

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



**KONSTRUKCE A VÝROBA MALÉ DLP 3D
TISKÁRNY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014

Bc. Libor Kubeček



KONSTRUKCE A VÝROBA MALÉ DLP 3D TISKÁRNY

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Libor Kubeček**
Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor Kubeček**
Osobní číslo: **S12000415**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukce a výroba malé DLP 3D tiskárny**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů**

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

Cílem práce jsou rešerše stávajících řešení a návržení nového zařízení na principu DLP o pracovním rozsahu 100 x 100 mm. Hlavní důraz je kladen na konstrukční řešení a to z hlediska ekonomičnosti a variability (různé materiály, různé tloušťky vrstev, přesnost tisku). Elektronické řízení zařízení není řešením této práce.


Doporučené metody pro vypracování:

1. Seznámit se s technologií 3D tisku vytvrzováním vrstev fotopolymeru pomocí UV světla.
2. Provést studii podobných zařízení.
3. Na základě definovaných parametrů provést návrh celé konstrukce prototypu zařízení.
4. Případně provést realizaci a otestování zařízení.

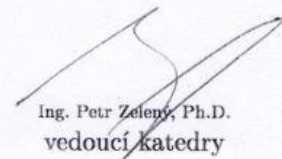
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **60 stran textu včetně příloh**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] MACH, P. *Konstrukce 3D tiskárny na fotopolymer*. Liberec, 2014. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní.
[2] SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
[3] NOORANI, R. *Rapid Prototyping: principles and applications*. Hoboken: John Wiley and Sons, 2006. ISBN 0-471-73001-7.
[4] JACOBS, P. F. *Stereolithography and other RP and M technologies: from rapid prototyping to rapid tooling*. New York: ASME Press, 1996. ISBN 0-87263-467-1.
[5] GIBSON, I., D.W. ROSEN a B. STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-1119-3.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Zelený, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Šafka, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů
Datum zadání diplomové práce: **14. listopadu 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2015**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. listopadu 2014

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 22.5.2015

Podpis: 

Poděkování:

Chtěl bych tímto poděkovat především svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Zelenému, Ph.D. a všem, kteří mi poskytli cenné rady k vypracování mé práce. Dále bych chtěl poděkovat katedře KVS (KSA) za vždy kladné přijetí a podporu ve studiu.

TÉMA: KONSTRUKCE A VÝROBA MALÉ DLP 3D TISKÁRNY

ABSTRAKT: Diplomová práce je zaměřena na problematiku konstrukce 3D tiskárny na fotopolymery. Výsledkem práce je návrh tiskárny o pracovním prostoru odpovídající 100 x 100 mm. V první části práce je stručný přehled metod Rapid Prototypingu využívajících ke 3D tisku fotopolymerů, včetně stavebních materiálů. V druhé části je provedena rešerše stávajících řešení 3D DLP tiskáren. V třetí poslední části je zpracováno nejvhodnější konstrukční řešení a uspořádání 3D tiskárny na fotopolymery s požadovanými parametry na velikost modelu.

Klíčová slova: 3D tisk, Rapid Prototyping, DLP

THEME: DESIGN AND MANUFACTURE OF SMALL DLP 3D PRINTER

ABSTRACT: This thesis is focused on design 3D photopolymers printer. The result is a design of the printer with working area of equivalent to 100 x 100 mm. The first part is a brief overview of the methods of Rapid prototyping using photopolymers for the 3D printing, including construction materials. The second part contains an analysis of existing solutions DLP 3D printers. The third last part contains the most suitable solution of design and configuration of the photopolymers 3D printer with the required parameters for the size of the model.

Keywords: 3D printing, Rapid Prototyping, DLP

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

Počet stran: 63
Počet příloh: 2
Počet obrázků: 54
Počet tabulek: 4
Počet modelů,
nebo jiných příloh: 0

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	9
ÚVOD	10
CÍLE PRÁCE	11
1. RAPID PROTOTYPING	12
1.1 Metody RP používající ke stavbě fotopolymery.....	13
1.1.1 SLA - Stereo Litography Aparatus.....	13
1.1.2 SGC - Solid Ground Curing.....	15
1.1.3 PJ - Jetted photopolymer.....	16
1.1.4 CLIP - Continuous Liquid Interface Production.....	17
1.1.5 DLP tisk - Digital Light Processing.....	18
1.1.5.1 DLP projektor.....	19
1.2 Stavební materiál.....	21
1.2.1 Přehledová tabulka stavebních materiálů.....	21
2. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ A PARAMETRY 3D DLP TISKÁREN	24
2.1 Perfactory Micro XL.....	24
2.2 S50 maxi.....	25
2.3 ARM - 10.....	26
2.4 3D DLP PRINTER v 2.0.....	27
2.5 DWARF.....	28
2.6 The Freeform PRO 75.....	29
2.7 DIGITAL WAX 009J.....	31
2.8 Stereolithography 3-D printer development platform.....	32
2.9 Souhrnná tabulka parametrů 3D tiskáren.....	33
3. NÁVRH 3D DLP TISKÁRNY	34
3.1 Měření působících sil při 3D tisku.....	34
3.2 Volba koncepce 3D tiskárny.....	38
3.2.1 Koncepce s projektorem pod nádrží.....	38
3.2.2 Koncepce s projektorem nad nádrží.....	39
3.2.3 Výběr koncepce 3D tiskárny.....	40

3.3	Parametry pro volbu projektoru.....	40
3.3.1	Volba projektoru.....	42
3.4	Volba pohonné jednotky.....	43
3.4.1	HENNLICH THK KR 3306A.....	44
3.4.2	HENNLICH THK SKR 3306A.....	45
3.4.3	HIWIN KK5002.....	47
3.4.4	FESTO EGSK-33-6P.....	48
3.4.5	Závěr k výběru pohonné jednotky.....	49
3.5	Navržení nádrže.....	50
3.6	Konstrukce rámu a krytování.....	52
3.7	Konstrukce platformy.....	54
3.8	Celkové konstrukční řešení 3D tiskárny.....	55
4.	OVLÁDACÍ SOFTWARE.....	56
4.1	CREATION WORKSHOP.....	32
4.2	NETFABB.....	57
4.3	Flashpoint.....	58
4.4	Volba softwaru.....	59
5.	ZÁVĚR.....	60
	Seznam použité literatury a softwaru.....	61
	Seznam příloh.....	63

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

3D	Three dimensional	[-]
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	[-]
CAD	Computer aided design	[-]
CLIP	Continuous Liquid Interface Production	[-]
DLP	Digital light procesing	[-]
DMD	Digital micromirror device	[-]
DPH	Daň z přidané hodnoty	[-]
EVM	Evaluation module	[-]
FDM	Fused Deposition Modeling	[-]
F_0	počáteční oddělovací síla	[N]
F_{0max}	maximální naměřená síla	[N]
F_{Zmax}	maximální zatěžující síla v ose Z	[N]
k	bezpečnost	[-]
LED	Light-emitting diode	[-]
m_m	hmotnost modelu	[kg]
M_{max}	maximální zatěžující moment	[Nm]
m_p	hmotnost platformy	[kg]
PC	Personal Computer	[-]
PJ	Jetted photopolymer	[-]
SGC	Solid Ground Curing	[-]
SLA	Stereo Litography Aparatus	[-]
SLS	Selective Laser Sintering	[-]
STL	Standard Tessellation Language	[-]
UV	Ultraviolet	[-]
σ_{tmax}	maximální dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_{Do}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]

ÚVOD

Tématem této diplomové práce je návrh konstrukce a uspořádání malé 3D tiskárny využívající ke stavbě modelů technologii DLP projektoru a používající jako stavební materiál fotopolymery. Metoda DLP patří k výrobním technologiím RAPID PROTOTYPINGU. Fotopolymery jsou UV zářením vytvrzující pryskyřice, které byly vyvinuty v šedesátých letech minulého století. V současnosti jsou dostupné 3D tiskárny, které také používají ke stavbě modelů fotopolymery, ale využívají různých technologií vytvrzování. Mezi hlavní zástupce patří SLA - Stereo Litography Aparatus, SGC - Solid Ground Curing, PJ - Jetted photopolymer, CLIP - Continuous Liquid Interface Production. Metody SLA, SGC, PJ jsou již starší ověřené metody používané pro 3D tisk. Oproti tomu metoda CLIP patří v současnosti k nejmladším metodám a její rozšíření bude pravděpodobně teprve následovat.

Počátek technologie 3D tisku spadá do druhé poloviny 20. století, kdy v roce 1986 patentoval Charles Hull technologii stereolitografie SLA. Metoda vytvrzuje tekutý fotopolymer pomocí UV laseru. Před koncem 90. let byla ve firmě 3D systems vyrobena první, z řady 3D tiskáren SLA-1, která se stala základem dnešních 3D tiskáren. Mezi další metody RAPID PROTOTYPINGU můžeme zařadit modelování depozitní taveniny FDM (Fused Deposition Modeling), selektivní laserové spékání práškových materiálů SLS (Selective Laser Sintering).

Technologie 3D tisku je v současné době vhodná i pro 3D tiskárny menších rozměrů a dává tím předpoklady pro vznik malých domácích tiskáren. Pro malé tiskárny je v současnosti nejvíce používaná technologie FDM a DLP. Mezi největší výrobce a distributory 3D tiskáren patří společnosti Object Geometries, Stratasys, 3D Systems, EOS GmgH a Z Corporation. V České republice jsou to firmy 3Dfactories a be3D.

Krom průmyslového využití 3D tiskáren se používají pro tisknutí zubních otisků a postupně se připravují pro větší uplatnění v medicíně, například na tisk náhradních orgánů a kostí. Jiná varianta využití, na které se intenzivně ve světě pracuje, je tištění ve vesmíru, kde by se již pomocí raketoplánů nemusely dopravovat hotové díly, ale mohly by se tisknout.

CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je navržení konstrukce a uspořádání malé 3D tiskárny. Následně po navržení provést případnou výrobu prototypu a otestování navržené tiskárny v provozu. Na hotovém prototypu ověřit požadované vlastnosti, jako jsou rychlost stavby a předpokládaná přesnost vyhotovených modelů. Základním požadavkem pro nově navrhovanou tiskárnu je velikost stavebního prostoru odpovídající 100 x 100 mm, neboli 10 000 mm².

V první části této práce se blíže seznámíme s technologií 3D DLP tisku i s jinými technologiemi Rapid prototypingu využívající ke stavbě fotopolymery. Budou zde popsány různé metody vytváření modelů z 3D CAD dat.

Následně bude provedena rešerše stávajících řešení 3D tiskáren se stejnou technologií 3D tisku modelů. Zde se zajímáme hlavně o parametry stávajících tiskáren, jako je přesnost v rovině XY a dále možnosti přírůstku modelu v ose Z.

Poslední část práce je zaměřena na optimální výběr velikosti pohonů a pracovních pohybových os. Zvolení vhodného DLP projektoru s nejlepším dostupným poměrem mezi rozlišením, vhodností a cenou. Zvolení koncepce a uspořádání tiskárny. Výběr vhodných lineárních vedení pro danou aplikaci 3D tiskárny. Pro vhodnou volbu pohonů os a dimenzování vycházíme z prototypu vyrobeného na Katedře výrobních systémů a automatizace v Liberci dle diplomové práce Ing. Pavla Macha v roce 2014. Měření působících sil při tisku, respektive při oddělování vrstev a odladění technologie vytváření pomocí DLP projektoru bude provedeno na tomto prototypu.

Cílem stavby tiskárny je ověření funkčnosti všech součástí hardwaru včetně softwarového řešení a celkové nastavení provozních parametrů a získání prototypu pro další možné vývojové práce v laboratořích. Prototyp tiskárny by mohl oslovit i potencionální konečné zákazníky, jako jsou například zubní laboratoře pro tisk zubních otisků.

1. RAPID PROTOTYPING

Jedná se o soubor technologií výroby prototypů pomocí 3D tisku z CAD souborů, pomocí nichž vytváříme přímo fyzické třírozměrné součásti nebo přímo hotové výrobky. Touto metodou vyrábíme prototypy součástí, které nejsme ve většině případů schopni vyrobit běžnou konvenční cestou. Zpravidla se ale jedná pouze o designové návrhy pro představu nebo ke kontrole navržené součásti. Používá se hlavně pro odstranění konstrukčních a funkčních vad. Prototypy vyrobené těmito technologiemi jsou většinou nevhodné pro zvýšené namáhání ve srovnání s konvenčně vyrobenými součástmi, které bez problémů zvýšené namáhání přenesou. Virtuální 3D CAD model je rozřezán dle nastavené tloušťky požadované vrstvy. Tloušťka nastavené vrstvy je jeden z hlavních parametrů přesnosti výsledného modelu hotové součásti. Model je zpravidla u všech metod rapid prototypingu vytvářen nanášením materiálu v předem definované tloušťce, která byla zvolena v řídicím softwaru.

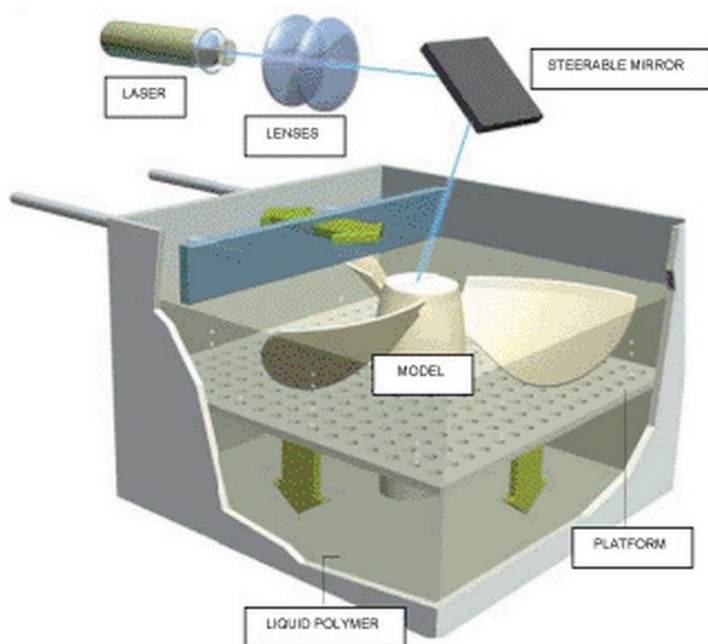
Typy prototypů vyrobené metodou rapid prototyping můžeme rozdělit na konstrukční prototypy, které nám slouží ke kontrole geometrie a tvaru či ověření montáže. Prototypy designu, kde ověřujeme především estetiku a design, není přesnost příliš důležitým parametrem. Funkční prototypy k testům navržených součástí jako jsou například analýza obtékání, modely do větrných tunelů, součásti automobilů. Technické prototypy, kde jsou již materiály blízké či shodné finálním výrobkům. Prototypy můžeme použít k výrobě master modelů, které následně použijeme k výrobě forem. A to například zalitím do silikonu. Dále můžeme použít metodu k výrobě forem pro technologii lití na ztracený model.

Postup při vytváření prototypu metodami rapid prototyping můžeme rozdělit do následujících kroků. Prvním krokem je příprava 3D CAD modelu, který je převeden do formátu STL. Pokračujeme načtením a převedením dat do softwaru na 3D tisk, kde je model naorientován a je zde zkontrolována úplnost povrchu. Následně jsou přidány nutné podpůrné konstrukce. Bez podpůrných konstrukcí by model v určitých místech nebylo možné postavit a tiskárna by model stavěla ve volném prostoru. Po kontrole úplnosti následuje rozřezání modelu a vytvoření řezů. Další operací se již přesouváme k samotnému 3D tisku. Odesláním dat do tiskárny a nastavením provozních parametrů spustíme samotný tisk. Po dokončení tisku následuje vyjmutí z tiskárny a fáze post-processingu, ve kterém můžeme provést dotvrzení modelu, odstranění podpůrných konstrukcí, konečnou úpravu povrchu a jiné dokončovací operace.

1.1 Metody RP používající ke stavbě fotopolymery

Dále se budeme zajímat pouze o metody rapid prototypingu využívající ke stavbě fotopolymery. Jelikož máme za hlavní cíl práce navrzení tiskárny na principu DLP, jenž je jeden z pěti hlavních principů v současnosti používaných metod k vytváření fotopolymérů. Samotná fotopolymerizace probíhá v pěti fázích, kdy je fotoiniciátor smíchán s monomerem, poté následuje fotonické buzení a volné radiální generování dále následuje řetězové zahájení, dochází k řetězovému šíření a následnému ukončení. Je nutné, aby bylo dostatečně rychlé. [2]

1.1.1 SLA - Stereo Litography Aparatus

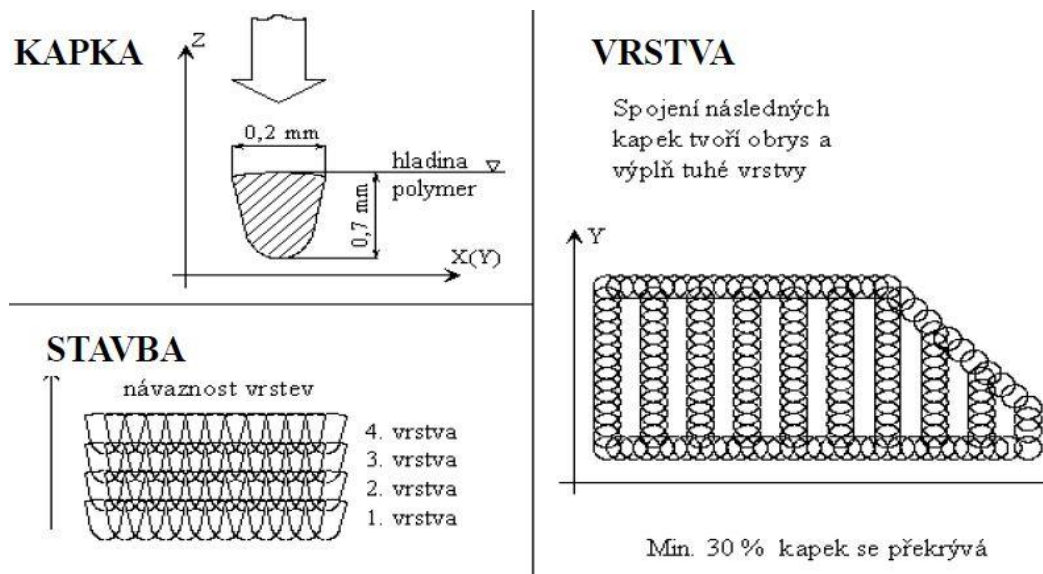


Obr. 1 Schéma metody SLA [1]

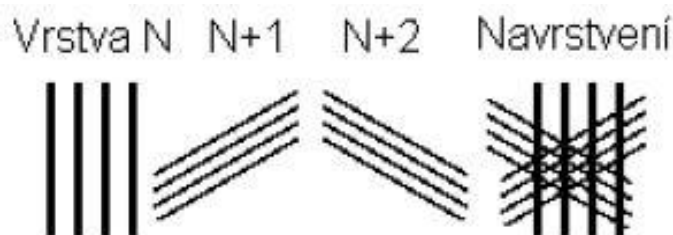
Stereolitografie je jedna z nejrozšířenějších metod rapid prototypingu. Poprvé byla představena v roce 1988 firmou 3D Systems, Inc., jejímž zakladatelem byl vynálezce Charles Hull. Metoda využívá laserového paprsku, který je usměrněn přes zrcadlo. Model je ponořen v nádrži s fotopolymerem a postupně stavěn bod po bodu v předem zvolených vrstvách. Po dokončení vrstvy přejede povrch vyrovnávací čepel, aby postavenou vrstvu vyhladil pro další. Následuje posun platformy v ose Z a celý cyklus se opakuje až do konce stavby modelu. Ve většině případů je nutné model umístit do pece s UV lampou na konečné dotvrzení modelu. [3]

Metoda SLA je velmi přesná a dají se dle ní vytvářet modely v přesnosti ($\pm 0,05\text{mm}$). Po konečném dotvrzení modelu v peci mají také dobré materiálové vlastnosti. Dosahují také dobré povrchové drsnosti s možností stavět velké stavební objemy.

K hlavním nevýhodám patří nutnost velké vany se stavebním materiálem, čímž vzrůstají náklady. Nemožnost stavby uzavřených objemů z důvodu, že uvnitř zůstane nevytvrzený materiál. Máme možnost stavět pouze z jednoho druhu materiálu včetně podpůrných konstrukcí, které následně musíme od modelu odstranit. Na modelu je viditelné krokování tvořících vrstev, které se nanášejí dle principu na obr. 2 a 3. Metoda je citlivá na nastavení délky ozařovaných bodů, kde musí být každý bod ozářen tak, aby se spojily i s předchozí vrstvou. Proniknutí by mělo být min. 30%, jak je uvedeno na obr. 2. Pokud je vytvrzení nedostatečné, dochází k nedostatečnému spojení jednotlivých bodů a hrozí de-laminace modelu. Při nadměrném ozáření může dojít ke zdeformování modelu. Aby nedošlo ke zdeformování modelu, jsou nanášeny vrstvy přes sebe nejčastěji pod 60° dle obr. 3. [2]

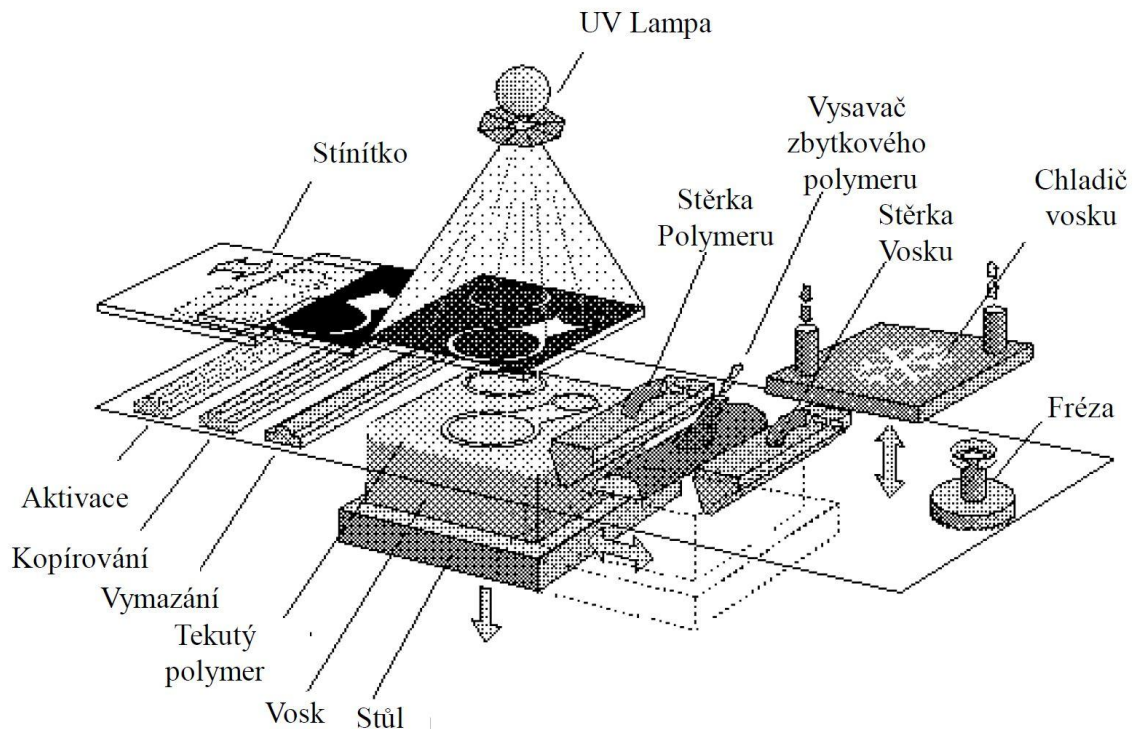


Obr. 2 Princip tvorby vrstev bod po bodu [2]



Obr. 3 Princip tvorby vrstev pomocí šrafů [2]

1.1.2 SGC - Solid Ground Curing

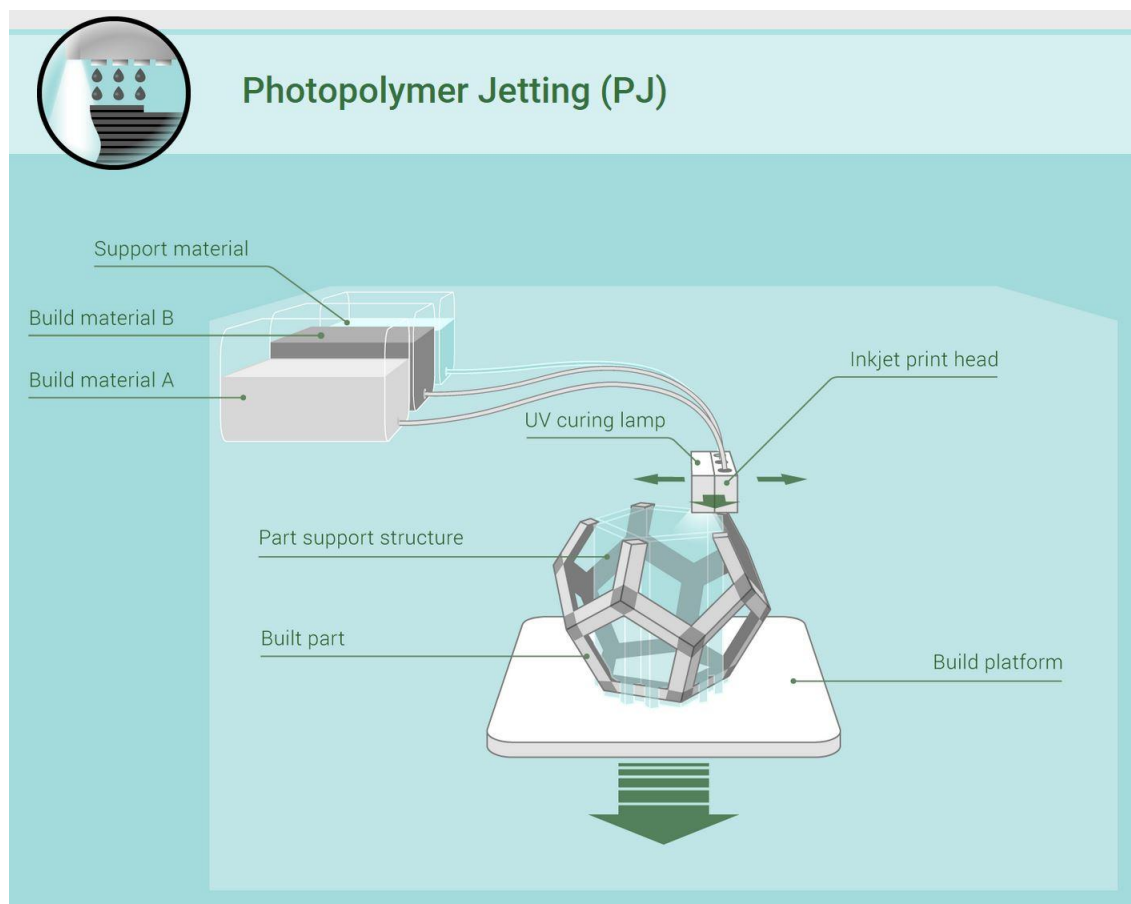


Obr. 4 Schéma metody - SGC [2]

Metoda Solid Ground Curing byla vyvinuta a uvedena na trh firmou Cubital Ltd. z Izraele v roce 1986. Dnes je díky své složitosti a odpovídající vyšší nákladovosti na technologii nahrazována jinými metodami rapid prototypingu.

K vytvrzování modelu dochází působením UV lampy, která působí přes předem připravené stínítko na model. Každá vrstva musí mít vyrobené své vlastní stínítko. Průřez každé vrstvy se vypočítává na základě CAD modelu součásti o požadované tloušťce a následně je z něho vyrobeno patřičné stínítko. Tenká vrstva kapalného fotopolymeru je rozetřena stěrkou, na které se přes dané stínítko nechá působit UV lampa. Zbylá tekutina se z modelu odstraní pomocí aerodynamického vysavače fotopolymeru. Následuje nanesení roztaveného vosku a vyplnění dutin v modelu. Vrstva vosku se nechá ztuhnout za pomoci studené desky. Povrchová vrstva je oříznuta na požadovanou tloušťku za pomoci frézovací hlavy. Následuje nanesení další vrstvy a celý cyklus se opakuje znovu až do poslední vrstvy modelu. Metoda dosahuje vysoké přesnosti tisku v ose Z díky tomu, že je model po celou dobu fixován ve vosku, kde není zapotřebí podpůrných konstrukcí pro model. Při produkci vzniká velké procento odpadního materiálu. [4]

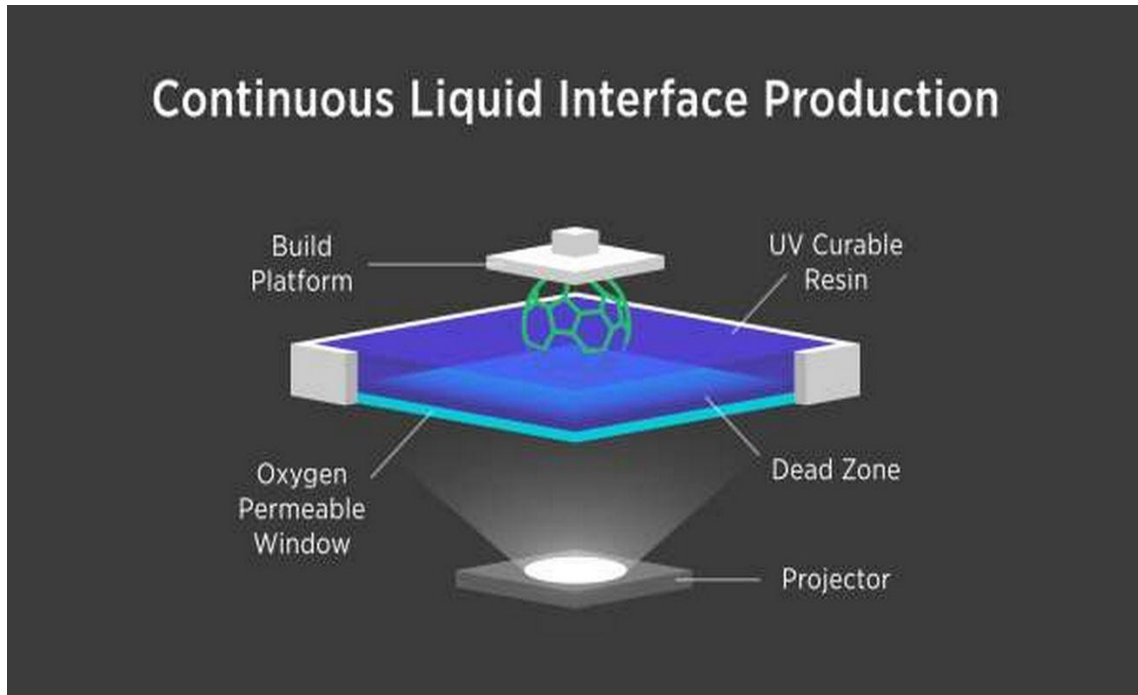
1.1.3 PJ - Jetted photopolymer



Obr. 5 Schéma metody - PJ [5]

Princip této metody je velice podobný jako princip inkoustové tiskárny, kde je inkoust vytlačován tryskami na papír. Zde se pohybuje tisková hlava v ose X a Y. V ose Z se pohybuje platforma se stavěným modelem. S tryskami se pohybuje zároveň i zdroj UV světla, který vytvrzuje fotopolymer hned po nanesení na stavěný model. Model lze stavět i z více materiálů, kde lze využít jejich různých vlastností. Tvrdost, pevnost a třeba i barevné provedení. Pro podpurné konstrukce je použit speciální materiál, který je snadno odstranitelný rozpuštěním. Modely mohou být postaveny i z průhledných materiálů. Metoda je velice produktivní a modely vyrobené touto metodou dosahují vysoké přesnosti $\pm 0,025$ mm s minimální tloušťkou stavěné vrstvy 0,016 mm. [5]

1.1.4 CLIP - Continuous Liquid Interface Production

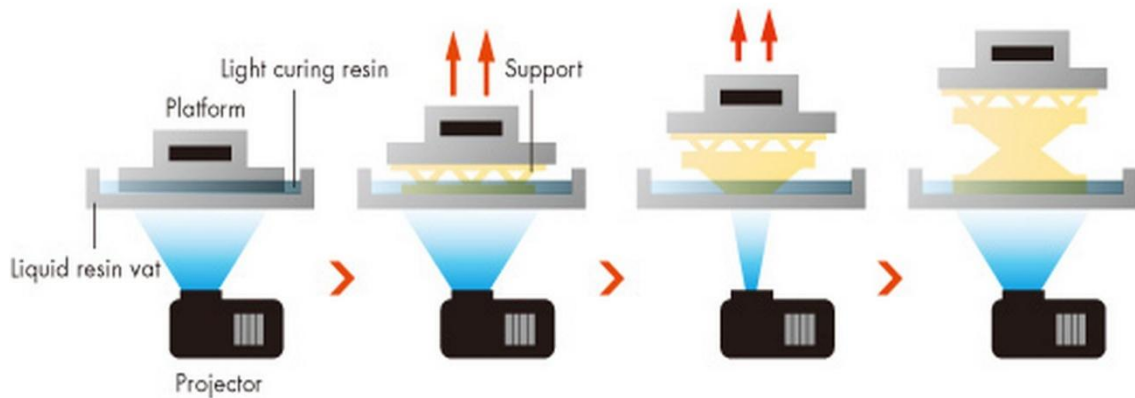


Obr. 6 Schéma metody - CLIP [6]

Jedná se o jednu z nejmladších technologií rapid prototyping, která ke stavbě používá fotopolymery. Touto technologií by mělo jít dosáhnout daleko vyšších stavebních rychlostí modelů při zachování velké přesnosti a dobré kvality povrchu. Metoda CLIP byla představena výzkumníkem Chapelem Hillem v roce 2015. První tiskárna založená na metodě CLIP by měla být vyrobena pod hlavičkou firmy Carbon 3D, Inc. do konce roku 2015.

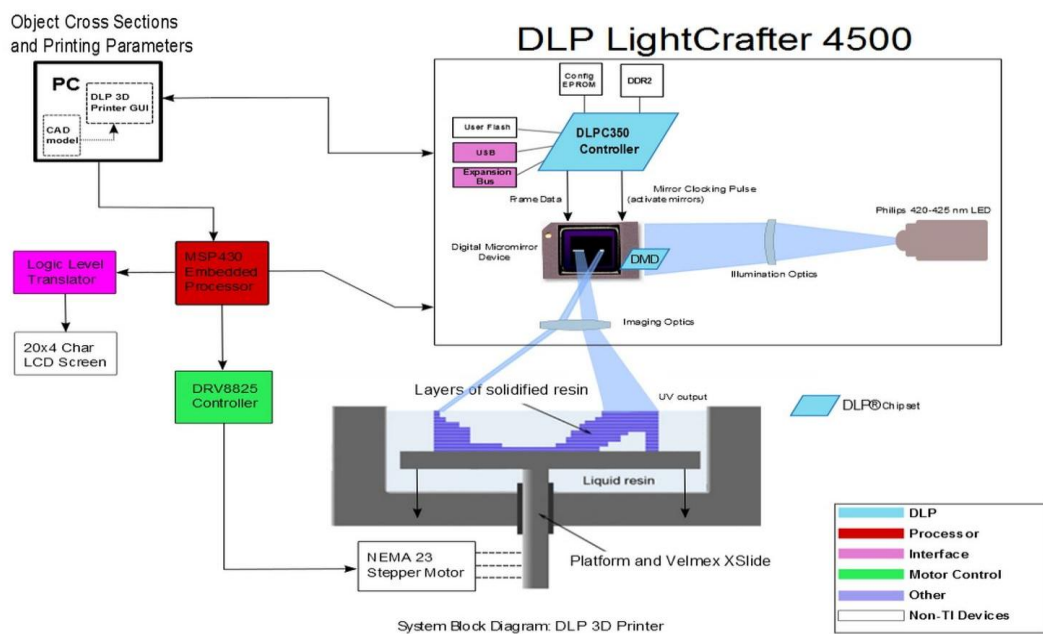
Stavební proces spočívá v promítání obrazů z projektoru na stavěný model v tenkých vrstvách. Současně s promítáním obrazů se zvedá stavební platforma modelu, proto nedochází k časové prodlevě jako u ostatních technologií. U vytvrzování fotopolymery se obvyklá časová prodleva pohybuje mezi 2-10 sekundami. Hlavním charakteristickým rysem pro metodu CLIP je dno nádoby se stavebním materiálem a s kyslíkovou vrstvou, kde může ultrafialové světlo procházet, ale blokuje proces vytvrzování. Díky tomu nedochází v této vrstvě k fotopolymerizaci modelu a může proces probíhat kontinuálně bez přilepení na dno nádrže. Dosahovaná přesnost modelu je uváděna +/- 0,020 mm. [6]

1.1.5 DLP tisk - Digital Light Processing



Obr. 7 Schéma metody - DLP tisku [7]

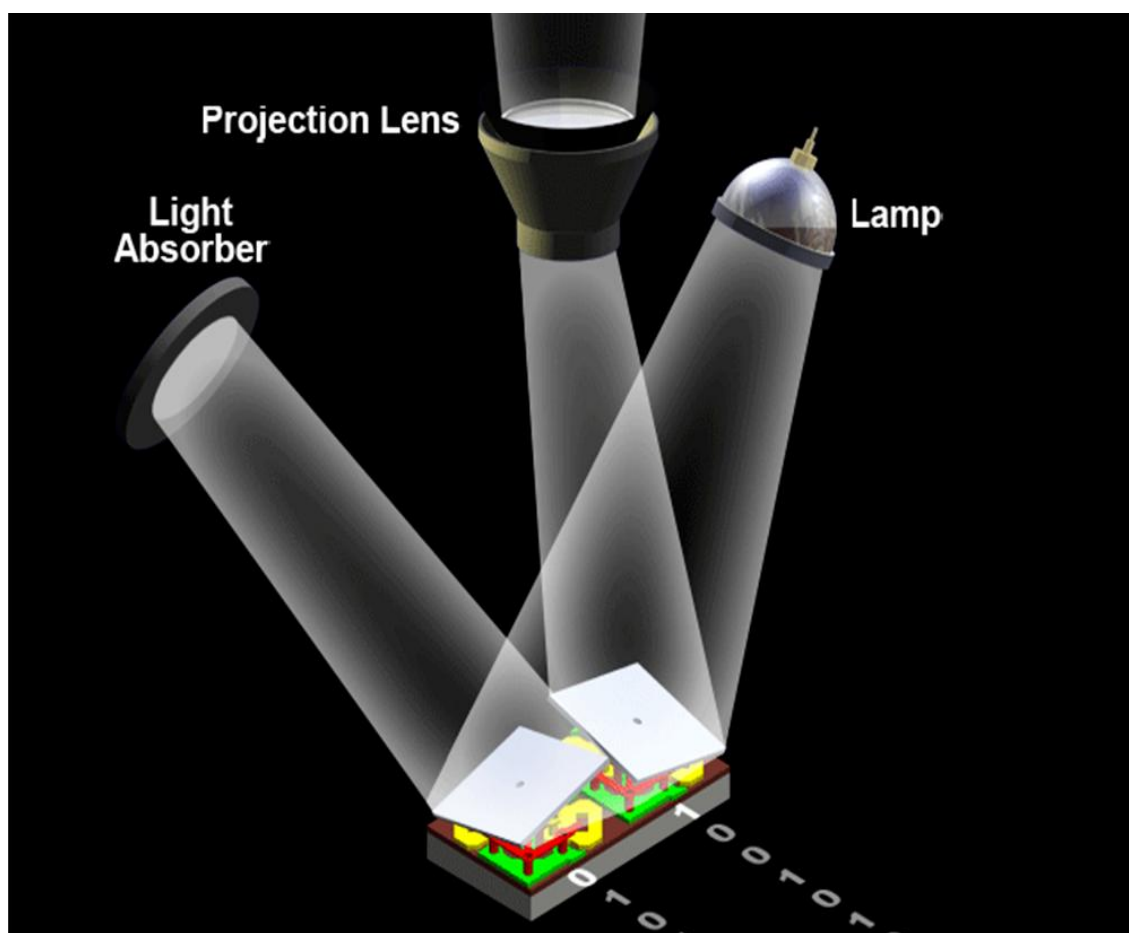
Metoda DLP tisku je založena na podobném principu jako metoda SGC. Vytvrzování modelu pomocí UV lampy. UV lampa je zde nahrazena DLP projektorem s DMD čipem, čímž byl odstraněn problém s výrobou stínítek. Model je zde oproti metodě SGC vytvrzován mezi platformou, popřípadě předchozími vrstvami a dnem nádrže se stavebním fotorpolymerem. Tímto byly odstraněny operace odsátí přebytečného materiálu a zarovnání předchozí vrstvy. Bohužel přibyla nutnost podpůrných konstrukcí a nemožnost stavět model z více stavebních a podpůrných materiálů jako je to možné u metody PJ. Metodou DLP tisku lze dosáhnout dobré detailnosti a přesnosti vyráběného modelu za poměrně nízkých nákladů na tiskárnu a její provoz.



Obr. 8 Blokové schéma metody - DLP tisku [8]

1.1.5.1 DLP projektor

DMD čip dle schématu na obr. 8 je nejdůležitější částí samotného projektoru, který zde vykonává hlavní úlohu zobrazování požadovaného obrazu. Digital Light Processing je zobrazovací zařízení na bázi mikro-elektro-mechanické technologie, která používá k zobrazování DMD (Digital Micromirror Device) čip. Technologie byla vyvinuta v roce 1987 Dr. Larrym Hornbeckem z firmy Texas Instruments, která je v současnosti největším dodavatelem této technologie na světě. Na povrchu DMD čipu jsou umístěny mikrozrcadla, kde každý pixel je jedno extra zrcadlo, které svým naklápěním určuje barvu i jas zobrazovaného pixelu. Pro projektor na stavbu 3D tiskárny na principu DLP není nutné mít projektor s více barvami než bílou. Princip zobrazování na DMD čipu je patrný z obr. 9, kde zdroj světla osvětluje mikrozrcadla. Mikrozrcadla se přepínají mezi polohou svícení do objektivu a polohou, kde dochází k absorbování světla. Jednodušeji řečeno mezi polohou světlo/tma, k přepnutí může dojít až 5000/s.

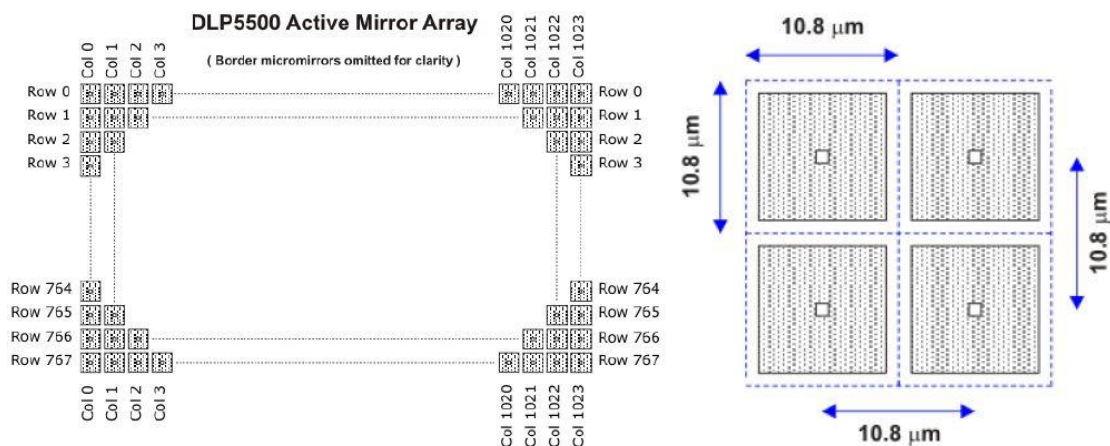


Obr. 9 Princip zobrazování na DMD čipu [8]

Na obr. 10 jsou ukázány vybrané typy DMD čipů používané v DLP projektorech. Tyto čipy jsou vhodné pro použití na technologii 3D tisku. Na obr. 11 je ukázáno uspořádání mikrozrcadel, jak jsou umístěny v DMD čipu s patřičnou charakteristickou roztečí. Rozteč, neboli charakteristická velikost mikrozrcátka může být 7,6 - 10,8 - 13,6 μm .



Obr. 10 DMD čipy [8]



Obr. 11 Uspořádání mikrozrcadel v DMD čipu [8]

1.2 Stavební materiál

Stavebním materiálem pro 3D tisk metodou DLP jsou fotopolymery. UV zářením vytvrzující pryskyřice, které byly vyvinuty v šedesátých letech minulého století. Fotoiniciátory namíchané ve fotopolymeru jsou citlivé na záření s vlnovou délkou od 280 nm až 450 nm. Zde si dále uvedeme hlavní představitele stavebních materiálů používaných v 3D DLP tiskárnách, které mohou být později vyzkoušeny v nově navržené 3D DLP tiskárně.

Fotopolymery můžeme rozdělit na tři základní typy [2]:

- Akryláty: Jedná se o starší materiály s větší smrštitivostí. Modely vyrobené z tohoto materiálu mají menší přesnost.
- Epoxidy: Moderní materiál s menší smrštitivostí a tím lepší přesností vyrobeného modelu.
- Plněné pryskyřice: Vyplňované organickými materiály, keramikou a kovy. Materiál vhodný pro skutečné výrobky. Například kusovou výrobu

1.2.1 Přehledová tabulka stavebních materiálů

Název	Vlastnosti	σ_{tmax} [MPa]	σ_{Do} [MPa]	Prodloužení při přetržení v [%]	Tvrdość (Shore D)	Teplotní odolnosť [°C]
LS600 M	Extrémně odolný fotopolymer, který dosahuje velice dobré kvality povrchu a je odolný proti nárazu s podobnými vlastnostmi termoplastu. [9]	60	-	4,39	85	61
HTM 140M	V barvě zelené, nebo slonová kost. [9]	56	-	-	-	140
ABS Tough M	Extrémně odolný materiál pro 3D tisk velice podobný ABS, vhodný pro automobilový průmysl. [9]	75	125	5,2	-	-

ABS Flex M	Materiál je velmi flexibilní a vlastnostmi velice podobný ABS. Použití pro aplikace, kde se požaduje u součástí určitá pružnost. [9]	65	108	6,6	-	-
Superflex M	Jedná se o velmi flexibilní materiál, kde se vyžaduje určitá míra pružnosti. Materiál vhodný pro vysoce kvalitní prototypy. [9]	53,8	90	6,8	-	-
3D Ink UV Acrylic based Resin	Materiál je vhodný při tloušťce vrstvy 100 μm , kde vytvrzuje za dvě až čtyři vteřiny. [11]	60 - 120	-	-	70 - 75	-
Industrial blend (černý)	Model vyrobený z tohoto materiálu je velmi pevný a odolává vysokým i nízkým teplotám. [12]	-	-	-	75	- 45 až 225
PlasCLEAR	Jedná se o fotopolymer, který je po vytvrzení transparentní. Mechanické vlastnosti materiálu se blíží ABS, použití na mechanické sestavy a koncepční modely. [13]	52,6	87,3	-	79	-
PlasWHITE	Fotopolymer vhodný pro modely s vysokými detaily, které vyžadují jako dokončovací operaci lakování. Vhodný pro výrobu master modelů a mechanických sestav. [13]	51,1	86,8	-	82	-

PlasGRAY	Fotopolymer je v šedivé barvě a jeho mechanické vlastnosti se blíží ABS. Vhodný zejména na mechanické sestavy. [13]	51,1	86,8	--	82	-
PlasPINK	Fotopolymer vhodný pro modely s vysokými detaily a požadavkem na dobrou jakost povrchu. Vhodné na mechanické sestavy, přípravky a master modely. [13]	51,1	86,8	-	82	84
DC100	Fotopolymer speciálně vyvinut pro odlévání modelů šperků. Modely s vysokým rozlišením a velkou přesností s hladkým povrchem, který již nevyžaduje žádné ruční dokončování. [14]	-	18,6	-	74	-
DC300	Fotopolymerní materiál určený pro master modely pro výrobu gumových forem a metodu lití na ztracený model. [14]	-	14,2	-	64	-
DC400	Materiál vyvinut speciálně pro master modely určené na výrobu gumových forem. Modely vyrobené s vysokým rozlišením již nevyžadují další dokončovací operace. [14]	-	9,8	-	57	-

Tab. 1: Stavební materiály pro 3D tisk

2. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ A PARAMETRY 3D DLP TISKÁREN

V druhé části práce byla provedena rešerše stávajících řešení a provedení vybraných typů 3D DLP tiskáren. Výběr tiskáren byl proveden tak, aby se parametry vybraných tiskáren co nejvíce blížily k nově navržené tiskárně. Hlavním porovnávacím parametrem byl zvolen stavební prostor 100 x 100 mm a rozlišení v XY a Z.

2.1 Perfactory Micro XL

Vyrábí a dodává firma EnvisionTEC. Vyznačuje se vysokým rozlišením, snadnou údržbou a nízkou cenou. Zdrojem světla je DLP LED technologie od Texas Instruments. Stavební prostor o rozměrech 100 x 75 x 100 mm, přesnost v XY 150 μm . Tloušťka vrstvy od 50 do 100 μm , rychlost stavění je 20 mm/hod. Celkové rozměry tiskárny jsou 280 x 250 x 610 mm při hmotnosti 11 kg. Do této tiskárny se používají materiály LS600 M, HTM140 M, ABS Tough M, E-Denstone M Ivory, E-Denstone Tough, ABS Flex M, Superflex M. [9]



Obr. 12 Perfactory Micro XL [9]

2.2 S50 maxi

3D tiskárna od firmy Rapidshape dosahuje stavební rychlosti až 5 mm za 10 minut při nastaveném rozlišení v ose Z 50 μm . Tiskárna je opatřena silovým snímačem pro zpětnovazební řízení rychlosti. Se stavěným modelem je tak zacházeno velmi šetrně při maximální možné rychlosti stavby modelu. Tiskárna je vhodná pro modely s vysokými nároky na kvalitu povrchu. Například pro filigránové výrobky a velmi přesné master modely do silikonových forem. Tiskárna je běžně využívána k tisku detailních modelů, jako jsou prsteny, brože, náramky a náušnice. Stavební prostor o rozměrech 124 x 70 x 90 mm, přesnost v XY 65 μm . Tloušťka stavěné vrstvy od 25 - 100 μm . Tiskárna je vybavena projektorem s rozlišením 1920 x 1080. Celkové rozměry tiskárny jsou 660 x 590 x 570 mm při hmotnosti 85 kg. Tiskárna je řízena softwarem NetFabb Rapid Shape CAM umožňující opravy, pozicování, duplikaci, booleovské operace včetně vrstvení do jednotlivých vrstev a nastavení parametrů pro jednotlivé pryskyřice. Do tiskárny se používají materiály GP 100, GP 101, CP 200, CP 201, CP 202, MP 300. [10]



Obr. 13 Rapidshape S50 maxi [10]



Obr. 14 Detaily Rapidshape S50 maxi [10]

2.3 ARM - 10

Tiskárna ARM-10 je stolní tiskárna od firmy Roland DG. Jako stavební materiál používá akrylovou pryskyřici, která se po vytvrzení stává semi-transparentní. Po přidání pigmentu je možné modely barvit. Tiskárna je řízena softwarem Roland, ke kterému je dodáván obslužný software monoFab Player AM, který má možnost úprav modelů. Vyplnění mezer v 3D datech, zjednodušení sítí, nebo úpravu vrstev. Lze s ním pracovat na několika modelech současně, aniž by se tím ovlivňovala délka práce samotného tisku modelů. Zdrojem pracovního světla je UV-LED lampa. Stavební prostor o rozměrech 130 x 70 x 70 mm, přesnost v XY 200 μm , rozlišení v ose Z 10 μm . Tloušťka stavěné vrstvy od 50 - 100 μm . Rychlost stavění modelů je 10 mm/hod. Celkové rozměry tiskárny jsou 430 x 365 x 450 mm při hmotnosti 17 kg. [7]



Obr. 15 3D tiskárna ARM - 10 [7]



Obr. 16 Ukázky modelů z 3D tiskárny ARM - 10 [7]

2.4 3D DLP PRINTER v 2.0

Jedná se o 3D tiskárnu postavenou na základě promítacího DLP projektoru Acer X1240 s rozlišením 1024 x 768. Rám tiskárny je vyroben na laseru z překližkových desek. Dosahuje velikosti stavebního prostoru o rozměrech 120 x 75 x 75 mm, přesnost v XY 100 μ m, výška stavěné vrstvy v ose Z je 100 μ m. Tiskárna je řízena softwarem Flashpoint, který odpovídá standardu pro řízení 3D tiskárny a má možnost úprav modelů jako je vyplnění mezer v 3D datech, zjednodušení sítí, nebo úpravu vrstev. Tiskárnu svou koncepcí a samotným provedením můžeme spíše zařadit mezi hobby stroje s cílem co nejnižších pořizovacích nákladů. Na obr. 18 si můžeme postupně všimnout umístění DLP projektoru s promítací optikou směrem dolů, kde se nachází prázdná transparentní nádoba na fotopolymer. V nádobě je v nulové pozici stavební hliníková platforma pro model. Prostor s nádobou na fotopolymer je zakrytován UV nepropustnými dvířky. Do tiskárny se používá materiál 3D Ink UV Acrylic based Resin. [11]



Obr. 17 3D DLP PRINTER v 2.0 [11]



Obr. 18 Konstrukční řešení 3D DLP P. v 2.0 [11]

2.5 DWARF

DLP tiskárna Dwarf je vhodná zvláště pro výrobu přesných modelů. Jsou to šperky, zubní protézy a jiné modely s požadavkem na vysokou přesnost výroby. Stavební prostor dosahuje rozměrů 110 x 150 x 210 mm. Přesnost v XY 100 μm , přesnost v ose Z 15 μm . Standardní tloušťka tisknuté vrstvy je 25 - 50 μm . Doba osvitů jedné tisknuté vrstvy se běžně pohybuje mezi 2 - 6 sekundami. Tiskárna může být ovládána přes velký dotykový displej nebo pomocí mobilního telefonu. Další možnost ovládání je přes webové prohlížeče. Tiskárna je schopna práce bez napojení k počítači. Kryt tiskárny plní funkci nejenom estetickou, ale i funkční. Zabraňuje vnějšímu světlu pronikat do vnitř a naopak. Celkové rozměry tiskárny jsou 345 x 350 x 480 mm při hmotnosti 15 kg. Doporučené stavební materiály pro DWARF Industrial blend (černý), Industrial blend (červený), Standard blend (černý), Standard blend (červený), Castable blend (červený). [12]



Obr. 19 Tiskárna 3D DWARF [12]



Obr. 20 Detail 3D DWARF [12]

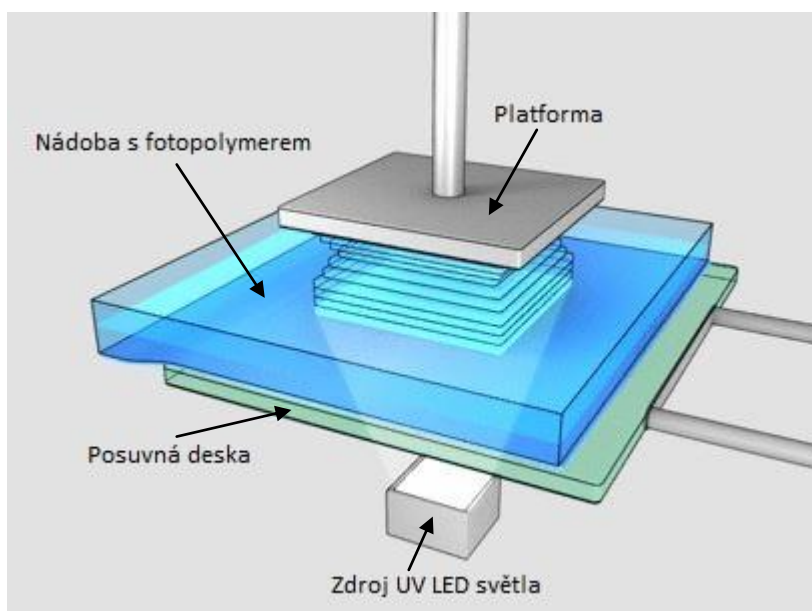
2.6 The Freeform PRO 75

Profesionální 3D tiskárna od firmy Asiga nabízí vysoké rozlišení a velkou rychlost stavby modelů. Pro vytvrzování modelu je použito UV LED zdroje světla ve vysokém rozlišení. Pro oddělování vrstev modelu je zabudována technologie dle obr. 22. Průběh stavby je následovný: platforma s modelem ponořeným ve fotopolymeru zastaví na požadované hodnotě tloušťku vrstvy. Následně pod nádobu s fotopolymerem, která má pružné dno zajede posuvná deska a tím přizvedne dno nádrže do pracovní polohy. Dojde k rozsvícení zdroje UV LED světla a po vytvrzení dané vrstvy se posuvná deska vysouvá ven. Platforma se nadzvedne a celý cyklus se opakuje až do poslední vrstvy modelu. Tiskárna je vybavena automatickým doplňováním stavebního fotopolymeru, čímž je zajištěn dlouhodobý bezobslužný provoz.

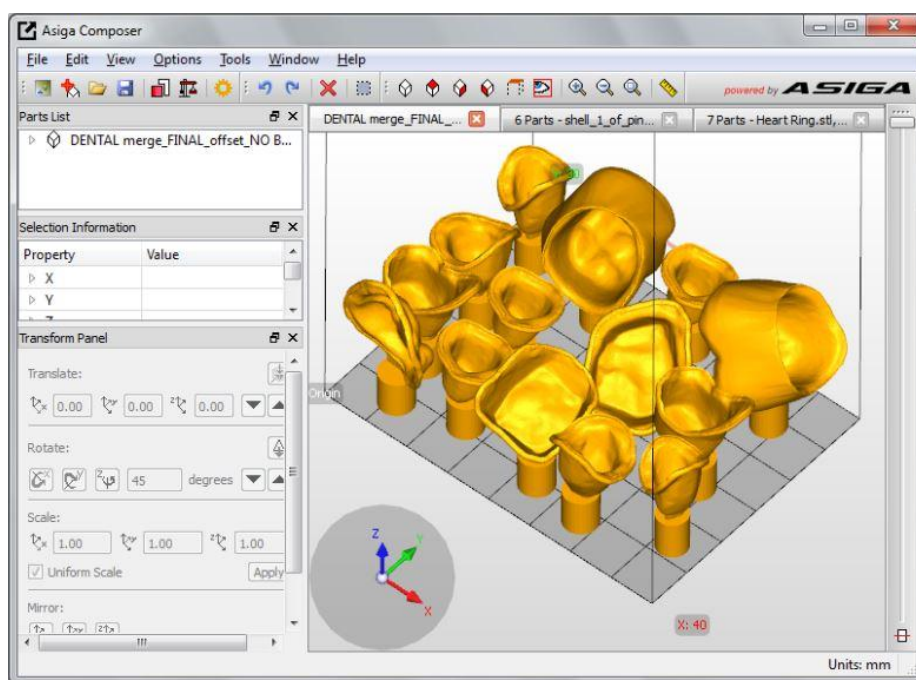


Obr. 21 The Freeform PRO [13]

Tiskárna je řízena softwarem Asiga Composer, ve kterém jsou modely rozmístěny do pracovního prostoru. Dle obr. 23. Díky ní je možné vytvořit podpůrné konstrukce, korekce 3D dat nebo provést volbu vrstev atd. Stavební prostor dosahuje rozměrů 144 x 81 x 200 mm. Přesnost v XY 75 μm , přesnost tisknuté vrstvy v ose Z 10 μm . Tloušťka stavěné vrstvy od 25 - 100 μm . Celkové rozměry tiskárny jsou 450 x 490 x 800 mm při hmotnosti 34 kg. Stavební materiály používané v tiskárně jsou PlasCLEAR, PlasWHITE, PlasGRAY, PlasPINK. [13]



Obr. 22 Metoda oddělování vrstev [13]



Obr. 23 Asiga Composer [13]

2.7 DIGITAL WAX 009J

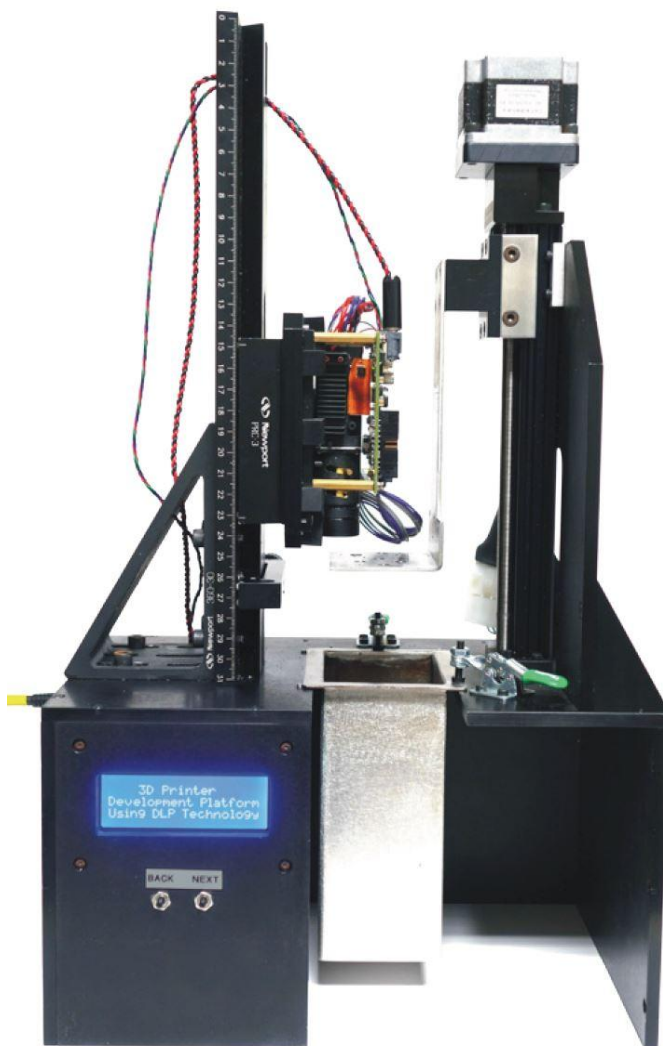
Patří mezi menší stolní 3D tiskárny s minimem investičních a provozních nákladů na tisk. Zdrojem pracovního UV LED světla je DLP projektor od firmy Texas Instruments Inc. Tiskárna disponuje pracovním prostorem o velikosti 50 x 37 x 100 mm. Tloušťka tisknuté vrstvy se může pohybovat 10 - 100 μm . Celkové rozměry tiskárny jsou 315 x 335 x 630 mm při hmotnosti 15 kg. Stavební materiály používané v tiskárně jsou DC100, DC300, DC400, DC500, DC550, DC600, DC700. [14]



Obr. 24 DIGITAL WAX 009J [14]

2.8 Stereolithography 3-D printer development platform

Jedná se o vývojovou 3D tiskárnu od firmy Texas Instruments, kde si zákazník může navolit vhodný EVM (Evaluation module) podle nároků na přesnost a požadovanou rychlost stavby modelů. Výběr je možný celkem ze sedmi variant DMD čipů dle obr. 26. Zákazník ovlivňuje rozlišení projektoru a samotnou přesnost tisku. Tiskárna disponuje pracovním prostorem o velikosti 83 x 52 x 120 mm, při které dosahuje přesnosti tisku v XY v rozmezí 75 - 35 μm . Tloušťka tisknuté vrstvy se může pohybovat v rozmezí 10 - 100 μm . Celkové rozměry tiskárny jsou 290 x 210 x 475 mm. S volbou čipů je volena i velikost mikrozrcadel a to buď 7, 10, 13 μm . Tiskárna je řízena vlastním softwarem od firmy Texas Instruments. Dosahuje vysokých rychlostí stavby modelů při zachování velice kvalitních parametrů výsledného modelu. Tiskárna splňuje veškeré požadavky kladené na vytisknuté dílce a je schopna plnit rozmanité úkoly z oblasti Rapid Prototypingu. [16]



Obr. 25 Tiskárna Texas Instruments [16]

DLP chipsets for 3-D printing													
DMD Number	Micromirror Array	Array Diagonal	Controller	Micromirror Driver	Max Pattern Rate	Optimized Wavelengths	Pixel Pitch	Pixel Orientation	EVM	DMD Package Dimensions (lwxhx)	DMD 100u Price (\$ U.S.)	Controller 100u Price (\$U.S.)	PMIC 100u Price (\$U.S.)
DLP3000	608 x 684	0.30"	DLPC300	—	4,000 Hz (binary)	420-700 nm	7.6 μ m	Diamond	LightCrafter	16.6 x 7 x 3.54 mm	95	16	—
DLP4500	912 x 1140	0.45"	DLPC350	—	4,225 Hz (binary)	420-700 nm	7.6 μ m	Diamond	LightCrafter 4500	20.7 x 9.1 x 3.33 mm	143	56	—
DLP6500FYE	1920 x 1080	0.65"	DLPC900	—	9,500 Hz (binary)	420-700 nm	7.6 μ m	Orthogonal	DLP Light-Crafter 6500	32 x 32 mm	588	160	—
DLP6500FLQ	1920 x 1080	0.65"	DLPC900	—	9,500 Hz (binary)	400-700 nm	7.6 μ m	Orthogonal	DLP Light-Crafter 6500	32 x 41 mm	1,137	160	—
DLP7000	1024 x 768	0.7"	DLPC410	DLPA200	32,552 Hz (binary)	420-700 nm	13.6 μ m	Orthogonal	Discovery™ 4100	40.64 x 31.75 x 6.01 mm	787	193	12.36
DLP9000	2560 x 1600	0.9"	DLPC900	—	9,500 Hz (binary)	400-700 nm	7.6 μ m	Orthogonal	DLP Light-Crafter 9000	42.2 x 42.2 x 7 mm	2,783	160	—
DLP9500	1920 x 1080	0.95"	DLPC410	DLPA200	23,148 Hz (binary)	400-700 nm	10.8 μ m	Orthogonal	Discovery 4100	42.16 x 42.16 x 7.03 mm	2,446	193	12.36

Obr. 26 Čipy pro tiskárnu Texas I [16]

2.9 Souhrnná tabulka parametrů 3D tiskáren

V tabulce 2 bylo provedeno shrnutí parametrů vybraných 3D tiskáren. Následně jednoduše provedeme porovnání jednotlivých typů. Z uvedených hodnot pracovního prostoru, tloušťky tisknuté vrstvy, přesnosti v XY a přibližné ceny. Můžeme nyní pro nově navrženou tiskárnu zadat minimální konkurence schopné parametry, které by nově navržená tiskárna měla být schopna splnit.

Tiskárny	Rozměry pracovního prostoru [mm]	Tloušťka tisknuté vrstvy [μ m]	Přesnost v XY [μ m]	Přibližná cena zařízení [Kč] včetně DPH
Perfactory Micro XL	100 x 75 x 100	50 - 100	150	480 000,-
S50 maxi	124 x 70 x 90	25 - 100	65	1 050 000,-
ARM - 10	130 x 70 x 70	50 - 100	200	168 000,-
3D DLP Printer v2.0	120 x 75 x 75	100	100	39600,- (bez DLP projektoru)
Dwarf	110 x 150 x 210	25 - 50	100	69 900,-
The Freeform Pro 75	144 x 81 x 200	25 - 100	75	598 000,-
DIGITAL WAX 009J	50 x 37 x 100	10 - 100	100	672 000,-
SLA 3-D printer devopolment platform	83 x 52 x 120	10 - 100	75 - 35	Neuvedeno

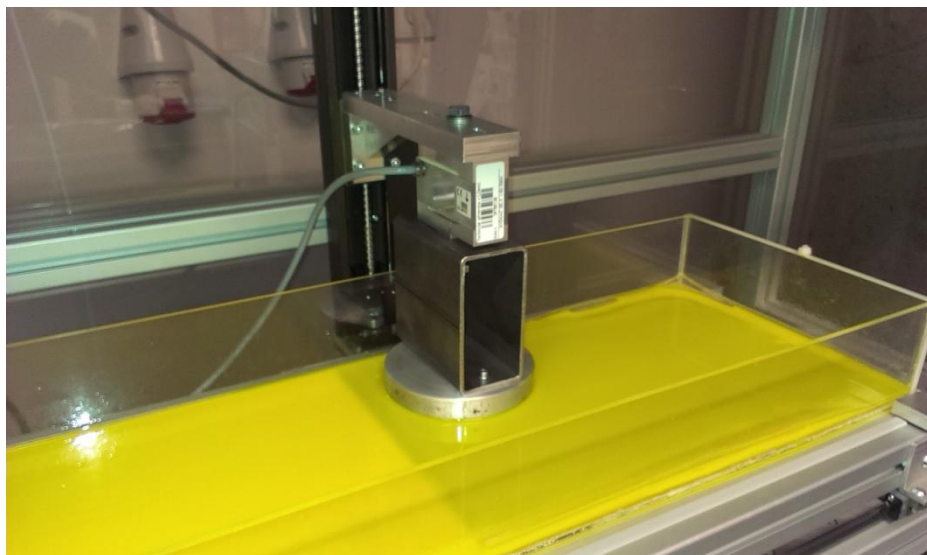
Tab. 2: Tabulka parametrů 3D tiskáren

3. NÁVRH 3D DLP TISKÁRNY

Třetí část práce je zaměřena na návržení nové 3D tiskárny v následujícím pořadí úkonů. Nejdříve bylo nutné ověřit na prototypu vyrobeném na Katedře výrobních systémů a automatizace v Liberci dle diplomové práce Ing. Pavla Macha z roku 2014, jestli lze tisknout modely bez přídavného posuvu nádrže s fotopolymerem. Přídavný posuv nádrže byl v prvním prototypu přidán z důvodu snížení sil na stavěný model a snadnější oddělování vystavěných vrstev modelu. Tím se značně zvýšila složitost a velikost celé tiskárny a zhoršila produktivita samotného tisku. Při testování původního prototypu bylo zjištěno, že posuv není nutný a model je možné vystavět i bez tohoto příčného posuvu, aniž by došlo k poškození modelu i samotné tiskárny. V dalším kroku byla zvolena koncepce a uspořádání 3D tisku. Pro optimální dimenzování vedení a pohonu bylo provedeno měření sil na původním prototypu. Bylo nutné zjistit, jak je soustava při pracovní činnosti zatížena. Následně byl zvolen DLP projektor, který odpovídá zvoleným požadavkům na přesnost a velikost stavebního prostoru. Po výběru dalších nutných subdodávek bylo zpracováno konečné konstrukční řešení celé tiskárny včetně všech funkčních detailů.

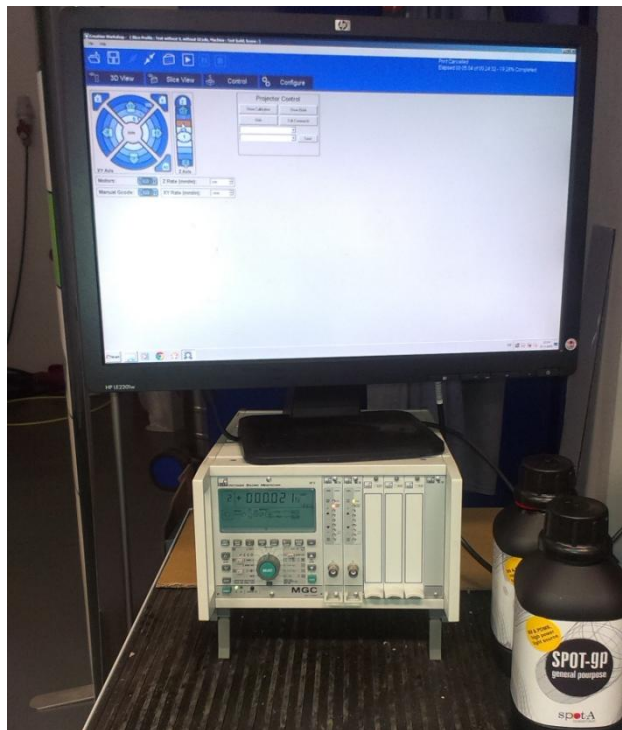
3.1 Měření působících sil při 3D tisku

Pro vhodné návržení pohonné jednotky bylo nutné změřit působící síly během pracovního cyklu. V přípravě na měření a v následném měření bylo postupováno následovně. Na prototyp 3D tiskárny, který je umístěn v laboratořích katedry KVS (KSA) byl umístěn tenzometrický snímač sil v rozsahu ± 200 N dle obr. 27.



Obr. 27 Uchycení tenzometrického snímače sil

K tenzometrickému snímači byla připojena vyhodnocovací jednotka dle obr. 28. Vyhodnocovací jednotka nebyla napojena na PC a odečítání hodnot bylo prováděno přímo na displeji za chodu stroje. Na obr. 29 je vidět celkové uspořádání provizorního měřicího pracoviště, na kterém bylo provedeno měření sil při 3D tisku. Měřená síla byla ve směru osy Z, která je pro uvažovanou koncepci nové tiskárny nejdůležitější.



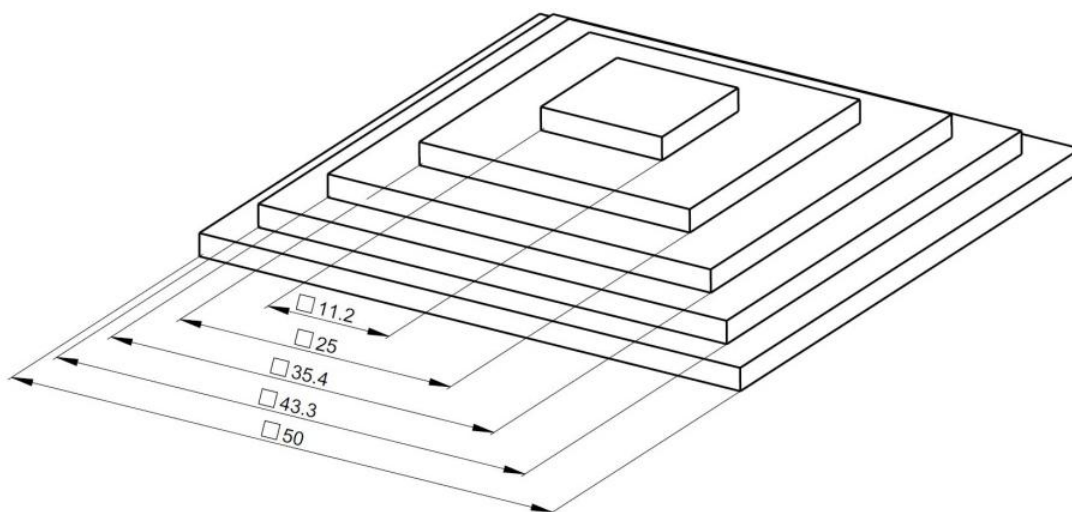
Obr. 28 Vyhodnocovací jednotka pro tenzometrický snímač sil



Obr. 29 Uspořádání měřicího pracoviště

Pro měření byl připraven model ve tvaru pyramidy, dle obr. 30 a pro zjištění maximálních působících sil byl vytvořen model válce o průměru 100 mm. Větší model nebylo možné na současnou platformu o průměru 105 mm umístit. Hodnoty získané při provedených měřeních na modelech jsou shrnuty v tabulce 3 viz. níže. Ve druhém sloupci označeném F_0 [N] jsou uvedeny první tři naměřené hodnoty sil při oddělování stavěného modelu ode dna nádrže při době vytvrzování 10 sekund. Parametry tiskárny při stavbě modelu byly nastaveny na dobu ozařování základních čtyř vrstev na 10 sekund a všechny následující na 7 sekund.

Z výsledných hodnot měření můžeme konstatovat, že největší zatěžující síla na stavební platformu byla při stavbě prvních průřezů. Největší naměřená hodnota síly byla 47 N a bylo jí dosaženo při tloušťce vrstvy 50 μm na modelu pyramidy. Před začátkem měření jsme předpokládali, že největší zatěžující síla bude na modelu válce o průměru 100 mm. Předpoklad se však nepotvrdil a z výsledků je patrné, že zatěžující síla u modelu tvaru válce s plochou 7854 mm^2 a pyramidy s plochou 2500 mm^2 jsou téměř odpovídající. Z tohoto zjištění můžeme učinit závěr, že zatěžující síla prvních tisknutých vrstev není závislá na ploše tisknutého modelu, ale na velikosti stavební platformy, která se dnem nádrže vytvoří přísavku. Tento předpoklad nám potvrzuje síla při tisknuté tloušťce vrstvy 100 μm , která odpovídá síle při tloušťce vrstvy 25 μm po vytištění čtvrté vrstvy modelu. Pro návrh a dimenzování pohonu budeme dále počítat s maximální hodnotou zatěžující síly na stavební platformu zvětšenou o bezpečnost.



Obr. 30 Měřený model pyramidy

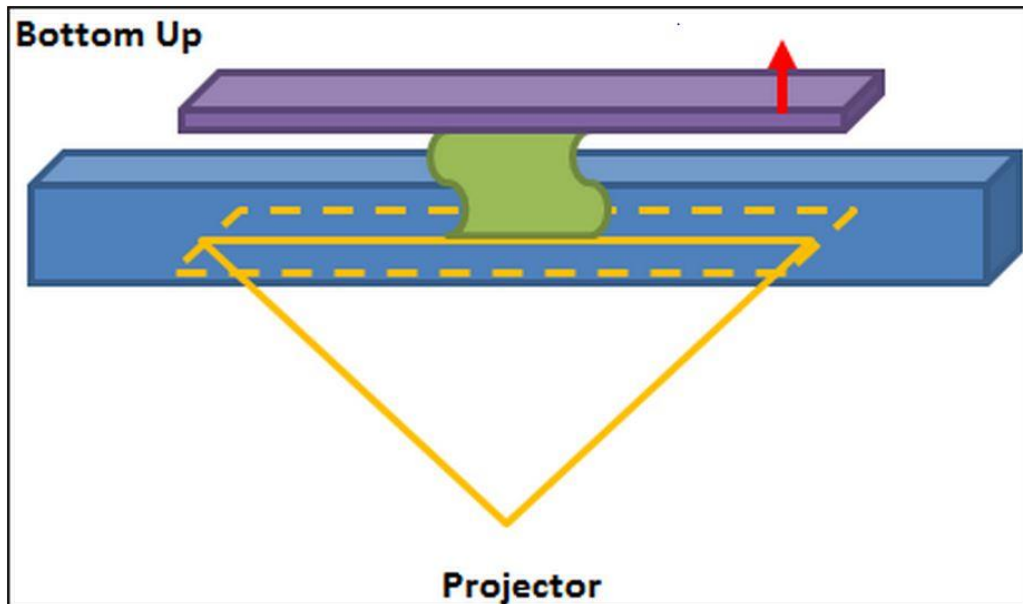
Tloušťka tisk. vrstvy [μm]	100% 50 x 50 = 2500 mm ² F ₀ [N]	100% 50 x 50 = 2500 mm ² [N]	75% 43,3 x 43,3 = 1875 mm ² [N]	50% 35,4 x 35,4 = 1250 mm ² [N]	25% 25 x 25 = 625 mm ² [N]	5% 11,2 x 11,2 = 125 mm ² [N]
25	44	36	34	26	20	4
	45	35	32	25	20	4
	42	35	34	26	17	3
50	47	38	27	23	17	4
	45	36	26	22	16	4
	46	36	27	22	16	3
100	37	36	24	19	12	3
	35	34	23	18	11	2
	36	34	23	19	10	2
	Síla v ose Z pro válec o průměru 100 mm = 7854 mm ²					
	F ₀ [N]			[N]		
50	46			41		
	44			41		
	44			40		

Tab. 3 Výsledky měření sil

3.2 Volba koncepce 3D tiskárny

Pro nově navrhovanou konstrukci 3D tiskárny máme dvě základní možnosti, jak zvolit technologii výroby modelu. První možnost výroby je zobrazena na schématu obr. 31, kde model vytahujeme z nádrže s fotopolymerem a druhou možností, kde se model posouvá pod hladinu fotopolymeru dle obr. 32.

3.2.1 Koncepce s projektorem pod nádrží



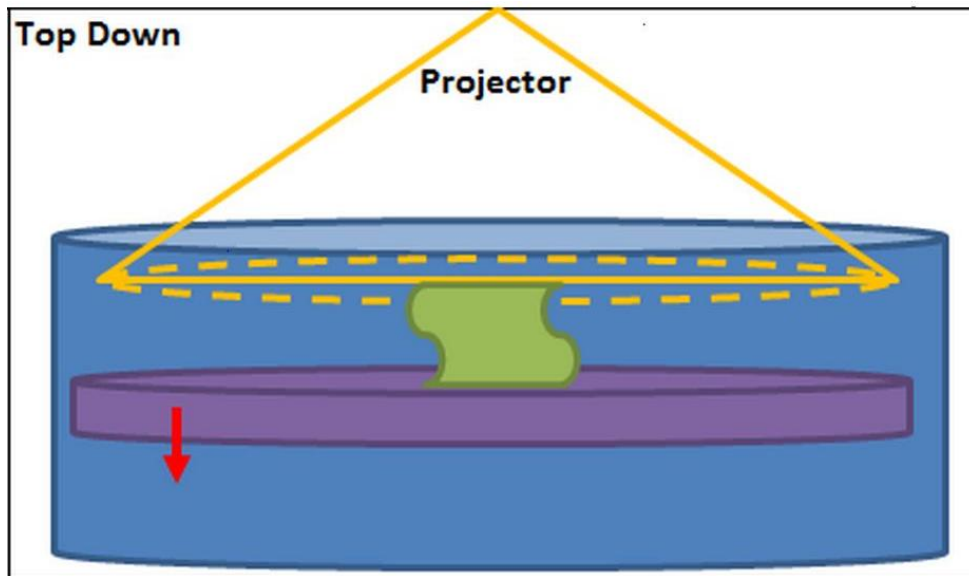
Obr. 31 Koncepce s projektorem pod nádrží [15]

U tohoto uspořádání 3D tisku, kde model vytahujeme z nádrže s fotopolymerem, dochází k vytvrzování mezi platformou a dnem nádrže a poté mezi vystavěnými vrstvami samotného modelu.

- Výhody:
- mezi hlavní výhody tohoto uspořádání patří, že není zapotřebí velké nádrže plné fotopolymeru
 - při pohybu modelu nedochází ke kolísání hladiny, jako u druhého uspořádání s projektorem nad nádrží
 - mezi dnem nádrže a vystavěným modelem lze udržet přesně nastavenou hodnotu, čímž je zaručena větší přesnost

- Nevýhody:
- Při této koncepci dochází k přisátí stavěné vrstvy ke dnu nádrže a s tím jsou spojené vyšší pracovní síly pro oddělení vrstev ode dna
 - Při poruše těsnosti nádrže může snadno dojít ke zničení projektoru

3.2.2 Koncepce s projektorem nad nádrží



Obr. 32 Koncepce s projektorem nad nádrží [15]

U této koncepce tisku dochází k postupnému potápění modelu pod hladinu fotopolymeru. K vytvrzování dochází na hladině fotopolymeru, kdy se vytvrzovaná vrstva spojí s předchozí o předem nastavený přírůstek v ose Z. Koncepce tisku je velice podobná jako u metody SGC.

Výhody:

- nedochází k žádnému přisátí stavěné vrstvy, jako v případě koncepce s projektorem pod nádrží
- menší pracovní síly při posuvu s modelem

Nevýhody:

- jako hlavní nevýhoda tohoto uspořádání je nutnost dostatečně velké nádrže s fotopolymerem, aby se mohl celý model potopit
- dochází ke změně výšky hladiny díky potápění držáku stavební platformy
- nemožnost výroby dutého dílce, ve kterém by mohl zůstat nevytvrzený fotopolymer

3.2.3 Výběr koncepce 3D tiskárny

Pro konstrukci nové tiskárny volíme koncepci s projektorem pod nádrží. S touto koncepcí bychom měli dosahovat větší přesnosti tisknuté vrstvy v ose Z. Další výhodou je menší velikost nádrže s fotopolymerem. Nalítí pouze takového množství, které stačí na vytištění modelu s přidáním nutné rezervy. Průmyslově vyráběné 3D tiskárny uvedené v předešlé části práce jsou v poměru 3 : 1 pro variantu s projektorem pod nádrží. Tato varianta má největší nevýhodu v přísátí ke dnu nádrže po vytvrzení stavěné vrstvy. Po provedených zkouškách na prototypu 3D DLP tiskárny v laboratoři KVS (KSA) bylo zjištěno, že model jsme schopni vystavět i bez dalšího opatření na oddělování ode dna nádrže. Jako například přidáním příčného posuvu s nádrží nebo stavěným modelem. V úvahu přichází řešení v tiskárně The Freeform PRO 75 v podkapitole 2.6.

3.3 Parametry pro volbu projektoru

Pro vhodnou volbu projektoru musíme nejdříve stanovit požadovaná kritéria, která musí co nejlépe splňovat. Prvním základním požadavkem je vysoké rozlišení projektoru, které bude rozhodovat o konečné přesnosti tisknutého modelu. Druhým základním požadavkem je vysoký obsah záření s vlnovou délkou v rozsahu 280 až 450 nm ve vyzařovaném spektru. Neboť fotoiniciátory namíchané ve fotopolymeru jsou citlivé na záření s touto vlnovou délkou. Bez tohoto záření by proces vytvrzování vůbec nezačal.

Do výběru bylo zahrnuto celkem šest typů projektorů, ze kterých byl následně vybrán jeden pro nově navrženou konstrukci 3D DLP tiskárny. V tabulce 4 je provedeno srovnání základních požadovaných parametrů včetně přibližné ceny. Pro použití v 3D DLP tiskárně lze použít i promítací projektor jako v případě tiskárny 3D DLP PRINTER v 2.0 v podkapitole 2.4. Ale je nutno upozornit, že tyto typy projektorů nejsou pro použití v 3D tiskárně navrhované a použití takovýchto zařízení může nést rizika snížení životnosti, popřípadě nesprávné funkčnosti projektoru. Tyto typy projektorů se volí nejčastěji pro hobby využití v domácích 3D DLP tiskárnách.

Typ projektoru	Rozlišení projektoru	Přibližná cena zařízení [Kč] včetně DPH	Vlnová délka [nm]	Rozměr prac. prostoru při 10 000 mm ² [mm x mm]	Velikost bodu při požadovaném prac. prostoru 10 000 mm ² [mm]
DLP LightCrafter 3000 [17]	854 x 480	16 800,-	420 - 700	133,5 x 75	0,16
DLP LightCrafter 4500 [17]	1280 x 800	31 200,-	420 - 700	128 x 80	0,1
DLP LightCrafter 6500 [17]	1920 x 1080	48 000,-	420 - 700	133,5 x 75	0,07
DLP LightCrafter 9000 [17]	2560 x 1600	138 000,-	400 - 700	128 x 80	0,05
Philips PicoPix PPX3614 [18]	854 x 480	12 990,-	-	133,5 x 75	0,16
Benq PU9730 [19]	1920 x 1200	219 990,-	-	128 x 80	0,07

Tab. 4 Parametry DLP projektorů

3.3.1 Volba projektoru

Dle parametrů uvedených v tabulce 4 byl vybrán projektor DLP LightCrafter 4500, který je zobrazen na obr. 33. V nově navržené tiskárně byla snaha dosáhnout optimálních parametrů tisku při odpovídajících nákladech na pořízení. Pro maximální velikost bodu bylo vycházeno z tabulky 2 a bylo zvoleno 100 μm . Promítací projektor Benq PU9730 byl vyřazen z důvodu vysoké pořizovací ceny, kde je pořizovací cena téměř 7x větší a velikost bodu není snížena na takovou hodnotu, aby odpovídala pořizovací ceně. Philips PicoPix PPX3614 a DLP LightCrafter 3000 byly vyřazeny pro nesplnění požadavku na velikost tisknutého bodu. DLP LightCrafter 9000 sice dosahuje nejlepší hodnoty velikosti bodu, ale vzhledem k pořizovací ceně, která je více jak 4x větší, byl vyřazen. DLP LightCrafter 6500 byl vyřazen, ačkoliv odpovídá všem požadavkům a patřičné zvýšení ceny je odpovídající snížení velikosti tisknutého bodu. Pro nově navržený prototyp 3D tiskárny byl DLP LightCrafter 6500 vyhovující, ale z důvodu zvýšených nákladů a větších zástavbových rozměrů byl vyřazen.



Obr. 33 DLP LightCrafter 4500 [17]

3.4 Volba pohonné jednotky

Pro pohyb se stavební platformou, neboli pro pohyb v ose Z byla volena kompletní pohonná jednotka od renomovaného světového výrobce. Jednotka obsahuje kuličkové vedení s kuličkovým šroubem, vybraný krokový motor se zpětnou vazbou a brzdou, včetně přípojovací příruby a spojky. Ve výběru byl předpokládán zdvih pohonné jednotky od 150 mm do 200 mm. Požadována byla vysoká opakovatelná přesnost polohování minimálně $\pm 0,01$ mm. Díky takto vysokému požadavku na přesnost bylo vybíráno z velice přesných kvalitních vedení. Pro kontrolu pohonné jednotky bylo počítáno se zatížením v ose Z, kde jsme vycházeli z naměřených hodnot na stávajícím prototypu, hmotnosti stavební platformy a předpokládané maximální hmotnosti stavěného modelu.

Při výpočtu maximální zatěžující síly v ose Z byla nejdříve vybrána maximální naměřená hodnota síly při měření $F_{Omax} = 47N$ zvětšená o bezpečnost $k = 1,5$. K výsledné hodnotě byla přičtena hmotnost platformy $m_p = 1kg$ a předpokládaná maximální hmotnost modelu $m_m = 1kg$.

Pro kontrolu navrženého kuličkového vedení bylo nutné určit maximální zatěžující moment M_{max} . Do výpočtu byla započítána maximální síla v ose Z, která je v nově navržené konstrukci ve vzdálenosti $l = 75\text{ mm}$ od příruby kuličkového vedení.

Výpočet maximální zatěžující síly při oddělování vrstev:

$$F_{Zmax} = k \cdot F_{Omax} + g \cdot m_p + g \cdot m_m = 1,5 \cdot 47 + 9,81 \cdot 1 + 9,81 \cdot 1 = 90,12\text{ N} \quad (3.1)$$

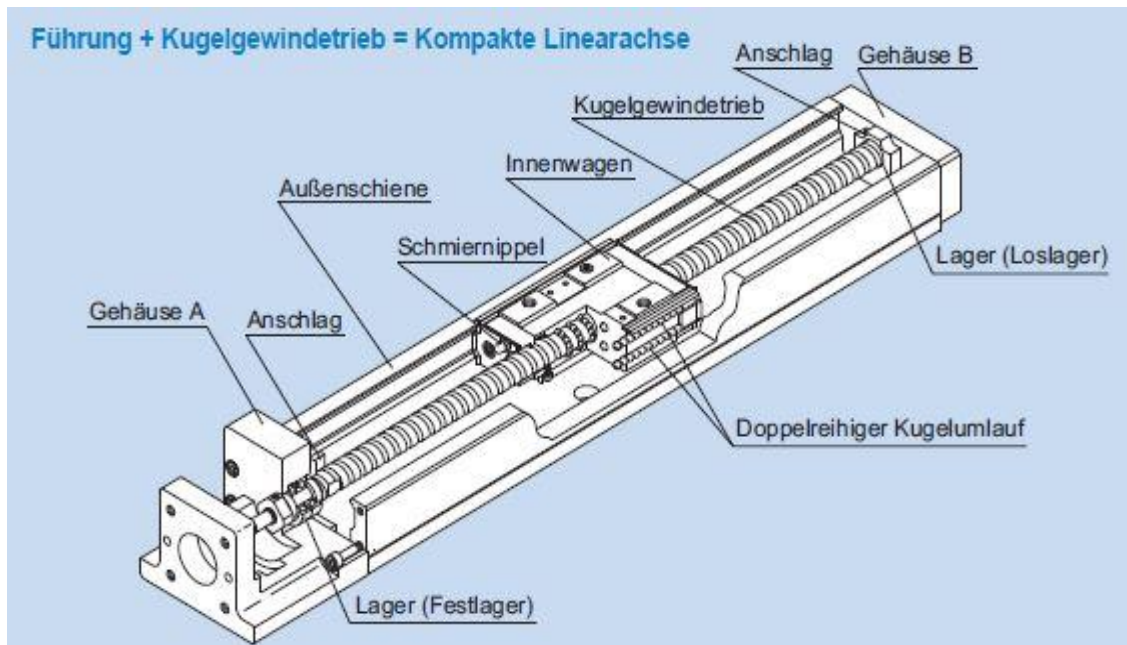
Výpočet maximálního zatěžujícího momentu:

$$M_{max} = F_{Zmax} \cdot l = 90,12 \cdot 0,075 = 6,8\text{ Nm} \quad (3.2)$$

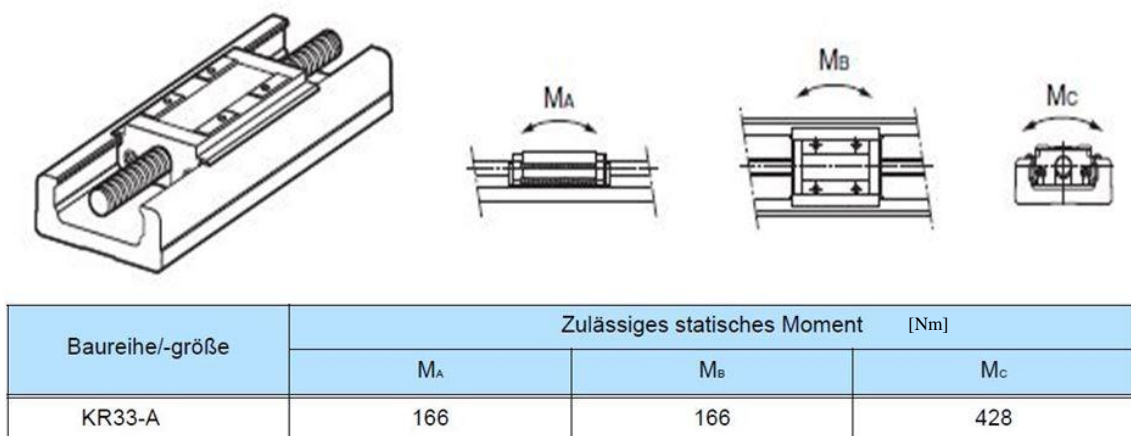
Dle výše uvedených hodnot a požadavků byly do výběru zahrnuty následující lineární jednotky od renomovaných světových výrobců. Po konečném výběru lineární jednotky bylo provedeno navržení krokového motoru a celková kontrola únosnosti a životnosti.

3.4.1 HENNLICH THK KR 3306A

Kompaktní lineární jednotka KR v sobě slučuje dva základní stavební prvky a to je kuličkový šroub a lineární vedení. Podrobněji si lze konstrukci prohlédnout na obr. 34. Montáž takového celku je velmi jednoduchá a šetří čas na celkovou montáž zařízení. Jednotka je osazena kuličkovým šroubem o stoupání 6 mm/ot. Parametr opakovatelné přesnosti lze volit v rozmezí od $\pm 0,003$ mm do $\pm 0,01$ mm.



Obr. 34 Schéma THK KR 3306A [20]



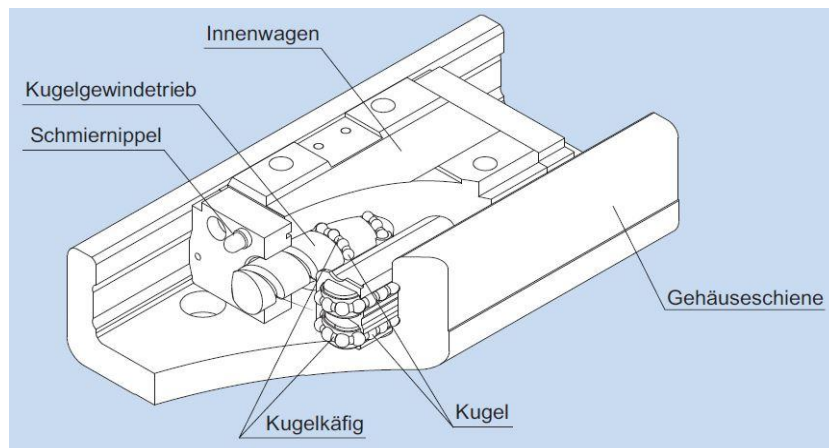
Obr. 35 Parametry momentů THK KR 3306A [20]

Baureihe/-größe			KR33	
			KR3306	KR3310
Linearführung	Dynamische Tragzahl C (N)	Langwagen	11600	
		Kurzwagen	4900	
	Statische Tragzahl C ₀ (N)	Langwagen	20200	
		Kurzwagen	10000	
	Radial spiel (mm)	Normalklasse, Hochgenauigkeitsklasse	-0,004 bis +0,002	
		Präzisionsklasse	-0,012 bis -0,004	
Kugelgewindetrieb	Dynamische Tragzahl C _a (N)	Normalklasse, Hochgenauigkeitsklasse	2840	1760
		Präzisionsklasse	2250	1370
	Statische Tragzahl C _{0a} (N)	Normalklasse, Hochgenauigkeitsklasse	4900	2840
		Präzisionsklasse	2740	1570
	Spindeldurchmesser (mm)		10	
	Steigung (mm)		6	10
	Kerndurchmesser (mm)		7,8	
	Kugelmittkreis (mm)		10,5	
Lager (Festlager)	Axial	Dynamische Tragzahl C _a (N)	1790	
		Zulässige statische Belastung P _{0a} (N)	2590	

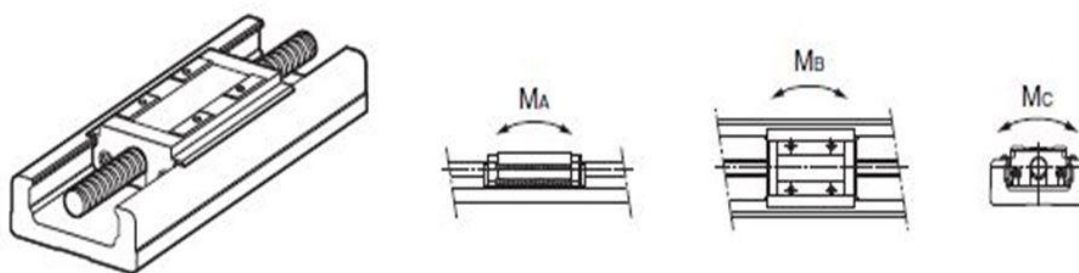
Obr. 36 Parametry THK KR 3306A [20]

3.4.2 HENNLICH THK SKR 3306A

Kompaktní lineární jednotka SKR je vyšší provedení jednotek KR. Dosahuje vyšších hodnot únosnosti ve všech porovnávaných parametrech. Jednotka je osazena kuličkovým šroubem o stoupání 6 mm/ot. Parametr opakovatelné přesnosti lze volit v rozmezí od $\pm 0,003$ mm do $\pm 0,01$ mm.



Obr. 37 Schéma vozíku THK SKR 3306A [21]



Typ	Zulässiges statisches Moment		
	M_A	M_B	M_C
SKR20-A	38	38	98
SKR20-B	207	207	197
SKR26-A	117	117	265
SKR26-B	589	589	53
SKR33-A	173	173	424

Obr. 38 Parametry momentů THK SKR 3306A [21]

Typ		SKR20	SKR26	SKR33					
				SKR3306	SKR3310	SKR3320			
Linearführung	Dynamische Tragzahl C (N)	Langwagen	6010	13000	17000				
		Kurzwagen	—	—	11300				
	Statische Tragzahl C_0 (N)	Langwagen	8030	16500	20400				
		Kurzwagen	—	—	11500				
	Radialspiel (mm)	Normalklasse, Hochgenauigkeitsklasse	-0,004 bis 0	-0,006 bis 0	-0,004 bis 0				
Präzisionsklasse		-0,006 bis -0,004	-0,007 bis -0,006	-0,012 bis -0,004					
Kugelgewindetrieb	Dynamische Tragzahl C_a (N)	Normalklasse, Hochgenauigkeitsklasse	660	860	2350	1950	4400	2700	2620
		Präzisionsklasse	660	1060	2350	2390			
	Statische Tragzahl C_{0a} (N)	Normalklasse, Hochgenauigkeitsklasse	1170	1450	4020	3510	6290	3780	3770
		Präzisionsklasse	1170	1600	4020	3900			
	Spindelaußendurchmesser (mm)		6		8		13		
	Steigung (mm)		1	6	2	6	6	10	20
	Kerndurchmesser (mm)		5,3	5,0	6,6	6,7	10,8		
	Kugelmittlenkreis (mm)		6,15	6,3	8,3	8,4	13,5		
Lager (Festlager)	Axiale Richtung	Dynamische Tragzahl C_a (N)	1150	2000	6250				
		Zulässige statische Belastung P_{0a} (N)	735	1230	2700				

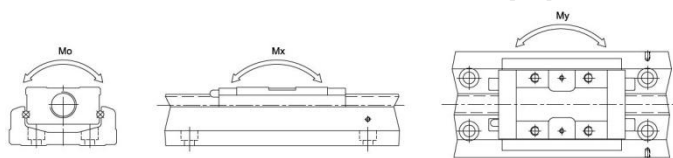
Obr. 39 Parametry THK SKR 3306A [21]

3.4.3 HIWIN KK5002

Lineární moduly KK jsou kompaktní moduly s kuličkovým šroubem a přírubou motoru. Pro různé varianty motoru jsou dodávány příruby v několika provedených velikostech. Provedení kuličkového šroubu lze volit mezi standardní přesností a zvýšenou přesností, čemuž odpovídá rozmezí od $\pm 0,003$ mm do $\pm 0,01$ mm.



Obr. 40 Jednotka HIWIN KK5002 [22]

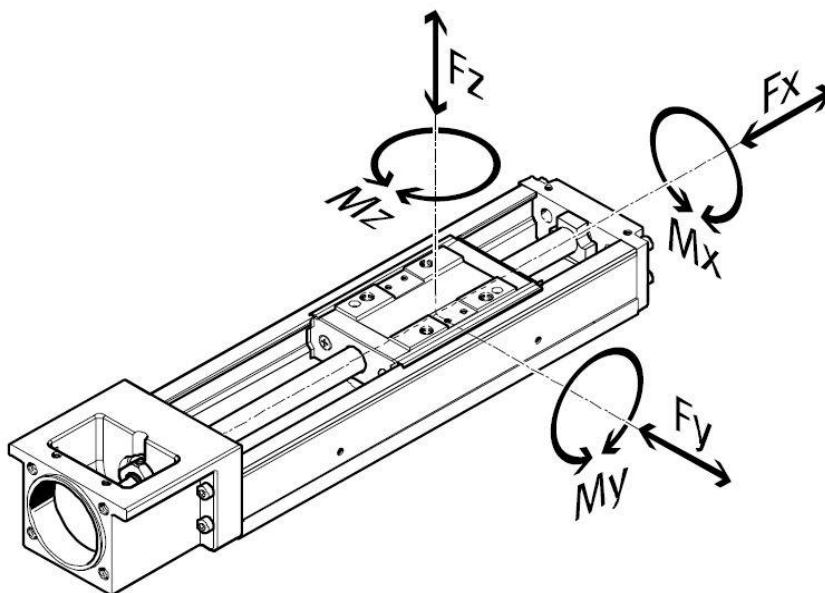


		KK4001	KK5002
		P*	P*
Kuličkový šroub			
Jmenovitý průměr [mm]		8	8
Stoupání [mm]		1	2
Dynamická únosnost [N]		735	2136
Statická únosnost [N]		1538	3489
Lineární vedení			
Dynamická únosnost [N]	standardní vozík A	3920	8007
	krátký vozík S	–	–
Statická únosnost [N]	standardní vozík A	6468	12916
	krátký vozík S	–	–
Dovolený statický moment Mx [Nm]	standardní vozík A1	33	116
	standardní vozík A2	182	278
Dovolený statický moment My [Nm]	krátký vozík S1	–	–
	krátký vozík S2	–	–
Dovolený statický moment Mo [Nm]	standardní vozík A1	81	222
	standardní vozík A2	162	444
Dovolený statický moment Mx [Nm]	krátký vozík S1	–	–
	krátký vozík S2	–	–

Obr. 41 Parametry jednotky HIWIN KK5002 [22]

3.4.4 FESTO EGSK-33-6P

Lineární jednotky řady EGSK se vyznačují vysokou precizností, opakovatelnou přesností, kompaktností a vysokou tuhostí celého celku. Lze volit mezi standardní přesností a zvýšenou přesností, čemuž odpovídá rozmezí od $\pm 0,003$ mm do $\pm 0,01$ mm. Firma FESTO k návrhu jednotek nabízí kompletní příslušenství včetně výpočtového softwaru PositioningDrives.



konstrukce	velikost	pracovní zdvih [mm]	rychlost [m/s]	opakovatelná přesnost [μm]	posuvová síla [N]	vlastnosti vedení síly a momenty				
						Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
elektrické saně EGSK → 8										
	15	25 ... 100	0,33	±3	57	1 185	1 185	13	3,7	3,7
	20	25 ... 125	1,10	±3	133	2 204	2 204	28,7	9,2	9,2
	26	50 ... 200	0,83	±3	184	3 528	3 528	60	20,4	20,4
	33	100 ... 630	1,10	±3	239	3 920	3 920	79,5	26	26
	46	200 ... 840	1,48	±3	392	7 809	7 809	231	77,3	77,3

Přípustné dynamické síly a momenty ¹⁾													
velikost			15 ³⁾		20		26		33		46		
stoupání vřetena			1	2	1	6	2	6	6	10	10	20	
	kód ²⁾												
F _y max., F _z max.	-/H ⁴⁾	-	[N]	747	593	1 389	764	2 223	1 541	2 469	2 083	4 919	3 904
	p ⁵⁾	-	[N]	1 185	941	2 204	1 213	3 528	2 446	3 920	3 306	7 809	6 198
	-/H ⁴⁾	S	[N]	-	-	-	-	-	-	1 043	880	2 514	1 995
	p ⁵⁾	S	[N]	-	-	-	-	-	-	1 656	1 396	3 990	3 167
M _x max.	-/H ⁴⁾	-	[Nm]	8,2	6,5	18,1	9,9	37,8	26,2	50,1	42,2	145	115
	p ⁵⁾	-	[Nm]	13	10,3	28,7	15,8	60	41,6	79,5	67,1	231	183
	-/H ⁴⁾	S	[Nm]	-	-	-	-	-	-	21,2	17,8	74,4	59
	p ⁵⁾	S	[Nm]	-	-	-	-	-	-	33,6	28,3	118	93,7
M _y max., M _z max.	-/H ⁴⁾	-	[Nm]	2,3	1,9	5,8	3,2	12,9	8,9	16,4	13,8	48,7	38,7
	p ⁵⁾	-	[Nm]	3,7	2,9	9,2	5,1	20,4	14,1	26	21,9	77,3	61,4
	-/H ⁴⁾	S	[Nm]	-	-	-	-	-	-	3,8	3,2	13,6	10,8
	p ⁵⁾	S	[Nm]	-	-	-	-	-	-	6	5	21,6	17,1

Obr. 42 Parametry jednotky FESTO EGSK-33-6P [23]

3.4.5 Závěr k výběru pohonné jednotky

Z uvedených hodnot opakované přesnosti pro jednotlivé typy pohonných jednotek vychází, že všechny zvolené typy splní základní požadavek na přesnost i ve standardním provedení. Hodnoty odpovídající zatěžujícímu momentu jsou u všech uvedených jednotek dostatečně dimenzovány. Konstrukčně si jsou jednotky velice podobné a vychází všechny ze stejného funkčního schématu.

Pro nově navrženou tiskárnu byla zvolena pohonná jednotka se zdvihem 200 mm od firmy FESTO a to hlavně díky vyhovujícím parametrům. Dalším důvodem pro zvolení této jednotky byla možnost navržení kompletního řešení včetně motoru a ovladače v softwaru PositioningDrives - v 2.2.14. Podrobný výpočet pohonné jednotky je uveden v příloze 1. Zvolený výsledek navrženého pohonu je na obr. 43.



Obr. 43 Sestava pohonné jednotky FESTO

3.5 Navržení nádrže

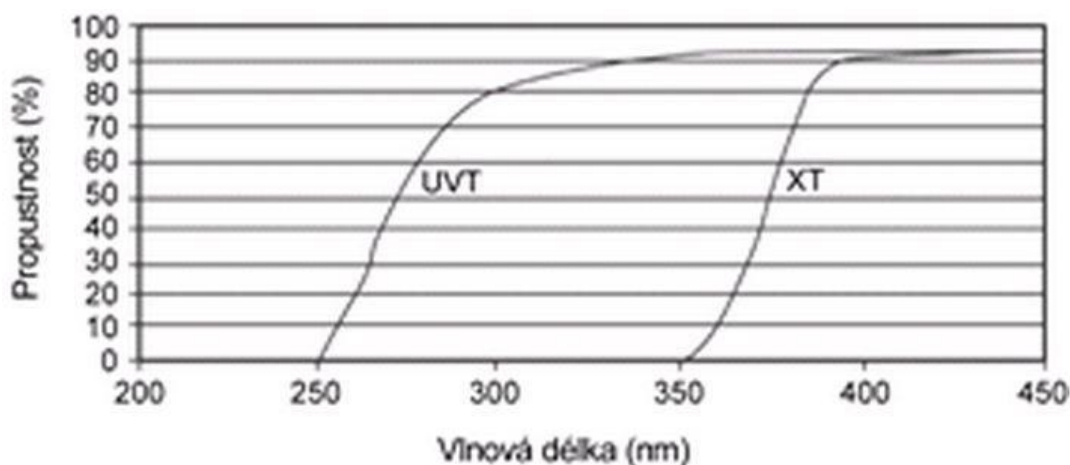
Konstrukce a provedení nově navržené nádrže musí splňovat veškeré požadavky na ní kladené:

- Jednoduché a technologicky snadno vyrobitelné provedení
- Dno nádrže UV propustné
- Nádrž musí být dostatečně veliká, aby nebylo nutné během stavby dolévat fotopolymer
- Povrch dna musí být odolný kapalnému fotopolymeru a nesmí se s ním spojit

UV propustné materiály v deskovém provedení pro stavbu nádrže na fotopolymer byly uvažovány:

- Křemenné sklo - je vyrobeno z čistého oxidu křemičitého SiO_2 , teplota tání je 1610°C , je propustné pro vlnové délky od 170 nm dle typu, vykazuje nízkou teplotní dilataci
- Plexisklo - UV propustná plexiskla například PLEXIGLAS XT, UVT SOLAR, PLEXIGLAS SUNACTIVE (GS 2458), vynikají výbornou odolností proti UV záření, velmi dobrou propustností světla až 92%, snadnou opracovatelností, dobrou odolností proti rázům

Pro nově navrženou nádrž na fotopolymer byl zvolen materiál PLEXIGLAS XT na obr. 44 je graf závislosti propustnosti světla na vlnové délce záření. Materiál byl zvolen díky svým dobrým mechanickým, fyzikálním a optickým vlastnostem.



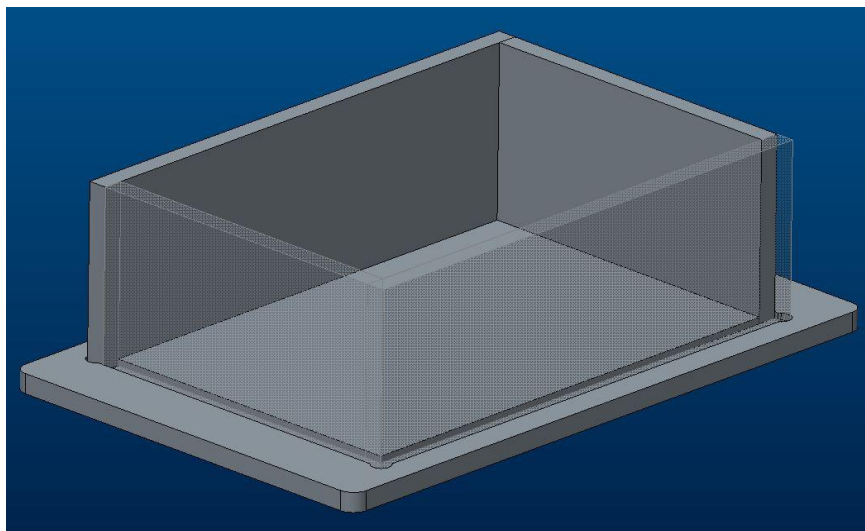
Obr. 44 UV propustnost plexiskel [24]

Pro ochranu dna a pro zlepšení oddělování vytvrzených vrstev ode dna nádrže byl navrhnout přípravek Sylgard 184. Bylo by možné použít i přípravek Sylgard 182, ale u něho probíhá vytvrzování při vyšší teplotě, která je minimálně 65°C. Přípravky Sylgard jsou silikonové zalévací kaučuky a běžně se používají na tyto aplikace: [25]

- V technologii 3D tisku metodou DLP k výrobě tiskové základny
- K zalévání biologických preparátů
- Zapouzdřování fotovoltaické PV solární články
- Pro jemné litografické techniky při výrobě mikrostruktur

Vlastnosti:

- Průsvitný
- Fyzikální a elektrická stabilita v širokém rozsahu teplot, frekvencí a vlhkosti
- Použitelný v rozsahu teplot od -55°C do +200°C
- Samozhášecí schopnost
- Vynikající ochrana proti vnějšímu prostředí



Obr. 45 Konstrukční provedení nádrže

Rozměr dna nádrže byl navržen větší než bočnice z důvodu uchycení za kratší hrany. Nádrž je nutné při stavbě modelu ke konzole uchytit tak, aby bylo zajištěno pevné držení a aby po ukončení stavby byla nádrž snadno demontovatelná. Nádrž je slepena z desek plexiskla o tloušťce 6 mm z vybraného materiálu PLEXIGLAS XT . Ve dnu nádrže je zafrézována drážka pro lepší ustavení bočnic a kvalitnější spojení desek. Dno nádrže je ošetřeno přípravkem Sylgard 184 po nanesení adhezní vrstvy je slepeno dvousložkovým lepidlem ACRIFIX 2R 0190.

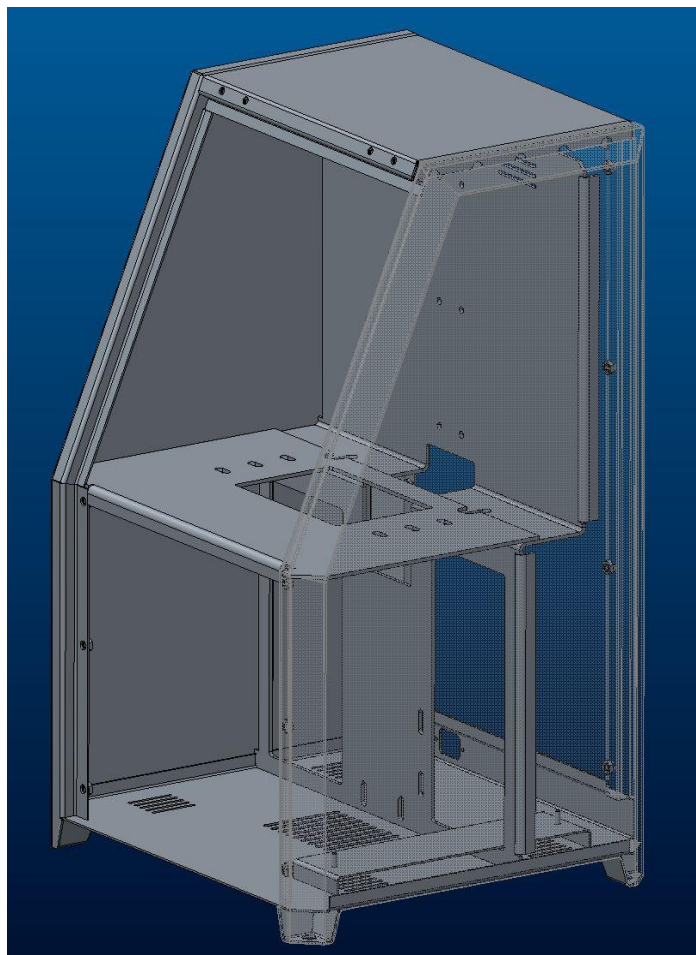
3.6 Konstrukce rámu a krytování

Konstrukce rámu a krytování byly navrženy tak, aby splňovaly hlavně požadavky na dostatečnou tuhost a aby nedocházelo k nadměrnému kroucení a deformaci při pracovním chodu stroje. Zajišťuje správnou funkci celého zařízení, rozměrovou stálost a jednoznačnost, ochranu proti vnějšímu prostředí a poškození. Zabráňuje unikání UV záření od projektoru.

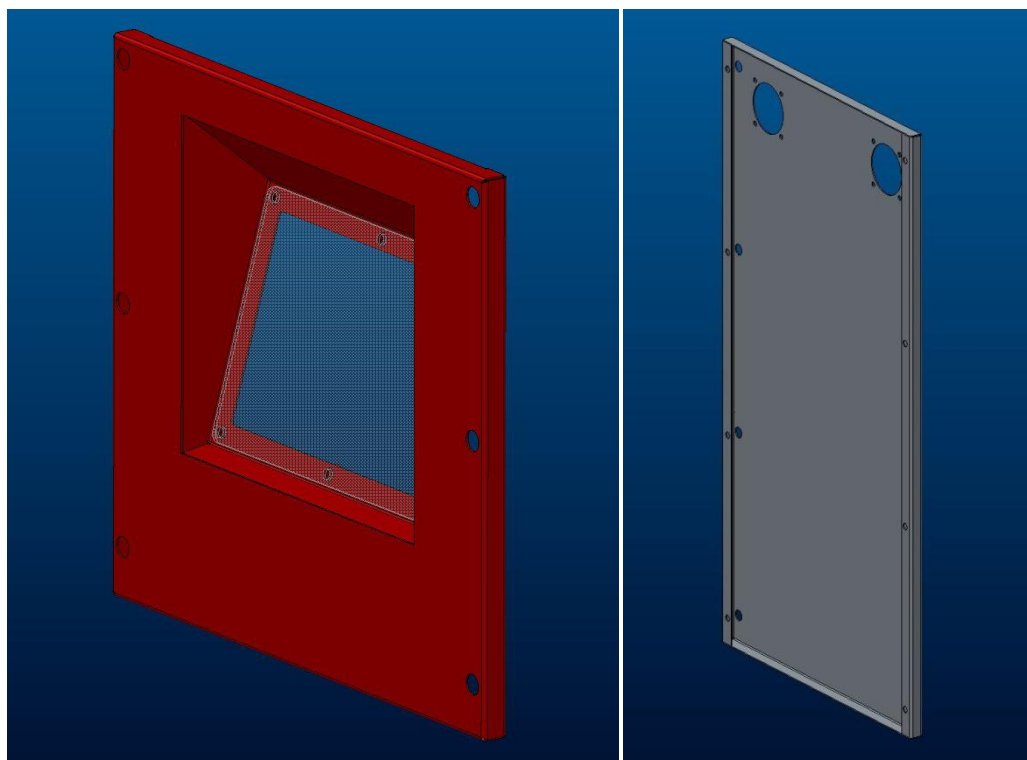
Pro konstrukci rámu byla zvolena koncepce z ohýbaných plechů svařená do celistvého svarku. Jedná se o velice produktivní metodu stavby rámu a zpracování technických zařízení. Jednak pro svoji univerzálnost, tak i pro vysokou produktivitu práce, je dnes tato koncepce velice používána. Z tabulí plechu je vyřezán na laseru, nebo vysekán na vysekávacím stroji polotovar, který je následně přetvářen na ohraňovacím lisu pomocí ohýbacích nástrojů.

Hlavní nosné části tiskárny byly navrženy z plechu o síle 3 mm. Ostatní vnější krytování, které obsahuje svarek rámu a doplňující části z plechu o síle 1.5 mm. Hlavní nosnou částí tiskárny, kde je připevněno vedení se spojku a krokovým motorem, byla navržena střední svislá příčka. Dále pak střední horizontální příčka, kde je umístěna nádrž s fotopolymerem dle obr 46. Vnější bočnice byly navrženy tak, aby svým tvarem nahrazovaly nutnost dalších výztuh do konstrukce rámu. Jako například vložených profilů standardních tvarů. Bočnice v dolní části tvoří vnější obrys noh, který je z vnitřní strany uzavřen dalším plechem. Ve spodním plechu, který tvoří dno prostoru tiskárny, byly navrženy větrací otvory pro nasávání chladícího vzduchu ode dna. Dno tiskárny je z důvodu dostatečného přívodu vzduchu zdviženo o 25 mm od plochy noh. Pro konečnou montáž krytů, krycích dvířek a pantů byly do konstrukce rámu v příslušných místech navrženy přivařovací matice.

Přední a zadní kryt tiskárny dle obr. 47 byly navrženy z plechu o síle 1 mm. Přední kryt obsahuje vloženou kapsu pro ovládací panel. V horní části zadního panelu byly navrženy ventilátory pro odvětrávání a chlazení vnitřního prostoru tiskárny.



Obr. 46 Rám tiskárny



Obr. 47 Přední a zadní kryt tiskárny

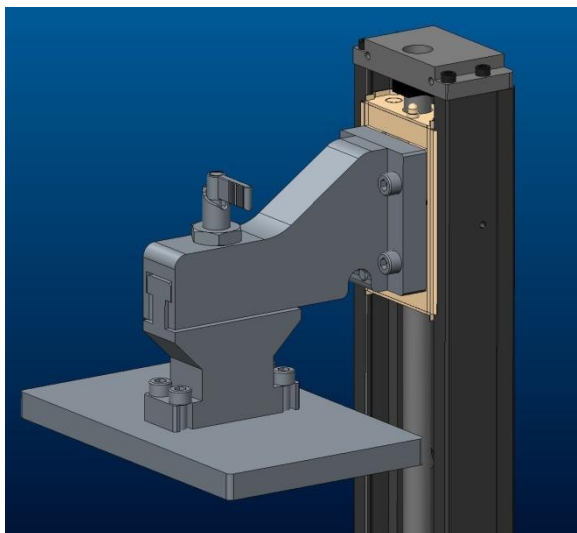
Na obr. 48 je zobrazena kompletní sestava dvířek z plexiskla s vybraným madlem a panty od firmy Elesa+GANTER CZ s.r.o. . Panty s nastavitelnou tuhostí pro možnost držení dvířek v pootevřené poloze. Dvířka jsou osazena po obvodě samolepícím těsnícím profilem od firmy OKENTĚS, spol. s.r.o. ve tvaru D o rozměrech 8 x 10 mm.



Obr. 48 Sestava dvířek

3.7 Konstrukce platformy

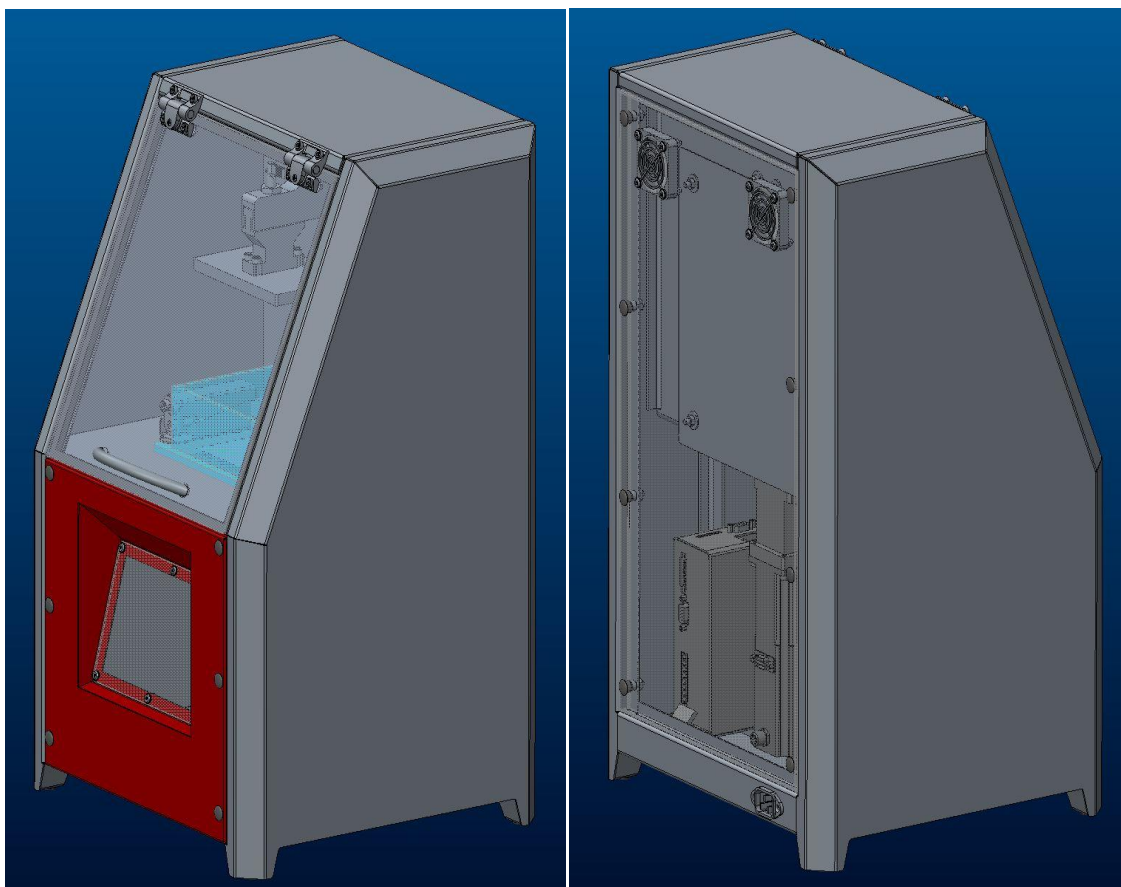
Platforma byla navržena s ohledem na požadavek snadné demontáže a opětné montáže dle obr. 49. Pro zajištění požadované polohy byl vybrán pružinový pístek od firmy Elesa+GANTER CZ s.r.o. . Pootočením horní páčky uvolní spodní platformu z držáku a umožní demontáž vysunutím směrem k obsluze. Konzola i platforma byly navrženy z hliníkové slitiny pro menší hmotnost celé konzoly při zachování dostatečné tuhosti.



Obr. 49 Konstrukční řešení uchycení platformy

3.8 Celkové konstrukční řešení 3D tiskárny

Celkové konstrukční řešení a vizualizace nově navržené 3D tiskárny je zobrazeno na obr. 50. Tiskárna byla navržena s maximální velikostí stavebního prostoru a to 128 mm x 80 mm x 150 mm. Celkové rozměry tiskárny jsou š - 360 mm, h - 330 mm, v - 600 mm.



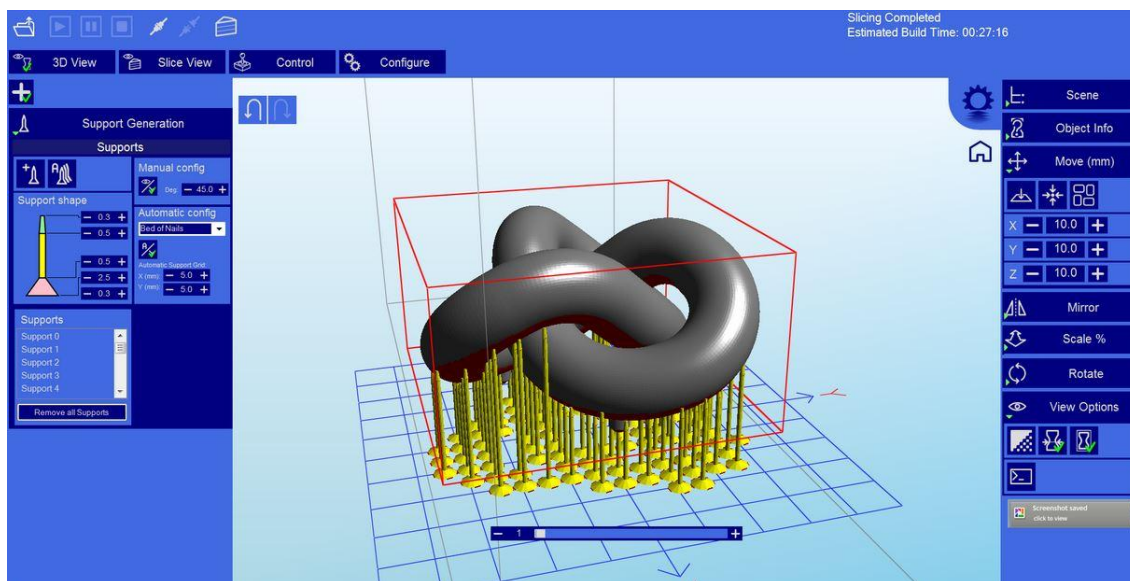
Obr. 50 Celkové konstrukční řešení 3D tiskárny

4. OVLÁDACÍ SOFTWARE

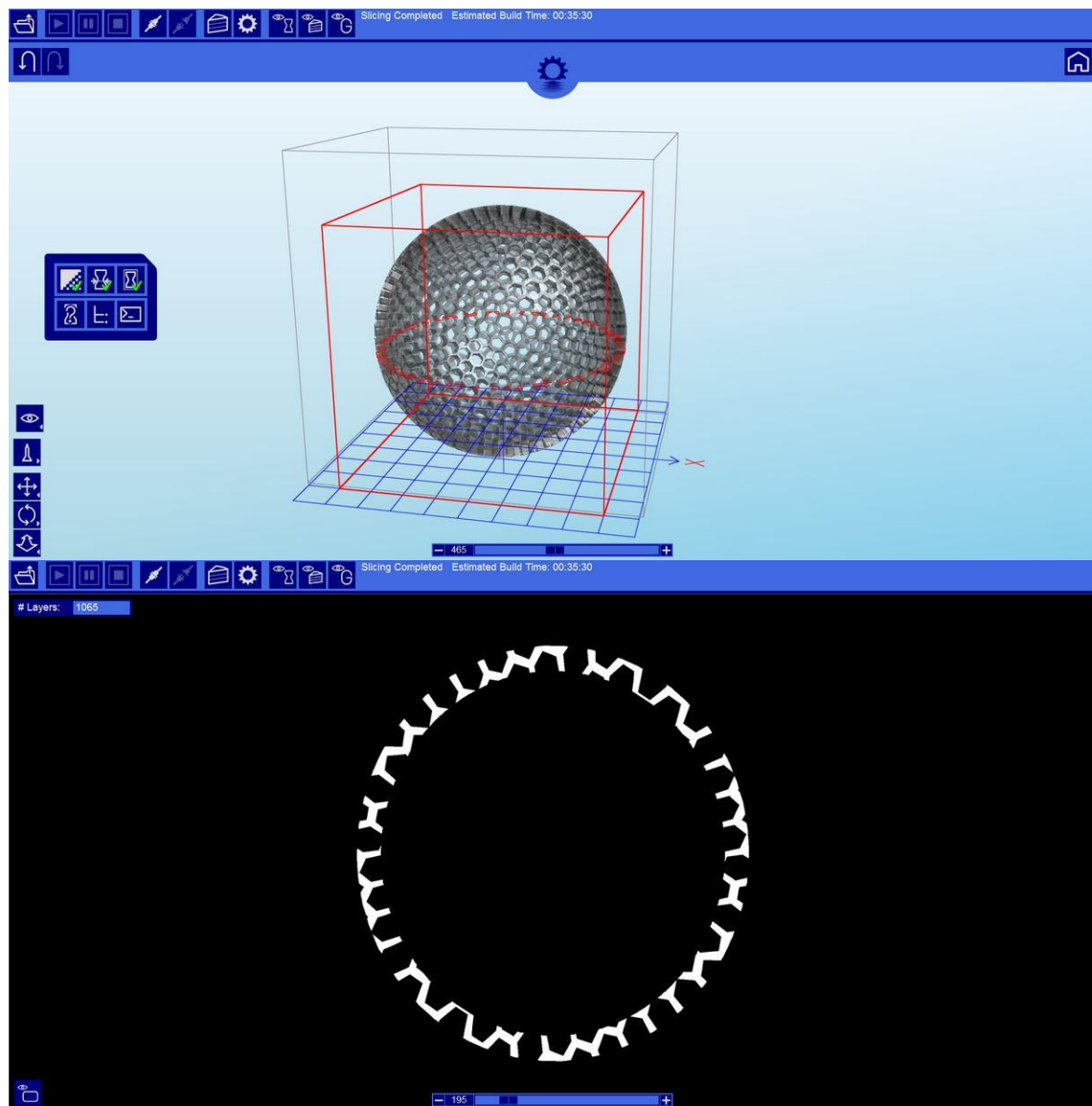
Pro nově navrženou 3D tiskárnu bylo nutné zvolit ovládací software, který je schopen model z libovolného CAD programu exportovaného do formátu .stl číst a dále s ním provádět další nutné operace. Jako hlavní operace prováděné s modelem považujeme naorientování v pracovním prostoru tiskárny. Pokud není model připraven již z CAD programu, tak možnost snadného přidání podpůrných konstrukcí pro vyráběný model. Možnost jednoduché úpravy modelu, popřípadě možnost snadno provádět opravy poškozených modelů. Jednoduché vytvoření geometrických řezů z modelu, které se následně promítají při samotné stavbě. Při promítání jednotlivých řezů zároveň řídit parametry pohybujících se os a možnost upravovat parametry pro jednotlivé oblasti stavěného modelu zvlášť.

4.1 CREATION WORKSHOP

Program je distribuován firmou ENVISION LABS a je primárně určen pro řízení SLA a DLP 3D tiskáren. Dále je také schopen ovládat FDM a SLS tiskárny. Program je pro nekomerční účely nabízen zdarma ke stažení. Pro následné komerční využití lze přejít na licencovanou verzi programu. Pracuje pod systémy Windows a Linux. Lze importovat formáty .stl, .obj, .amf a splňuje veškeré požadavky kladené v předešlém odstavci.



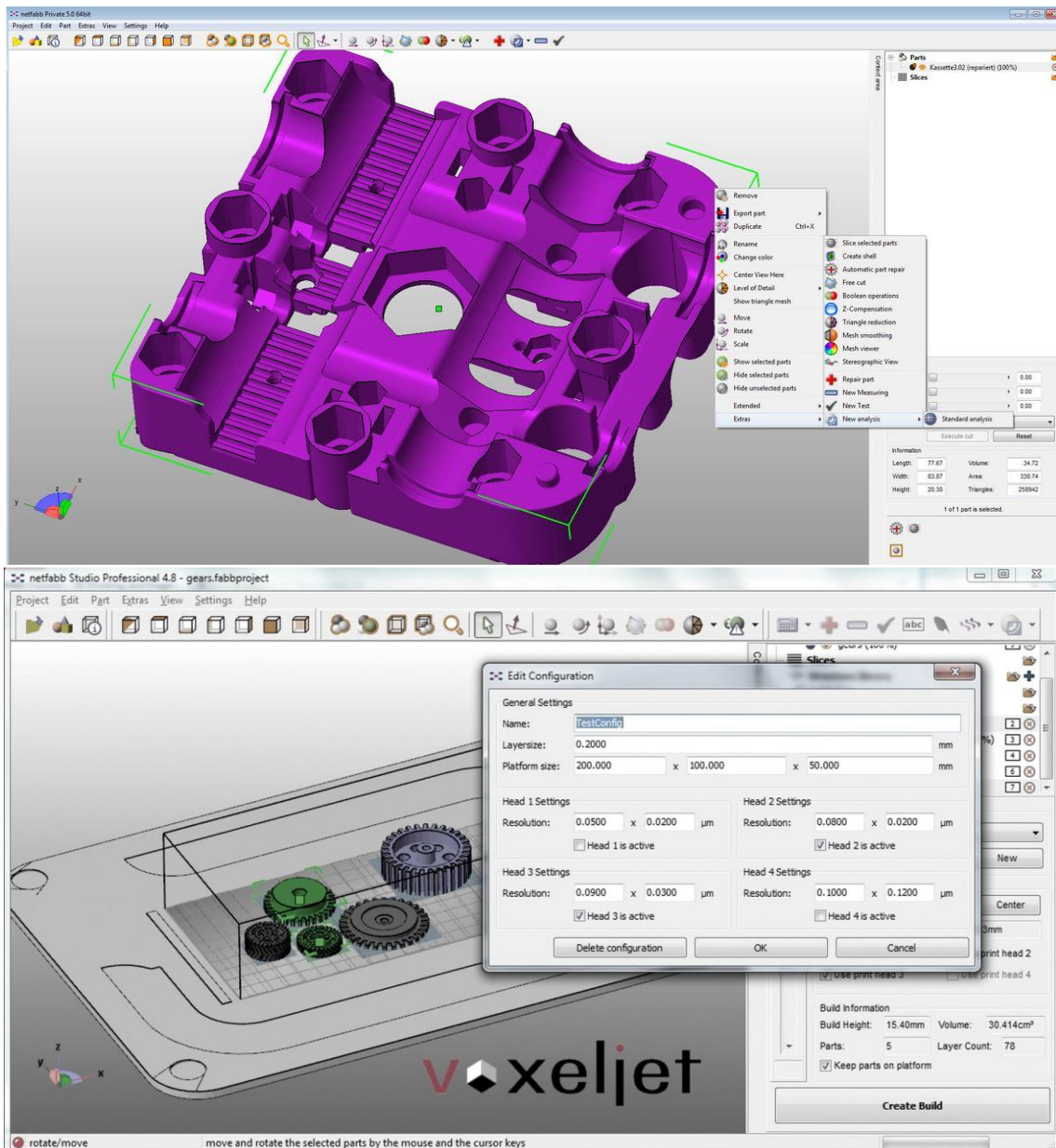
Obr. 51 Ukázka pracovního prostředí v CREATION WORKSHOP [26]



Obr. 52 Pracovní prostředí CREATION WORKSHOP s modelem a vygenerovaným řezem [26]

4.2 NETFABB

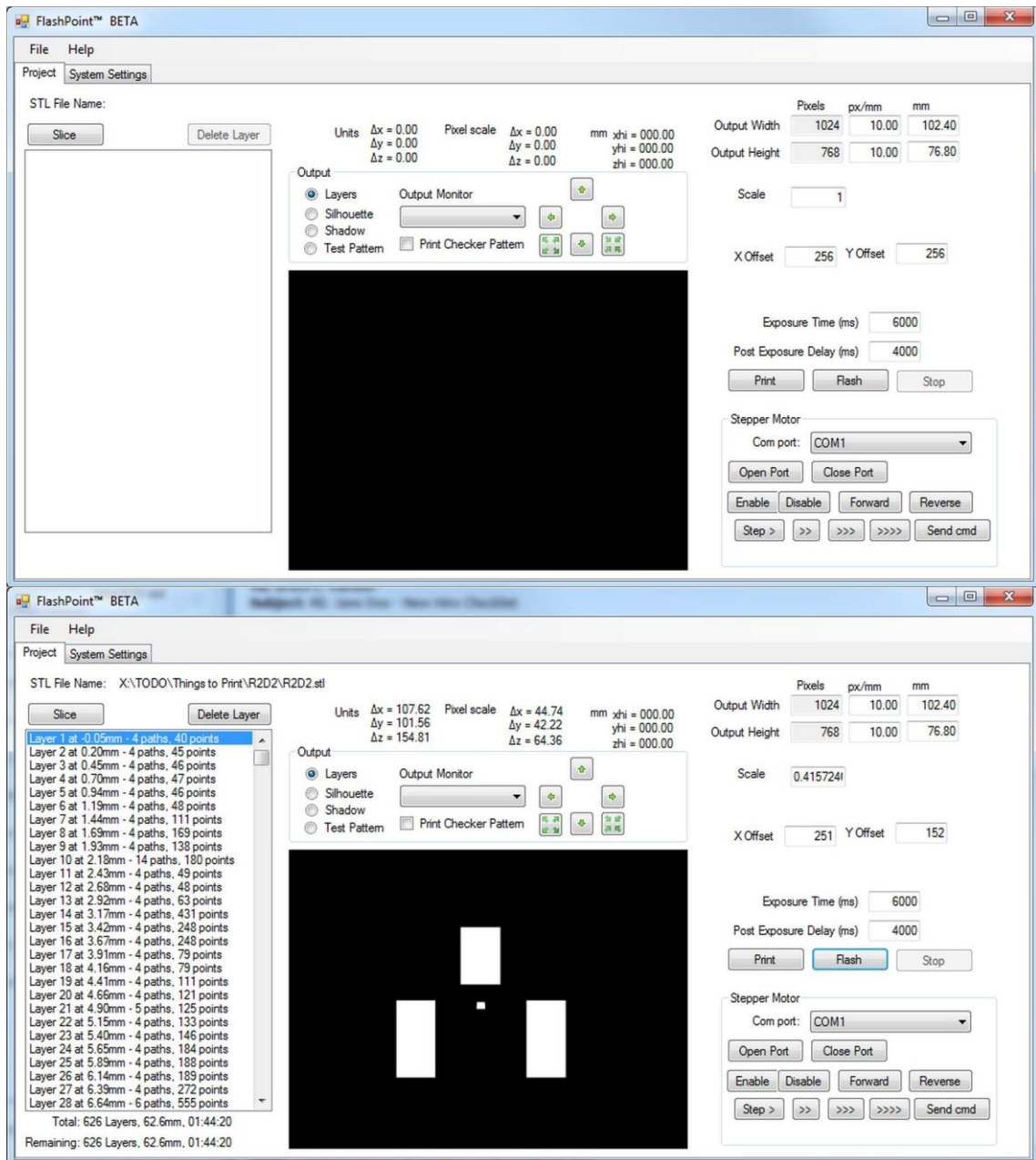
Program Netfabb ve verzi basic je volně stažitelný a dá se využívat pro nekomerční 3D tiskárny. Standardním vstupním formátem pro program jsou soubory STL. V programu je řada pokročilých nástrojů pro automatickou opravu 3D dat, které šetří čas při zpracování modelu. Program nabízí rychlé naorientování do prostoru tiskárny. Rychlou analýzu dat a silné možnosti k ovlivnění kvality výsledného modelu. Dále je možné zakoupit verzi Professional, která nabízí podstatné rozšíření základních možností. Zlepšené opravy modelů, zmenšení velikosti modelu, rozdělení velkých částí na menší modely, současně pracovat s více tiskárnami najednou a tím zvýšit efektivitu práce.



Obr. 53 Ukázka pracovního prostředí s modely v Netfabbu [27]

4.3 Flashpoint

Jedná se o volně stažitelný program pro ovládání 3D DLP tiskáren, který pracuje pod operačním systémem Windows XP, Vista a vyšší. Obsahuje všechny základní funkce na opravu souborů, řízení pohonů a promítacího projektoru. Lze snadno a rychle řídit parametry modelu jako je velikost, úprava měřítka, tloušťka tisknuté vrstvy, doba vytváření modelu.



Obr. 54 Ukázka pracovního prostředí s vygenerovaným řezem v programu Flashpoint [28]

4.4 Volba softwaru

Výše uvedené řídicí softwary jsou pro nově navržený prototyp 3D tiskárny vyhovující všechny a to jak pro své možnosti ovládání, tak i z důvodu, že lze volit bezplatnou verzi. Do tiskárny byl zvolen primárně CREATION WORKSHOP a to hlavně díky zkušenostem z již stávajícího prototypu 3D tiskárny. Pro celkové otestování by bylo vhodné následně vyzkoušet více řídicích systémů.

5. Závěr

Diplomová práce byla zpracována na téma „Konstrukce a výroba malé DLP 3D tiskárny“. 3D tiskárny jsou dnes největším moderním nástrojem celého průmyslového odvětví Rapid Prototypingu. Práce byla rozdělena do tří základních částí. V první části práce je uveden stručný popis metod Rapid Prototypingu využívající ke 3D tisku fotopolymerů. V druhé části byla provedena rešerše stávajících řešení 3D DLP tiskáren. V třetí části bylo provedeno navrzení nové 3D DLP tiskárny. Dále byl pro nově navrženou tiskárnu zvolen řídicí software.

V první části byly uvedeny základní principy vytvrzování modelů z fotopolymerů. Bylo uvedeno celkem pět základních principů, kde je uvedena krátká charakteristika daných metod. Následně jsou uvedeny obvykle dosahované přesnosti a standardní tloušťky tisknutých vrstev.

Druhá část byla zaměřena na rešerši stávajících provedení tiskáren. Tiskárny byly vybrány tak, aby odpovídaly stavebním prostorem co nejbližší k požadavku na nově navrhovanou tiskárnu. Na základě zjištěných parametrů byla vyhotovena přehledová srovnávací tabulka, podle které byla zvolena minimální přesnost v ose XY a to 100 μm .

V třetí a hlavní části práce bylo provedeno navrzení nové 3D DLP tiskárny. Nejdříve bylo provedeno měření na stávajícím prototypu, kde byly zjištěny zatěžující síly při oddělování vrstev stavěného modelu. Následovalo zvolení koncepce pro samotný tisk a to s projektorem pod nádrží, kde je model vytahován z nádoby s fotopolymerem. Dále byl zvolen projektor DLP LightCrafter 4500 jako optimální volba pro nový prototyp. Následovala volba pohonné jednotky s krokovým motorem, kde byla vybrána varianta od firmy FESTO. Dále byla zvolena koncepce rámu, která byla navržena jako svarek z naohýbaných plechů. Nádrž na fotopolymer byla navržena z plexiskla PLEXIGLAS XT.

Poslední část práce byla věnována řídicímu softwaru a jeho volbě. Byl zvolen software CREATION WORKSHOP, jako optimální řešení pro danou aplikaci řízení 3D tiskárny.

Nově navržená tiskárna dosahuje maximálního stavebního prostoru 128 mm x 80 mm x 150 mm, kde velikost zobrazovaného bodu je 100 μm . Celkové rozměry tiskárny byly navrženy š - 360 mm, h - 330 mm, v - 600 mm. Výroba prototypu tiskárny je zahrnuta v projektu SGS a je plánována na přelom roku 2015 a 2016.

Seznam použité literatury a softwaru

- [1] InTech Industries, Incorporated. (katalog) [online]. [cit. 31.3.2015]
Dostupné na: <http://www.intechrp.com/rapid-prototyping/sla/technology/>
- [2] KATEDRA VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ A AUTOMATIZACE: Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping
TUL; Liberec, 2012
- [3] CUSTOMPART.NET. *Stereolithography* [online]. [cit. 31.3.2015]
Dostupné na: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>
- [4] IMK. *Solid Ground Curling* [online]. [cit. 4.4.2015]
Dostupné na: <http://lkt.mb.uni-magdeburg.de/html/sgc/>
- [5] Additively. (katalog) [online]. [cit. 4.4.2015]
Dostupné na: <https://www.additively.com/en/learn-about/photopolymer-jetting>
- [6] POLULAR SCIENCE . *NEW LIQUID-BASAD 3D PRINTER TAKES MINUTES, NOT HOURS* [online]. [cit. 5.4.2015]
Dostupné na: <http://www.popsci.com/new-liquid-based-3d-printer-takes-minutes-not-hours>
- [7] Bitcon spol. s.r.o. [online]. [cit. 5.4.2015]
Dostupné na: <http://www.bitcon.cz/3d-tiskarny-gravirky-a-modelovaci-stroje/3d-tiskarny/>
- [8] Texas Instruments. (katalog) [online]. [cit. 5.4.2015]
Dostupné na: <http://www.ti.com/lscs/ti/analog/dlp/overview.page>
- [9] EnvisionTEC. (katalog) [online]. [cit. 5.4.2015]
Dostupné na: <http://envisiontec.com/envisiontec/wp-content/uploads/MK-MCS-MicroXL-V01-FN-EN.pdf>
- [10] ADVANTAGE-FL s.r.o. [online]. [cit. 7.4.2015]
Dostupné na: <http://advantage-fl.cz/zastupujeme/rapidshape/3d-tiskarny/3d-tiskarna-s50-maxi>
- [11] SEDGWICK TM. (katalog) [online]. [cit. 4.3.2015] Dostupné na:
<http://sedgwick3d.com/p/9/sedgwick-3d-dlp-printer-ready-to-print>
- [12] FUTUR3D s.r.o. (katalog) [online]. [cit. 12.4.2015]
Dostupné na: <http://www.3dwarf.net/>
- [13] ASIGA. (katalog) [online]. [cit. 16.4.2015] Dostupné na:
https://www.asiga.com/media/main/files/Pro%20Brochure_us_en.pdf
- [14] DWS systems. (katalog) [online]. [cit. 17.4.2015]
Dostupné na: http://www.dwssystems.com/wp-content/uploads/2014/10/Brochure_J_DWS_ENGLISH_low.pdf

- [15] Edges' Home [online]. [cit. 3.5.2015]
Dostupné na: http://www.khwellng.nl/3d.dlp_printer.php
- [16] Texas Instruments. *TI DLP® Technology for 3-D Printing* [online]. [cit. 7.4.2015]
Dostupné na: <http://www.ti.com/lit/sg/dlpt019a/dlpt019a.pdf>
- [17] Texas Instruments. *TI DLP® Technology and Products* [online]. [cit. 7.4.2015]
Dostupné na: <http://www.ti.com/lit/ml/dlpb010c/dlpb010c.pdf>
- [18] Alza.cz a.s. [online]. [cit. 4.5.2015]
Dostupné na: <https://www.alza.cz/philips-picopix-ppx3614-d2286695.htm>
- [19] Alza.cz a.s. [online]. [cit. 4.5.2015]
Dostupné na: <https://www.alza.cz/benq-pu9730-d2147560.htm>
- [20] HENNLICH s.r.o. *Kompakt-Linearachse KR* [online]. [cit. 10.5.2015]
Dostupné na: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-jednotky-652/typ-kr.html>
- [21] HENNLICH s.r.o. *Kompaktlinearachse mit Kugelkette* [online]. [cit. 8.5.2015]
Dostupné na: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-jednotky-652/typ-skr.html>
- [22] HIWIN s.r.o. *POLOHOVACÍ SYSTÉMY - LINEÁRNÍ MODULY KK* [online]. [cit. 2.5.2015] Dostupné na: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy/linearni-moduly-kk/125_kk-50
- [23] Festo s.r.o. *Elektrické saně EGSK/EGSP* [online]. [cit. 2.5.2015] Dostupné na: http://www.festo.com/cat/xdki/data/doc_cs/PDF/CZ/EGSK-EGSP_CZ.PDF
- [24] TITAN - MULTIPLAST s.r.o. [online]. [cit. 1.5.2015] Dostupné na: http://www.titan-multiplast.cz/produkty/pruhledne-plne-desky-76/plexisklo-uvt-solar-132/#tab_catalogue-detail-text
- [25] ELCHECo spol. s.r.o. [online]. [cit. 3.5.2015] Dostupné na: <http://web.elchemco.cz/krystalove-ciry-silikon-dvouslozkovy-kaucuk-pro-zalevani-v-elektronice-sylgard-182-184.php>
- [26] ENVISION LABS [online]. [cit. 9.5.2015]
Dostupné na: <http://www.envisionlabs.net/home.html>
- [27] Netfabb GmbH [online]. [cit. 10.5.2015]
Dostupné na: <http://www.netfabb.com>
- [28] SEDGWICK TM. [online]. [cit. 12.5.2015]
Dostupné na: <http://sedgwick3d.com/flashpoint/>

Software:

Creo Parametric 2.0

Microsoft Office 2007

Seznam příloh:

Příloha 1: Výpočet pohonné jednotky FESTO

Příloha 2: Výkresová dokumentace:


2-KVS-OS-01-00	3D DLP TISKARNA
3-KVS-OS-01-01	KRYT ZADNI
4-KVS-OS-01-02	PLEXISKLO
4-KVS-OS-01-03	KLIN
4-KVS-OS-01-04	KOSTKA L
4-KVS-OS-01-05	PLECH
4-KVS-OS-01-06	KLUZAK
4-KVS-OS-01-07	KOSTKA P
4-KVS-OS-01-08	UCHYT
4-KVS-OS-01-09	MATICE
4-KVS-OS-01-10	PANEL
4-KVS-OS-01-11	PLECH ELEKTRO
2-KVS-OS-02-00	RAM SVAREK
3-KVS-OS-02-01	NOSNA PRICKA
2-KVS-OS-02-02	BOK LEVY
2-KVS-OS-02-03	BOK PRAVY
3-KVS-OS-02-04	DNO
3-KVS-OS-02-05	STRECHA
3-KVS-OS-02-06	PLECH NADRZE
4-KVS-OS-02-07	NOHA
4-KVS-OS-02-08	DRZAK
3-KVS-OS-03-00	VANA
4-KVS-OS-03-01	DNO
4-KVS-OS-03-02	BOCNICE 1
4-KVS-OS-03-03	BOCNICE 2
4-KVS-OS-04-00	PLATFORMA
4-KVS-OS-04-01	DESKA
4-KVS-OS-04-02	STOJNA
4-KVS-OS-05-00	KONZOLA PLATFORMY
4-KVS-OS-05-01	DESKA KONZOLY
4-KVS-OS-05-02	KONZOLA
3-KVS-OS-06-00	KRYT PREDNI
3-KVS-OS-06-01	PLECH PREDNI
3-KVS-OS-06-02	PLECH PANELU


Příloha 1:

parametry systému

výběr, typ pohonu

vedení je integrováno

portálový pohon 

letný pohon 


upozornění

filtr pro výběr
94 systémy (statick.)
6 pohonů

Sklon pohonu ve směru jeho osy. Posuvová síla působí ve směru šipky.
Při odchylce od vodorovné polohy snižuje vyosení těžší zátěž zrychlení pohonu.
Při výpadku energie pohon sjede dolů, pokud je dolů působící síla větší než tření.

požadované zadání

montážní poloha



vodorovn.
 svisl.
 libovol.

pohonů

maximální pohybující se hmotnost kg

užitečný zdvih mm

opakovatelná přesnost +/- mm
 nejvyšší přesnost (navíc)

přídavná vnější síla N


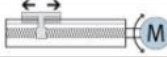
případné zadání

profil pohybu

užitečná délka, bez časového omezení
 podrobný profil pohybu
 kritický zdvih

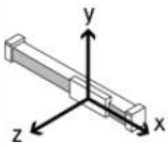
čas přejezdu + čas prodlevy <= s

technologie pohonu

 ozubený řemen
  vřeteno 1,333 ..1,333 s

vedení

upozornění



filtr pro výběr
94 systémy (statick.)
6 pohonů

systémy, které jsou k dispozici
 vhodné systémy statick. (zrychlení = 0,010 m/s²)

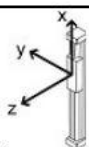
technologie pohonu

[podrobnosti](#)

řady výrobků	vedení
DGE	vedení v kuličkových oběžných pouzd
DGE	vedení v kuličkových oběžných pouzd
DGE	vedení v kladkách
DGE	vedení v kladkách, prodloužené
DGE	vedení pro velké zátěže
DMES	vedení v kuličkových oběžných pouzd
DMES	vedení v kuličkových oběžných pouzd
DMES	kluzné vedení
DMES	kluzné vedení, prodloužené
EGC	vedení v kuličkových oběžných pouzd
EGC	vedení v kuličkových oběžných pouzd
EGC	vedení pro velké zátěže
EGSK	vedení v kuličkových oběžných pouzd
EGSK	vedení v kuličkových oběžných pouzd
EGSP	vedení v kuličkových oběžných pouzd
EGSP	oběh kuliček, krátk.
ELGA	vedení v kladkách
ELGA	vedení v kladkách, prodloužené
ELGR	vedení v kuličkových oběžných pouzd

umístění zátěže

montážní poloha

nahoře nebo dole
 boční 

vzdálenost hmotnosti

maximální pohybující se hmot kg

X- směr mm

Y- směr mm

Z- směr mm

vzdálenost přídavné hnací síly

přídavná vnější síla N

Y- směr mm

Z- směr mm

profil pohybu

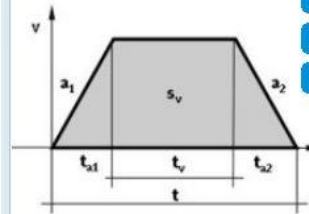
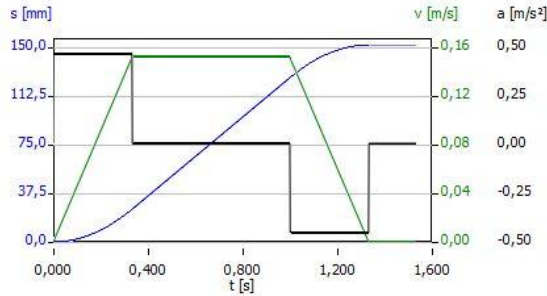
upozornění

filtr pro výběr
94 systémy (statick.)
6 pohonů

zvolte profil pohybu čas
přejezdu, rychlost,
zrychlení:
tlačítko 'profil pohybu
podrobnosti' nebo
menu 'Program' -> ...

Délka pohybu s daným
profilem.
'A' = nová absolutní
poloha
'R' = relativní pohyb
(nová poloha =
předchozí poloha +
'zdvih')

startovací poloha = 0				čas přejezdu		maximální rychlost			zrychlení		
č.	režim A, R	zdvih s [mm]	pohybovaná hmotnost m [kg]	síla F [N]	<=, = čas t [s]	rychlost v [m/s]	zdvih_v s [mm]	čas V t [s]	zrychlení a [m/s ²]	brzdy a [m/s ²]	přestávka t [s]
1	A	150,000	2,000	-70,0	=	1,333	0,150	100,000	0,667	0,450	0,200



- nová řádka ↓
- vložit řádek
- smazat řádek

vypočítat profil pohybu podrobnosti profilu pohybu

výsledky

výsledek č. 6

Ujistěte se prosím, že
následující dynamické hodnoty,
ze kterých návrh vychází,
nepřekračují hraniční hodnoty
Vašeho zařízení
rychlost: 0,150 m/s
zrychlení: 0,450 m/s²
brzdy: 0,450 m/s²

= přidat (porovnání
výrobků)

zvolený pohon

pohonů

motor

ovladač



EGSK-33-6P

axiální sada:
EAMM-A-P6-38A-57A



EMMS-ST-57-M-SEB-G2

bez převodovky



CMMS-ST-C8-7-G2

výkonná část
48 VDC

přehled údajů o výkonu

užitečný zdvih
opakovatelná přesnost
pohybovaná hmotnost
svísl. 90 °
přídavná vnější síla
(maximáln.: +/- směr)
čas přejezdu + čas prodlevy

požadov.

	150 mm
	0,01 mm
	2 kg
	70,0 N

čas přejezdu + čas prodlevy

1,533 s

čas prodlevy

0,200 s

28 výsledky (optimální velikosti pohonů)

porovnání výrobků (1)

filtr pro výsledky

podrobný profil pohybu: čas cyklu (čas přejezdu + čas prodlevy): maximáln. 60,000 s

č.	pohonů	velikost vedení	motor	převodovka	pohonů	motor	vedení	čas přejezdu	
<input type="checkbox"/>	1	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	64 %	66 %	64 %	1,333
<input type="checkbox"/>	2	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	64 %	72 %	64 %	1,333
<input type="checkbox"/>	3	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	66 %	36 %	53 %	1,333
<input type="checkbox"/>	4	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	64 %	66 %	64 %	1,333
<input type="checkbox"/>	5	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	64 %	34 %	64 %	1,333
<input checked="" type="checkbox"/>	6	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	66 %	69 %	53 %	1,333
<input type="checkbox"/>	7	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	krok, "ServoLite"	---	64 %	27 %	64 %	1,333
<input type="checkbox"/>	8	vřetenno s valvým ulože 26	oběh kuliček	servo AC	---	81 %	86 %	95 %	1,333
<input type="checkbox"/>	9	vřetenno s valvým ulože 26	oběh kuliček	servo AC	---	98 %	74 %	65 %	1,333
<input type="checkbox"/>	10	vřetenno s valvým ulože 26	oběh kuliček	servo AC	---	81 %	48 %	95 %	1,333
<input type="checkbox"/>	11	vřetenno s valvým ulože 26	oběh kuliček	servo AC	---	98 %	40 %	65 %	1,333
<input type="checkbox"/>	12	vřetenno s valvým ulože 26	oběh kuliček	servo AC	---	81 %	49 %	95 %	1,333
<input type="checkbox"/>	13	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	servo AC	---	66 %	41 %	53 %	1,333
<input type="checkbox"/>	14	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	servo AC	---	64 %	42 %	64 %	1,333
<input type="checkbox"/>	15	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	servo AC	---	66 %	17 %	53 %	1,333
<input type="checkbox"/>	16	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	servo AC	---	64 %	18 %	64 %	1,333
<input type="checkbox"/>	17	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	servo AC	---	66 %	67 %	53 %	1,333
<input type="checkbox"/>	18	vřetenno s valvým ulože 33	oběh kuliček	servo AC	---	64 %	76 %	64 %	1,333

grafy - hodnoty

Zvolte možnosti grafu prostřednictvím souvisejícího menu na ploše diagramu (pravé tlačítko myši)

součet (profil pohybu, vše)

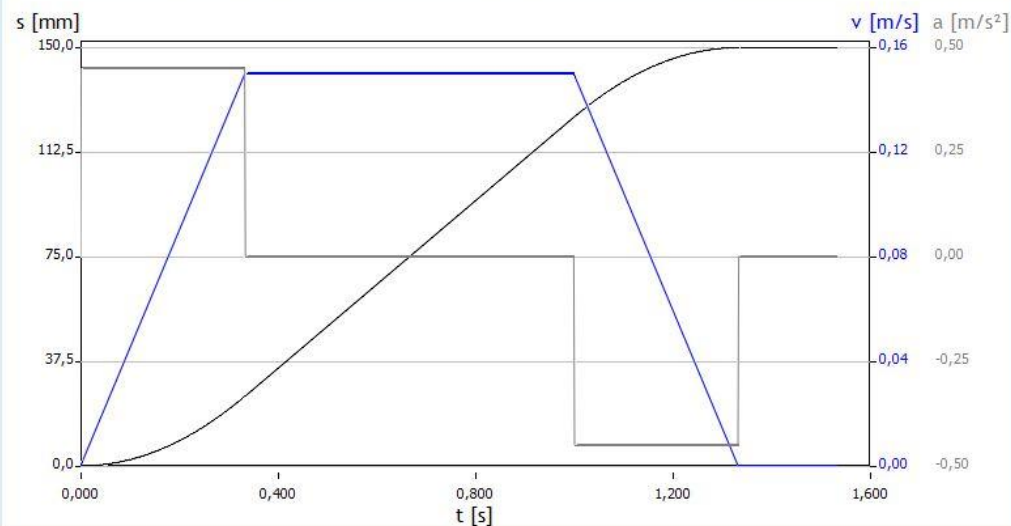
doba sepnutí	87 %
čas cyklu	1,533 s
čas přejezdu	1,333 s
čas prodlevy	0,200 s
maximáln. (profil pohybu, vše)	
rychlost	0,150 m/s
zrychlení	0,450 m/s ²
brzdy	0,450 m/s ²

podrobnosti

podrobnosti profil pohybu

č.	pohonů	označení pro objednávky	velikost	motor	označení pro objednávky	napětí
6	s valvým uložením	EGSK-33-200-6P	33	krokový motor	EMMS-ST-57-M-SEB-G2	48 VDC

grafy dynamické údaje údaje o výrobku pohonů údaje o výrobku motor



výsledek č. 6

ovladač: výkonná část
48 VDC

maximální teplota okolí	25 °C
(nastavení / definov. uživatelem)	
moment setrvačnosti	
translační	0,021 kgcm ²
rotační	0,079 kgcm ²
vnější moment setrvačnosti ve vztahu k motoru	0,100 kgcm ²
poměr momentů setrvačnosti	1,200

podrobnosti

podrobnosti profil pohybu

č.	pohonů	označení pro objednávky	velikost	motor	označení pro objednávky	napětí
6	s valvým uložením	EGSK-33-200-6P	33	krokový motor	EMMS-ST-57-M-SEB-G2	48 VDC

grafy dynamické údaje údaje o výrobku pohonů údaje o výrobku motor

pohonů		motor	
maximální vypočítaná rychlost	0,150 m/s	maximální otáčky motoru	1500 rpm
maximální vypočítané zrychlení	0,450 m/s ²	špičkový moment	0,23 Nm
požadovaná využitelná síla	93,7 N	vnější krouticí moment + tření	0,20 Nm
špičkový moment vřetena	0,17 Nm	maximální vypočítaný výkon	44,1 W
maximální otáčky vřetena	1500 rpm	maximální vypočítaný proud	0,7 A
maximální náraz	4968 m/s ³	proud při nouzovém zastavení	4,5 A
brzdná dráha při nouzovém zastavení	0,563 mm		

podrobnosti

podrobnosti profil pohybu

výsledek č. 6

č.	pohonů	označení pro objednávky	velikost	motor	označení pro objednávky	napětí
6	s valvým uložením	EGSK-33-200-6P	33	krokový motor	EMMS-ST-57-M-SEB-G2	48 VDC

grafy dynamické údaje **údaje o výrobku pohonů** údaje o výrobku motor

pohonů

EGSK-33-200-6P

zdvih, maximáln. (EGSK-33)	600 mm
opakovatelná přesnost	0,01 mm
mezipolohy	libovol.
využitelná síla (hranice projektování)	150,0 N
maximální zrychlení	20,000 m/s ²
maximální rychlost	0,470 m/s
moment setrvačnosti (translační; pohybující se hmotnost pohonu)	0,003 kgcm ²
maximální přípustná teplota okolí (motor)	50 °C

vřeteno

maximální moment	1,24 Nm
moment setrvačnosti	0,024 kgcm ²
posuvová konstanta	6 mm

vedení

kroučící moment Mx	50,10 Nm
kroučící moment My	16,40 Nm
kroučící moment Mz	16,40 Nm
síla Fy	2469,0 N
síla Fz	2469,0 N

podrobnosti

podrobnosti profil pohybu

výsledek č. 6

ovladač: výkonná část
48 VDC

č.	pohonů	označení pro objednávky	velikost	motor	označení pro objednávky	napětí
6	s valvým uložením	EGSK-33-200-6P	33	krokový motor	EMMS-ST-57-M-SEB-G2	48 VDC

grafy dynamické údaje **údaje o výrobku pohonů** **údaje o výrobku motor**

motor

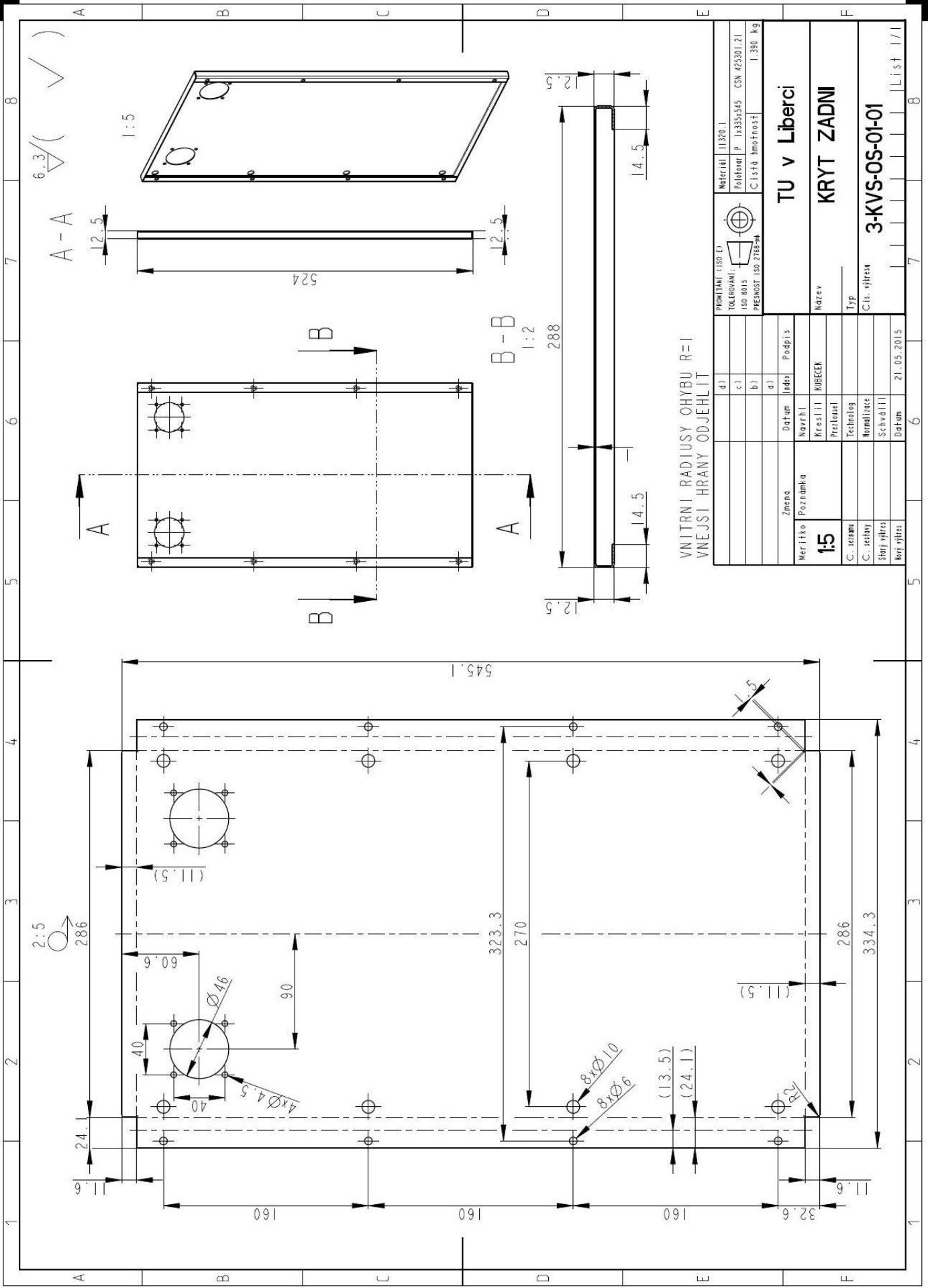
EMMS-ST-57-M-SEB-G2

maximální otáčky motoru (max. napětí = 48 V)	1940 rpm
přídržný moment	0,80 Nm
jmenovitý proud	5,0 A
jmenovité napětí	48 V
moment setrvačnosti	0,500 kgcm ²
přídržný moment (brzda)	1,00 Nm

ovladač

CMMS-ST-C8-7-G2

napájecí napětí	
logická část	24 VDC
výkonná část (48 VDC)	24 ... 48 VDC
jmenovitý proud	8,0 A
špičkový proud	12,0 A



VNITRNI RADIUSY OHYBU R=I
VNEJŠI HRANY ODJEHLIT

PROJEKČNÍ (1:50 E)	Material (1:300 I)	POLEHOVÁNÍ	Číslo kresby	CSN 425301.21
c)	ISO 8015	14335x545	Číslo změny	1.380 kg
b)	PREMOSIT ISO 2788-mk			
a)				
Změna	Datum	Index	Podpis	
Meritko	Navrhl	Kreslil	KUBEEN	
1:5				
C. srovn.				
C. sestavy				
Štěr výřez				
Kraj výřez				
Datum	21.05.2015			

TU v Liberci
KRYT ZADNI

Čís. výřezu
3-KVS-05-01-01

11
11

8

7

6

5

4

3

2

1

1

1

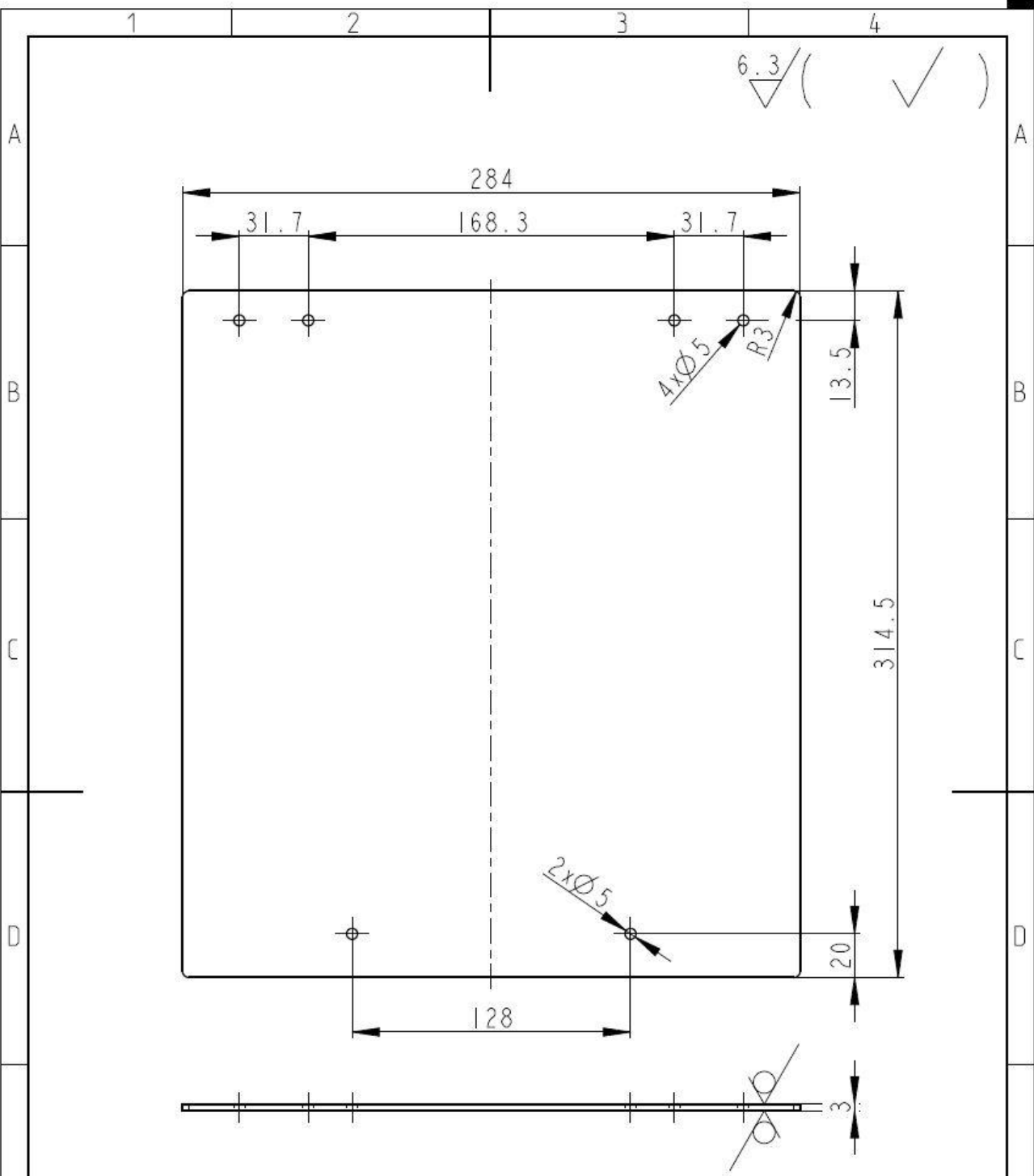
1

1

1

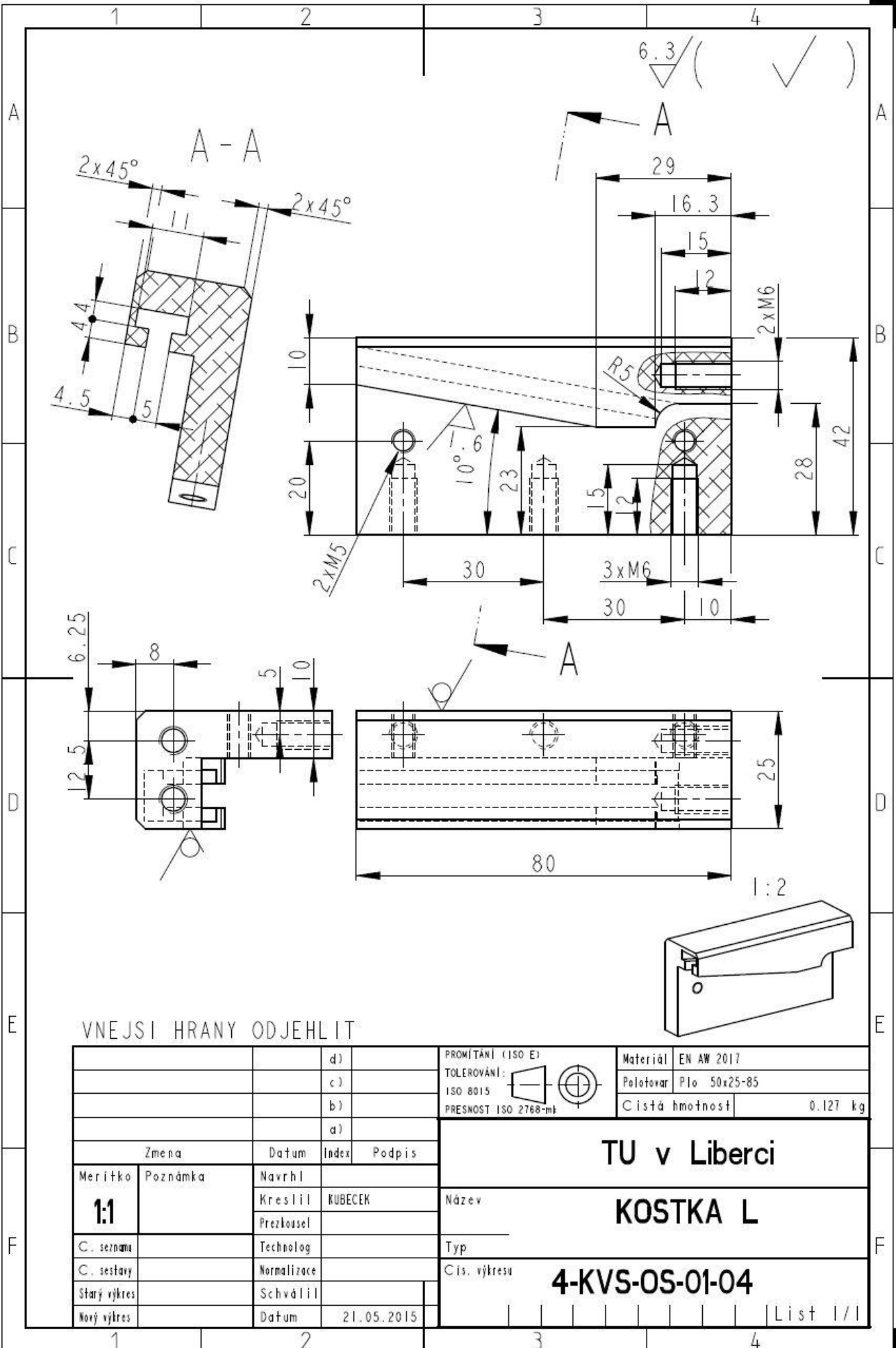
1

1



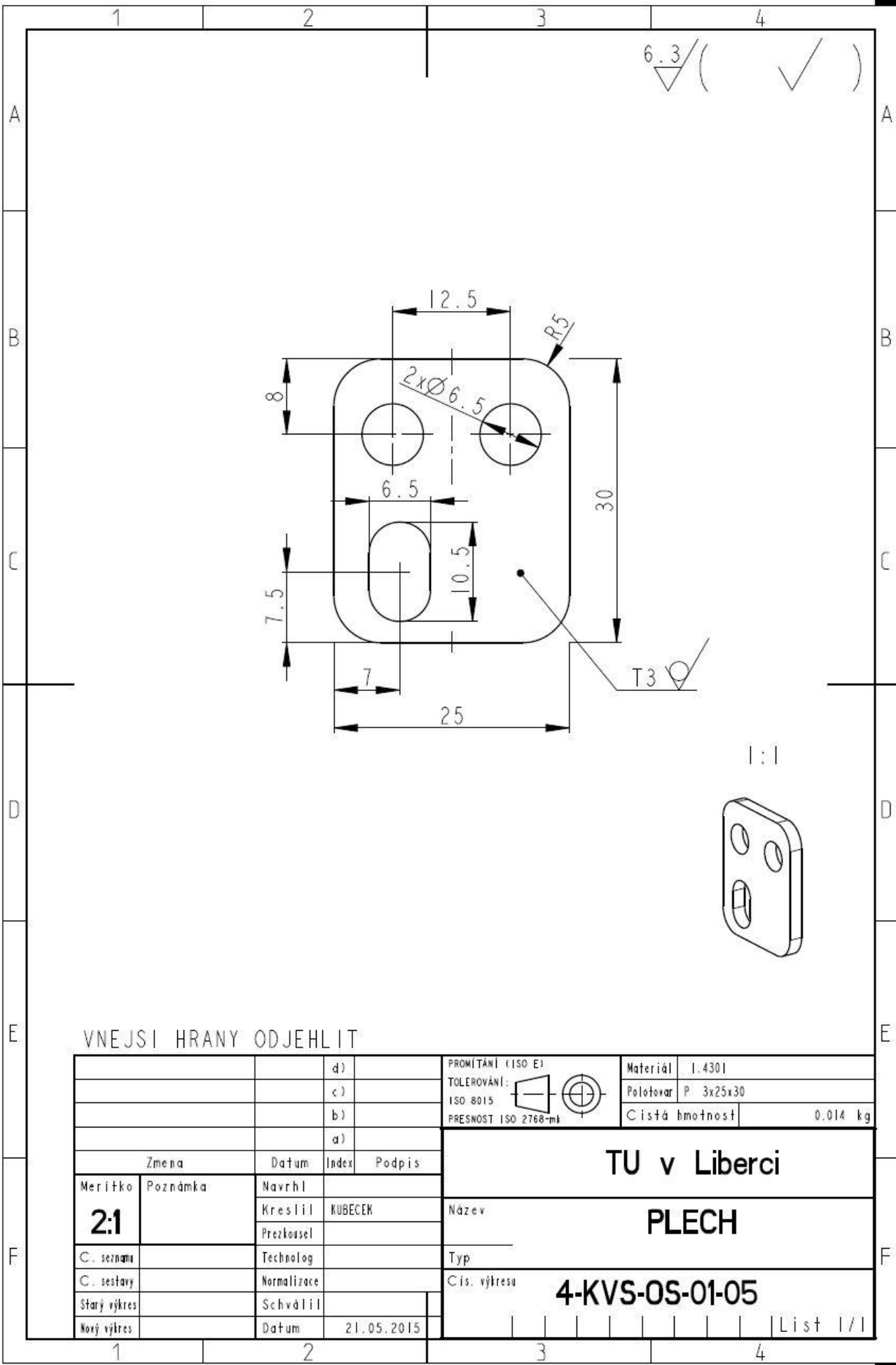
VNEJSI HRANY ODJEHLIT

		d)		PROMĚTANÍ (ISO E)	Materiál	PLEXIGLAS XT WN370
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovar	3x284x315
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.326 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mk		
Zmena		Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritka	Poznámka	Navrhl				
2:5		Kreslil	RUBECEK		4-KVS-05-01-02	
C. seznam		Prezkoušel				
C. sestavy		Technolog				
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil				
		Datum	21.05.2015			



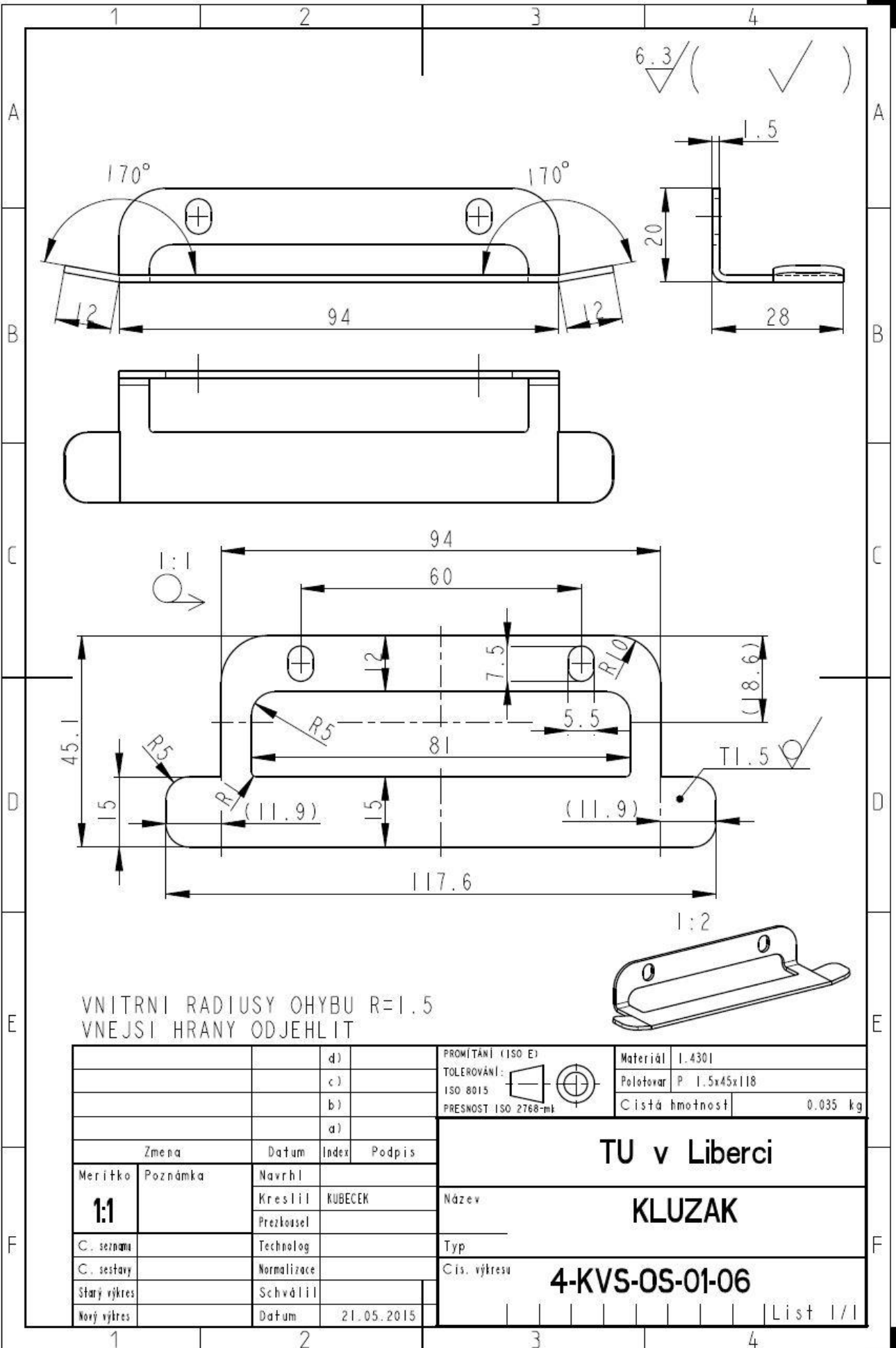
VNEJSI HRANY ODJEHLIT

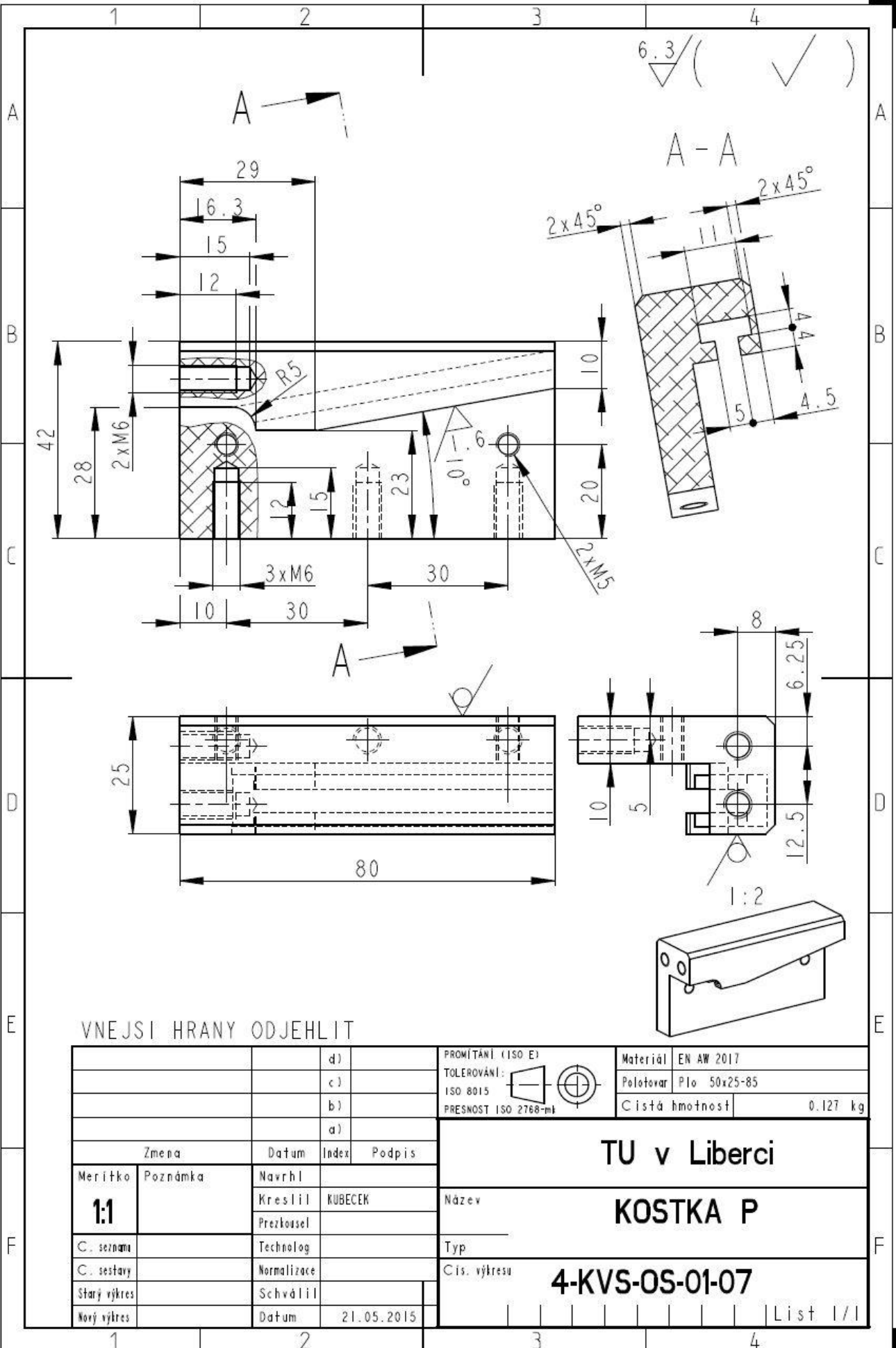
		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	EN AW 2017
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	Plo 50x25-85
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.127 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mK		
Zmena		Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
1:1		Kreslil	KUBECEK		4-KVS-05-01-04	
C. seznam		Prezkoušel				
C. sestavy		Technolog				
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil				
		Datum	21.05.2015			



VNEJSI HRANY ODJEHLIT

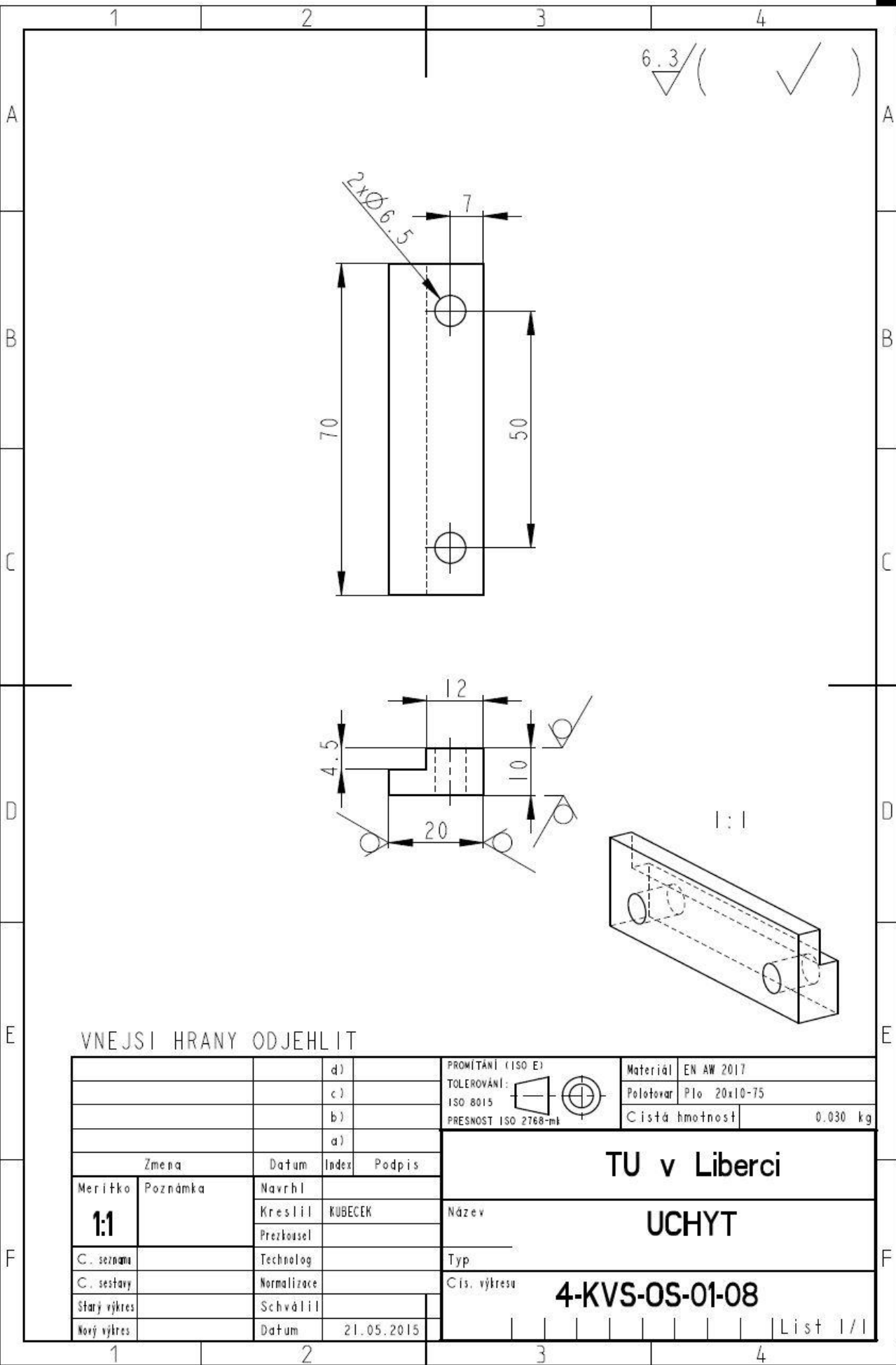
		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	I.4301
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	P. 3x25x30
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.014 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mK		
	Zmena	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
2:1		Kreslil	KUBECEK	Název	4-KVS-05-01-05	
C. seznam		Prezkoušel		Typ		
C. sestavy		Technolog		Cis. výkresu		
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil				
		Datum	21.05.2015			

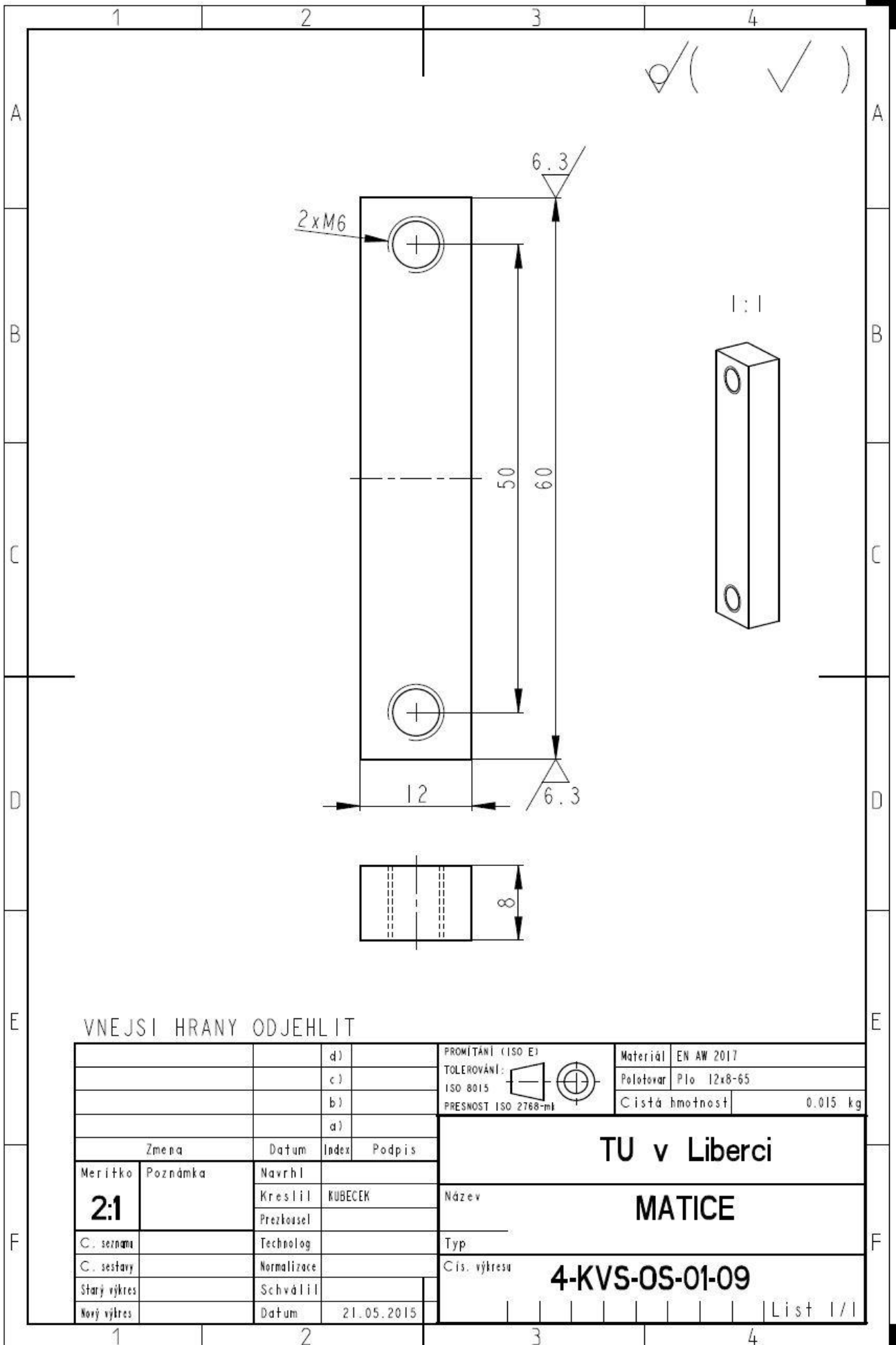




VNEJSI HRANY ODJEHLIT

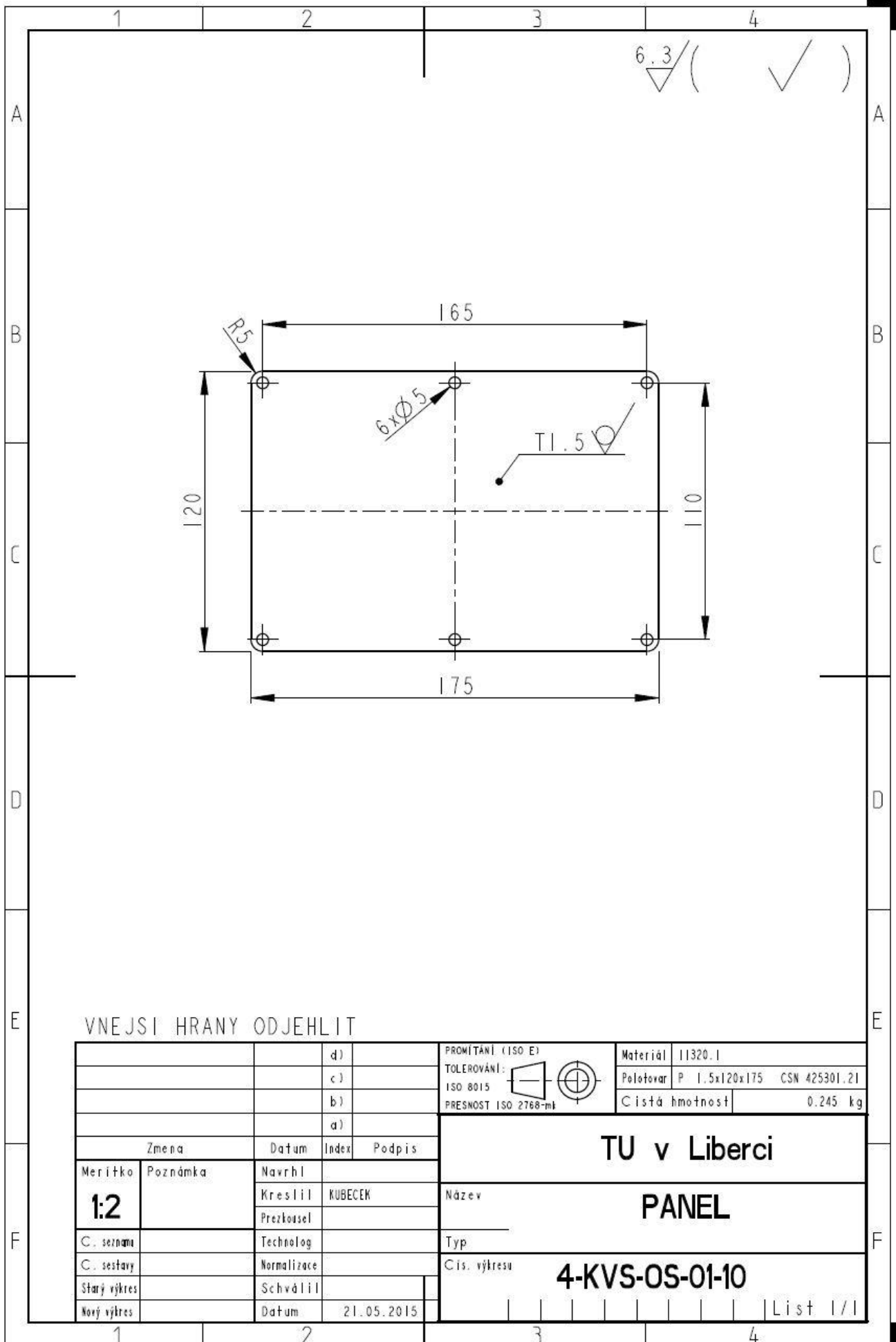
		d)		PROMĚTANÍ (ISO E)	Materiál	EN AW 2017
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Pelotovar	Plo 50x25-85
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.127 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mS		
	Zmena	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
1:1		Kreslil	KUBECEK	Název	4-KVS-05-01-07	
C. seznam		Prezkoušel		Typ		
C. sestavy		Technologie		Cis. výkresu	List 1/1	
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil			List 1/1	
		Datum	21.05.2015			

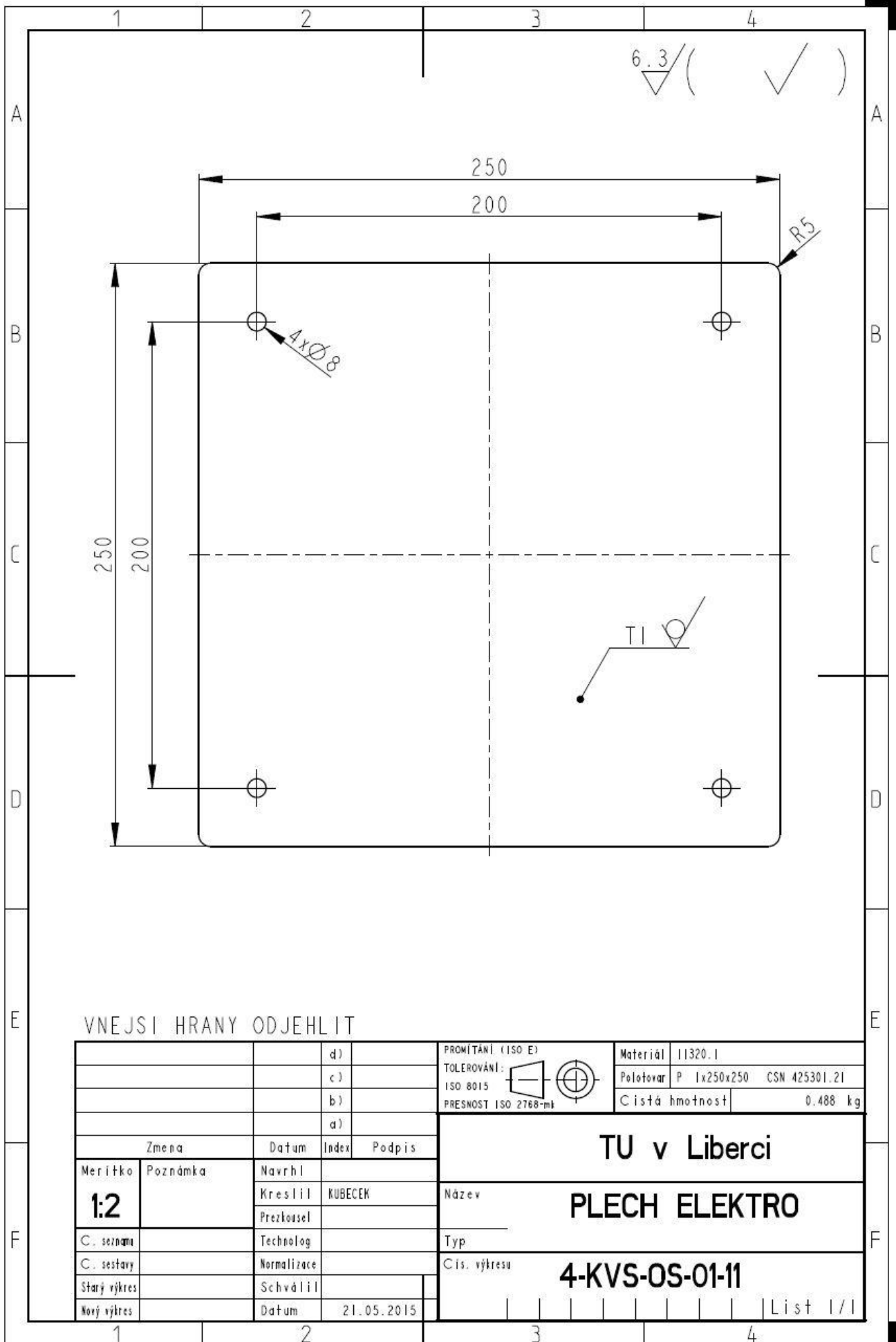


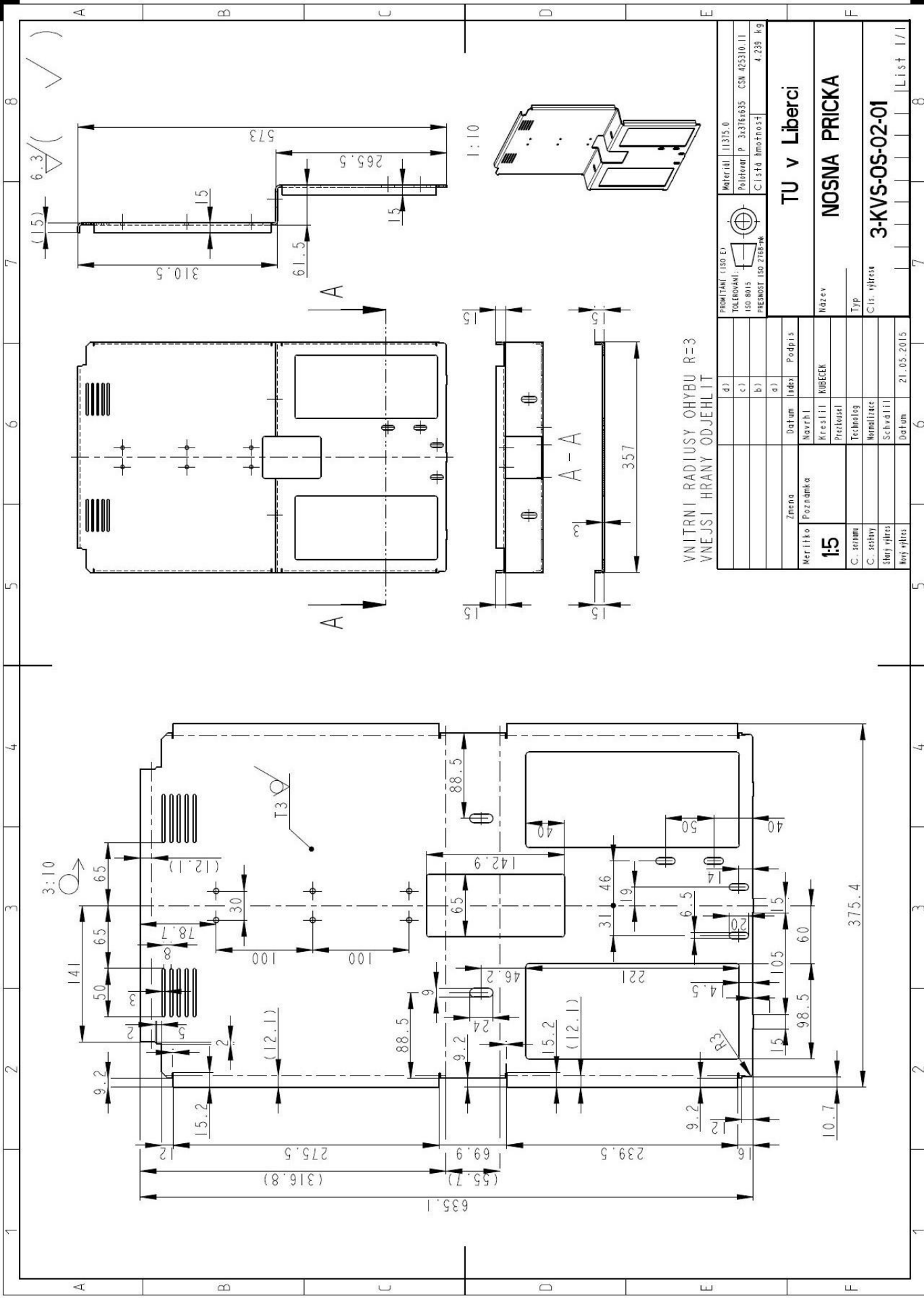


VNEJSI HRANY ODJEHLIT

		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	EN AW 2017
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	Plo 12x8-65
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.015 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mL		
	Změna	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
2:1		Kreslil	RUBECEK	Název	4-KVS-05-01-09	
C. seznam		Prezkoušel		Typ		
C. sestavy		Technolog		Cís. výkresu		
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil				
		Datum	21.05.2015			







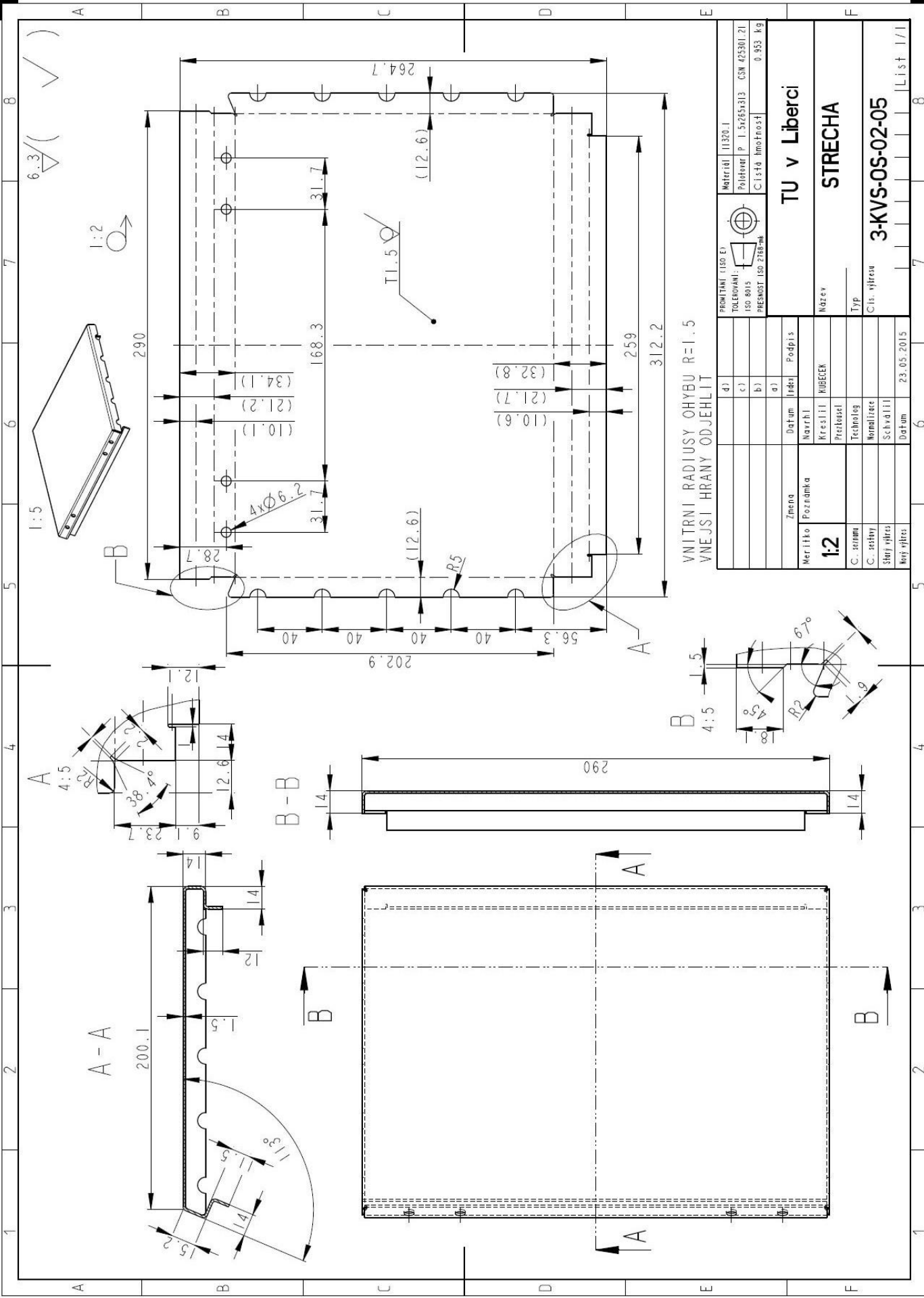
VNITRNI RADIUSY OHYBU R=3
VNEJSI HRANY ODJEHLIT

PROJEKTANT (ISO E)		MATERIÁL (ISO E)	
TOLEOVÁNÍ:		POLHĚVOR P 34376635 CSN 42530.11	
PŘEMOST ISO 2788-mk		ČISTÁ Hmotnost 4.239 kg	
Změna		Datum	
4)	Podpis	Podpis	
c)	Navrhl	Kreslil	
b)	Technolog	KUBECEK	
a)	Normalizace	Technolog	
Značka		Datum	
Poznamka		Schválil	
1:5		Datum 21.05.2015	
C. sestavy		Typ	
šňůry výřezu		C. výřezu	
Nový výřez		3-KVS-05-02-01	
		Líst 1/1	

TU v Liberci

NOSNA PRICKA

3-KVS-05-02-01

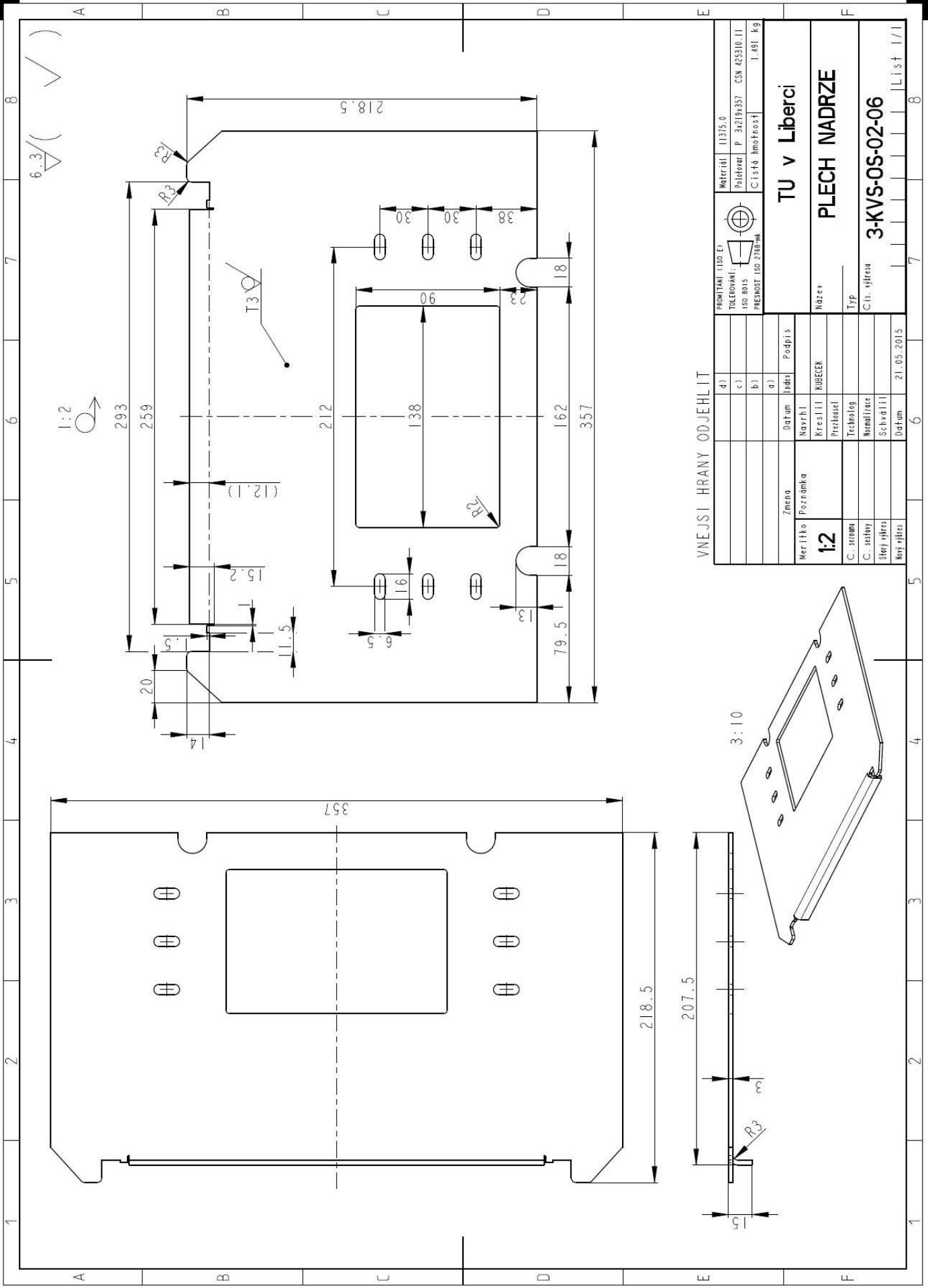


VNITRNI RADIUSY OHYBU R=1.5
VNEJSI HRANY ODJEHLIT

PROJEKTANT (ISO E)	11320.1	MATERIÁL (ISO E)	11320.1
TOLEOVÁNKI:	ISO 8015	POHĽAD P.	1.5x265x313
PREMOSŤ ISO 2788-PM		ČISTÁ HŔMOSŤ	0.933 kg
TU v Liberci			
STRECHA			
Zmena	Datum	Jedzo	Podpis
Meritko	Poznámka	Navrhl	KUBICEK
1:2		Kreslil	
C. strom		Technolog	
C. osady		Normalizace	
Stroj výřez		Schválil	
Nový výřez		Datum	23.05.2015

6.3/ (✓)
1:2
1:5
TI.5
4xØ6.2
R2
R5
A
B
A-A
B-B
B

1 2 3 4 5 6 7 8
A B C D E F
List 1/1

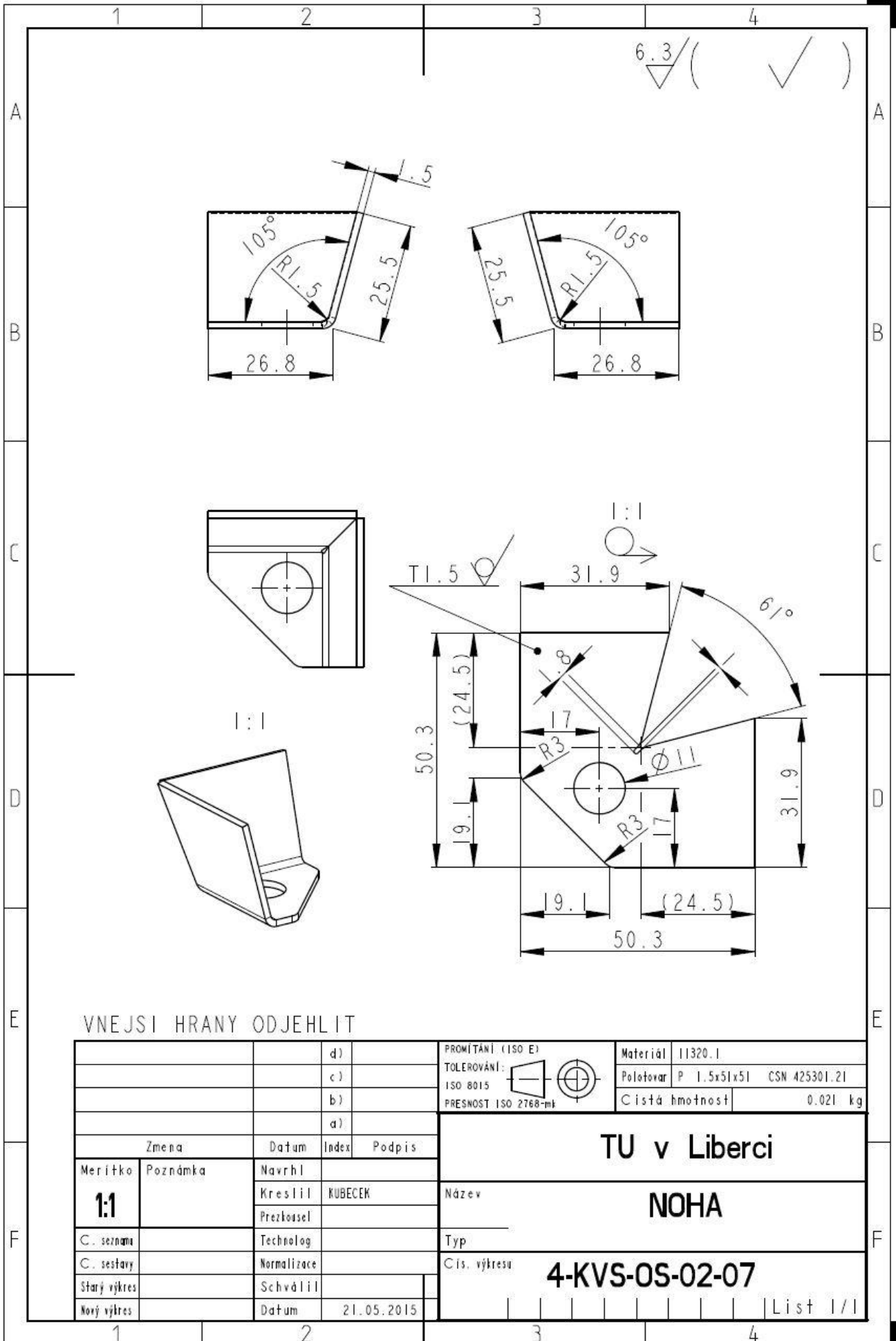


VNEJSI HRANY ODJEHLIT

d)	PROJEKTANT (1:50 E)	Metrička	11375-0
c)	TELEFONNÍ	Polohovar	P 3x2(9x357 CSN 425310.11
b)	ISO 8015	C 1310	Imofrost
a)	PŘESNOST ISO 2768-mk		1,481 kg
Zmena		Datum	Podpis
Meritko	Priznamka	Navrhl	RUBECEK
1:2		Prelozil	
C. strana		Technolog	
C. sestavy		Napilicac	
Stray vyfres		Schvalil	
Novy vyfres		Datum	21.05.2015

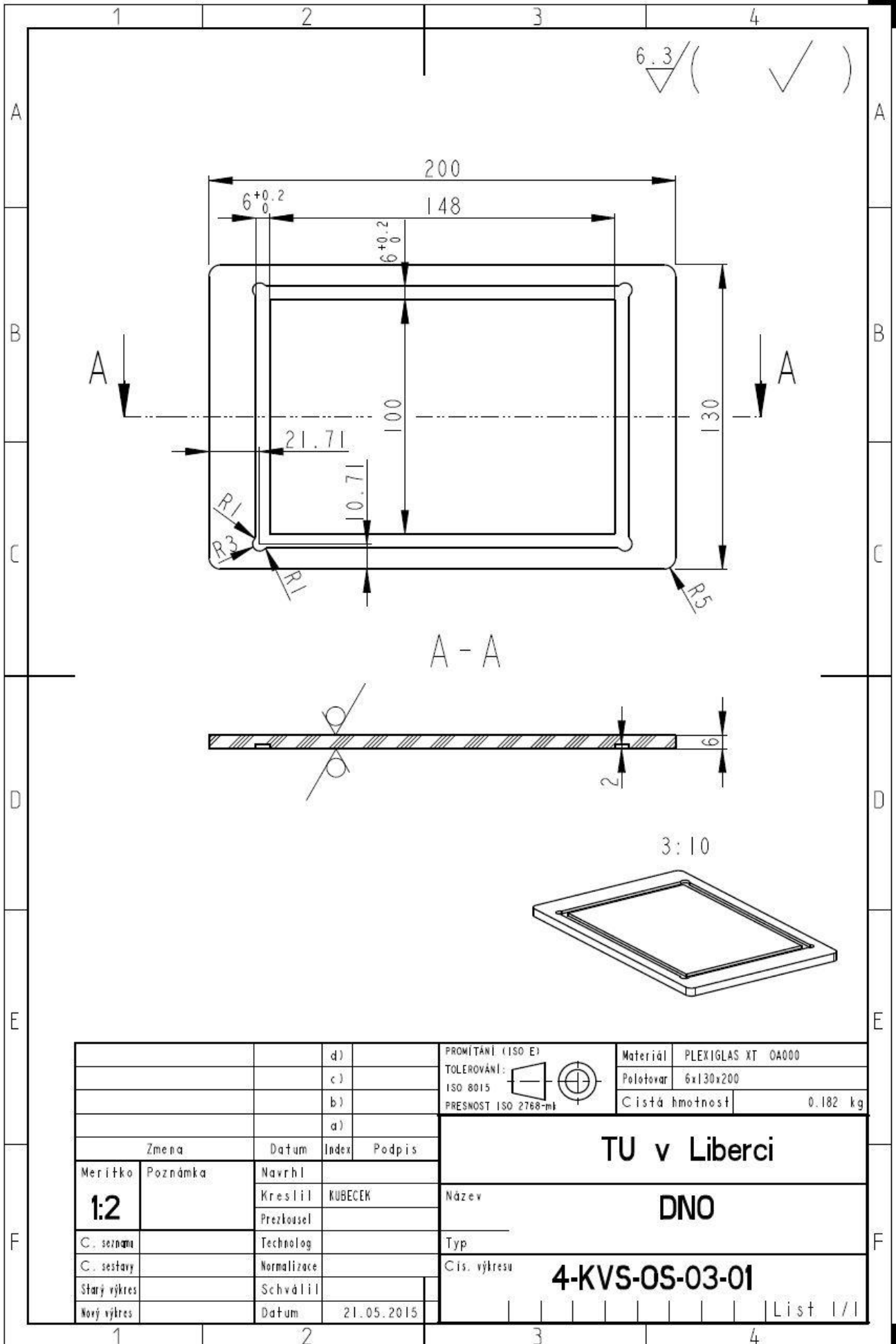
TU v Liberci
PLECH NADRZE
3-KVS-05-02-06

1/1



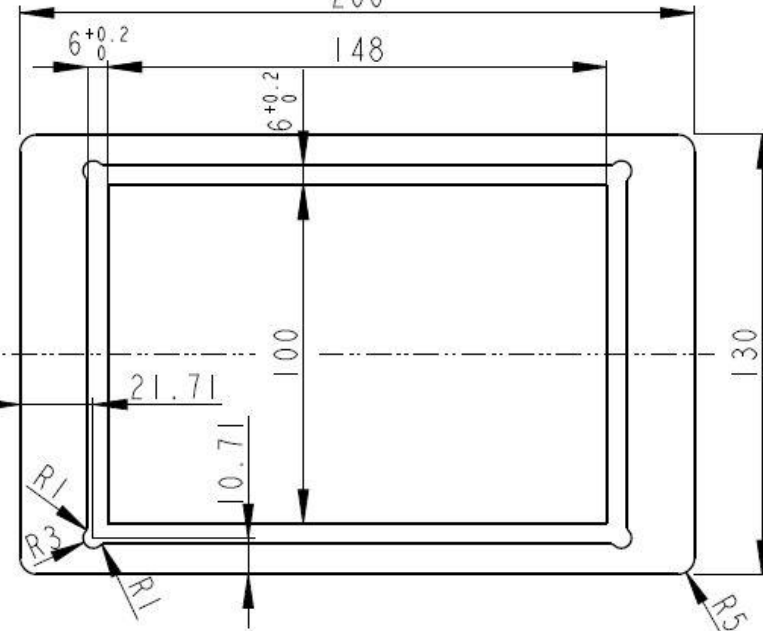
VNEJSI HRANY ODJEHLIT

		d)		PROMĚTANÍ (ISO E)	Materiál	11320.1
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovar	P 1.5x51x51 CSN 425301.21
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.021 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mk		
Zmena		Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Merítka	Poznámka	Navrhl				
1:1		Kreslil	KUBECEK		NOHA	
		Prezkoušel				
C. seznam		Technolog			4-KVS-0S-02-07	
C. sestavy		Normalizace				
Starý výkres		Schválil			List 1/1	
Nový výkres		Datum	21.05.2015			

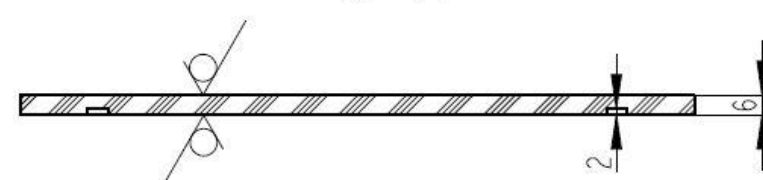


6.3 / (✓)

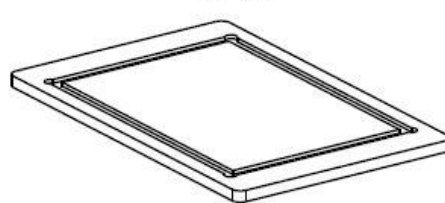
200
148



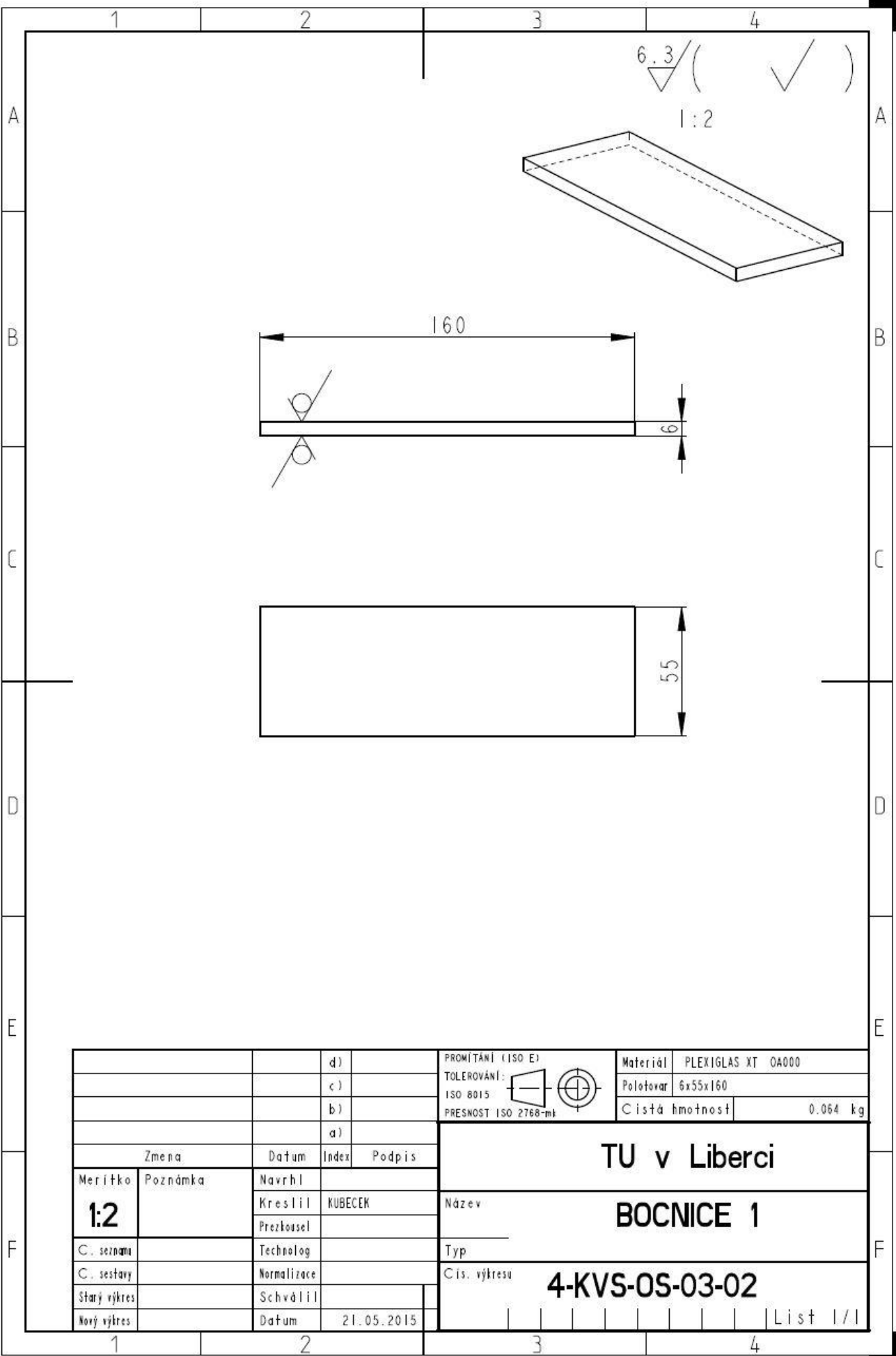
A - A



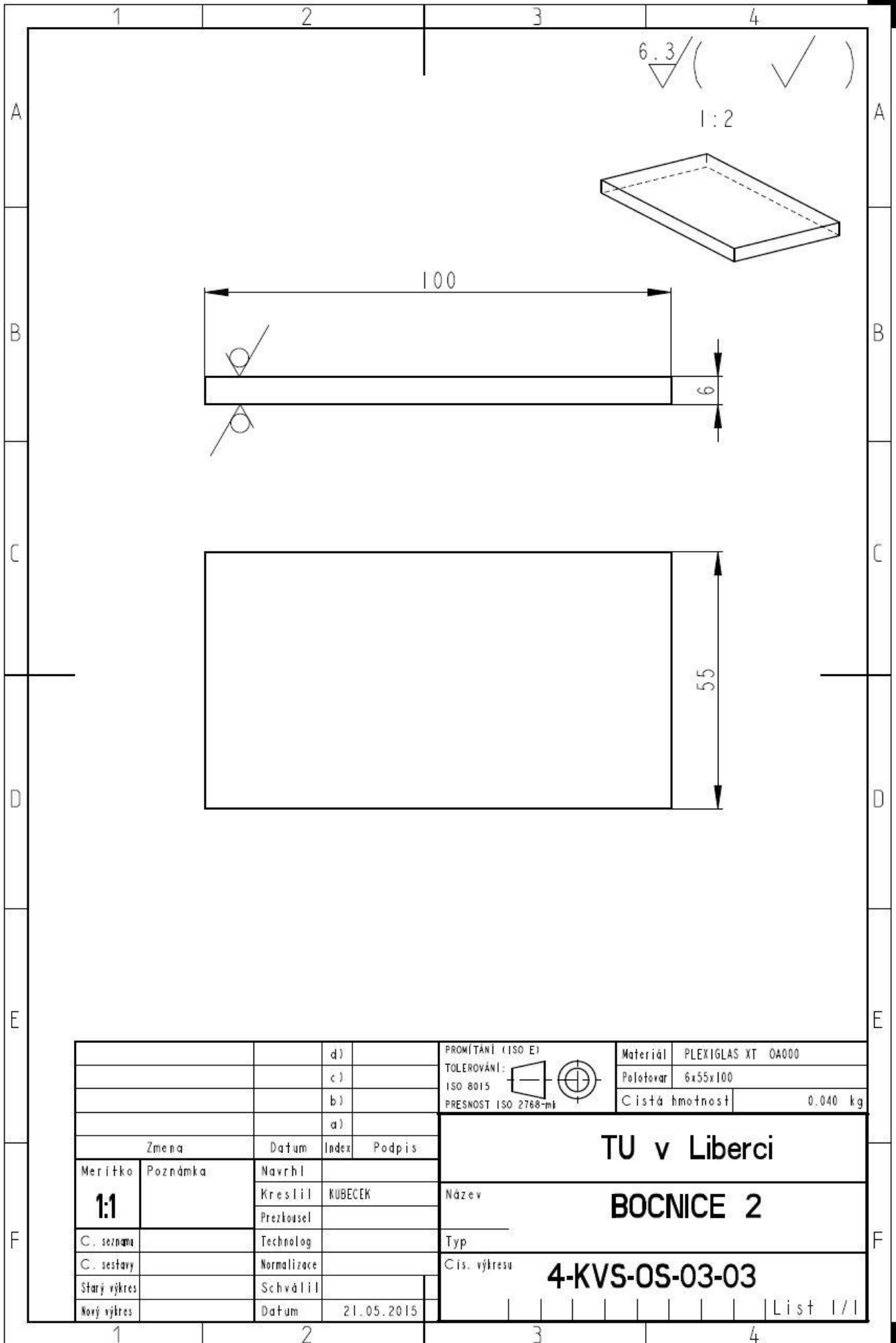
3:10



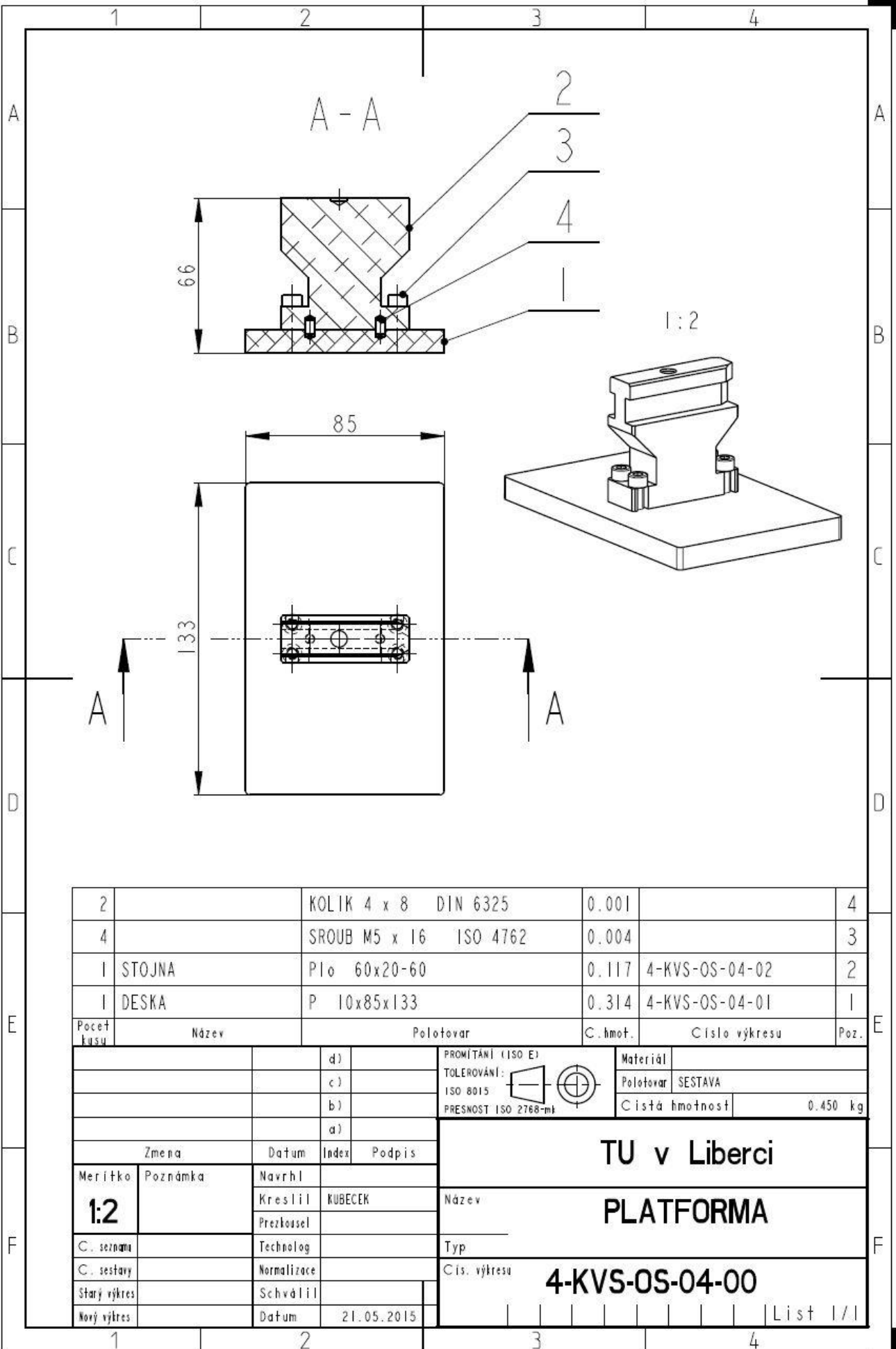
		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	PLEXIGLAS XT 0A000
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	6x130x200
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.182 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mk		
	Změna	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
1:2		Kreslil	KUBECEK	Název	4-KVS-05-03-01	
C. seznam		Prezkoušel		Typ		
C. sestavy		Technologie		Cis. výkresu		
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil				
		Datum	21.05.2015			



		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	PLEXIGLAS XT 0A000
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	6x55x160
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.064 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mL		
Zmena		Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
1:2		Kreslil	KUBECEK		4-KVS-05-03-02	
C. seznam		Technolog				
C. sestavy		Normalizace				
Starý výkres		Schválil				
Nový výkres		Datum	21.05.2015			

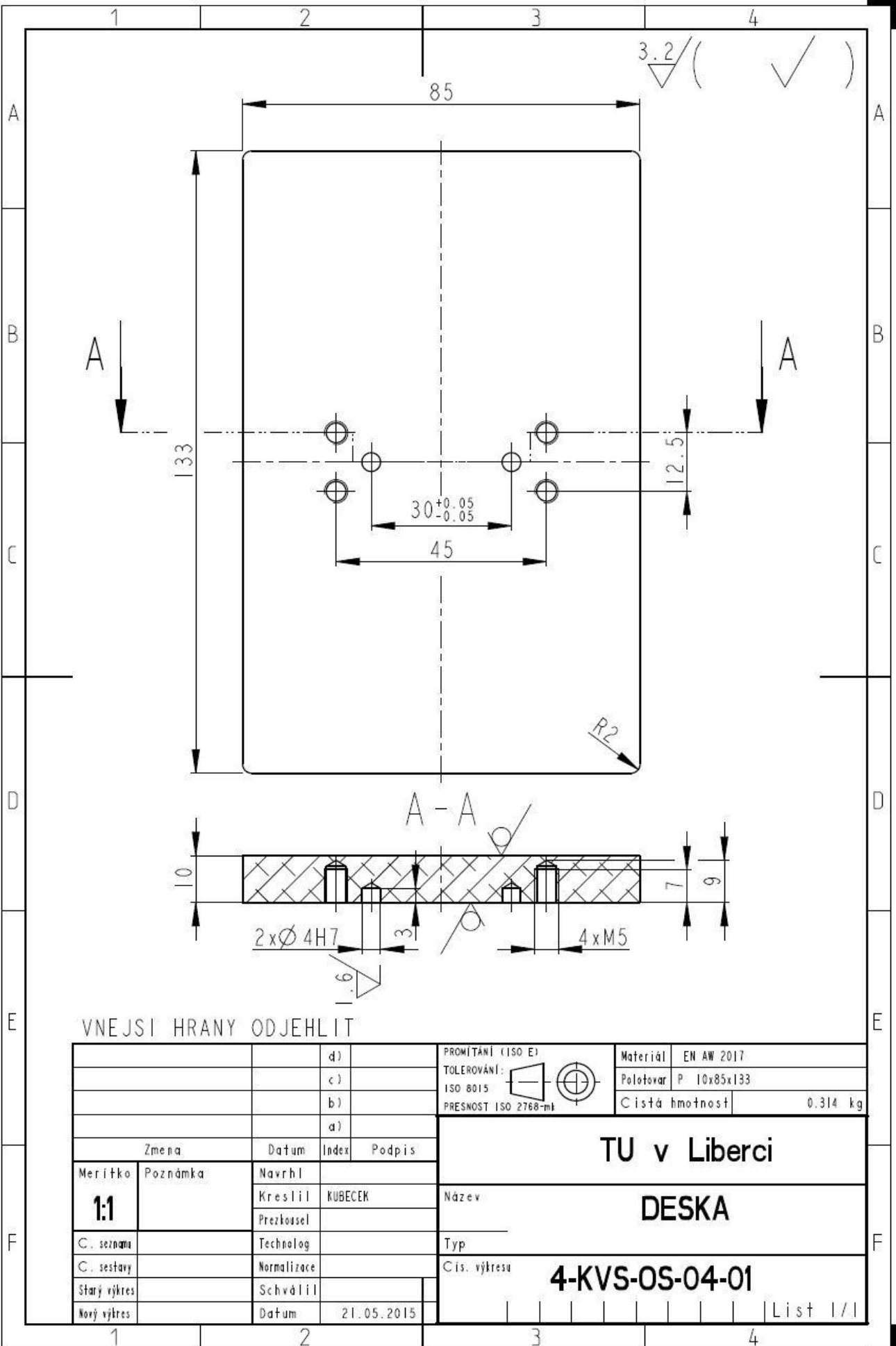


		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	PLEXIGLAS XT 0A000
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	6x55x100
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0,040 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mL		
	Změna	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
1:1		Kreslil	KUBECEK		4-KVS-0S-03-03	
C. seznam		Przkoušel				
C. sestavy		Technolog			Cis. výkresu	
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil			List 1/1	
		Datum	21.05.2015			



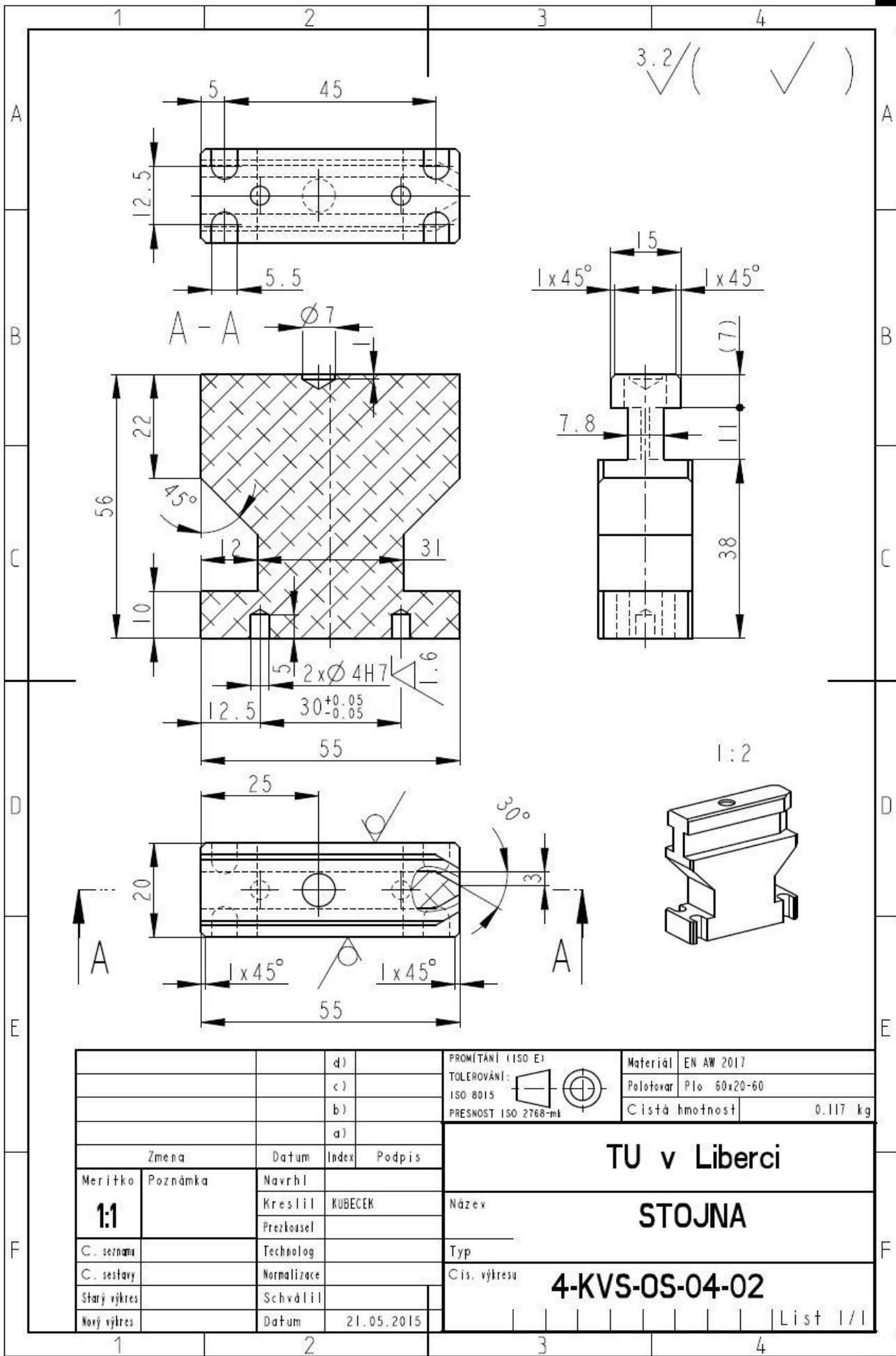
2		KOLIK 4 x 8 DIN 6325	0.001		4
4		SROUB M5 x 16 ISO 4762	0.004		3
1	STOJNA	PI 60x20-60	0.117	4-KVS-OS-04-02	2
1	DESKA	P 10x85x133	0.314	4-KVS-OS-04-01	1
Pocet kusu	Název	Polotovary	C.hmot.	Císlo výkresu	Poz.

		d)	PROMĚTÁNÍ (ISO E)		Materiál
		c)	TOLEROVÁNÍ:		Polotovary
		b)	ISO 8015		SESTAVA
		a)	PŘESNOST ISO 2768-mS		Cistá hmotnost
					0.450 kg
Zmena		Datum	Index	TU v Liberci	
Merítko	Poznámka	Navrhil	Název		
1:2		Kreslil KUBECEK	PLATFORMA		
C. seznam		Prezkoušel	Typ		
C. sestavy		Technolog	Cís. výkresu		
Starý výkres		Normalizace	4-KVS-OS-04-00		
Nový výkres		Schválil	List 1/1		
		Datum	21.05.2015		

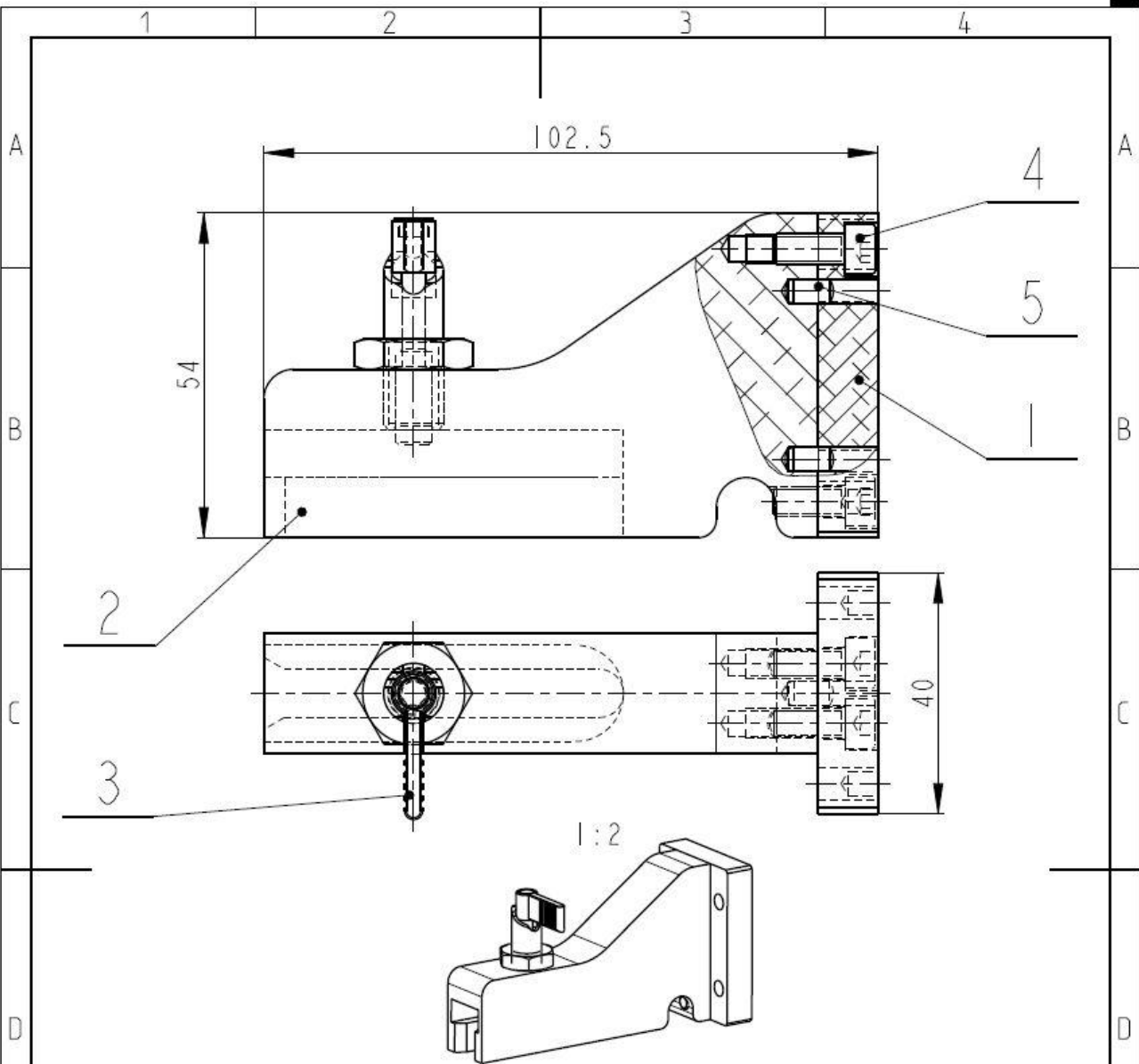


VNEJSÍ HRANY ODJEHLIT

		d)		PROMĚTÁNÍ (ISO E)	Materiál	EN AW 2017
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovár	P 10x85x133
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.314 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mS		
	Změna	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Merítko	Poznámka	Navrhl				
1:1		Kreslil	KUBECEK		4-KVS-05-04-01	
C. sestavy		Prezkoušel				
Starý výkres		Technolog				
Nový výkres		Normalizace				
		Schválil				
		Datum	21.05.2015			



		d)		PROMĚTANÍ (ISO E)	Materiál	EN AW 2017
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovary	Plo 60x20-60
		b)		ISO 8015	Cistá hmotnost	0.117 kg
		a)		PRESNOST ISO 2768-mS		
	Zmena	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci	
Meritko	Poznámka	Navrhl				
1:1		Kreslil	KUBECEK	Název	4-KVS-0S-04-02	
C. seznam		Prezkoušel		Typ		
C. sestavy		Technologie		Cis. výkresu	List 1/1	
Starý výkres		Normalizace				
Nový výkres		Schválil			List 1/1	
		Datum	21.05.2015			

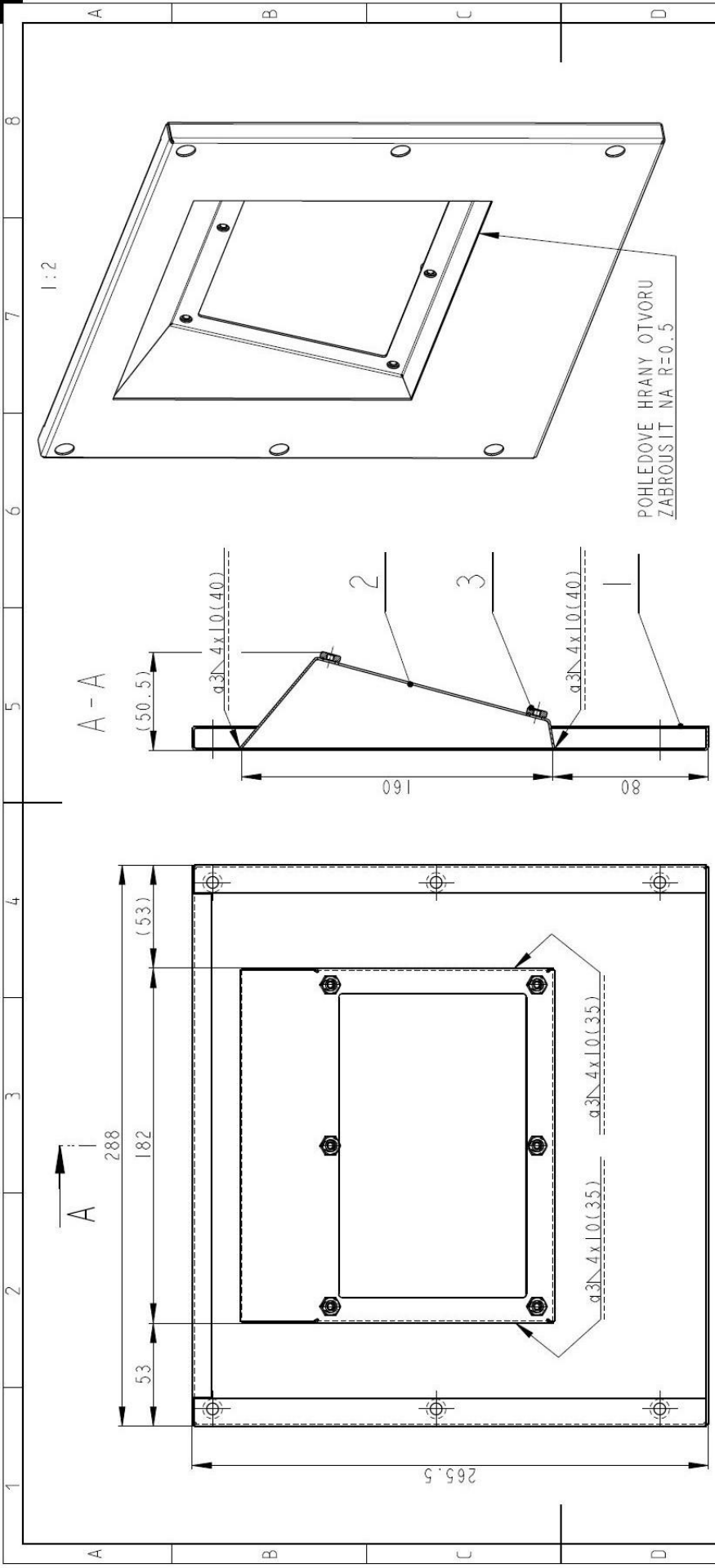


2		KOLIK 4 x 8 DIN 6325	0.001		5
4		SROUB M5 x 12 ISO 4762	0.004		4
1	PRUZINOVY PISTEK	6/M10/10	0.029	GN 612 M10 AK	3
1	KONZOLA	P 20x54x93	0.143	4-KVS-OS-05-02	2
1	DESKA KONZOLY	P 10x40x54	0.052	4-KVS-OS-05-01	1

Pocet kusů	Název	Polotovary	C. hmot.	Císlo výkresu	Poz.
------------	-------	------------	----------	---------------	------

		d)		PROMÍTANÍ (ISO E)	Materiál
		c)		TOLEROVÁNÍ:	Polotovary
		b)		ISO 8015	SESTAVA
		a)		PRESNOST ISO 2768-mL	Cistá hmotnost
					0.239 kg

Zmena		Datum	Index	Podpis	TU v Liberci
Meritko	Poznámka	Navrhl			
1:1		Kreslil	KUBECEK		KONZOLA PLATFORMY
C. seznam		Prezkoušel			Typ
C. sestavy		Technolog			Cís. výkresu
Starý výkres		Normalizace			4-KVS-OS-05-00
Nový výkres		Schválil			
		Datum	21.05.2015		List 1/1



MATICE USADIT DO OTVORU A ZAVARIT
ROHY ZAVARIT A ZABROUSIT DO ROVINY

6	MATICE M4	DIN 929	0.001	0.001	3
1	PLECH PANELOU	P 1x198x289	CSN 425301.21	0.226	3-KVS-0S-06-02
1	PLECH PREDNI	P 1x295x335	CSN 425301.21	0.531	3-KVS-0S-06-01

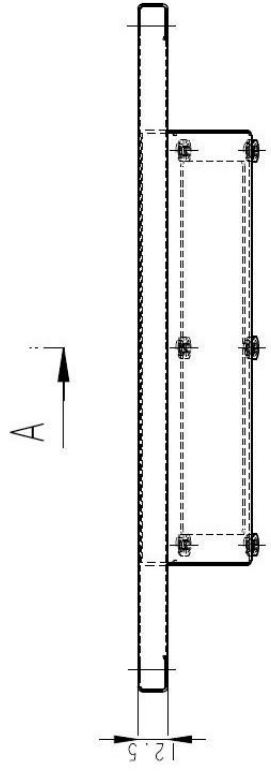
Pocet kusů	Název	Polohovar	C.hmot.	Císlo výřezu	Poz.

d)	PROMĚTANÍ (ISO E)	Materiál
c) <td>TOLEROVÁNÍ <td>Polohovar</td> </td>	TOLEROVÁNÍ <td>Polohovar</td>	Polohovar
b) <td>ISO 8015 <td>SVAREK</td> </td>	ISO 8015 <td>SVAREK</td>	SVAREK
a) <td>PŘESNOST ISO 2768-mH <td>Císlová hmotnost</td> </td>	PŘESNOST ISO 2768-mH <td>Císlová hmotnost</td>	Císlová hmotnost
		0.766 kg

Zmena	Datum	Jedez	Podpis

Meritko	Poznámka	Navrhil	KRIBEČEK	Název
1:2				

C. seznam	Tech. log	Normalizace	Schválil	Datum
				21.05.2015



TU v Liberci

KRYT PREDNI

3-KVS-0S-06-00

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

4

3

2

1

8

7

6

5

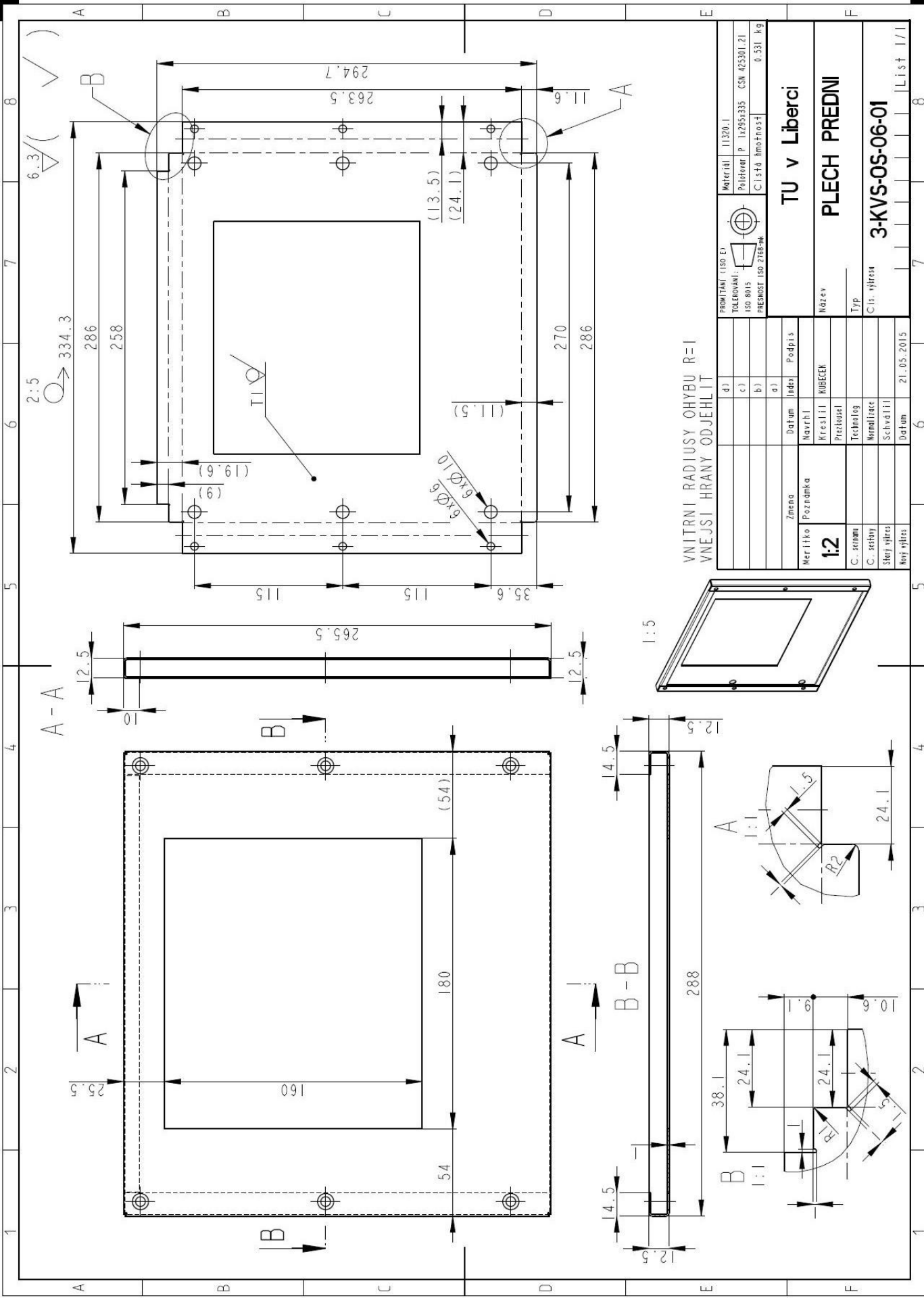
4

3

2

1

8



VNITRNI RADIUSY OHYBU R=I
VNEJSI HRANY ODJEHLIT

PROJEKTANT (ISO 6)	11320-1	PROJEKTANT (ISO 6)	11320-1
TOLEOVANÍ	ISO 8015	POLOŽEVAR P	1425x335 CSN 425301.21
PREMĚR	ISO 2788-mk	ČISTOTA	hmotnost 0.531 kg
Změna	Index	Podpis	
Meritko	Poznámka	Navrhl	KRESLEČEK
C. seznam	1:2	Technologie	
C. sestavy		Normalizace	
Štýl výřezu		Schválil	
Nový výřez		Datum	21.05.2015

TU v Liberci
PLECH PŘEDNÍ

3-KVS-05-06-01

8
7
6
5
4
3
2
1

1
2
3
4
5
6
7
8

8
7
6
5
4
3
2
1

