

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra základního zpracování dřeva

Analýza procesu frézování termicky modifikovaného dřeva

Bakalářská práce

Autor: Ondřej Dvořák

Vedoucí práce: Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Dvořák

Dřevařství

Název práce

Analýza procesu frézování termicky modifikovaného dřeva

Název anglicky

Milling process analysis of thermally modified wood

Cíle práce

Cílem práce je charakteristika procesu frézování termicky modifikovaného dřeva jako nového druhu materiálu s inovovanou vnitřní strukturou dosaženou tepelnou a vlhkostní úpravou.

Metodika

Charakteristika výrobního procesu termicky modifikovaného dřeva. Vliv tepelné úpravy na proces frézování, ale i další fyzikální a mechanické vlastnosti. Výhody a nevýhody procesu frézování.

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stran

Klíčová slova

frézování, termicky modifikované dřevo, modifikace dřeva, vlastnosti termodřeva, přirozená trvanlivost

Doporučené zdroje informací

HILL, C. A. S. Wood modification chemical, thermal and other processes. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, UK. 2006. 239 s.

KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F. Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave. Zvolene: Technická univerzita vo Zvolene. 2011. 71 s., ISBN 978-80-228-2249-7.

MAYES, D., OKSANEN, O. Thermowood(r) Handbook. Fínsko Dostupné na:
http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf. (28. 8. 2013).

MIKOLÁŠIK, L. Drevárske stroje a zariadenia I. Alfa, Bratislava, SNTL, Praha 1981.

PROKEŠ, S. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. STNL – Nakladatelství technické literatury, Praha: 1982. s. 354 – 415. ISBN 04-833-82.

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, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2016

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Analýza procesu frézování termicky modifikovaného dřeva vypracoval samostatně pod vedením Ing. Moniky Sarvašové Kviťkové, 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 Růženě dne 11. 4. 2016

Poděkování

Zde bych rád poděkoval Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD. za její odborné vedení, cenné rady a především za ochotu a trpělivost, se kterou odpovídala na všechny mé dotazy.

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíl práce	9
3. Frézování	10
3.1 Podstata frézování	10
3.2 Sousedné a nesousedné	11
3.3 Rovinné frézování	12
3.4 Frézování křivoploché (šikmočelé)	14
3.5 Frézování profilovací (tvarové)	16
3.6 Frézování speciální	20
3.7 Kinematické zákonitosti frézování	22
3.8 Kvalita frézovaného povrchu	26
4. Termicky modifikované dřevo	28
4.1 Co je to termodřevo?	28
4.2 Výroba termodřeva	29
4.3 Dělení termodřeva	31
4.4 Vlastnosti termodřeva	33
4.5 Použití termodřeva	41
5. Vliv vlastností termodřeva na proces frézování	42
6. Závěr	44
Seznam použité literatury:	45
Seznam obrázků a tabulek	47

Abstrakt:

Práce je zaměřena na charakteristiku procesu frézování termicky modifikovaného dřeva (termodřeva) jako nového druhu materiálu s inovovanou vnitřní strukturou dosaženou tepelnou a vlhkostní úpravou. Práce je rozdělena na tři části. První část práce se zaměřuje na teoretický souhrn způsobů frézování a stručný rozbor jednotlivých druhů tohoto procesu. Druhá část se specializuje na popis termicky modifikovaného dřeva, jako nového technického materiálu. Závěrečná část se zabývá již vlivem vlastností "termodřeva" na proces frézování.

Klíčová slova: frézování, termicky modifikované dřevo, modifikace dřeva, vlastnosti termodřeva, přirozená trvanlivost

Abstract:

The work is focused on the characteristics of the milling process of thermally modified wood as a new type of material with an innovative internal structure achieved by heat and humidity treatment. The work is divided into three parts. The first part focuses on the theoretical summary of the method of milling and a brief analysis of various types of the process. The second part specializes in description of thermally modified wood as the new technical material. The final part deals with the influence of properties of "thermowood" on milling process.

Keywords: milling, thermally modified wood, wood modification, characteristics of "thermowood", natural durability

1. Úvod

Dřevo, materiál starší než samo lidstvo, nás provází už od samých prvopočátků naší existence. Již pravěcí lidé si z něj stavěli primitivní příbytky a v dnešní době jsme schopni ze dřeva stavět i obří stavební konstrukce. Dřevo je přírodní materiál, což je jeho výhoda, ale sebou i rizika, která se týkají jeho životnosti. Proto se lidé od jakživa snažili životnost dřeva maximálně prodloužit všelijakými způsoby. Často rozšířeným způsobem se stalo opalování jednotlivých prvků, a to hlavně pak kůlu, které byly zaraženy do země. Dřevo tímto jednoduchým způsobem získalo po okraji tenkou ochrannou vrstvu, tvořenou zuhelnatělými částicemi, a také bylo žářem ohně lehce termicky modifikováno a dá se tak mluvit o jakémisi „prehistorickém termicky modifikovaném dřevě (termodřevě). I když dnes technologie pokročila, dřevo už neopalujeme nad ohněm, ale nápad dřevo modifikovat teplem přetrval až do moderní doby. Na základě tohoto byl vynalezen systém tepelné úpravy, který se během posledních desetiletí rozšířil hlavně v zemích západní Evropy. Takto upravené dřevo se vyznačuje zvýšenou trvanlivostí, která ho předurčuje pro venkovní použití. Využití je rozmanité a stejně rozmanité jsou i jeho následné způsoby opracování. V současné době se do popředí dostává opracování frézováním a není tomu asi jinak u termodřeva. A právě proto jsem se v této práci rozhodl popsat, proces frézování ve spojitosti s termodřevem jako materiálem a následně analyzovat, jaký má takto modifikovaný materiál vliv na opracování frézováním.

2. Cíl práce

Cílem práce je charakteristika procesu frézování termicky modifikovaného dřeva jako nového druhu materiálu s inovovanou vnitřní strukturou dosaženou tepelnou a vlhkostní úpravou. Charakteristika výrobního procesu termicky modifikovaného dřeva. Vliv tepelné úpravy na proces frézování, ale i další fyzikální a mechanické vlastnosti. Výhody a nevýhody procesu frézování.

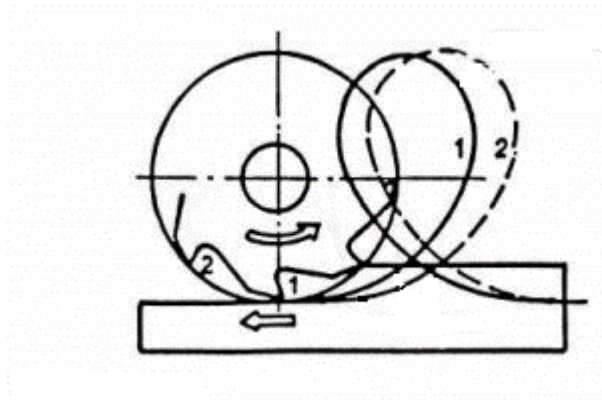
K dosažení hlavních cílů předcházelo několik dílčích cílů:

- charakterizování procesu frézování,
- charakteristika termodřeva,
- analýza vlivu termodřeva na frézování.

3. Frézování

3.1 Podstata frézování

Frézování je proces třískového obrábění, při kterém je vrstva materiálu odebrána z obrobku ve formě jednotlivých drobných třísek vícebřitým rotačním nástrojem - frézou. Při práci se fréza otáčí kolem své osy (hlavní pohyb procesu) a po obvodě se postupně zařezává svými zuby do obrobku, který se současně posouvá proti nástroji (vedlejší pohyb procesu) (Prokeš, 1978). Může tomu být i jinak a to například pokud frézujeme horní ruční frézku, kde je pohyb posuvný i otáčivý, vykonává jej pouze fréza a obrobek je pevně upnutý. Vyplývá z toho, že ve skutečnosti má dráha tvar cykloidy (Obr. 1), protože záběrová dráha břitu není kruhová. Každý břit frézy postupně odebrává z obráběného materiálu krátké třísky různé tloušťky, takže proces řezání je přerušovaný (Lisičan, 1988).



Obr. 1 Dráha ostří zuby

(http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/frezovani_zpusoby/rezny-pohyb-pri-frezovani.jpg-.html

24.1.2016)

Účelem frézování je opracování dílce na požadovaný rozměr, tvar a povrchovou kvalitu. Použitím různých druhů frézovacích nástrojů je možné obrábět vnější, ale i vnitřní především plochy rovinné, ale také plochy tvarové, nepravidelné, šikmé, drážky, polodrážky, rotační plochy a tak podobně. (Prokeš, 1978). Možnost přesné výroby a široké uplatnění zařadily v praxi frézování na významné místo ve výrobě. Frézování je velmi rozšířenou technologií obrábění dřeva (Kvietková, 2015).

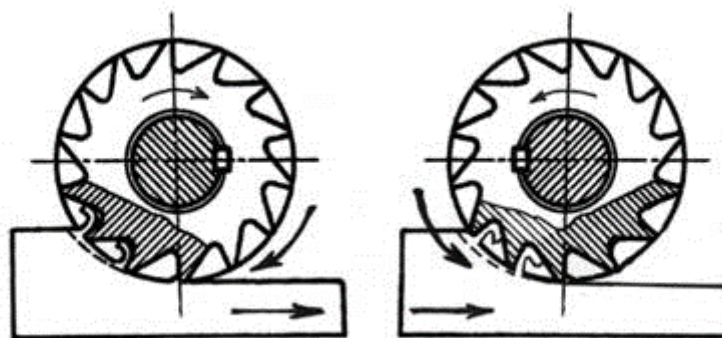
Frézování můžeme podle technologického hlediska rozdělit na:

- rovinné frézování,
- křivoploché (šikmočelé) frézování,
- profilovací frézování (tvarové),
- speciální frézování (Lisičan, 1976).

3.2 Sousedné a nesousedné

Podle vzájemného pohybu obrobku a nástroje rozlišujeme frézování nesousedné a sousledné (Obr. 2) (Lisičan, 1988). Při frézování nesousedném se fréza otáčí proti směru posuvu obrobku. Tříška se vytváří postupně od nulové tloušťky na začátku řezu až po její maximální tloušťku při vyjetí zubu ze záběru. Proto je frézování plynulejší a klidnější. V praxi tento způsob frézování využíváme například při frézování výkovků, které mají povrchovou vrstvu tvrdou (například kůru). Do tvrdé vrstvy vstupují zuby zesponu a odštípávají ji. Tím zabraňujeme velkému otupení ostří nože frézy. Tangenciální složka řezné síly, která má negativní vliv, působí směrem nad pracovní stůl frézky a má snahu obrobek vytrhnout z upínače (Mikolášik, 1981).

Při frézování sousledném se fréza otáčí ve směru posuvu obrobku. Zuby začínají odřezávat třísku v místě s největší tloušťkou a vycházejí ze záběru v místě s nulovou tloušťkou třísky. Frézování je nárazové. Řeznou silou je obrobek přitlačován k řezné ploše upínače. To je výhodné hlavně při frézování tenkostěnných obrobků. Je však nutné, aby byly vymezeny vůle ve vodicích plochách a posuvných mechanismech stolu (Barčík et. al., 2013).



Obr. 2 Sousedné a nesousedné frézování

(<http://home.tiscali.cz/novyl/praxes3.htm> 25.1.2016)

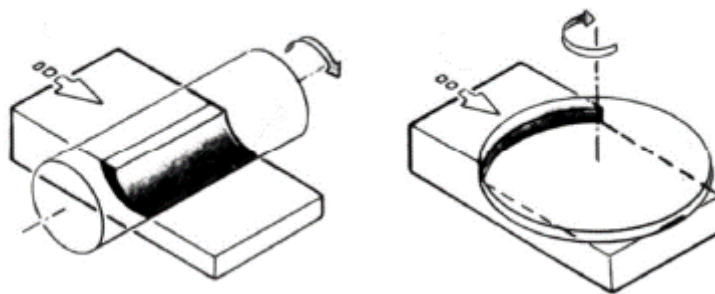
3.3 Rovinné frézování

Rovinné frézování je proces, při kterém opracováváme plochy dílce tak abychom vytvořili požadovanou rovnou plochu (tento proces nazýváme srovnávání) nebo opracovali dílec taky, aby měl požadovanou tloušťku (tento proces nazýváme tloušťkování) (Mikolášik, 1981).

Srovnávání – srovnáváním nazýváme vytvoření jedné základní rovné plochy na křivém dílci, podle které se dílce v následující operaci frézování opracují na přesnou tloušťku. Vykonává se tím, že se křivý dílec „prožene„ nad nožovou hlavou umístěnou pod stolem stroje (dělená na přední a zadní) ubírající vrstvu e (takzvaný úběr). V případě vyšší křivosti dílce se srovnání křivé plochy dosáhne opakovaným úběrem. Počet opakování úběru závisí na podmínkách, jako jsou například drsnost povrchu, křivost a délka dílce (Lisičan, 1976).

Tloušťkování – tloušťkováním nazýváme operaci následující po srovnání jedné plochy dílce, která se položí na stůl, a tloušťkovací nožová hlava umístěná nad stolem ofrézuje druhou plochu dílce a skalibruje ho na požadovanou tloušťku (Kvietková, 2015).

Rovinné frézování se nejčastěji dělá válcovými nožovými hlavami a čelními frézami (Obr. 3), ale můžeme ho dělat kónickými nožovými hlavami, frézovacími kotouči anebo stopkovými frézami s rovnými bočními hranami (Lisičan, 1976).



Obr. 3 Principy rovinného frézování (válcovou a čelní frézou)

(Barcík, 2009)

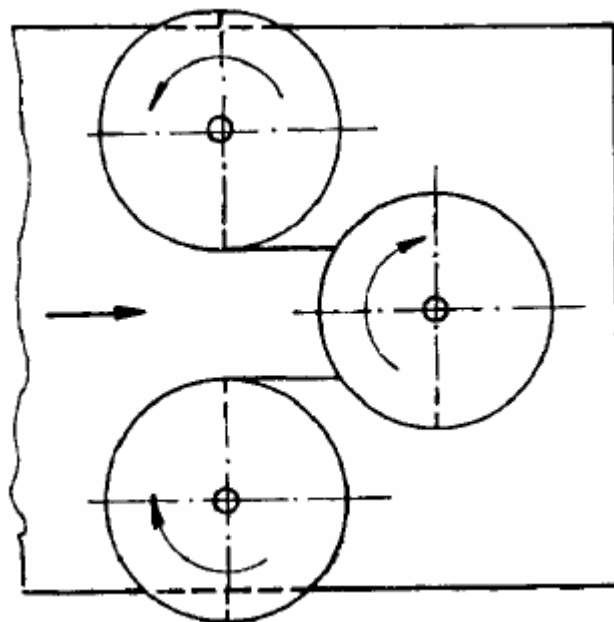
Frézování válcovými frézami

Při frézování rovinném frézování plocho válcovými frézami je obrobená plocha rovnoběžná s osou frézy rovnoběžná. Na obvodu frézy nože odřezávají požadovanou část materiálu. Šířka frézované plochy musí být menší než šířka frézy (Mikolášik, 1981). A i když

jsou válcové frézy nepoužívanějším nástrojem na frézování rovinných ploch, mají přesto nedostatky. Válcové frézování totiž za ideálních podmínek přesností nastavení nožů na frézovací hlavě opravují plochu s výškou kinematických nerovností několik setin milimetru. Přitom se tyto nedostatky projevují v daleko vyšší míře se zrychlením posuvu. Z toho vyplývá, že ani stroje konstruované pro vysoké posuvy není možno plně kapacitně využít, zvláště když se k tomu přidá ještě problém přesnosti nastavení nožů (Lisičan, 1988).

Frézování rovinných ploch čelními válcovými frézami

Při čelním frézování je frézovaná plocha kolmá k ose frézy. Z technologického hlediska si jej lze představit tak, že nůž má dvě ostří na sebe kolmé: jedno z nich rotuje v rovině frézované plochy – takzvané „čelní“, druhé kolmo na frézovanou plochu – takzvané „boční“. Materiál odřezávají boční zuby na obvodě frézy, zuby na čele vyhlazují obrobenou plochu. Jednotlivé zuby frézy odřezávají třísky téměř totožného průřezu. Stroje i nástroj je po dobu obrábění zatěžován prakticky stále stejně, chod stroje je rovnoměrný a plynulý, a proto nevzniká při frézování chvění. Kvalita ofrézované plochy je lepší než při frézování frézou válcovou. Díky tomu, že zabírá více zubů současně, je zde možnost větších posuvů a rychlostí (Barcík et. al., 2013). Na obrázku 4 je znázorněno frézování širokých ploch souborem čelních fréz.



Obr. 4 Frézování širokých ploch souborem čelních fréz

(Lisičan, 1976)

3.4 Frézování křivoploché (šikmočelé)

Šikmé plochy jsou takové, které svírají se základními vodorovnou plochou jiný úhel než 0° (rovnoběžné plochy) nebo 90° (kolmé plochy). Nejčastěji se plochy šikmé frézují těmito způsoby:

- frézování úhlovými frézami,
- frézování podle orýsování,
- frézování s použitím zvláštních podložek pro ustavení polohy obrobku,
- frézování s využitím sklopného svěráku,
- frézování vykloněním vřeteníku (na vertikální frézce).

Pro konkrétní volbu způsobu křivoplochého frézování je směrodatná hlavně velikost šikmé plochy, počet obráběných prvků a technické zázemí dílny (Kotěšovec, 1981).

Frézování šikmých ploch úhlovými frézami

Tento způsob se používá pro plochy šikmé, úzké, poněvadž frézy úhlové (Obr. 5) mají relativně krátkou délku ostří břitů. Profilový úhel úhlových fréz je odstupňován normou a frézy lze použít v případě shodného úhlu sklonu šikmé plochy (Lisičan, 1988).



Obr. 5 Úhlová fréza

(<https://www.elglobal.cz/uhlove-frezy-2> 26.2.2016)

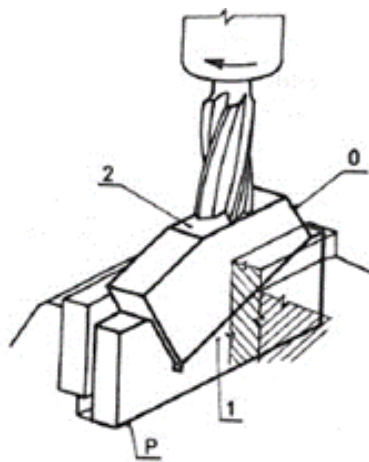
Frézování šikmých ploch podle orýsování

Tento postup se využívá při opracování obrobků v kusové výrobě. Dle rozměru na výkresu se nejdříve obrobek orýsuje. Během upevňování se obrobek nastaví tak, aby ryska

vyznačující šikmou plochu se stala rovnoběžnou s upínacími čelistmi svěráku. K tomu se užívají podložky umístěné na čelistech svěráku (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-sikmych-ploch/>).

Frézování s použitím zvláštních podložek

K přesnějšímu a rychlejšímu nastavení obrobku slouží podložky. Speciální podložku je potřeba volit takovou, aby výsledná šikmá plocha byla rovnoběžná s pracovním stolem frézky (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-sikmych-ploch/>). Frézování s použitím šikmé podložky je znázorněno na obr. 6.



Obr. 6 Frézování šikmé plochy

O – obrobek, P – šikmá podložka, 1 – opěrná plocha, 2 – obráběná plocha

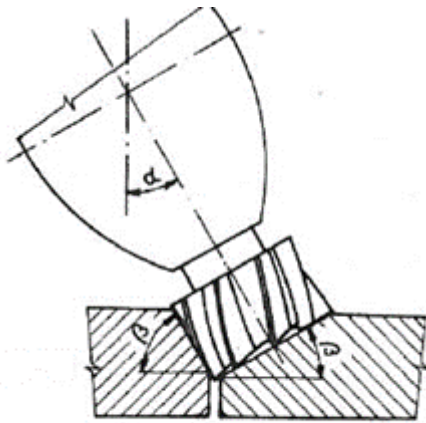
(<http://zoei.sssebrno.cz/userdata/imagelibrary/upload/poueti-eikme-podloeky.jpg> 24.2.2016)

Frézování šikmých ploch s použitím sklopných svěráků

Sklopné svorky jsou mnohdy sdužovány s otočnými a patří k specifickému příslušenství frézky. Pracovní umístění obrobku se zajišťuje naklpením části svěráku pod požadovaným sklonem. Na úhlové stupnici svěráku se odečítá úhel naklpení. Velikost naklpení bývá do 45° na obě strany (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-sikmych-ploch/>).

Frézování šikmých ploch vykloněním vřeteníku

Velikost vychýlení vřeteníku bývá většinou maximálně 45° na obě strany od svislé osy. Vřeteník lze naklápět po povolení matic na zadní straně. Úhel naklonění lze odečíst na stupnici. Při tomto postupu může být osa frézy při vyklonění vřeteníku (Obr. 7) rovnoběžná se šikmou plochou nebo kolmá na šikmou plochu (Kotěšovec, 1981).



Obr. 7 Frézování vykloněním vřeteníku

α – úhel vyklonění hlavy, β – úhel sklonu šikmé plochy

(<http://zoei.sssebrno.cz/userdata/imagelibrary/upload/vykloneni-veetenikove-hlavy.jpg> 23.3.2016)

3.5 Frézování profilovací (tvarové)

Tvarové plochy jsou plochy vytvořené ze základních geometrických ploch, jako jsou čtverce, obdélníky, kruhy atd. Nebo jsou tvořeny obecnou křivkou. Jsou náročné na výrobu vyžadující zkušenosti obsluhy stroje. Zvláště díky těmto plochám byly vyvinuty číslicově řízené stroje pracující v automatickém cyklu. Na frézkách obrábíme tvarové plochy uvedenými způsoby:

- frézování tvarových ploch podle orýsování,
- frézování tvarových ploch tvarovými frézami,
- frézování tvarových ploch na otočném stole,
- frézování tvarových ploch kopírováním (Kotěšovec, 1981).

Frézování tvarových ploch podle orýsování

Toto frézování používáme v kusové výrobě (Kotěšovec, 1981). Orýsování tvaru na obrobku umožňuje použít normálních nástrojů a běžného upínacího zařízení. Výsledný tvarový pohyb podle rysek zajišťuje frézař ručně sdružením podélného a příčného posuvu. Celý obrys nebo jeho část ofrézujeme nejdříve na hrubo několika záběry. Obrábět začínáme vždy v místě nejmenšího přídavku na obrábění, protože při záběru v místě největšího přídavku by se mohla fréza poškodit. Správnost vyfrézovaného tvaru a jakost obrobeného povrchu je závislá hlavně

na zručnosti a svědomitosti frézaře. V průběhu frézování musí frézař neustále pozorovat obrysový rysky, protože jsou vodítkem při vytváření potřebného tvarového pohybu. Tvarový obrys kontrolujeme šablonou, rozměry posuvným měřítkem (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/>).

Nevýhodou tohoto způsobu se stává, že obrobená plocha je vlivem ručního posuvu vlnitá. Požadujeme-li hladký povrch je potřeba jej následně dokončit pilováním, škrabáním, leštěním nebo broušením (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/>).

Frézování tvarových ploch tvarovými frézami

Tvarové frézy (Obr. 8) se používají většinou k frézování krátkých a jednoduchých tvarových profilů, protože čím delší část ostří je v záběru tím se zvětšuje náchylnost ke chvění celé soustavy projevující se zhoršením jakosti povrchu a může i způsobit zničení nástroje (Kotěšovec, 1981). Tvarovými frézami se jedním záběrem-průchodem-ofrézuje celý tvarový povrch nebo jen jeho určitá část. Tvarové zakřivení břitů zubů frézy se dosáhne podsoustružením nebo podbroušením hřbetů zubů. Nejčastěji se používají tvarové frézy k frézování poloměrového – rádiusového- zakřivení, k čemuž se používá tzv. normalizovaných zaoblovacích fréz. Širší a členitější tvarové plochy se frézují složenými tvarovými frézami upnutými na společném trnu (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/>).

Výhodou tohoto způsobu frézování tvarových plochy je, že i velmi složité tvarové plochy se vyrobí jedním záběrem na čisto (Kotěšovec, 1981).

Nevýhodou jsou velké pořizovací a udržovací náklady na tvarové frézy a menší výkon frézování, protože v záběru s materiálem obrobku je dlouhá část ostří, čímž se zvyšuje řezný odpor a musí se obrábět menšími řeznými rychlostmi. Velmi často je také problematický odchod třísek (Kotěšovec, 1981).



Obr. 8 Tvarová fréza

(<https://petrskalicki.wordpress.com/servis-a-opravy/> 23.12.2015)

Frézování tvarových ploch na otočném stole

Otočné stoly (Obr. 9) jsou v podstatě kruhové upínací desky vodorovně položené a otočné kolem svislé osy, které mají na horní ploše radiální upínací drážky (Sova, 2001). Spodní plocha desky má na obvodě ozubení, do kterého zabírá šroub uložený v základní desce stolu. K ručnímu otáčení kruhové desky se používá kličky, která je nasazena na vyčnívajícím konci hřídele, na němž je uložen záběrný šroub (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/>). Otočné desky novější konstrukce jsou vybaveny mechanismem pro strojní samočinný pohyb kruhové upínací desky. Pohyb je přenášen do mechanismu stolu od pohybového šroubu podélného stolu frézky většinou kloubovým teleskopickým hřídelem (Sova, 2001).

Otočný stůl umožňuje obrobení vnějších a vnitřních válcových ploch obrobku, popřípadě jen jejich částí. Obrábíme obrobky, které jsou tvořeny válcovými i rovinnými plochami a to při postupném přestavování obrobku v příčném i podélném směru (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/>).



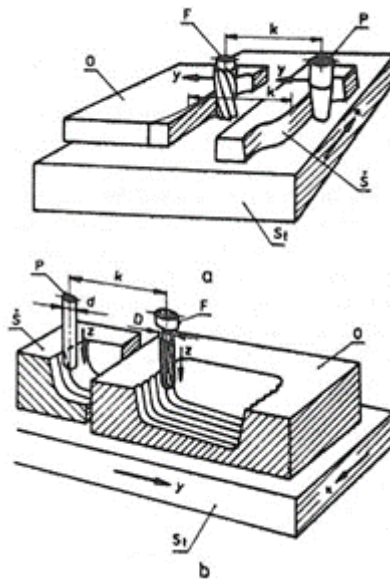
Obr. 9 Otočný stůl

(www.drevarsky-obchod.cz/bazar/otocnystul 2.4.2016)

Frézování tvarových ploch kopírováním

Tvarové plochy můžeme na frézkách vytvářet i kopírováním (Obr. 10) a to obvodové tvary i tvarové dutiny. Kopírování je přenášení tvaru ze šablony nebo modelu pomocí dotykového palce, který při sledování řídící plochy musí s ní být v neustálém kontaktu (Kotěšovec, 1981). Výsledný tvarový pohyb je zajištěn složením podélného a příčného pohybu (x-y). Jeden z těchto pohybů je závislý na řídící ploše kopírovací šablony, se kterou je ve styku dotykový palec – strojní posuv. Druhý pohyb – kolmý – je zajištěn ručně. Jeden z pohybových šroubů musí být vyřazen ze záběru s maticí (<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/>).

Výhodou kopírování je skutečnost, že používá normalizovaných fréz a je poměrně přesné. Průměr frézy musí být shodný s průměrem dotykového palce (Kotěšovec, 1981).



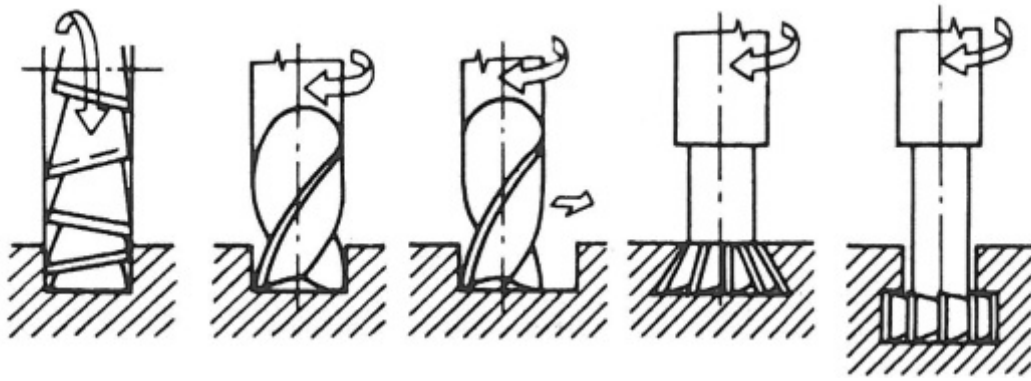
Obr. 10 Princip kopírovacího frézování

a – obrysové kopírování; b – prostorové kopírování; Š – šablona; O – obrobek; F – fréza; S₁ – stůl frézy; P - dotyk

(<http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-tvarovych-ploch/> 23.2.2016)

3.6 Frézování speciální

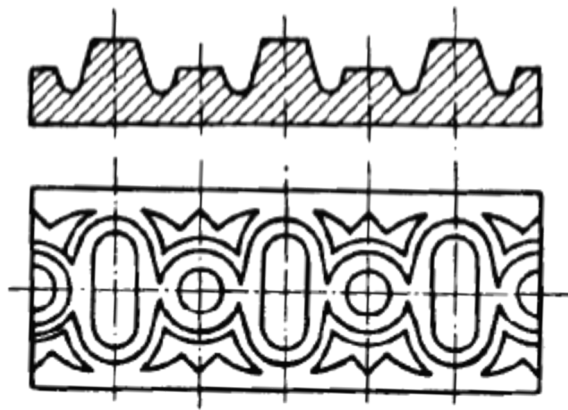
Speciálním frézováním je myšleno frézování drážek (Obr. 11) a reliéfů do plochy (Obr. 12). Frézování drážek se v podstatě dělí na frézování drážek průběžných a neprůběžných (Lisičan, 1976). Oba způsoby jsou v podstatě velice podobné, jen s tím rozdílem že průběžné drážky lze frézovat jak frézami válcovými čelními tak i kotoučovými a uzavřené pouze drážkovacími frézami (Svoren, 2006). V případě rybiny je možno frézovat dvěma způsoby. Prvním způsobem rybinovitá drážka vyfrézuje rovnou jednou frézou, druhým je potřeba nejprve vyfrézovat pravoúhlou průchozí drážku s přídávkem na dně drážky a na její šířce, a následně dokončit drážku úhlovou jednostrannou frézou s příslušným profilovým úhlem (55°) (<http://zoei.sssebrno.cz/userdata/frezovani-drazek/>).



Obr 11. Frézování drážek

(<http://zoei.sssebrno.cz/userdata/imagelibrary/upload/frezovani-draeek.jpg> 23. 1. 2016)

Frézování reliéfů se v poslední době, v dřevařském průmyslu, nejčastěji používají obráběcí stroje, které jsou číslicově řízené pomocí počítače (CNC). U CNC strojů se frézy pohybují ve všech směrech os (X – Y) a se svisle uspořádaným frézovacím větvenem, a jsou tedy schopné s vysokou přesností vyfrézovat různé reliéfy (Svoreň, 2006).

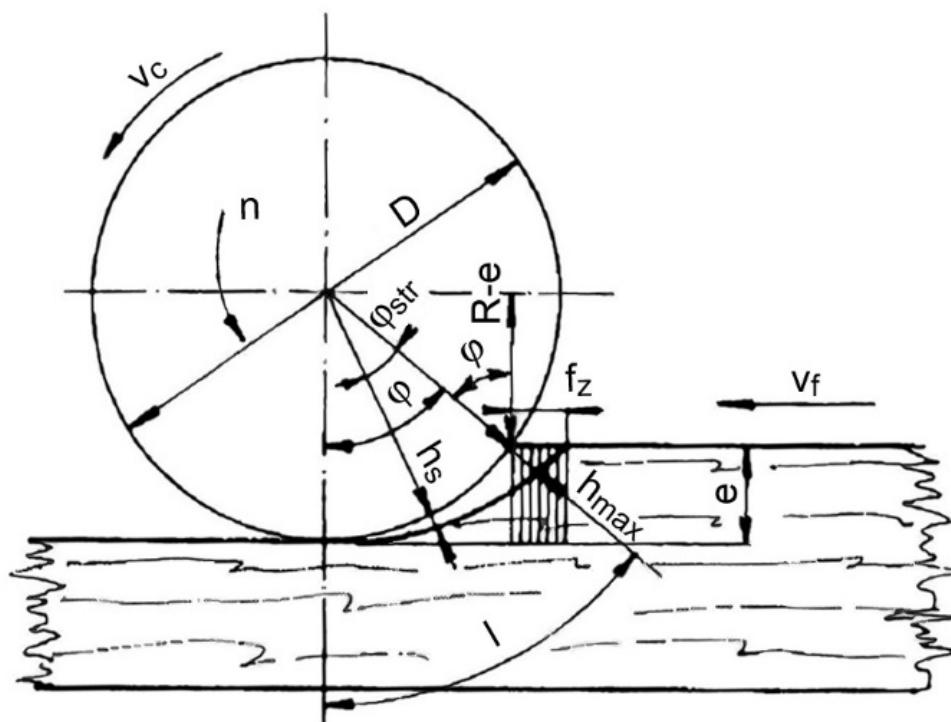


Obr. 12 Frézování reliéfu

(Liščan, 1976)

3.7 Kinematické zákonitosti frézování

Kinematika frézování a oddělování třísky při něm je znázorněné na obr. 13



Obr. 13 Kinematický model frézování

(Barcík, 2009)

V praxi se však skutečný průřez třísky může odlišovat od nominálního průřezu vlivem otupení břitu, nepřesnosti chodu vřetena, odchylek břitů od řezné kružnice, nepravidelností chodu podávacího zařízení a především vlivem odštipování a nesterodnosti hmoty obrobku (Prokeš, 1978).

Dráha břitu obrobku tvoří cykloиду, řezná rychlost je však u větších průměrů frézovacích nástrojů v poměru k rychlosti posuvu velmi vysoká, takže na úseku záběru břitu můžeme s dostatečnou přesností předpokládat, že jeho řezná dráha tvoří kružnici (Prokeš, 1978).

Souhrn všech činitelů, jenž ovlivňují průběh frézování lze definovat jako řezné podmínky. Pro co neoptimálnější frézování - tedy produktivní a hospodární, je třeba rozumět jednotlivým podmínkám obrábění a jejich vzájemnému propojení.

Základní řezné podmínky jsou: posuv (s), řezná rychlost (v), a hloubka řezu (h).

Velkou mírou však proces frézování ovlivňují také další činitelé: opracováváný materiál, rozměr a tvar průřezu třísky, celková tuhost obráběcí soustavy a geometrie nástroje. (Lisičan, 1988).

Řezná rychlost

Je to rychlost řezného pohybu, jenž udává v metrech za minutu. V praxi se počítá zjednodušeně jako obvodová rychlost bodů ostří na obvodu nástroje – frézy.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (1)$$

D = průměr frézy [mm]

n = otáčky nástroje [ot/min]

Na základě řezných normativů je třeba určit optimální řeznou rychlost a pak vypočítat potřebné otáčky a nejbližší nižší nastavit na stroji (konvenční obráběcí stroj se stupňovými převody) (Lisičan, 1988).

Posuv

Dráha v mm, kterou urazí při pohybu do záběru obrobek za 1 min (otáčku), Velikost posuvu se

udává:

$$w_m = \frac{v_f \cdot 1000}{n} \quad [\text{mm/min}] \quad (2)$$

$$v_f = \frac{w_m \cdot n}{1000} \quad [\text{mm/min}] \quad (3)$$

$$w_z = \frac{w_m \cdot 1000}{n \cdot z} \quad [\text{mm/min}] \quad (4)$$

v_f = posuv do řezu [mm/min]

n = počet otáček za minutu [ot/min]

w_m = posuv na otáčku

w_z = posuv na zub

z = počet zubů (Kvietková, 2015).

Na konvenčních frézkách se nastavuje posuv minutový; číslicově řízené frézky mohou využít podle volby jak minutový, tak posuv na otáčku.

Z hlediska směru pohybu může být posuv:

- podélný,
- příčný,
- složený (frézování tvarových ploch).

Posuv může být:

- a) plynulý - s hlavním pohybem probíhá současně,
- b) po přítržích - nástroj nebo obrobek vykonává posuvný pohyb v době, kdy se hlavní pohyb nekoná, posuv nastává mezi pracovními zdvihy (hoblování, obrázení) (Prokeš, 1978).

Řezná hrana po dobu jedné otáčky je v záběru na celé obloukové délce l , která připadá středovému úhlu $\varphi' + \varphi$ (φ' je zanedbatelný).

Délka třísky

$$l = 2R \sqrt{\frac{e}{R}} = \sqrt{e \cdot D} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Střední nominální tloušťka třísky

$$h_{\text{stu}} = \frac{f_z \cdot e}{l} = \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \sqrt{\frac{e}{D}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

R = poloměr rezné kružnice nožového hřídele [mm]

e = hloubka úběru [mm]

l = délka třísky [mm]

a = nominální délka třísky (Barcík, 2009).

Další faktory ovlivňující proces frézování

Hloubka řezu (h)

Měřená vzdálenost mezi obráběnou a obrobenou plochou ve směru přísuvu, nebo měřená na odfrézovaném materiálu v kolmém směru na posuv a hlavní pohyb. Udává se v milimetrech (Barcík, 2009).

Druh obráběného materiálu

Je určen třídou obrobitelnosti. Obrobitelnost je stanovena na základě materiálu, druhu a způsobu obrábění (Lisičan 1978).

Řezný materiál

Lepší řezné materiály jsou schopny obrábět vyššími řeznými rychlostmi, aniž by se předčasně zkracovala trvanlivost nástroje. Na základě druhu řezného materiálu, obrobitelnosti materiálu, druhu a způsobu opracování jsou v normách stanoveny ideální podmínky – řezná rychlost, hloubka řezu a posuv (Barcík, 2009).

Geometrie řezného nástroje

Značně ovlivňuje kvalitu opracovaného povrchu, tvarovou i rozměrovou přesnost obráběného dílce. Má velký vliv na velikost jednotlivých složek řezných sil (Barcík, 2009).

Tuhost obráběcí soustavy

Parametry obráběcího stroje a nástroje není možné plně využít, pokud není zajištěna tuhost obráběcího stroje, nástroje, obrobku, případně upínacího zařízení. Proto je důležité zajistit správnou tuhost soustavy (Prokeš, 1978).

Optimální podmínky

Z hlediska ekonomického se volí řezné podmínky takové, při níž se opracuje daný dílec při co nejnižších nákladech a s co nejvyšší produktivitou, při zajištění předepsaných technologických a konstrukčních požadavcích. Řezné podmínky, splňující zmíněné požadavky, se nazývají jako optimální.

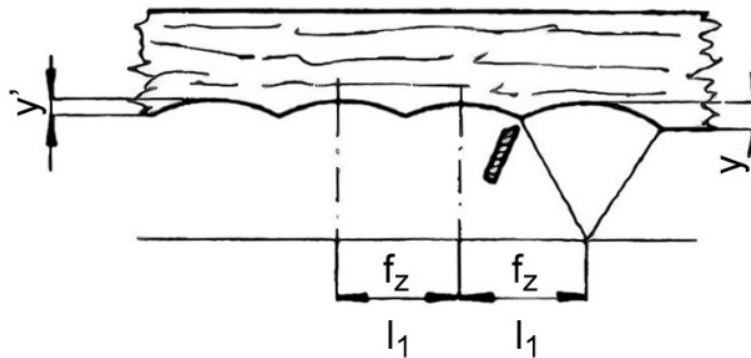
Na optimální podmínky v procesu frézování působí různou měrou jednotlivé řezné podmínky, také další vlivy jako obráběcí stroj a požadavky předepsané technickou dokumentací. Proto je velice důležité dodržovat předepsané parametry od výrobce.

3.8 Kvalita frézovaného povrchu

I přesto, že je ve většině případech podstatně kvalitnější, než povrchy řezané, nejsou přeci jen ideálně hladké, ale vždy do určité míry drsné (vlnkované a chlupaté) (Obr. 14 a 15) (Barcík et. al., 2013).

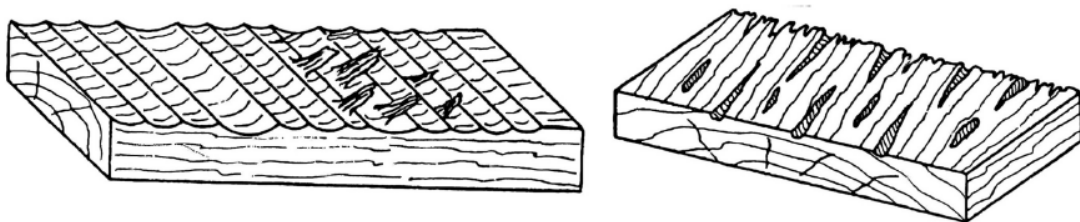
Drsnost frézovaného povrchu je původu technologického, technického a kinematického. Technologické příčiny drsnosti spočívají například v přeřezání cév a ročních kruhů, vlhkostí a pravidelnosti vláken dřeva (frézování po vláknech a proti vláknům) druhu dřeva a podobně (Lisičan, 1988).

Technické příčiny drsnosti spočívají v přesnosti nastavení nožů v nožové hlavě (eventuálně v přesnosti broušení fréz a stejném rádiu všech břitů), ve stavu otupení ostří nožů, ve chvění a házení frézovacího nástroje. Projevují se jednak vytrháváním vláken (otupenými břitů) a v nepravidelnosti šířky vlnek na frézovaném povrchu (Lisičan, 1988).



Obr. 14 Kinematika nerovností frézovaného povrchu

(Barcík, 2009)



Obr. 15 Principy vytrhání vláken při frézování

(Barcík, 2009)

Kinematické příčiny drsnosti spočívají v cykloidním tvaru relativního pohybu ostří nože ve dřevě, v důsledku kterého absolutně rovnou plochu rotačním nástrojem ani teoreticky dosáhnout nelze (musel by to být nástroj s nekonečně velkým poloměrem) a to ani tehdy, kdyby nepůsobily příčiny technologické a technické. Jednoduše proto že každý břit nástroje vytváří řezný povrch křivkový (Lisičan, 1988).

Frézování z pohledu kvality obrobeneho povrchu (plochy) se může orientačně třídit na základě tabulky 1.

Tab. 1 Kvalita obrobene plochy

(Barcík, 2009)

	f_z	h_{st} [mm]	v_f [m.min ⁻¹]
jemné frézování	0,3 – 0,8	0,014 – 0,04	5,4 – 7,2
střední frézování	0,8 – 2,5	0,04 – 0,16	7,2 – 45
hrubé frézování	2,5 – 5	0,16 – 0,4	45 – 90

(Uvedené hodnoty jsou pro parametry: frekvence otáčení $n = 4500 \text{ min}^{-1}$ a pro $z = 4$ nože)

Přičemž y hloubka kinematické nerovnosti povrchu je:

$$y = \frac{f_z^2}{4.D} \Rightarrow f_z = \sqrt{4.D.y} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

kde: D – průměr kružnice nožového hřídele (hlavy) [mm] (Barcík, 2009).

Frézování je již delší dobu velice rozšířené, především jde o přesné opracování. Moderní technologie jako jsou například číslicově řízené pomocí počítače (CNC) tuto skutečnost ještě umocňují. Frézováním se opracovává čím dál více materiálů a to nejen materiálů ze dřeva, ale i na jeho bázi, například aglomerované materiály, ale i nových materiálů. Jedním z nových materiálů, který se opracovává frézováním termicky modifikované dřevo. Materiál vycházející z rostlého dřeva, přičemž některé jeho vlastnosti mohou být různé. A právě proto jsem se rozhodl posoudit vliv vlastností termicky modifikovaného dřeva na proces frézování (kapitola 5). A z tohoto důvodu se v kapitole 4 zabývám charakteristikou termodřeva.

4. Termicky modifikované dřevo



Obr. 16 Termodřevo

(<http://www.saunovedopluky.cz/terasove-drevo-thermo-severska-borovice-26115.html> 3.4.2016)

4.1 Co je to termodřevo?

Tepelně modifikované dřevo (termodřevo, obr.16) je považováno za ekologickou alternativou k chemicky impregnovaným dřevěným materiálům. Dřevo je modifikované zvýšenými teplotami v rozmezí od 160 °C až 240 °C (Reinprecht, 2008). Výrobní proces je založen na použití vysoké teploty a vodní páry. Žádné chemikálie nejsou během výroby použito, využívá se pouze tepelné modifikace, která dává dřevu užitečné vlastnosti. Nejlepší vlastnosti termodřeva, které ho předurčují pro použití pro venkovního prostředí, jsou dlouhá trvanlivost, odolnost proti povětrnosti, hnilobě a rozkladu. Právě tyto vlastnosti zvyšují jeho životnost oproti tepelně nemodifikovanému dřevu. Další výhodou je i velmi nízký obsah pryskyřic, kterých je dřevo zbaveno při tepelné úpravě (<http://www.pechar.cz/thermowood>). Povrchová úprava se tím snadněji aplikuje a nedochází k průniku pryskyřice na povrch přes nátěr. Ve spojitosti se zvýšenou stabilitou a odolností termodřeva lze snížit nároky na jeho údržbu. Ovšem neznamená to, že tepelně modifikované dřevo je odolné proti UV záření. K šednutí termodřeva dochází stejně jako u přírodního dřeva (<http://svetdreva.com/nabidka/materialy/thermowood>). Pro dřevo je také typické, že získá i zápach podobný karamelu (Reinprecht, 2008).

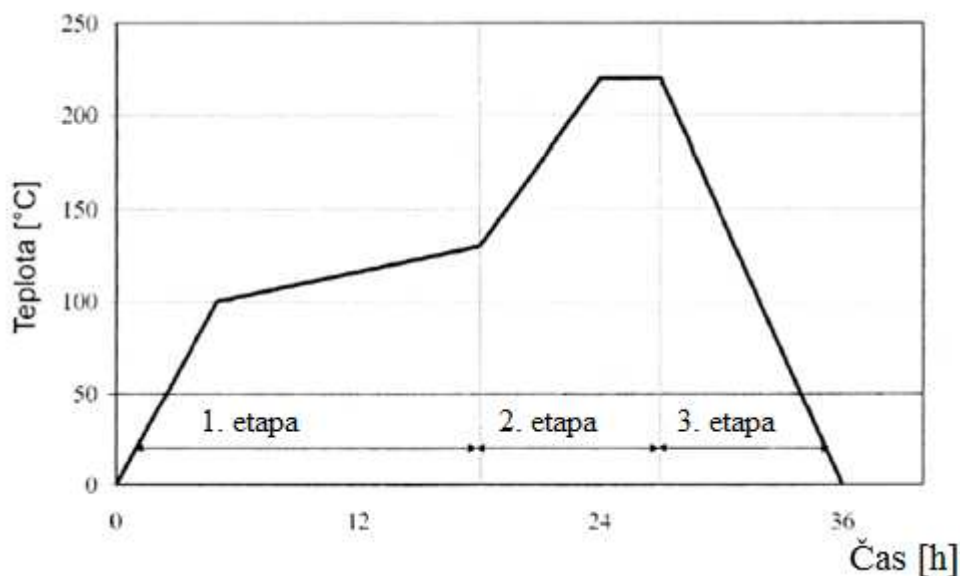
4.2 Výroba termodřeva

Technologický proces při výrobě termicky modifikovaného dřeva je potřebné vykonávat takovým způsobem, aby se při minimálních ekonomických nákladech dosáhlo znatelné změny a na minimum byly potlačeny nežádoucí efekty ohřevu dřeva. Toto jsou často protichůdné požadavky, které není lehké splnit ve všech oblastech (Kačíková, Kačík 2011). Termodřevo se produkuje termickou modifikací, v teplotním rozsahu 160 až 215°C, při níž dochází k přeměně vnitřní skladby a fyzikálních vlastností dřeva. Při procesu se dřevo zahřívá v prostředí:

- a) vodní páry (PlatoWood),
- b) vzduchu (ThermoWood),
- c) interních plynů (ReticatedWood),
- d) olejích (OHTWood, RoyalWood).

Toto prostředí má při procesu zároveň ochrannou funkci, které zabraňuje jeho samovolnému vznícení (Reinprecht 2008). Tepelná modifikace může být použita pro úpravu vlastností dřeva na základě potřeb budoucího účelu využití. Různé teploty, různé prostředí, rozdílná doba zpracování a jiná technika sušení, propůjčují ošetřenému dřevu různé pozitivní změny vlastností a struktury. Jedná se o rozměrovou a tvarovou stálost, odolnost proti hnilobě, dřevokazným škůdcům, tepelnou vodivost a flexibilitu dřeva při úpravě do různých tvarů a forem. Celý proces (Obr. 17) je zcela přírodní, neboť využívá jen teplo a vodní páru bez přidání jakýchkoliv chemických prvků (<http://www.fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/vyroba-a-tridy-materialu-thermowood-b100.html>).

Celý proces tepelného zpracování dřeva, od sušení po závěrečné zvlhčení, bylo navrženo tak, aby vytvořilo jeden flexibilní a plynulý řetězec operací. Výrobní zařízení ztělesňuje dlouhý tunel rozdělený do šesti vzájemně oddělených komorami, do nichž se po kolejkách dopravuje předem roztríděné a proložené syrové řezivo. Tento materiál postupuje tunelem, a v každé komoře probíhá jiná fáze tepelné modifikace (<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profilu-tepelne-upravene-specialni-technologie-thermowood>).



Obr. 17 Proces tepelné modifikace
(Reinprecht 2008)

První etapa:

Vysokoteplotní sušení za pomoci páry probíhá v prvních třech komorách, kde se dřevo zrychleně zahřeje na 100°C a postupně je teplota zvyšována až na 130°C. Tato část procesu zabere nejdelší dobu z celého procesu výroby termodřeva. Vlhkost je snížena během této fáze až téměř na nulu. Doba sušení se odvíjí od původní vlhkosti dřeva, druhu dřeviny a tloušťce řeziva. Během sušení se voda volná uvolňuje z důvodu rozdílného povrchového napětí a tlaku páry (<http://www.fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/vyroba-a-tridy-materialu-thermowood-b100.html>).

Druhá etapa:

Ve čtvrté komoře nastává samotné tepelné zpracování, které probíhá v izolovaných komorách, kde se teplota zvýší na 185 - 215°C v závislosti na stupni tepelné úpravy (Thermo-S nebo Thermo-D). Po dovršení žádané teploty, je tato teplota udržována po dobu 2 - 3 hodin (<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profilu-tepelne-upravene-specialni-technologie-thermowood>).

Třetí etapa:

Pára se využívá jak během sušení tak i při tepelném zpracování jako ochrana. Ochranná parní atmosféra ovlivňuje chemické změny, ke nimž dochází ve struktuře dřeva a ochraňuje dřevo před vznícením. Ke konečné normalizaci dochází v posledních dvou

komorách. Dřevo je po tepelném ošetření kontrolovaně ochlazováno. Speciální péče musí být v této fázi zaměřena především na vysoký teplotní rozdíl mezi venkovním vzduchem a dřevem, který může zapříčinit trhliny. Kromě toho musí být dřevo během závěrečné etapy znovu vlhčeno, aby mělo vhodnou vlhkost před konečným použitím. Konečná vlhkost dřeva má významný vliv na jeho pracovní vlastnosti – s příliš suchým dřevem je obtížné pracovat. Po závěrečné úpravě by měla konečná vlhkost termodřeva dosahovat 5 - 7 %. V závislosti na stupni tepelného ošetření a řezivu trvá fáze konečné vyrovnání vlhkostí 5 - 15 hodin (<http://www.fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/vyroba-a-tridy-materialu-thermowood-b100.html>).

Dalším krokem je klimatizace po tepelném zpracování, která pokračuje dále pod tlakem, v teplých zastřešených prostorách, po dobu následujících 24 až 48 hodin před provedením závěrečného opracování (<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profil-y-tepelne-upravene-specialni-technologie-thermowood>).

4.3 Dělení termodřeva

Technologie termických úprav umožňují připravit termodřeva se speciálními vlastnostmi tak, aby co nejvíce vyhovovaly kvalitativním kritérium vzhledem k použití (Reinprecht, 2008). Jehličnaté a listnaté druhy mají samostatnou třídu klasifikace, protože jejich vlastnosti se výrazně liší. Rozlišují se dva základní druhy tepelného zpracování. Dva druhy termowood jsou dostačující, protože vlastnosti dřeva se do mění pomalu se stoupající teplotou. Jakmile teplota zpracování překročí 200° C, začnou se vlastnosti měnit rychle a použitím více než dvou tříd by se vytvářelo riziko míchání vlastností různých tříd (<http://www.thermowood.fi/classification>). Vyrábí se dvě standardní třídy výrobků termodřeva. Thermo-S a Thermo-D. Rozdíl mezi těmito třídami spočívá v teplotě úpravy a jejím účinku na vlastnosti dřeva (<http://www.lunawood.fi/cz/thermowood-ekologicky-dreveny-material/>).

Thermo-S

Dřevo třídy Thermo-S, kde S značí stálost. Stálost je klíčová vlastnost, která rozhoduje o použití produktů u tohoto druhu modifikace. Průměrné hodnoty v tangenciálním směru bobtnání a sesychání vlivem vlhkosti pro Thermo-S třídy ošetření dřeva snižují až na 6-8% (<http://www.thermowood.fi/classification>). Tepelná úprava dřeva se provádí při nižších teplotách, 185 °C ±3°C, a výsledná třída biologické odolnosti je 3. Výrobky Thermo-S jsou vhodné pro vnitřní použití, avšak lze je rovněž používat i ve venkovních chráněných prostorách,

např. na zasklených balkónech (<http://www.lunawood.fi/cz/thermowood-ekologicky-dreveny-material/>).

Tab. 2 Využití termodřeva

(<http://www.thermowood.fi/classification> 23.3.2016)

Thermo – S, Měkké dřevo	Thermo – S, Tvrdé dřevo
Interierové konstrukce	Interiérové konstrukční prvky
Nábytek	Podlahy
Vnitřní obklady stěn a stropů	Konstrukce sauny
Saunový nábytek	Zahradní nábytek
Dveřní a okenní komponenty	

Thermo-D

Dřevo třídy Thermo-D, kde D značí trvanlivost (v angličtině durability). U tohoto druhu modifikace je klíčovou vlastností trvanlivost. (<http://www.lunawood.fi/cz/thermowood-ekologicky-dreveny-material/>) Vyšší teplota při modifikaci, 212 °C ±3°C, totiž zajišťuje dřevu biologickou trvanlivost třídy 2 a výrobky jsou tudíž vhodné i do venkovního nechráněného prostředí. Proces tepelné úpravy výrazně zvyšuje rozměrovou stálost a biologickou odolnost dřeva. I průměrná hodnota tangenciálního bobtnání a sesychání vlivem vlhkosti pro takto ošetřená dřeva je 5-6% (<http://www.thermowood.fi/classification>).

Tab. 3 Využití termodřeva

(<http://www.thermowood.fi/classification> 23.3.2016)

Thermo – D, Měkké dřevo	Thermo – D, Tvrdé dřevo
Exteriérové konstrukce	Exteriérové konstrukce
Vnější obklady budov	Venkovní dveře
Sauna a koupelnové vybavení	Sauna a koupelnové vybavení
Podlahy	Podlahy (dlažby)
Zahradní nábytek	Dětská hřiště

Shrnutí účinků Termowood procesu na vlastnosti dřeva podle tříd ošetření.

Tab. 4 Účinky Termowood procesu

(<http://www.thermowood.fi/classification> 23.3.2016)

	Thermo – S	Thermo – D
Teplota modifikace	190 (± 3)°C	212 (± 2)°C
Odolnost proti povětrnostním vlivům	Zvýšení	Výrazné zvýšení
Rozměrová stálost	Zvýšení	Výrazní zvýšení
Pevnost v ohybu	Žádná změna	Mírné snížení
Barevná změna	ztmavnutí	Výrazné ztmavnutí

Tab. 5 Účinky termické modifikace

(<http://www.thermowood.fi/classification> 23.3.2016)

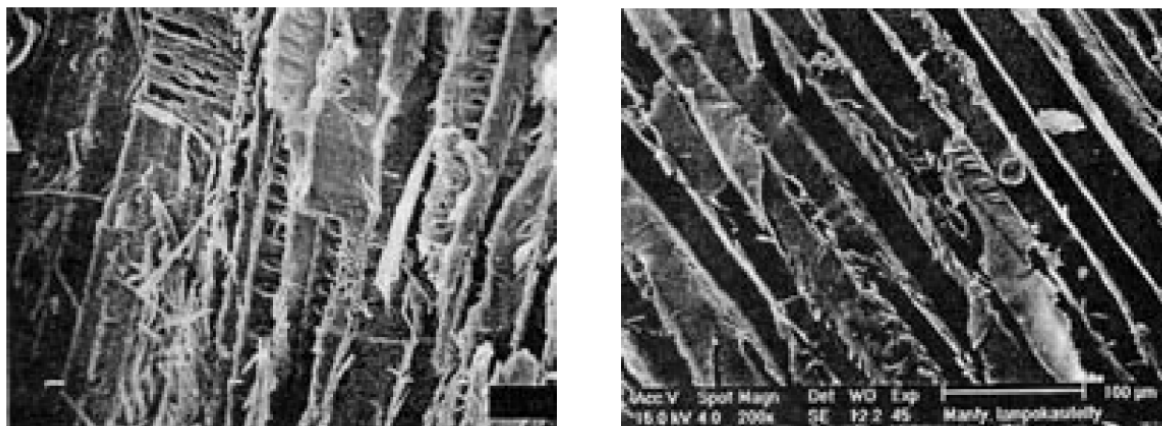
	Thermo – S	Thermo – D
Teplota modifikace	185 (± 3)°C	200 (± 3)°C
Odolnost proti povětrnostním vlivům	Žádná změna	zvýšení
Rozměrová stálost	Zvýšení	zvýšení
Pevnost v ohybu	Žádná změna	Mírné snížení
Barevná změna	Ztmavnutí	Výrazné ztmavnutí

4.4 Vlastnosti termodřeva

Změny struktury dřeva

V důsledku tepelné modifikace se přeměňuje struktura dřeva (Obr. 18), a to jak jeho chemické, tak i fyzikální vlastnosti (Handbook, 2003). Dřevo představuje složitý heterogenní koloidní systém látek skládajících se z hlavních (hemicelulózy, celulóza, lignin) a vedlejších složek. Termická odolnost základních stavebních složek dřeva je rozdílná. Hemicelulózy jsou nejméně odolné vůči termickému rozkladu. Rozkládají se v teplotním intervalu 170-240 °C (Kačíková, Kačík, 2011). Změna vlastností je tedy způsobena především degradací hemicelulózy. Požadované změny se začínají objevovat již při teplotě okolo 150 °C a změny úměrně pokračují se zvyšující se teplotou (Handbook, 2003). Dřevo obsahuje malé množství malými molekulami složek. Extrakty představují méně než 5% dřeva. Do této skupiny patří například terpeny, tuky, vosky a fenolické. Extrakty jsou heterogenní povahy v různých

dřevinách a počet látek je velmi vysoký. Extrakty nejsou základními prvky dřeva, a většina z těchto sloučenin snadno odpařuje v průběhu tepelného zpracování (Handbook, 2003).

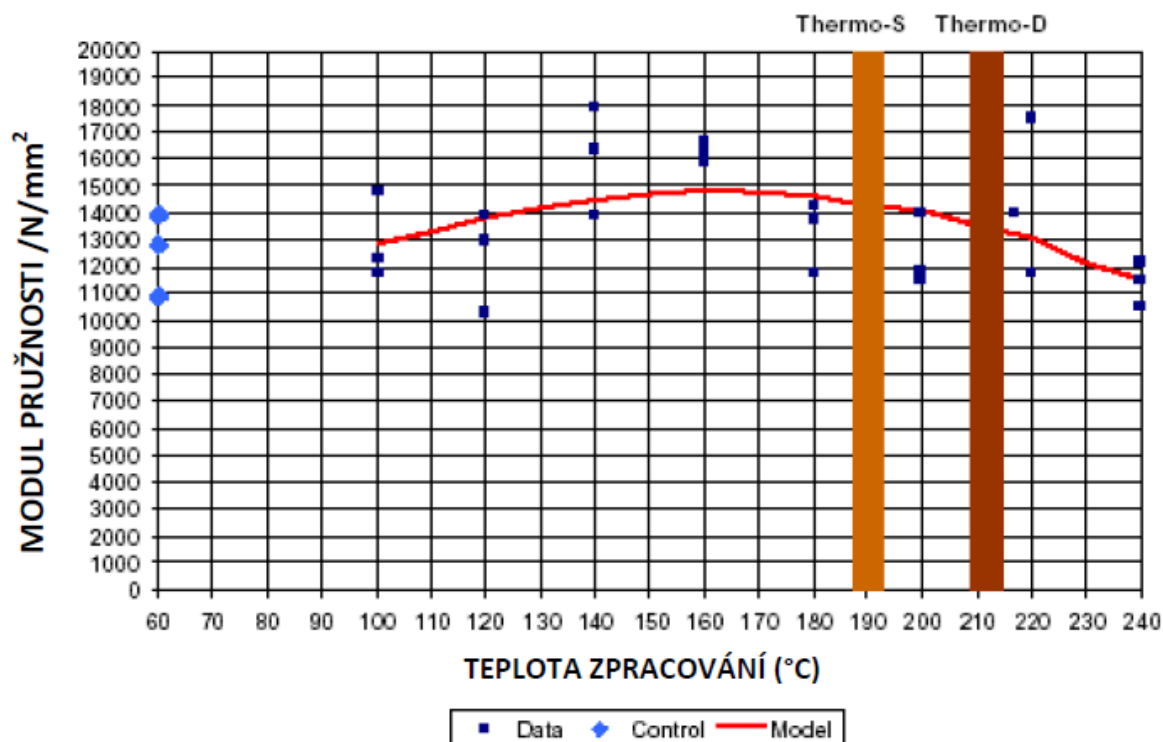


Obr. 18 Mikroskopická stavba borovice neupravená a termicky modifikovaná

(Handbook, 2003)

Pevnost

Úpravou při nižších teplotách se pevnost dřeva nesnižuje nikterak závažně (Handbook, 2003). Obecně ale platí, že zvýšené teploty narušují komponenty dřeva, hlavně hemicelulózy, a to má negativní vliv i na jeho pevnostní vlastnosti. Pevnost termodřev se snižuje v závislosti na procesu výroby a specificky i podle druhu termicky modifikované dřeviny (Rapp, Sailer, 2001). Dřevo po termické úpravě je zjevně křehčí a klesá i jeho ohybová a tahová pevnost, přibližně v rozsahu od 10 do 30 %. Naopak tuhost termodřev zůstává často bez změny, případně se i může mírně zvýšit. Bez změn zůstává i jeho povrchová tvrdost, případně i jeho tahová pevnost (Reinprecht 2008). Pokles pevnostních vlastností při termické degradaci jednotlivých složek dřeva však znevýhodňuje jeho použití jako konstrukčního a stavebního materiálu (Sandak, 2005). Účinek tepelného zpracování je znázorněn na obrázku 19.



Obr 19. Účinek tepelného zpracování na modul pružnosti, Borovice

(Lunawood.fi)

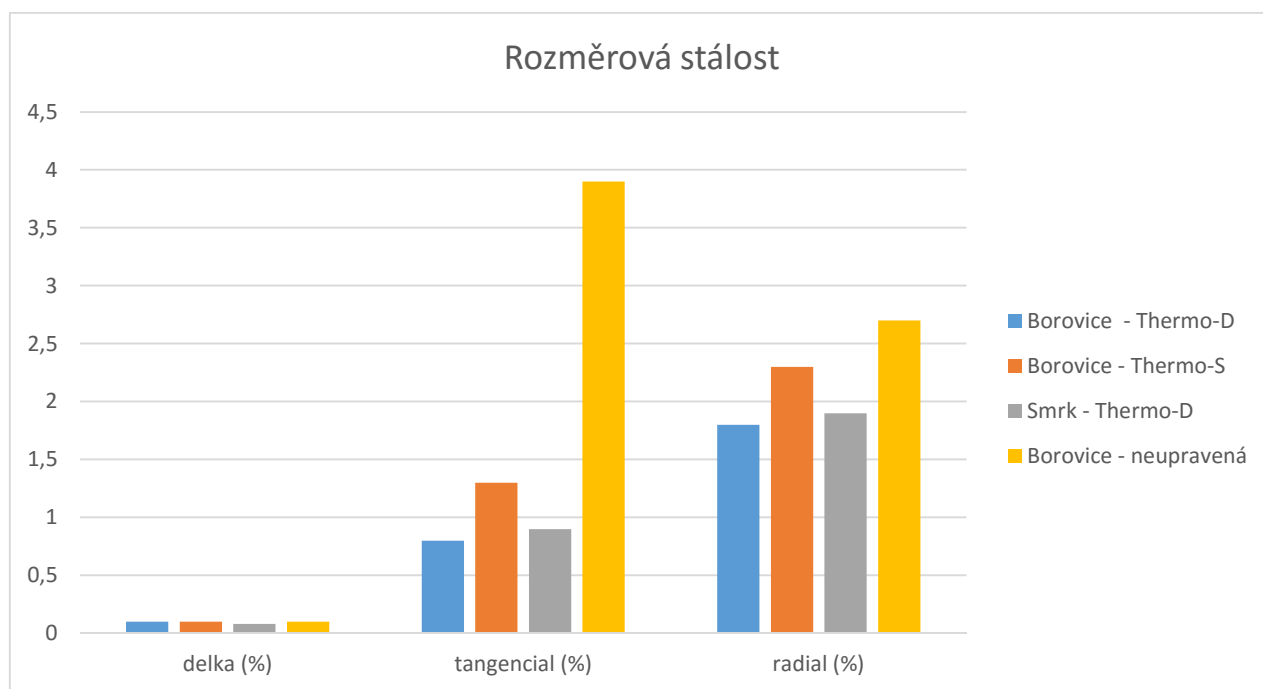
Referenční hodnoty pro neupravený smrk při 12% obsahu vlhkosti jsou: pevnost v ohybu 40–50 N/mm² a modul pružnosti 9,700–12,000 N/mm².

Na základě toho se doporučuje provádět rozteč podkladů pod terasové profily max. 500 mm a rozteč roštů pod obkladové panely max. 600 mm (Handbook, 2003).

Rozměrová stálost

Rozměrové změny se snižují, v porovnání s neošetřeným dřevem až o 80-90% (v závislosti na stupni tepelné modifikaci).

Bobtnání a sesychání se současně také snižuje. Kroucení, prohnutí a jiné deformace se také, v porovnání s běžně sušeným dřevem v komorových sušárnách, výrazně snižují. Tepelné zpracování výrazně redukuje tangenciální a radiální bobtnání a sesychání (Obr.20) (Handbook, 2003).



Obr. 20 Porovnání rozměrové stálosti termo dřeva a neupravené borovice

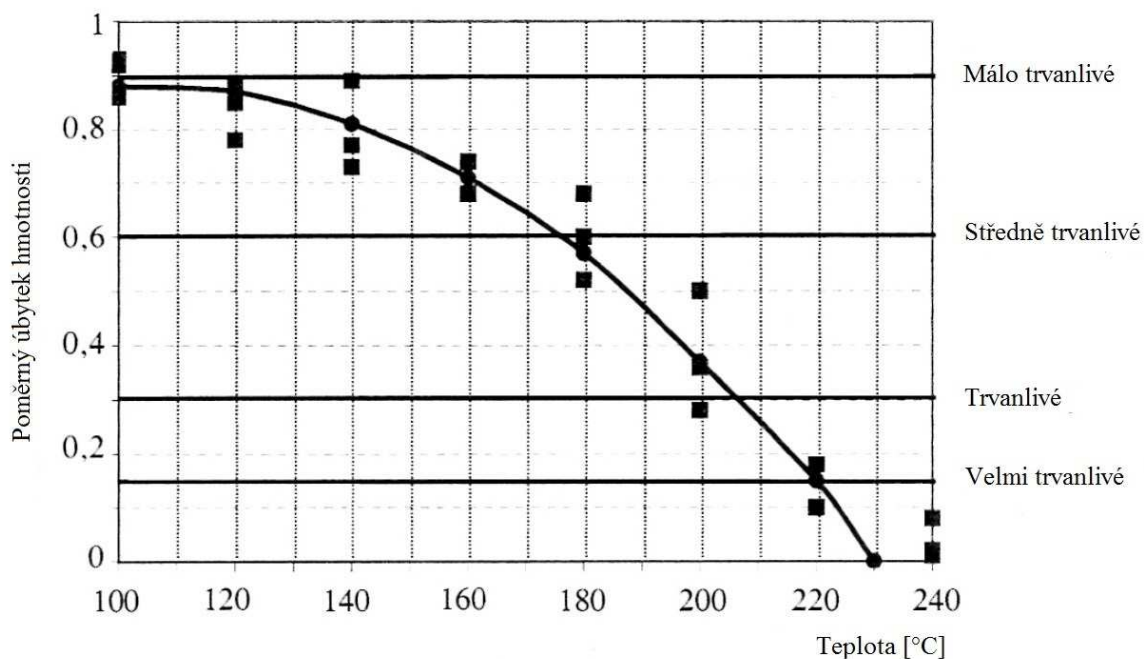
Biologická odolnost

Biologická odolnost termodřeva významně závisí na procesu jeho výroby a expozičních podmínkách. Ve většině případů se v porovnání s neupraveným dřevem zlepšuje, lepší odolává houbám, hmyzu i mořským škůdcům. Dřeviny původně málo trvanlivé anebo netrvanlivé se po termické úpravě stávají více trvanlivými (Obr. 21). (Reinprecht, 2008). Odolnost termodřeva je závislá na změnách v chemických sloučeninách dřeva. Výživné látky pro houby, obsažené ve dřevě (hemicelulóza), jsou degradovány a tím se značně omezuje šíření hub ve dřevě. Je to důsledkem tepelné úpravy, kde se sacharidy ve dřevě obsažené přemění do formy, ve které nemůžou být využity jako živiny plísní a hub. (Handbook, 2003). V závislosti na žádané trvanlivosti (Thermo-S a Thermo-D) jsou použity různé úrovně procesu. Odolnost proti rozkladu zařazuje termodřevo do 2. kategorie odolnosti proti rozkladu, je to alternativa k AB-jakosti impregnovaného dřeva (KOMO certifikát). Termodřevo nicméně není doporučeno do prostředí, kde by mohlo přijít do trvalého kontaktu s vodou nebo zeminou (půdou) (Handbook, 2003).

Tab. 6 Klasifikace odolnosti dřeva

(<http://www.lunawood.fi/cz/thermowood-ekologicky-dreveny-material/> 23.3.2016)

1 (vysoká)	2	3	4	5 (nízká)
Iroko	Iroko			Borovice
	Thermo-D	Thermo-S		Smrk
		Modřín	Modřín	
	Dub evropský			
	Impregnované dřevo			
		Douglaska	Douglaska	

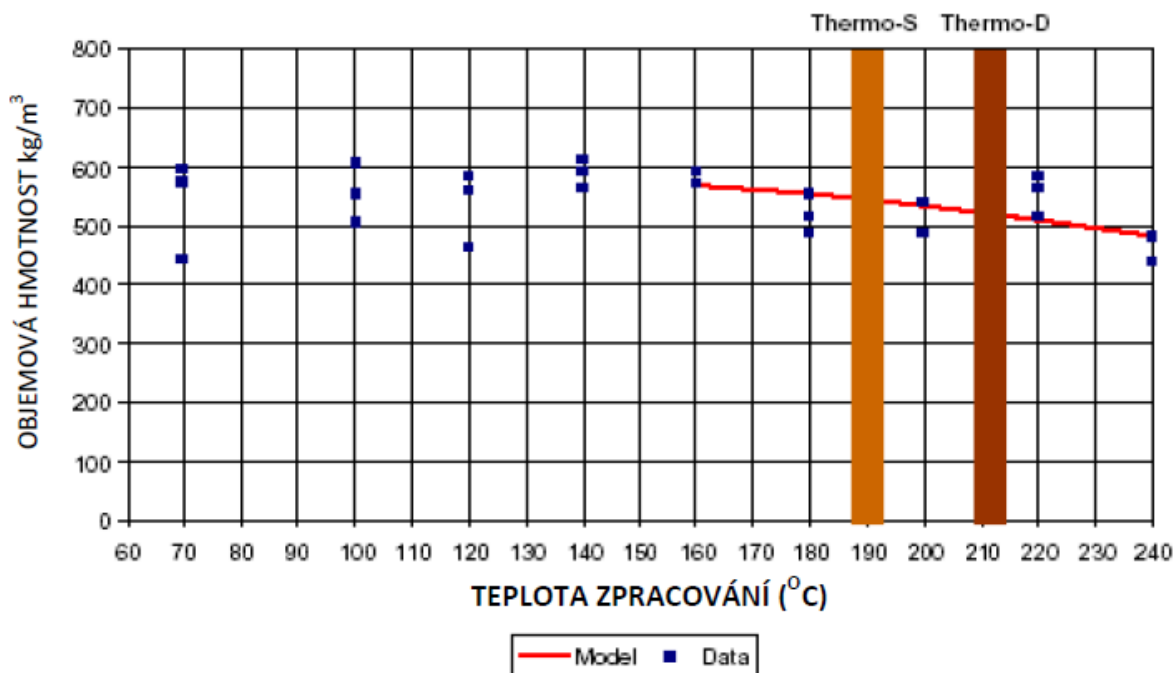


Obr. 21 Biologická odolnost termowood

(Reinprecht 2008)

Objemová hmotnost

Hmotnost dřeva ubývá v závislosti na teplotě a době zpracování (ze zkušenosti 10 – 20%) (Obr. 22). K úbytku hmotnosti dochází ze dvou důvodů, a to sušením dřeva a degradací sloučenin (Handbook, 2003).



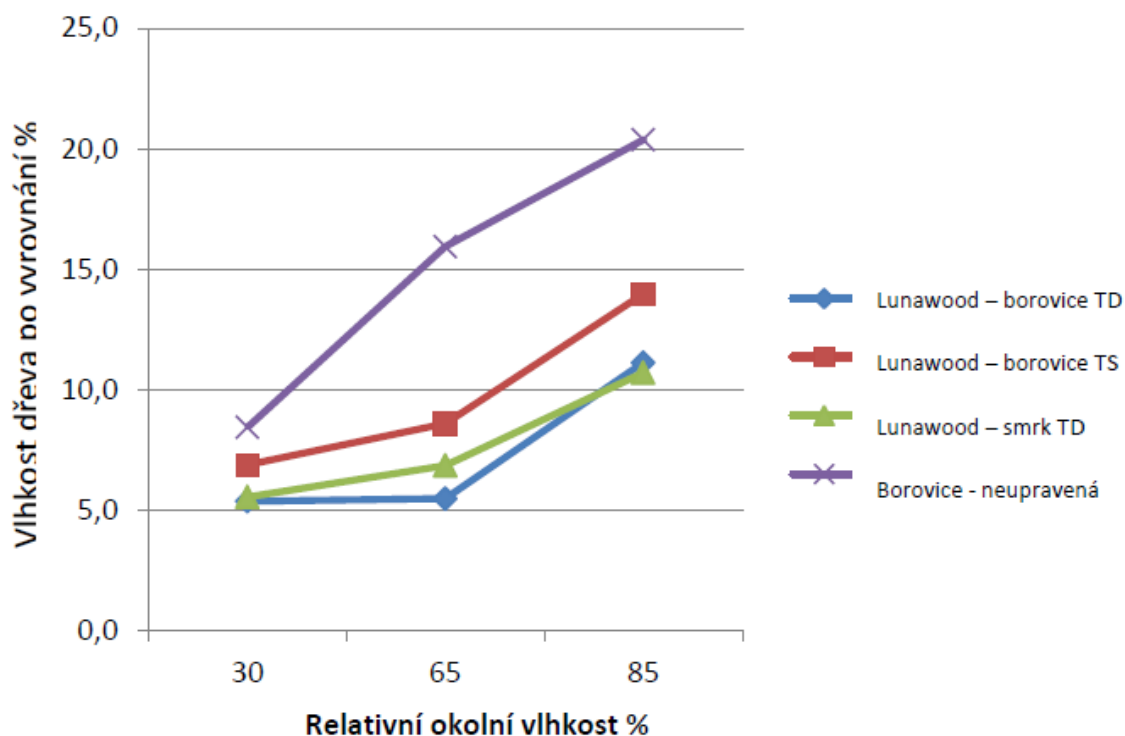
Obr. 22 Závislost objemové hustoty na teplotě zpracování

(Handbook, 2003)

Obsah rovnovážné vlhkosti

Schopnost dřeva přijmout vodu z okolní atmosféry, se vlivem změn v buněčné skladby se snižuje. Obsah rovnovážné vlhkosti termodřeva (Obr. 23) se v porovnání s neošetřeným dřevem, měkkého a tvrdého dřeva, snižuje o 40-50% (v závislosti na stupni tepelného zpracování). V důsledku snížení obsahu rovnovážné vlhkosti je termodřevo stabilnější než normální dřevo v měnících se klimatických podmínkách. Výhodou je i to, že se obsah vlhkosti při skladování na staveništi nemění tak, jako je tomu u neupraveného dřeva (Corbett, 2001).

Hydratace dřeva se po tepelném zpracování provádí proto, aby obsah vlhkosti byl v závislosti na konečném produktu přibližně mezi 6-9%,



Obr. 23 Obsah rovnovážné vlhkosti
(Lunawood.fi)

Barva

Změna barvy po tepelné modifikaci je charakteristickou vlastností. Termodřevo získá hnědší barvu (Obr. 24), přičemž vyšší teplota a delší čas ohřevu způsobují jeho tmavší zbarvení. Jeho barva se často podobá některým tropickým druhům dřeva, například teaku anebo túji (Reinprecht, 2008).

Tepelná úprava probíhá zcela bez chemických prostředků jen za pomoci tepla a páry, tudíž z těchto důvodů není termodřevo upraveno nijak proti UV záření. Toto způsobuje přirozenou ztrátu původního odstínu stejně tak, jako je tomu u všech dřevin, ať tropických či tuzemských. Barva v průběhu času bledne v důsledku účinku obou vnějších vlivů a to ultrafialového záření slunce a povětrnosti (<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/131-thermowood-tepelne-upravene-drevo-barevne-zmeny-thermowoodu-sednuti>).

Barevné změny jsou pouze povrchovým jevem, zvětráváním mikroskopické povrchové vrstvy dřeva, na kterou působí především UV záření, není-li povrch ošetřen vhodným ochranným nátěrem (<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/131-thermowood-tepelne-upravene-drevo-barevne-zmeny-thermowoodu-sednuti>).



Obr. 24 Barva tepelně zpracované borovice při teplotách od 120° do 220° C ve 20°C intervalech.

(Lunawood.fi 23.3.2016)

Akustické vlastnosti

Akustické vlastnosti některých termodřev jsou velmi zajímavé. Pro hudební nástroje je možné, při mírnějších teplotních podmínkách, připravit speciální druhy termodřev, jejichž struktura a vlastnosti se shodují s dlouhodobě přirozeně skladovaným dřevem (mírný nárůst Yangovho modulu pružnosti) (Jämsä, 1998), ve spojení s mírným poklesem hmotnosti následkem odbourání hemicelulóz. Akustické vlastnosti termodřeva se často podobají i dřevu historických hudebních nástrojů, což se dá využít při jejich restaurování (Pfeffer, 2005). Důležitým faktorem je zvýšená rozměrová stabilita termodřeva, hlavně se uplatňují při výrobě hudebních nástrojů, které se používají v měnících se extrémních klimatických podmínkách (Reinprecht, 2008).

4.5 Použití termodřeva

Vlastnosti termodřeva jsou výsledkem jeho speciální úpravy při vysoké teplotě. V pozitivním směru má lepší rozměrovou stabilitu a odolnosti vůči dřevokazným houbám i dřevokaznému hmyzu. Naopak jeho mechanické vlastnosti, hlavně tahová pevnost ohybová pevnost a rázová houževnatost, jsou často horší v porovnání s neupraveným rostlým dřevem. (Reinprecht, 2008)

Termodřevo je ideální používat pro interiérové prvky – parkety, obklady (Obr. 25), vnitřní panely, kuchyňský nábytek anebo stěny a podlahy v saunách, ale i pro speciální výrobky jako jsou hudební nástroje. Muže se použít i na okna, vchodové dveře, exteriérové obklady, zahradní nábytek, dětská hřiště, ploty a podobně. Termodřevo má potenciál, aby se používalo jako náhrada tropické dřeviny. Též by se ním postupně mohlo nahrazovat dřevo chemicky chráněné toxickými biocidů. Třeba však zdůraznit, že doposud vyráběné druhy termodřeva nejsou vždy nejvhodnějším materiálem do velmi náročných expozic, kde existuje jejich trvalý kontrakt s terénem anebo vodou (Reinprecht, 2008).



Obr. 25 Obklad z termodřeva

(<http://www.newface.sk/produkty/timbermax/termo-drevo> 30.1.2016)

5. Vliv vlastností termodřeva na proces frézování

Tématem vlivu vlastností termodřeva na frézování se zabývalo již několik výzkumných prací. Každá práce se vyjadřuje v principu ke stejným tématům, avšak jsou odlišné v užití. Někde je použita termicky modifikovaná bříza a jinde zase buk. Z toho vyplývá, že se nedá konstatovat zcela jednoznačně stanovisko vlivu termodřeva na frézování. Z obecných vlastností termodřev vyplývá, že se dřevo stává po termické úpravě zjevně křehčí, klesá jeho tahová i ohybová pevnost až o několik desítek procent (Handbook, 2003).

Houska (2013), který se zabýval touto problematikou na vzorcích modifikované borovice, po vyhodnocení svých výsledků konstatoval, že termické úpravy dřeva nejvíce ovlivňuje drsnost povrchu. Z jeho analýzy vyplynulo, že změnou termické modifikace dřeva se drsnost povrchu materiálu snižuje. Největší změny naměřených hodnot, nastaly u materiálů upravených do teploty 180°C. Nad 200°C už změny nebyly tak markantní.

Hrdina (2013), který zkoumal změny na vzorcích bukového dřeva, došel k podobnému závěru, že má vyšší drsnost dřevo termicky neupravované, než upravené.

Ovšem na základě výzkumu Kaplana (2015), vyšel v Dřevařském magazínu (3/2016) článek, ve kterém se autoři vyjádřili, že termická úprava dřeva má negativní vliv na výslednou kvalitu povrchu. Kvalitu povrchu posuzoval na základě několika parametrů, které jsou důležité pro zpracovatele a to jsou profily drsnosti a vlnitosti. Použitím termicky modifikované břízy v intervalu uprav 160°-240°C se vždy oba tyto parametry zhoršili s přihlédnutým na technicko technologické parametry.

Kubš (2013), který se zabýval spíše energetickou stránkou, ve své diplomové práci konstatoval, že bukové termodřevo má na opracování vliv a že je energeticky výhodnější opravování termodřeva než rostlého dřeva.

Firma Lunawood® svým zákazníkům doporučuje, pokud hodlají termodřevo frézovat, musí mít břity v dobrém stavu a ostré, aby bylo dosaženo dobrého výsledku. Lehké, jemné piliny se snadno odvádějí a neulpívají na břitech. Vzhledem k uvolňování těchto jemných pilin dále doporučují používat ochrannou dýchací masku (<http://www.lunawood.fi/cz/thermowood-ekologicky-dreveny-material/>).

Na dotaz, jaký je rozdíl při frézování rostlého dřeva a termodřeva, se za firmu Prokom R & S s.r.o. se vyjádřil Rostislav Říčný z oddělení, dřevomateriálů: „Podstatný rozdíl není,

jediné co je možné zmínit, je o něco větší křehkost termodřeva, který prošel silným zahřátím vysokou teplotou, neobsahuje pryskyřici a je zcela vysušeno (cca 7 % vlhkosti). Pokud máte dostatečně ostré nástroje, nenastane při obrábění žádný problém“.

Na základě názorů těchto odborníků a jejich výzkumů a toho, co jsem se o frézování i termodřevě a jeho vlastnostech dověděl během studia, se domnívám, že obecně termodřevo, jako obráběný materiál, má na proces frézování, vliv a to jak pozitivní tak negativní. Záleží, z jakého úhlu pohledu danou problematiku posuzujeme. Nespornou výhodou je že při tepelném zpracování se z materiálu odstraní veškerá pryskyřice a obráběcí nástroj (fréza) jí není znečišťován. Na druhou stranu se domnívám, že jelikož se termodřevo stává oproti rostlému materiálu křehčí, je proto důležité předem promyslet, jakou výslednou kvalitu na konci procesu požadujeme, a podle toho si dát záležet na důkladném nastavení parametrů frézování jako například řezné rychlosti a rychlosti posuvu, protože právě křehkost materiálu způsobí, že pokud se nedodrží správné nastavení, materiál bude náchylnější na vytrhávání vláken, a bude vyšší i drsnost povrchu. To by pak při použití v interiéru mohl být velký problém. Při aplikaci termodřeva do exteriéru by tato skutečnost nezpůsobovala, až takový problém. A právě v exteriéru se termodřevo, hlavně díky své odolnosti převážně používá.

6. Závěr

V této bakalářské práci jsou shrnuty poznatky z procesu frézování dřeva, termické modifikace, a jejího vlivu při opracování. Cílem bylo charakterizovat obrábění tohoto nového druhu materiálu s inovovanou vnitřní strukturou dosaženou tepelnou a vlhkostní úpravou. Po vyhodnocení mohu konstatovat, že i přesto, že vliv vlastností termicky modifikovaného dřeva je patrný, nedá se říct, že by měli zásadní vliv na proces frézování.

Nicméně tato bakalářská práce poskytuje užitečné informace, pro následné využití v praxi a může sloužit i jako teoretický podklad pro další výzkum této problematiky.

Frézování je velice rozmanitý proces, kterým se nechají obrábět různé materiály, různých tvarů. Nicméně to co frézování posunulo na takou míru využití je přesnost. V současnosti se jím nechá obrábět na několik tisícín milimetru přesně a možná i ještě přesněji. Ve frézování proto vidím budoucnost moderního zpracovatelského průmyslu.

Termodřevo oproti tomu dostává čím dál více příležitostí k uplatnění. V dnešní době, kdy je kladen opravdu velký důraz na ekologii a všichni hledají alternativy ke kovovým a plastovým materiálům, zacelilo termodřevo právě tuto mezeru na trhu a jeho zvýšená odolnost ho předurčuje ke stoupající tendenci jeho využití. Termodřevo je totiž schopno odolávat degradačnímu vlivu především houbám a plísním. Je ale potřeba zmínit, že přes všechny jeho výhody je snížena jeho pevnost. To jeho aplikaci částečně omezuje, nelze totiž termodřevo použít do nosných konstrukcí. Lze jej pouze využít při stavbě dětských hřišť a podobných drobných konstrukcí. Domnívám se, že pokud by se tato skutečnost nějakou inovací procesu výroby termicky modifikovaného dřeva, odstranila termodřevo by začalo vytlačovat dřevo i z tohoto využití.

Seznam použité literatury:

1. BARCÍK, Š.: *Technika pre výrobu nábytku*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN: 978-80-228-2055-4.
2. 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.
3. CORBETT, S.: 2001 REBO PRODUCTIONS CZ, spol. s r.o. *Práce se dřevem*. USA: Lorenz Books, 2001. ISBN 80-7234--212-6.
4. JAMSA, S., VIITANIEMI, P.: *Heat treatment of wood. Better durability, without chemicals*. Nordiske Trebeskyttelsedager, 1998, 51s.
5. KAČÍKOVÁ, D.; KAČÍK, F.: *Chemické a mechanické změny dřeva při termické úpravě*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011, ISBN 978-80-228-2249-7.
6. KOTĚŠOVEC, V.: *Ortogonalní řezání - frézování dřeva*. Nakladatelství technické literatury Praha, 1981, 211s.
7. KVIETKOVÁ, M.: *Obrábění dřeva*, CARTER Praha, 2015. 295 s. ISBN 978-80-213-2604-0.
8. LISIČAN, J.: *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1988, 412s.
9. LISIČAN, J. a kol.: *Teória a technika spracovania dreva*. Zvolen: MATCENTRUM, 1996, 626s. ISBN: 80-967315-6-4
10. MAYES, D., OKSANEN, O.: *Thermowood(r) Handbook*. Fínsko Dostupné na: <http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf> [28. 8. 2013].
11. MIKOLÁŠIK, L.: *Drevárské stroje a zariadenia*. 1 zväzok, ALFA Bratislava, 1981.
12. PROKEŠ, S.: *Obrábění dřeva a nových hmotze dřeva*. SNTL / ALFA Bratislava, 1982.
13. PFEFFER, A.: *Effectof fumigation with sulfuri difluoride on wood inhabiting fungi,a laboratory test*, 2005, 10s, IRG/WP/06-30410.
14. RAPP, A. SAILER, M.: *Improved resistance of Scots pine and*

spruce by application of an oil-heat treatment. 2001,31s, IRG/WP 00-40162.

15. REINPRECHT, L.: *Ochrana dřeva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008, 453s. ISBN 978-80-228-1863-6.

16. SANDAK, J., NEGRI, M.: *Wood surface roughness – what is it?*. In: *Proceeding of the 17th international wood machinig Seminar, Rosenheim*. 29-30 September 2005. Volume

17. SOVA, F.: *Technologie obrábění a montáže*. 3. vyd. Západočeská univerzita, Plzeň, 2001,273s. ISBN 9788070828236.

18. SVOREŇ, J.: *Drevarské stroje. Část II*. Technická univerzita vo Zvolene, ES 2006, 149s.

Tepelně upravené dřevo: Suroviny. V: www.prokom.cz [online]. [cit. 2016-01-22].

Dostupné z: <<http://www.prokom-sr.sk/thermowood-tepelne-upravene-drevo/surovinytepelne-upravene-drevo-thermowood.pdf>>.

Tepelně upravené dřevo: ThermoWood. COPYRIGHT © 2010 - 2015 SVĚTDŘEVA.

Svět dřeva: terasy - podlahy - pergoly [online]. 2010 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z:

<<http://svetdreva.com/nabidka/materialy/thermowood>>.

ThermoWood. V: [MT nábytek.cz](http://www.mt-nabytek.cz) [online]. 2011 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z:

<<http://www.mt-nabytek.cz/slovník-pojmu/461-thermowood-.htm>>.

Vše o Thermowoodu: Co je to Thermowood. V: www.pechar.cz [online]. 2015 [cit.

2015-12-26]. Dostupné z: <<http://www.pechar.cz/thermowood>>.

Výrobní proces ThermoWood: tepelně upravené profily. V: [Www.prokom.cz](http://www.prokom.cz) [online].

Opava, 2013 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <<http://www.prokom.cz/tepelne-upravenedrevo-thermowood/128-drevene-profily-tepelne-upravene-specialni-technologieithermowood>>.

Teorie frézování: Řezné podmínky <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz> [online]. [cit. 2016-01-24].

Dostupné z: <<http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/2011/03/11-rezne-podminky.html>>

Teorie frézování: teorie a způsoby <http://zoei.sssebrno.cz/> [online]. [cit. 2016-03-20].

Dostupné z: <<http://zoei.sssebrno.cz//frezovaniivarovychploch.html>>.

Tepelně upravené dřevo: Classification. ThermoWood®: [online]. 2013 [cit. 2016-02-24].

Dostupné z: <<http://www.thermowood.fi/>>.

Tepelně upravené dřevo: výroba, charakteristika, vlastnosti. LUNAWOOD ®: [online]. 2012 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <<http://www.lunawood.fi/cz/thermowood-ekologicky-dreveny-material/>>

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Dráha ostří zubu

Obr. 2 Sousedné a nesousedné frézování

Obr. 3 Principy rovinného frézování (válcovou a čelní frézou)

Obr. 4 Frézování širokých ploch souborem čelních fréz+

Obr. 5 Úhlová fréza

Obr. 6 Frézování šikmé plochy

Obr. 7 Frézování vykloněním vřeteníku

Obr. 8 Tvarová fréza

Obr. 9 Otočný stůl

Obr. 10 Princip kopírovacího frézování

Obr. 11. Frézování drážek

Obr. 12 Frézování reliéfu

Obr. 13 Kinematický model frézování

Obr. 14 Kinematika nerovností frézovaného povrchu

Obr. 15 Principy vytrhání vláken při frézování

Obr. 16 Termodřevo

Obr. 17 Proces tepelné modifikace

Obr. 18 Mikroskopická stavba borovice neupravená a termicky modifikovaná

Obr. 19. Účinek tepelného zpracování na modul pružnosti, Borovice

Obr. 20 Porovnání rozměrové stálosti termo dřeva a neupravené borovice

Obr. 21 Biologická odolnost termowood

Obr. 22 Závislost objemové hustoty na teplotě zpracování

Obr. 23 Obsah rovnovážné vlhkosti

Obr. 24 Barva tepelně zpracované borovice při teplotách od 120° do 220° C ve 20°C intervalech.

Obr. 25 Obklad z termodřeva

Tab. 1 Kvalita obrobené plochy

Tab. 2 Využití termodřeva

Tab. 3 Využití termodřeva

Tab. 4 Účinky Termowood procesu

Tab. 5 Účinky termické modifikace

Tab. 6 Klasifikace odolnosti dřeva