

Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra základního zpracování dřeva



**Použití CNC obráběcích center v technologii obrábění termicky
modifikovaného dřeva**

Bakalářská práce

Autor: Daniel Barták

Vedoucí práce: Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daniel Barták

Dřevařství

Název práce

Použití CNC obráběcích center v technologii obrábění termicky modifikovaného dřeva

Název anglicky

CNC centers for machining technology of thermally modified wood

Cíle práce

Cílem práce je charakteristika procesu obrábění na CNC obráběcích centrech, objasnění termínu termowood a analýza vývoje tohoto materiálu.

Metodika

Teoretický rozbor CNC obráběcích center, vývojová geneze procesu obrábění na daném strojním zařízení, konkrétně v technologii obrábění termicky modifikovaného dřeva. Výhody a nevýhody tohoto způsobu obrábění.

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stran

Klíčová slova

CNC stroje, termická úprava dřeva, obrábění termowoodu

Doporučené zdroje informací

- BARCÍK, Š., KVIETKOVÁ, M., BOMBA, J., SIKLIENKA, M. Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování. Powerprint Praha. 2013. 355 s., ISBN 978-80-87415-80-1.
- BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K. Teória obrábania. Státní nakladatelství technické literatury. Praha. 1983. ISBN 7789-14-6.
- JANÍČEK, F., VOZÁR, J., ZBOŘIL, F. Výrobní zařízení – pro učební obory Zpracování dřeva. Nakladatelství INFORMATORIUM Praha. 1995. 254 s., ISBN 80-85427-61-3.
- JOSTEN, E., REICHE, T., WITTCHEM, B. Dřevo a jeho obrábění. Nakladatelství Grada publishing a.s., 2010. 336 s., ISBN 978-80-247-2961-9.
- KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F. Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2011. 71 s., ISBN 978-80-228-2249-7.
- LISIČAN, J. et. al. Teória a technika spracovanie dreva. Prvé vydanie. Zvolen: Matcentrum Zvolen. 1996. 626 s., ISBN 80-967315-6-4.
- REINPRECHT, L., VIDHOLDOVÁ, Z. Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie. TU Zvolen. 2008. ISBN 978-80-228-1920-6.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Monika Kvietková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2015

Ing. Milan Gaff, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2016

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Použití CNC obráběcích center v technologii obrábění termicky modifikovaného dřeva*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Moniky Sarvašové Kvietkové, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne

.....

Daniel Barták

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD. za její odborné rady, náměty a věcné připomínky, dále pak za poskytnutí studijních materiálů, vstřícný a lidský přístup, podporu, ochotu a za její čas strávený při řešení této bakalářské práce.

Velké poděkování patří mé široké rodině, která mě po celou dobu studia podporuje. V neposlední řadě pak mému dědovi Ing. Jiřímu Stachovi za konzultaci při řešení technických věcí a své mamce Mgr. Pavlíně Bartákové za kontrolu z hlediska stylistiky. Dále mé poděkování patří všem, kteří jakýmkoliv způsobem přispěli k vypracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Autor: Daniel Barták

Název práce: Použití CNC obráběcích center v technologii obrábění termicky modifikovaného dřeva

Tato bakalářská práce nabízí ucelené shrnutí tematiky CNC obráběcích strojů a obrábění termicky modifikovaného dřeva. Jejím hlavním cílem je seznámení s novými trendy v oblasti dřevařství, mezi které CNC stroje a termicky modifikované dřevo spadají.

Práce je chronologicky členěna od samotné historie a vývoje NC a CNC strojů, základní terminologii, pracovní prostředí CNC strojů až po konstrukční provedení. Dále se věnuje zařazení CNC stroje do hierarchie podniku, technologické přípravě výroby a pracovnímu prostoru stroje.

V další části propojuje použití termicky modifikovaného dřeva pro obrábění na CNC strojích. Řeší zejména vývoj a výrobu termicky modifikovaného dřeva a jeho samotné obrábění.

Klíčová slova:

CNC stroje, termická úprava dřeva, obrábění termowoodu

Abstract

Author: Daniel Barták

Title: CNC centres for machining technology of thermally modified wood

This bachelor work offers a comprehensive overview of topics concerning CNC machine tools and machining thermally modified wood. The main objective of the work is familiarization with new trends in the timbering industry, among which CNC machines and thermally modified wood belong.

The work is divided chronologically covering historical progress as well as development of NC and CNC machines, basic terminology, the working conditions and workplace with installed CNC machines up to the construction. It also addresses inclusion of CNC machines into the hierarchy of the company, technological preparation of production, and the working area of the machine.

In the next section this bachelor work combines the use of thermally modified wood for CNC machining. This work solves especially the development and production of thermally modified wood and its machining.

Keywords

CNC machines, thermal treatment of wood, machining thermowood

Obsah

Seznam obrázků	9
Úvod.....	10
Cíl práce	11
1 Vývojová geneze (historie CNC strojů).....	12
1.1 Řídicí systémy CNC strojů se vyvíjely v jednotlivých stupních.....	12
1.2 Vývoj dřevozpracujících strojů	13
1.3 Vývoj CNC strojů.....	14
1.4 Druhy řídicích systémů NC strojů	16
1.5 Rozdíl mezi NC a CNC strojem	17
2 CNC obráběcí centra.....	18
2.1 Charakteristika CNC obráběcích strojů.....	18
2.2 Rozdělení CNC strojů.....	18
2.3 Schéma CNC obráběcího stroje.....	21
2.4 Souřadnicový systém CNC strojů.....	23
2.4.1 Příklady poloh souřadných os na obráběcích strojích.....	24
2.5 Pracovní prostor stroje.....	25
2.6 Technologická příprava výroby.....	27
2.6.1 Jednotlivé fáze technologické přípravy výroby	27
2.7 CNC obráběcí stroje a hierarchie podniku	29
2.8 Konstrukční řešení základních částí CNC obráběcích strojů	31
2.8.1 Obecně	31
2.8.2 Rámy CNC obráběcích strojů	33
2.8.3 Vřetena CNC obráběcích strojů	35
3 Thermowood.....	37
3.1 Vývoj termicky modifikovaného dřeva.....	37
3.2 Termicky modifikované dřevo - obecně.....	38

3.3	Technologie výroby termicky modifikovaného dřeva.....	39
3.4	Užití termicky modifikovaného dřeva	42
3.5	Používané dřeviny	42
4	Použití CNC strojů při obrábění thermowoodu	43
4.1	Výhody a nevýhody obrábění termicky modifikovaného dřeva na CNC strojích	45
5	Závěr	46
6	Seznam použité literatury.....	47

Seznam obrázků

Obrázek 1 První československý NC obráběcí stroj SKJ 8A ZPS Hulín

Obrázek 2 Zjednodušené blokové schéma obráběcího stroje s číslicovým řazením

Obrázek 3 Zjednodušené blokové schéma CNC obráběcího stroje

Obrázek 4 Příklad řídicího panelu CNC stroje - příklad provedení

Obrázek 5 Kartézský systém souřadnic

Obrázek 6 Příklad obráběcího centra s hlavními a rotačními osami

Obrázek 7 Příklad souřadnicového systému frézky a soustruhu

Obrázek 8 Pracovní prostor CNC soustruhu

Obrázek 9 Pracovní prostor CNC frézky

Obrázek 10 Konstrukční řešení CNC strojů

Obrázek 11 Morfologie rámu CNC obráběcího stroje

Obrázek 12 Znázornění lože a vodících ploch

Obrázek 13 Modifikace vřetene

Obrázek 14 Termicky modifikované dřevo

Obrázek 15 Tunelové výrobní zařízení – Thermowood

Obrázek 16 Graf procesu technologie výroby Thermowoodu

Úvod

CNC stroje jsou v dnešní době velmi vyhledávaným zařízením, a to jak v dřevařském průmyslu, tak i v ostatních odvětvích. Je tomu tak zejména z důvodu zvyšujících se požadavků na přesnost a kvalitu obrábění. Už jen z těchto důvodů si CNC stroje dokázaly najít pevné místo nejen v odvětví strojírenském, ale také dřevařském. Jejich problematika je stále velmi aktuální, jelikož vývoj se posouvá každým rokem dopředu. Díky těmto strojům se zrychluje výroba, snižuje se finální cena výrobku a je umožněna i větší variabilita výrobního programu.

Dřevo patří k přírodním obnovitelným materiálům s širokým spektrem využití, a to jak v interiéru, tak i exteriéru. Jedná se o mechanicky odolný materiál, který je zároveň dobře opracovatelný, avšak disponuje nepříznivými vlastnostmi, jako je hygroskopicitá, anizotropnost a také náchylnost vůči působení biotických škůdců. Jelikož se použití tohoto výjimečného materiálu stále zvyšuje, jsou kladeny stále větší požadavky na trvanlivost, ekologičnost a zanechání přírodního vzhledu dřeva. Právě problematice zvýšení trvanlivosti se věnuje termicky modifikovaná úprava dřeva, velikou výhodou této modifikace je přirozený způsob ochrany, který se nedotýká životního prostředí a jde tedy o ekologický způsob.

Důvodem k výběru právě tohoto tématu bakalářské práce byla aktuálnost problematiky CNC strojů a termicky modifikovaného dřeva. Dalším faktorem, který přispěl k výběru tohoto tématu, je osobní zájem autora o tuto problematiku.

Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je prohloubení teoretických znalostí v oblasti CNC obráběcích center, charakteristika procesu obrábění termicky modifikovaného dřeva na CNC strojích, objasnění termínu thermowood a analýza vývoje tohoto materiálu.

K dosažení hlavních cílů předcházelo několik dílčích cílů:

- Sjednocení a popsání poznatků o CNC strojích, jejich vývoj, základní rozdělení, pracovní prostředí, souřadnicový systém.
- Zařazení CNC center do hierarchie podniku.
- Konstrukční řešení základních částí CNC strojů.
- Vývoj a užití termicky modifikovaného dřeva.
- Propojení CNC strojů a termicky modifikovaného dřeva.

K získání dostatečných podkladů k hledané problematice bylo zapotřebí prohlédnout jednotlivé české a zahraniční publikace, články publikované v odborných časopisech a dostatečně využít internetových zdrojů k obohacení práce o aktuální obrázky a schémata. Jelikož publikace týkající se CNC obráběcích center jsou zaměřeny zejména na strojírenský průmysl, bylo nutné tyto poznatky propojit se znalostmi z obrábění dřeva. Práce je chronologicky členěna od teoretického rozboru CNC obráběcích center, vývojové geneze, po termicky modifikované dřevo, jeho historii a obrábění. Závěr této práce tvoří propojení těchto dvou částí a stanovení výhod a nevýhod tohoto způsobu obrábění.

1 Vývojová geneze (historie CNC strojů)

Číslicově řízené stroje jsou stroje řízené programem sestaveným z tzv. alfanumerických znaků neboli písmen a číslic, které popisují postupnou činnost stroje. Historie tohoto stroje je velice zajímavá, už jen proto, že vývoj byl pozvolný a velice složitý.

V následujících řádcích bude podrobněji rozepsáno, jakým způsobem, v jakém časovém období a kdo stál právě za tím, že se v dnešní době setkáváme s tak používanými a oblíbenými stroji. Protože již od průmyslové revoluce na začátku 19. století rostly nároky na přesnost výrobků, byl jasným důsledkem také nárůst požadavků na zkvalitnění řídicích systémů. Myšlenka číslicového řízení obráběcích strojů vznikla v USA ke konci 2. světové války.

1.1 Řídicí systémy CNC strojů se vyvíjely v jednotlivých stupních

a) Stroje 1. vývojového stupně

První NC stroje jsou odvozeny od běžných konvenčních strojů, avšak jsou uzpůsobeny číslicovému řízení. Výroba na těchto strojích je značně nepřesná a také málo spolehlivá, z toho důvodu se s těmito stroji již v provozu nesetkáváme.

b) Stroje 2. vývojového stupně

Tento vývojový stupeň byl již navržen právě pro číslicové řízení (Marek & Učeň, 2010). Systém umožňuje řízení v určitých obecných cyklech. Dále jsou vybaveny automatickou výměnou nástrojů pomocí revolverových hlav, ovšem opotřebované nástroje se musí měnit ručně. U některých soustružnických strojů se objevovaly dopravníky třísek.

Zástupce: FQH 50 NC – firma Gottwaldov

c) Stroje 3. vývojového stupně

Stroje tohoto vývojového stupně jsou používány již v automatizovaných výrobních soustavách a jsou navíc opatřeny automatickou výměnou obrobků. Systémy řízení umí zvolit určitý nástroj. Ovšem výměna opotřebovaného nástroje je prováděna opět ručně. Významným znakem těchto strojů je jejich stavebnicová konstrukce a díky tomu ekonomičtější výroba.

Zástupce: Obráběcí centrum MCFHD 80 – firma TOS Kouřim

d) Stroje 4. vývojového stupně

Tento vývojový stupeň je již plně automatický a to v oblasti výměny nástrojů, obrobků, manipulace s třískami, tak i v návaznosti na všechny druhy mezioperační dopravy. Využívá nových moderních metod, například laserových paprsků. Dále je zde vyřešena výměna opotřebených nástrojů ze zásobníku.

e) Stroje 5. vývojového stupně

U strojů 5. vývojového stupně jsou uplatňovány také tzv. mechatronické prvky¹. K měření rozměrů obrobku napomáhají měřicí sondy, které pracují v průběhu obrábění. Tento vývojový stupeň zároveň umožňuje kompenzaci chyb polohování nebo korekci programu pro dodržení rozměrů z výkresu. Dále se zde objevuje laserové odměřování polohy a optimalizace řezných podmínek.

f) Stroje 6. vývojového stupně

Tento poslední vývojový stupeň je nejpřesnější ze všech předchozích, poučil se totiž ze všech předchozích nedostatků. Je opatřen kvalitními řídicími systémy a je typický rychlou výměnou nástrojů (Kvietková, 2015).

Další znaky:

- obrábění při vysoké řezné rychlosti,
- zajišťuje dálkovou diagnostiku strojů,
- vysoká přesnost strojů (Marek & Učeň, 2010).

1.2 Vývoj dřevozpracujících strojů

První zmínka o strojním obrábění je ze 4. století našeho letopočtu, kdy byly v římské Galii postaveny první vodní pily. Podrobnější zprávy o tzv. mlýnských pilách, postavených u mlýnských náhonů, se datují až do 14. století z Německa. Hnacím zařízením této pily bylo kolo s lopatkami na vrchní vodu. Rámové pily byly dřevěné a pilový list kovový. Výřez byl ukládán na dlouhé saně, které se pohybovaly proti pile. Koncem 15. století bylo v Čechách mnoho vodních pil zřízených při mlýnech. Koncem 16. století se začínají stavět pily, které

¹ Mechatronické prvky – jedná se o prvky, jejichž funkci zajišťují kromě mechanických prvků i prvky elektronické.

mají větší počet pilových listů. Rozvoj vratné rámové pily se datuje do počátku 19. století, kdy pilařská výroba přechází pod tovární výrobu.

Obrat ve vývoji technologie obrábění přišel až začátkem 18. století, kdy nastal celkový rozvoj techniky a zvláště pak vynálezy energetických a výrobních strojů, jejichž výroba vyžadovala větší přesnost i nové způsoby obrábění. Tehdy se započalo se zdokonalováním obráběcích strojů, které do té doby byly poháněny šlapáním nebo klikou.

O podstatném zrychlení vývoje můžeme hovořit až od okamžiku, kdy byl k dispozici první mechanický pohon stroje. Další cesta pak vedla k zapojení parního stroje a následně přes několik navazujících historických milníků až k dnešním elektromotorům. Doposud se však jednalo především o manuální výrobní činnosti.

1.3 Vývoj CNC strojů

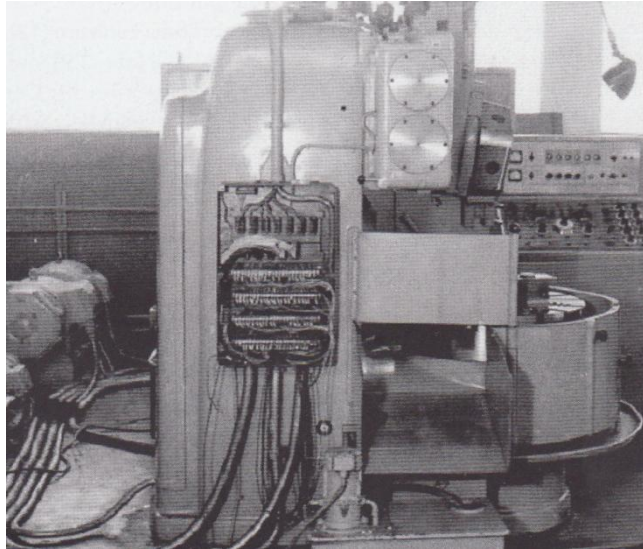
Zvláště významný rozvoj výrobního odvětví CNC strojů nastal ve 20. století a také v dnešní době vývoj ani výzkum nebo aplikace obrábění nezpomaluje.

Vývoj CNC obráběcích strojů probíhal současně v několika oblastech. A to zejména v oblastech strojních komponentů, výrobních soustav, řídicích systémů a strojních celků. Druhá světová válka, přes velice záporné dopady, měla naopak velký pozitivní vliv na rozvoj techniky a technologie výroby. Velká a rychlá obměna válečné techniky vytvořila předpoklady pro rychlý rozvoj výroby, zejména obrábění. V hromadné výrobě byly využívány ve velké míře nekvalifikované síly – ženy, mládež a úředníci. To však předpokládalo, že ovládání obráběcích strojů se zjednoduší a zpřesní, aby nevznikalo mnoho vadných výrobků (zmetků). A právě toto období dalo podmínky ke vzniku prapředků NC strojů.

Jako první byly vynalezeny NC stroje² a dále z nich byly vyvinuty CNC stroje. Za vynálezce NC strojů je považován americký mechanik a obchodník John T. Parson, který se zabýval výrobou lopatek rotoru pro vrtulníky. Původně prováděl technické výpočty pomocí kalkulačky s děrnými štítky, ale jelikož výroba byla komplikovaná, snažil se výrobu zrychlit a zároveň zvýšit přesnost, která byla v tomto oboru velmi důležitá. A tak v září roku 1952 veřejně demonstroval systém MIT, který pro obrábění využíval dvě automatizované frézky.

² NC stroj – (N- numerical C – control) – číslicově řízený stroj.

První komerčně dostupné numericky řízené obráběcí centrum, již nazvaný jako NC stroj MILWAUKEE-MATIC II, byl uveden na trh v roce 1959. V Československu si své prvenství v tomto odvětví drží Obráběcí stroj SKJ 8A vyrobený ZPS Hulín také na počátku šedesátých let (Marek, Učeň, 2010).



Obrázek 2 První československý NC obráběcí stroj SKJ 8A ZPS Hulín

(Marek, Učeň 2010)

Příkazy byly uloženy:

- na děrném štítku,
- na děrné pásce – pětistopé, později osmistopé,
- na magnetické pásce.

Postupem času, přesněji řečeno po roce 1970, se při stavbách strojů začaly aplikovat kuličkové šrouby³ a hydrostatická vedení⁴. V té době firma Herebert uvedla na trh první obráběcí centrum s rotačními nástroji pro vrtání a frézování. NC stroje byly doplňovány pamětí a umožňovaly editaci programů. V tuto chvíli byl již opravdu malý krok k přechodu na CNC stroje. Oficiálně první byl představen firmou Kearney & Trecker a nesl označení FMS-PVS (Flexible Manufacturing System - pružný výrobní systém). Tento první CNC stroj se lišil od NC strojů tím, že výrobní proces byl řízen vlastním počítačem – odtud název CNC (C – Computerized, N - numerical, C - control).

³ Kuličkové šrouby – konstrukční prvek pohybových ústrojí, sloužící k přeměně rotačního pohybu v pohyb přímočarý

⁴ Hydrostatické vedení – vedení, které funguje na základě dodávky tlakového oleje mezi vodící plochy, čímž je docíleno kapalinného tření. Na jednom z vedení se nacházejí mazačí kapsy, druhé vedení je hladké.

V 80. letech došlo k dovybavení strojů zásobníky, a to jak obrobků, tak i nástrojů. Toto období lze považovat za důležité, jelikož došlo k výraznému vývoji frézovacích a soustružnických center v třískovém obrábění.

V průběhu 90. let byly CNC stroje vybaveny velkokapacitním zásobníkem s mezioperační dopravou nástrojů. V této době docházelo k velkému zvýšení přesnosti výroby, dále pak rychlosti opracování a s ní i produktivity. Tyto stroje měly již otevřenou architekturu. Rostoucí variabilita obráběných dílů vedla k většímu uplatňování pružných výrobních systémů.

Pokud se dostáváme do dnešní doby, tedy do 21. století, můžeme dnešní CNC stroje považovat za úplně novou generaci, jde totiž o vytváření multifunkčních strojů a snahu o sjednocení hardwaru a softwaru. V dnešní době jsou do strojů integrovány CAD/CAM systémy a dále se posiluje provázanost na externí počítačové stanice (Polzer, 2009).

1.4 Druhy řídicích systémů NC strojů

Dle složitosti řízení rozeznáváme několik druhů řídicích systémů:

- *Systém pro stavění souřadnic*

Použití tohoto systému je obvyklé u číslíkově řízených vrtaček a vyvrtávacích strojů pro polohování obrobku vzhledem k nástroji. Pohyb probíhá v osách X a Y, jedná se o takzvaný pracovní pohyb, k samotnému pohybu vrtání dochází ve směru osy Z.

- *Systém pro pravoúhlé řízení*

K obrábění dochází rovnoběžně se souřadnicovými osami X, Y, Z, ale teprve po skončení pohybu v jedné ose může začít pohyb v ose druhé. Díky tomu můžeme frézovat pravoúhlé obrobky a soustružit válcové plochy (Janiček a kol., 1995).

- *Systém pro souvislé řízení*

Systém, který se používá u soustruhů, frézek a obráběcích center, umožňuje totiž pohyb nejméně ve dvou osách. Jde zejména o nepravidelné plochy, obrábění radiusů. Pokud dochází k obrábění ve dvou osách, jedná se o souvislé 2D řízení. U některých frézek lze provádět obrábění ve dvou osách vždy v jedné z rovin X-Y, Y-Z,

Z-X, přepínáním těchto rovin. Toto řízení označujeme jako souvislé řízení 2 ½ D. V případě, že probíhá obrábění ve všech třech osách současně, pak se jedná o 3D souvislé řízení. Použití pro různé nesouvislé tvary, kulové plochy atd.

Označení řídicích systémů NC

K výše uvedeným druhům řízení se váže i označení platné v České republice:

- NS 100 až 200 – systém pro stavění souřadnic.
- NS 200 až 300 – systém pro pravoúhlé řízení.
- NS 400 a vyšší – systém pro souvislé řízení.

1.5 Rozdíl mezi NC a CNC strojem

NC stroj

- Charakteristickým znakem jsou povely zadané na kódovaném médiu (např. na děrné pásce).
- Údaje jsou uloženy a zpracovávány postupně.
- Systém je řešen hardwarově (pevným propojením elektronických prvků) – přesně udává vlastnosti systému.
- Pro každou změnu v programu musí být vytvořena nová děrná páska.

CNC stroj

- Vybaven vlastním počítačovým řídicím systémem.
- Oproti NC strojům pružnější a umožňuje okamžité opravy, úpravy a zásahy v programu i v průběhu jeho používání.
- Automatické upínání nástrojů a obrobků (automatická výměna nástrojů a obrobků).
- Přímá možnost oprav, simulace pohybu, možnost výběru řezných podmínek (Svoboda, 1998).

2 CNC obráběcí centra

2.1 Charakteristika CNC obráběcích strojů

CNC stroje jsou takové stroje, jejichž výrobní proces je řízen vlastním počítačem. V dnešní době se staly nedílnou součástí většího výrobního zařízení snad ve všech výrobních odvětvích, a tedy i v dřevařském průmyslu, kde také dochází k automatizaci výrobního procesu. CNC slouží pro obrábění dřeva, dřevěných materiálů, ale také kovů a plastů. Vyznačují se svou velkou přesností, rychlostí a zároveň flexibilitou. Umožňují totiž snadný přechod na jiný druh výrobku, a to pouze jednoduchou změnou programu a změnou nástrojů, jedná se o tzv. pružnou automatizaci. Druhou variantou je tvrdá automatizace, kde je nutná složitější přestavba stroje, ovšem dnes se zejména setkáváme s pružnou automatizací. Princip tohoto zařízení spočívá v naprogramování operace do automatického pracovního cyklu, který zajišťuje převážně číslicové řazení⁵.

Číslicové řazení se uplatňuje ve všech oblastech strojírenské výroby a také v ostatních odvětvích průmyslu:

- obráběcí stroje,
- tvářecí stroje,
- měřicí a rýsovací stroje,
- manipulační stroje (Svoboda, 1998).

Číslicové řazení se používá i pro vypalovací stroje, stroje pro kontrolu vad materiálu, stroje pro svařování, nýtovačky, drátovací stroje atd.

2.2 Rozdělení CNC strojů

CNC stroje můžeme rozdělit podle různých hledisek. Dle praxe je rozdělujeme zejména podle:

- a. počtu druhu operací (které je schopen stroj vykonat za jedno upnutí),
- b. tvaru obráběného obrobku,
- c. druhu informací,
- d. řízení stroje,
- e. hlavního pohybu obrobku,

⁵ Číslicové řazení – činnost číslicového počítače pro řízení fyzikálních veličin

f. hlavního pohybu nástroje.

a) Rozdělení dle druhu operací:

- Jednoprofesní – určené pro jeden druh operace (například soustružení, frézování...) při jednom upnutí, bývají levnější a jsou většinou přizpůsobovány potřebám zákazníka. Lze sem zařadit číslicově řízené soustruhy, frézky.
- Víceprofesní – stroj dokáže zvládnout více operací najednou při jednom upnutí – nazýváme je **obráběcí centra!**

Obráběcí centrum – víceprofesní stroj opatřen prvky pro měření a diagnostiku a dále pak automatickou výměnou nástrojů, důležitý je fakt, že pracuje v automatickém cyklu.

Víceúčelové obráběcí centrum – je schopno obrábět mimo skříňových a deskových součástí i součásti rotační.

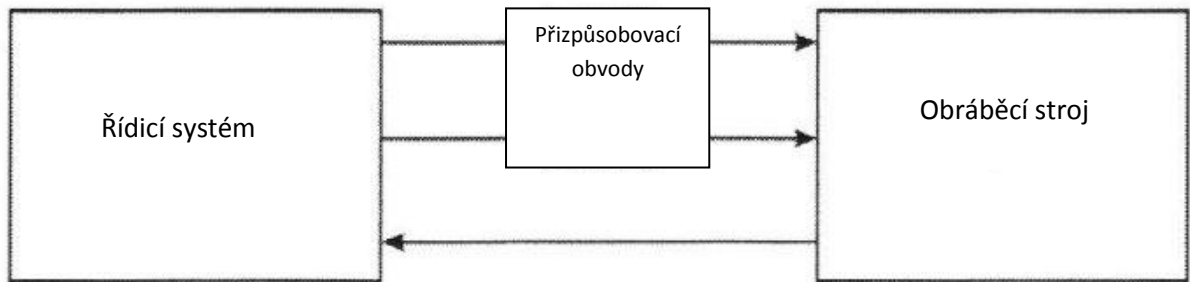
b) Rozdělení dle tvaru obráběného obrobku:

- Stroje využívané na obrábění obrobků rotačního tvaru.
- Stroje pro výrobu skříňových obrobků.
- Stroje umožňující výrobu rotačních i nerotačních součástí.

c) Rozdělení dle druhu informací a řízení stroje:

- Informace o geometrii obrábění (údaje o pohybech nástroje a obrobku).
- Informace o technologii obrábění – lineární ovládání funkcí (posuv, frekvence otáčení).
- Pomocné a přípravné informace – (například tuhost supportu, oběh chladícího média).

Informace se zaznamenávají na nosičích, ze kterých jsou snímány a po zpracování v řídicím systému (obr. 2) jsou přes přenosné obvody přivedeny jako panely k výkonným členům stroje – výsledkem jejich činnosti je VÝROBEK.



Obrázek 3 Zjednodušené blokové schéma obráběcího stroje s číslicovým řazením

d) Rozdělení dle druhu řízení stroje:

- Polohové řízení – dochází k pohybu všech os stroje současně anebo postupně bez souvislosti s řízením pohybu. Nástroj je po dobu polohování mimo obrobek.
- Úsekové řízení – pohyb probíhá podél osy po dobu obrábění. Pohyby jsou převážně rovnoběžné s osou, případně je možné dosáhnout šikmých pohybů obrábění současným pohybem podél dvou os při stejném posuvu.
- Souvislé řízení- pohyb probíhá podél všech os stroje současně a nezávisle na sobě. Pro každou osu mohou být zvoleny různé variabilní rychlosti tak, aby mohly být vyrobeny různé tvary, např. kruhové a obloukové obrysy.

e) Rozdělení dle hlavního pohybu obrobku:

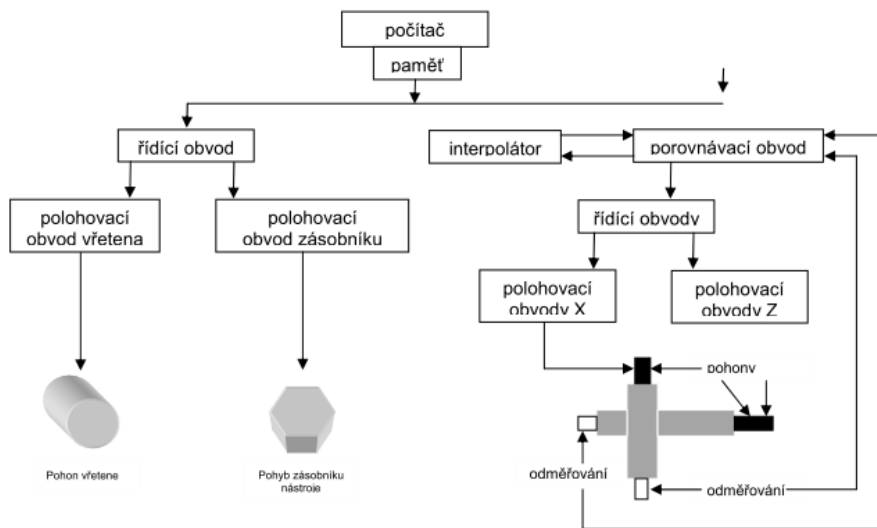
- rotační pohyb obrobku – soustruh,
- bruska,
- frézka.

f) Rozdělení dle hlavního pohybu nástroje:

- stroje na ozubení,
- vyvrtávačka, vrtačka a závitovačka (Barcík a kol., 2013).

2.3 Schéma CNC obráběcího stroje

Schéma CNC obráběcího stroje znázorněno na obr. 3.



Obrázek 3 Zjednodušené blokové schéma CNC obráběcího stroje

(Štulpa, 2008)

Počítač:

- je součástí stroje a má v sobě nahaný řídicí systém,
- složen z obrazovky a ovládacího panelu pro zadávání příkazů při nutné ruční obsluze,
- schopen pomocí příslušného softwaru vytvořit řídicí CNC program,
- program lze vytvořit i mimo stroj a poté jej nahrát do řídicího systému.

Řídicí obvody:

- probíhá v nich převod logického signálu na silnoproudé elektrické signály, kterými se ovládají části stroje (motory, vřetena, posuvy apod.).

Interpolátor:

- řeší dráhu nástroje, která je zadána geometrií,
- zajišťuje výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje,
- vypočítává ekvidistantu od požadovaného obrysu,
- zajišťuje geometrickou přesnost výrobku.

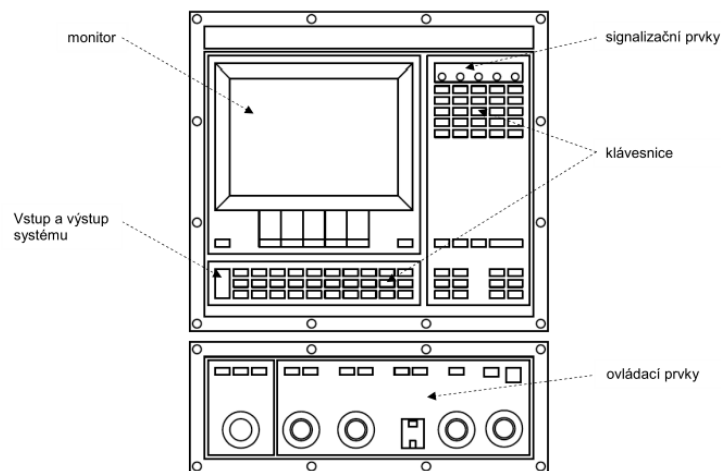
Porovnávací obvod:

- stroj je vybaven zpětnou vazbou, která přenáší informace o dosažených hodnotách v jednotlivých bodech dráhy,
- tyto hodnoty (souřadnice) jsou porovnávány s požadovanými hodnotami,
- podle odlišnosti mezi požadovanou a dosaženou hodnotou dojde k zásahu, ke korekci dráhy tak, aby byla dosažena požadovaná hodnota,
- stroj musí obsahovat odměřovací zařízení.

Řídicí panel (obr. 4):

Slouží ke spojení mezi obsluhou a řídicím systémem CNC stroje. Umožňuje provádět potřebné funkce při seřizování a obsluze CNC stroje. Můžeme ho rozdělit na tyto části:

- Monitor – umožňuje kontrolu prováděných činností.
- Klávesnice – slouží pro zadávání nebo úpravu programu.
- Ovládací prvky – tvoří je otočné přepínače pro změny pracovních režimů a tlačítka pro ovládání funkcí stroje. Umožňují pohybovat nástrojem anebo obrobkem, spouští otáčky vřetena, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, otáček apod.
- Signalizační prvky – signalizují stav systému (chlazení, otáčky).
- Vstupy a výstupy systému – pro připojení externích zařízení např. počítače.
- Přenosný panel – slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje tak jako základní část klávesnice. Umožňuje při seřízení a ovládání stroje obsluze přejít do míst, které poskytují přesnější a dokonalejší možnost vizuální kontroly. (Štulpa, 2008)



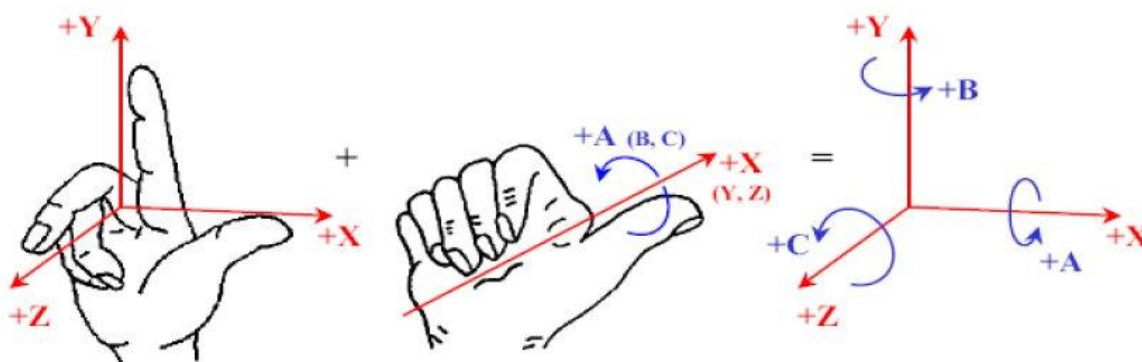
Obrázek 4 Příklad řídicího panelu CNC stroje - příklad provedení

(Štulpa, 2008)

2.4 Souřadnicový systém CNC strojů

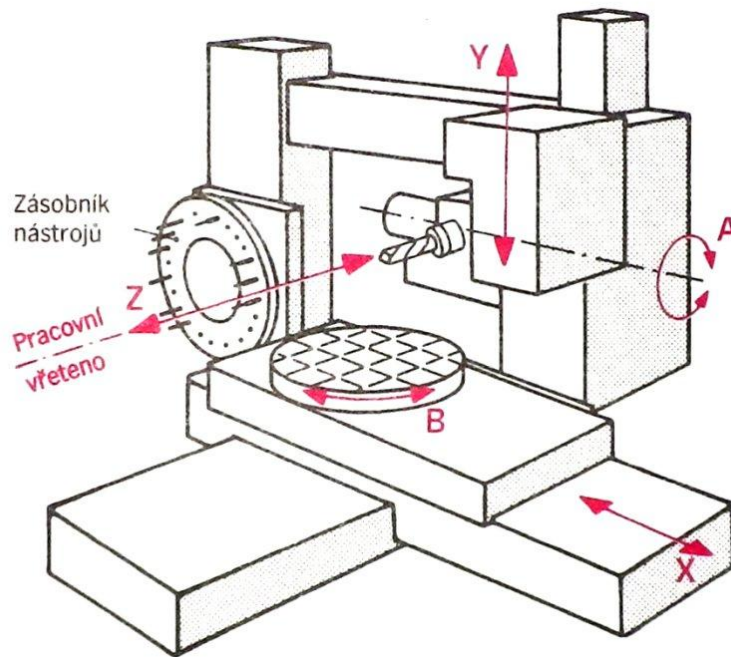
K tomu, abychom mohli sestavit plán obrábění, musí být každý krok určitým způsobem naprogramován. Musíme mu tedy objasnit pojezdové dráhy nástrojů popřípadě obrobků, a to ve formě čísel. K tomu abychom mohli tyto dráhy naprogramovat, musí mít systém zadané osy. Těmto osám říkáme souřadnicové osy, v dnešní době platí pro tyto souřadnicové soustavy norma ISO 842 a každý CNC stroj se jí musí řídit.

CNC obráběcí stroje využívají především kartézský systém souřadnic. Tento systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X, Y, Z. Toto označení os se může měnit a to v případě pokud existují na stroji další doplňkové pohyby v osách X, Y, Z. Pak se označují písmeny U, V, W. Další variantou je, pokud se obrobek pohybuje proti nástroji, poté se takové osy označují X', Y', Z'. Otáčivé pohyby, které jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z, jsou označovány A, B, C. Všeobecně platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Dále platí, že osa X je vždy přesně nadefinovaná a leží v upínací rovině obrobku anebo je s ní rovnoběžná. Označení jednotlivých os je prováděno pomocí pravidla pravé ruky. Prsty zde udávají kladný směr (obr. 5). Kartézský souřadnicový systém je důležitý k řízení stroje. Nástroje se v něm pohybují dle zadaných příkazů z řídicího panelu CNC stroje (viz obr. 4) nebo dle příkazů spuštěných v CNC programu. Dále je nutný tento souřadný systém pro měření nástrojů. Podle potřeby je také možno souřadnicový systém v programu otáčet nebo posouvat. V případě zjišťování korekcí nástrojů je souřadnicový systém umístěn v bodě výměny nástroje nebo na špičce nástroje (Wagner, 1994).



Obrázek 5 Kartézský systém souřadnic

(Polášek, 2007)



Obrázek 6 Příklad obráběcího centra s hlavními a rotačními osami

(Wagner, 1994)

Osy stroje jsou charakterizovány pomocí pohybových os (obr. 6):

- posuvové osy,
- rotační osy – používají se jako přidavné osy pro přidavná zařízení (například otočný stůl).

2.4.1 Příklady poloh souřadných os na obráběcích strojích

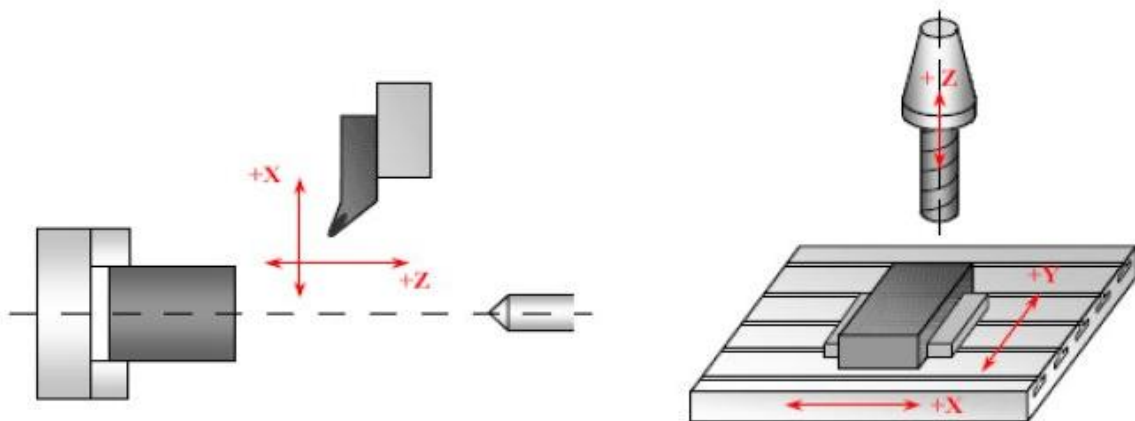
CNC soustruh

Obrobek je upnut do pracovního vřetene a nástroj koná posuvné pohyby ve směrech os X a Z. Osou Z rozumíme osu rotace vřetena s obrobkem, osa X je kolmá na osu Z a udává nám průměr součásti (obrobku). Její kladný směr je od osy otáčení obrobku směrem k držáku nástroje.

CNC frézka

Do pracovního vřetena je upevněn nástroj a jeho pohyb probíhá v ose Z. Kladným pohybem zde myslíme pohyb od materiálu. Osy X a Y jsou v rovině stolu, kde je upevněn obrobek.

Příklad znázornění poloh souřadných os frézky a soustruhu je znázorněn na obr. 7.



Obrázek 7 Příklad souřadnicového systému frézky a soustruhu

(Polášek, 2007)

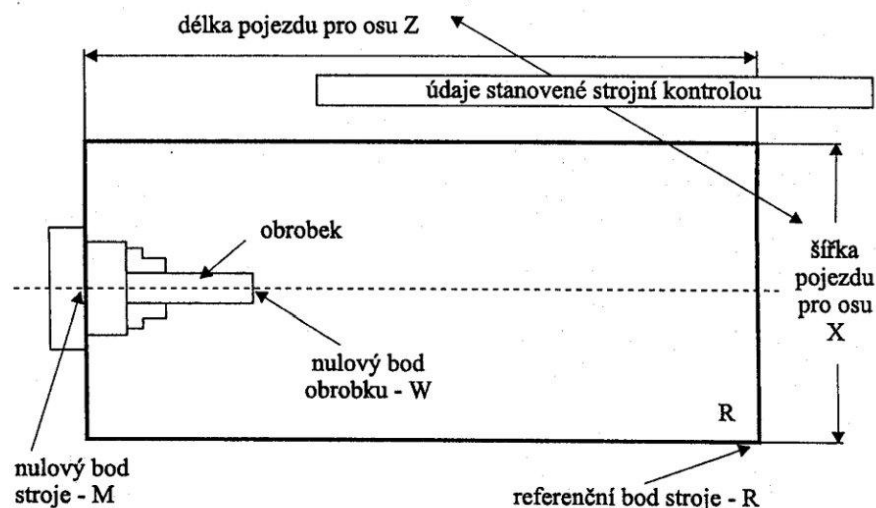
2.5 Pracovní prostor stroje

Pracovním prostorem rozumíme takový prostor, který je určený některými základními vztažnými body a jejich znalost je důležitá pro určení polohy obrobku a polohy nástroje v souřadné soustavě stroje (obr. 8). Na základě těchto bodů můžeme poté kontrolovat například polohu nástroje.

Princip spočívá v tom, že po zapnutí stroje si systém aktivuje svůj souřadný systém, jehož počátku říkáme nulový bod. Ten je přesně stanoven a v případě více bodů mají nulové body své vlastní názvy. Rozlišujeme tedy ještě další nulové body (obr. 9):

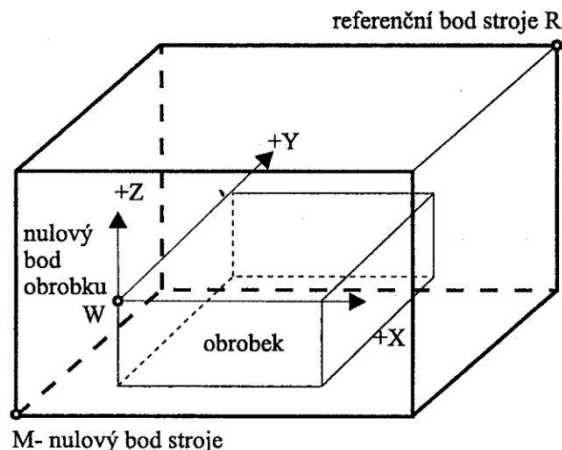
- Nulový bod stroje – značí se písmenem **M** a je výchozím počátkem souřadného systému pracovního prostoru stroje. Je přesně dán výrobcem a nedá se měnit. U soustruhů je tento nulový bod umístěn v ose rotace obrobku v místě čela vřetene. U frézky je daný bod umístěn v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách.
- Nulový bod obrobku – značí se **W** a je počátkem souřadného systému obrobku. Tento bod si určuje sám programátor. Ten vybere nejvhodnější místo na obrobku a od tohoto místa počítá tvar součástí. Pokud se jedná o tvarově souměrné součásti, volí logicky počáteční polohu v ose souměrnosti a na horní ploše obrobku.

- Referenční bod stroje – značí se R a jedná se o pevně stanovené místo výrobcem, které je realizováno koncovými spínači. Jeho aktivací dochází k sjednocení mechanické a výpočetní části stroje. Pokud na tento bod tzv. namíříme, dojde ke sladění odměřovacího zařízení s řídicím systémem stroje. Vzdálenosti nulového bodu M a referenčního bodu R jsou přesně odměřeny výrobcem a zaneseny do řídicího systému CNC stroje. Referenční bod stroje se již nepoužívá u moderních strojů, které jsou vybaveny absolutním odměřováním polohy.
- Bod špičky nástroje – označený P, pohyb tohoto bodu se teoreticky programuje v případě používání rádiusové korekce. Požíváme ho pro stanovení délkové korekce a následné rádiusové korekce (poloměru zaoblení špičky nástroje).
- Vztažný bod supportu nebo vřeten – označený F, jedná se o tzv. bod supportu, který řídí podle programu řídicí systém stroje. Můžeme si ho představit jako bod na upínací ploše nosiče nástroje. Právě v tomto bodě má nástroj nulové rozměry, proto se k němu vztahuje délková korekce nástroje.
- Bod nastavení nástroje – označený E, jde o bod na držáku nástroje, který v případě upnutí splyne se vztažným bodem nástroje F. Používáme ho pro extrémní přeměrování korekcí nástroje (Marek, Učeň, 2010).



Obrázek 8 Pracovní prostor CNC soustruhu

(Polášek, 2007)



Obrázek 9 Pracovní prostor CNC frézky

(Polášek, 2007)

2.6 Technologická příprava výroby

Technologický postup vedoucí ke správně obrobenému obrobku na CNC strojích musí být od prvotních operací dopředu promyšlen. Technologický postup je základem ke správnému vytvoření pracovního programu CNC stroje a musí plně využívat všech možností stroje a řídicího systému. Dobře stanovená technologie je hlavním předpokladem hospodárného využití strojů (Svoboda, 1998).

2.6.1 Jednotlivé fáze technologické přípravy výroby

1) Výběr nástroje pro obrábění

Tento výběr provádí technolog, který musí brát v úvahu tvar, přesnost a požadavky na obrábění.

2) Vypracování technologického postupu

Technolog vypracuje návrh technologického postupu, v něm zahrne základní přípravné operace, hlavní operace prováděné na CNC stroji a na závěr dokončovací práce. Dalším úkolem je stanovení základní technologické plochy pro upnutí obrobku a návrh správného obráběcího nástroje. Za tento krok zodpovídá technolog společně s programátorem.

3) Vypracování řídicího programu

Řídicí program vypracovává programátor a jeho práce se obecně skládá z následujících kroků:

- a) Způsob upnutí – spočívá v zajištění pevného a bezpečného držení obrobku. Toto upnutí musí být vhodně situováno, aby nebránilo přístupu nástrojů k obráběným plochám a pomocným úkonům při obrábění (měření, chlazení nástrojů, odstraňování třísek apod.).
- b) Vypracování technologického postupu v rámci CNC stroje.
- c) Náskres výsledného tvaru obrobku – jako podklad pro tuto operaci slouží výkres. Tento náskres je situován s ohledem na upnutí obrobku na stroj, v tomto kroku se vyznačí dorazové plochy, souřadnice výchozího a konečného bodu, dále pak i dalších potřebných bodů.
- d) Sestavení nástrojového listu – kde jsou uvedeny následující údaje:
- druh nástroje,
 - obsazení nástrojů v zásobnících systémů automatické výměny nástrojů bez ruční výměny,
 - specifikace nástroje a druh držáku z knihovny nástrojů,
 - korekce nástroje a stručný popis práce, pro niž je korekce určena,
 - řezné podmínky,
 - schematický náčrt speciálních nástrojů,
 - doplňkové poznámky nutné pro obrábění (Svoboda, 1998).
- e) Sestavení souřadnicového listu – pro lepší orientaci a kontrolu.
- f) Zápis do programového listu – v tomto kroku dochází k převodu všech údajů do numerické formy. Dále se určují velikosti drah nástrojů, souřadnice konečných bodů, místa výměny nástrojů a další technologické informace.
- g) Ověření řídicího programu na stroji – v posledním kroku je realizováno ověření vytvořeného programu na stroji, a to za přítomnosti programátora a obsluhy stroje. Dále se ověřuje vhodnost nástrojů, řezné podmínky a upnutí obrobku. Po tomto kroku programátor vytvoří výsledný originální program a dokument, který se archivuje.

Výše uvedený postup je pouze obecný, bez ohledu na to, o jaký konkrétní dřevoobráběcí CNC stroj se jedná.

2.7 CNC obráběcí stroje a hierarchie podniku

K tomu aby byly CNC stroje využívány efektivně, je nutné jejich samotné zapojení v rámci komplexního systému řízení podnikových činností v tzv. CIM (C – computer, I – integrated, M – manufacturing) systémech – počítačem podporované výrobě.

Všeobecně CIM reprezentuje propojení výrobní a inženýrské technologie s počítačovou technologií, která automatizuje všechny činnosti, a to od tvorby výrobku až po jeho expedici (konstruování výrobků, vytváření technologických postupů, plánování výroby, operativní řízení výroby, výrobu součástek, kontrolu, montáž, balení a expedici).

Systémy CIM jsou sestaveny propojením dílčích automatizovaných systémů, tzv. CA (C – computer, A – aided) modulů. Ty řeší určitou oblast realizace výrobku a tím umožňují flexibilní výrobu (Marek, 2010).

CIM systémy představují novou filozofii řízení celého podniku a zahrnují:

- způsob organizace řízení podniku,
- typ používaného programového vybavení,
- úroveň a vyspělost jednotlivých komponentů,
- kvalifikaci personálu.

Cílem implementace CIM systémů je:

- snížit materiálovou a energetickou náročnost,
- zvýšit produktivitu práce,
- snížit skladové zásoby,
- zkrátit průběžnou dobu vývoje a výroby,
- zvýšit časové a výkonové využití výrobních zařízení,
- zvýšit kvalitu výrobků a výroby,
- humanizace práce.

Důležité moduly CIM pro práci programátora anebo technologa:

- **CAD** (C – computer, A – aided, D – design) – **počítačem podporované konstrukční projektování**: modul v sobě obsahuje prostředky na vývoj, projektování, navrhování výrobku. Poskytuje rozsáhlé grafické možnosti, které účinně přispívají k výraznému zvýšení efektivity inženýrské projektové činnosti. Jeho výstupem jsou: konstrukce, kompletní výkresy, detailní výkresy, kusovníky apod.
- **CAPP** (C – computer, A – aided, P – process, P – planning) – **počítačem podporované plánování výroby**: modul využívaný k přípravě technologického přenesení konstrukčních řešení a jejich modifikací z fáze CAD do výroby (včetně montážních plánů, operačních pokynů, CNC programů a dalších služeb).
- **CAE** (C – computer, A – aided, E – engineering) – **počítačem podporovaný technický rozvoj**: modul propojující dvě dílčí části CAD a CAPP. Mezi typické představitele CAE systémů patří programové systémy, které realizují buď inženýrské výpočty anebo FEM metody (F – finite, E – element, M – method) – metodu konečných prvků.
- **CAM** (C – computer, A – aided, M – manufacturing) – **počítačem podporovaná výroba**: modul, který bezprostředně provádí řízení výrobního procesu, kontrolu a dozor průběhu výroby a reguluje vytížení jednotlivých výrobních zařízení. Podstatnou část informace získává od subsystému CAPP a je vzájemně spjat s podsystémem CAST (C - computer , A - aided , S - storageand , T - transportation) - počítačem podporovaného skladování a dopravy. Toto propojení je natolik hluboké a rozmanité, že je účelné tyto dvě oblasti považovat za jeden celek. Jejich působení se rozšiřuje na poskytnutí výrobních prostředků, na zásobování materiálem, na zacházení se součástkovými programy i na operativní výrobní programování a dohled.
- **CAQ** (C – computer, A – aided, Q – quality, A – assurance) – **počítačem podporované zabezpečení kvality**: modul postavený na zásadě, že garanci kvality je možné zaručit pouze tehdy, pokud je konstrukční plánování, technologický návrh a výroba systematicky a průběžně monitorována počítačem (Overby, 2010).

DNC síť

Tímto výrazem se rozumí provozní režim v podniku, při kterém jsou výrobní zařízení napojeny přímo do počítačové sítě. V případě NC / CNC strojů jsou výrobní zařízení napojeny na hlavní počítač (DNC server), na kterém jsou archivovány a kompletně zpracovávány jejich programy a ze kterého jsou tyto programy podle potřeby zasílány na příslušné stroje. Zajištění rychle se měnících výrobních požadavků, časově krátké přerozdělování nebo předávání řídicích informací na různé systémy, jako např. NC / CNC stroje, je dnes bez nasazení odpovídajícího DNC systému nemyslitelné (Smid, 2006).

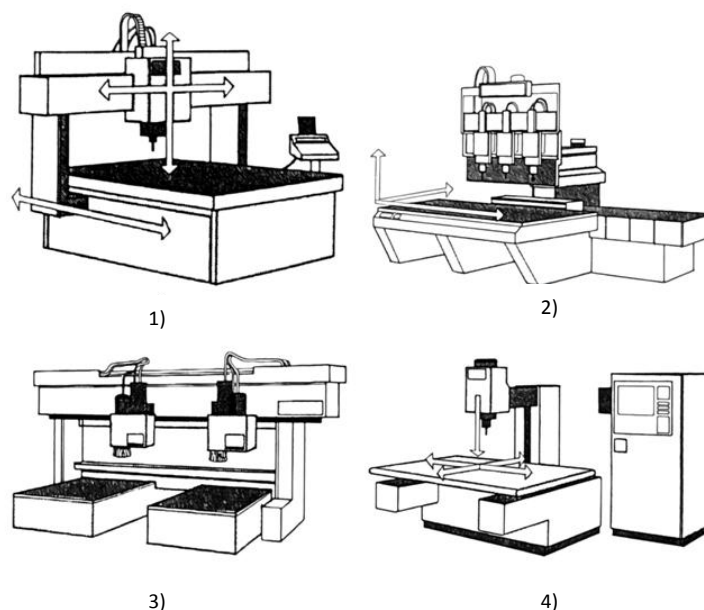
Výhody DNC

- snížení prostojů CNC strojů,
- současná obsluha více strojů,
- flexibilní možnosti ukládání a archivace CNC programů, ale i provozních údajů stroje,
- jednoduchá obsluha a rychlé vyhledávání, speciální software pro správu, přenos, editaci a případně i verifikaci programů,
- eliminace chyby lidského činitele při přenosu dat, snížení nebezpečí ztrát dat,
- zasílání seznamů programů na terminál CNC stroje,
- odesílání žádostí na programové soubory přímo od CNC stroje,
- propojení výkresů, postupů a jiných dokumentů k evidovaným programům,
- rychlé nalezení požadovaného programu pro CNC stroj,
- rychlý přenos programu z počítače do CNC stroje,
- přehledná evidence programů (programy se nepíší znovu jen proto, že je nelze nalézt).

2.8 Konstrukční řešení základních částí CNC obráběcích strojů

2.8.1 Obecně

Stroj se skládá z těchto hlavních částí: lože obráběcího stroje (stojanu), stůl stroje, pracovní výkonová jednotka, posuvné (podávací) zařízení a řídicí jednotka. Lze je dle konstrukčního řešení rozdělit na stroje s pohybovým supportem, portálový s dvěma pracovními agregáty a výložníkové s pohyblivým stolem (obr. 10).



Obrázek 10 Konstrukční řešení CNC strojů

1) pojezdový portál 2) konzolový 3) konzolový s dvěma pracovními agregáty 4) výložníkový typ s pohyblivým stolem

Na CNC stroje jsou kladeny velké nároky, což je způsobeno zejména předpokladem maximálního bezchybného využití po celý pracovní den. Musíme tedy věnovat velkou pozornost volbě materiálů a zároveň také životnosti a hospodárnosti stroje. Dále se předpokládá bezporuchovost, spolehlivost, zajištění správných rozměrů vyráběné součástky, drsnosti povrchu atd.

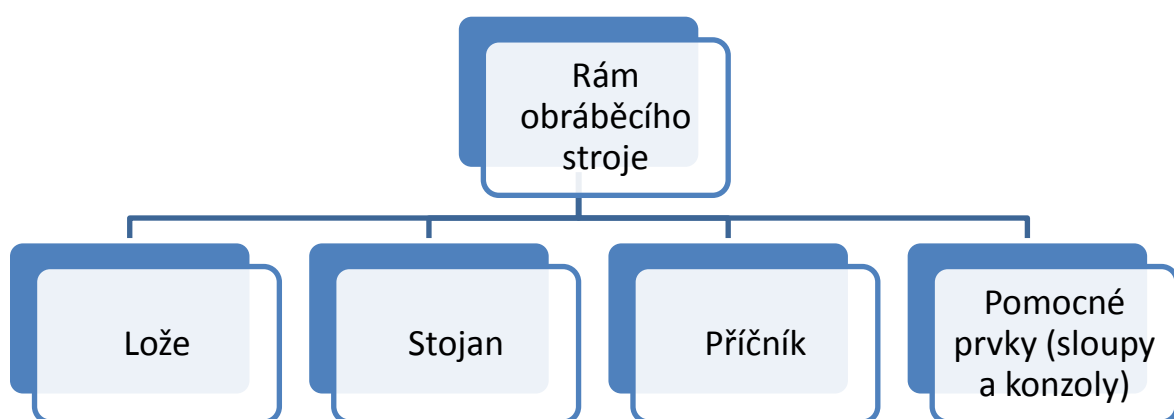
Další konstrukční znaky CNC strojů:

- Konstrukce stroje musí být navržena s důrazem na vysokou přesnost a tuhost, a to zejména z důvodu, aby byly odstraněny vůle mezi funkčními plochami a celky.
- Při použití automatického chodu musí být zaručen co nejhospodárnější řezný režim, který zároveň zaručuje vysokou produktivitu.
- U vodicích ploch je kladen důraz na vysokou přesnost a životnost. U součástí s vyšším opotřebením je nutné zajistit rychlou a snadnou vyměnitelnost, navržením jejich vhodné konstrukce.
- Pro zvýšení přesnosti a životnosti stroje, jsou některé stroje vybaveny stabilizací teploty oleje.
- Pracovní prostor stroje je uzavřený, umístěný za krytem, čímž se zvýší bezpečnost obsluhy.

- Pro zajištění opracování obrobku z více stran se u CNC strojů používají různé přípravky, otočné a sklopné stoly, manipulační palety apod.
- Obsluha veškeré obslužné prvky provádí pomocí ovládacího panelu.
- Při použití automatického cyklu se u číslicově řízených strojů vyžaduje tzv. třískové hospodářství. Pro odvod třísek se používají dopravníky.
- Stroje bývají rovněž vybaveny systémy automatické výměny obrobků a dopravníky pro manipulaci s hotovými výrobky.
- Pro zajištění bezporuchového provozu používáme pomocné, kontrolní, seřizovací a jiné přípravky.
- Automatická výměna nástrojů je v průběhu pracovního cyklu zajištěna již zmíněným systémem automatické výměny nástrojů (Marek, 2010).

2.8.2 Rámy CNC obráběcích strojů

Lože a stojany, popřípadě i sloupy, příčnky, konzoly nám tvoří základní části rámu obráběcího stroje (obr. 11). Jelikož se jedná o základní část konstrukce stroje je nutné právě této části věnovat zvýšenou pozornost, a to zejména z hlediska správné volby materiálu, odolnosti a také dostatečné tuhosti a stálosti tvaru, protože je právě i jejich dodržáním ovlivněna kvalita obrábění. Nemalou pozornost musíme dále věnovat odolnosti vodících ploch, zároveň snadné údržbě a odvodu třísek, také schopnosti tlumit chvění a samozřejmě správné uložení na základ.

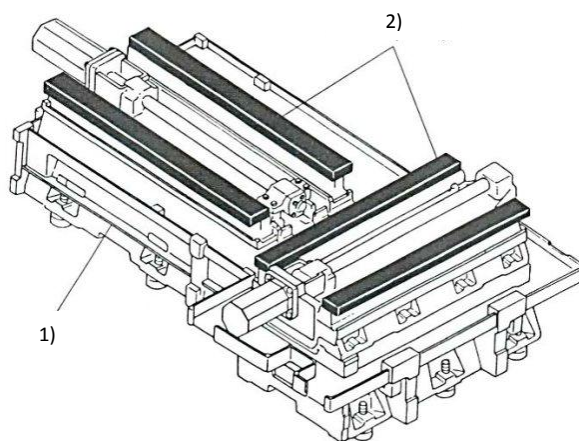


Obrázek 11 Morfologie rámu CNC obráběcího stroje

Pro výrobu rámu jsou používány různé materiály, ovšem nejčastěji se využívá šedé litiny (vysoká schopnost tlumit chvění), ocelolitiny nebo konstrukční oceli. Avšak v dnešní době neustále vzrůstá použití dalších neželezných alternativních materiálů, jako je například

beton, polymer-beton. Samozřejmě se nedá jen tak říci, který z materiálů je univerzálně nejlepší, jelikož to závisí od základních fyzikálních vlastností daného materiálu, které přímým způsobem ovlivňují technické a provozní vlastnosti stroje. Dále také záleží na různých faktorech, které ovlivňují výběr vhodného materiálu. Jde zejména o výrobně technická a ekonomická hlediska, konkrétně o cenu materiálu, hospodárnost výroby, možnost sváření apod.

Například rámy vyrobené z konstrukční oceli bývají svařované anebo montované pomocí šroubových spojení. Lože bývaly vodorovná, ale z důvodu ušetření místa se volí většinou lože šikmá nebo svislá. Tímto způsobem se také docílí snadnější odvod třísek (Král, 1998).



Obrázek 12 Znáornění lože a vodících ploch

1- lože, 2 - vodící plochy

Lože (obr. 12) mohou být vyrobeny jako svařovaná nebo odlitá ve formách. V případě odlitku dbáme o co nejjednodušší tvar odlitku, pravidlem bývá úprava na technické zvyklosti příslušné slévárny. Z toho vyplývá, že dochází ke kompromisu mezi technologií a konstrukcí. Důležité je brát ohled na jednoduchou manipulaci, lehké čištění po vyjmutí z formy, dále pak na vhodnou hmotnost, přístup k opracovaným plochám, technologii lití a samozřejmě tvarovou a funkční správnost odlitku. Z hlediska jejich vlastní výroby pak na rovnoměrné tuhnutí ve všech částech odlitku, polohu při odlévání či přesnost odlévání.

Lože, popřípadě stojany z odlitku jsou zpravidla těžší než svařované. V případě použití druhého způsobu, tedy svařování, používáme ocelové profily nebo válcované plechy a samozřejmě dbáme na svařitelnost materiálu. Kdybychom měli porovnat ekonomickou efektivnost těchto dvou různých konstrukčních řešení, bývají náklady na odlití nižší než na svařování. Na základě tohoto tvrzení volíme svařované díly spíše u strojů vyráběných

jednotlivě nebo jen v malých počtech kusů. Výhodou svařování je fakt, že svařované spoje působí tlumivě v případě chvění, Další možností pro eliminaci chvění je použití nepravidelného vyztužení profilu (Houša, 1985).

Vodící plochy

Jsou nedílnou součástí každého lože a mají vliv na výslednou přesnost. Mezi hlavní požadavky, které by měly vodící plochy splňovat patří:

- nízké pasivní odpory,
- malý a pokud možno stejný součinitel tření, čímž se zajistí stabilita pohybu při malých rychlostech a omezí se vznik trhavých pohybů,
- ve vedení nesmí být vůle,
- vedení musí mít vysokou tuhost a tím možnost tlumit chvění,
- vedení musí mít vysokou odolnost proti otěru a tím i vysokou životnost,
- jednoduchá a snadná konstrukce,
- snadná, rychlá, jednoduchá a bezpečná obsluha.

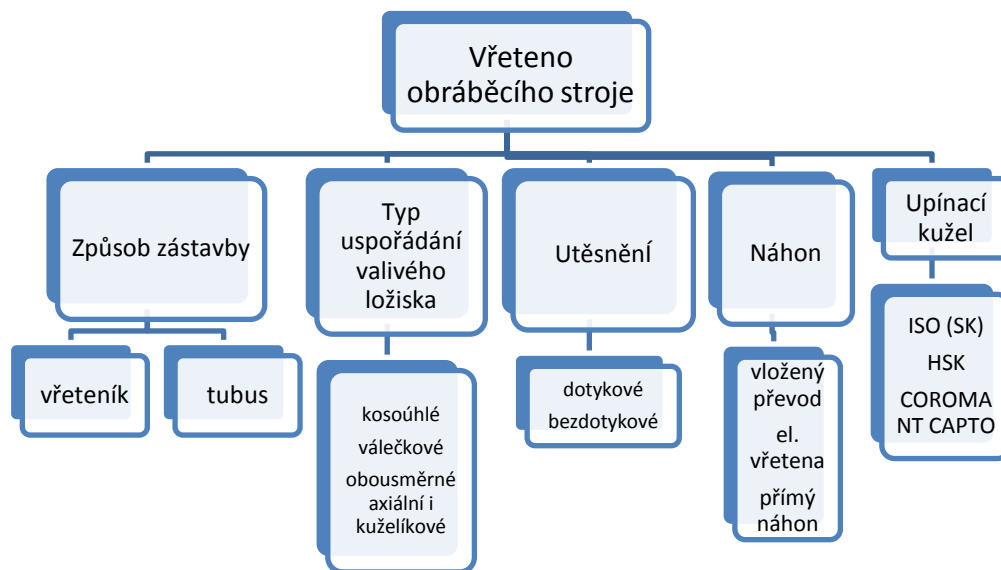
Vedení nejčastěji používaná u CNC strojů:

- vedení kluzná,
- vedení valivá,
- vedení hydrostatická.

Mimo zde uvedená vedení jsou v tuto chvíli v oblasti zkoumání také vedení servostatická, aerostatická a kombinovaná.

2.8.3 Vřetena CNC obráběcích strojů

Vřetena zaručují obrobku (u soustruhu) nebo nástroje (u frézek, vrtaček, vyvrtávaček a brusek) přesný otáčivý pohyb. Vřeteno leží ve vřeteníku a nese uložení. Vřeteno obráběcího stroje je uloženo ve dvou radiálních a jednom nebo dvou axiálních ložiskách. Nejčastěji jsou u CNC strojů používána valivá ložiska. Konec vřetena, který vyčnívá z vřeteníku, je upraven pro nasazení a upnutí nástroje nebo obrobku. Tato část vřetene se nazývá přední konec. Jeho ukončení závisí na typu stroje a je normalizován (bývá ukončen kuželovým otvorem 1:20 nebo 1:10 podle velikosti stroje). Ložisko bližší přednímu konci vřetena má rozhodující vliv na přesnost otáčení vřetena. Nazývá se přední nebo hlavní ložisko. Modifikace vřetene je uvedena na obr. 13 (Marek, Učeň, 2010).



Obrázek 13 Modifikace vřetene

Výhody a nevýhody CNC center

Každá věc má svou výhodu a nevýhodu, v následujících řádcích se budu snažit o co nejpresnější rozepsání výhod a nevýhod, které mi připadají podstatné.

Výhody:

- menší náklady na výrobu – celkově větší hospodárnost a produktivnost,
- nižší finální cena výrobku – zároveň menší počet zaměstnanců,
- vysoká přesnost a kvalita obrábění – eliminace lidských chyb způsobených například nepozorností,
- jednoduchá změna výrobních programů,
- podstatné zvětšení sortimentu výroby – výroba částí, které bez CNC nelze popřípadě lze, ale velmi složitě vyrobit,
- snížení neproduktivních výrobních časů,
- opakovatelnost,
- není potřeba skladovat náhradní díly – CNC si dokáže pomocí nainstalovaných programů díly vyrobit sám,
- předem spolehlivě stanovený výrobní čas.

Nevýhody:

- vysoké investiční a servisní náklady,
- nutný kvalifikovaný personál pro vytváření NC programů.

Z výše uvedeného rozpisu výhod a nevýhod vyplývá, že výhody podstatně převažují. Právě díky uvedeným výhodám, rafinovanosti a budoucnosti CNC strojů jsem si právě CNC stroje vybral jako hlavní téma mé bakalářské práce. Další neméně důležitou součástí je problematika termicky modifikovaného dřeva, jeho obrábění na CNC strojích, kde se v porovnání s přírodním dřevem nevyžadují žádná speciální opatření (viz. kapitola č. 3 a č. 4).

3 Thermowood

3.1 Vývoj termicky modifikovaného dřeva

Využití termicky modifikovaného dřeva se váže k samotné historii lidstva, jsou totiž dochovány zmínky o opalování dřeva v otevřeném ohni, kdy i již naši prapředci opalovali dřevěné kůly a oštěpy v ohni, aby zlepšili jejich vlastnosti. Věděli, že díky tomu se dřevo stane podstatně odolnější a jeho samotná životnost se zvýší, a to až třikrát, jak bylo později zjištěno. Samotné zkoumání tepelného zpracování dřeva na vědecké úrovni začalo v průběhu třicátých let 20. století, a to v Německu vědci Stammem a Hansenem. Dále pak ve čtyřicátých letech se tato studie přesunula do USA a poté zpět do Německa, kde zkoumání pokračovalo. V šedesátých letech publikovali své objevy Kollman a Schneider. V devadesátých letech byly výzkumné práce prováděny ve Francii a Holandsku, ale většina intenzivního a komplexního výzkumu probíhala ve středisku VTT ve Finsku.

Jelikož je dřevo bez jakékoliv úpravy náchylné vůči nepříznivým vlivům a snižuje se tím i jeho trvanlivost, je nutné věnovat ochraně dřeva náležitou pozornost. Dřevo je možno chránit různými způsoby.

- Fyzikální ochrana dřeva – tímto opatření se snažíme o vytvoření podmínek, znemožňujících vnik a následný rozvoj biotických a dřevokazných škůdců. S tím souvisí i vzniklá ohniska destrukce dřeva, která je nutno likvidovat a vytvářet preventivní opatření.
- Konstrukční ochrana dřeva - patří mezi preventivní ochranu a mělo by na ní být pamatováno vždy při projektování, stavbě i rekonstrukcích budov. Jedná se

především o izolaci proti vlhkosti, regulaci klimatických podmínek v objektu (větrání a odvod vlhkosti), tvarovou optimalizací konstrukce celé stavby a také o vhodný výběr druhu dřeva.

- Chemická ochrana dřeva- používá se zejména u nosných konstrukčních prvků (střešní vazby, latě) a dřevěných konstrukcí vystavených povětrnostním vlivům (dřevěné štíty, záhlaví krokví a jejich bednění, venkovní obklady, dřevěné balkony, verandy atd.). Princip spočívá v zavádění chemické látky do dřeva. To provádíme nátěrem, postřikem, máčením a jinými beztlakovými technologiemi. Dále je možno ještě použít podtlakovo-přetlakových technologií ve speciálních přetlakových kotlích. Tuto ochranu používáme u veškerého konstrukčního dřeva určeného pro trvalý styk se zemí nebo s vodou.
- Modifikační ochrana dřeva - cílem modifikace dřeva je zachování nebo zlepšení stávajících pozitivních vlastností jako je pevnost, pružnost, nízká hmotnost atd. Současně se snaží o eliminaci vlastností negativních, mezi které patří kupříkladu rozměrová nestabilita, opotřebitelnost apod. Modifikace přináší i možnosti barevných změn a to v celém průřezu. Modifikace dřeva není výdobytek moderní doby. Již v pravěku byla používána tepelná modifikace, když si pravěcí lidé opalovali hroty oštěpů.

Pod pojmem modifikované dřevo je nutno si představit dřevo, které má určitým způsobem změněnou strukturu dřeva, vedoucí k lepším vlastnostem, a to z hlediska pevnosti, biologické odolnosti, pružnosti, barevné stálosti a odolnosti vůči agresivním chemikáliím, vodě a odolnosti vůči rozměrové nestabilitě. Původně bylo modifikované dřevo využíváno zejména v oblasti průmyslu a dopravy. Ovšem postupem času bylo důležité brát ohled také na ekologickou stránku, a tak v poslední době došlo k inovacím v oblasti technologie výroby. Ovšem právě díky zavedení nových technologií se také zvýšila cena konečného produktu. Přesto se však modifikované dřevo snadno prosadilo na trhu. V dnešní době máme na výběr několik různých druhů modifikovaného dřeva, které velmi dobře konkurují vlastnostem velmi drahých exotických dřevin.

3.2 Termicky modifikované dřevo - obecně

Jedná se o technologický proces modifikace dřeva, jehož princip spočívá ve změně struktury za vysokých teplot. Při tomto tepelném procesu dochází k částečnému odbourání a

rozložení složek dřeva, které jsou termicky odolné. Díky tomu se podstatně rozšiřuje způsob použití termicky modifikovaného dřeva (obr. 14), v současné době využívají tohoto typu modifikace společnosti v různých odvětvích, od podlahy až po pohledové fasády.

Cíle tepelné modifikace:

- podstatně větší odolnost vůči vodě a biologickým činitelům,
- rozměrová a tvarová stabilita, která je dosažena evidentním snížením navlhavosti dřeva (absorpce vlhkosti je snížena o cca 30 - 90 %),
- rozšíření použití i do míst s opakovaným kontaktem s vlhkostí, díky snížení vodopropustnosti,
- zlepšení tepelně-izolačních vlastností dřeva a zároveň snížení tepelné vodivosti dřeva (tepelně upravené dřevo na slunci nepálí do nohou),
- odstranění pryskyřice (na povrchu výrobků se nevyskytuje roněná nebo vyteklá pryskyřice, ani naplněné smolníky),
- významné prodloužení životnosti, která je výrobcí udávána bez jakékoli následné impregnace zhruba na 30 let.



Obrázek 14 Termicky modifikované dřevo

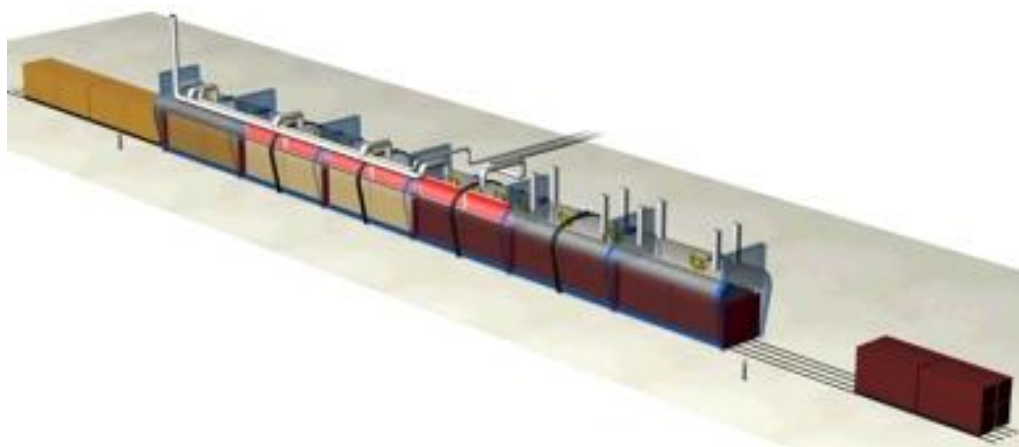
(http://www.prajsner.cz/data_3/fotogalerie/77normal.jpg 17.12.2015)

Takto zlepšené vlastnosti má dřevo v celém průřezu sortimentu a ty v něm zůstávají neměnné po celou dobu životnosti výrobků. Jen ovšem nutno brát v potaz, že dřevo je po tepelné úpravě křehčí (má zvýšenou štípatelnost a má nižší pevnost v ohybu), nemělo by se tedy používat v nosných konstrukcích (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

3.3 Technologie výroby termicky modifikovaného dřeva

Celý proces úpravy dřeva, ze kterého vzejde konečný produkt – Thermowood, lze charakterizovat jako jeden souvislý řetězec operací následujících po sobě. Pro výrobu tepelně

upraveného dřeva se využívají různé druhy dřeva při různých technologických podmínkách (viz 3.5. Využívané materiály). Teploty úprav se pohybují v intervalu od 160°C do 260°C. Tento výrobní proces lze shrnout do šesti kroků, kterými dřevo prochází. Celkově si tento výrobní proces lze představit jako jeden souvislý dlouhý tunel (obr. 15), který je rozdělený do šesti různých komor. Doprava z jedné komory do druhé je zajištěna kolovým vozíkem, ve kterém je položeno řezivo (Dornyak, 2003).



Obrázek 15 - Tunelové výrobní zařízení – Thermowood

(<http://www.fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/vyroba-a-tridy-materialu-thermowood-b100.html>
20.1.2016)

Řezivo prostupuje tunelem a v každé komoře probíhá různé tepelné opracování. Celý proces výroby lze shrnout do třech hlavních fází:

1. Fáze: Zvýšení teploty a sušení

V první fázi dochází k procesu v prvních třech komorách, kde se uskutečňuje vysokoteplotní sušení. Teplota v sušárně se za působení vodní páry prudce zvýší na 100°C. Dále se teplota postupně zvýší až na 130°C. Během této fáze klesá vlhkost dřeva téměř na nulové hodnoty (dřevo v počátečním stavu je vysušené na 8-10%). Tento proces zabírá nejvíce času z celého procesu tepelné úpravy. Většinou tato fáze probíhá 6-24 hodin, ovšem to jak dlouho bude fáze sušení probíhat, záleží zejména na počáteční vlhkosti dřeva, druhu dřeviny a tloušťce upravovaného materiálu.

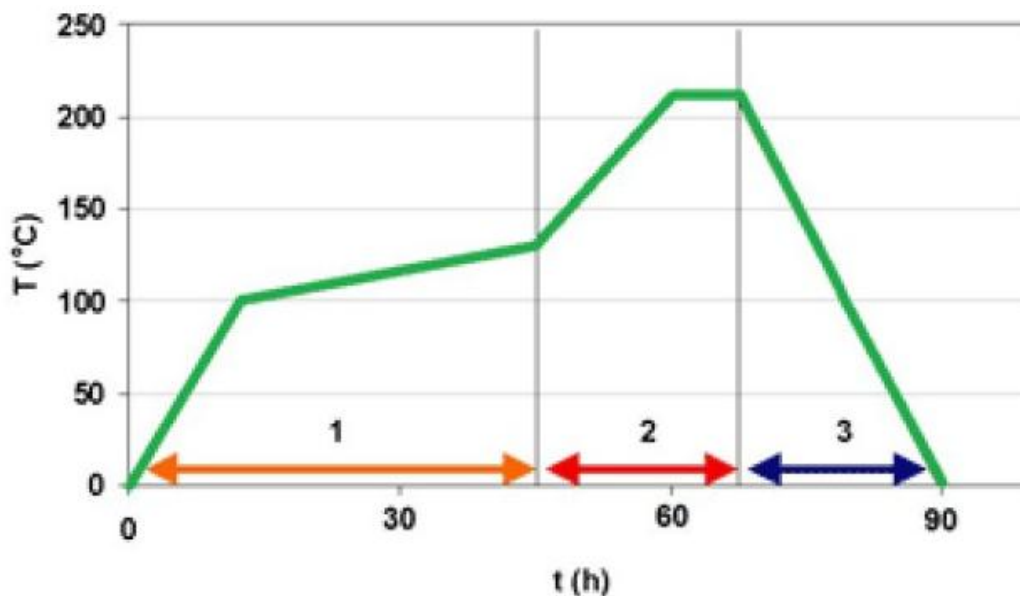
2. Fáze: Tepelná úprava

V druhé fázi přichází na řadu samotné tepelné zpracování dřeva. Teplota uvnitř uzavřené čtvrté komory je zvýšena na teplotu 185°C až 215-230°C po dobu cca 3-5 hodin v závislosti od stupně termofikace (čím delší působení, tím se mění dřevo do tmavší barvy).

3. Fáze: Chlazení a úprava vlhkosti

V průběhu sušení a tepelném zpracování je jako ochrana používána pára. Díky parní mlhovině dochází k ovlivnění chemických změn ve dřevě a zároveň ochraně dřeva před vznícením. Poslední dvě zbývající komory v tunelovém komplexu (viz obrázek č. 11) slouží ke konečné normalizaci. Dřevo se po tepelné úpravě kontrolovaně ochlazuje na teplotu 80-90°C po dobu 5 až 12 hodin. Avšak je nutno věnovat zvláštní pozornost vysokému teplotnímu rozdílu mezi dřevem a venkovním vzduchem, který by mohl způsobit trhliny.

Dále musí být dřevo vlhčeno, tak aby dosáhlo vlhkosti 4-7% před jeho konečným použitím. Následuje fáze konečné normalizace, která trvá 5-15 hodin v závislosti na řezivu a předchozím tepelném ošetření. Jako další přichází na řadu stabilizace, která probíhá v teplých zastřešených prostorech 24 až 48 hodin. Grafické znázornění výroby thermowoodu je zobrazeno na obrázku č. 16.



Obrázek 16 - Graf procesu technologie výroby Thermowoodu

(https://www.researchgate.net/publication/266911289_Vliv_tecnologickych_faktoru_na_kvalitu_opracovani_povrchu_pri_frezovani_termicky_modifikovaneho_dreva 20.1.2015)

3.4 Užití termicky modifikovaného dřeva

Užití termicky modifikovaného dřeva je velice různorodé, a to jak z hlediska vizuálního, tak z hlediska mechanického. Po vizuální stránce jde zejména o změnu barvy a napodobení exotických dřevin, popřípadě možnost vytvářet složité ohyby. Z hlediska mechanických vlastností je nutné zmínit větší pevnost a možnost vytváření subtilnějších konstrukcí, dále pak větší tvrdost, využívanou v nábytkářském průmyslu při aplikaci materiálu na pracovní desky. Další významnou vlastností, která zvyšuje možnost použití, je větší odolnost a tím i možnost použití v exteriéru. Za jednu z hlavních nevýhod lze považovat vyšší cenu.

3.5 Používané dřeviny

Nejběžněji používané dřeviny pro termickou úpravu dřeva jsou zejména jehličnany, ale také dřevo listnatých stromů, které jsou ovšem využívány pouze v malé míře. Mezi nejčastěji využívané jehličnany patří borovice (*Pinus Silvestris*), jedle (*Abies Alba*) smrk (*Picea Abies*), listnaté dřeviny zastupují - bříza (*Betula Pendula*), osika (*Populus Tremula*). Z tvrdých dřevin jde zejména o buk, dub a jasan. Při výběru vhodné dřeviny pro termické opracování je nutno brát ohled na pevnost, výbornou kvalitu bez suků a hnilob. Hniloby způsobují nežádoucí zbarvení dřeva a u suků hrozí po termické úpravě vypadnutí (Buda a kol., 1983).

Dřeva měkká jsou ošetřována silnější tepelnou úpravou a používána například ve venkovních konstrukcích. Tvrdá dřeva jsou ošetřována mírněji a obvykle je u nich nejdůležitější vlastností barva nebo dobrá kvalita povrchu. Používají se zejména na kuchyňský nábytek, obklady, parkety a jiné (Syrjänen, 2001).

- Borovice – tento druh dřeviny je nejpoužívanější. Je typický pro rovná vlákna a hrubou texturu (Lisičan, 1996). Pokud je borovicové dřevo vystaveno nízkým teplotám, získává odstín bukového dřeva, zatímco při vyšších teplotách se zbarvuje do tmavě hnědé. Tento druh dřeva se po úpravě využívá pro exteriéry (dřevěné fasády, zahradní nábytek, koupelnové obklady...)
- Smrk – smrkové dřevo je lehké, barva je po termickém opracování různá, od barvy podobné buku až po tmavě hnědou, ovšem její použití je menší, a to

zejména z důvodu častého výskytu suků, které mohou u této dřeviny vypadnout, používá se pro interiéry, ale také pro exteriér (podlahy...)

- Bříza – tato dřevina hraje v technologii termicky modifikované dřeva také velkou roli, stejně jako v dřevařském průmyslu obecně. Zpracovává se za nízkých teplot, a to zejména z důvodu její chemické vazby, po tepelné úpravě získává bříza bukový odstín a dobrou kvalitu povrchu, která je pro tento druh dřeviny typická. V případě zpracování za vyšších teplot se její zbarvení mění na sytý kávový odstín, který připomíná některé exotické dřeviny. Používá se zejména v interiéru tam, kde se nevyžaduje zvýšená odolnost vůči hnilobě. Konkrétně jako podlahovina, pro dekoraci interiéru, výrobu nábytku, zařízení kuchyně, sauny a výrobu dekoračních prvků.
- Osika – osikové dřevo termicky upravené našlo využití zejména pro vybavení saun. Mezi její nevýhodu se řadí nestejný vzhled dřeviny, a to zejména ve zbarvení. Pokud je termická úprava provedena kvalitně, lze tento neduh eliminovat. Další problém u tohoto druhu dřeva je častější výskyt rozštípnutí, hlavně pokud je přítomné dřevo jádrové a bělové (Syrjänen 2001; Reinprecht, Vidholdová, 2008).
- V současné době se termicky upravují i další dřeviny kromě vzpomenutých.

4 Použití CNC strojů při obrábění thermowoodu

CNC obráběcí centra jsou v oblasti obrábění termicky modifikovaného dřeva používány bez výrazných omezení. Právě naopak, díky termické úpravě dřeva, je vnikání nástroje do dřeva méně náročné, jen je nutné dbát na to, že nástroj musí být dostatečně naostřený. Problém ovšem může nastat při tvorbě dřevního odpadu, jako je jemný prach, piliny anebo třísky. Tento dřevní odpad je riskantní z hlediska vznícení. Dále je nutno brát ohled na čistotu pracovního prostředí a na eliminaci zdravotních problémů obslužného personálu při obrábění. Z těchto výše uvedených důvodů je nutné dřevní odpad zachytávat do speciálních odsávacích zařízení.

Pro obrábění termicky modifikovaného dřeva je typický silný zápach způsobený uvolňováním prchavých látek. Pokud termická úprava probíhá za vyšších stupňů nebo

obrábíme napříč vláken, je pak dřevo náchylnější na vznik trhlin. Tento jev je způsoben tepelnou úpravou, kdy jsou elementy dřeva nevratným způsobem fixovány.

Jednotlivé způsoby obrábění termicky modifikovaného dřeva:

Řezání

Řezání takto upraveného dřeva je energeticky výhodnější, a to díky absenci pryskyřice ve dřevě. Snižuje se opotřebení nástroje a tím dochází k prodloužení jeho životnosti. Řezání termicky upravovaného dřeva se nijak neliší od dřeva přírodního, pouze nástroje je nutno udržovat dostatečně ostré.

Frézování

Pro získání kvalitně opracovaného povrchu, platí také u frézování pravidlo kvalitního naostření řezných hran nástroje, avšak je nutno eliminovat tvorbu trhlin, které se u tohoto způsobu obrábění nejčastěji tvoří příčně k vláknům, a to na začátku a na konci frézování, kdy ostří frézy vystupuje z řezu.

Hoblování

Pro hoblování termicky upraveného dřeva využíváme standartní zařízení, které používáme pro obrábění přírodního dřeva. Pouze je nutno válce seřadit k nižšímu tlaku, aby nedocházelo k popraskání materiálu. Dodržením těchto zásad dosáhneme kvalitně opracovaného povrchu.

Broušení

Tento způsob obrábění není v oblasti termicky upravovaného dřeva tak běžný, jelikož obrobek má již po hoblování a frézování dobrou kvalitu. Pokud i přes tuto skutečnost budeme broušení provádět, provádíme ho stejným technologickým principem jako u dřeva tepelně neošetřeného, avšak je nutné vzít v úvahu případnou tvorbu prachu a tím pádem i jeho odsávání, aby se zmírnilo riziko vzniku požáru (ThermoWood Handbook, 2003).

Mimo výše uvedených procesů obrábění je možné na CNC strojích provádět prakticky všechny způsoby obrábění.

4.1 Výhody a nevýhody obrábění termicky modifikovaného dřeva na CNC strojích:

Výhody:

- Jednodušší vnikání nástroje do dřeva.
- Energeticky výhodnější obrábění.
- Hladký povrch po obrobení.

Nevýhody:

- Nutnost dokonalého naostření nástroje.
- Nutnost odsávacích zařízení.
- Silný zápach způsobený uvolňováním prchavých látek.
- Větší náchylnost na vznik trhlin.

5 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo prohloubení teoretických znalostí v oblasti CNC obráběcích center a jejich použití při obrábění modifikovaného dřeva. Na základě dostupných informací z oblasti CNC obráběcích center, byla popsána problematika CNC strojů, a to od samotného vývoje CNC strojů přes charakteristiku a rozdělení obráběcích center, až po jejich konstrukční řešení. Jak je zřejmé z první části práce, vývoj CNC obráběcích center byl velice pozvolný. Samotný výběr vhodného programového vybavení CNC obráběcího stroje je při zavádění do výroby velice důležitý a proto je nutné mu věnovat náležitou pozornost. Část technologické přípravy výroby popisuje jednotlivé fáze této přípravy a informuje o tom, co je základem správného vytvoření pracovního programu CNC stroje.

Další části této práce jsou zaměřené na informace týkající se vývoje, technologie výroby termicky modifikovaného dřeva až po jeho samotné obrábění, které je jedním z hlavních cílů této práce. Také, z této části vyplývá, že termicky modifikované dřevo se svým vzhledem blíží dřevinám exotickým. Tento typ úpravy je ekologický a tudíž šetrný vůči životnímu prostředí, což považují za velkou výhodu. Tímto typem modifikace se zlepšují vlastnosti, jako je odolnost vůči biotickým škůdcům, dochází k zvýšení tvarové a rozměrové stability a lukrativní je také zajímavý barevný vzhled dřeva. Použití termicky modifikovaného dřeva je možné jak v interiéru, tak v exteriéru. Za nevýhodu považují zhoršení modulu pružnosti, nestálost barvy dřeva a vznik prachových částic v procesu obrábění.

Pokud propojíme obě dvě části mé bakalářské práce, docházíme k závěru, že CNC obráběcí centra jsou v současné době hojně využívána a jejich vývoj směřuje i ve dřevozpracujícím průmyslu kupředu. Samotné obrábění termicky modifikovaného dřeva na CNC stroji nevyžaduje žádné speciální opatření, mimo dokonalého odsávání.

6 Seznam použité literatury

MAREK, J., UČEŇ, O. *CNC obráběcí stroje*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4.

HOUŠA, J. *Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 287 s.

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

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

BARCÍK, Š., KVIETKOVÁ, M., BOMBA, J., SIKLIENKA, M. *Dřevoobráběcí nástroje - údržba a provozování: vysokoškolská učebnice*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2013. ISBN 978-80-87415-80-1.

JANIČEK, F., VOZÁR J., ZBOŘIL F. *Výrobní zařízení pro učební obory Zpracování dřeva*. 2., přeprac. vyd. Praha: Informatorium, 1995. ISBN 80-85427-61-3.

REINPRECHT, L., VIDHOLDOVÁ, Z. *Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 89 s. ISBN 978-80-228-1920-6.

SYRJÄNEN, T., OY, K. *Heat treatment of wood in Finland – state of the art. Thermotreatedwood* [online]. 2001. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z WWW: <www.thermotreatedwood.com/Worldwide/Finland.pdf>.

ANONYMOUS. *ThermoWood Handbook*, Finnish Thermowood Association, c/o Wood Focus Oy. Helsinki, Finland, 2003. 66 s.

DORNYAK, O. R. *Modeling of the rheological behavior of wood in compression processes. Journal of Engineering Physics and Thermophysics* [online]. 2003. 76(3): s. 648–654. Dostupné na internetu: <http://www.itmo.by/jepeter/762003e /conte76.html>.

LISIČAN, J. et. al. *Teória a technika spracovanie dreva*. Prvé vydanie. Zvolen: Matcentrum Zvolen, 1996. 626 s., ISBN 80-967315-6-4.

BUDA. J., SOUČEK, J., VASILKO, K. *Teória obrábania*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha. 1983. ISBN 7789-14-6.

WAGNER, F. *Technika a programování NC strojů*. 2., durchges. Aufl. Překlad: Jiří Dvorský. Praha: Wahlberg, 1994. 88 s. ISBN 80-901-6575-3.

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

MAREK, J., et al. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.

KRÁL, M., et al. *Základy CNC obráběcích strojů*. 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. 64 s. ISBN 80-7200-295-3.

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

VONDROVÁ, V. *Termicky modifikované dřevo a jeho aplikace v interiéru a exteriéru*. (Bakalářská práce), FLD ČZU Praha, 2015. 84 s.

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

POLZER, A. Vzdělávání pro praxi: Akademie CNC obrábění (1). *Technický týdeník* [online]. 2009. 1., [cit. 2015-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/akademie.php?part=1>>.

POLÁŠEK, J. 2007 *Číslicově řízené stroje*. Kopřivnice, [online]. [cit. 2015-10-10], dostupné www: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf.

Elektronické zdroje:

- http://www.prajsner.cz/data_3/fotogalerie/77normal.jpg [cit. 2015-12-17],
- <http://www.fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/vyroba-a-tridy-materialu-thermowood-b100.html> [cit. 2015-01-20],
- https://www.researchgate.net/publication/266911289_Vliv_tecnologickych_faktoru_na_kvalitu_opracovani_povrchu_pri_frezovani_termicky_modifikovaneho_dreva [cit. 2015-01-20],
- <http://www.n-i-s.cz/cz/modifikovane-drevo/page/217/> [cit. 2015-01-23],

- <http://www.povrchoveupravy.cz/2009-03-clanek05.html> [cit. 2015-01-30],
- <http://www.drevvari.cz/cl2744/nova-narodni-stavebni-norma-na-osazovani-oken-vyvolava-mnohe-otazky--> [cit. 2015-02-13],
- <http://www.prokom.cz/thermowood-tepelne-upravene-drevo/suroviny-tepelne-upravene-drevo-thermowood.pdf> [cit. 2015-03-05].