

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, designu a bydlení

Návrh nábytkového prvku bez kovových a lepených spojů

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Holouš, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Jiří Dias

Brno 2016

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: *Návrh nábytkového prvku bez kovových a lepených spojů* zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych vyjádřit mé obrovské díky všem, kteří mě za dobu mého studia podporovali. Také bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Zdeňku Holoušovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad a připomínek v oblasti navrhování nábytku, ochotu věnovat mi svůj čas a trpělivost při tvorbě této práce. A nakonec 3D studiu FaVU VUT Brno za využití služeb 3D tisku a informací ohledně této technologie.

ABSTRAKT

Autor diplomové práce: Bc. Jiří Dias

Název diplomové práce: Návrh nábytkového prvku bez kovových a lepených spojů

Cílem této práce bylo vytvoření návrhu nábytkového prvku bez kovových a lepených spojů. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V první části je charakteristika materiálů a jejich metod obrábění, kde se práce věnuje konvenční metodě CNC a dále převážně nekonvenční technologii 3D tisku. Poté je vytvořena rešerše spojovacích řešení konstrukcí nábytku, kde není použito lepidlo ani žádných kovových prvků. V konečné fázi této práce je návrh vlastního konstrukčního řešení, které je aplikováno na úložný nábytkový prvek – policový systém.

Klíčová slova: 3D tisk, CNC, konstrukce, metody obrábění, policový systém, spojovací techniky

ABSTRACT

Author's name: Bc. Jiří Dias

Title of diploma thesis: The design of furniture without metal and glued joints

The aim of this work was to design a furniture element without metal and glued joints. The thesis is divided into theoretical and practical part. In the first part is the characterization of materials and their processing methods, where the work is dedicated to the conventional method CNC and mostly unconventional technology of 3D printing. The research of constructional solutions of furniture was created afterwards. No glue, nor any metal components was used. The final phase of this work is to design own original constructional solution, which is applied to the storage furniture element - shelving system.

Key words: 3D print, CNC, construction, methods of machining, shelving system, joining techniques

OBSAH

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	9
3	Metodika.....	10
4	Spojování dřeva bez použití kovových a lepicích prostředků	11
4.1	Volba materiálu	11
4.2	Konstrukční materiály	15
4.2.1	Dřevo	16
4.2.2	Velkoplošné materiály.....	17
4.2.3	Třískové desky.....	18
4.2.3.1	Dřevotřískové desky	18
4.2.3.2	OSB desky	19
4.2.4	Dřevovláknité desky	20
4.2.4.1	Měkké dřevovláknité desky	20
4.2.4.2	Polotvrdé dřevovláknité desky	20
4.2.4.3	Tvrdé dřevovláknité desky	21
4.2.5	Překližované desky	21
4.2.5.1	Překližky	21
4.2.5.2	Laťovky	22
4.2.5.3	Lamely	22
4.2.6	Spárovky.....	22
4.3	Metody obrábění	23
4.4	Konvenční metody obrábění	24
4.4.1	CNC technologie	24
4.5	Nekonvenční metody obrábění	27
4.5.1	3D tisk	28
4.5.1.1	Technologie na bázi tekutých materiálů	30

4.5.1.2	Technologie na bázi pevných materiálů	33
4.5.1.3	Technologie na bázi práškových materiálů	38
4.5.1.4	Přehled vlastností jednotlivých technologií Rapid Prototyping ..	40
4.6	Spojovací techniky pro dřevo a dřevěné materiály	41
4.6.1	Rozebíratelné spoje	41
4.6.1.1	CNC spoje.....	41
4.6.1.2	Samosvorné spoje	43
4.6.1.3	3D tištěné spoje.....	43
4.6.1.4	Spojení pomocí tkaniny	44
4.6.1.5	Kawai Tsugite spoj	45
4.6.2	Nerozebíratelné spoje	46
4.6.2.1	Truhlářské spoje.....	46
5	Vybraná skupina nábytku	51
5.1	Analýza požadavků úložného nábytku.....	51
5.1.1	Ergonomie a antropometrie	51
5.1.2	Bezpečnostní požadavky	52
6	Vlastní řešení návrhu daného nábytkového prvku	53
6.1	Základní koncepce – filozofie návrhu.....	53
6.2	Rešerše řešení policových systémů.....	54
6.3	Analýza vhodnosti materiálu.....	57
6.4	Vyhodnocení rešerše – východiska vlastního řešení.....	60
6.5	Vlastní konstrukční řešení.....	61
6.6	Vizualizace variant návrhu policového prvku.....	65
6.7	Výroba prototypu	67
6.8	Orientační cenová kalkulace přímých nákladů	72
6.9	Možnosti využití navrhovaného spoje	73
7	Diskuze	74

8	Závěr.....	78
9	Summary.....	79
10	Seznam použitých zkratk.....	80
11	Seznam použité literatury	81
11.1	Seznam literárních pramenů.....	81
11.2	Seznam elektronických pramenů	82
12	Seznam obrázků.....	84
13	Seznam tabulek.....	88
14	Seznam příloh.....	89

1 ÚVOD

Tématem práce je „Návrh nábytkového prvku bez kovových a lepených spojů“. Návrh užitečných věcí je zodpovědná činnost. V dnešní době jsme neustále zahlcováni výrobky, které bývají nepraktické, neekologické, zbytečně složité a ve většině případů i zcela zbytečné.

Jak již bylo mnohokrát řečeno: „V jednoduchosti je nekonečná krása.“ Tenhle výrok neplatí jen o vzhledu, ale lze aplikovat i na funkci, materiálovou skladbu a samotné konstrukční řešení. Zásadní je materiál, který je použit na výrobek. Nejen z pohledu požadovaných mechanických vlastností, ale i šetrnosti vůči životnímu prostředí a jeho konečné likvidaci. Proces návrhu produktu musí být komplexní. Je důležité nezapomínat na celý životní cyklus – od získávání surových materiálů, tvorbu základních materiálů, návrhu produktu až po jeho způsob likvidace. Z čehož vyplývá, že celkovému návrhu vzhledu výrobku by měla předcházet úvaha nad materiálovými možnostmi, s čímž je úzce spojeno i konstrukční řešení.

Jednoduchá konstrukce silně přispívá k životnímu cyklu výrobku. Lepené spoje ve většině případů uvolňují toxický formaldehyd a znemožňují případnou demontáž pro recyklaci výrobku. Konstrukce bez lepených a kovových spojů je z tohoto pohledu vzorovým a zajímavým řešením. Výhodou je obvykle snadnost a rychlost sestavení či rozložení dané konstrukce bez použití jakéhokoliv nářadí. Není potřeba rozmýšlet nad složitým návodem a hledat, kam zrovna tohle kování přijde a také jestli balení obsahuje veškeré potřebné nářadí, které by mělo být použito. Tento typ nábytku bývá označován jako „no tools required furniture“ nebo „ready to assemble“, což v překladu znamená „připraven ke složení“. Díky rozložení konstrukce na jednotlivé části lze produkt snadno zabalit do praktického balení, které je skladné z hlediska dopravy i přemístění na určené místo.

Nábytkový prvek s konstrukcí zvoleného typu je tedy snadný na montáž a demontáž bez použití nářadí, skladebný a nakonec i ekologický. Proč tedy tvořit věci složité, když ty jednoduché mají pro život větší přínos.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je zmapování konstrukčních metod spojů bez použití kovových a lepicích substancí a jejich využití pro výrobu nábytku. V práci bude provedena analýza metod obrábění a jednotlivých konstrukčních spojení. Pro vybranou skupinu nábytku budou tyto řešerše posouzeny a stanoví se východiska pro vlastní konstrukční řešení. Určení základních požadavků a parametrů pro vybranou skupinu nábytku. Následné navržení nábytkového prvku bez kovových a lepených spojů s využitím vlastní konstrukční metody.

3 METODIKA

Diplomová práce se dělí na teoretickou a praktickou část. První část obsahuje řešerše v rámci konstrukčních řešení bez použití kovových či lepicích prvků. Jsou zde popsány jednotlivé konstrukční principy a metody obrábění. Zhodnocení vybraných metod z hlediska využití pro různé materiály. Dále je v práci popsána vybraná skupina nábytku, ke které jsou určeny základní požadavky a jsou stanovena východiska pro vlastní návrh po zhodnocení již vypracovaných řešerší. Zmíněné informace byly čerpány převážně z dostupné odborné literatury a internetových zdrojů.

Praktická část se věnuje vlastnímu návrhu konstrukčního řešení pro vybranou skupinu nábytku. Část je rozdělena na dílčí jednotlivé kapitoly, které souvisejí s vlastním návrhovým řešením nábytkového prvku.

V příloze práce se nachází vytvořená dokumentace pro daný návrh.

4 SPOJOVÁNÍ DŘEVA BEZ POUŽITÍ KOVOVÝCH A LEPICÍCH PROSTŘEDKŮ

Při řešení konstrukce je výběr spojovacích prostředků určen nejen zatížením a únosností, ale také je ovlivněn výrobním procesem, efektivitou nákladů a samotným estetickým hlediskem. Rovněž je třeba zvážit i způsob montáže výrobku. Hlavní zásadou by mělo být, že nejlepší konstrukční řešení je jednoduchý spoj s nejmenším počtem spojovacích prostředků. (Profesis, [online])

Ve většině případů bývá dřevo spojováno pomocí kovových prvků či lepidel. Je hned několik důvodů, proč tomu tak je. Z hlediska kovových prvků je to poměrně rychlá montáž s dosáhnutím velice příznivých mechanických vlastností, převážně odolnost vůči vysokému zatížení na stříh. Další velkou výhodou je možnost zpětné demontáže, která je ceněná u přepravy produktu na dané místo. Při opakované montáži je pravděpodobnost zhoršení funkce spojované konstrukce. Použitím kovových prvků nelze docílit spojení více různorodých materiálů. Po aplikaci je zapotřebí tyto kovové prvky upravit tak, aby byla zaručena určitá bezpečnost před poraněním při užívání. Z pohledu designu výrobku je to dvoustranné. V jednom případě je vhodné tyto prvky schovat a ve druhém mohou být součástí viditelného detailu daného výrobku.

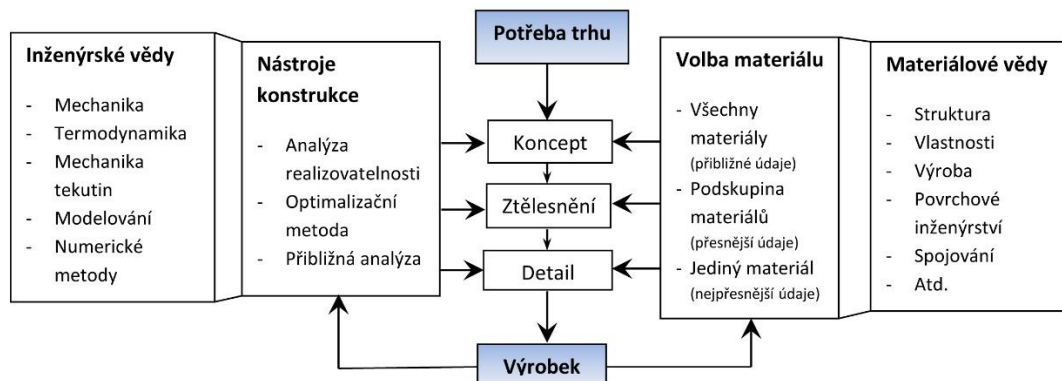
Lepené spoje nedosahují až tak vysokých mechanických vlastností jako tomu je u kovových spojů. Lepení patří mezi nerozebíratelné spoje. Obecně jsou lepidla použita tam, kde je potřeba spojit dva různorodé materiály a je požadovaná neviditelnost spoje. Nevýhodou lepidel je již zmiňovaná menší pevnost, delší čas potřebný k vytvoření spoje a slabší odolnost proti vyšším teplotám a vlhkosti. Dalším negativním aspektem je i uvolňování škodlivých VOC látek z lepidel do obytných prostředí a horší recyklace lepených výrobků.

Jak již bylo na začátku zmíněno, jednoduchá konstrukce bývá tím nejlepším řešením. Konstrukce bez kovových a lepených spojů může snížit náklady na výrobu, umožnit rychlou montáž a demontáž a tím i snadnější recyklaci výrobku.

4.1 Volba materiálu

Návrh nového výrobku je interaktivní proces, který začíná nápadem nebo potřebou trhu a končí produktem, který naplňuje původní myšlenku či požadavek. Proces navrhování by se dal rozdělit do tří základních etap – koncept, ztělesnění a detail. V první

fázi konstruktér zvažuje všechny možné alternativní pracovní principy a schémata funkcí, které vytváří požadované vlastnosti. Druhá etapa ztělesnění se již zaměřuje na funkční strukturu výrobku, zde se určují jednotlivé funkce výrobku, způsob jejich vykonávání a vznikají základní návrhy komponent. Tato etapa končí výkresem sestavy, který slouží jako podklad pro poslední část návrhu - detail. Ten již udává konkrétní návrh výrobku. (Ashby, 2011)



Obr. 1: Etapy a komponenty procesu navrhování nového výrobku

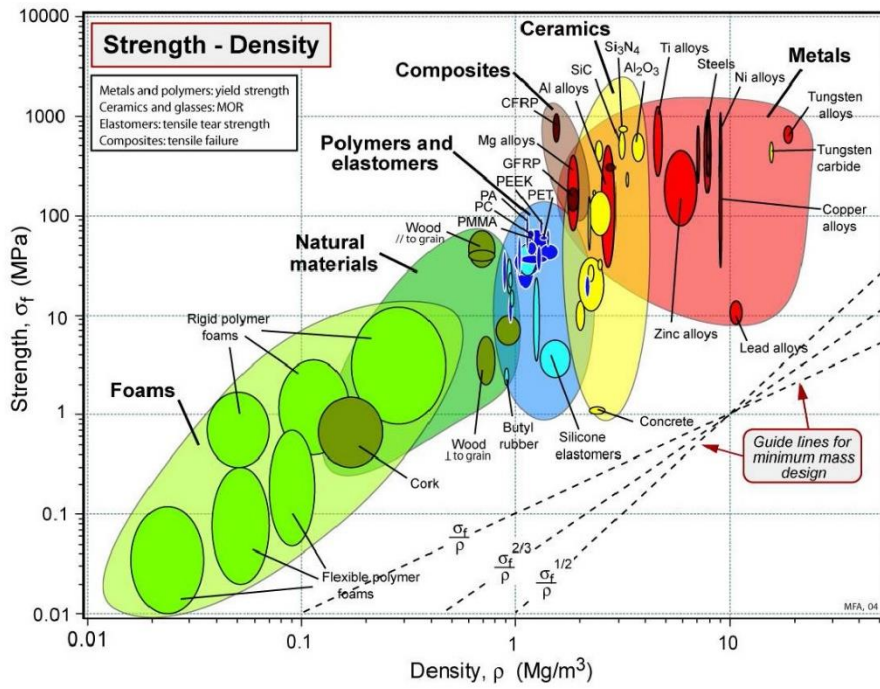
Každá fáze navrhování je spojena s rozhodováním o výběru materiálu, aby výrobek správně fungoval a byl i technologicky vyrobitelný. Zpravidla typ materiálu bývá určen požadovanou funkcí a samotným tvarem navrhovaného výrobku. Důvodem volby materiálu mohou být i estetické požadavky, nová technologie či jiné konstrukční řešení.

V dnešní době je složitá úloha zvolit si vhodný materiál pro daný účel, když je na trhu nabízena taková škála materiálů. Dříve byl materiál vybírán na základě zkušeností konstruktérů, ale v současném stále rostoucím vývoji je to poměrně neefektivní. Aby byl správně vybrán konstrukční materiál, musí být dobře známy jednotlivé vlastnosti materiálů. Ve většině případů není posuzována pouze jedna vlastnost, ale je potřeba porovnávat různé kombinace vlastností.

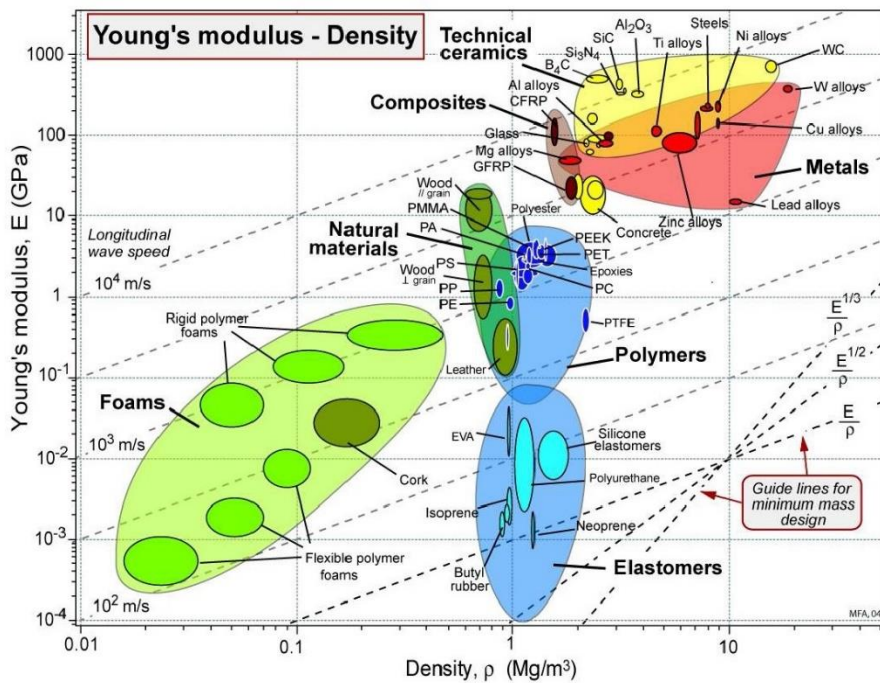
K zobrazení závislostí mezi vlastnostmi slouží tzv. materiálové mapy. Jsou to grafy, kde na jednotlivých osách jsou vyneseny pozorované vlastnosti materiálu. Jednotlivé vlastnosti se u každého druhu materiálu mění v závislosti na způsobu jeho zpracování.

Následující obrázky zobrazují materiálové mapy, kde jsou materiály vyneseny v podobě bublin, kde jejich tvar udává rozsah hodnot platných pro všechny způsoby zpracování konkrétního materiálu. Jelikož se vlastnosti jednotlivých materiálů v rámci

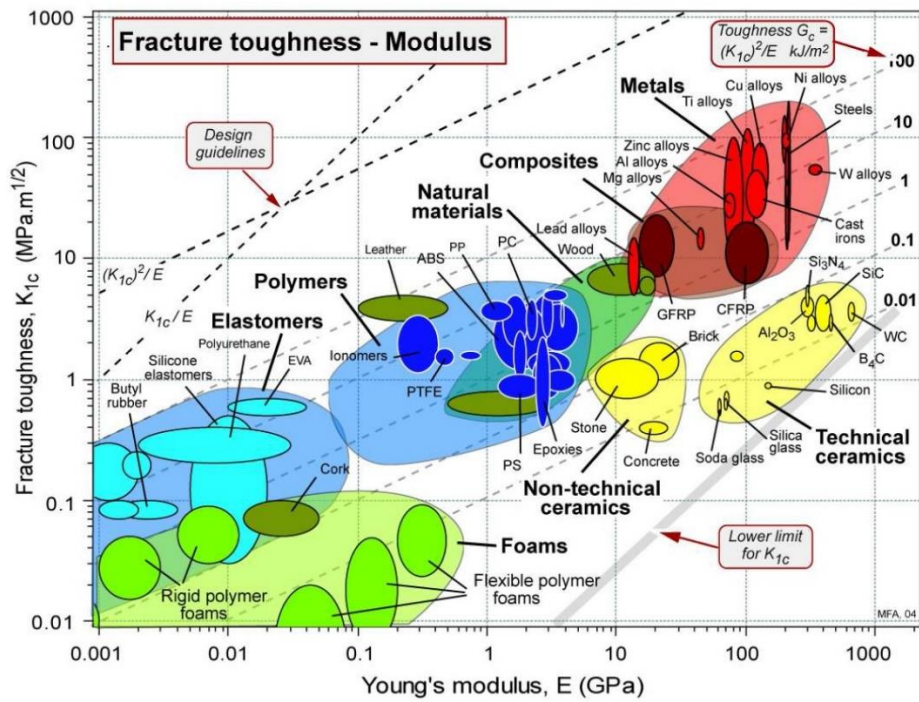
materiálových skupin příliš neliší, lze na mapách vidět skupiny materiálů, jako jsou pěny, přírodní materiály, kompozity, plasty, keramiky a kovy. (Ashby, 2011)



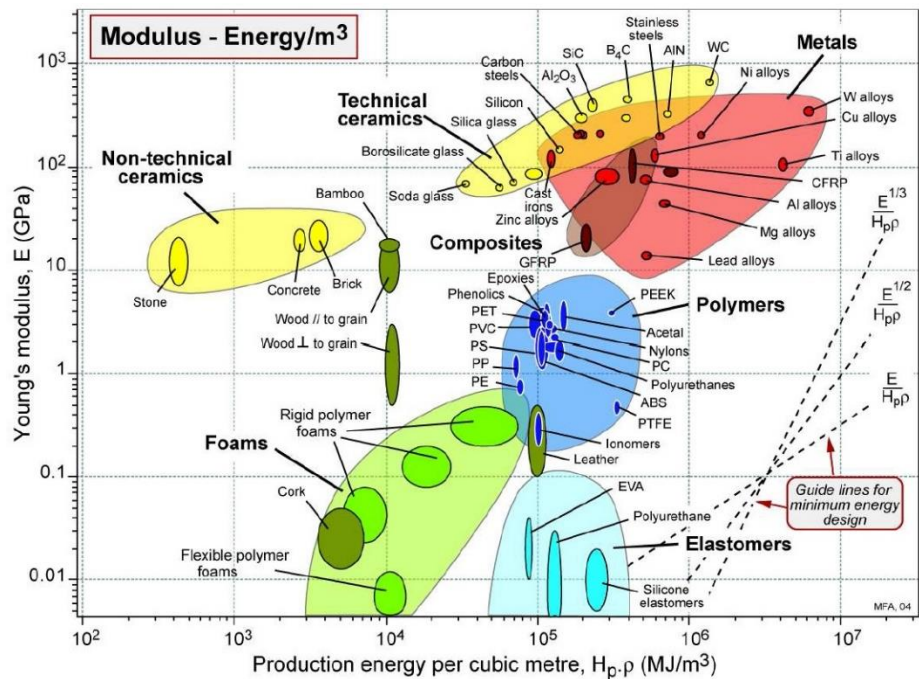
Obr. 2: Graf vztahu pevnosti na hustotě daných materiálů



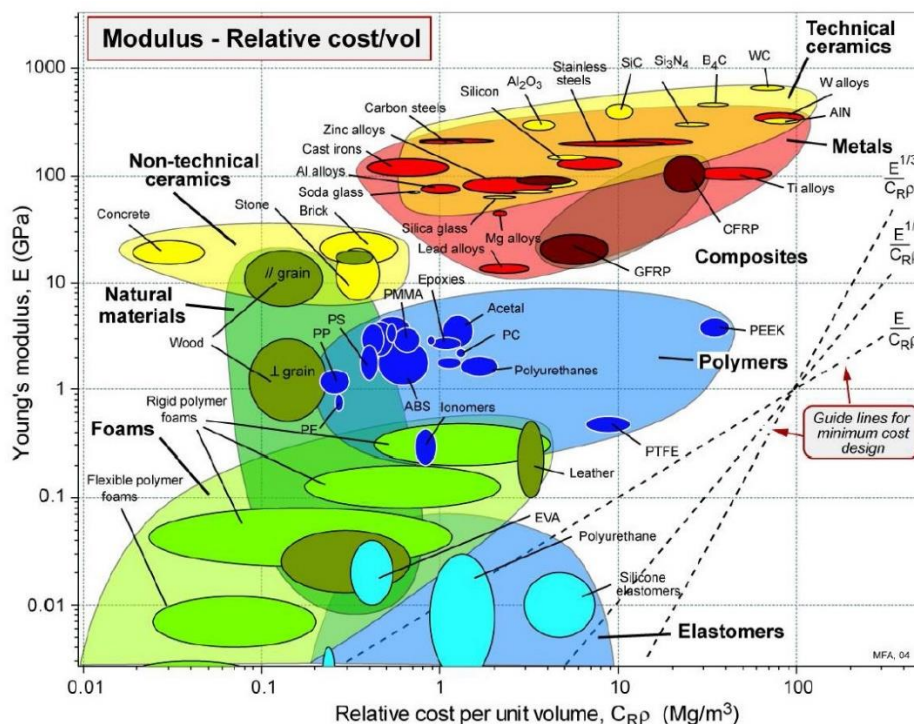
Obr. 3: Graf vztahu modulu pružnosti na hustotě daných materiálů



Obr. 4: Graf vztahu lomové houževnatosti na modulu pružnosti daných materiálů



Obr. 5: Graf vztahu modulu pružnosti na energetické náročnosti výroby kubického metru daných materiálů



Obr. 6: Graf vztahu modulu pružnosti na ceně za jednotku daných materiálů

Z vyobrazených materiálových map lze konstatovat, že přírodní materiály jsou významné pro tvorbu nábytku z hlediska jejich vlastností. Jsou pružné a odolné vůči vyššímu zatížení v poměru s jejich nízkou hustotou čili hmotností a mají vyšší odpor proti porušení za přítomnosti trhliny. Výroba a zpracování přírodních materiálů není výrazně energeticky náročná, což se projevuje i na nižší ceně materiálu. Velkou výhodou je i to, že jde o obnovitelné suroviny, které v porovnání s ostatními skupinami materiálů mají menší dopad na životní prostředí.

4.2 Konstrukční materiály

Jak již bylo zmíněno, přírodní materiály, především dřevo, jsou ideální a všeobecně nejběžnější volbou pro výrobu nábytku. Jde o obnovitelné suroviny, které jsou dobře obrobitelné, mají velice příjemný a pozitivní vzhled, dají se spojovat různými způsoby a hlavně se jedná o recyklovatelné materiály. V nábytkářském průmyslu je dřevo dominantním materiálem pro celé spektrum typů nábytku. Z pohledu současného konceptu výroby a distribuce bývá nahrazeno velkoplošnými materiály na bázi dřeva. Tyto materiály nejsou tak náročné na kvalitu vstupní suroviny a mají mnohem nižší anizotropii, kterou ovlivňuje velikost a orientace dřevních částic. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

V následujících podkapitolách budou popsány pouze nejčastěji používané konstrukční materiály na bázi dřeva v nábytkářském průmyslu.

4.2.1 Dřevo

Dřevo se vyznačuje velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, texturou, barvou a vůní. Nepravidelný tvar kmene bývá zpracováván v pilařských závodech, kde se kmen mění na řezivo s unifikovanými rozměry a pravidelným tvarem.

Z hlediska chemické stavby se dřevo skládá ze tří hlavních složek – ligninu, celulózy a hemicelulózy. Lignin zabírá 15 – 35 % objemu dřeva. Větší podíl ligninu bývá u jehličnatých dřevin, než je tomu u listnatých. Zabezpečuje dřevnatění buněčných stěn. Tvoří matici pro vlákna celulózy, kterou zpevňuje. Jedná se o amorfni látku, která je hydrofobní, termoplastická a chemicky méně stálá než celulóza. Rozklad začíná už při cca 140 °C. U menších teplot lignin ztrácí svou pevnost a lze jej ohýbat. Barevná nestálost dřeva je způsobena absorpcí světla. Lignin zajišťuje především pevnost v tlaku.

Výztuž je reprezentována celulózou, která tvoří 35 – 56 % podílu dřeva. Celulóza je tvořena dlouhými nerozvětvenými řetězci, které se mohou spojovat pomocí vodíkových můstků a vytvářet tak vyšší struktury celulózy – mikrofibrily a fibrily (vlákna). Tyto vlákna jsou velmi pevná na tah. Pokud jsou vodíkové můstky uspořádány mezi řetězci pravidelně, představují uspořádaný systém podobný geometrické mřížce, který se objevuje v 70 % obsahu celulózy. Zbytek řetězce nemá pravidelnou strukturu. Toto složení zapříčiňuje anizotropii dřeva (směrová nestejnorodost) a ovlivňuje míru bobtnání, pružnost a další fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.

Poslední hlavní složkou chemické stavby dřeva je hemicelulóza. Ta se od celulózy liší chemickým složením, nižším stupněm polymerace a také nižší relativní molekulovou hmotností. Vlákna hemicelulózy jsou podstatně kratší, a proto nedosahují velké pevnosti ani vysokého modulu pružnosti. Tvoří tmelící vrstvu mezi řetězci celulózy a doprovázejí celulózu v jednotlivých vrstvách buněčné stěny. (Gandelová, Horáček, Šlezingerová, 2009)

Na rozdíl od jiných materiálů jsou všechny mechanické vlastnosti dřeva ovlivněny anizotropií a četnými odchylkami od normální anatomické stavby. Dřevo dosahuje výrazně větších pevností ve směru vláken než je tomu ve směru příčném. Je to z důvodu vláknitosti celulózy, která je právě v podélném směru velmi pevná. Ve směru kolmém na

vlákna je pevnost 10krát až 50krát nižší. Je třeba rozlišovat i rozdíly mezi pevností příčnou (radiální) a tečnovou (tangenciální). Díky dřevným paprskům, jejichž podélná osa je kolmá na osu kmene, má dřevo větší pevnost při radiálním namáhání v tahu.

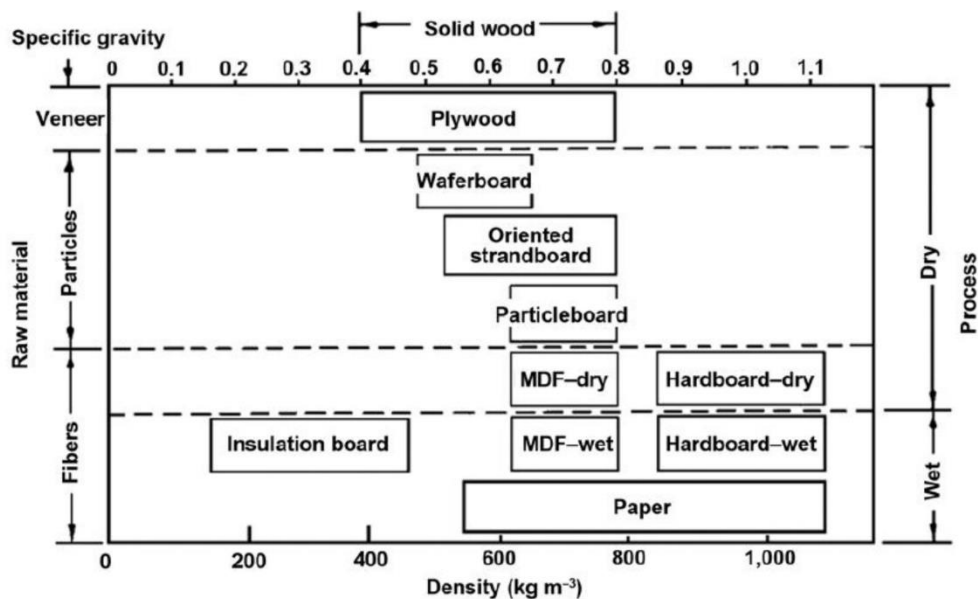
Mechanické vlastnosti jsou ovlivňovány i dalšími činiteli. Dřevo s vyšší teplotou má menší pevnost, jelikož dochází k plastifikaci ligninu, díky čemuž je možno dřevo i ohýbat. Nevýhodou je náchylnost k rozměrovým změnám způsobených vlhkostí, jelikož se jedná o pórovitý materiál, který přizpůsobuje svoji vlhkost k danému prostředí. Voda ve dřevě také snižuje mezimolekulární tření, čímž se snižuje zase celková pevnost dřeva. Vliv na pevnost mají i další odchylky od běžné stavby dřeva jako jsou suky, vlnité letokruhy, vlnitá vlákna, nadměrná točitost atd.

V rámci technologických vlastností je dřevo velmi dobře obrobitelné. Snadnější je obrábění ve směru vláken, jelikož při jiném sklonu řezného nástroje vůči dřevním vláknům dochází k jejich vytrhávání a tudíž k horší kvalitě obrábění. Jak již bylo zmíněno, dřevo lze i ohýbat. Plastičnost je závislá především na obsahu vlhkosti a teplotě dřeva. Dřevo s vyšší vlhkostí a teplotou jde lépe ohýbat. Listnaté dřeviny jsou lépe ohýbatelné než jehličnaté. Je to dáno vlivem dlouhých dřevních vláken s minimálním odklonem od podélné osy a rovnoměrnou stavbou letokruhů. (Dřevo centrum, [online])

Největší nevýhodou dřeva je jeho nehomogenita, s čímž úzce souvisí anizotropie. Snaha o vytvoření materiálu, který si zachovává pozitivní vlastnosti a odstraňuje ty negativní, vyústila ve vývoj kompozitních materiálů na bázi dřeva. Snižují se mírně mechanické vlastnosti, ale tyto materiály jsou rozměrově stálé a částečně redukuje anizotropii masivního dřeva.

4.2.2 Velkoplošné materiály

Nejčastějším materiálem používaným ve výrobě nábytku jsou velkoplošné deskové materiály. Vznikají slepením či slisováním různě velkých dřevních částic – přířezy, třísky, štěpky, vlákna nebo dýhové listy. (Materiály na bázi dřeva, [online])



Obr. 7: Rozdělení aglomerovaných materiálů podle velikosti částic, hustoty a procesu výroby

4.2.3 Třískové desky

Početnou skupinu tvoří třískové desky, které se skládají z různě velkých dřevních částic, které jsou pomocí lepidla, či vlastní lepivosti, přeměněny v deskový tvar za specifických podmínek. Tyto materiály jsou označovány jako aglomerované materiály. (Krontorád, 2015)

4.2.3.1 Dřevotřískové desky

Dřevotřískové desky patří mezi nejvíce rozšířeným a vyráběným aglomerovaným materiálem. Podle způsobu výroby lze vyrábět desky plošně či výtlačně lisované. Vstupní surovinou bývají piliny, hnědá štěpka, pilařské odřezky nebo použité dřevo. Základní surovinu se výrobci snaží získat co nejlevnější, což se projevuje i na nízké konečné ceně vyrobené dřevotřískové desky.

Vlastní výroba všech druhů dřevotřískových desek se skládá z výroby třísek, jejich úpravy, nanášení lepidla a lisování. Vyrábějí se většinou jako třívrstvé. Uprostřed desek jsou rozvrstveny větší třísky (tzv. lístkové), které zajišťují pevnost desky. Povrchové vrstvy jsou homogennější, vyrobené z jemných třísek (tzv. jehlicovitých) pro zajištění hladkého povrchu. Desky se prodávají surové a další úprava povrchu se provádí až u konečného zpracovatele, nebo se od výrobce dodávají již dýhované, opláštěvané papírovou či plastovou fólií nebo laminované. Většinou se vyrábí ve dvou normalizovaných formátech – 1830 x 2750 mm a 2070 x 2800 mm (Böhm, Reisner a Bomba, 2012). Tloušťky desek bývají 6, 8, 10, 12, 16, 18, 19, 22, 25, 28 a 30 mm.

Nejčastěji se používá tloušťka 18 mm, převážně pro skříňový nábytek a tloušťka 30 mm je určena pro pracovní desky. (Kotradyová, 2009)

Všeobecně mají dřevotříkové desky horší mechanické vlastnosti oproti masivnímu dřevu, ale zase jsou tvarově stabilnější vůči vlivu působení vlhkosti. Nejpoužívanějším lepidlem je močovino-formaldehydové, ale pro lepší mechanické vlastnosti se používá i melamin-formaldehydové nebo fenol-formaldehydové. Desky musí vyhovovat mezinárodním normám, které uvádějí požadavky na únik volného formaldehydu. Tyto požadavky stanovuje norma ČSN EN 312:2004.

Za přednosti dřevotřískových desek lze považovat možnost využití dalších druhů lignocelulosových materiálů (např. bambus, pazdeří, papyrus), izotropní vlastnosti, možnost variability hustoty a homogenita materiálu. Desky nejsou příliš vhodné pro použití do exteriéru, jelikož mají menší odolnost vůči dlouhodobému působení vlhkosti. Pro taková prostředí je lepší využít desku lepenou fenol-formaldehydovým lepidlem, která je odolnější vůči působení vlhkosti. Dřevotřískové desky se používají především na plošné dílce a vhodným dimenzováním mohou sloužit i jako konstrukční řešení výrobku. Nevhodné je použití na dílce namáhané na ohyb. Z povahy struktury materiálu je nemožnost čistého a hladkého profilování boků a reliéfování ploch desek. K tvarovému opracování je potřeba zvolit dřevovláknitou desku.

Technologie výroby umožňuje vyrobiť i modifikované třískové desky, kde jsou třísky kombinovány ještě s dalšími materiály. Mohou pak vzniknout desky pro konkrétní účel např. protipožární či ohýbatelné dřevotřískové desky nebo i dřevoplastové kompozity. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.2.3.2 OSB desky

Slepením a slisováním orientovaných plochých třísek o velikosti cca 0,4-0,8 x 6-25 x 75-130 mm vznikne OSB deska. Většinou se skládá ze tří vrstev, kde ve vnějších vrstvách jsou umístěny větší třísky. Orientace třísek je prováděna elektrostaticky nebo mechanicky, aby bylo zajištěno, že jednotlivé vrstvy budou mezi sebou svírat pravý úhel. Kvůli velikosti třísek má deska anizotropní charakter a dosahuje až dvakrát vyšších pevností a tuhostí v podélném směru, který je totožný se směrem výrobního toku. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Nejběžnější formáty OSB desek jsou 2440 x 1220 mm, 2500 x 1250 mm a 2070 x 2800 mm. Tloušťky desek bývají 6, 8, 10, 11, 12, 15, 18, 22, 25, 28, 30, 34, 38 a 40 mm. Povrch bývá neupravený, hladký nebo egalizovaný ve čtyřech kvalitách provedení – OSB/1 až OSB/4. (Holouš a Máchová, 2013)

4.2.4 Dřevovláknité desky

Vnitřní struktura desek se skládá z rostlinných nebo celulózových vláken, převážně jehličnatého dřeva (90 %). (Kotradyová, 2009)

Vyrábí se v široké škále tvrdostí a tlouštěk s odlišnými úpravami povrchu. Vlákna jsou vytvořena hydrotermickou úpravou štěpek, které jsou dále rozvlákněny. Optimální velikost štěpek je 20-30 mm šířka, 40-50 mm délka a tloušťka 3-5 mm. Vlákna je možno zpracovat dvěma způsoby – mokrou nebo suchou cestou. Rozdíl mezi způsoby je v použití lepidla.

Mokrý způsob spočívá v přidání chemikálií a formování vláknité suspence na podložním sítu, kde se lisuje a vytvrzuje do konečné podoby desky. Tento proces se již moc nevyužívá, jelikož je příliš energeticky náročný a spotřebuje velké množství vody. Tímto způsobem jsou vyráběny spíše měkké dřevovláknité desky.

Více využívaná a méně energeticky náročná je výroba suchou cestou. Na suché vlákno je nanášeno lepidlo a další přídavné látky. Vlákna jsou navrstvena na pás do koberce a postupně lisována. Suchou cestou jsou vyrobeny polotvrdé a tvrdé dřevovláknité desky. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.2.4.1 Měkké dřevovláknité desky

Hustota desek je nižší než 400 kg/m³, nejčastěji se pohybuje okolo 250 kg/m³. Kvůli nízkému tlaku při lisování nelze použít jako konstrukční materiál. Proto v nábytkářském průmyslu mají tyto desky minimální využití. Díky dobrým tepelně-izolačním a zvukoizolačním vlastnostem se využívají jako podklad podlah nebo úprava stěn. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.2.4.2 Polotvrdé dřevovláknité desky

Největší využití z dřevovláknitých desek mají polotvrdé desky. Díky vnitřní stejnorodé struktuře lze desky čistě a kvalitně frézovat do prostoru a vytvořit tak určitý reliéf plochy. Je možné i přímé profilování hran desek. Hustota se pohybuje od 400 do 900 kg/m³. Přebroušený povrch se dá nastříkat barvou nebo oplášťovat fólií.

V porovnání s ostatními materiály na bázi dřeva mají tyto desky vyšší pevnost v ohybu a v tahu kolmo na plochu. Svými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi jsou porovnatelné s masivním dřevem. U nábytku nahrazují dřevotřískovou desku tam, kde je požadavek na tvarové opracování - profilování hran či reliéf plochy. (Kotradyová, 2009)

Polotvrdé dřevovláknité desky se vyrábí v tloušťkách 8, 10, 12, 16, 18, 19, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 38 a 40 mm. Velikost velkoplošného formátu bývá 2750 x 1840 mm, 2440; 2750 a 3500 x 1220 mm. (Holouš a Máchová, 2013)

4.2.4.3 Tvrdé dřevovláknité desky

Vyrábí se oběma způsoby, jak mokrou tak i suchou cestou. Desky bývají v tloušťkách od 2 do 6 mm o hustotě větší než 900 kg/m^3 . Pevný povrch lze dobře laminovat, dýhovat nebo opatřit potiskem. Díky tvrdosti a nízké hmotnosti se využívají na záda skříňového nábytku, plovoucí podlahy, dna zásuvek nebo jako obklady stěn. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.2.5 Překližované desky

Podle způsobu výroby vznikají dva druhy dýh – krájené a loupané. Krájené dýhy se používají pro okrasné účely, jelikož si zachovávají stejnou kresbu u jednotlivých listů. Loupané dýhy jsou zase využívány pro výroby plošně slepovaných materiálů – překližek, laťovek a lamel, jelikož při technologii loupání vzniká velkoplošný dlouhý pás. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.2.5.1 Překližky

Překližky se vyrábí slepením lichého počtu loupaných dýh, kde je důležité zachování pravidla osové symetrie desky. To znamená, že od středové vrstvy musí být na každé straně stejný počet dýh. Pro zachování kladných vlastností překližky musí mít symetrické dvojice dýh i stejný směr vláken, tloušťku a druh dřeviny. Každá vrstva je na sebe kolmá, otočená o 90° , aby byla dosažena vysoká pevnost a stabilita překližované desky. (Kotradyová, 2009)

Struktura překližky odstraňuje problém anizotropie a dosahuje vyšších pevností ve všech směrech i u tenkých desek. Rozměr tlouštěk překližek bývá od 2 do 40 mm. Kotradyová (2009) rozděluje překližky podle počtu vrstev – třívrstvé (tloušťky 3, 4 a 5 mm), pětivrstvé (tloušťky 6 až 12 mm), sedmivrstvé (tloušťky 9, 10, 12 až 15 mm) a vícevrstvé (počet vrstev až 35, tloušťky 15 až 50 mm i více).

Oproti dřevotřískovým deskám zde vstupuje kvalitnější surovina – dýhový list, což se projeví i na konečné vyšší ceně. Celková cena se pak odvíjí i od účelu použití a druhu dřevin. Kvalita překližek bývá označena písmeny A, B, C, D (popřípadě BB, C+). Rozdílnost kvality horních a spodních vrstev bývá ve značení oddělena lomítkem, nesmí však přesáhnout více jak jeden stupeň. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

Kromě nejrozšířenější klasické překližky se vyrábí i voděvzdorné, modelářské, letecké a překližky se specifickými vlastnostmi – ohýbatelné, nehořlavé, protihlukové apod. (Kotradyová, 2009)

4.2.5.2 Laťovky

Laťovky jsou velkoplošné konstrukční desky vyrobené oboustranným přelepením středu dýhovým listem. Střed bývá složen ze slepených tenkých přířezů jehličnatého dřeva, většinou jde o smrkové. Horní vrstvy musí mít průběh vláken kolmo vůči vláknům laťkového středu. Díky tomu je docílena rovnoměrná (minimální) míra sesychání. Standardně se vyrábí tloušťky 16, 19, 22, 25, 30 a 35 mm. (Kotradyová, 2009)

U laťovek se cení poměrně vysoká pevnost, zejména v ohybu ve směru orientace laťkového středu. Ve srovnání s dalšími aglomerovanými materiály dosahuje nižších hmotností a dobré pevnosti u vrutových spojů a upevnění kování. Využívá se hlavně na samonosné nábytkové plošné dílce, dveřní křídla, speciální obaly a podlahy. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.2.5.3 Lamely

Lamely jsou jednosměrně tvarové výlisky, kde na rozdíl od překližky jsou jednotlivé dýhy orientované převážně jedním směrem. Tahle struktura umožňuje výrobu tvarově složitějších dílců se zachováním vyšší pevnosti materiálu. Jsou použity tam, kde je potřeba vysoké namáhání v ohybu a tahu v podélném směru. Nejčastější využití je ve výrobě sedacího a postelového nábytku. (Kotradyová, 2009)

4.2.6 Spárovky

Až do dvacátého století byla spárovka jediným konstrukčním materiálem na bázi dřeva. Spárovka vzniká slepením jednotlivých lamel z rostlého dřeva do jednovrstvé desky. Spojení může být buď na tupou spáru nebo na ozubový spoj. Při výrobě spárovky je nutné jednotlivé lamely mezi sebou skládat zrcadlově k průběhu vláken, aby

nedocházelo k borcení desky. Stabilitnost tvaru desky může být zajištěna použitím např. svlaku.

Spárovka může být dodávána v různých rozměrech, záleží na požadavcích odběratele. Předností spárovky jsou zachování vzhledu dřeva, možnost výroby i větších formátů a jsou zachovány i mechanické vlastnosti masivního dřeva. Je zde ale i problém anizotropie, kde se liší pevnost desky v různých směrech vláken. Konstrukční spojení bývá přes jednoduché spoje na kolíky. (Böhm, Reisner a Bomba, 2012)

4.3 Metody obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém se polotovary mění na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu odebráním částic nebo oddělováním částí materiálu mechanickými, elektrickými nebo chemickými pochody či kombinacemi těchto pochodů. (Technologie obrábění - 1.část, [online])

Obrábění je procesem intenzivní plastické deformace, která vzniká podél smykové roviny materiálu obrobku. Tuto smykovou rovinu vytváří břit nástroje. Pokud je překročena pevnost v namáhání dané smykové roviny, materiál se mění v třísku. Materiály jsou různě obrobitelné. Pro aplikaci zvoleného způsobu obrábění je nutné znát komplexní vlastnosti materiálu. (Mádl, 1999)

Strojní metody obrábění lze rozdělit podle charakteristických znaků (Technologie obrábění - 1.část, [online]):

- Metody obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií (soustružení, frézování, vrtání, hoblování atd.)
- Metody obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií (dokončovací metody – broušení, honování, superfinašování atd.)
- Nekonenční metody obrábění (elektroerozivní, chemické, obrábění ultrazvukem, elektronovým paprskem, vodním paprskem atd.)
- Úpravy obrobených ploch (válečkování, hlazení, leštění atd.)

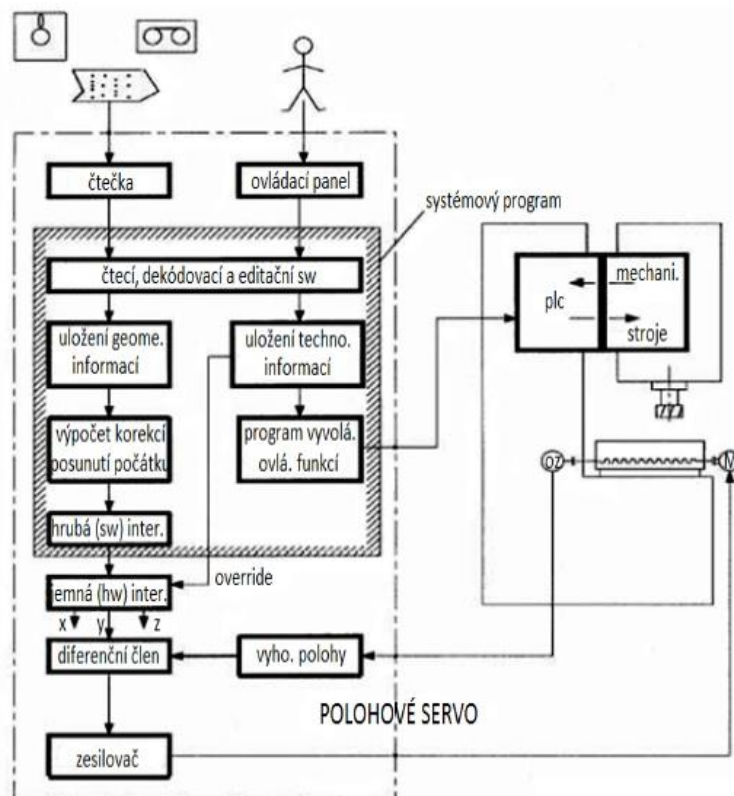
4.4 Konvenční metody obrábění

Konvenční metody obrábění jsou základní procesy, kde břit nástroje odděluje materiál z obrobku v podobě třísky. K základním metodám patří soustružení, frézování, vrtání, hoblování, protahování, protlačování apod.

Ve výrobě nábytku se v dnešní době hojně využívají již automatizované strojní jednotky, které slučují hned několik operací obrábění a jsou převážně řízené počítačem.

4.4.1 CNC technologie

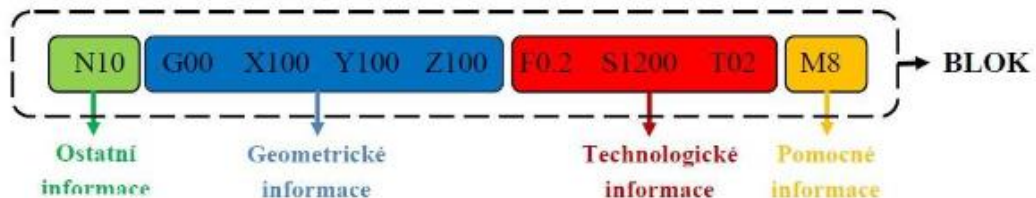
Zkratka CNC znamená Computer Numerical Control, neboli počítačem řízené stroje, které využívají pro řízení sérii kódových pokynů. Jde o další vývoj NC (Numerical Control) strojů, kde je k jednotce připojen řídicí počítač s klávesnicí. Obsluha pouze kontroluje a ovládá činnosti řídicího systému. Tyto stroje řadíme do pružné automatizace, neboť lze u nich měnit výrobu velmi rychle a to pouhou změnou programu. Uplatnění najdou i pro malosériovou a kusovou výrobu.



Obr. 8: Schéma CNC řídicího stroje

Princip práce CNC strojů je následovný. Pro dané opracování je potřeba výkresové dokumentace, která se musí převést do NC kódů. Využívá se specializovaného

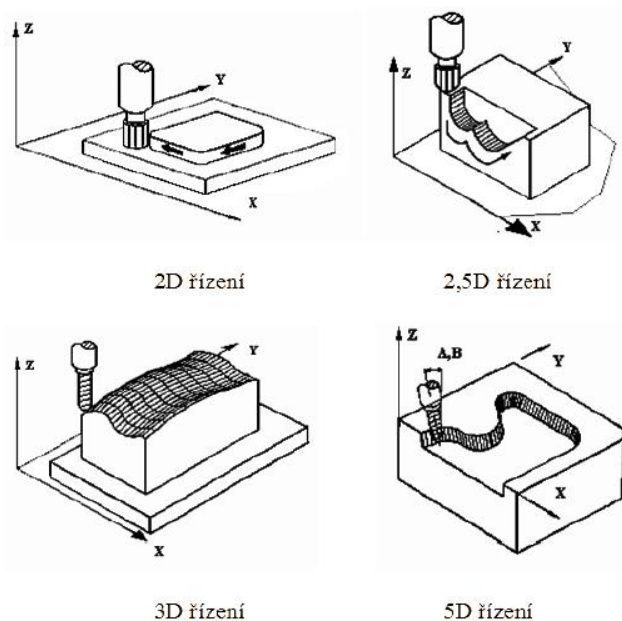
počítačového softwaru CAD/CAM, kde jsou dílčí kroky obrábění naprogramovány do programovacího jazyka G-kód. Stanoví se pozice upnutí obrobku a základní bod v souřadnicovém systému, pracovní postup se zvolenými nástroji, určení drah jednotlivých nástrojů a technologických podmínek. Jako kontrola správného naprogramování slouží počítačová simulace. (Král, Šrajer, 2008)



Obr. 9: Příklad bloku pro CNC stroj

Program se skládá z tzv. bloků (řádků) a jednotlivé bloky z příkazů (slov). Na Obr. 9 je znázorněn blok z operace pro CNC stroj. Skládá se ze čtyř příkazů, kde každý nese jinou informaci. Ostatní informace slouží k orientaci v programu, popřípadě na poznámky. Geometrické informace popisují dráhy nástroje v kartézských souřadnicích, které jsou dány rozměry obráběné součásti. Podle počtu řízených os se CNC stroje dělí na (Technologie obrábění na CNC obráběcím stroji, [online]):

- jednoosé – pohyb nástroje pouze v jedné ose (1D) - vrtačka
- dvouosé – pohyb nástroje v rovině X-Z (2D) – soustruh
- dvou a půl osé – pohyb po ose Z (hloubka) a poté po osách X a Y (2,5D) – frézka
- tříosé – současný pohyb v osách X, Y a Z (3D) – frézka
- čtyř a pětiosé – pohyb v osách X, Y, Z a navíc rotace kolem jednotlivých os (4D a 5D)



Obr. 10: Souřadné systémy CNC strojů

Technologické informace stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek. Jedná se zejména o počet otáček, řezná rychlost, posuv, případně hloubka třísky. Poslední část bloku jsou pomocné informace, které obsahují povely určité pomocné funkce pro stroj, například zapnutí čerpadla chladicí kapaliny nebo směr otáček vřetena. (Technologie obrábění na CNC obráběcím stroji, [online])

Král a Šrajter (2008) zmiňuje následující výhody a nevýhody CNC zařízení.

Výhody:

- + automatizace výrobního procesu
- + vysoká kvalita a rychlost opracování
- + možnost nepřetržitého provozu
- + úspora pracovních sil
- + flexibilita výroby – možnost rychlého zavedení nových typů výrobků

Nevýhody:

- vyšší pořizovací a provozní náklady
- potřeba obsluhy s vyšší kvalifikací
- zvýšení nároků na technologickou přípravu

CNC stroje se skládají z následujících hlavních celků – ovládací panel, vřeteno s vřeteníkem, zásobník a rameno pro výměnu nástrojů, zásobník nebo podavač obrobků,

polohovací zařízení nástroje a obrobků, soustavy pro přívod procesních kapalin a ochranné kryty. (Historie CNC strojů, [online])

CNC technologie jsou dnes využívány pro mnoho metod obrábění. Ať už se jedná o klasické operace (řezání, frézování, lepení, stříhání atd.), tak i pro nekonvenční obrábění (laserem, vodním paprskem, plazmou atd.).

Poslední vývojovou etapou CNC strojů jsou DNC (Direct Numerical Control) stroje, kde se jedná o centrální řízení prováděné hlavním počítačem dvou a více NC strojů. Hlavní počítač je napojen na síť počítačů, odkud získává od uživatelů data (programy), které pak rozesílá řídicím jednotkám NC strojů. (Král, Šrajer, 2008)

4.5 Nekonvenční metody obrábění

Nekonvenční metody obrábění se liší od klasických metod tím, že k úběru materiálu nevyužívají klasickou mechanickou práci nástroje. K úběru jsou používány tepelné, elektrické, chemické, ultrazvukové, abrazivní či jiné fyzikální jevy. Výkonost obrábění tedy nezáleží na mechanických vlastnostech obráběného materiálu. Tyto metody se využívají hlavně u materiálů, které jsou klasickými způsoby obrábění těžce obrobitelné či vůbec nikoliv. Jedná se o materiály s kovovou maticí, monolitické a kompozitní keramické materiály, polymery apod. (Morávek, 1999)

Základní dělení nekonvenčních technologií je podle použitého hlavního energetického zdroje (Nekonvenční metody obrábění [online]):

- a) mechanické procesy
 - obrábění ultrazvukem
 - obrábění proudem brusiva
 - obrábění vodním paprskem
- b) chemické procesy
 - chemické obrábění
 - fotochemické obrábění
- c) elektrochemické procesy
 - elektrochemické obrábění
 - elektrochemické broušení
- d) elektrotepelné a tepelné procesy
 - elektrojiskrové obrábění

- obrábění laserem
 - obrábění paprskem elektronů
 - obrábění paprskem iontů
 - obrábění paprskem plasmu
- e) 3D tisk

Z hlediska k tématu práce bude dále popsána pouze kapitola o technologii 3D tisku.

4.5.1 3D tisk

3D tisk taky patří k nekonvenčním metodám obrábění, i když nejde o klasické obrábění, kde je z polotovaru odebírán materiál, ale naopak je ke vznikající části přidáván.

Jedná se o označení pro technologii tzv. aditivní výroby, při které výsledný produkt vzniká postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se mohou vzájemně spojit např. lepením nebo tavením. Na rozdíl od konvenčních způsobů výroby se pomocí 3D tisku dají vytvářet komplikované tvary a konstrukce, jež by nebylo možné zhotovit žádným jiným způsobem. 3D tisk je pro rychlou přípravu výroby vhodný zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Hojně je proto využíván pro výrobu prototypů. (3D tisk, [online])

S 3D tiskem bývá často úzce spojen pojem Rapid Prototyping (RP). RP je progresivní skupina technologií, která je založena na principu vytvoření počítačového modelu, rozložení modelu do tenkých vrstev a jejich následným zpracováním do reálného produktu za pomoci 3D tiskárny. Data se vytváří pomocí 3D programovacích systémů CAD. Tato technologie nachází uplatnění v mnoha odvětví – spotřební průmysl, strojírenství, lékařství, letectví a začíná se i využívat v oblasti nábytku. (Drápela, 2009)

Technologii RP lze rozdělit dle:

- a) použitého spotřebního materiálu:
- na bázi tekutých materiálů (SLA, SGC, PolyJet)
 - na bázi práškových materiálů (SLS, 3DP)
 - na bázi tuhých materiálů (FDM, LOM, MJM, MM3DP a BPM)
- b) systému přidávání materiálu:
- po vrstvách (SLA, SGC, SLS, 3DP, LOM)

- po vláknech (FDM)
 - po kapkách (MJM, PolyJet, MM3DP, BMP)
- c) velikosti pracovního prostoru 3D tiskáren:
- malé – do 210 x 210 x 210 mm
 - střední – do 460 x 460 x 1070 mm
 - velké – nad 460 x 460 x 1070 mm

Tab. 1: Základní technologie RP

Základní technologie RP	Zkratka	Materiál modelu
Stereolitografie	SLA, SL	Fotopolymer
Solid Ground Cutting	SGC	Fotopolymer, nylon
Selective Laser Sintering	SLS	Polyamid, nylon, vosk, kovové prášky
Laminated Object Manufacturing	LOM	Papír s jednostranným pojivem
Fused Deposition Modeling	FDM	ABS, vosk, polykarbonát
Multi Jet Modeling	MJM	Termopolymer, akrylátový fotopolymer



Obr. 11: Proces vzniku fyzického 3D modelu reálného objektu

Proces výroby je často rozdělen do třech hlavních etap – preprocessing, processing a postprocessing. Do první etapy řadíme všechny kroky související s přípravou dat. Například převod dat ze systému CAD do formátu STL, kde dochází k rozdělení geometrického tvaru na soubor rovinných plošek. Jak již bylo zmíněno, výsledný objekt je postupně tvořen po tenkých vrstvách (0,2 – 0,05 mm) a proto je nezbytné při složitějším objektu zabezpečit tzv. podpůrnou konstrukci vrstev, aby nedošlo k zborcení či deformaci při samotném tisku. Podpůrná konstrukce není nutná pro všechny metody 3D tisku.

V processingu již nastává vlastní stavba modelu po jednotlivých vrstvách. Stavba těchto vrstev je pak ovlivněna konkrétním fyzikálním principem jednotlivých metod. (Drápela, 2009)

Tab. 2: Rozdíly metod RP

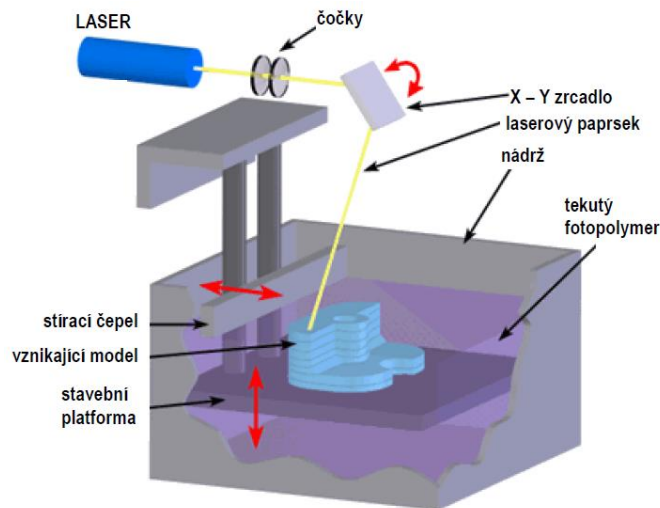
RP metoda	Nutnost podpory	Výchozí materiál	Laser	Stavba modelu
SLA	ANO	Tekutý polymer	ANO	Vytvrzení vrstvy laserem
FDM	ANO	Drát – Plast	NE	Nanášení vrstvy protlačováním
SLS	NE	Prášek – Plast, Kov	ANO	Spékání laserem
LOM	NE	Fólie – Papír, Plast	ANO	Laminátování, ořez laserem
3DP	NE	Prášek – Sádra, Kov, Keramika	NE	Slepení částic, vytvrzení

Poslední etapou je postprocessing, kde prvním úkolem je vyjmutí modelu ze zařízení. Dokončovací práce jsou většinou manuálního charakteru. U jednotlivých metod je třeba odstranit podpůrný materiál nebo může následovat další následné zpracování jako např. vytvrzení UV zářením. Pro zlepšení povrchových vlastností může být model opatřen speciálním nátěrem. (Drápela, 2009)

4.5.1.1 Technologie na bázi tekutých materiálů

4.5.1.1.1 Stereolitografie – SLA

Stereolitografie je jednou z nejstarších metod, která byla uvedena na trh již v roce 1987. Jedná se o postupné vytvrzování jednotlivých vrstev tekutého fotopolymery (pryskyřice), který je citlivý na světlo, pomocí UV laseru. Výsledný model je vytvářen na nosné desce, která se postupně ponořuje po vytvrzení jednotlivých vrstev pod hladinu fotopolymery. Před každým následujícím ponořením je hladina přejeta stírací lištou, aby došlo ke srovnání tloušťky vytvrzené vrstvy (0,05 až 0,15 mm). Po ukončení tisku následuje odstranění pomocných podpor, očištění povrchu a následná úprava v UV komoře, kde se modelu dodá požadovaná integrita povrchu či barva. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])



Obr. 12: Schéma stereolitografie

Výhody:

- + rychlost tisku s vysokou přesností a detailem
- + možnost vytvoření větších modelů
- + široké spektrum materiálu
- + plynulý průběh tisku – není potřeba obsluhy

Nevýhody:

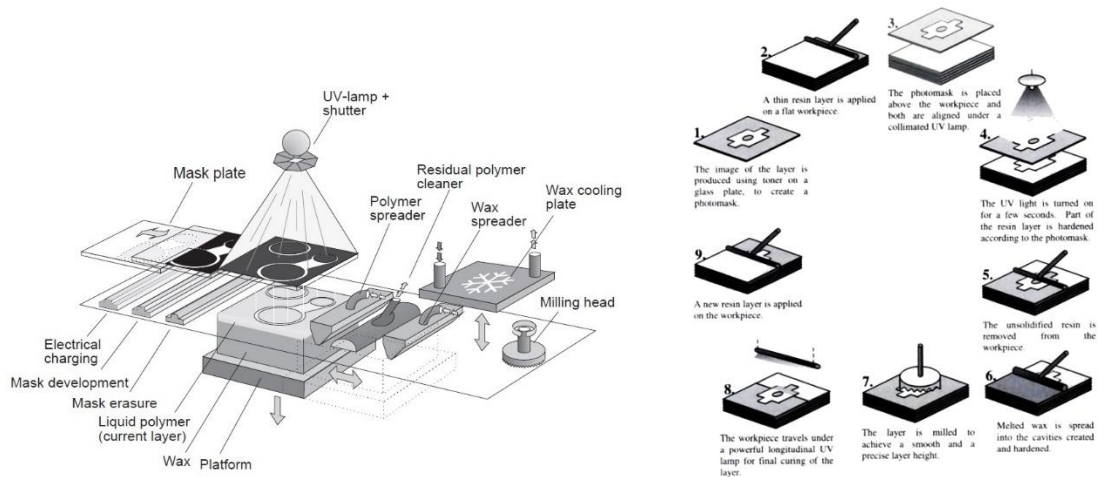
- nutnost odstranění podpor a konečné úpravy povrchu
- delší proces vytvrzování polymeru – konečné sušení

Stereolitografie se využívá převážně v oblasti automobilového průmyslu, kde se na modelech zkouší různé technologické přípravy a nástroje. Touto metodou je možnost i tvorby forem pro lití nebo vstřikování a modelů s vyššími nároky na detaily. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])

4.5.1.1.2 Solid Ground Curing – SGC

Metoda Solid Ground Curing se skládá ze třech hlavních kroků – příprava dat, generování masek a tvorba modelu. Z vymodelovaného 3D objektu se vytvoří jednotlivé řezy, které jsou pomocí softwaru převedeny na tzv. masky. Jedná se většinou o skleněné destičky nesoucí jednotlivé obrysy řezů, které jsou potisknuty vrstvou toneru. Tvorba modelu pak probíhá tak, že na základní desku je nanесena tenká vrstva (0,1 – 0,2 mm) tekutého fotopolymeru (pryskyřice), poté je položena první maska s obrysem, která je osvícena UV lampou. Osvícená část pryskyřice ztvrdne a zbylá nevytvrzená pryskyřice je odsáta. Aby bylo možné nanést další vrstvu tekuté pryskyřice, je potřeba nově vzniklou

vrstvu zaplnit roztaveným voskem. Po začištění voskové vrstvy do hladka se celý proces opakuje až do vytištění konečného modelu. Nakonec pomocí kyseliny citrónové se odstraní přebytečný vosk. (Chua, Leong, 2003)



Obr. 13 a Obr. 14: Schéma a proces tvorby metody SGC

Výhody:

- + minimální smrštění modelu
- + dobrá struktura a stabilita modelu
- + žádný zápach při procesu
- + možnost přerušení a následnému dotisku – např. odstranění nezdařilé vrstvy

Nevýhody:

- potřeba více prostoru pro zařízení
- nutnost dokonalého čištění zařízení od vosku
- hlučnost zařízení
- tvorba odpadu
- vyšší cena

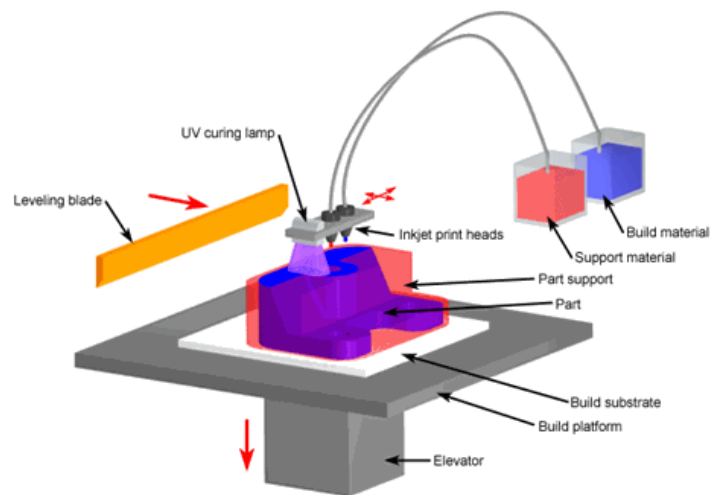
Hlavní použití pro modely, kde je potřeba ověřit tvar, funkci a možnost smontovatelnosti strojních součástí. V medicíně se také využívá pro tvorbu chirurgických pomůcek na míru pacientovi, zakázkových protéz apod. (Belai, 2015)

4.5.1.1.3 PolyJet 3D Printing – PolyJet

Metoda PolyJet je obdoba principu klasické inkoustové tiskárny. Zařízení se skládá z tiskové hlavy a pracovní desky. Nad pracovní deskou se pohybuje tisková hlava, která ze zásobníku vstřikuje tekutý fotopolymer po jednotlivých vrstvách o tloušťce 0,016 –

0,33 mm. V tiskové hlavě je zabudováno UV světlo, které okamžitě vytvrzuje nanesené vrstvy. Podpůrný materiál je u této metody ze speciálního gelu, který se dá jednoduše odstranit.

V další variantě této technologie – PolyJet Matrix je možná současná aplikace více odlišných fotopolymerových materiálů. Tím nabízí neomezené možnosti tvorby modelů různých barev, ale i vlastností a funkcností. (Belai, 2015)



Obr. 15: Schéma PolyJet

Výhody:

- + možnost kombinace jak materiálů, tak barev
- + snadné odstranění podpůrného materiálu
- + vysoký detail, hladký povrch modelu

Nevýhody:

- vyšší cena zařízení i samotného tisku

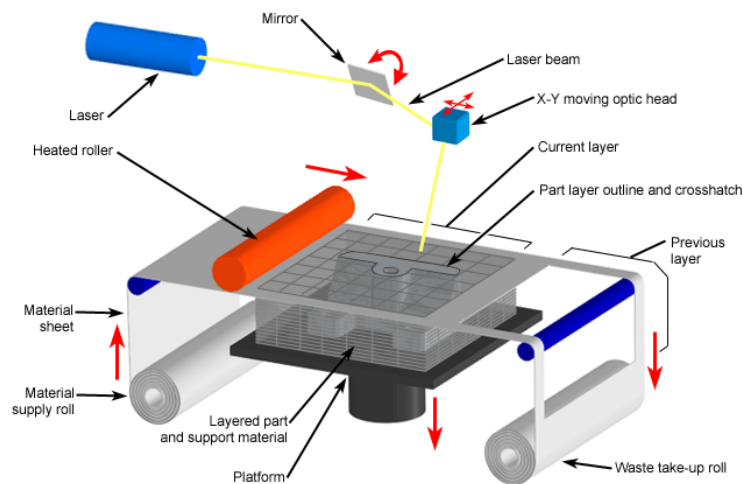
Metoda je vhodná pro výrobu prototypů z oblasti architektury, designu, stomatologie apod. (Belai, 2015)

4.5.1.2 Technologie na bázi pevných materiálů

4.5.1.2.1 Laminated Object Manufacturing – LOM

Modely vyrobené touto metodou jsou tvořeny velkým množstvím fólií. Zařízení obsahuje nekonečnou roli fólie, která je opatřena adhezivní vrstvou. Při tvorbě modelu dochází k nahřátí, nalepení fólie na předchozí vrstvu pomocí vyhřívaného válce a poté je do každé vrstvy vyřezán obrys řezu modelu. Řez je prováděn buď laserem, nebo

ořezávacím nožem podle zvoleného materiálu. Při tisku je přebytečný materiál rozřezán na malé části, které jsou na závěr procesu odstraněny. Modely lze dokončit běžnými obráběcími metodami – vrtání, frézování či soustružení. Z hlediska povahy struktury modelu je nutné upravit povrch tak, aby nedocházelo ke změnám rozměrů vlivem vsakování vlhkosti z prostředí. Povrch je možno pokrýt silikonovým, uretanovým nebo epoxidovým nástřikem. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])



Obr. 16: Schéma LOM

Výhody:

- + možnost použití jakéhokoliv materiálu ve formě fólie
- + rychlost zařízení
- + proces je ekologicky nezávadný
- + při použití papíru – nízká cena, možnost barevného tisku

Nevýhody:

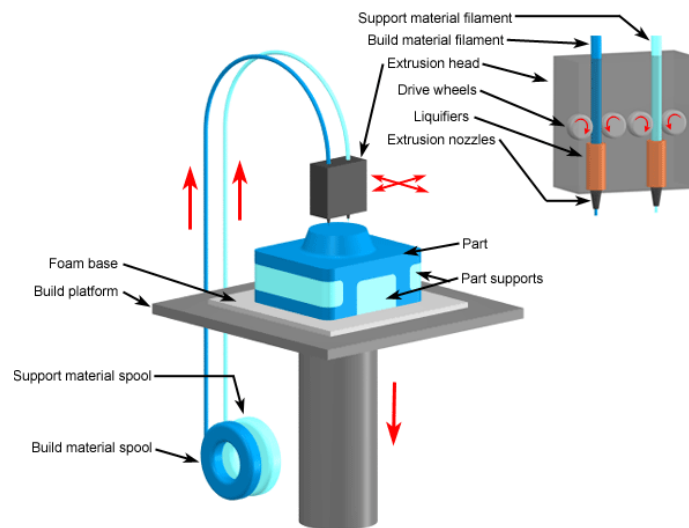
- nelze vytvořit model s tenkou stěnou
- pevnost je omezena použitým pojivem
- vysoká míra odpadu – delší čas odstraňování

Vytvořené modely jsou určeny spíše pro vizualizaci a prezentaci nových výrobků potenciálním zákazníkům. Je zde možnost modely použít jako formy pro odlévací a vstřikovací technologie. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])

4.5.1.2.2 Fused Deposition Modeling – FDM

Metoda Fused Deposition Modeling je založena na principu nanášení roztaveného plastového drátu, který je navinut na cívce zařízení. Termoplast v podobě drátu je přes

tiskovou hlavu roztaven a protlačen přes tenkou trysku, která dle informací o modelu udá pozici na základní podložce. Po nanesení materiál ihned tuhne a je možné nanášet další vrstvu o tloušťce 0,025 – 0,4 mm. Když je vrstva dokončena, základní podložka se posune o průměr drátu dolů a začne se tvořit další vrstva, dokud není model hotov. U této metody je zapotřebí stavět podpory, které jsou tisknuty současně s modelem a poté je lze mechanicky nebo chemicky odstranit. (Chua, Leong, 2003)



Obr. 17: Schéma FDM

Výhody:

- + materiál s vyšší teplotní odolností
- + minimální odpad – kromě podpor
- + jednoduchý proces – využití pro širší veřejnost
- + relativně nízká cena materiálu

Nevýhody:

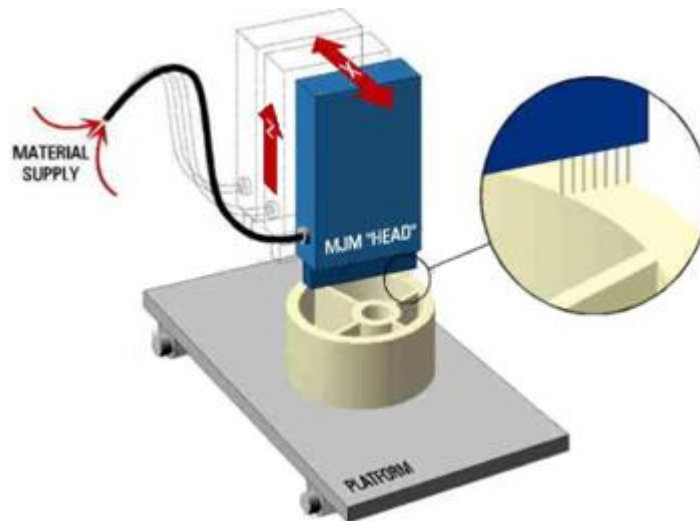
- omezená přesnost daná průměrem trysky a tvarem materiálu
- hrubost povrchu s nižším detailem
- delší doba tisku
- tisk nelze přerušit
- občasné smršťování modelu

Výchozím materiálem může být ABS, ABSplus, polykarbonát, elastomer, vosk apod. Vzhledem k pevnosti určitých materiálů lze modely podrobit reálnému zatížení.

Prototypy vytvořené touto metodou se používají pro ověření funkčnosti a mechanických vlastností. (Belai, 2015)

4.5.1.2.3 Multi Jet Modeling – MJM

Principem se tato metoda podobá metodě FDM s tím rozdílem, že tisková hlava místo jedné trysky má až 352 trysek. Trysky jsou uspořádané vedle sebe v délce 200 mm. Každá tryska je samostatně řízena počítačem. Tisková hlava se nad základní deskou pohybuje pouze v jednom směru. Při rozměrnějším modelu se posouvá základní deska. Velký počet trysek umožňuje rychlé a rovnoměrné nanášení materiálu. Tloušťka vrstvy závisí na typu tiskárny a pohybuje se kolem 0,016 – 0,152 mm. (Multi Jet Modeling, [online])



Obr. 18: Schéma MJM

Výhody:

- + jednoduchý princip
- + ekonomická výroba
- + rychlost tisku
- + využití i pro kancelářské prostředí

Nevýhody:

- výroba menších modelů
- omezená volba materiálu

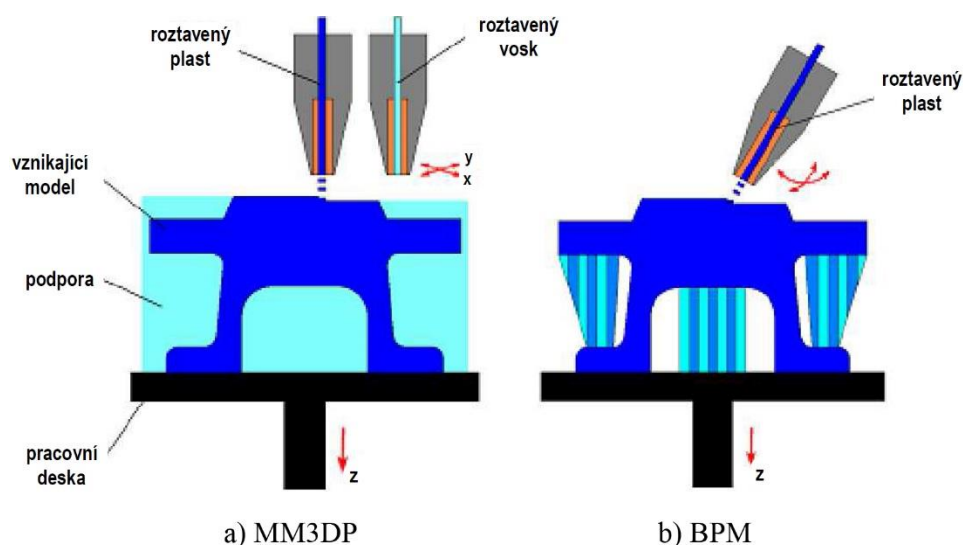
Modely jsou spíše určeny pro prezentační účely. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])

4.5.1.2.4 Technologie Model Maker 3D Plotting – MM3DP a Ballistic Particle Manufacturing – BPM

Technologie Model Maker 3D Plotting (MM3DP) a Ballistic Particle Manufacturing (BPM) fungují na principu klasických inkoustových tiskáren.

U metody MM3DP je tisková hlava, která dokáže vstříkovat 6000 až 12000 kapek za sekundu. Po dopadu kapek na pracovní desku okamžitě tuhnou. Zařízení disponuje s dvěma tiskovými hlavami, kde jedna tiskne požadovaný model a druhá obstarává podpurný materiál.

Druhá metoda BPM funguje na obdobném principu s rozdílem v počtu tiskových hlav. Tisková hlava je tedy pouze jedna, ale za to má 5 stupňů volnosti, kdy je tryska natáčena kolmo k tisknuté části. Možnost natáčení trysky umožňuje tvorbu modelu bez podpor. (Belai, 2015)



Obr. 19: Schéma metod MM3DP a BPM

Výhody:

- + nenáročnost z hlediska obsluhy a údržby
- + možnost kancelářského využití
- + tvorba tvarově složitých modelů v různých barevných kombinacích

Nevýhody:

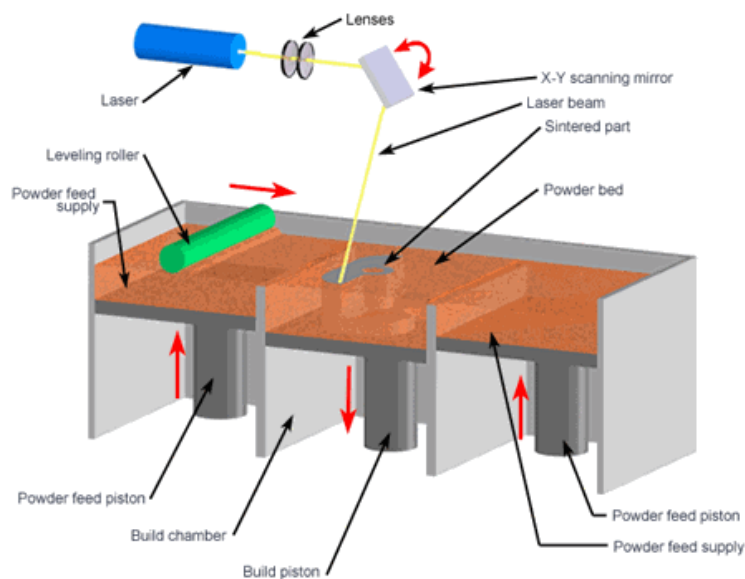
- spíše tvorba menších modelů
- u BPM může vzniknout drsný povrch modelu

Tyto technologie se využívají převážně při navrhování šperků a náhradních zubů v zubních laboratořích. (Belai, 2015)

4.5.1.3 Technologie na bázi práškových materiálů

4.5.1.3.1 Selective Laser Sintering – SLS

Výchozí materiál je v podobě prášku nanesen na základní desku v inertní atmosféře (dusík, argon), kde je poté díky paprsku laseru spékán či roztavován do požadovaného tvaru. Vrstvy prášku jsou nanášeny speciálním válcem. Část vrstvy, která nebyla osvětlena laserem, není odstraněna a slouží jako nosný materiál pro stavbu modelu. Tloušťka jedné vrstvy se pohybuje od 0,02 až několik desetin milimetru. Z povahy principu technologie je možnost využití jakéhokoliv materiálu v podobě prášku – polyamid, polyamid se skelnými vlákny, polykarbonáty, polystyreny, slitiny bronzu či oceli. (Nekonvenční metody obrábění 9. díl, [online])



Obr. 20: Schéma SLS

Výhody:

- + velké množství použitelných materiálů
- + vyšší pevnost modelů

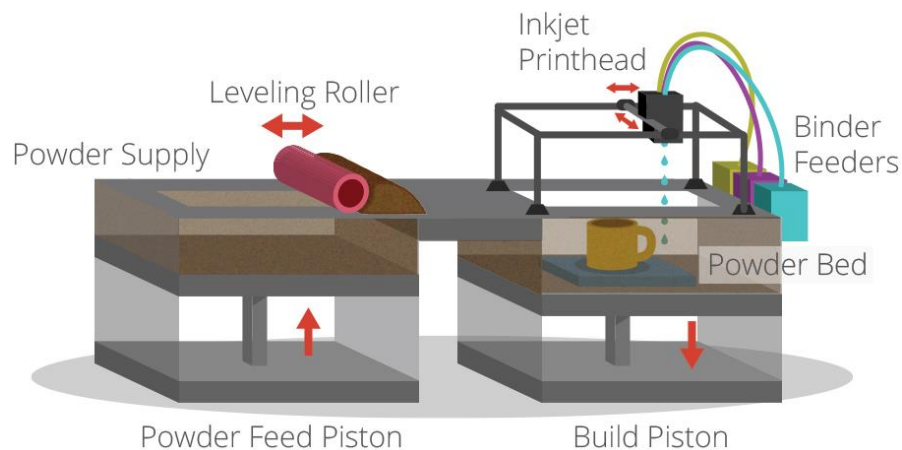
Nevýhody:

- prostorově a energeticky náročné zařízení
- horší kvalita povrchu – zrnitost dle velikosti práškového materiálu

Metoda SLS má široké uplatnění v oblasti výroby forem a nástrojů pro výrobu plastových, keramických nebo kovových výrobků. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])

4.5.1.3.2 Inkjet 3D Printing – 3DP

Metoda 3DP umožňuje výrobu plnobarevných modelů, kde je princip opět obdobný, jako je tomu u inkoustové tiskárny. Proces probíhá v komoře s pohyblivou nosnou plochou, na kterou je nanášena tenká vrstva práškového materiálu. Směs pojiva je poté vstříkována na vybranou oblast, kde dochází ke spojení částic práškového materiálu. Zařízení obsahuje automatický odprašovací a vibrační systém, který odstraní až 80 % přebytečného prášku. Pro zvýšení pevnosti je dokončený model následně napuštěn tvrdidlem. (Drápela, 2009)



Obr. 21: Schéma 3DP

Výhody:

- + vysoká kvalita a rychlost tisku
- + vytvoření tenkostěnných konstrukcí
- + plnobarevná technologie
- + recyklace odpadu

Nevýhody:

- menší výběr použitelných materiálů

Modely vyrobené 3DP slouží pro testování funkčnosti, vhodnosti designu či jako formy pro odlévací nebo vstříkovací technologie. (Aditivní technologie metody Rapid Prototyping, [online])

4.5.1.4 Přehled vlastností jednotlivých technologií Rapid Prototyping

V následující tabulce je shrnuto celkové hodnocení vlastností již zmíněných metod Rapid Prototyping. Tabulka je vytvořena na základě dat z diplomové práce slečny Eleny Belai.

Tab. 3: Celkový přehled vlastností jednotlivých metod RP

	Orientační velikost pracovního prostoru, [mm]	Modelovací materiál	Tloušťka vrstvy, [mm]	Přesnost výtisku modelu [mm]	Základní přednosti	Důležité nedostatky
SLA	600×600×500	Fotopolymer	0,05–0,13	0,01–0,02 na cm	Velké modely, přesné detaily, tenké stěny	Toxický fotopolymer, malá tepelná odolnost
SGC	500×350×500	Fotopolymer, nylon	0,10–0,20	+/-0,084	Lze odfrézovat poškozené vrstvy, nejsou podpory	Malý výběr materiálů
Polyjet	255×252×200 (Objet260 Connex3)	Fotopolymerové materiály s různorodými vlastnostmi	0,016	0,1–0,3	Široké spektrum materiálů	Všechny materiály jsou na bázi fotopolymerů
SLS	350×350×450	Polyamid, polykarbonát, nylon, vosk, atd.	0,02–0,15	+/-0,1	Široké spektrum materiálů, výtisk bez podpor, využití 45 barev během jednoho tisku	Robustné zařízení, pórovitost modelu
3DP	252×204×204 (Zprinter 450)	Sádrový prášek	0,089–0,102	0,1–0,4	Vysoká rychlost, výtisk bez podpor, plnobarevný model	Malý výběr použitých materiálů
FDM	200×200×200 (Fabbster 11.1)	ABS, ABS+, PLA, vosk, cukr, atd.	0,025–0,4	0,1	Více druhů materiálů	Dokončovací práce – podpory
LOM	500×700×300	Fólie tvořené papírem, plastem, kovem, atd.	0,1–0,20	+/- 0,1	Široké spektrum materiálů, snadné obrábění, plnobarevný model	Pracné odstraňování podpor
MJM	300×180×200 (Invision)	Fotopolymer, akrylátový fotopolymer	0,016–0,152	0,02–0,05 na 2,5 cm	Hladký povrch, rychlý tisk, použití 5 barev	Malý výběr materiálů, odstranění podpor
MM3DP	305×152×101	Termoplast	0,0127–0,0762	0,0254	Přesné detaily, složité tvary malých modelů	Výroba velmi malých modelů

4.6 Spojovací techniky pro dřevo a dřevěné materiály

V nábytkářském průmyslu existuje řada spojovacích technik, díky kterým lze docílit různých požadavků od výrobku. Kromě technik je také důležitý samotný materiál spojovacího prvku, což může být samotné dřevo, plast, sklo, tkanina apod. Výroba spojů je závislá především na technologii obrábění a použitých strojních zařízeních. Nejběžnější rozdělení spojů je na rozebíratelné a nerozebíratelné.

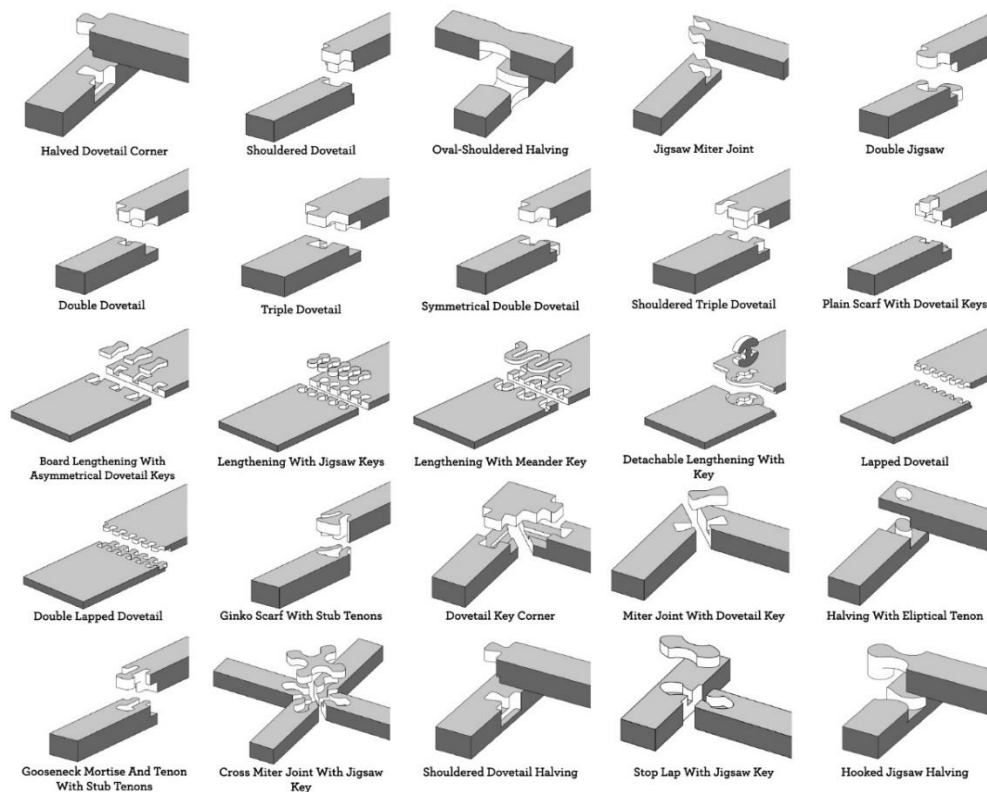
4.6.1 Rozebíratelné spoje

Rozebíratelný spoj je takový, který je možno kdykoliv rozebrat a opětovně složit, aniž by došlo k poškození spojované nebo spojovací části. Jelikož se ve většině případů jedná o rozměrné produkty, je smysluplné, aby daný výrobek šel demontovat. Koncept výrobku bez použití lepidla nebo kovových prvků bývá právě za účelem lehké demontáže. To je ceněno u variabilních výrobků, které se používají buď příležitostně, nebo se může výrobek přestavět do jiného tvaru s odlišnou funkcí.

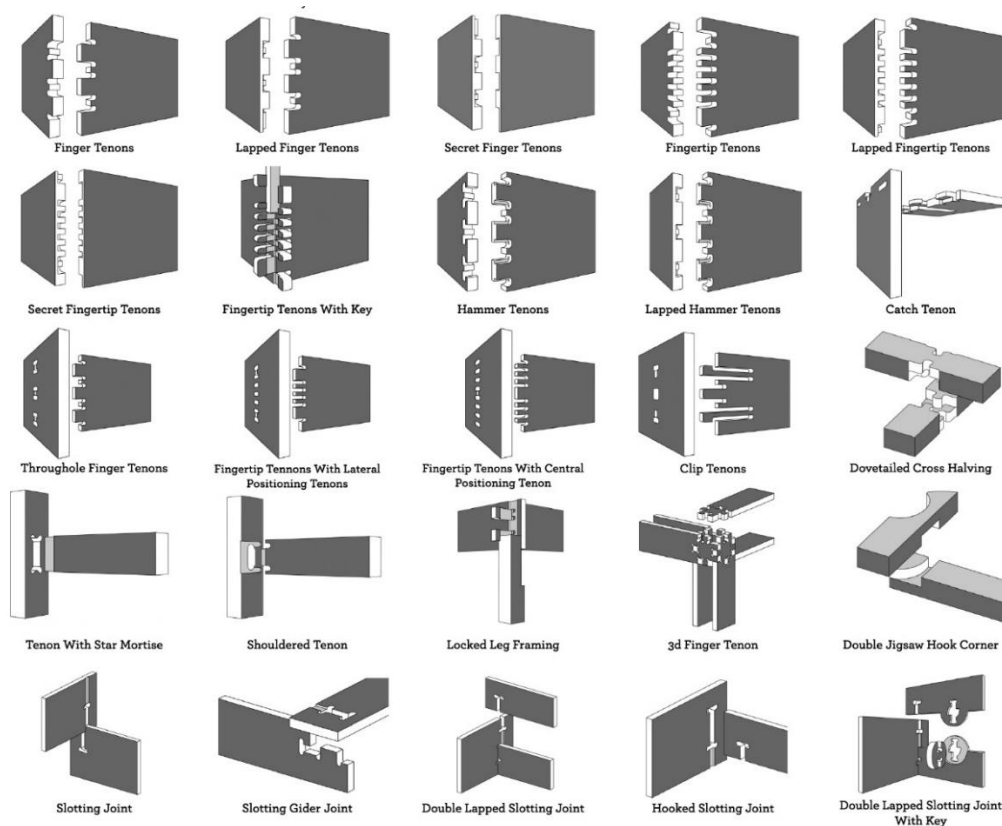
4.6.1.1 CNC spoje

Výroba složitějšího spoje se provádí převážně na CNC stroji. O principu technologie již byla zmínka v předchozích kapitolách. Spoje jsou většinou vytvořeny na velkoplošném materiálu, nejčastěji na překližce. Na Obr. 22 a Obr. 23 je zobrazeno několik variant spojů vytvořených na CNC zařízení. Jde vlastně o klasické čepy, dlaby a ozuby akorát mnohem tvarově složitější, kvůli zvýšení pevnosti konstrukčního spoje.

Takto vyrobené spoje mohou posloužit k dotvoření detailu celého výrobku. Při složitějších tvarech je nutno brát ohled na vlastnosti daného materiálu, aby nedocházelo ke snižování celkové pevnosti. Při tvorbě takových spojů vzniká větší množství odpadu. U zacvakávacích systému se jako nevýhoda mohou jevit vyčnívající části, které by mohly při používání překážet. Čím složitější je spoj, tím jsou kladeny větší nároky na přesnost opracování. Pokud dojde ve spoji k únavě některé z částí, může dojít k výraznému snížení celkové pevnosti.



Obr. 22: Varianty spojů vytvořené na CNC zařízení

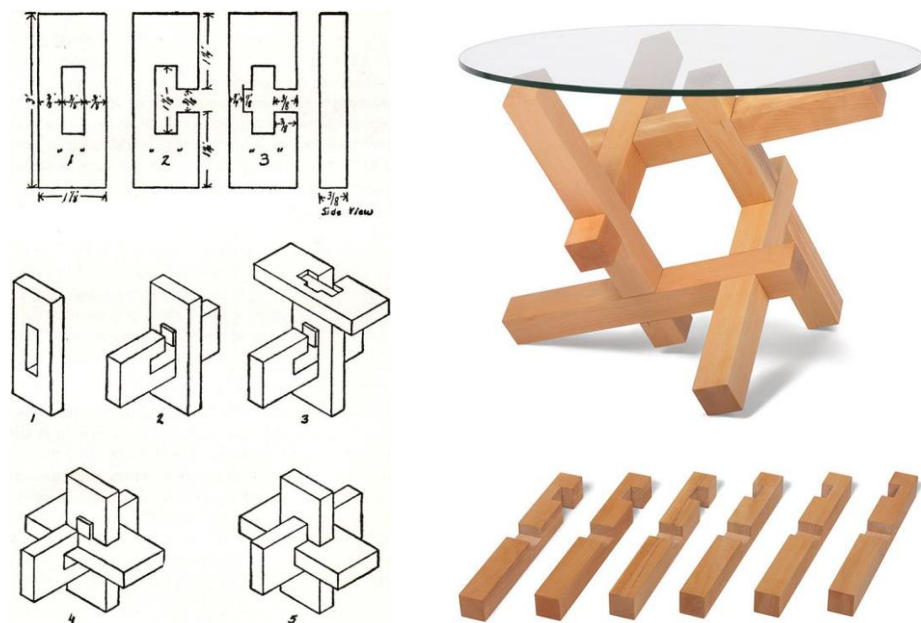


Obr. 23: Varianty spojů vytvořené na CNC zařízení

4.6.1.2 Samosvorné spoje

S CNC spoji úzce souvisí i tzv. samosvorné spoje. Jedná se o spoje, které jsou určitým mechanismem do sebe zaklíněny a udržují si svoji pevnost. Spoj oproti předchozím CNC spojům nebývá až tak složitý. Princip je zde spíše o pracování s polohou umístění jednotlivých segmentů tak, aby celek dosáhl určité pevnosti a stability. Při konstruování je potřeba aplikovat poznatky z matematiky a statiky.

Výroba těchto spojů se odvíjí dle složitosti způsobu spojení. Je-li spoj složitější, je použito CNC zařízení, pokud jde o jednodušší princip, jsou využity jednoúčelové obráběcí stroje.



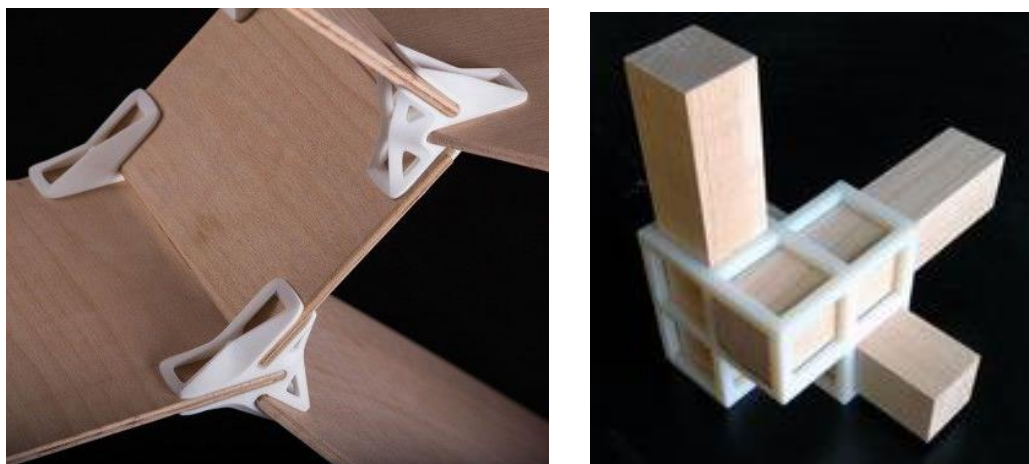
Obr. 24 a Obr. 25: Příklady samosvorných spojů

4.6.1.3 3D tištěné spoje

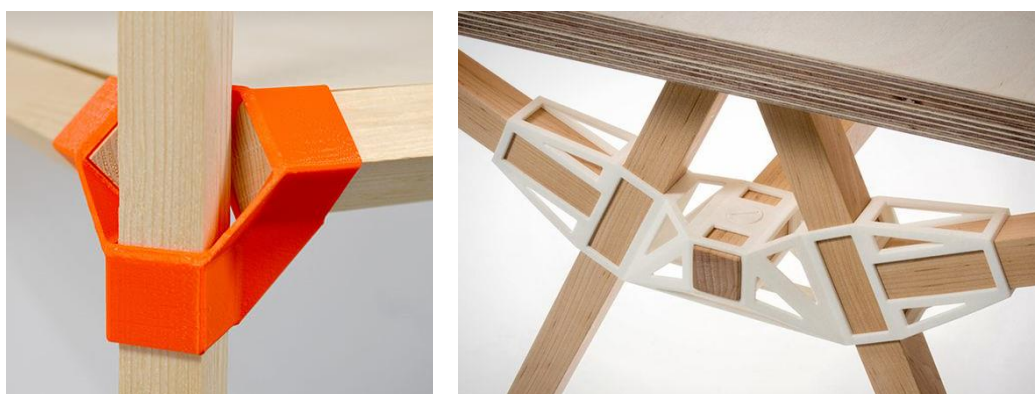
V rámci technologických inovací se do popředí dostává 3D tisk. Je tomu i v oblasti nábytku. Při výrobě se může využít několik technologií a výchozích materiálů (plast, kov, keramika apod.), podle kterých se pak budou odvíjet mechanické vlastnosti vytvořeného dílce. U některých technologií je možnost i barevného tisku.

U klasické výroby je tvorba složitějších spojů časově i z hlediska nákladů náročná. Na 3D tiskárně se dá vyrobit i to, co je pro klasické obráběcí stroje nemožné. Jedná se převážně o tvar. U konvenčního obrábění je tvar omezen tvarem obráběcího nástroje, kdežto u 3D tisku je možné vytvořit jakýkoliv složitý tvar bez zbytečné tvorby odpadu.

3D spoje jsou proto vhodně uplatitelné tam, kde je potřeba rychlé demontáže, snížení hmotnosti výrobku, variability objektu či barevného zpestření. Výrobky pak fungují na principu stavebnice, kterou lze jednoduše a rychle složit či rozložit, popřípadě přetvořit do jiné varianty.



Obr. 26 a Obr. 27: Ukázka tištěných 3D spojů



Obr. 28 a Obr. 29: Ukázka tištěných 3D spojů

4.6.1.4 Spojení pomocí tkaniny

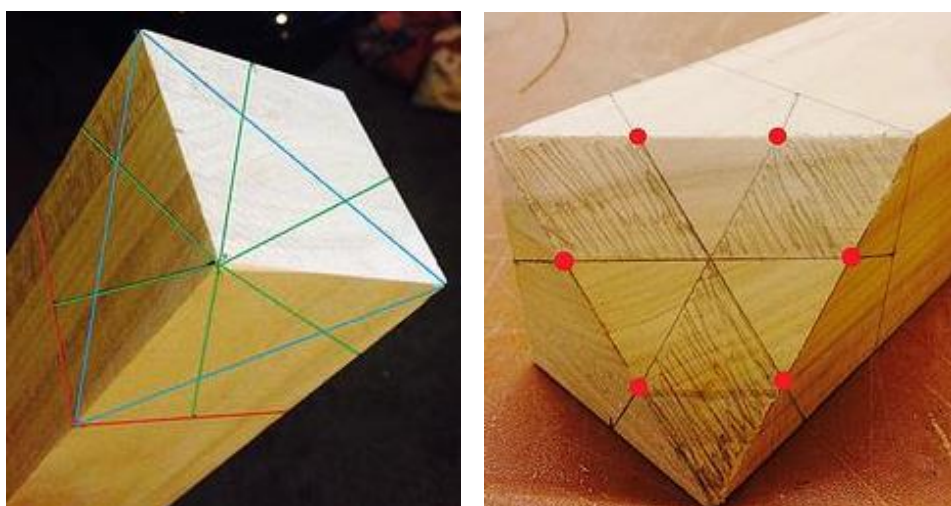
Další způsob spojení, kde není využito lepení ani žádných kovových spojovacích prvků, je spojení pomocí tkaniny. Toto spojení také umožňuje poměrně rychlé složení a rozložení daného prvku. Na Obr. 30 je komoda spojena pomocí klasického upínacího popruhu s ráčnou a na Obr. 31 je konstrukce stolu svázaná pomocí provázku. Když se produkt nebude soudit podle designu, ale podle dané konstrukce, tak řešení může mít pár nedostatků. Nevýhodou může být pružení tkaniny a může docházet ke snižování tuhosti konstrukce. Musí být také dobře zvolené místa, kudy tkanina bude procházet, aby se docílilo požadované pevnosti. Je důležité daná místa zajistit proti vysmeknutí tkaniny. Takové řešení je spíše určeno pro krátkodobější funkci daného nábytku.



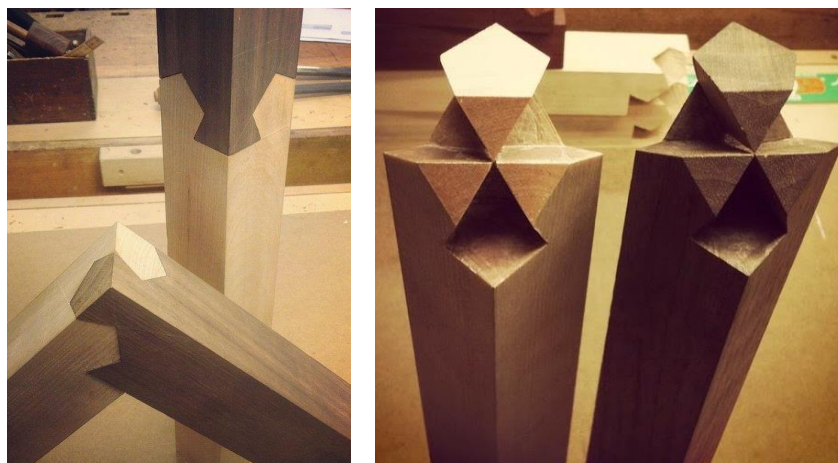
Obr. 30 a Obr. 31: Způsoby spojení využitím tkaniny

4.6.1.5 Kawai Tsugite spoj

Spoj Kawai Tsugite byl navržen japonským učitelem Shinobu Kobayashi. Spoj je unikátní v tom, že se dá spojit ve 3 různých úrovních – na délku a dvě rohové varianty. Princip spoje vychází z geometrie krychle, která je rozdělena na několik pravidelných útvarů viz Obr. 32 a Obr. 33. Ačkoliv tento spoj vypadá důmyslně, má pár nedostatků. Především ve složitosti jeho výroby, pokud nebudou jednotlivé části obrobena téměř dokonale, spoj do sebe nezapadne. Nejlepší volba pro výrobu spoje je použití CNC stroje. Kvůli členitosti spoje jsou dřevní vlákna dílce příliš poškozená. Kolem poškozených vláken vznikají velká napětí, a pokud dojde při zatížení k poškození některé části, spoj ztrácí svoji samosvornost a pevnost. (Woodgears, [online])



Obr. 32 a Obr. 33: Vyznačení geometrie spoje Kawai Tsugite



Obr. 34 a Obr. 35: Složený a rozložený spoj Kawai Tsugite

4.6.2 Nerozebíratelné spoje

Nerozebíratelný spoj bývá většinou řešen pomocí lepidla. V opačném případě se vychází taktéž ze samosvornosti materiálů. Tento typ spojů lze rozložit, ale většinou se opětovně nerozkládá, jelikož by mohlo dojít k poškození některých spojovacích částí a narušení pevnosti konstrukce.

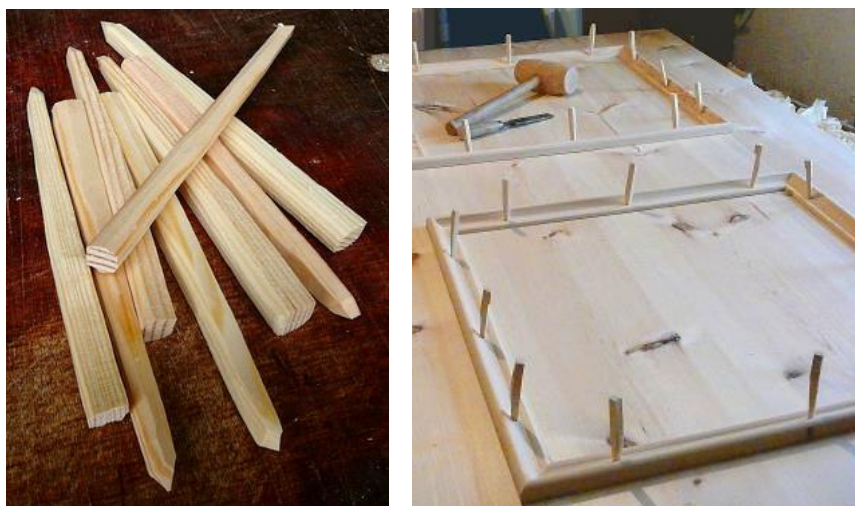
4.6.2.1 Truhlářské spoje

Jde spíše o tradiční spojování materiálu, která se vyvíjela a zdokonalovala celá staletí. Většina spojů vychází z tesařských technologií, která jsou pevná a prověřená. Při vzniku spoje jsou použity tradiční nástroje.

4.6.2.1.1 Dřevěné hřebíky

Starý způsob spojování různých lišt, dílů nábytkových korpusů, zad na korpusy nebo prken na rámy. Dřevěné hřebíky našly široké uplatnění, jelikož si je mohl každý řemeslník vyrobit sám podle potřeby a prakticky zadarmo. Výhodou je použití materiálu o stejné tvrdosti spojovaného. Při namáhání nedochází k otláčování a uvolňování spojovacího prvku, jak to často bývá u kovových. V případě nutné opravy stačí hřebíky pouze odvrtat a nahradit novými.

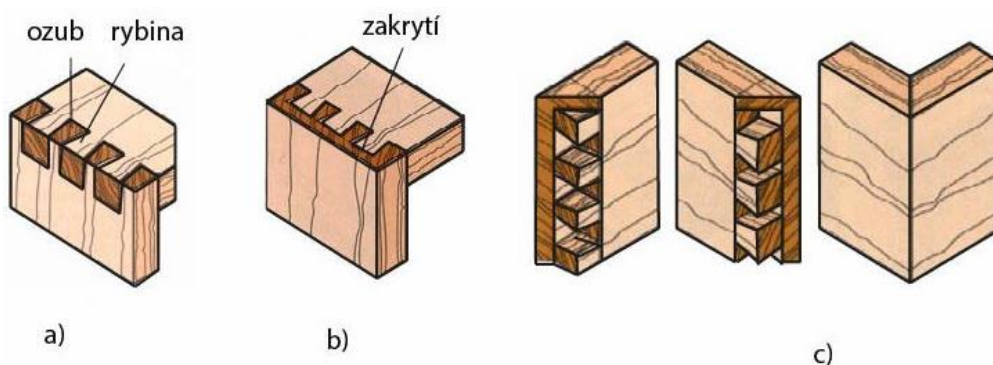
Použití je velmi snadné, spojované díly se přiloží k sobě a provrtají. Poté se do otvoru narazí dřevěný hřebík. Přechínající konce se zaříznou a upraví do roviny např. dlátem či hoblíkem. (Truhlářství postaru, [online])



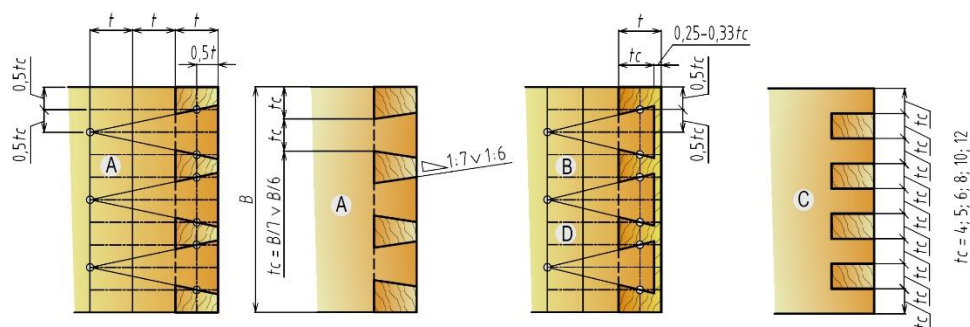
Obr. 36 a Obr. 37: Ukázka dřevěných hřebíků a jejich použití

4.6.2.1.2 Spojování ozuby

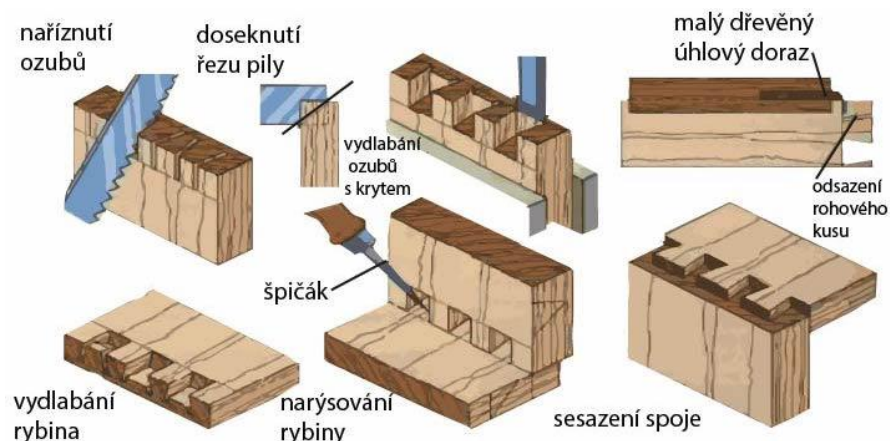
Spojování ozuby je spojení desek pomocí vícenásobných klínovitých (rybiny) nebo rovných čepů (sdružené čepy). Tohle spojení se volí ke spojování desek z masivního dřeva, neboť desky mohou neomezeně sesychat a bobtnat bez přílišného borcení. Ozuby jsou samosvorné spoje a při spojování není potřeba stahovacích přípravků. Mohou být otevřené, polokryté nebo celokryté. Záleží na povaze výrobku, buď se spoj nepřizná, nebo utvoří dekorativní prvek. (Konstrukční spoje, [online])



Obr. 38: Druhy ozubů – a) otevřené, b) polokryté a c) celokryté

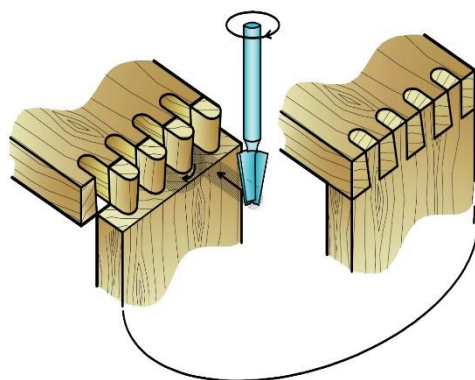


Obr. 39: Základní geometrické parametry jednotlivých typů ozuby



Obr. 40: Tradiční výroba polokrytého ozubu

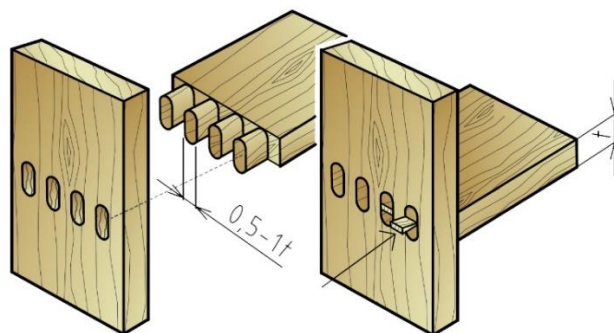
Tloušťka krycí části desky by měla činit asi 1/4 až 1/3 tloušťky dřeva.



Obr. 41: Výroba otevřeného ozubu stopkovou frézou

Na ozubovacích frézách mohou být při jednom pracovním kroku vyfrézovány ozuby a rybiny svlakovou frézou, která je vedena vodícím kolíčkem kolem kužele. Vzhledem k tvaru frézy získají ozuby zaoblené dno. Na ozubovacích frézách lze vytvářet otevřené a polokryté ozuby. (Konstrukční spoje, [online]) Zkosení rybiny je 1:6 až 1:7, což odpovídá sklonu 8° až 9° . (Holouš a Máchová, 2013)

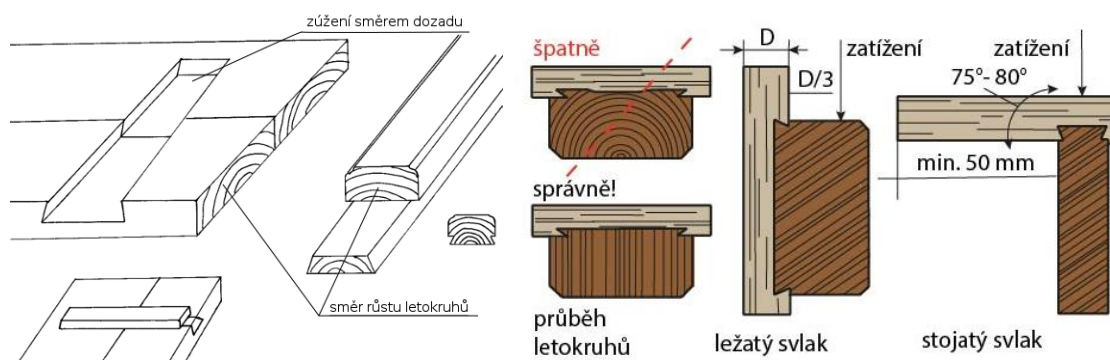
Rovné sdružené čepy jsou vhodné i na středový T spoj. Pro lepší držení se mohou čepy zajistit dřevěnými klínky, které se pak zabrousí do roviny s vnější plochou dílce. Je třeba dbát na to, aby byly klínky naraženy napříč dřevním vláknům dané strany. (Holouš a Máchová, 2013)



Obr. 42: Středový T spoj na sdrúžené čepy zajištěny klínky

4.6.2.1.3 Spojení na svlak

Svlak má různá využití, může se použít ke zpevnění a zabránění kroucení širokých desek, nebo také jako konstrukční spoj nábytkových korpusů. Ve spojovaném materiálu je vytvořena drážka rybinového profilu (šířka se rozširuje směrem dovnitř hloubky materiálu). Samotný svlak tvoří hranol, který má na spodní straně upravený profil tak, aby pasoval do vytvořené drážky. Správně vyrobený svlakový spoj by měl umožnit pohyb desek a svlaku při změnách vlhkosti dřeva, aniž by došlo k poškození. Při výrobě je třeba dbát na směr letokruhů, aby bylo docíleno zpevnění při sesychání svlaku. U tohoto spoje se nikdy nepoužívá lepidlo, jelikož by spojované desky při změně vlhkosti mohly popraskat. (Truhlářství postaru, [online])



Obr. 43 a Obr. 44: Svlakový spoj

Svlakový spoj se dá využít i pro konstrukční spojení dvou desek do tvaru písmene T. Jeho životnost závisí ve velké míře na správném provedení svlaku a svlakové drážky. Uprostřed jedné desky je napříč letokruhům vyfrézovaná nebo vyřezaná rybinová drážka a na čelu druhé desky je vytvořen svlak, díky němuž se deska napevno zasune do drážky druhé desky. Drážka by měly být alespoň 30 mm od konce dílu. Sklon vyfrézovaného svlaku by měl odpovídat úhlu 75 až 80 stupňů, aby se nemohl ustříhnout. Takto se dají sestavovat například korpusy skříněk či regálů. (Truhlářství postaru, [online])

5 VYBRANÁ SKUPINA NÁBYTKU

Pro praktickou část této práce byla vybrána skupina úložného nábytku. Jelikož se stále obklopujeme více a více věcmi, je důležité mít je také někam odkládat. Úložný nábytek lze rozdělit podle zařazení a to na jednotlivý (solitér), dílcový, sektorový, vestavěný či kombinace prvků ostatních skupin. Lepší rozdělení je ale podle dané funkce vzhledem k rozmanitému využívání úložných prostor. Buď věci potřebují někam uložit a nebyť viděny, nebo dané věci zpříjemňují a detailně dotváří dojem interiéru. Proto často bývá úložný nábytek reprezentativním prvkem interiéru a často vypovídá o lidech, kteří prostor obývají.

5.1 Analýza požadavků úložného nábytku

5.1.1 Ergonomie a antropometrie

Ergonomie a antropometrie jsou vědní obory, které spolu úzce souvisí, jelikož jejich hlavním tématem je s člověk.

Ergonomie je způsob myšlení, které respektuje člověka ve všech jeho činnostech – pracovních i nepracovních. Je to nauka o vzájemném působení mezi člověkem a jeho pracovním a životním prostředím. (Hájek, 2004)

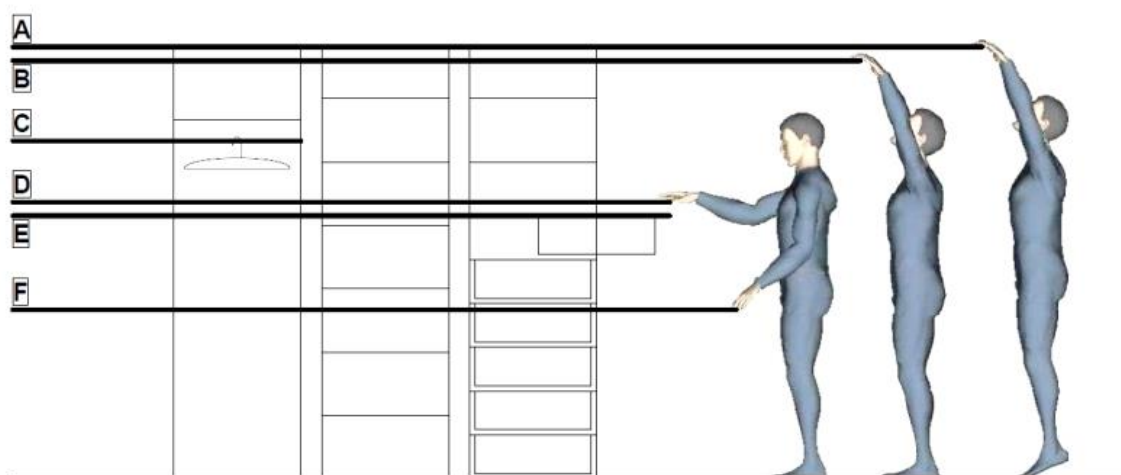
Antropometrie je obor, který zkoumá rozměry lidského těla, jelikož měřítkem všech věcí je právě člověk. Rozměry lidského těla jsou důležitým kritériem při správném navrhování a dimenzování jakéhokoliv produktu. Pokud jsou rozměry výrobku v souladu s proporcemi lidského těla, je zaručena optimální funkčnost daného předmětu s uživatelem. (Antropometrie, [online])

Při navrhování výrobku je důležité si nadefinovat a určit požadavky cílové skupiny lidí, kteří budou daný předmět používat. Populace lidí se stále vyvíjí a rostou rozdíly mezi jednotlivými pohlavími či kulturami. Výsledný návrh by tedy měl mít takové rozměry, které uspokojí uživatele při používání bez jakékoliv fyzické námahy. Nejenom člověk určuje velikost, ale také by měly být dané rozměry v souladu se samotnou funkcí ukládání. Jelikož je skupina předmětů v domácnostech velice různorodá, je obtížné stanovit ideální rozměry úložného prostoru.

V této práci se bude jednat o úložný prostor, který bude tvořit samostatný prvek interiéru. Bude sloužit jako reprezentativní kus nábytku, ve kterém budou uloženy různé

věci – knihy, časopisy, květiny, boxy, dekorační předměty, fotografie a další. Z hlediska rozměrů půjde převážně o výšku a hloubku jednotlivých úložných prostor. Hloubka polic může být prakticky libovolná, ale ideální rozmezí pro dané předměty by bylo od 250 do 450 mm. Co se týče výšky jednotlivých polic, existují obecně platné ergonomické zásady (Úložný, [online]):

- nejčastěji používané věci jsou ukládány do zóny mezi pasem a rameny
- méně používané jsou v zóně mezi pasem a koleny
- zřídka používané v oblasti spodních nebo horních pater úložného prostoru
- velmi zřídka používané věci v zóně, kde je potřeba použití stoličky, či schůdků



UNISEX

Výškové rozdělení úložných prostorů vstojie					
Velikost	(XS)	S	M	L	(XL)
Výška postavy +/- 5cm	(155 cm)	165 cm	175 cm	185 cm	(195 cm)
A	181,0 cm	192,5 cm	204,5 cm	216,0 cm	226,0 cm
B	175,0 cm	186,5 cm	198,0 cm	209,0 cm	220,5 cm
C	141,5 cm	150,5 cm	160,0 cm	169,0 cm	178,0 cm
D	116,0 cm	123,5 cm	131,0 cm	138,5 cm	146,0 cm
E	110,0 cm	117,5 cm	124,5 cm	131,5 cm	139,0 cm
F	71,0 cm	75,0 cm	80,0 cm	84,5 cm	89,0 cm

Výškové rozdělení úložných prostorů vstojie	
A	Maximální dosah na špičkách
B	Maximální dosah vstojie
C	Snadný dosah vstojie
D	Optimální výška polic vstojie
E	Optimální umístění zásuvek
F	Minimální výška polic pro snadný dosah vstojie

Obr. 47: Výškové rozdělení úložného prostoru

5.1.2 Bezpečnostní požadavky

Bezpečnost nábytku řeší v obecné rovině zákon č. 102/2003 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků a dále ČNS 91 0100 Nábytek – Bezpečnostní požadavky. Ve zkratce nábytek nesmí představovat při obvyklém použití žádná nebezpečí úrazu po celou dobu jeho životnosti.

Nábytek musí být řešen tak, aby při manipulaci s nezatíženým výrobkem a při běžném užívání výrobku bez zatížení ukládanými předměty, nedošlo ke ztrátě jeho stability, převrácení a pádu. Nábytek musí splňovat specifické požadavky stability (zásuvky, dveře aj.) dle zkušebních metodik ČSN EN 14749, ČSN EN 14073–2, ČSN EN 14073–3. Všechny hrany a rohy musí být bez otřepů a zaoblené R 1 mm nebo sražené. Otvory přesahující průměr 4 mm musí být opatřeny krytkou či zcela uzavřeny. Police musí být zajištěny proti vypadnutí v nezatíženém stavu a musí být dimenzovány proti nežádoucímu průhybu polic při trvalém zatížení. Hodnoty povoleného průhybu jsou uvedeny v normě ČSN 91 0001. Police nesmí být uvedeny do pohybu horizontální silou působící ve středu přední horní hrany odpovídající polovině hmotnosti prázdné police. V jakémkoliv místě vzdáleném 25 mm od předního okraje smí působit zatížení o síle 100 N, aniž by došlo k naklonění police.

V místech, kde je předpokládán častý pohyb dětí je nutno prověřit nábytek, zda je v souladu s ISO/IEC POKYN 50 Bezpečnostní aspekty – Směrnice pro bezpečnost dětí. Eliminovány musí být úrazy vlivem pádu součástí nábytku, nevhodných mezer, střížných míst a skulin. (Bezpečnost, [online])

6 VLASTNÍ ŘEŠENÍ NÁVRHU DANÉHO NÁBYTKOVÉHO PRVKU

6.1 Základní koncepce – filozofie návrhu

V současné době o úspěšném produktu rozhoduje hned několik faktorů. Jsou to zejména funkční parametry, ergonomie, design, ale také i ekonomické parametry výroby a rychlost uvedení produktu na trh. Tyhle parametry je důležité aplikovat do budoucího návrhu výrobku.

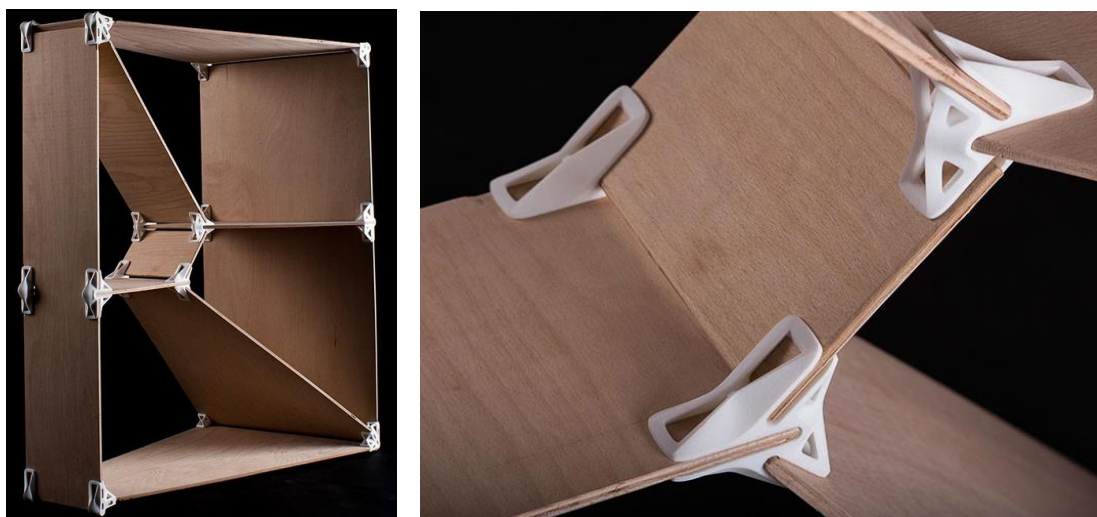
Cílem práce je vytvoření úložného policového systému bez použití lepených a kovových spojů, který bude sloužit jako reprezentativní kus nábytku v interiéru. Konečným uživatelem budou všichni, kteří dávají rádi na obdiv své předměty. Policový systém bude sloužit jako samostatně stojící prvek.

Návrh by měl splňovat dané vlastnosti:

- možnost modularity
- jednoduchá montáž bez použití nářadí a složitého návodu
- malý počet dílů
- použití recyklovatelného materiálu
- cenová dostupnost
- elegantní design

6.2 Rešerše řešení policových systémů

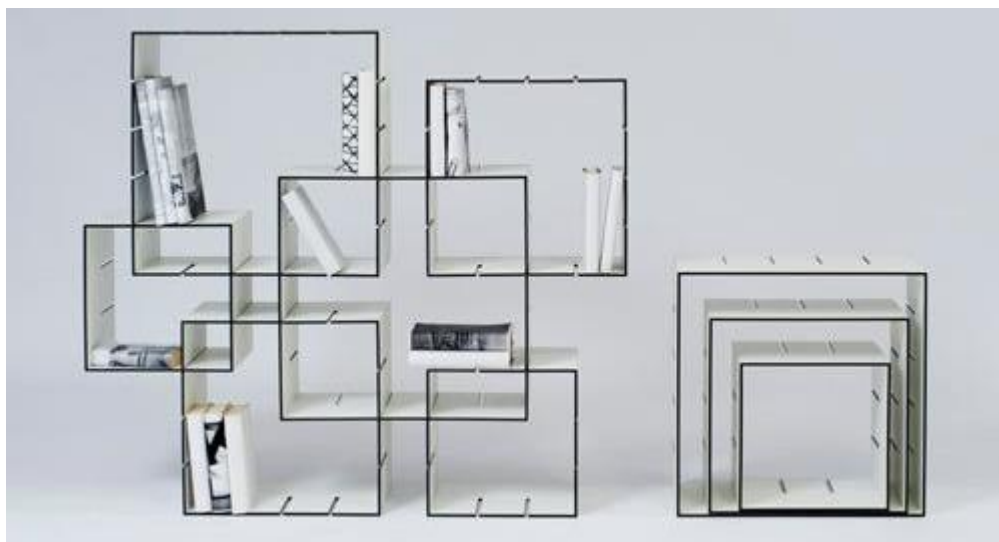
V následující rešerši budou zahrnuty policové systémy různých typů, které autora práce zaujaly svým tvarem, použitým konstrukčním řešením, materiálem, technologií nebo samotným designem výrobku.



Obr. 48 a Obr. 49: Policový systém s použitím 3D tištěného spoje – Ollé Gellért



Obr. 50 a Obr. 51: Policový systém The Nooks s použitím 3D tištěného spoje – Michael Bernard



Obr. 52: Policový systém Konnex – Florian Gross



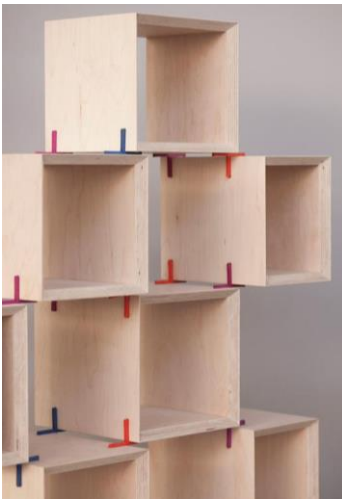
Obr. 53 a Obr. 54: Policový systém Build – Movisi



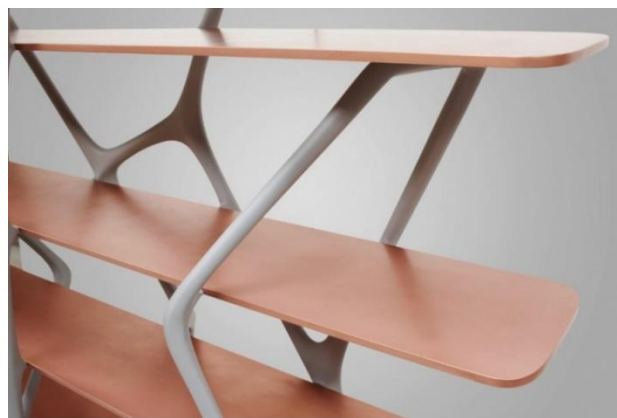
Obr. 55 a Obr. 56: Policový systém – Pedersen a Lennard



Obr. 57 a Obr. 58: Policový systém Italic shelf – Ronen Kadushin



Obr. 59 a Obr. 60: Policový systém The + Shelf – Instructable



Obr. 61 a Obr. 62: Policový systém Naturoscopie - Noé Duchaufour-Lawrance

6.3 Analýza vhodnosti materiálu

Navrhnout originální design je velmi obtížné. Inovativní způsob může být v použití nového materiálu, netradiční kombinací materiálů nebo využití nové technologie. V dnešní době je víc a víc kladen důraz na životní cyklus výrobku a s tím úzce související ekologií. Výrobek, který je zcela z recyklovatelného materiálu, by měl být jak u výrobců, tak i u uživatelů vítaný.

První fází výběru materiálu je návrh požadavků pro materiálovou skladbu. Ta je v tomto případě složena ze tří komponentů – nosná konstrukce, spojovací element a úložná plocha. Požadavky na tyto části jsou následující:

- nízká hmotnost – snadnější manipulace
- pevnost a tuhost konstrukce
- tuhost úložných prostor
- recyklovatelnost použitého materiálu
- cenová dostupnost celkového výrobku
- snadná údržba úložných prostor

Zvolené požadavky byly analyzovány pomocí publikací Ashbyho, o kterých již byla zmínka v teoretické části této práce. Z grafů vztahů mezi jednotlivými vlastnostmi různých materiálů vyplynulo, že jako nejideálnější materiál pro konstrukci bude některý přírodní materiál. Aglomerované materiály jsou zavrhnuty kvůli použití lepidel na bázi formaldehydu a jeho toxicitě na zdraví člověka a nemožností tyto materiály dále recyklovat. Ideálním adeptem je tedy dřevo, které má dostačující mechanické vlastnosti při jeho poměrně malé hmotnosti. Je to obnovitelná surovina, která se dobře opracovává a lze ji plně recyklovat. Škála dřevin je široká a liší se svými vlastnostmi, proto je možné vybrat si správnou dřevinu pro výrobu daného produktu.

Tab. 4: Přehled dřevin a jejich mechanických vlastností

	hustota [kg / m ³]	TAH		TLAK		OHYB		SMYK
		*	┘**	*	┘**	MOR ***	MOE ****	
		[MPa]						
jedle	430	78	1,4	33	4,7	67	9 600	5,5
smrk	440	84	1,5	30	4,1	60	9 100	5,3
borovice	530	102	2,9	54	7,5	98	11 750	9,8
modřín	600	105	2,2	54	7,3	97	13 500	8,8
topol	340	84	1,5	35	3	64	10 700	7,6
osika	460	100	2,7	47	2,6	77	10 700	7,7
vrba	520	83	2,4	36	3,4	65	9 800	6,7
lípa	540	83	4,9	51	1,8	104	7 300	4,4
olše	550	92	2	54	6,4	83	11 500	4,4
kaštanovník	610	121	5	49	5	75	8 800	7,8
javor	630	100	5,2	45	6,4	97	10 300	9,8
jilm	670	84	3,9	55	9,8	87	10 800	6,9
orešák	690	98	3,5	71	11,8	124	12 300	6,9
jasan	700	142	6,9	51	10,8	118	13 100	12,5
dub	700	108	3,3	42	11,5	116	11 600	12,7
buk	720	130	3,5	46	7,9	104	13 100	12,3
bříza	730	134	6,9	50	10,8	134	16 100	11,8
akát	760	133	4,2	70	18,6	102	11 000	12,5
habr	820	153	3,8	54	16,7	140	14 700	16,9

Zdroj: Ústav nauky o dřevě, LDF, podklad pro výuku, 2003

*rovnoběžně s vlákny, **kolmo na vlákna, ***Mez pevnosti dřeva v ohybu, ****Modul pružnosti dřeva v ohybu

Z tabulky o přehledu dřevin a jejich mechanických vlastností je možno vyčíst jisté favority. K poměrně nízké hustotě dosahuje borovice velmi příznivých hodnot u jednotlivých mechanických vlastností. Nevýhodou u borovice a celkově u jehličnanů je ten, že se při obrábění mohou vyštípnout dřevní vlákna, čímž se zhorší konečné opracování. U dřev s vyšší hustotou se mechanické vlastnosti zlepšují. Kvůli vysoké ceně jsou zamítnuty dřeviny ořechu a dubu. Nejvyšších hodnot dosahuje dřevo břízy. Její cena je poměrně nízká, ale při opracovávání bývá dřevo velmi třepivé. Poslední vhodnou dřevinou je jasan a buk. Jasan se svojí nízkou hustotou dosahuje vyšších hodnot u vybraných vlastností, ale jeho cena je poněkud také vyšší. Nejvhodnější dřevinou pro daný výrobek by bylo bukové dřevo, které svými vlastnostmi nejvíce odpovídá navrhovaným požadavkům.

Co se týče úložné části, tak vhodným materiálem by mohl být plast. Dostává se do interiéru jako účinná a levnější náhrada přírodních materiálů. Plasty se vyznačují velkou

variabilitou vlastností podle jejich chemického složení. Působí stále jako nový, je lehký a velmi snadno se udržuje. Jeho výroba je nenáročná, levná a rychlá. Obrovskou výhodou je jednoduchá recyklace plastových produktů, což přináší nekonečné využití a snížení množství produkovaného odpadu. (Plasty, [online])

Na trhu je několik druhů plastů s různými vlastnostmi. Při zkoumání nejlepší varianty byli vybráni tři zástupci – PVC (polyvinylchlorid), PE (polyethylen) a PP (polypropylen). Polyvinylchlorid patří k nejrozšířenějším plastům, který se uplatňuje v mnoha oborech. Je to odolný a snadno zpracovatelný materiál, který lze levně vyrobit. Nicméně je tu velký problém z hlediska ekologie. PVC se víceméně nedá recyklovat. Problematické je jak skladování (uvolňování toxických aditiv), tak jeho spalování (vznik agresivních zplodin a toxických látek – fosgen, dioxiny). (Jakými způsoby lze recyklovat PVC?, [online])

Na rozdíl od PVC nemá polyethylen ani polypropylen negativní vliv jak na životní prostředí, tak ani na zdraví člověka. Při srovnání polypropylen předstihne svými mechanickými vlastnostmi polyethylen, tudíž by mohl být vhodným řešením.

Jelikož má navrhovaný produkt být bez kovových a lepených spojů, jsou na výběr dvě možnosti. Buď bude spoj tvořen samotným konstrukčním materiálem jako samosvorný, nebo se vytvoří další díl ve formě spojovacího elementu. Jak již bylo na začátku psáno, inovativním způsobem může být právě volba soudobé technologie, kterou je právě již několikrát zmiňovaný 3D tisk. Touhle cestou by mělo být řešeno konstrukční spojení. Vybranou metodou 3D tisku je rozšířená FDM (Fused Depositing Modeling), která funguje na principu nanášení roztaveného drátu a již mnoho nadšenců má takové zařízení i doma.

Kvůli požadovaným vlastnostem byl zvolen termoplast akrylonitrilbutadienstyren (ABS). Jedná se o jeden z nejpoužívanějších materiálů pro 3D tisk metodou extruze polymeru, včetně technologie FDM. Jeho výhodou je především tuhost, odolnost vůči nízkým i vysokým teplotám a chemikáliím, mechanickému poškození a je také zdravotně nezávadný. Tento materiál lze obarvit různými barvivy či pigmenty. (ABS, [online])

6.4 Vyhodnocení rešerše – východiska vlastního řešení

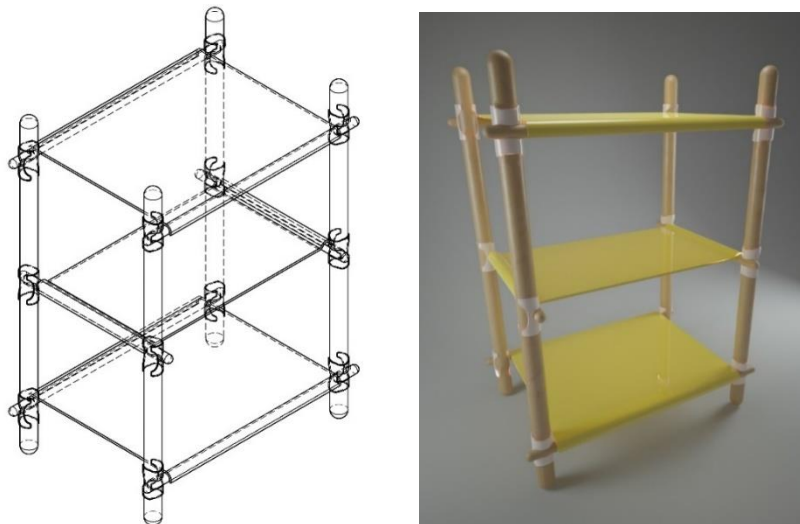
Po určení požadavků a zhodnocení vhodnosti materiálu následuje další fáze návrhu. Ta se skládá z hledání celkového tvaru policového systému, řešení vybrané konstrukce včetně spojů a upevnění polic a konečného ověření funkčnosti zvolených řešení.

Na základě rešerší policových systémů bylo zjištěno, že jsou dvě možnosti, jak sestavit výslednou konstrukci. První možností je využití samosvorností materiálu a druhou je použití dalšího konstrukčního prvku. V prvním případě se jedná převážně o křížení jednotlivých částí a hledání tvaru, aby daná konstrukce fungovala. U této možnosti jsou vyšší nároky na přesnost opracování a ve většině případech se jedná o aglomerované velkoplošné materiály, které jsou problematicky recyklovatelné. Je tedy zvolena varianta použití dalšího konstrukčního komponentu, který bude vyroben technologií 3D tisku.

Z množství návrhů od organických tvarů až po rovné geometrické linie vznikl návrh, který je jejich kombinací. Základní charakter úložného prvku je zachován. Bude se jednat o klasický policový systém, kde jednotlivé police budou uloženy v pravidelných úrovních. Celková konstrukce bude z masivního dřeva, které bude ve tvaru kruhového profilu. Jelikož při rešerší nebylo nalezeno moc konstrukčních řešení spojení dřevěných tyčí, naskytla se výzva, jak dané spojení vyřešit. Jednotlivé možnosti spojení byly načrtnuty, kde byla nakonec zvolena jedna varianta řešení, která se následně dále rozpracovala.

6.5 Vlastní konstrukční řešení

Z hlediska zvolených požadavků na policový systém se celá konstrukce skládá z hlavních nosných tyček většího průměru, nosných tyček polic menšího průměru, spojovacích prvků a samotných polic viz následující obrázky.

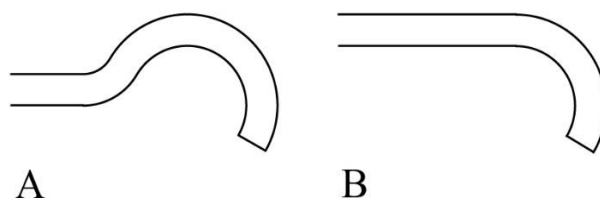


Obr. 63: Orientační vyobrazení konceptu policového systému

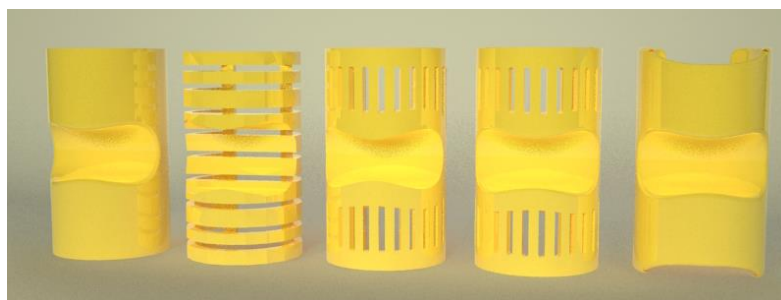


Obr. 64: Znázornění principu montáže

Princip konstrukce je zvolen tak, že v hlavních nosných částí jsou zhotovené drážky, do kterých se nacvakne navrhovaný plastový spojovací prvek, který v sobě také má drážku pro nosné části polic. Poté jsou postupně přidávány tyče menšího průměru, které jsou dvojí délky. V každé výškové úrovni policového systému jsou horizontálně uloženy tyče po dvou kusech. Jednotlivé páry jsou orientovány kolmo na sebe z důvodu celkové pevnosti a stability konstrukce. Nakonec jsou položeny police, které jsou dvojího typu. Rozdíl je v typu koncového zahnutí. Jedny rozevívají tyče směrem ven a ty druhé naopak svírají směrem dovnitř kvůli dalšímu celkovému zpevnění výrobku. Konce jednotlivých tyček jsou z hlediska designu zakulacené a pro usnadnění montáže a samotné výroby. Jednotlivé drážky jsou zhotoveny symetricky po celé výšce.



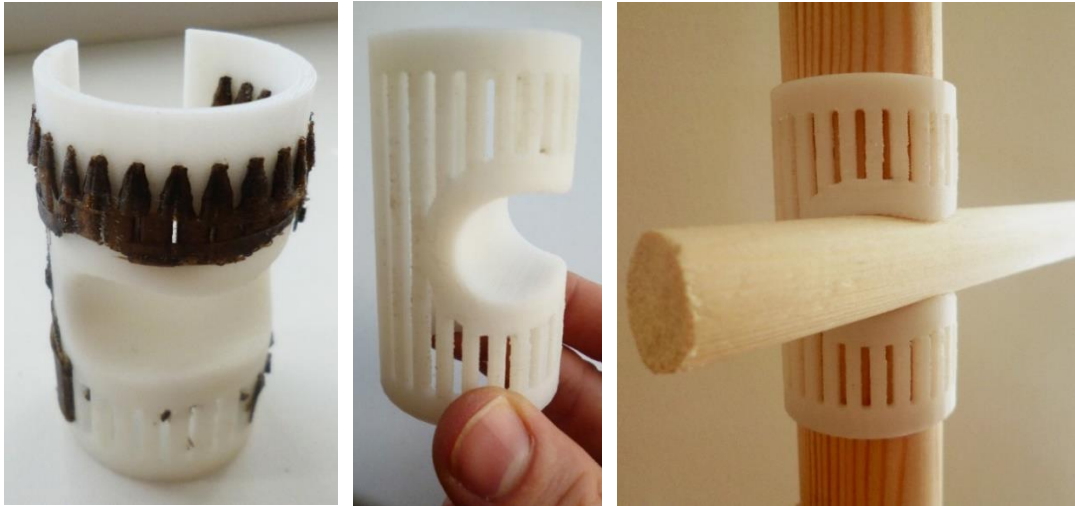
Obr. 65: Typy navrhovaných zakončení polic



Obr. 66: Vývoj návrhu spojovacího prvku

Při návrhu spojovacího prvku vzniklo několik variant, které se pak dále zkoušely a upravovaly. Díky vybrané technologii 3D tisku nebylo žádné omezení vůči výslednému tvaru prvku. Nicméně byl zvolen jednoduchý tvar duté trubky. Od tvaru se požaduje pružnost, aby došlo k ideálnímu obepnutí nosných částí obou typů a zajištění dostatečné pevnosti spoje.

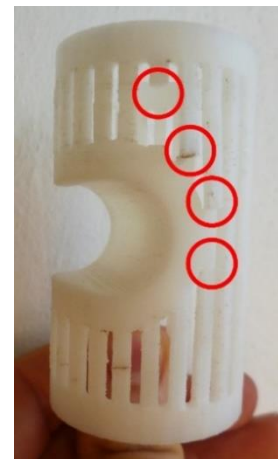
Po zvolení předpokládaného funkčního tvaru se spojovací prvek vymodeloval v softwaru AutoCAD. Poté následoval převod objektu do formátu STL, který je podporován zařízeními pro 3D tisk. Ve spolupráci s 3D studiem FaVU VUT Brno je tisk prováděn na 3D tiskárně Dimension SST 768.



Obr. 67: První varianta konstrukčního spoje

Výše umístěné obrázky zobrazují první vytištěnou variantu spoje a zkoušku jeho funkčnosti. U zvolené technologie FDM (Fused Deposition Modeling) vzniká model postupným nanášením plastového materiálu po tenkých vrstvách dle geometrie tisknutého prvku. V místech dutin a převislých částí tiskárna automaticky nanáší podpůrný materiál (Obr. 67), který se po vytištění mechanicky odstraní nebo rozpustí ve speciální lázni. Plastové vlákno bylo nanášeno ve vodorovných vrstvách vůči výšce spoje.

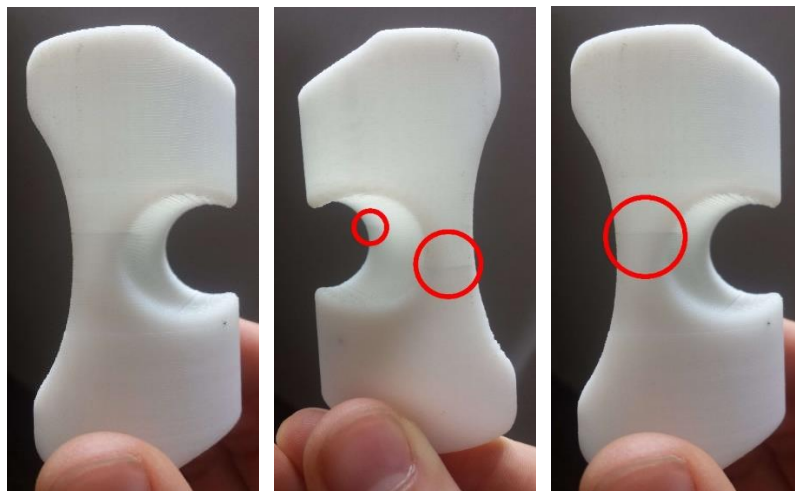
Daná varianta je ve tvaru rozevřené duté trubky o tloušťce stěny 2,5 mm. Z důvodu zajištění vyšší pružnosti materiálu byly zvoleny svislé perforace po celém obvodu spojovacího prvku. Bohužel bylo zvoleno příliš úzké rozevření prvku, a tak při zkoušce nasazení došlo k porušení materiálu v místech perforací, kde vzniklo příliš velké napětí (Obr. 68).



Obr. 68: Porušení v materiálu první varianty

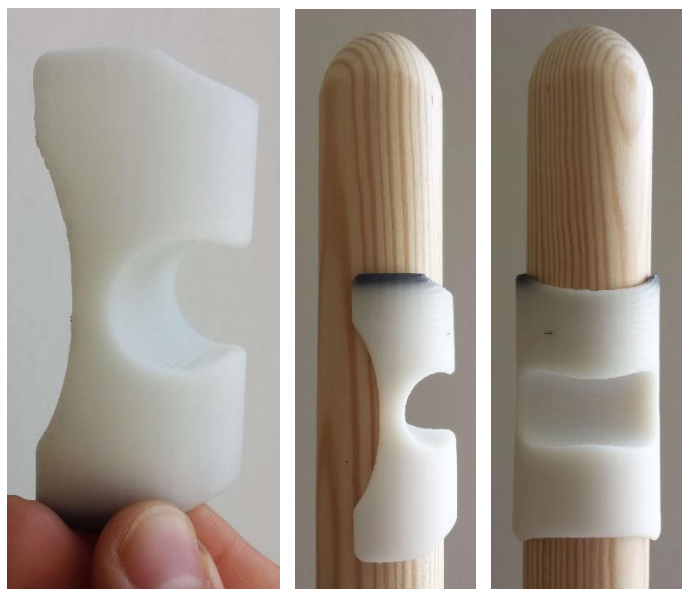
Jelikož bylo zjištěno, že samotný materiál ABS je v dané tloušťce 2,5 mm celkem pružný, byly zvolené perforace zavrhnuty. Celkový tvar byl tedy upraven tak, aby se dospělo ke snížení napětí ve střední části spojovacího prvku. Došlo také ke zvětšení rozevření a zaoblení veškerých hran pro snížení tření při nasazování. Na následujících obrázcích lze vidět další vytištěnou variantu s navrhnutým tvarem. Je zde označeno i porušení v materiálu, které je opět ve střední části konstrukčního spoje. Toto poškození

vzniklo až po pár nasazení na hlavní nosnou část. Příčinou poškození je stále malé rozevření daného tvaru.



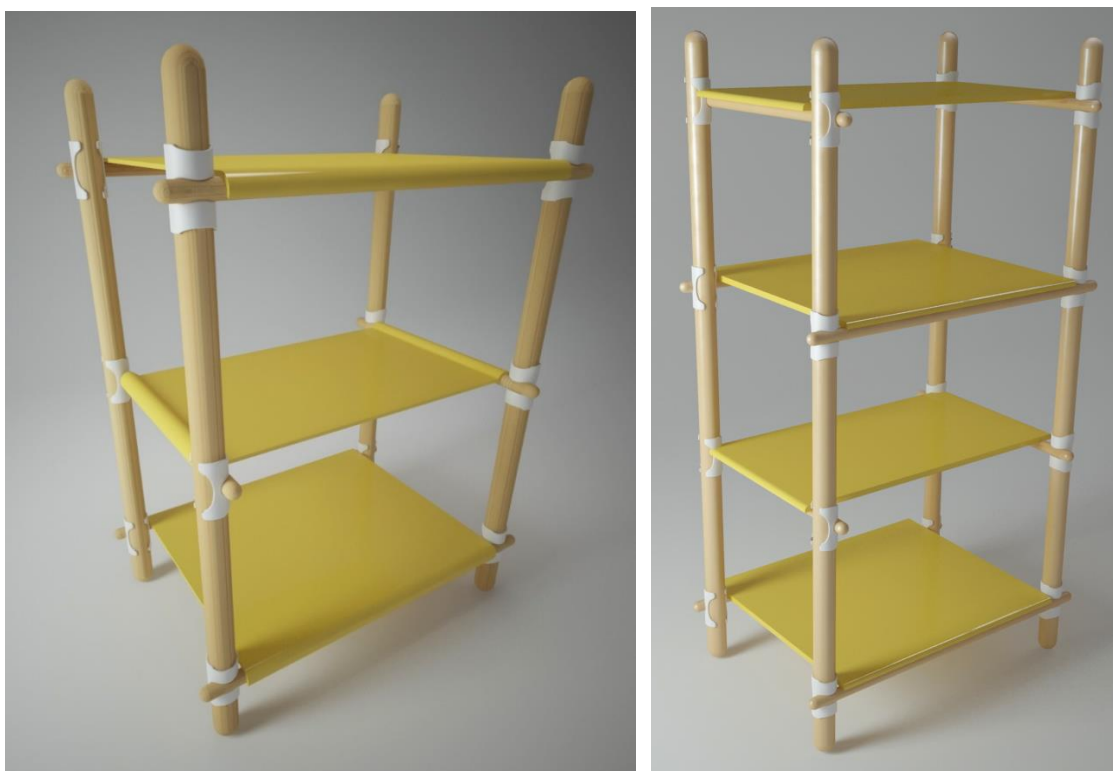
Obr. 69: Druhá varianta konstrukčního spoje a její porušení v materiálu

Po dalších úprav rozevření a ubrání materiálu ve středové části se došlo k finální podobě spojovacího prvku (Obr. 70). Cílem bylo jednoduché nasazení a sundání z nosné části, které se tímto tvarem dosáhlo. U upnutí tyče menšího průměru nebyl viditelně žádný problém již od první varianty spoje.



Obr. 70: Finální varianta konstrukčního spoje

6.6 Vizualizace variant návrhu policového prvku



Obr. 71: Varianta č. 1 (výsledný prototyp) a varianta č. 2



Obr. 72: Varianta č. 3 s ukázkou možností barevné hravosti



Obr. 73: Varianta č. 4 a varianta č. 5



Obr. 74: Ukázka užití policového systému (varianta č. 4)

6.7 Výroba prototypu

Aby bylo možné ověřit si celý koncept navrhovaného spoje, je důležité vyzkoušet si princip přímo na modelu v reálné velikosti. Zkušební prototyp policového systému bude složen pouze ze tří úrovní polic. Celková konstrukce bude složena ze čtyř hlavních nosných tyčí o průměru \varnothing 35 mm a výšce 800 mm. Police budou položeny na tyče průměru \varnothing 19 mm, kde bude potřeba dvou kusů délky 585 mm a dvou o délce 415 mm. Konstrukce prototypu bude z masivního dřeva borovice.

Podle výkresové dokumentace jsou nosné prvky zakráčeny na požadované rozměry. Dále jsou do tyče většího průměru zhotoveny drážky. Do stolní vrtačky je upnut sukovník \varnothing 25 mm a je nastavena poloha ramene vrtačky. Pro ideální nastavení vrtačky jsou první zhotoveny drážky na zkušebních vzorcích. Z hlediska málo zkušeností docházelo k častému vytrhávání dřevních vláken. Tyto nedostatky jsou naštěstí skryty pod spojovacím prvkem a nenarušují tak celkový vzhled výrobku. Po vyvrtání všech drážek následuje zakulacení všech konců na čelní kotoučové brusce a ruční přebroušení.



Obr. 75: Fotografie z výroby prototypu



Obr. 76: Fotografie z tisku konstrukčního spoje

Na prototyp je potřeba 12 kusů spojovacích prvků, které jsou vytištěny technologií FDM (Fused Deposition Modeling) viz Obr. 76. Po odstranění podpůrného materiálu přichází očekávaná zkouška funkčnosti celé konstrukce výrobku. Složená konstrukce ukázala občasný prokluz tenčích částí ve spoji a nemilé viklání do stran. Prokluz by mohl být řešen pryžovou těsnicí gumičkou.

Při analýze problému viklání bylo zjištěno, že se v konečném počtu spojovacích elementů projevila tolerance přesnosti tisku zvolené technologie, která je 0,1 mm. Po olepení papírovou páskou se viklání konstrukce snížilo. Pohyb konstrukce může být způsoben také nevhodným počtem úrovní, kdy konstrukce není zcela „uzavřena“ a v jednom směru je držena pouze jedním párem tyček.



Obr. 77: Konstrukce prototypu a řešení vzniklého problému

Kvůli stálému viklání konstrukce musela být navrhována změna v řešení police, která by dopomohla k celkovému zpevnění. Po konzultaci s vedoucím práce se došlo k možnému návrhu zlepšení, kdy je daná police nasazena těsně na kolíky, které by mohly zajistit jisté přepětí zvyšující tuhost konstrukce.

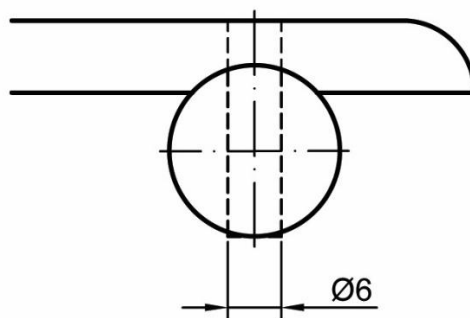
Po reálném odzkoušení vlastností plastových materiálů a následné odborné poradě došlo ke změně konečného materiálu. Navrhovaná polypropylenová deska by totiž musela mít minimálně tloušťku 20 mm, aby nedošlo k průhybu police. Doporučeno bylo i plexisklo (Polymethylmethakrylát - PMMA), které je recyklovatelné a dosahuje vyšších tuhostí. Nevýhodou PMMA je v daném případě hlavně vysoká cena.

Vhodným řešením z hlediska mechanických vlastností by bylo použití překližované desky, ale při zadaných podmínkách je tento materiál zamítnut. Při hledání dalšího ideálního materiálu byl nalezen kompozit podobající se dřevu s názvem Resysta. Tento materiál je složen z 60 % rýžovými slupkami, 22 % soli a 18 % minerálního oleje, čímž se stává 100% recyklovatelným materiálem. Resysta dosahuje vysokých hodnot mechanických vlastností, lze obrábět obdobně jako dřevo a také je možnost barevné povrchové úpravy. Využívá se především do exteriéru jako venkovní terasy, obložení stěn, ploty či městský nábytek. (Resysta: Resysta - The future materiál, [online])



Obr. 78 a Obr. 79: Materiál Resysta a jeho barevné možnosti

Dále byl také upraven celkový tvar police, kde stávající řešení je znázorněno na Obr. 80. Z důvodu přepětí je navrženo přidání kolíku o průměru Ø 6 mm, který povede skrz polici i nosnou tyč police. Jelikož vybraný materiál jde i svařovat, je kolík zhotoven ze stejného materiálu a svařen napevno v polici vůči zachování minimálního počtu dílců.



Obr. 80: Úprava návrhu řešení police

Nakonec jsou vyvrtány další otvory v nosných částí polic a je odzkoušena konstrukce úložného systému. Došlo k většímu zpevnění, nicméně viklání stále je, i když v malé míře. Příčinou je především vzniklá nepřesnost jednotlivých otvorů při domácí výrobě a nevhodně zvolený počet úrovní polic.



Obr. 81: Finální podoba prototypu (základní barva či lazura Apple Green)

Na Obr. 82 je znázorněna montáž vybrané varianty policového prvku. Nejprve se na nosné vertikální tyče nacvaknou všechny spojovací elementy. Poté se složí jednotlivé boky, které se spojí středovými dílci. Nakonec jsou na konstrukci nasazeny police.



Obr. 82: Znáznornění montáže vybrané varianty

6.8 Orientační cenová kalkulace přímých nákladů

Konečná cena výrobku se skládá z přímých a nepřímých nákladů. Přímé náklady jsou ty, které přímo souvisí s výrobou daného výrobku a dají se přímo vyčíslit. Jedná se o spotřebu materiálu a mzdy pracovníků. Nepřímé neboli také režijní náklady představují společné náklady, které jsou vynaloženy na zajištění celého procesu výroby či jiné činnosti podniku a jeho správy. Ty jsou v tomto případě těžko odhadnutelné, jelikož návrh byl vyroben svépomocí autora. Podkladem jsou technicko-hospodářské normy. Zde jsou propočítány čisté spotřeby jednotlivých materiálů a převedeny přes normativy využití, ztrát a zmetkovitosti na normativní spotřebu. Jednotlivé ceny materiálu jsou určeny dle nabídky trhu pro spotřebitele. Jelikož je materiál zakoupen v malém kusovém množství, může se předpokládat odlišnost ceny, což se týče v poměru maloobchodu a velkoobchodu. Cenová kalkulace je vyčíslena pouze na vyrobeném prototypu.

Tab. 5: Přímé materiálové náklady

Druh materiálu	Náklady na výrobek v Kč (bez DPH)
Kulatina Ø35 x 2,4 m – nakupovaný polotovar	242,87
Kulatina Ø19 x 2,4 m – nakupovaný polotovar	75,76
Spojovací prvek - ABS	3126,00
Resysta - deska 8 mm	775,13
Balakryl Sportakryl mat V 1601	20,60
Orientační cena materiálu (bez DPH)	4240,36
Orientační cena materiálu (s DPH)	5130,84

Výsledná orientační cena za materiál byla vyčíslena na 5131 Kč s DPH. Pro zjištění celkových nákladů se využívá kalkulační vzorec (Obr. 83). Jelikož prototyp není vyráběn v konkrétní firmě, je určení mzdových nákladů, ostatních a správních režie obtížné. Bylo by nutné navrhnout celou výrobu a tyto náklady dopočítat. Konečná cena by se lišila dle parametrů firmy (vybavení, automatizace výroby, počet kusů).

1. Přímý materiál
2. Přímé mzdy
3. Ostatní přímé náklady
4. Výrobní (provozní) režie (% k ...)
Vlastní náklady výroby – položky 1 až 4
5. Správní režie (% k ...)
Vlastní náklady výkonu – položky 1 až 5
6. Odbytové náklady
Úplné vlastní náklady výkonu – položky 1 až 6

7. Zisk (ztráta)
Cena výkonu

Obr. 83: Všeobecný kalkulační vzorec

6.9 Možnosti využití navrhovaného spoje

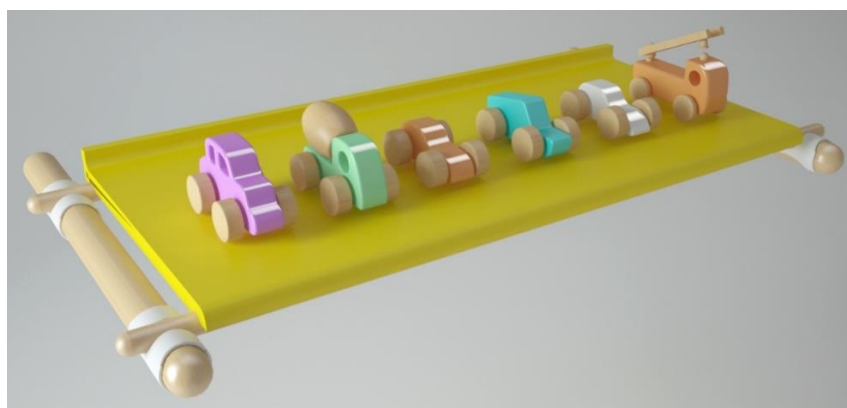
Na následujících obrázcích jsou navrženy další možné varianty využití navrhovaného spoje u jednotlivých typů nábytku.



Obr. 84: Varianta židle či němého sluhu



Obr. 85: Varianta konferenčního stolku a šatní tyče



Obr. 86: Varianta nástěnné police

7 DISKUZE

Problematikou této práce je konstrukční spojení bez použití kovových a lepených prostředků. Hlavní výhodou takové konstrukce je možnost jednoduchého složení a rozložení bez použití nářadí, s čímž souvisí i snadná nahraditelnost některého z dílců produktu. Výrobek lze také na konci jeho životnosti mnohem snáze recyklovat, než je tomu například u lepených kompozitních materiálů.

Autor práce neměl při výběru tématu ponětí, kterým směrem se bude jeho konstrukční řešení ubírat. Po získání informací a přehledu, co se týče konstrukčních spojů bez lepení či kovových prvků a metod obrábění, autora zaujala technologie aditivní výroby neboli technologie 3D tisku. Aditivní výroba má velký potenciál a využívá se již v několika odvětvích. Cílem bylo poukázat na nové možnosti aplikace 3D tisku v rámci tvorby nábytku.

Předmětem praktické části bylo vytvoření konstrukčního spoje a aplikace na zvolenou skupinu nábytku. Vybranou skupinou byl zvolen úložný nábytek a jednalo se o samostatně stojící policový systém, který bude splňovat navrhované vlastnosti. Navrhovaný prvek by měl být modulární, složen z co nejméně odlišných dílců, lehce postaven bez použití nářadí, z recyklovatelných materiálů a měl by být i cenově dostupný. Poté následovala rešerše již navrhnutých řešení, z čehož posléze vyplynul koncept policového systému.

Navrhovaná konstrukce se skládá z nosných vertikálních a horizontálních částí z masivního dřeva a dvou různých průměrů. Pro dané nosné prvky bylo potřeba vymyslet spojovací element, který bude vyroben již zmíněnou technologií 3D tisku. Díky této technologii je možné vytvořit jakkoliv složitý tvar, který není možné vytvořit klasickou metodou obrábění. Navíc u složitějších tvarů je taky velkou výhodou skoro nulový odpad použitého materiálu.

Princip spoje spočívá v jednoduchém nadvaknutí spojovacího elementu na jednu nosnou část, do které je pak upnuta další tyč menšího průměru, která je nosičem police. Při navrhování spoje byla na začátku snaha tvořit složité tvary, které by dostatečně využily vybranou technologii. Posléze se od složitosti upustilo, jelikož to z hlediska funkčnosti prvku nemělo zas takový význam. Po vytvoření pár návrhů konstrukčního spoje byla jedna varianta vymodelována a vytisknuta pro ověření funkčnosti. Jednalo se

o jednoduchý tvar válce, ve kterém byla vytvořena drážka pro upevnění tyče menšího průměru. Za materiál spoje bylo zvoleno ABS vlákno, které má dobré mechanické vlastnosti a je vcelku i pružné. Z důvodu techniky nasazování je důležité, aby spoj byl dostatečně pružný. Proto byla u první varianty navržena perforace ve vertikální rovině po obvodu spoje, aby se daná pružnost ještě více zvýšila. Při zkoušce došlo k poškození perforací ve střední části u drážky. Bylo to především z důvodu špatně zvoleného rozevření válce, velkého počtu perforací malých šířek. Porušení nastalo mezi jednotlivými vrstvami materiálu, jelikož byl spoj tisknut postupně v horizontálních vrstvách vůči výšce prvku a šířka perforace byla příliš malá. Byla tedy navržena varianta změny směru vlákna ABS, ale při konzultaci se studiem FaVU se tato volba zamítla z důvodu snížení pružnosti tvaru spoje.

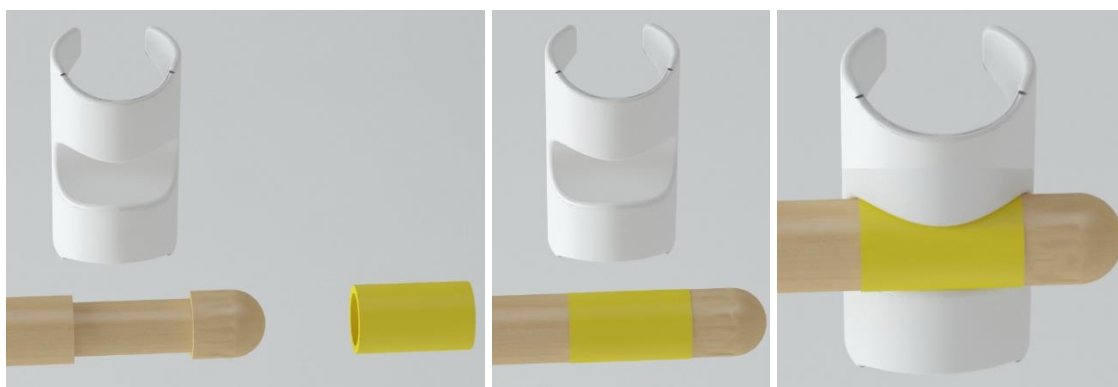
Jelikož se ukázalo, že samotný materiál ABS je ve zvolené tloušťce 2,5 mm vcelku dostatečně pružný, byly navrhované perforace zrušeny a celkový tvar byl upraven pro snížení napětí ve střední části materiálu. Po několika úpravách, především v šířce rozevření prvku a hloubce vykrojení u střední části, došlo k finálnímu tvaru konstrukčního spoje, který vyhovoval pro snadné použití.

Tvar funkčního spoje byl hotový a následoval další krok v podobě realizace prototypu jedné navrhované varianty. Z důvodu chudé nabídky místních hobby center je celá konstrukce nakonec z masivního dřeva borovice. Již při prvním obrábění byly potvrzeny již zmiňované nevýhody jehličnatých dřevin. Šlo především o časté vytrhávání dřevních vláken, které viditelně zhoršily konečné opracování drážek. Na častější vytrhávání při tvorbě měl vliv i nedostatek zkušeností. Pro výrobek by z tohoto důvodu byla vhodnější spíše listnatá dřevina např. navrhovaný buk. Co se týče recyklace, byla by tu i možnost upravení měřítka modelu spoje a využití starých násad převážně zahradního nářadí.

Po zhotovení konstrukčních drážek v dalších dílcích konstrukce následovalo první sestavení, kde se ukázaly nedostatky řešení. Jednalo se o mírný prokluz tenčích částí ve spojovacím prvku a nízká tuhost celé konstrukce. Ta byla zapříčiněna nevhodným rozložením nosných částí polic, kdy v jednom směru působící síly byla pouze jedna úroveň tyčí. K tomu ještě dopomáhají vzniklé odchylky, které vznikly při vlastní výrobě nosných částí a tolerance nepřesnosti tisku technologie FDM.

Další možností řešení byla změna tvaru a uchycení police, která by celou konstrukci vyztužila. Pro vytvoření přepětí v konstrukci bylo navrženo propojení police s nosnými tyčemi pomocí kolíků, které jsou součástí police. Tím se zajistilo jak vymezení pozic jednotlivých tyček, tak i nemožnost průchodu spojovacími prvky. Tuhost konstrukce byla zase o něco zvýšena, nicméně pořád zůstala vůle při působení síly do stran, především stále ve směru užší strany, kde je pouze jeden pár nosných dílců. Lepší výslednou variantou by mohl být policový systém o čtyřech úrovních polic.

Návrhem na budoucí změnu při použití stejné technologie 3D tisku by mohlo být řešení (Obr. 87), kde by se docílilo dostatečně pevného sevření. Jednalo by se o pryžovou dutou trubku, která by se nasunula na zúžená místa nosných dílců polic. Tím by se umožnila možnost nacvaknutí, která by zjednodušila montáž výrobku. Díky pružným vlastnostem pryže by se odstranily i odchylky, které vznikly při tvorbě spojovacího prvku, čímž by došlo k pevnějšímu sevření a tím i vyšší tuhosti konstrukce. Dané řešení by však bylo zapotřebí opět otestovat.



Obr. 87: Návrhové řešení pro nacvaknutí

Výsledný prototyp ukázal, jak je důležité si ověřit návrhy řešení i reálně. Objevilo se pár nedostatků, které byly nemilým překvapením a musela se navrhnout řešení, vedoucí k jejich odstranění. Výsledná cena byla vyčíslena pouze v přímých materiálových nákladech, jelikož prototyp vznikl svépomocí autora a bylo by zavádějící domýšlet další náklady spojené s výrobou produktu. To nic neubírá na tom, že již samotné materiálové náklady jsou vyšší, než byly předpokládány. Nejdražší položkou byly právě konstrukční spoje, a to z důvodu zvolené technologie 3D tisku. Vyšší cena je zapříčiněna vyšší pořizovací cenou zařízení, malého počtu poskytovatelů a odborníků v dané oblasti. Cena za kilo vstupního materiálu ABS v podobě filamentu (plastové struny) je v rozmezí od 400 do 1000 Kč. V porovnání s ABS ve formě granulátu je cena řádově níže. Další

vývoj této technologie by mohl být v možnosti přímého zpracování granulovaného polymeru či výroby zařízení na recyklaci kusového polymeru na používaný filament. Rychlost tisku u metody FDM je také poměrně malá. Tisk jednoho spojovacího elementu trval přibližně 2 hodiny a 20 minut, což není zrovna málo a určitě se to také projeví ve výsledné ceně.

I přes rychlý vývoj a širokou škálu možností a využití 3D tisku, zůstává otázkou uplatnění v nábytkářském průmyslu. Velkou nevýhodou je právě daná rychlost tisku, která se nedá srovnávat se současnými klasickými metodami tvorby nábytku. Pro zavedení navrhovaného nábytkového prvku do sériové výroby, by autor spíše doporučil výrobu spojovacího prvku formou vstřikování, čímž by se výrazně snížil čas produkce, výsledné ceny i míra nepřesnosti. Zatím je tato technologie vhodná zejména na kusovou tvorbu prototypových funkčních součástí složitých tvarů či může být využita právě k výrobě forem pro vstřikování.

Nicméně je zde vize do budoucna, která počítá s masivním rozšířením zařízení pro 3D tisk do domácností. Uživatelé si budou potřebné výrobky sami vytvářet nebo si je zakoupí na internetu. Velký potenciál je právě v redukci množství použitých výrobků neboli odpadu, kdy se všechny součásti, nejen nábytku, budou dát nahrazovat a cena nového kusu nebude dosahovat 40-80 % ceny celého nového produktu. Dnešní spotřebitel raději daný výrobek vyhodí a pořídí si novější. Nejen že by se změnilo chování spotřebitele, ale i způsob v navrhování užitečných předmětů a to i nábytku, kde by se výrazně prodloužil životní cyklus výrobku.

Prototyp návrhu práce nebyl zcela dokončen do finální verze, jelikož by na něm bylo zapotřebí dále pokračovat v testování navrhovaných řešení. Ověření dalších variant bohužel nebylo v rámci autorových možností realizovatelné, avšak mohou být přínosnou inspirací pro budoucí návaznost v rámci problematiky konstrukcí bez použití kovových a lepených spojů.

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout nábytkový prvek bez kovových a lepených spojů. V rámci teoretické části se autor snažil objasnit zvolenou problematiku. Byla vytvořena rešerše daných typů konstrukčních řešení a provedena analýza jejich metod obrábění z hlediska aplikace u nábytku.

Praktická část práce obsahuje celkový postup návrhu nábytkového prvku. Z jednotlivých skupin nábytku je vybrána skupina úložného nábytku. Je proveden rozbor cílových požadavků na produkt, celkový koncept návrhu, rešerše policových systémů a analýza vhodnosti materiálu. Poté následuje návrh konstrukčního spoje a jsou navrženy varianty i celkový vzhled produktu.

Další fází práce je výroba prototypu, při kterém se objevily nedostatky, které nebyly znát na teoretické úrovni návrhu. Ty jsou vyhodnoceny a jsou vypracovány podněty pro jejich odstranění. Zpracovány jsou i kalkulace přímých nákladů na výrobek a zhodnocení pro další vývoj návrhu. Výsledkem je vytvoření zkušebního prototypu policového systému, na kterém byly aplikovány počáteční zadané požadavky. Po jejich otestování však bylo zjištěno, že konstrukce zcela neodpovídá a je potřeba pokračovat dále ve zkoušení navrhovaných řešení.

Tradiční způsob výroby nábytku bude mít nadále velký význam, jelikož se stále vyrábí ve velkých výrobních objemech. Aditivní výroba však nabízí široké možnosti v řadě nových odvětví a především zcela nové přístupy v navrhování, tvorbě a využívání materiálů. Jak dlouho bude ještě trvat a zdali dojde k masivnímu rozšíření 3D tiskáren do domácností zůstává otázkou.

9 SUMMARY

The aim of this thesis was to design a furniture element without metal and glued joints. The author tried to clarify selected issues in the theoretical part. Research of constructional solutions was created and machining methods in terms of applications in furniture was analyzed.

The practical part of the thesis contains the overall process of design furniture element. From the individual category of furniture is selected group of storage furniture. The analysis of the target product requirements, overall concept design, shelving systems research and analysis of the suitability of the material was done. It was done in the sequel with constructional joint proposal and designed variants with overall appearance of the product.

The next stage of work is the production of a prototype. Deficiency that was not known at the theoretical level of the design had appeared. This deficiency is evaluated and suggestions for its elimination are developed. Direct product costs and the evaluation for the further development of the proposal is calculated. The result is a final prototype of shelving system, the initial specified requirements are applied. After testing, it was found that the construction is not complete. Additional tests and suggested solutions are required.

The traditional method of production of furniture will continue to have great importance, since it is still produced in large volumes. However additive manufacturing offers a wide range of opportunities in new sectors and above all completely new approaches in the design, creation and use of materials. How long will it take and whether there will be a massive expansion of 3D printers to households remains questionable.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3DP	inkjet 3D printing
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
BPM	ballistic particle manufacturing
CNC	computer numerical control
DNC	direct numerical control
FDM	fused deposition modeling
LOM	laminated object
MJM	multi jet modeling
MM3DP	model maker 3D plotting
NC	numerical control
PE	polyethylen
PMMA	polymethylmethakrylát
PP	polypropylen
PVC	polyvinylchlorid
RP	rapid prototyping
SGC	solid ground cutting
SL	stereolitografie
SLA	stereolitografie
SLS	selective laser sintering
STL	stereolithography
VOC	volatile organic compound

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

11.1 Seznam literárních pramenů

ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 603 s. ISBN 07-506-6168-2.

ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 4th ed. Butterworth-Heinemann, c2011, xv, 646 s. ISBN 978-1-85617-663-7.

BELAI, Elena. *Příprava geografických dat pro 3D tisk podrobného modelu budovy*. Diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. 75 s.

DRÁPELA, Jan. *Přehled moderních metod při výrobě prototypových odlitků*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 44 s.

GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, iv, 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

HÁJEK, Václav. *Ergonomie v bytě, v projektu a v praxi*. Vyd. 1. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-86817-00-8.

HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8.

CHUA, Chee Kai, Kah Fai LEONG a Chu Sing LIM. *Rapid prototyping: principles and applications*. 2nd ed. New Jersey: World Scientific, 2003, xxv, 420 p. ISBN 9812381201.

KOTRADYOVÁ, Veronika. *Dizajn nábytku: vývoj, navrhovanie, terminologia, typologia, ergonomia, materialy, konštrukcie, technologia*. 1. vyd. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009, 281 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3006-8.

KRÁL, Pavel a Jan ŠRAJER. *CNC obráběcí centra*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008, 79 s. ISBN 978-80-7375-163-0.

KRONTORÁD, Karel. *Výroba nábytku z deskových materiálů*. Vydání první. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015, 131 stran. ISBN 978-80-7509-199-4.

MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 1999, 3 sv. (80, 84, 88 s.). ISBN 978-80-01-03752-2.

MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999, 102 s. ISBN 80-7082-518-9.

11.2 Seznam elektronických pramenů

3D tisk [online] [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/3d-tisk/>

ABS [online] [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/abs/>

Aditivní technologie metody Rapid Prototyping [online] [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tecnologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf

Antropometrie [online] [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/antropometrie/page/34/>

Bezpečnost [online] [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/bezpecnost/page/183/>

BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~bohmm/materialy_na_bazi_dreva.pdf

Dřevo centrum [online] [cit. 2015-01-16]. Dostupné z: <http://drevo.celyden.cz/funkcni-vlastnosti-dreva/pevnost-dreva/>

Historie CNC strojů [online] [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=22925&instance=2>

Jakými způsoby lze recyklovat PVC? [online] [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/dotazy-a-odpovedi/jakymi-zpusoby-lze-recyklovat-pvc>

Konstrukční spoje [online] [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/163/10.html>

Materiály na bázi dřeva [online] [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/drevo/page/79/>

Multi Jet Modeling [online] [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/main11.html>

Nekonvenční metody obrábění [online] [cit. 2015-01-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>

Nekonvenční metody obrábění 9. díl [online] [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>

Plasty [online] [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/plasty/page/220/>

Resysta: Resysta - The future material [online]. 2015 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.resysta.com/en/material-resysta.html>

Spoje s kovovými spojovacími prostředky [online] [cit. 2016-11-18]. Dostupné z: http://www.profesis.cz/files//dokumpdf/tp1.10/tp1.10_kap8.pdf

Technologie obrábění - 1.část [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

Technologie obrábění - 3.část [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf

Technologie obrábění na CNC obráběcím stroji [online] [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6642566-Obsah-1-technologie-obrabeni-na-cnc-obrabecim-stroji-2.html>

Truhlářství postaru [online] [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.truhlarstvi-postaru.cz/index.php/truhlarske-spoje>

Úložný [online] [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/ulozny/page/526/>

Woodgears [online] [cit. 2015-12-30]. Dostupné z: https://woodgears.ca/puzzles/3way_joint.html

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Etapy a komponenty procesu navrhování nového výrobku 12
Zdroj: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/7_volba-materialu.pdf
- Obr. 2: Graf vztahu pevnosti na hustotě daných materiálů..... 13
Zdroj: ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 603 s. ISBN 07-506-6168-2.
- Obr. 3: Graf vztahu modulu pružnosti na hustotě daných materiálů 13
Zdroj: ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 603 s. ISBN 07-506-6168-2.
- Obr. 4: Graf vztahu lomové houževnatosti na modulu pružnosti daných materiálů 14
Zdroj: ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 603 s. ISBN 07-506-6168-2.
- Obr. 5: Graf vztahu modulu pružnosti na energetické náročnosti výroby kubického metru daných materiálů 14
Zdroj: ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 603 s. ISBN 07-506-6168-2.
- Obr. 6: Graf vztahu modulu pružnosti na ceně za jednotku daných materiálů..... 15
Zdroj: ASHBY, Michael F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 603 s. ISBN 07-506-6168-2.
- Obr. 7: Rozdělení aglomerovaných materiálů podle velikosti částic, hustoty a procesu výroby 18
Zdroj: STARK, Nicole M., Zhiyong CAI a Charles CARLL. *Wood Handbook, Chapter 11: Wood-Based Composite Materials-Panel Products- Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood-Nonwood Composite Materials*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 11-1 - 11-28. Chapter 11. Dostupné z: <http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/>
- Obr. 8: Schéma CNC řídicího stroje 24
Zdroj: MUCHKA, Martin. *Jazyky pro počítačem řízené stroje*. Bakalářská práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2012. 65 s. Dostupné z: <http://docplayer.cz/7967905-Jihoceska-univerzita-v-ceskych-budejovicich-pedagogicka-fakulta-katedra-fyziky-jazyky-pro-pocitacem-rizene-stroje.html>
- Obr. 9: Příklad bloku pro CNC stroj 25
Zdroj: <http://docplayer.cz/6642566-Obsah-1-technologie-obrabeni-na-cnc-obrabecim-stroji-2.html>
- Obr. 10: Souřadné systémy CNC strojů..... 26
Zdroj: HASON, Karel. *Výroba rozebíratelných spojů na CNC obráběcích stroji*. Bakalářská práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. 84 s. <http://docplayer.cz/7012163-Vyroba-rozebiratelnych-spojuna-cnc-obrabecim-stroji-karel-hason.html>
- Obr. 11: Proces vzniku fyzického 3D modelu reálného objektu 29
Zdroj: BELAI, Elena. *Příprava geografických dat pro 3D tisk podrobného modelu budovy*. Diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. 75 s.
- Obr. 12: Schéma stereolitografie 31
Zdroj: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/sla-small.png>
- Obr. 13 a Obr. 14: Schéma a proces tvorby metody SGC 32

Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Schematic_Diagram_of_Solid_Ground_Curing_Process.jpg	
Zdroj: https://books.google.cz/books?id=dd5ddgDOsGMC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=981-238-117-1&source=bl&ots=b7DC7TMjYY&sig=So1Xs9JLeH_wcGtv4zYAvKbSV0&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEWjNs8jy-dvKAhUI_A4KHaVkBHUQ6AEIzAB#v=onepage&q=981-238-117-1&f=false	
Obr. 15: Schéma PolyJet.....	33
Zdroj: http://blog.nus.edu.sg/u0804594/files/2011/10/Polyjet-Process.png	
Obr. 16: Schéma LOM.....	34
Zdroj: http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/lom.png	
Obr. 17: Schéma FDM.....	35
Zdroj: http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png	
Obr. 18: Schéma MJM.....	36
Zdroj: http://3d-labs.de/wp-content/uploads/2014/12/mjm.png	
Obr. 19: Schéma metod MM3DP a BPM.....	37
Zdroj: http://gis.zcu.cz/studium/ZaverecnePrace/2015/Belai__Priprava_geografickych_dat_pro_3D_tisk_p_odrobneho_modelu_budovy__DP.pdf	
Obr. 20: Schéma SLS.....	38
Zdroj: http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/sls-small.png	
Obr. 21: Schéma 3DP.....	39
Zdroj: http://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2014/02/inkjet-binder.png	
Obr. 22: Varianty spojů vytvořené na CNC zařízení.....	42
Zdroj: https://c1.staticflickr.com/9/8640/15868308421_3c9355b6a9_o.png	
Obr. 23: Varianty spojů vytvořené na CNC zařízení.....	42
Zdroj: https://c1.staticflickr.com/9/8640/15868308421_3c9355b6a9_o.png	
Obr. 24 a Obr. 25: Příklady samosvorných spojů.....	43
Zdroj: https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/fb/13/ac/fb13ac3e574303c4256d5fa8be8240d4.jpg	
Zdroj: https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/3e/17/f5/3e17f54e2aae33bd93000168060aa46c.jpg	
Obr. 26 a Obr. 27: Ukázka tištěných 3D spojů.....	44
Zdroj: https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/10/97/86/109786184bb0250ecd6d04ba44b2f659.jpg	
Zdroj: https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/2e/8f/b8/2e8fb81524889a312c314dbcb63a0410.jpg	
Obr. 28 a Obr. 29: Ukázka tištěných 3D spojů.....	44
Zdroj: https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/project_modules/disp/b1f33028961121.55e2e0e4caa64.jpg	
Zdroj: https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/d5/93/d0/d593d0bc69c82246129bf1b92ae414a0.jpg	
Obr. 30 a Obr. 31: Způsoby spojení využitím tkaniny.....	45
Zdroj: https://static.dezeen.com/uploads/2009/07/ratchet-furniture-by-harry-hansson-02.jpg	
Zdroj: http://www.yankodesign.com/images/design_news/2009/08/06/extensions02.jpg	
Obr. 32 a Obr. 33: Vyznačení geometrie spoje Kawai Tsugite.....	45
Zdroj: https://static.wixstatic.com/media/44f00d_d5031f8ae8ad4b7fb14b292e4ad3125c.jpg/v1/fill/w_270,h_296,al_c,q_75,usm_0.50_1.20_0.00/44f00d_d5031f8ae8ad4b7fb14b292e4ad3125c.jpg	
Zdroj: https://static.wixstatic.com/media/44f00d_ccd62846491f4761a85442cf0fcf1e9c.jpg/v1/fill/w_270,h_296,al_c,q_75,usm_0.50_1.20_0.00/44f00d_ccd62846491f4761a85442cf0fcf1e9c.jpg	
Obr. 34 a Obr. 35: Složený a rozložený spoj Kawai Tsugite.....	46
Zdroj: https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/e9/4b/dd/e94bdd381c9b8f995b905ad0e8c1b6c4.jpg	

Zdroj:http://i413.photobucket.com/albums/pp218/wildman692/home%20made/Kawai%20T%20sugite%20joint_zpstrp444su.jpg

Obr. 36 a Obr. 37: Ukázka dřevěných hřebíků a jejich použití 47

Zdroj: <http://www.truhlarstvi-postaru.cz/images/drevenehrebiky4.jpg>

Zdroj: <http://www.truhlarstvi-postaru.cz/images/drevenehrebiky1.jpg>

Obr. 38: Druhy ozubů – a) otevřené, b) polokryté a c) celokryté 47

Zdroj: <https://publi.cz/books/164/images/pics/14.jpg>

Obr. 39: Základní geometrické parametry jednotlivých typů ozubu 47

Zdroj: HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*.

Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8.

Obr. 40: Tradiční výroba polokrytého ozubu 48

Zdroj: <https://publi.cz/books/163/images/pics/24.jpg>

Obr. 41: Výroba otevřeného ozubu stopkovou frézou 48

Zdroj: HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*.

Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8.

Obr. 42: Středový T spoj na sdužené čepy zajištěny klínky 49

Zdroj: HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*.

Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8.

Obr. 43 a Obr. 44: Svlakový spoj 49

Zdroj: <http://www.truhlarstvi-postaru.cz/images/svlak.gif>

Zdroj: <https://publi.cz/books/163/images/pics/18.jpg>

Obr. 45: Příklady typů čepu, rozporu a dlabu 50

Zdroj: HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*.

Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8.

Obr. 46: Základní geometrické parametry spoje 50

Zdroj: HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*.

Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8.

Obr. 47: Výškové rozdělení úložného prostoru 52

Zdroj: <http://www.n-i->

[s.cz/userfiles/Zach_Pozadavky_dle_funkce_ulozny_nabytek/Vseobecne_ulozny/Ergonomie/Ergonomie_obr_30_III_cast_NIS_2012.jpg](http://www.n-i-s.cz/userfiles/Zach_Pozadavky_dle_funkce_ulozny_nabytek/Vseobecne_ulozny/Ergonomie/Ergonomie_obr_30_III_cast_NIS_2012.jpg)

Obr. 48 a Obr. 49: Policový systém s použitím 3D tištěného spoje – Ollé Gellért 54

Zdroj: <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2015/07/olle-gellert-3D-printed-joint-collection-designboom-02-818x721.jpg>

Zdroj: <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2015/07/olle-gellert-3D-printed-joint-collection-designboom-08-818x546.jpg>

Obr. 50 a Obr. 51: Policový systém The Nooks s použitím 3D tištěného spoje – Michael Bernard 54

Zdroj: http://0.design-milk.com/images/2013/12/nooks_shelf_system_michael_bernard-1.jpg

Zdroj: http://0.design-milk.com/images/2013/12/nooks_shelf_system_michael_bernard-2.jpg

Obr. 52: Policový systém Konnex – Florian Gross 55

Zdroj: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/564x/1d/37/bc/1d37bc4af10e0cf936c936c1c0116407.jpg>

Obr. 53 a Obr. 54: Policový systém Build – Movisi 55

Zdroj: http://movisi.com/images/cms/BUILD_modular_shelving_Movisi_6.jpg

Zdroj: http://movisi.com/images/cms/BUILD_modular_shelving_Movisi_21.jpg

Obr. 55 a Obr. 56: Policový systém – Pedersen a Lennard	55
Zdroj: https://pedersenlennard.co.za/wp-content/uploads/2013/04/PRIVATE-RESIDENCE-SHELVING1-682x1024.jpg	
Zdroj: https://pedersenlennard.co.za/wp-content/uploads/2013/04/PRIVATE-RESIDENCE-SHELVING-21-682x1024.jpg	
Obr. 57 a Obr. 58: Policový systém Italic shelf – Ronen Kadushin	56
Zdroj: http://www.ronen-kadushin.com/files/cache/a93cb9654c97338c1419d9b25a73aa70.jpg	
Zdroj: http://www.ronen-kadushin.com/files/cache/385e03520ed8276aa6ad1c48dc33a493.jpg	
Obr. 59 a Obr. 60: Policový systém The + Shelf – Instructable	56
Zdroj: http://www.3ders.org/images2015/instructable-user-shurly-shares-convenient-3d-printed-joints-1.jpg	
Zdroj: http://www.3ders.org/images2015/instructable-user-shurly-shares-convenient-3d-printed-joints-1.jpg	
Obr. 61 a Obr. 62: Policový systém Naturoscopie - Noé Duchaufour-Lawrance	56
Zdroj: https://i.homeadore.com/2012/06/001-modern-naturoscopie-shelf-duchaufourlawrance.jpg	
Zdroj: https://i.homeadore.com/2012/06/002-modern-naturoscopie-shelf-duchaufourlawrance.jpg	
Obr. 63: Orientační vyobrazení konceptu policového systému	61
Zdroj: Autor práce	
Obr. 64: Znárodnění principu montáže	61
Zdroj: Autor práce	
Obr. 65: Typy navrhovaných zakončení polic	62
Zdroj: Autor práce	
Obr. 66: Vývoj návrhu spojovacího prvku	62
Zdroj: Autor práce	
Obr. 67: První varianta konstrukčního spoje	63
Zdroj: Autor práce	
Obr. 68: Porušení v materiálu první varianty	63
Zdroj: Autor práce	
Obr. 69: Druhá varianta konstrukčního spoje a její porušení v materiálu	64
Zdroj: Autor práce	
Obr. 70: Finální varianta konstrukčního spoje.....	64
Zdroj: Autor práce	
Obr. 71: Varianta č. 1 (výsledný prototyp) a varianta č. 2	65
Zdroj: Autor práce	
Obr. 72: Varianta č. 3 s ukázkou možností barevné hravosti	65
Zdroj: Autor práce	
Obr. 73: Varianta č. 4 a varianta č. 5	66
Zdroj: Autor práce	
Obr. 74: Ukázka užití policového systému (varianta č. 4).....	66
Zdroj: Autor práce	
Obr. 75: Fotografie z výroby prototypu.....	67
Zdroj: Autor práce	

Obr. 76: Fotografie z tisku konstrukčního spoje.....	68
Zdroj: Autor práce	
Obr. 77: Konstrukce prototypu a řešení vzniklého problému.....	68
Zdroj: Autor práce	
Obr. 78 a Obr. 79: Materiál Resysta a jeho barevné možnosti	69
Zdroj: http://www.resysta.com/images/industry/resysta_arf_platte.jpg	
Zdroj: http://www.revaly.cz/obrazek/3/color-con/	
Obr. 80: Úprava návrhu řešení police	70
Zdroj: Autor práce	
Obr. 81: Finální podoba prototypu (základní barva či lazura Apple Green)	70
Zdroj: Autor práce	
Obr. 82: Znázornění montáže vybrané varianty	71
Zdroj: Autor práce	
Obr. 83: Všeobecný kalkulační vzorec	72
Zdroj: http://images.slideplayer.cz/11/3217309/slides/slide_5.jpg	
Obr. 84: Varianta židle či němého sluhy	73
Zdroj: Autor práce	
Obr. 85: Varianta konferenčního stolku a šatní tyče	73
Zdroj: Autor práce	
Obr. 86: Varianta nástěnné police.....	73
Zdroj: Autor práce	
Obr. 87: Návrhové řešení pro nacvaknutí	76
Zdroj: Autor práce	

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Základní technologie RP	29
Zdroj: AdTech. (2010). <i>Aditivní technologie metody Rapid Prototyping</i> . Výuková prezentace. [online] Brno. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. [cit. 2015-01-12] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf	
Tab. 2: Rozdíly metod RP.....	30
Zdroj: DRÁPELA, Jan. <i>Přehled moderních metod při výrobě prototypových odlitků</i> . Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 44 s.	
Tab. 3: Celkový přehled vlastností jednotlivých metod RP	40
Zdroj: BELAI, Elena. <i>Příprava geografických dat pro 3D tisk podrobného modelu budovy</i> . Diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. 75 s.	
Tab. 4: Přehled dřevin a jejich mechanických vlastností.....	58
Zdroj: http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin	
Tab. 5: Přímé materiálové náklady	72
Zdroj: Autor práce	

14 SEZNAM PŘÍLOH

Výkres č. 001 – Konstrukce policového systému

Výkres č. 002 – Nosná část konstrukce - A

Výkres č. 003 – Nosná část police - B

Výkres č. 004 – Nosná část police - C

Výkres č. 005 – Spojovací prvek

Výkres č. 006 – Police - A

Výkres č. 007 – Police - B

Kusovník: list 1

THN: list 1