



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 4.10 Hodina číslo 40 - ohýbání dřeva

### Ohýbání dřeva

Princip ohýbání hranolků z masivního dřeva objevil truhlářský mistr, vynálezce a návrhář nábytku Michael Thonet (1796-1871), původem z Boppardu v Porýní. M. Thonet se usadil na Moravě, kde založil v Koryčanech a Bystřici pod Hostýnem (v roce 1861) továrny na nábytek z ohýbaného dřeva.

Faktory ovlivňující proces ohýbání

Ohýbání je beztláskový způsob obrábění, před kterým musí být dřevo plastifikováno. Dřevo je plastifikováno na dobu nezbytně nutnou a po ohnutí je dosažený tvar stabilizován sušením.

Tvárnost a plastičnost ovlivňují zejména:

- struktura dřeva
- chemické složení dřeva
- vlhkost a teplota dřeva
- mechanické vlastnosti dřeva
- použitá technologie

Struktura dřeva. Dřevo představuje materiál, který je specifický především svou nehomogenní strukturou. Přířez na ohýbání má mít podélný průběh dřevních vláken, musí být bez suků, trhlin a úplně zdravý. Důležitá je pravidelnost letokruhů. Šířkové rozdíly jarního a letního dřeva zmenšují vhodnost dřeva pro ohýbání. K ohýbání jsou vhodné některé druhy listnatých dřevin, zejména buk. Je možné použít i jasan, jilm, dub, apod. nevýhodou při použití jehličnatých dřevin je zejména velký rozdíl mezi jarním a letním dřevem, který brání stejnoměrnému rozdělení vnitřního pnutí v průřezu hranolku.

Chemické složení dřeva. Dřevo je velmi složitý komplex různorodých látek, z nichž základ tvoří přírodní polymery – celulóza, hemicelulózy, a lignin. Lignin je vedle celulózy nejdůležitějším a nejvíce zastoupeným polymerem dřevní hmoty. Množství ligninu ve dřevě kolísá od 15 do 35%. Jeho makromolekuly jsou prostorově rozložené a tvoří trojrozměrnou strukturu, takže mohou dobře vyplňovat prostory mezi fibrilami v buněčné stěně. Nejvyšší zastoupení ligninu je ve střední lamelle a primární stěně buněčné stěny. V procesu ohýbání má lignin důležitou funkci. Ohýbání dřeva je docíleno mechanickým namáháním. Působením vlhkosti a teploty na střední lamelu buňky se změkčí lignin (především do koloidního



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

roztoku), čímž se zvýší deformační schopnost buněk a následným namáháním se dosáhne klouzáni jednotlivých vrstev dřeva s následnou tvarovou změnou.

Vlhkost a teplota. Při ohýbání je velmi důležitým faktorem obsah vody vázané ve dřevě. Ohýbatelnost dřeva roste se zvyšující se vlhkostí, zásadně však jen do vlhkosti okolo bodu nasycení vláken (27-30%). Volná voda v dřevních buňkách ztěžuje ohýbání a prodlužuje dobu sušení. Po sejmutí z pásnice může vyvolat popraskání dřevních vláken a nežádoucí změny tvaru. Při ohýbání dřeva s vlhkostí větší než bod nasycení vláken se mohou při stlačení dřeva poškodit buněčné stěny hydrostatickým tlakem volné vody. Teplota je důležitá ve vztahu k plastifikaci beztvarého ligninu.

Mechanické vlastnosti dřeva. Ohýbatelnost je dána rovněž pevností dřeva v ohybu. Při zatížení tělesa silou působící dolů vzniká v jeho horní části napětí v tlaku a ve spodní části v tahu. Nedeformovaná část bez napětí se označuje jako neutrální osa. Jedním z hlavních důvodů špatné ohýbatelnosti je malá deformace při zatížení v tahu proti deformaci v tlaku ve stejném směru. Mezi tahovým a tlakovým napětím se nachází smykové napětí. Vzhledem k tomu, že tlaková pevnost dřeva podél vláken je mnohem menší než tahová, začíná porušení tělesa při ohybu v tlakové zóně vybočováním vláken, což je málokdy pozorovatelné pouhým okem. Mez pevnosti ve statickém ohybu (napříč vláken) je průměrně 100 MPa.

Použitá technologie. Na ohýbatelnost (tvárnost dřeva) má zásadní vliv příprava dřeva před ohýbáním – plastifikace.

Plastifikace se provádí:

- pařením nebo vařením
- chemickými látkami
- jinými způsoby

Největší význam pro plastifikaci dřeva má tepelné zpracování za zvýšené vlhkosti pařením nebo vařením. Průmyslově byla realizována plastifikace amoniakem. Amoniak je však značně dražší než odpadová pára, je zdravotně závadný, vyvolává zbarvení dřeva a působí korozivně na pásnice. Proto se k plastifikaci používá velmi omezeně. K plastifikaci lze využít také vysokofrekvenční či mikrovlnný ohřev.

### **Základní principy při ohýbání**

Při ohýbání je vnější strana hranolku (konvexní) namáhaná na tah a vnitřní (konkávní) na tlak. Neutrální osa při ohýbání nezměkčeného masivního hranolku bez pásnice probíhá uprostřed výšky (tloušťky) hranolku. Kritickým místem při ohýbání je tahová zóna. Roztažnost dřeva ve



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

směru dřevních vláken je bez předchozí plastifikace 0,75 až 1% a po ní se zvýší na 1,5 až 2%. Stlačitelnost dřeva je několikanásobně vyšší (15 až 25%) a při optimálních vlhkostních a teplotních podmínkách je až 30%. Rozdílné roztažnosti a stlačitelnosti dřeva se využívá při ohýbání změkčeného hranolku s použitím pásnice, která vyvolá čelní tlak na ohýbaný hranolek a neutrální vrstva je posunuta mezi hranolek a pásnici. Funkci koncového tlaku na hranolek plní koncové zarážky pásnice, které zabraňují posunu neutrální vrstvy v průběhu ohýbání. Na vypouklé straně dochází k protažení jen v rozsahu netěsnosti zarážek, vydutá strana se stlačuje. Ohýbatelnost dřeva se uvádí koeficientem ohýbatelnosti, což je poměr tloušťky hranolku k poloměru ohybu  $h/r-1$ . Čím menší je tloušťka materiálu, tím je možné ohýbat menší poloměr ohybu. Čím menší je poloměr ohybu  $r$  v poměru k tloušťce hranolku  $h$ , tím je prodloužení na tahové straně a zkrácení na tlakové straně. Poněvadž přípustné prodloužení tahem až k boku lomu hranolku na vypouklé straně je při stejné délce podstatně menší než zkrácení na tlakové straně ohybu, dochází u nadměrně ohýbaného hranolku k lomu nejprve na tahové straně.

Plastifikací se stane dřevo tvárnějším, mírně se zvětší jeho protažitelnost a zvětší se i jeho stlačitelnost na tlakové straně. Dřevo, které není plastifikováno, má koeficient ohýbatelnosti v rozmezí 0,03 až 0,05 (podle míry vysušení). Pařením nebo vařením upravené dřevo má  $h/r-1 = 0,02$  až 0,13.

Příklad: při koeficientu ohýbatelnosti  $h/r-1 = 0,05$  se může hranolek o tloušťce  $h=30$  mm ohnout bez poškození na poloměr  $r=600$  mm. Při menším poloměru dřevo na tahové straně praská. Proto se používá pásnice, která ve spojení s koncovými zarážkami posune neutrální vrstvu až na vnější tahovou stranu. Potom je možné dosáhnout bez poškození ohýbaného hranolku koeficientu ohýbatelnosti  $h/r-1$  až 1.

### **Technologický postup tvarování klasickým ohýbáním**

Vstupní parametry materiálu běžně zpracovávaného na nábytek je vlhkost 8-2% a teplota 23°C. Při této vlhkosti a teplotě je schopnost dřeva měnit svůj tvar velmi malá. Úpravou dřeva plastifikací je možné jeho plastičnost zvýšit. Neutrální plocha s rozdílným modulem pružnosti se přesouvá směrem k tahové vrstvě a následně k pásnici. Modul pružnosti běžně používané užívané pásnice tř. 12 je asi 20násobkem modulu pružnosti dřeva. Ohýbáním změněný tvar se stabilizuje následným sušením a klimatizací ohybů. Při procesu sušení jsou ještě ohyby upnuty na pásnici. Po vysušení na 12 až 15 % jsou dřevěné ohyby sraženy z pásnice. Složitější ohyby jsou zajištěny železnými sponami. Plastifikace pařením



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Plastifikace pařením se provádí v autoklávech při těchto parametrech:

- počáteční vlhkost materiálu 20 až 25 %
- tlak paření 0,02 až 0,4 MPa

Při pařícím procesu se používá pára o teplotě 102 až 106°C. Teplota středových vrstev napařeného materiálu je cca 90°C. Při paření BK se používá sytá pára s přetlakem 0,025 MPa. Tento přetlak páry odpovídá tlaku v autoklávu 0,125 až 0,140 MPa, jde tedy o vysokotlaké paření.

Doba paření závisí nejen na rozměrech dílce, ale také na poloměru ohýbání. Na délku a dobu plastifikace má vliv i uložení, resp. množství dílců v plastifikačním zařízení.

### Vlastní ohýbání

Vlastní ohýbání napařených hranolků se provádí strojně nebo ručně. Ručně se ohýbají hranolky do složitých nepravidelných tvarů, dvakrát a vícekrát ohnutých. Ruční ohýbání je fyzicky namáhavé a vyžaduje zvláštní zručnost a zkušenost. Ke strojnímu ohýbání se užívají zejména tyto stroje:

- navíjecí stroj (Sádlík – pro celoohýbaná sedadla a díly tvaru U)
- SŘO Bendico (pro ohýbání předních a opěradlových noh)
- klavíry (vyhříváné tvárnice pro ohýbání opěradlových noh)
- klavíry PN (vyhříváné tvárnice pro ohýbání předních noh)
- ohýbací pneumatické zařízení (pro ohýbání opěradlových a předních noh)

Při vkládání hranolků do stroje nebo pásnice se má dbát na to, aby mezi hranolek a pásnici nevnikly nežádoucí mechanické nečistoty. Maximální úhlová rychlost ohýbání činí 790 s<sup>-1</sup> a teplota materiálu při ohýbání je minimálně 80 °C.

### Sušení (stabilizace) ohybů

Účelem sušení je dosažení trvalých změn dřeva, aby byl materiál po vyjmutí z pásnice chopen udržet požadovaný tvar. Ohyby se suší na tvárnících nebo pásnicích, pomocí kterých byly ohnuty. Ustálení ohybů do požadovaného tvaru se provádí sušením a následným ochlazováním. Po ohnutí se ohyby kladou na speciální železné vozíky nebo palety a po uložení posledního kusu se ihned dopraví do sušárny.

Sušení ohybů probíhá za stálých podmínek, to znamená, že teplota a relativní vlhkost prostředí se udržují na stejné výši od počátku až do konce sušení. Při dodržení předpisů o počáteční vlhkosti (20% až po bod nasycení vláken) je doba sušení cca 20 až 22 hodin. Ohýbané dílce se stabilizují při teplotě prostředí v rozmezí od 50 do 80°C. Rychlost proudění



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

se pohybuje od 0,5 do 2 ms<sup>-1</sup>, optimálně 0,5 m s<sup>-1</sup>. Relativní vlhkost při sušení činí od 10 do 65 %. Některé ohyby (např. opěradlové desky) se mají sušit při nižší teplotě a vyšší relativní vlhkosti, čehož se dosáhne zvlhčováním klimatu v sušárně.

Stabilizace se provádí za velmi malého proudění vzduchu nižšího než 0,5 m s<sup>-1</sup>, při teplotě 80°C a relativní vlhkosti 25 až 30%. Doba stabilizace dosahuje 12 až 24 hodin. Ohýbaný materiál se při sušení (klimatizaci) upevňuje pomocí stahovacích spon.

### **Klimatizace ohybů**

Klimatizace ohybů se provádí z důvodu vyrovnaní pnutí a vlhkosti (8-2%) v průřezu materiálu. Klimatizační místnost (mezisklad ohýbaných dílců) je vybavena topnými tělesy a ventilátory, které umožňují udržování stálé teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Vysušené dílce se kladou na dřevěné podklady. Při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 35 až 55% se pohybuje délka klimatizace od 9 do 21 dnů. Klimatizace může také probíhat za zvýšené teploty 30 °C, relativní vlhkosti vzduchu 30 až 50%, podstatně rychleji, cca 5 až 13 dnů.

### **Ohýbání ve vysokofrekvenčním poli**

Kromě nejstarších způsobů plastifikace pářením, vařením nebo jejich vzájemnou kombinací se stále častěji využívá elektrického tepla. Vysokofrekvenční ohřev (VF) je v podstatě dielektrický ohřev v pásmu frekvencí mezi 10 až 30 kHz, v některých případech i vyšších. Pro ohřev se využívá složka elektromagnetického vlnění, kdy se zahřívají dielektrické, tedy špatně vodivé nebo polovodivé materiály, tzv. dielektrika. K přeměně elektromagnetického pole na kinetickou energii částic (k tvorbě tepla) dochází rovnoměrně v celém objemu materiálu. Tento děj neovlivňuje tepelná vodivost dřeva, což je velkou předností před ostatními způsoby ohřevu dřeva. velmi zjednodušeně lze říci, že VF pracuje v podstatě na principu kondenzátoru, jehož elektrody (horní a spodní část lisovací formy) jsou připojeny na vysokofrekvenční generátor. Jeho dielektrikum je využito ohřívané dřevo. Vlastní proces ohýbání probíhá v jednoetážovém lisu, kde jsou umístěny masivní lisovací formy, sloužící současně jako elektrody. Horní část je uložena ve většině případů na pohyblivé pracovní desce a spodní část je připevněna k pevné k pevné lisovací desce. Ohřev dřeva, stabilizaci sušením a následné chlazení zajišťuje VF generátor. Na vodivou vrstvu elektrod se připevňuje lisovací vrstva, která se vyrábí z DTD nebo vodovzdorných překližek. Při VF „ohýbání“ probíhají všechny operace- plastifikace, ohýbání, sušení a ochlazování v jednom celistvém cyklu. Proces ohýbání ve VF lisech závisí na vzdálenosti elektrod, na vzduchové mezeře mezi



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

nimi. Při zmenšování mezery se rychleji tvoří teplo, a tím i rychleji ubývá vlhkost. Vlhkost, která je vhodná k ohýbání na VF lisech, je 20 až 25%.

### **Ohýbání s mikrovlnným ohřevem**

Mikrovlnný ohřev (VVF) je zvláštním druhem dielektrického ohřevu, který využívá elektromagnetického vlnění o frekvencích až 300 GHz. Teplo vzniká přeměnou elektrické energie v dielektrických materiálech. Ohřev probíhá v uzavřených prostorech v tzv. dutinových rezonátorech. Rezonátor představuje prostor s nerovnoměrně rozloženou hustotou energie. Působením mikrovlnného záření se mění stav a vlastnosti materiálu. Mikrovlnný ohřev materiálu v prostoru dutinového systému je nerovnoměrný. Každá změna uspořádání materiálu v prostoru může zdeformovat dané elektromagnetické pole natolik, že konečná teplota materiálu při stejném čase může mít velký rozptyl. Materiál se v průřezu jinak ohřívá při různých délkách a průřezech.