

Návrh konstrukce přípravku pro měření creepového chování sendvičových struktur

Vít Chovančík

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít Chovančík**
Osobní číslo: **T11240**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh konstrukce přípravku pro měření creepového chování sendvičových struktur**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši o problematice creepového chování sendvičových struktur.
 - Základní definice sendvičových struktur, způsoby výroby, aplikace
 - Creepové chování, definice
 - Testování creepového chování
2. Experimentální část
 - Návrh konstrukce pro testování creepového chování
 - Tvorba modelu a výkresové dokumentace vybrané konstrukce
3. Zhodnocení návrhu a závěry

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] Bitzer, T., **Honeycomb Technology: Materials, design, manufacturing, applications and testing.** London; Champan & Hall Publishing, 1997.
- [2] Zenkert, D., **Nordic Industrial Fund: The Handbook of Sandwich Construction.** Worcestershire; EMAS Publishing, 1997.
- [3] **ASTM C480/480M-08, Standard Test Method for Flexure Creep of Sandwich Constructions,** ASTM International, 2008
- [4] Vinson, J. R., **The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials,** CRC Press, 1999
- [5] **Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Fojtl**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 27. dubna 2014

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem přípravku pro měření creepového chování v ohybu sendvičových struktur, konkrétně při tříbodovém a čtyřbodovém zatížení.

Součástí studie je teoretická část, která obsahuje rešerši o problematice sendvičových konstrukcí, jejich strukturu, výrobu a testování se zaměřením na testování v ohybu. Dále se zabývá creepovým chováním sendvičových struktur. Praktická část je zaměřena na samotnou konstrukci přípravku, přípravu výrobní dokumentace a popis jednotlivých dílů navrženého přípravku. V neposlední řadě je také v této části uvedeno ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů.

Klíčová slova: sendvičová struktura, tříbodový ohyb, čtyřbodový ohyb, creep, konstrukce, přípravek

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with a construction of device for measuring of flexural creep behavior of sandwich structures, specifically in three-point and four-point loading.

The theoretical part contains of research about the issue of sandwich products, their structure, manufacturing and Mechanical testing, namely flexural tests focused on testing in the bend. Creep behavior of sandwich structures is also reviewed in this part. The practical part is focused on construction design, preparation of drawings and documents and a description of the individual components of the proposed product. Finally, economic evaluation of individual construction design is also provided in this part.

Keywords: sandwich structure, three-point bending, four-point bending, creep, design, device

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ladislavu Fojtlovi za odborné vedení, poskytnutí cenných rad, velmi ochotný přístup a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Radku Machučovi za rady při zpracování této bakalářské práce.

„Tím větší budou tvé zásluhy, čím více lásky a nadšení vkládáš do každé práce.“

(Otto František Babler)

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE.....	11
1.1 MATERIÁLY SENDVIČOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	12
1.1.1 Vnější krycí vrstvy sendvičových konstrukcí	13
1.1.2 Jádra sendvičových konstrukcí.....	15
1.2 VÝROBA SENDVIČOVÝCH KONSTRUKCÍ	24
1.2.1 Ruční kladení a stříkání	24
1.2.2 Vysokotlaké vstřikování (RTM – Resin Transfer Moulding).....	25
1.2.3 Lisování ve vyhřívaném lisu	26
1.2.4 Vytvrzování v peci za působení vakua	27
1.2.5 Vakuová infuze.....	27
2 TESTOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	29
2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI	29
2.1.1 Zkouška ohybem	30
2.1.2 Další mechanické testy sendvičových konstrukcí.....	33
2.2 VODOTĚSNOST	34
2.3 ODOLNOST PROTI OHNI.....	34
3 CREEPOVÉ CHOVÁNÍ.....	35
3.1 STÁDIA CREEPU.....	35
3.2 VŠEOBECNÁ ROVNICE CREEPU	36
3.3 CREEPOVÉ ZKOUŠKY	37
3.3.1 Creepová deformační zkouška v ohybu.....	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	40
5 ROZMĚRY ZATĚŽOVACÍCH TRNŮ A PODPĚR.....	41
6 NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ CREEPOVÉHO CHOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR	42
6.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH A	42
6.1.1 Popis zařízení	42
6.1.2 Rám přípravku.....	44
6.1.3 Sestava zatěžujícího členu	45
6.1.4 Výměnné trny pro tříbodovou a čtyřbodovou ohybovou zkoušku.....	45
6.1.5 Příprava zkoušky – Konstrukční návrh A.....	47
6.1.6 Nastavení podpěr	47
6.1.7 Držák úchylkoměru	49
6.1.8 Princip zkoušky	51
6.2 KOSTRUKČNÍ NÁVRH B.....	54
6.2.1 Popis zařízení	54
6.2.2 Rám přípravku.....	56
6.2.3 Soustava pohyblivého ramene.....	57
6.2.4 Výměnné trny pro tříbodovou a čtyřbodovou ohybovou zkoušku.....	58
6.2.5 Příprava zkoušky – Konstrukční návrh B	59

6.2.6	Nastavení podpěr	60
6.2.7	Držák úchylkoměru	62
6.2.8	Princip zkoušky	63
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ	65
7.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU A.....	65
7.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU B.....	67
	ZÁVĚR	69
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	75
	SEZNAM TABULEK	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

V neděli 20. července 1969 se datuje první úspěšné přistání kosmické rakety na měsíc, které je výsledkem vhodným uplatněním řady nových technologií, jako je raketová technika, počítače a sendvičová konstrukce. Ačkoli se veřejný zájem soustředil spíše na raketovou a výpočetní techniku, byl to právě plášť kosmické rakety, který nejvíce dopomohl této významné události, kdy člověk poprvé vstoupil na měsíc. Plášť kosmické rakety byl vyroben technologií sendvičové konstrukce, díky které měl dostatečně malou hmotnost a dokázal snést vysoký tlak při zrychlení a přistání.[5]

Do roku 1960 byla technologie využívající sendvičové konstrukce téměř výhradně omezena pro letecké aplikace. Letadla používaná za 2. světové války jsou často označována jako první použití sendvičových konstrukcí. Teprve od roku 1960 se zvyšoval počet alternativních použití sendvičových konstrukcí. V moderní době jsou sendvičové konstrukce velmi rozšířené zejména v dopravním a leteckém průmyslu, ale své uplatnění ve velkém rozsahu aplikací nacházejí také ve stavebním průmyslu a moha dalších odvětví.

Sendvičové konstrukce se uplatňují především díky své pevnosti a tuhosti při nízké hmotnosti ale také díky izolačním vlastnostem, odolnosti proti rázům a dlouhé životnosti.

V dnešní době je trendem především snižování provozních nákladů, s čímž souvisí provozní trvanlivost a životnost jednotlivých dílů. Za účelem získání přesnějších informací o dlouhodobém chování materiálu při napětí nebo deformaci jsou zaváděny speciální dlouhodobé zkoušky. Bakalářská práce se zabývá konstrukcí přípravku pro sledování chování sendvičových konstrukcí v ohybu a to při v čase konstantním zatížení. Samotná práce taktéž obsahuje kompletní výkresovou dokumentaci a ekonomické zhodnocení jednotlivých návrhů přípravků.

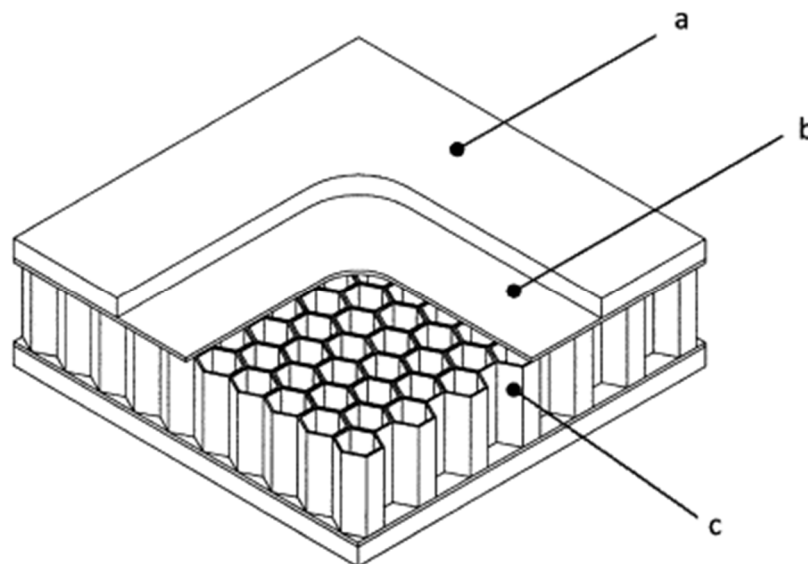
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

Sendvičové konstrukce jsou inovativní a velmi výkonné konstrukce, které se používají ve vysoce technicky zaměřených průmyslových odvětvích, jako je letectví (prvky letadel a kosmických lodí, satelity), automobilový a kolejový průmysl (interiérové a exteriérové dílce) a například stavebnictví (izolační stěny), kde se využívá jejich hlavních předností, mezi které patří především nízká hmotnost a vysoká tuhost, pevnost a odolnost proti poškození. V poslední době však dochází k jejich prosazování do mnoha dalších odvětví průmyslu. [1]

Sendvičové konstrukce se řadí k vrstevnatým konstrukcím. Složení sendvičových panelů má vždy shodnou základní strukturu tvořenou různými jednoduchými či složenými materiály odlišného charakteru vzájemně spojenými pevnou vazbou. Obecně tuto strukturu tvoří dvě vnější krycí vrstvy, které jsou poměrně tenké a mají vysokou pevnost i tuhost a jádro, které se vyznačuje nízkou hmotností. Lepidlo pak pevně spojí všechny komponenty sendvičové konstrukce (krycí vrstvy a jádro) do jednoho celku (Obr. 1). [2]

Sendvičové konstrukce lze přirovnat k I-nosníkům, neboť při namáhání v ohybu přenáší krycí vnější vrstvy tahové, respektive tlakové napětí, zatímco jádro je namáháno jen minimálně. Jádro v konstrukci přenáší smykové zatížení, zvyšuje tuhost a slouží jako zvukový či tepelný izolant. [3]



Obr. 1. Ukázka sendvičové struktury [4]

(a) krycí vrstva sendvičová konstrukce, b) vrstva lepidla, která spojí jednotlivé díly sendvičové konstrukce, c) jádro sendvičové konstrukce)

Výhodné vlastnosti sendvičových konstrukcí:

- Vysoká nosnost při nízké hmotnosti
- Odolnost proti rázům
- Ohybová tuhost a pevnost
- Tepelná a akustická izolace
- Vodě odolná a parotěsná zábrana
- Vzduchotěsnost
- Povrchové úpravy krycích vrstev poskytují odolnost proti povětrnostním vlivům a agresivnímu prostředí
- Rychlá montáž
- Snadná oprava nebo výměna v případě poškození
- Dlouhá životnost
- Nízké náklady na údržbu [5]

Nevýhodné vlastnosti sendvičových konstrukcí:

- Vysoká hořlavost pevných plastových nebo pěnových jader
- Deformace, když je jedna strana vystavena teplu, např. silnému slunečnímu záření
- Creep v trvalém zatížení prvků s tuhými pěnovými jádry
- Nízká tepelná kapacita [5]

1.1 Materiály sendvičových konstrukcí

Kombinací různých materiálů lze vytvořit rozsáhlou škálu sendvičových konstrukcí. Tato možnost kombinování materiálů umožňuje vytvořit optimální sendvičový panel, který je potřebný pro určitou aplikaci. Pro krycí vrstvy se používají kompozitní materiály nebo levnější alternativy jako jsou například hliníkové slitiny, oceli nebo dřevěné překližky. Jako jádro se používá korek, balsa, dřevo, pryž, pevný plastový materiál (polyetylen), tuhý pěnový materiál (polyuretan, polystyren, fenolické pěny), minerální vlnové desky, a voštiny z plastu, kovu či dokonce papíru. [1]

1.1.1 Vnější krycí vrstvy sendvičových konstrukcí

Výchozím polotovarem pro krycí vnější vrstvy jsou obvykle poměrně tenké, vysoce pevné desky či plechy. Obecně materiál těchto vrstev musí splňovat požadavky na výrobu s ohledem na profilování a ohýbání, funkční požadavky ohledně povětrnostních podmínek, těsnosti vody a páry a schopnost odolávat zatížení, korozi a ohni.

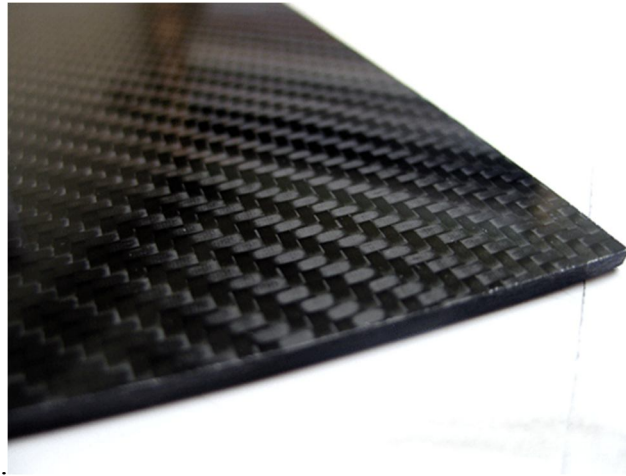
Ocelové a hliníkové plechy

Tenké plechy obou materiálů jsou často používaný materiál na vnější krycí desky. Výhodou ocelových plechů je vysoká pevnost a tuhost, nízká cena, kvalitní povrch a vysoká odolnost nárazu. Nevýhodou je vysoká hustota materiálu, z níž pramení velká hmotnost výsledné konstrukce. Obvykle se používají válcované plechy za studena s ochranou proti korozi. Jako ochrana proti korozi se používá žárové zinkování nebo zinkové hliníkové plechy. Sendvičové panely s krycími deskami z hliníkového plechu jsou někdy používány v těch aplikacích, kde jsou zvláštní požadavky na ochranu proti korozi nebo hygienu, například při výrobě nebo skladování potravin. Tloušťka plechu se obvykle ohybuje v rozmezí 0,7 - 1,2 mm. [5, 6]

Lamináty

Laminát s vláknovou výztuží je materiál složený z nejméně dvou vrstev vláknových kompozitů prosycených pryskyřicí a vytvrzených do jednoho plošného útvaru. Lamináty nabízejí nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost a vynikající odolnost vůči působení korozivního prostředí. Nejčastěji se na sendvičové konstrukce používají lamináty vyztužené skleněnými nebo uhlíkovými vlákny (Obr. 2). [7]

Skleněná vlákna se vyrábějí především ze skloviny označované sklo E. Tyto vlákna mají průměr 3,5–20 μm . Uhlíková vlákna se vyrábějí z viskóзовých nebo polyakrylonitrilových (PAN) vláken. Jako pojivo (matrice) se používá polyesterová nebo epoxidová pryskyřice. Na vnější vrstvy kompozitu (např. laminát ze skleněných vláken) se nanáší pryskyřice či jiný speciální druh lepidla, na kterou se pokládá a přitlačí jádro sendviče. Za výrobcem definovaný čas dojde k vytvrzení. Aby se dosáhlo optimálního spojení jednotlivých vrstev, vkládá se sendvičová konstrukce do vakuového vaku, hydraulického lisu nebo autoklávu. [8]



Obr. 2. Laminátová deska s uhlíkovými vlákny [9]

Před-impregnované materiály (Prepregy)

Prepregy (Obr. 3) jsou polotovary k výrobě vláknových kompozitů, jejichž hlavní složkou je výztuž před-impregnovaná částečně vytvrzenou pryskyřicí. Na výztuže se používají zejména skelná, uhlíková a aramidová vlákna a to v různých vazbách (plátňová, košíková, atlasová atd.). K impregnaci prepregů se nejčastěji používají fenolické pryskyřice, nenasyčené polyesterové pryskyřice, vinylové a epoxidové pryskyřice. Hlavní výhody prepregů po vytvrzení jsou nízká hmotnost, vysoká tuhost, trvanlivost, přesný podíl pryskyřice a kvalitní povrch při dodržení technologických podmínek. Nevýhodou je pak značně vysoká cena, daná trvanlivost (v řádech několika měsíců) a nutnost skladování při nízkých teplotách. [10]



Obr. 3. Ukázka prepregu [10]

Dřevěná překližka

Dřevo je další typ materiálu, který může být použitý jako krycí vrstva sendvičových konstrukcí. Dřevěná překližka (Obr. 4) je levný materiál, má však nízkou tuhost i pevnost, značnou hořlavost a je nevhodná pro použití ve vlhkém prostředí. Tloušťka překližky se pohybuje v rozmezí 4 – 27 mm a její hustota je 550-700 kg/m³.



Obr. 4. Dřevěná překližka [11]

1.1.2 Jádra sendvičových konstrukcí

Význam sendvičové struktury spočívá v tom, že mezi vnějšími krycími vrstvami, které přenášejí zatížení na tah a tlak, je jádro, které přenáší smykové zatížení. S ohledem na požadované vlastnosti sendvičové konstrukce se používají jádra z různých materiálů. Při volbě materiálu jádra se přihlíží především na mechanické vlastnosti, hustotu, schopnost vedení tepla, nasákavost a hořlavost. Jádra sendvičových konstrukcí mohou být vyrobeny z různých materiálů, nejčastěji používanými jsou dřevo, hliník, voštiny nebo různé polymerní pěny.

Balsa

Balsa (Obr. 5) je rychle rostoucí typ stromu, který se vyskytuje v tropických pralesech v mnoha částech světa, jeden z nejkvalitnějších je pak z Ekvádoru (název Boya). Odborný název je „ochroma pyramidce.“ Dřevo má nejlepší kvalitu od 6 do 10 let po nasazení, kdy strom dosahuje výšky 20 až 30 m a průměr kmene je 30 až 120 cm. Balsové dřevo se začalo používat za 1. světové války jako náhrada za korek. Hustota balsy se pohybuje od 80 do 250 kg/m³, průměrná hodnota v suchém stavu je 160 kg/m³. Struktura dřeva se vyznačuje

velkými buňkami, které jsou vyplněny vodou. Po vysušení buňky obsahují vlákna celulózy v ligninové matici. Mnohem lepší než sušení na vzduchu je pro řezivo sušení v sušárnách, díky kterému je možné minimalizovat vznik trhlin a deformací dřeva. Balsové dřevo nehoří, jen pomalu doutná. Oproti polymerním pěněm teplem neměkne a vyznačuje se i menší tepelnou vodivostí. Balsa se používá na výplně v lehkých sendvičových konstrukcích s kovovou konstrukcí, jako vrstvený materiál na podlahy a přepážky v letadlech, modelářské potřeby a dekorativní výrobky. [12]



Obr. 5. Balsa [12]

Korek

Korek (Obr. 6) je materiál získaný odřezáním kůry (borky) dubu korkového. Původní kůra stromu je nekvalitní a odstraňuje se ze stromů, když jejich kmeny mají obvod asi 30 cm. Kůra poté znovu dorůstá a sklízí se po 9 až 15 letech (nejkvalitnější až 30 let), kdy dosáhne požadované tloušťky. Korková kůra je několik centimetrů silná, vyznačuje se nepropustností, vysokou odolností, pružností, tepelnou a akustickou izolací, odolává mechanickému tlaku, plísním i chemikáliím a poměrně vysokým teplotám (asi do 120 °C). Hustota korku se pohybuje od 480 do 520 kg/m³. Korek se používá na různé výrobky, jako jsou zátky, obklady, izolační desky, podlahy, kuchyňské prostírání, nástěnky a mnoho dalších. [13]

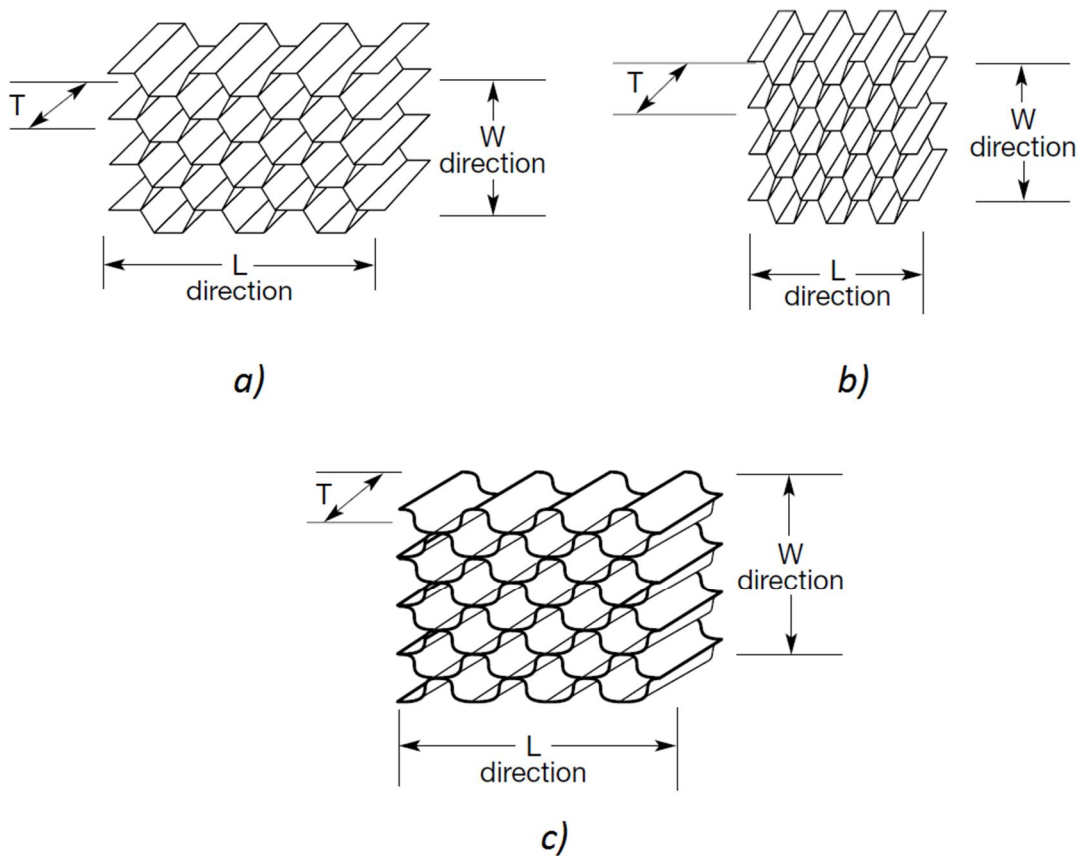


Obr. 6. Korek [13]

Voštinové materiály

Voštinová jádra byla vyvinuta pro použití především v letectví a kosmonautice. Voštinu vynalezl ve Velké Británii Norman de Buynes, který ji nechal patentovat v roce 1938 jako hliníkovou voštinu pro sendvičové kompozity. Průmyslově se vyrábí od roku 1945. Voštinové materiály se vyrábějí v různých variantách tvarů buněk, jako jsou například čtvercové, obdélníkové, trojúhelníkové nebo ve tvaru vlnek (Flex-core). V průmyslu nejčastěji používaný je šestiúhelníkový tvar buňky. Označení voština je odvozeno z podobnosti se šestihlannou strukturou plástů včelího medu. Jako výchozí materiál se používají skleněná, aramidová, respektive uhlíková fólie nebo textilie či hliníkový plech. [6]

Jak bylo zmíněno, existuje velké množství druhů a typů voštinových buněk. Nejběžnější a nejčastěji používané jsou šestihlanné buňky (Obr. 7a). Vyrábějí se z kovových i nekovových materiálů. Ox-core je šestihlanná buňka, která je ve směru W prodloužena (Obr. 7b). V porovnání s šestihlanným typem buňky zvyšuje tento typ buňky smykové vlastnosti ve směru W a snižuje smykové vlastnosti ve směru L. Flex-Core buňka (Obr. 7c) poskytuje vyšší pevnost ve smyku než srovnatelná šestihlanná buňka o stejné hustotě. Vyrábí se z hliníku a z laminátu. [14]



Obr. 7. Vybrané tvary buněk voštinových materiálů

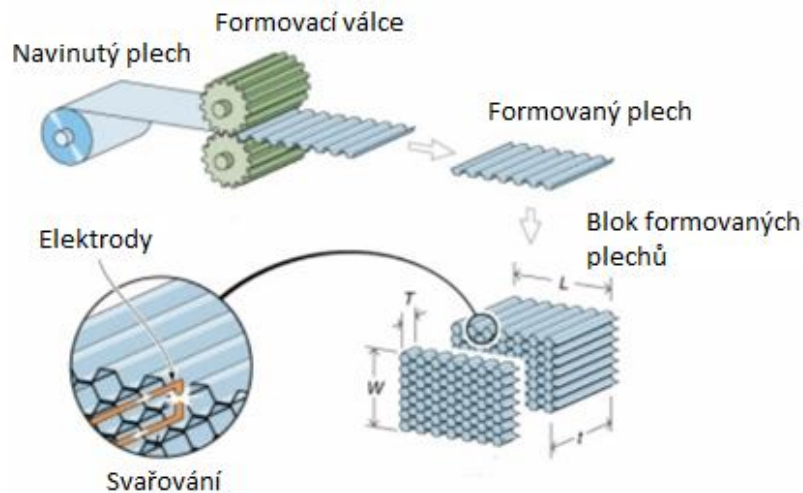
(a) šestihranná buňka, b) buňka OX-core, c) buňka Flex-core) [12]

Způsob výroby voštin ovlivňuje velikost a strukturu buněk a tím pádem i vlastnosti voštiny. Struktura voštinových buněk se převážně vyrábí tažením, formováním do profilů (tvarováním) a odléváním. [15]

Jednotlivé způsoby výroby voštin jsou popsány níže.

- **Tvarování**

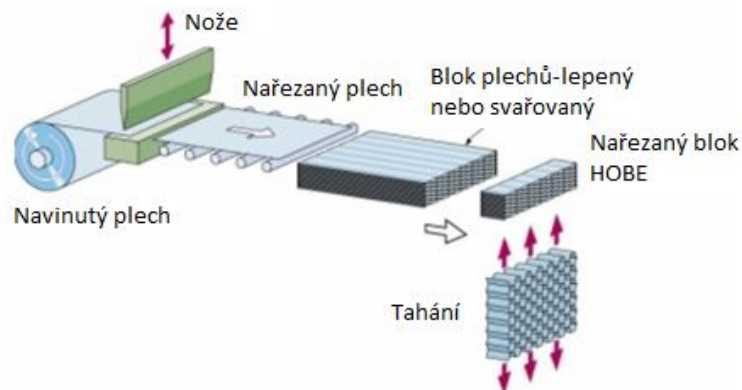
Kovový tenký plech prochází přes tvarové válce, za kterými je stohován na sebe, jak je tomu zobrazeno na Obr. 8. Spojení plechů, kterým dojde k vytvoření buněk, se vykoná svářením či slepením a výsledný blok se nařeže na požadovanou tloušťku. Tvar buněk je nejčastěji šestiúhelníkový, ale touto metodou se vyrábí i čtvercové a trojúhelníkové buňky. [15]



Obr. 8. Výroba voštin formováním [15]

- **Metoda HOBE (z angl. Honeycomb Before Expansion)**

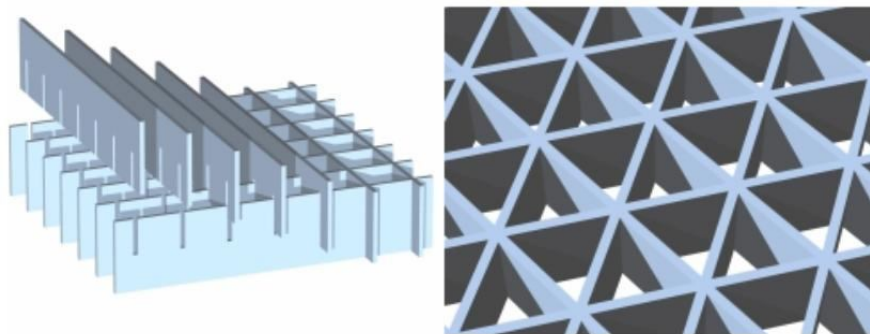
Tenké kovové plechy se nastříhají na požadovanou délku a postupně se skládají na sebe. Potom se po délce svařují či lepí v určitých rozestupech. Takto spojené plochy se řežou na požadovanou tloušťku, kolmo na rovinu, ve které byly vytvořeny spoje. V tomto směru jsou následně tažené, čímž vznikne hexagonální struktura buněk (Obr. 9). Plechy se spojují lepením, laserovým svářením nebo difuzním procesem. [15]



Obr. 9. Výroba voštin metodou HOBE [15]

- **Skládání pásů**

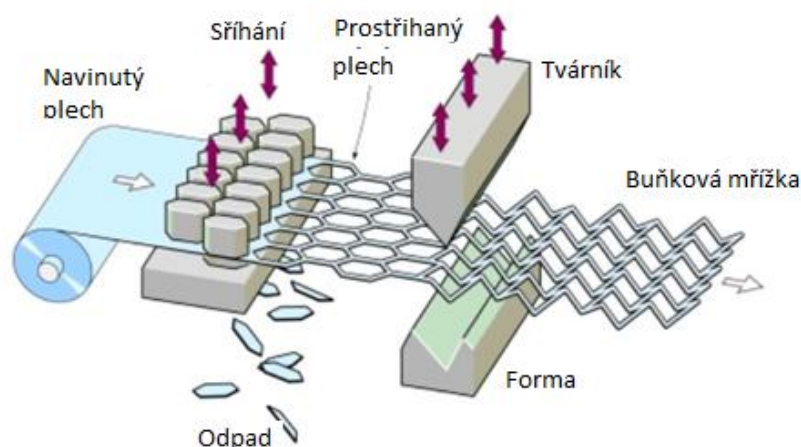
Pásky plechů, ve kterých jsou vytvořeny zářezy, se vkládají do sebe (Obr. 10). Pro tuto technologii není potřeba žádné ohýbání plechů, avšak vzniklé buňky mají pouze čtvercový nebo trojúhelníkový tvar. Vytvořená struktura se potom svařuje nebo pájí. Tato metoda se používá i pro křehké keramické materiály a kompozity. [15]



Obr. 10. Výroba voštin skládáním pásů [15]

- ***Stříhání a ohýbání***

Vzor buňkové mřížky je vystřihován (pomocí tvarových střížníků) nebo vyřezáván (laserem či vodním paprskem) z plechu. Plech je dále ohýbán na ohýbačce do požadovaného tvaru (Obr. 11). Hlavní nevýhodou této technologie je velké množství odpadu vzniklého při prostřihování. [15]

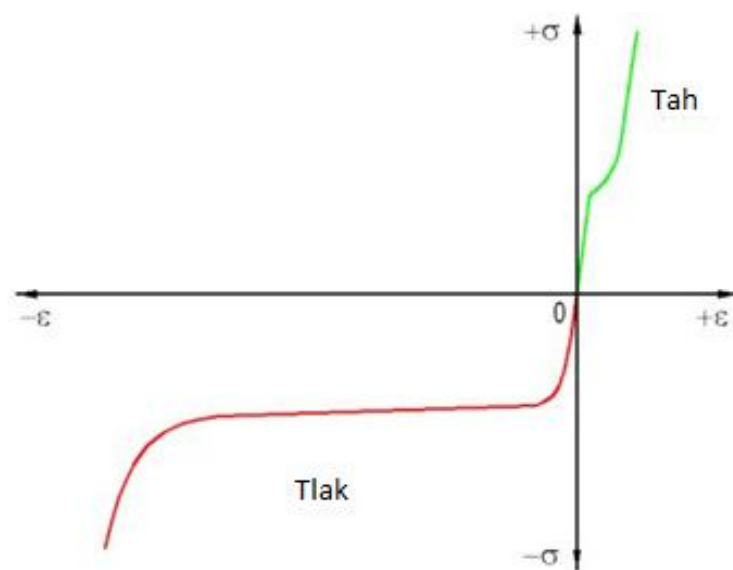


Obr. 11. Výroba voštin stříháním a ohýbáním [15]

Pěnová jádra

Pevné buňkové jádro obecně představuje těleso, u kterého je hustota a tím pádem i hmotnost výrazně snížena oproti plnému tělesu přítomností dutin ve struktuře hmoty, které vytváří tzv. buňky. Dutiny buněk jsou vyplněny plynem nebo kapalinou. Charakter tekutiny v buňkách je podmíněn způsobem výroby a materiálem, ze kterého je takové těleso vyrobené. Hustota je určujícím faktorem, který ovlivňuje ostatní (ať už fyzikální nebo mechanické) vlastnosti buněčných těles, proto se její změna využívá k dosažení požadovaných hodnot vlastností, žádaných pro danou aplikaci pěn. Vodivost buněčných těles, ať už elektrická nebo tepelná,

je obecně nižší než u plných těles. Důvodem je nízký podíl materiálu stěn a hran v objemu buněk a vysoký poměr plynových dutin v objemu buněčného tělesa. Podle pracovních diagramů je chování pěn v tahu a tlaku rozdílné. V tlaku je výrazná tzv. plató oblast, kde deformace rozsáhle narůstají při minimální změně napětí, čímž se zvyšuje jejich schopnost pohlcovat energii, která se využívá při aplikacích pěn jako balicí, absorpční a ochranný materiál. V tahu je tato oblast velmi slabě výrazná (Obr. 12). Mechanické vlastnosti buněčných těles, a tím pádem i plató oblast, při tlakovém namáhání lze ovlivňovat vhodným výběrem základního materiálu, strukturou buněk a samotnou hustotou pěnového materiálu. [16, 17]



Obr. 12. Mechanické vlastnosti pěnových materiálů [17]

Do buňkové struktury je možné zpracovat téměř každý materiál – kovy, keramické materiály, sklo a většinu polymerů. V současnosti se buněčná tělesa využívají zejména jako tepelně izolační materiál, obalový a ochranný materiál pro jejich dobrou schopnost absorpce dynamických rázů a jako konstrukční materiál ve stavebnictví, kde se uplatnily jako jádra sendvičových panelů (Obr. 12). Nízká hmotnost dovoluje vytvářet lehké a tuhé komponenty jako například vyplněné profily a velké přenosné konstrukce v automobilovém, leteckém a stavebním průmyslu. Pěny se také využívají jako výplňový materiál pro jejich nízkou tuhost, například polyuretanové pěny se standardně používají jako výplň sedadel. [16, 17]



Obr. 13. Sendvičová konstrukce s pěnovým jádrem [18]

Vybrané typy pěn používaných u sendvičových konstrukcí:

- **PVC pěna**

PVC pěny se začaly používat v 70. letech v námořnictví, dále se používají v letectví a v automobilové dopravě. Tyto pěny mají uzavřené buňky, vynikají jako velmi odolný materiál proti vlhkosti a mají dobré fyzikální vlastnosti ve srovnání s jinými pěnamí podobné hustoty. PVC pěna je odolná mnoha rozpouštědlům a je kompatibilní s lepidly a pryskyřicemi, díky čemuž je vhodná jako jádro sendvičových struktur. Existují dva hlavní typy pěnového PVC, síťované a nesíťované. Hustota PVC pěny se pohybuje v rozsahu 45-400 kg/m³. [19]

Výhodné vlastnosti PVC pěn:

- nízká hmotnost
- malá absorpce vlhkosti
- jednoduché zpracování
- dobrá odolnost chemikáliím
- špatně hořlavý (po odstranění plamene nehoří) [19]

- **PET pěna**

PET (polyetylen - tereftalát) je u spotřebitelů spíše známý v podobě PET lahví. Ale to je jen jedna z oblastí aplikací pro tento lehký a recyklovatelný termoplast. Desky z PET pěny mají zajímavý poměr hustoty a stability. Tato pěna je lehká, stabilní a flexibilní, nabízí velkou pevnost a je odolná vůči vyšším teplotám. Hustota PET pěny se pohybuje v rozmezí 60-200 kg/m³. Mezi hlavní výhody PET pěny patří nízká hmotnost, nízké nároky na údržbu,

chemická odolnost a mechanické i tepelně izolační vlastnosti. Především se využívá v dopravním průmyslu, námořnictví a ve stavebnictví. [20]

- ***PIR a PUR pěny***

Polyuretanové (PUR) a tvrdé polyisokyanurátové (PIR) pěny mají dobrou pevnost v tlaku a středně fyzikální vlastnosti při vyšších hustotách, ale mají tendenci být křehké, mají nízkou odolnost proti opotřebení a relativně nízkou únavovou životnost. Vzhledem k tomu jsou tyto pěny obvykle používány jako protihlukové a izolační panely. Tyto pěny jsou v provedení o vyšší hustotě a menší drobnosti značně používány na výrobu traverz (kvůli jejich vysoké pevnosti v tlaku), zatímco hmoty s nižší hustotou se používají jako segmenty nebo podélníky. Hustota PUR pěny se pohybuje v rozmezí 50-500 kg/m³ a průměr jejich buněk se pohybuje v rozmezí 0,1-0,5 mm. V praxi je PUR pěna známá také jako molitan. Používá se v nábytkářském průmyslu pro výrobu čalouněného nábytku a matrací. PUR pěna má velmi dobré vlastnosti akustické izolace. Proto se používá akustické úpravy nahrávacích, televizních a dabingových studií, sálů a zkušeben. [21]

- ***SAN Pěna***

Pěny kopolymeru styrenakrilonitril (SAN) se chovají podobným způsobem jako pěny PVC – příčně síťované, mají ale mnohem větší protažení a houževnatost. PVC používají změkčovadla při výrobě, kdežto kopolymer SAN má vlastnosti, které vycházejí z polymeru samotného, proto se vlastnosti s věkem tak výrazně nemění. SAN pěna je za tepla tvarovatelná, což je výhodou při výrobě zakřivených výrobků. Dále má tato pěna vynikající absorpční vlastnosti. [8]

- ***PS Pěna***

Pěnový polystyren je druh plastu vyrobeného ze styrenu. PS pěna je lehká, odolná proti vlhkosti a má velmi dobré izolačními vlastnostmi. Od druhé světové války začalo americké námořnictvo používat tuto pěnu jako záchranné čluny. PS pěna se také používá na výrobu kelímků a hlavně jako tepelná izolace domů. Hustota PS pěny se pohybuje v rozmezí 35-220 Kg/m³ a velikost buňky se pohybuje v rozmezí 0,02-0,2 mm. Unikající uhlovodíky při výrobě tvoří reakci s oxidy dusíku v ovzduší znečišťující látku známou jako troposférický ozon. Hlavní nevýhodou PS pěny je vysoká hořlavost, proto se přidávají retardéry hoření pro zajištění samozhášivosti. [22]

Výhodné vlastnosti PS pěn:

- nízká nasákavost vody
- odolnost proti stárnutí
- nízká tepelná vodivost
- nízká hmotnost
- snadná manipulace a instalace [22]

1.2 Výroba sendvičových konstrukcí

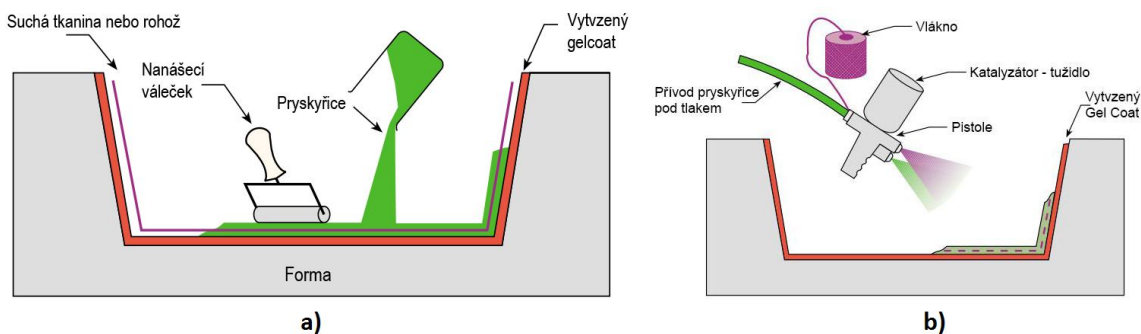
Technologie výroby je velmi důležitý faktor při výrobě sendvičových konstrukcí, jelikož ovlivňuje konečné vlastnosti výrobku i ekonomiku celé výroby. Výrobní technologie je dána především charakterem výrobku a její volba se řídí několika zásadními faktory: [3]

- sériovost dílce
- velikost a členitost výrobku
- kvalita povrchu
- požadované vlastnosti, zejména pevnost a hmotnost
- limit nákladu [3]

1.2.1 Ruční kladení a stříkání

Ruční kladení je nejjednodušší pracovní postup, který je vhodný pro malosériovou výrobu, výrobu prototypů a velkoplošných dílců. Pracovní nástroje a potřebné pomůcky jsou jednoduché a levné. Nejprve se na povrch formy nanese vrstva separátoru, na ní se nanese vrstva pryskyřice, která zabraňuje proniknutí struktury výztuže na povrch výrobku a současně slouží jako ochrana povrchu. Poté se postupně kladou tkaniny nebo rohože ze skleněných nebo syntetických vláken, které se pomocí válečku prosycují pryskyřicí. Výhodou této technologie je poměrně jednoduchá výroba složitých a velkých tvarů výrobku a nízké nástrojové náklady. Nevýhodou je pak tvorba vzduchových dutin a závislost kvality vzniklého kompozitu na zkušenost výrobního pracovníka. [23]

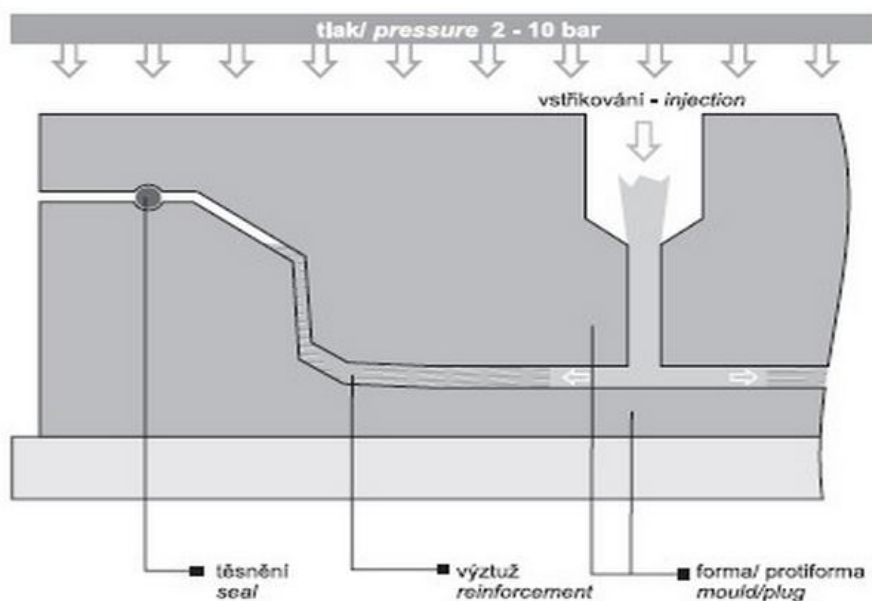
Stříkání laminátů je částečně mechanizovaná forma ručního kladení. Pryskyřice, výztuž a ostatní složky se nanášejí pomocí stříkacího zařízení na povrch formy. Pomocí tlakového vzduchu se směs tří složek stříká tryskami na povrch formy s nánosem separátoru. [23]



Obr. 14. a) Ruční kladení, b) Stříkání laminátů [24]

1.2.2 Vysokotlaké vstřikování (RTM – Resin Transfer Moulding)

Do formy se při této technologii vyskládá suchá výztuž. Forma se poté uzavře vrchním dílem a zajistí rychloupínacím systémem. Do vstřikovacího otvoru se umístí injektážní pistole, kterou se přivádí pojivo ze speciálního strojního zařízení. Pojivo se vstřikuje tak dlouho, pokud nezačne vytékat z kontrolních otvorů na okrajích formy, což znamená, že výztuž je zcela prosycena v celém objemu dílce. Formy jsou navrhovány tak, aby snesly vysoké vnitřní tlaky. Výhodou této technologie je krátký výrobní cyklus a dobrá kvalita výrobku. Naopak vysoké finanční náklady na vstřikovací zařízení je hlavní nevýhodou této technologie. [24]

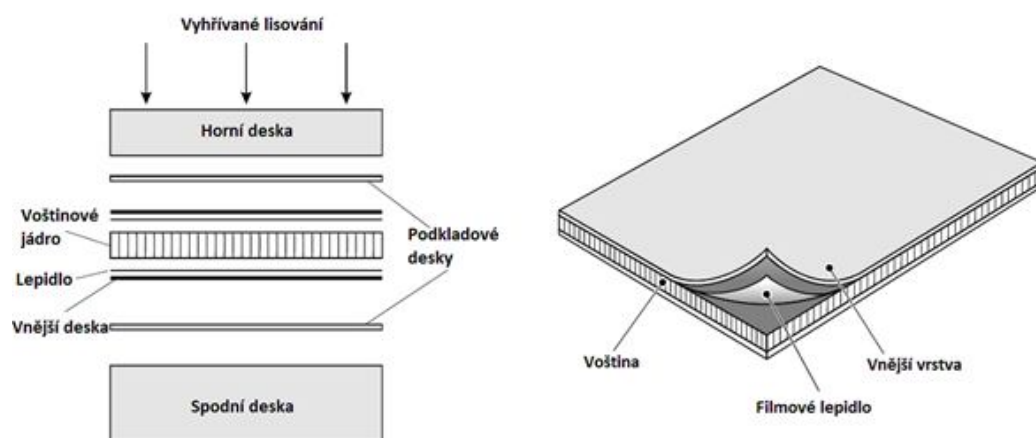


Obr. 15. Vysokotlaké vstřikování [24]

1.2.3 Lisování ve vyhřívaném lisu

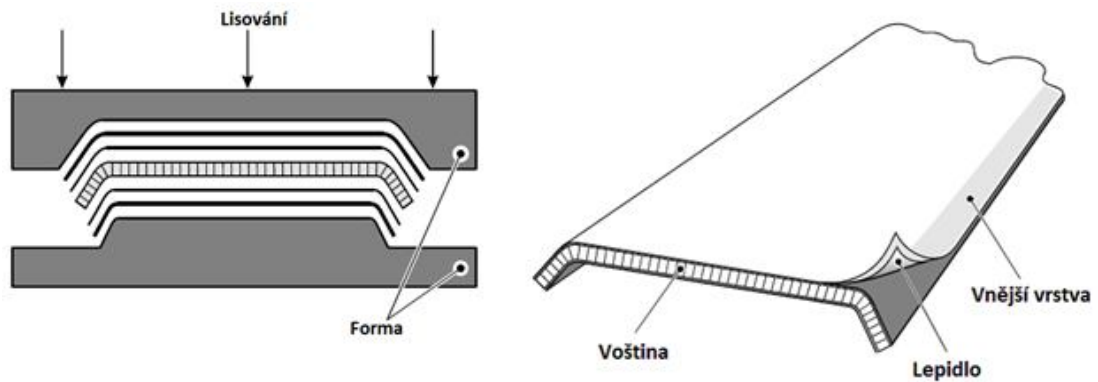
Lisování za tepla a tlaku je jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií pro velkosériovou výrobu malých a středně velkých dílů. Výhodou jsou krátké výrobní cykly v řádu několika minut, vysoká reprodukovatelnost kvality a rozměrů i možnost automatizace procesu. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na lisy a formy. Lisování se provádí za zvýšených teplot a tlaků ve dvou nebo vícedílných kovových formách, které musí mít leštěné nebo lépe tvrdě chromované pracovní povrchy. Formy jsou upevněny v hydraulických lisech schopných vyvodit tlaky 10 - 300 kg na cm² a jsou vyhřívány elektricky, olejem, vodou nebo párou. Pro zlepšené odformování vylisků slouží mechanická vyhazovací zařízení nebo stlačený vzduch. [23]

Výroba rovinných sendvičových struktur pomocí vyhřívaného lisování spočívá ve vložení materiálové skladby sendviče mezi podkladové desky, které tvoří lisovací formu, a následném zalisování. Pro tuto technologii jsou obzvláště vhodné před - impregnované materiály (prepregy) nebo tenké kovové desky, které po zalisování vytvoří kvalitní vnější vrstvy. Samotné zalisování pak probíhá na vyhřívaném lisu. Schéma vyhřívaného lisování je zobrazeno na obr. 16. [3]



Obr. 16. Výroba sendvičových konstrukcí lisováním ve vyhřívaném lisu [3]

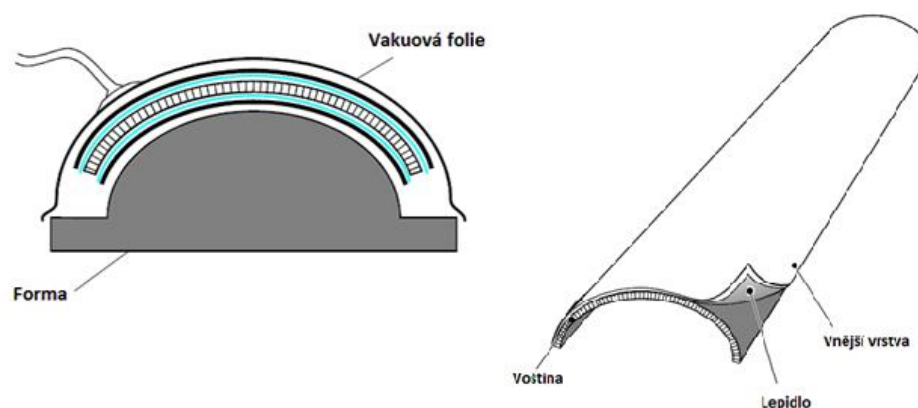
Vytvrzování v uzavřené formě je další metoda vyhřívaného lisování. Tato metoda výroby sendvičových panelů je nejvhodnější pro výrobky, kde je hlavním cílem dosáhnout vysoké přesnosti a dobré povrchové úpravy. Tepla a tlaku lze v tomto případě dosáhnout několika způsoby. Typickým způsobem je použití vyhřívaných forem s vnějším mechanickým tlakem nebo nevyhřívaných nástrojů. Formování za pokojové teploty se používá, je-li sendvičová konstrukce příliš velká, nebo není - li topné zařízení k dispozici. [3]



Obr. 17. Výroba sendvičových konstrukcí vytvrzováním v uzavřené formě [3]

1.2.4 Vytvrzování v peci za působení vakua

Skladba jednotlivých materiálů tvořících sendvičovou strukturu je stejně jako u lisování připravena ještě před vložením do vakuové pece. Tato materiálová skladba se vkládá na formu, která má výsledný tvar budoucí sendvičové konstrukce, poté je překryta vakuovou folií. Forma pokrytá pružnou folií se umístí do vyhřívané pece. Tato technologie výroby je vhodná zejména pro vnější vrstvy z prepregu nebo kovových desek a pro pružné jádra nebo voštinového jádra. [3]



Obr. 18. Výroba sendvičových konstrukcí vytvrzováním ve vakuové peci [3]

1.2.5 Vakuová infuze

Vakuová infuze je proces, který využívá podtlak k prosycení pryskyřice přes suché výztuže. Klíčovou součástí vakuové infuze je evakuace vzduchu před přívodem pryskyřice. Nevýhodou této technologie jsou delší pracovní cykly, které jsou někdy až několik hodin. Prosyncování infuzí je vhodné pro malé až střední série. Jako výztuže se používají vyztužující materiály všeho druhu, od tkanin na bázi skleněných, uhlíkových nebo aramidových vláken, až

po speciální prošívání nebo složené rohože. Je také možné vkládat pěnové materiály pro tvorbu sendvičových struktur. Jako pojiva (matrice) se používají polyesterové i epoxidové nízkoviskozní pryskyřice, pro velkorozměrové dílce vzhledem k dlouhým dobám infuze je třeba volit vytvrzovací systémy s dlouhou dobou zpracovatelnosti. Metody vakuového prosycování jsou obzvláště vhodné pro velkorozměrné díly jako trupy a paluby lodí, velké dílce pro kapotáž lokomotiv a vagonů, lopatky větrných elektráren apod., kde by jiné metody byly velmi pracné nebo nákladné. [24]

Vakuová infuze s pružnou vrchní částí formy

Spodní forma je tuhá, podobně jako u vysokotlakého vstřikování, s odsávacími kanálky. Vrchní část, nejčastěji kompozitní, má určitou pružnost, která reguluje přítlak, uzavírací sílu a prosycování zajišťuje vakuum 60 - 80 kPa. Pojivo je buď přiváděno ze zásobníku, nebo se před uzavřením formy zhruba rozprostře na suchou výztuž. Metoda je vhodná pro oboustranně hladké dílce, do kterých mohou být zakomponovány jádrové materiály – pěny nebo voštiny - pro vytvoření sendvičové struktury. [24]

Vakuová infuze pod pružnou folii

Technologie má mnoho společného s lisováním pomocí vakua. Spodní forma je klasického typu jako pro ruční kladení. Místo druhé části formy se používá pružná folie, která je k okrajům formy připevněna těsníci pásky. Iniciované pojivo se přisává ze zásobníku, v případě velkorozměrných dílců se rozvádí perforovanými trubičkami až do vzdálenějších míst. Vakuum je aplikováno na obvodu formy pomocí kanálku, vytvořeného těsníci profily. [24]

Metoda SCRIMP

Metoda SCRIMP je velmi podobná metodě vakuová infuze pod pružnou folii, pouze rozvod pryskyřice je zajišťován speciální sítkou, umístěnou na celý povrch suché výztuže. Závěr tvoří opět pružná folie. [24]

2 TESTOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH KONSTRUKCÍ

Kompozitní materiály mají nejrozmanitější vlastnosti, které jsou dány především jejich chemickým složením a strukturou. Pro použitelnost v technické praxi se dělí na vlastnosti:

- fyzikální (měří se např. hustota, elektrická a tepelná vodivost atd.)
- chemické (měří se např. elektrochemické, korozní atd.)
- mechanické (měří se např. pružnost, pevnost, houževnatost, tvrdost, tečení, únava atd.) [25]

Testy mohou být prováděny buď samostatně na vnějších krycích vrstvách, na jádro sendvičové konstrukce, anebo na celý sendvičový panel. Správné plnění funkce sendvičové konstrukce vyžaduje, aby celý panel (jak obě krycí vrstvy, tak jádro panelu) splňoval požadované vlastnosti. Stejně tak je důležité, aby tyto komponenty měly nedílnou strukturu, to znamená, že vazba mezi nimi je spolehlivá a může přenášet potřebné síly. [25]

2.1 Mechanické vlastnosti

Měření mechanických vlastností může sledovat různé cíle. První a nejstarší z nich je získání číselných podkladů pro konstruktéry. Za druhé slouží mechanické vlastnosti jako ukazatelé kvality. Jsou kritériem při výstupní kontrole nebo přejímce materiálů. Za třetí v základním materiálovém výzkumu, který usiluje o pochopení a strukturní vysvětlení mechanického chování a konkrétních mechanických vlastností. [25]

Z hlediska působení síly na zkušební těleso lze rozdělit mechanické zkoušky na dvě skupiny:

Zkoušky statické:

- za normálních teplot
- za zvýšených nebo snížených teplot

Zkoušky dynamické:

- rázové
- cyklické

Dále pak z hlediska času, po který síla na těleso působí, na:

- krátkodobé
- dlouhodobé [25]

2.1.1 Zkouška ohybem

Při zkoušce ohybem se zjišťuje také největší průhyb v okamžiku porušení, který charakterizuje tvárnost (houževnatost) materiálu. Pevnost při namáhání v ohybu je měřena tak, že se zkušební těleso umístí mezi dvě podpěry a uprostřed mezi nimi se na těleso aplikuje vnější deformace kolmo na rovinu tělesa. Zkouška se obvykle provádí na univerzálním trhacím stroji. Zkoušený vzorek je podepřen na volně otočných válečkách tak, aby podepření nebránilo pohybu tyče a tím i volnému deformování. Ohybový moment vyvozený od příčnicku způsobí v horních vláknech průřezu tlak, ve spodních tah. Zkouška ohybem probíhá při tří nebo čtyřbodovém uložení. [23]

Tříbodová a čtyřbodová ohybová zkouška se používá pro stanovení vlastností sendvičové konstrukce, na kterou působí zatížení kolmo na rovinu sendvičové konstrukce. Z ohybové zkoušky plochých sendvičových konstrukcí se stanovují ohybové a smykové pevnosti sendvičové konstrukce, modul pružnosti jádra ve smyku a pevnost jádra ve smyku, pevnost v tlaku krycích vrstev a pevnost v tahu krycích vrstev sendvičových konstrukcí. [6]

Tříbodová zkouška ohybem

Při tříbodové zkoušce (Obr. 19) je zkušební těleso podepřeno jako nosník dvěma podporami a konstantní rychlostí prohýbáno tmem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se těleso nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. Vzorek se uprostřed zatěžuje od nulové hodnoty. Při zatěžování zkoušeného tělesa se snímá závislost síly na průhybu vzorku. Průhyby se měří jako změna polohy středu tyče vzhledem k nejbližším opěrám. Při zkoušce tříbodovým ohybem existuje ve zkušebním tělese napjatost s maximálním zatížením a definovaným místem lomu v době zatížení, to je ve středu délky tělesa. Maximální smykové napětí leží mezi vrstvami uprostřed tloušťky tělesa. [26]

Obr. 19. znázorňuje rozložení ohybového momentu, který je minimální v místě podpěr a maximální uprostřed. Dojde-li při maximálním ohybovém momentu M_{max} k prolomení, dosazujeme tuto hodnotu pro výpočet pevnosti v ohybu: [29]

$$\sigma_y = \frac{M_{max}}{W} [MPa], \quad (1)$$

kde M_{max} je ohybový moment [N.mm] a W je modul průřezu [mm³]. [29]

Pro třibodový systém platí:

$$M_{max} = \frac{F_{max} \cdot l}{4} [N \cdot mm], \quad W = \frac{b \cdot h^2}{6} [mm^3] \quad (2),(3)$$

Pak pevnost v ohybu se vypočítá ze vztahu: [29]

$$\sigma_y = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{max} \cdot l}{b \cdot h^2} [MPa], \quad (4)$$

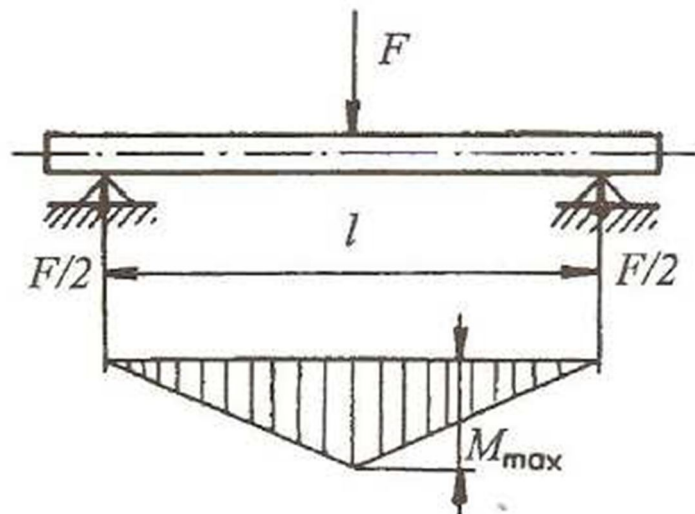
kde F je zatěžující síla [N], l rozpětí podpěr [mm], b je šířka vzorku [mm] a h je tloušťka vzorku [mm].

Ohybová zkouška je výhodná pro stanovení modulu pružnosti E_y . V oblasti pružných deformací platí pro třibodový systém, že prohnutí y je přímo úměrné síle a vzdálenosti podpěr a nepřímo úměrný modulu pružnosti a momentu setrvačnosti. Průhyb y se vypočítá ze vztahu:

$$y = \frac{F \cdot l^3}{4 \cdot E_y \cdot b \cdot h^3} [mm] \quad (5)$$

Modul pružnosti se pak vypočítá ze vztahu:

$$E_y = \frac{F \cdot l^3}{4 \cdot y \cdot b \cdot h^3} [MPa] \quad (6)$$



Obr. 19. Třibodová zkouška ohybem [25]

Čtyřbodová zkouška ohybem

Při čtyřbodové zkoušce je zkušební těleso prohýbáno dvěma symetricky umístěnými břemeny, jak je tomu zobrazeno na Obr. 20. Dvě symetrická břemena při čtyřbodovém ohybu vyvolají ohybové momenty lineárně rostoucí od nuly na podpoře k maximální hodnotě pod břemenem. Hodnoty pevností v ohybu jsou nižší než u třibodového systému a je i jiné rozložení ohybového momentu. Výhoda zkoušky čtyřbodovým ohybem spočívá v konstantním ohybovém momentu M_0 po téměř celé délce rozteče uložení vzorku, což je především významné při stanovení modulu pružnosti. Ohybový moment vyvolává v horních vláknech tah, v dolních tlak. [21, 29]

Působí-li dvě síly F ve stejné vzdálenosti m od podpěr, pak pro čtyřbodový systém platí:

$$M_{max} = F_{max} \cdot m \quad [N \cdot mm] \quad (7)$$

Pevnost v ohybu se vypočítá: [29]

$$\sigma_y = \frac{6 \cdot F_{max} \cdot m}{b \cdot h^2} \quad [MPa], \quad (8)$$

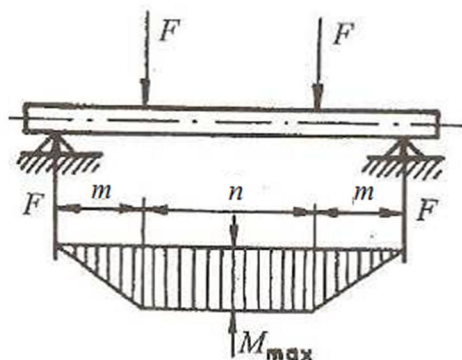
kde m je vzdálenost zatěžující síly od podpěr [mm]. [29]

Vztah pro výpočet modulu pružnosti při čtyřbodovém systému:

$$E_y = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot m}{b \cdot h^3 \cdot y} \cdot (3 \cdot (2n + m)^2 - 4 \cdot n^2) \quad [MPa] \quad (9)$$

Pak průhyb y se vypočítá ze vztahu: [29]

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot m}{b \cdot h^3 \cdot E_y} \cdot (3 \cdot (2n + m)^2 - 4 \cdot n^2) \quad [mm] \quad (10)$$



Obr. 20. Čtyřbodová zkouška ohybem [25]

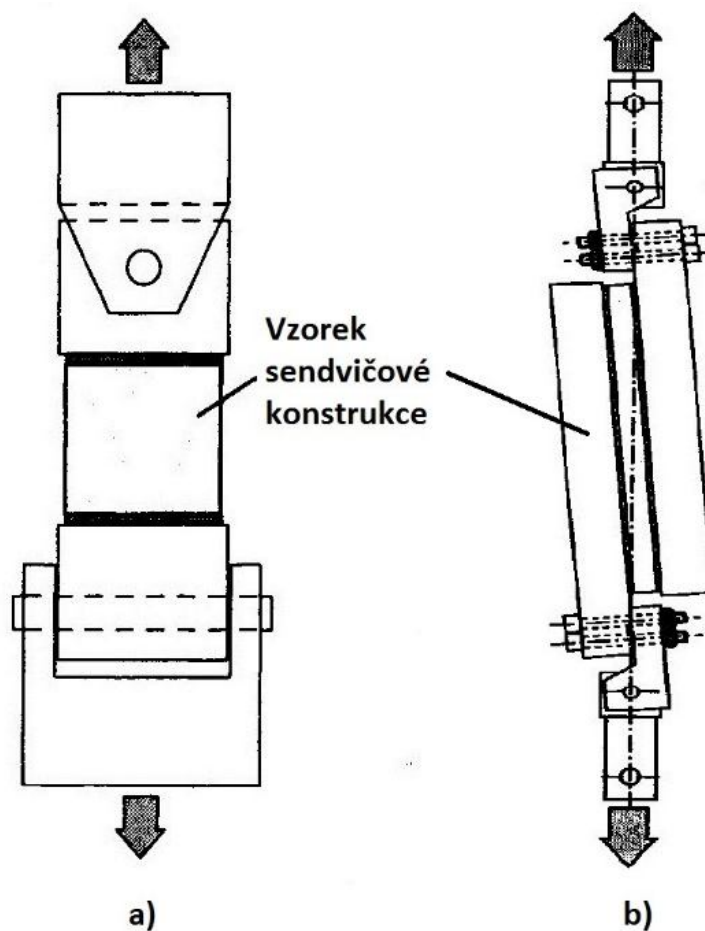
2.1.2 Další mechanické testy sendvičových konstrukcí

Zkouška tahem: Tato zkouška stanovuje pevnost v tahu jádra nebo vazby mezi jádrem a krycími vrstvami sendvičových konstrukcí. Sendvičová konstrukce se zatěžuje tahem kolmo na rovinu sendvičové konstrukce. [6]

Zkouška stříhem: Tato zkouška poskytuje informace o deformaci sendvičových konstrukcí při zatížení na stříh rovnoběžně s rovinou sendvičových konstrukcí. [6]

Zkouška nárazem: Nárazové zkoušky jsou prováděny pro měření odolnosti sendvičové konstrukce proti nárazu. Při této zkoušce působí poměrně velké síly, které působí po krátkou dobu na malou plochu sendvičové konstrukce. [6]

Zkouška rovnoměrným tlakem: Sendvičový panel je vystaven statickému tlakovému zatížení, které je kolmé na rovinu sendvičové konstrukce. Toto zatížení je rovnoměrné na celou plochu sendvičové konstrukce. [6]



Obr. 21. Příklady dalších mechanických testů sendvičových konstrukcí

(a) zkouška tahem, b) zkouška stříhem) [6]

2.2 Vodotěsnost

Důležitou funkcí krycí vnější vrstvy je zajistit ochranu proti vlhkosti. Vlhkost snižuje tepelně izolační vlastnosti a má vliv na životnost a náchylnost ke korozi sendvičových panelů. [5]

2.3 Odolnost proti ohni

V dnešní době podléhá průmysl přísným bezpečnostním normám. Proto kompozity musí být vyrobeny z protipožárních materiálů. Požární odolnost je schopnost materiálu udržet si svou mechanickou stabilitu, nešířit plameny a současně si zachovat po danou dobu schopnost odolat vysoké teplotě způsobené požárem. Tento parametr je určen evropskou normou EN 13501. Požární odolnost je v této normě vyjádřena časem v minutách od počátku vzniku požáru až do chvíle, kdy testovaná konstrukce přestane vyhovovat projektovaným požadavkům. [27]

Reakce na působení ohně je schopnost odolat vznícení, tedy doba, po kterou nedojde k zažehnutí materiálu. S ohledem na toto jsou materiály rozděleny do tříd (0, 1, 2, 3, 4, 5). Čím vyšší třída, tím nižší odolnost proti vznícení. Třída reakce na oheň je určena pomocí testů malých vzorků, které jsou uskutečněny dle příslušných evropských norem. [27]

3 CREEPOVÉ CHOVÁNÍ

Creep je termín, který popisuje pomalý růst deformace pevného materiálu, vznikající v čase pod konstantním zatížením. To nastává následkem dlouhodobého vystavení napětí, které jsou pod mezí kluzu nebo mezí pevnosti materiálu. Creep závisí nejen na napětí v materiálu, ale i na teplotě, kdy je monotónně rostoucí s funkcí teploty. [28]

V závislosti na velikosti napětí a jeho trvání, se deformace může stát tak velkou, že díl konstrukce již nemůže vykonávat svou funkci. Creep neznamená nutně způsob porušení, ale je to určitý deformační mechanismus. Mírný creep v betonu je někdy vítaný, protože ulehčuje tahovým napětím, které by jinak vedly k tvoření povrchových trhlin. Jak bylo zmíněno, creepové deformace se nevyskytují náhle, ale jsou závislé na čase. Rozsah teplot, ve které se creepové deformace mohou vyskytovat, se liší podle použitých materiálů. Při pokojové teplotě je obvykle creepové chování minimální. Větší creep nastává až při významnějším zvýšení teploty, kdy to může způsobit strukturální nestability či velké deformace. [28]

Creepové chování sendvičové konstrukce závisí na mnoha faktorech:

- teplota struktury
- vlastnosti jádra, krycích vrstev a lepidla sendvičových konstrukcí
- rozměry sendvičového panelu
- velikost buňky jádra
- vlastnosti lepidla, které spojuje jádro a vnější krycí vrstvy sendvičových konstrukcí
- rozložení napětí [28]

3.1 Stádia creepu

I. Primární creep

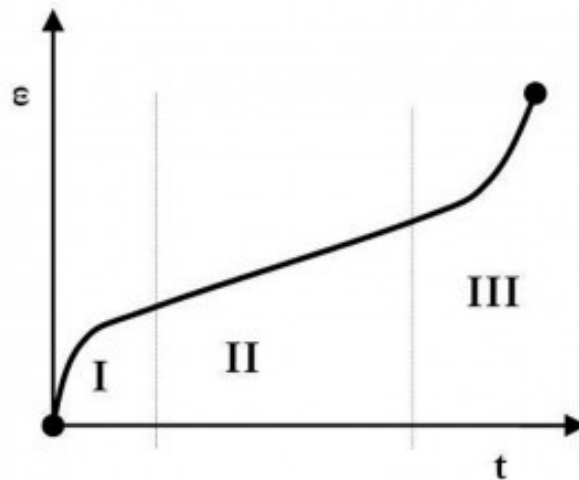
Rychlost deformace je relativně vysoká, ale zpomaluje se. Tento úsek představuje počáteční elastickou a plastickou deformaci a následnou kumulaci plastické deformace v důsledku creepu. Rychlost deformace nakonec dosahuje minima a stává se konstantní v bodě, který se označuje jako konec primárního stadia. Primární stadium se někdy označuje jako tranzitní nebo přechodové. [28]

II. Sekundární creep

Tento stupeň je nejvíce prozkoumán. Je charakteristický konstantní hodnotou rychlosti deformace. Závislost napětí a rychlosti deformace závisí na creepovém mechanismu. [28]

III. Terciální creep

Na konci sekundárního stádia se začíná rychlost deformace exponenciálně zvyšovat a dochází k nestabilnímu chování, jež vede k lomu. Proto se tento poslední úsek někdy označuje jako nestabilní. [28]



Obr. 22. Stádia creepu [28]

3.2 Všeobecná rovnice creepu

Všeobecná rovnice creepu vyjadřuje rychlost deformace v oblasti ustáleného creepu:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{C\sigma^m}{d^b} e^{\frac{-Q}{kT}} \quad (11)$$

kde ε je creepová deformace [-], m a b jsou exponenty závislé na creepovém mechanismu [-], Q je aktivační energie creepového mechanismu [$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$], σ je napětí v materiálu [Mpa], d je velikost zrna materiálu [mm], k je Boltzmannova konstanta [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$], T je absolutní teplota [$^{\circ}\text{C}$], a C je konstanta závislá na materiálu. [28]

3.3 Creepové zkoušky

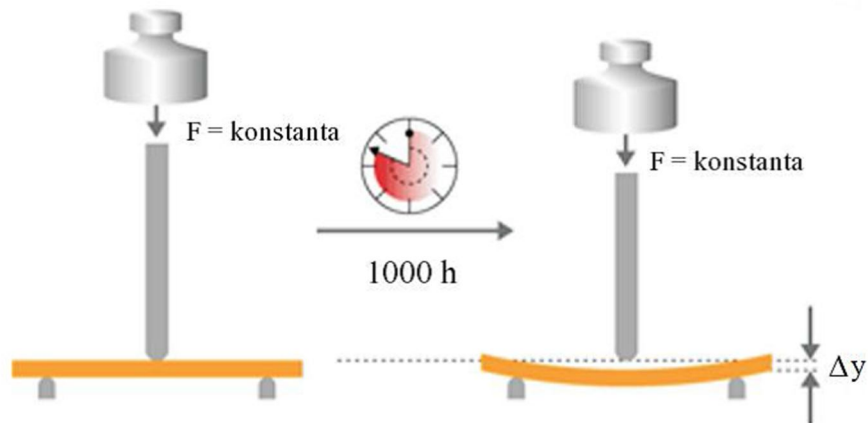
Za účelem získání přesnějších informací o dlouhodobém chování materiálu při napětí nebo deformaci jsou zaváděny speciální dlouhodobé zkoušky. Vynutila si to skutečnost, že celá řada materiálů má sklon téci – deformovat se za normální teploty již svou vlastní tíhou, tedy při relativně nízkém zatížení (studený tok). [29]

Pro přesné stanovení závislosti deformačních vlastností na čase používáme dvou postupů. Při konstantní teplotě se jedna proměnná (napětí nebo deformace) udržuje konstantní a u druhé proměnné, tj. deformace nebo napětí, se přesně měří její změna v závislosti na čase. Creepové deformační zkoušky jsou zaměřeny na změnu deformace při konstantním napětí. Na změnu napětí při konstantní deformaci jsou zaměřeny zkoušky relaxace napětí. [29]

V praxi se provádí creepové zkoušky v tahu, v tlaku a v ohybu. První dvě zmíněné zkoušky jsou používány téměř výhradně pro polymerní materiály. Poslední zmíněná se provádí právě v případě sendvičových konstrukcí.

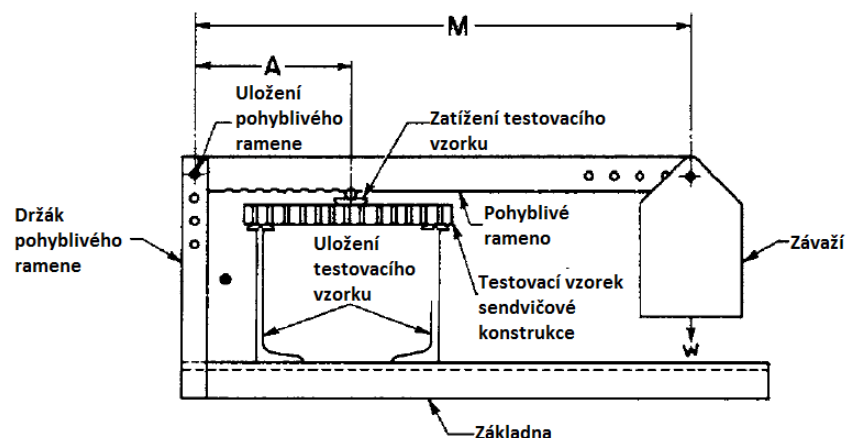
3.3.1 Creepová deformační zkouška v ohybu

Creepová deformační zkouška v ohybu charakterizuje creepové vlastnosti a rychlost deformace sendvičových konstrukcí, které jsou namáhané na ohyb při stálé teplotě (Obr. 23). Testují se sendvičové konstrukce, které mají velké styčné plochy jádra s vnějšími krycími vrstvy (např. sendvičové konstrukce s jádrem z balzového dřeva nebo pěny), ale i sendvičové konstrukce, které mají malou styčnou plochu jádra a krycích vrstev (např. sendvičové konstrukce s voštinovým jádrem). Při creepové ohybové zkoušce je testovací vzorek sendvičové konstrukce vystaven deformační síle, která je kolmá na rovinu sendvičové konstrukce. Testovací vzorek je při creepové ohybové zkoušce uložen tříbodově nebo čtyřbodově. Deformace (průhyb y) je snadno měřitelná výškovým indikátorem a zaznamenává se v závislosti na čase. Zjištěné výsledky creepové chování poskytuje informace o dané sendvičové konstrukci, které jsou vhodné pro konstruktéra a pro kontrolu kvality sendvičových konstrukcí. [31]



Obr. 23. Princip creepové deformační zkoušky v ohybu [30]

Kompletní zařízení pro creepovou deformační zkoušky v ohybu zobrazuje Obr. 24. Jak je možné vidět, testovací zařízení využívá pákového mechanismu, kdy na jednom konci je závaží, které vyvozuje konstantní napětí v testovaném vzorku. [31]



Obr. 24. Přípravek pro creepovou deformační zkoušky v ohybu [31]

Potřebná hmotnost závaží, která by odpovídala požadované síle působící na vzorku při tříbodovém zatížení, jak ukazuje výše uvedený obrázek, lze vypočítat ze vztahu:

$$W = \frac{(P - p) \cdot A - w \cdot b}{M} \text{ [Kg]}, \quad (12)$$

kde W je hmotnost závaží [Kg], P je hmotnost, která působí na vzorek [Kg], p je hmotnost zatěžujícího trnu [Kg], w je hmotnost pohyblivého ramene bez závaží [Kg], A je vzdálenost od uložení pákového mechanismu po zatěžující sílu, která působí na testovací vzorek [mm], B je vzdálenost od uložení pákového mechanismu po těžiště pohyblivého ramene [mm] a M je vzdálenost od uložení pákového mechanismu po závaží [mm]. [31]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Praktická část bakalářské práce se zabývá konstrukčním návrhem zařízení, které je zaměřené na sledování creepového chování v ohybu sendvičových struktur a to při tříbodovém i čtyřbodovém zatížení. Model i výkresová dokumentace byly vytvořeny v programu Catia V5R19.

Mezi hlavní cíle této části bakalářské práce patří:

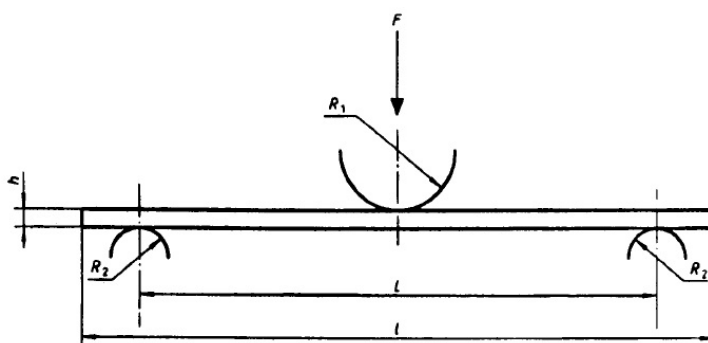
- Návrh konstrukce přípravku pro testování creepového chování
- Tvorba modelu přípravku
- Popis modelu konstrukce přípravku
- Tvorba výkresové dokumentace konstrukce přípravku

5 ROZMĚRY ZATĚŽOVACÍCH TRNŮ A PODPĚŘ

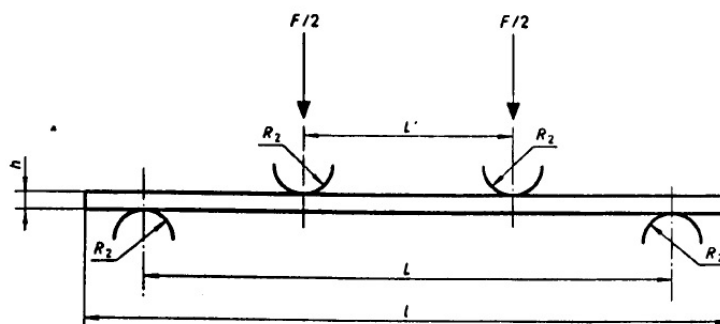
Rozměry zatěžovacích trnů a podpěr vychází z normy ČSN EN ISO 14125 Vláknny vyztužené plastové kompozity-Stanovení ohybových vlastností.

Podpěry a středový zatěžovací trn(y) jsou uspořádány podle Obr. 25 (tříbodové zatěžování) nebo podle Obr. 26 (čtyřbodové zatěžování). Poloměr R_1 a R_2 musí odpovídat hodnotám v následující tabulce (Tab. 1). Osy podpěr a zatěžovacího trnu musí být rovnoběžné. [32]

Vzdálenost L musí být nastavitelná.



Obr. 25. Uspořádání podpěr a zatěžujícího trnu při tříbodovém zatěžování [32]



Obr. 26. Uspořádání podpěr a zatěžujících trnů při čtyřbodovém zatěžování [32]

Tab. 1. Rozměry zatěžovacích trnů a podpěr

Rozměry	Hodnota [mm]
R_1	5 ± 0.2
R_2 pro $h \leq 3 \text{ mm}$	2 ± 0.2
R_2 pro $h > 3 \text{ mm}$	5 ± 0.2

6 NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ CREEPOVÉHO CHOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR

6.1 Konstrukční návrh A

6.1.1 Popis zařízení

Přípravek se skládá z rámu, sestavy zatěžujícího členu, vodící desky s podpěrami a držáku úchylkoměru (Obr. 27). K rámu přípravku je přišroubována vodící deska se stupnicí a s nastavitelnými podpěrami, na které se ukládá zkušební těleso. Místo, kde vzniká zatížení, zajišťuje příslušenství pro třibodový ohyb nebo pro čtyřbodový ohyb, které je vyměnitelné. Toto příslušenství se připevňuje na pohyblivý člen přípravku, který se pohybuje pouze ve vertikálním směru. Výšková poloha zatěžujícího členu se snímá pomocí úchylkoměru. Hodnoty získané z úchylkoměru udávají průhyb namáhaného tělesa. Na pohyblivý člen se přidá závaží, díky kterému vzniká zatěžující síla.

Technické parametry přípravku

Maximální rozměry přípravku: 200x468x308 mm

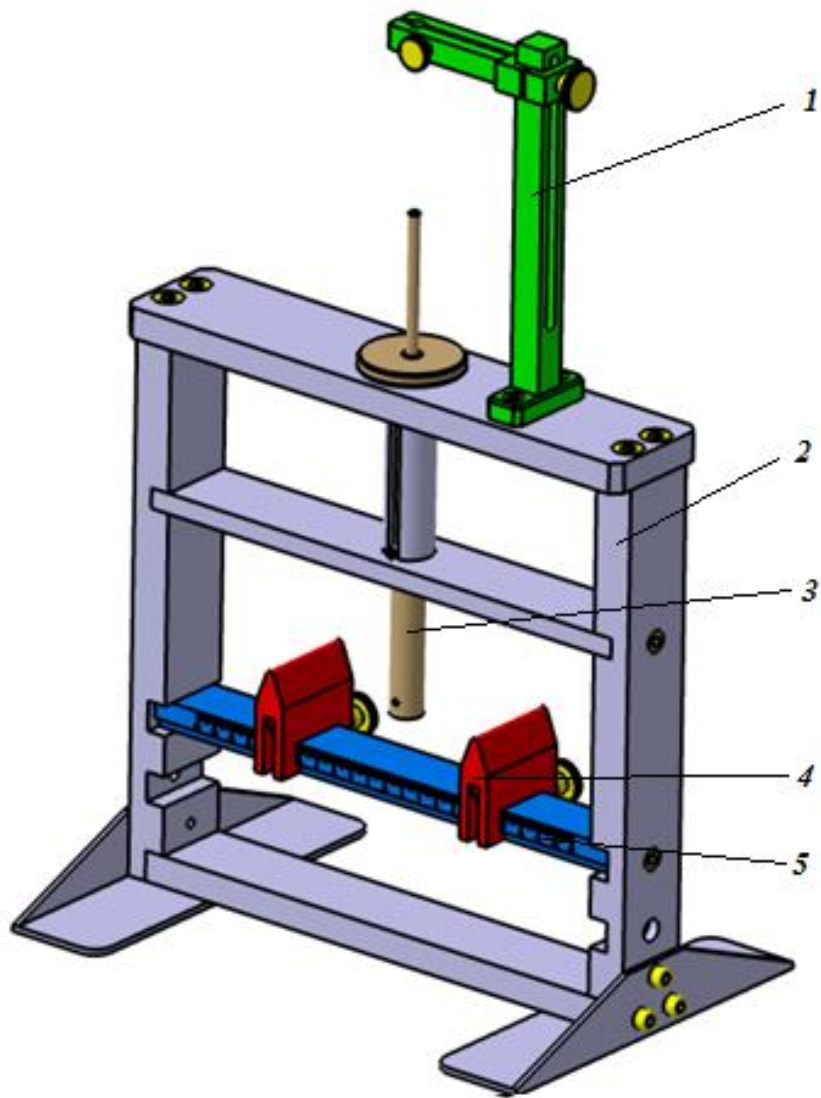
Hmotnost samotného přípravku (bez závaží): 10,15 kg

Rozsah rozměrů zkušebního tělesa: - Délka: 16-220 mm

- Šířka: 0-50 mm

- Tloušťka: 0-40 mm

Průhyb zkušebního tělesa: 0-30 mm

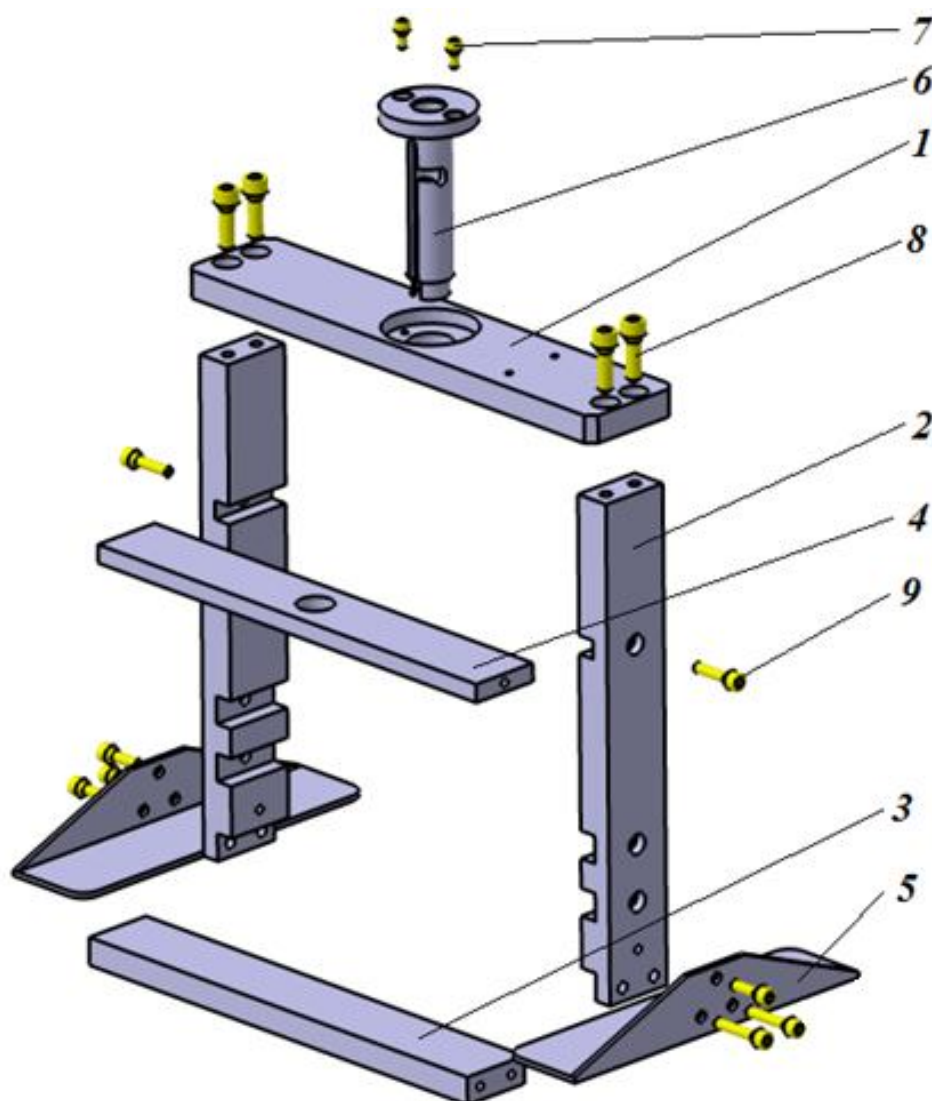


Obr. 27. Model konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Držák úchylkoměru, 2-Rám přípravku, 3-Sestava pohybové části s plošinou pro závaží, 4-Podpěra, 5-Vodící deska pro podpěry)

6.1.2 Rám přípravku

Rám přípravku se skládá ze čtyř nosných desek, vedení pro pohybový člen a dvou patek, které zajišťují stabilitu přípravku (Obr. 28). Na dvě boční desky je pomocí čtyř šroubů M8x25 připevněna vrchní deska. Spodní deska je spolu s patkami přišroubována čtyřmi šrouby M8x25. Deska pro vedení je připevněna k bočním deskám pomocí šroubů M6x20. Samotné vedení pohybového členu prochází vrchní deskou a z důvodu vystředění prochází i deskou pro vedení. Vedení je přišroubováno dvěma šrouby M5x10.

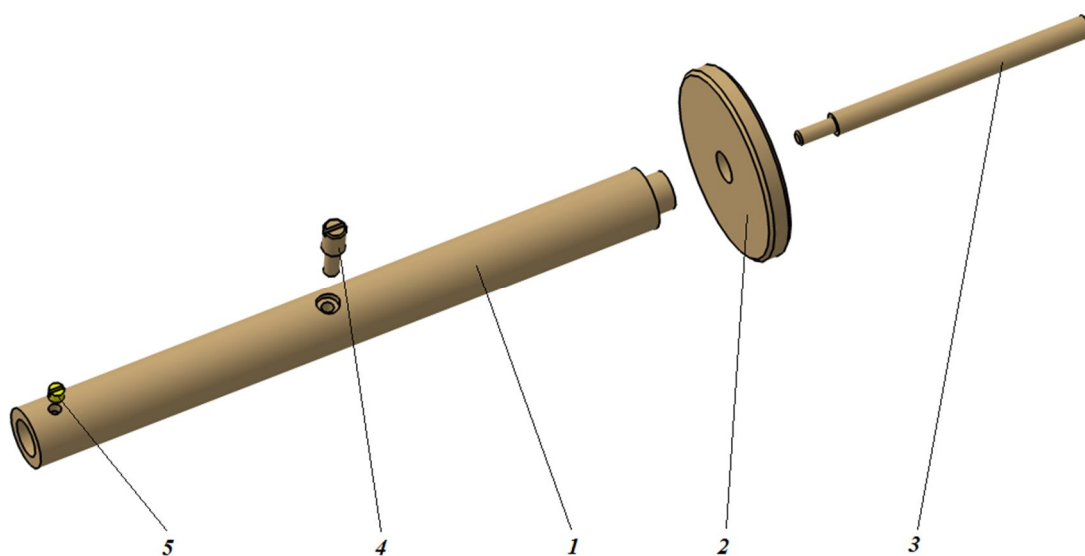


Obr. 28. Model rozebraného rámu konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Vrchní deska, 2-Boční deska, 3-Spodní deska, 4-Deska pro vedení, 5-Patka, 6-Vedení pohybového členu, 7-Šroub M5x10, 8-Šroub M8x25, 9-Šroub M6x20)

6.1.3 Sestava zatěžujícího členu

Sestava zatěžujícího členu (Obr. 29) působí na zkušební vzorek tíhovou silou, která vyvolá ohyb. Na pohybovou část se ze spodní strany připevní trn pro tříbodovou nebo čtyřbodovou ohybovou zkoušku pomocí stavěcího šroubu M4x4. Na vrchní část se na závit M10 našroubuje plošina pro závaží a do vnitřního závitu M4 se připevní dotyk pro úchylkoměr. Rotace je u pohybového členu nežádoucí a proto po uložení pohybového členu do vedení se zamezí rotace aretačním čepem.



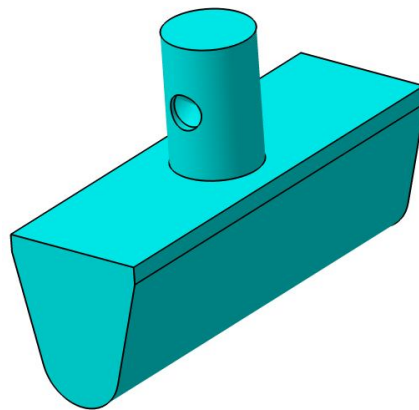
Obr. 29. Model rozebraného pohybového členu konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Pohybová část, 2-Plošina pro závaží, 3-Dotyk pro mikrometr, 4-Aretační čep, 5-Stavěcí šroub M4x4)

6.1.4 Výměnné trny pro tříbodovou a čtyřbodovou ohybovou zkoušku

- Trn pro tříbodovou ohybovou zkoušku

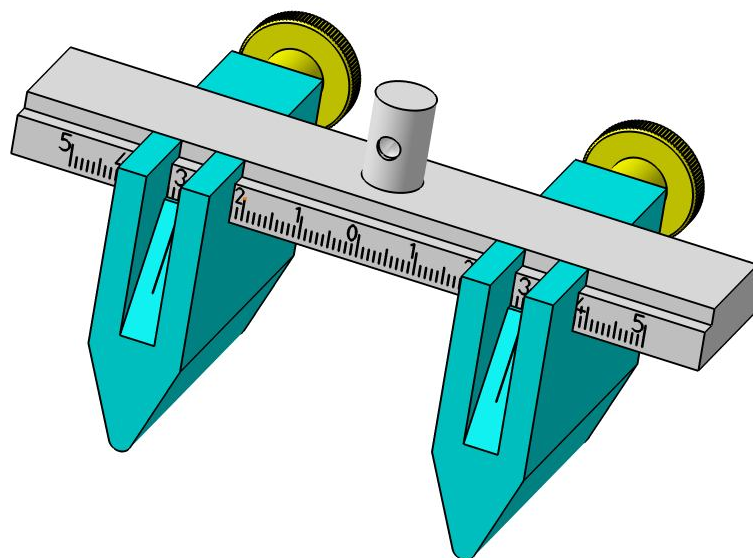
Trn pro tříbodovou ohybovou zkoušku (Obr. 30) zatěžuje zkušební vzorek sendvičové struktury uprostřed jeho délky. Na pohyblivý člen je připevněn pomocí stavěcího šroubu, který zamezuje pohyb ve vertikálním směru i rotaci.



Obr. 30. Zatěžující trn pro tříbodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu A

- Trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku

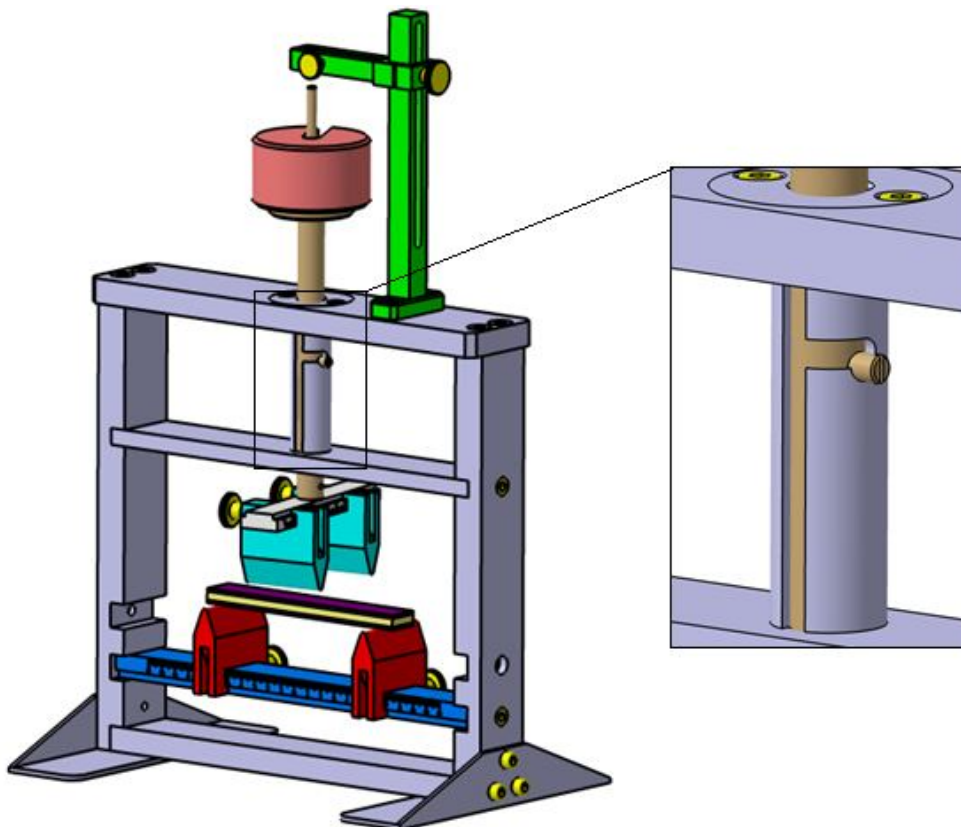
Trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku (Obr. 31) zatěžuje zkušební vzorek sendvičové struktury dvěma podpěrami, které se ustaví do požadované vzdálenosti od kraje zkušebního vzorku. Přímocharý posuv podpěr je zajištěn uložením v T-drážce. Pevné ustavení podpěry v požadované vzdálenosti zajišťuje šroub s rýhovanou hlavou, který vytvoří potřebnou přitlačnou sílu. Tento šroub se zatahuje ručně. Připevnění trnu na pohyblivý člen je stejné jako u trnu pro tříbodovou ohybovou zkoušku.



Obr. 31. Zatěžující trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu A

6.1.5 Příprava zkoušky – Konstrukční návrh A

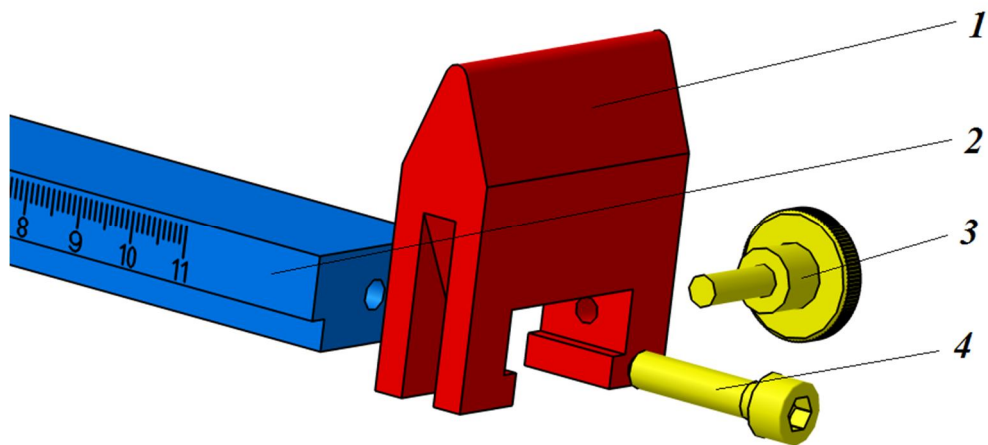
Vedení vertikálního pohybového elementu se vsune do aretační drážky, čímž se zajistí potřebná poloha pohybového členu pro přípravu ohybové zkoušky, jak je tomu na Obr. 32. Aretace pohybového členu slouží k přípravě závaží, které vyvolává zatěžující sílu na zkušební vzorek a také v oblasti podpěr pak vznikne místo pro klidné vložení vzorku a nastavení potřebné vzdálenosti podpěr.



Obr. 32. Aretace pohybového členu

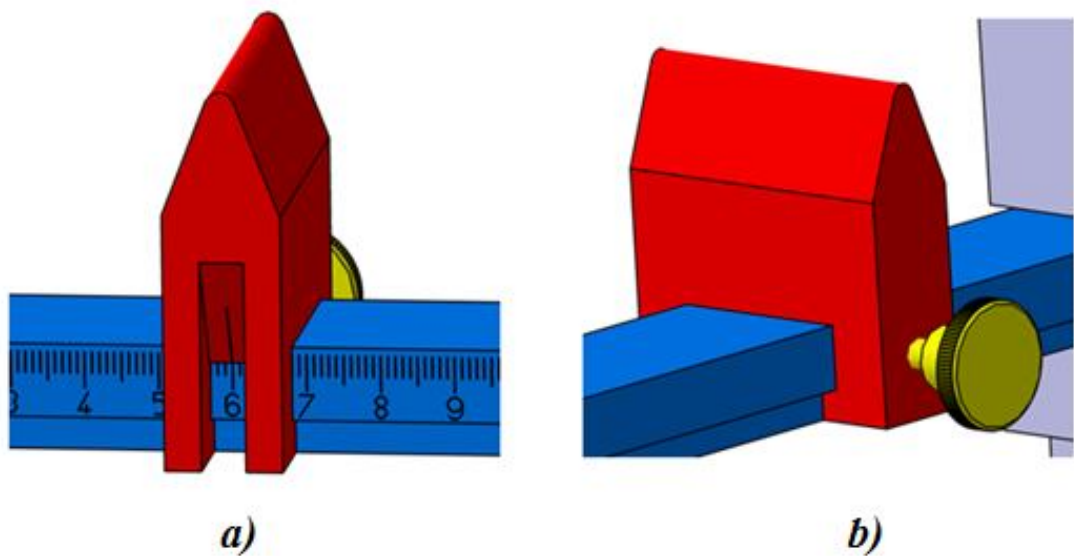
6.1.6 Nastavení podpěr

Přímočarý pohyb podpěr je zajištěn vzájemným vedením pomocí T-drážky. Na desce, která zajišťuje uložení podpěr, je pomocí metody gravírování vytvořená milimetrová stupnice, která slouží k nastavení požadované rozteče podpěr (Obr. 34a). Zabránění pohybu podpěry v požadované poloze zajišťuje třecí síla, kterou vyvolá šroub s rýhovanou hlavou pro ruční utahování (Obr. 34b).



Obr. 33. Model rozebraného uložení podpěr konstrukčního návrhu A

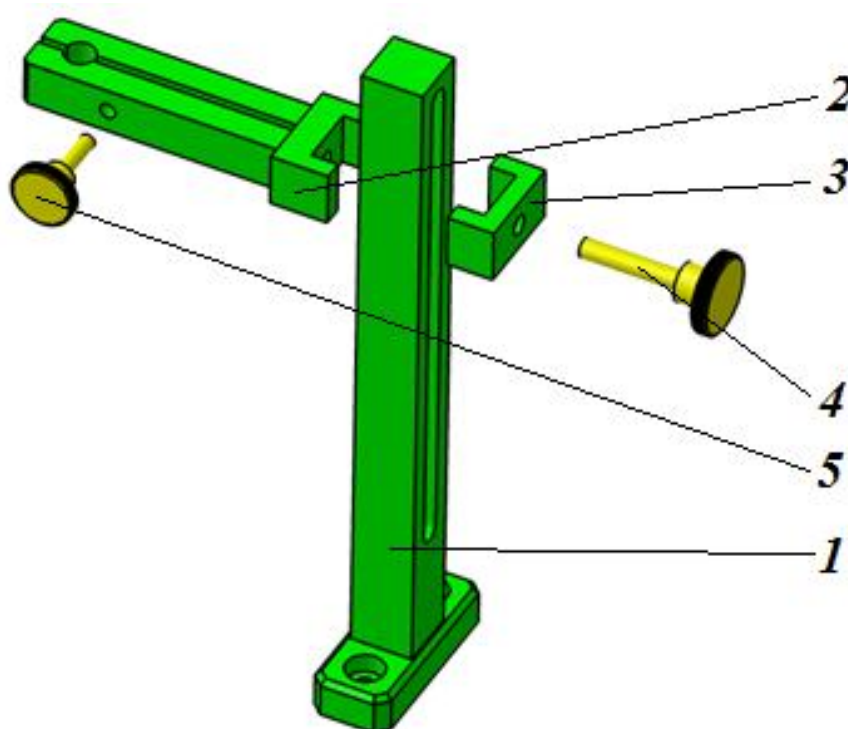
(1-Podpěra, 2-Vodící deska, 3-Šroub s rýhovanou hlavou M5x15, 4-Šroub M6x20)



Obr. 34. a) Nastavení vzdálenosti podpěr konstrukčního návrhu A, b) Zamezení pohybu podpěr pomocí šroubu s rýhovanou hlavou

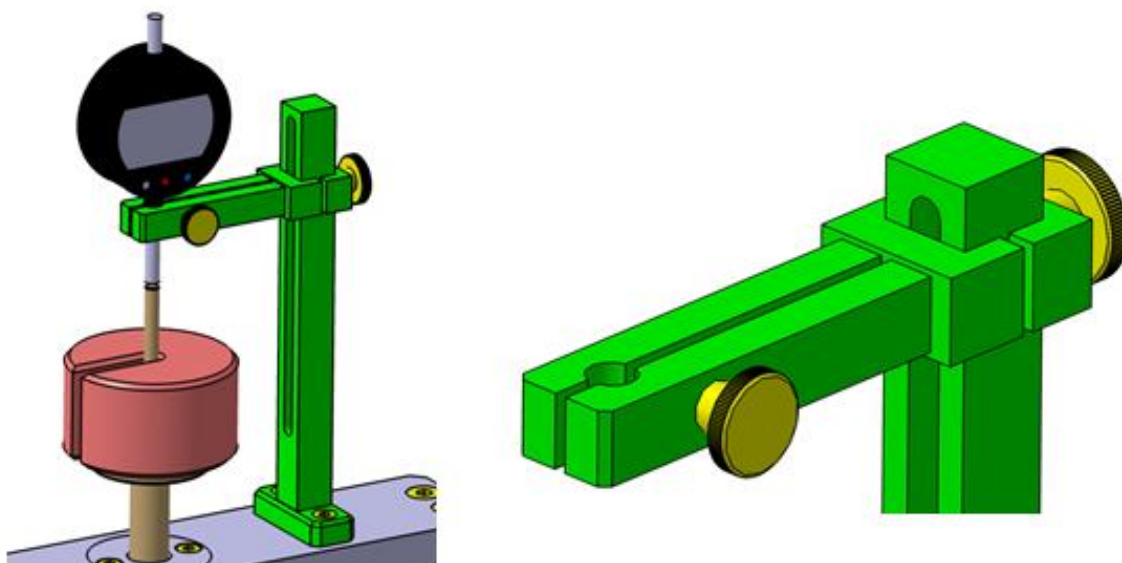
6.1.7 Držák úchylkoměru

Úchylkoměr je potřeba nastavovat pouze ve vertikálním směru, proto je držák navržen tak, aby byl pouze výškově nastavitelný. Toto konstrukční provedení držáku zajišťuje snadné a rychlé nastavení úchylkoměru. Držák úchylkoměru se skládá ze stojanu a pohyblivé části (Obr. 35). Stojan je pevně připevněn na vrchní desku přípravku pomocí dvou šroubů M5x16. Pohyblivá část držáku úchylkoměru zajišťuje výškové nastavení úchylkoměru, které je závislé na tloušťce zkušební vzorku. Zajištění v požadované poloze je dáno přítlačnou silou, kterou zabezpečuje šroub s rýhovanou hlavou pro ruční utahování.



Obr. 35. Model rozebraného držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Stojan, 2-Přední část držáku úchylkoměru, 3-Zadní část držáku úchylkoměru, 4-Šroub s rýhovanou hlavou M6x25, 5-Šroub s rýhovanou hlavou M4x16)



Obr. 36. Model držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu A

Další možností jak ustavit úchylkoměr je magnetický stojan na úchylkoměr značky Mitutoyo. Tato varianta je však náročnější na ustavování mikrometru.



Obr. 37. Magnetický stojan úchylkoměru[33]

6.1.8 Princip zkoušky

Testovací vzorek sendvičové struktury se vloží na podpěry, které jsou předem nastaveny na požadovanou vzdálenost. Zatěžující člen, na který se přidá závaží pro dosažení požadované zatěžující síly, začne na zkušební vzorek sendvičové struktury vyvolávat ohybový moment. Průhyb testovacího vzorku se snímá z vertikálního pohybu pohybujícího členu.

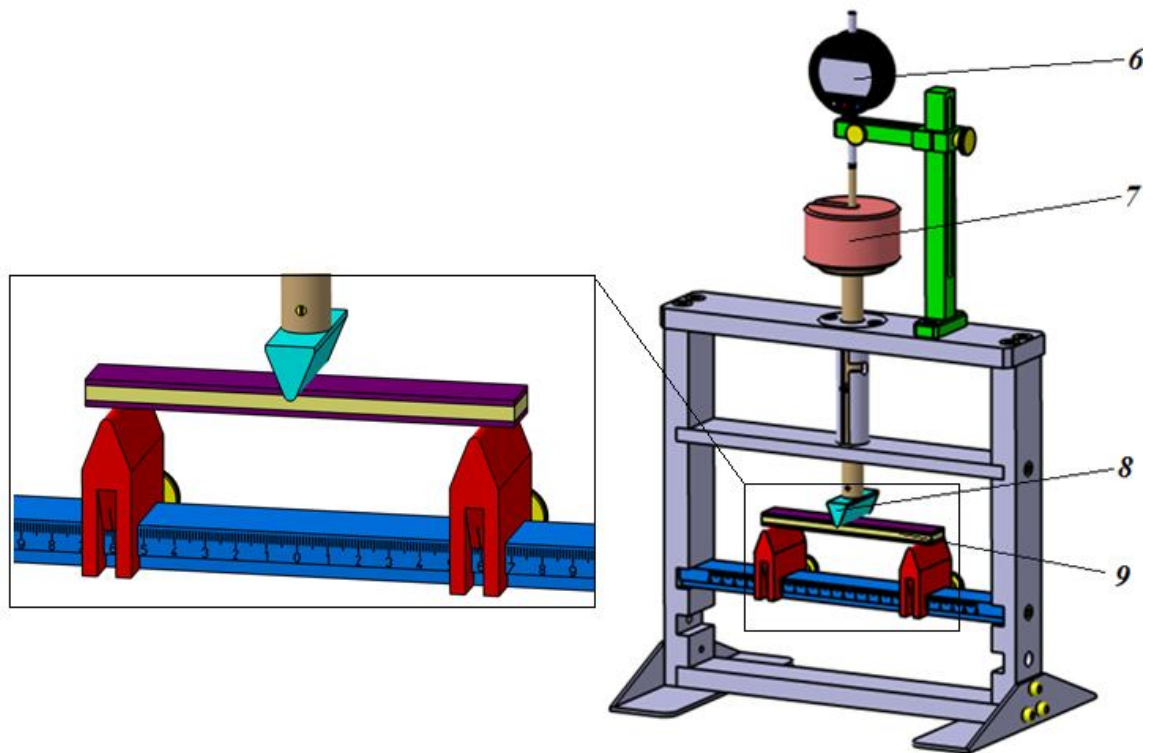
Tříbodová ohybová zkouška

Při tříbodové ohybové zkoušce je vodící deska, na které jsou upevněny podpěry, připevněna ve vrchních drážkách rámu, jak je tomu zobrazeno na Obr. 38. Zkušební těleso je umístěno na podpěry. Na zatěžující člen je pomocí stavěcího šroubu upevněn trn pro tříbodovou zkoušku, kterým je zkušební těleso namáháno uprostřed své délky. Minimální zatěžující síla se odvíjí od hmotnosti samotného pohybového členu bez závaží včetně trnu pro tříbodovou ohybovou zkoušku. Samotný pohybový člen váží 370g a trn pro tříbodovou zkoušku 80g. Minimální zatěžující síla se pak vypočítá z rovnice:

$$F_{min} = m \cdot g \text{ [N]} \quad (13)$$

kde m je hmotnost pohybového členu bez závaží včetně příslušného trnu pro danou zkoušku [Kg] a g je gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

Z rovnice 13. pak vyplývá, že minimální zatěžující síla pro tříbodovou ohybovou zkoušku je 4,4 N.

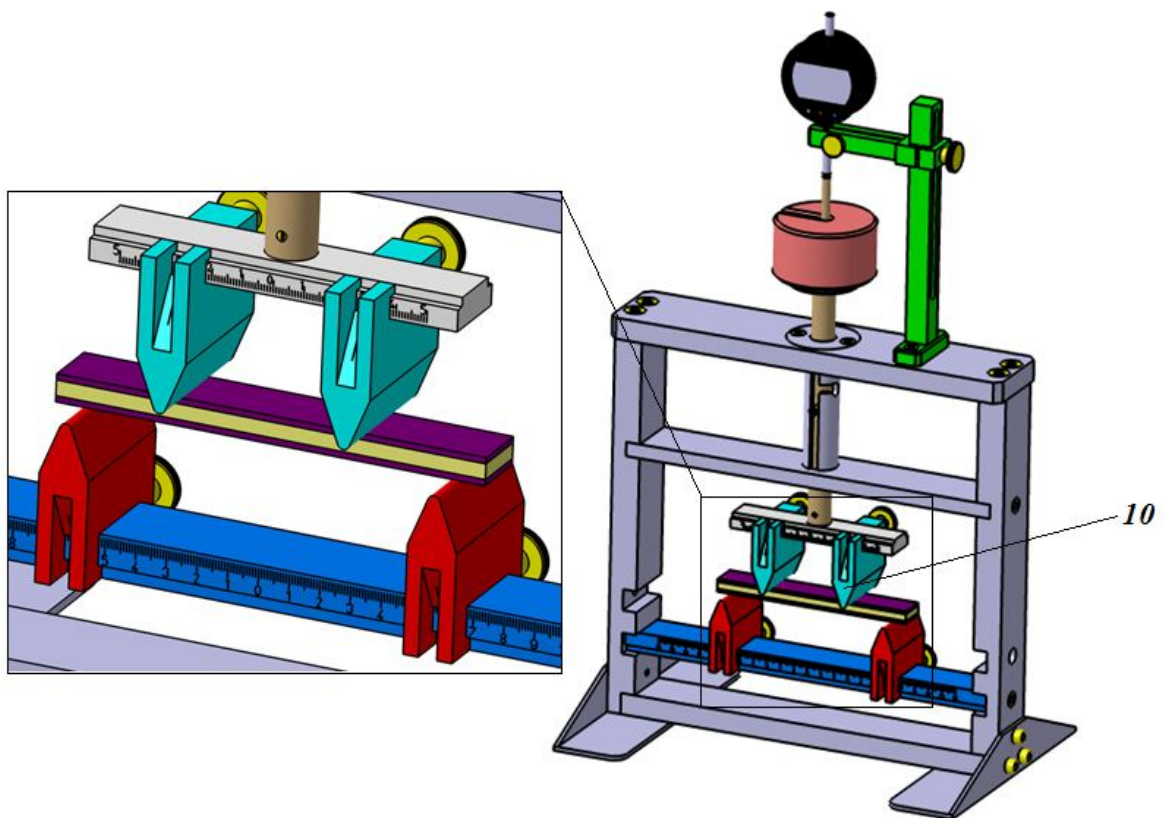


Obr. 38. Model konstrukčního návrhu A při třibodové ohybové zkoušce

(6-Úchylkoměr, 7-Závaží, 8-Ohybník pro třibodovou ohybovou zkoušku, 9-Zkušební vzorek)

Čtyřbodová ohybová zkouška

Při čtyřbodové ohybové zkoušce je deska s podpěrami umístěna ve spodních drážkách rámu přípravku (Obr. 39). Zkušební těleso se umístí na podpěry. Na vertikální pohybový element je pomocí stavěcího šroubu upevněn trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku. Trn pro čtyřbodovou zkoušku má dvě libovolně nastavitelné zatěžující podpěry, které se pomocí milimetrové stupnice a šroubu s rýhovanou hlavou nastaví do požadované vzdálenosti od kraje zkušebního vzorku. Trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku váží 704g tudíž z rovnice 13. vyplývá, že minimální zatěžující síla pro 4-Bodovou zkoušku je 10,5 N.



Obr. 39. Model konstrukčního návrhu A při čtyřbodové ohybové zkoušce

(10-Zatěžující trn pro čtyřbodovou zkoušku)

6.2 Kostrukční návrh B

6.2.1 Popis zařízení

Konstrukční návrh B je navržený podle americké normy C480/C480M – 08 Standard Test Method for Flexure Creep of Sandwich Constructions, kde se k dosažení konstantní zatěžující síly používá pákového mechanismu.

Přípravek je navržen pro dvě současně probíhající zkoušky, které jsou na sebe nezávislé. Konstrukce přípravku se skládá z rámu, sestavy pohyblivého ramene, pevné a pohyblivé podpěry, které jsou výškově nastavitelné, držáku úchylkoměru a aretační podpěry, jak je tomu zobrazeno na Obr. 40. K rámu přípravku je pomocí čepu připevněna sestava pohyblivého ramene. Trn pro třibodový nebo čtyřbodový ohyb se připevní na tuto sestavu pohyblivého ramene a zatíží zkušební vzorek sendvičové struktury ohybem. Zkušební vzorek sendvičové struktury se ukládá na výškově nastavitelné podpěry, z nich jedna je pevně spojena s rámem přípravku a druhá je přímočaře nastavitelná. Průhyb je snímán ze samotného zatíženého zkušební vzorku pomocí úchylkoměru, který je ustaven pod zkušebním vzorkem pomocí držáku úchylkoměru.

Technické parametry přípravku

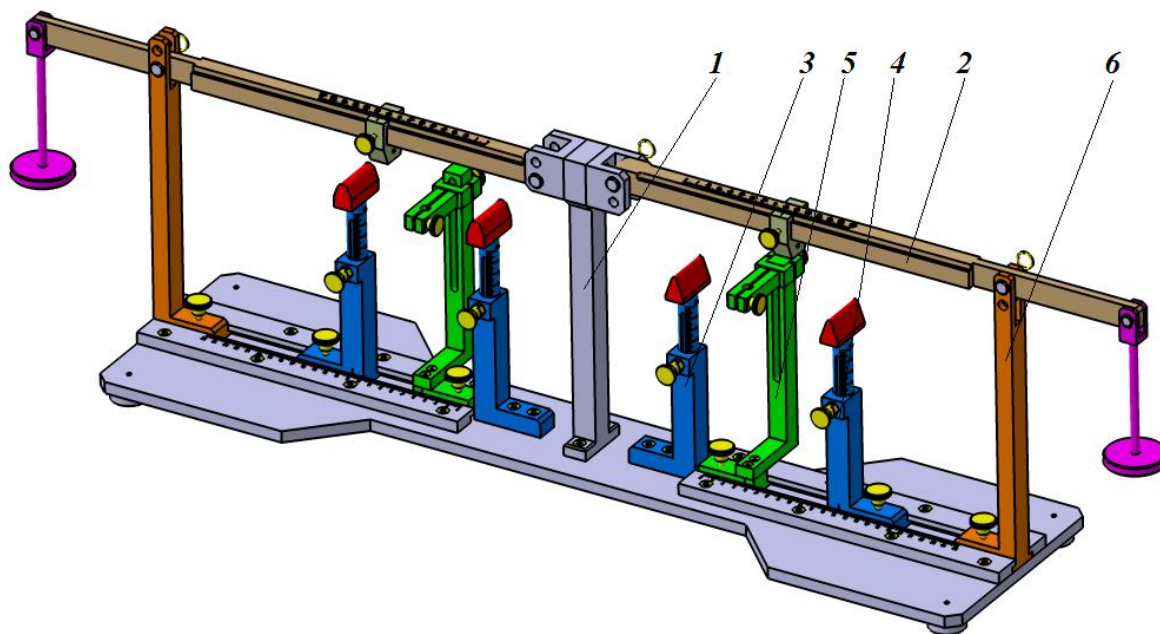
Maximální rozměry přípravku: 1004x200x278 mm

Hmotnost samotného přípravku (bez závaží): 22,34 kg

Rozsah rozměrů zkušební vzorku: - Délka: 20 - 250 mm

- Šířka: 0 – 50 mm

- Tloušťka: 0 – 40 mm

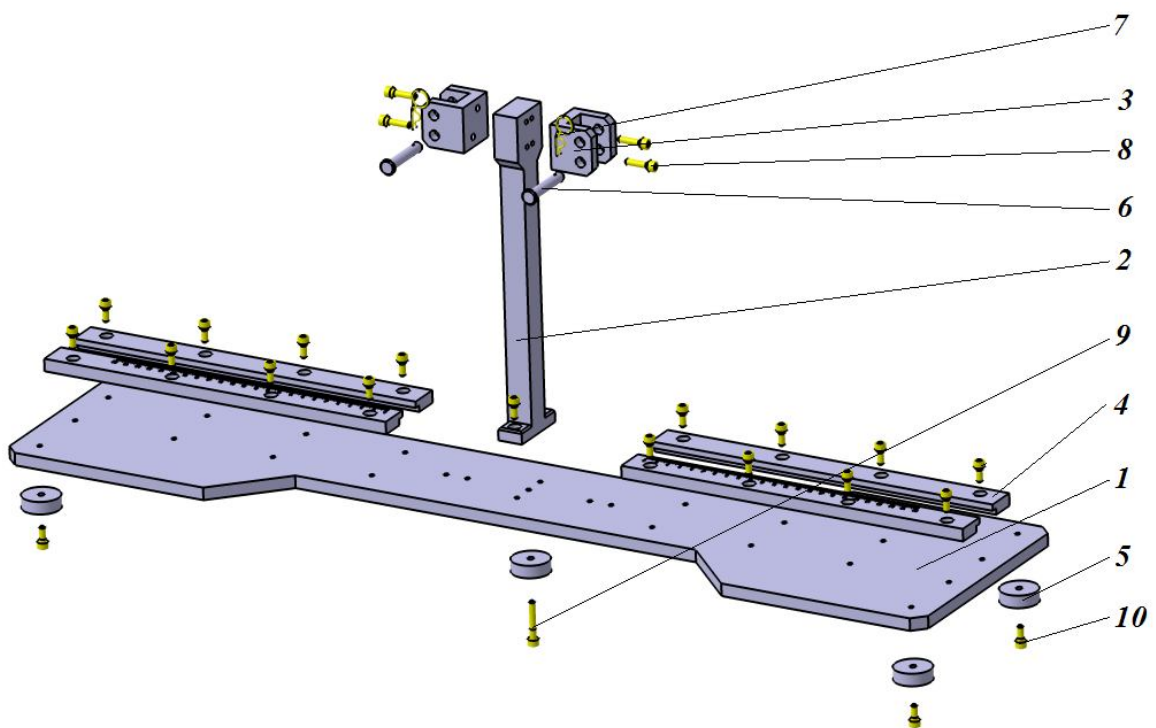


Obr. 40. Model konstrukčního návrhu B přípravku pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Rám přípravku, 2-Sestava pohyblivého ramene s držákem závaží, 3-Pevná podpěra, 4-Pohyblivá podpěra, 5-Držák závaží, 6-Manipulační rameno)

6.2.2 Rám přípravku

Rám přípravku se skládá z podstavy, stojanu, dvou držáků soustavy pohyblivého ramene, vedení pohyblivé podpěry a držáku mikrometru a pěti dosedek, které vymezují velkou styčnou plochu podstavy se stolem (Obr. 41). Na stojan se pomocí čtyř šroubů M5x20 připevní držáky soustavy pohyblivého ramene. Tato smontovaná sestava se pomocí dvou šroubů M5x12 a jednoho šroubu M5x30 (který prochází i jednou dosedkou) přišroubuje k podstavě. Zbylé čtyři dosedky se přišroubují k podstavě čtyřmi šrouby M5x12. Vedení se k podstavě připevní pomocí šestnácti šroubů M5x12. Na vedení je vygravírovaná milimetrová stupnice pro nastavení pohyblivé podpěry a držáku mikrometru.

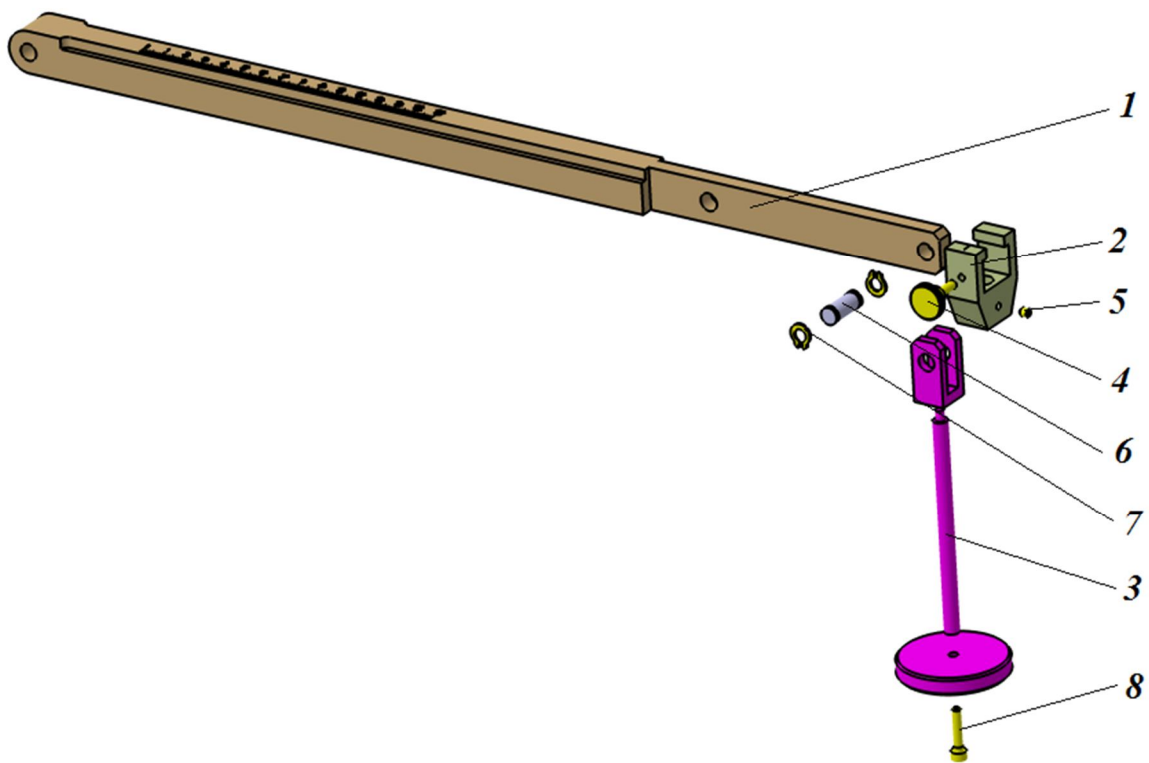


Obr. 41. Model rozebraného rámu konstrukčního návrhu B pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Podstava, 2-Stojan, 3-Držák soustavy pohyblivého ramene, 4-Vedení, 5-Dosedka, 6-Čep Ø8, 7-Závlačka Ø2, 8-Šroub M5x20, 9-Šroub M5x30, 10-Šroub M5x12)

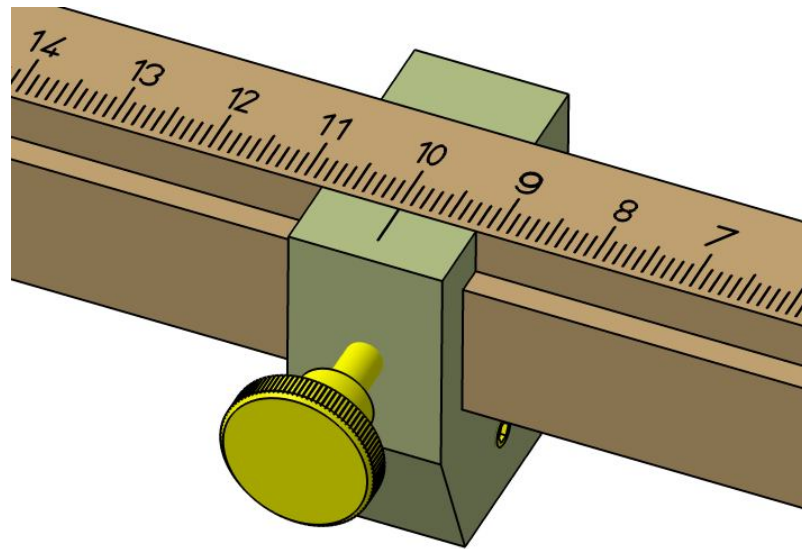
6.2.3 Soustava pohyblivého ramene

Soustava pohyblivého ramene (Obr. 42) zajišťuje zatížení zkušební vzorku ohybem. Samotné pohyblivé rameno připevňuje k držáku čep $\text{Ø}8$ mm, který zajišťuje polohu pohyblivého ramene a povoluje rotaci ramene kolem osy čepu pro dosažení pákového mechanismu. Pohyblivé rameno slouží jako vedení pro držák trnu pro tříbodovou nebo čtyřbodovou ohybovou zkoušku. Trn se k držáku trnu připojí pomocí stavěcího šroubu $\text{M}4 \times 4$. Přímočarý pohyb držáku trnu zajišťuje uložení pomocí T-drážky a jeho ustavení v požadované poloze je dáno přítlačnou silou, kterou vyvolá šroub s rýhovanou hlavou pro ruční utahování. Jak zobrazuje Obr. 43, na pohyblivém ramenu je vygravírovaná milimetrová stupnice pro nastavení držáku trnu v požadované vzdálenosti. Na konci pohyblivého ramene je připevněno pomocí čepu $\text{Ø}8$ mm držák závaží, který se skládá ze tří částí.



Obr. 42. Model rozebrané sestavy pohybového ramene konstrukčního návrhu B pro měření creepového chování sendvičových struktur

(1-Pohyblivé rameno, 2-Držák trnu, 3-Držák závaží, 4-Šroub s rýhovanou hlavou $\text{M}4 \times 12$, 5-Stavěcí šroub $\text{M}4 \times 4$, 6-Čep $\text{Ø}6$, 7-Pojistný kroužek $\text{Ø}6 \times 0,7$, 8-Šroub $\text{M}4 \times 20$)

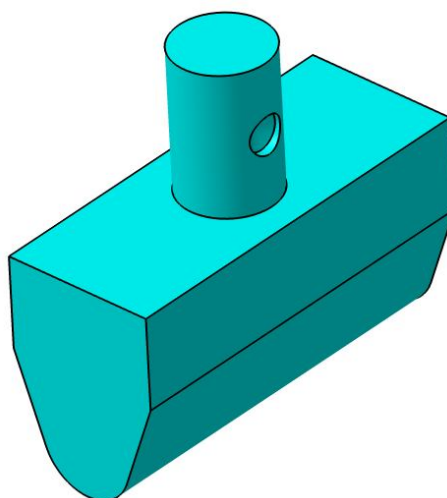


Obr. 43. Nastavení vzdálenosti držáku trnu

6.2.4 Výměnné trny pro tříbodovou a čtyřbodovou ohybovou zkoušku

- Trn pro tříbodovou ohybovou zkoušku

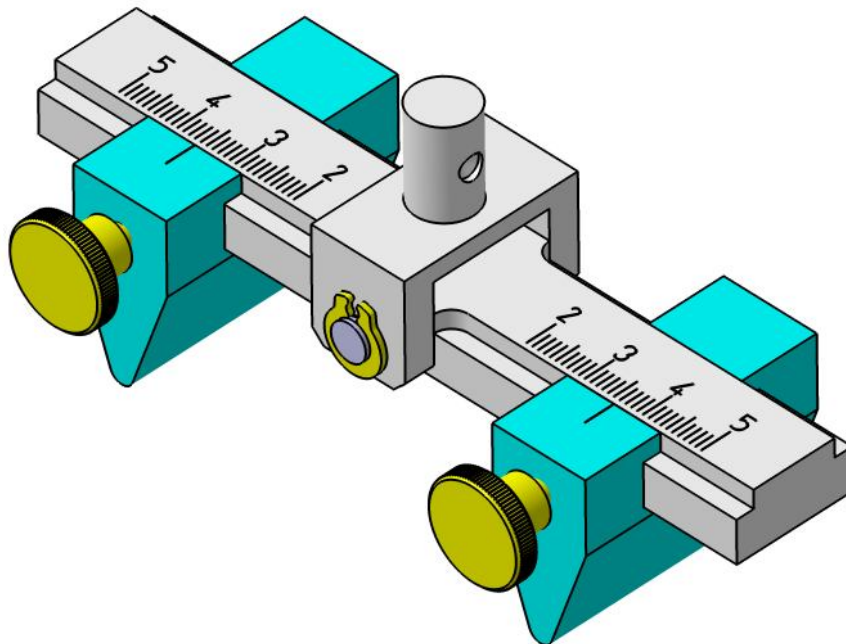
Trn pro tříbodovou ohybovou zkoušku (Obr. 44) je podobný jako u konstrukčního návrhu A. Trn zatěžuje zkušební vzorek sendvičové struktury uprostřed své délky. Na držák trnu je připevněn pomocí stavěcího šroubu M4x4, který zamezuje pohyb ve vertikálním směru i rotaci.



Obr. 44. Model zatěžujícího trnu pro tříbodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu B

- Trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku

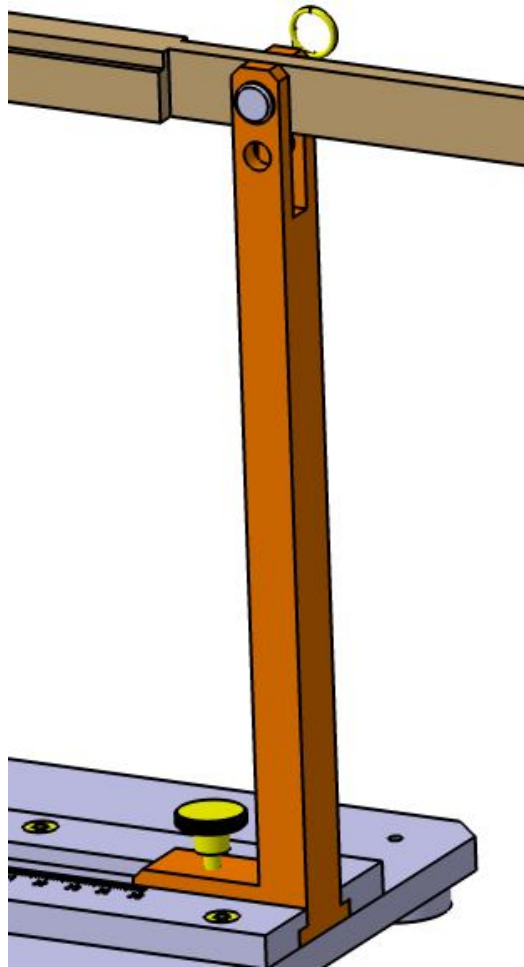
Trn pro čtyřbodovou zkoušku (Obr. 45) zatěžuje zkušební vzorek sendvičové struktury dvěma podpěrami, které se ustaví do požadované vzdálenosti od kraje zkušební vzorku. Přímochárý posuv podpěr je zajištěn uložením v T-drážce. Pevné ustavení podpěry v požadované vzdálenosti zajišťuje šroub s rýhovanou hlavou, který vytvoří potřebnou přítlačnou sílu. Tento šroub se zatahuje ručně. Pro zajištění stejné zatěžující síly na obou podpěrách je deska, na které jsou nastaveny podpěry, uložena čepem $\varnothing 6\text{mm}$, který zajišťuje rotaci desky kolem osy čepu. Připevnění trnu na pohyblivý člen je stejné jako u trnu pro tříbodovou ohybovou zkoušku.



Obr. 45. Model zatěžujícího trnu pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu B

6.2.5 Příprava zkoušky – Konstrukční návrh B

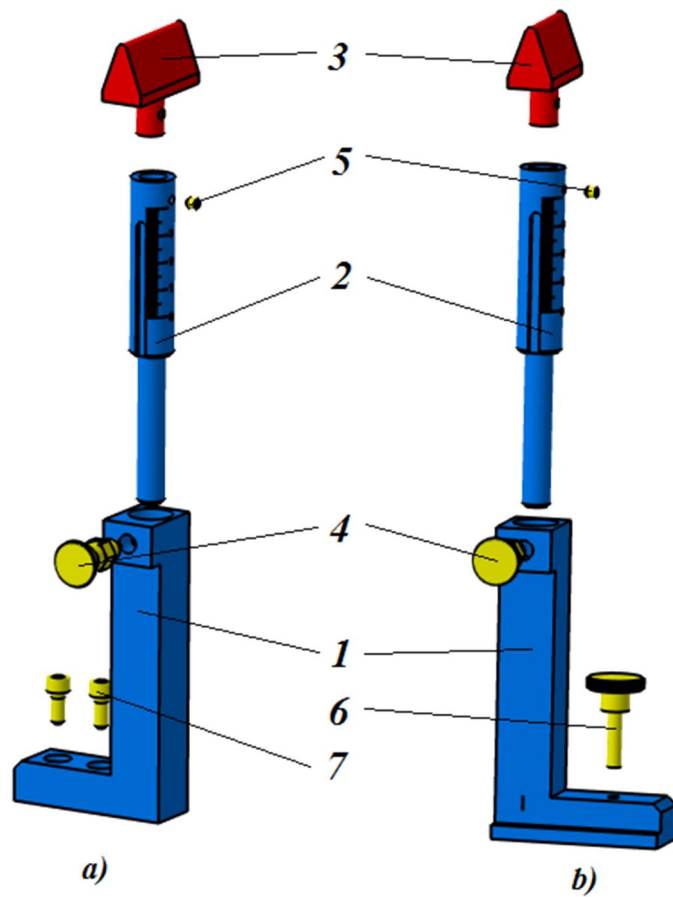
Aretační rameno slouží pro zajištění soustavy pohybového ramene při manipulaci s přípravkem a také při přípravě zkoušky. Soustava pohybového ramene se vsune do drážky aretačního ramene a zajistí čepem, jak je tomu na Obr. 46. Z pákového mechanismu se stane pevná soustava, která zajišťuje pohodlnou přípravu závaží a nastavení přípravku pro zkoušku. Aretační rameno se opět odstraní, jakmile je vše připraveno ke zkoušce.



Obr. 46. Model aretačního ramene

6.2.6 Nastavení podpěr

Pevná podpěra (Obr. 47a) je spojena s podstavou pomocí dvou šroubů M5x16. Posuvná podpěra (Obr. 47b) se může pohybovat podélným přímočarým pohybem, který zajišťuje vedení s vygravírovanou milimetrovou stupnicí pro ustavení pohyblivé podpěry v požadované vzdálenosti. Zabránění pohybu podpěry v požadované poloze zajišťuje přítlačná síla, kterou vyvolá šroub s rýhovanou hlavou pro ruční utahování. Výškové nastavení se provádí pomocí otočné části podpěry. Otočná část podpěry se výškově nastavuje pomocí závitu M10x1, tudíž nejmenší krok výškového nastavení je 1 mm. Poloha otočné části podpěry je zajištěna aretačním čepem, který je zobrazený na Obr. 48. Trny pro uložení zkušební vzorku jsou vyměnitelné a pro pevné ustavení v otočné části podpěry se používá stavěcí šroub M4x4.



Obr. 47. a) Model rozebrané pevné podpěry, b) Model rozebrané pohyblivé podpěry

(1-Spodní část podpěry, 2-Otočná část podpěry, 3-Trn pro uložení vzorku R2, 4-Aretační čep, 5-Stavěcí šroub M4x4, 6-Šroub s rýhovanou hlavou M5x20, 7-Šroub M5x16)

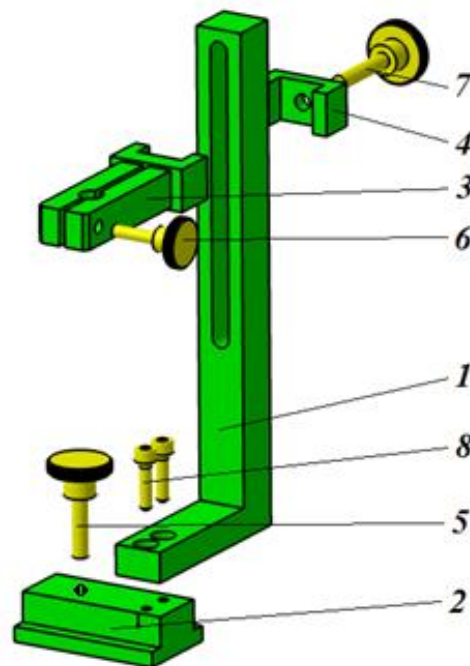


Obr. 48. Aretační čep[34]

6.2.7 Držák úchylkoměru

Úchylkoměr je potřeba nastavovat ve vertikálním směru a také podélně na střed zkušební vzorku. Držák úchylkoměru se skládá ze stojanu, vedení a vertikálně pohyblivé části (Obr. 49). Stojan je připevněný dvěma šrouby M4x16 k podélnému vedení, které se pohybuje ve stejném vedení jako pohyblivá podpěra. Aby byl držák úchylkoměru nastavený na střed zkušební tělesa, musí se na milimetrové stupnici, která je na vedení, nastavit na poloviční hodnotu pohyblivé podpěry. Ustavení v požadované poloze se zajišťuje podobně jako u pohyblivé podpěry šroubem s rýhovanou hlavou. Výškové nastavení úchylkoměru je na stejném principu jako u držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu A. Pohyblivá část držáku úchylkoměru zajišťuje výškové nastavení úchylkoměru, které je závislé na tloušťce zkušební vzorku. Zajištění v požadované poloze je dáno přitlačnou silou, kterou zabezpečuje šroub s rýhovanou hlavou pro ruční utahování.

Také u tohoto konstrukčního návrhu lze na ustavení úchylkoměru použít magnetický stojánek Mitutoyo, avšak za podmínky, že ustavování úchylkoměru bude náročnější.



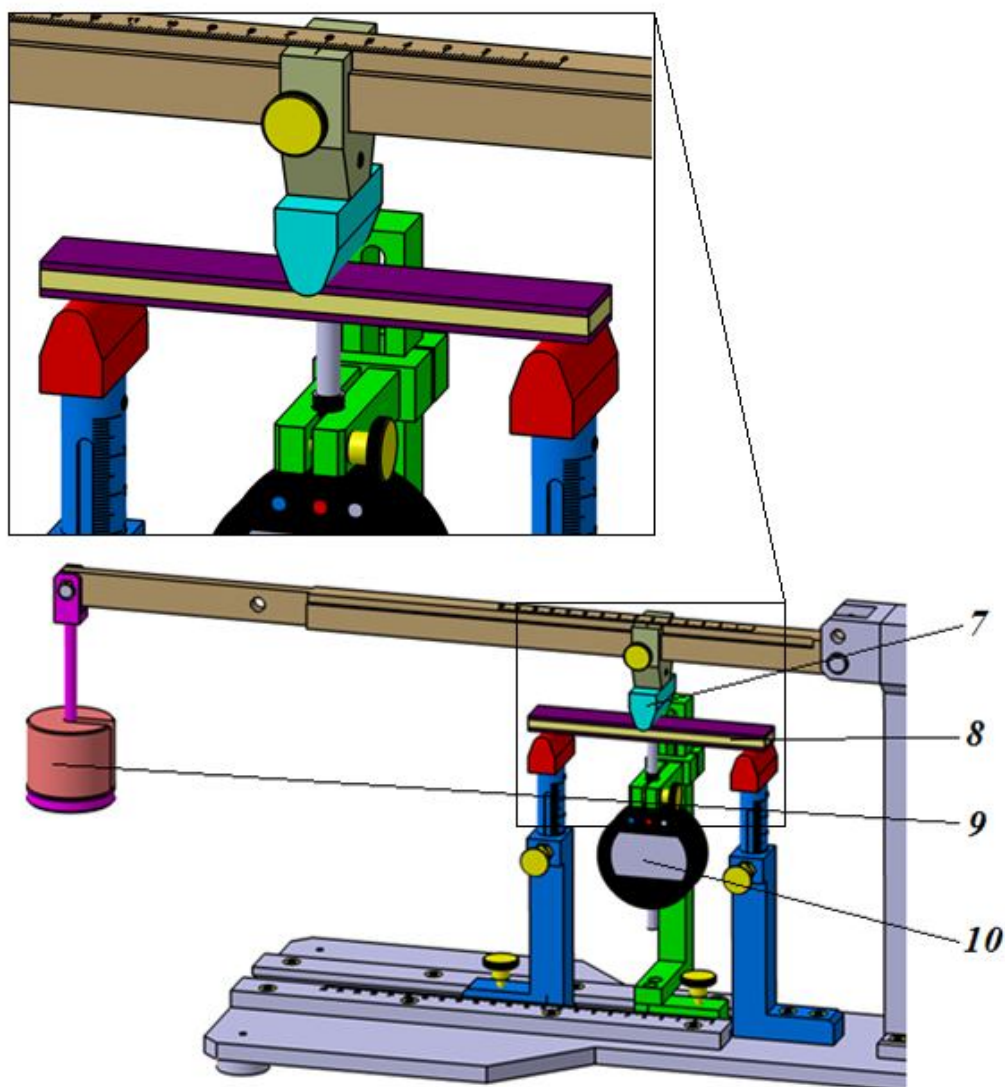
Obr. 49. Model rozebraného držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu B

(1-Stojan, 2-Vedení držáku, 3-Přední pohyblivá část, 4-Zadní pohyblivá část, 5-Šroub s rýhovanou hlavou M5x20, 6-Šroub s rýhovanou hlavou M4x16, 7-Šroub s rýhovanou hlavou M6x25)

6.2.8 Princip zkoušky

Tříbodová ohybová zkouška

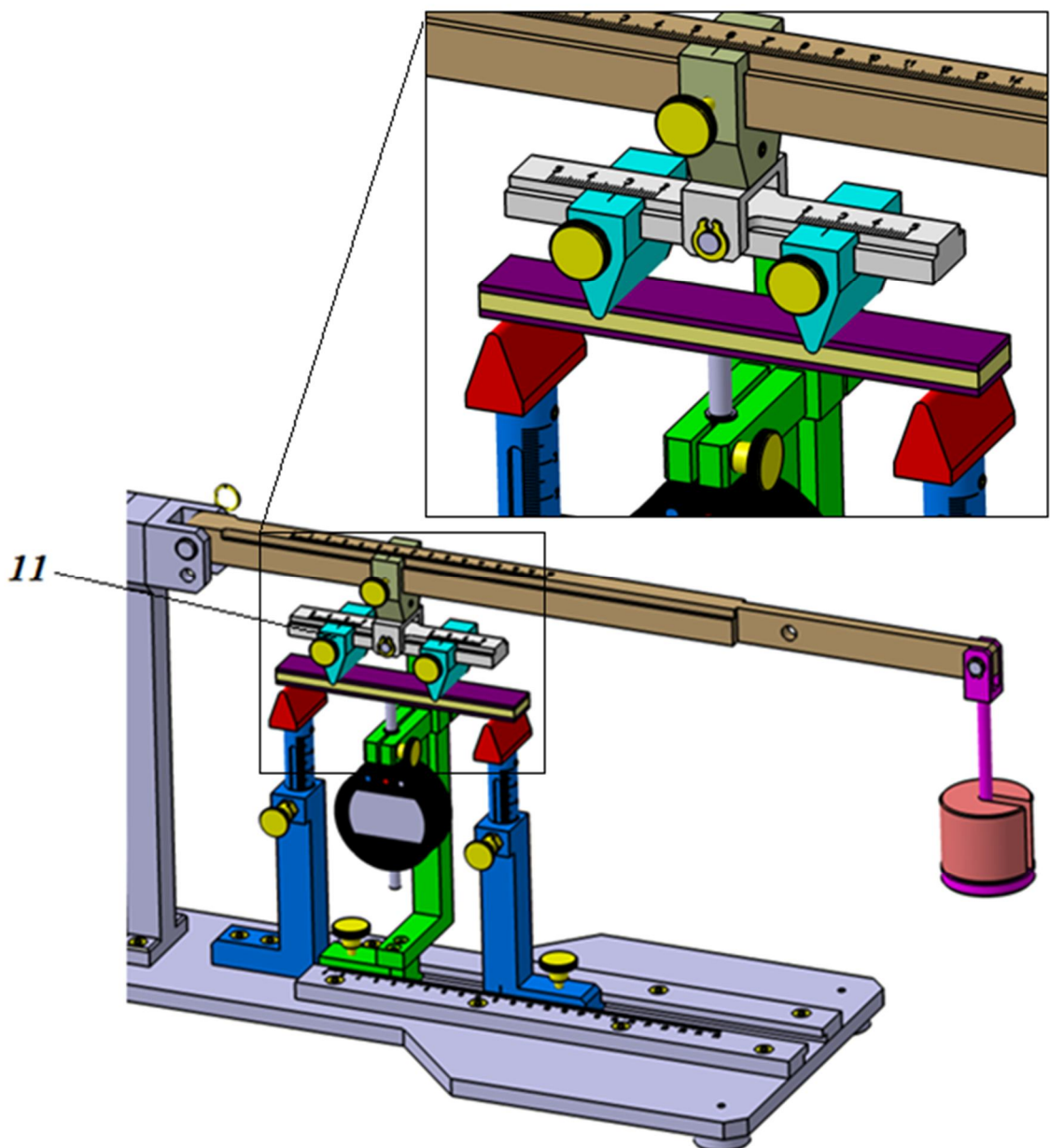
Při tříbodové ohybové zkoušce je soustava pohyblivého ramene upevněna ve spodní díře držáku soustavy pohyblivého ramene. Zkušební těleso je umístěno na předem nastavené podpěry. Na držák trnu je upevněn trn pro tříbodovou zkoušku, kterým je těleso namáháno uprostřed své délky. Při výpočtu zatěžující síly se musí počítat s hmotností samotné soustavy pohybového ramene a s hmotností trnu pro příslušnou ohybovou zkoušku. Hmotnost soustavy zatěžujícího ramene je 2889g a hmotnost trnu pro tříbodovou ohybovou zkoušku je 80g, pak zatěžující síla se vypočítá z rovnice 12.



Obr. 50. Model konstrukčního návrhu B při tříbodové ohybové zkoušce

Čtyřbodová ohybová zkouška

Při čtyřbodové ohybové zkoušce je soustava pohyblivého ramene upevněna ve vrchní díře držáku soustavy pohyblivého ramene. Na držák trnu je upevněn pomocí stavěcího šroubu trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku. Trn pro čtyřbodovou zkoušku má dvě libovolně nastavitelné zatěžující podpěry, které se pomocí milimetrové stupnice a šroubu s rýhovanou hlavou nastaví do požadované vzdálenosti od kraje zkušební vzorku.



Obr. 51. Model konstrukčního návrhu B při čtyřbodové ohybové zkoušce

7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ

7.1 Ekonomické zhodnocení návrhu A

Tab. 2. Cenové vyhodnocení nákladů na polotovary konstrukčního návrhu A

Název	Polotovar [mm]	Norma	Materiál	Počet kusů [ks]	Hmotnost [kg]	Cena [kč]
Vrchní deska	60x16x292	ČSN 42 5522	11 523	1	2,201	50,62
Boční deska	45x25x272	ČSN 42 5522	11 523	2	2,401	110,45
Spodní deska	45x16x272	ČSN 42 5522	11 523	1	1,536	35,33
Deska na podpěry	35x16x272	ČSN 42 5522	11 523	1	1,196	27,51
Deska na vedení	45x12x272	ČSN 42 5522	11 523	1	1,153	26,52
Patka	P3x200x85	ČSN 42 5310	11 523	2	0,400	18,40
Podpěra	50x20x52	ČSN 42 5522	11 523	4	0,408	37,54
Vedení pohyblivého členu	Ø52x104	ČSN 42 5510	11 523	1	1,736	39,93
Pohyblivý člen	Ø18x180	ČSN 42 5510	11 523	1	0,360	8,28
Plošina pro závaží	Ø50x8	ČSN 42 5510	11 523	1	0,123	2,83
Hrot pro tříbodový ohyb	35x20x52	ČSN 42 5522	11 523	2	0,286	13,17
Hrot pro čtyřbodový ohyb	50x20x52	ČSN 42 5522	11 523	4	0,408	37,54
Deska pro čtyřbodový ohyb	28x28x122	ČSN 42 5520	11 523	1	0,751	17,27
Čep na proti pootočení	Ø8x20	ČSN 42 5510	11 523	1	0,010	0,23
Stojan na mikrometr	50x20x182	ČSN 42 5522	11 523	1	1,428	32,84
Držák mikrometru větší	30x16x84	ČSN 42 5522	11 523	1	0,316	7,27
Držák mikrometru menší	30x16x14	ČSN 42 5522	11 523	1	0,052	1,20
Dotyk pod mikrometr	Ø6x82	ČSN 42 5510	11 523	1	0,018	0,41
Celková hmotnost polotovaru					14,783	
Celková cena bez DPH						467,50
Celková cena s DPH						565,50

(Polotovary jsou dostupné na: www.pronext.cz, cena 1kg = 23kč bez DPH)

Tab. 3. Cenové vyhodnocení normovaných dílů konstrukčního návrhu A

Název	Norma	Počet kusů[ks]	Cena[kč]
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M8x25	ČSN 02 1143	8	3,09
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M6x20	ČSN 02 1143	6	1,36
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x16	ČSN 02 1143	2	0,98
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x10	ČSN 02 1143	2	0,85
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M5x20	ČSN 02 1161	4	58,61
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M6x25	ČSN 02 1161	1	94,19
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M4x16	ČSN 02 1161	1	32,11
Šroub stavěcí s vnitřním šestihranem a hrotem M4x4	ČSN 02 1191	1	0,49
Celková cena bez DPH			398,00
Celková cena s DPH			481,50

(Ceny jsou dostupné na: www.akros.cz)

7.2 Ekonomické zhodnocení návrhu B

Tab. 4. Cenové vyhodnocení nákladů na polotovary konstrukčního návrhu B

Název	Polotovar [mm]	Norma	Materiál	Počet kusů[ks]	Hmotnost [kg]	Cena[kč]
Podstava	P10x780x200	ČSN 42 5310	11 523	1	12,246	281,61
Dosedka	Ø32x13	ČSN 42 5510	11 523	5	0,082	9,43
Vedení	30x12x292	ČSN 42 5522	11 523	4	0,826	76,00
Pevná stojka- spodní díl	P28x64x114	ČSN 42 5310	11 523	2	1,603	73,74
Pohyblivá stojka- spodní díl	P32x64x114	ČSN 42 5310	11 523	2	1,832	84,27
Stojka-vrchní díl	Ø19x123	ČSN 42 5510	11 523	4	0,274	25,21
Podpěra	40x20x42	ČSN 42 5522	11 523	10	0,263	60,49
Stojan	50x25x260	ČSN 42 5522	11 523	1	2,550	58,65
Držák ramene	40x40x37	ČSN 42 5520	11 523	2	0,464	21,34
Rameno	22x22x480	ČSN 42 5520	11 523	2	1,813	83,40
Držák zatěžující podpěry	40x20x32	ČSN 42 5522	11 523	2	0,200	9,20
Držák závaží 1	18x18x32	ČSN 42 5520	11 523	2	0,081	3,73
Držák závaží 2	Ø7x105	ČSN 42 5510	11 523	2	0,031	1,43
Držák závaží 3	Ø52x10	ČSN 42 5510	11 523	2	0,167	7,68
Čtyřbodový trn 1	35x20x32	ČSN 42 5522	11 523	2	0,176	8,10
Čtyřbodový trn 2	22x12x122	ČSN 42 5522	11 523	2	0,252	11,59
Podpěry pro čtyřbodový ohyb	35x20x42	ČSN 42 5522	11 523	8	0,231	42,50
Aretační rameno	P32x58x261	ČSN 42 5310	11 523	2	3,802	174,89
Držák úchylkoměru 1	35x16x52	ČSN 42 5522	11 523	2	0,228	10,41
Držák úchylkoměru 2	70x20x182	ČSN 42 5522	11 523	2	2,000	92,00
Držák úchylkoměru 3	30x16x67	ČSN 42 5522	11 523	2	0,252	11,59
Držák úchylkoměru 4	30x16x14	ČSN 42 5522	11 523	2	0,052	2,39
Čep na pohyblivé rameno	Ø14x50	ČSN 42 5510	11 523	2	0,061	2,81
Čep na aretační rameno	Ø14x34	ČSN 42 5510	11 523	2	0,041	1,89
Čep na držák závaží	Ø10x22	ČSN 42 5510	11 523	2	0,135	6,21
Čep pro čtyřbodový trn	Ø8x35	ČSN 42 5510	11 523	2	0,138	6,35

Celková hmotnost polotovaru	29,800	
Celková cena bez DPH		1167,00
Celková cena s DPH		1412,00

(Polotovary jsou dostupné na: www.pronext.cz, cena 1kg = 23kč bez DPH)

Tab. 5. Cenové vyhodnocení normovaných dílů konstrukčního návrhu B

Název	Norma	Počet kusů[ks]	Cena[kč]
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x12	ČSN 02 1143	24	0,71
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x30	ČSN 02 1143	1	1,61
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M4x20	ČSN 02 1143	2	0,93
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M4x16	ČSN 02 1143	4	0,88
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x16	ČSN 02 1143	4	0,98
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M5x20	ČSN 02 1161	6	58,67
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M4x12	ČSN 02 1161	2	29,21
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M6x25	ČSN 02 1161	2	94,19
Šroub s rýhovanou hlavou (Vysoký) M4x16	ČSN 02 1161	6	32,11
Šroub stavěcí s vnitřním šestihranem a hrotem M4x4	ČSN 02 1191	6	0,49
Pojistný kroužek Ø8x0,8	ČSN 02 2930	4	1,24
Pojistný kroužek Ø6x0,7	ČSN 02 2930	2	1,59
Závlačka	DIN 8273	4	14,09
Aretační čep		4	154,23
Celková cena bez DPH			1504,00
Celková cena s DPH			1819,50

(Ceny jsou dostupné na: www.akros.cz)

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh konstrukce přípravku pro měření creepového chování sendvičových struktur jak při tříbodovém zatížení v ohybu tak při čtyřbodovém zatížení v ohybu.

Teoretická část bakalářské práce je rozdělena na tři samostatné kapitoly. První kapitola se zabývá stavbou sendvičových konstrukcí. Popisuje složení sendvičové konstrukce, nejpoužívanější materiály na výrobu jádra a vnějších krycích vrstev a jednotlivé způsoby výroby sendvičových konstrukcí. Druhá kapitola se věnuje vlastnostem sendvičových konstrukcí a zkouškám, kterými jsou tyto vlastnosti zjišťovány. Poslední kapitola se zabývá creepovým chováním a zejména creepovým chováním sendvičových konstrukcí v ohybu, z důvodu konstrukce přípravku pro měření tohoto dlouhodobého chování sendvičových konstrukcí v praktické části této práce.

Praktická část bakalářské práce se zabývala návrhem konstrukce přípravku pro měření creepového chování sendvičových struktur v ohybu. Byly vytvořeny celkem dva konstrukční návrhy přípravku. První kapitola praktické části bakalářské práce se zabývá popisem jednotlivých návrhů a v práci je uveden popis částí včetně jejich funkce. Konkrétně jsou popsány jednotlivé konstrukční prvky a sestavy obou návrhů, dále jsou vyobrazeny ukázky modelů jednotlivých prvků i jejich důležité detaily. Veškeré modely byly vytvořeny v programu Catia V5R19. Příslušná kapitola v práci obsahuje také podrobný popis zkoušky v ohybu prováděné na obou návrzích jak při tříbodovém zatížení, tak při čtyřbodovém zatížení. V závěrečné kapitole praktické bakalářské práce je uvedeno materiálově-ekonomické zhodnocení pro oba návrhy. Ekonomické zhodnocení je rozdělené na dvě části a to na cenovou kalkulaci polotovarů na výrobu jednotlivých dílů a na kalkulaci normovaných částí.

V rámci práce byla také vytvořena potřebná výkresová dokumentace, včetně 2D a 3D sestavy. Veškerá potřebná dokumentace je součástí příloh.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PETRAS, Achilles. *Design of Sandwich Structures*. Cambridge, 1998. Dizertační práce. Cambridge University.
- [2] Sendvičové konstrukce. In: *MM spektrum* [online]. 2001 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce.htm>
- [3] [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf
- [4] Araldite 8545-1 Panel Lamination Bonding. *Krayden* [online]. 2014 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://krayden.com/araldite-8545-1-panel-lamination-bonding/>
- [5] DAVIES, J. M. *Lightweight sandwich construction*. Manchester: CIB, 2001.
- [6] ZENKERT, Nordic Industrial Fund. Ed.: D. *The handbook of sandwich construction*. Cradley Heath, West Midlands, 1997. ISBN 09-478-1796-4.
- [7] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [8] HASALA, Lukáš. *Návrh a testování sendvičových kompozitních materiálů pro dopravní aplikace*. Zlín, 2012. Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- [9] Laminát s vláknovou výztuží. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lamin%C3%A1t_s_vl%C3%A1knovou_v%C3%BDztu%C5%BE%C3%AD
- [10] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Faserverbund-Kunststoffe: Werkstoffe, Verarbeitung, Eigenschaften*. 2. völlig überarb. Aufl. München [u.a.]: Hanser, 2006. ISBN 34-462-2716-4.
- [11] Okoume Plywood. *Winwood* [online]. 1999 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.winwood-products.com/eng/timber-products/plywood/okoume-plywood.htm>
- [12] Balsa. *Práce se dřevem* [online]. 2008 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://prace-se-drevem.spibi.cz/Drevo-Druhy-Balsa.html>

- [13] Korek. In: *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Korek>
- [14] Hexel. *Honeycomb Attributes and Properties* [online]. 2013 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Honeycomb_Attributes_and_Properties.pdf Posterus. *Výroba buňkových těles* [online]. 2010 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=7871>
- [15] Výroba buňkových těles. *Posterus* [online]. 2010 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=7871>
- [16] Pěnové materiály. *Posterus* [online]. 2010 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=7861>
- [17] Vlastnosti pěnových materiálů. *Posterus* [online]. 2010 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=8404>
- [18] [online]. 2007 [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/RT/2006/RX/RX11C-hurwitz1.html>
- [19] PVC Foam. *Netcomposites* [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.netcomposites.com/guide/pvc-foam/91>
- [20] PET Foams. *Armacell* [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.armacell-core-foams.com/www/armacell/INETArmacell.nsf/standard/DC2C5D13EA92BD46802576E200526C26>
- [21] KNOT, Tomáš. *CNC obrábění a technologie přípravy tvarově složitých sendvičových jader*. Zlín, 2011. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně.
- [22] PS Foam. *WisegEEK* [online]. 2013 [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.wisegEEK.com/what-is-a-polystyrene-foam.htm>
- [23] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [24] Technologie výroby kompozitů. *Havel-composites* [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

- [25] [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf
- [26] [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ZPKM/Multimedia/kap3_2/animace/zkouška%20pevnosti%20v%20ohybu.swf
- [27] [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.lindab.com/cz/Documents/Stresni%20systemy/Sendvicove_panely/Sendvicove_panely_Lindab.pdf
- [28] [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.reliability.estranky.cz/clanky/nektere-druhy-poruch/nektere-druhy-poruch---nadmerna-deformace-zpusobena-creepem.html>
- [29] SCHÄTZ, M.; VONDRÁČEK, P. Zkoušení polymerů, 2 vyd.; VSCHT: Praha, 1988. 264 s. ISBN není
- [30] *Křipové chování plastů* [online]. [cit. 2014-01-23]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/projekty/frvs2660/poster2.pdf>
- [31] C480/C480M-08. *Standart Test Method for Flexure Creep of Sandwich Construction*. West Conshohocken: ASTM International, 2008.
- [32] ČSN EN ISO 14125. Vlákny vyztužené plastové kompozity-Stanovení ohybových vlastností. Český normalizační institut, 1999.
- [33] [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://shop.heni.cz/index.php/cs/30801-magneticky-stojanek-pro-uchylkomer>
- [34] [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.kipp.cz/App/WebObjects/XSeMIPSKIPP.woa/cms/page/locale.csCZ/pid.1097.1105.1226/agid.13221.1334.1336/ecm.ag/Areta%C4%8Dn%C3%AD-%C4%8Depy-kr%C3%A1tk%C3%A9-proveden%C3%AD-tvar-C.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

σ_y	Napětí v ohybu [Mpa]
M	Ohybový moment [N.mm]
W	Modul průřezu [mm ³]
F	Zatěžující síla [N]
l	Rozpětí podpěr [mm]
b	Šířka vzorku [mm]
h	Tloušťka vzorku [mm]
y	Průhyb [mm]
E_y	Modul pružnosti [Mpa]
m	Vzdálenost zatěžující síly od podpěry [mm]
n	Vzdálenost zatěžujících trnů [mm]
ε	Creepová deformace [-]
m, b	Exponenty závislé na creepovém mechanismu [-]
Q	Aktivační energie creepového mechanismu [J.mol ⁻¹]
σ	Napětí v materiálu [Mpa]
d	Velikost zrna materiálu [mm]
k	Boltzmanova konstanta [J.K ⁻¹]
T	Absolutní teplota [°C]
C	Konstanta závislá na materiálu [-]
W	Tíhová síla závaží [N]
P	Síla, která působí na vzorek [N]
p	Tíhová síla základní desky a tyče [N]
w	Tíhová síla soustavy pohyblivého ramene [N]
A	Vzdálenost od uložení pákového mechanismu po zatěžující sílu [mm]

- B Vzdálenost od uložení pákového mechanismu po těžiště pohyblivého ramene [mm]
- M Vzdálenost od uložení pákového mechanismu po závaží [mm]
- m Hmotnost [Kg]
- g Gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Ukázka sendvičové struktury [4].....	11
Obr. 2. Laminátová deska s uhlíkovými vlákny [9].....	14
Obr. 3. Ukázka prepregu [10]	14
Obr. 4. Dřevěná překližka [11]	15
Obr. 5. Balsa [12].....	16
Obr. 6. Korek [13].....	17
Obr. 7. Vybrané tvary buněk voštinových materiálů	18
Obr. 8. Výroba voštin formováním [15].....	19
Obr. 9. Výroba voštin metodou HOBE [15].....	19
Obr. 10. Výroba voštin skládáním pásů [15].....	20
Obr. 11. Výroba voštin stříháním a ohýbáním [15]	20
Obr. 12. Mechanické vlastnosti pěnových materiálů [17].....	21
Obr. 13. Sendvičová konstrukce s pěnovým jádrem [18]	22
Obr. 14. a) Ruční kladení, b) Stříkání laminátů [24].....	25
Obr. 15. Vysokotlaké vstřikování [24].....	25
Obr. 16. Výroba sendvičových konstrukcí lisováním ve vyhřívaném lisu [3]	26
Obr. 17. Výroba sendvičových konstrukcí vytvrzováním v uzavřené formě [3].....	27
Obr. 18. Výroba sendvičových konstrukcí vytvrzováním ve vakuové peci [3]	27
Obr. 19. Tříbodová zkouška ohybem [25].....	31
Obr. 20. Čtyřbodová zkouška ohybem [25].....	32
Obr. 21. Příklady dalších mechanických testů sendvičových konstrukcí	33
Obr. 22. Stádia creepu [28].....	36
Obr. 23. Princip creepové deformační zkoušky v ohybu [30].....	38
Obr. 24. Přípravek pro creepovou deformační zkoušky v ohybu [31].....	38
Obr. 25. Uspořádání podpěr a zatěžujícího trnu při tříbodovém zatěžování [32].....	41
Obr. 26. Uspořádání podpěr a zatěžujících trnů při čtyřbodovém zatěžování [32] ...	41
Obr. 27. Model konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur.....	43
Obr. 28. Model rozebraného rámu konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur	44
Obr. 29. Model rozebraného pohybového členu konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur.....	45

Obr. 30. Zatěžující trn pro třibodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu A	46
Obr. 31. Zatěžující trn pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu A.....	46
Obr. 32. Aretace pohybového členu.....	47
Obr. 33. Model rozebraného uložení podpěr konstrukčního návrhu A.....	48
Obr. 34. a) Nastavení vzdálenosti podpěr konstrukčního návrhu A, b) Zamezení pohybu podpěr pomocí šroubu s rýhovanou hlavou	48
Obr. 35. Model rozebraného držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu A pro měření creepového chování sendvičových struktur.....	49
Obr. 36. Model držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu A.....	50
Obr. 37. Magnetický stojan úchylkoměru[33].....	50
Obr. 38. Model konstrukčního návrhu A při třibodové ohybové zkoušce	52
Obr. 39. Model konstrukčního návrhu A při čtyřbodové ohybové zkoušce.....	53
Obr. 40. Model konstrukčního návrhu B přípravku pro měření creepového chování sendvičových struktur.....	55
Obr. 41. Model rozebraného rámu konstrukčního návrhu B pro měření creepového chování sendvičových struktur	56
Obr. 42. Model rozebrané sestavy pohybového ramene konstrukčního návrhu B pro měření creepového chování sendvičových struktur	57
Obr. 43. Nastavení vzdálenosti držáku trnu.....	58
Obr. 44. Model zatěžujícího trnu pro třibodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu B	58
Obr. 45. Model zatěžujícího trnu pro čtyřbodovou ohybovou zkoušku konstrukčního návrhu B	59
Obr. 46. Model aretačního ramene.....	60
Obr. 47. a) Model rozebrané pevné podpěry, b) Model rozebrané pohyblivé podpěry	61
Obr. 48. Aretační čep[34]	61
Obr. 49. Model rozebraného držáku úchylkoměru konstrukčního návrhu B	62
Obr. 50. Model konstrukčního návrhu B při třibodové ohybové zkoušce	63
Obr. 51. Model konstrukčního návrhu B při čtyřbodové ohybové zkoušce.....	64

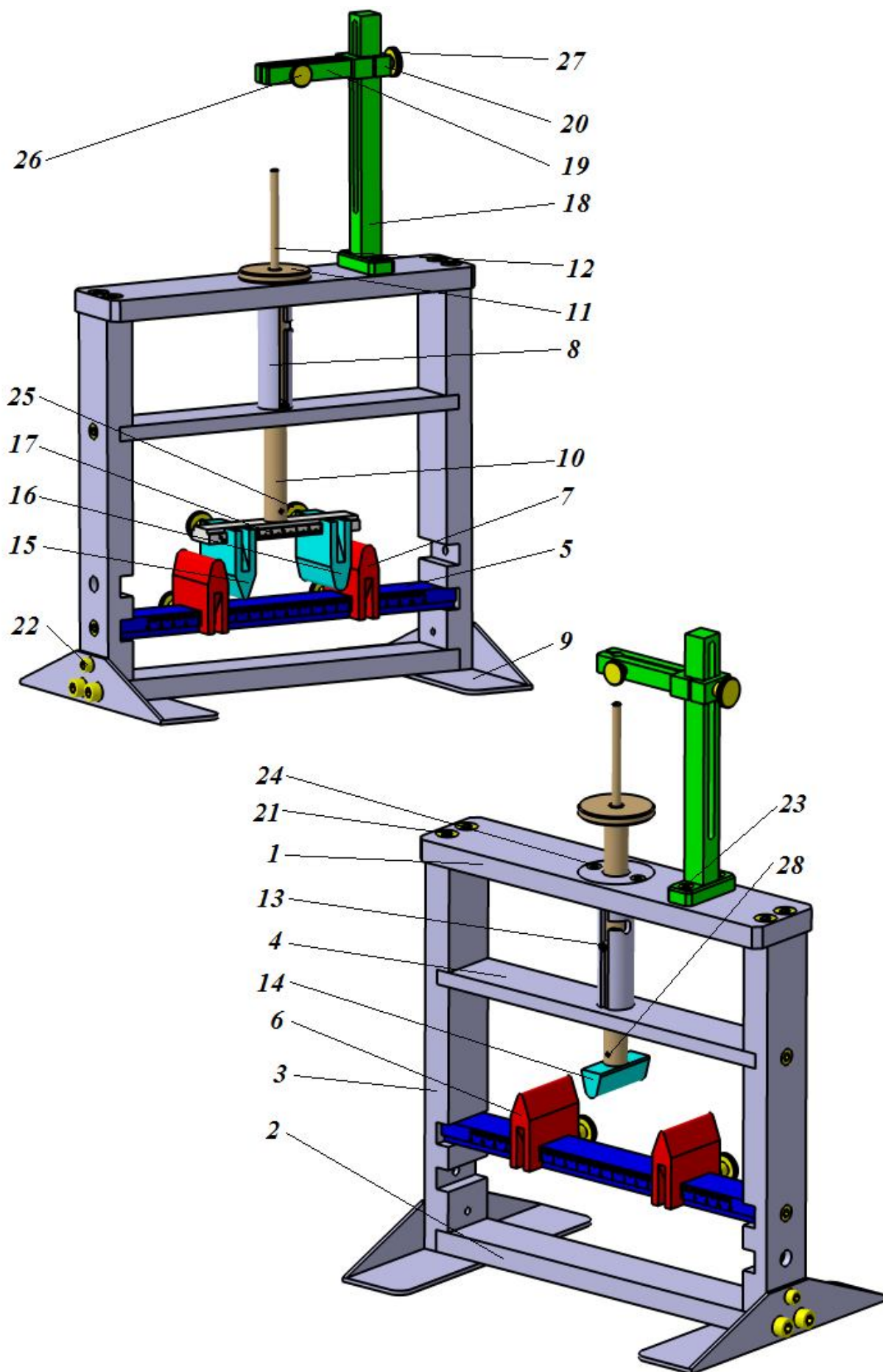
SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Rozměry zatěžovacích trnů a podpěr.....	41
Tab. 2. Cenové vyhodnocení nákladů na polotovary konstrukčního návrhu A.....	65
Tab. 3. Cenové vyhodnocení normovaných dílů konstrukčního návrhu A.....	66
Tab. 4. Cenové vyhodnocení nákladů na polotovary konstrukčního návrhu B.....	67
Tab. 5. Cenové vyhodnocení normovaných dílů konstrukčního návrhu B.....	68

SEZNAM PŘÍLOH

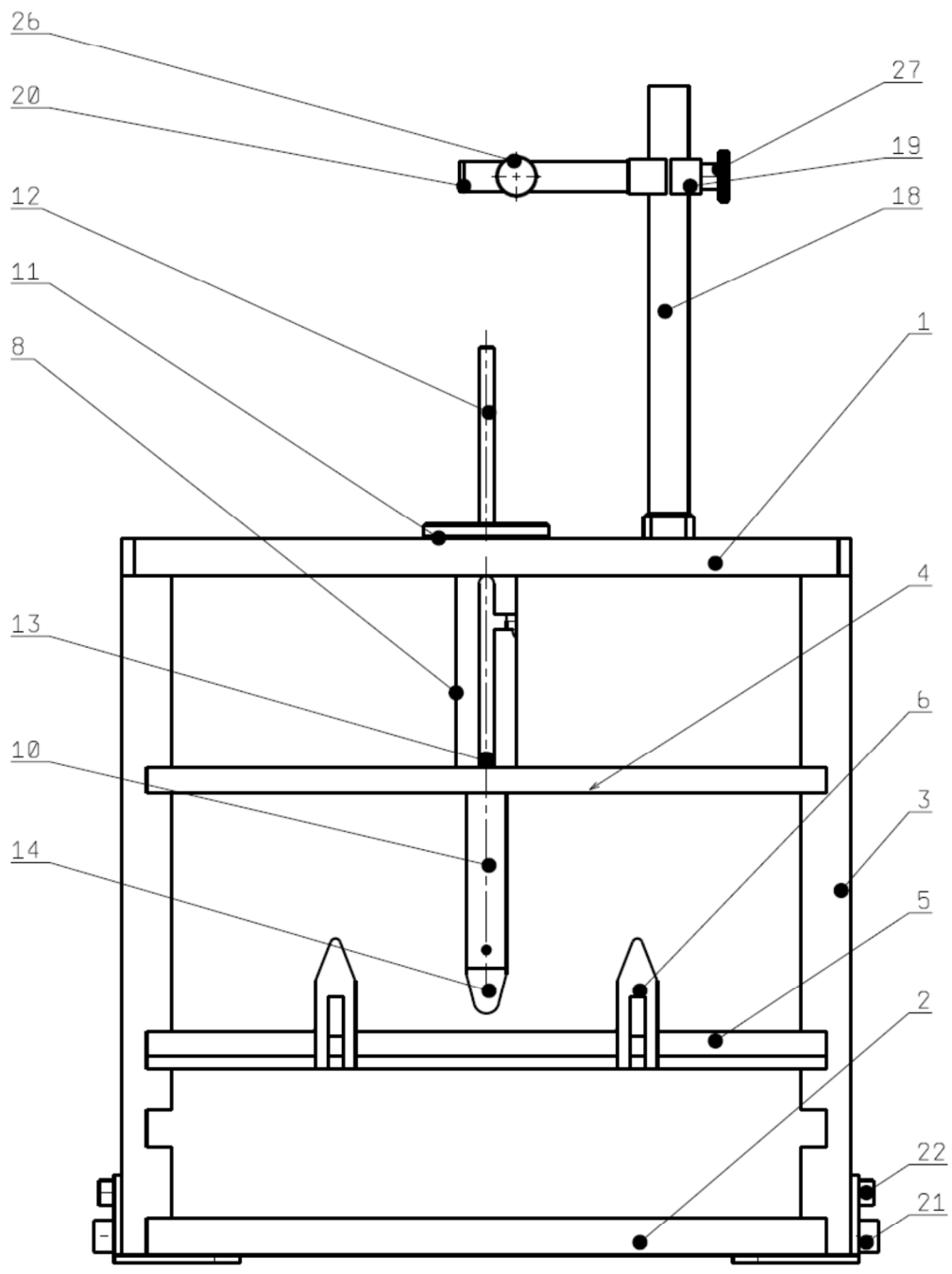
- P I 3D sestava konstrukčního návrhu A
- P II 2D sestava konstrukčního návrhu A – list (4/1, 4/2, 4/3, 4/4)
- P IIIA Kusovník – Konstrukční návrh A – ČÁST A
- P IIIB Kusovník – Konstrukční návrh A – ČÁST B
- P IV 3D sestava konstrukčního návrhu B
- P V 2D sestava konstrukčního návrhu B – list (4/1, 4/2, 4/3, 4/4)
- P VIA Kusovník – Konstrukční návrh B – ČÁST A
- P VIB Kusovník – Konstrukční návrh B – ČÁST B
- P VII CD disk s bakalářskou prací ve formátu .pdf a .doc, dále obsahuje
3D modely všech částí přípravku z programu CATIA V5 + výkresy ve formátu
.CATDrawing a .pdf
- PVIII Kompletní výkresová dokumentace přiložená k práci

PŘÍLOHA P I: 3D SESTAVA KOSTRUKČNÍHO NÁVRHU A

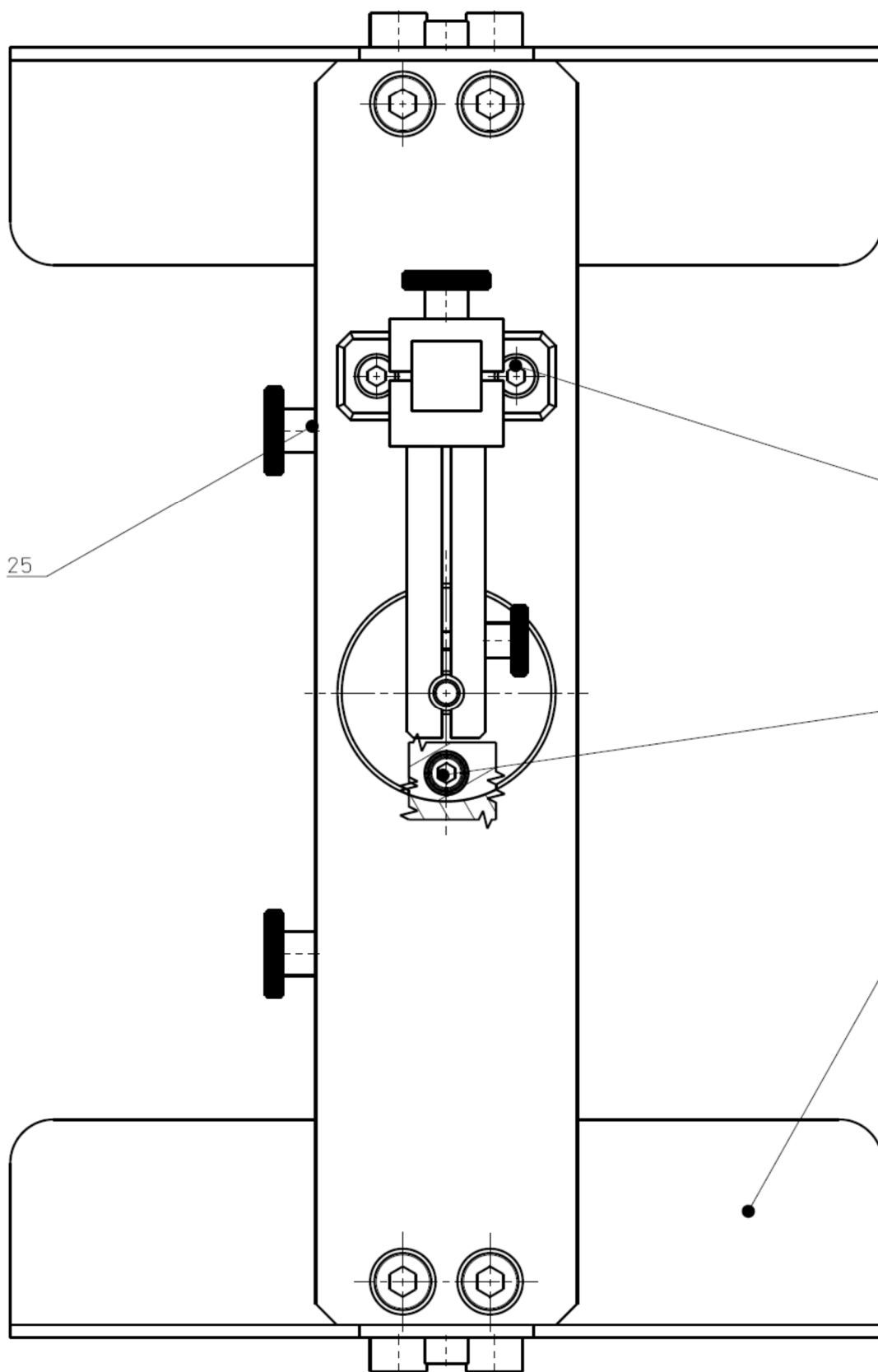


PŘÍLOHA P II: 2D SESTAVA KOSTRUKČNÍHO NÁVRHU A

Viz. Výkresová dokumentace: list 1/4, 2/4, 3/4, 4/4



DESIGNED BY: Chovancik Vit			I	-	
DATE: 13.5.2014			H	-	
CHECKED BY:			G	-	
DATE:			F	-	
SIZE: A3		KOSTRUKČNÍ NÁVRH A		E	-
SCALE: 1:2	WEIGHT (kg):	DRAWING NUMBER: 01-A3-000	SHEET: 1/5	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-



DESIGNED BY: Chovancik Vit				I	-
DATE: 13. 5. 2014				H	-
DRAWN BY:				G	-
DATE:				F	-
SIZE: A3				E	-
SCALE: 1 : 2		KONSTRUKČNÍ NÁVRH A		D	-
WEIGHT (kg):		DRAWING NUMBER: 01-A3-000		C	-
		SHEET: 2/5		B	-
				A	-

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

D

C

B

A

8

8

7

7

6

6

5

5

4

4

3

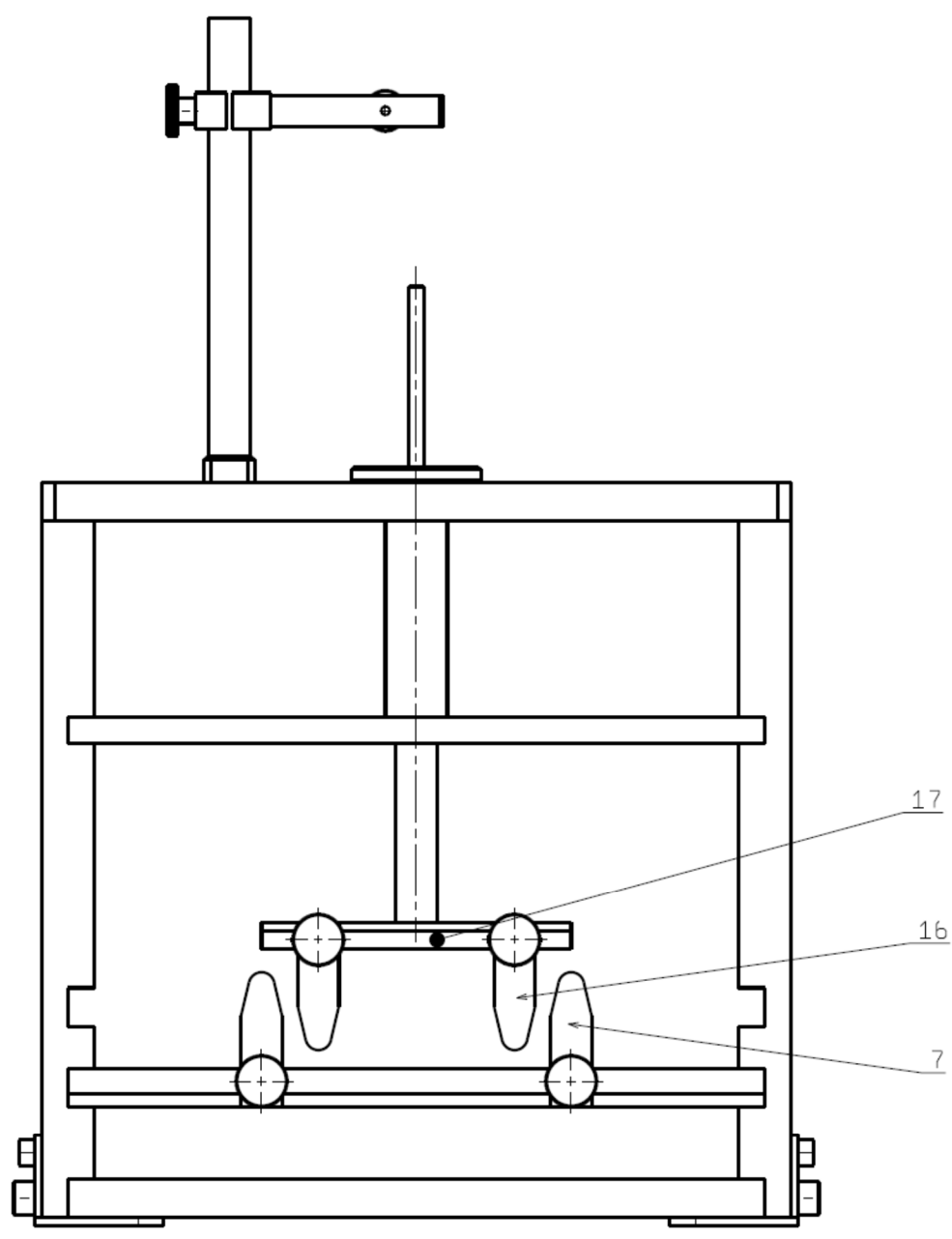
3

2

2

1

1



DESIGNED BY: Chovancik Vit		I - H - G - F - E - D - C - B - A -
DATE: 17.5.2014		
CHECKED BY:		
DATE:		
SIZE: A3		KONSTRUKČNÍ NÁVRH A
SCALE: 1:1	WEIGHT (kg): 1,40	DRAWING NUMBER: 01-A3-000
		SHEET: 3/5
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		

D

A

D

C

B

A

8

8

7

7

6

6

5

5

4

4

3

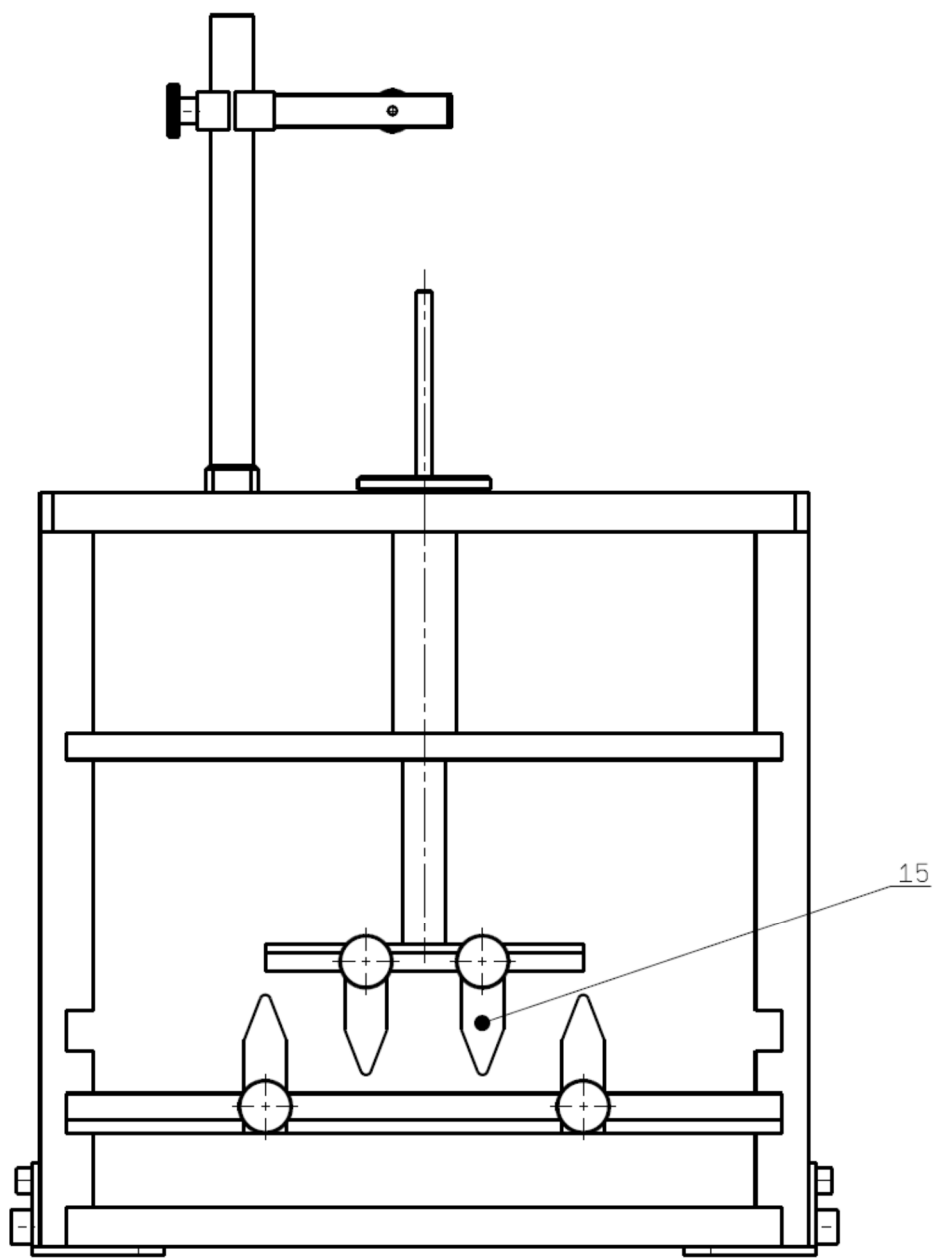
3

2

2

1

1



DESIGNED BY: Chovancik Vit				I	-
DATE: 17. 5. 2014				H	-
CHECKED BY:				G	-
DATE:				F	-
SIZE: A3		KONSTRUKČNÍ NÁVRH A		E	-
SCALE: 1: 2		DRAWING NUMBER: 01-A3-000		D	-
WEIGHT (kg):		SHEET: 4/5		C	-
				B	-
				A	-

D

A

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

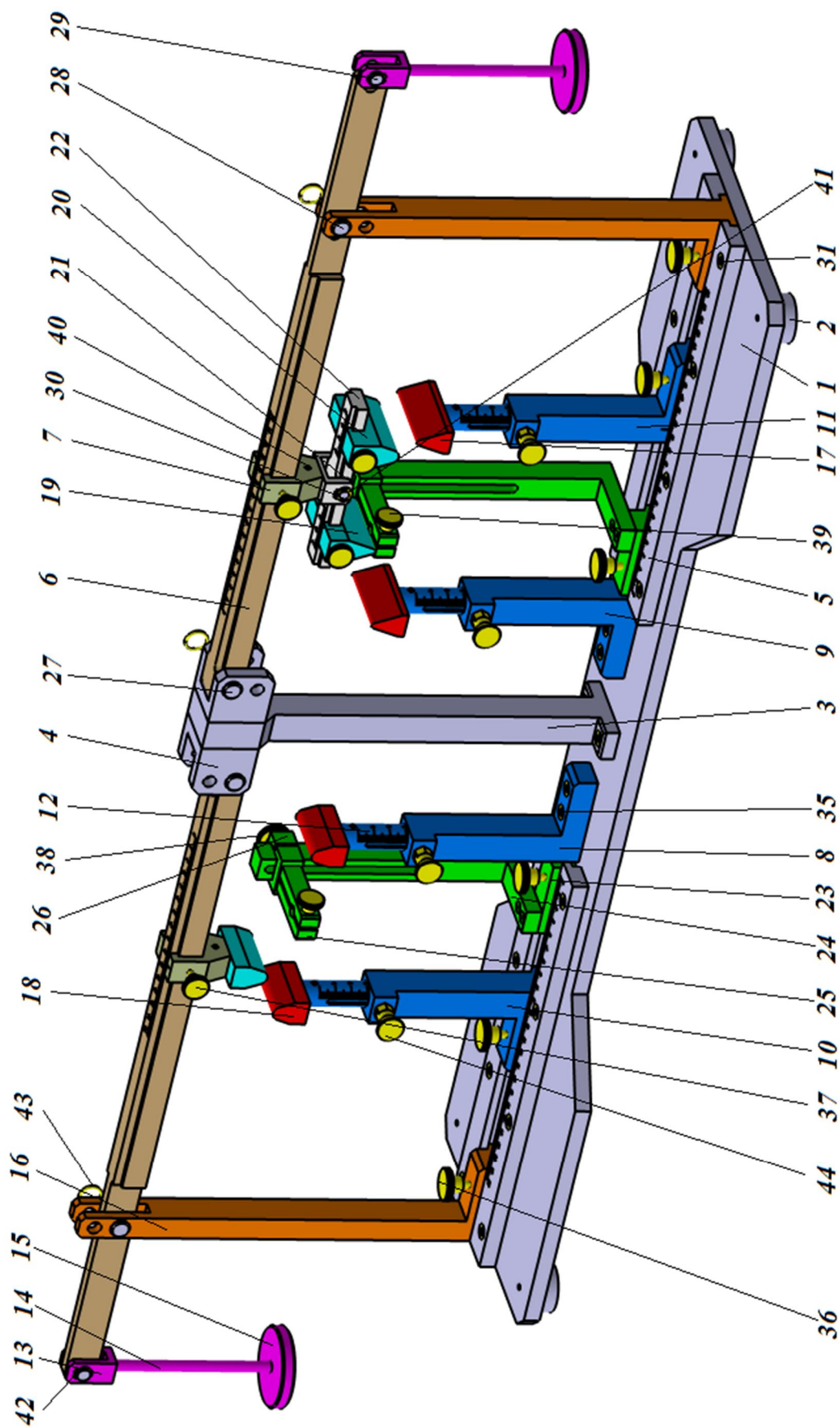
PŘÍLOHA P IIIA: KUSOVNÍK - KOSTRUKČNÍ NÁVRH A – ČÁST A

Pozice	Název	Číslo výkresu	Materiál	Množství
1.	Vrchní deska	01-A4-001	11 523	1
2.	Spodní deska	01-A4-002	11 523	1
3.	Boční deska	01-A4-003	11 523	2
4.	Deska pro vedení	01-A4-004	11 523	1
5.	Deska pro vedení podpěr	01-A4-005	11 523	1
6.	Podpěra R2	01-A4-006	11 523	2
7.	Podpěra R5	01-A4-007	11 523	2
8.	Vedení pohybového členu	01-A4-008	11 523	1
9.	Patka	01-A4-009	11 523	2
10.	Pohybový člen 1	01-A4-010	11 523	1
11.	Pohybový člen 2	01-A4-011	11 523	1
12.	Pohybový člen 3	01-A4-012	11 523	1
13.	Pohybový člen 4	01-A4-013	11 523	1
14.	Tříbodový trn R5	01-A4-014	11 523	1
15.	Čtyřbodový trn R2	01-A4-015	11 523	2
16.	Čtyřbodový trn R5	01-A4-016	11 523	2
17.	Deska pro čtyřbodový trn	01-A4-017	11 523	1
18.	Držák úchylkoměru 1	01-A4-018	11 523	1
19.	Držák úchylkoměru 2	01-A4-019	11 523	1
20.	Držák úchylkoměru 3	01-A4-020	11 523	1
21.	Šroub M8x25	ČSN 02 1143		8
22.	Šroub M6x20	ČSN 02 1143		6

PŘÍLOHA P IIIB: KUSOVNÍK - KOSTRUKČNÍ NÁVRH A – ČÁST B

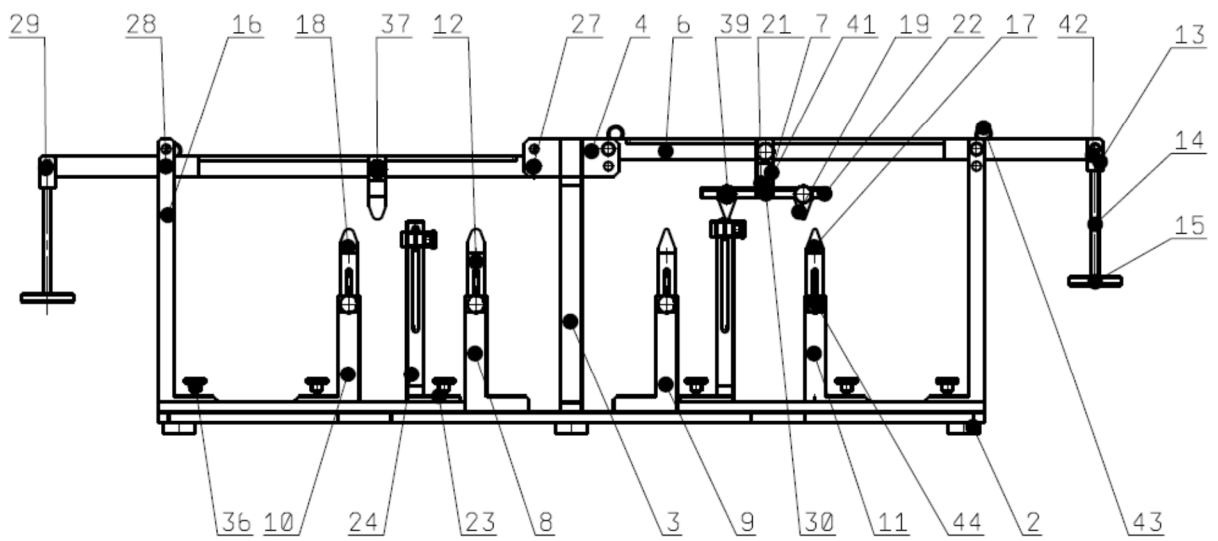
23.	Šroub M5x16	ČSN 02 1143		2
24.	Šroub M5x10	ČSN 02 1143		2
25.	Šroub s rýhovanou hlavou M5x20	ČSN 02 1161		4
26.	Šroub s rýhovanou hlavou M4x16	ČSN 02 1161		1
27.	Šroub s rýhovanou hlavou M6x25	ČSN 02 1161		1
28.	Stavěcí šroub M4x4	ČSN 02 1191		1
01-A3-000		13.5.2014	CHOVANČÍK Vít	

PŘÍLOHA P IV: 3D SESTAVA KOSTRUKČNÍHO NÁVRHU B



PŘÍLOHA P V: 2D SESTAVA KOSTRUKČNÍHO NÁVRHU B

Viz. Výkresová dokumentace: list 1/4, 2/4, 3/4, 4/4



DESIGNED BY: Chovancik Vit				I	-
DATE: 13.5.2014				H	-
CHECKED BY:				G	-
DATE:				F	-
SIZE: A3		KONSTRUKČNÍ NÁVRH B		E	-
SCALE: 1:5	WEIGHT (kg):	DRAWING NUMBER: 02-A3-000	SHEET: 1/5	D	-
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

D

C

B

A

8

8

7

7

6

6

5

5

4

4

3

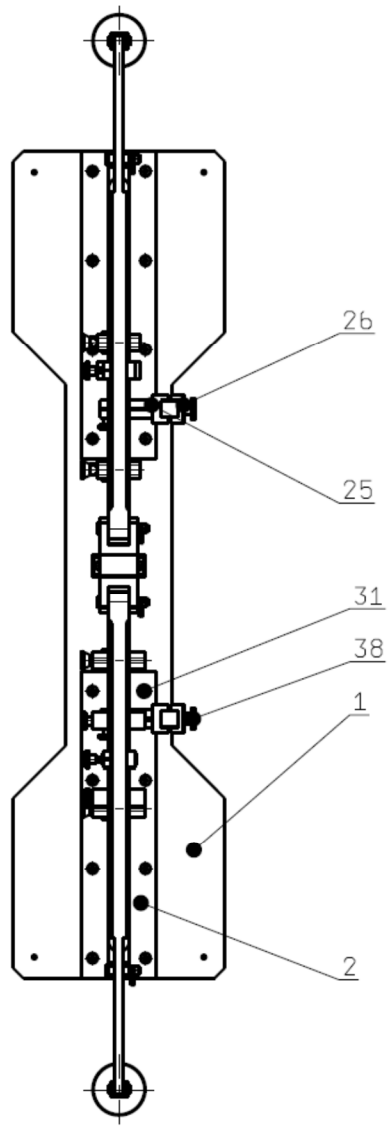
3

2

2

1

1



DESIGNED BY: Chovancik Vit				I	-
DATE: 13. 5. 2014				H	-
DRAWN BY: XXX				G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE: A3				E	-
		KONSTRUKČNÍ NÁVRH B		D	-
SCALE: 1 : 5	WEIGHT (kg):	DRAWING NUMBER: 02-A3-000	SHEET: 2/5	C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				B	-
				A	-

D

A

D

C

B

A

8

8

7

7

6

6

5

5

4

4

3

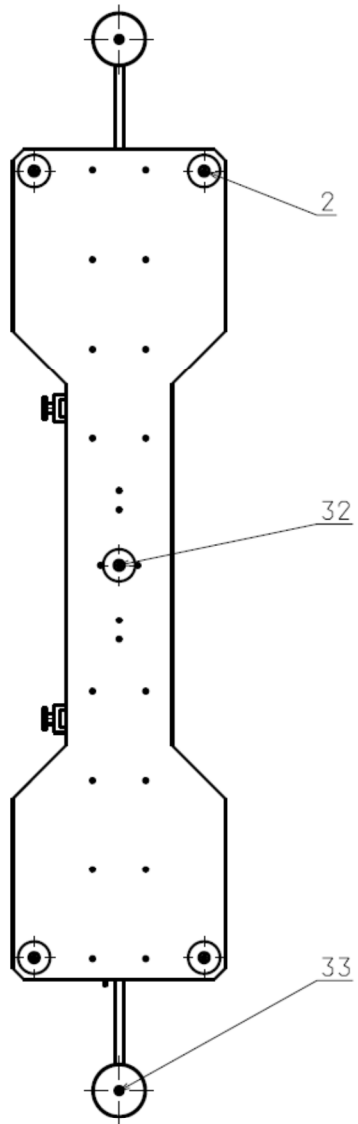
3

2

2

1

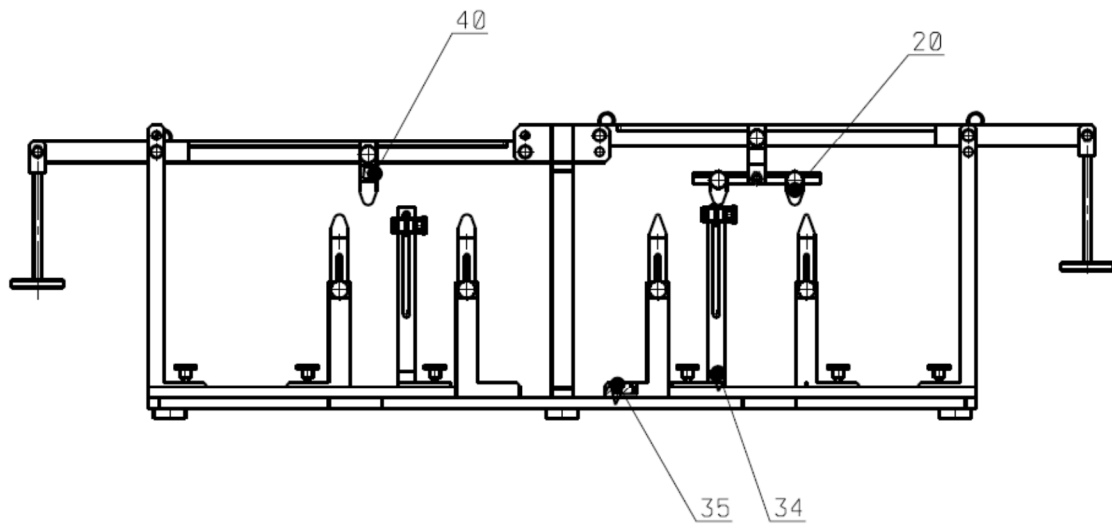
1



DESIGNED BY: Chovancik Vit		I - H - G - F - E - D - C - B - A -
DATE: 13. 5. 2014		
CHECKED BY:		
DATE:		
SIZE: A3		KONSTRUKČNÍ NÁVRH B
SCALE: 1:5	WEIGHT (kg):	DRAWING NUMBER: 02-A3-000
		SHEET: 3/5
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		

D

A



DESIGNED BY: Chovancik Vit		I	—
DATE: 13. 5. 2014			H
CHECKED BY:		G	—
DATE:		F	—
SIZE: A3		E	—
KONSTRUKČNÍ NÁVRH B		D	—
SCALE: 1 : 5	WEIGHT (kg):	C	—
DRAWING NUMBER: 02-A3-000		B	—
SHEET: 4/5		A	—

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

PŘÍLOHA P VIA: KUSOVNÍK - KOSTRUKČNÍ NÁVRH B – ČÁST A

Pozice	Název	Číslo výkresu	Materiál	Množství
1	Podstava	02-A4-001	11 523	1
2	Dosedka	02-A4-002	11 523	5
3	Stojan	02-A4-003	11 523	1
4	Držák pohyblivého ramene	02-A4-004	11 523	2
5	Vedení	02-A4-005	11 523	4
6	Pohyblivé rameno	02-A4-006	11 523	2
7	Držák zatěžujícího trnu	02-A4-007	11 523	2
8	Pevná stojka spodní díl-levá	02-A4-008	11 523	1
9	Pevná stojka spodní díl-pravá	02-A4-009	11 523	1
10	Posuvná stojka spodní díl-levá	02-A4-010	11 523	1
11	Posuvná stojka spodní díl-pravá	02-A4-011	11 523	1
12	Stojka-pohyblivá část	02-A4-012	11 523	4
13	Držák závaží 1	02-A4-013	11 523	2
14	Držák závaží 2	02-A4-014	11 523	2
15	Držák závaží 3	02-A4-015	11 523	2
16	Aretační rameno	02-A4-016	11 523	2
17	Podpěra R2	02-A4-017	11 523	4
18	Podpěra R5	02-A4-018	11 523	6
19	Čtyřbodový trn R2	02-A4-019	11 523	4
20	Čtyřbodový trn R5	02-A4-020	11 523	4
21	Čtyřbodový trn 1	02-A4-021	11 523	2
22	Čtyřbodový trn 2	02-A4-022	11 523	2

PŘÍLOHA P VIB: KUSOVNÍK - KOSTRUKČNÍ NÁVRH B – ČÁST B

23	Držák úchylkoměru 1	02-A4-023	11 523	2
24	Držák úchylkoměru 2	02-A4-024	11 523	2
25	Držák úchylkoměru 3	02-A4-025	11 523	2
26	Držák úchylkoměru 4	02-A4-026	11 523	2
27	Čep na pohyblivé rameno	02-A4-027	11 523	2
28	Čep na aretační rameno	02-A4-028	11 523	2
29	Čep na držák závaží	02-A4-029	11 523	2
30	Čep pro čtyřbodový trn	02-A4-030	11 523	2
31	Šroub M5x12	ČSN 02 1143		20
32	Šroub M5x30	ČSN 02 1144		1
33	Šroub M4x20	ČSN 02 1145		2
34	Šroub M4x16	ČSN 02 1146		4
35	Šroub M5x16	ČSN 02 1147		4
36	Šroub s rýhovanou hlavou M5x20	ČSN 02 1161		6
37	Šroub s rýhovanou hlavou M4x12	ČSN 02 1162		2
38	Šroub s rýhovanou hlavou M6x25	ČSN 02 1163		2
39	Šroub s rýhovanou hlavou M4x16	ČSN 02 1164		4
40	Stavěcí šroub M4x4	ČSN 02 1191		6
41	Pojistný kroužek Ø6x0,7	ČSN 02 2930		4
42	Pojistný kroužek Ø8x0,8	ČSN 02 2930		4
43	Závlačka	DIN 8273		4
44	Aretační čep			4
02-A3-000		13.5.2014	CHOVANČÍK Vít	