

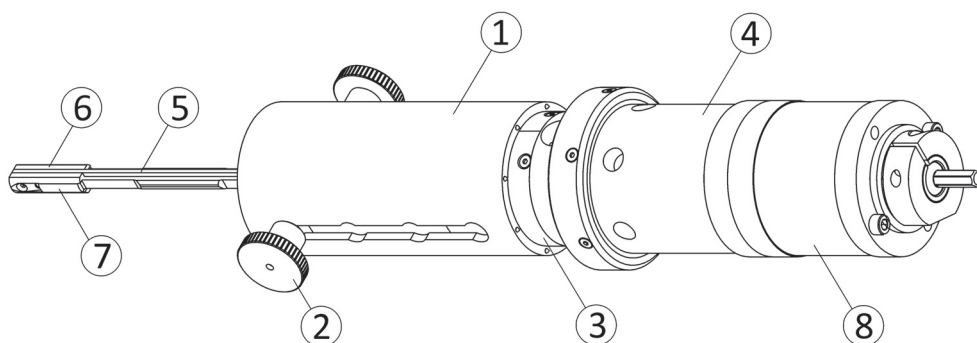
***In situ* zkoušení kvality a zdraví historického dřeva**

Michal Kloiber, Miloš Drdácký, Jan Tippner

Zkoušení kvality dřevěných konstrukcí je speciálním oborem inženýrské činnosti, využívaným při hodnocení zdravotního stavu dřeva zabudovaného ve stavbách, při analýze poruch a při posuzování bezpečnosti a spolehlivosti stávajících dřevěných konstrukcí, zejména při přestavbách nebo změně užívání. Zvláštním úkolem je diagnostika dřevěných historických objektů (konstrukcí) památkově chráněných nebo v památkovém zájmu. V takových případech obvykle nelze používat standardní zkušební postupy pro určení charakteristických vlastností dřeva, neboť je nutno splnit požadavek minimálního zásahu do konstrukce nebo objektu (Kloiber a Drdácký 2015).

Úkolem projektantů je zajistit funkci či provozuschopnost a prodloužení životnosti historické dřevěné konstrukce a přitom zachovat co největší objem původního materiálu, který dokládá jedinečnost a kulturní hodnotu stavby a je zdrojem cenných informací. Ke splnění tohoto úkolu prostý vizuální průzkum jako podklad pro odpovědný sanační návrh nestačí a je nutná znalost mechanických vlastností dřevěných prvků spolu s podrobným popisem jejich vad a poškození. Získání potřebných dat pomocí destruktivní zkoušky (DT – destructive testing) je obecně nemožné z různých důvodů, zejména těch, které souvisejí s hodnotou historické konstrukce, nebo vzhledem k vysoké variabilitě mezi jednotlivými prvky, z čehož vyplývá, že je třeba otestovat velký počet prvků, které není možné z konstrukce odebrat.

Z těchto důvodů bylo vyvinuto a používá se několik neinvazivních metod (NDT – non-destructive testing) diagnostiky kondice dřevěného materiálu (Riggio et al. 2014). Nicméně, z výsledků měření pomocí NDT metod lze jen omezeně predikovat mechanické vlastnosti dřevěných konstrukčních prvků, korelace orientačních parametrů z NDT metod s pevností a tuhostí je střední, pohybuje se okolo 50% úspěšnosti stanovení materiálových charakteristik dřeva. Kompromisem integrující destruktivní a neinvazivní přístup jsou metody částečně invazivní (MDT – moderately destructive testing), někdy také označované jako (SDT – semi-destructive testing), které vyžadují odběr malého kousku materiálu (např. radiální vývrt, tahový mikrovzorek) s následným zkoušením odebraného vzorku v laboratoři (Tannert et al. 2014). MDT metody odběru vzorku nemají významný vliv na mechanické vlastnosti prvku, z kterého jsou odebírány, takže není ohrožena bezpečnost, stabilita nebo životnost konstrukce, navíc místo odběru se snadno opraví, čímž se skrývá zásah vizuálně nepřijatelný. Velikost odebraného vzorku umožňuje dosažení velmi vysoké úspěšnosti predikce materiálových charakteristik dřeva. Nevýhodou MDT metod je časová náročnost, kdy není možné výsledky měření získat přímo *in situ*, ale je potřeba vzorek zkoušet v laboratoři, čímž narůstá čas na vyhodnocení měření, ale i cenová dostupnost diagnostiky.



OBRAZEK 7: Axonometrie přístroje s roztláčováním čelistí ve vrtu (Kloiber et al. 2015)

Časovou náročnost dosud používaných MDT metod se podařilo eliminovat pomocí dvou nově sestrojených funkčních vzorků přístrojů (roztlačování čelistí ve vrtu a zatlačování trnu), které byly vynalezeny v Ústavu teoretické aplikované mechaniky AV ČR, kde jsou v současné době používány k hospodářské činnosti při stavebně-technických průzkumech. Výsledky z nových přístrojů jsou okamžitě k dispozici při terénním měření, což umožňuje případné korekce či doplnění dalších měření podle uvážení pracovníka provádějícího průzkum. Navíc pomocí nových přístrojů získáme přesnou informaci o stavu posuzovaných prvků v celém průřezu na rozdíl od povrchových MDT metod (např. zatlačování kuličky, zarážení trnu).

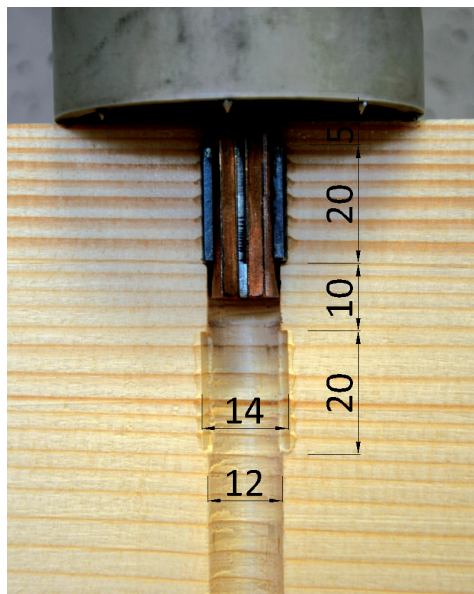
Přístroj na **obrázcích 7 a 8** je určen k měření mechanických vlastností a deformační odezvy dřeva při zatěžování miniaturním lisem, vloženým do vyvrtaného otvoru. Zařízení lze použít jak v laboratoři, tak přímo v terénu pro hodnocení stavu a kvality dřeva. Při aplikaci je měřena závislost deformace na působícím napětí při roztlačování symetricky uspořádaných tlačných čelistí („kamenů“), zatěžujících protilehlé stěny ve vyvrtaném radiálním otvoru průměru 12 mm.

Konstrukčně přístroj dle **obrázku 7** obsahuje těleso, k jehož obvodu je v podélném směru připevněno stavitelné pouzdro (1) s aretačními šrouby (2), kryt baterií a kryt elektrické instalace (3), zajištěné šrouby krytů. V horní části je k tělesu přístroje připevněno pohybové ústrojí (4), složené ze šroubu táhla, zajištěného proti otáčení čepem šroubu táhla. Na šroubu táhla je v jeho dolní kónické části přišroubován siloměr, k siloměru (5) je přišroubované táhlo, které umožňuje výkyv do stran pomocí kloubu táhla a čepu kloubu. Ke spodní části táhla jsou připojené rozevírací klíny (6), spojené pomocí šroubu rozevíracích klínů a kolíků rozevíracích klínů. Čelisti s pružnými rameny (7) jsou kotvené pomocí šroubu čelistí do tělesa přístroje. Pružná ramena umožňují pohyb čelistí při roztlačování rozevíracími klíny a udržují konstantní vzdálenost od tělesa přístroje. K tělesu přístroje je v horní části připojen snímač posuvu, složený z dvojice planžet s tenzometrickým měřením ohybové deformace vyvolané kuželovou částí šroubu táhla, která je úměrná osovému posuvu, a tudíž i roztlačení čelistí. Uvnitř tělesa přístroje je v horní části připojen vysílač, elektronicky propojený se snímačem posuvu a siloměrem. Vysílač je bezdrátově propojen s počítačem. Planetová převodovka (8) přístroje je poháněna pomocí běžné akumulátorové vrtáčky, nicméně může být využit i manuální pohon pomocí jednoruční kliky (Kloiber a Drdácý 2014).

Výhodou přístroje je možnost plynulého snímání síly a posunutí při roztlačení čelistí v různých hloubkách, odpovídajících požadavkům na hodnocení prvků konstrukcí běžných



OBRÁZEK 8: Celkový pohled na přístroj při in situ měření

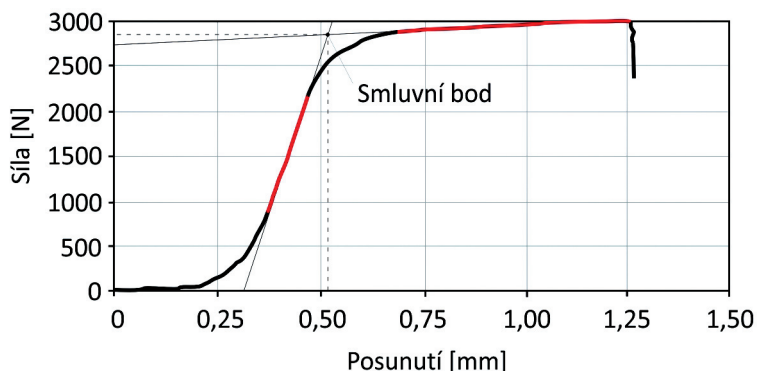


OBRÁZEK 9: Detail táhla s rozvíracím klínem a zakulacenými čelistmi (Kloiber et al., 2015)

dimenzí. Přístroj se na testovaný objekt přikládá (zpravidla na rovinnou stranu konstrukčního prvku) pomocí válcovitého pouzdra, které je typicky upraveno tak, že umožňuje měření ve čtyřech zvolených polohách předem vyvrtaného otvoru. Aretace pouzdra je zajištěna pomocí dvou rýhovaných šroubů, pro typicky zvolené polohy: (hloubka vrtu) 5–25 mm, 35–55 mm, 65–85 mm a 95–115 mm. Po zasunutí měřicí části přístroje do vyvrtaného otvoru a přiložení na testovaný objekt jsou pomocí táhla s rozvíracím klínem roztláčovány zakulacené čelisti do stěn vyvrtaného otvoru (**obr. 9**). Maximální hloubka zatlačení čelistí je na obou stranách 1,5 mm. Zakulacené čelisti mají šířku 5 mm a délku 20 mm. Čelisti jsou vyrobeny ze speciální nástrojové oceli. Součástí čelistí jsou pružná ramena, jejichž pohyb při roztláčení je zajištěn pomocí rozvíracího bronzového klínu, osazeného na dolním konci táhla pomocí kolíku a šroubu. Vrcholový úhel klínu je 15° . Tento úhel není samosvorný a pro odlehčení čelistí stačí uvolnění roztláčovací síly (Drdáček a Kloiber 2013).

Průběžně je snímána a zaznamenána působící síla při vytahování táhla, která je kalibrována na skutečnou sílu při roztláčování čelistí a následně simultánně vztažena k měřené dráze roztláčení (posuvu) čelistí (**obr. 10**). Signály jsou z přístroje bezdrátově přenášeny do měřicího přenosného počítače, kde jsou zpracovány.

Samotné měření probíhá tak, že do radiálního otvoru se zasune měřicí část a současně je přístroj přiložen na testovaný objekt pomocí válcovitého pouzdra (**obr. 8**). K roztláčování čelistí ve směru podél vláken dřeva dochází při vytahování táhla s rozvíracím klínem, po kterém se pohybují čelisti. Otisky ve dřevě po roztláčování čelistí jsou patrné na **obrázku 9**, patrný jsou na tomto obrázku i rozestupy mezi jednotlivými polohami měření napříč prvkem. Mechanické vlastnosti se následně určují ze záznamu měřených dat v podobě pracovního diagramu se záznamem působící síly při vytahování táhla (**obr. 10**). Na ose x je znázorněno posunutí při



OBRÁZEK 10: Příklad výstupu přístroje: záznam síly při roztačování čelistí vztažené k měřené dráze roztažení (posuvu) čelistí (Kloiber a Drdácý 2015)



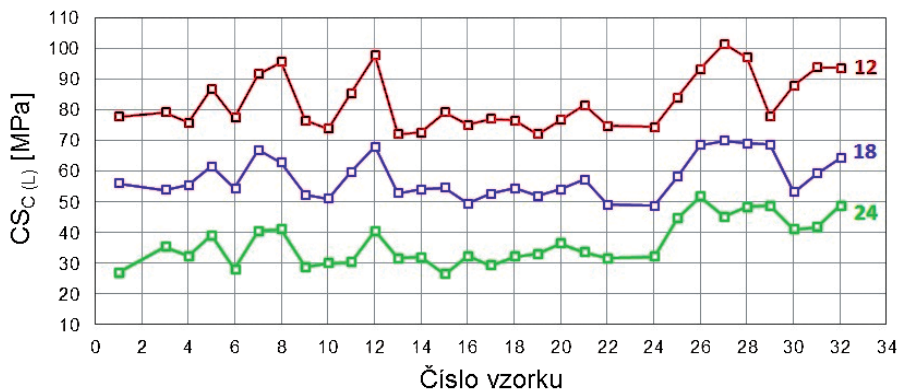
OBRÁZEK 11: Detail frézovacího vrtáku pro přípravu vrtu průměru 12 mm



OBRÁZEK 12: Speciální stojánek pro upevnění vrtáčky s vrtákem a ukotvení k prvku

roztlačování čelistí a na ose y síla potřebná pro roztlačení čelistí. Maximální síla (F_{max}) je stanovena z průsečíku přímkou (smluvní bod), které tvoří tečny k elastické a plastické části průběhu pracovního diagramu. Konvenční pevnost v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) se stanoví z podílu mezního zatížení a plochy zatlačovaných čelistí. Modul pružnosti není možné vypočítat přímo z pracovního diagramu, nicméně ze sklonu přímky proložené přímoou částí záznamu síly a deformace je možné stanovit modul přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$).

Mezi výhody představené metody patří vysoká přesnost stanovení mechanických vlastností (pevnosti a modulu přetvárnosti v tlaku podél vláken) hodnoceného dřeva přímo v terénu. Podařilo se prakticky ověřit spolehlivost použití přístroje, který je dostatečně citlivý k přirozeným rozdílům mezi různými prvky historického dřeva, přirozeným změnám vlastností (distribuce po šířce a délce výřezů, výskyt vad). Silné korelační vztahy byly nalezeny zejména mezi konvenční pevností v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) a pevností dřeva standardních těles ($S_{C(L)}$)

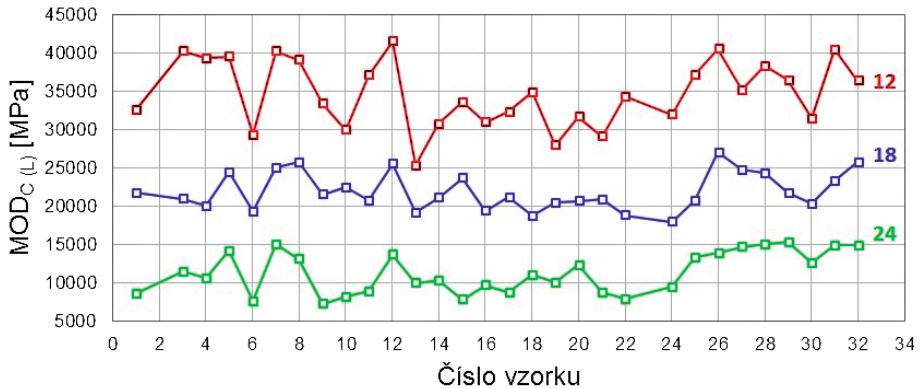


OBRÁZEK. 13: Vliv vlhkosti dřeva na konvenční pevnost v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) (Kloiber et al. 2016)

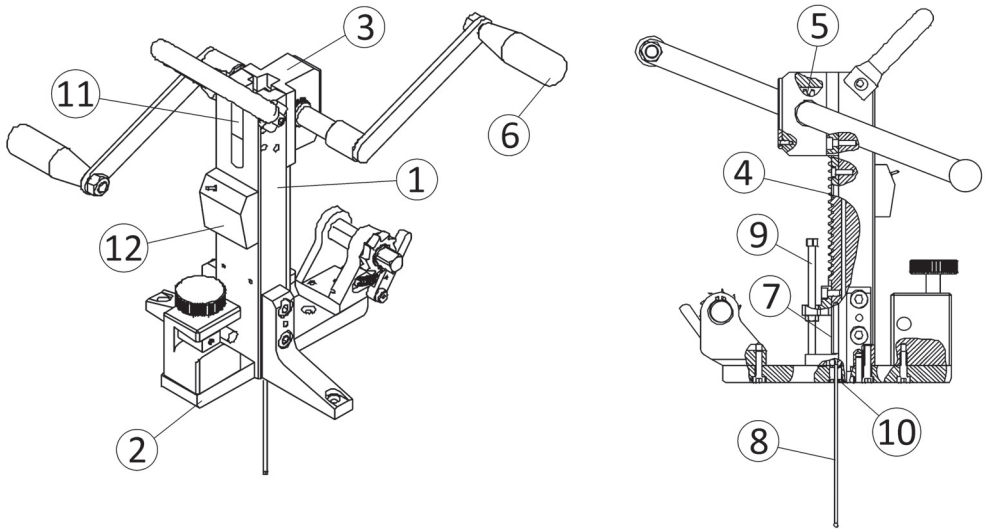
(korelační koef. 0,7–0,95). Konvenční pevnost v tlaku podél vláken koreluje i s ostatními sledovanými parametry dřeva, např. (ρ) hustotou (korelační koef. 0,7–0,95) a ($H_{(L)}$) tvrdostí podél vláken (0,7–0,9). Přístroj pomáhá s odhadem mechanických vlastností na čistém dřevě a je tedy nutné provádět vizuální korekci, kde se zohlední vliv přirozených vad.

Otvor pro zkoušku je připravován frézovacím vrtákem vnějšího průměru 12 mm (**obr. 11**), který je upnutý do akumulátorové ruční vrtačky. Z důvodu možného bočního pohybu vrtáku v průběhu vrtání je vrtačka upevněna ve speciálním stojánku, který zajišťuje pevné ukotvení k prvku (**obr. 12**). Stojánek může být připevněn přímo na zabudovaný prvek nebo na podpůrné pevné lešení. Vyžaduje volnou plochu o rozměrech 150 × 150 mm. Pro zajištění kvality vrtání se doporučuje řídit rychlost vrtání, zejména posun vrtáku do vrtaného otvoru. Ze stejného důvodu musí být ostří vrtáku udržováno stále ostré a čisté. Tupá nebo zanesená ostří mohou způsobovat vytrhání vláken ze stěn vrtu, čímž může následně dojít ke zkreslení výsledku měření. Příprava vrtu by měla probíhat v nepoškozených místech prvku bez přirozených vad a zjevného poškození. Měření je přesné pouze tehdy, když je vrt orientován kolmo k vláknům v radiálním směru, kde dochází k pravidelnému střídání jarní a letní části letokruhu, a když jsou čelisti roztlačovány podél vláken, u konstrukčních prvků zpravidla rovnoběžně s osou prvku. V tangenciálním směru dochází k ovlivnění měření větším zastoupením jarní nebo letní zóny dřeva, což vede ke zkreslování výsledků. Vyšší počet nevhodně zvolených umístění vrtů může ovlivňovat mechanickou odolnost hodnoceného prvku. Čím vyšší počet vrtů na jednom prvku je pro měření připraven, tím spolehlivější bude odhad mechanických vlastností. Nicméně nejmenší přípustný počet vrtů u jednoho hodnoceného prvku jsou 2 vrtů. V případě, že se data z měření v obou vrtech výrazně odlišují, je potřeba navíc provést ještě jeden vrt a použít naměřená data ze dvou vrtů, které jsou si podobné.

Jako jiné *in situ* metody používané při diagnostice zabudovaného dřeva vykazuje popisovaná metoda měření pevnosti a modulu přetvárnosti dřeva v tlaku podél vláken významnou závislost na obsahu vody ve zkoumaném materiálu. Jak je patrné na **obrázcích 13 a 14**, s rostoucí vlhkostí se konvenční pevnost a modul přetvárnosti v tlaku podél vláken snižují. Vliv vlhkosti je největší v okolí meze hygroskopicity, kdy jsou hodnoty měřených mechanických vlastností přibližně o polovinu nižší než při vlhkosti 12%. Zvýšená vlhkost dřeva



OBRÁZEK 14: Vliv vlhkosti dřeva na modul přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$) (Kloiber et al. 2016)



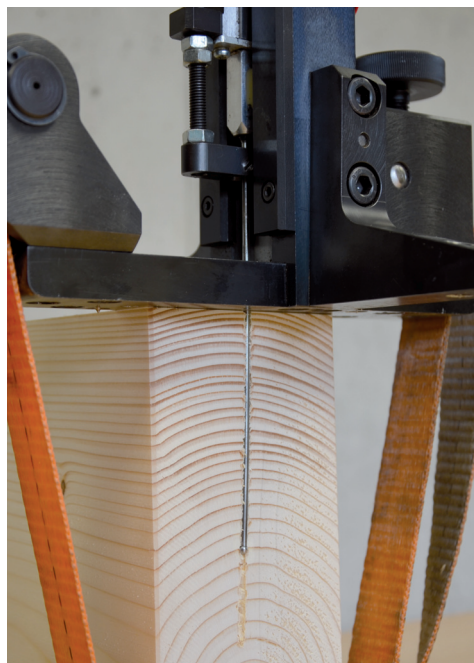
OBRÁZEK 15: Axonometrie přístroje se zatačováním trnu

je tedy nežádoucím faktorem, který negativně ovlivňuje pevnostní vlastnosti dřeva. Nezbytnou součástí zkoušky je proto měření vlhkosti v místě zkoušky, pokud možno pomocí zarážecích sond, které lépe zaznamenají vlhkostní změny po průřezu prvkem. Naměřené mechanické vlastnosti je potřeba přepočítat na hodnoty při 12% vlhkosti dřeva (Kloiber et al. 2016).

Významnou charakteristikou terénní zkoušky je skutečnost, že měření probíhá na zatíženém prvku za přítomnosti neznámých vnitřních sil. Pomocí digitální korelace obrazu bylo prokázáno, že se po vyvrtání otvoru stav napětí uvolní do vzdálenosti přibližně 2 mm od jeho okraje. Pokud nebyl prvek trvale poškozen (vznik plastické deformace), není měření ovlivněno vnitřní napjatostí konstrukčního prvku. Výše uvedené tvrzení bylo potvrzeno i zkouškami na ohýbané dřevěné konzole.



OBRÁZEK 16: Přístroj pro měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu

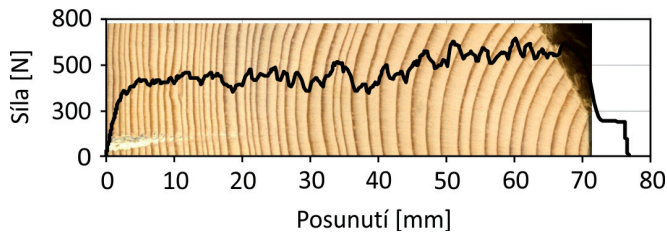


OBRÁZEK 17: Detail průniku trnu materiálem a ukotvení k materiálu

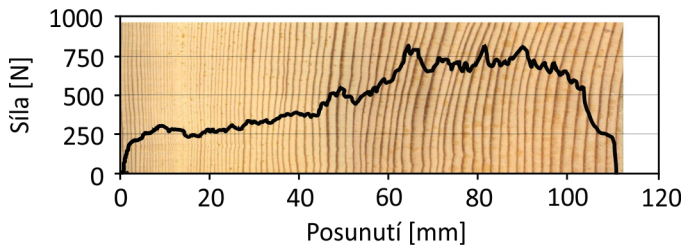
Ve spolupráci Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR a Ústavu nauky o dřevě Mendelovy univerzity v Brně byl vyvinut přístroj (**obr. 15 a 16**) umožňující stanovení mechanického odporu vůči pozvolnému vnikání tělesa do dřeva, a to do hloubky odpovídající rozměrům běžných dřevěných konstrukčních prvků, využitelný pro následné nepřímé stanovení hustoty a mechanických vlastností dřeva.

Konstrukčně se přístroj dle **obrázku 15** skládá z tělesa vedení (1), k jehož spodní části je v kolmém směru připevněna základna (2), v horní části je k tělesu vedení připevněno těleso pohybového ústrojí (3), v tělese vedení je umístěn ozubený hřeben (4) poháněný přes ozubené kolo (5) umístěné v tělese pohybového ústrojí, na ozubené kolo je přenášena síla lidských paží přes kliky (6) pomocí hřídele. Na ozubený hřeben je v jeho dolní části připojen 5kN siloměr (7), k siloměru je přišroubován zatlačovací trn (8), který je vyroben z pružinové oceli. Zatlačovací trn je opatřen půlkulatým hrotem. K tělesu vedení je v rovnoběžném směru s pohybem ozubeného hřebene připojeno přímočaré pohyblivé vedení (9), které tvoří doraz a chrání siloměr před poškozením. Zatlačovací trn prochází základnou mezi bronzovými pouzdry (10), která snižují tření při pohybu trnu a která jsou v základně zajištěna pomocí tenké matice. Přístroj je osazen snímačem posuvu, který obsahuje snímací čidlo (11), pevně spojené s tělesem vedení a kódovaný proužek upevněný v drážce na zadní stěně ozubeného hřebene, v zadní části tělesa vedení je umístěn vysílač (12) elektronicky propojený se snímacím čidlem, vysílač je bezdrátově propojen s počítačem (Kloiber a Tippner 2012).

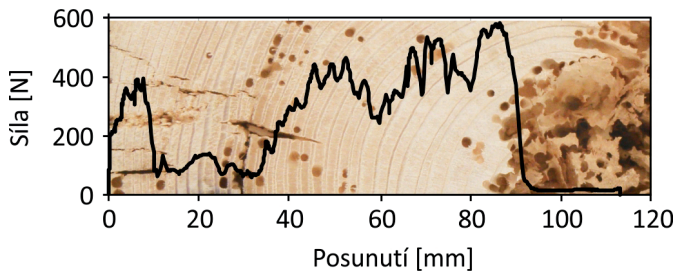
Těleso přístroje lze k testovanému objektu upevňovat různými způsoby, nejčastěji textilním popruhem (**obr. 17**), nebo opásáním pomocí válečkového řetězu, případně pomocí spojovacích



OBRAZEK 18: Záznam síly vztažený k posunu trnu při měření na dřevě smrku (Kloiber a Drdácký 2015)



OBRAZEK 19: Záznam síly vztažený k posunu trnu při měření na dřevě borovice (Kloiber a Drdácký 2015)



OBRAZEK 20: Záznam průběhu síly a posunutí při průniku trnu do dřeva smrku s hnilobou a požerky od dřevokazného hmyzu (Kloiber a Drdácký 2015)

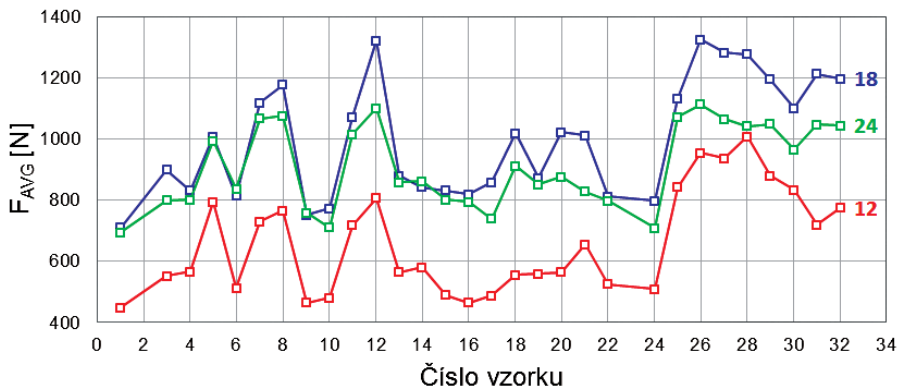
vrutů. Po upevnění k měřenému prvku je kolmo k základně přístroje do dřeva vtačován trn (dřík trnu má průměr 2,5 mm a délku 120 mm) vyrobený z pružinové oceli, dřík je zakončen půlkulatým hrotem průměr 3 mm (**obr. 17**), přes ozubený hřeben a ozubené kolo, které je poháněno oboustranně pomocí dvou proti sobě uložených klik. Průběžně je při vtačování trnu snímána a zaznamenávána působící síla, která je vztažena k měřené dráze (Kloiber et al. 2014). Měřicí program přístroje zajišťuje zpracování, zobrazování a ukládání dat v reálném čase. Zobrazuje se vždy měřený průběh síly (buď v závislosti na čase, nebo posuvu trnu). Během měření jsou v počítači počítány i základní charakteristiky: práci vyjadřující plochu pod křivkou síly vztaženou k posuvu, délku průniku trnu, čas posuvu trnu a maximální (F_{max}) a minimální sílu (F_{min}). Dělením plochy pod křivkou hloubkou zatlačování je následně vypočtena průměrná síla (F_{AVG}) potřebná pro zatlačení trnu. Tento parametr je klíčový pro hodnocení zjišťovaného mechanického odporu dřeva.

Plynulý záznam síly vztažený k posunu trnu je schopen postřehnout změnu vlastností v celé hloubce vniku, ať již přirozenou distribuci vlastností, tak např. změnu vlastností způsobenou biodegradací. Průběh sil v případě nepoškozeného smrku odpovídá střídání zón letokruhů dřeva (zóny letního dřeva s vyšším mechanickým odporem a zóny jarního dřeva s mechanickým odporem nižším) (**obr. 18**). Průběh síly rovněž umožňuje stanovit šířky letokruhů (přírůsty) v průřezu prvku. Celkový průběh pak odpovídá rovnoměrnému rozložení mechanického odporu v průřezu, tedy vyrovnané kvalitě zdravého dřeva smrku. Při měření mechanického odporu dřeva borovice je opět patrný rozdíl v zónách letokruhů a šířkách letokruhů (**obr. 19**). Záznam s nárůstem sil odhaluje tzv. jádrové dřevo typické pro dřevo borovice tvořené dřevem s vyšší hustotou a tedy i vyšším mechanickým odporem. Absolutní hodnoty sil pak odpovídají mechanickému odporu proti vtažení trnu u zdravého dřeva borovice. Na **obrázku 20** je uveden záznam měření na prvku ze dřeva smrku obsahujícího biodegradaci. Relativní pokles síly v zóně s hnilobou vůči zóně zdravého dřeva i pokles absolutní hodnoty sil velmi dobře indikují pokles mechanického odporu způsobený degradací dřeva hnilobou (Kloiber a Drdáký 2015).

Lze konstatovat, že přístroj je použitelný v široké škále vlastností zdravého i poškozeného dřeva. Výsledky zkoušek představují především velmi dobrou korelaci průměrné síly potřebné na zatlačení trnu do dřeva s hustotou dřeva a pevností zjišťovanou laboratorně na standardních tělesech v tlaku napříč a podél vláken (Tippner et al. 2011).

Stejně jako u roztlačování čelistí ve vrtu tak i u zatlačování trnu je výhodou vysoká přesnost stanovení mechanických vlastností na základě korelace s průměrnou silou, která je zapotřebí na zatlačení trnu do dřeva. Podařilo se prakticky ověřit spolehlivost použití přístroje, který je dostatečně citlivý k přirozeným rozdílům mezi různými prvky historického dřeva, přirozeným změnám vlastností (distribuce po šířce a délce výřezů, výskyt vad). Silné korelační vztahy byly nalezeny zejména mezi průměrnou silou (F_{AVG}) a pevností dřeva standardních těles ($S_{C(L)}$) (korelační koef. 0,7–0,8). Průměrná síla koreluje i s ostatními sledovanými parametry dřeva, např. (ρ) hustotou (korelační koef. 0,8–0,9) a ($H_{(L)}$) tvrdostí podél vláken (0,6–0,8). Přístroj pomáhá s odhadem mechanických vlastností na čistém dřevě a je tedy nutné provádět vizuální korekci, kde se zohlední vliv přirozených vad (Kloiber et al. 2014).

Přístroj byl navržen a testován pro hodnocení zabudovaného dřeva, zdravého či o různém stupni degradace. Měření vyžaduje volný povrch o velikosti cca 150 × 150 mm pro upevnění zařízení. Přístroj zaznamenává poměrně široké spektrum mechanického odporu dřeva proti vnikání trnu, plynoucí jak z přirozených vlastností různého dřeva, tak z různého stupně degradace. Odpor je ovlivněn nejen druhem, kvalitou a hustotou dřeva, ale rovněž vlhkostí dřeva (Tannert et al. 2014). Tyto parametry musí být při interpretaci výsledků zohledněny. Případné vady dřeva, jako jsou trhliny, suky, cizí tělesa apod., výrazně zkreslují výsledky. Měření v místech s vadami dřeva je velmi vhodné se vyhnout, nebo výsledky takového měření interpretovat velmi opatrně. Podmínkou pro zatlačování trnu napříč vláken do dřeva je zachování radiálního směru, při kterém dochází k pravidelnému střídání jarní a letní části letokruhu. Odchylka až do přibližně 10° od čistě radiálního směru je přijatelná. Když je trn zatlačován v tangenciálním směru, výsledky mohou být zkreslené, protože u dřevin s výrazným přechodem mezi jarním a letním dřevem trn často proniká jen méně hustým jarním dřevem a nepronikne do hustých přírůstů letního dřeva.



OBRAZEK 21: Vliv vlhkosti dřeva na průměrnou sílu potřebnou pro zatlačení trnu (F_{AVG}) (Tippner et al. 2016)

Jako jiné *in situ* metody používané při diagnostice zabudovaného dřeva vykazuje popisovaná metoda měření průměrné síly potřebné pro zatlačení trnu do dřeva významnou závislost na obsahu vody ve zkoumaném materiálu. Jak je patrné na **obrázku 21**, s rostoucí vlhkostí se průměrná síla potřebná pro zatlačení trnu snižuje. Vliv vlhkosti je největší v okolí meze hygroscopicity, kdy jsou hodnoty měřených mechanických vlastností přibližně o třetinu nižší než při vlhkosti 12 %. Zvýšená vlhkost dřeva je tedy nežádoucím faktorem, který negativně ovlivňuje pevnostní vlastnosti dřeva. Nezbytnou součástí zkoušky je proto měření vlhkosti v místě zkoušky, pokud možno pomocí zarážecích sond, které lépe zaznamenají vlhkostní změny po průřezu prvkem. Naměřené mechanické vlastnosti je potřeba přepočítat na hodnoty při 12 % vlhkosti dřeva (Tippner et al. 2016).

Poděkování

Kapitola využívá výsledků výzkumu podporovaného v rámci projektu DF11P01OVV001 programu NAKI, MKČR „Diagnostika poškozování a životnosti objektů kulturního dědictví“ a post-doc projektu GAČR 105/10/P573 „Chování dřeva při zatlačování trnu“.

Použitá literatura

- Drdácký, M. a M. Kloiber. In-situ compression stress-deformation measurements along the timber depth profile. *Advanced Materials Research*. 778, 2013, 209-216. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.778.209>
- Kloiber, M. a M. Drdácký. *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. Praha: ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-64-0.
- Kloiber, M. a M. Drdácký. *Zařízení pro terénní měření konvenční pevnosti a modulu přetvárnosti při roztláčování čelistí ve vyvrtaném otvoru*. Patent číslo: CZ 304384, 2014.
- Kloiber, M., M. Drdácký, J. Kunecký, V. Sebera a J. Tippner. Mini-jack based direct determination of wood mechanical characteristics in situ. Paper presented at *17th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 17)*, 3.-7. 7. 2016, Rhodes, Greece. (In press).

- Kloiber, M., M. Drdácký, J. Tippner a J. Hrivnák. Conventional compressive strength parallel to the grain and mechanical resistance of wood against pin penetration and micro-drilling established by in-situ semi-destructive devices. *Materials and Structures*. 2015, 48(10), 3217-3229. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0392-6>
- Kloiber, M. a J. Tippner. *Zařízení pro terénní měření mechanického odporu dřeva proti vnikání nástroje (trnu) nebo při vytahování vrutu*. Patent číslo: CZ 303641, 2012.
- Kloiber, M., J. Tippner a J. Hrivnák. Mechanical properties of wood examined by semi-destructive devices. *Materials and Structures*. 2014, 47(1), 199-212. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0055-z>
- Riggio, M., R. W. Anthony, F. Augelli, B. Kasal, T. Lechner, W. Muller a T. Tannert. In-situ assessment of structural timber using non-destructive techniques. *Materials and Structures*. 2014, 47(5), 749-766. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0093-6>
- Tannert, T., R. Anthony, B. Kasal, M. Kloiber, M. Piazza, M. Riggio, F. Rinn, R. Widmann a N. Yamaguchi. In-situ assessment of structural timber using semi-destructive techniques. *Materials and Structures*. 2014, 47(5), 767-785. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0094-5>
- Tippner, J., M. Kloiber a J. Hrivnák. Derivation of mechanical properties by pushing of a pin into wood. In: Divos, F. *17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, Vol. 2. Sopron: University of West Hungary, 2011, 575-582. ISBN 978-963-9883-83-3.
- Tippner, J., M. Kloiber, V. Sebera a J. Kunecky. Health diagnostics of timber by continual pushing-through method. Paper presented at *17th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 17)*, 3.-7. 7. 2016, Rhodes, Greece. (In press).