

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh přípravků pro zkoušení mechanických vlastností materiálů
používaných v letectví

Autor: **Matěj TOPIČ**
Vedoucí práce: **Ing. Michal KŘÍŽEK, Ph.D.**


Akademický rok 2018/2019

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne: 22. 5. 2019


.....

podpis autora

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Matěj TOPIČ**

Osobní číslo: **S15B0351P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**

Název tématu: **Konstrukce přípravku pro testování mechanických vlastností sendvičových panelů užívaných v leteckém průmyslu**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Navrhněte přípravek, který bude používán pro provádění zkoušek mechanických vlastností sendvičových panelů. Přípravky musí vyhovovat zkouškám používaných na materiály v letectví. Dále navrhněte postup používání přípravků v souladu s těmito normami.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Normy pro zkoušení mechanických vlastností sendvičových panelů používaných v letectví
2. Konstrukční návrh přípravků
3. Návrh postupů pro zkoušky
4. Zhodnocení práce, závěr

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

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1.. Brno: Computer Press, 1999

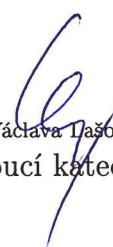
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Křížek, Ph.D.**
Regionální technologický institut
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michal Dufek**
Zodiac Aerospace, Plzeň

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

Poděkování

V první řadě bych poděkoval Ing. Michalu Křížkovi, Ph.D. a Ing. Michalu Dufkovi za spolupráci, cenné rady, vstřícnost a asistenci při zpracovávání této bakalářské práce.

Na závěr bych chtěl zároveň poděkovat firmě Safran Cabin CZ za poskytnutí pracovních prostředků a podkladů ke zpracování této bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Topič	Jméno Matěj	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba výrobních strojů“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Křížek, Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh přípravků pro zkoušení mechanických vlastností materiálů používaných v letectví		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	50	GRAFICKÁ ČÁST	14
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje rešerši zabývající se normami zkušebních metod sendvičových panelů a konstrukční návrh přípravku pro testování sendvičových panelů. Práce dále obsahuje výkresovou dokumentaci přípravku pro testování sendvičových panelů</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Sendvičové panely, normy metod testování sendvičových panelů, přípravky pro testování sendvičových panelů.</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Topič	Name Matěj	
FIELD OF STUDY	B2301 “ Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Křížek, Ph.D.	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of a fixture for testing mechanical properties of sandwich panels in aviation industry		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	50	GRAPHICAL PART	14
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis includes recherche describes standard test methods of sandwich panels. Thesis also includes the design fixture for testing sandwich panels and drawing documentation of fixture for testing sandwich panels.
KEY WORDS	Sandwich panels, standard test methods of sandwich panels, fixtures for testing sandwich panels.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Safran Cabin CZ	11
2.1	Historie firmy	11
2.2	Specializace firmy	12
3	Sendvičové panely	13
3.1	Základní konstrukce sendvičových panelů.....	13
3.2	Druhy poruch sendvičových panelů	14
3.2.1	Poruchy při tečném zatížení tlakem.....	14
3.2.2	Poruchy při normálovém zatížení	16
3.3	Výroba sendvičových panelů.....	16
3.4	Výhody a nevýhody použití sendvičových panelů	17
4	Metody zkoušení sendvičových panelů a jejich normy	17
4.1	Obecné principy zkoušení	17
4.2	Základní požadavky na testovaný materiál	19
4.2.1	Požadavky na jádro panelu	19
4.2.2	Požadavky na vnější stěny panelu	19
4.2.3	Požadavky na zpracování panelů.....	20
4.3	Nejčastěji používané zkušební metody sendvičových panelů	20
4.3.1	Zkouška třibodovým ohybem	20
4.3.2	Zkouška čtyřbodovým ohybem	21
4.3.3	Zkouška navíjením na válec	22
4.3.4	Zkouška tahem naplocho	24
4.4	Zkouška namáháním čtvercového plochého vzorku smykem pomocí kloubového systému.....	26
5	Konstrukční návrh.....	29
5.1	Zadané parametry	29
5.1.1	Materiál vzorku.....	29
5.1.2	Rozměry vzorku.....	29
5.1.3	Stroj použitý pro zkoušku	30
5.1.4	Připojovací rozměry stroje.....	31
5.2	Konstrukční návrh vzorku	31
5.2.1	Volba varianty vzorku	31
5.2.2	Konstrukční návrh vzorku	33

5.3	Konstrukční návrh přípravku.....	34
5.3.1	Návrh konstrukce přípravku	34
5.3.2	Kontrola čepů.....	37
5.3.3	Kontrola koncovek.....	41
5.3.4	Kontrola příložek	44
5.3.5	Kontrola šroubů	49
5.3.6	Kontrola matic	49
6	Návrh postupu pro testování	50
6.1	Montáž	50
6.2	Zatěžování vzorku	51
6.3	Demontáž.....	51
6.4	Vyhodnocení výsledků	52
7	Zhodnocení práce a závěr	53
8	Seznam použité literatury	54
8.1	Publikace na internetu	54
8.2	Knižní publikace.....	55
8.3	Placené normy a firemní dokumenty.....	55
9	Seznam obrázků	56
10	Seznam tabulek	57
11	Seznam příloh.....	58
11.1	Vázané.....	58

1 Úvod

První část této práce se zabývá rešerší z oblasti norem testování materiálů používaných v letectví, a to specificky sendvičových panelů, základními principy rozdělení zkoušek, stavbou samotných sendvičových panelů, jejich výhody použití v praxi, dále také zkráceným popisem firmy, která tyto panely vyrábí a je zároveň zadavatelem této bakalářské práce. Druhá část této práce se týká praktické části, tedy zabývá se podrobnější problematikou samotné normy zkušební metody a konstrukcí daného přípravku.

Sendvičové panely jsou kompozitním materiálem, který je jedním z nejvýznamnějších materiálů užívaných pro konstrukci interiérů v letadlech, zejména firmou Safran Cabin CZ s.r.o. Tyto panely tvoří většinu základní konstrukce produktů, které tato firma dodává. Na produkty, které jsou do letadel dodávány, jsou kladeny velké nároky na bezpečnost pro posádky letadel, jsou definovány mnoha předpisy, které tyto produkty musí splňovat. Produkty tedy musí projít rozsáhlým testováním, aby bylo možné obhájit jejich bezpečné použití v leteckém průmyslu tak, aby nedošlo k ohrožení posádky letadla. Mezi tyto požadavky patří zejména požadovaná pevnost a tuhost struktur těchto produktů, které jsou doprovázeny rozsáhlým množstvím mechanických zkoušek jak samotných použitých materiálů, tak celých struktur produktů. Sendvičové panely používané pro konstrukci, které jsou ve firmě vyráběny, musí být tedy testovány, aby bylo možné kontrolovat, zda mají stále požadované vlastnosti a splňují nároky na kvalitu výroby, zejména při zavádění nových výrobních postupů. K již zmíněnému testování je tedy nutné mít speciální přípravky pro upínání vzorků materiálu tak, aby bylo možné dojít ke správnému provedení zkoušek.

2 Safran Cabin CZ

2.1 Historie firmy

Tato firma působila na trhu již od roku 1938 pod původním jménem Driessen jako holandská instalatérská firma, která později v roce 1946 začala vyrábět produkty do letadel - původně trouby a skleněné stojany. Později se však firma rozvíjela a rostla a došlo ke vzniku druhé továrny, kde se vyráběly vozíky.

Již v 80. letech začala firma dodávat své výrobky nejznámějším výrobním společnostem, jako jsou Boeing a Airbus, a v roce 1986 otevřela další pobočku v Thajsku. Později také došlo k založení mnoha továren v USA, Mexiku a Holandsku. Následným skoupením britské společnosti Dyer Engineering, se stala firma skutečnou mezinárodní společností.

V Plzni se tato firma objevila v roce 2001, kdy na Borských polích byla postavena první výrobní hala, kde se vyráběli kuchyňské moduly, šatní skříně a odpočinkové moduly, převážně pro letadla firmy Airbus.

V roce 2008 se společnost Driessen stala součástí francouzské společnosti Zodiac Aerospace a součástí změny této společnosti byla také změna jejího jména na v Plzni už známější jméno ZODIAC GALLEYS EUROPE. V roce 2011 firma získala významný kontrakt a to exkluzivně dodávat kuchyňské moduly pro nový typ letadel Airbus A320, což přispělo k jejímu růstu a přibytí dalších dvou výrobních hal v Plzni.

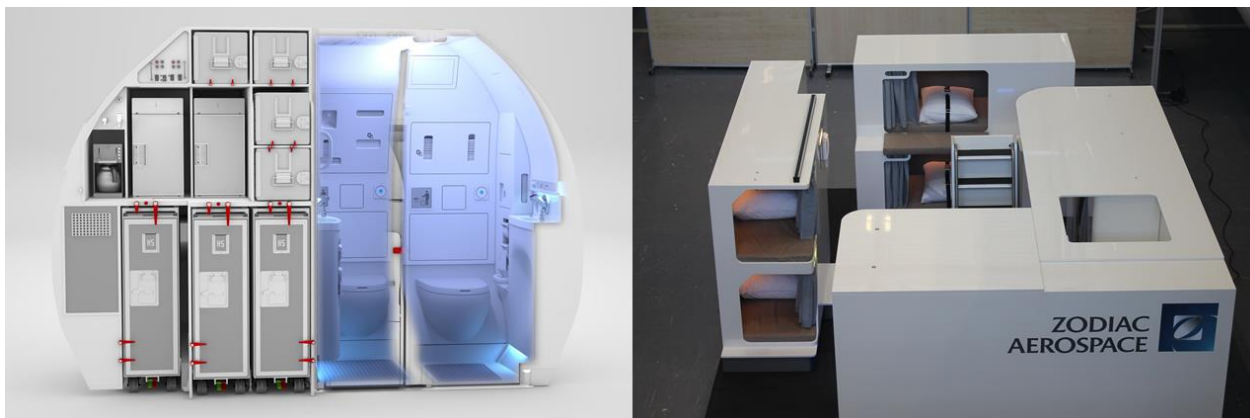
V únoru roku 2018 se společnosti Zodiac Aerospace a Safran spojily v jednu společnost a staly se tak 3. největší leteckou společností na světě, což mělo za následek další změnu názvu této plzeňské firmy na výše uvedený Safran Cabin CZ.



Obrázek 1 - Firma Safran Cabin CZ

2.2 Specializace firmy

Firma Safran Cabin CZ se momentálně zabývá zejména výrobou kuchyňských modulů, šatních skříní, odpočinkových modulů pro piloty a také toaletních kabinek do letadel. Z největší části se jedná o výrobu vybavení do letadel Airbus A320, které v poslední době tvoří největší množství zakázek.



Obrázek 2 - Produkty ze sendvičových panelů

Ačkoli se může zdát, že se jedná o jednoduché stavební konstrukce, není to tak. Tyto produkty musí splňovat mnoho bezpečnostních kritérií, do kterých patří dostatečná pevnost a tuhost mechanických struktur, při speciálních podmínkách v kritických situacích, kdy v letadle vzniká přetížení až 9G a je nutno zaručit jak spolehlivost produktů, a tak i bezpečnost posádky. Jak už bylo zmíněno, s pevností těchto struktur velmi souvisí mechanické vlastnosti samotného sendvičového panelu, který je zde vyráběn a je základním stavebním prvkem těchto struktur. Proto je nutné detailně testovat vzorky těchto panelů, aby bylo možné nejen předvídat chování materiálu v pevnostních analýzách, ale také zároveň zaručit specifickou kvalitu produktu.



Obrázek 3 - Testování konstrukce sendvičového panelu na zatížení 9G

3 Sendvičové panely

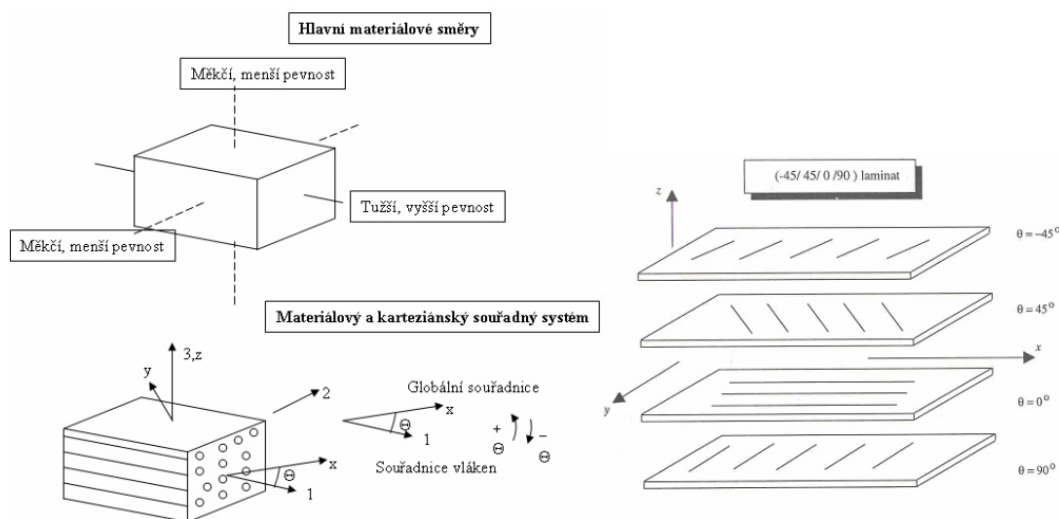
3.1 Základní konstrukce sendvičových panelů

Sendvičové panely jsou velmi známým kompozitním materiálem. Kompozitním materiálem je tedy míněno, že jde o kombinaci několika komponent (dvou a více) z různých druhů materiálu k vytvoření jednotné struktury a dosažení specifických vlastností, kterými se tyto materiály samostatně nevyznačují. Kombinací tedy lze získat unikátní vlastnosti, kterých by nebylo možno dosáhnout použitím jednotlivých materiálů. Kompozitní materiál tedy tvoří většinou dvě základní složky, a to matrice a výztuha.

Matrice plní formu výplně a zároveň pojiva s výztuží. Pro matrici se nejčastěji používají materiály jako je Epoxid, Bismaleimid a polyamid. Každý z těchto materiálů disponují svými specifickými vlastnostmi, což úzce souvisí s jejich oblastmi použití.

Výztuha, jak už lze z názvu očekávat, kompozitní strukturu vyztužuje. Nejčastěji je tvořena vlákny, která jsou překládána či splétána. Pro tato vlákna používáme mnoho materiálů, nejnámějšími však jsou sklo, uhlík, aramid a bor. Stejně tak jako u materiálů matrice má každý materiál význačné vlastnosti, které definují vhodnost jejich použití pro specifické případy.

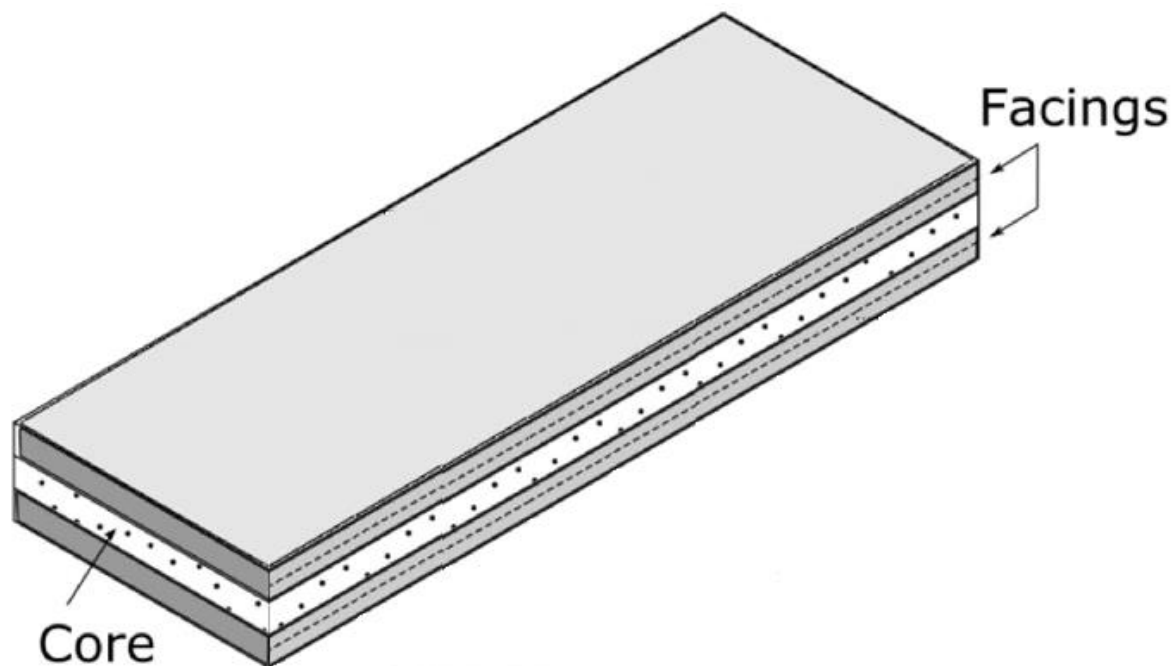
Spojením těchto dvou složek tedy kompozit získává vlastnosti, které víceméně vychází z vlastností a geometrie uspořádání původních složek materiálů. Specifickou geometrií vláken dochází k tomu, že kompozit získává izotropní vlastnosti, lze tedy očekávat, že materiál bude v různých směrech zatížení nabývat různých vlastností.



Obrázek 4 - Ukázka příkladného mechanického chování kompozitu [2]

Sendvičové panely jsou tedy specifický způsob tvoření kompozitní konstrukce. V podstatě jde o spojení dvou prvků, a to dvou vnějších tenkých desek mezi nimiž je vrstva výplně. Ta je s těmito deskami na obou stranách spojena a plní mezi nimiž distanční funkci, čímž význačně zvyšuje tuhost v ohybu ve směru zatížení kolmo na rovinu desek. Zároveň také zvyšuje odolnost ve smyku, tím že zachycuje a rozvádí síly působící kolmo na desku.

Tyto sendvičové panely tedy finálně disponují velmi dobrými tuhostními vlastnostmi ve smyku a v ohybu a velmi nízkou hmotností materiálu. Tyto vlastnosti jsou velmi vhodné pro použití v leteckém průmyslu, proto se v něm používají už déle než 60 let.



Obrázek 5 - Schéma konstrukce sendvičového panelu [4]

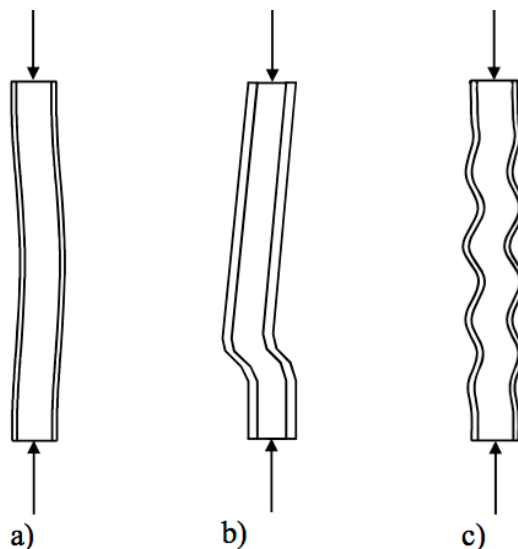
3.2 Druhy poruch sendvičových panelů

3.2.1 Poruchy při tečném zatížení tlakem

Je třeba si uvědomit, že kompozitní materiály, nevykazují příliš velké poddajné deformace jako je tomu například u kovů. Při velkém zatížení u nich dochází velmi často ke ztrátě stability konstrukce tzv. buckling.

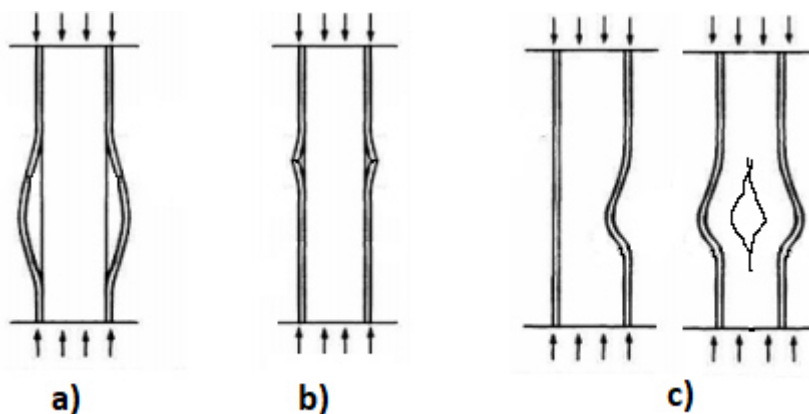
Z průzkumů, které byly v této době provedeny, vzniká při zatížení v tlaku mnoho různých způsobů porušení struktury. Obecně je možné je rozdělit na dvě skupiny, a to jsou nestabilita a materiálová porucha struktury.

Nestabilita se projevuje hlavně ztrátou stability celku (obr. a), vytvořením smykového lemu (obr. b) či zvlnění vnější desky (obr. c). Ve všech případech jde vlastně o průhyby nebo vlnění desky vlivem tlaku.



Obrázek 6 - Typy materiálové nestability při zatížení tlakem [3]

Materiálová porucha je většinou zapříčiněna velmi odlišnými vlastnostmi materiálů, kdy se naruší spojení dvou materiálů, nebo se naruší jeden ze dvou spojených materiálů a následně druhý přestane plnit svou funkci. Jedná se tedy o tři druhy: odtržení vnějších vrstev od výplně a jejich následné vyboulení (obr. a) vlivem nedostatečné pevnosti lepidla), materiálovou poruchou vnějších vrstev (obr. b) kdy je výplň velmi tvárná a vnější vrstva velmi křehká) a poruchou materiálové výplně a následné vyboulení vnějších vrstev (obr. c) vlivem nedostatečné pevnosti a houževnatosti jádra, jádro se roztrhne).



Obrázek 7 - Typy materiálových poruch při zatížení tlakem [2]

3.2.2 Poruchy při normálovém zatížení

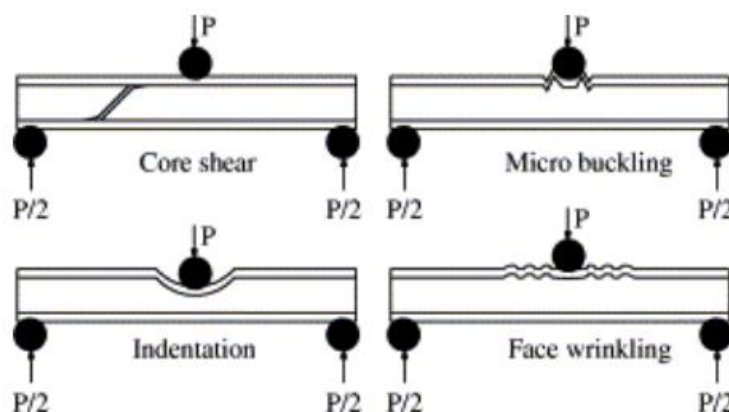
K dalším poruchám dochází v kolmém zatížení, zejména při tříbodovém ohybu. Zde se jedná o microbuckling, zvlnění desky, smyk jádra či protlačení.

Mirobuckling je porucha, která se projevuje při dosažení kritického axiálního napětí na tlačné straně, viz obrázek pod textem.

Zvlnění desky nebo také jinak wrinkling, jde o jemné zvlnění horní desky, obvykle pod zatěžovacím prvkem, viz obrázek dole.

Ke smyku jádra dochází nejčastěji v případech, kdy je jádro kompozitu znatelně křehčí než vnější desky, viz obrázek níže.

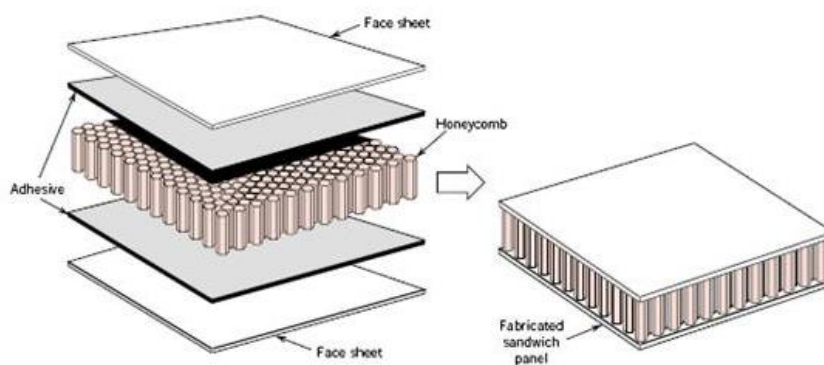
Protlačení je opačná situace smyku jádra. Dochází k němu v případě, kdy je jádro velmi měkké a není schopné rovnoměrně roznést zatížení, což má za následek zborcení struktury kolem znázorněno na obrázku pod textem.



Obrázek 8 - Typy materiálových poruch při normálovém zatížení [2]

3.3 Výroba sendvičových panelů

Výrobní postup sendvičových panelů je vcelku jednoduchý. Jde většinou o spojování tří vrstev materiálu, tedy jádra panelu a dvou vnějších vrstev za pomoci použití vhodného pojiva. Postup skládání vrstev je tedy vždy téměř stejný, jen se mění metoda vytvrzování pojiva. Ta se odvíjí od typu použitého pojiva, které za působení tlaku vytvoří spojení mezi jednotlivými vrstvami. Metoda používaná v Safran Cabin CZ využívá metody vytvrzování za pomoci tepla a tlaku. Zároveň jde o velmi zajímavou metodu rozprostírání pojiva, kdy je pojivo v tuhém stavu v podobě folie, takže jednotlivé vrstvy na sebe pouze stačí poskládat bez složitého roztírání pojiva. Takto poskládané vrstvy se pak už jen vloží do lisu, kde se za působení tlaku a tepla dosáhne pevného spojení vrstev. Tato metoda je nejen praktická z hlediska jednoduchosti výroby ale také z hlediska dopravy. Jednotlivé vrstvy se po několika metrech přepravují stočené v rolích a jádro samotné se vozí jako široký polotovár, který se před zpracováním naporcuje na jednotlivé vrstvy dle specifické požadované tloušťky.



Obrázek 9 - Schéma výroby sendvičového panelu [5]

3.4 Výhody a nevýhody použití sendvičových panelů

Jak už bylo zmíněno, mezi základní výhody sendvičových panelů patří jejich vysoká pevnost a tuhost v ohybu napříč jejich velmi nízké hustotě. Tento fakt je hlavním důvodem užití těchto materiálů v leteckém průmyslu. Díky nízké hmotnosti materiálu dochází k velmi značné úspoře paliva spojené s náklady na leteckou dopravu. Zároveň je dobré si uvědomit, že díky nízkým hmotnostem těchto struktur panelů dochází k mnohem nižším setrvačným silám, které vznikají při pohybu po kružnici nebo velkých zrychleních či zpomaleních letadla. Další výbornou vlastností těchto panelů je dobrá tepelná izolace a velmi dobrá obrobitelnost.

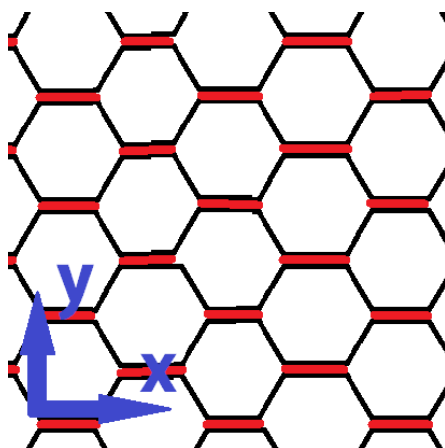
Co se týče nevýhod sendvičových panelů, nejvýznamnější problém je jejich recyklovatelnost. Tak jako je tomu u většiny kompozitních materiálů, po spojení už nelze oddělit výztuž (např. skelná vlákna) od matrice (např. pryskyřice). Další velmi nepříznivý vliv má tvorba odpadu při obrábění, který při vdechnutí může být karcinogenní.

4 Metody zkoušení sendvičových panelů a jejich normy

4.1 Obecné principy zkoušení

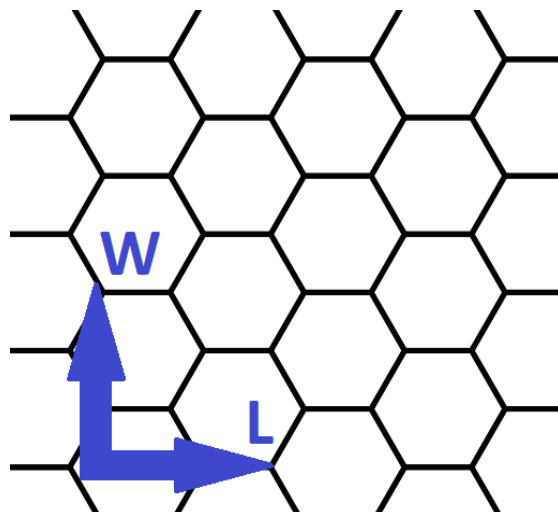
Každá zkouška má svou metodu a normu, podle kterých se testuje. Několik znaků mají tyto zkoušky společných, a ty je nutno znát pokud k pochopení podstaty zkoušek. Vzhledem k tomu, že kompozitní materiály mají mnohem složitější strukturu než čisté materiály nebo jejich sloučeniny, je mnohem složitější definovat kritéria odpovídající správnému výsledku zkoušky. Pokud je testována specifická vlastnost sendvičového panelu, měl by tomu být uzpůsoben testovací přípravek a podmínky testu. Například, pokud je záměrem zjistit mechanické vlastnosti panelu v ohybu, měl by být testovací přípravek uzpůsoben, tak aby panel nebyl vystavován čarovému styku válců. Tedy mělo by být užito přídatných plošek pod válce k lepšímu rozkladu zatížení tak, aby nedošlo k protlačení válce do panelu, než dojde k samotnému ohybu panelu. Takže pro danou zkoušku musí být jasně definovaný způsob výsledného poškození panelu, jinak výsledek zkoušky není vypovídající.

Další fakt, který je nutno vědět, je ten, že vzhledem k tomu, že sendvičové panely nemají homogenní strukturu, očekávatelně jejich chování ve všech směrech zatížení není stejné, a to často nejen ve srovnání při tečném a kolmém zatížení panelu, ale zároveň se může lišit i ve směrech ležících v rovině panelu. Tyto vlastnosti se odvíjejí hlavně od směru orientace vláken vnějších desek a stylu uspořádání geometrie struktury vnějšího panelu (jádra) a to hlavně v případě použití tzv. „honeycombu“, tedy vnitřní struktury jádra panelu v geometrii připomínající včelí pláštěv, která se ve firmě Safran Cabin CZ a obecně v letectví velmi často používá. Tato mřížka ve skutečnosti ani nevykazuje stejné vlastnosti při zatížení ve třech o 120° pootočených směrech zatížení, jak by se dalo očekávat za použití symetrické hexagonální struktury. Je to totiž zapříčiněno technologií výroby této struktury. Jde o lepení vrstev papírů, což výsledně vytváří dvojitou tloušťku stěn šestiúhelníku ve směru osy x, viz obrázek pod textem.



Obrázek 10 - Schéma ukazující odlišnou tloušťku stěn honeycombu

Znamená to tedy, že orientace panelů má velký vliv na výsledky zkoušky a je nutno materiál testovat v několika směrech a pro každý specifický směr definovat speciální vlastnosti. Proto je velmi nutné definovat směry orientace panelu a dodržovat je při testování. Postup testování používaný v Safran Cabin CZ používá orientační systém L a W. Jde o dva na sebe kolmé směry, tak jako na obrázku výše, ale je použito jen různých označení, aby nedošlo k záměně s označením globálního souřadnicového systému celé struktury produktu, který je z panelů vyroben. L je tedy v tomto případě rovnoběžné s osou x a všechny stěny s rovnoběžné s touto osou by měly mít dvojnásobnou tloušťku. W je pak rovnoběžné s osou y, tedy měl by to být směr, do kterého se roztahuje mřížka po slepení vrstev ležících na sobě. Tyto směry odpovídají směrům orientace panelu vyjmutého z lisu, které je nutno zároveň dodržovat i při výrobě, aby bylo možné určit orientaci panelu u samotného produktu. Reálně se používají směry tak, že je W rovnoběžné s osou stěny x nebo s osou stěny y. Je pak jednodušší s panely pracovat a zároveň uzpůsobit výrobu panelů tak, aby došlo k co nejmenšímu odpadu. Toto specifické označení orientace by mělo být poznamenáno v každém výrobním výkresu, jehož polotovarem je sendvičový panel a vyrobený produkt by měl správně výkresu odpovídat.



Obrázek 11 - Označování orientace honeycombu

4.2 Základní požadavky na testovaný materiál

Při testování podle interního firemního postupu SMS817 by měly být dodrženy specifické požadavky tak, aby materiál užívaný pro provádění zkoušky odpovídal materiálu, z kterého je vyráběn finální produkt tedy alespoň svými mechanickými vlastnosti.

4.2.1 Požadavky na jádro panelu

Postup udává přesnou toleranci velikosti jedné buňky honeycombu a tloušťky nomexového papíru, z kterého je jádro vyrobeno, přibližnou hustotu a geometrickou přesnost hexagonální mřížky. Dále je kladen také důraz na specifickou pryskyřici, která musí být schválena pro použití v leteckých interiérech. V případě změny musí být pryskyřice znovu kvalifikována případně porovnána a obhájena s podobnou předešlou testovanou pryskyřicí podle požadavků FAR/JAR/CS 25.853 +25.855 a ABD0031. U zkušební vzorku nelze použít spojené jádro z více kusů, ale pouze z jednoho kusu materiálu. Také se počítá s nedokonalostmi výrobních procesů. Tedy je definováno množství poruch jádra (honeycombu), přesněji řečeno přerušených vazeb (tzv. spojnic mezi jednotlivými body) na specifickou plochu materiálu, s minimální vzdáleností od sebe. V neposlední řadě by materiál neměl obsahovat zbytky nežádoucích materiálů či vady materiálů, které by mohly ohrozit výrobu, provedení materiálu či jeho vzhled. V případě nedodržení těchto požadavků není materiál vhodný pro testování či použití.

4.2.2 Požadavky na vnější stěny panelu

Požadavky jsou kladeny na spletená vlákna spojená pryskyřicí. Vlákna musí být spletena ze specifického materiálu požadované kvality. Také je definována maximální tloušťka vnějších stěn panelu. Je zde kladen i stejný požadavek na použitou pryskyřici jako u jádra panelu, která musí podléhat požadavkům FAR/JAR/CS 25.853 +25.855 a ABD0031. Maximální podíl vláken a pryskyřice je také definován. Lepivost materiálu není žádoucí, ale vzhledem k tomu, že se jedná o samolepící přírodní pryskyřici, je zde kompromisem, že je povolena nízká přilnavost. Stejně tak jako u jádra by materiál neměl obsahovat nežádoucí zbytky cizích materiálů či vady, které by mohly ohrozit výrobu, vzhled, nebo funkci materiálu. Také je definován minimální čas spotřeby skladovaného materiálu, aby nedošlo k degradaci.

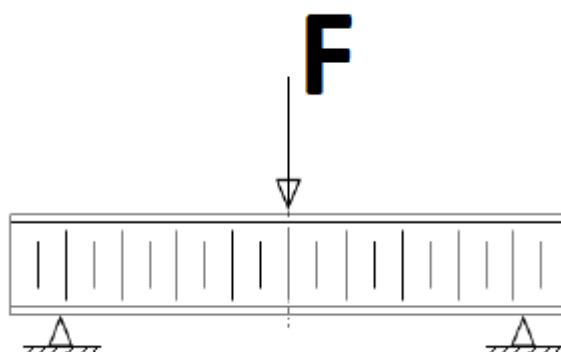
4.2.3 Požadavky na zpracování panelů

Pro panely zpracovávané lisovacím procesem platí specifické požadavky. Všechny vstupní materiály by měly být sledovatelné. Datum spotřeby a expirace musí být zaznamenáno. Materiál s těmito prošlými daty nesmí být použit. Materiál by po otevření neměl být vystaven vlhkosti a po vyndání z chladicí atmosféry by měl být ponechán v pokojové teplotě, aby se ohřál na vhodnou teplotu pro zpracování. Jednotlivě skládané vrstvy z rolí by měly být skládány v jednom směru. Tvářecí plochy lisu by měly být čisté, a následně by měly být mezi plochami a produktem speciálními oddělovacími vrstvy. Přeplátované spoje jsou povoleny při dodržení minimální délky přeplátování. Musí být dodrženy pracovní parametry teploty a tlaku včetně doby chladnutí na pokojovou teplotu po vytvrzení k redukci smrštění. Až následně po vychladnutí může být materiál obráběn na specifické rozměry. Dále by měla být kontrolována plošná hmotnost po zpracování a obrábění. Celková tloušťka panelu by měla být měřena v několika bodech po obvodu panelu ve specifické vzdálenosti od hrany.

4.3 Nejčastěji používané zkušební metody sendvičových panelů

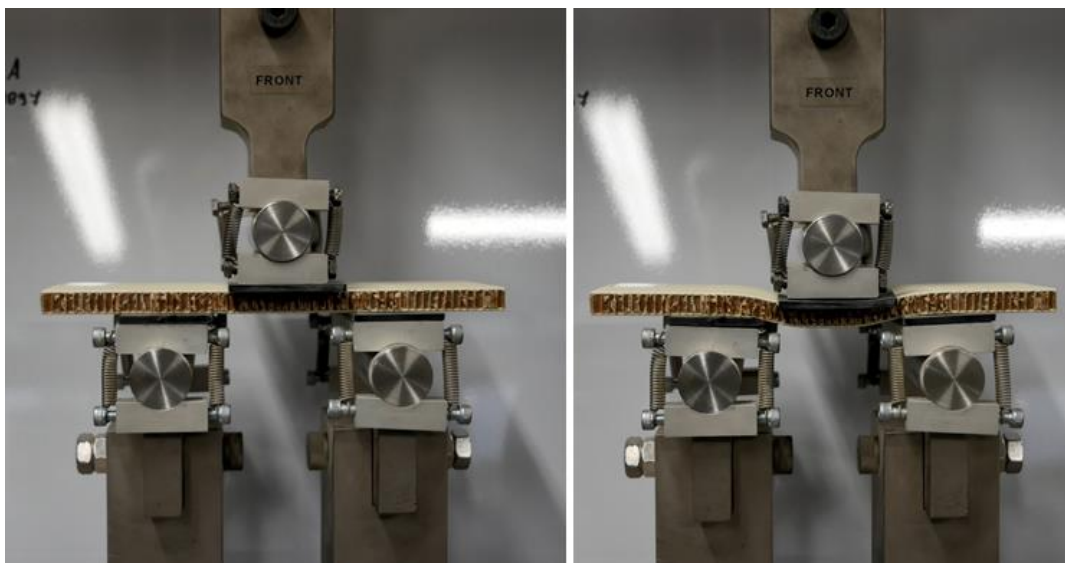
4.3.1 Zkouška třibodovým ohybem

Principem testu je, že sendvičový panel leží na dvou podporách. Mezi podporami shora na panel působí zatížení, které se zvyšuje, dokud nedojde k destrukci, viz schéma pod textem.



Obrázek 12 - Schéma zatížení třibodovým ohybem [13]

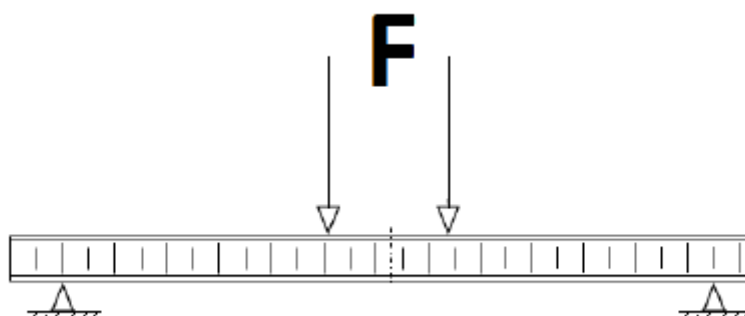
Zkoušku detailně popisují normy ASTM C393 a ASTM D7250. Vzorek musí být specifické délky a šířky se specifickým směrem orientace W nebo L. V místě podpor a zatížení by mělo být použito speciálních ocelových otočných bločků rovnoběžných s povrchem vzorku i po zatížení, které slouží k rozložení zatížení na plochu panelu, tak aby nedošlo k protlačení do jádra panelu. Zároveň by mělo dojít k selhání ve specifickém časovém rozmezí. Středový bod působí síly je snímán na deflexi panelu, čímž lze získat graf závislosti deflexe vzorku na velikosti zatížení panelu. Díky nízké vzdálenosti mezi podporami zde dochází nejen k ohybu ale zároveň také ke smyku panelu. Z pravidla se provádějí 2 série testů pro orientaci panelu W a L, pro zjištění chování panelu v obou směrech.



Obrázek 13 - Fotografie zkušební metody tříbodovým ohybem

4.3.2 Zkouška čtyřbodovým ohybem

Čtyřbodový ohyb je obdobou ohybu trojbodového s tím rozdílem, že síla působí skrze dva prvky místo jednoho a délka vzorku a vzdálenost mezi bočními podporami je větší. To má za důsledek, že panel je vystavován samotnému ohybu bez smyku. Cílem testu je zjistit vlastnosti materiálu v samotném ohybu, viz schéma pod textem.



Obrázek 14 - Schéma zatížení čtyřbodovým ohybem [13]

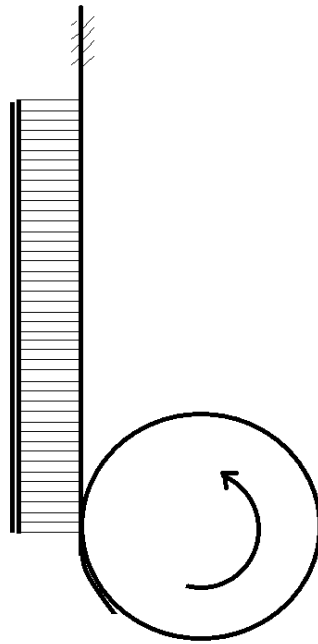
Zkouška je definována dvěma normami ASTM D7249 a ASTM D7250, které udávají přesné rozměry vzorku, správné vzdálenosti mezi podporami a působišti zatížení. Také kladou stejně tak jako u trojbodového ohybu, důraz na specifickou orientaci jádra a vláken vzorku tak, aby série testů byla vždy provedena u vzorků se stejnou orientací jádra a vláken. Provádějí se tedy také dvě série testů pro orientaci W a L. Podpůrné bločky sloužící k rozkladu zatížení na plochu panelu by měly být dokonale otočné tak, aby byly neustále rovnoběžné s plochou vzorku. K destrukci by mělo dojít ve specifickém časovém rozmezí. Deflexe je snímána na vrchní pohyblivé straně, z čehož lze získat závislost deflexe na zatížení.



Obrázek 15 - Fotografie zkušební metody čtyřbodovým ohybem

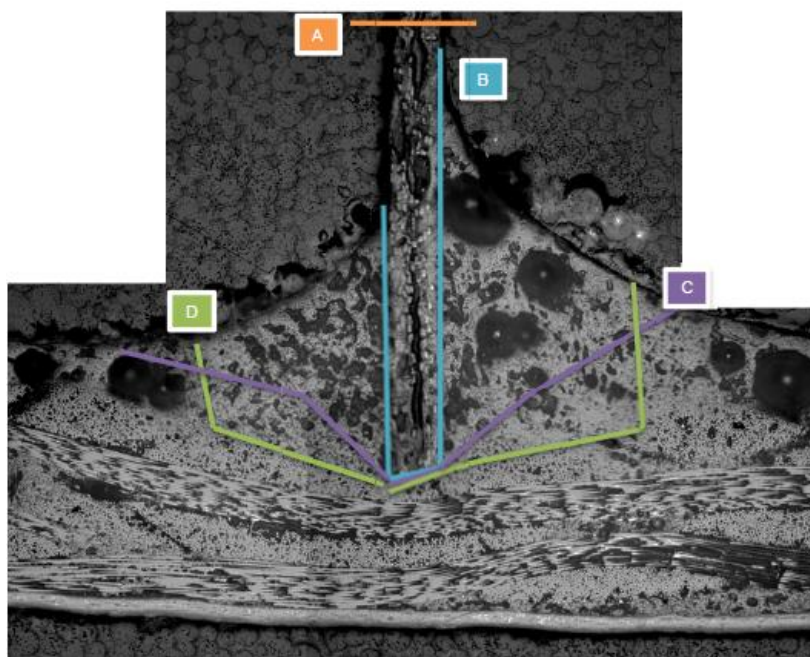
4.3.3 Zkouška navíjením na válec

Principem této zkušební metody je oddělit jednu z vnějších vrstev a jádro od sebe a zjistit tak kvalitu spojení dvou vrstev. Jedna z vnějších vrstev je vyztužena plechem, aby byla tužší než druhá vrstva, která je navíjena na váleček, viz schéma pod textem.



Obrázek 16 - Schéma zkoušky navíjení na válec

Reálně by při tomto testu mělo tedy dojít ke dvěma variantám selhání. Těmi je buď oddělení dvou vrstev kvůli nedostatečné adhezi pojiva (B, C, D), nebo vytržení části jádra s lepidlem (A). V praxi je přípustná varianta jen jedna, a to je, že se odtrhne část jádra. Tím se potvrdí, že spojení mezi jádrem a vnější vrstvou je požadované kvality. Jednotlivé varianty selhání lze vidět na obrázku detailu spojení pod textem.



Obrázek 17 - Rozdělení druhů selhání na mikroskopickém záběru [15]

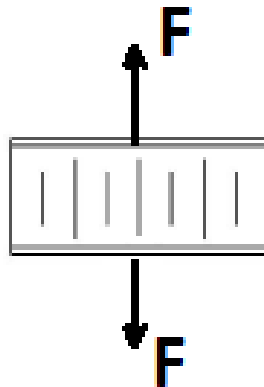
Detailně tuto metodu popisuje norma ASTM D1781, která požaduje speciální testovací přípravek daných rozměrů a kvalit od certifikovaného dodavatele. Dále tato norma požaduje přesné rozměry zkušebních vzorků. Tento test se provádí pouze pro jednu specifickou tloušťku sandvičového panelu a pokrývá tak vlastnosti ostatních, neboť se jednotlivé varianty liší pouze tloušťkou jádra, která pro tento test nemá takový vliv. Dále se testují vzorky s jádrem a vláky orientovanými pouze ve směru W. Princip skutečného přípravku je o něco složitější, než je ukázáno ve schématu. V podstatě jde o stejný princip, jen je na válečku navinuta ocelová páska, která se při zatažení odvíjí a otáčí válečkem. Ten je napojen na vnější vrstvu panelu a navíjí jej na sebe. Je tak možné přípravek jednoduše upnout do trhačky, viz obrázek přípravku se zkušebním vzorkem pod textem.



Obrázek 18 - Fotografie zkušební metody navíjení na válec [15]

4.3.4 Zkouška tahem naplocho

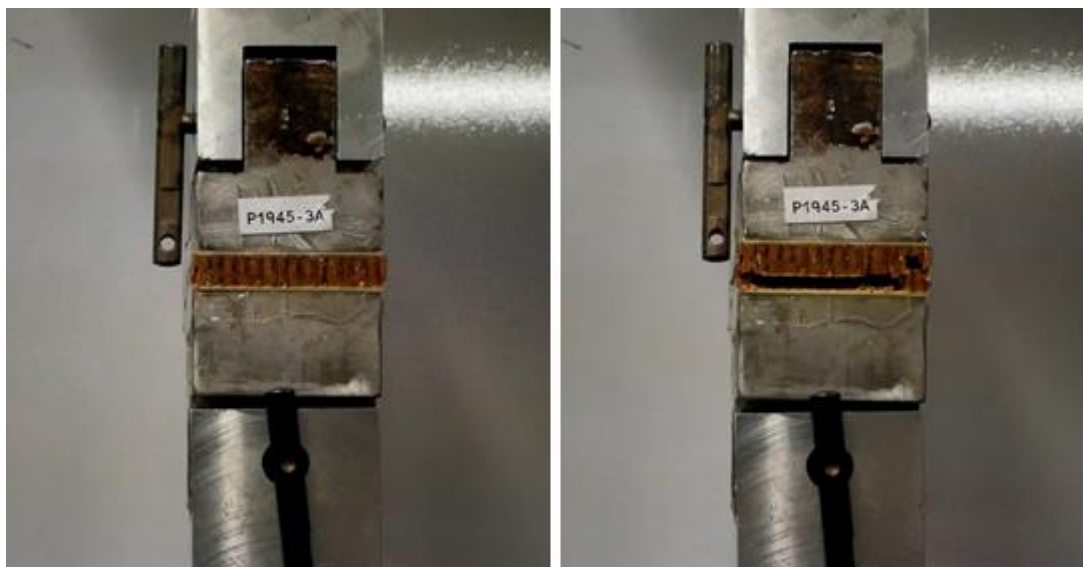
Cílem této zkušební metody, stejně jako u metody předchozí, je zjistit, zda je spojení mezi dvěma vrstvami dostatečně pevné. Princip je tedy v tom, že se ke dvěma vnějším vrstvám panelu přilepí kovové bločky, které se následně upínají do trhačky. Zde se za ně tahá čím dál tím větší silou, dokud nedojde k selhání panelu a neroztrhne se ve dvě. Je několik variant roztržení panelu, které odpovídají obrázku u předchozí metody. Nejčastěji dochází k variantám, kdy se buď odtrhne kus jádra s pojivem, nebo selže spojení dvou vrstev pojivem. Samozřejmě požadovaným výstupem pro splnění kvalitativních požadavků je, aby došlo k vytržení jádra s pojivem a prokázalo se tak, že spojení je požadované kvality. V případě, že se odtrhne kovový bloček od panelu, je zkouška považována jako neplatná z důvodu selhání přípravku. Schéma metody je přiloženo pod textem.



Obrázek 19 - Schéma zkoušky tahem naplocho [13]

Tuto zkušební metodu přesně definuje norma ASTM C297. Zkušební vzorek by měl být čtvercového tvaru o specifických rozměrech, stejně tak lepené kovové upínací bločky.

Kovové bločky by měli být upnuty pomocí dvou na sebe kolmých čepů, které umožňují naklápění ve dvou na sebe kolmých směrech tak, aby zatížení přenášel pouze zkušební vzorek. Orientace jádra a vláken panelu zde nehraje roli, proto se testují vzorky orientované jenom ve směru W. Deformace panelu je měřena na posuvných čelistech a je tak možno určit závislost velikosti deformace na zatížení. Přiloženou fotku samotné zkušební metody lze vidět pod textem.



Obrázek 20 - Fotografie zkušební metody tahem naplocho

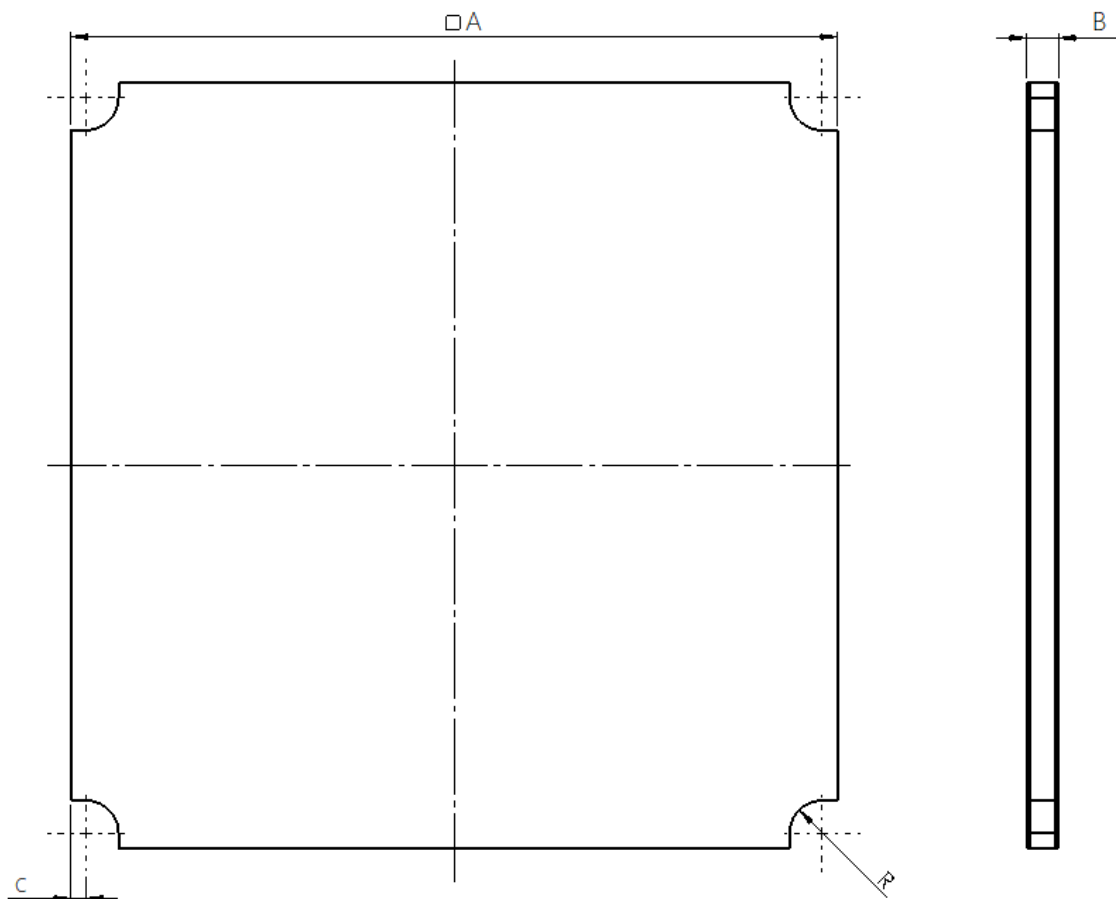
4.4 Zkouška namáháním čtvercového plochého vzorku smykem pomocí kloubového systému

Tato metoda je oddělena v kapitole zvlášť, z toho důvodu, že nepatří mezi nejčastěji používané zkušební metody a zároveň proto, že velmi významně souvisí s praktickou částí této práce, tedy si zaslouží detailnější rozbor tak, aby bylo možné pochopit kroky samotné konstrukce přípravku a hlouběji nahlédnout do tématu.

Tato metoda je definována normou D8067/D8067M-17. Vzhledem k tomu, že tato norma je placená, jde spíše jen o specifikaci a detailnější popis normy. Pro získání podrobných informací je nutno si tuto normu zakoupit.

Tato metoda slouží k určení mechanických vlastností sendvičových panelů. Specificky pevností ve smyku a tuhostí v rovině panelu s kompozitními vnějšími vrstvy a jádrem se spojitým lepeným povrchem či nespojitým jako je například „honeycomb“.

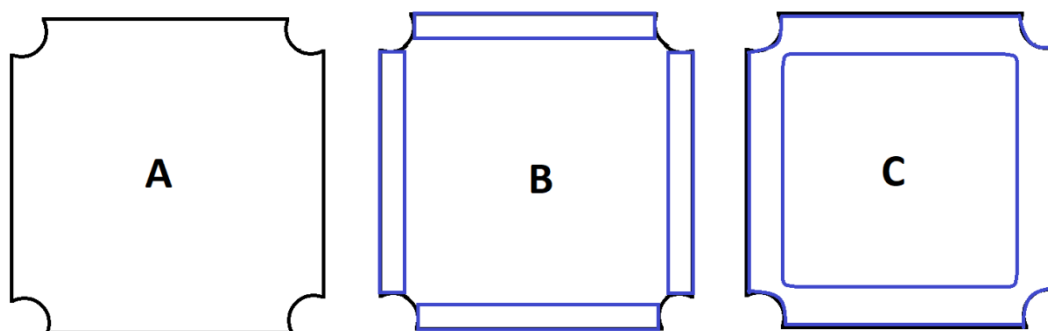
Zkušební vzorek by měl být čtvercového tvaru a specifických rozměrů s kruhovými výřezy na rozích. Tloušťka panelu není normou definována, viz obrázek.



Obrázek 21- Náčrt požadovaného vzorku s požadovanými rozměry

Vzorek by měl být mechanicky upevněn a zajištěn v ocelovém rámečku po celém obvodu vyjímaje výřezů. Rámeček by měl být zatěžován tahem úhlopříčně za rohy, čímž vznikne zatížení pod úhlem 45° ke směru aplikované síly. Síly působí po délce hran vzorku, což převážně způsobuje smykové napětí ve vzorku.

Existují tři varianty testování provedení vzorku s přípravkem, nazývané A, B a C. Varianta A používá samotný vzorek bez pomocných výztuh po hranách. Varianta B využívá čtyř oddělených lepených plechových výztuh na každé hraně na obou stranách vzorku. Varianta C spojitě plechové lepené výztuhy po obvodu 4 stran na obou stranách přípravku. Jednotlivé varianty jsou voleny dle vlastností testovaného materiálu.



Obrázek 22 - Varianty provedení vzorku

Varianta A je nejjednodušší z hlediska provedení zkoušky a přípravy zkušebního vzorku. Je to však nevhodnější varianta jen v případě, že vnější stěny panelu jsou tak pevné, že je možné za ně panel upnout a docílit tak správně provedené zkoušky.

V případě že vnější stěny panelu nejsou dosti pevné, je pak nutno vzorek obložit po hranách a vyztužit jej nejlépe po celém obvodu. Tak jak je tomu u varianty C, čímž lze docílit správně provedené zkoušky. Ovšem tento způsob je nejen náročnější z hlediska přípravy vzorku, ale také je nutno si uvědomit, že plechové výztuže po obvodu vzorku vyztužují vzorek a ovlivňují tak výsledné hodnoty zkoušky. Proto je nutno vytvořit takzvanou silovou korekci a odečíst tak sílu, kterou pohltná samotná výztuž, toho lze nejlépe docílit výrobou speciálního vzorku s vybraným středem mimo plochu plechové výztuže.

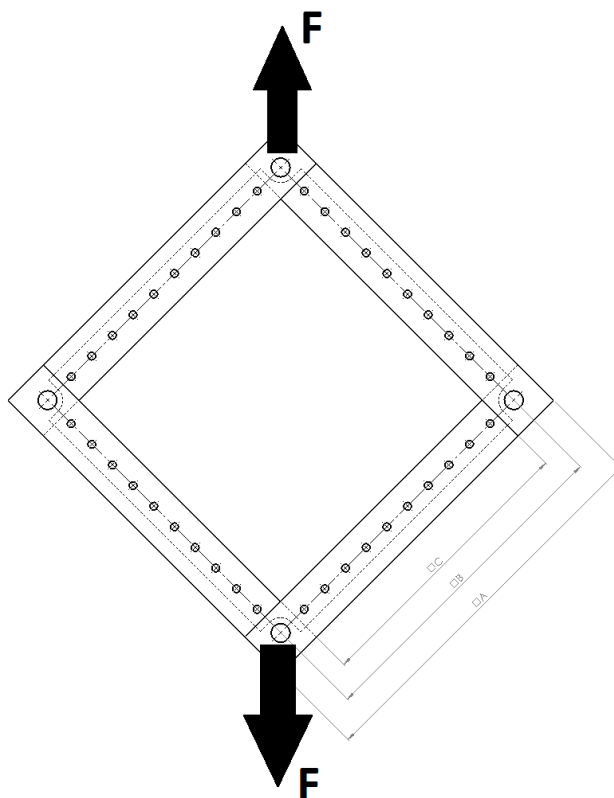
Varianta B umožňuje střední cestu mezi variantou A a C, tedy pouze jen částečnou výztuhu vzorku pouze v upínacích plochách, které nemají vliv na výsledné hodnoty zkoušky. Není tak nutno provádět silovou korekci, která sebou nese nepřesnosti, tak jak je tomu u varianty C. Příprava vzorku je však částečně náročnější z hlediska lepení většího množství částí.

V případě, že ani jedna z variant není vhodná, je možné vybrat jádro panelu pod upínací plochou a nahradit jej pryskyřicí, nebo vlepenými kovovými bločky, který umožní sevření panelu, bez jeho deformace na požadovaný utahovací moment.

Vhodné použití jednotlivých variant vychází z nutnosti splnění požadovaného selhání vzorku. Ty jsou čtyři následující: prasknutí vnější stěny, vyboulení vnější stěny a odlepení od jádra, promáčknutí vnější stěny do jádra, či rozstřížení jádra v rovině panelu. V případě, že panel selže jiným způsobem, není zkouška považována za platnou. Například pokud panel praskne od rohového vybrání nebo se prohne, dále také pokud se jádro rozpadne jiným způsobem, nebo jiného selhání, které je definováno žadatelem testu. Stejně tak je to v případě, kdy se přetrhne vnější stěna panelu těsně u upínacích ploch, nebo když dojde vytažení panelu z rámečku přípravku ven.

Hodnoty měření jsou zaznamenávány v milimetrech či palcích. K měření může být použito tenzometrických růžic z obou stran do středu rámečku přípravku, kterými lze měřit přibližné smykové napětí ve vzorku.

Norma tedy definuje mechanismus přípravku, který slouží k testování, a vzorek, který je testován. Vzorek musí mít tedy přesné rozměry definované normou, stejně tak jako rámeček přípravku, který už není tak přesně definován, pouze jsou zde definované důležité rozměry, které mají vliv výsledné hodnoty. Zbytek je už volbou konstruktéra tak, aby přípravek plnil pevnostní požadavky a nedocházelo tak k výrazným deformacím, které by znehodnocovali výsledky zkoušky. Dále norma definuje rozměry výztužných příložek, průměr spojovacích šroubů a jejich utahovací momenty. Schéma vypadá přibližně takto, viz obrázek pod textem.



Obrázek 23 - Schéma zkoušky namáháním čtvercového plochého vzorku smykem pomocí kloubového systému

5 Konstrukční návrh

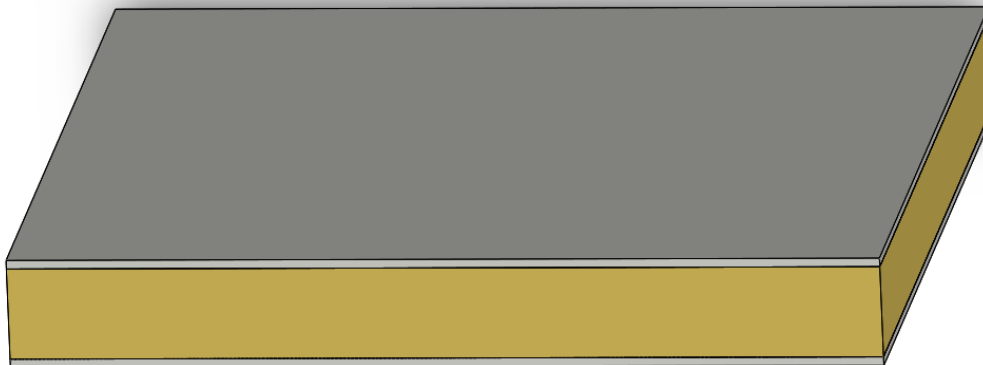
Praktická část této práce je věnována konstrukčnímu návrhu přípravku a návrhu zkušebnímu postupu zkoušky, tak aby podléhaly normě D8067/D8067M – 17. Cílem této části tedy je navrhnout přípravek, tak aby s ním bylo možné správně provést zkoušku a docílit požadovaného selhání vzorku dle normy.

5.1 Zadané parametry

Pro samotnou konstrukci přípravku je nutno znát vstupní parametry hodnot, které jsou jasně definované normou, zadavatelem zkoušky či případně prostředky a zdroji, které má firma k dispozici.

5.1.1 Materiál vzorku

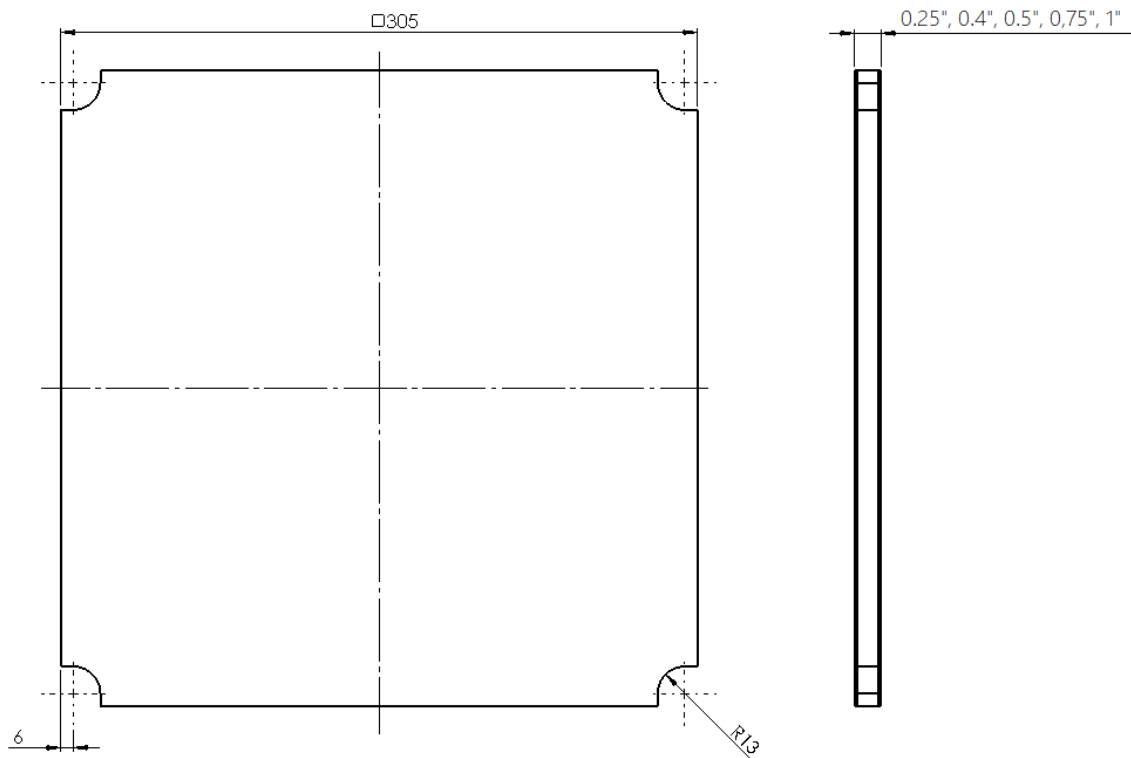
Materiálem vzorku je již zmíněný sendvičový panel o variantách tloušťky 0,25", 0,4", 0,5", 0,75" a 1". Jádrem panelu je z honeycombu, což je nomexový papír, který je do struktury včelí plástve lepen fenolovou pryskyřicí (ref. 3.3). Jádru se vyrábí v libovolných tloušťkách, tak aby bylo slepením s vnějšími vrstvami možné dosáhnout přesné celkové šířky panelu. Jako vnější vrstvy panelu je použito skelných vláken s matricí z fenolové pryskyřice, které by po spojení a přilepení k jádru fenolovou pryskyřicí měly mít celkovou šířku 0,04" pro všechny tloušťky panelu.



Obrázek 24 - Materiál vzorku

5.1.2 Rozměry vzorku

Pro správné provedení zkoušky by měl mít každý vzorek specifické rozměry, což vychází z normy a požadavků zadavatele zkoušky tak, aby vzorek bylo možno upnout do testovacího přípravku. Vzhledem k tomu, že se panely vyrábí v několika tloušťkách, přípravek by měl být adaptabilní a mělo by být možné do něj upnout panely s odlišnými tloušťkami. Ostatní rozměry jsou neměnné.



Obrázek 25 - Definované rozměry zkušebních vzorků

5.1.3 Stroj použitý pro zkoušku

Pro zkoušku bude použita dvouprostorová trhačka TIRAtest s maximální vyvíjeným zatížením 50 000 N. Je vhodná pro testování ocelí, mědi, hliníku, kompozitu, pryže, papíru, kartónu, pružin, závitů, vláken, textilu, folií, skla, komponentů apod.

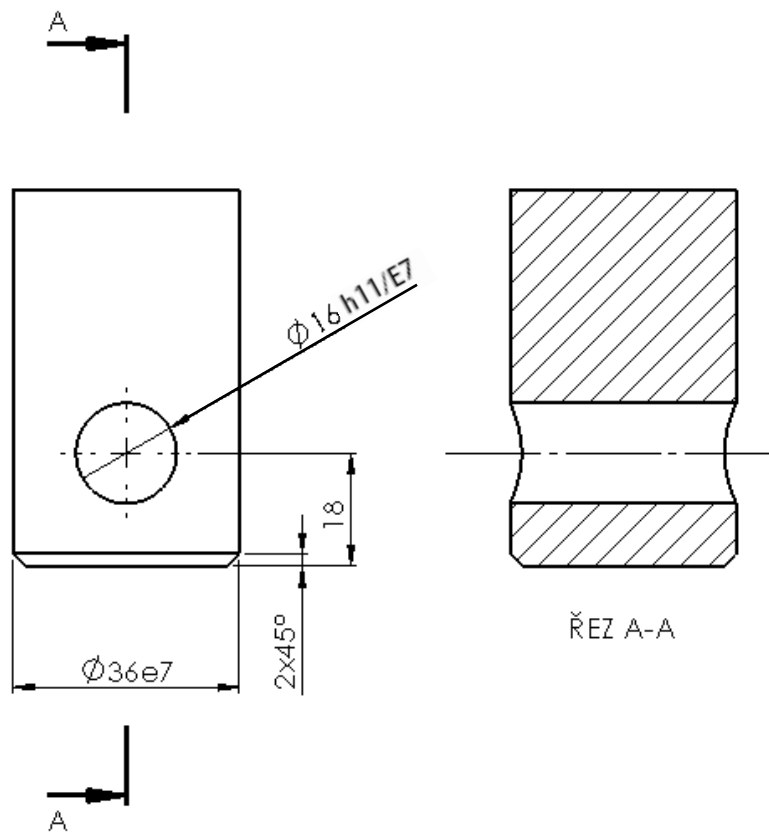
Testy mohou být prováděny separovaně ve dvou prostorech ve spodní a horní části. Stroj může být použit ve výrobě pro kontrolu kvality, ve výzkumu a vývoji. Dále je stroj vybaven softwarem TIRAsoft, sloužícím ke zpracování hodnot.



Obrázek 26 - Zkušební stroj [7]

5.1.4 Připojovací rozměry stroje

K dispozici je více variant připojení ke stroji buď skrze upínací čelisti, nebo přímo přes připojovací čepy. Nejvhodnější a nejstabilnější variantou je vytvořit přípravek připojitelný přímo na připojovací čepy, čímž lze velmi zjednodušit upínací proces.



Obrázek 27 - Připojovací rozměry

5.2 Konstrukční návrh vzorku

5.2.1 Volba varianty vzorku

V kapitole 0, která se zabývá zkouškou, lze nalézt tři základní varianty vzorku A, B a C. Každá z těchto variant má své klady a zápory, a proto nelze jednoznačně říci, která je v této situaci nejvhodnější, samozřejmě největší důraz je zde kladen na správné provedení zkoušky s požadovaným způsobem selhání vzorku.

Je tedy vytvořena tabulka znázorňující jednotlivé faktory, které ovlivňují konstrukční proces. Jednotlivé varianty jsou hodnoceny 1 až 4 body z hlediska 5 faktorů, které výrobu ovlivňují. Následné faktory jsou násobeny číslem 1 až 5, což znázorňuje významnost specifického faktoru. Hodnoty jednotlivých faktorů násobené hodnotou významnosti jsou pro každou variantu sčítány a varianta s maximálním bodovým ohodnocením je stanovena za nejvhodnější.

Vzhledem k tomu, že jádro panelu je měkké, je důležité vytvořit velmi dobré upínání vzorku tak, aby nevyklouzl ze svěrného spoje. Proto byl faktor upínání vyhodnocen jako nejdůležitější. Druhým nejdůležitějším faktorem je přesnost výstupních hodnot zkoušky, kvůli nimž se zkouška provádí. Poté je ještě méně významný faktor náročnosti zkoušky, tedy měrná

hodnota úsilí, které je nutno vyprodukovat k provedení zkoušky s připraveným vzorkem. Náklady spojené s výrobou vzorku a množství spotřebovaného materiálu byly stanoveny faktory s nejnižší významností, což je způsobeno tím, že náklady zde nehrají takovou roli. Z důvodu že jde v podstatě o výrobu např. 10 vzorků pro test, který se neprovádí často, finanční úspora na jednom kusu takovém množství nemá tedy významný dopad.

Varianta	A (1-4)	B (1-4)	C (1-4)	Ideální hodnota (1-4)	Význam (1-5)
Upínací možnosti	1	3	4	4	x5
Náklady na výrobu vzorku	4	2	2	4	x1
Náklady na materiál	4	2	1	4	x1
Náročnost provedení zkoušky	3	3	1	4	x2
Přesnost hodnot zkoušky	4	4	2	4	x4
celkový součet	35	41	33	52	-
normované hodnocení	0,67	0,79	0,63	1	-

Tabulka 1 - Vhodnosti použití jednotlivých variant

Varianta A disponuje možností dosažení velmi přesných výsledků zkušební metody, nízkými náklady a jednoduchostí prováděné zkušební metody, ovšem bez vyztužených hran jsou zde upínací možnosti velmi omezené. Bylo by velmi pravděpodobné, že se vzorek vytáhne z upínacích ploch.

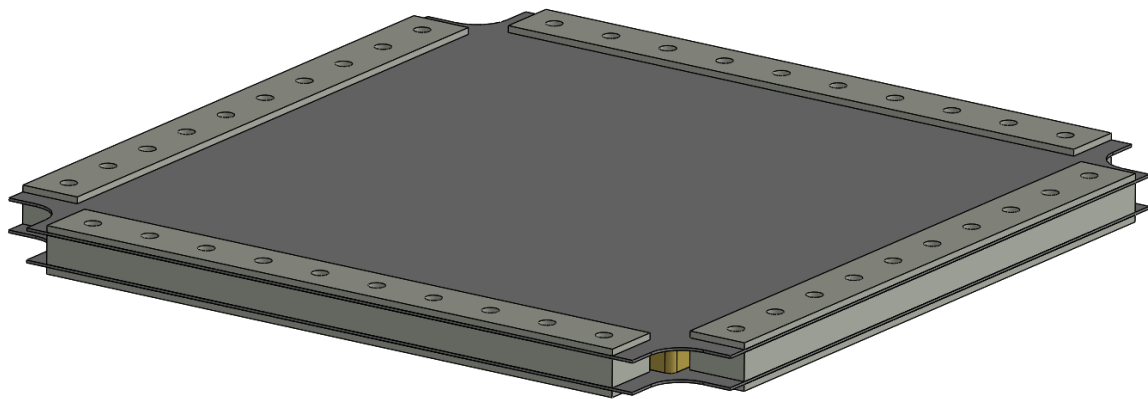
Varianta C naopak od varianty A disponuje velmi dobrými upínacími možnostmi. Ovšem takzvaná silová korekce vyžaduje výrobu speciálního vzorku sloužícího pro získání odhadu vlivu výztuhy po celém obvodu vzorku, což má za následek zvýšené náklady a náročnost provedení zkoušky, ale hlavně snížení přesnosti získaných hodnot.

Jak už bylo řečeno, varianta B je kompromisem mezi variantou A a C. Tedy částečná výztuha umožňuje vzorek lépe upnout, ale nemá vliv na výsledné hodnoty zkoušky a není třeba výroby korekčního vzorku. Dojde tak k nevhodnějšímu kompromisu, jednotlivých faktorů, proto je varianta B nevhodnější a byla zvolena za konstrukční variantu vzorku použitou pro přípravek.

5.2.2 Konstrukční návrh vzorku

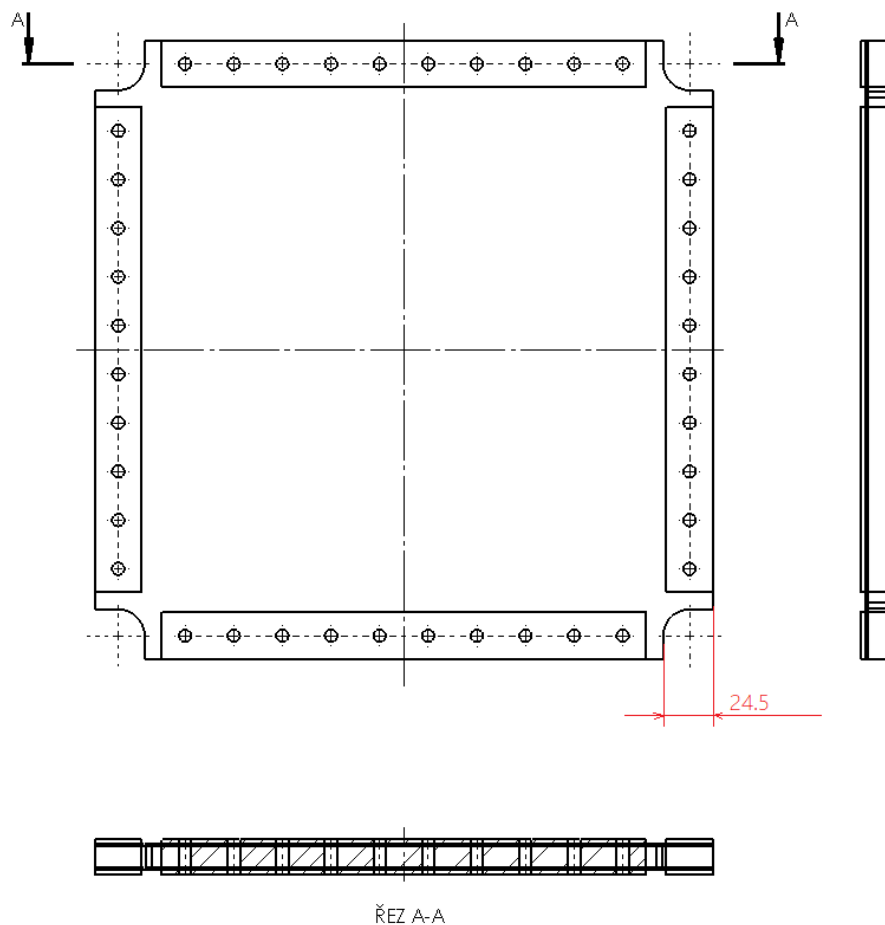
Jako zkušební vzorek v tomto případě již není samotný kus sendvičového panelu, ale jde o panel specifických rozměrů, který je obohacen o vnější a vnitřní výztuhy, tak aby ho bylo možno bez dalších úprav upnout do zkušebního rámečku, který popisuje norma.

Ačkoli varianta zahrnuje plechové výztuhy po jednotlivých hranách, je nutno po hranách panelu vybrat jádro a vlepít kovové bločky. Tato úprava je naprosto nutná a nevyhnutelná z toho důvodu, že materiál jádra panelu je velmi měkký. Není tak možné vytvořit na šroubech utahovací moment požadované hodnoty a docílit tak dostatečné svěrné síly na panelu.



Obrázek 28 - 3D model předpřipraveného vzorku k testování

Další nutnou úpravou vzorku je vybrání v rozích 24,5 mm namísto 19mm. Rádus byl ponechán. Tato úprava má velmi důležité opodstatnění. V případě použitých 19 mm požadovaných normou v kombinaci s rámečkem požadovaného normou by došlo ke kolizi upínacího čepu se sendvičovým panelem. Hodnota tedy byla upravena na nutné minimum tak, aby bylo zkoušku možno provést. Provedená změna má minimální vliv.



Obrázek 29 - Skica předpřipraveného vzorku k testování

V neposlední řadě je ještě nutno zmínit, že je zde navíc předvrtaných 40 děr pro šrouby M6, které slouží k upínání vzorku do testovacího rámečku tak, aby obsluha nemusela díry před montáží do rámečku předvrtávat.

Bude tedy existovat pět variant testovaných vzorků (0,25", 0,4", 0,5", 0,75" a 1"), které budou mít všechny plošné rozměry stejné, pouze proměnnou tloušťku. To znamená, že plechové příložky budou vždy stejné a jediné co se bude měnit je panel a tloušťka vlepěné vložky mezi vnějšími stěnami. Jejich tloušťky budou o velikosti tloušťky jádra panelu mínus $2 \times 0,3$ mm pro vrstvu lepidla po obou stranách.

5.3 Konstrukční návrh přípravku

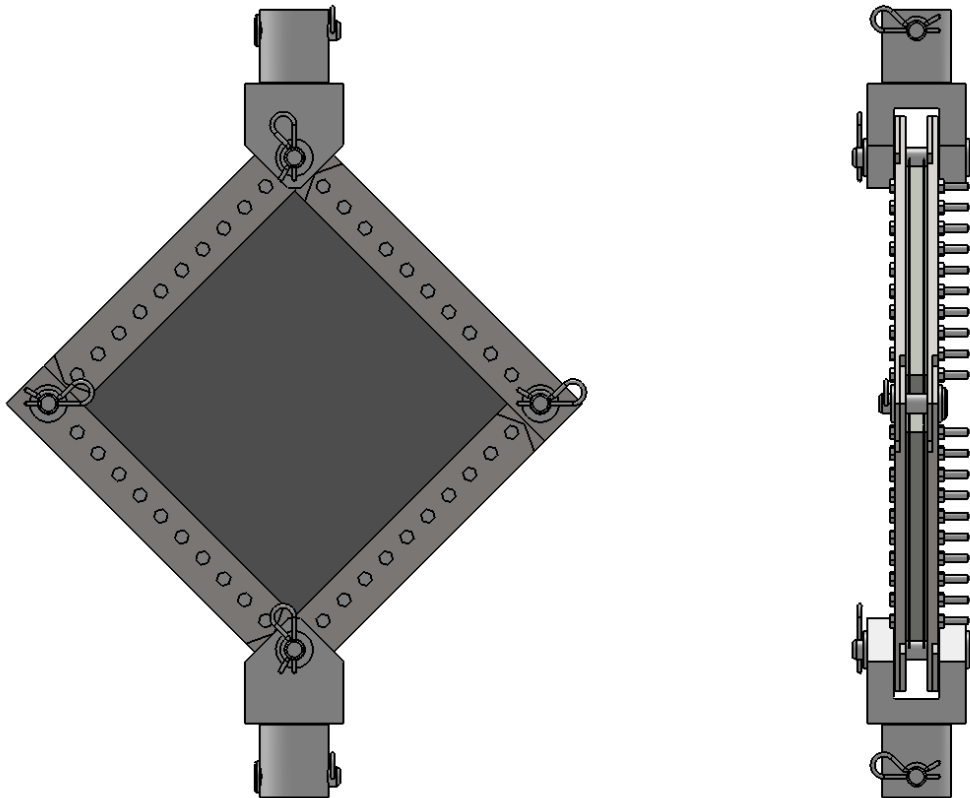
5.3.1 Návrh konstrukce přípravku

Norma definuje rozměry zkušebního rámečku vcelku jasně, příložky panelů mají přesně definované rozměry i s průměry vstupních čepů a šroubů. Je tedy nutno definovat spojení zkušebního rámečku a trhačky skrze definovaný výstupní člen. Následně je potřeba určit délky šroubů a čepů, a také zajištění čepů.

Spojení rámečku je definováno pomocí spojky, která bude zajišťována z obou stran pomocí čepu jištěného závlačkou tak, aby proces výměny vzorků byl co nejjednodušší. Před navrhování rozměrů je nutno si uvědomit, že šířka testovaných sendvičových panelů je proměnlivá (0,25", 0,4", 0,5", 0,75" a 1"), z čehož vychází celková tloušťka rámečku a následný vstupní rozměr spojení s trhačkou.

Jako spojení je užito speciálních koncovek, které mají na vstupu obdélníkový výřez s otvorem pro čep a na výstupu válcový otvor s otvorem pro čep. Ačkoli se může jevit velmi praktické používat jedné sady koncovek s univerzálním vstupem pro panely v intervalu 0,25" až 1", z hlediska zatížení čepu je to velmi nevhodné. Při zatěžování panelu tloušťky 0,25" by mohlo docházet k nadměrnému zatížení ohybem, což z hlediska životnosti čepu může mít nepříznivý dopad. Je tedy vhodné užití alespoň dvou sad koncovek ve dvou intervalech tloušťky panelu a to 0,25" až 0,5" a 0,75" až 1", kde je rozdíl vyrovnáván distančními vložky. Tímto prvkem lze razantně snížit ohybové napětí v čepu a výrazně tak i zmenšit deformaci čepu, která by mohla znemožnit jejich funkčnost, či znehodnocovat výsledné hodnoty snímané deflexe.

Stejně tak je to i s délkou čepů spojující rámeček, které jsou připraveny pro stejné dva intervaly tloušťky a rozdíl vyrovnáván pomocí distančních vložek a podložek. Délky šroubů je ideální používat pro každou tloušťku panelu jiné z toho důvodu, že jde o jednoduchý normovaný konstrukční prvek, který lze jednoduše nakupovat. Hlavním principem je uspořít čas obsluhy zkušebního stroje tak, aby nemusela strávit tak dlouhý čas na otáčení matice na přesahující délce šroubu. Zbytečně dlouhý šroub by mohl znemožnit otáčení matice ráčnou, což by mělo za následek použití klíče, jehož použití by značně prodloužilo operaci, utahování čtyřiceti šroubů. Norma také klade nárok na přesný utahovací moment šroubů, takže použití momentové ráčny je nezbytné. Přibližný návrh přípravku tedy měl odpovídat obrázku pod textem.



Obrázek 30 - Přibližný návrh přípravku

Znamená to tedy, že celý přípravek obsahuje:

- Čtyři různé délky šroubů po čtyřiceti kusech pro každou tloušťku panelu krom 0,4" (použity šrouby pro 0,5").
- Čtyřicet matic.
- Dvě sady čepů ke spojení rámečku po čtyřech kusech.
- Jednu sadu čepů ke spojení koncovek se strojem.
- Dvě sady koncovek pro dva intervaly tloušťky panelu po dvou kusech.
- Jednu sadu příložek po osmi kusech.
- Osm kusů podložek k čepům na rámečku.
- Šest kusů závlaček k zajištění čepů.
- Jednu sadu distančních vložek po čtyřech kusech pro variantu 0,25" a 0,75"
- Sadu čtyř kolíků pro zajištění distančních vložek.

5.3.2 Kontrola čepů

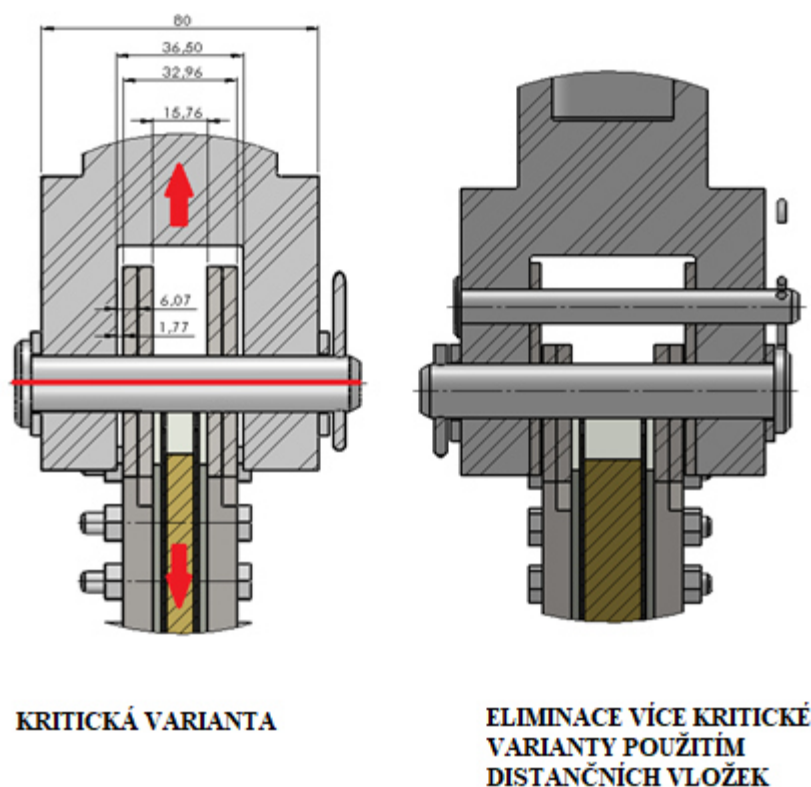
Vzhledem k tomu, že čepy o stejném průměru jsou zde použity v šesti místech, je nejpraktičtější obhájit nejhorší použitou variantu čepu na specifické zatížení, a tím pokrýt varianty méně kritické.

Kontrolní výpočet na ohyb čepu

Kritickou variantou namáhanou na ohyb je varianta za použití tloušťky panelu 0,4", kdy jsou spáry mezi koncovkou a rámečkem nejširší, tedy rameno ohybu je nejdelší. Pro varianty 0,25" a 0,75" jsou použity speciální distanční vložky, které rameno ohybu redukuje zmešením spáry. Distanční vložky jsou tedy speciálním opatřením proti nadměrnému napětí těchto dvou variant vlivem velké spáry. Očekávané zatížení je maximální vyvinutelné zatížení trhačkou, což je 50000 N.

Materiál	ČSN 14220.4
R _m	785,0 MPa
Re	590,0 MPa
σ _D	Re/1,5 = 590/1,5 = 393,3 MPa ⁽¹⁾
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a Re získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	

Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti materiálu čepu [11]



Obrázek 31 – Nejhorší použitá varianta zatížení čepu na ohyb



l – Je uvažováno jako šířka mezery mezi příložkou a koncovkou. Délka ramene není delší proto, že příložky a koncovky na čep lícují a logicky tedy v těchto místech k ohybu nedochází. Platí pak tedy: $l=6,07$

Obrázek 32 - Vyjádření ohybového momentu

$$M_o = \frac{F \cdot l}{2} = \frac{50000 \cdot 6,07}{2} = 151750 \text{ Nmm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 16^3}{32} = 402,124 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{109375}{402,124} = 377,4 \text{ MPa}$$

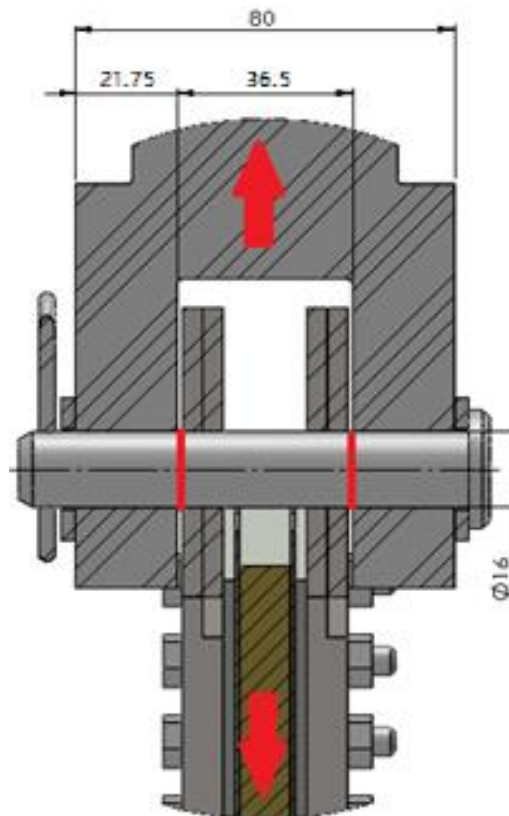
$$\sigma_D = 393,3 \text{ MPa} > 377,4 \text{ MPa} = \sigma \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrolní výpočet na smyk čepu

Nejhorsí použitá varianta pro smyk je teoreticky varianta testování panelu o tloušťce jednoho palce, neboť se očekává, že panel bude mít největší rezistenci a dojde tak k maximálnímu zatížení. Nicméně všechny varianty principiálně uvažují na čep stejné zatížení ve smyku. Je nutno zaručit spolehlivost při maximálním vyvinutém zatížení trhačkou, a to 50 000 N. Pro toto zatížení je tedy zkontrolována základní testovací varianta tloušťky panelu 0,5".

Materiál	ČSN 14220.4
R _m	785,0 MPa ⁽¹⁾
Re	590,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	Re/1,5 = 590/1,5 = 393,3 MPa ⁽²⁾
τ _D	0,6(σ _D) = 0,6(393,3) = 236,0 MPa
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a Re získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	

Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti materiálu čepu [11]



Obrázek 33 - Kontrolovaná varianta čepu na smyk

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 804,248 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{50000}{2 \cdot 201.062} = 124,4 \text{ MPa}$$

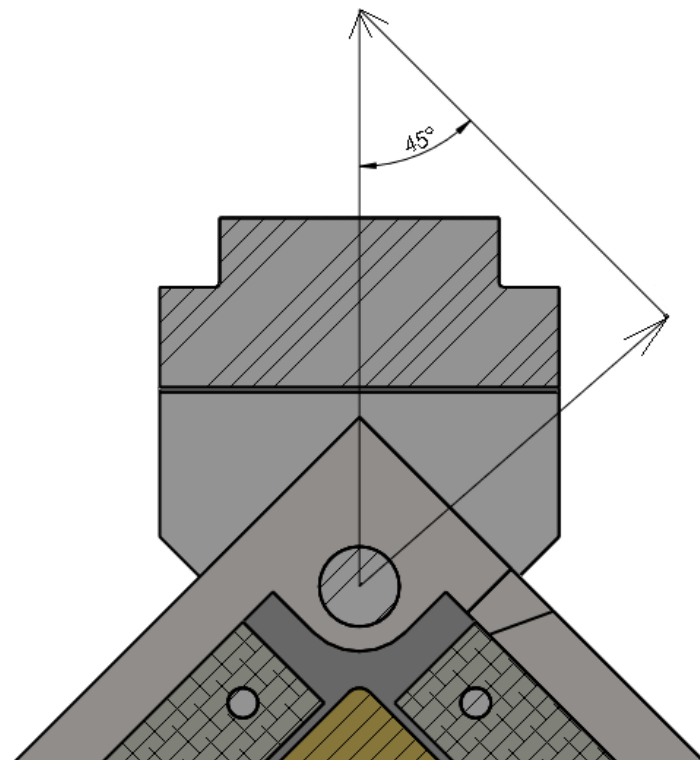
$$\tau_D = 236,0 \text{ MPa} > 124,4 \text{ MPa} = \tau \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrolní výpočet na otláčení čepu

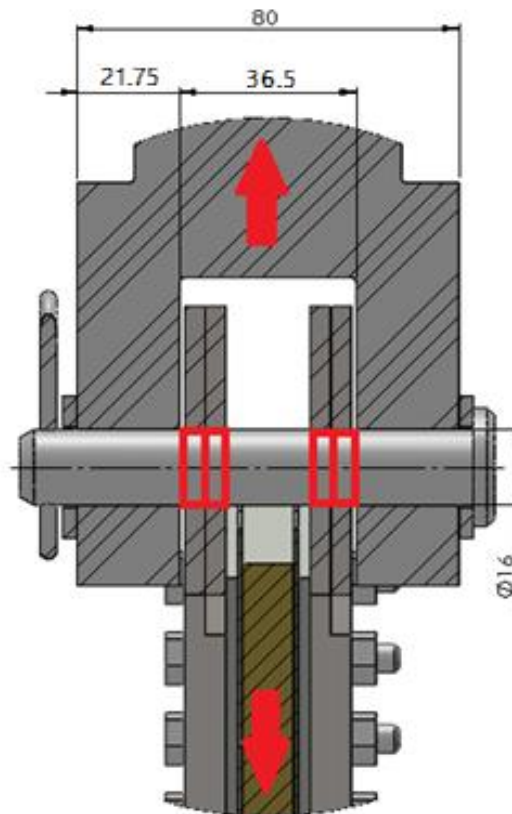
S volbou nejhorší použité varianty na otláčení čepu je tomu stejně jako u kontroly na smyk čepu. Při zatížení 50 000N vzniká u všech variant stejné zatížení čepu. Nejvyšší tlak na čep ovšem nepůsobí ve směru zatížení trhačky, jak by se mohlo zdát, ale ve skutečnosti větší tlak na čep vzniká vlivem rozkladu sil do jedntotlivých přílože, kdy se zatížení rozkládá na dvě nositelky pod úhlem 45°, jejíž velikost je velikost svislého zatížení násobeného sinusem 45°. To je cca výsledných 71% původního zatížení přeneseného do jiného směru, ovšem na poloviční plochu (o šířce pouze dvou příložek místo 4), viz obrázek rozkladu sil.

Materiál	ČSN 14220.4
R _m	785,0 MPa ⁽¹⁾
R _e	590,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	R _e /1,5 = 590/1,5 = 393,3 MPa ⁽²⁾
p _D	0,8(σ _D) = 0,8(393.3) = 314,6 MPa ⁽³⁾
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a R _e získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	
Čep je uvažován jako statický bez dynamických účinků. Je to proto, že zde dochází k minimálnímu úhlu otočení příložek v rozsahu cca 0-5° a poté dochází k destrukci vzorku, čímž je čep následně odlehčen. Proto je zde považován pohyb za zanedbatelný. Koeficient dovoleného napětí je tedy volen pro statické uložení.	

Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti materiálu čepu [11]



Obrázek 34 - Rozklad sil



Obrázek 35 - Kontrolovaná varianta čepu na otláčení

$$F = \frac{50000 \cdot \sin 45^\circ}{2} = 17678 \text{ N}$$

$$S = b \cdot d = 4,3 \cdot 16 = 68,8 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{17678}{68,8} = 256,9 \text{ MPa}$$

$$p_D = 314,6 \text{ MPa} > 256,9 \text{ MPa} = p \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.3 Kontrola koncovek

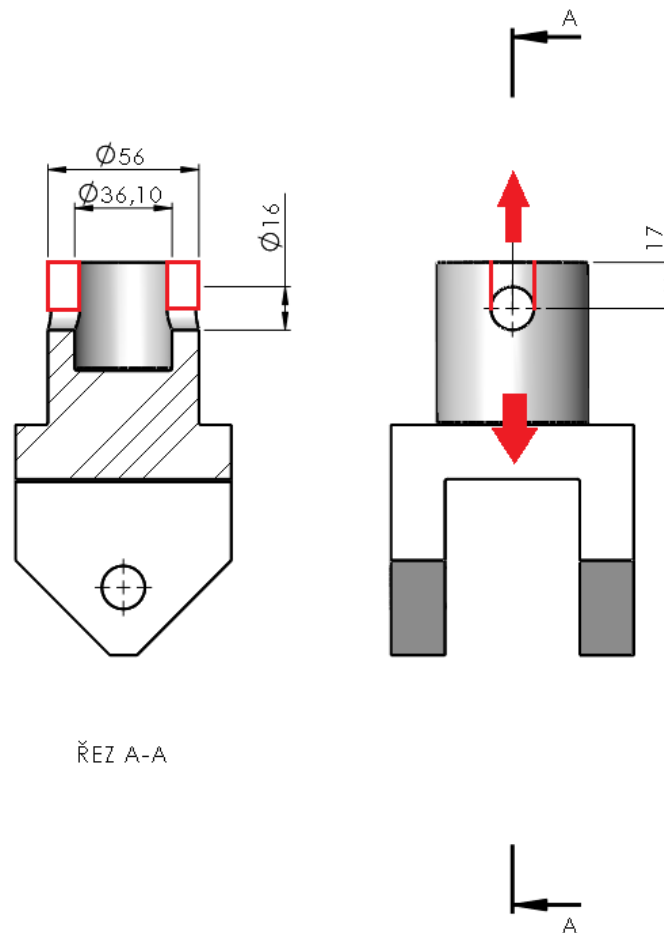
Nepatrně kritičtější variantou koncovky je varianta pro testování tloušťky panelu 1". Obě varianty jsou si velmi podobné, ovšem tato varianta má o 1.5mm užší tloušťku stěn za které drží čep v rámečku. Tento rozdíl má však minimální dopad, protože maximální napětí vzniká v místě spojení s trhačkou, kde jsou při stejné zátěži menší smykové a tahové plochy. Nejhorší varianta zatížení v této se sestavě očekává otláčení v kontaktním spoji čepem. Materiál koncovky je tedy volen lepší kvality, než je tomu u čepu, takže v případě přetížení dojde k poškození čepu, který je normalizovaný a je jednoduše k sehnání. Kontrola koncovky na otláčení tedy odpadá, protože je pokryta kontrolou na otláčení čepu.

Kontrola koncovek na smyk

Nejhorší varianta zatížení ve smyku je dle předpokladu v nejmenších plochách průřezu. Ty jsou očekávány na bočních stranách směrem od otvorů pro čepy. Z analýzy smykových ploch v CAD modelu se ukázala být kritičtější plocha v horní části koncovek, viz obrázek pod textem.

Materiál	ČSN 15230.7
R _m	980,0 MPa ⁽¹⁾
R _e	835,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	$R_e/1,5 = 835/1,5 = 556,6 \text{ MPa}^{(2)}$
τ _D	$0,6(\sigma_D) = 0,6(556,6) = 334,0 \text{ MPa}$
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a R _e získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	

Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti materiálu koncovky [11]



Obrázek 36 - Kontrolovaná varianta koncovky na smyk

$$F = 50000 \text{ N}$$

$$S = 703,484 \text{ mm}^2 - \text{získáno z CAD modelu}$$

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{50000}{703,484} = 71,1 \text{ MPa}$$

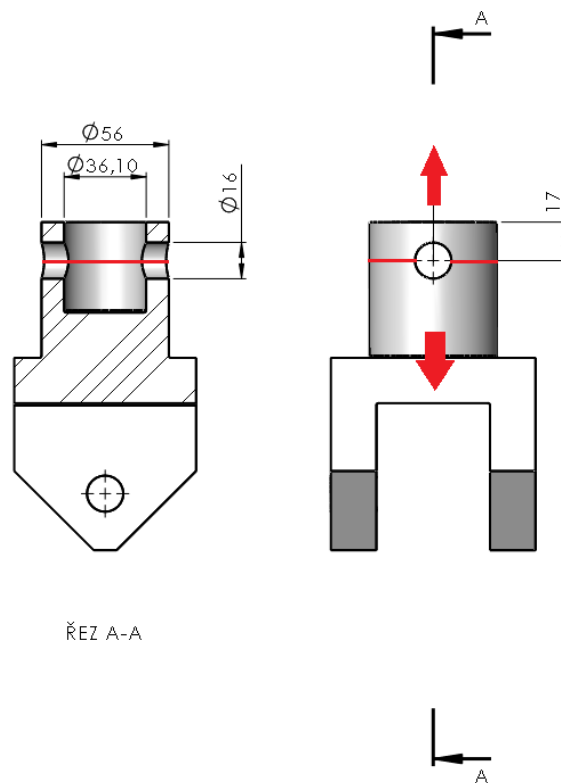
$$\tau_D = 334,0 \text{ MPa} > 71,1 \text{ MPa} = \tau \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola koncovek na tah

S úvahou kritické části koncovky namáhané na tah je tomu podobně, jako u smyku. Nejmenší plochou namáhanou smykem je zde rovina řezu osou vrchního otvoru koncovky pro čep. V tomto bodě je průřez koncovky maximálně oslaben a dochází zde k nejvyššímu tahovému napětí.

Materiál	ČSN 15230.7
R _m	980,0 MPa ⁽¹⁾
Re	835,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	Re/1,5 = 835/1,5 = 556,6 MPa ⁽²⁾
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a Re získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	

Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti materiálu koncovky [11]



Obrázek 37 - Kontrolovaná varianta koncovky na tah

$$F = 50000 \text{ N}$$

$$S = 1113,264 \text{ mm}^2 - \text{získáno z CAD modelu}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{50000}{1113,264} = 44,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = 556,6 \text{ MPa} > 44,9 \text{ MPa} = \sigma \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.4 Kontrola příložek

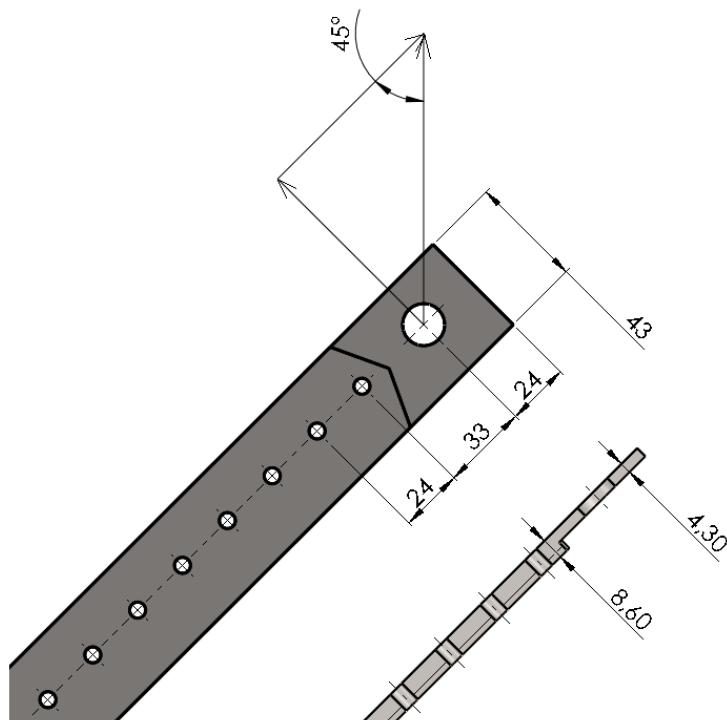
V případě použití příložek jde o jedinou variantu. S Materiálem příložek je tomu stejně jako s volbou materiálu koncovek. Je volen stejný materiál vyšší kvality, než je čep. Tedy kontrola na otláčení čepem je pokryta výpočtem kontroly na otláčení čepu.

Kontrola příložek na ohyb

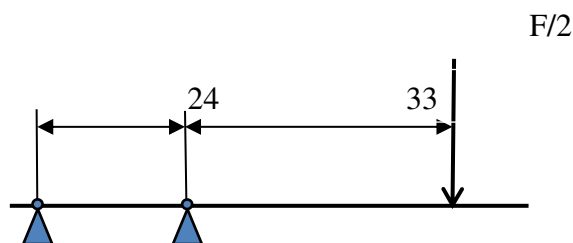
Nejvíce namáhaným úsekem ohybem příložky je zde uvažován úsek mezi otvorem pro čep a prvním otvorem pro šroub, kde je největší rameno zatížení a zároveň nejslabší průřez.

Materiál	ČSN 15230.7
R _m	980,0 MPa ⁽¹⁾
Re	835,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	Re/1,5 = 835/1,5 = 556,6 MPa ⁽²⁾
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a Re získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	

Tabulka 7 - Mechanické vlastnosti materiálu příložky [11]



Obrázek 38 - Kontrolovaná varianta příložky na ohyb



Platí tedy že $l = 33$

Obrázek 39 - Vyjádření ohybového momentu

$$F = \frac{50000 \cdot \sin 45^\circ}{2} = 17678 \text{ N}$$

$$M_o = \frac{F \cdot l}{2} = \frac{17678 \cdot 33}{2} = 291687 \text{ Nmm}$$

$$W_o = \frac{b \cdot h^3}{6} = \frac{4,3 \cdot 43^3}{6} = 1325,117 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{291687}{1325,117} = 220,1 \text{ MPa}$$

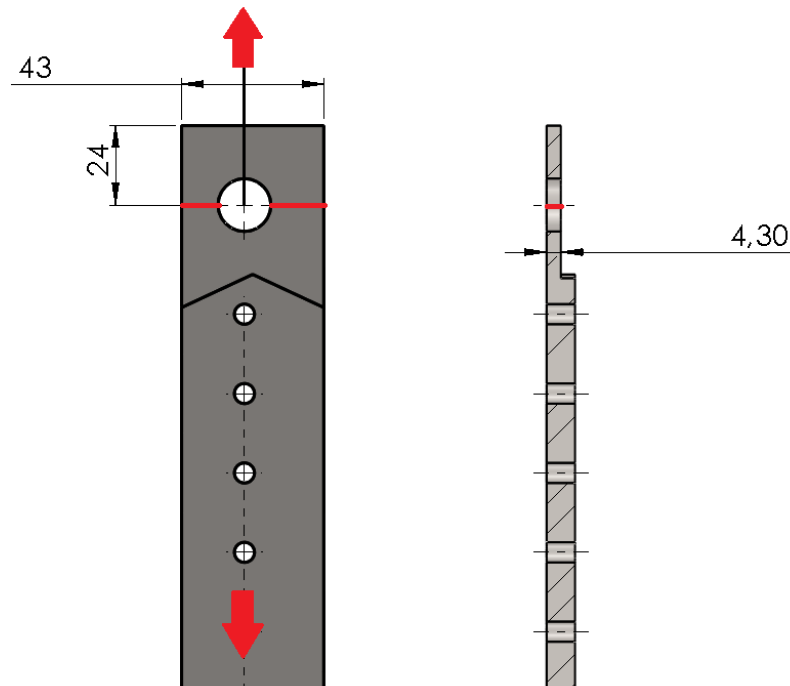
$$\sigma_D = 556,6 \text{ MPa} > 220,1 \text{ MPa} = \sigma \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola přílozek na tah

Nejmenší zatíženou plochou tahem, je zde uvažována plocha řezu v rovině procházející osou čepu. Průřez je zde maximálně oslaben a dochází zde k maximálnímu napětí.

Materiál	ČSN 15230.7
R _m	980,0 MPa ⁽¹⁾
Re	835,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	Re/1,5 = 835/1,5 = 556,6 MPa ⁽²⁾
POZN.:	
1. Hodnoty R _m a Re získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].	
2. Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.	

Tabulka 8 - Mechanické vlastnosti materiálu příločky [11]



Obrázek 40 - Kontrolovaná varianta příložky na tah

$$F = \frac{50000 \cdot \sin 45^\circ}{2} = 17678 \text{ N}$$

$$S = a \cdot (b - d) = 4,3 \cdot (43 - 16) = 116,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{17678}{116,1} = 152,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = 556,6 \text{ MPa} > 152,3 \text{ MPa} = \sigma \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola příložek na smyk

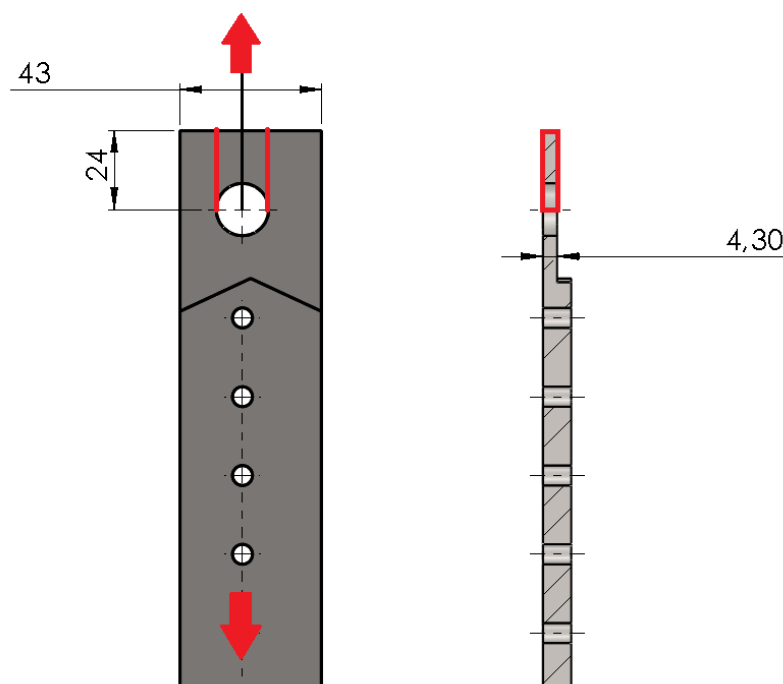
Nejmenší plochou zatíženou smykem se zde z CAD analýzy smykových ploch ukázala být plocha směrem od otvoru čepu ke kraji. Průřez je zde maximálně oslaben a vzniká zde největší napětí.

Materiál	ČSN 15230.7
R _m	980,0 MPa ⁽¹⁾
Re	835,0 MPa ⁽¹⁾
σ _D	Re/1,5 = 835/1,5 = 556,6 MPa ⁽²⁾
τ _D	0,6(σ _D) = 0,6(556,6) = 334,0 MPa

POZN.:

- Hodnoty R_m a Re získány ze strojnických tabulek str. 232-238 [11].
- Děleno minimálním možným koeficientem pro požadovanou bezpečnost.

Tabulka 9 - Mechanické vlastnosti materiálu příložky [11]



Obrázek 41 - Kontrolovaná varianta příložky na smyk

$$F = \frac{50000 \cdot \sin 45^\circ}{2} = 17678 \text{ N}$$

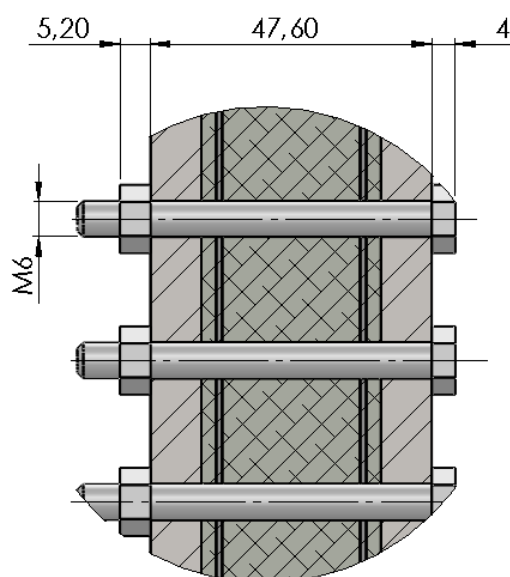
$$S = 2 \cdot c \cdot b = 2 \cdot 24 \cdot 4,3 = 206,4 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{17678}{206,4} = 85,6 \text{ MPa}$$

$$\tau D = 334,0 \text{ MPa} > 85,6 \text{ MPa} = \sigma \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.3.5 Kontrola šroubů

Požadavek na šrouby zde vyplývá pouze z požadovaného utahovacího momentu normou. Je preventivně volen lepší materiál šroubů, aby v případě komplikací s upínáním bylo možno utahovací moment navýšit. Šrouby na přípravku jsou předepnuty utahovacím momentem $4 \pm 0,6$ Nm. Jsou namáhány tahem a na otláčení závitů. V tomto případě je samozřejmě možné, spočítat specifickou sílu v ose šroubu, ale v tomto případě, výrobce zaručuje specifickou kvalitu. Výrobce udává specifické hodnoty utahovacích momentů a zatížení v ose šroubu, za které zákazníkovi ručí. Požadovaný utahovací moment definovaný normou je víc než o polovinu menší, tedy není nutno nic početně kontrolovat.



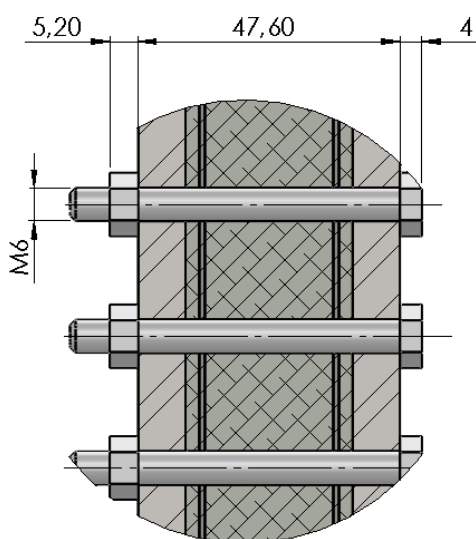
Obrázek 42 - Kontrolovaná varianta šroubů na tah

Pevnostní třída šroubu	8.8
Utahovací moment doporučený výrobcem	9,7 Nm(1)
Síla v ose šroubu při předepnutí doporučeným utahovacím momentem	8302 N(1)
POZN.:	
1. Hodnoty získány z webových stránek výrobce šroubů [8].	

Tabulka 10 - Mechanické vlastnosti materiálu šroubu [8]

5.3.6 Kontrola matic

Maximální zatížení matic vyplývá z požadovaného utahovacího momentu normou, který matice namáhá na otláčení závitů, nicméně jsou zde zvoleny normalizované matice vyšší testované hodnoty na otláčení tak, aby bylo možno utáhnout šroub dokonce na doporučený utahovací moment výrobcem bez poškození matice.



Obrázek 43 - Kontrolovaná varianta matice na otláčení závitů

Pevnostní třída matice	5
Typ matice	2
Maximální zatížení matice v ose	11700 N ⁽¹⁾
POZN.:	
1. Hodnoty získány z webových stránek výrobce matic [8].	

Tabulka 11 - Mechanické vlastnosti materiálu matice [8]

6 Návrh postupu pro testování

6.1 Montáž

Je doporučeno dodržovat definovaný montážní postup. Nedodržením montážního postupu je ohrožena bezpečnost obsluhy, funkčnost přípravku a správnost provedení zkoušky. Montážní postup je definován v následujících krocích.

1. Vizuální kontrola vzorku před montáží. Pokud nejsou na vzorku viditelné vady, je možno pokračovat.
2. Přiložit příložky rámečku k vzorku a vložit jednotlivé šrouby a pouze je pojistit maticemi, ale neutahovat je, aby byla možná jemná manipulace a následné vložení čepů. Je nutno dbát na správnou orientaci příložek. Příložky nejsou symetrické. Díry pro šrouby neleží ve středové ose příložky.
3. Vložit čepy pouze do rámečku bez koncovek a utáhnout šrouby utahovacím momentem $4 \pm 0,6$ Nm. Tím se stáhne rámeček tak, aby ho bylo možno vložit do koncovek, ale zároveň se zajistí jeho poloha děr pro čepy ve správné pozici.

4. Vyjmout horní a dolní čep pro připojení rámečku ke koncovce a následně nasadit koncovky a opět je čepem zajistit. V případě varianty 0,25" a 0,75" je nutno přidat mezi rámeček a koncovku distanční vložky a pojistit je čepy tak, aby nedocházelo k nadměrnému ohýbání čepu. V případě zanedbání použití distančních vložek čep neplní správně svou funkci a pravděpodobně bude nadměrně opotřebováván a poškozen.
5. Pokud jsou šrouby utaženy požadovaným utahovacím momentem a celý rámeček je zajištěn čepy ke koncovkám, je možno nejdříve nasadit spodní část koncovky do trhačky a následně nasadit horní část do vodícího otvoru a poté už nastavit správnou osovou vzdálenost dvou nejvzdálenějších otvorů pro čepy tak, aby bylo možné zasunout poslední čep a zajistit tak přípravek v trhačce.
6. Před zkouškou musí být všechny čepy zajištěny závlačky tak, aby nemohlo dojít k jejich vysunutí.

6.2 Zatěžování vzorku

V případě, že obsluha dokončila montáž, je možno začít s testem. Obsluha by se z bezpečnostních důvodů neměla nacházet v blízkosti vzorku nebo se ho dotýkat (uvažovaná minimální vzdálenost 0,5 m)

Vzorek by měl být zatěžován s lineárním nárůstem zatížení, dokud nedojde k selhání vzorku. Data zatížení by v závislosti na poloze pístu měla být zaznamenávána tak, aby bylo možno sestrojít graf závislosti. Test musí proběhnout v časovém intervalu 3-6 minut.

Testovací prostředí by mělo nejlépe odpovídat prostředí použití materiálu. Mezi nejdůležitější sledované parametry patří vlhkost a teplota vzduchu.

Po selhání vzorku je nutno před demontáží vyhodnotit maximální zatížení před selháním vzorku, ale zároveň také způsob selhání, viz kapitola 3.2.

6.3 Demontáž

Je doporučeno dodržovat definovaný demontážní postup. Nedodržením demontážního postupu je ohrožena bezpečnost obsluhy, funkčnost přípravku a správnost provedení zkoušky. Montážní postup je definován v následujících krocích.

1. Odlehčení vzorku tak, aby bylo možné vyjmout čepy spojující přípravek se strojem.
2. Vyjmutí všech ostatních čepů.
3. Uvolnění a vyjmutí všech šroubů.
4. Vyjmutí vzorku ze zkušebního rámečku.
5. Očištění částí přípravku od zbytků vzorku, tak aby byl připraven k opakovanému použití.

6.4 Vyhodnocení výsledků

Výsledné hodnoty zatížení budou vyhodnocovány pomocí tzv. metody B-Bases. Princip metody spočívá v testování několika vzorků pro tuto zkoušku ideálně 5-6 vzorků. Vyjádřená hodnota odpovídá průměru hodnot mínus směrodatná odchylka vynásobena koeficientem vycházejícího z počtu testovaných vzorků vyjadřující přesnost odchylky. V případě použití vyššího množství vzorku koeficient klesá, s ním klesá i odchylka a je možno docílit přesnějších výsledků. Odchylka se samozřejmě pohybuje v hodnotách \pm , ale pro vyhodnocení je uvažována jen varianta nejnižší možné hodnoty zatížení selhání vzorku.

Vzorec:

$$B_{\text{value}} = \bar{X} - K_B \cdot s$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Kde je:

\bar{X} - střední hodnota

S - směrodatná odchylka

K_B - jednostranný B-Basis toleranční limitní faktor.

N - počet vzorků

$$N = 5, K_B = 3,408$$

$$N = 6, K_B = 3,007$$

Hodnoty budou zaznamenávány do následující tabulky:

Č. Vzorku	Maximální zatížení [kg]	Maximální zatížení [N]	Druh selhání a jeho pozice
1			
2			
3			
4			
5			
6			
Střední hodnota [N]:			N = 6; $K_B = 3,007$
Směrodatná odchylka [N]:			
Hodnota zatížení B-Basis [N]:			

Tabulka 12 - Tabulka pro vyhodnocení výsledků

7 Zhodnocení práce a závěr

Přípravek byl navržen pro použití do trhačky TIRAtest 2850 pro maximální zatížení 50000 N pro testování sendvičových panelů o tloušťkách 0,25", 0,4", 0,5", 0,75" a 1". Přípravek je možné samozřejmě upnout do jiné trhačky stejných přípojovacích rozměrů jako trhačky uvažované pro použití s limitací maximálního zatížení do 50000 N.

Přípravek byl na požadované zatížení početně zkontrolován a žádná z jeho částí není vystavována hodnotám napětí přesahujících hodnoty dovoleného napětí. V případě že některá z namáhaných součástí není kontrolována, je to proto, že je zde použita podobná varianta součástí, která je více kritická a pokrývá tak pevnost méně kritické varianty.

Přípravek splňuje požadavky a doporučení zkušební normy D8067/D8067M – 17. Základní rozměry přípravku a vzorku byly dodrženy, s výjimkou velikosti rohového výřezu vzorku, který byl zvětšen o 5,5 mm z důvodu kolize s čepem. Tato změna nemá významný vliv. Mechanický rozklad sil vytvářený přípravkem je neměnný.

V průběhu konstruování bylo usouzeno z konstrukčního hlediska, že tato zkušební metoda je sice pro zkoušku použitelná, ale její použití je pravděpodobně uvažováno pro vzorky s nižší pevností například pro očekávané zatížení 10000 N. Tento úsudek je založen na faktu, že průřez přílozek zkušebního rámečku je zkušební normou definován velmi tenký a to 8,6 mm. Nízkou tloušťkou přílozek je pak kladen velký nárok na mechanické vlastnosti materiálu přílozek a čepů. Z hlediska konstruktéra by bylo vhodnější použití zkušební normy, která dovoluje použití většího průřezu přílozek rámečku. Napětí by pak bylo v kritických bodech mnohem nižší a byla by možná volba značně levnějšího materiálu přípravku.

Část zabývající se rešerší je věnována kromě obecného rozdělení zkušebních metod testování sendvičových panelů také detailnějšímu rozboru zkušební metody testování pro použití přípravku. Dále je zde velká pozornost věnována sendvičovým panelům. Je zde také pro zajímavost krátká zmínka o historii firmy a její specializaci, která je zadavatelem této práce.

8 Seznam použité literatury

8.1 Publikace na internetu

- [1] Kdo jsme [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z: <https://www.delamedoletadel.cz/my-jsme-safran-cabin-cz/>
- [2] Mechanika kompozitních materiálů, analytické metody výpočtu stabilitních úloh kompozitních desek a sendvičových panelů a jejich porovnání s MKP [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z:
http://www.kompozity.info/clanky/compdb/ztrata_stability_kompozitu.pdf
- [3] Three types of buckling of axially compressed sandwich columns [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z:
https://shellbuckling.com/presentations/sandwiches/pages/page_10.html
- [4] Sandwich panel scheme [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Sandwich-panel-scheme-Sandwich-concept-Timoshenko-beam-theory-Flexural-rigidity-Shear_fig1_326551681
- [5] Honeycombs and Honeycomb Materials Information [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z:
https://www.globalspec.com/learnmore/materials_chemicals_adhesives/composites_textiles_reinforcements/honeycombs_honeycomb_materials
- [6] Potential failure modes of sandwich panels [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Potential-failure-modes-of-sandwich-panels-Zenkert-1997-Face-yielding-fracture-b_fig5_317046312
- [7] Material testing [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z: <https://www.tira-gmbh.de/en/material-testing/tensilecompressionbendingtorsion/>
- [8] Utahovací momenty šroubů [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/technicke-informace/utahovaci-momenty-sroubu>
- [9] Technické informace [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z:
<https://www.briol.cz/data/editor/file/BOSSARD%20Techinfo.pdf>
- [10] Vinuté závlačky [online].
[cit. 2019-19-05]. Dostupné z: <https://www.fabory.com/cs/Elementy-z%C5%82%C4%85czne/Ko%C5%82ki-i-wpusty/Zawleczki-spr%C4%99%C5%BCyste/c/010409>

8.2 Knižní publikace

[11] Ing. Jiří Leinveber a Ing. Pavel Vávra. STROJÍRENSKÉ TABULKY Páté vydání.

V Úvaly: ALBRA, 2011.

ISBN 978-80-7316-081-4.

8.3 Placené normy a firemní dokumenty

[12] ASTM International. D8067/D8067M – 17: Standard Test Method for In-Plane Shear Properties of Sandwich Panels Using a Picture Frame Fixture.

V West Conshohocken,US: TBT, 2017.

[13] Safran Cabin NL. SMS817: STANDARD MATERIAL SPECIFICATION : SANDWICH PANELS Rev. C.

V Alkmaar,Holandsko: Safran Cabin CZ, 2016.

[14] Safran Cabin CZ. SMS827: STANDARD MATERIAL SPECIFICATION : LAMINATE FABRICATION Rev. A.

V Alkmaar,Holandsko: Safran Cabin CZ, 2019.

[15] Safran Cabin NL. STP801: STANDARD TEST PROCEDURE : CLIMBING DRUM PEEL FOR SANDWICH PANELS Rev. NC.

V Alkmaar,Holandsko: Safran Cabin CZ, 2016.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Firma Safran Cabin CZ	11
Obrázek 2 - Produkty ze sendvičových panelů	12
Obrázek 3 - Testování konstrukce sendvičového panelu na zatížení 9G	12
Obrázek 4 - Ukázka příkladného mechanického chování kompozitu [2]	13
Obrázek 5 - Schéma konstrukce sendvičového panelu [4]	14
Obrázek 6 - Typy materiálové nestability při zatížení tlakem [3].....	15
Obrázek 7 - Typy materiálových poruch při zatížení tlakem [2]	15
Obrázek 8 - Typy materiálových poruch při normálovém zatížení [2].....	16
Obrázek 9 - Schéma výroby sendvičového panelu [5].....	17
Obrázek 10 - Schéma ukazující odlišnou tloušťku stěn honeycombu	18
Obrázek 11 - Označování orientace honeycombu.....	19
Obrázek 12 - Schéma zatížení tříbodovým ohybem [13].....	20
Obrázek 13 - Fotografie zkušební metody tříbodovým ohybem.....	21
Obrázek 14 - Schéma zatížení čtyřbodovým ohybem [13]	21
Obrázek 15 - Fotografie zkušební metody čtyřbodovým ohybem	22
Obrázek 16 - Schéma zkoušky navíjením na válec.....	23
Obrázek 17 - Rozdělení druhů selhání na mikroskopickém záběru [15]	23
Obrázek 18 - Fotografie zkušební metody navíjením na válec [15]	24
Obrázek 19 - Schéma zkoušky tahem naplocho [13].....	25
Obrázek 20 - Fotografie zkušební metody tahem naplocho.....	25
Obrázek 21- Náčrt požadovaného vzorku s požadovanými rozměry	26
Obrázek 22 - Varianty provedení vzorku	27
Obrázek 23 - Schéma zkoušky namáháním čtvercového plochého vzorku smykem pomocí kloubového systému	28
Obrázek 24 - Materiál vzorku	29
Obrázek 25 - Definované rozměry zkušebních vzorků	30
Obrázek 26 - Zkušební stroj [7]	30
Obrázek 27 - Připojovací rozměry	31
Obrázek 28 - 3D model předpřipraveného vzorku k testování	33
Obrázek 29 - Skica předpřipraveného vzorku k testování	34
Obrázek 30 - Přibližný návrh přípravku.....	36
Obrázek 31 – Nejhorší použitá varianta zatížení čepu na ohyb	37
Obrázek 32 - Vyjádření ohybového momentu	38
Obrázek 33 - Kontrolovaná varianta čepu na smyk	39

Obrázek 34 - Rozklad sil	40
Obrázek 35 - Kontrolovaná varianta čepu na otláčení	41
Obrázek 36 - Kontrolovaná varianta koncovky na smyk	42
Obrázek 37 - Kontrolovaná varianta koncovky na tah	43
Obrázek 38 - Kontrolovaná varianta příložky na ohyb	45
Obrázek 39 - Vyjádření ohybového momentu	45
Obrázek 40 - Kontrolovaná varianta příložky na tah	47
Obrázek 41 - Kontrolovaná varianta příložky na smyk	48
Obrázek 42 - Kontrolovaná varianta šroubů na tah	49
Obrázek 43 - Kontrolovaná varianta matice na otláčení závitů	50

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vhodnosti použití jednotlivých variant	32
Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti materiálu čepu [11]	37
Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti materiálu čepu [11]	39
Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti materiálu čepu [11]	40
Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti materiálu koncovky [11]	42
Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti materiálu koncovky [11]	43
Tabulka 7 - Mechanické vlastnosti materiálu příložky [11]	44
Tabulka 8 - Mechanické vlastnosti materiálu příložky [11]	46
Tabulka 9 - Mechanické vlastnosti materiálu příložky [11]	47
Tabulka 10 - Mechanické vlastnosti materiálu šroubu [8]	49
Tabulka 11 - Mechanické vlastnosti materiálu matice [8]	50
Tabulka 12 - Tabulka pro vyhodnocení výsledků	52

11 Seznam příloh

11.1 Vázané

Příloha č. 1 - Výkres sestavy – BP–2019–STP075 – PRIPRAVEK 075 IN

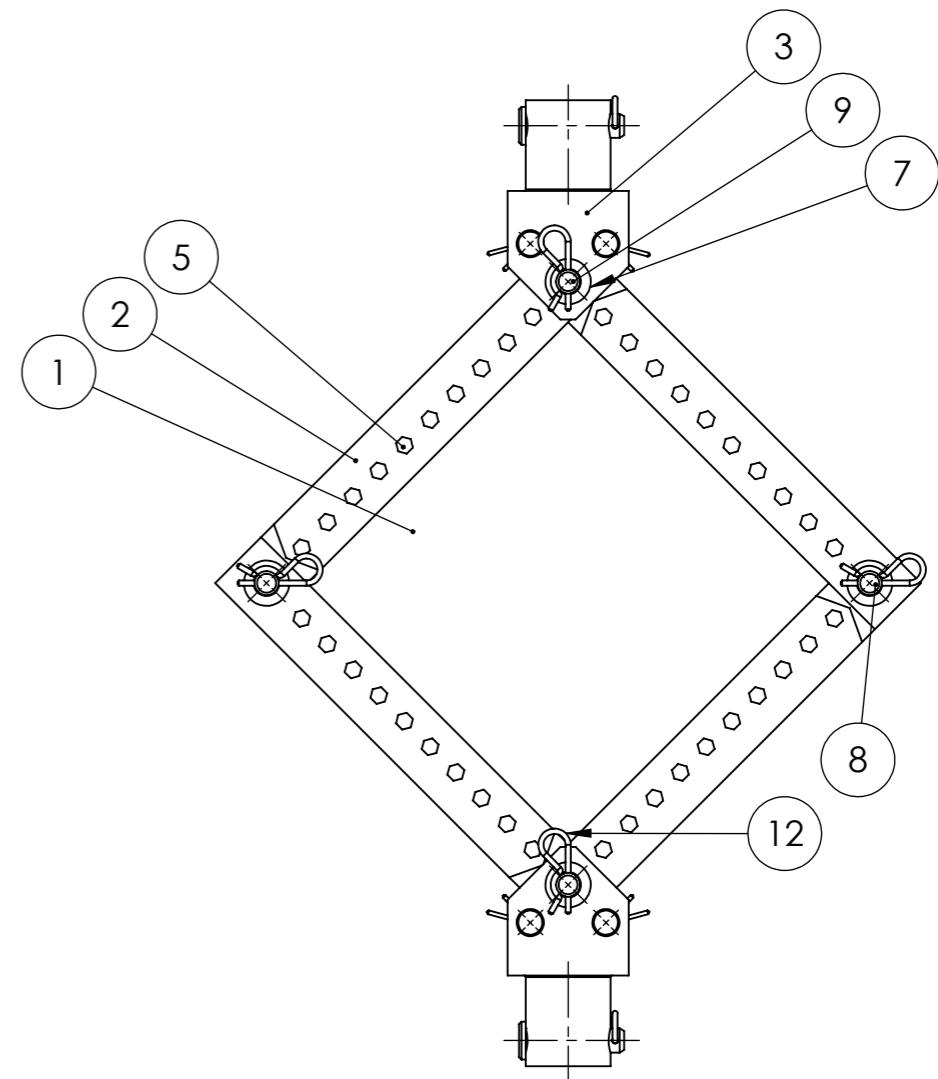
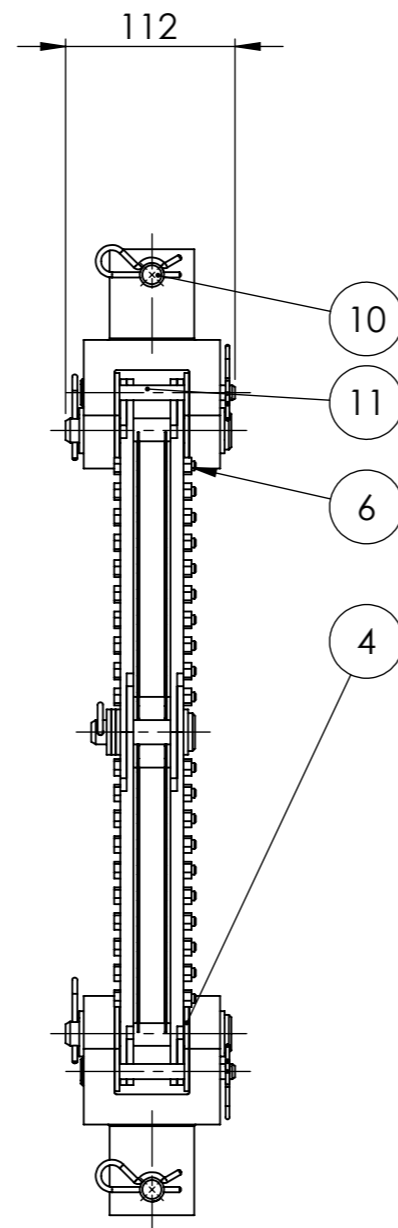
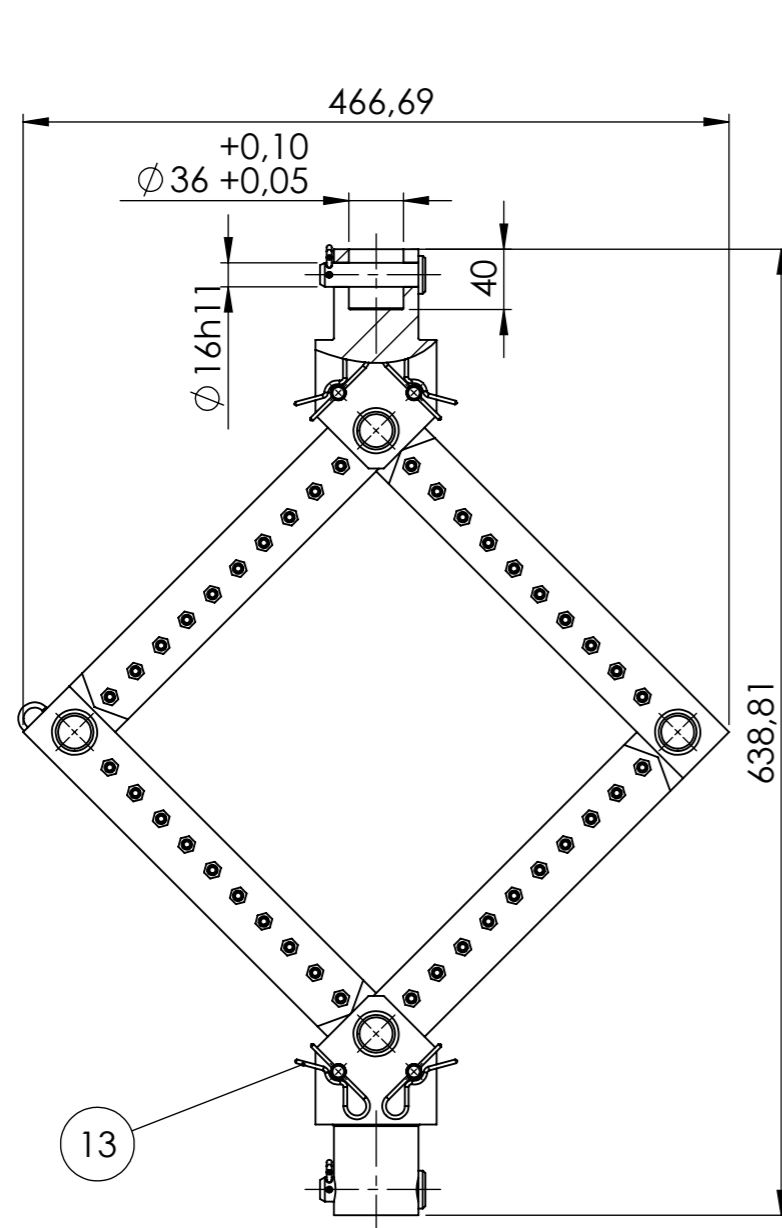
Příloha č. 2 – Kusovník – BP–2019–STP075K – PRIPRAVEK 075 IN

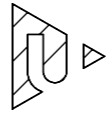
Příloha č. 3 – Výkres sestavy – BP–2019–TSP – 075 – VZOREK 075 IN

Příloha č. 4 – Výrobní výkres – BP–2019–001 – PRILOZKA

Příloha č. 5 – Výrobní výkres – BP–2019–002 – KONCOVKA 1 IN

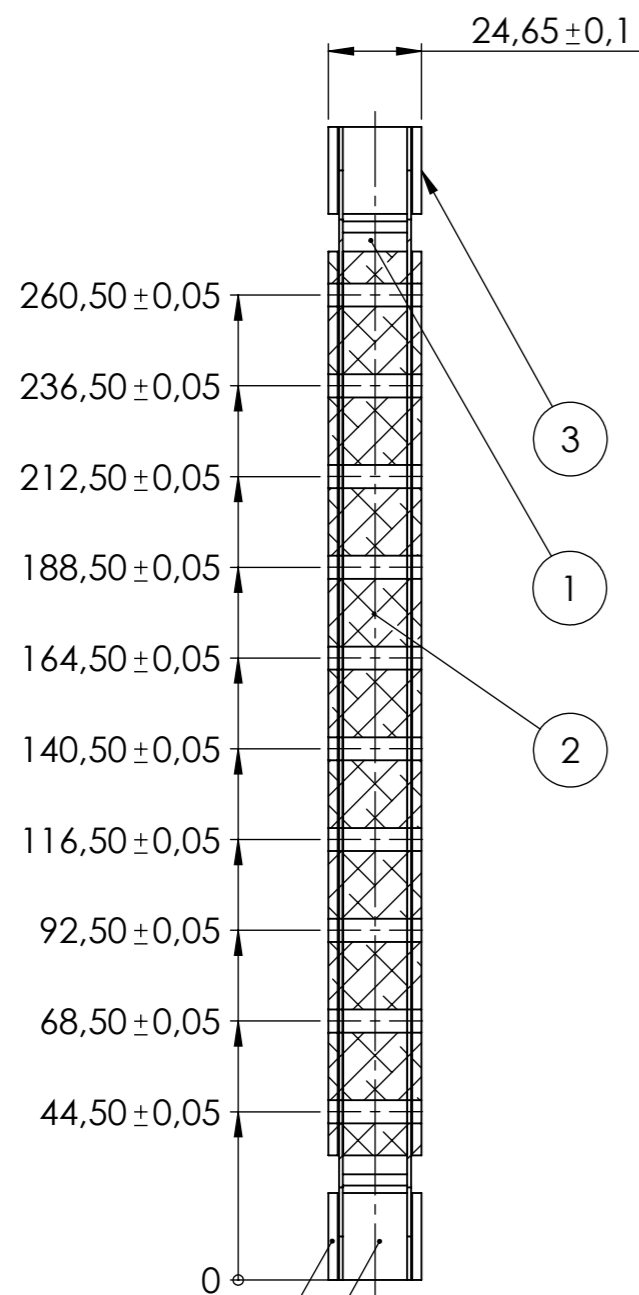
Příloha č. 6 – Výrobní výkres – BP–2019–003 – DISTANCNI VLOZKA



Měřítko	1:5	Hmotnost (kg)	Promítání	Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	MATĚJ TOPIČ	Název		
	Datum	21.05.2019			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	MICHAL KRÍŽEK	Číslo dokumentu		
	Datum	20.5.2019			
Druh dokumentu			VÝKRES SESTAVY		
			List 1 Listů 1		

Číslo polož.	Název - označení	Polotovár	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
1	ZKUSEBNÍ VZOREK 075				
	BP-2019-TSP-075			ks	1
2	PRILOŽKA	PLO 10x45h11-340 - ČSN 42 6522.11	0,775	ks	8
	BP-2019-001	ČSN 15230.7			
3	KONCOVKA 11IN	4HR 100 Z - ČSN 42 5520.11	3,155	ks	2
	BP-2019-002	ČSN 15230.7			
4	DISTANČNÍ VLOŽKA	P3,5 - 90x70 - ČSN 42 6310.11	0,086	ks	4
	BP-2019-003	ČSN 15230.7			
5	ŠROUB M6x50		0,014	ks	40
	ČSN 4017 - 8,8				
6	MATICE M6		0,003	ks	40
	ČSN 4033 - 5				
7	PODLOŽKA 16		0,012	ks	12
	ČSN EN ISO 7089 - 200HV				
8	ČEP 16 x 58		0,118	ks	2
	ISO 2341 - 14220.4	ČSN 14220.4			
9	ČEP 16 x 99		0,183	ks	2
	ISO 2341 - 14220.4	ČSN 14220.4			
10	ČEP 16 x 59		0,119	ks	2
	ISO 2341 - 14220.4	ČSN 14220.4			
11	ČEP 10 x 93		0,066	ks	4
	ISO 2341 - 14220.4	ČSN 14220.4			
12	ZÁVLAČKA 4x50		0,010	ks	6
	DIN 11 024 - ST				
13	ZÁVLAČKA 3x50		0,005	ks	4
	DIN 11 024 - ST				

 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil MATĚJ TOPIČ Datum 21.05.2019	Název <h1>PRIPRAVEK 075IN</h1>
	Schválil MICHAL KRÍŽEK Datum 20.5.2019	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu SEZNAM POLOŽEK	List 1 Listů 1

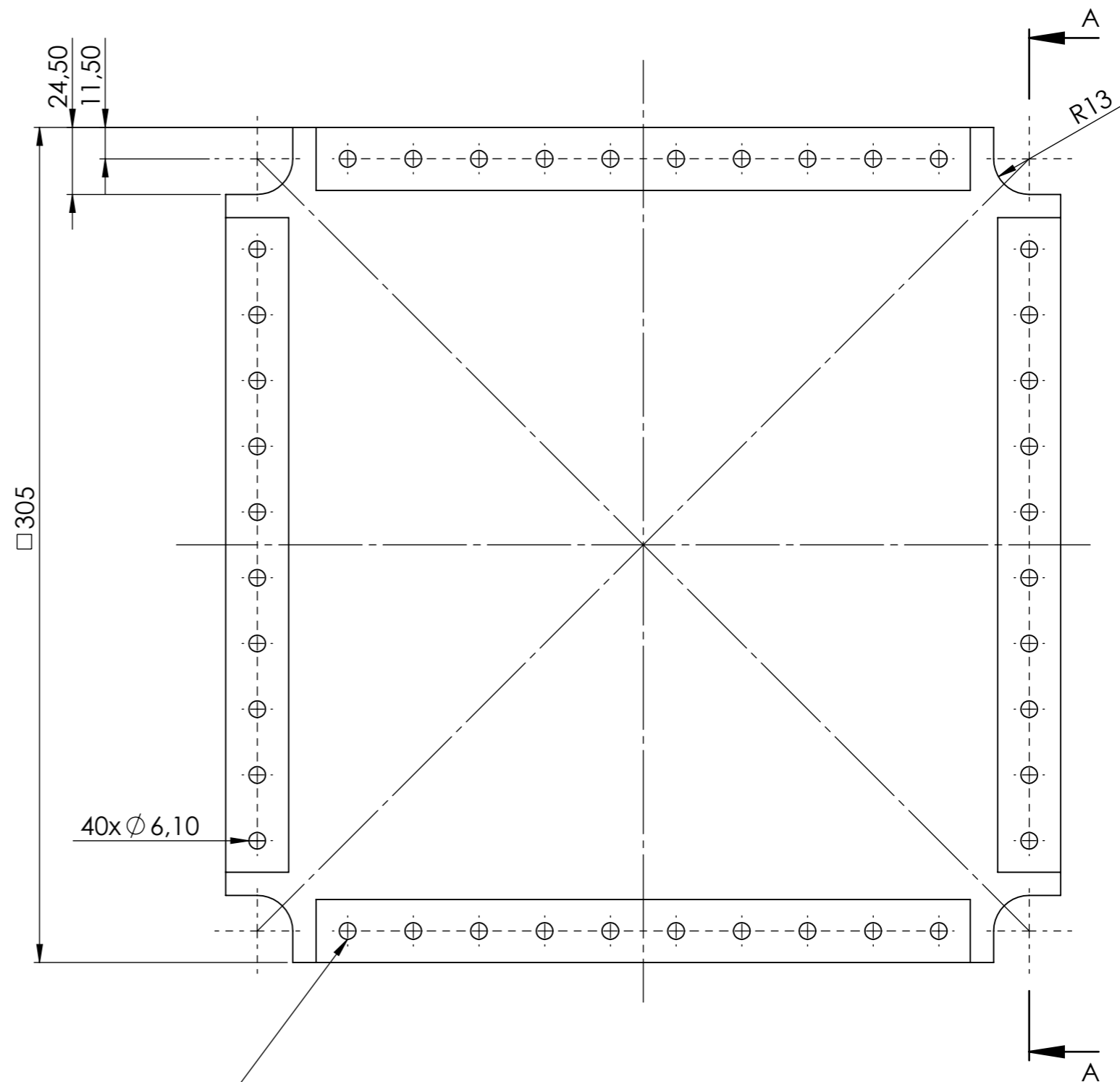


ŘEZ A-A
MĚŘITKO 1 : 2

LEPIT POSTUPEM SPS807 - LEPIDLO SMS803 POUZE K VNĚJŠÍ STĚNĚ, POŽADOVANÁ VRSTVA LEPIDLAPO ZTUHNUTÍ 0,3 mm

LEPIT POSTUPEM SPS807 - LEPIDLO SMS803 , POŽADOVANÁ VRSTVA LEPIDLAPO ZTUHNUTÍ 0,3 mm

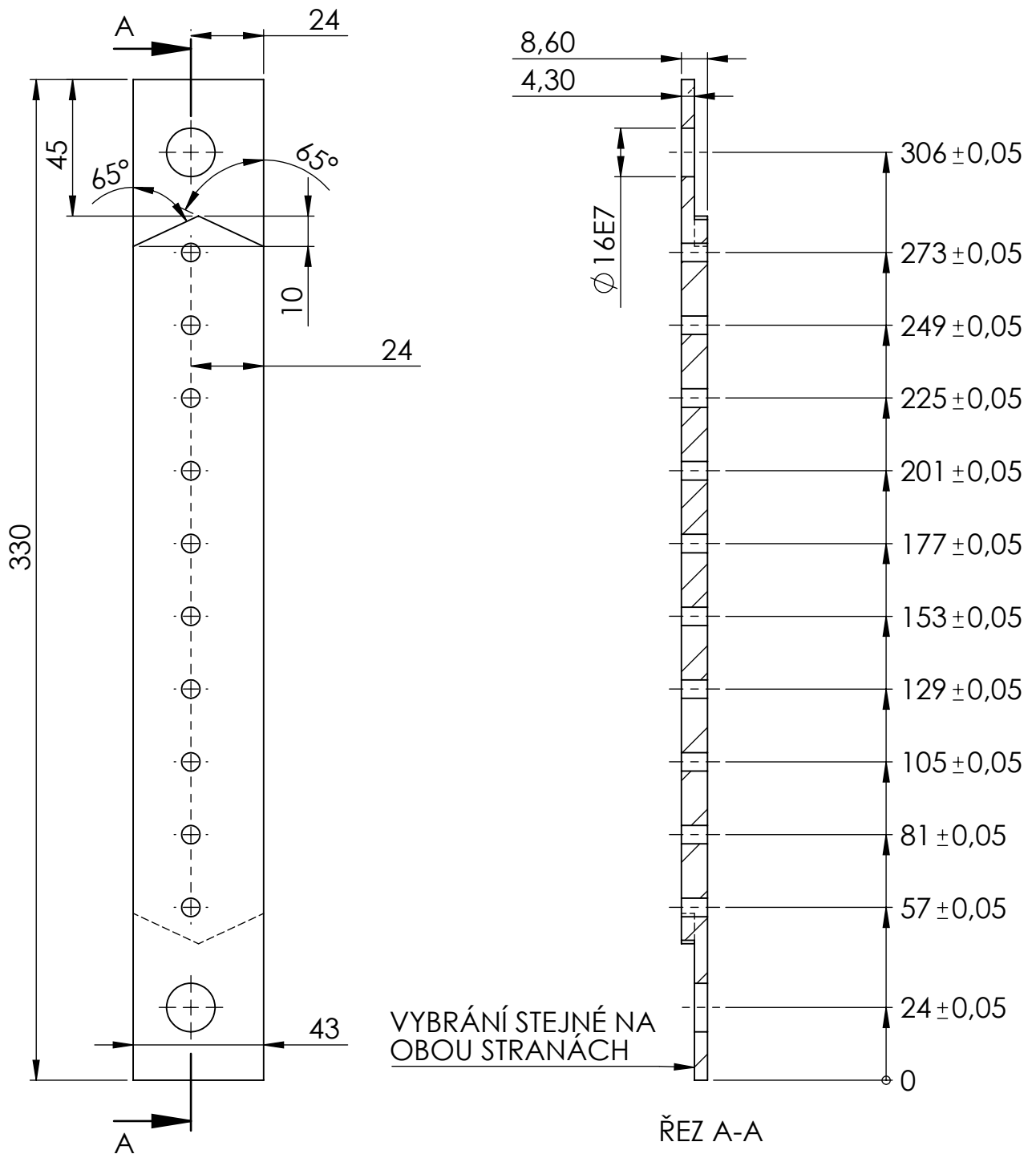
DÍRY VRTAT AŽ PO LEPENÍ



Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	VÝKRES - POLOTOVAR - MATERIÁL	Množství
3	DOUBLER	BP-2019-DB -25 - 25x2,5-239 ČSN 42 5340.1 - 11 375.1	8
2	INSERT 075	BP-2019-IN-075 - 18x2,5-239 ČSN 42 5340.1 - 11 375.1	4
1	SENDVIČOVÝ PANEĽ	BP-2019-SP-075 - OBROBEK - KOMPOZIT	1

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	Promítání	Formát	A3
---------	-----	---------------	-----------	--------	----

<p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil	MATĚJ TOPIČ	Název VZOREK 075
	Datum	21.05.2019	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	MICHAL KRÍŽEK	Číslo dokumentu BP-2019-TS-075
	Datum	20.5.2019	
	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY	

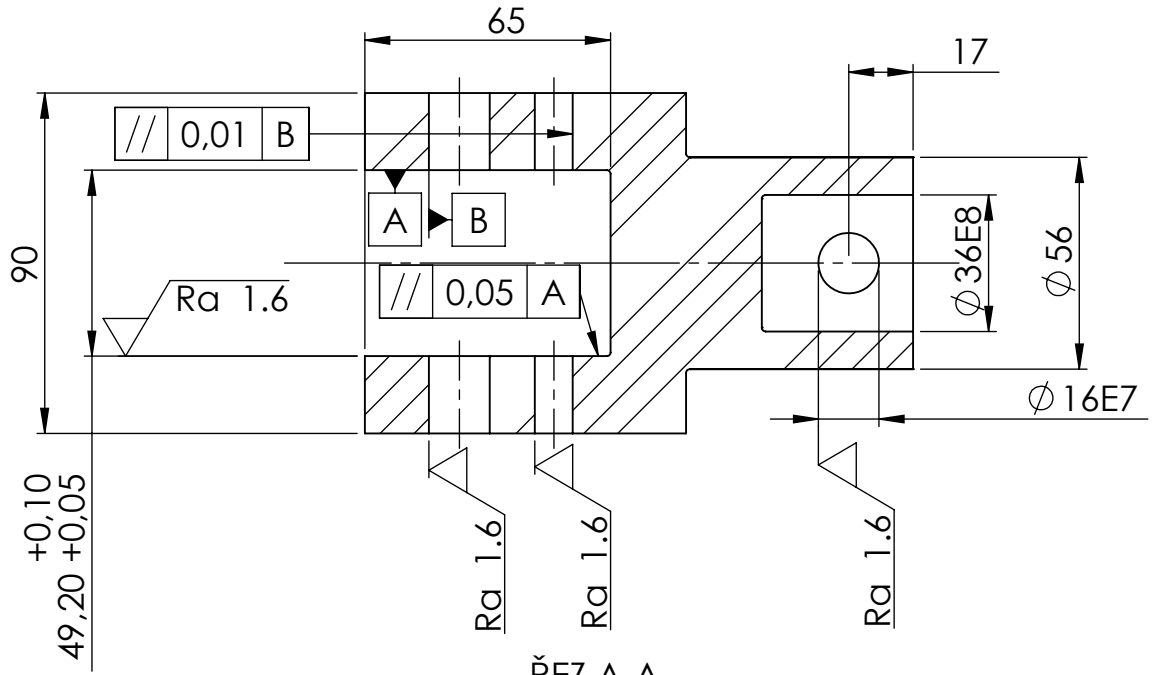
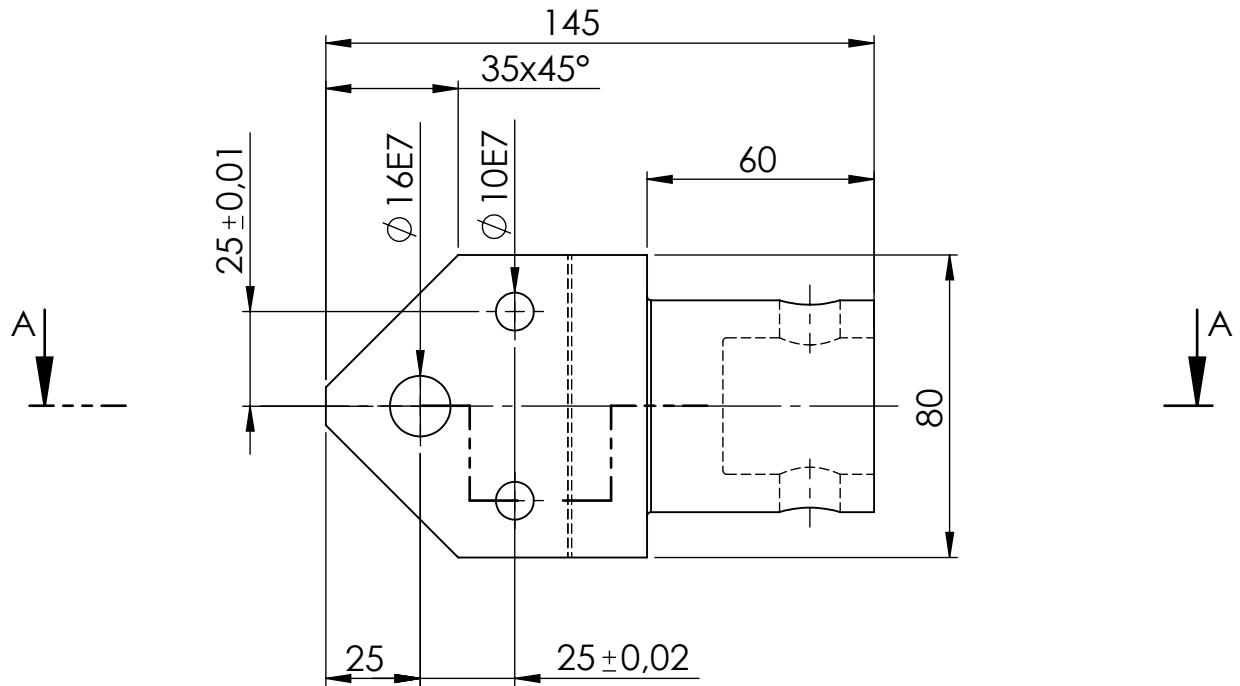


PO OBROBNÍ KALIT NA (58±2) HRC

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost
		1:2	ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg)	Tolerování
		0,775	ISO 8015
			Promítání

Materiál - Polotovár	Formát
ČSN 15230.7 - PLO 10x45h11-340 - ČSN 42 6522.11	A4

	Kreslil: MATĚJ TOPIČ	Název BP-2019-001
	Datum: 21.05.2019	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil: MICHAL KRÍŽEK	Číslo dokumentu PRILOZKA
	Datum: 20.05.2019	
Druh dokumentu		
VÝROBNÍ VÝKRES		



ŘEZ A-A
MĚŘITKO 1 : 2

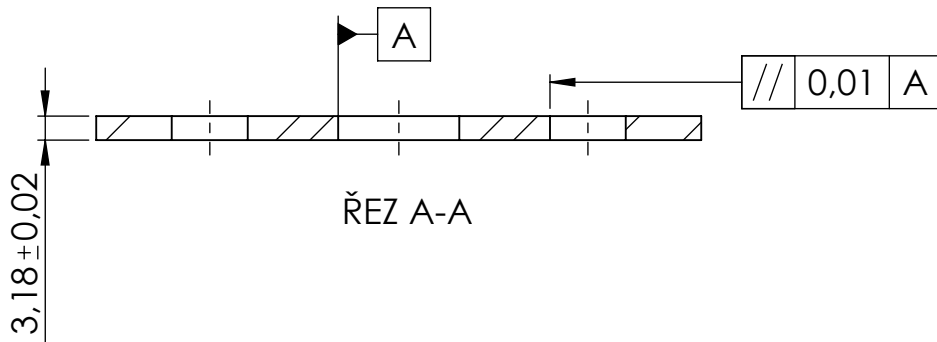
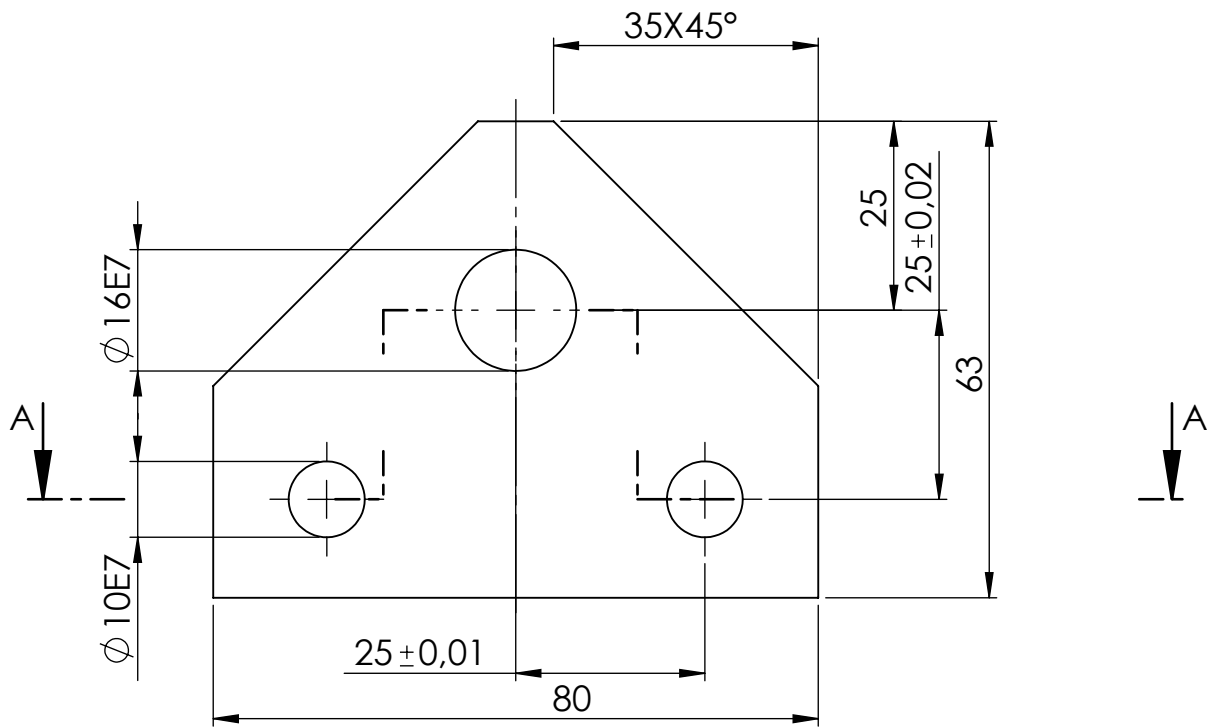
PO OBROBNÍ KALIT NA (58±2) HRC

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřitko	Přesnost
		1:2	ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg)	Tolerování
3,155	ISO 8015	Promítání	

Materiál - Polotovár
ČSN - 15230.7 - 4HR 100-160 Z - ČSN 42 5520.11

Formát **A4**

	Kreslil: MATĚJ TOPIČ	Název <h1>BP-2019-002</h1>
	Datum: 21.05.2019	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil: MICHAL KRÍŽEK	Číslo dokumentu <h1>KONCOVKA 1IN</h1>
	Datum: 20.05.2019	
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		List 1 Listů 1



PO OBROBNÍ KALIT NA (58±2) HRC

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko	Přesnost
		1:1	ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg)	Tolerování
		0,086	ISO 8015
			Promítání

Materiál - Polotovár	Formát
ČSN 15230.7 - P3,5 - 90x70 - ČSN 42 6310.11	A4

FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil: MATĚJ TOPIČ	Název BP-2019-003
	Datum: 21.05.2019	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil: MICHAL KŘÍŽEK	Číslo dokumentu DISTANCNI VLOZKA
	Datum: 20.05.2019	
Druh dokumentu		List 1 Listů 1
VÝROBNÍ VÝKRES		