

Předností technologie podtlakového tvarování je možnost výroby velkoplošných výrobků s tenkou stěnou. Technologie zároveň využívá jednoduché, a tedy i ekonomicky dostupné formy a poměrně málo nákladné tvarovací zařízení. Z toho vyplývá, že je tato technologie vhodná i pro výrobu v menších sériích.

Nevýhodou této technologie je vyšší cena za vstupní materiál. Na rozdíl od jiných technologií (jako například vstřikování, kde je využíván granulát jako vstupní materiál) tato technologie využívá nákladnější polotovar ve formě desky či fólie. Navíc zde vzniká velký podíl technologického odpadu. Další nevýhodou je, že není možné tvarování složitějších tvarů. [6]

4.2. Ohřev materiálu

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1., polotovar je třeba zahřát na tvarovací teplotu. U amorfních termoplastů se tvarovací teplota nachází těsně pod teplotou viskózního toku, kde se materiál nachází v kaučukovitě elastickém stavu. Pro semikrystalické termoplasty je teplota tvarování odlišná, nachází se těsně nad teplotou tání. Při nedodržení optimální teploty se zhoršuje účinnost výroby. Při nižších teplotách dochází k většímu odporu materiálu při tvarování a zároveň ve výrobku zůstává vnitřní pnutí. Při vyšších teplotách může docházet k trhání materiálu. [1]

Pro co nejlepší produktivitu by měla být rychlost ohřevu co nejvyšší, avšak nadměrné tepelné namáhání může poškodit polotovar, proto je třeba volit optimální intenzitu ohřívání s ohledem na vlastnosti materiálu. Intenzitu lze regulovat příkonem topných těles, popřípadě nastavením jejich vzdálenosti od desky. Aby nedocházelo k nechtěným deformacím polotovaru, je třeba, aby byla ohřívána rovnoměrně. Jelikož jsou okraje desky ochlazovány okolním prostředím více než střed, musí být zajištěna možnost regulovat ohřev v různých částech zařízení nezávisle. Princip ohřívání závisí na dvou hlavních aspektech – na typu materiálu a tloušťce polotovaru. Pokud je tloušťka menší než 3 mm, je polotovar zpravidla ohříván pouze z jedné strany, a to pomocí sálavého tepla z elektrických odporových zářičů. Pro ohřev polotovaru, jehož tloušťka je větší než 3 mm, je kvůli zkrácení doby ohřevu využíváno oboustranného ohřevu. [1]

Optimální teplota a doba ohřevu se zjišťují na základě testování. Oba tyto faktory určují fyzikální vlastnosti plastu (měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti).

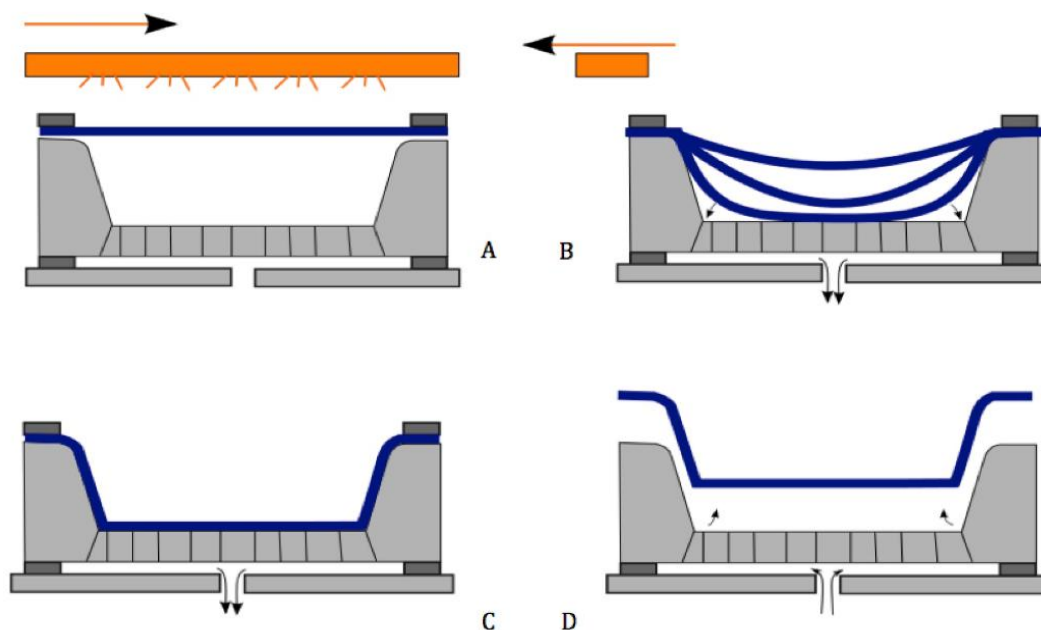
4.3. Tvary forem a způsoby tvarování

Existují tři typy způsobu tvarování podle vztahu formy k výrobku. Jedná se o negativní tvarování (tvarování do dutiny), pozitivní tvarování (tvarování na tvárník) a kombinované tvarování.

4.3.1. Negativní tvarování

Jedná se o nejjednodušší způsob tvarování, při kterém není použito dalších tvarovacích zařízení, pouze vakua. Postup tvarování je znázorněn na Obr.6. Forma má tvar dutiny, která odpovídá tvaru výrobku. Rozměry dutiny musí být zvětšeny vůči požadovaným rozměrům výrobku o smrštění materiálu. Vstupní polotovar je upnut do rámu a zahřát na tvarovací teplotu

pomocí ohřívacího zařízení (Obr.6, A). Po dosažení potřebné teploty je forma vakuována, čímž je snížen tlak (Obr.6, B). Tím vznikne rozdíl tlaků nad a pod polotovarem, což zapříčiní jeho přitisknutí na stěnu formy (Obr.6, C). Následně je takto vzniklý výtažek po přerušení vakuování možno vyjmout z formy. To se docílí buď zásahem operátora nebo je využito tlakového vzduchu, jenž je přiveden stejnými kanály, jimiž bylo vedeno vakuum (Obr.6, D). [5]

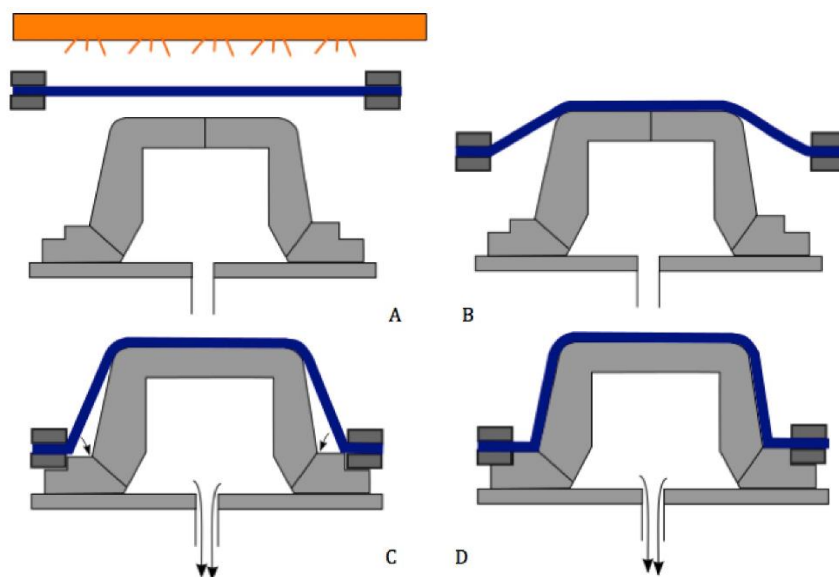


Obr. 6: Negativní tvarování [6]

Kvůli nerovnoměrné změně tloušťky desky při tvarování se tato metoda používá pouze pro zhotovování mělkých výtažků, kde hloubka tvarování nepřekročí přibližně 40% velikosti dutiny formy. Čím hlubší je výtažek, tím výraznější je změna tloušťky stěny na dně formy. [5]

4.3.2. Pozitivní tvarování

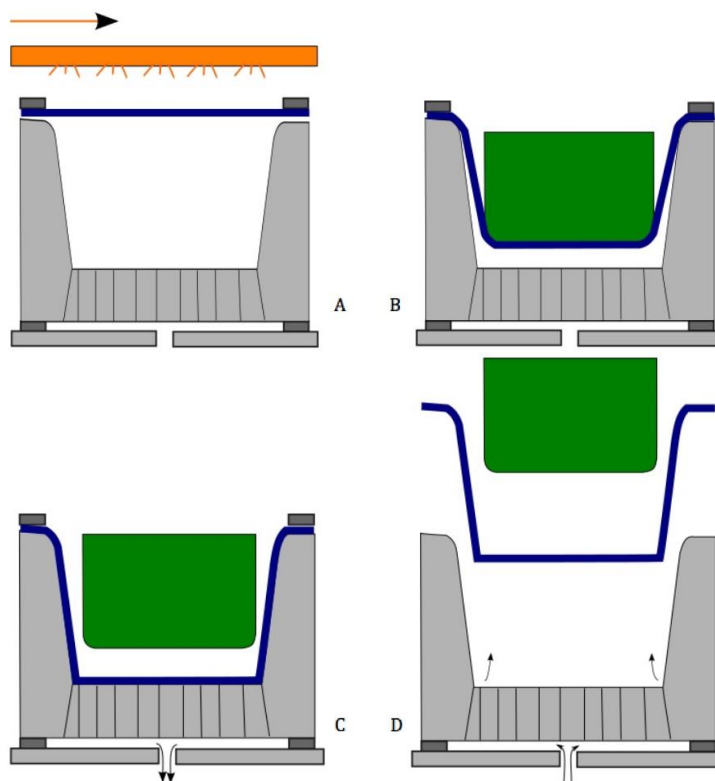
Při této metodě se pohyblivá forma vtlačuje do zahřáté desky, popřípadě pohyblivý rám s deskou sjíždí na statickou formu. Po dosednutí na dorazy je forma vakuována, čímž se deska přitiskne na formu a vytvoří výtažek. Postup je znázorněn na Obr.7. Výrobky vytvořené touto metodou mají silnější dno než stěny, jelikož se horký plast jako první dotkne vrchu formy, a tedy začne chladnout jako první. Přestože jsou stěny tenčí než dno, výhoda oproti negativnímu tvarování spočívá v rovnoměrnější tloušťce. [5]



Obr. 7: Pozitivní tvarování [6]

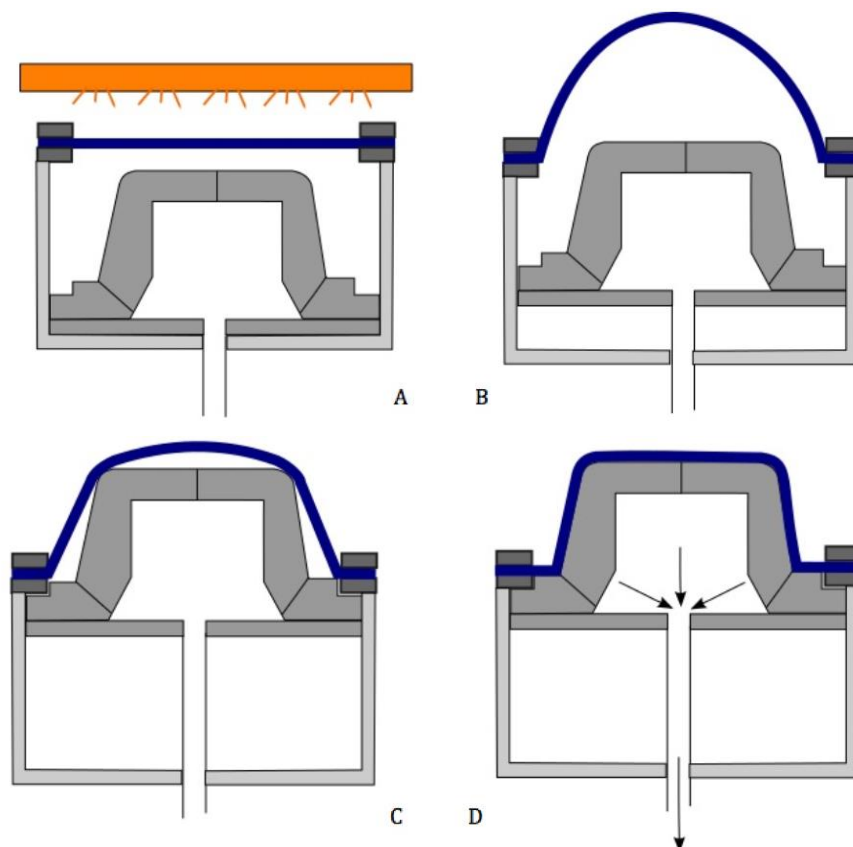
4.3.3. Kombinované tvarování

Pro získání nejrovnoměrnější tloušťky stěny je využíváno obou předchozích typů zároveň. Při kombinovaném tvarování nejdříve tvárník vtáhne zahřátý polotovár do dutiny (tvárnice) a až poté je forma vakuována. Jelikož tvárník musí co nejméně ochlazovat desku, je z pravidla tvořený z materiálu se špatnou tepelnou vodivostí. Metoda je znázorněna na Obr.8. [5]



Obr. 8: Kombinované tvarování [6]

Pro vysoké či hluboké formy je často využíván způsob, kdy se nejprve zahřátá deska nafoukne do tvaru „bubliny“ pomocí stlačeného vzduchu (viz Obr. 9.) a až poté je zespodu vtlačena forma. Hlavním účelem nafouknutí polotovaru je zvětšení jeho plochy s cílem získat konstantní tloušťku stěny. [5]



Obr. 9: Využití stlačeného vzduchu při tvarování [6]

4.4. Tvarovací stroje

Podle automatizace jsou tvarovací stroje děleny na manuální, poloautomatické a automatické. Na tomto rozdělení dále závisí konstrukce jednotlivých strojů. Zatímco manuální stroje mají zejména jednoduchou konstrukci, automatické stroje jsou komplexní automatické linky, které samostatně zvládají veškeré úkony od podání a upnutí materiálu po stohování hotových výrobků. [1]

4.4.1. Manuální stroje

Manuální stroje vyžadují kvalifikovanou obsluhu pro provádění celé operace. Tím je myšleno manuální vkládání desek do stroje spojené s jejich upnutím, manipulace s ohřívačem, vsunutí formy do zahřáté desky, spuštění vakuování a po zchlazení výtažku vyjmutí z formy a odstranění přebytečného materiálu. Výhodou manuálních strojů je jejich jednoduchost, a tedy

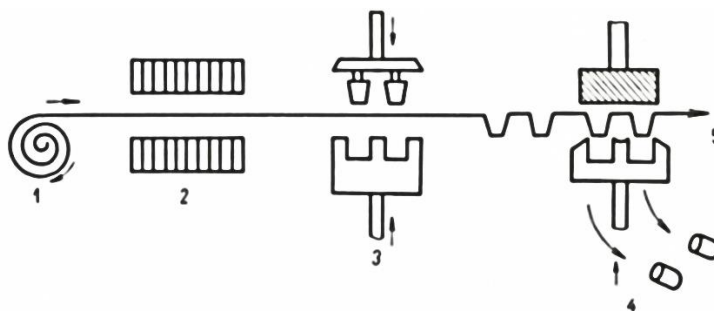
i dobrá finanční dostupnost. Z tohoto důvodu jsou využívány zejména pro kusovou a prototypovou výrobu. Pro oddělení přebytečného materiálu od výtažku je potřeba externího zařízení (např. frézky či pily).

4.4.2. Poloautomatické stroje

Poloautomatické stroje potřebují lidskou obsluhu pouze pro upínání desek do stroje a vyjímání hotových výtažků. Zbytek procesu probíhá automatizovaně.

4.4.3. Automatické stroje

Automatické stroje jsou využívány při velkosériové a hromadné výrobě. Polotovar ve formě fólie je automaticky odvíjen z role (viz Obr. 10) (1) a následně zahříván topnými tělesy (2). Zahřátá fólie je tvarována jednou z výše zmíněných metod (3). Po ztuhnutí je tento pás výrobků přiveden k tvarovým nůžkám (4), kde jsou výrobky oddělovány na jednotlivé kusy. Samotné výrobky jsou dále skládány a stohovány. [4]



Obr. 10: Kontinuální tvarování [4]

4.5. Tvarovací formy

Tvarovací formy jsou navrhovány podle tvarovacího stroje a způsobu tvarování. Forma může být ve stroji umístěna v dolní části, uprostřed, anebo může být zavěšena v horní části stroje, podle toho je třeba volit způsob uložení formy do rámu a způsob přivedení vakua.

Pro tváření více výtažků najednou je využíváno vícenásobných forem. Vícenásobné formy jsou využívány zejména kvůli lepšímu využití tvarovaného materiálu (tedy snížení procenta odpadu). Při navrhování vícenásobných forem je třeba stanovit určité rozteče mezi kavitami závisující na metodě oddělování výtažků od zbytku materiálu. Jelikož bývají vícenásobné formy komplexnější, zpravidla se při tvarování využívají tvárníky. [10]

Při návrhu tvarovací formy je potřeba zohlednit několik základních prvků, jako umístění a velikost odsávacích otvorů, materiál formy, objem výroby či velikost a typ tvarovacího stroje.

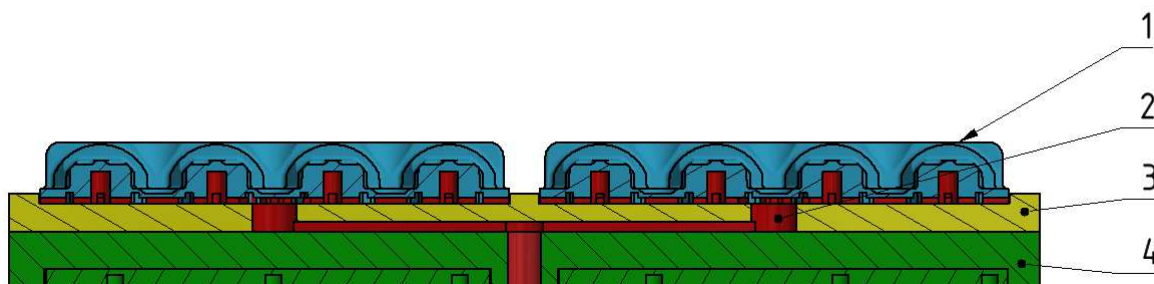
4.5.1. Materiál forem

Hlavními vlastnostmi, které musí materiál splňovat, jsou tvarová stálost a krátkodobá snášenlivost teplot do cca 200°C. [1]

Materiál formy je vybírán zejména podle objemu výroby. Pro velkosériovou výrobu se formy vyrábějí ze slitin lehkých kovů, tedy odléváním a následným obráběním. Výhodou těchto materiálů je dobrá jakost povrchu a malé opotřebení formy při větších počtech cyklů. Pro menší série je nejčastěji využíváno tvrzené dřevo či epoxidové pryskyřice. Kvůli horší tepelné vodivosti epoxidových pryskyřic jsou často míchány s litinovým či hliníkovým práškem, popřípadě se při výrobě formy dovnitř zalévají měděné trubky, kterými následně protéká chladicí médium. [1]

4.5.2. Konstrukce formy

Formy mohou být buď jednodílné nebo vícedílné, kde volba typu formy závisí zejména na její velikosti a proporcích. Vícedílné formy jsou využívány zejména kvůli úspoře materiálu při obrábění. Jsou tvořeny základovou deskou a jednotlivými tvárnici, do kterých jsou zespod frézovány drážky pro rozvod vakua. Tvárnice jsou na základovou desku upevněny pomocí šroubů a jejich poloha je centrována pomocí kolíků.

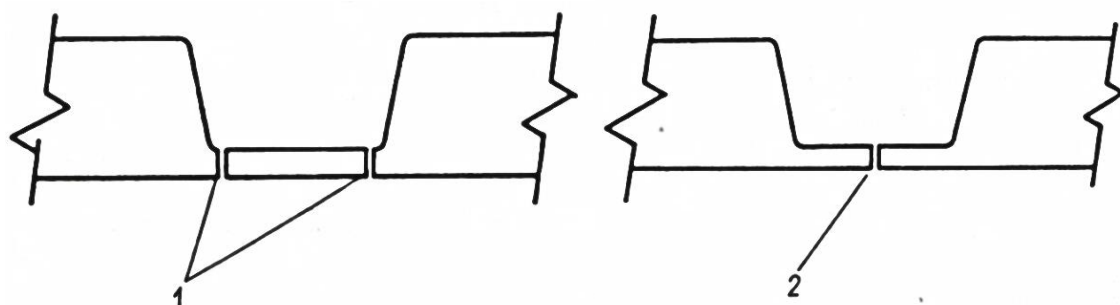


Obr. 11: Řez formou, kde: 1 – funkční část formy/tvárnice; 2 – rozvod vakua; 3 – základová deska; 4 – chladicí deska

Funkční část formy, která má za úkol předat desce požadovaný tvar, je navrhována podle požadovaného tvaru výtažku. Při návrhu je potřeba zohlednit smrštění tvarovaného materiálu, tedy je potřeba rozšířit funkční část formy o toto smrštění, které je pro každý materiál rozdílné.

Pro odvádění vzduchu při tvarování slouží odsávací otvory umístěné rovnoměrně po celém funkčním povrchu formy. Tyto otvory ústí do rozváděcích kanálů vakua, které jsou vedeny po spodní ploše formy (plocha, která dosedá na chladicí desku). Šířka a počet rozváděcích kanálů se volí takový, aby průběh tvarování byl co nejrychlejší, a zároveň byla co největší styková plocha mezi formou a chladicí deskou kvůli rychlosti ochlazování.

Odsávací otvory jsou umísťovány zejména do míst, kde je riziko vytvoření vzduchové kapsy, tedy zejména do určitých míst v dutinách a na větších plochách. Správné (1) a chybné (2) umístění otvorů v dutině je znázorněno na Obr. 12. Průměr otvorů závisí na tloušťce a vlastnostech tvarovaného materiálu. Pokud má materiál vyšší tvarovatelnost nebo jsou otvory příliš velké, tvoří se na povrchu výtažku nežádané otisky těchto otvorů. Ideální průměr bývá kolem jedné poloviny tloušťky materiálu, avšak v praxi se i u tenkých desek používají průměry okolo 1 mm kvůli ohledu na jejich výrobu. Rozteče mezi otvory bývají na rovných plochách 75 až 150 mm, u hran je to pouze okolo 20 mm (záleží na tvaru formy). Při výběru počtu a velikosti odsávacích otvorů je vždy lepší volit větší počet otvorů o menším průměru než naopak. [1] [4] [10]



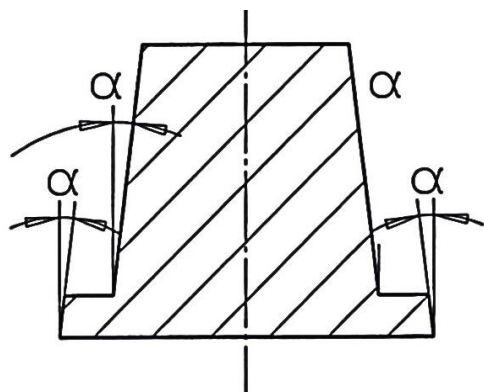
Obr. 12: Umístění odsávacích otvorů, kde: 1 - správné umístění; 2 - špatné umístění [4]

4.6. Zásady navrhování výtažků a jejich charakteristika

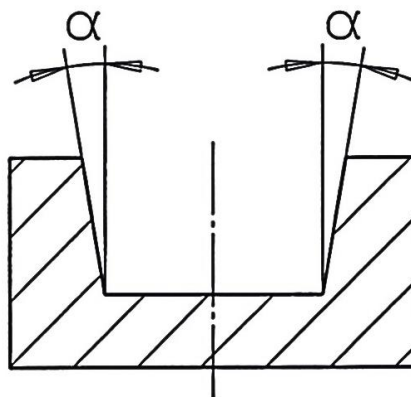
Při navrhování výtažku je třeba dodržovat určitá pravidla týkající se zešikmení a vyztužení bočních stěn, vyztužení dna, zaoblení hran a rohů a dodržení tloušťky stěny.

4.6.1. Zešikmení stěn

Kvůli vyjímání výtažku z formy musí být všechny stěny ležící ve směru vyjímání opatřeny úkosy. Hodnota zešikmení závisí na výšce/hloubce a složitosti tvaru. Také závisí na způsobu tvarování. Při pozitivním tvarování by se minimální úkosy měli pohybovat okolo 2° , u negativního alespoň 1° . Tyto úkosy jsou znázorněny na Obr. 13 a Obr. 14 symbolem α . Zpravidla je lepší volit větší úkosy z důvodu zlepšení tuhosti výtažku a zároveň možnosti lepšího stohování výtažků na sebe. [1]



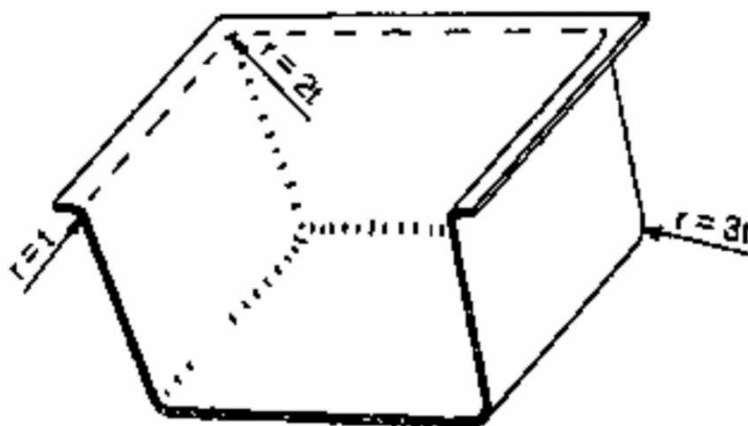
Obr. 13: Úkosy na pozitivní formě [10]



Obr. 14: Úkosy na negativní formě [10]

4.6.2. Zaoblení hran a rohů

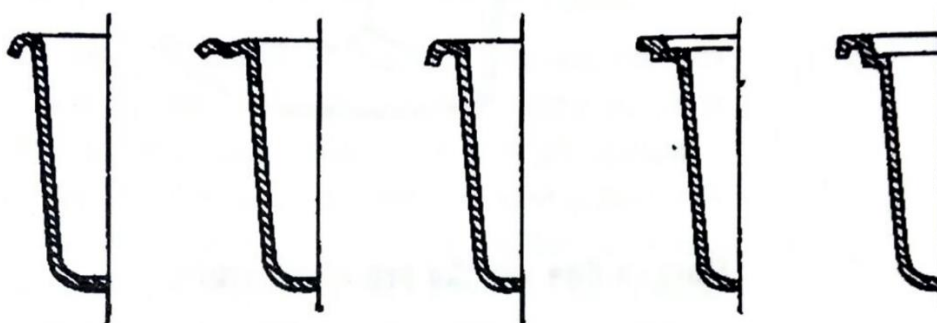
Dalším důležitým prvkem výtažků je zaoblení hran a rohů. Zaoblení napomáhá vyjímání výtažku z formy a zároveň usnadňuje samotné tvarování. Díky zaoblení je také výtažek pevnější. Při navrhování velikosti zaoblení se většinou volí nejmenší poloměr zaoblení hrany $R_h \geq t$ (t = tloušťka stěny). Pro poloměr zaoblení rohů platí $R_r \geq 2t$ a pro poloměr zaoblení koutů $R_k \geq 3t$. [1]



Obr. 15: Zaoblení hran a rohů [1]

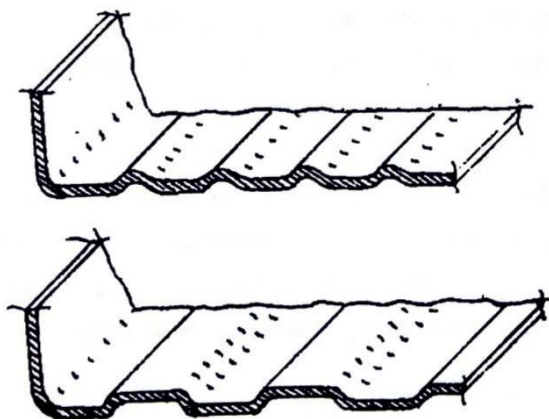
4.6.3. Zvyšování tuhosti výtažků

Pro zlepšení tuhosti výrobků je využíváno vhodného profilování obrub. Při navrhování těchto obrub je třeba dbát na vhodné navržení úkosů a tvaru z důvodu vyjímání výtažku z formy. Jednotlivé typy obrub jsou znázorněny na Obr. 16. [1]



Obr. 16: Profilování obrub [1]

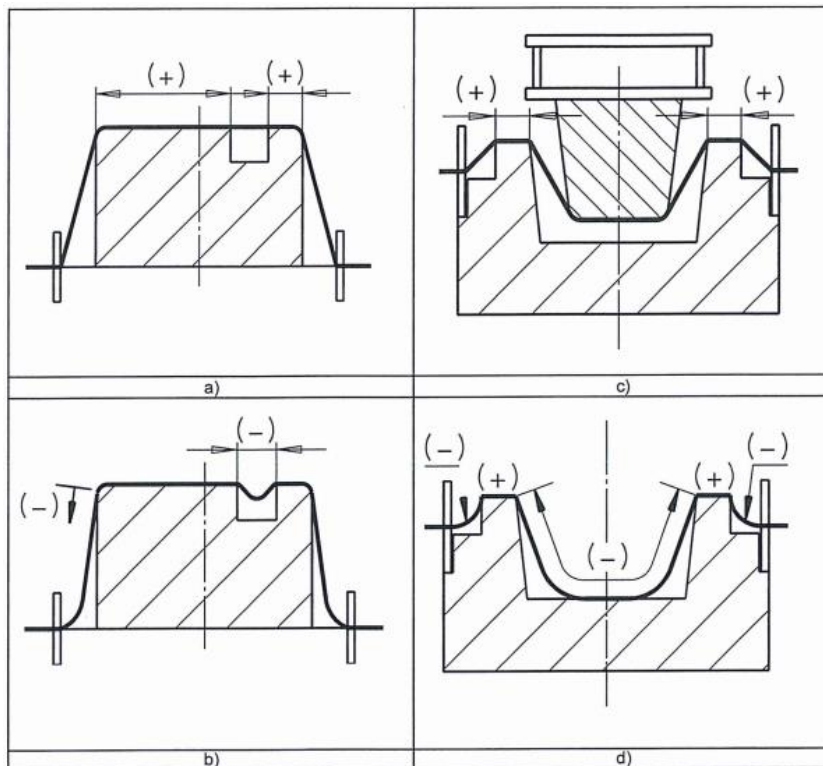
Tuhost výtažku lze zvýšit také správným profilováním rovných ploch. Rovné velké plochy je možné vyztužit vhodným profilováním či zakřivením. [1]



Obr. 17: Profilování ploch [1]

4.6.4. Tloušťka stěny

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3., při navrhování formy je potřeba počítat s rapidní změnou tloušťky při tvarování. Na Obr. 18 je znázorněno, jaké je rozložení tloušťky výtažku při tvarování s tvárníkem a bez něj. Plus znázorňuje tlustší materiál, minus tenčí. Směr šipky ukazuje postupné ztenčování materiálu.



Obr. 18: průběh změny tloušťky při tvarování [10]

Obecně platí, že samotného tvarování se zúčastňuje pouze ta část desky, která se nedotýká v daném okamžiku formy. Ve chvíli, kdy se deska dotkne formy, je natolik ochlazená, že není schopna se zúčastnit dalšího tvarování. [10]

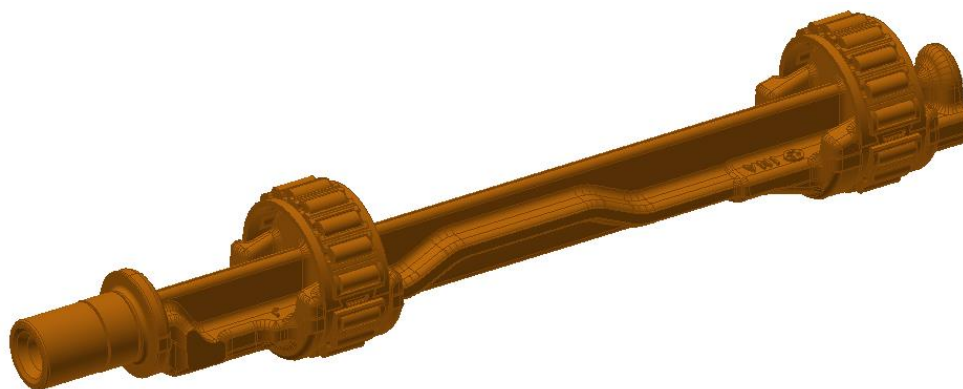
Praktická část

5. Úvod praktické části

Praktická část této práce se zabývá vytvořením formy pro zadaný blistr. Jelikož se jedná o blistr určený k ruční manipulaci, byla dovolena odchylka od reálného vzoru 0,5 mm. S ohledem na takto stanovenou toleranci a technologické možnosti byly k dispozici dvě různé typy digitalizace. První možností spočívalo v použití ručních měrek a šablon (tedy posuvného měřítka, mikrometru, úhloměru a rádiusových měrek). Druhou možností bylo využití 3D skeneru. Jelikož se jedná o tvarově složitou součást, samotné ruční šablonování není tolik produktivní jako skenování. Navíc s ohledem na již zmíněnou tvarovou náročnost by ruční odměření nemuselo zajistit požadovanou přesnost, jelikož některé úkosity či rozteče není možné jednoduchými měrkami změřit. Na základě těchto skutečností byla použita pro digitalizaci metoda 3D skenování.

5.1. Zadání a specifikace požadavků

Fyzický model blistru je skladovací a manipulační zásobník vyrobený z materiálu PET, určený pro zakládání dvou různých produktů. Tyto produkty byly k dispozici ve formě 3D dat pro potřebu kontroly správného tvaru kavit. Zároveň byl k dispozici výkres blistru se základními kótami. Pro vytvoření vakuové formy bylo potřeba tento blistr zdigitalizovat a následně převést na 3D data. Forma je určena pro stroj ILLIG74 s automatickým chodem a velikostí formovacího rámu 600x400 mm.



Obr. 19: Obr produktu určeného k zakládání do zadaného blistru

6. Skenování

Ke skenování byl použit skener HandySCAN 700 (Obr. 20) od firmy Creaform. Jedná se o ruční laserový skener s maximální přesností 0,03mm [8]. Výhodou tohoto skeneru je malá hmotnost, jednoduchá ovladatelnost a velmi vysoká produktivita. Tento skener promítá na skenovaný objekt laserové paprsky v podobě křížů, který zároveň neustále snímá pomocí vestavěného kamerového systému. Skener pracuje na principu laserové triangulace, což znamená, že skener má k dispozici údaje o poloze svých kamer a následně pomocí trigonometrie dopočítává vzdálenost od objektu, od kterého se odráží laserový paprsek. Jelikož se skener během snímání pohybuje, určení polohy v prostoru zajišťuje síť reflexních pozičních značek.



Obr. 20: HandyScan 700 [8]

6.1. Postup skenování

Jelikož se jedná o transparentní blistr s lesklým povrchem, je nejprve nutné upravit povrch (lesklost a transparentnost způsobuje nežádané lámání světla a snižuje kvalitu a přesnost měření). Toho se docílí nanesením tenké rovnoměrné vrstvy přípravku, který povrch zmatní. Nanesená vrstva je dostatečně tenká (řádem v desítkách mikrometru), takže vliv nepřesnosti měření je v tomto ohledu zanedbatelný.



Obr. 21: Zadaný blistr



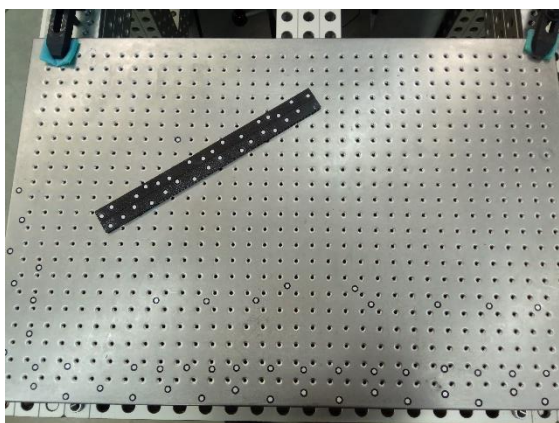
Obr. 22: Zadaný blistr po nanesení přípravku

Po upravení povrchu byl blistr ustaven na desce určené ke skenování (Obr. 23), polepené pozičními značkami (Obr. 24). Při rozmisťování značek je třeba dbát na jejich umístění.

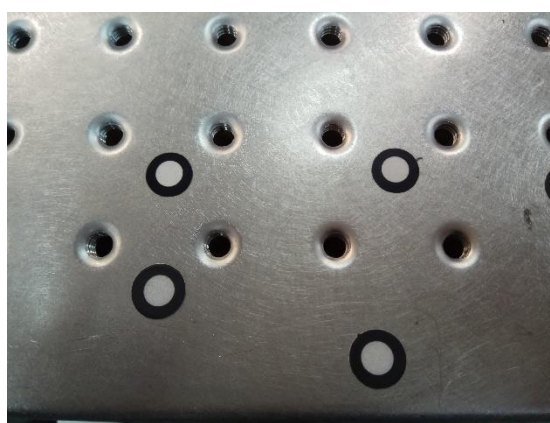
Značky mohou být umístěny přímo na skenovaný objekt, na skenovací desku nebo na různé přípravky. Záleží na složitosti a velikosti skenovaného objektu. Pokud jsou značky přímo na skenovaném objektu, je potřeba, aby byly lepeny na rovinné plochy a do určité vzdálenosti od hran. Toto omezení vzniká kvůli následnému post-processingu, kde jsou značky ze skenu odstraněny a aproximačně nahrazovány v kontextu na zakřivení bezprostředního okolí značky. V místech, kde dochází ke skokové změně tvaru by tato aproximace mohla vytvářet plochy neodpovídající reálnému tvaru.

Jak již bylo zmíněno, skener se podle těchto značek orientuje v prostoru. K orientaci v prostoru je potřeba minimálně čtyř různých bodů. Zároveň je potřeba, aby se v síti bodů neopakovaly stejné vzory, jelikož skener vyhodnocuje své umístění na základě vzdálenosti od unikátního vzoru čtyř a více značek. Také je důležité, aby se značky během skenování vůči sobě a nepohnuly. Pokud by se tak stalo, unikátní informace o umístění značky by byla změněna a skener by dále dopočítával vzdálenost se špatnými hodnotami.

Pro skenování byla zvolena strana, ze které jsou do blistru vkládány díly. Kvůli technologii tvarování mají různá místa na blistru odlišnou tloušťku, avšak při designu dílů se počítá s tloušťkou konstantní. Pokud bychom digitalizovali z druhé strany a současně bychom počítali s konstantní tloušťkou stěny, vzniklé odchylky mezi modelem a fyzickým blistrem by mohly zapříčinit kolize se vkládanými produkty.

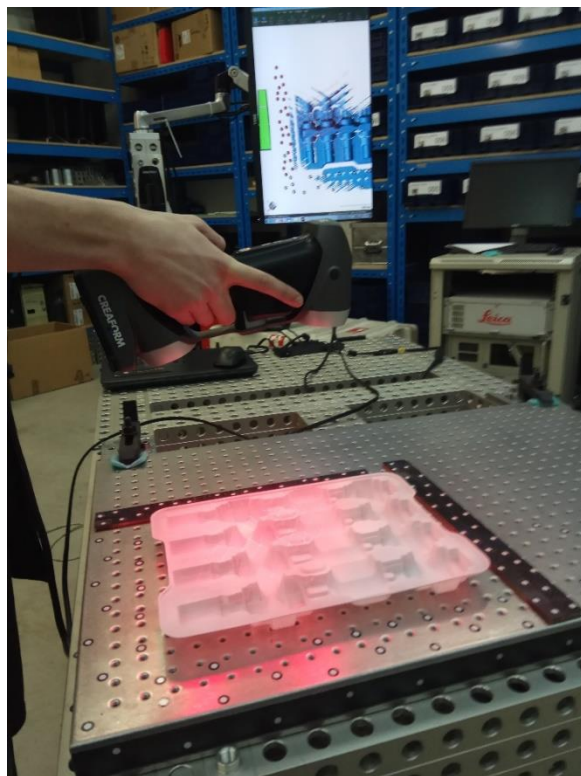


Obr. 23: Deska ke skenování



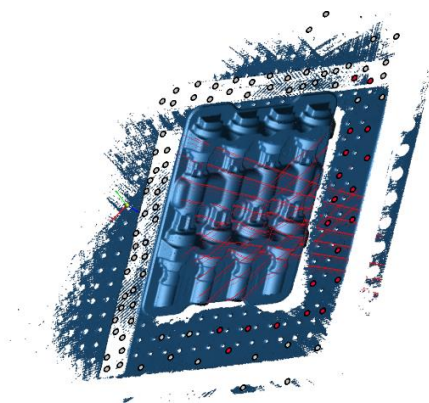
Obr. 24: Poziční značky

Při samotném skenování (Obr. 25) jsou data snímána skenerem odesílána do připojeného notebooku a zpracovávána v programu VX Elements. Díky této vizualizaci je možné pozorovat postup skenování, popřípadě ihned kontrolovat kvalitu skenu.

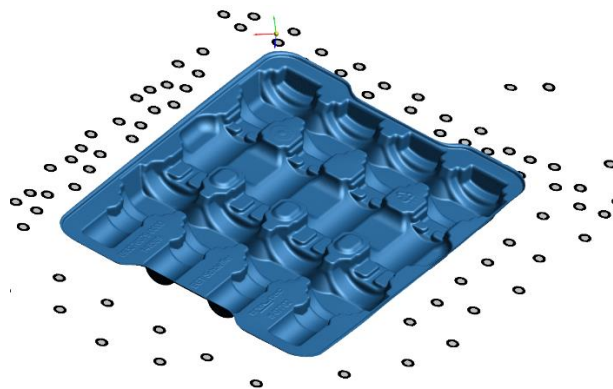


Obr. 25: Skenování

Po dokončení skenování získáme tzv. mrak bodů (Obr. 26), který je potřeba dále zpracovat. Je vhodné odstranit nepotřebné geometrie, např. podkladovou plochu, na které probíhalo skenování či popřípadě použité přípravky.



Obr. 26: Mrak bodů při skenování

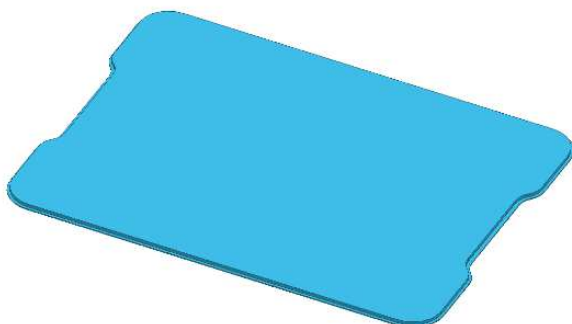


Obr. 27: Mrak bodů po úpravě

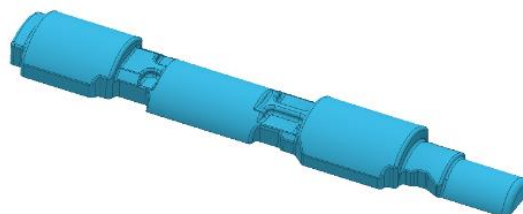
7. Modelování blistru

Při tvorbě 3D modelu blistru bylo využito dat naměřených skenováním a ručně měřených rozměrů u jednoduše měřitelných prvků. Dále bylo využito výkresu se základními rozměry blistru a 3D dat výrobků.

Samotná stavba 3D modelu blistru probíhala v pěti fázích. V první fázi byla vytvořena základní deska blistru s výřezy určenými pro ruce (Obr. 28) Následně bylo vytvořeno druhé tělo s tvarem dané součásti. (Obr. 29)

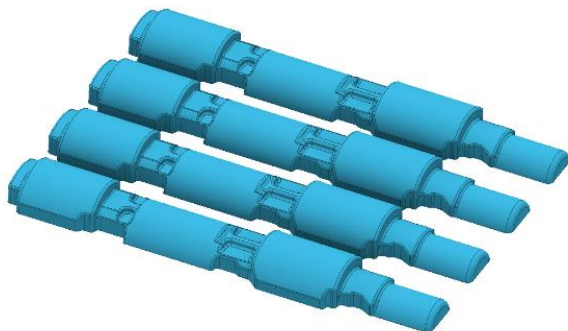


Obr. 28: Modelování blistru – deska

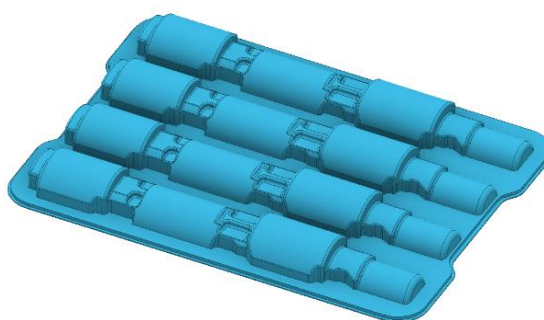


Obr. 29: Modelování blistru – základní tvar produktu

To bylo dále pomocí funkce „pole“ rozkopírováno. (Obr. 30) Poté byla obě těla sečtena (Obr. 31).

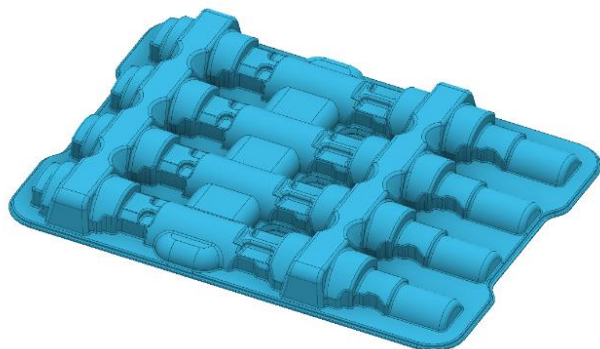


Obr. 30: Modelování blistru – pole

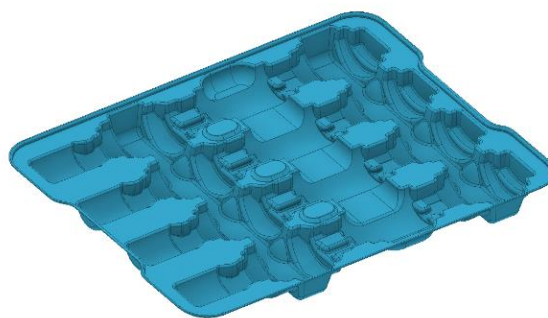


Obr. 31: Modelování blistru – sečtení jednotlivých těl

Také byly vytvořeny výztuhy, stohovací prvky a ostatní rádiusy. (Obr. 32) Ve čtvrté fázi byla vytvořena skořepina dílu. Nyní již měl blister požadovaný tvar. (Obr. 33)



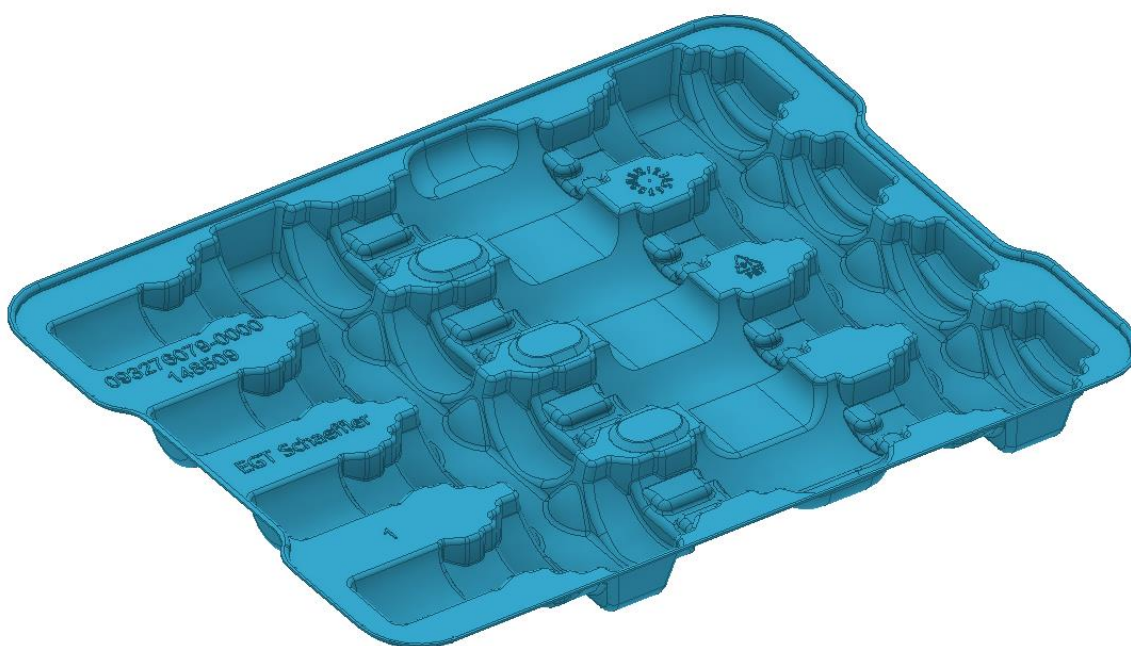
Obr. 32: Modelování blistru – výztuhy



Obr. 33: Modelování blistru – skořepina

V poslední fázi bylo potřeba zhotovit popisky a značky. Jednalo se o číslo dílu, název společnosti, číslo formy, datumník a označení materiálu. Tyto značky byly zhotoveny pomocí připravených maker, díky kterým je bylo možné jednoduše editovat a upravovat. (Obr. 34)

Po celou dobu modelování bylo využíváno parametrů (například parametr tloušťky materiálu, rozteče výrobků), díky kterým byla jednodušší další editace blistru.

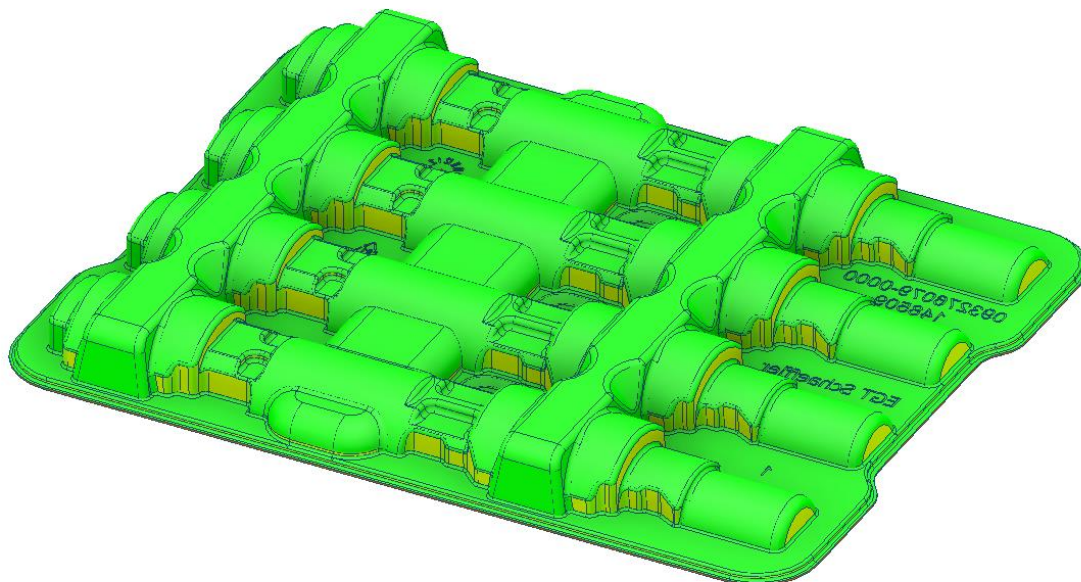


Obr. 34: Model blistru

7.1. Kontrola úkosů

V kapitole 4.6. bylo uvedeno, že je z důvodu technologie výroby potřeba na stěnách výtažku vytvořit minimálně 2° úkosy. Z tohoto důvodu byla pro kontrolu provedena analýza úkosů stěn, kde žlutá barva znamená, že normála dělicí roviny svírá se stěnou právě 2° a zelená

barva znamená, že je úhel větší než 2° . Jestliže by některý z úhlů byl menší než 2° , byl by označen modře. Z Obr. 35 vyplývá, že úkosy jsou dostačující.

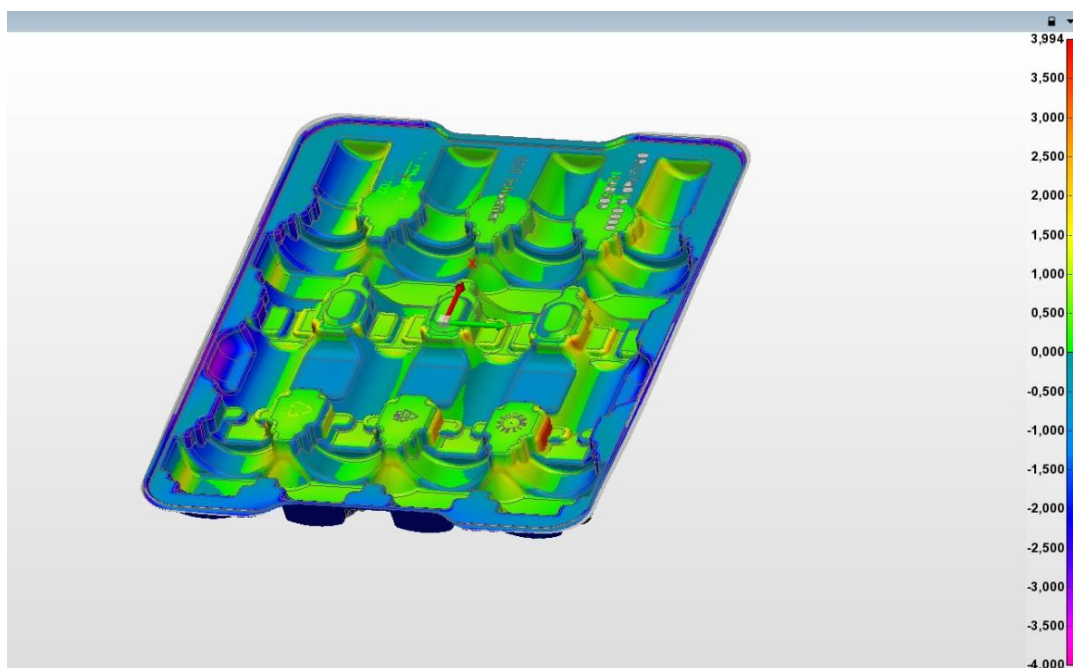


Obr. 35: Úkosová analýza

7.2. Porovnání skenu s blistrem

Z důvodu kontroly přesnosti namodelovaného dílu byla v programu PolyWorks Inspektor vytvořena analýza odchylek vymodelovaného dílů vůči naskenovaným datům. Po importování dat skenu a modelu do programu byly oba objekty vyrovnány vůči sobě metodou best-fit. Tato funkce využívá pro vyrovnání dat metodu nejmenších čtverců, tedy zarovnává oba objekty na sebe s minimalizovaným součtem mocnin odchylek v jakékoliv oblasti dat. Po ustavení byla vytvořena analýza odchylek, která graficky znázorňuje distribuci a hodnoty odchylek dat vůči sobě. Na Obr. 36 je možné si všimnout, že při modelování byla zadána chybná hodnota rozteče, což je v analýze zobrazeno červenou barvou. Díky zvolené metodě stavby 3D modelu s využitím parametrů je možné tuto chybu jednoduše opravit.

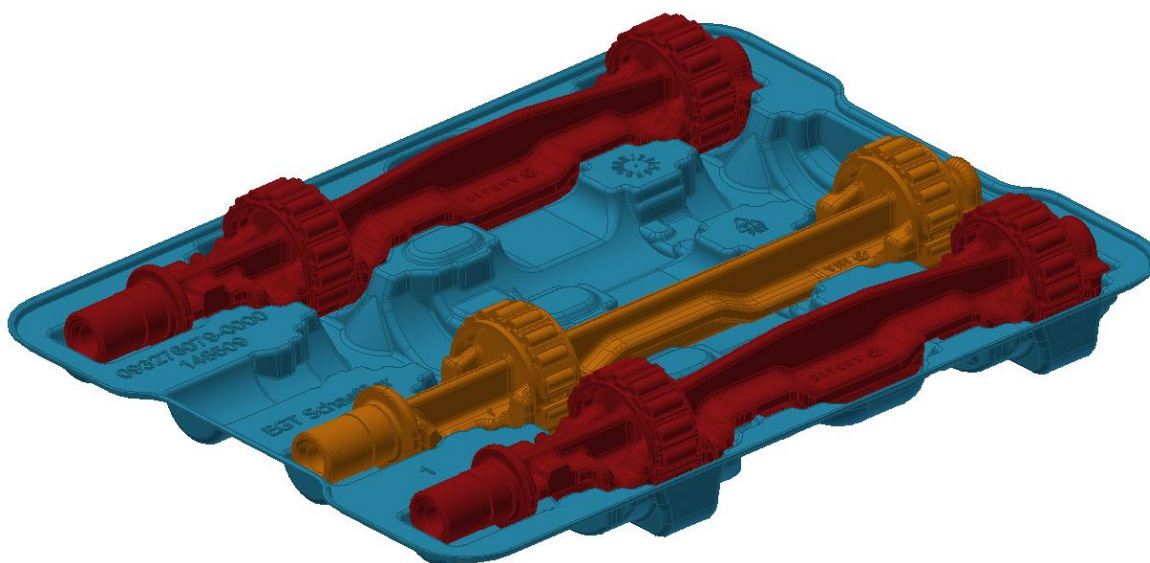
Hodnoty odchylek v rozmezí $-0,5$ až $0,5$, graficky znázorněné světle modrou a zelenou barvou, zobrazují zkroucení reálného blistru při skenování



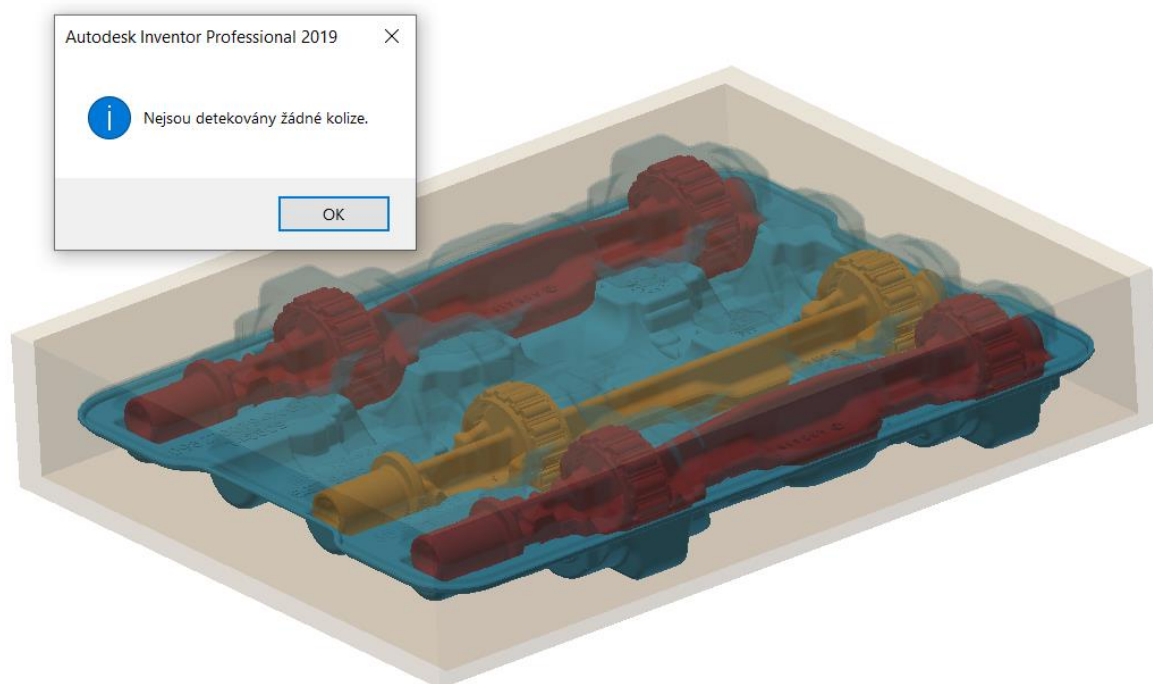
Obr. 36: Analýza odchylek

7.3. Kontrola kolizí blistru s produkty

Z důvodu deformací blistru při skenování zmíněných v předchozí kapitole byla vytvořena druhá analýza, díky které je možné nalézt případné kolize produktů s blistrem. Pro analýzu kolizí byla vytvořena sestava blistru s produkty a příslušnou přepravkou. Vložené modely v sestavě byly vůči sobě ustaveny pomocí vhodných vazeb. Poté byla provedena analýza kolizí.



Obr. 37: Blistr s vloženými produkty

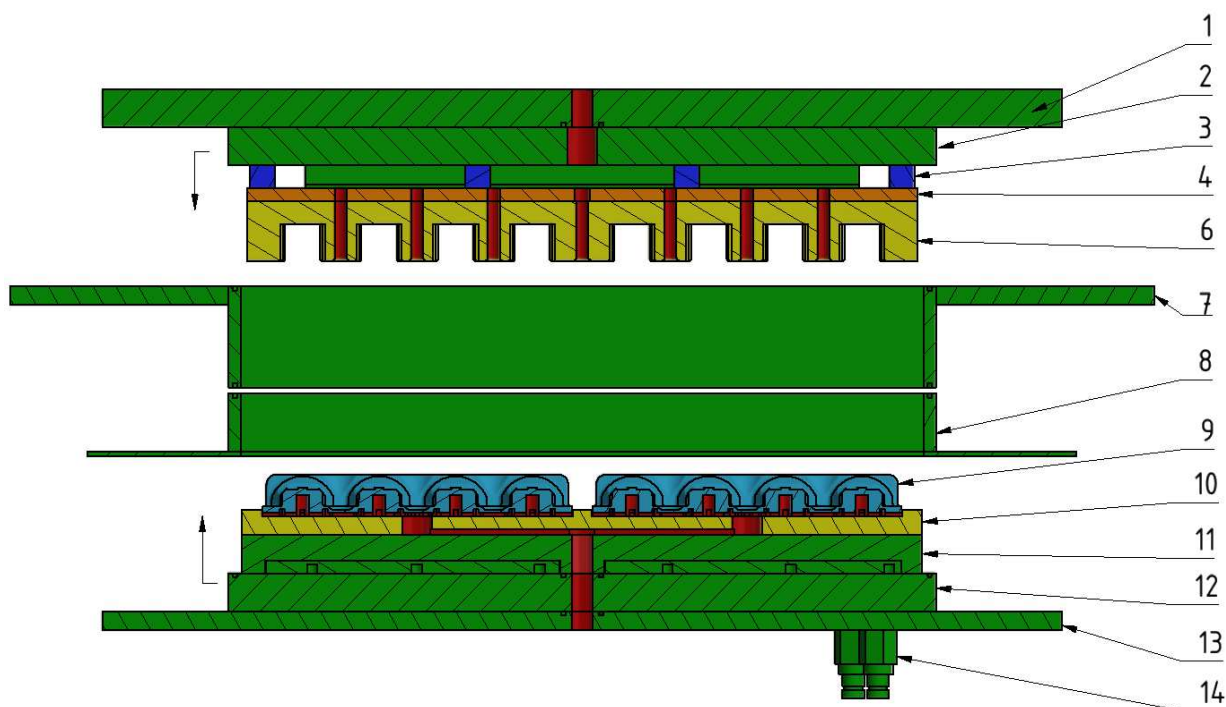


Obr. 38: Analýza kolizí

8. Sestava rámu stroje

Na Obr. 39 je znázorněn řez sestavou rámu stroje s již upnutou formou a tvárníkem. Zelenou barvou jsou zde znázorněny součásti tvarovacího stroje, které jsou univerzální a používají se opakovaně pro různé formy, a proto by se neměly tyto komponenty nijak modifikovat.

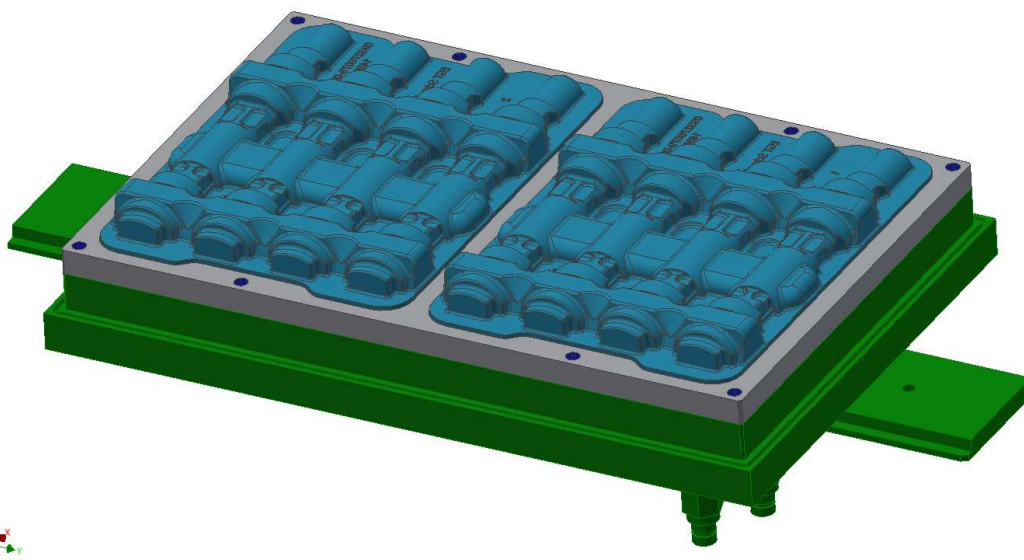
Tvarovací stroj se skládá ze statického dolního a pohyblivého horního rámu. Při samotném tvarování je zahřátá fólie přitisknuta horním rámem ke spodnímu, čímž je vytvořen vzduchotěsný spoj. Následně do spodního rámu zajíždí pohyblivá spodní část stroje, kde je upevněna forma, chladicí deska a uzavírací deska. Po dosednutí uzavírací desky na dolní rám je vytvořen druhý vzduchotěsný spoj. V tomto okamžiku je možné spustit vakuování, jelikož je celý prostor pod fólií hermeticky uzavřen. Mezitím sjíždí pohyblivá horní část stroje s tvárníkem do horního rámu. Tvárník je přišroubovaný k desce, která je spojena s horní uzavírací deskou pomocí čtyř podložek. Tyto podložky mají za úkol vymezit vzdálenost mezi horní uzavírací deskou a tvárníkem.



Obr. 39: Řez sestavou rámu; 1 – upínací deska horní, 2 – uzavírací deska horní, 3 – podložky, 4 – deska pod tvárník, 6 – tvárník, 7 – horní rám, 8 – spodní rám, 9 – tvárnice, 10 – základová deska, 11 – chladicí deska, 12 – uzavírací deska spodní, 13 – upínací deska spodní, 14 – přípojky pro chladicí médium

8.1. Sestava formy

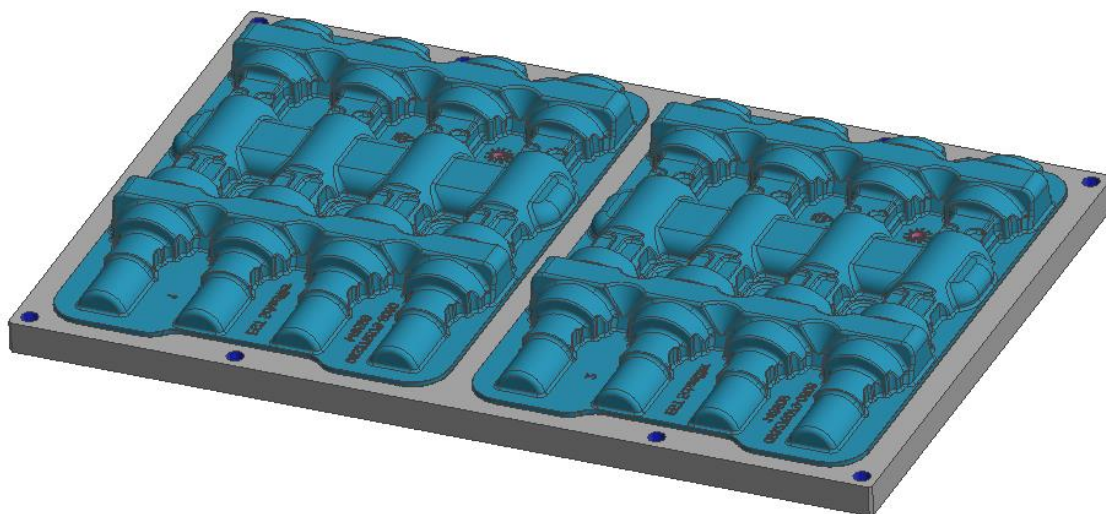
Sestava formy je umístěna v dolní části tvarovacího stroje. Skládá se ze složené formy obsahující základovou desku se dvěma tvárnici, z chladicí desky, spodní uzavírací desky a spodní upínací desky. Sestava je zobrazena na Obr. 40.



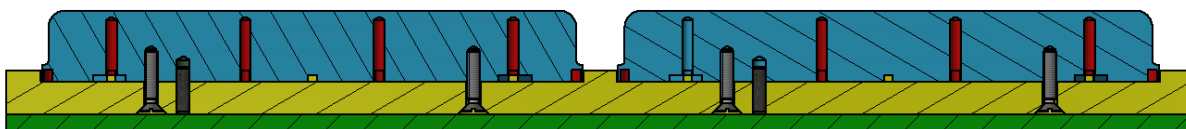
Obr. 40: Sestava formy

8.1.1. Konstrukce formy

Forma byla tvořena pomocí modulu „Mold design“ v aplikaci Inventor. Pracovní část formy vycházela z již vytvořeného modelu blistru, který byl procentuálně zvětšen o hodnotu smrštění materiálu. Sestava formy se skládá ze základové desky a dvou tvárníc. Každá z těchto tvárníc je k upínací desce připevněna čtyřmi šrouby M6 a dvěma kolíky. Upínací deska je upevněna k rámu stroje osmi šrouby M6. Vakuum je přivedeno spodní částí základové desky. Podrobnější popis je uveden u jednotlivých částí.



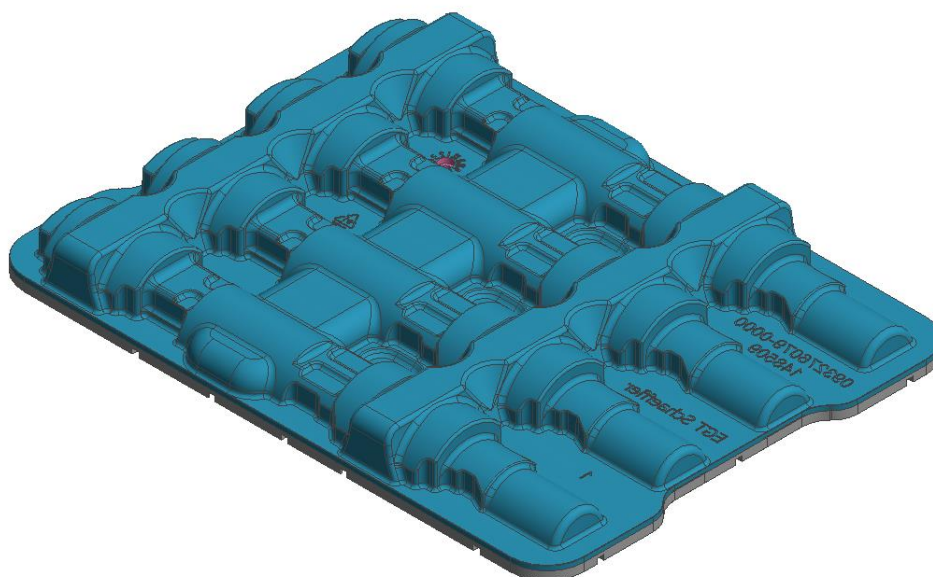
Obr. 41: Vakuová forma



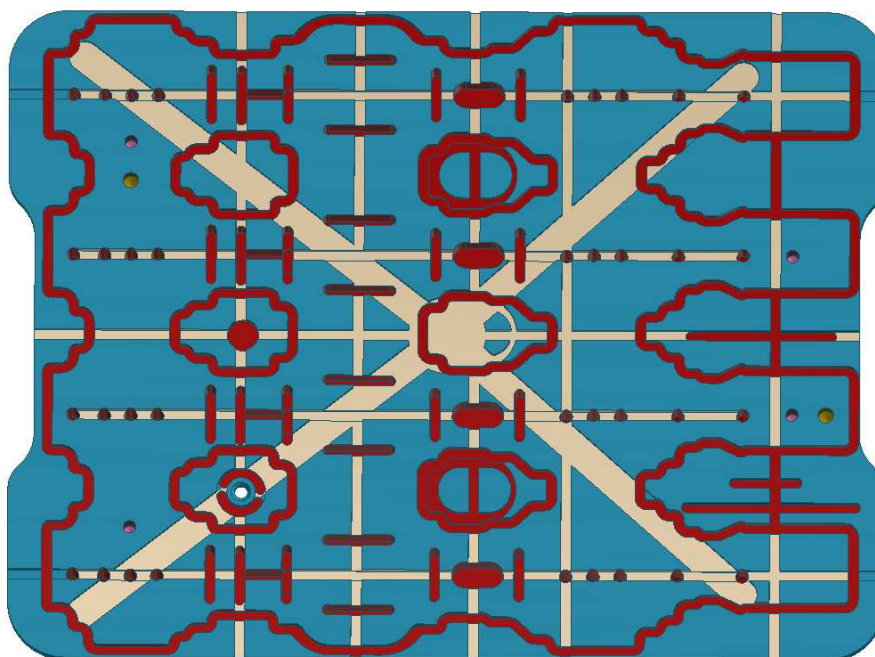
Obr. 42: Řez vakuovou formou

Tvárnice

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, k odvakuování formy slouží malé otvory rozmístěné systematicky po celé funkční ploše. Na základě tloušťky tvarovaného materiálu byl zvolen průměr otvorů 0,7 mm. Jelikož se jedná o velmi malé otvory, z technologického hlediska je možné je vrtat pouze do omezené hloubky (přibližně čtyř až pětinašobek průměru). Proto se ze spodní strany tvárnice frézují drážky, popřípadě vrtají díry, do kterých tyto malé otvory ústí. Dále je ze spodní strany vytvořena síť drážek, které vše propojují a umožňují co nejrychlejší odvakuování všech míst najednou. Zároveň je však potřeba zachovat co největší dotykovou plochu se základovou deskou pro co nejrychlejší odvod tepla z formy. Drážky jsou umístěny zejména pod hrany kavít a doprostřed větších ploch. Dále nesmí být zapomenuto na umístění drážek pod značky a text.



Obr. 43: Tvárnice

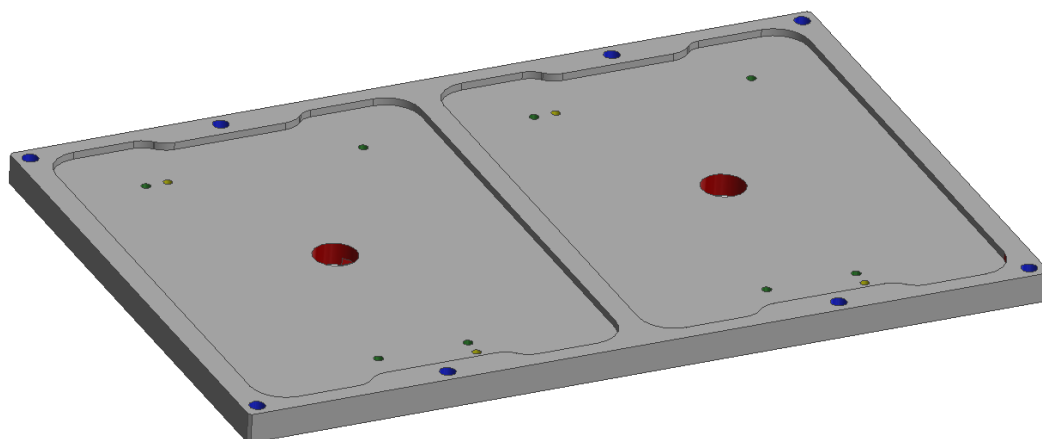


Obr. 44: Rozvedení drážek pro vakuum; červeně – hlavní drážky; bíle – rozváděcí drážky

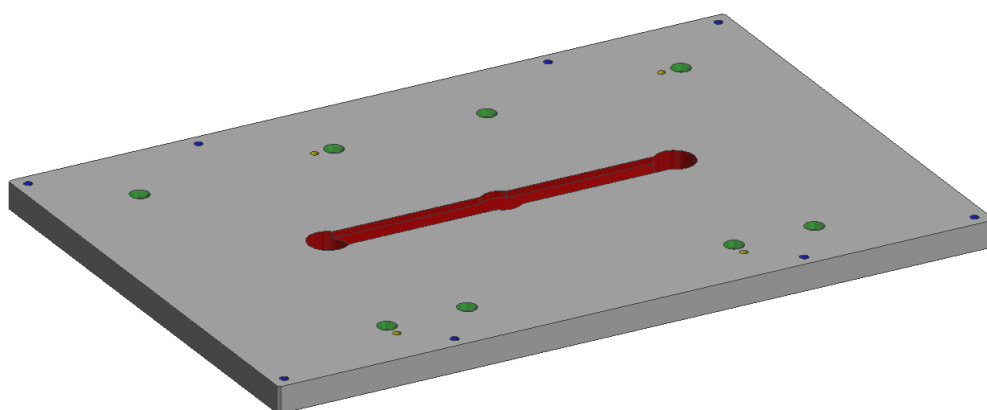
Základová deska

Základová deska slouží jako mezičlen mezi chladicí deskou a jednotlivými tvárnici. Má za úkol rovnoměrně rozvést vakuum do obou tvárnice a zároveň obě tvárnice ustavit a upevnit. Pro rozvedení vakua slouží široká drážka s dvěma dírami (na Obr. 45 znázorněna červeně). Pro upevnění a ustavení tvárnice slouží čtyři šrouby M6 a dva kolíky pro každou tvárnici.

Díry pro kolíky i šrouby jsou umístěny asymetricky pro zamezení špatného vložení a upevnění tvárnice.



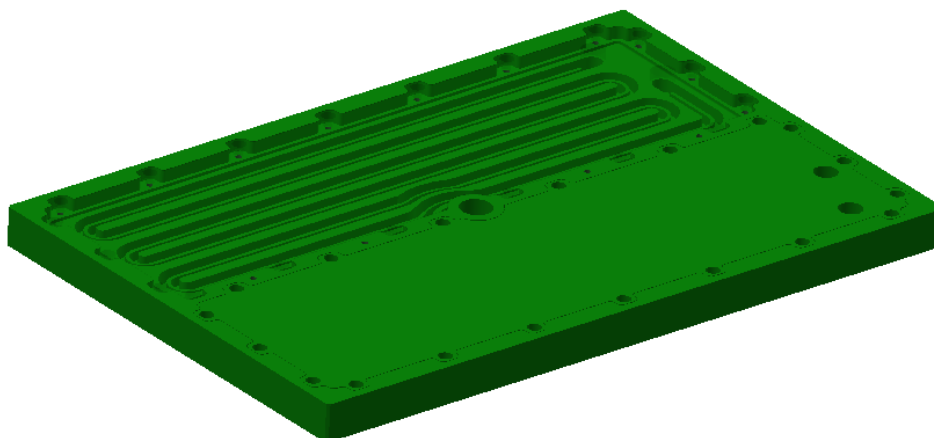
Obr. 45: Základová deska shora



Obr. 46: Základová deska zespod

8.1.2. Chladicí deska

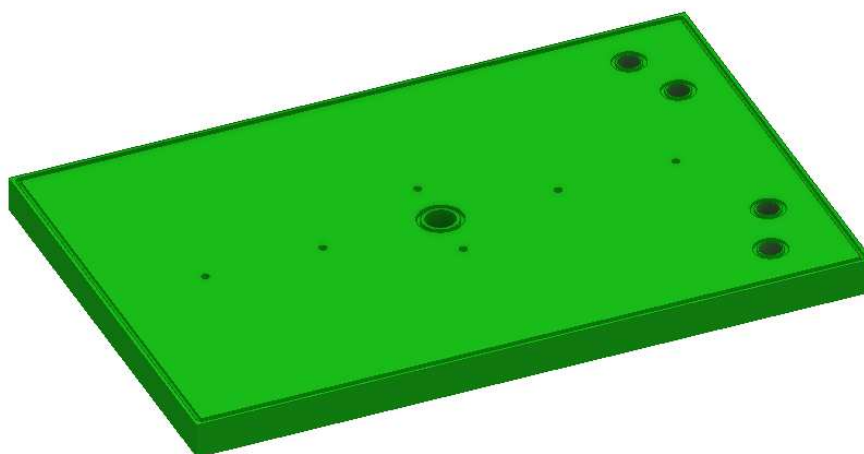
Chladicí deska slouží k odvodu tepla z formy. S formou je spojena pomocí osmi šroubů. V desce jsou vedeny kanály, kterými protéká chladicí médium (voda). Díra uprostřed desky slouží pro přívod vakua do formy.



Obr. 47: Chladicí deska

8.1.3. Uzavírací deska spodní

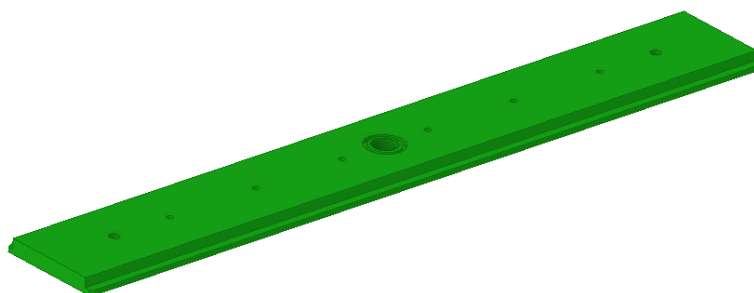
Tato deska slouží k utěsnění sestavy ze spodní strany. Prostředním otvorem je přivedeno vakuum do formy, čtyřmi otvory po pravé straně je vedeno chladicí médium do chladicí desky. Chladicí deska je k této desce připevněna pomocí šesti šroubů M6 se zapuštěnou hlavou.



Obr. 48: Uzavírací deska spodní

8.1.4. Upínací deska dolní

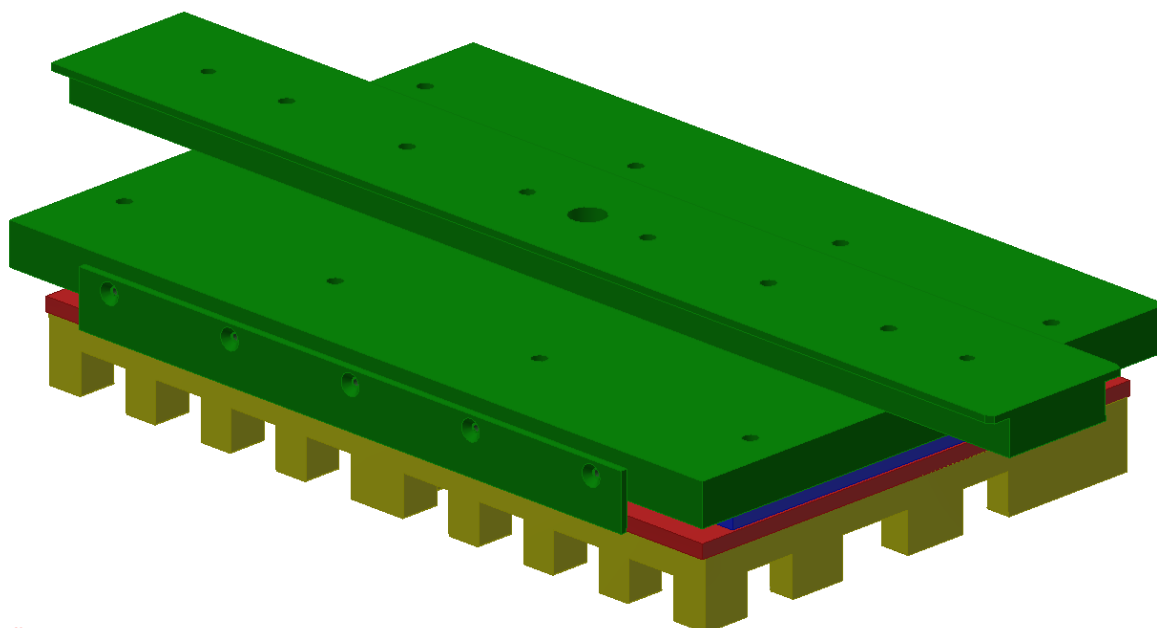
Pomocí této desky je celá sestava formy upnuta do tvarovacího stroje. K uzavírací spodní desce je připevněna pomocí šesti šroubu M6 se zapuštěnou hlavou.



Obr. 49: Upínací deska horní

8.2. Sestava tvárníku

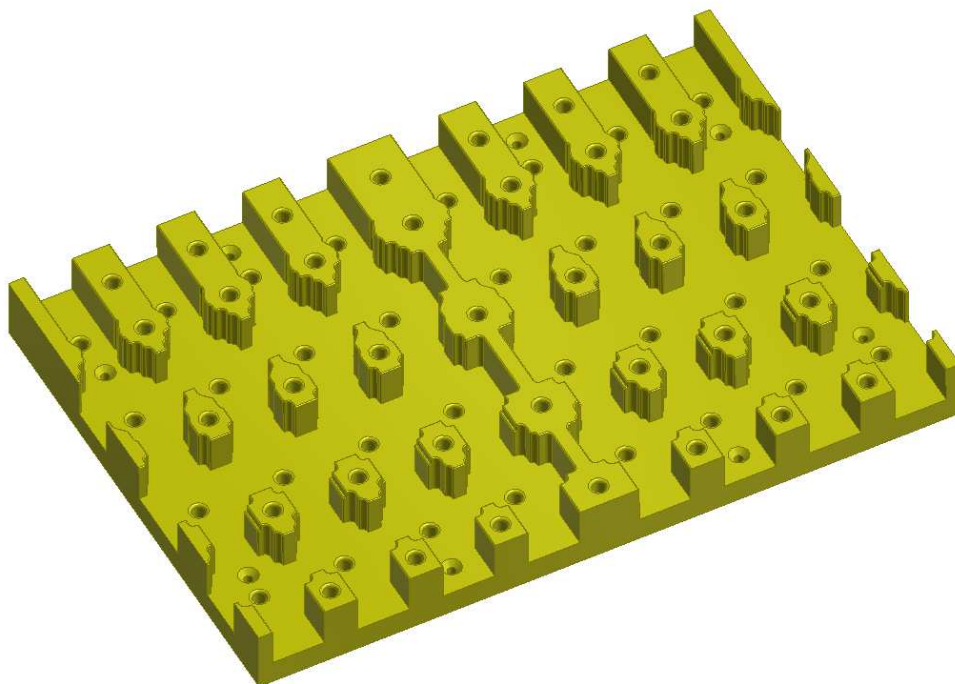
Sestava tvárníku se nachází v horní části tvarovacího stroje. Podobně jako sestava formy je upnuta do stroje pomocí upínací desky spojené s uzavírací deskou.



Obr. 50: Sestava tvárníku

8.2.1. Tvárník

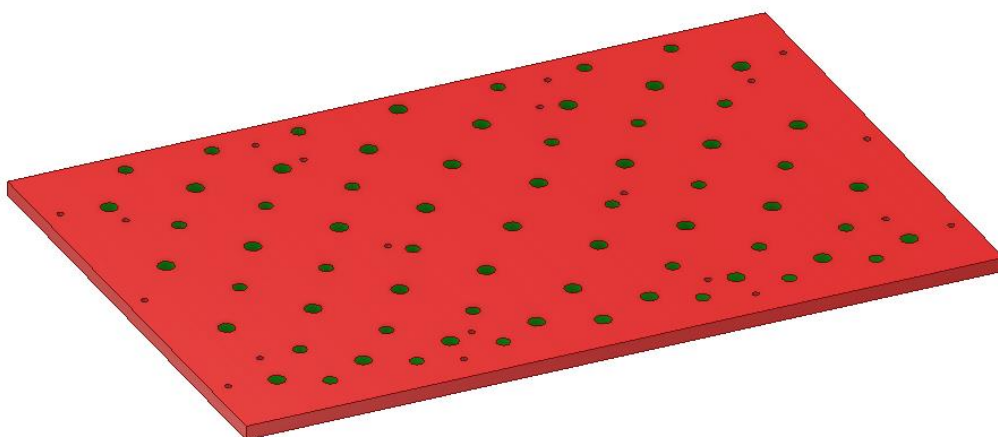
Pro získání rovnoměrnější tloušťky výtažku je při tvarování využit tvárník. Ten je umístěn na horní pohyblivé části stroje a je upevněn na desku pod tvárník pomocí osmi šroubů M6 s kuželovou hlavou. Tvárník má zjednodušený tvar jednotlivých dutin, které jsou velikostně zmenšené oproti formě o tloušťku materiálu ke kterému je připočten 1 mm. Zároveň jsou do tvárníku vyvrtány díry, kterými proudí stlačený vzduch napomáhající lepšímu tvarování fólie.



Obr. 51: Tvárník

8.2.2. Deska pod tvárník

Tato deska slouží jako podpora pro tvárník. Nachází se mezi tvárníkem a podložkami a zabraňuje deformování tvárníku při tvarování.

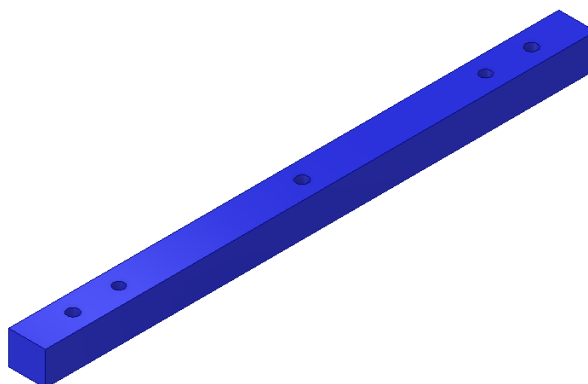


Obr. 52: Deska pod tvárník

8.2.3. Podložky

Podložky spojují desku pod tvárník s horní uzavírací deskou. Zároveň vymezují správnou polohu nastavení tvárníku, aby nedošlo ke kolizi tvárníku s formou při tvarovacím cyklu stroje.

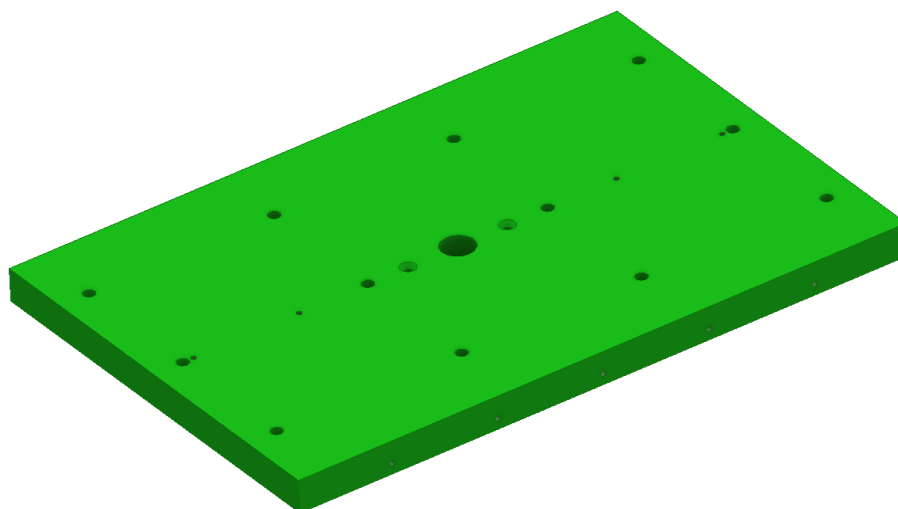
Podložky spojují desku pod tvárník s horní uzavírací deskou pomocí celkem dvanácti šroubů M6.



Obr. 53: Podložka

8.2.4. Uzavírací deska horní

Podobně jako dolní uzavírací deska slouží k utěsnění soustavy. Otvorem uprostřed je do soustavy hnán natlakovaný vzduch, který pomáhá tvárníku tvarovat polotovar.



Obr. 54: Uzavírací deska horní

Závěr

Práce, složená z teoretické a praktické části, je zaměřena na vytvoření vakuové formy pro zadaný blister. V teoretické části je vypracována rešerše na téma vakuové tvarování, jenž zahrnuje princip a metody podtlakového tvarování, zásady pro navrhování výtažků a materiály využívané pro jejich výrobu. Dále je zde popsána problematika konstrukce vakuových forem spolu se základním rozdělením využívaných materiálů podle objemu výroby.

V praktické části je popsán postup digitalizace blistru a zpracování naskenovaných dat. Dále je zde vyobrazeno vytvoření modelu blistru ze získaných dat a následné vytvoření vakuové formy určené pro sériovou výrobu s využitím poznatků sepsaných v teoretické části. Zároveň je vytvořena sestava rámu stroje se všemi hlavními částmi, skládající se z rámu, sestavy tvárníku a formy s chladicí deskou.

Seznam obrázků

Obr. 1: Přepravka vyrobená metodou vstříkovaní [11].....	5
Obr. 2: Nádoba vyrobená metodou vyfukování [12]	5
Obr. 3: Ukázka blistru (zásobník) [7].....	6
Obr. 4: Ukázka blistru (spotřebitelský obal) [7]	6
Obr. 5: Schéma podtlakového tvarování	9
Obr. 6: Negativní tvarování [6]	11
Obr. 7: Pozitivní tvarování [6]	12
Obr. 8: Kombinované tvarování [6]	12
Obr. 9: Využití stlačeného vzduchu při tvarování [6]	13
Obr. 10: Kontinuální tvarování [4].....	14
Obr. 11: Řez formou, kde: 1 – funkční část formy/tvárnice; 2 – rozvod vakua; 3 – základová deska; 4 – chladicí deska	15
Obr. 12: Umístění odsávacích otvorů, kde: 1 - správné umístění; 2 – špatné umístění [4]	16
Obr. 13: Úkosity na pozitivní formě [10]	17
Obr. 14: Úkosity na negativní formě [10]	17
Obr. 15: Zaoblení hran a rohů [1]	17
Obr. 16: Profilování obrub [1].....	18
Obr. 17: Profilování ploch [1]	18
Obr. 18: průběh změny tloušťky při tvarování [10]	19
Obr. 19: Obr produktu určeného k zakládání do zadaného blistru.....	20
Obr. 20: HandyScan 700 [8]	21
Obr. 21: Zadaný blistr	22
Obr. 22: Zadaný blistr po nanesení přípravku.....	22
Obr. 23: Deska ke skenování.....	23
Obr. 24: Poziční značky	23
Obr. 25: Skenování.....	24
Obr. 26: Mrak bodů při skenování	24
Obr. 27: Mrak bodů po úpravě	24
Obr. 28: Modelování blistru – deska.....	25
Obr. 29: Modelování blistru – základní tvar produktu.....	25
Obr. 30: Modelování blistru – pole	25
Obr. 31: Modelování blistru – sečtení jednotlivých těl.....	25

Obr. 32: Modelování blistru – výztuhy	26
Obr. 33: Modelování blistru – skořepina	26
Obr. 34: Model blistru.....	26
Obr. 35: Úkosová analýza	27
Obr. 36: Analýza odchylek.....	28
Obr. 37: Blistr s vloženými produkty.....	28
Obr. 38: Analýza kolizí	29
Obr. 39: Řez sestavou rámu; 1 – upínací deska horní, 2 – uzavírací deska horní, 3 – podložky, 4 – deska pod tvárník, 6 – tvárník, 7 – horní rám, 8 – spodní rám, 9 – tvárnice, 10 – základová deska, 11 – chladicí deska, 12 – uzavírací deska spodní, 13 – upínací deska spodní, 14 – přípojky pro chladicí médium.....	30
Obr. 40: Sestava formy.....	31
Obr. 41: Vakuová forma.....	32
Obr. 42: Řez vakuovou formou.....	32
Obr. 43: Tvárnice	33
Obr. 44: Rozvedení drážek pro vakuum; červeně – hlavní drážky; bíle – rozváděcí drážky....	33
Obr. 45: Základová deska shora	34
Obr. 46: Základová deska zespod	34
Obr. 47: Chladicí deska	35
Obr. 48: Uzavírací deska spodní	35
Obr. 49: Upínací deska horní	36
Obr. 50: Sestava tvárníku	36
Obr. 51: Tvárník.....	37
Obr. 52: Deska pod tvárník	37
Obr. 53: Podložka.....	38
Obr. 54: Uzavírací deska horní	38

Seznam tabulek

Tab. 1: Materiálové vlastnosti [1]	8
--	---

Literatura

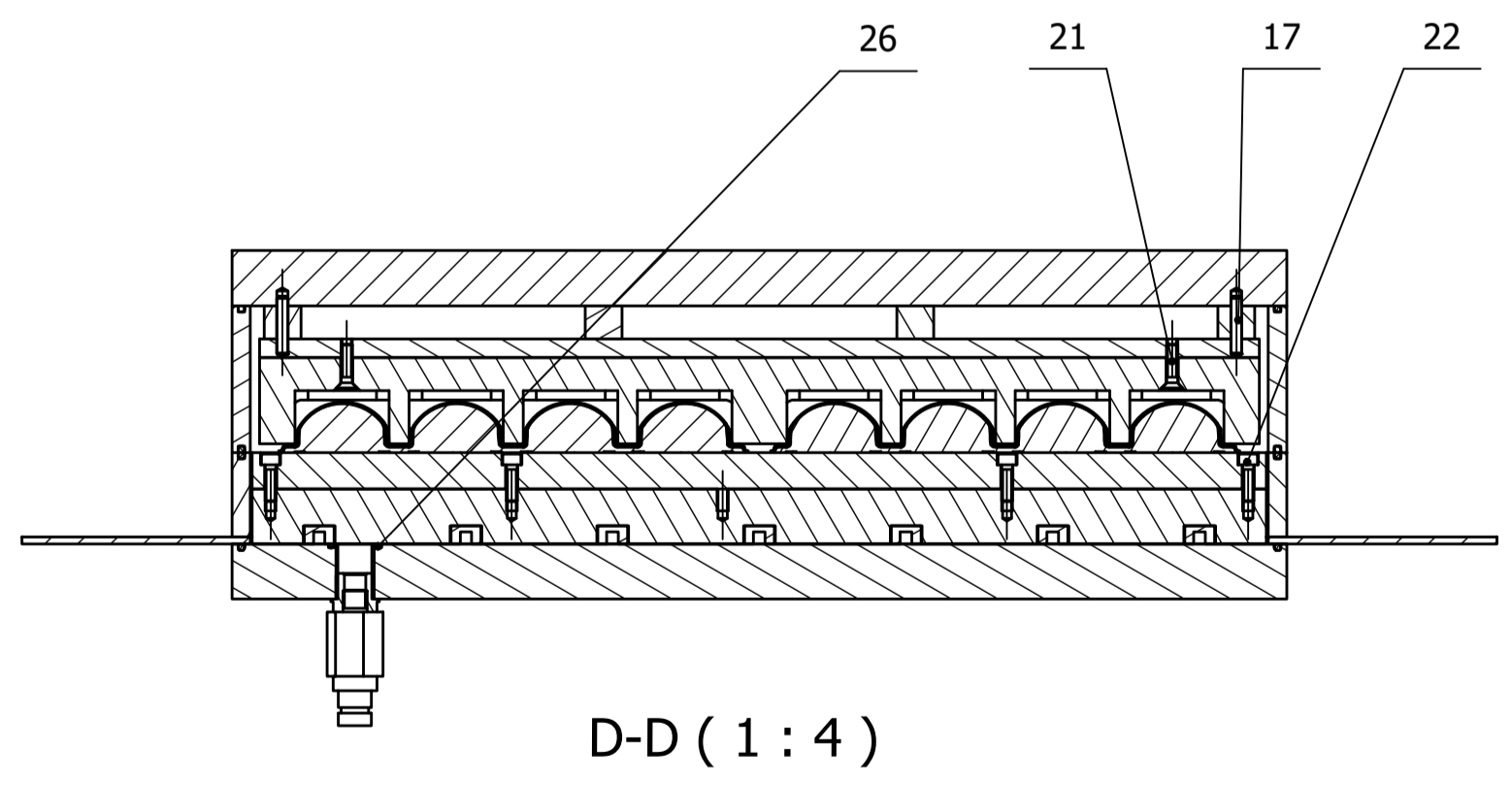
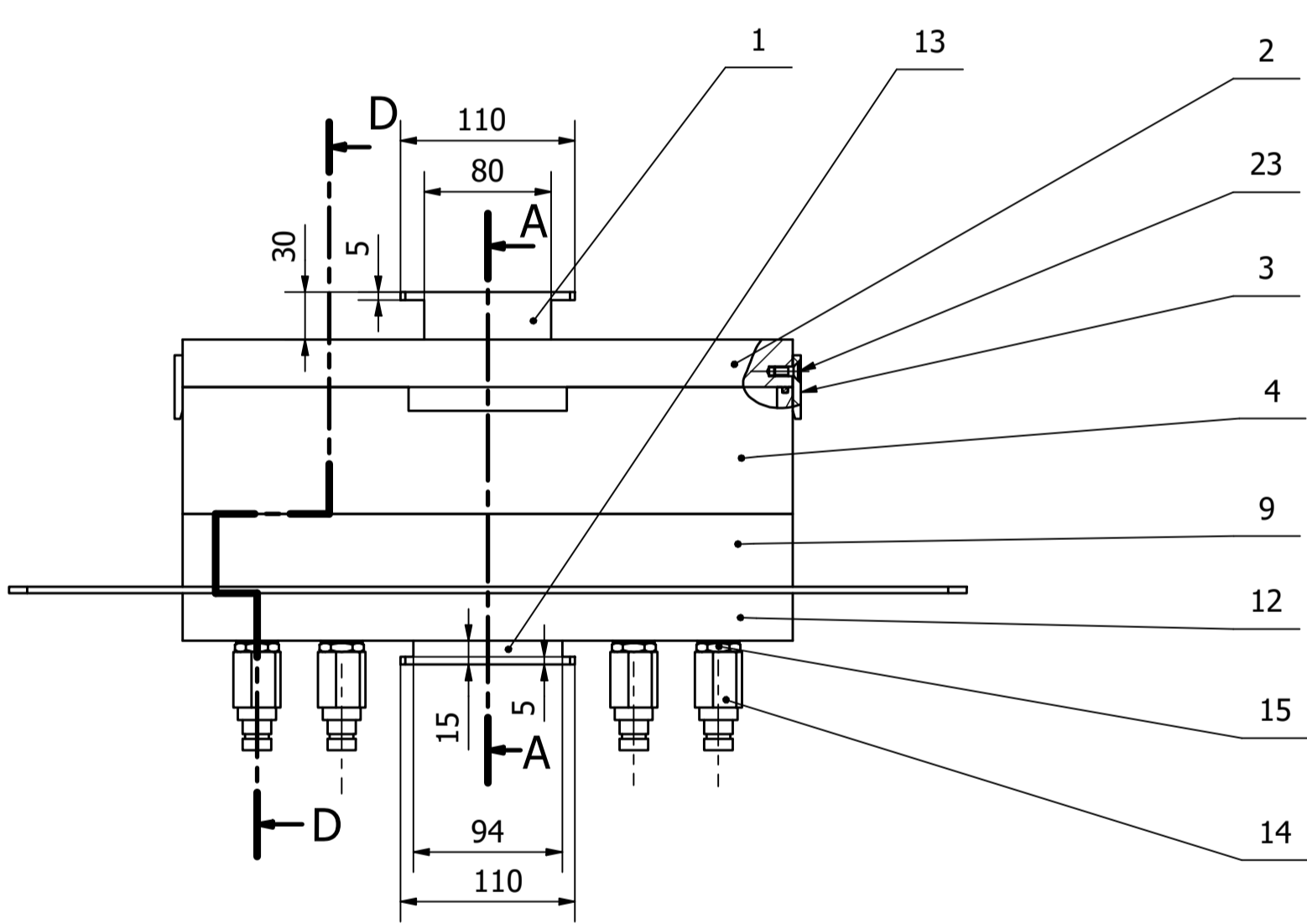
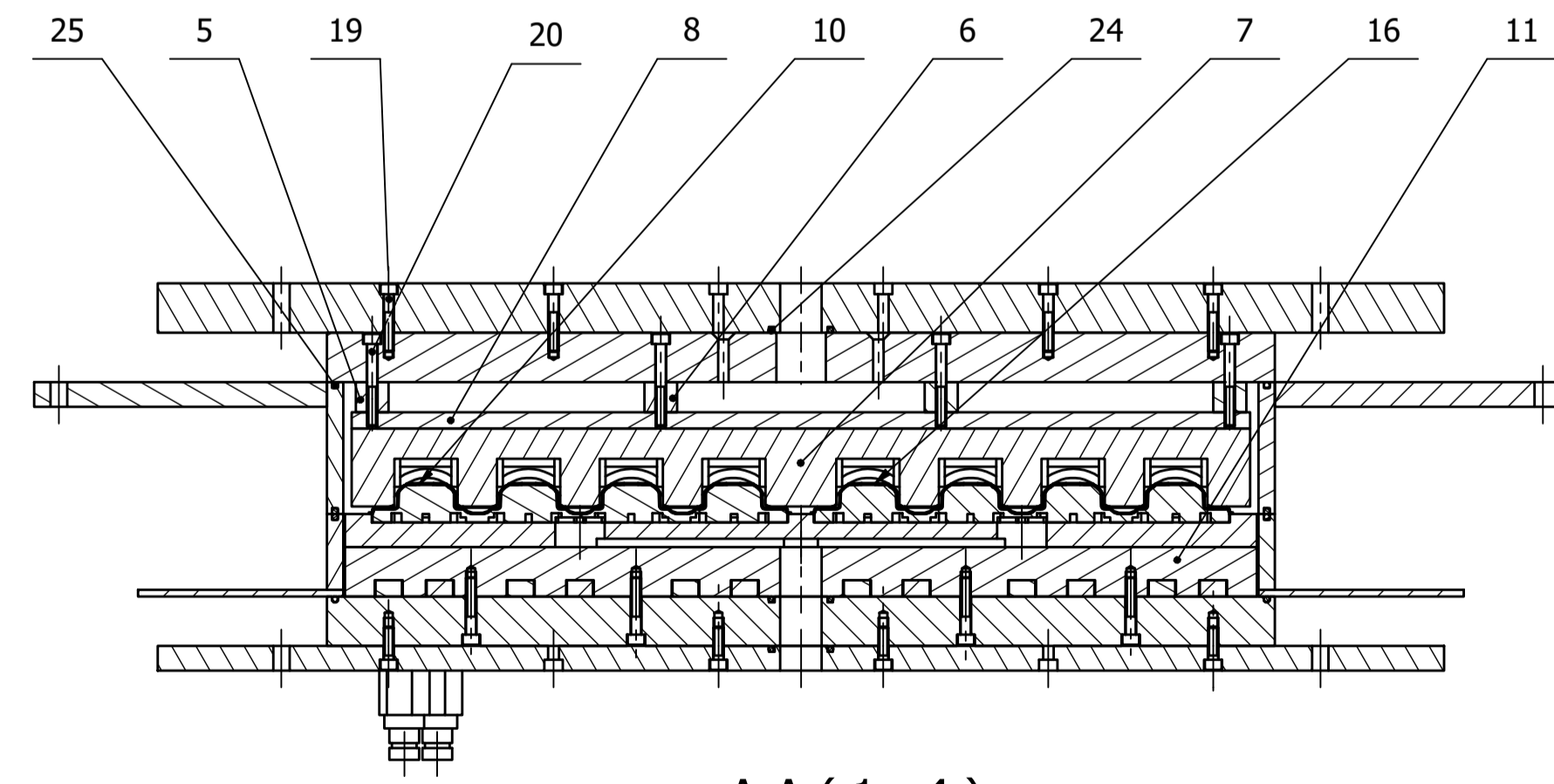
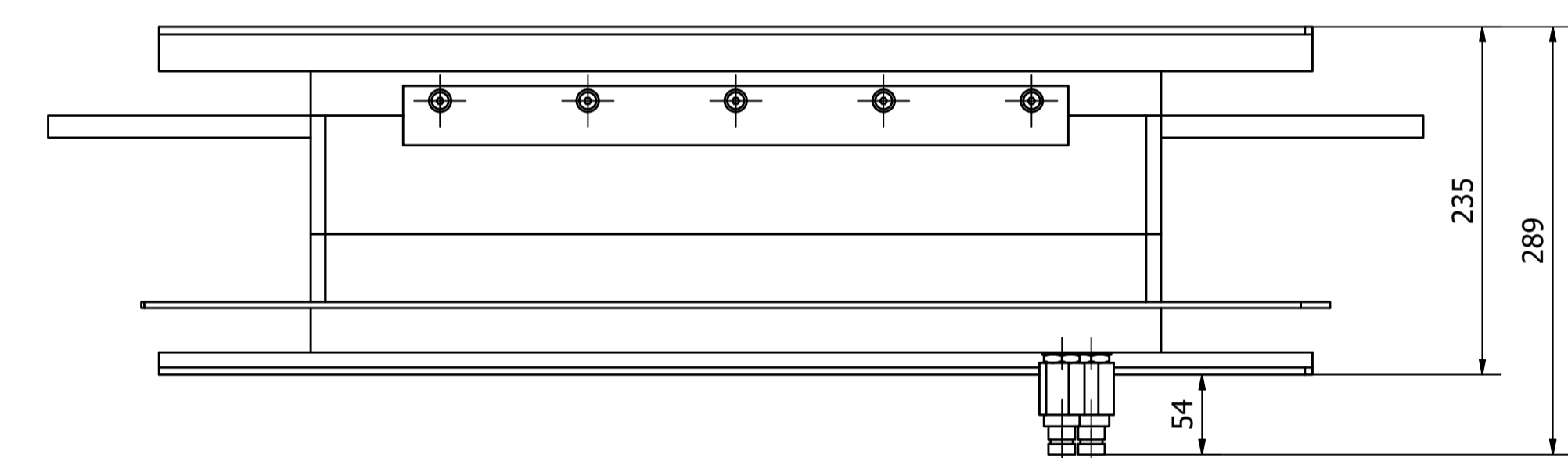
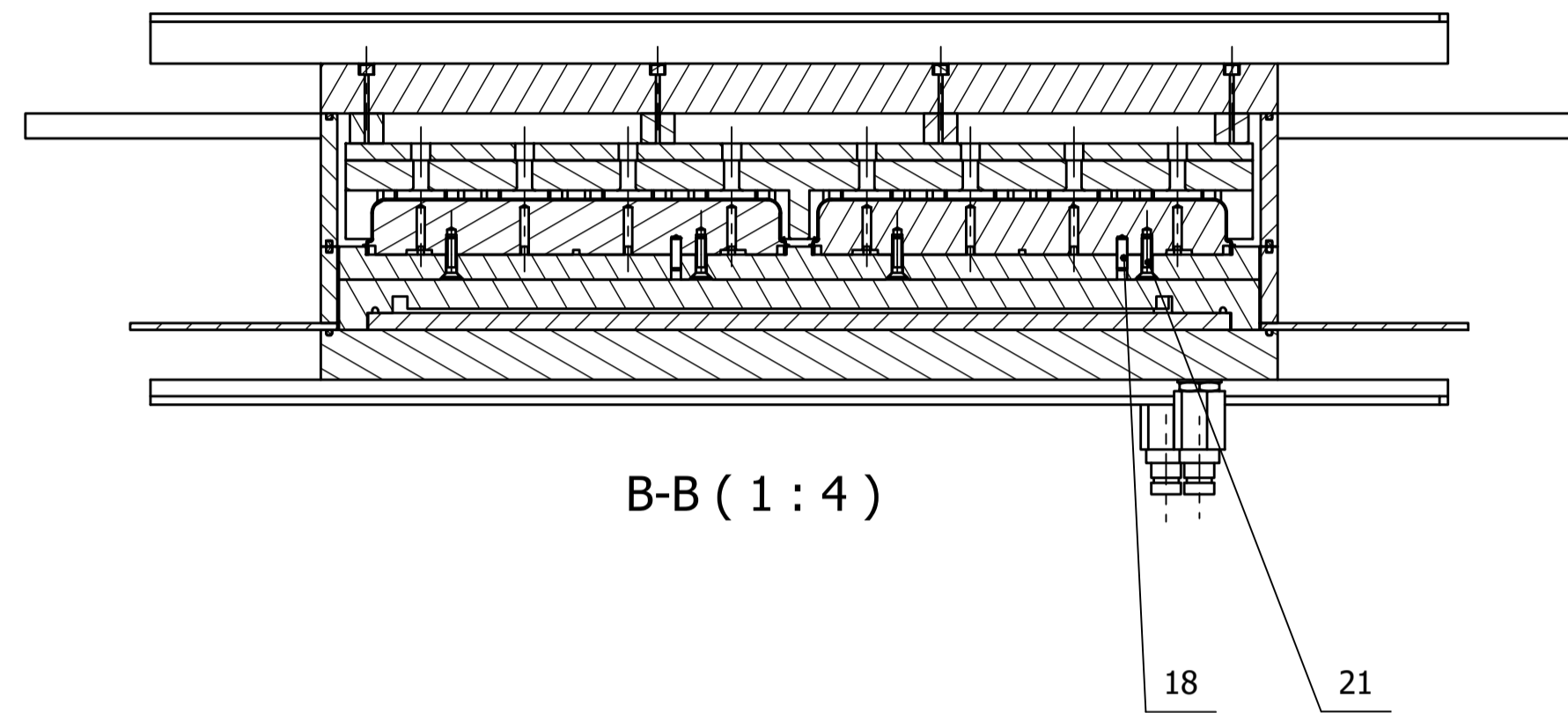
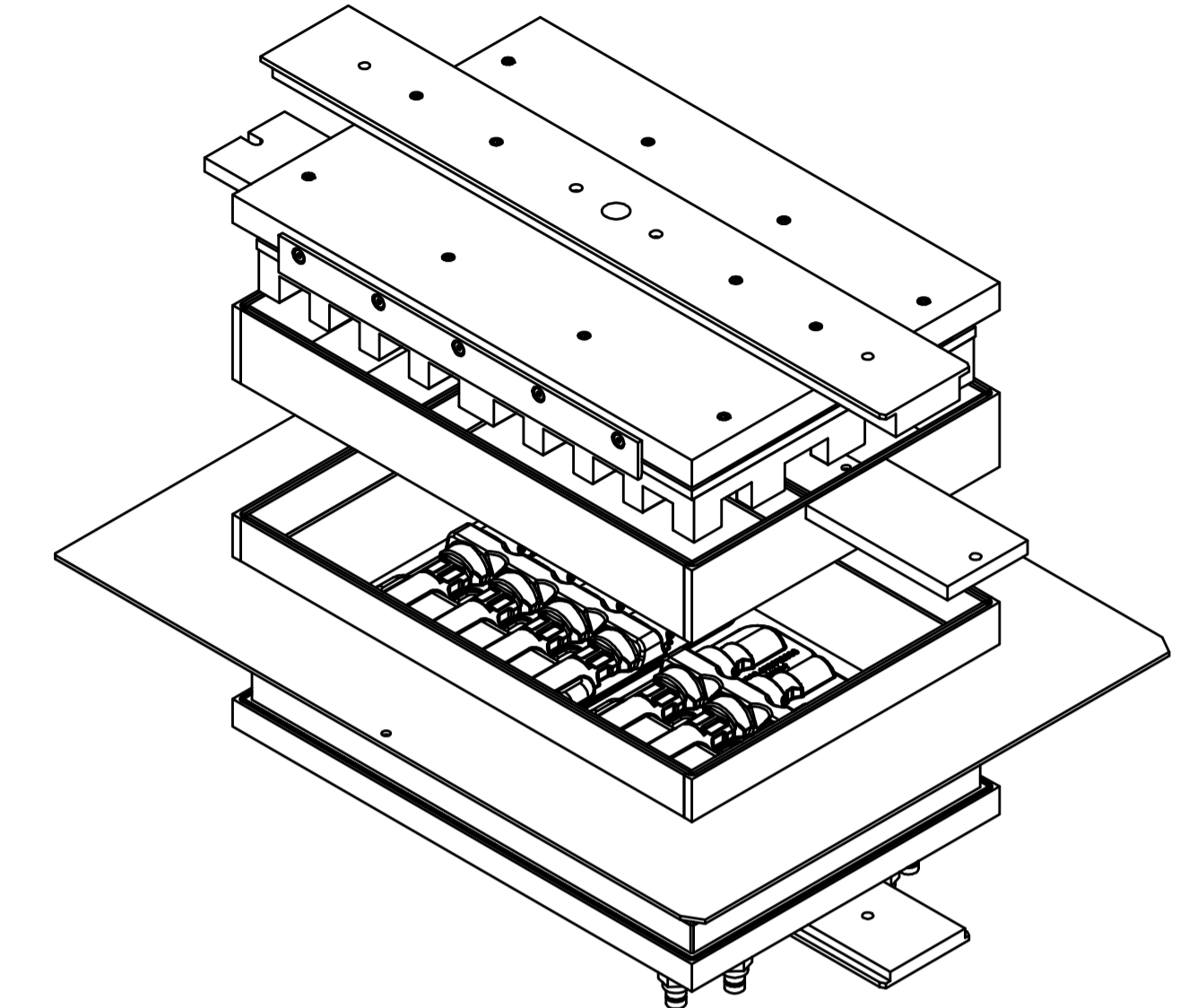
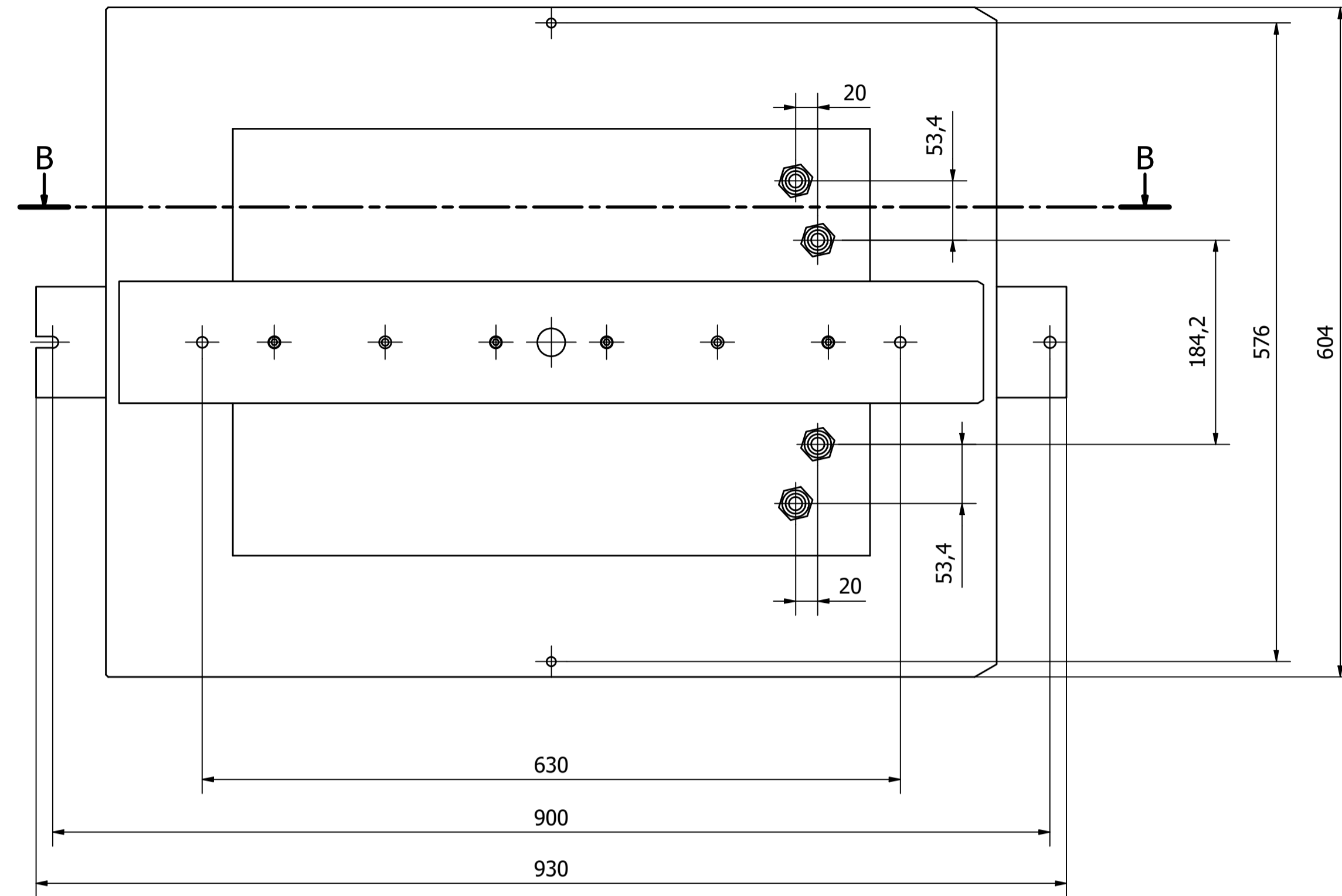
- [1] SOVA, Miloš a kol. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha: Verlag Dashöfer, [1999-2001], ©1999-2001. 2 pořadače (nečíslované volné listy). ISBN 80-86229-15-7.
- [2] CRAWFORD, R. J. *Plastics engineering*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. xv, 505 s. ISBN 0-7506-3764-1.
- [3] WAGNER, John R., ed. *Handbook of troubleshooting plastics processes: a practical guide*. Hoboken: John Wiley & Sons, ©2012. xxi, 479 s. ISBN 978-0-470-63922-1.
- [4] ŠTĚPEK, Jiří. *Polymery v obalové technice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [5] LENFELD, Petr a Technická univerzita v Liberci. *Technologie II, Část 2 Zpracování plastů*. Liberec Technická univerzita v Liberci, 2009. s. 102. ISBN 978-80-7372-467-2.
- [6] AUSPERGER, A. *Technologie zpracování plastů*. <https://publi.cz/books/183/07.html>. publi.cz, 2016. ISBN 978-80-88058-77-9.
- [7] Sklotex-Plasty. [Online] 2020. [Citace: 2. červenec 2020.] <https://www.sklotexplasty.cz/>.
- [8] Computer Aided Technology, LLC. [Online] 2020. [Citace: 9. březen 2020.] <https://www.cati.com/3d-scanning/creaform-3d-scanners/handyscan/>.
- [9] EKO-KOM, a.s. [Online] 2020. [Citace: 15. březen 2020.] https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/Ke%20sta%C5%BEen%C3%AD/Zakon_o_obalech_a_system_EKOKOM_06-2014.pdf.
- [10] Clauß, G. *Thermoformen für den Praktiker 2018*. Heilbronn, [2018].
- [11] [URL] https://cdn.myshoptet.com/usr/www.office24h.cz/user/shop/big/53883_plastova-prepravka-na-pecivo--typ-n-131-10--600-x-400-x-135-mm.jpg?5e4f9617. [Citace: 11. květen 2020.]
- [12] [URL] <https://www.plasticportal.cz/image/firmy/1562/9479.jpg>. [Citace: 11. květen 2020.]

Seznam příloh

Výkres: sestava rámu – číslo výkresu: BP – RADA – 00

Výkres: blistr – číslo výkresu: BP – RADA – 01

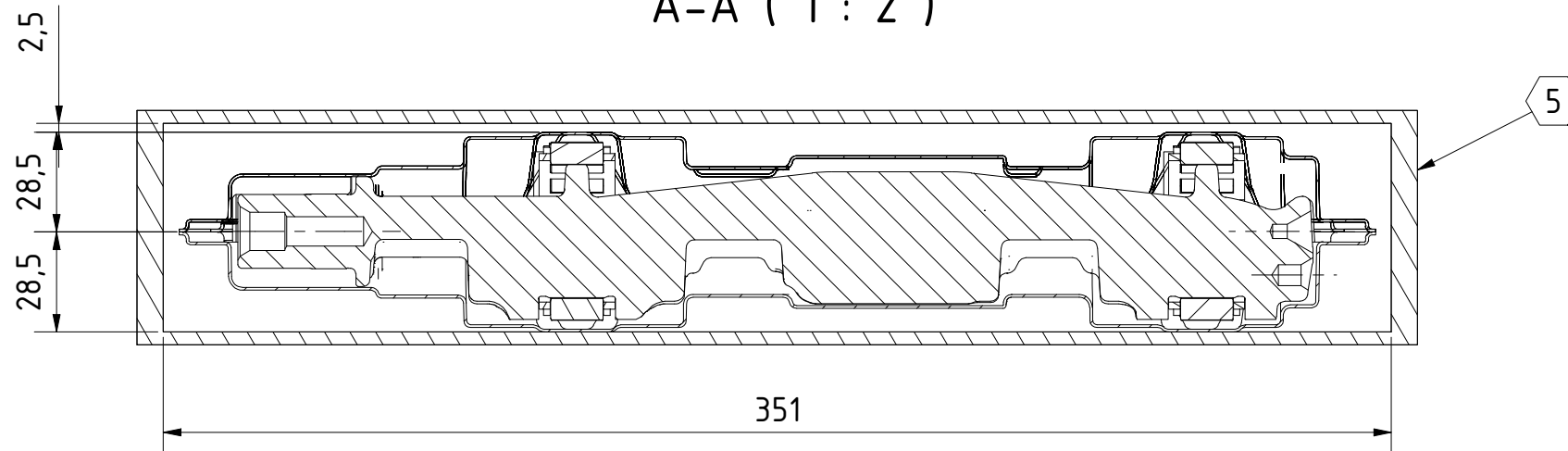
Výkres: pohyblivý rám – číslo výkresu: BP – RADA – 02



KUSOVNÍK					
POZ	NÁZEV	ČÍSLO SOUČÁSTI	NORMA	HMOTNOST	KS
1	Horní upínací deska	Werkzeughalteplatte_Oberwerkzeug	ILLIG74	5,292 kg	1
2	Horní uzavírací deska	ILLIG_74-555x365_FD Schliessplatte oben	ILLIG74	17,809 kg	1
3	Deska	Stuetzleiste_Schliessplatte_Oben_5 Loch	ILLIG74	0,233 kg	2
4	Horní pohyblivý rám	ILLIG_74-555x365_FD Druckrahmen_oben	ILLIG74	13,778 kg	1
5	Podložka	ILLIG_74-555x365_FD Aufbau Stütze	ILLIG74	0,287 kg	2
6	Podložka	ILLIG_74-555x365_FD Aufbau Stütze 2	ILLIG74	0,290 kg	2
7	Tvárník	Mold Design1_093276079-00_00_CV_1	ILLIG74	5,483 kg	1
8	Deska pod tvárník	P05.1076.TA_deska_zastempl	ILLIG74	1,865 kg	1
9	Dolní rám	ILLIG_74-555x365_Druckrahmen_unten	ILLIG74	5,326 kg	1
10	Forma	Mold Design1_093276079-00_00_CR_1	ILLIG74	16,027 kg	1
11	Chladicí deska	ILLIG_74-CHD_dolni_55x365	ILLIG74	14,148 kg	1
12	Dolní uzavírací deska	ILLIG_74-RUD_dolni_55x365	ILLIG74	17,711 kg	1
13	Dolní upínací deska	Werkzeughalteplatte_Unterwerkzeug	ILLIG74	3,093 kg	1
14	Přípojka	Stecker_G1-4	ILLIG74	0,086 kg	4
15	Redukce	REDUCER_G1-4_to_G1-2	ILLIG74	0,036 kg	4
16	Blistr	093276079-0000	ILLIG74	0,133 kg	2
17	Kolík	ISO 8734 - 6 x 32 - A	ISO 8734	0,007 kg	4
18	Kolík	ISO 8734 - 6 x 20 - A	ISO 8734	0,004 kg	4
19	Šroub	ISO 4762 - M6 x 35	ISO 4762	0,011 kg	8
20	Šroub	ISO 4762 - M6 x 50	ISO 4762	0,014 kg	12
21	Šroub	ISO 10642 - M6 x 25	ISO 10642	0,006 kg	16
22	Šroub	ISO 4762 - M6 x 20	ISO 4762	0,007 kg	12
23	Šroub	ISO 10642 - M6 x 16	ISO 10642	0,004 kg	10
24	Těsnění	ISO 3601-1 - C 0325 G	ISO 3601-1	0,001 kg	3
25	Těsnění	Seal 656 x 375	ILLIG74	0,020 kg	4
26	Těsnění	ISO 3601-1 - B 0236 G	ISO 3601-1	0,001 kg	4

Měřítko 1:4	Hmotnost (kg) 117,357	Promítání	Formát A1
	Kreslil Jan Rada	Název Sestava rámu	Číslo dokumentu BP-RADA-00
	Datum 22.5.2020	Schválil	
KKS KATEDRA KONSTRUVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY	List 1 Listů 1	

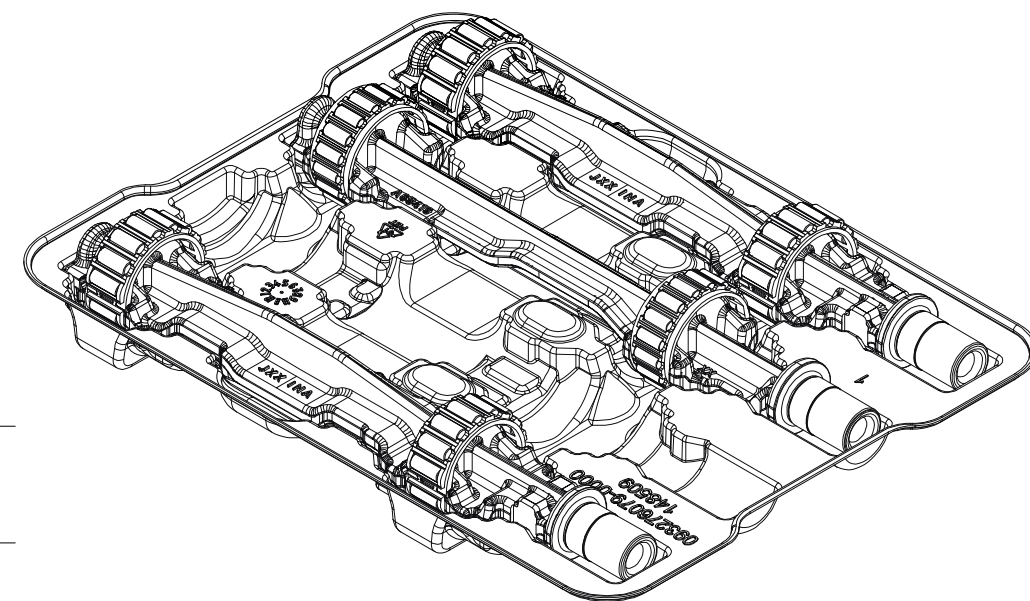
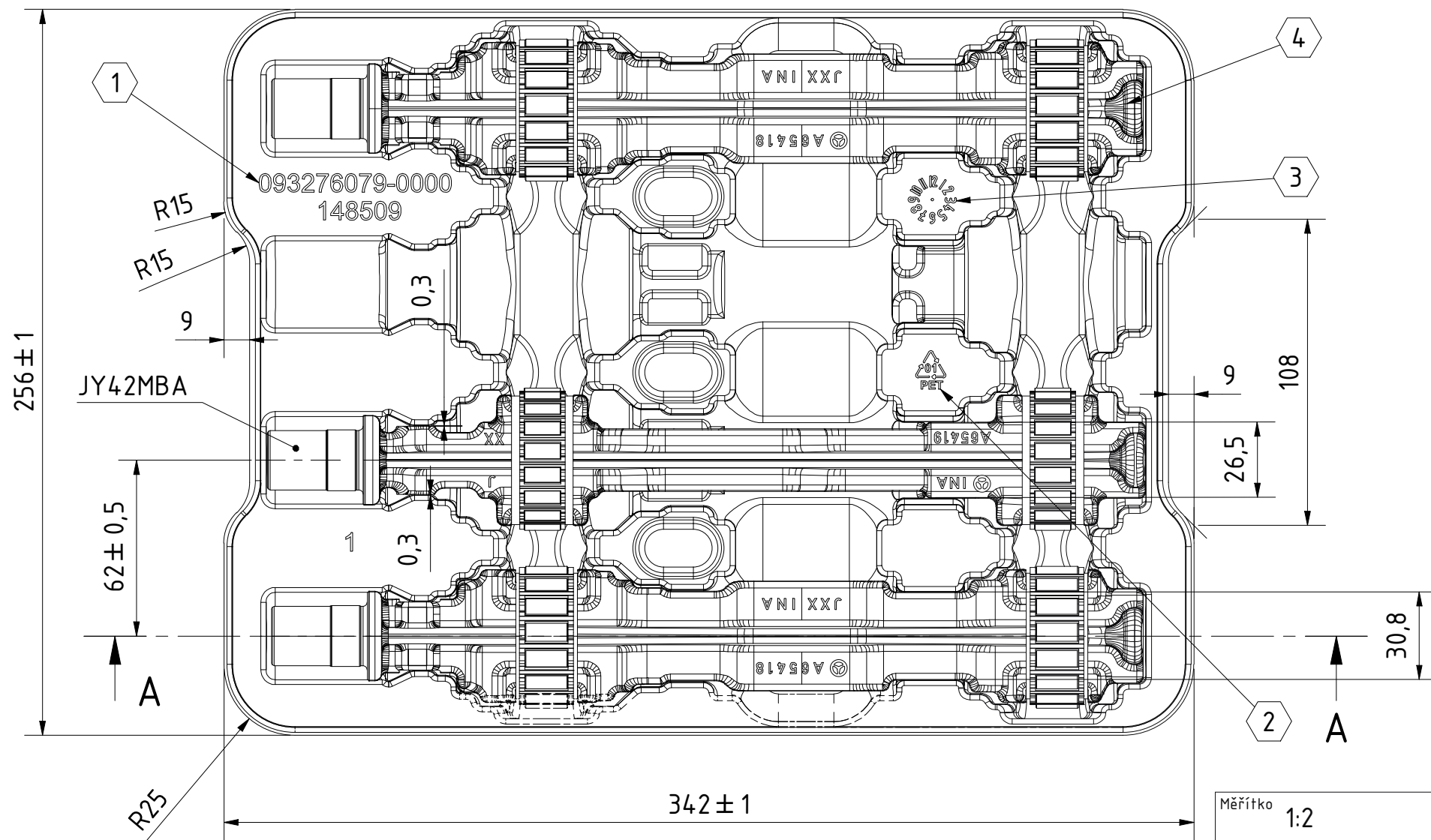
A-A (1:2)



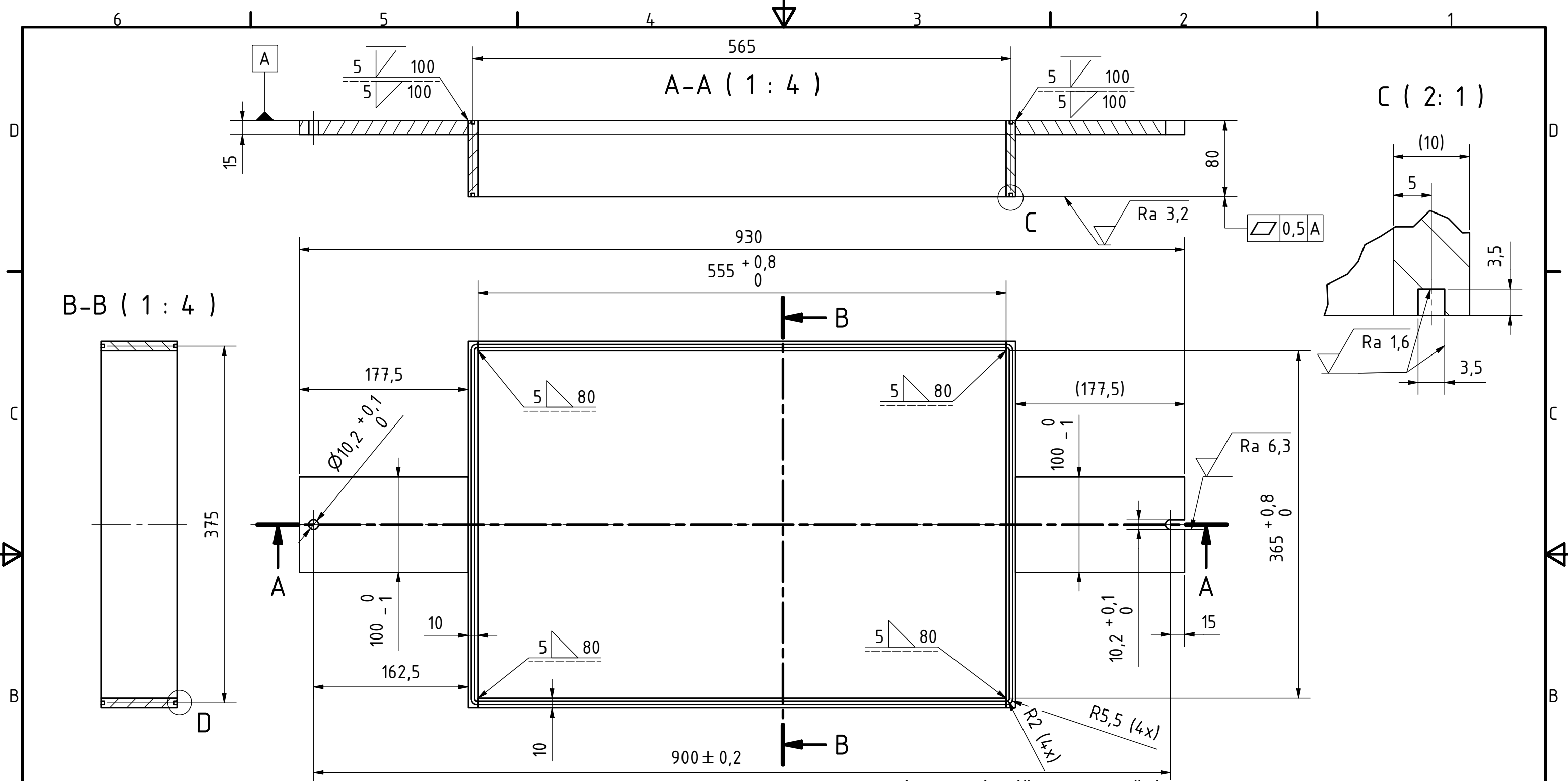
- ① Číslo blistru
- ② Recyklační symbol
- ③ Datum výroby
- ④ Díl: JX42MBL
- ⑤ Přepravka: MC3X57

Počet produktů v blistru: 4

Tloušťka materiálu před tvatováním 0,8mm



Měřítko 1:2	Hmotnost (kg) 8,684	Promítání	Materiál PET - transparentní	Formát A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Jan Rada	Název Blistr		
	Datum 22.5.2020			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	Číslo dokumentu BP-RADA-01		
	Datum			



Horní a spodní drážka jsou totožné - viz detail C a D

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Meřítko 1:4	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 6,078	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovary Svařenec		Formát A3	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Jan Rada	Název Pohyblivý rám	
	Datum 22.7.2020		
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil Datum	Číslo dokumentu BP-RADA-02	
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		