

**Česká zemědělská univerzita Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Bakalářská práce

**Návrh výroby překližkového pracovního stolu bez
spojovacího kování s využitím CNC zařízení**

Autor: Radek Náhlík

Vedoucí práce: doc. Ing. Monika Sarvašová

Kvietková, PhD.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radek Náhlík

Dřevařství

Název práce

Návrh výroby překližkového pracovního stolu bez spojovacího kování s využitím CNC zařízení

Název anglicky

Project of a plywood table without metal bonding material for CNC milling centre

Cíle práce

Hlavním cílem této práce je návrh pracovního stolu z březového multiplexu, který bude navržený jako samonosný výrobek bez nutnosti užití standardního spojovacího kování.

Dílčím cílem je návrh výroby na konkrétním CNC stroji SCM Pratic S22 B se softwarem Xilog Maestro a řídicím CAD/CAM softwarem Maestro.

Metodika

Práce se bude věnovat problematice výroby stolu pomocí CNC obráběcích center. Výrobek bude možné opětovně rozložit a složit. Práce se zaměří jak na samotný návrh v CAD softwaru, ale také na výrobní optimalizaci pro obráběcí centrum.

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stránek

Klíčová slova

CNC, multiplex, výroba stolů, optimalizace, frézy

Doporučené zdroje informací

KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. CARTER Praha. 2015. 295 s., ISBN 978-80-213-2604-0.

OVERBY, A. CNC Machining. Building, Programming, and Implementation. 1st ed. New York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2010. 272s., ISBN 0071623019.

SMID, P. CNC programming techniques: an insider's guide to effective methods and applications. 1st ed. New York: Industrial Press, 2006. 360 s., ISBN 0-8311-3185-3.

SVOBODA, E. Technologie a programování CNC strojů. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. 100 s., ISBN 80-7200-297-x.

ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 123 s., ISBN 80-7300-207-8.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Návrh výroby překližkového pracovního stolu bez spojovacího kování s využitím CNC zařízení" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. dubna 2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD., vedoucí mé bakalářské práce za její cenné připomínky a odborné rady při jejím zpracování.

Dále bych rád poděkoval společnosti 23pm s.r.o., kde mi bylo umožněno projekt zpracovat.

Abstrakt

Tato práce se zabývá posouzením prvků procesu výroby nábytku s využitím CNC moderních technologií určených k obrábění materiálů na bázi dřeva, v tomto případě překližovaných materiálů určených pro nábytkářský průmysl. V úvodu práce je popsána charakteristika a možnosti využití překližovaných materiálů, stručně shrnuje základní rozdělení a jejich mechanické a fyzikální vlastnosti. Dále je tato část práce věnována CNC obrábění, konstrukci těchto strojů a jejich programováním. Praktická část práce se zabývá již samotným projektem výroby stolu. V této části jsou popsány programy použité k projektování a obrábění výrobku. Pracovní postup je rozdělen do části projekce v CAD programu a následné programování výrobku v CAM programu pro CNC. Tato práce přibližuje metody, které by mohly být použity k dosažení optimálního využití kapacity zařízení a vybraného materiálu.

Klíčová slova: CNC, multiplex, výroba stolů, optimalizace, frézy

Abstract

The aim of this work is to evaluate the elements of the furniture manufacturing process using CNC modern technologies for wooden materials, in this case plywood for furniture industry. In the introduction, the characteristics and possibilities of using plywood are described, briefly summarizes the basic theory of their mechanical and physical properties. Furthermore, this part of the thesis is devoted to CNC machining, construction of these machines and their programming. The practical part deals with the project of the table production. This section describes the programs used to design and machine a product. The workflow is divided into a part of the projection in the CAD program and subsequent programming of the product in the CAM program for CNC. This work describes methods that could be used to achieve optimum utilization of equipment capacity and selected material.

Keywords: CNC, plywood, furniture, optimalization, milling cutters

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce.....	12
3 Literární rešerše.....	13
3.1 Aglomerované materiály.....	13
3.1.1 Překližované materiály.....	13
3.1.2 Základní rozdělení překližek.....	14
3.1.3 Surovina pro výrobu překližek.....	15
3.1.4 Lepení.....	16
3.1.5 Technologie výroby dřív pro překližky.....	17
3.1.6 Technologie výroby vrstvených materiálů – překližek.....	19
3.1.7 Mechanické a fyzikální vlastnosti překližek.....	20
3.2 CNC obrábění.....	21
3.2.1 Vývoj číslicově řízených obráběcích strojů.....	21
3.2.2 Konstrukce CNC strojů.....	23
3.2.3 Součásti CNC zařízení.....	23
3.2.4 Dřevoobráběcí CNC centra.....	25
3.2.5 Způsoby programování.....	25
3.2.6 Souřadný systém číslicově řízených strojů.....	26
3.2.7 Nástroje pro dřevoobráběcí centra.....	27
4 Praktická část práce.....	29
4.1 Metodika.....	29
4.2 Charakteristika použitých programů.....	29
4.2.1 TurboCAD Professional v18.....	29
4.2.2 Xilog Maestro.....	30
4.3 Použité obráběcí centrum – SCM Pratix S22 B.....	31
4.4 Projekční část výroby.....	33
4.4.1 Projekce výrobku – CAD aplikace.....	35
4.4.2 Výrobní část – CAM software.....	40
4.5 Obrábění.....	49
4.5.1 Montáž.....	50
5 Výsledky a diskuse.....	51
6 Závěr.....	52
7 Seznam použitých zdrojů.....	53

8 Normy	55
9 Přílohy	55

Seznam obrázků

Obr. 1. - Materiály na bázi dřeva	13
Obr. 2. - Loupaná dýha	15
Obr. 3. - Loupačka dých	18
Obr. 4. - První NC zařízení v MIT	21
Obr. 5. - Pravidlo označení směru os	26
Obr. 6. - TurboCad rozhraní	30
Obr. 7. - Pratic S22 B	32
Obr. 8. - Rozměry obráběcího centra	33
Obr. 9. - Okótovaná noha stolu	35
Obr. 10. - Návrh konstrukčního řešení spoje a výkres nohy stolu	36
Obr. 11. – Model konstrukce stolu bez pracovní plochy	37
Obr. 12. - Návrh konstrukčního řešení spoje desky stolu T drážka	37
Obr. 13. - Model stolu celek	38
Obr. 14. - Nestingové uspořádání ve 3D a nářezový plán upraven do křivek 2D, který je možné využít v programu Maestro k přiřazení geometrie	39
Obr. 15. -CAM program Xilog Maestro - importovaný DXF soubor, získaný z vytvořeného nářezového plánu v TurboCAD aplikaci	41
Obr. 16. - Xilog Maestro – ukázka programování obrábění spoje	42
Obr. 17. - Ukázka simulace v programu Xilog Maestro	43
Obr. 18. - PanelMac rozhraní	47
Obr. 19. - Manuální optimalizace souboru .nstx	48
Obr. 20. – Foto složeného výrobku	50
Obr. 21. - sestavený pracovní stůl	50
Obr. 22. - detail spojů pracovního stolu před zasunutím desky do své finální polohy	50

Seznam tabulek

Tab. 1. - Použité nástroje – dělení materiálu	44
Tab. 2. – Použité nástroje – drážkování	44
Tab. 3. – Použité nástroje – skos hran desky stolu	45

Tab. 4. – Použité nástroje – drážkovaný spoj desky stolu	45
Tab. 5. – Použité nástroje – drážkování	46
Tab. 6. – Použité nástroje – vrtání	46
Tab. 7. – Použité nástroje – upínací systém.....	46
Tab. 8. – Použité nástroje – upínač	47

1 Úvod

Dřevěné materiály jsou v dnešní době nepostradatelné a mají širokou škálu využití. S výrobky z dřevní suroviny se můžeme setkat v mnoha oblastech zpracovatelského průmyslu, a to od chemického až po stavební. Dřevo má velký potenciál i do budoucna, jelikož se jedná o materiál z obnovitelného zdroje. I přes tento fakt se ke dřevu jako surovině musíme chovat ohleduplně a co nejvíce optimalizovat výrobní procesy s co možná nejmenší produkcí odpadu. To platí i pro výrobky z aglomerovaných materiálů.

Rozvoj nových technologií obrábění v nábytkářském průmyslu nám přináší mnoho výhod. Jsou to zejména přesnost, rychlost, kapacita výroby, ale také bezpečnost práce. Numericky ovládané stroje svou produktivitou daleko přesahují lidské možnosti ve všech těchto směrech. V dnešní době jsou tato zařízení stále dostupnější, a proto je lze najít i v menších provozech, kde se využívají na menší série výrobků, popřípadě na zakázkovou výrobu. Tento typ výrob se liší od klasických malých nábytkářských provozů zejména strukturou výroby. Je kladen vyšší důraz na projekční činnost a je nutná kvalifikovaná obsluha obráběcích center. Někteří výrobci dodávají výrobní linky na klíč v takovém rozsahu, že zde téměř zcela odpadá nutnost se výrobního procesu účastnit fyzicky, vše je plně automatizované.

2 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je návrh pracovního stolu z březového multiplexu, navrženého jako samonosný výrobek bez nutnosti užití standartního spojovacího kování, ani lepidel. Výrobek byl modelován v CAD aplikaci ve vhodných rozměrech daných ergonomií pracovních stolů. Důležité je, aby finální produkt bylo možné vyrobit i v jiných provozech, kde si případný odběratel sjedná obrábění. Stůl by měl být vyprojektován tak, aby se jeho jednotlivé části vešly do jednoho překližkového formátu s minimálním odpadem. Tyto součásti stolu je možné složit a v případě potřeby opět rozložit.

Dílčím cílem je návrh výroby pro konkrétní CNC stroj SCM Pratix S22 B s řídicím CAD/CAM softwarem Maestro a následná výroba prototypu stolu.

3 Literární rešerše

3.1 Aglomerované materiály

Kompozitní dřevěné materiály jsou vyráběné z dřevní hmoty, kterou nejprve dezintegrujeme na menší částice a následně z těchto částic nebo dýh produkujeme plošné, či tvarové výrobky. Aglomerované materiály jsou moderní materiály, které svou konstrukcí do značné míry snižují negativní vlastnosti masivního dřeva, jako je například rozměrová nestálost, anizotropie, vady dřeva, nebo heterogenita. Velkoplošné materiály mají široké uplatnění a jejich sortiment se neustále rozvíjí (Böhm; Reisner; Bomba; 2012).



Obr. 1. - Materiály na bázi dřeva

(Böhm, Reisner, Bomba, 2012)

3.1.1 Překližované materiály

Překližka je neuvěřitelně všestranný materiál. Stylová a praktická překližka nabízí obrovské možnosti pro současný design a využívá se k výrobě široké škály výrobků, od součástí letadel, lodí a automobilů až po architekturu, ale také nábytku. „Překližka má historicky velice důležité místo mezi konstrukčními materiály, ale zajímavý je zejména vývoj pohledu na tento materiál. Zatímco v 17. a 18. století byly

dýhované materiály vysoce ceněné, tak v 19. století se vše změnilo. S nástupem technologických inovací a strojovou výrobou dýh byly tyto materiály vnímány jako levné a nekvalitní. V letech 1920 – 40 byly překližky často používaným materiálem moderních architektů té doby a byl předefinován z převážně skrývaného levného materiálu na moderní pohledový materiál. Tento trend přetrvává i v současnosti (Wilk, 2017).

3.1.2 Základní rozdělení překližek

Základním konstrukčním parametrem výroby překližovaných desek je slepení jednotlivých vrstev dýh do osově symetrického celku, kterého dosáhneme lichým počtem lepených dýh. Toto pravidlo platí zejména u desek s kříženými vrstvami dýh, kde směr vláken sousedních vrstev je navzájem kolmý.

Vrstvené překližované materiály dělíme dle použití na překližky:

- truhlářské,
- stavební,
- obalové,
- tvarové,
- letecké.

Desky jsou vyráběné v různých formátech. Nejpoužívanější formáty jsou následující: 1250 x 2500, 2200 x 1250, 1500 x 1500, 2500 x 1500 mm. Tloušťky desek jsou dány počtem vrstev a tloušťkou dýh. Běžné jsou tloušťky: 3, 4, 5, 9, 10, 12, 15, 18 mm, ale i 40 mm.

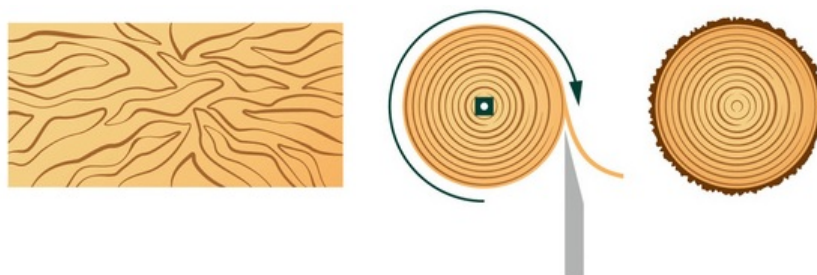
Samostatnou skupinu tvoří jádrové desky, kam patří laťovky, biodesky, a například dýhovky. Posledním překližovaným druhem materiálu je voštinová deska.

Velký význam mají právě překližky tvarové. Výlisky jsou slisované ve speciálních formách ze tří nebo více vrstev jsou používány především pro sedací nábytek, hračky, nebo také sportovní potřeby. Tyto výrobky vynikají vysokou pevností při nízké hmotnosti, a jako všechny materiály na bázi dřeva i poměrně jednoduchou opracovatelností (Král, 2011).

Jsou zde i vrstvené materiály určené výhradně pro stavebnictví. Tyto materiály nesou většinou obchodní název daný výrobcem. Jsou to například Microllam – LVL, Kerto – S, Kerto – Q, nebo Parallam – PSL, anebo Triangular Strand Lumber – TSL. Mají konstrukční charakter a dle použité technologie i požadované vlastnosti. Například Kerto Q je každá šestá dýha kolmo k delší straně desky. Jeho přednosti jsou vysoká pevnost, a tloušťky desek do 70 mm dovolují vysoká zatížení. Používají se jako nosné záklopy stropů, střešní obklady apod. (Böhm; Reisner; Bomba, 2012).

3.1.3 Surovina pro výrobu překližek

Vrstvené překližované materiály jsou vyráběny z dýh. Dýhu můžeme definovat jako tenký list dřeva s tloušťkou do 7 mm. Tento list můžeme vyrobit krájením, nebo loupáním. Krájené dýhy jsou většinou dýhy okrasné, jelikož mohou dosahovat velmi malé tloušťky, a tedy vysoké výtěžnosti dané dřeviny. Kresba těchto dýh je tangenciální, radiální nebo polo tangenciální. Loupané dýhy dělíme na excentricky a centricky loupané. Loupané dýhy viz Obr. 2. řadíme většinou do konstrukčních dýh. To je dáno zejména jejich minimální tloušťkou listu a nižší výtěžností (Böhm; Reisner; Bomba, 2012).



Obr. 2. - Loupaná dýha

(www.decospan.com)

Dýhy lze rozdělit také podle druhu dřeviny, ze které byla vyrobena. Některé dřeviny jsou vhodné především pro výrobu okrasných, nebo speciálních dýh. Jedná se většinou o vzácné dřeviny se zajímavou kresbou. Na druhé straně dřeviny vhodné

právě pro výrobu konstrukčních dých, a i samotných překližovaných materiálů. Z našich dřevin je to buk, bříza, topol. Překližky se vyrábějí také z exotických dřevin jako například Meranti, Ceiba, Sapeli nebo Mahagon (Král, 2011).

3.1.4 Lepení

Kvalita překližovaných desek závisí jednak na dřevní surovině (adherendu), ale také na druhu použitého lepidla (adheziva). V minulosti byla lepidla rostlinného, popřípadě živočišného původu, která nebyla zdaleka tak odolná. V současnosti se používají lepidla převážně syntetická, u překližovaných materiálů pak nejvíce fenolformaldehydová, nebo také močovinoformaldehydová. Lepidla jsou v kapalném stavu. Pevnost spoje pak závisí nejen na přilnavosti lepidla, ale také na samotné soudržnosti částic lepidla.

Lepený spoj je ovlivněn smáčivostí, adhezí a kohezí. Smáčivost je ovlivněna povrchovým napětím adherentu a lepidla ve formě kapaliny. Adhezi můžeme chápat jako sílu, která způsobuje přilnavost adheziva a adherendu. Ta se dělí na mechanickou (nejstarší teorie – odkazující se na členitost povrchu materiálu) a specifickou (uplatňuje se i u neporézních materiálů – záleží na co nejtěsnějším přiblížení molekul lepidla a molekul adherentu). Koheze, vnitřní soudržnost molekul adheziva. Všeobecně závisí na tloušťce lepeného spoje. S klesající tloušťkou se zvyšuje pevnost (Král, 2011).

Močovinoformaldehydová lepidla (UF) na dřevo jsou v současnosti nejvíce používané. Je to dáno jejich vlastnostmi, kterými jsou zejména velký teplotní rozsah tvrzení (10 až 150 °C), krátká vytvrzovací doba a jejich poměrně jednoduchá aplikace. Ta je dána tím, že se jedná o formu vodního roztoku. FU pryskyřice jsou částečně odolné proti vodě. Hlavní nevýhodou je, že se z těchto lepidel uvolňuje formaldehyd. Vytvrzování FU pryskyřic je urychleno snížením pH, kdy optimální hodnoty jsou 3-3,5. Nejčastěji se jako tvrdidlo používá chlorid amonný – NH₄Cl. Do této skupiny lepidel patří například: Umacol C, Diakol F, Kronocol SU 33 a jiné (Král; Hrázský, 2007).

Kvalitnější jsou fenolformaldehydová lepidla, která jsou vhodná zejména k výrobě překližek. Tyto fenolformaldehydové (PF) pryskyřice vytvářejí pevné spoje s odolností proti horké vodě, povětrnostním podmínkám a většině rozpouštědlům. Tvrzení probíhá v alkalickém prostředí. Druhy lepidel: Umaform B115, Rezol 550, Fenokol A apod. (Král; Hrázský, 2007).

Současná výroba dřevěných kompozitů je založena především na lepidlech na bázi formaldehydu, jako jsou pryskyřice močovinoformaldehydové (UF) a fenolformaldehydové (PF). Vzhledem k tomu, že tyto pryskyřice jsou vyráběny z neobnovitelných zdrojů a existují určité problémy s možným zdravotním rizikem v důsledku emisí formaldehydu z těchto materiálů. Proto jsou předmětem výzkumu nové typy lepicích směsí, které tento karcinom neobsahují. Jedním z těchto výzkumů je například výroba lepidel na překližky z biologického odpadu na jatkách, kde tento odpad představuje podstatné množství potencionálně levného a obnovitelného zdroje bílkovin pro výrobu těchto bezemisních lepidel. (ADHIKARI B.; APPADU P.; CHAE M.; CHOI P.; KISLITSIN V.; BRESSLER C., 2016)

3.1.5 Technologie výroby dřív pro překližky

Výrobní proces překližek je soubor jednotlivých dílčích operací. Vstupní surovina je kulatina. Tu je nutné při skladování chránit před znehodnocením, a to doby jejího zpracování. Ochranu kulatiny provádíme uskladněním pod vodu, pomocí postřiků, případně ochrannými nátěry čel. Dalším způsobem je suchá skládka.

Před spravováním kulatiny loupáním se dřevo plastifikuje, jedná se o hydrotermickou úpravu dřeva. Ta se skládá ze tří fází: ohřevná fáze, vlastní hydrotermická úprava a egalizační dopařování a ochlazení. Po plastifikaci většinou následuje odkornění, které může být provedeno již před touto fází. Po odkornění se plastifikovaná kulatina dělí na výřezy na zkracovacích pilách. Tyto dvě operace většinou probíhají na jedné lince, kde jsou kmeny nejprve zkráceny a následuje frézovací odkorňovač. V některých provozech může následovat vyhledávač kovových předmětů, které mohou poškodit loupací, případně krájecí nůž. Tyto části jsou automaticky odstraněny.

Výroba dřív na překližky se provádí především loupáním viz Obr. 3. Loupání znamená oddělování tenké vrstvy dřeva rovnoběžně s vlákny. Jedná se o otáčivý

pohyb výřezu upnutého v čelních plochách proti loupacímu noži a tlačné liště. Důležitý je úhel řezu, který je daný součtem úhlů hřbetu a ostří nože.



Obr. 3. - Loupačka dýh

(www.dyas.eu)

Loupáním vzniká dlouhý pás dýhy, který se následně stříhá na požadované formáty. Délka pásu dýhy je závislá na průměru výřezu a tloušťce loupané dýhy.

Po zakrácení dýh následuje sušení dýh, které má za cíl snížit vlhkost z mokrého stavu (v rozmezí 50 % - 150 %) po plastifikaci na vlhkost 4 % - 10 % dle dalšího použití. Sušení lze rozdělit na přirozené a na umělé (kontaktní, konvekční apod.) Po vysušení se suché dýhy třídí na pohledové a na konstrukční, které se používají na středy překližek. Toto je dáno zejména počtem vad v listu. U okrasných vrstev překližek vyšších jakostí můžou být dýhy sesazovány z menších formátů.

Důležitou operací po třídění dýh, je oprava vad dýh. Tyto vady se vykrajují pro záplaty různých tvarů, například motýlové tvary, nebo oválné. Tyto záplaty se dělají poloautomaticky, ale především plně automaticky. Tento krok vede k velkým úsporám materiálu.

Dýhy používané pro výrobu překližek jsou obvykle v tloušťkách 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; a 3,5 mm. Desky jsou tvořeny minimálně 3 vrstvami (český výrobce překližek Dyas nabízí výrobek Multiplex, který má až 39 vrstev o finální síle desky 50 mm) (Král, 2011).

3.1.6 Technologie výroby vrstvených materiálů – překližek

Při výrobě překližovaných materiálů je důležité vrstvení symetricky od středu překližky. Sousední listy jsou na sebe kolmo vlákny, pootočené o 90°. Dýhy musejí mít stejnou tloušťku. Vrstvy dýh ve stejné vzdálenosti o středu překližky musejí být ze stejného materiálu, musejí být vyrobeny stejnou technologií a musejí mít stejný průběh vláken. Pokud nejsou tyto požadavky splněny, mohou vznikat vady jako například kroucení překližky.

Samotná výroba překližek má následující postup:

- skladování loupaných dýh,
- příprava lepicí směsi,
- nanášení lepicí směsi,
- předlisování,
- lisování a klimatizace,
- formátování a oprava,
- broušení překližek,
- třídění překližek,
- skladování překližek.

Příprava lepicí směsi je vlastní úprava lepidla před jejím použitím. Rozumíme tím rozpuštění lepidla, ve správné poměru vmíchaná tvrdidla a jiné komponenty (plnidla, nastavovadla). Na druhu lepidla pak závisí složení a poměry jednotlivých komponent. Lepicí směsi se míchají za určitých teplot, obvykle 20 °C. Tyto směsi jsou míchaná v automatických zařízeních.

Nanášení lepicí směsi válcovými nanášečkami, poléváním (tenká clona lepidla), nebo také vytlačováním (vytlačováním řadou trysek).

Po nanesení lepicí směsi následuje skládání souborů dle výše uvedených pravidel a konstrukce překližek. Skládání se provádí jednak ručně, ale i mechanicky. Předlisování za studena se provádí s více složenými soubory najednou, které jsou následně lisovány ve víceetážových lisech. Předlisování se provádí za studena bez vytvrzení adheziva.

Lisování rozumíme fixaci jednotlivých celků až do jejich vytvrnutí. Parametry lisování jsou lisovací doba, teplota a tlak. Tyto vzájemně souvisící veličiny ovlivňuje zejména kvalita dřív a druh lepidla.

Dokončení výroby překližek je formátování, oprava vad a broušení, čímž docílíme egalizace tloušťky desek (Král, 2011).

3.1.7 Mechanické a fyzikální vlastnosti překližek

S rostoucím zájmem o výrobky z překližovaných materiálů se zvyšují i nároky na jejich kvalitu. Výběr kvalitního materiálu je daný mimo jiné mechanickými a fyzikálními vlastnostmi.

Důležitá mechanická vlastnost pro výrobu nábytku je pevnost. Pevnost je sledována v různých směrech, rozlišujeme, zda se jedná o tahový, tlakový, smykový, nebo ohybový silový účinek. Tyto vlastnosti ovlivňuje zejména druh a hustota dřeviny použité k výrobě překližky, ale také vlhkost, použité lepidlo a skladba překližky. Mezi naše nejpevnější překližované plošné materiály patří bukový, popřípadě březový multiplex. K materiálům s nejnižšími mechanickými vlastnostmi pak řadíme například topolové překližky (Král, 2012).

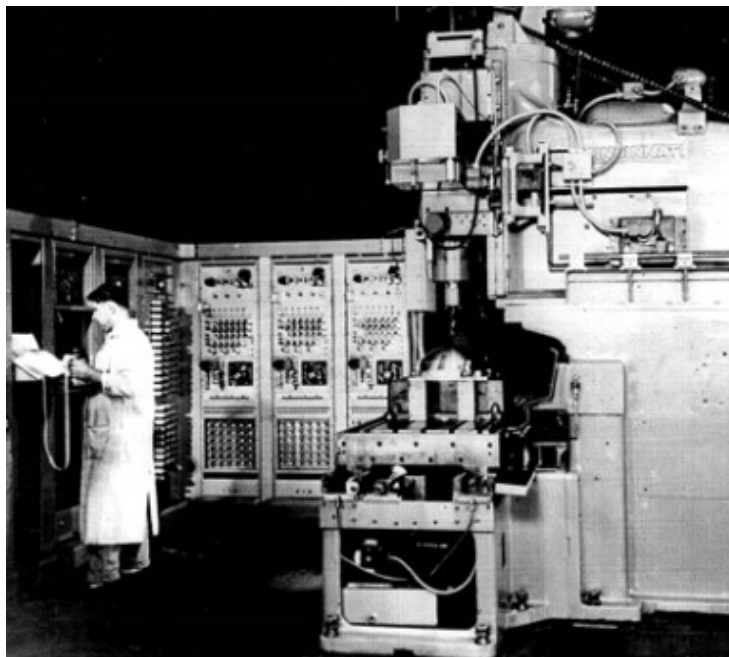
Jak už bylo zmíněno, pro plošný aglomerovaný materiál je optimálním řešením obrábění použitím CNC zařízení. To je díky své konstrukci velmi efektivní, jak časově, tak kvalitou obrobených ploch a přesností produkovaných dílců. Z tohoto důvodu byl uvažován tento typ obrábění v závislosti na zvoleném materiálu. Ten je stručně popsán v následující části práce.

3.2 CNC obrábění

Vývoj v oblasti výpočetní techniky a jejím použití v procesu výroby, spolu s rychlým rozvojem nových technologií obrábění, se CNC stroje staly nenahraditelným pomocníkem v mnoha průmyslových odvětvích. V současnosti lze díky těmto technologiím vyprodukovat výrobky v dříve nepředstavitelné kvalitě a množství. „Základním úkolem CNC je řízení relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem“ (Marek, 2018).

3.2.1 Vývoj číslicově řízených obráběcích strojů

Výkonné a druhově rozmanité CNC obráběcí stroje jaké známe dnes, se vyvíjely z velmi jednoduchých zařízení. Počátek vývoje těchto strojů se datuje ke konci 2. světové války v USA. V této době vznikl první funkční prototyp zařízení ve spolupráci s Massachusetts Institute of Technology (MIT). Tento stroj (viz Obr. 4) používal servomotor pro pohon vřetene ve třech osách pohybu. Byl tak schopný opravdového trojrozměrného obrábění. Zařízení bylo velmi složité a tím i nákladné.



Obr. 4. - První NC zařízení v MIT
(<https://todaysmachiningworld.com>)

Přibližně ve stejnou dobu byl podobný systém vyvinut také ve Velké Británii firmami Alfred Herbert Ltd, nebo Ferranti Ltd. Během 70.let (kuličkové, valivé a hydrostatické vedení), 80.let (zásobníky nástrojů a obrobků, minimalizace zásahu člověka do procesu výroby), ale především 90. let (zpřesnění obrábění, velkokapacitní zásobníky, první CAD/CAM systémy) procházela tato zařízení neustálým vývojem (Smith, 1993).

V průběhu 90. let byly CNC stroje vybaveny velkokapacitními zásobníky s mezioperační dopravou obrobků a nástrojů. To mělo za důsledek velké zvýšení přesnosti a dále také produktivity. Tyto stroje měli již otevřenou architekturu (Kvietková, 2015).

Vývoj CNC strojů řadíme do etap, které nazýváme vývojové generace:

- NC stroje 1. vývojový stupeň – stroje jsou odvozeny od běžných konvenčních strojů, uzpůsobené k číslicovému řízení. Nepřesné, málo spolehlivé.
- NC stroje 2. vývojový stupeň – systém umožňuje řízení v určitých obecných cyklech. Revolverové zásobníky nástrojů, výměna opotřebovaných nástrojů ruční.
- NC stroje 3. vývojový stupeň – konstrukce těchto zařízení je zaměřena hlavně na výrobní soustavy, automatická výměna obrobku. Stroje umí zvolit správný nástroj, výměna opotřebovaných nástrojů opět ruční.
- NC stroje 4. vývojový stupeň – plně automatický stupeň (výměna nástrojů, obrobku, odpadu). Využívá moderních technologií, jako například laser. Výměna opotřebovaných nástrojů automatická.
- NC stroje 6. vývojový stupeň – je nejpřesnější z předchozích variant, je opatřen kvalitními řídicími systémy. Rychlá výměna nástrojů.

Dnešní CNC obráběcí centra pracují v automatických cyklech, provádí různá třísková obrábění, automaticky mění nástroje nebo obrobek, často jsou vybavena diagnostikou a měřením (Kvietková, 2015).

3.2.2 Konstrukce CNC strojů

CNC obráběcí centra se skládají z následujících základních celků. Mechanická část, která vytváří posuv mezi nástrojem a výrobkem. Elektrická část, řídicí systém CNC a elektroskřín zařízení. Třetí částí je PLC (Programmable Logic Controller), mezičlánek mezi mechanickou částí stroje a řídicím systémem. Poslední celek tvoří procesní media jako například hydraulika, vzduch odvod třísek, elektřina a jiné.

Konstrukce numericky ovládaného obráběcího zařízení se výrazně liší od konstrukce konvenčních strojů. To je dáno požadovanými charakteristikami výsledného obrobku, jako je tvarová i rozměrová přesnost, kvalita obrobeného povrchu a bezporuchovost zařízení (Marek, 2018).

Nejdůležitějšími konstrukčními požadavky jsou:

- Tuhost a stabilita nosné konstrukce CNC zařízení.
- Tepelná odolnost konstrukce – myšleno zejména teplo vznikající chodem zařízení, například činností vývěvy, elektromotorech, nebo třením v ložiscích.
- Schopnost tlumit vibrace – tím zabezpečit přesnost obrábění a vyšší životnost nástrojů.

Sekundární požadavky na konstrukci zařízení jsou takové, aby obrobek, případně nástroje byly pro obsluhu snadno dostupné. Velmi důležité jsou bezpečnostní prvky chránící obsluhu před úrazem. Moderní CNC stroje jsou vybaveny několika stupňovou ochranou, při jejímž narušení se stroj okamžitě zastaví.

3.2.3 Součásti CNC zařízení

Rám – základní část všech CNC strojů tvoří rám. Hlavní požadavkem na stavbu rámu je vysoká torzní tuhost a schopnost tlumení chvění, vibrací. Dříve se až na nějaké výjimky všechny části konstrukce strojů vyráběly z litiny. Dnes mohou, jsou tyto základny často prefabrikované, svařované z oceli. Některé firmy používají také beton, kterým vyplní základny strojů a tím je stroj stabilnější a odolnější.

Materiál s velmi dobrými vlastnostmi konkurující litině je Granitan. Ten vyniká zejména vysokou tepelnou stabilitou a vyšší schopností utlumit vibrace, než má právě litina. Součástí všech těchto rámu jsou vodící plochy, přímo úměrné jejich kvalitě je výsledná přesnost stroje.

Hlavní pohon zařízení – pohon musí být možné nastavit na takový počet otáček, aby odpovídal požadavkům hodnot řezných rychlostí použitých nástrojů. Nastavení otáček lze regulovat plynule, nebo stupňovitě. K tomuto účelu se často používají stejnosměrné, popřípadě střídavé servopohony. Tyto pohony jsou schopny držet automaticky otáčky bez ohledu na zátěž. Součástí jsou elektromagnetické brzdy pro možnost okamžitého zastavení stroje, například při porušení bezpečnostních prvků.

Vřeteno – v současnosti při plně automatizované výrobě je do CNC zařízení instalováno obráběcí elektro vřeteno. Určující parametry jsou jeho výkon a rozsah otáček. Vřeteno pak obsahuje hydraulický systém upínání nástrojů, nebo právě rychloupínací systém založený na rychlé výměně nástroje ze zásobníků.

Hydraulický agregát – ten vytváří tlakový olej sloužící k ovládní jak vlastního stroje, tak i celku jeho příslušenství. Je rozveden systémem hadic a spojovacích kostek.

Mazací agregát – zajišťuje mazání kluzných ploch. Tvoří samostatný montážní celek. Dle použití rozdělujeme mazání olejem, nebo mazacím tukem. Některé rozvody jsou plně automatické, jiné mohou být manuální (tzv. maznice).

Suporty – jsou tvořeny z podélného a příčného suportu umožňujícího pohyb ve dvou vzájemně kolmých osách. Jsou kluzně uloženy na kalených lištách upevněných do rámu stroje. Pohyb je prováděn kuličkovými šrouby a automaticky mazán z mazacího agregátu nastavených časových intervalech.

Servomechanismy – zajišťují pohon posuvu, rychlost pohybu a nastavení polohy nástroje vůči obrobku. Servomechanismy můžeme rozdělit na dva druhy. Podle požadovaného pohybu a dle konstrukce. Pohon posuvu transformuje příkazy od snímače polohy na pohyb nástroje, případně obrobku. Posuvný šroub je velice důležitá součást posuvného mechanismu, a proto jsou na něj kladeny vysoké nároky (Svoboda, 1998).

3.2.4 Dřevoobráběcí CNC centra

Z hlediska konstrukčního řešení dřevoobráběcích CNC zařízení rozlišujeme dva základní typy, a to podle možností obrábění. Prvním typem je 3 osé obrábění, které je vhodné zejména pro výrobu plošných dílců z aglomerovaných materiálů. Základem CNC stroje je například již zmíněný ocelový svařovaný rám, na který je namontovaný pracovní rastrový hliníkový stůl s možností upnutí pomocí podtlaku. Tento stůl je v různých rozměrových variantách, které jsou dány velikostí vyráběných plošných materiálů. Nad pracovním stolem se pohybuje portálová konstrukce s obráběcím agregátem. Pohyb obrábění probíhá po třech lineárních osách X, Y, Z.

Druhým typem je zařízení, kde je výrobek upnutý v prostoru a obráběný ze všech stran. V některých případech se upnutý obrobek pohybuje, čímž se zvyšuje efektivita obrábění a je možné vytvářet komplikovanější tvary obrobků. Princip 5 osého obrábění je současný pohyb po lineárních i rotačních osách obráběcího stroje, kde k původním osám X, Y, Z přidávají i osy rotační A, B a C. Tyto stroje se používají hlavně pro profilování, například pro výrobu okenních profilů.

Další samostatnou skupinou jsou CNC formátovací pily, které slouží výhradně k dělení plošných materiálů. Tyto stroje jsou schopny řezat i více desek najednou, většinou do maximální výšky prořezu pily. Obrábění je prováděno ve dvou osách Y a X (Janíček, Zbořil a Vozár, 1995).

3.2.5 Způsoby programování

Programování číslicově řízených obráběcích strojů je hlavním faktorem v automatizaci výrobního procesu. Jedná se o velice náročnou a vysoce kvalifikovanou činnost. Od obsluhy zařízení se vyžadují technologické znalosti obrábění, optimální řešení technologických postupů jednotlivých operací, a to vše s minimalizací výskytu chyb. Komplikovanost a náročnost prvních řídicích programů dala vzniknout CAD/CAM aplikacím, které významnou měrou zjednodušují tento proces. V současné době je těžké si představit moderní výrobu bez podpory počítačových systémů a softwarů určených k návrhu výrobků a následné transformaci těchto dat pro obráběcí centrum. Dnes používané počítačové

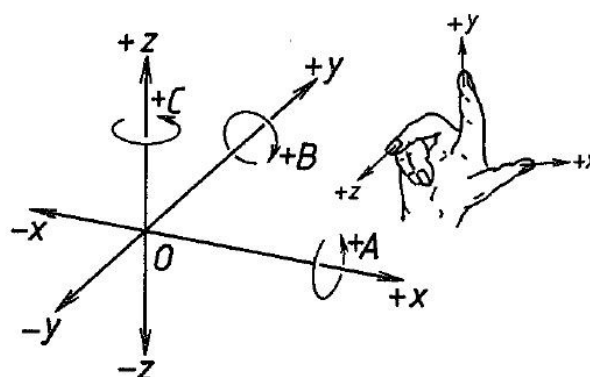
systemy CA (Computer Aided) jsou určeny právě pro tento účel. CAD (Computer Aided Design) jsou programy sloužící k vývoji samotných výrobků, nebo řešení konstrukčních požadavků. Pomocí CAD aplikací lze vytvářet jednoduché modely až po velmi komplikované celky. Výstupy jsou dvou, nebo třírozměrné. Moderní CAD programy jsou schopné automatických výstupů dat, jako například výkresové dokumentace, seznam použitých materiálů potřebných ke konstrukci apod.

CAM (Computer Aided Manufacturing) jsou určeny pro řízení, obsluhu a kontrolu automatizované výroby. Lze uplatnit u kusové, tak i sériové výroby (Kocman, 2004).

3.2.6 Souřadný systém číslicově řízených strojů

Abychom CNC mohli programovat, vytvořit program obrábění, je nutné jednoznačně určit souřadné osy pracovního prostoru. Pohyb obráběcích strojů je definován v soustavě pravoúhlých pravotočivých souřadnic (pravoúhlá souřadná soustava). Osa X a Y jsou kolmice k ose Z a rovnoběžné s povrchem stolu. Osa Z je pak rovnoběžná s osou vřeten / nástroje.

ISO 841: 2001 (E) © ISO 2001 Standardní souřadný systém stroje se používá k zadání souřadnic pohyblivého nástroje (nebo bodu v pracovním prostoru nebo na výkresu) s ohledem na stacionární pracovní stůl (<https://www.sis.se/api/document/preview/618131/>).



Obr. 5. - Pravidlo označení směru os

(<https://eluc.kr-olomoucky.cz/>)

Vztažné body zařízení jsou velice důležité, aby bylo možné určit polohu obráběného dílce a polohu nástroje v souřadné soustavě zařízení.

Referenční bod R je pevně dané místo zařízení. Na tomto místě se zařízení kalibruje například po spuštění.

Nulový bod stroje M je určen výrobcem při konstruování stroje. Jedná se o počáteční bod souřadnicové soustavy stroje, který nemůže být upraven uživatelem, avšak může být posunut do nově zvolené polohy. Tento bod se nachází v ose rotace na krajní části stolu v obou osách. Nulový bod obrobku W je bod pomocný, určený obsluhou zařízení.

3.2.7 Nástroje pro dřevoobráběcí centra

Hlavními nástroji CNC center jsou frézy. Frézování je technika obrábění dřeva, při kterém dochází k obrábění rovinných, nebí tvarových ploch více břitým nástrojem frézou. Metody frézování rozdělujeme podle typu na válcové sousledné a nesousledné, okružní, čelní a planetové frézování. Pro CNC jsou stěžejní dva typy obrábění, planetové a čelní frézování.

Čelní frézování – osa nástroje je kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezáván nejen břitý na obvodu, ale také břitý na čelní ploše frézy. Tento způsob frézování je výkonnější, protože při obrábění zabírá více zubů současně. Tloušťka třísky se mění od nuly do maxima, a to podle velikosti průměru frézy a šířky obráběné plochy. Čelní frézy se používají zejména při frézování na vertikálních frézkách, nebo CNC zařízeních.

Planetové frézování – realizuje se výhradně na číslicově řízených strojích a na obráběcích centrech. Pohyb frézy je řízený po kružnici, proto můžeme obrábět části nebo celé plochy.

Nástroje rozlišujeme dle konstrukce na celistvé frézy (například stopkové frézy s SK plátky), monolitické frézy (frézy vyrobené z jednoho kusu rychlořezné oceli), s upnutými noži nebo zuby a složené frézy.

Stopkové frézy mají stopku, pomocí které se nástroj upíná do stroje. Osa otáčení nástroje je totožná s osou otáčení vřetena. Jsou určeny pro použití v horních frézkách, ale i při pomocných aplikacích na CNC strojích. Používají se při frézování

všech kompozitních materiálů, překližky, DTD, tvrdého a měkkého dřeva (Barcík, a kol., 2013).

Dalšími nástroji mohou být dle typu zařízení různé typy vrtáků, drážkovací pilky, formátovací kotoučové pily.

4 Praktická část práce

4.1 Metodika

Celý návrh a jeho realizace probíhala ve středočeské firmě 23pm s.r.o., se sídlem v Zákolanech (okres Kladno), od které bylo poskytnuto zázemí pro můj návrh, a to včetně softwaru a obráběcího centra. Firma se zabývá projekcí a výrobou interiérového nábytku především z aglomerovaného dřeva. Úkolem této práce je přiblížení výrobního procesu za pomoci CAD/CAM aplikací.

Práci lze rozdělit na dvě hlavní fáze. První fáze je zaměřená na vytvoření 3D modelu a výkresové dokumentace navrhovaného stolu pomocí CAD programu. V této části byla uvažována i optimalizace projektu tak, aby se dosáhlo co nejlepších podmínek především z hlediska spotřeby materiálu, ale i následné časové úspory při obrábění.

Druhou fází je pak výroba samotného stolu, která zahrnuje naprogramování výrobku dle 3D návrhu z předchozí fáze do CNC stroje Pratix S22 B pomocí řídicího CAM softwaru Xilog Maestro, obojí společnosti Morbidelli - SCM Group. Poslední fáze projektu je už samotná výroba prototypu stolu dle návrhu.

4.2 Charakteristika použitých programů

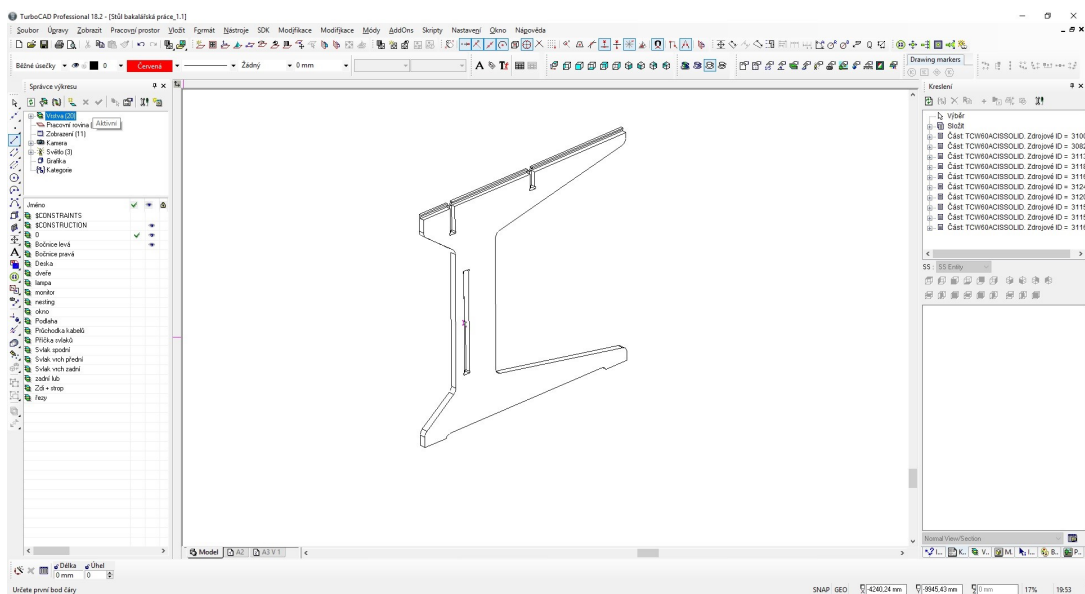
4.2.1 TurboCAD Professional v18

TurboCad je CAD aplikace od společnosti IMSI/Desig, určená pro přesné technické kreslení a hledání optimálních konstrukčních řešení ve 2D a 3D. Pokud bychom chtěli program zařadit do kategorie dle rozdělení CAD systémů, tak by to byla nižší až střední kategorie. Nejrozšířenější jsou verze profesional (Overby, 2011).

Práce s tímto programem je intuitivní a pracovní prostředí lze velice jednoduše přizpůsobit potřebám uživatele (viz Obr. 6.). Je jedním z nejvhodnějších CAD programů pro návrhy zejména atypického nábytku. Program podporuje většinu výstupních formátů, včetně těch nejpoužívanějších. Mezi ně patří například DWG (AutoCad formát), DXF (Drawing Exchange Formát), SKP (Google SketchUp™), 3DS(Autodesk® 3ds Max®), 3DM (Rhinoceros® a další. Program je schopen

vytvářet i vizualizace z 3D modelů, které jsou ve velmi dobré kvalitě. Správa nástrojů kompatibilita zvyšuje ovladatelnost nástroje a přesnost kresby.

Další výhodou programu TurboCad je možnost nastavby pro jednotlivé oblasti použití, ke kterému je program používán. Firma Špinar nabízí nastavbu určenou přímo pro nábytkářskou výrobu, Daex generator a Daex cut. Další zajímavou nastavbou může být Beam Analysis tool sloužící k analýze nosníků (<https://www.turbocad.com/>).



Obr. 6. - TurboCad rozhraní

4.2.2 Xilog Maestro

Řídící software Xilog Maestro je komplexní software určený k vytváření programů v grafickém, nebo textovém editoru. Tento software je vyvinutý firmou SCM group, kterou je také dodáván spolu s CNC obráběcím strojem.

Xilog Maestro přináší nový přístup k programování stroje, který je silně orientovaný na proces, programátor se stará pouze o to, co musí vyrobit, ne o to, jak to musí udělat. Tento přístup umožňuje uživateli soustředit se na definici obrobku, geometrie, manipulací a způsobů obrábění. Komplexní tvorba rozsahů nástrojů a optimalizace obráběcích programů se provádí pomocí softwaru. Xilog Maestro poskytuje jednoduché a intuitivní 3D grafické nástroje pro programování zpracování

a řízení pracovních stolů stroje, které lze přizpůsobit nejnovějším CAD / CAM systémům. Pomocí několika málo kliknutí může uživatel vytvořit obráběcí program pomocí nástrojů pro kreslení CAD softwaru. Realistický 3D pohled na obrobek a procesy obrábění mu umožňují okamžitě zkontrolovat výsledek.

Pracovní prostředí s množstvím grafických ikon a nástrojů, správa těchto nástrojů s definicí detailních informací ke každému nástroji. Parametrické programování dovoluje automatické aktualizování programu při změně výchozích parametrů obráběného dílce. Možnost automatického výběru nejvhodnějšího nástroje pro požadovanou operaci velmi usnadňuje práci programátora. Program je dodán s nadstavbou Nesting – volné tvary, který vylepšuje základní modul Nesting – obdélníky. Díky tomuto modulu lze provádět optimalizaci nářezových schémat tvarových dílců. Program má také české prostředí (www.scmgroup.com).

4.3 Použité obráběcí centrum – SCM Pratix S22 B

SCM group je přední světový výrobce dřevoobráběcích zařízení se sídlem v Itálii. Zařízení Pratix S (viz Obr. 7.), je obráběcí centrum určené zejména pro obrábění plošného materiálu různého typu (aglomerované materiály, plasty, nebo kompozitní materiály).

Základ stroje tvoří masivní ocelový rám, který tvoří i nosnou plochu pro pracovní stůl o rozměru 3086 x 2155 mm (viz Obr. 8.). Ten je svou konstrukcí vhodný pro obrábění plošných materiálů, které jsou upnuté v celé ploše stolu pomocí podtlaku. Tento stroje má jednu podtlakovou vývěvu s výkonem 250 m³ / hod. Na přední straně stroje je umístěn digitální vakuostat zobrazující aktuální hodnoty podtlaku. V nastavení stroje lze zadat minimální hodnotu podtlaku, při jejímž nedodržení se stroj automaticky vypne.

Materiál lze upínat přímo na pracovní stůl s podkladní MDF deskou (nesting systém), nebo na přísavky, které dovolují obrábění pod spodní hranou materiálu. Horní plocha stolu je opatřena rastrem, do které je možné vložit těsnící gumu, nebo vložení MPS přísavek. Otvory vývodu podtlaku jsou rozmístěné v rastru 120 x 120 mm. Stůl je vybavený vysouvatelnými zarážkami po obvodě stolu, které přesně polohují dílec pro obrábění. Stůl je rozdělený na dvě podtlakové zóny. To umožňuje kyvadlový způsob obrábění.



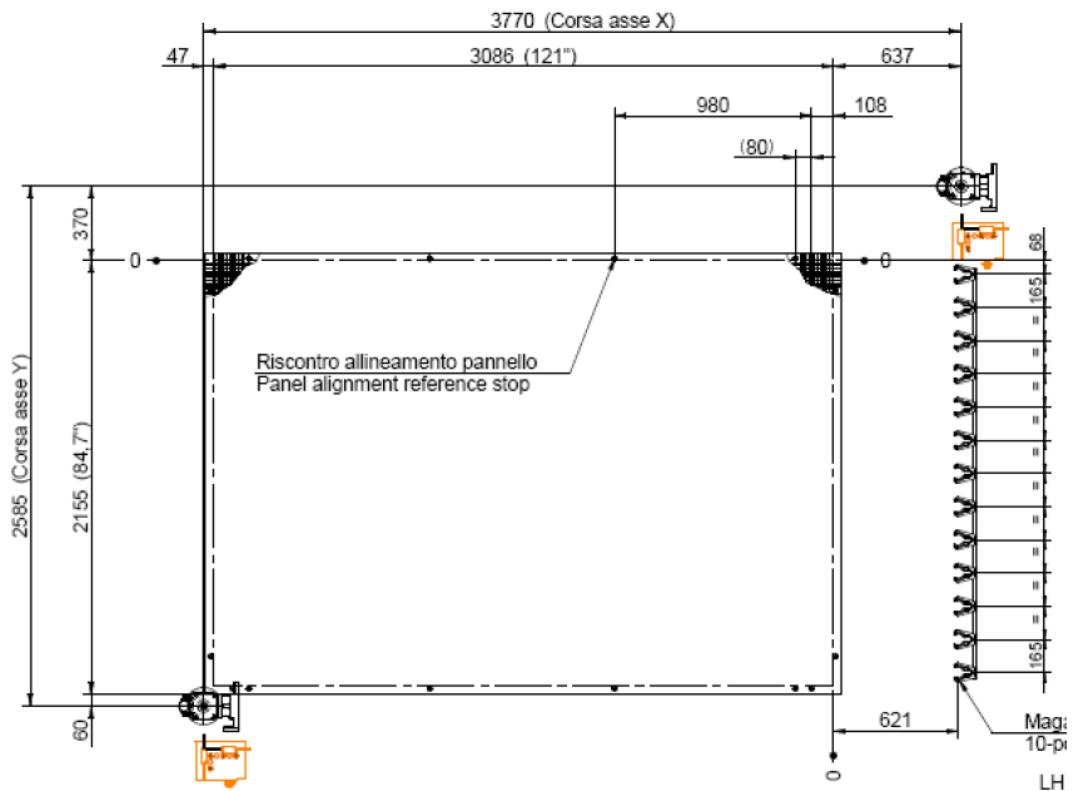
Obr. 7. - Pratic S22 B

(https://www.scmgroup.com/en_US)

Nad pracovním stolem se pohybuje portálová konstrukce s vřetenem. Nosník se pohybuje v ose X a po nosníku se pohybuje vřeteno a pracovní hlava v ose Y. Obráběcí elektrovřeteno o maximálním výkonu 6,6 kW a rozsahu otáček 1500–24000 ot/min. Elektrovřeteno je vybaveno automatickou výměnou nástrojů z hřebenového zásobníku na boku zařízení. Rychloupínací systém HSK 63 F (z německého Hohlschaftkegel), obsahuje mechanickou skupinu uvnitř hřídele pro upnutí kužele. Upínání a uvolňování je řízeno příkazem z CNC k výměně nástroje. Tato operace je kontrolována senzory a v případě chyby zabrání roztočení hřídele. Vzduchová tryska uvnitř hřídele zajišťuje čistotu kontaktních ploch upínacího systému. Spodní část elektrovřetene je opatřena čtyřmi tryskami s tlakovým vzduchem pro ofuk nástroje během obrábění (www.panas.cz).

Rozměry pracovního stolu - rastrový stůl
Maximální výška obrobku
Pojezd v osách X-Y-Z

3.086 x 2.155 mm
150 mm
3.770 x 2.585 x 250 mm



Obr. 8. - Rozměry obráběcího centra

(<http://www.panas.cz>)

Vedle vřetene s hlavním obráběcím nástrojem, je na nosníku vrtací hlava. Sada vrtací hlavy obsahuje drážkovací pilku v ose X a čtyřmi horizontálními vrtáky.

Zřízení má na rámu zabudovanou dotekovou sondu pro automatické měření nástroje. Naměřené hodnoty lze manuálně přenést do řídicího systému stroje.

Stroj je připojen k šroubovému kompresoru BK20T-10500D s integrovanou kondenzační sušičkou stlačeného vzduchu.

4.4 Projekční část výroby

Jako první krok práce bylo důležité si definovat základní parametry výrobku a těmi jsou především jeho rozměry (rozměry bude nutné následně optimalizovat pro výrobu), požadované vlastnosti navrhovaných spojů a volba vhodného materiálu pro

pozdější výrobu. U výrobku je podstatná funkčnost. Estetická stránka je nejméně důležitým parametrem při modelování stolu v CAD aplikaci.

Mezi základní rozměry patří výška, šířka a také hloubka stolu. Pracovní plocha by měla být dostatečná k tomu, abychom mohli pohodlně rozmístit potřebné předměty. Touto problematikou se zabývá věda nazývaná ergonomie. Ta odborně popisuje požadavky na optimální řešení problému z pohledu potřeb člověka (<http://www.n-i-s.cz/>).

Z konstrukčního hlediska byl nábytek navrhnutý tak, aby se běžným užíváním nenarušila jeho funkce. Tento požadavek byl největší výzvou vzhledem k využití rozebíratelných spojů bez použití lepidel, či spojovacího kování. V tomto směru nám pomohl výběr materiálu s vhodnými mechanickými vlastnostmi. K výrobě byla použita březová překližka, která je svou konstrukcí nejvhodnější. Vybraná překližka firmy Kaplan s.r.o. je složena ze souboru březových dýh, do formátu 2500 x 1250 x 18 mm ve kvalitě S/BB (www.drevo-kaplan.cz).

Výška pracovních stolů určených pro práci v sedě má být 720 ± 20 mm. Šířku budeme použijeme minimální doporučenou hodnotu 1200 mm. Světlá hloubka by neměla být méně než 600 mm, ovšem pro kancelářské stoly je stanoveno normou ČSN EN 527-1 (viz Tab. 1.) minimální hloubka 800 mm, to je dáno doporučenou vzdáleností oka od monitoru. V tomto případě se jedná o typ stolu C, pevný kancelářský stůl s fixní výškou pro práci v sedě. Čistá hloubka pracovní plochy 780 mm doplněna o zadní svlak o síle 18 mm, celá hloubka bude tedy necelých 800 mm.

Tab. 1. -Rozměry pracovního stolu dle ČSN EN 527-1
(<http://www.n-i-s.cz/cz/rozmery/page/587/>)

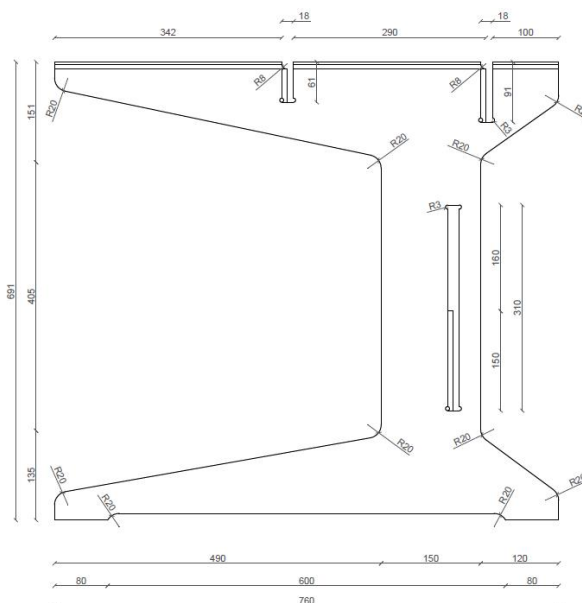
	PRACOVNÍ STŮL			
	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
h1 – výška pracovního stolu (mm)	650–850	650–850	720±20	680–760
Hloubka pracovní plochy (mm)	min. 800	min. 800	min. 800	min. 800
Šířka pracovní plochy (mm)	min. 1200	min. 1200	min. 1200	min. 1200
g1 – prostor pro nohy (mm)	min. 800	min. 800	min. 800	min. 800
w– šířka prostoru pro nohy (mm)	min. 1200	min. 1000	min. 850	min. 850

4.4.1 Projekce výrobku – CAD aplikace

Jak již bylo výše zmíněno, projekce probíhala v programu TurboCAD. Program dostatečně pokrývá potřebné funkce k návrhu požadovaného výrobku.

Po spuštění a pojmenování TCW souboru, byl vytvořen adresář vrstev, ke kterým byly přiřazeny názvy jednotlivých částí stolu. To zjednodušilo rychlost vytváření komponentů a orientaci ve výkresu. Představa o výrobku byla taková, aby působil co možná nejlépeji, proto prioritou bylo vymodelovat levou a pravou nohu stolu, které tvoří výsledný vzhled. Nejdůležitějším faktorem při navrhování stolu byl požadavek na jednoduchou nenákladnou obrobitelnost a funkčnost výrobku.

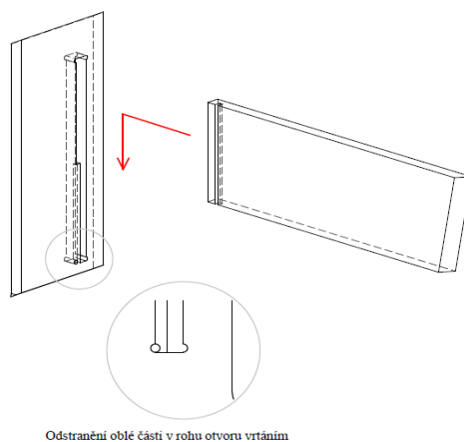
Jako první krok byla vymodelována jedna noha v několika modifikacích, které se několikrát změnily. Vzhled nohy nebyl důležitým faktorem při konstruování. Idea byla taková, aby celek působil spíše industriálním dojmem a hodil se tak do výrob, nebo projekčních prostor. Spodní dosedací část byla vybrána tak, aby se noha na nerovném podkladu nekývala. Vzhledem k lepším pevnostním vlastnostem, ale i estetice byly jednotlivé přechody linií nohy zaobleny v rádiusu 20 mm. Konečný design nohy (Obr. 9.) byl dále upravován v návaznosti na příčné svlaky stolu, kde bylo nutné najít správné řešení spoje.



Obr. 9. - Okótovaná noha stolu

Výroba spoje byla původně zamýšlena poměrně složitým způsobem. Tímto způsobem by bylo nutné některé části stolu obrábět oboustranně, což bylo v rozporu s mou ideou. Některé jednodušší CNC obráběcí stroje nemají funkci umožňující jednoduše otočit dílec a ve správném bodu navázat na obrábění původní. To byl fakt, který vedl právě k zmíněnému požadavku na tento typ provedení spoje.

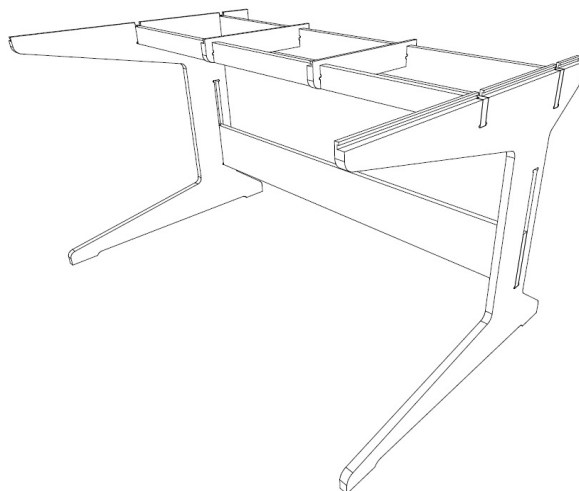
Jedná se upravený spoj čep a dlab, doplněný o pero a drážku. Spoj v tomto provedení je velice jednoduché obrábět, ale jak je vidět na obrázku 10., nejeví se jako příliš pevný. To je dáno zejména tím, že je drážka pouze na čelní straně svlaku. Abychom docílili vyšší tuhosti spoje, tak se drážka ve svlaku, nebo pero v noze stolu musí nepatrně sbíhat, tvořit tvar klínu. Tím, že například drážka bude na jedné straně užší než pero, nevznikne vůle mezi oběma komponenty. Důležitá je velikost tohoto rozdílu, aby bylo možné díly usadit do požadované polohy. Pokud by byl tento rozdíl větší, snadno by došlo k narušení drážky moc vysokým tlakem ve spoji. Vzhledem k požadované přesnosti je pro tento případ numericky řízené zařízení nejvhodnější.



Obr. 10. - Návrh konstrukčního řešení spoje a výkres nohy stolu

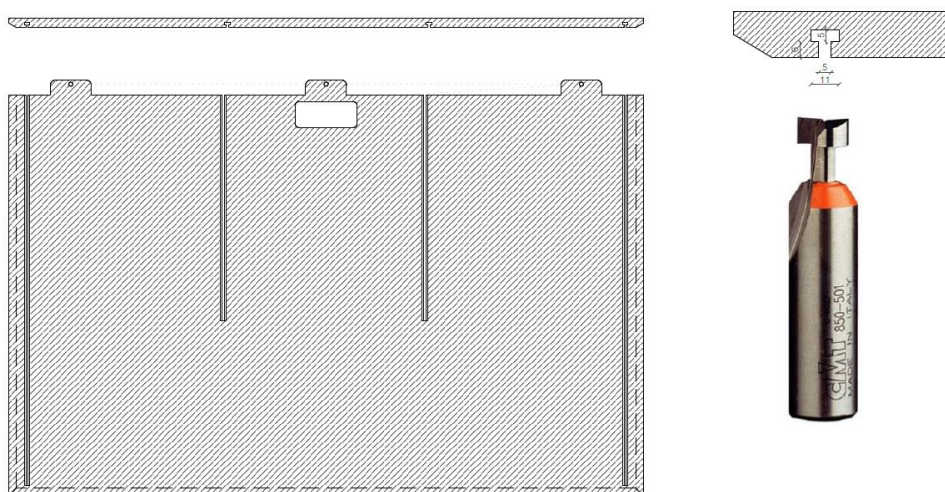
Na takto řešený spoj bylo nutné při kompletování stolu vyvinout většího úsilí k jeho správnému umístění. Všechny spoje svlaků a nohou jsou na stejném principu. Jedná se o spodní svlak vysoký 150 mm a dva nižší svlaky 61 a 91 mm, které jsou v horní části stolu, viz obr. 9. kde je zobrazena noha s třemi výřezy. Tyto dva svlaky mají dva pomocné konstrukční prvky, které jsou k nim kolmé a tím rovnoběžné

s nohami stolu. V části obrábění je detailněji vysvětleno, proč je nutné odvrtat rohové rádiusy po frézování těchto dlabů viz detail obrázku 10.



Obr. 11. – Model konstrukce stolu bez pracovní desky

Tímto způsobem vznikla kompletní spodní konstrukce stolu (Obr. 11.). Deska stolu je napojena na nosnou část odlišně. U desky stolu jsem nechtěl frézovat spoj skrz vrchní plochu z důvodu jejího narušení, a tím snížení komfortu při jeho používání.



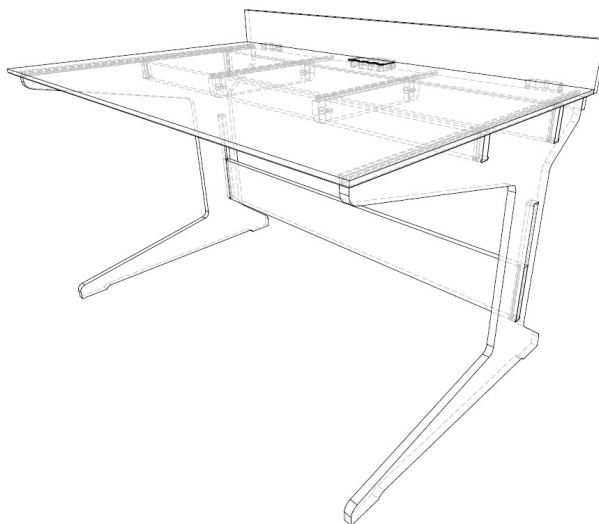
Obr. 12. - Návrh konstrukčního řešení spoje desky stolu T drážka

V tomto případě byl zvolený nástroj, fréza na cylindrické drážky viz tabulka č. 4., kterým byla ze spodní strany desky stolu odfrézována T drážka. Tento nástroj

není běžný a ve výrobě má velice omezené využití. Pro tento projekt je však ideálním řešením. Konstrukce spoje (Obr. 12.) se skládá z již zmíněné T drážky v desce stolu a z L profilu vyfrézovaném na hranách vrchní části nohou a pomocných svlacích. Montáž je pak nasunutí desky na tyto L profily z čelní strany.

Z ryze estetického hlediska jsou čelní a boční hrany desky skoseny pod úhlem 45° ze spodní plochy, čímž je hrana opticky tenčí než použitý materiál. Deska je dále doplněna o průchodku kabelů s krytkou ze stejného materiál. Deska je také opatřena zadním dílcem, který má dvě funkce. Hlavním účelem je zamezit pádu věcí za stůl. Sekundární je pak zamezení pohybu desky ve spoji s podnoží.

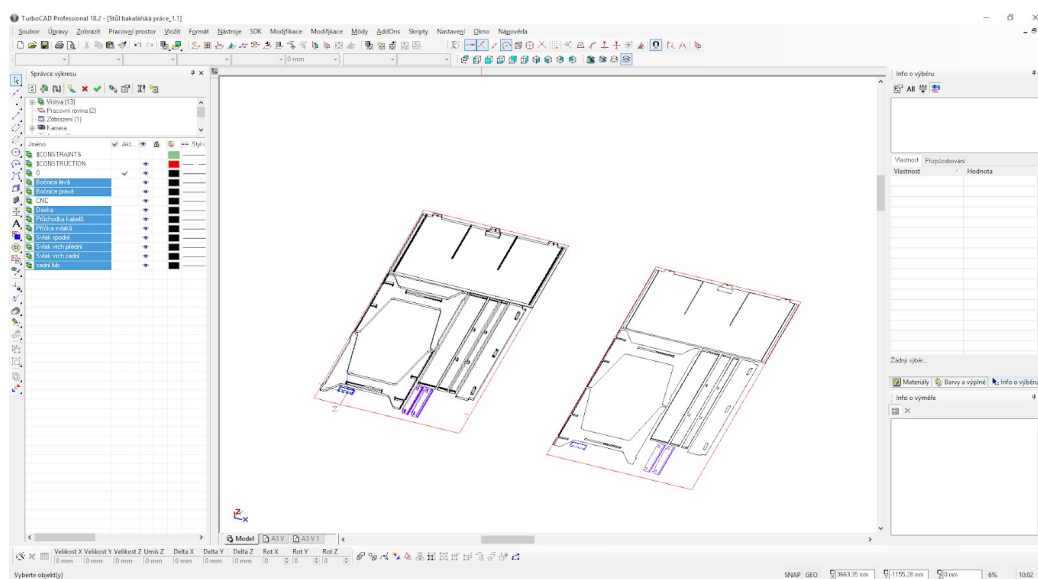
Vzhledem k namáhání těchto spojů vychází i výběr použitého materiálu, který je vhodný hlavně pro svou pevnost. V tomto případě se jedná o celobřezovou překližku PV (překližka voděodolná) v třídě kvality S/BB (S – výběrová jakost bez vysprávek, bez defektů / BB – přípustné jsou dýhové vysprávky a občasné suky) v rozměru formátu 2500 x 1250 x 18 mm / soubor 13 vrstev dýh. Jak bylo popsáno na začátku práce, překližované materiály mají vlastnosti blízké se masivnímu dřevu s eliminací většiny nežádoucích vlastností, jako je například anizotropie, nebo vyšší rozměrová stabilita.



Obr. 13. - Model stolu celek

Ve chvíli, kdy je celý projekt stolu zpracovaný do 3D modelu, je možné začít s přípravou dat pro výrobu. Tento proces není vždy nutný, pokud jsou dílce pravidelných tvarů, lze je programovat rovnou v programu Xilog Maestro za pomoci přednastavených makro podprogramů. V tomto případě to možné není. Většina dílců je tvarově natolik komplikovaná, že by bylo náročné je v CAM programu vytvořit znovu. Pro tento případ byl vytvořen rozpad 3D na křivky. Křivky utvoří požadovaný 2D obrazec, který je důležité vyexportovat ve správném formátu DWG, nebo častěji DXF, se kterými komunikují CAM aplikace (nativní formát souboru TurboCADu je TCW). Ve 2D obrazci mohou být body vyznačující umístění vrtání, nebo různé druhy křivek (přímky, spline, geometrické tvary apod.).

Posledním krokem byla kontrola, zda se nám všechny dílce stolu vejdou do zvoleného formátu překližky, což byl jeden z hlavních cílů práce.



Obr. 14. - Nestingové uspořádání ve 3D a nářezový plán upraven do křivek 2D, který je možné využít v programu Maestro k přiřazení geometrie

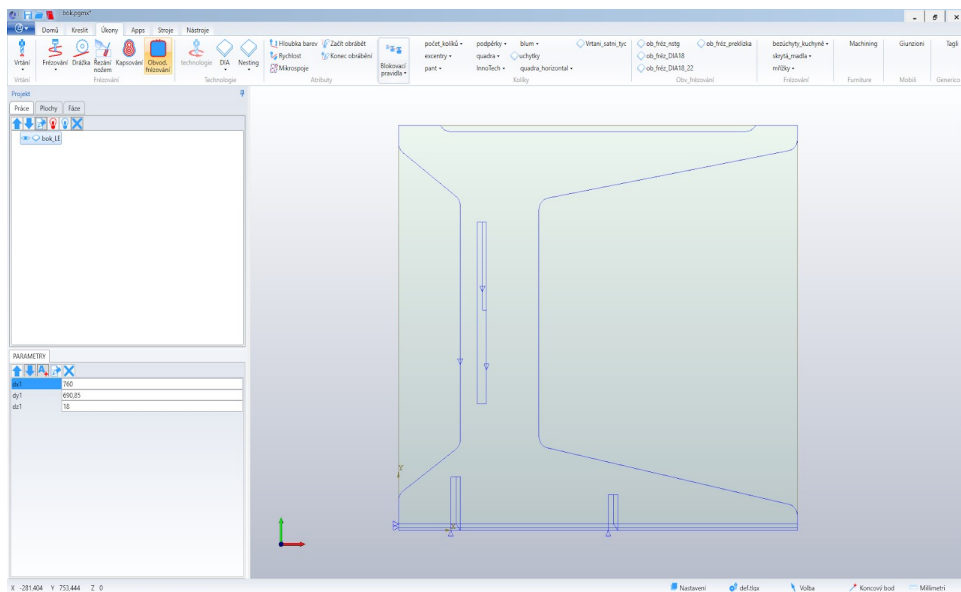
Samostatným výstupem z CAD programu je výkresová dokumentace optimálně doplněná o barevnou vizualizaci výrobků. Pro tvorbu technických výkresů má TurboCad několik nástrojů. Jedním z nich jsou řezy, které jsou vhodné zejména pro složitější výrobky. Tento proces je poloautomatický. Pro tento účel slouží paleta nástrojů Kreslení. V případě úpravy 3D modelu se vytvořené řezy upraví také. Druhá možnost je manuálně vytvořit snímky pohledů, které chceme zobrazit, pomocí

funkce vytvoř pohled. Po vložení těchto pohledů je možné zobrazení v několika variantách. Drátěný pohled, skryté čáry (s možností nastavení vlastností skrytých čar) a barevný náhled. Dále je možné zobrazení v perspektivním pohledu, který lze také mnoha způsoby přizpůsobit. Perspektiva je vhodná k lepšímu přehledu o výrobku. Tyto výkresy jsou součástí příloh této práce.

4.4.2 Výrobní část – CAM software

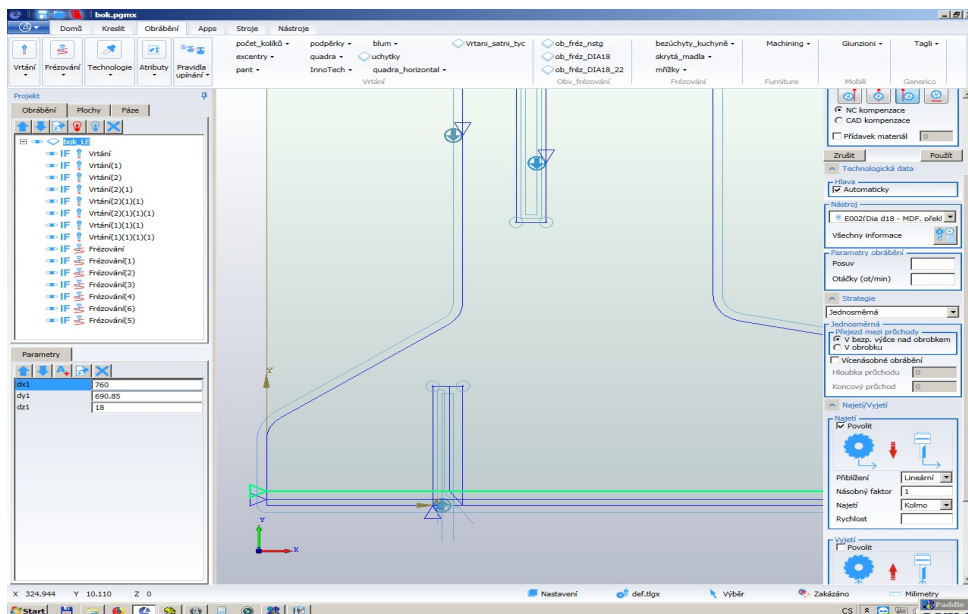
Výrobní fáze byla započata vložení jednotlivých dílců exportovaných z programu TurboCAD do programu Xilog Maestro. Tento software je určený pro programování a řízení CNC center výrobce Morbidelli – SCM group. S tímto programem se není třeba zabývat kódem, se kterým starší CNC centra pracují. Program kód do stroje sám převede dle zadaných parametrů vrtání, či obrábění. Nabízí i 2D a 3D zobrazení obrobku podobně, jako u známých CAD systémů. Tím jsou velmi zpřehledněné jednotlivé kroky při frézování výrobku a kontrola. Tu je možné provést simulací obrábění, které může ukázat případné nedostatky.

U tohoto výrobku je potřeba využít možnosti importace geometrie z programu. Jak již bylo řečeno, tak vzhledem ke geometrické náročnosti dílců, je nesrovnatelně rychlejší vytvořit v CAD aplikaci 2D křivkový obrazec obrobku, který exportem do formát DXF můžeme otevřít v nezměněném stavu v CAM programu.



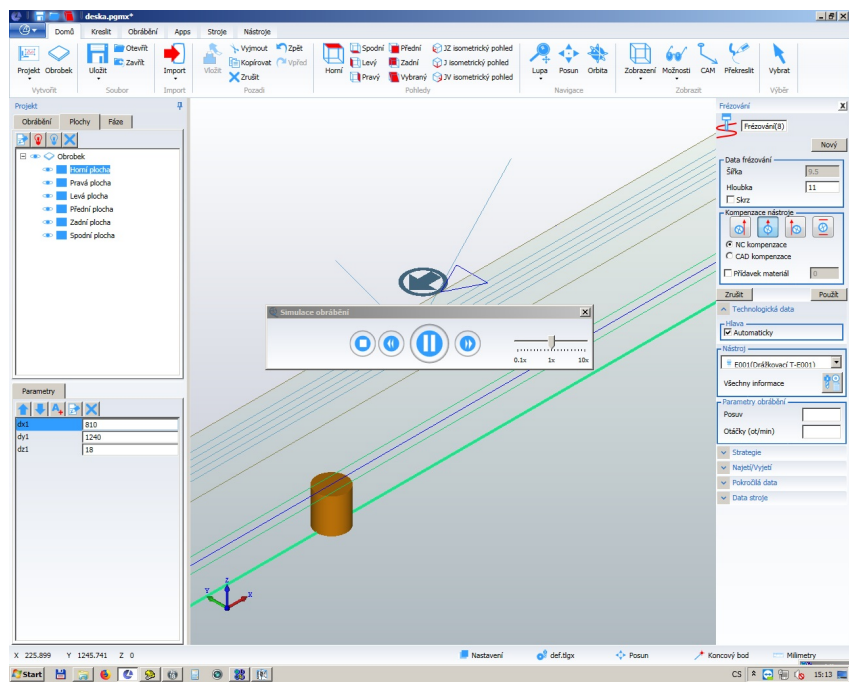
Obr. 15. -CAM program Xilog Maestro - importovaný DXF soubor, získaný z vytvořeného nářezového plánu v TurboCAD aplikaci

Po importu geometrie je nutné přiřadit jednotlivé kroky obrábění a vrtání. U pracovního procesu, kterým se zabývá tato práce bylo využito vrtání i pro usnadnění výroby, a to tím způsobem, že každý ostrý úhel, který je na výrobku vykonstruován je nejdříve skrz celý obrobek provrtán vhodným vrtákem, čímž se zcela odstraní jeden krok při výrobě, při kterém je potřeba manuálně odstranit rádiusy tak, aby se jednotlivé části mohli spolehlivě zasunout do sebe. CNC centrum nedisponuje žádnou frézou, která by tento problém mohla odstranit, a tak byl zvolen tento postup, který zrychlí celý proces.



Obr. 16. - Xilog Maestro – ukázka programování obrábění spoje

Takto importovaný dílec lze dle potřeby doplnit o další pomocné geometrie, ke kterým je následně přiřazeno obrábění. Na často používané druhy obrábění je možné vytvořit makra, pomocí kterých lze velmi jednoduše požadovaný úkon přiřadit. Tyto makra se vytvářejí pomocí zadávání různých podmínek, příkazů a zákazů. Po vytvoření makra se většinou pro práci s nimi zadávají jen souřadnice a případně opakování daného cyklu. Hotový dílec je uložený ve formátu název.pgm, nejčastěji pojmenovaný dle dané součásti (noha_1, noha_2, deska stolu apod). Tento proces jsme opakovali se všemi částmi stolu. Pro kontrolu správného nastavení obrábění bylo využito funkce simulace obrábění. Tato funkce umožňuje spustit animaci identickou s reálným obráběním, a tím předejít chybám.




Obr. 17. - Ukázka simulace v programu Xilog Maestro

Pro obvodové frézování a frézování výřezů v jednotlivých dílech byla využita třízubá PKD stopková fréza Predátor s průměrem 14 mm (viz tab. 1.), která umožňuje obrábění především překližovaných materiálů a masivu. Pro drážkování byly použity frézy o průměru 4 a 6 mm (viz tab. 2. a 5.), dle potřebných parametrů obrábění, zejména pro konstrukci spojů. Dále byla použita cylindrická drážkovací fréza (viz tab. 4.) a fréza s úhlem 45° (viz tab. 3.), Parametry použitých nástrojů jsou uvedeny v těchto tabulkách.


Tab. 2. - Použité nástroje – dělení materiálu

(zdroj katalog Růžička s.r.o.)

<p><u>PKD STOPKOVÁ FRÉZA</u> <u>PREDÁTOR Z3</u> (POLYKRISTALICKÝ DIAMANT)</p>	
Průměr D1 [mm]	20
Pracovní délka NL [mm]	35
posuv [m . min ⁻¹]	24
otáčky [ot . min ⁻¹]	22000
počet zubů [-]	3
počet broušení [-]	1
Upínač	Hydraulický upínač HSK 63 F + kleština ø12 mm

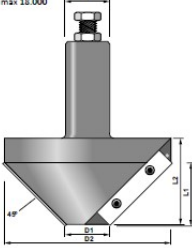
Tab. 3. – Použité nástroje – drážkování

(zdroj katalog IGM s.r.o.)

<p><u>CMT C712</u></p>	
Průměr D1 [mm]	4
Pracovní délka NL [mm]	12
posuv [m. min ⁻¹]	5
otáčky [ot . min ⁻¹]	18000
počet zubů [-]	1
počet broušení [-]	0
upínací nástroj	kleštinový upínač HSK 63F + kleština ø6 mm


Tab. 4. – Použité nástroje – skos hran desky stolu

(zdroj katalog Růžička s.r.o.)

<p><u>FRÉZA ÚHLOVÁ VBD</u> <u>HW</u></p>	
Průměr D1 [mm]	24
Průměr D2 [mm]	66,4
pracovní výška NL [mm]	21,2
posuv [m . min ⁻¹]	1,6
otáčky [ot . min ⁻¹]	16000
počet zubů [-]	2
počet broušení [-]	0
upínací nástroj	kleštinový upínač HSK 63F + kleština ø16 mm


Tab. 5. – Použité nástroje – drážkovaný spoj desky stolu

(zdroj katalog IGM s.r.o.)

<p><u>CMT C950 – FRÉZA NA</u> <u>CYLINDRICKÉ DRÁŽKY</u></p>	
Průměr D1 [mm]	9,5
Průměr D2 [mm]	4,8
pracovní výška NL [mm]	11
posuv [m . min ⁻¹]	8
otáčky [ot . min ⁻¹]	16000
počet zubů [-]	2
počet broušení [-]	0
upínací nástroj	kleštinový upínač HSK 63F + kleština ø8 mm


Tab. 6. – Použité nástroje – drážkování

(zdroj katalog IGM s.r.o.)

<u>IGM FACHMANN – DIAMANTOVÁ FRÉZA</u>	
Průměr D1 [mm]	6
pracovní výška NL [mm]	8
posuv [m . min ⁻¹]	4
otáčky [ot . min ⁻¹]	20000
počet zubů [-]	1
počet broušení [-]	0
upínací nástroj	kleštinový upínač HSK 63F + kleština ø12 mm

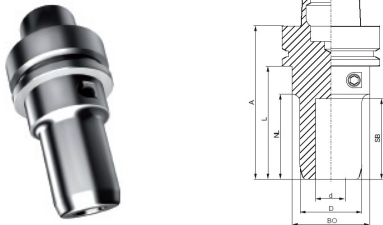
Tab. 7. – Použité nástroje – vrtání

(zdroj katalog IGM s.r.o.)

<u>CMT 372 VRTÁK KOLÍKOVACÍ NEPRŮCHOZÍ</u>	
otáčky [ot . min ⁻¹]	8 000
pracovní výška NL [mm]	65
rychlost klesání [m . min ⁻¹]	3

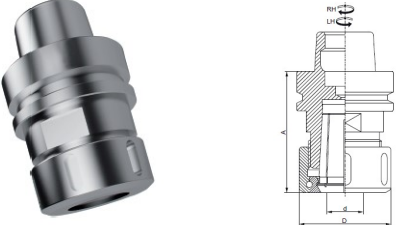
Tab. 8. – Použité nástroje – upínací systém

(zdroj katalog VYDONA s.r.o.)

<u>HYDRAULICKÝ ÚPÍNAČ CNC – HSK 63F</u>	
Obvodová házivost [mm]	0,006
Průměr d [mm]	12
Průměr D [mm]	38

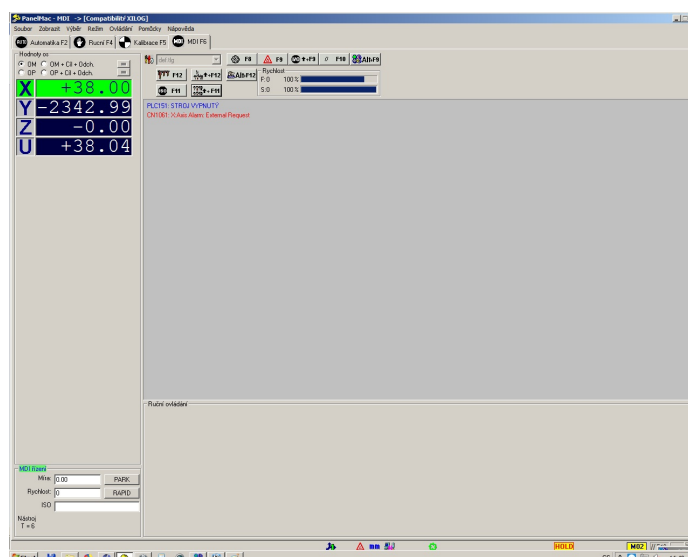
Tab. 9. – Použité nástroje – upínač

(zdroj katalog VYDONA s.r.o.)

<p><u>KLEŠTINOVÝ ÚPÍNAČ</u> <u>CNC – HSK 63F</u></p>	
<p>Obvodová házivost [mm]</p>	<p>-</p>
<p>Průměr d [mm]</p>	<p>3-25 (dle typu kleštiny)</p>
<p>Průměr D [mm]</p>	<p>63</p>

Po každé změně v nástrojích, po jejich broušení, výměně, či doplnění nových nástrojů je nutný import nástrojových souborů ve formátu název.tlg do každého PC, které stroj programuje. Bez tohoto kroku by postprocesor stroje nemohl přiřadit správné nástroje naprogramované ve starém souboru použitým při programování.

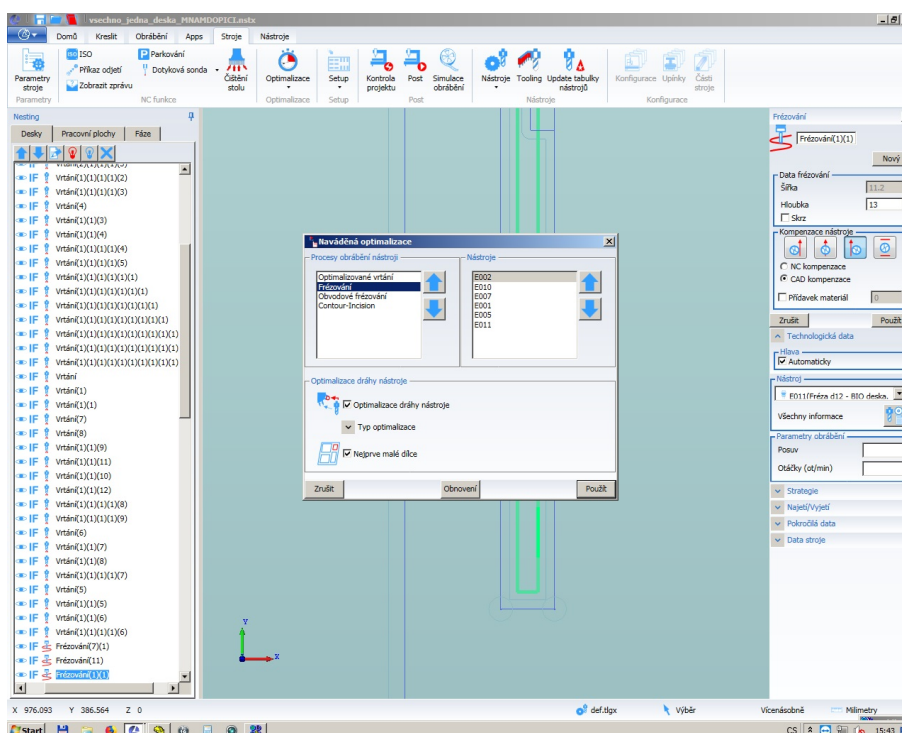
V následujícím kroku je vytvořen nesting a následné vložení tohoto souboru do systému PanelMac (viz Obr. 18.), který data transformuje pro CNC zařízení (komunikuje se strojem v G kódu).



Obr. 18. - PanelMac rozhraní

Nesting slouží k automatickému umístění vytvořených dílců.pgmx na formát velkoplošného materiálu tak, aby nám vzniklo co nejmenší množství odpadu z

materiálu, a optimalizuje posloupnost obrábění pro co nejefektivnější práci stroje. To se týká seřazení veškerého vrtání dílců na osách tak, aby včetně vykonalo co nejkratší trasu nad materiálem. U následného frézování dílců, kde se před krátkým posuvem nad materiálem upřednostňuje frézování malých dílců, které by se mohli uvolnit z pozice a poničit zařízení, nebo nástroj. Takto vytvořený soubor s koncovkou .nstx bylo nutné ještě manuálně optimalizovat viz (viz Obr. 19.). V tomto případě jsou totiž například u T drážky dva druhy operací na jednu geometrii. První je obyčejná drážka frézou o průměru 4 mm, která obrábí geometrii drážky ve dvou hloubkách z důvodu malého průměru. Druhým krokem je na stejné geometrii drážka cylindrickou drážkovací frézou již ve finální hloubce. Toto pořadí je vždy nutné zkontrolovat a v případě nutnosti upravit pořadí operací manuálně. Výstupní formát je pak . názevOPT.nstx.



Obr. 19. - Manuální optimalizace souboru .nstx

Další variantou k zabezpečení malých dílců jsou “mikromůstky“. Tuto funkci obrábění nabízí většina CAM softwarů a je velice účinná. Jedná se o malé propojovací můstky mezi jednotlivými dílci, které jsou například 0,5 mm silné a po dokončení obrábění se jednoduše odlomí a očistí. Důležité je v první fázi

programování vynechat obvodové obrábění, které se nastavuje na konci právě s těmito “mikromůstky”.

4.5 Obrábění

Fyzická výroba stolu byla provedena v následujících krocích. Nejprve byl důkladně zkontrolovaný program, který jsme vytvořili v předešlé části práce. První stupeň kontroly je provedený obsluhou CNC, kde si lze ještě jednou celé obrábění prohlédnout. Další možností je přímo funkce programu XilogMaestro, v menu data stroje, funkce: kontrola projektu. Tato kontrola neodhalila možné kolize obrábění, nebo příkazy které nelze provést. V dalším kroku je uvedeno do provozu CNC zařízení. Po sepnutí hlavního spínače je důležité otevřít pojistný ventil přívodu tlakového vzduchu a následně je možné stroj zkalibrovat.



Obr. 20. - obrobená deska březového multiplexu na CNC zařízení Pratix – S

Po nahrání programu do Panel mac systému, je nutné nastavit zarážky pracovního stolu, které po vysunutí a přisazení deskového materiálu, vytvářejí nulový bod obrábění. Po sepnutí vakuové vývěvy lze desku upnout na pracovní plochu CNC zařízení a spustit obrábění. Vedle velkého ovládacího panelu s klávesnicí lze stroj ovládat také pomocí ručního ovladače a cyklus obrábění libovolně pozastavit, a následně například odjet s kabinou CNC manuálně. Tato funkce je používána zejména v případech, kdy jsou frézované dílce malé a je vhodné

je v průběhu obrábění odebrat, aby neponičili zařízení nebo nástroj, pokud se uvolní ze své pozice. Obrábění stolu trvalo 35 minut. Výsledné polotovary bylo nutné ručně obrousit a hrany zaoblit rádiusovou frézou s kopírovacím ložiskem. Na obrázcích č. 22. a 23. je vidět již složený pracovní stůl.



Obr. 21. – složený pracovní stůl



Obr. 22. – pracovní stůl

4.5.1 Montáž

Montáž a demontáž stolu dle výkresu v příloze č. 4. - Výkres sestavy – řešení montáže. Dle tohoto schématu lze stůl sestavit a opět rozložit. Obrázek č. 24. ukazuje spoj vrchního zadního svlaku a desky stolu, která není úplně zasunuta do finální pozice. Pro tuto operaci není nutné potřeba žádných pomůcek, jako je například nářadí.



Obr. 23. - detail spojů pracovního stolu před zasunutím desky do své finální polohy

5 Výsledky a diskuse

Výsledkem bakalářské práce je zhotovený projekt stolu pro CNC obrábění, které lze jako datový soubor použít na většině strojů s nestingovým typem obrábění.

V současné době je trh s nábytkem nasycen nepřeborným množstvím výrobků. Vlivem globálního trhu je především volně stojící nábytek možné objednat z téměř jakékoli části světa, a proto je velice těžké v tomto oboru přijít s něčím novým a inovativním. Aby se můj výrobek nějak odlišil, bylo důležité si definovat vlastní požadavky na výrobek, které vedli k výrobě pracovního stolu. Jednoduchá montáž a demontáž, bez nutnosti použití spojovacího žádného kování byly v tomto rozhodování zásadním parametrem. Navržený psací stůl je vhodný například pro menší domácnosti, nebo také kancelářské prostory s pohyblivým počtem pracovníků, kde tuto vlastnost stolu jistě ocení. Celý stůl byl navržen tak, aby byly splněny ergonomické požadavky na tento typ nábytku. Pracovní plocha stolu nabízí dostatečný prostor pro vše potřebné k práci.

Jednotlivé spoje dílců byly hlavním cílem této práce. Výhody oproti jiným spojům, například šroubovým nebo lepeným, je především jejich jednoduchá obsluha. Stůl je schopna složit do finální podoby jedna osoba, a to bez nepotřebného nářadí ve velice krátkém čase. Nevýhodou může být, že spoje tohoto typu nemají takovou životnost a pevnost jako například kovové prvky. V případě časté montáže a demontáže stolu mohou být tyto spoje za určitých podmínek i nevratně poškozeny. Spoje na tomto výrobku jsou řešeny s důrazem na výslednou tuhost a pevnost, která je z větší části dána volbou použitého materiálu, tedy překližky. Prototyp pracovního stolu, který byl vyroben na základě získaných dat z projektu splnil definované cíle práce především však funkčnost.

6 Závěr

Jako cíl mé práce jsem stanovil vypracování „návrhu pracovního stolu z březového multiplexu, navrženého jako samonosný výrobek bez nutnosti užití standartního spojovacího kování, ani lepidel.“ Při konstruování tohoto produktu byl kladen důraz na tři základní požadavky. Hlavním atributem konstrukce pracovního stolu byla absence konvenčních mechanických, nebo lepených spojů. Dalším neméně důležitým požadavkem byla jednoduchost obrábění a následné montáže. Posledním je pak funkčnost výrobku a vzhled výrobku.

Řešením tohoto projektu bylo využití moderních technologií projekce nábytku v CAD aplikaci a programování samotného obrábění v CAM softwaru. O finálním produktu, v kapitole 5. jsem dokázal, že je vyrobitelný na běžném 3 osém CNC stroji s nestingovým typem obrábění. Splnění cíle mé bakalářské práce jsem ověřil především výrobou prototypu, který je plně funkční. Fotografie stolu jsou uvedené v této práci. Jednotlivé části stolu přesně odpovídají zadaným parametrům a činí složení stolu velmi jednoduchým, realizovatelným v sedmi jednoduchých krocích. Stůl po je po složení pevný a odpovídá obecným požadavkům na kvalitní psací stůl.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] JANÍČEK, František, ZBOŘIL, František, a VOZÁR, Ján. *Výrobní zařízení pro učební obory zpracování dřeva. 2.*, přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 1995. ISBN 80-85427-61-3.
- [2] WILK, Christopher. *Plywood*. New York, NY: Thames & Hudson, 2017. ISBN 9780500519400.
- [3] HRÁZSKÝ, Jaroslav., a KRÁL, Pavel. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-3.
- [4] KRÁL, Pavel. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 978-80-7375-552-2.
- [5] KRÁL, Pavel. *Dýhy, překližky a lepené materiály: cvičení*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. ISBN 978-80-7375-654-3.
- [6] BÖHM, Martin., REJSNER, Jan., BOMBA, Jan. *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.
- [7] SVOBODA, Evžen. *Technologie a programování CNC strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-7200-297-x.
- [8] ADHIKARI, B., P. APPADU, M. CHAE, P. CHOI, V. KISLITSIN a C. BRESSLER. *Enhancing the Adhesive Strength of a Plywood Adhesive Developed from Hydrolyzed Specified Risk Materials* [online]. Basel, Switzerland: MDPI, 2016, 8(8) [cit. 2019-04-16]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4360/8/8/285>.
- [9] BARCÍK, Štefan, KVIETKOVÁ, Monika, SKLIENKA, Mikuláš a BOMBA, Jan. *Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování: vysokoškolská učebnice*. Praha: Powerprint, 2013. ISBN 978-80-87415-80-1.
- [10] KVIETKOVÁ, Monika. *Obrábění dřeva*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, 2015. ISBN 978-80-213-2604-0.
- [11] SMITH, Graham T. *CNC machining technology*. New York: Springer-Verlag, c1993. ISBN 978-3-540-19586-3.
- [12] KOČMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.

- [13] OVERBY, Alan. *CNC machining handbook: building, programming, and implementation*. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
- [14] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. 2018. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [15] Produkty | Dyas.eu. *O společnosti Dyas | Dyas.eu* [online]. Copyright © [cit. 01.04.2019]. Dostupné z: <http://www.dyas.eu/produkty>
- [16] SIS, Swedish Standards Institute [online]. Dostupné z: <https://www.sis.se/api/document/preview/618131/> [cit. 02.04.2019]
- [17] TurboCAD.com - Optimize Design Workflow - TurboCAD via IMSI Design. *TurboCAD.com - Optimize Design Workflow - TurboCAD via IMSI Design* [online]. Copyright © 2018. TurboCAD. All rights reserved. [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: <https://www.turbocad.com/>
- [18] SCM Group USA: Woodworking Machines and Systems . [online]. Copyright © 2019 SCM Group [cit. 03.04.2019]. Dostupné z: https://www.scmgroup.com/en_US
- [19] | PANAS, spol. s r.o. *Dřevoobráběcí stroje, nástroje a nářadí | PANAS, spol. s r.o.* [online]. Copyright © PANAS, spol. s r.o. [cit. 05.04.2019]. Dostupné z: <http://www.panas.cz/katalog/CNC>
- [20] NIS – Nábytkářský informační systém. NIS – Nábytkářský informační systém [online]. Copyright ©2013 [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/>
- [21] KAPLAN, s.r.o.: *Překližky - MULTIPLEX* [online]. Copyright © 2019, KAPLAN, s.r.o. [cit. 09.04.2019]. Dostupné z: <https://www.drevo-kaplan.cz/preklizka-mnohovrstva-multiplex-briza>
- [22] Růžička s.r.o.: *Nářadí a nástroje* –[online]. Copyright © Růžička, s.r.o. [cit. 10.04.2019]. Dostupné z: <http://www.aruzicka.cz/ke-stazeni.htm>

8 Normy

- [1] ČSN 01 3610. *Výkresy ve dřevozpracujícím průmyslu*. Praha: Český normalizační institut, 2008. Třídící znak 013610.
- [2] ČSN ISO 841. *Systémy průmyslové automatizace a integrace – Číslíkové řízení strojů – Souřadnicový systém a terminologie pohybu*. Praha: Český normalizační institut, 2008. Třídící znak 184303.
- [3] ČSN EN 527-1. *Kancelářský nábytek – Pracovní stoly – Část 1: Rozměry*. Praha: Český normalizační institut, 2011. Třídící znak 911105.
- [4] ČSN EN 527-2 *Kancelářský nábytek – Pracovní stoly a desky – Část 2: Mechanické bezpečnostní požadavky*; Praha: Český normalizační institut, 2011. Třídící znak 911105.

9 Přílohy

Výkres č. 01 – Výkres stolu

Výkres č. 02 – Kusovník jednotlivých částí stolu

Výkres č. 03 – Výkres nohy stolu

Výkres č. 04 – Montážní návod