



národní
úložiště
šedé
literatury

Měření pevnosti a modulu přetvárnosti dřeva v tlaku podél vláken ve vyvrтанém otvoru pomocí roztlačování čelistí malého vloženého lisu

Kloiber, Michal
2015

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-201399>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 24.05.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .



Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.
Centrum Excellence Telč

METODIKA

**Měření pevnosti a modulu přetvárnosti dřeva v tlaku podél vláken
ve vyvrtaném otvoru pomocí roztlačování čelistí malého vloženého lisu**

Název projektu: DF11P01OVV001
„Diagnostika poškození a životnosti objektů kulturního dědictví“

Autor: Ing. Michal Kloiber, Ph.D.

Číslo osvědčení: 70

Certifikační orgán: Ministerstvo kultury ČR,
schváleno dne 18. prosince 2015

Telč, 2015

Metodika je určena správcům památkových objektů a pracovníkům nebo organizacím provádějícím průzkumy dřevěných prvků a konstrukcí památkových objektů, aby mohli hodnotit jejich stav nebo přípravy intervencí pro jejich záchranu, dlouhodobou udržitelnost, zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti či zhodnocení.

Oponenti:

Doc. Ing. Petr Fajman, CSc.

ČVUT Praha, Fakulta stavební

Doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Osvědčení o uznání certifikované metodiky č. 70

N_{met} – CERTIFIKOVANÁ METODIKA ze dne 18. prosince 2015.

vydalo Ministerstvo kultury ČR, Maltézské náměstí 1, 118 11 Praha 1

Adresa autorů:

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.

Prosecká 76, 190 00 Praha 9

Centrum excelence Telč

Batelovská 485, 588 56 Telč

www.itam.cas.cz

cet.arcchip.cz

Anotace

Publikace se věnuje metodickému popisu technického řešení a postupu měření konvenční „smluvní“ pevnosti a modul přetvárnosti dřeva v tlaku podél vláken ve vyvrtném otvoru pomocí roztlačování čelistí malého vloženého lisu a zatěžování stěn otvoru. Metodika uvádí zásady použití přístroje a vyhodnocení výsledků měření pro využití při průzkumech památkových objektů a přípravě projektů jejich záchrany nebo zhodnocení. V současné době neexistuje žádná jiná metoda umožňující přímo v terénu bez odběru vzorků určovat mechanické vlastnosti dřeva, jako je pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken. Výzkum proto směřoval k návrhu jednoduché metodiky, prakticky využitelné a aplikovatelné v běžné praxi při stavebně-technických průzkumech dřevěných konstrukcí, zejména památek. Výsledkem je metodika, která respektuje standardy z oblasti ochrany kulturního dědictví, zejména pak požadavek na minimalizaci zásahu do původní hmotné substance, při vysoké spolehlivosti stanovení požadovaných mechanických vlastností dřeva.

Klíčová slova: *dřevěné konstrukce, stavebně-technické průzkumy, mechanické vlastnosti.*

Poděkování

Metodika vznikla za finanční podpory grantového projektu DF11P01OVV001 „Diagnostika poškozování a životnosti objektů kulturního dědictví“ programu NAKI, jehož poskytovatelem je Ministerstvo kultury České republiky.

OBSAH

1	ÚVOD A CÍL METODIKY.....	1
1.1	Úvod.....	1
1.2	Cíl.....	1
2	POPIS METODIKY.....	2
2.1	Předpoklady použití a nutné okrajové podmínky.....	2
2.2	Příprava měření.....	3
2.3	Konstrukce přístroje a vlastní průběh měření.....	4
2.4	Způsob vyhodnocení dat a korelace s normovými pevnostmi.....	8
2.5	Spolehlivost dat a vlivy, které ovlivňují měření.....	11
3	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ.....	14
4	POPIS UPLATNĚNÍ A EKONOMICKÉ ASPEKTY METODIKY.....	15
4.1	Popis uplatnění.....	15
4.2	Ekonomické aspekty.....	15
5	SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY.....	17
6	PUBLIKACE, KTERÉ METODICE PŘEDCHÁZELY.....	19

1 ÚVOD A CÍL METODIKY

1.1 Úvod

Řada moderních diagnostických přístrojů a metod in-situ využívá k popisu chování a vlastností materiálu vrtání. Pro inženýrskou praxi jsou významné zejména metody, které poskytují přímo měřené mechanické charakteristiky. Příkladem je mechanický měřicí přístroj pro měření lomové pevnosti v ohybu a pevnosti v tlaku podél vláken u radiálních vývrtů ze dřeva (Bethge a kol. 1996). Odpovídající parametry jsou získávány pomocí radiálního vývrtu (průměr 5 mm), který se odvrta z dřevěného prvku. Charakteristická pevnost dřeva je závislá na směru zatěžování vzhledem ke směru vláken jeho struktury, proto je třeba při vkládání vzorku do zkušebního přístroje dbát na jeho správnou orientaci. Mechanické ovládání přístroje má 4 různé provozní páky a je použitelné přímo v terénu. Váleček dřeva (radiální vývrt), odebraný přírůstovým nebozezem nebo jiným speciálně upraveným vrtákem, je v přístroji lámán nebo tlačěn za současného měření potřebné energie. Hodnoty získané měřením jsou pro daný druh dřeva převáděny na návrhové materiálové charakteristiky pomocí tabulek, které jsou součástí dodávky přístroje. Odebrané radiální vývrty lze také zkoušet v univerzálních zatěžovacích strojích, vybavených čelistmi s válcovými drážkami, které umožňují jejich upevnění a zatěžování tlakem kolmo na osu vývrtu, tzn. v tlaku podél vláken dřeva (Kasal a kol. 2003; Drdácký a kol. 2005). Radiální vývrty tak mohou být použity pro určení několika vlastností dřeva, jako jsou např.: hustota, vlhkost, modul pružnosti a pevnost v tlaku podél vláken. Ve spektru diagnostických metod chybělo řešení umožňující měřit mechanické vlastnosti v různých hloubkách průřezu vyšetřovaného dřevěného prvku na stávajících konstrukcích přímo v terénu. Tento nedostatek vyřešil vynález malého lisu, vkládaného do vyvrtaného otvoru a umožňujícího zatěžování přímo uvnitř prvku a měření chování zatěžovaného dřeva (Kloiber a Drdácký, patent 304384).

1.2 Cíl

Cílem metodiky je popsat technické řešení a postup měření pomocí patentovaného přístroje, který umožňuje měřit konvenční „smluvní“ pevnost a modul přetvárnosti dřeva v tlaku podél vláken ve vyvrtaném otvoru pomocí roztlačování čelistí malého vloženého lisu a zatěžování stěn otvoru. Metodika uvádí zásady použití přístroje a vyhodnocení výsledků měření pro využití při průzkumech památkových objektů a přípravě projektů jejich záchranu nebo zhodnocení.

V současné době neexistuje žádná jiná metoda umožňující přímo v terénu bez odběru vzorků určovat mechanické vlastnosti dřeva, jako je pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken. Výzkum proto směřoval k návrhu jednoduché metodiky, prakticky využitelné a aplikovatelné v běžné praxi při stavebně-technických průzkumech dřevěných konstrukcí, zejména památek. Výsledkem je metodika, která respektuje standardy z oblasti ochrany kulturního dědictví, zejména pak požadavek na minimalizaci zásahu do původní hmotné substance, při vysoké spolehlivosti stanovení požadovaných mechanických vlastností dřeva.

2 POPIS METODIKY

2.1 Předpoklady použití a nutné okrajové podmínky

Diagnostika dřevěných konstrukcí je speciálním oborem inženýrské činnosti, využívaným při hodnocení zdravotního stavu dřevěných artefaktů nebo 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 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.

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 nutné mít k dispozici i výsledky šetrných metod diagnostiky vnitřního stavu dřevěného prvku. Právě přesnou informaci o stavu posuzované památkové konstrukce může poskytnout měření pomocí patentovaného přístroje.

Dřevo a dřevěné konstrukce jsou na jedné straně ve vhodných podmínkách velmi trvanlivé, na druhé straně mohou v nevhodném prostředí podléhat rychlé zkáze. Dá se předpokládat, že za normálních okolností bude dlouhodobě fungující konstrukční systém plnit i nadále svou funkci a nevyžaduje žádné podrobné posouzení zabudovaného dřeva. Nelze na to spoléhat, nicméně investor nebo vlastník v takových případech obvykle diagnostiku neplánuje. Konstrukční hodnocení a tím využití patentovaného přístroje je zapotřebí v těchto případech:

- Má dojít ke změně užívání konstrukce, s čímž často souvisí změna zatížení.
- Došlo k významnému poškození dřeva, nebo konstrukce působí v agresivních podmínkách, zejména při dlouhodobém zvýšení vlhkosti.
- Došlo k mechanickému poškození nebo nadměrné deformaci způsobené přetížením, např. z důvodu špatných počátečních návrhů, špatné kvality použitých materiálů nebo špatné řemeslné výroby při výstavbě.
- Byly provedeny nevhodné údržbářské či preventivní práce v průběhu životnosti konstrukce, které vedou ke snížení její pevnosti nebo byl původní konstrukční systém nevhodně změněn (např. špatně provedená konstrukční sanace, aplikace protipožárních nátěrů způsobujících degradaci atd.).

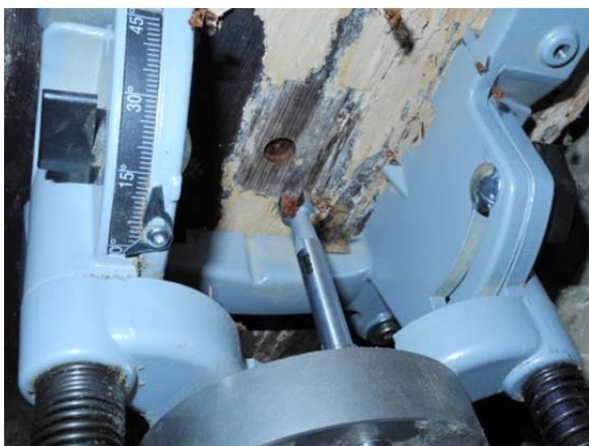
V takových situacích musí být přijata opatření, kterými dosáhneme a zaručíme odpovídající úroveň bezpečnosti, což může mít za následek i omezení přístupu veřejnosti. Obecným předpokladem je, že všechny průzkumy by měly být co nejméně invazivní, a to představená metoda splňuje. V každém případě nedochází k odběru vzorků, nemění se celkové mechanické vlastnosti prvků a nemění se ani ostatní vlastnosti (např. estetické či historické). Navíc jsou výsledky okamžitě k dispozici při terénním měření, což umožňuje případné korekce či doplnění dalších měření podle uvážení pracovníka provádějícího průzkum.

Okrajovou podmínkou je dostupnost dřevěných prvků, které musí být dostatečně přístupné, aby mohly být korektně hodnoceny. Přístup k jednotlivým prvkům může být zajištěn pomocí jednoduchým žebříkem nebo může vyžadovat výstavbu lešení. Dostupnost hodnocených prvků má významný vliv při volbě místa, kde bude proveden vrt pro samotné měření. V zájmu uchování památkových hodnot je vhodné rozsah měření omezit na nezbytné minimum, místa měření volit s ohledem na dochované stopy opracování konstrukčních prvků nebo možný výskyt cenných historických povrchových úprav popřípadě jiných významných nálezových situací.

2.2 Příprava měření

Povrch dřeva nesmí být zabeďněný, skrytý v suti, zanesený nečistotami nebo prachem. Čištění povrchu dřeva musí být provedeno pomocí suchých procesů (např. jemné kartáčování, tlakem vzduchu nebo pomocí průmyslového vysavače), aby nedošlo k znehodnocení povrchu historického dřeva.

Otvor pro zkoušku je připravován frézovacím vrtákem vnějšího průměru 12 mm (obr. 1), který je upnutý do akumulátorové ruční vrtačky. Z důvodu možného bočního pohybu vrtáku v průběhu vrtání je vrtačka upevněna ve speciálním stojánku (obr. 2), který zajišťuje pevné ukotvení k prvku. 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 zkresení výsledku měření.



Obr. 1 Detail frézovacího vrtáku pro přípravu vrtu prům. 12 mm



Obr. 2 Speciální stojánek pro upevnění vrtačky s vrtákem a ukotvení k prvku

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

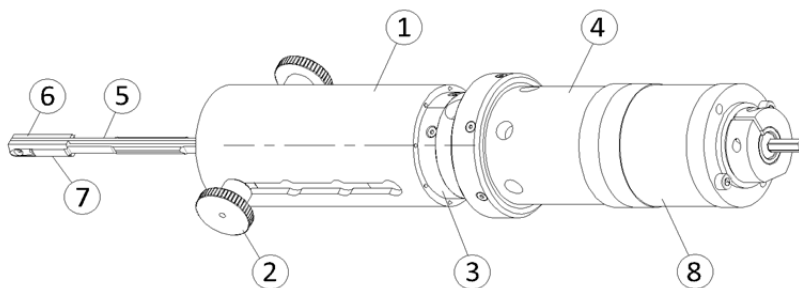
k vláknům, kde dochází k pravidelnému střídání jarní a letní části letokruhu, a když jsou čelisti roztačovány podél vláken, u konstrukčních prvků zpravidla rovnoběžně s osou prvku. V tangenciálním směru dochází k ovlivnění měření větším zastoupením jarní nebo letní zóny dřeva, což vede ke zkreslování výsledků.

Nejmenší přípustný počet vrtů u jednoho hodnoceného prvku jsou dva vrty. V případě, že se data z měření v obou vrtech od sebe výrazně odlišují, je potřeba navíc provést další vrt a použít naměřené data ze dvou vrtů, které jsou si podobné. Vyšší počet nevhodně zvolených umístění vrtů může ovlivňovat mechanickou odolnost hodnoceného prvku.

Jako jiné in-situ metody používané při diagnostice zabudovaného dřeva vykazuje představená metoda měření pevnosti a modulu přetvárnosti dřeva v talku podél vláken významnou závislost na obsahu vody ve zkoumaném materiálu. Zvýšená vlhkost dřeva je tedy nežádoucím faktorem, který negativně ovlivňuje pevnostní vlastnosti dřeva. Nezbytnou součástí zkoušky je tedy vhodný výběr místa pro vrt, které bude bez zjevných známek zvýšené vlhkosti.

2.3 Konstrukce přístroje a vlastní průběh měření

Metodika využívá patentovaný přístroj (obr. 3, 4, 5), který 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 roztačování symetricky uspořádaných tlačných čelistí („kamenů“), zatěžujících protilehlé stěny ve vyvrtaném radiálním otvoru průměru 12 mm.



Obr. 3 Axonometrie nově sestrojeného přístroje (Kloiber a kol., 2015)

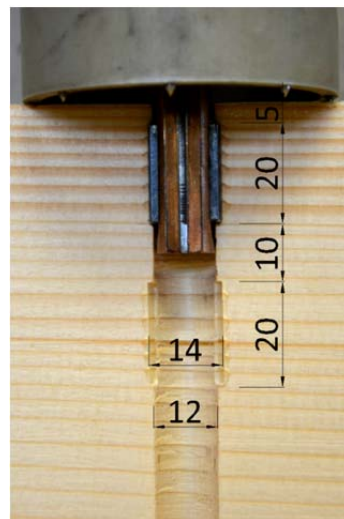
Konstrukčně přístroj (obr. 3) obsahuje těleso, k jehož obvodu je v podélném směru připevněno stavitelné pouzdro (1) s aretačními šrouby (2), kryt baterií a kryt elektrické instalace (3), zajištěné šrouby krytů. V horní části je k tělesu přístroje připevněno pohybové ústrojí (4), složené ze šroubu táhla, zajištěného proti otáčení čepem šroubu táhla, matice táhla s ložiskem a objímky matice, zajištěné šrouby objímky. 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 vrtačky, nicméně může být využit i manuální pohon pomocí jednoruční kliky. Pohon táhla je zajištěn přes šroub s maticí (popř. hřeben se šnekem nebo hydraulickým obvodem).

Výhodou přístroje je možnost plynulého snímání síly a posunutí při roztlačení čelistí v různých hloubkách, odpovídajících požadavkům na hodnocení prvků konstrukcí běžných 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 vývrtu) 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 roztlačovány zakulacené čelisti (obr. 5) do stěn vyvrtaného otvoru. 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 roztlačení 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 roztlačovací síly (Kloiber a Drdácák, 2015).

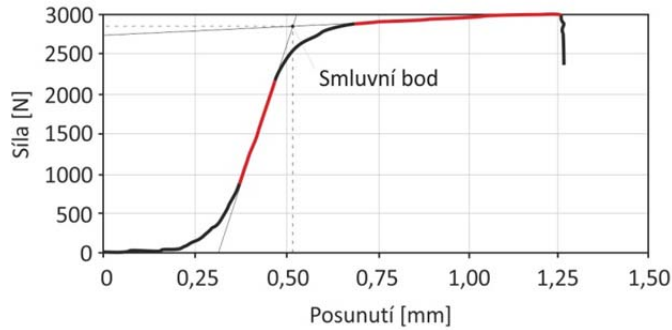


Obr. 4 Celkový pohled na nově sestrojený přístroj (Kloiber a kol., 2015)



Obr. 5 Detail táhla s rozevíracím klínem a zakulacenými čelistmi (Kloiber a Drdácák, 2015)

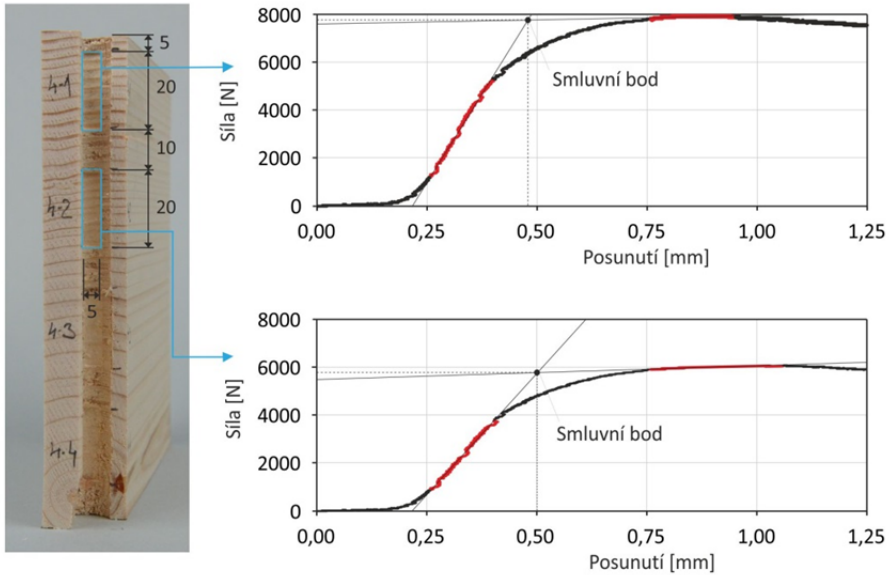
Průběžně je snímána a zaznamenána působící síla při vytahování táhla, která je kalibrována na skutečnou sílu při roztláčování čelistí a následně simultánně vztažena k měřené dráze roztláčení (posuvu) čelistí (obr. 6). Signály jsou z přístroje bezdrátově přenášeny do měřicího přenosného počítače, kde jsou zpracovány.



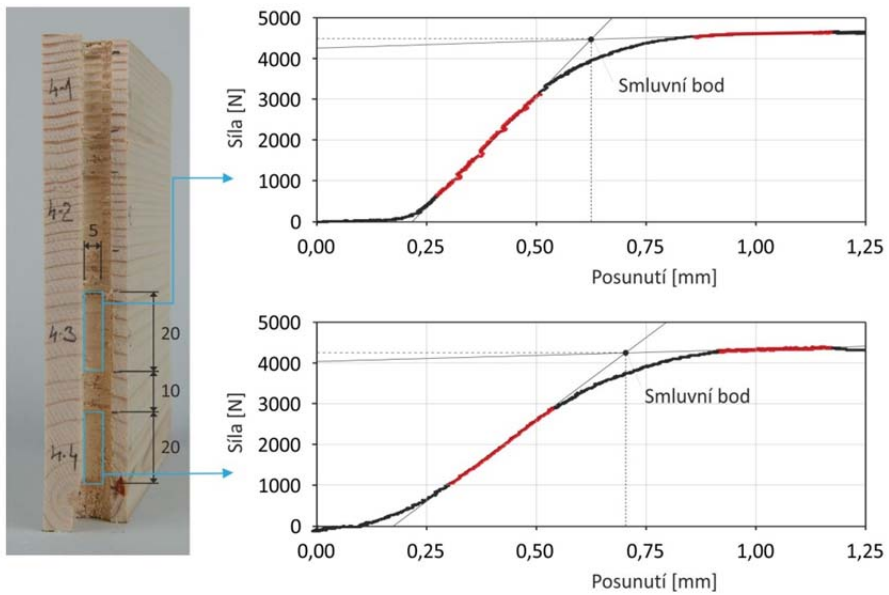
Obr. 6 Příklad výstupu přístroje: záznam síly při roztláčování čelistí vztažené k měřené dráze roztláčení (posuvu) čelistí (Kloiber a Drdácý, 2015)

Samotné měření probíhá tak, že do radiálního otvoru se zasune měřicí část a současně je přístroj přiložen na testovaný objekt pomocí válcovitého pouzdra (obr. 4). 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 obr. 7, 8, 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. 7, 8). Na ose x je znázorněno posunutí při roztláčování čelistí a na ose y síla potřebná pro roztláčení čelistí. Maximální síla (F_{max}) je stanovena z průsečíku přímek (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 přímkou částí záznamu síly a deformace je možné stanovit modul přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$).



Obr. 7 Detail rozříznutého vrtu, kde jsou patrná místa po roztláčování čelistí, a grafické záznamy z měření mechanických vlastností pro 1. a 2. polobu (hloubky měření)



Obr. 8 Detail rozříznutého vrtu, kde jsou patrná místa po roztláčování čelistí, a grafické záznamy z měření mechanických vlastností pro 3. a 4. polobu (hloubky měření)

2.4 Způsob vyhodnocení dat a korelace s normovými pevnostmi

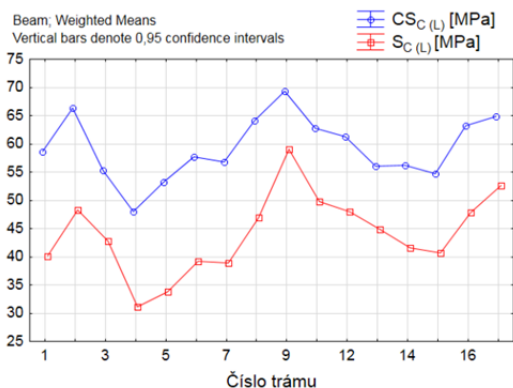
Odhad mechanických vlastností pomocí patentovaného přístroje je možné provést srovnáním s výsledky měření mechanických vlastností na standardních tělesech, které jsou zatěžovány v tlaku podél vláken. Pro ověření přesnosti odhadu bylo mimo jiné provedeno měření na šestnácti trámech z dřeva smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.) délky 8 m, běžně užívaného v historických stavebních konstrukcích v České republice. Výřezy trámů měly příčný profil 200×240 mm, což odpovídá rozměrům, které se běžně vyskytují u zabudovaného dřeva historických konstrukcí. Po pozvolném vysušení všech šestnácti trámů a klimatizování na vlhkost 12 % probíhalo frézování vrtákem průměru 12 mm. Pro každý trám byly vyrobeny dva otvory pro měření pomocí patentovaného přístroje. Vrtalo se v čistě radiálním směru s rozstupem mezi otvory v délce 100 mm. Hloubka vrtu byla cca 130 mm, což umožňovalo provést měření pomocí roztláčování čelistí ve vrtu celkem ve čtyřech polohách: 1. poloha (v hloubce 5-25 mm), 2. poloha (35-55 mm), 3. poloha (65-85 mm), 4. poloha (95-115 mm). Celkově bylo pomocí nově sestaveného přístroje provedeno měření v 128 pozicích (16 trámů po dvou vrtech).

Mechanické vlastnosti byly určovány ze záznamu měřených dat v podobě pracovního diagramu se záznamem působící síly při vytahování táhla (obr. 6). Na ose x je znázorněno posunutí při zatlačení čelistí a na ose y síla potřebná pro zatlačení čelistí. Maximální síla (F_{max}) na obr. 6 – znázorněna jako *Smluvní bod* byla stanovena z průsečíku přímk, které tvořily tečny k elastické a plastické části průběhu pracovního diagramu. Měřená pevnost v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) byla stanovena z podílu mezního zatížení a plochy zatlačovaných čelistí. Modul pružnosti není možné vypočítat přímo z pracovního diagramu, nicméně ze sklonu přímk proložené přímkou částí záznamu síly a deformace byl stanoven modul přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$).

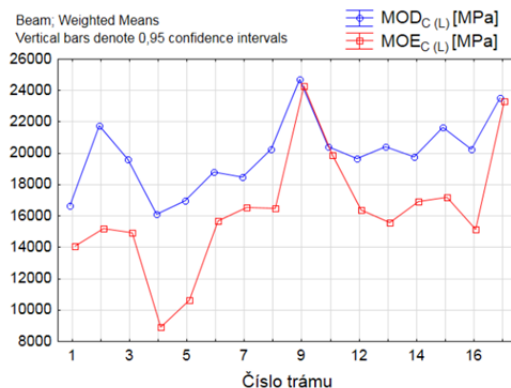
K ověření přesnosti odhadu mechanických vlastností pomocí patentovaného přístroje bylo využito experimentů založených na porovnání naměřených veličin z jednotlivých přístrojů a testování standardních vzorků destruktivními testy na univerzálním zkušebním stroji Zwick Z050 s využitím předpisu průběhu zkoušky a vyhodnocení výsledků softwarem TestXpert v 11.01. Pro ověřování přístroje byly zvoleny následující základní parametry: hustota dřeva (*Density*), pevnost v tlaku podél vláken $S_{C(L)}$ a modul pružnosti v tlaku podél vláken ($MOE_{C(L)}$). Testy byly provedeny v souladu s národními a evropskými normami, použité vzorky velikosti 20x20x30 mm byly odebírány z jednotlivých pozic přilehlých k místům měření ve čtyřech polohách výše uvedených. Pro každé místo měření provedené přístrojem s roztláčováním čelistí ve vrtu byly vyrobeny vždy dva vzorky velikosti 20x20x30 mm (tlak podél vláken). Naměřené údaje byly dále zpracovány v software Statistika 10.0.

Experimentální hodnoty pro jednotlivé trámy (pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken, konvenční pevnost a modul přetvárnosti v tlaku podél vláken) pro šestnáct zkoumaných trámů jsou prezentovány na obr. 9 a 10. Výsledky analýz dokládají statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými trámy. Především trámy č. 2, 9, 17 vykazovaly výrazně vyšší měřené vlastnosti dřeva než zbylé trámy. Výrazně nižší měřené vlastnosti dřeva, než je běžné u dřeva smrku byly zjištěny u trámu č. 4 a 5. Je patrné, že průběhy hodnot pevnosti

v tlaku podél vláken $S_{C(L)}$ odpovídají průběhům hodnot konvenční pevnosti v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$). Podobně je velmi dobrá shoda mezi hodnotami ($MOE_{C(L)}$) a ($MOD_{C(L)}$) pro všechny trámy (obr. 10). Vliv tuhosti materiálu (podélný modul pružnosti) a výpočtové reakční síly ve vztahu k posunutí byly také popsány citlivostní FE analýzou (velmi silná korelace). Absolutní rozdíl mezi hodnotami parametrů měřených při zatěžování vzorků a hodnoty získané z nového zařízení by také mohly být vysvětleny pomocí citlivostní analýzy. Vyšší hodnoty vlastností nové metody odpovídají vysokému vyztužení materiálu.



Obr. 9 Pevnost v tlaku podél vláken ($S_{C(L)}$) a konvenční pevnost v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) pro jednotlivé trámy (Kloiber a kol., 2014)



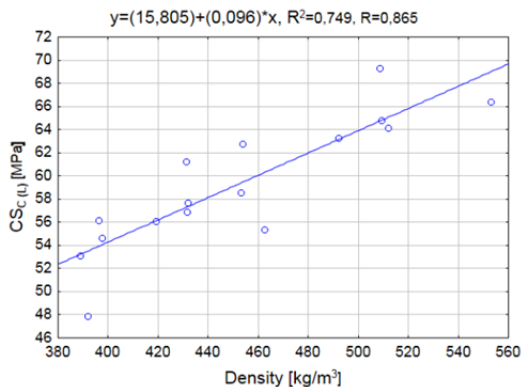
Obr. 10 Modul pružnosti v tlaku podél vláken ($MOE_{C(L)}$) a modul přetvárnosti podél vláken ($MOD_{C(L)}$) pro jednotlivé trámy (Kloiber a kol., 2014)

Tab. 1 ukazuje korelační vztahy mezi sledovanými parametry ($Density$, $S_{C(L)}$, $MOE_{C(L)}$) a měřením pomocí patentovaného přístroje ($CS_{C(L)}$, $MOD_{C(L)}$). Pevnost v tlaku podél vláken je možné velmi přesně stanovit pomocí patentovaného přístroje s roztlačováním čelistí ve vrtu. U roztlačování čelistí ve vrtu je zatížení a porušení velmi blízké zatížení a porušení při testu tlakem podél vláken, což dokládají velmi vysoké korelační vztahy uvedené v tab. 1.

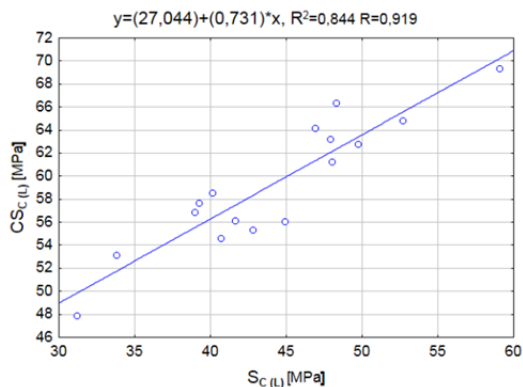
Tab. 1 – Korelační vztahy mezi sledovanými parametry ($Density$, $S_{C(L)}$, $MOE_{C(L)}$) a měřením pomocí patentovaného přístroje s roztlačováním čelistí ve vrtu ($CS_{C(L)}$, $MOD_{C(L)}$) (Kloiber a kol., 2013)

	$CS_{C(L)}$	$MOD_{C(L)}$
$Density$	0,87	0,61
$S_{C(L)}$	0,92	0,88
$MOE_{C(L)}$	0,75	0,87

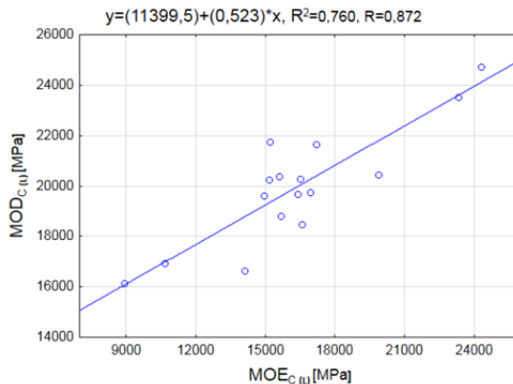
Vztah mezi měřenou pevností v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) a vybranými vlastnostmi dřeva ($Density$, $S_{C(L)}$) je popsán pomocí lineární regrese (obr. 11 a 12). Koeficienty determinace R^2 prokazují velkou těsnost závislostí. Vztah mezi modulem přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$) a modulem pružnosti v tlaku podél vláken ($MOE_{C(L)}$) je popsán pomocí lineární regrese (obr. 13). Koeficienty determinace R^2 prokazují i zde velkou těsnost závislostí. Z rovnic uvedených na obr. 8-10 lze s popsanou přesností odhadnout mechanické vlastnosti smrkového dřeva pomocí patentovaného přístroje.



Obr. 11 Závislost hustoty ($Density$) a konvenční pevnosti v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) (Kloiber a kol., 2013)



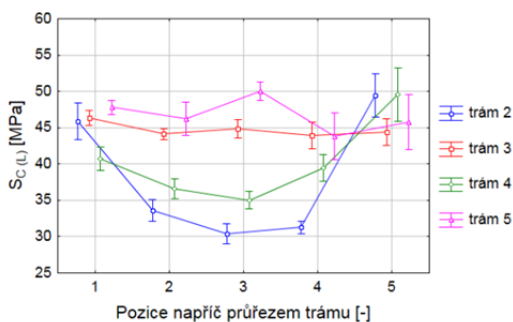
Obr. 12 Závislost pevnosti v tlaku podél vláken ($S_{C(L)}$) a konvenční pevnosti v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) (Kloiber a kol., 2013)



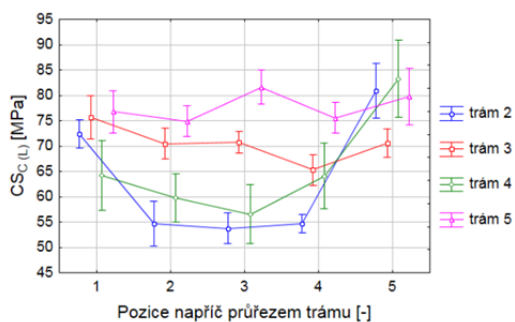
Obr. 13 Závislost modulu pružnosti v tlaku podél vláken ($MOE_{C(L)}$) a modulu přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$) (Kloiber a kol., 2013)

Jelikož měření pomocí patentovaného přístroje umožňuje měřit z každé plochy prvku ve čtyřech polohách napříč hodnoceným profilem, je tedy možné stanovit distribuci vlastností dřeva napříč vláken hodnoceného prvku, až pro osm poloh. Pro ověření možnosti měřit příčnou distribuci vlastností dřeva bylo mimo jiné provedeno měření na výřezech trámů šířky 160 mm, přičemž měření ve čtyřech polohách bylo provedeno z jedné plochy

výřezu trámu a měření v jedné poloze bylo provedeno z protější plochy výřezu trámu. Na obr. 14 a 15 jsou prezentovány příklady distribuce naměřených hodnot v příčném směru (průřezu) prvku pevnost v tlaku podél vláken ($S_{C(L)}$) a konvenční pevnost v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) pro čtyři výřezy trámů. Příčná distribuce hodnot pevnosti v tlaku podél vláken a konvenční pevnosti v tlaku podél vláken v jednotlivých výřezích trámů není statisticky významná. Statisticky významné jsou rozdíly mezi jednotlivými trámy. U distribuce naměřených hodnot ($CS_{C(L)}$) je patrné, že odpovídá průběhu distribuce standardně zatěžovaných vzorků pro zjištění pevnosti v tlaku podél vláken ($S_{C(L)}$). V případě trámu č. 2 a 4 došlo uprostřed zkoumaného profilu k poklesu měřených hodnot až o 1/3. Distribuci vlastností dřeva napříč vláken lze při terénním měření využít např. při hodnocení středového poškození trámu.



Obr. 14 Distribuce pevnosti v tlaku podél vláken ($S_{C(L)}$) napříč výřezy trámů (Kloiber a kol., 2015)



Obr. 15 Distribuce konvenční pevnosti v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) napříč výřezy trámů (Kloiber a kol., 2015)

2.5 Spolehlivost dat a vlivy, které ovlivňují měření

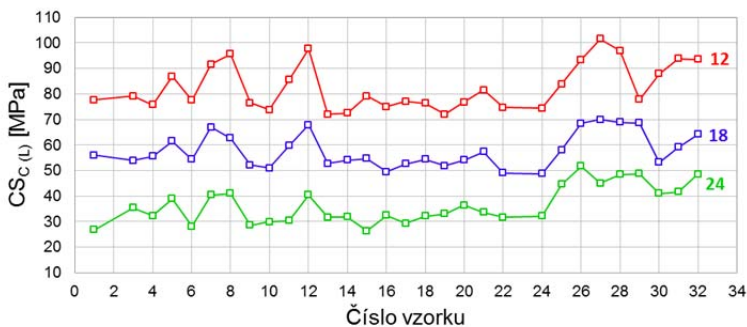
Mezi výhody představené metody patří vysoká přesnost stanovení mechanických vlastností (pevnosti a modulu přetvárnosti v tlaku podél vláken) hodnoceného dřeva přímo v terénu. Podařilo se prakticky ověřit spolehlivost použití patentovaného přístroje, který je dostatečně citlivý k přirozeným rozdílům mezi 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 ($S_{C(L)}$) (korelační koef. 0,7-0,95). Konvenční pevnost v tlaku podél vláken koreluje i s ostatními sledovanými parametry dřeva, např. hustotou (korelační koef. 0,7-0,95) a ($H_{(L)}$) tvrdostí podél vláken (0,7-0,9). Nový 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. Pro zajištění kvality vrtání se doporučuje udržovat ostří vrtáku 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

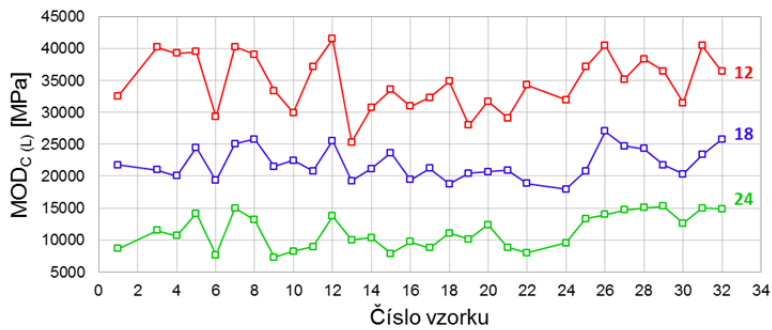
orientován kolmo k vláknům, kde dochází k pravidelnému střídání jarní a letní části letokruhu, a když jsou čelisti roztlačovány podél vláken, u konstrukčních prvků zpravidla rovnoběžně s osou prvku. V tangenciálním směru dochází k ovlivnění měření větším zastoupením jarní nebo letní zóny dřeva, což vede 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 vrty. 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 obr. 16 a 17, 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 je tedy nežádoucím faktorem, který negativně ovlivňuje pevnostní vlastnosti dřeva. Nezbytnou součástí zkoušky je proto měření vlhkosti v místě zkoušky, pokud možno pomocí zářezecích sond, které lépe zaznamenají vlhkostní změny po průřezu prvkem.

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 (Maddox a kol. 2014).



Obr. 16 Vliv vlhkosti (12, 18, 24 %) na konvenční pevnost v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$)



Obr. 17 Vliv vlhkosti (12, 18, 24 %) na modul přetvárnosti v tlaku podél vláken ($MOD_{C(L)}$)

3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Metodika přináší nové postupy v souladu se zákonem č. 130/2002 Sb. Popsaných metodických postupů bylo dosaženo systematickou tvůrčí prací v aplikovaném výzkumu, kterým byly experimentální a teoretické práce prováděné s cílem získání nových poznatků zaměřených na budoucí využití v praxi.

V předložené metodice je představena konstrukce a použití nového přístroje pro terénní hodnocení zabudovaného dřeva. Bylo ověřeno, že přístroj je dostatečně citlivý k přirozeným rozdílům mezi jednotlivými prvky zdravého dřeva. Silné korelační vztahy byly nalezeny zejména mezi měřenou pevností v tlaku podél vláken ($CS_{C(L)}$) a pevností dřeva standardních těles ($SC(L)$) hodnocených podle národních a evropských norem, koeficient determinace R^2 se pohybuje v rozmezí 0,75 až 0,9. Vztahy byly blíže popsány prakticky využitelnými lineárními regresními modely. Měřená pevnost v tlaku podél vláken koreluje i s ostatními sledovanými parametry dřeva, např. hustotou, koeficient determinace R^2 se pohybuje v rozmezí 0,7 až 0,85. Druhým parametrem pro hodnocení mechanických vlastností pomocí nového přístroje byl modul přetvárnosti ($MOD_{C(L)}$), který dobře koreluje s modulem pružnosti podél vláken ($MOE_{C(L)}$), koeficient determinace R^2 se pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,8. Konstrukce nového přístroje je lehká a díky jeho nezávislosti na elektrické síti je možné snadné použití v terénu. Na rozdíl od jiných metod umožňuje nový přístroj velmi přesné stanovení mechanických vlastností v hloubkovém profilu průřezu hodnoceného prvku.

Přístroj je v podmínkách ČR, ale i ve světě zcela nový a bylo nezbytné pro efektivní využití zpracovat metodiku na jeho ovládání a vyhodnocování měření. V současnosti dostupné, částečně invazivní přístroje (mikrovrtání, zarážení nebo zatlačování trnu, vytahování vrutu) neumožňují přímo v terénu bez odběru vzorků určovat mechanické vlastnosti dřeva, jako je pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken. Naše úsilí proto směřovalo vedle ověření přesnosti měření zejména k navržení jednoduché metody, prakticky využitelné a aplikovatelné v běžné praxi, při stavebně-technických průzkumech dřevěných konstrukcí. Výsledkem je metodika, která respektuje standardy z oblasti ochrany kulturního dědictví, zejména pak požadavek na minimalizaci zásahu do původní hmotné substance, při vysoké přesnosti stanovení požadovaných mechanických vlastností dřeva. Při stavebně-technických průzkumech se doporučuje kombinace měření např. s endoskopem, pomocí kterého je možné vizuálně hodnotit vnitřní strukturu prvku. Další vhodnou kombinací může být použití mikrovrtání pro zjištění rozsahu skrytého poškození.

Vlastní popis metodiky se věnuje metodickému návodu, kde jsou popsány případy použití, příprava měření, konstrukce přístroje, vlastní průběh měření a způsob vyhodnocování naměřených dat. Pro ověření funkce nového přístroje bylo využito experimentů založených na porovnání naměřených veličin a testování standardních vzorků destruktivními testy podle národních a evropských norem na univerzálním zkušebním stroji.

4 POPIS UPLATNĚNÍ A EKONOMICKÉ ASPEKTY METODIKY

4.1 Popis uplatnění

Metodika je určena správcům památkových objektů a pracovníkům nebo organizacím provádějícím průzkumy dřevěných prvků a konstrukcí památkových objektů, aby mohli hodnotit jejich stav nebo přípravy intervencí pro jejich záchranu, dlouhodobou udržitelnost, zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti či zhodnocení.

Etika – metodika, která respektuje standardy z oblasti ochrany kulturního dědictví, zejména pak požadavek na minimalizaci zásahu do původní hmotné substance, při vysoké přesnosti stanovení mechanických vlastností dřeva.

Účinnost – metoda je účinná pro stanovení pevnosti a modulu přetvárnosti v tlaku podél vláken při roztlačení čelistí ve vyvrtném otvoru ve zkoumaném dřevě. Uplatnění najde dále v situacích, kde není možné použít jiné metody a je potřeba určit mechanické vlastnosti dřeva po celém průřezu prvku.

Inovace – účelem bylo navrhnout novou metodu umožňující přímo v terénu bez odběru vzorků určovat mechanické vlastnosti dřeva, jako je pevnost a modul pružnosti v tlaku podél vláken, což v současné době žádná jiná metoda neumožňovala.

Technologie – popis nového přístroje je součástí patentového spisu číslo 304384, udělený dne 26.2.2014, pod názvem „Zařízení pro terénní měření konvenční pevnosti a modulu přetvárnosti při roztlačování čelistí ve vyvrtném otvoru“, jehož původci jsou Ing. Michal Kloiber, Ph.D., a prof. Ing. Miloš Drdácký, DrSc. Zařízení umožňuje především rychlou a jednoduchou obsluhu bez nutnosti připojení do elektrické sítě.

Komplexnost – soubor technologických informací potřebný pro efektivní aplikaci zařízení, který se opírá o původní výsledky testování patentovaného přístroje na rozsáhlém souboru experimentálních vzorků.

Metodika bude uplatněna „Smlouvou o uplatnění certifikované metodiky“ při diagnostice dřevěných objektů umístěných ve Valašské dědině, uzavřenou mezi Ústavem teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i. a Valašským muzeem v přírodě v Rožnově pod Radhoštěm.

4.2 Ekonomické aspekty

Metodika se týká jednoduchého, přenosného diagnostického zařízení pro terénní posouzení kvality a vlastností dřeva na základě měření pevnosti a modulu přetvárnosti při roztlačování čelistí ve vyvrtném otvoru. Vzhledem k využití přímého zatěžování v tlaku podél vláken korelují výstupní parametry metody (konvenční pevnosti a modulu přetvárnosti v tlaku podél vláken) velmi dobře s mechanickými vlastnostmi dřeva. Uplatnění najde v situacích, kdy je potřeba přesně definovat mechanické vlastnosti konstrukčního dřeva z důvodu zachování

původní hmotné substance především historických staveb. Zachování původních prvků dřevěných konstrukcí historického staveb pro budoucí generace má nevyčíslitelnou hodnotu.

Předpokládané ekonomické přínosy lze vyjádřit ve snížení nákladů na provedení měření mechanických vlastností, kdy není třeba odebírat vzorky a následně laboratorně testovat jejich vlastnosti, což odpovídá 1/3 úspory času a finančních prostředků. **Nejdůležitějším očekávaným přínosem je zvýšení bezpečnosti opravovaných a konzervovaných prvků historického významu a ochrana před jejich poškozením nebo dokonce odstraněním z důvodu nepřesně kvantifikovaných vlastností dřeva.** Dalším, již obtížněji kvantifikovatelným efektem je uvedení myšlenky nového zařízení pro diagnostiku dřeva na trh, kterou lze časem převést do malosériové výroby. Celkově lze shrnout přínosy uplatnění metodiky do využití v praxi díky popsáním experimentálními příkladům a doporučením, které zjednodušuje práci obsluze, takže dochází k zefektivnění její práce a snížení rizika nevhodného použití. Výkresovou dokumentaci pro výrobu patentovaného přístroje poskytuje Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., a výrobu je schopna zajistit firma Ham-Final s sídlem v Brně, která se již podílela na výrobě funkčního vzorku.

5 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- [1] Bethge, K., Mattheck, C., Hunger, E.: Equipment for detection and evaluation of incipient decay in trees. *Arboricultural Journal*, Volume 20, Issue 1, 1996, pp. 13-36.
- [2] Borský, P.: *Kostel Nanebevzetí Panny Marie ve Vranově nad Dyjí – Stavebněhistorický průzkum*, 2009.
- [3] Drdácký, M., Jirovský, I., Slížková, Z.: On the Structural Health and Technological Survey of Historic Timber Structures. *Proceedings of the International Conference: The Conservation of Historic Wooden Structures*, Florence, Vol. I, 2005, pp. 278–284.
- [4] Kasal, B., Drdácký, M., Jirovský, I.: Semi-destructive methods for evaluation of timber structures. *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture VIII*. C.A. Brebia, Editor. *Advances in Architecture*. WIT Press. Southampton, 2003, pp. 835–842.
- [5] Kasal, B., Tannert, T.: *In situ Assessment of Structural Timber. State of the Art reports*. Springer, 2011, 124 pp.
- [6] Kloiber, M., Drdácký, M., Tippner, J., Hrivnák, J.: Conventional compressive strength parallel to the grain and mechanical resistance of wood against pin penetration and microdrilling established by in-situ semidestructuve devices. In: *Materials and Structures*, 48: 2015, Netherlands. ISSN: 1359-5997. (DOI: 10.1617/s11527-014-0392-6)
- [7] Kloiber, M., Drdácký, M., Tippner, J., Sebera, V.: New construction NDT device for *in situ* evaluation of wood by using compression stress-deformation measurements parallel to grain. In: *18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, 2013, September 24-27, Madison, Wisconsin, USA. FPL-GTR-226: pp. 585-592.
- [8] Kloiber, M., Drdácký, M.: *Diagnostika dřevěných konstrukcí historických staveb*. Informační centrum ČKAIT, 2015 (v tisku).
- [9] Kloiber, M., Kunecký, J., Tippner, J., Sebera, V.: A new diagnostic device for in-situ determination of conventional strength and modulus of deformability in compression of wood parallel to fiber. In: *9th International Conference on Structural Analysis Historical Constructions*, Mexico City, 10/2014, Mexico. ISBN: 04-2014-102011495500-102,10 pp.
- [10] Kloiber, M., Tippner, J., Hrivnák, J., Praus, L.: Experimental verification of a new tool for wood mechanical resistance measurement. In: *Wood Research* 57(3): 2012, Slovakia. ISSN: 1336-4561, pp. 383-398.
- [11] Maddox, J., Drdácký, M., Kloiber, M.: In situ assessment of strength of historic wood. In: *9th International Conference on Structural Analysis Historical Constructions*, Mexico City, 10/2014, Mexico. ISBN: 04-2014-102011495500-102, 13 pp.
- [12] Rinn, F., Schweingruber, F., Schär, E.: Resistograph® and x-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. In: *Holzforschung – International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and technology of Wood*, Vol. 50(4), 1996, pp. 303-311.

- [13] Tippner, J., Kloiber, M., Hrivnák, J.: Derivation of Mechanical Properties by Pushing of a Pin into Wood. In: 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 9/2011, Sopron, Hungary. ISBN: 978-963-9883-83-3, volume 2, 575-582 pp.

6 PUBLIKACE, KTERÉ METODICE PŘEDCHÁZELY

- [1] Kloiber, M., Drdácký, M., Tippner, J., Hrivnák, J.: Conventional compressive strength parallel to the grain and mechanical resistance of wood against pin penetration and microdrilling established by in-situ semidestructive devices. In: *Materials and Structures*, 48: 2015, Netherlands. ISSN: 1359-5997. (DOI: 10.1617/s11527-014-0392-6)
- [2] Fíla, T., Kumpová, I., Jandajsek, I., Kloiber, M., Tureček, D., Vavřík, D.: Utilization of Dual-Source X-Ray Tomography for Reduction of Scanning Time of Wooden Samples. In: *Journal of Instrumentation*, (10): 2015. ISSN: 1748-0221, (DOI:10.1088/1748-0221/10/05/C05008)
- [3] Kloiber, M., Drdácký, M.: Zařízení pro terénní měření konvenční pevnosti a modulu přetvárnosti při roztlačování čelistí ve vyvrtném otvoru. Patent číslo: 304384, udělený dne 26.2.2014.
- [4] Kloiber, M., Kunecký, J., Tippner, J., Sebera, V.: A new diagnostic device for in-situ determination of conventional strength and modulus of deformability in compression of wood parallel to fiber. In: *9th International Conference on Structural Analysis Historical Constructions*, Mexico City, 10/2014, Mexico. ISBN: 04-2014-102011495500-102, 10 pp.
- [5] Maddox, J., Drdácký, M., Kloiber, M.: In situ assessment of strength of historic wood. In: *9th International Conference on Structural Analysis Historical Constructions*, Mexico City, 10/2014, Mexico. ISBN: 04-2014-102011495500-102, 13 pp.
- [6] Hasníková, H., Kloiber, M., Zíma, P.: New devices for diagnostics of historical structures. In: *11th European Conference on Non-Destructive Testing*, 10/2014, Praha, Czech Republic.
- [7] Hasníková, H., Kloiber, M., Zíma, P.: Nová zařízení pro diagnostiku historických konstrukcí. In: *Defektoskopie 2014*, 10/2014, Praha, Czech Republic. ISBN: 978-80-214-5035-6, s. 37-43.
- [8] Kloiber, M., Hrivnák, J.: Výzkumná zpráva z hodnocení stavu dřevokazného poškození vazných trámů, prahových trámů, vzpěr a pozednic zvonové stolice Bílé věže v Hradci Králové, Telč, 2014, 76 s.
- [9] Kloiber, M., Hrivnák, J., Bláha, J.: Výzkumná zpráva z hodnocení stavu dřevokazného poškození roubených stěn Chalupy bezzemka z Leskovce (pův. čp. 70) a Chalupy z Lužné (pův. čp. 28) dnes ve VMP v Rožnově po Radhoštěm, Telč, 2014, 161 s.
- [10] Drdácký, M., Kloiber, M.: In-situ compression stress-deformation measurements along the timber depth profile. In: *Structural Health Assessment of Timber Structures*, Book Series: *Advanced Materials Research* 778: 2013, Trans Tech Publications, Switzerland. ISSN: 1022-6680, pp. 209-216.
- [11] Kloiber, M., Drdácký, M., Tippner, J., Sebera, V.: New construction NDT device for in situ evaluation of wood by using compression stress-deformation measurements parallel to grain. In: *18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, 2013, September 24-27, Madison, USA. FPL-GTR-226: s. 585-592.

- [12] Kloiber, M., Drdácký, M.: Nový přístroj pro stanovení mechanických vlastností dřeva. In: Sanace a rekonstrukce staveb 2013, 11/2013, Praha, Czech Republic. ISBN: 978-80-02-02502-3, pp 14-21.
- [13] Kloiber, M., Drdácký, M.: Zařízení pro terénní měření konvenční pevnosti a modulu přetvářnosti při roztlačování čelistí ve vyvrtném otvoru, Užiténý vzor číslo: 24343, udělený dne 24.9.2012.
- [14] Kloiber, M., Drdácký, M.: Zařízení pro terénní měření konvenční pevnosti a modulu přetvářnosti při roztlačování čelistí ve vyvrtném otvoru, Funkční vzorek: 2012-fv-001.