

Vliv povětrnostního stárnutí povrchu dřeva fasád na jeho zapálení a hoření – VĚDECKÁ MONOGRAFIE



2025

Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.
doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.
Ing. Eliška Racková, Ph.D.
prof. Ing. Anton Osvald, CSc.
doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.



Vliv povětrnostního stárnutí povrchu dřeva fasád na jeho zapálení a hoření – VĚDECKÁ MONOGRAFIE

Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.
doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.
Ing. Eliška Racková, Ph.D.
prof. Ing. Anton Osvald, CSc.
doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

2025

OBSAH

Předmluva.....	9
Úvod.....	10
1 Přehled současného stavu.....	11
1.1 Požár.....	12
1.2 Šíření požáru po fasádách.....	14
1.3 Dřevěné fasády a jejich povrchové změny způsobené vlivem povětrnosti.....	18
1.4 Konstrukční řešení dřevěných fasád pro potřeby protipožární.....	28
1.5 Testování fasád pro potřeby protipožární ochrany.....	32
1.6 Předpisy týkající se použití dřevěných fasád.....	39
LITERATURA 1. KAPITOLA.....	42
2 Cíl práce.....	46
3 Metodika práce.....	46
3.1 Materiál.....	46
3.1.1 Borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i> L.).....	46
3.1.2 Douglasska tisolistá (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco).....	47
3.1.3 Smrk ztepilý (<i>Picea abies</i> (L) Karst.).....	48
3.1.4 Modřín opadavý (<i>Larix decidua</i> Mill.).....	49
3.2 Zkušební vzorky pro experimenty.....	50
3.2.1 Zkušební vzorky pro test povětrnostním stárnutím.....	50
3.2.2 Zkušební vzorky pro test zapálením a hořením.....	50
3.3 Zkušební zařízení a postupy při testování.....	50
3.3.1 Zkouška povětrnostním stárnutím.....	50
3.3.2 Zkouška tepelného zatěžování.....	52
3.4 Hodnotící kritéria.....	55
3.4.1 Zkouška povětrnostním stárnutím.....	55
3.4.2 Zkouška tepelným zatěžováním.....	56
3.5 Statistické vyhodnocení.....	58
3.6 Schéma experimentu.....	58
LITERATURA 3. KAPITOLA.....	59
4 Naměřené hodnoty.....	60
4.1 Experiment povětrnostního stárnutí – vliv stárnutí v rámci druhu dřeva.....	60
4.1.1 Změna barvy.....	60
4.1.2 Změna drsnosti.....	60
4.1.3 Hustota testovaných vzorků.....	61
4.2 Experiment tepelného zatěžování – vliv stárnutí v rámci druhu dřeva.....	61
4.2.1 Hodnotící kritérium úbytek na hmotnosti v rámci druhu dřeva (vliv expozice).....	61
4.2.2 Kritéria relativní rychlosti odhořívání, její maximální hodnota, čas dosažení maximální hodnoty a poměr (a)/(b) v rámci druhu dřeva – vliv expozice.....	63
4.2.3 Hodnotící kritérium úbytek 0-48 v rámci druhu dřeva - vliv expozice.....	64
4.3 Experiment povětrnostního stárnutí – vliv stárnutí v rámci testovaných druhů dřeva.....	65
4.3.1 Změna barvy.....	65
4.3.2 Změna drsnosti.....	65
4.3.3 Vliv hustoty.....	66

4.4 Experiment tepelného zatěžování – vliv stárnutí v rámci testovaných druhů dřev.....	66
4.4.1 Úbytek na hmotnosti v rámci expozice - vliv druhu dřeva.....	66
4.4.2 Kritéria relativní rychlost odhořívání, její maximální hodnota, čas dosažení maximální hodnoty a poměr (a)/(b) v rámci expozice - vliv druhu dřeva.....	68
4.4.3 Úbytek na hmotnosti 0-48 v rámci expozice -vliv druhu dřeva.....	69
5 Vyhodnocení a diskuze.....	70
5.1 Změny povrchových charakteristik dřeva exponovaného v exteriéru	70
5.2 Změny v testovaných charakteristikách hoření.....	73
5.3 Vzájemné vztahy mezi jednotlivými vlastnostmi a další možný výzkum.....	76
5.3.1 Vztah barvy a drsnosti k hoření.....	76
5.3.2 Vztah hustota hoření.....	77
LITERATURA 5. KAPITOLA.....	79
Závěr.....	82

SEZNAM OBRÁZKŮ A ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 Časově teplotní křivka požáru.....	13
Obr. 1.2 Tepelná bilance požáru v částečně uzavřeném prostoru	14
Obr. 1.3 Požáry výškových budov v Dubaji, Spojené arabské emiráty.....	14
Obr. 1.4 Požár výškové budovy Busan City of Korea.....	15
Obr. 1.5 Průběh požáru výškové budovy v Londýně.....	15
Obr. 1.6 Faktory podílející se na vzniku obvodového pláště.....	16
Obr. 1.7 Požární scénáře pro požáry fasád.....	17
Obr. 1.8 Fáze rozvoje požáru iniciovaného ve vnitřním prostoru na obvodový plášť.....	18
Obr. 1.9 Chemické složení dřeva.....	21
Obr. 1.10 Principy extrakce karbonylové skupiny v molekule ligninu kvantovým zářením	22
Obr. 1.11 Fotolýza ligninu – α – karbonylová skupina se nejprve excituje absorpcí světla, váže vodík z okolního fenolového hydroxylu a následně vznikají dva radikály „benzylový a fenoxylový“	22
Obr. 1.12 Změna povrchu smrkového dřeva po 2 letech v exteriéru (bez povrchové úpravy)	23
Obr. 1.13 Detail tloušťky fasádních prvků.....	28
Obr. 1.14 Parametry dřevěných fasádních prvků.....	28
Obr. 1.15 Příklady parametrů ovlivňujících požární chování vícepodlažních fasád	30
Obr. 1.16 Izotermické pole při délkové variaci vystupujících konstrukcí ve zmenšeném měřítku 1:7	31
Obr. 1.17 Schéma zařízení	35
Obr. 1.18 Záběr na test před zkouškou	35
Obr. 1.19 Záběr na test během zkoušky.....	36
Obr. 1.20 Schéma zkušebního zařízení pro velkorozměrový fasádní test.....	37
Obr. 1.21 Schéma zkušebního zařízení pro velkorozměrový fasádní test při použití kapalného paliva.....	37
Obr. 1.22 Schéma zkušebního zařízení pro velkorozměrový fasádní test při použití pevného paliva.....	38
Obr. 1.23 Model fasády před testováním požární odolnosti po přirozeném stárnutí po dobu 2let.....	38
Obr. 1.24 Schéma požární bezpečnosti podle ÖSTMAN.....	41
Obr. 3.1 Dřevo borovice.....	46
Obr. 3.2 Dřevo douglasky.....	47

Obr. 3. 3 Dřevo smrku	48
Obr. 3. 4 Dřevo modřínu	49
Obr. 3. 5 Zkušební vzorky pro test povětrnostním stárnutím	50
Obr. 3. 6 Zkouška povětrnostním stárnutím	51
Obr. 3. 7 Laboratorní zařízení dle ČSN EN ISO 2592 (Clevelandova metoda)	52
Obr. 3. 8 Regulace velikosti plamene a jeho působení na vzorek	52
Obr. 3. 9 Schéma rozměrů vzorku a polohy hořáku při experimentu	53
Obr. 3. 10 Celkové schéma nově navrženého laboratorního zařízení	53
Obr. 3. 11 Hoření vzorků při experimentu	54
Obr. 3. 12 Měření barvy dřeva pomocí spektrofotometru	55
Obr. 3. 13 Měření drsnosti povrchu dřeva pomocí profilometru	55
Obr. 3. 14 Celkové schéma experimentu	58
Obr. 4. 1 Průběh barevných změn testovaných druhů dřev během 24 měsíců povětrnostního stárnutí	60
Obr. 4. 2 Průběh změn drsnosti povrchů testovaných druhů dřev během 24 měsíců povětrnostního	60
Obr. 4. 3 Hustoty testovaných druhů dřev použitých na 24 měsíců povětrnostního stárnutí	61
Obr. 4. 4 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro borovici (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	61
Obr. 4. 5 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro douglasku (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	62
Obr. 4. 6 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro smrk (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	62
Obr. 4. 7 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro modřín (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	62
Obr. 4. 8 Průběhy relativní rychlosti odhořívání v závislosti od doby expozice	63
Obr. 4. 9 Hodnoty maximálních rozdílů úbytků na hmotnosti v závislosti od času expozice	64
Obr. 4. 10 Celkový rozdíl barev jednotlivých druhů dřeva před a po dvouleté vnější expozici	65
Obr. 4. 11 Procentuální nárůst drsnosti povrchu jednotlivých druhů dřeva během dvouleté vnější expozice	65
Obr. 4. 12 Procentuální rozdíl mezi hustotou zkušebních těles jednotlivých druhů dřev bez expozice a po dvouleté expozici	66
Obr. 4. 13 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 0 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	66
Obr. 4. 14 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 6 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	67
Obr. 4. 15 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 12 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	67
Obr. 4. 16 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 24 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)	67
Obr. 4. 17 Průběhy relativní rychlosti odhořívání v závislosti od druhu dřeva	68
Obr. 4. 18 Hodnoty maximálních rozdílů úbytků na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva	69
Obr. 5. 1 Změny povrchu dřeva v průběhu vnější expozice pod úhlem 45°	70
Obr. 5. 2 Změny barevných souřadnic L*, a*, b* a celkové změny barvy ΔE^* v průběhu povětrnostního stárnutí vzorků. (faktorová ANOVA ve všech případech prokázala statistickou	70

Obr. 5. 3 Modřín (A) a douglaska (B) před (vlevo) a po 24 měsících přirozeného stárnutí.....	71
Obr. 5. 4 Změny drsnosti povrchů dřeva v průběhu stárnutí v exteriéru (faktorová ANOVA)	72
Obr. 5. 5 Povrch smrku (A) a modřínu (B) před (vlevo) a po 24 měsících přirozeného stárnutí v exteriéru (vpravo) – na ploše 800x800 µm (laserový scanovací mikroskop)	72
Obr. 5. 6 Diferenční FTIR spektra povrchů borovicového, modřínového, smrkového a douglaskového dřeva po 3 (DA3), 6 (DA6), 12 (DA12) a 24 měsících (DA24) povětrnostního stárnutí.....	73
Obr. 5. 7 Úbytek hmotnosti po 240 sekundách od zahájení působení plamenného zdroje.....	74
Obr. 5. 8 Maximální rychlost odhořívání v průběhu vystavení plamennému zdroji	74
Obr. 5. 9 Čas dosažení maximální rychlosti odhořívání.....	75
Obr. 5. 10 Poměr mezi maximální rychlostí odhořívání a časem jejího dosažení.....	75
Obr. 5. 11 Lineární korelace mezi maximální rychlostí odhořívání a celkovou změnou barvy.....	76
Obr. 5. 12 Lineární korelace mezi maximální rychlostí odhořívání a drsností.....	77
Obr. 5. 13 Závislost mezi maximální rychlostí odhořívání těles ze smrku (●), douglasky (▲) a modřínu (■) v průběhu hoření a jejich hustotou.....	77
Obr. 5. 14 Závislost mezi maximální rychlostí odhořívání těles ze smrku (●), douglasky (▲), modřínu (■) a borovice (◆) v průběhu hoření a jejich hustotou	78
Obr. 6. 1 Dřevěná fasáda v praxi.....	83

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. 1 Rozdělení dřevin podle trvanlivosti.....	23
Tab. 1. 2 Třídy reakce na oheň stavebních výrobků kromě podlahových krytin.....	26
Tab. 1. 3 Třídy reakce na oheň pro obklady z masivního dřeva.....	29
Tab. 1. 4 Hodnoty tepelného toku a teplot při modelovém požáru fasád.....	32
Tab. 1. 5 Třídy reakce na oheň pro panely na bázi dřeva.....	33
Tab. 1. 6 Předpisy aplikované v Austrálii.....	40
Tab. 3. 1 Průměrné hodnoty klimatických podmínek podle měsíců v roce 2016.....	51
Tab. 3. 2 Průměrné hodnoty klimatických podmínek podle měsíců v roce 2017	51
Tab. 4. 1 Hodnoty maximální rychlosti odhořívání (v_r max), čas dosažení maximální hodnoty rychlosti odhořívání (τ max) a poměr (a)/(b) pro jednotlivé druhy dřeva a expozice.....	63
Tab. 4. 2 Hodnoty maximální rychlosti odhořívání (v_r max), čas dosažení maximální hodnoty rychlosti odhořívání (τ max) a poměr (a)/(b) pro jednotlivé druhy dřeva a expozice.....	68

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A – třída požáru,
1 – jednostranný nátěr,
2 – dvojstranný nátěr,
 a – součinitel teplotní vodivosti ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$),
A – třída hořlavosti dle ČSN 73 0862 - nyní neplatná norma,
B – třída hořlavosti dle ČSN 73 0862 - nyní neplatná norma,
BNV – bod nasycení vláken (%),
BO – borovice lesní,
BOZP – bezpečnost a ochrana zdraví při práci,
 c – specifická tepelná kapacita ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),
 c_0 – specifická tepelná kapacita dřeva při vlhkosti 0 % ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),
 c_w – specifická tepelná kapacita dřeva při vlhkosti w ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),
 c_{vody} – specifická tepelná kapacita vody ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),
 C – součinitel sálání sivého tělesa ($\text{J} \cdot \text{K}^{-4}$) (protože je vždy $\epsilon < 1$, je vždy $C < C_{\text{č}}$),
 C_1 – třída hořlavosti dle ČSN 73 0862 - nyní neplatná norma,
 C_2 – třída hořlavosti dle ČSN 73 0862 - nyní neplatná norma,
 $C_{\text{č}}$ – součinitel sálání dokonale černého tělesa ($\text{J} \cdot \text{K}^{-4}$),
CLT – křížem lepené dřevo (Cross Laminated Timber),
 d – tloušťka vrstvy (m),
D – třída reakce na oheň (ČSN EN ISO 11 925-2: 2010),
DTD – dřevotřísková deska,
DVD – dřevovláknitá deska,
E – vyzařená energie (J),
E – třída reakce na oheň (ČSN EN 11 925-2: 2010),
 E_0 – vyzařená energie (J),
 E_n – sálavost uvažovaná kolmo k ploše (efektivní) (J),
 E_{γ} – intenzita vyzařování ($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$),
 E_{λ} – spektrální sálavost, (spektrální mohutnost) (J),
 E_{φ} – vysálaná energie pod daným úhlem (J)
 $\text{grad } T$ – teplotní gradient ($\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$),
 h – tloušťka (mm),
HaZZ – Hasičský a záchranný sbor,
 i, j, k – jednotkové vektory ve směru os x, y a z ,
I – impregnace,
IZOTEMP – výrobní označení obleku proti sálavému teplu,
JD – jedle bílá,
komb. – kombinovaný způsob tepelného zatěžování,
KA – Katrit (fungicidně-insekticidní přípravek),
KAOH – nátěr Katritem a následně po dvou dnech Ohňostopem,
KAOHM – nátěr Katritem a následně po měsíci Ohňostopem,
 l_0 – rozměr tělesa při teplotě 0 °C (mm),
 l_p – pracovní délka zářiče (mm),
 l_z – celková délka zářiče (mm),
 l_{θ} – tepelná roztažnost (mm),
LAT – laťovka,
 m – hmotnost látky (g),
 $m(\tau)$ – hmotnost vzorku v čase (τ) (g),

$m(\tau+\Delta\tau)$ – hmotnost vzorku v čase $(\tau+\Delta\tau)$ (g),
 m.n.m. – nadmořská výška (m),
 m_w – hmotnost při dané vlhkosti (kg),
 ML – metodické listy Prezídia HaZS,
 MPSVR ČR – Ministerstvo práce, sociální věcí a rodiny České republiky,
 MV ČR – Ministerstvo vnitra České republiky,
 N – vzdálenost izotermických ploch ve směru normály (m),
 N – neupravený materiál, neupravené dřevo,
 OH – Ohňostop (retardér),
 OL2 – výrobní označení obleku proti sálavému teplu,
 OSB – orientovaná třísková deska (Oriented Strand Board),
 plameň – plamenný způsob tepelného zatěžování,
 P – příkon (W),
 P – tlak v soustavě (Pa),
 PRG – překližka,
 q – hustota tepelného toku ($W \cdot m^{-2}$),
 Q – množství tepla, teplo dodané do soustavy (J),
 Q – hodnota pro zařazení do třídy hořlavosti dle ČSN 73 0862 – (nyní neplatná norma),
 Q_α – pohlcená část (J),
 Q_c – celkový tepelný tok požáru – celková energie (J),
 Q_{cc} – množství vyzářené energie zářičem (J),
 Q_{cv} – energie, která se uvolní mimo prostoru požáru prouděním (J),
 Q_e – celkový dopad (J),
 Q_r – energie, která se uvolní mimo prostoru požáru radiací (J),
 Q_s – energie, která se rozdělí na ohřev konstrukce (J),
 Q_r – odrazená část (J),
 Q_t – část, která tělesem pronikne (J),
 sál. – sálavý způsob tepelného zatěžování,
 S – plocha (m^2),
 SAV – Slovenská akadémia vied,
 Sc – plocha zářiče (m^2),
 SM – smrk ztepilý,
 SMC – modřín evropský,
 $\dot{s}_1$ – vnější šířka (mm),
 $\dot{s}_2$ – vnitřní šířka (mm),
 t_1 – teplota teplejší strany ($^{\circ}C$),
 t_{1e} – teplota teplejší strany během exotermické reakce ($^{\circ}C$),
 t_2 – teplota chladnější strany ($^{\circ}C$),
 t_3 – teplota okolí ($^{\circ}C$),
 t_p – povrchová teplota vyhřívacích těles ($^{\circ}C$),
 t_z – teplota zdroje ($^{\circ}C$),
 t_z – teplota (30 mm od zářiče) ($^{\circ}C$),
 T – teplota (K),
 USA – Spojené státy americké,
 v – výška (mm),
 vr – relativní rychlost odhořívání (%.s-1),
 V_1 – objem soustavy v stave 1 (m^3),
 V_2 – objem soustavy v stave 2 (m^3),
 V_w – objem při dané vlhkosti (m^3),

w – absolutní vlhkost dřeva (g.g^{-1}),
 W – práce vykonaná soustavou (systémem) (J),
 x, y, z – souřadnice (m),
 $Z. z.$ – sbírka zákonů,
 (B) – bílá zóna,
 (D) – dřeň,
 (DL) – dřeňový paprsek,
 (K) – kambium,
 (L) – lumen,
 (L) – floém (lýko),
 (P) – primární stěna,
 (PR) – příčný řez,
 (R) – roční kruhy, letorosty
 (RR) – radiální řez,
 (S) – suberoderm (korek),
 $(S1)$ – vnitřní vrstva sekundární stěny,
 $(S2)$ – střední vrstva sekundární stěny,
 $(S3)$ – vnější vrstva sekundární stěny,
 (SH) – světlehnědá zóna,
 (SL) – střední lamela,
 (T) – terciární stěna,
 (TH) – tmavohnědá zóna,
 (TR) – tangenciální řez,
 (ZH) – zuhelnatělá zóna,
 α – součinitel tepelné roztažnosti (K^{-1}),
 $\delta_m(\tau)$ – relativní úbytek hmotnosti v čase (τ) (%),
 $\delta_m(\tau+\Delta\tau)$ – relativní úbytek hmotnosti v čase ($\tau+\Delta\tau$) (%),
 Δm – rozdíl hmotností (g),
 ΔT – rozdíl teplot ($^{\circ}\text{C}$),
 ΔU – změna vnitřní energie soustavy (J),
 ΔV – změna objemu soustavy (m^3),
 $\Delta\tau$ – časový interval, ve kterém jsou odčítány hmotnosti (s),
 ε – emisivita (-),
 ε – součinitel poměrové teplotní pohltivosti (-),
 η – účinnost (%),
 λ – součinitel tepelné vodivosti ($\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$),
 λ – vlnová délka (m),
 λ_{max} – maximální vlnová délka (m),
 ρ_0 – hmotnost a objem dřeva při nulové vlhkosti (kg.m^{-3}),
 ρ_w – hustota dřeva při dané vlhkosti (kg.m^{-3}),
 τ – čas (s),
 φ – úhel dopadu sálání ($^{\circ}$),
 Φ – tepelný tok (W).

PŘEDMLUVA

Vážení čtenáři,

právě se Vám dostává do rukou publikace s názvem „Vliv povětrnostního stárnutí povrchu dřeva fasád na jeho zapálení a hoření“, která pojednává o dřevěných fasádách a vlivu vybraných materiálových charakteristik souvisejících s vzhledem a hořením dřeva.

Obliba dřevěných fasád z nativního dřeva neustále roste v zahraničí, ale i v České republice a ostatních střeoevropských zemích. Dřevo jako stavební materiál je známé svou schopností regulovat vlhkost a teplotu uvnitř budov, což může přispět k vylepšení tepelné a zvukové izolace. Důvodem je také poměrně vysoká životnost, příznivé ekologické dopady a za jistých okolností bezúdržbovost v případě fasád bez aplikovaného vrchního ochranného nátěru. Je však důležité mít na paměti, že dřevěné fasády bez pravidelné údržby, zejména pokud nejsou ošetřeny ochrannými nátěry, mohou podléhat povětrnostním vlivům, houbám, plísním a hmyzu, a může se postupně zhoršovat nejen estetický vzhled fasády.

Při výběru dřeva a navrhování fasády je také důležité vzít v úvahu místní klimatické podmínky a vhodně zvolit typ dřeva a způsob úpravy, aby se minimalizovaly problémy spojené s vlhkostí, teplotními změnami a škůdci. Důkladná příprava povrchu dřeva a aplikace vhodných ochranných nátěrů mohou prodloužit životnost fasády a snížit potřebu časté údržby.

Je však nutné zkoumat i jevy související s dlouhodobou expozicí fasád na povětrnosti. Autoři této publikace věří, že poznatky o změnách vybraných materiálových charakteristik souvisejících s vzhledem a hořením dřeva na fasádních prvcích budou přínosné nejen pro studenty dřevařských oborů, ale i fakult stavebních, architektury a neméně také pro odbornou veřejnost zabývající se konstrukcí fasád ze dřeva.

Závěrem bychom chtěli poděkovat spolupracovníkům z Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze, kteří přispěli k vydání této knihy. Touto cestou dále vyjadřujeme své poděkování recenzentům prof. Ing. Ladislavovi Reinprechtovi, CSc. a Ing. Petronele Kozlovské, PhD, kterým vděčíme za cenné rady a podnětné připomínky uvedené v recenzních posudcích.

Autoři

ÚVOD

Fasády z nativního dřeva bez následné povrchové úpravy splňují neustále se zpřísnující požadavky na materiály využívané ve stavbách. Jejich nespornou výhodou je efekt na snížení emisí CO₂, ekologická a zdravotní nezávadnost během montáže i použití, bezúdržbovost a tím relativně nízká cena. Za dodržení základních konstrukčních zásad pro zabudování dřeva do exteriéru je také jejich životnost měřena v desetiletích a výjimkou nejsou funkční fasády starší než 100 let. Vzhledem k rostoucí oblíbenosti takovýmto způsobem navržených fasád je vhodné zkoumat jejich vlastnosti v průběhu stárnutí a predikovat možné změny vybraných, z uživatelského ale také bezpečnostního hlediska, významných vlastností.

Výše uvedená hlediska vedla k návrhu experimentální studie prezentované v této práci. Nativní dřevo vybraných druhů jehličnanů, smrku, modřínu, borovice, douglasky, bylo vystaveno urychlenému přírodnímu stárnutí v jižní expozici pod úhlem 45° v Praze. Celková doba stárnutí byla 2 roky a v jejím průběhu byly postupně odebírány zkušební vzorky, které byly podrobeny zkoumání vybraných povrchových charakteristik a následně také tepelnému zatížení plamenným zdrojem. Výsledky experimentů byly vyhodnoceny a jsou prezentovány a diskutovány v této publikaci.

Uvedené druhy dřeva jsou nejvíce využívány v současnosti pro konstrukci bezúdržbových fasád (zejména modřín a smrk), v budoucnu je však možné předpokládat nárůst použití douglaskového dřeva, která byla v ČR v posledních desetiletích výrazněji vysazována jako dřevina s předpokládanou vyšší odolností vůči klimatickým změnám.

Výsledky experimentů vedly ke srovnání vlastností jednotlivých druhů testovaných dřev v průběhu vnější expozice bez kontaktu se zemí a bez přístřešku. Predikce změn barvy, drsnosti povrchů, ale i změn hořlavosti jsou zajímavou informací pro konstruktéry, ale také pro architekty a koncové uživatele, protože jsou významné pro utvoření si představy změn původního řešení v průběhu času. Tato publikace vyplňuje tuto zatím málo prozkoumanou oblast využití dřeva v exteriérových aplikacích.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

Až do uplatnění vynálezu železnice bylo nezbytné, aby se veškerý stavební materiál potřebný pro stavbu nacházel na místě, nebo alespoň v blízkosti stavby. Materiál se tam musel vytěžit, opracovat a případně i zpracovat. Do té doby se dálkové přepravy využívalo obvykle jen pro exkluzivní a drahé zboží, jako bylo například koření. Regionální stavební sloh byl tak závislý na materiálech dostupných v přírodě příslušného regionu, jako například přírodní kámen z Tessinu, břidlice v Hunsrücku a Sauerlandu v Severním Porýní-Vestfálsku, sláma a rákosí na severoněmeckém pobřeží, jíl a hlína na celém území severního Německa. Celosvětově nejrozmanitější a nejdostupnější surovinou bylo dřevo, štípané, později řezané. Dřevo bylo a je nejvšestrannějším stavebním materiálem, snáší namáhání tahem i tlakem a můžeme z něj pořídit všechny stavební prvky, jak pro vlastní obytné prostory, tak i nosné elementy, jako jsou zdi, stropy, podlahy a střechy. Konstrukce dřevěných fasád je úzce spjata s využitím dřeva pro nosné konstrukce. Dříve bývali všechny dřevěné budovy opatřeny dřevěnými fasádami, tato přímá spojitost již současně neplatí. Dřevěné domy se obkládají cihlovými fasádami, masivní zděné budovy se obkládají dřevěnými fasádami nebo fasádami z deskových dřevěných materiálů. Všimneme-li si, ve kterých regionech Evropy se šíří uplatnila kultura dřevěných staveb, vystupují do popředí zejména dvě oblasti: Skandinávie a oblast Alp. Protože tyto kraje vykazují podíl zalesněných ploch kolem 50 %, znamená to, že stavební materiál roste přímo na pozemku. Zásadní rozdíl spočívá ve způsobu opracování a ošetření vnější plochy fasády. Zatímco ve skandinávských zemích byl ochranný nátěr převážně barevný, jako typický červený nátěr směsi volské krve a vápna, v alpských zemích a ve střední Evropě se nacházejí fasády v přírodním stav, anebo přirozeně zašedlé. Tato odlišnost se dá snadno vysvětlit. Sluneční svit je ve Skandinávii především v průběhu zimního období podstatně menší, takže nestačí dřevo přirozenou cestou vysušit. Aby se trvanlivost dřeva udržela, je nutné chránit jeho povrch vrstvou nátěru.

Nejstarší známé fasády ze dřevěných šindelů jsou cca 6000 let staré. V Horním Švábsku byly ve vykopávkách nalezeny zbytky bukových šindelů. Tradice sahá rovněž do staré Číny a Japonska a do jihovýchodní Asie, kde bylo odkryto mnoho starých paláců, které byly obloženy šindeli z teakového dřeva. Až do 19. století se hřebíky vyráběli ručně v kovárnách, zhruba v té době začala jejich průmyslová výroba, a to tvářením za studena z drátů. Díky tomu se konstrukce prkených anebo šindelových fasád podstatně zjednodušila a zlevnila. Tehdy začaly v různých oblastech vznikat typické regionální tradiční produkty, jednak dekorativní šindele, jednak čistě účelově, jednoduché, hranaté šindele.

Dřevěné šindele také dlouho sloužily jako krytina střech. Pro chudé lidi byly dříve šindele typickým prvkem pro fasády a střechy i materiálem obvodových zdí domků. Na mnoha místech byl nadbytek dřeva, a v zimě bylo jeho štípaní tesařskou sekýrou na poměrně jednoduché roubení vítanou změnou celoroční těžké práce. Ve středověku byly dřevěné šindele spolu s došky ze slámy a rákosí nejrozšířenějším materiálem střech. S růstem hustoty osídlení středověkých měst propukaly často ničivé požáry a od 16. století se šindele postupně nahrazovaly pálenými střešními taškami. Na začátku 20. století byly dřevěné šindele z hospodářského hlediska již zcela bezvýznamné.

Po 2. světové válce se dřevěné fasády stavěly méně. Důvodem byly nároky na údržbu a intenzivní péči – požadavky na trvanlivost, odolnost a snadnou údržbu převládaly. Kromě toho zděné fasády vyhovovali lépe požadavkům měšťanské reprezentativnosti. Dalším důvodem bylo potenciálně vyšší nebezpečí požáru, což bylo podmíněno rostoucí hustotou zástavby a značným úletem jisker z vytápění kamny. Pojišťovny ke konci 20. století byly ochotny poskytnout prémii za zvýšení požární odolnosti přestavbou z dřevěných na masivní fasády, čímž byly dřevěné fasády odsouzeny k bezvýznamnosti. Výjimkou byly zemědělská hospodářská staven, která byla z pochopitelných důvodů vždy výlučně dřevěná. Teprve ekologické hnutí 80. let minulého století přineslo oblibu dřevěných fasád, a to v souvislosti s rámovými dřevostavbami a energeticky úspornými pláště budov. Tradiční koncepty byly zásadně zpochybněny, přicházelo se na nové stavební konstrukce vyhovující aspektům trvalé udržitelnosti. Neopracované fasády z modřínového dřeva hrály v této souvislosti zpočátku sice jen malou roli, ale brzy se staly symbolem staveb šetrných k životnímu prostředí.

Trend většího využití dřeva přetrvává dodnes. Při použití dřeva pro opláštění fasád budov je důležité brát v úvahu možné riziko požáru a přijmout opatření k minimalizaci tohoto rizika. Přestože dřevo může být esteticky přitažlivým materiálem pro fasády, správná konstrukce a použití vhodných ochranných opatření mohou hrát klíčovou roli při minimalizaci šíření požáru. Při návrhu a instalaci dřevěných fasád je důležité spolupracovat s kvalifikovanými architekty, stavebními inženýry a odborníky na ochranu proti požáru, kteří mohou poskytnout konkrétní rady a doporučení týkající se bezpečného používání dřeva pro opláštění fasád.

1.1 POŽÁR

Požár, podle zákona (Zákon č. 133/1985 Sb.), je každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení či zranění osob nebo zvířat, anebo ke škodám na materiálních hodnotách. Za požár se považuje i nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata nebo materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy. Zákony týkající se požární ochrany a bezpečnosti často zahrnují ustanovení zaměřená na prevenci požárů a ochranu životů a majetku. V souladu s těmito předpisy je důležité provádět preventivní opatření, jako je dodržování požárních předpisů, bezpečnostní školení a zajištění odpovídajícího vybavení pro hašení požárů, aby se minimalizovaly rizika spojená s požáry a aby se snížila škoda, která by mohla v případě požáru vzniknout.

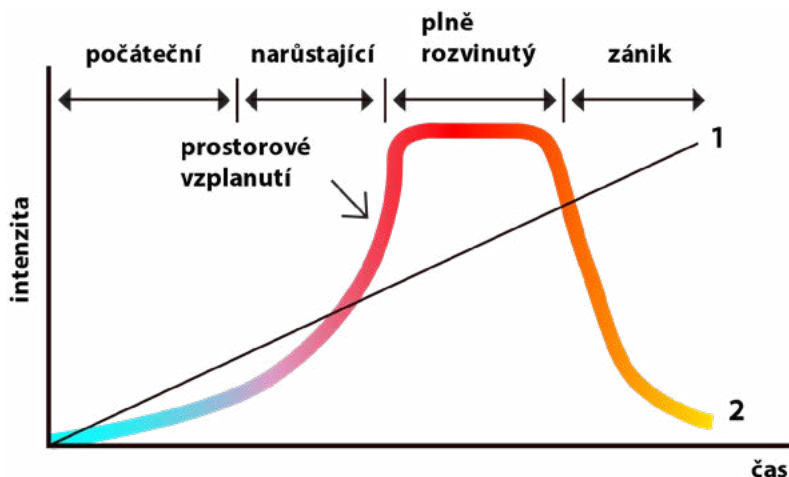
Hoření je jev, který nelze s požárem ztotožnit. Když hovoříme o hoření a ohni všeobecně, vyjadřujeme tím cílený a žádoucí proces s určitým využitím. Hoří v žádoucím čase a prostoru a hoří materiály k tomu určené – palivo. Získaná energie se využívá. Požár reprezentuje nežádoucí hoření, v nechtěném prostoru a čase. Přesné a jasné použití těchto termínů je důležité nejen v právních a bezpečnostních kontextech, ale také ve vzdělávacích a informačních materiálech, aby se zajistilo správné porozumění jejich významu a důležitosti v různých situacích a prostředích. Palivem se stávají všechny materiály požárem zasažené (OSVALD 1997).

Řešení modelů založených na lineárních průbězích má svůj význam, otázkou zůstává, zda takový zjednodušený pohled na problém šíření požáru, tj. lineárními charakteristikami, odpovídá praxi a skutečnému stavu (TROITZSCH 1996, PATZAK 1972). O tom, že to tak docela není, svědčí nejen výzkumy zaměřené na formy šíření požáru realizované ve vyspělých zemích, ale i praktické poznatky a statistiky. To hovoří o vysokém procentu rozsáhlých požárů způsobených právě efekty spojenými s nelineárním průběhem, často u zcela běžných požárů (BABRAUSKAS 2003).

Dřevo, plasty, stejně jako jiné moderní syntetické hořlavé materiály, které jsou dnes ve značné míře používány v rámci konstrukčních materiálů budov, mohou být příčinou vzniku a rozvoje požáru. Z dlouhodobého a cíleného mezinárodního výzkumu vyplynulo, že kromě dusivých a toxických parametrů bude mít obsah nespálených rozkladných produktů v kouři mnohem větší vliv na průběh požáru, než se donedávna předpokládalo. Tyto nespálené, energeticky vysoce vydatné plyny se shromažďují hlavně ve stropních oblastech požárem zasažených prostor. Postupně se ohřívají, až dosáhnou teploty vzplanutí. Když se taková teplota v praxi dosáhne, výsledkem může být velmi rychlé zapálení zmíněných plynů a vytvoření tzv. „vln“ plamenů, které vyzařují teplo sáláním od stropu směrem dolů k zařízení místnosti, což vede, mimo jiné, k rychlému rozšíření požáru (BALOG A KVARČÁK 1999). Požár je charakterizován časově teplotní křivkou obr. 1.1, kterou je možné rozdělit do čtyř samostatných etap (MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ 2020).

Průběh požáru je charakterizován několika chemickými a fyzikálními jevy, které spolu navzájem souvisejí. Základní jevy a procesy, které se vyskytují při požáru, jsou:

- chemická reakce hoření;
- uvolňování a přenos tepla;
- vznik a šíření produktů hoření;
- výměna plynů.



Obr. 1.1 Časově teplotní křivka požáru (MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ 2020)

1 – lineární forma šíření požáru (nepravděpodobná)

2 – nelineární forma šíření požáru (reálná)

Rozvoj požáru je proces spojený se zvětšením plochy hoření a zvýšením rychlosti odhořívání. Rozvoj požáru závisí na:

- množství hořlavé látky (požární zatížení);
- chemických vlastnostech hořlavých látek;
- zvláštěnostech výměny plynů (výbuchy);
- chování stavebních konstrukcí;
- dispozici objektu (členění na požární úseky);
- povětrnostních podmínkách (vnější, vnitřní požáry);
- podmínkách přenosu tepla, které vzniká při hoření;
- vybavení objektu požární technickými zařízeními (<http://www.firecontrol.sk/> 2017).

Teplo se může šířit konstrukcí několika způsoby jako jsou vedení (kondukce), proudění (konvekce) a sálání (radiace):

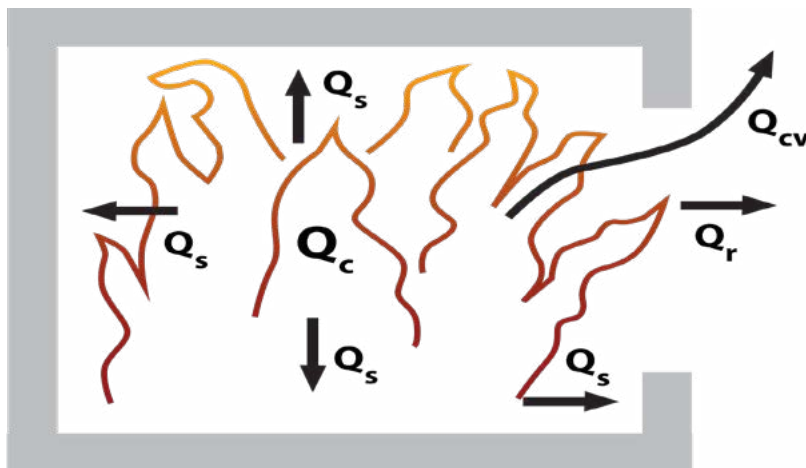
- vedením (přenos tepla nosnými a dělicími konstrukcemi);
- prouděním (ohřátý vzduch a zplodiny hoření zvětšují při konstantní hmotnosti svůj objem, čímž se zmenšuje jejich hustota a jsou chladnějšími vrstvami vzduchu vytlačovány směrem nahoru);
- sáláním (infračervené záření, které se šíří přímočaře, stejně na všechny strany) (<http://www.firecontrol.sk/> 2017).

Rovnici celkové tepelné bilance při požáru v částečně uzavřeném prostoru lze vyjádřit následovně podle vzorce 1.1 (viz obr. 1.2) (MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ 2020):

$$Q_c = Q_s + Q_{cv} + Q_r \quad (J) \quad (1.1)$$

kde:

- Q_c – celkový tepelný tok požáru – celková energie (J);
- Q_s – energie, která se rozdělí na ohřev konstrukce (J);
- Q_{cv} – energie, která se uvolní mimo prostor požáru prouděním (J);
- Q_r – energie, která se uvolní mimo prostor požáru radiací (J).

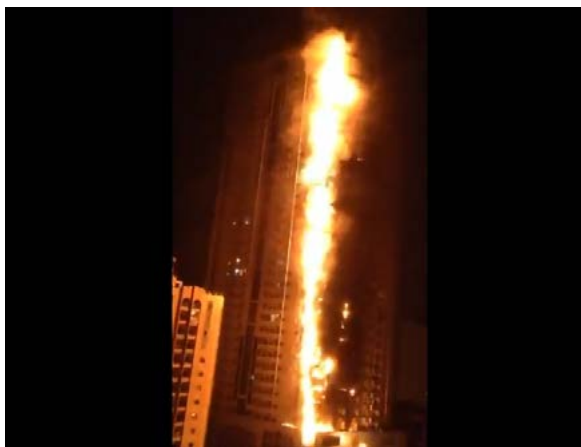


Obr. 1. 2 Tepelná bilance požáru v částečně uzavřeném prostoru (Osvald 2017)

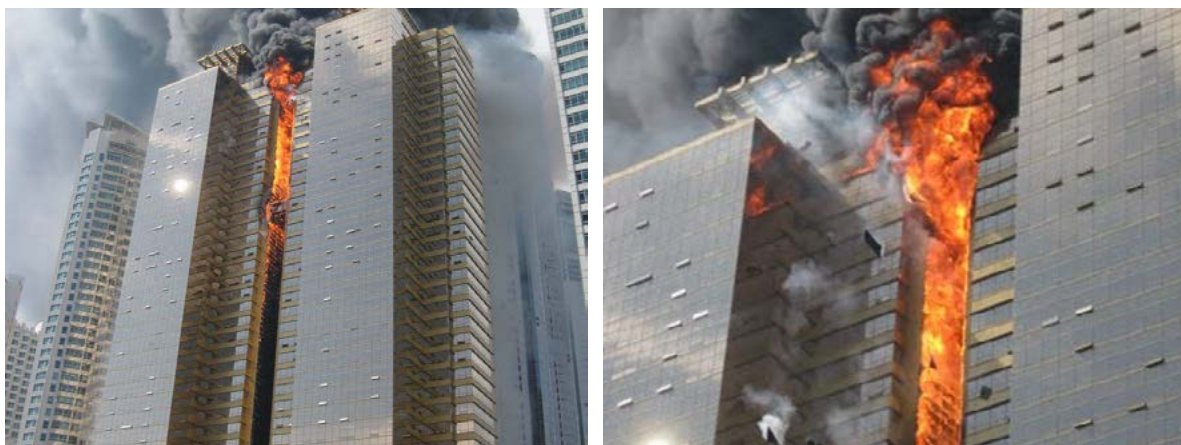
1.2 Šíření požáru po fasádách

Podle stavebních a bezpečnostních expertů bývá často při šíření požáru na vině opláštění budov, které je v mnoha případech vyrobeno z vysoce hořlavých materiálů (LEŠKO A LOPUŠNIAK, 2013). Použití vysoce hořlavých materiálů pro opláštění budov může zvýšit riziko rychlého šíření požáru a vzniku nebezpečných situací. Při výběru materiálů pro opláštění budov je důležité preferovat materiály s nižší hořlavostí a vyšší odolností vůči ohni. Existuje mnoho speciálních stavebních materiálů, které jsou navrženy tak, aby minimalizovaly riziko požáru a zpomalily jeho šíření. Aplikace speciálních ochranných nátěrů a povlaků na opláštění budov může zvýšit odolnost proti ohni a snížit hořlavost materiálu. Tyto nátěry mohou zpomalit šíření plamenů a snížit tepelné vedení. Správná instalace opláštění je důležitá. Je nezbytné ujistění se, že materiály jsou pevně a bezpečně připevněny k budově a nezanechávají mezery nebo mezeru, které by mohly sloužit jako vstupní trasy pro plameny.

Požáry na obr. 1.3-1.5 patří do série podobných událostí, které se v posledních letech odehrály ve výškových budovách. Jeden z těch největších zachvátil na Nový rok luxusní hotel The Adress Downtown stojící v blízkosti nejvyššího mrakodrapu světa – Burdž Chalífa v Dubaji (<http://hnonline.sk/>, 2016). Při tomto požáru bylo zraněno 16 lidí, většina z nich lehce. Přitom opláštění budov bylo z nehořlavých materiálů a budova byla vybavena kvalitními technologiemi protipožární ochrany. Podobný požár zachvátil výškovou budovu Busan City of Korea, (viz obr. 1.4) (KIM, 2013).



Obr. 1. 3 Požáry výškových budov v Dubaji, Spojené arabské emiráty (<http://hnonline.sk/>, 2016)



Obr. 1. 4 Požár výškové budovy Busan City of Korea (KIM, 2013)

Tragické následky měl požár výškové budovy Grenfell Tower v Londýně ve čtvrti Kensington, při němž dne 14. června 2017 zahynulo 79 lidí. Plameny zničily 150 bytů. Požár se šířil po hořlavé fasádě a měl velmi rychlý průběh. Jak lze vidět na obr. 1.5 (<http://www.topky.sk/>, 2017), požár se šířil po fasádě (obr. 1.5a), postupně vnikal do vnitřních prostor (obr. 1.5b), které vyhořely. Na obr. 1.5c je pohled na poškozenou fasádu ze dvou stran budovy.

a)

b)

c)



Obr. 1. 5 Průběh požáru výškové budovy v Londýně (<http://www.topky.sk/>, 2017)

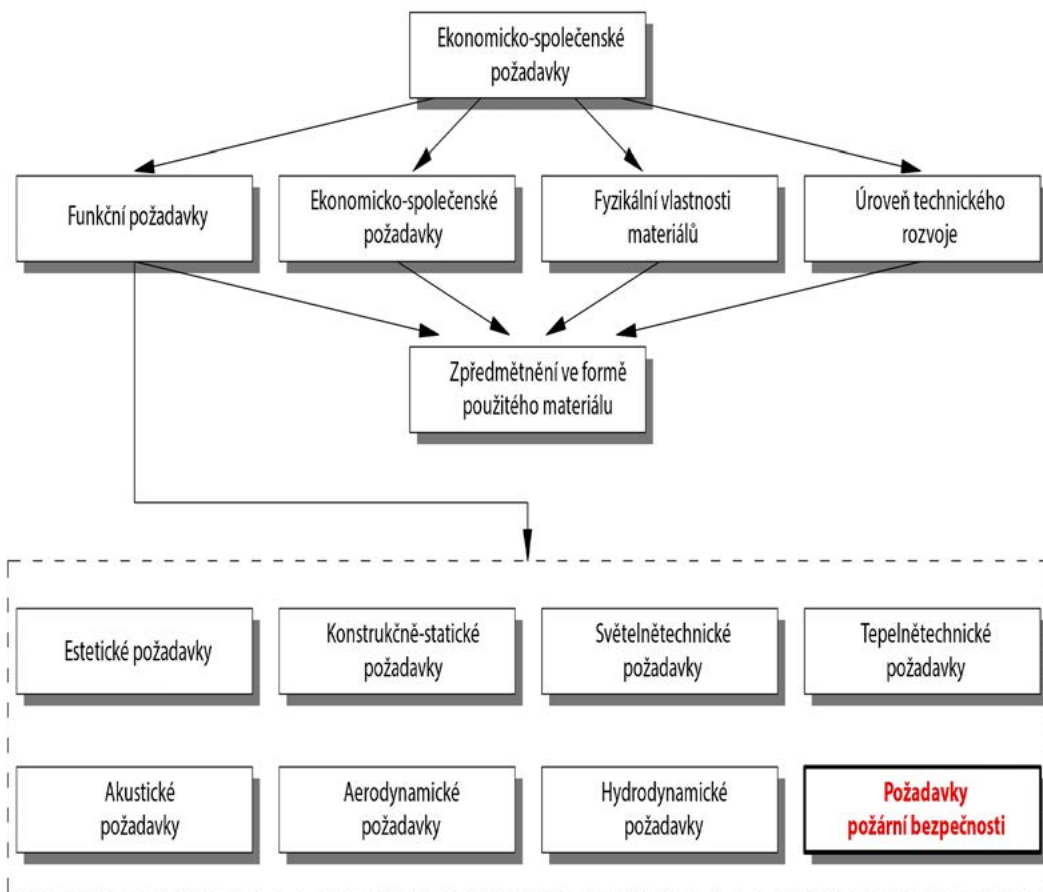
Aplikace hořlavých materiálů (např. dřevo) na opláštění budov je v poslední době často preferovanou volbou mezi designéry a architekty (KOTTHOFF 2001). Při návrhu a výstavbě budov je důležité spolupracovat s architekty a inženýry, kteří mají znalosti o bezpečnostních standardech a předpisech týkajících se požární ochrany. Použití nehořlavých materiálů pro opláštění budov může významně přispět k ochraně životů a majetku v případě požáru. Návrhy a řešení fasád tak vyžadují další opatření k zabránění vzniku požáru. Při návrhu a stavbě budov je důležité dodržovat veškeré bezpečnostní předpisy a normy, které se týkají odolnosti budov vůči požáru. To zahrnuje použití nehořlavých materiálů v rizikových oblastech a instalaci protipožárních systémů. Pravidelná údržba opláštění budov je klíčová pro zajištění jejich trvanlivosti a odolnosti vůči požáru. Pravidelné kontroly a opravy potenciálně nebezpečných oblastí mohou snížit riziko požáru a minimalizovat škody v případě vzniku požáru. Zajištění správného plánování a konstrukce únikových cest a nouzových východů je důležité pro rychlou a bezpečnou evakuaci v případě požáru. Spolupráce se stavebními a požárními inženýry může být užitečná při zajištění dodržování předpisů a při výběru nejvhodnějších materiálů a postupů pro opláštění budov s ohledem na prevenci požárů. V souladu s bezpečnostními a stavebními předpisy je důležité zvolit a správně použít materiály a postupy, které minimalizují riziko požáru a zvyšují bezpečnost budov a jejich obyvatel. Instalace hasicích přístrojů a systémů vodního potlačování požáru, jako jsou hasicí přístroje, hydranty a sprinklery, může být klíčová pro rychlé zásahy a potlačení požáru.

Důsledné dodržování předpisů a standardů týkajících se požární ochrany a spolupráce s kvalifikovanými odborníky mohou výrazně snížit riziko požáru a zvýšit bezpečnost budov a jejich obyvatel. Při navrhování a výstavbě budov by měla být bezpečnost vždy prioritou. Cílem těchto opatření je zabránit nekontrolovatelnému šíření požáru po povrchu nebo v dutinách. Aplikací těchto opatření je možné použít dřevo bez snížení požadované úrovně bezpečnosti nutné v rámci ochrany před požáry.

Tato opatření můžeme rozdělit na opatření z oblasti (OSVALD 2017):

- materiálového řešení;
- konstrukčního řešení;
- certifikace;
- právního řešení v oblasti požární ochrany.

Návrh obvodového pláště je multidisciplinárním procesem (obr. 1.6). Cílem této multi-disciplinarity je zajistit optimalizaci technického a technologického řešení pro dosažení nejvhodnějšího návrhu obvodového pláště (HIDALGO-MEDINA 2015, LEŠKO a LOPUŠNIAK 2013). Leško (LEŠKO 2017) na základě několika prací zpracoval studii základních kritérií optimalizace obvodového pláště. Samotná optimalizace přitom spočívá v několika základních kritériích, jako jsou udržitelnost (HAMDY ET AL. 2011, FESANGHARY ET AL. 2012, ISLAM 2015, ASDRUBALI ET AL. 2013, DAMSKY A GERO 1997, SHI 2011), POHODA VNÍMANÁ UŽIVATELEM BUDOVY (TEPELNÁ, AKUSTICKÁ, OPTICKÁ) (YU 2015, CROITORU ET AL. 2015, ORAL ET AL. 2004), ARCHITEKTONICKO-KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ (LI A HU 2014), STATICKÁ ODOLNOST, POŽÁRNÍ BEZPEČNOST APOD.



Obr. 1. 6 Faktory podílející se na vzniku obvodového pláště (Puškár 2002)

Problémem je i dodatečné zateplování fasád budov hořlavými materiály a také zvýšené požadavky aplikace dřeva z estetického a funkčního hlediska. V mnoha národních předpisech se dřevěným obkladům fasád věnuje zvláštní pozornost a jsou stanovená přísná kritéria a podmínky, ve kterých mohou být dřevěné obklady použity. Obecně se vychází z požárních scénářů možného zapálení a následného požáru fasád, které jsou znázorněny na obr. 1.7 (KOTTHOFF 2001).

Scénář A:

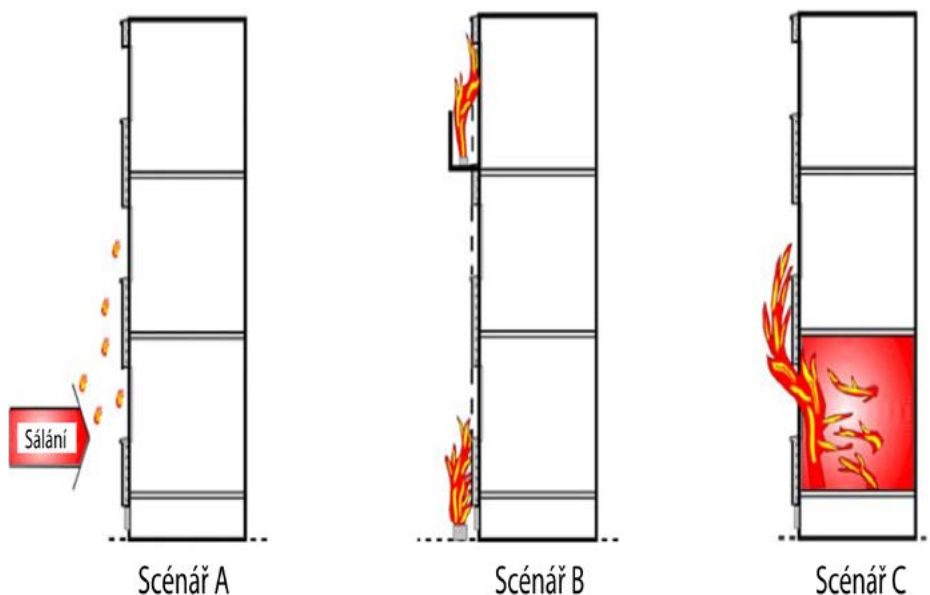
Požár se šíří ze sousedních budov, nebo z charakteristiky zdrojů požáru definované v předpisech, na budovu. Pro většinu aplikací je analýza rizika vzniku požáru omezena na hodnocení rizika vznícení, když je fasáda vystavena sálavému teplu. Pokud jsou budovy blízko u sebe, analýza může být rozšířena na kontakt s plamenem a sleduje se také vzplanutí materiálů. V rámci tohoto scénáře se uvažuje i se šířením požáru ze sousední budovy na sousední budovy. Pro hořlavé fasády je třeba zvážit nárůst tepla z hořící fasády, pokud dojde k jejímu zapálení, jakožto i sálavé teplo z otvorů a plamenů, které prochází od otvorů na fasádě sousední budovy. V rámci právních předpisů požární ochrany se při tomto scénáři uvažuje i s odstupovými vzdálenostmi.

Scénář B:

Požár se šíří z vnějšího zdroje požáru, který sousedí s fasádou a je jiný než sousední budova, např. požár vozidla, požár v odpadkovém koši apod. Rovněž takovým zdrojem může být zdroj požáru na prostoru balkónu (viz horní část obrázku 1.7 scénář B).

Scénář C:

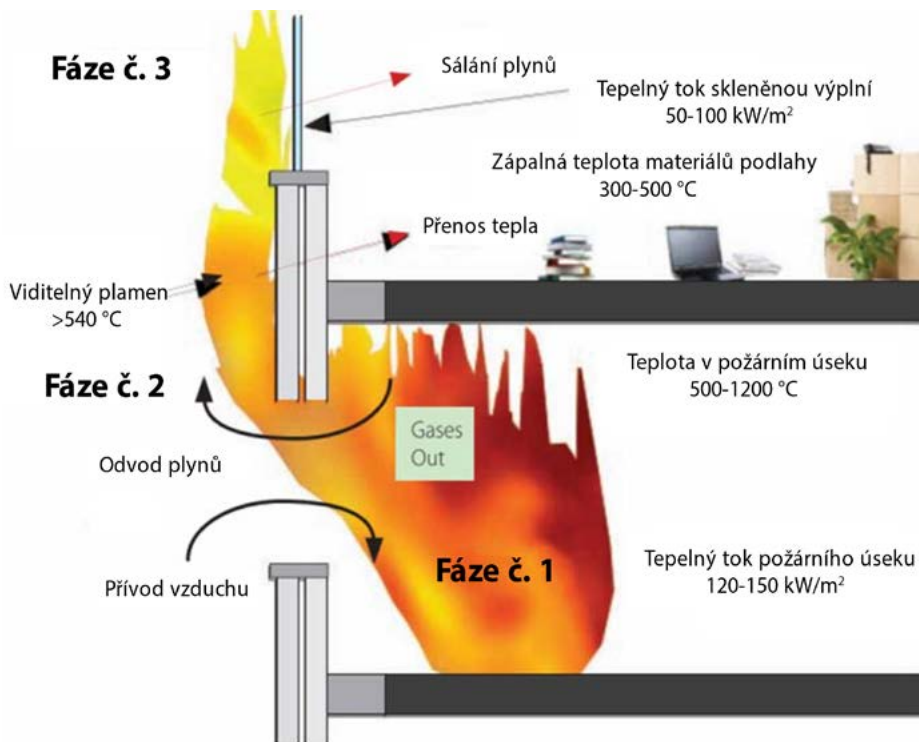
Vertikální šíření požáru mezi otvory z plně rozvinutého požáru v rámci budovy. Nejméně jeden otvor na fasádě.



Obr. 1.7 Požární scénáře pro požáry fasád (KOTTHOFF 2001)

Několik velkorozměrových testů ukázalo, že scénář C, požár v místnosti, má dopad s největšími následky na fasády (tento případ byl také zdrojem velkého požáru v Londýně 14. 6. 2017). Detailnější rozpracování scénáře C zpracoval podle několika autorů Leško (LEŠKO 2017) ve své kandidátské práci. V rámci první fáze (viz obr. 1.8) plameny a horké plyny zasahují vnitřní povrchy prostoru, který je vystaven účinkům požáru. V prvotních stádiích rozvoje požáru se hoření vyskytuje výhradně ve vnitřním prostoru požárního úseku. Požár je řízen větráním (přebytek paliva, nedostatek kyslíku). V závislosti na velikosti požárního úseku a úrovni požárního zatížení plameny vystupují v důsledku expanze tlaku a turbulentního proudění plamenů na vnější povrch obvodového pláště (KAIHUA ET AL. 2015). V této fázi je již požár řízen kvalitou povrchu hořícího materiálu (přebytek kyslíku) a narůstá riziko jeho rozvoje do vyšších podlaží (krok 2 obr. 1.8) (KAIHUA ET AL. 2015).

Pokud v tomto případě obvodový plášť obsahuje hořlavé komponenty, může jejich přítomnost v konstrukci způsobit přídavnou tepelnou složku, která má kromě rychlejšího rozvoje požáru také vliv na snížení výsledné hodnoty požární odolnosti. V poslední fázi se plameny vystupující z požárně otevřených ploch prostřednictvím sálavé složky přenosu tepla snaží o zapálení hořlavých prvků na dalším podlaží, se snahou zajistit tak kontinuální šíření požáru mezi podlažími (fáze 3 obr. 1.8).



Obr. 1.8 Fáze rozvoje požáru iniciovaného ve vnitřním prostoru na obvodový plášť (LEŠKO 2017)

1.3 Dřevěné fasády a jejich povrchové změny způsobené vlivem povětrnosti

V dějinách stavebnictví existuje jen málo prvků, které by byly použitelné ještě dnes. Ale nalezneme i výjimky jako například dřevěné fasády. Na podstatě dřevěných fasád se od té doby příliš nezměnilo; i když moderní technologie řezání a frézování umožnily vyrábět různé profily, zvýšit rozměrovou stálost a zavést různé varianty jejich upevnění, k zásadní změně nedošlo. Dřevěná fasáda není jen dočasnou módní záležitostí, uplatňuje se, protože se dříve i dnes vyznačovala vším, co dělá fasádu dobrou: neobsahuje více materiálu, než je nezbytně nutné, je po určitou dobu odolná vůči povětrnostním vlivům, umožňuje různé varianty návrhu, lze ji snadno montovat, upravovat a měnit. Dřevěné fasády se sestávají z prken a spojovacích prvků (například hřebíky) (GABRIEL 2011).

Dřevo není kompaktní hmotou, naopak je složeno z velkého počtu malých částic – buněk, které jsou vázány těsně jedna na druhou. Tvar, velikost, rovněž i funkce buněk je různá. Jejich vzájemné seskupení a uspořádání je u jedné a téže dřeviny pravidelné, takže podle toho lze rozeznat různé druhy dřevin od sebe. Na kmene stromu již pouhým okem rozeznáme vnější kůru, popřípadě borku, pod ní je vnitřní kůra s lýkem a jemným dělivým pletivem (kambiem), ze kterého se tvoří směrem dovnitř kmene dřevo a ven lýko. Pak je patrné dřevo (největší část), složené z koncentricky uspořádaných letokruhů. Vnitřní část dřeva kmene bývá u některých dřevin tmavěji zbarvená a nazývá se jádro a vnější část (světlejší) nazýváme bělí. Využití dřeva v exteriéru, jakožto přírodního a obnovitelného materiálu, se neustále zvyšuje.

V České i Slovenské republice narůstá podíl dřevostaveb ve výstavbě, který je úzce spjat s použitím dřevěných fasád, teras a dalších exteriérových dřevěných prvků. Tento trend se také přenesl do městské výstavby v podobě dřevěných prvků hřišť, městského mobiliáře či drobných trvalých i dočasných staveb a fasádních prvků. Obecně jsou dřevěné fasády žádané pro svou estetiku a funkční hodnotu. Dřevo má jako materiál pro tyto konstrukce řadu výhod. Vyznačuje se nízkou tepelnou vodivostí a výbornou odolností vůči atmosférické korozi, schopností vázat CO₂ ve své hmotě, lehkou opracovatelností, snadnou manipulací a možností montáže, recyklovatelností a v neposlední řadě také příznivým působením na psychiku člověka. Dřevo má přírodní a teplý vzhled, který může přidat dojem příjemnosti a přirozenosti k moderním stavebním konstrukcím. Dřevěné fasády a terasy mohou vytvářet atraktivní a pohodlné prostředí. Je obnovitelným zdrojem a jeho používání může pomoci snižovat ekologickou stopu stavebnictví. Dřevostavby mohou mít nižší uhlíkovou stopu ve srovnání s jinými materiály, což je v souladu s rostoucím povědomím o ochraně životního prostředí. Má přirozenou tepelnou izolační schopnost, což může vést k nižším nákladům na vytápění a chlazení v budovách. Dřevěné fasády a konstrukce mohou přispět k energetické účinnosti budov a snížení energetické spotřeby. Dřevěné konstrukce mohou být rychleji a snadněji postaveny ve srovnání s jinými materiály, což může snižovat celkové náklady a časový rámec projektů. Dřevo je mimořádně flexibilní materiál, který umožňuje širokou škálu designových možností. Dřevěné fasády a terasy mohou být snadno přizpůsobeny různým architektonickým stylům a osobním preferencím. Trend rostoucího využití dřeva ve stavebnictví odráží rostoucí zájem o udržitelnou a ekologickou výstavbu, stejně jako o esteticky příjemné a přírodní prostředí pro život. Jedná se o pozitivní vývoj, který má potenciál přinést mnoho výhod pro životní prostředí i pro samotné obyvatele.

Přírodním charakterem dřeva ale také vznikají nevýhody tohoto materiálu a při návrzích je tak nutné brát v úvahu jeho organický původ. Pokud je dřevo vystaveno povětrnostním podmínkám, podléhá abiotickým (sluneční záření, teplota, voda, vítr) i biotickým (hmyz, houby a plísně) činitelům (SONDEREGGER ET AL. 2015, ŽLAHTIČ A HUMAR 2016). Postupem času dřevo degraduje a ztrácí tak své přirozené vlastnosti (WILLIAMS 2005). Sluneční záření, teplotní výkyvy, vlhkost a vítr mohou postupně ovlivnit povrchovou strukturu i pevnost dřeva. To může vést k prasklinám, deformacím, zbarvení a obecně ke zhoršení estetického vzhledu a pevnosti materiálu. Dřevo je náchylné k napadení hmyzem, houbami a plísněmi, což může vést k hnilobě, rozkladu, a celkově snižuje jeho trvanlivost a odolnost vůči vnějším vlivům.

Biologické vlivy na životnost fasády

Biologická degradace dřeva hraje důležitou roli v koloběhu uhlíku v přírodě a dřevo jako organický materiál jí podléhá (Marias a kol. 2022). Biologickou degradaci dřeva způsobují živé organismy, parazitující na dřevě. Například plísně, houby, hmyz a bakterie, způsobující fyzikální a chemické poškození (Evans 2015, Verbist a kol. 2019). Dřevokazné houby tvoří rozlehlé svazky hýf, které prorůstají dřevem a svým metabolismem rozkládají chemické vazby, čímž způsobují ztrátu pevnosti (Gabriel 2013, Gandelová 2002). Dřevokazný hmyz klade vajíčka na povrch dřeva, jeho larvy vyhlodávají dřevo pod povrchem a ve větší hloubce (Hejdová 2011). Plísně způsobují hlavně estetické škody, v exteriéru se podílí na tzv. „šednutí dřeva“, a mohou negativně působit na člověka (Pánek a kol. 2019). Jejich vliv na mechanické vlastnosti je pouze výjimečný (Ptáček 2009). Plísně a dřevozbarvující houby nepoškozuji hlavní složky buněčných stěn – celulózu, lignin a rozkládají hlavně vedlejší látky dřevní hmoty, jako jsou pektiny, cukry, a jiné (Reinprecht 2016). Autoři Oberhofenerová a kol. (2018) nebo Hýsek a kol. (2018) uvádí, že poškození biologickými škůdci lze zastavit odstraněním vhodných podmínek k jejich životu, vlhkého a málo větraného prostředí. Prevence proti biotickým škůdcům je klíčová pro zachování integrity dřeva.

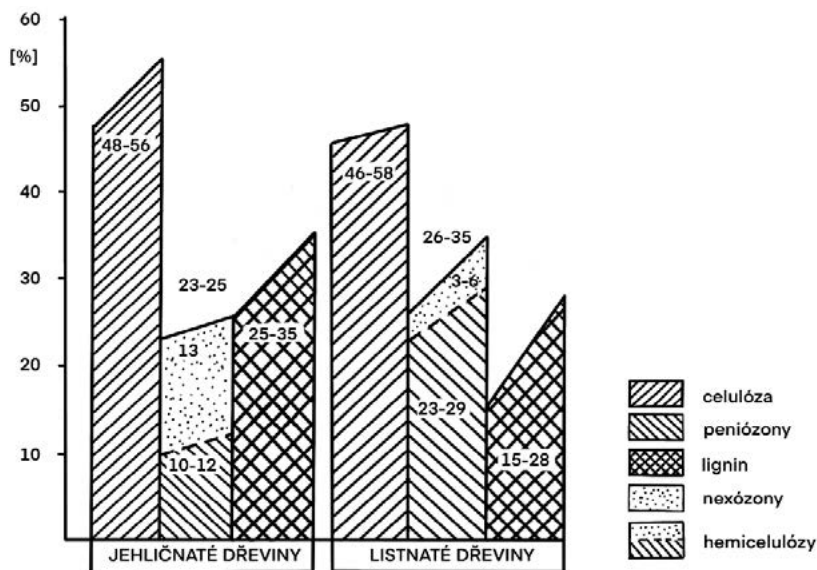
Abiotické vlivy na životnost fasády

Dřevo může být náchylné k absorpci vlhkosti, což může vést k jeho otoku, změně rozměrů a hnilobě. Nedostatečná ochrana dřeva proti vlhkosti může způsobit trvalé poškození materiálu. Opakované změny teploty a vlhkosti mohou vést k roztažení a smrštění dřeva, což může být příčinou deformace a trhlin v materiálu. Aby se minimalizovaly nevýhody spojené s použitím dřeva v exteriérech, je důležité správně vybrat typ dřeva s ohledem na jeho odolnost a schopnost odolávat vnějším vlivům. Rovněž je důležité používat vhodné nátěry a ochranné látky, které mohou chránit dřevo před povětrnostními vlivy a biotickými škůdci. Pravidelná údržba je také klíčová pro zachování kvality a trvanlivosti dřevěných prvků v exteriérech. Pokud při návrhu nejsou respektovány základní konstrukční zásady, není možné povětrnostní stárnutí považovat pouze za povrchový fenomén (GOBAKKEN ET AL. 2011). Abiotičtí

činitelé způsobující atmosférickou degradaci dřeva sice většinou nepoškozují dřevo v celém jeho objemu (EVANS 2008), ale způsobují nežádoucí povrchové změny jako šedivění, tvorbu trhlin, vyplavování extraktivních látek, zvyšování vlhkosti (OZGENC ET AL. 2012) a mohou tak být vstupní branou pro nebezpečné poškození biotickými činiteli, dřevokaznými houbami a hmyzem (REINPRECHT 2008).

Nejvýznamnějšími faktory ovlivňující změny vlastností dřeva vystaveného v exteriéru jsou synergicky působící sluneční záření a vlhkost (HON A SHIRAIISHI 2001, MÜLLER ET AL. 2003). Dřevo je hygroskopický materiál schopný absorbovat nebo odevzdávat vodu v různých skupenstvích. Nejčastěji přijímá vodu ve formě plynné (páry) ze vzdušné vlhkosti a ve formě kapalné (MICHALEC A WASIK 2022). Voda se ve dřevě vyskytuje v buněčných stěnách (do cca 30 % vlhkosti = voda vázaná) a v prostoru mezi buňkami (nad cca 30 % = voda volná). Jestliže dojde ke změně hodnoty vody vázané, dochází k rozměrovým změnám, přičemž zvětšování rozměrů se nazývá „bobtnání“ a zmenšování „sesychání“. Hranice mezi vodou volnou a vázanou se označuje „bod nasycení vláken“, pohybuje se okolo 30% relativní vlhkosti a jeho hodnota závisí na druhu dřeviny (GAŠPARÍK ET AL. 2022). Rozměrové změny jsou rozdílné v jednotlivých směrech (v tangenciálním směru jsou přibližně dvojnásobné než v radiálním směru) což je způsobeno anizotropií dřeva (podlouhlý tvar buněk dřeva a orientace stavby stěn buněk) (ROWELL 2021). Anizotropie kromě toho vyplývá z rozdílných velikostí buněk v průběhu růstového období a částečně z převládajícího směru určitých typů buněk (např. dřevových paprsků) (ŽÓŁTOWSKA ET AL. 2022). Nerovnoměrné bobtnání a sesychání způsobují drobné trhliny ve dřevě (borcení dřeva) (REINPRECHT 2008). Tvarové změny mají za následek poškození nátěrového systému (HORÁČEK ET AL. 2012). Vnitřní napětí pak může způsobit trhliny také v nátěru, které se stávají vstupní branou pro řadu škůdců (ŠIMŮNKOVÁ ET AL. 2022). Pokud dřevěný prvek odděluje jednotlivé prostory s rozdílnou vlhkostí, může nastat problém, že skrz dřevo začne z prostředí s vyšší vlhkostí prostupovat a může také poškodit nátěrový systém (např. odlupováním nátěru), což je častý problém např. u dřevěných oken ale i fasád (ŁUKOMSKI 2022). Expozice slunečního záření na dřevo způsobuje mnoho nevratných změn v povrchové vrstvě dřeva. Sluneční světlo, které dopadá na zemský povrch, obsahuje tyto druhy záření: viditelné světlo (VIS) (energeticky tvoří 45 %), infračervené záření (IR) (50 %) a ultrafialové (UV) záření (5 %) (BUCHNER ET AL. 2019). Viditelné světlo (VIS) a infračervené záření (IR) způsobuje pouze mírný fotodegradační proces. Průnik záření je maximálně do hloubky 200 µm od povrchu dřeva. Dopady těchto druhů záření na degradaci dřeva nejsou zásadní (WACHTER ET AL. 2019). Ultrafialové (UV) záření naproti tomu způsobuje výrazný fotodegradační proces. Ačkoli UV záření dopadá v různých vlnových délkách, největší degradaci způsobuje část UV záření s kratší vlnovou délkou (EVANS ET AL. 2008). Průnik a absorpce záření, nebo tvorba reaktivních radikálů jsou procesy, které způsobí degradaci dřeva. Záření může proniknout až do hloubky 75 µm od povrchu dřeva (PÁNEK A REINPRECHT 2016). Aby foton UV záření způsobil chemickou změnu, musí být jeho energie dostatečná k tomu, aby zvýšila jeden z elektronů ve sloučenině z její základní energetické hladiny na vyšší úroveň, což umožňuje lámání nebo formování chemických vazeb (WAYNE 1996). Absorpce záření složkami dřeva (hlavně ligninem) vytváří excitované molekuly s vyšším obsahem energie (PAPP ET AL. 2004). Uvolněná energie z excitovaných molekul a současný průběh chemických depolymerizačních i jiných reakcí, při kterých se homolyticky štěpí kovalentní vazby (hlavně v ligninu) a vznikají reaktivní radikály, způsobí primární fotochemické produkty, které poškozují strukturu dřeva (POLETTI 2017). Transport volných radikálů hlouběji do dřeva a průběh řetězových reakcí za tvorby dalších volných radikálů způsobí sekundární fotochemické produkty, a to až do hloubky 2500 µm od povrchu dřeva (REINPRECHT 2016).

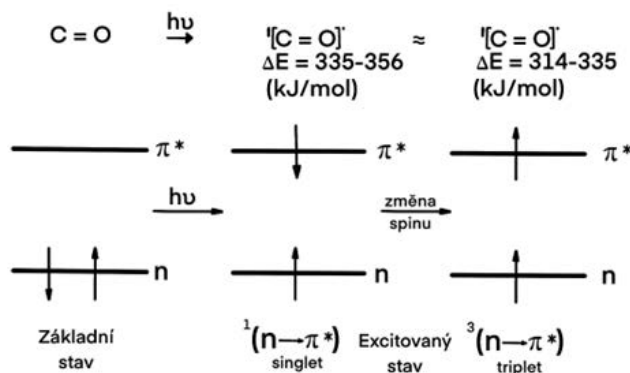
Dalšími faktory jsou teplota, vítr nebo např. kyselé deště (FEIST 1990, EVANS 2008, TEACÁ ET AL. 2013). Míra degradace je ovlivňována specifickými podmínkami, které se liší v závislosti na délce expozice v exteriéru, klimatických podmínkách, nadmořské výšce, zeměpisné poloze a orientaci ke světovým stranám. Degradace dřeva se na první pohled projevuje změnou viditelných vlastností jako barvy dřeva, lesku, uvolňováním dřevních vláken, postupnou erozí povrchu dřeva a tvorbou trhlin (WILLIAMS A FEIST 1999). Současně ale dochází také ke změně v anatomické struktuře a chemickém složení dřeva (FEIST 1990). Chemické složení dřeva je samo o sobě velmi variabilní nejen mezi různými druhy dřevin, ale také v rámci jednoho druhu a často se liší i pro jeden kus dřeva. Je dáno organickými složkami dřeva – především polysacharidy a polyfenoly: celulóza, hemicelulózy a lignin. Polyfenolický charakter má lignin a tvoří téměř zbytek složení, které lze vidět na obrázku 1.9 (GANDELOVÁ ET AL. 2002). Doprovodné složky dřeva jsou tvořeny ostatními organickými a anorganickými látkami (GRYC a HORÁČEK, 2005).



Obr 1.9 Chemické složení dřeva (Upraveno dle Reinprecht 2008)

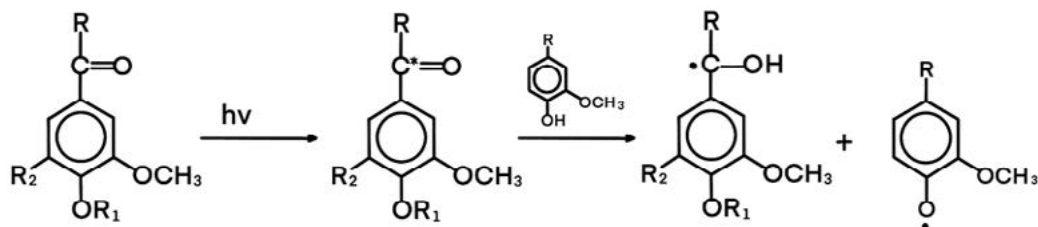
Polysacharidy mohou ve dřevě degradovat více způsoby (REINPRECHT 2016). Z hlediska trvanlivosti nátěrů v exteriéru je nejvýznamnější hydrolyza polysacharidů. Hydrolyza by byla minimální, pokud by probíhala v čisté vodě (Stamm 1956). V exteriéru se ovšem vyskytuje voda obsahující částice prachu, mikroorganismů (například plísně) a různé druhy emisí, měnících pH vody (ROWELL 2012). Princip hydrolyzy spočívá v zabudování molekul vody do oligomerní nebo polymerové molekuly dřeva při jejím současném rozkladu na menší molekuly (WEI ET AL. 2022). Příkladem může být hydrolytické rozštěpení jedné glutinové vazby v makromolekule celulózy, za vzniku dvou menších makromolekul se dvěma nově vytvořenými koncovými skupinami. Respektive totální hydrolyza celulózy prostřednictvím molekul vody za vzniku molekul D-glukózy (BÉGUIN a AUBERT 1994). Hydrolyzou se lehce odštěpují acetylové skupiny z hemicelulóz za vzniku kyseliny octové, která potom působí jako autokatalyzátor i katalyzátor dalších chemických reakcí (REINPRECHT 2008).

Lignin je chemicky méně stabilní než celulóza a má vysokou absorpci světla (HÝSEK a ŽÓLTOWSKA 2022). Schopnost absorbovat UV záření, činí lignin náchylný k dlouhodobému rozkladu, což je vlastnost, která má důsledky na odolnost povrchu dřeva a nátěrových systémů (TONDI ET AL. 2013). Trojrozměrný polymer se skládá z vazeb C–O–C a C–C. Lignin nemá jedinou opakující se jednotku, jako je tomu u celulózy, a hemicelulóz. Skládá se ze složitě uspořádaných substituovaných fenolických jednotek (ŁUKAWSKI ET AL. 2020). Přílnavost dřevěných transparentních nátěrů během vnější expozice, a jejich celková trvanlivost, je silně ovlivněna rozkladem ligninu a extraktů v důsledku UV a viditelného (VIS) spektra slunečního světla, pronikajícího těmito typy nátěrů (PÁNEK ET AL. 2019). Reakcím ligninu se věnuje pozornost z několika hledisek, protože probíhají i v kyselém prostředí vlivem vysokých teplot a světla (TRIBULOVÁ ET AL. 2016). Ve vztahu k nátěrovým hmotám je nejdůležitější reakce ligninu se světlem, kdy dochází k rozpadu ligninu (fotolýza + fotooxidaci), jelikož lignin absorbuje 80–95 % záření. Tato degradace je nejčastěji způsobena slunečním svitem a zejména jeho složkou UV zářením (fotolýza) (NIKAFSHAR ET AL. 2021). Fotolýza ligninu je zahájena absorpcí UV záření s vlnovými délkami pod 200 nm a z oblasti 200 až 300 nm, s určitým maximem při 280 nm. U molekul s konjugovanými vazbami (např. „aromatické jádro + dvojitá vazba v propanové jednotce ligninu“) se absorbuje i záření z viditelné oblasti spektra nad 400 nm (FEIST a HON 1984). Například π – elektrony v nenasycené vazbě uhlíků C=C absorbují záření s vlnovou délkou $\lambda=190$ nm, avšak v ligninu v konjugovaném systému $C\alpha=C\beta$ propanové jednotky s aromatickým jádrem (chromofor; $-C=C-C=C-$) dokáže absorbovat i energeticky slabší záření s větší vlnovou délkou $\lambda=520$ nm (REINPRECHT 2016). Obdobný vliv na snížení energie absorbovaného kvanta záření mají i funkční skupiny s volným elektronovým párem (tzv. auxochromy) (KSIBI ET AL. 2003). Molekuly ligninu se po absorpci záření dostávají do energeticky bohatších excitovaných stavů a snadněji vstupují do různých chemických reakcí.



Obr. 1.10 Principy extrakce karbonylové skupiny v molekule ligninu kvantovým zářením
(Upraveno dle Reinprecht 2008)

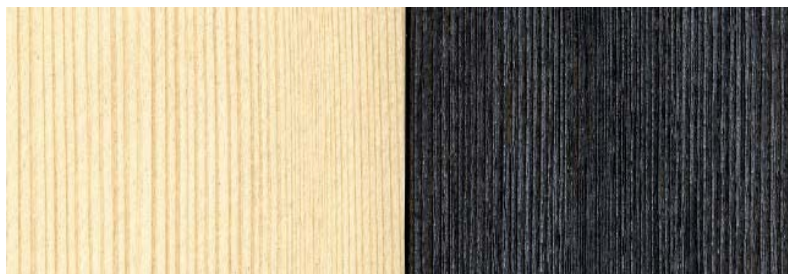
Základní principy excitace molekul kvantového záření a následné tvorby radikálů je vidět na příkladu α -karbonylové skupiny fenylpropanové jednotky ligninu obrázek 1.10 (REINPRECHT 2008). Excitovaná α -karbonylová skupina (vzbuzený aromatický keton) lehce přechází interkombinační konverzí ze singletového do poměrně stabilnějšího tripletového stavu (CRESTINI a DÁURIA 1996). V tomto stavu se potom zapojí do intermolekulových štěpení okolních vazeb C-C, C-H a O-H v různých molekulách dřeva. Například vyvolává přesun vodíku na sebe z prostorově blízkého fenolového hydroxyly za tvorby dvou reaktivních radikálů, fenoxylového a benzylového. Vzniknuté radikály se dále zapojují do různých homolytických reakcí. Při fotolýze ligninu jsou známy i rozpady dalších vazeb patrné na obrázku 1.11 (LANZALUNGA a BIETTI 2000).



Obr. 1.11 Fotolýza ligninu – α – karbonylová skupina se nejprve excituje absorpcí světla, váže vodík z okolního fenolového hydroxyly a následně vznikají dva radikály „benzylový a fenoxylový“
(Upraveno dle Reinprecht 2016)

Také obsahuje poměrně malé množství dalších složek obvykle způsobujících tmavý odstín dřeva – extraktivní látky. Jejich koncentrace určuje barvu, vůni a jiné vlastnosti dřevin (FEIST A HON 1984). Změna barvy je běžně výsledkem poškození některých složek dřeva – hlavně ligninu a extraktivních látek – a následného vyplavování produktů degradace z jeho povrchu (PANDEY 2005). Díky své schopnosti pohlcovat UV záření je nejvíce citlivou složkou dřeva na povětrnostní expozici lignin, který je jinak vůči jiným vlivům (např. tepelným) odolnější než celulózy a hemicelulózy. Extraktiva také hrají při fotodegradaci dřeva významnou úlohu a rychlost degradace dřeva bývá jejich větším zastoupením snížena (CHANG ET AL. 2010). Z hlediska atmosférické degradace dřeva má největší vliv na změnu barvy ultrafialová (UV) část slunečního světla (vlnová délka $<380 \text{ nm}$), která indukuje fotochemické reakce ve dřevě, (HON A SHIRAISHI 2001, MÜLLER ET AL. 2003, EVANS ET AL. 2005) a způsobuje depolymerizaci ligninu. Vlivem vzniku volných radikálů a řetězových reakcí dochází k destrukci ligninu i do větších hloubek (cca 2–3 mm) než je samotný dosah vniknutého záření (KATAOKA A KIGUCHI 2001, HON A SHIRAISHI 2001, KUČEROVÁ 2005). Produkty degradace jsou pak vyplavovány z povrchu dřeva. Povrchová krajní vrstva má minimální obsah ligninu. Střední vrstva obsahuje pouze 40–60 % obvyklého obsahu ligninu. Vnitřní vrstva vzdálená jen několik milimetrů od krajní vrstvy má podobné složení jako nezvětralé dřevo (LOKAJ ET AL. 2010). Ve vnějším prostředí se barva dřeva nejdříve v počáteční fázi změni na žlutou až hnědou, s prodlužující se expozicí se mění na šedou (FEIST A HON 1984, KUČEROVÁ 2005) (viz obr.1.12). Typické šedivění dřeva je často způsobeno růstem

plísni a hub (FEIST 1982), ale také přítomností větrem unášených prachových částic, které mohou penetrovat do porézní struktury dřeva (HON A CHANG 1984).



Obr. 1. 12 Změna povrchu smrkového dřeva po 2 letech v exteriéru (bez povrchové úpravy)
(foto Oberhofnerová 2016)

Degradace dřeva způsobená povětrnostním stárnutím se neprojevuje pouze změnou původní barvy, ale je doprovázena také ztrátou lesku, vznikem trhlin a změnou smáčivosti a drsnosti povrchu (TEMIZ ET AL. 2005) – (viz obr. 1.9). Je všeobecně známo, že povrch dřeva je relativně rychle poškozen, pokud je bez jakékoliv ochrany vystaven vnějším podmínkám (EVANS ET AL. 1996). Působení slunečního záření a vody způsobuje zvýšení drsnosti dřeva (FEIST 1982, OZGENC ET AL. 2012). Dešťová voda vyplavuje fotodegradované dřevní části (zejména z ligninu), což způsobuje zvýšení drsnosti povrchu. Po vyplavení produktů UV degradací jsou buněčné vrstvy vystaveny vnějším podmínkám a dále rozrušovány (FEIST 1982). Eroze je rychlejší v méně hustém jarním dřevě než v letním dřevě, což vede k nerovnému povrchu (WILLIAMS ET AL. 2001). Také časté vystavení změnám vlhkosti exponovaného dřeva může způsobit zvednutí vláken dřeva, což opět vede k drsnějšímu povrchu (WILLIAMS A FEIST 1999). Vznik trhlin a prasklin přispívá k hmatatelnému viditelnému zdrsnění povrchu (FEIST 1990, OZGENC ET AL. 2013).

Pro aplikaci dřeva v exteriéru je nutné znát zásady správné ochrany dřevěných prvků odvíjejících se od přirozené trvanlivosti dřevin, a to respektováním konstrukčních zásad, modifikací dřeva a použitím vhodných nátěrových systémů. Na přirozenou trvanlivost dřeva má výrazný vliv zejména obsah tříslovin, pryskyřic a dalších extraktivních látek (OZGENC ET AL. 2012, GOBAKKEN A LEBOW 2010, OZDEMIR A HIZIROGLU 2009). Trvanlivost dřeva je obecně dána jeho kvalitou, konstrukčním řešením konstrukce, způsobem užívání budovy a údržbou (STRAKA 1996). Přirozená trvanlivost některých dřevin je uvedena v následující tabulce 1.1.

Tab. 1. 1 Rozdělení dřevin podle trvanlivosti (na základě EN 350)

Trvanlivost	Druh dřeviny
Dřeviny s nejvyšší trvanlivostí	teak, merbau, padouk, jarrah
Dřeviny s vyšší trvanlivostí	akát, dub, termodřevo-D
Dřeviny se střední trvanlivostí	modřín, douglaska, borovice, termodřevo-S
Dřeviny s nižší trvanlivostí	jedle, smrk, jilm
Dřeviny s nejnižší trvanlivostí	buk, javor, bříza, lípa, topol

* **Poznámka:** některé zařazení je orientační, některé druhy mohou být na rozhraní jednotlivých tříd; odolnost dřevin ovlivňují růstové podmínky a zejména výskyt bělí, která je zpravidla neodolná.

Dřevo bez povrchové úpravy vystavené v exteriéru časem šedne a vytváří se tzv. přirozená ochranná vrstva s typickou plastickou strukturou. V případě použití méně trvanlivých dřevin by měla být provedena dodatečná ochrana vhodnými nátěrovými systémy. Na dřevěné fasády se z uvedených důvodů používá mnoho druhů jehličnatých dřevin, z hlediska trvanlivosti, hustoty, dostupnosti a ceny pak méně často dřevo listnatých stromů. Mezi vhodné dřeviny patří smrk, borovice, douglaska, modřín. Vhodnost těchto dřevin je definována z funkčního hlediska, ne z protipožárního. Ze zástupců dovážených dřevin je možno uvést cedr s vysokou trvanlivostí a originální kresbou. Každý druh dřeva se vyznačuje velmi různou kvalitou, která je podmíněna regionálními podmínkami pěstování, růstu a podnebí. Nejdůležitějšími znaky jsou množství a šířka letokruhů. Na fasády by se ideálně mělo používat středové řezivo. U bočního řeziva dochází k deformacím a trhlinám, přesto se jeho použití lze jen těžko vyhnout. Levá strana palubky z bočního řeziva by měla být umístěna na vnější plochu, protože je méně náchylná na tvorbu trhlin. Vlhkost použitého dřeva na fasády by měla být do $15 \pm 3 \%$ (GABRIEL 2011).

Na fasády se často používá také modifikované dřevo. Jedná se zejména o tepelnou modifikaci nebo úpravu acetylací. Tepelná modifikace dřeva je založena na vystavení dřeva teplotám okolo $160\text{--}215\text{ }^{\circ}\text{C}$, což zlepšuje užitné vlastnosti i trvanlivost, tepelnou vodivost a rozměrovou stálost. Vlivem zvýšení teploty nad $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ způsobí rozklad krátkých řetězovitých struktur hemicelulóz a zánik vícero hydrofilních – OH funkčních skupin. Zejména z tohoto důvodu je snížena zejména hydrofobnost o polovinu, protože dřevo není schopno vázat větší množství H_2O (Reinprecht 2010). Snížením hydrofobních schopností je zvýšena rozměrová stálost. Také je zvýšena požární odolnost uvolněním některých hořlavých plynů. Uskutečňují se rovněž depolymerizační a kondenzační reakce ve spojení i částečnou karbonizací dřeva. V určité míře je zvýšená i jeho biologická odolnost, způsobená rozpadem hemicelulóz, které jinak slouží jako výživa škůdců. Podle výšky teploty můžeme zvolit stupeň modifikace. Při teplotách 185° probíhá výroba termodřeva typu S („Stable“) a při teplotách 210° termodřeva typu D („Durable“). Termodřevo typu D je sice odolnější, ale také mnohem více technologicky náročné a tím pádem i dražší. Proto je běžněji využíváno termodřevo typu S. Fasády z termodřeva jsou tvarově stabilní a dochází u nich k rovnoměrnějšímu přirozenému stárnutí po celé ploše dřevěného prvku. Na českém trhu se nejčastěji vyskytují termicky modifikované dřeviny softwood Spruce (*Picea Abies*) and Pine (*Pinus Silvestris*) Tepelně modifikované dřevo se pak vyznačuje typicky tmavší barvou, což může přispět k estetickému vzhledu fasády. To může být přitažlivé pro architektonické účely, kde tmavší dřevo může přidat zvláštní vizuální efekt. Proces tepelné modifikace dřeva zahrnuje vystavení dřeva zvýšeným teplotám, což může všeobecně zlepšit jeho odolnost vůči hnilobě, škůdcům a povětrnostním vlivům. Tepelná modifikace také snižuje přirozenou schopnost dřeva absorbovat vodu, čímž se zlepšuje jeho rozměrová stálost a stabilita.

Proces acetylace zahrnuje úpravu dřeva pomocí acetylací, čímž se zlepšuje jeho odolnost vůči vlhkosti, hnilobě a škůdcům. Acetylace je chemická reakce mezi hydroxylovými skupinami ve dřevní hmotě a anhydridem kyseliny octové. Acetylové skupiny (CH_3CO) se namísto hydroxylových skupin (OH) vážou v dřevní hmotě, kyselina octová se odštěpí a ke konci chemického procesu se bez problémů odstraní. Acetylované dřevo je známé pro svou vysokou trvanlivost, rozměrovou stabilitu a odolnost vůči UV záření, což je výhodné zejména pro venkovní použití. Nevýhodou je vyšší cena oproti jiným modifikacím.

Při použití modifikovaného dřeva na fasádách je důležité brát v úvahu různé klimatické podmínky, kterým bude fasáda vystavena. Je také důležité dodržovat správné postupy instalace a údržby, aby se zaručila dlouhá životnost a estetický vzhled fasády. Mnoho architektů a stavebních odborníků vybírá modifikované dřevo kvůli jeho výhodám a přizpůsobivosti různým designovým preferencím. Další možnou variantou je použití materiálů na bázi dřeva. Jsou vyrobené z dřevních částic a oproti masivnímu dřevu neobsahují suky, trhliny a jiné růstové chyby. Mezi další výhody se počítá jejich rozměrová stabilita, snadná opracovatelnost, požární odolnost, přesné rozměry dílců a odolnost proti kroucení a praskání (BÖHM ET AL. 2012). Další výhodou je také možná modifikace vlastností v průběhu výroby. Mezi materiály na bázi dřeva vhodné pro použití na fasády můžeme zařadit například cementovláknité desky, cementotřískové desky či dřevoplastové kompozity. Tyto vlastnosti činí materiály na bázi dřeva atraktivními volbami pro různé stavební aplikace, včetně použití na fasádách budov, podlahách, nábytku a dalších oblastech stavebnictví a designu. Je důležité zvážit konkrétní potřeby a požadavky projektu při výběru správného materiálu na bázi dřeva pro danou aplikaci.

Využití retardérů hoření

Retardéry hoření dřeva jsou látky, které snižují hořlavost dřeva a zabraňují jeho rychlému vzplanutí. Používají se k ochraně dřevěných konstrukcí, nábytku, podlah, stropů a dalších výrobků ze dřeva, které jsou vystaveny riziku požáru. Retardéry hoření jsou chemické látky, které se přidávají do materiálů, aby snížily riziko požáru. Tyto látky fungují tak, že zpomalují hoření materiálu, což umožňuje větší čas na evakuaci a zásah hasičů. Retardéry hoření se používají v mnoha různých materiálech, včetně dřeva, plastů, textilií a papíru. V případě dřeva se retardéry hoření aplikují buď na povrch nebo se přidávají přímo do dřeva. Tyto látky mohou být organické nebo anorganické a mohou být rozděleny do několika kategorií podle toho, jak fungují. Jednou z kategorií retardérů hoření jsou halogenované retardéry hoření. Tyto látky obsahují halogeny, jako je brom nebo chlor, a jsou velmi účinné při snižování rizika požáru. Tyto látky však mohou být škodlivé pro životní prostředí a zdraví lidí, pokud nejsou správně používány a nakládány. Další kategorií retardérů hoření jsou fosfátové retardéry hoření. Tyto látky jsou méně toxické než halogenované retardéry hoření a jsou obvykle používány v místech, kde jsou vyšší požadavky na bezpečnost a kde jsou halogenované retardéry hoření zakázány. Existují také retardéry hoření, které neobsahují halogeny ani fosfáty. Tyto látky jsou obvykle méně účinné než halogenované retardéry hoření, ale jsou méně škodlivé pro životní prostředí a zdraví lidí. Při používání retardérů hoření je důležité zajistit, aby byly použity správně a aby byly nakládány odpovídajícím způsobem. Tyto látky by měly být skladovány v souladu s příslušnými předpisy a měly by být používány pouze v množstvích, která jsou nezbytná pro snížení rizika požáru. Pokud jsou použity nesprávně, mohou tyto látky způsobit zdravotní problémy a mohou být škodlivé pro životní prostředí. Celkově lze říci, že retardéry hoření jsou důležitou součástí bezpečnosti a prevence požárů. Tyto látky pomáhají snižovat riziko požáru a umožňují větší čas na evakuaci a zásah hasičů. Při používání těchto látek je však důležité zajistit, aby byly použity správně a aby byly nakládány odpovídajícím způsobem.

Správné konstrukční řešení, využití vhodných trvanlivějších druhů dřeva a materiálů na bázi dřeva, aplikace biocidních látek, ochranných nátěrů a jiných ochranných prostředků pro zvýšení odolnosti dřevěných konstrukcí se využívalo jak v minulosti (VAŘEKA A FROLEC 2007), tak i v současné době (ŠTEFKO A REINPRECHT 2004, REINPRECHT 2008). Všechny tyto metody mají velký význam pro prodloužení funkčnosti, životnosti a estetické hodnoty dřevěných konstrukcí a výrobků ve vnějších expozicích.

Všechny uvedené faktory, změny kvality dřeva, mají dopad také na jeho zapálení, šíření plamene a vlastní hoření. Stavební materiály jsou podle norem EU zařazeny do tříd reakce na oheň (viz tabulka 1.2).

Tab. 1. 2 Třídy reakce na oheň stavebních výrobků kromě podlahových krytin (EN 13501-1)

Třída	Zkušební metoda	Klasifikační kritéria	Doplňková klasifikace
A1	ČSN EN ISO 1182 ⁽¹⁾	$\Delta T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	-
		$\Delta m \leq 50\text{ }\%$	
		$t_f = 0$	
	ČSN EN ISO 1716	$PSC \leq 2,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(1)}$	-
		$PSC \leq 2,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(2)\text{ (2a)}}$	
		$PSC \leq 2,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(3)}$	
		$PSC \leq 2,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(4)}$	
A2	ČSN EN ISO 1182 ⁽¹⁾	$\Delta T \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	-
		$\Delta m \leq 50\text{ }\%$	
		$t_f = 20$	
	ČSN EN ISO 1716	$PSC \leq 3,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(1)}$	-
		$PSC \leq 4,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(2)}$	
		$PSC \leq 4,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(3)}$	
		$PSC \leq 3,0\text{ MJ.kg}^{-1}\text{ }^{(4)}$	
	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 120\text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
		LFS <okraj vzorku	
		$THR_{600s} \leq 7,5\text{ MJ}$	
B	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 120\text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
		LFS <okraj vzorku	
		$THR_{600s} \leq 7,5\text{ MJ}$	
	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ expozice = 30 s	$F_s \leq 150\text{ mm za }60\text{ s}$	
C	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 250\text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
		LFS <okraj vzorku	
		$THR_{600s} \leq 15\text{ MJ}$	
	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ expozice = 30 s	$F_s \leq 150\text{ mm za }60\text{ s}$	
D	ČSN EN 13823	$FIGRA \leq 750\text{ W.s}^{-1}$	tvorba dýmu ⁽⁵⁾ hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ expozice = 30 s	$F_s \leq 150\text{ mm za }60\text{ s}$	
E	ČSN EN ISO 11925-2 ⁽⁸⁾ expozice = 15 s	$F_s \leq 150\text{ mm za }20\text{ s}$	hořící kapky/částice ⁽⁶⁾
F	bez definice		

Vysvětlivky k tabulce 1.2

- 1) Pro homogenní výrobky a významné prvky nehomogenních výrobků.
- 2) Pro každý vnější nevýznamný prvek nehomogenních výrobků.
- 2a) Alternativně, každý vnější nevýznamný prvek mající PCS $2,0 \text{ MJ.m}^{-2}$, za předpokladu, že výrobek splňuje následující kritéria EN 13823: FIGRA 20W.s^{-1} a LFS okraj zkušebního vzorku a $\text{THR}600\text{s} \leq 4,0 \text{ MJ a s1 a d0}$.
- 3) Pro každý vnitřní nevýznamný prvek nehomogenních výrobků.
- 4) Pro výrobek jako celek.
- 5) V poslední fázi vývoje zkušební metody se zavedly změny systému měření dýmu, jejichž účinek vyžaduje další zkoumání. To může vést ke změnám mezních hodnot nebo parametrů na zjišťování tvorby dýmu. $\text{s1} = \text{SMOGRA } 30 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ a $\text{TSP}600\text{s} \leq 50 \text{ m}^2.\text{s}^{-2} = \text{SMOGRA } 180 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ a $\text{TSP}600\text{s} \leq 200 \text{ m}^2.\text{s}^{-2} = \text{nesplňuje s1 nebo s2}$.
- 6) $\text{d0} =$ žádné hořící kapky/částice při zkoušce podle EN 13823 během 600 s, $\text{d1} =$ žádné hořící kapky/částice přetrvávající déle než 10 s při EN 13823 během 600 s, $\text{d2} =$ nesplňuje d0 nebo d1 .
- 7) Vyhovuje = bez zapálení papíru (bez klasifikace). Nevyhovuje = zapálení papíru (klasifikace d2)
- 8) V podmínkách vystavení povrchu vzorku plamenu, a pokud je to vhodné, z hlediska konečného užívání i vystavení hrany vzorku plamenu.

Všechna hodnocení materiálů jsou stanovena velmi detailně a konkrétně. Jejich zařazení do příslušné třídy limitují přesné hodnoty fyzikálních veličin při daném testu. Problémem je, že hodnoty se určují na zcela novém materiálu (s úpravou nebo bez úpravy), nikoliv však na materiálu po stárnutí. Všechny vlivy popsané v této podkapitole výše se při testování a certifikování materiálů nedají zaznamenat.

Upevnění dřevěných fasád

Tradičně se dřevěné fasády přibíjeli hřebíky – je to jednoduchý a rychlý postup. Hřebíky zatloukáme do hloubky a těsně hlavičkou do povrchu prkna. Dnešní době odpovídá technologie, kdy se drátěné spony ve tvaru „U“ (ČSN 02 2857) z pozinkovaného nebo ušlechtilé oceli vstřelují hřebíkovačkou nebo sponkovačkou, a to buď pneumatickou nebo s aku-pohonem. Protože sponky mají malý průměr, je menší nebezpečí vzniku prasklin než u hřebíků, a při stejné pracnosti. Vrchní ploška spon by měla být upravená nebo potřená pryskyřicí, což zvyšuje odolnost proti vytržení. Viditelné upevnění výlučně jen sponkami se nedoporučuje, protože tlakové pneumatické pistole mohou na povrchu obkladu vytvářet otlačeniny. V poslední době se prosazuje viditelné upevnění prken šroubovými spoji. Je to jeden z nejnápadnějších způsobů (hlavy šroubů jsou vidět), ale také jeden z nejnákladnějších (nákladné z hlediska času montáže), protože je vhodné ve většině případů předvrtat otvory. Alternativu tvoří samořezné vruty, které není nutné předvrtávat. Výhoda šroubování je v tom, že fasády lze buď částečně, nebo i úplně demontovat. Pro spojení by se mělo používat výhradně šroubů z ušlechtilé oceli, kvůli snížení rizika koroze. Lze také využít skryté upevnění. To je možné v případech u prken, jejichž profil umožňuje překrývání. U obkládání systémem drážka a pero se nedoporučuje upevnění sponkou v drážce, protože tam je profil zeslabený a při působení mechanického namáhání (například v důsledku sesychání) se obkladové dřevo trhá. Někdy lze účelně díly fasád prefabrikovat jako stavebnicové prvky, zejména tam, kde se tyto prvky tvarově i velikostně opakují. Fasádní obkladová prkna se zezadu připevňují šrouby na nosný rošt – buď na specificky zhotovený systém ukotvení nebo se našroubují ve spárách. Usazení prefabrikovaných prvků bez spár lze doporučit jen u fasád, které již nebudou povrchově upravovat.

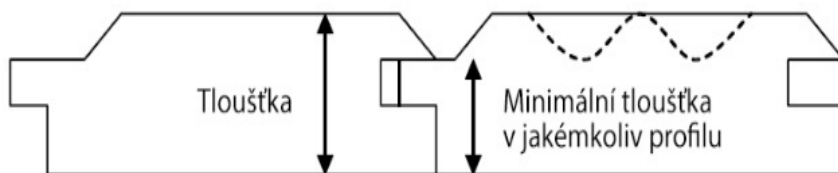
Spodní podkladové konstrukce

Spodní podkladové konstrukce dřevěné fasády sestává z různých rovin, které se liší jednak podle způsobu kladení, jednak podle provedení zdiva, na které se upevňuje. Stěna s dřevěným rámem již sama poskytuje určitou nosnou konstrukci (systémový rošt), zatímco na masivní zeď pokud se bude izolovat, se musí nejdříve upevnit spodní podpurná konstrukce dřevěné fasády. Dřevěné fasády se dnes často uplatňují nejen v oblasti dřevostaveb, ale i v rámci energeticky úsporné rekonstrukce masivních (zděných, kamenných, cihlových) staveb. Proto se musí předtím nainstalovat trvanlivá vnější izolace stěn. Aby se vyhovělo požadavkům ENEC 2009+ a ENEC 2012 je zapotřebí zdivo izolovat vrstvou izolace. Podkladová izolace může být zároveň vrstvou zabraňující šíření planeme (GABRIEL, 2011).

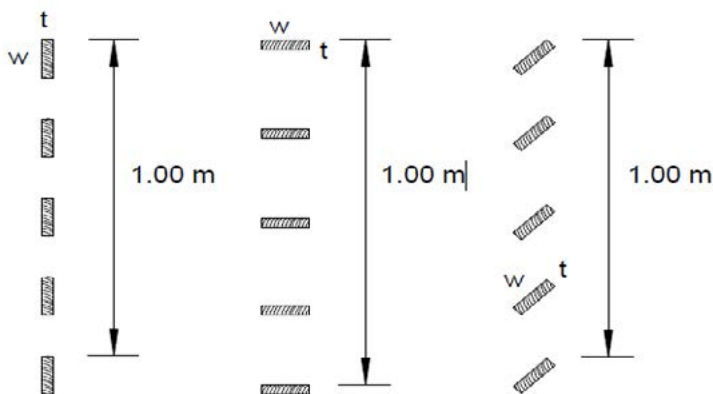
1.4 Konstrukční řešení dřevěných fasád pro potřeby protipožární

Aplikace dřeva na fasádu znamená aplikování hořlavého materiálu, který šíří požár rychleji ve svislém a, ač pomaleji, také ve vodorovném směru. Toto konstatování je však velmi obecné. Jak bylo výzkumem a praktickými experimenty ověřené, důležité je, jak bude dřevo aplikováno. V jaké formě, s jakou hustotou, s jakým opracováním, povrchovou úpravou a dalšími detaily, které mohou ovlivnit samotné zapálení a šíření požáru po fasádě a také vlastní hoření fasády a přenos požáru do prostor v budově. Vedle materiálového řešení (výběr a úprava materiálu) je důležité i konstrukční řešení.

Základním požadavkem je certifikace prvků, stanovení jejich reakce na oheň a zařazení do příslušné třídy reakce na oheň. V této kapitole se věnujeme detailům a konstrukčním řešením, které ovlivňují zapálení a šíření požáru po fasádě. Základní informace jsou uvedeny v tabulce 1.4 na obr. 1.13, 1.14 (ÖSTMAN 2009) (a pro lepší názornost i na obr. 1.15). Jak lze vyvodit z tabulky 1.3, rozhodujícím faktorem je konstrukce fasády, stejně jako detailní řešení spojů, vstupní hustota materiálu a tloušťka použitých prvků. Tam, kde je nezbytné zvýšení protipožární ochrany, musí se aplikovat prvky s větší tloušťkou, a to pouze pro potřeby protipožární ochrany. Ze statického, konstrukčního či estetického hlediska by bylo možné aplikovat prvky s nižší tloušťkou nebo jinak řešené, (viz obr. 1.15) ale z protipožárního hlediska jsou požadovány v předpisech prvky jiné. Konstrukční řešení fasády hraje důležitou roli při vzniku a rozvoji požáru. Tloušťka fasádního profilu z masivu nejméně 18 mm. V případě profilového obkladu musí být minimální hodnota 18mm dodržena v nejnižším místě profilu, jak je znázorněno na obrázku 1.10.



Obr. 1.13 Detail tloušťky fasádních prvků (položka 7 z tabulky 1.4)



Obr. 1.14 Parametry dřevěných fasádních prvků (položka 9 z tabulky 1.4)

Maximální exponovaná plocha prvku z širší dřevné vlny: $2n(t + w) + a \leq 1,10$

n – počet kusů dřeva (ks.m^{-1}), t – tloušťka každého kusu dřeva (m) w – šířka každého kusu dřeva (m)

a – exponovaná plocha podpěry dřeva (pokud existuje) (m^2), na m^2 prvku z širší dřevné vlny

Tab. 1.3 Třídy reakce na oheň pro obklady z masivního dřeva
(ÖSTMAN, 2009)

Výrobek ¹⁾	Detail ⁵⁾	Hustota (min.) ⁶⁾ (kg.m ⁻³)	Tloušťka ⁷⁾ (celková/min.) (mm)	Podmínka konečného použití ⁴⁾	Třída ³⁾
Obložení ¹⁾	Dřevěné prvky s perem a drážkou nebo bez nich, s profilovaným povrchem nebo bez něj	390	9/6	Bez vzduchové mezery nebo s uzavřenou vzduchovou mezerou	D – s2, d2
Obložení ¹⁾	Dřevěné prvky s perem a drážkou nebo bez nich, s profilovaným povrchem nebo bez něj	390	12/8	Bez vzduchové mezery nebo s uzavřenou vzduchovou mezerou	D – s2, d0
Obložení ²⁾	Dřevěné prvky s perem a drážkou nebo bez nich, s profilovaným povrchem nebo bez něj	390	9/6	S otevřenou vzduchovou mezerou ≤ 20 mm	D – s2, d0
Obložení ²⁾	Dřevěné prvky s perem a drážkou nebo bez nich, s profilovaným povrchem nebo bez něj	390	18/12	Bez vzduchové mezery nebo s uzavřenou vzduchovou mezerou	D – s2, d0
Prvky z dřevní širší vlny ⁸⁾	Dřevěné prvky namontované na nosném rámu ⁹⁾	390	18	Otevřený přístup vzduchu ze všech stran ¹⁰⁾	D – s2, d0

Vysvětlivky k tabulce 1.3

- 1) mechanicky upevněný na nosném rámu dřevěné desky, přičemž mezera je uzavřena nebo naplněna substrátem alespoň třídy A2 – s1, d0 s minimální hustotou 10 kg.m⁻³ nebo plněné substrátem celulózové izolace – materiál alespoň třídy E a s bariérou pro páru nebo bez ní. Výrobek ze dřeva musí být navržen pro montáž bez otevřených spojů,
- 2) mechanicky namontované na nosném rámu dřevěné desky, s nebo bez otevřené vzduchové mezery. Výrobek musí být navržen tak, aby ho bylo možné namontovat bez otevřených spojů,
- 3) třída stanovená v rozhodnutí Komise 2000/147 / ES v souvislosti s aplikacemi fasád,
- 4) otevřená vzduchová mezera může obsahovat možnost ventilace za výrobkem, zatímco uzavřená vzduchová mezera vylučuje takové větrání. Podklad za vzduchovou mezerou musí být alespoň třídy A2 – s1, d0 a s minimální hustotou 10 kg.m⁻³. Za uzavřenou vzduchovou mezerou maximálně 20 mm s vertikálními kusy dřeva. Substrát může mít minimální třídu D – s2, d0,
- 5) klouby zahrnují všechny typy kloubů, např. kloubové spoje a spoje na pero a drážku,
- 6) podmínka podle EN 13238,
- 7) jak je znázorněno na obr. 1.10 profilovaná plocha otevřené strany panelu ne více než 20 % roviny nebo 25 %, pokud se měří na exponované a neexponované straně panelu. Při tupých spoích je větší tloušťka, platí pro rozhraní spoje,
- 8) obdélníkové kusy dřeva, se zaoblenými rohy nebo bez nich, namontované horizontálně nebo vertikálně na podložce. Rám je obklopen vzduchem ze všech stran, používá se hlavně v blízkosti jiných stavebních prvků, a to jak uvnitř, tak i pro venkovní aplikace,
- 9) maximální exponovaná plocha (všechny strany obdélníkových kusů dřeva a nosného rámu dřeva) není větší než 110 % celkové rovinné plochy, viz obr.1.11,
- 10) ostatní stavební prvky, které jsou blíže než 100 mm od prvku z širší dřevní vlny (s výjimkou nosného rámu) musí být alespoň třídy A2 – s1, d0 ve vzdálenostech 100–300 mm alespoň třídy B – s1, d0 a ve vzdálenostech více než 300 mm třídy D – s2, d0,
- 11) platí i pro schody

Způsoby obložení

Žádný typ fasád neposkytuje tolik mnohostranných možností realizace jako fasáda dřevěná. Tradiční zásady, požadavky minimalizace vlivu počasí, současně rychlý odtok a vysušení, platí stejně dnes jako dříve a ani vylepšené techniky povrchové úpravy nemění nic na nutné projekční disciplíně. Někteří architekti zanedbávají konstrukční principy, aby vyhověli současnému módnímu designu fasád. Konstrukční ochranné principy jsou však mnohdy důležitější než zvolený druh dřeviny.

Výhoda dřevěných fasád spočívá v rozmanitosti provedení a závisí zejména na:

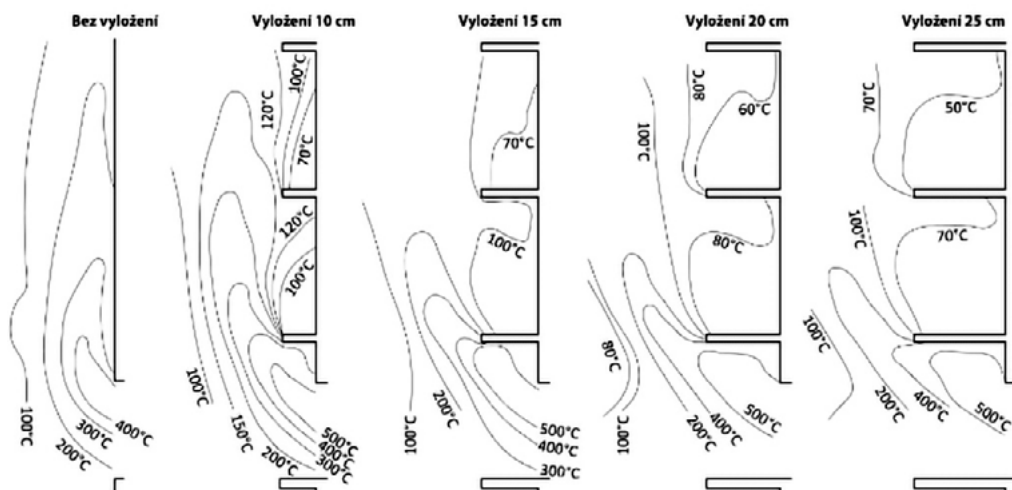
- směru pokládání,
- způsobu pokládání,
- rozměrech prken, palubek, latí,
- provedení detailů,
- povrchové úpravě.

Ačkoli mají tyto faktory silný vliv na působení fasády, celkový efekt je primárně určen velikostí a proporcemi stavebních prvků. Dobře proporčně řešenou stěnu může struktura a povrch dřevěné fasády zjemnit. Celkový dojem fasády vytváří jednak její plocha, jednak provedení jednotlivých detailů. Počet připojovacích bodů je u dřevěných fasád vyšší než u omítkových nebo cihelných fasád. Patří sem totiž zejména provedení nároží, horizontální a vertikální napojení oken, horního a spodního ukončení zdi a přechodů mezi jednotlivými použitými materiály (GABRIEL 2011).

Parametry vlivu	Vliv na průběh požáru		
	výborný	dobrý	kritický
Typ fasády			
Typ obložení			

Obr. 1. 15 Příklady parametrů ovlivňujících požární chování vícepodlažních fasád
(SCHOBET ET AL. 2006)

Dalším konstrukčním prvkem je vyložení konstrukce. Jedná se o prvek, který má zabránit rychlému šíření požáru ve vertikálním směru. Jak vyplývá z obr. 1.16, čím je vyložení vystupující konstrukce větší, tím přímo úměrně klesá i možnost rozvoje požáru do vyšších podlaží. Tímto problémem se zabývá práce (SUZUKI ET AL. 2016), v níž se autor zabýval optimální délkou vyložení vystupující konstrukce, přičemž se jednalo o experiment na zmenšeném modelu v měřítku 1:7. Izotermické pole tohoto experimentu zobrazuje obr. 1.16.



Obr. 1. 16 Izotermické pole při délkové variaci vystupujících konstrukcí ve zmenšeném měřítku 1:7 (SUZUKI ET AL., 2016)

Z dosažených výsledků (SUZUKI ET AL. 2016) autor uvádí následující závěry:

- teplota požárem zasaženého prostoru je při aplikaci vystupujících konstrukcí vyšší než v případě absence vystupujících konstrukcí,
- teplota podél spodní vrstvy vystupující konstrukce klesá s narůstajícím vyložení,
- velikost plamenů v horizontálním směru není závislá na hloubce vystupující konstrukce,
- výška plamenů klesá při vyložení větším než 100 mm (při skutečném měřítku více než 700 mm).

Následující závěry týkající se konstrukcí ze dřeva nebo dřevěných materiálů jsou čerpány z provedených požárních zkoušek (ÖSTMAN 2009).

Výsledky testů malého požáru:

- vlastní ochranný účinek dřeva pomocí karbonizace povrchu brání rychlému svislému šíření požáru. Významné boční šíření požáru nebylo zjištěno;
- prostřednictvím jednoduchých strukturálních opatření je šíření ohně v zadním větraném prostoru kontrolovatelné, vhodnou konstrukcí omezené;
- v určitých případech je hořlavost fasádních systémů na bázi dřeva pro vnější stěny závislá na vlivu různých parametrů, které se v případě požáru mohou navzájem rušit;
- problémy při požáru s vodou nebyly zaznamenány v testech v plném rozsahu. Rovněž nebylo zaznamenáno rozsáhlé uvolnění částí konstrukce vnější stěny ohrožující osoby.

Bylo zaznamenáno:

- hořlavá vnější izolace může urychlit šíření ohně,
- testované standardní nátěry nemají významný vliv na hořlavost pláště vnější stěny.

Chování fasád při požáru v podstatě závisí na:

- typu architektonických prvků fasády (fasáda se zapuštěným zasklením, perforovaná fasáda, úhlová fasáda);
- typu a uspořádání obložení;
- podkladu, včetně zadního větracího otvoru.

Výsledky měření australských výzkumníků jsou zobrazeny v tabulce 1.4 (Wood solutions 2013). Z tabulky je jasné vidět, jakou roli hraje při požáru vzdálenost nad otvorem, ve kterém vznikl požár. V tabulce 1.5 jsou uvedeny základní fyzikální vlastnosti (hustota, tloušťka) velkoplošných materiálů na bázi dřeva, které při daném způsobu konstrukce fasády splňují třídu reakce na oheň a lze je aplikovat na fasádní systémy.

1.5 Testování fasád pro potřeby protipožární ochrany

Ačkoliv základním hodnocením materiálů z hlediska protipožární ochrany je jejich reakce na oheň (viz tab. 1.2), vznikly i jiné zkušební metody, které hodnotí skladbu a konstrukci fasád. Existuje celá řada středněrozměrových a velkorozměrových testů. V této podkapitole uvedeme stručně pouze ty, které vycházejí ze scénářů požárů uvedených na obr. 1.7.

Metoda zakotvená v ISO 13785-1 Zkoušky reakce na oheň pro fasády – Část 1: Zkouška středního rozměru: určuje reakci na oheň fasádních materiálů a obkladové konstrukce. Simuluje vnější požár s plameny dotýkajícími se přímo fasády (viz obr. 1.7 scénář A, B). Tato zkušební metoda není určena pro samostatné obklady a fasády, ale pouze pro ty, které se používají jako doplněk existující obvodové stěny.

Tab. 1. 4 Hodnoty tepelného toku a teplot při modelovém požáru fasád

Poloha	Čas min)	Režim hoření	1)	2)	3)	4)	5)
H	2	nárůst (kontrola paliva)	50	2	1	46	39
V			67	1	1	53	24
H	20	přísně kontrolované proudění	813	104	43	1000	741
V			831	67	15	639	461
H	28	kontrolované proudění	1018	65	29	777	433
V			1029	41	11	467	386
H	35	stechiometrie (přibližně)	1090	30	18	636	417
V			1088	13	5	312	313
H	40	dohořívání (kontrola paliva)	785	20	12	467	303
V			763	17	5	420	262

Vysvětlivky k tabulce 1.4

- 1) Teplota (°C)
- 2) Tepelný tok 1,5 m nad otvorem (kW.m⁻²)
- 3) Tepelný tok 3 m nad otvorem (kW.m⁻²)
- 4) Teplota 1,5 m nad otvorem (°C)
- 5) Teplota 3 m nad otvorem (°C)

Tab. 1. 5 Třídy reakce na oheň pro panely na bázi dřeva (ÖSTMAN 2009)

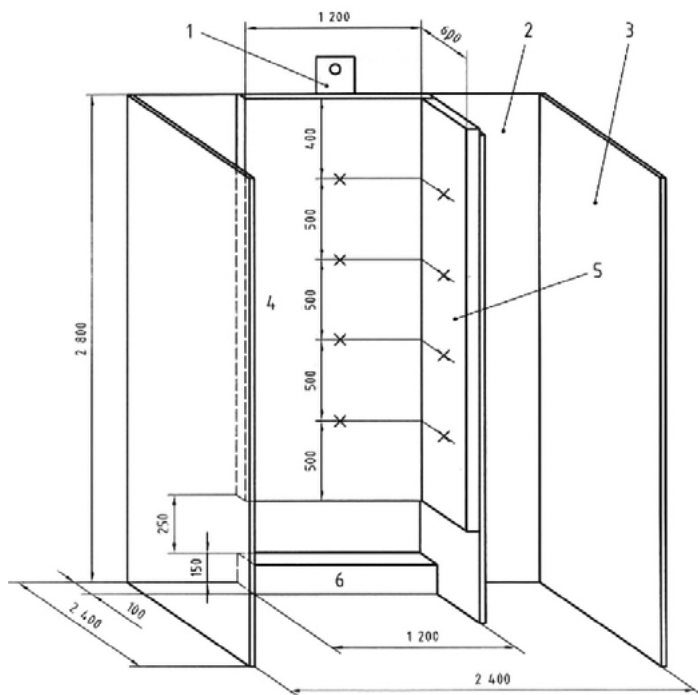
Výrobek	EN norma	Podmínky koncového použití 6	Min. hustota (kg.m ⁻³)	Min. tloušťka (mm)	Třída (kromě podlah)
Cementotřískové desky ¹	EN 634-2	bez vzduchové mezery za panelem	1000	10	B – s1, d0
DVD tvrdá ¹	EN 622-2	bez vzduchové mezery za panelem na bázi dřeva	900	6	D – s2, d0
DVD tvrdá ³	EN 622-2	s uzavřenou vzduchovou mezerou ne větší než 22 mm za panelem na bázi dřeva	900	6	D – s2, d2
DTD ^{1,2,5}	EN 312	bez vzduchové mezery za panelem na bázi dřeva	600	9	D – s2, d0
DVD tvrdá a střední ^{1,2,5}	EN 622-2 EN 622-3				
MDF ^{1,2,5}	EN 622-5				
OSB ^{1,2,5}	EN 300				
Překližka ^{1,2,5}	EN 636	bez vzduchové mezery za panelem na bázi dřeva	400	9	D – s2, d0
Panel z masivního dřeva ^{1,2,5}	EN 13 353			12	
Flaxboard ^{1,2,5}	EN 15 197	bez vzduchové mezery za panelem na bázi dřeva	450	15	D – s2, d0
DTD ^{3,5}	EN 312	s uzavřenou, nebo otevřenou vzduchovou mezerou ne větší než 22 mm za panelem na bázi dřeva	600	9	D – s2, d2
DVD tvrdá a střední ^{3,5}	EN 622-2 EN 622-3				
MDF ^{3,5}	EN 622-5				
OSB ^{3,5}	EN 300				
Překližka ^{3,5}	EN 636	s uzavřenou, nebo otevřenou vzduchovou mezerou ne větší než 22 mm za panelem na bázi dřeva	400	9	D – s2, d2
Panel z masivního dřeva ^{3,5}	EN 13 353			12	
DTD ^{4,5}	EN 312	s uzavřenou vzduchovou mezerou za panelem na bázi dřeva	600	15	D – s2, d0
DVD tvrdá a střední ^{4,5}	EN 622-2 EN 622-3				
MDF ^{4,5}	EN 622-5				
OSB ^{4,5}	EN 300				
Překližka ^{4,5}	EN 636	s uzavřenou vzduchovou mezerou za panelem na bázi dřeva	400	15	D – s2, d1
Panel z masivního dřeva ^{4,5}	EN 13 353				D – s2, d0
Flaxboard ^{4,5}	EN 15 197	s uzavřenou vzduchovou mezerou za panelem na bázi dřeva	450	15	D – s2, d0
DTD ^{4,5}	EN 312	s otevřenou vzduchovou mezerou za panelem na bázi dřeva	600	18	D – s2, d0
DVD tvrdá a střední ^{4,5}	EN 622-2 EN 622-3				
MDF ^{4,5}	EN 622-5				
OSB ^{4,5}	EN 300				

Překližka ^{4,5}	EN 636	s otevřenou vzduchovou mezerou za panelem na bázi dřeva	400	18	D – s2, d0
Panel z masivního dřeva ^{4,5}	EN 13 353				
Flaxboard ^{4,5}	EN 15 197	s otevřenou vzduchovou mezerou za panelem na bázi dřeva	450	18	D – s2, d0
DTD ⁵	EN 312		600	3	E
MDF ⁵	EN 622-5		400	3	E
			250	9	E
OSB ⁵	EN 300		600	3	E
Překližka ^{4,5}	EN 636		400	3	E
DVD tvrdá ⁵	EN 622-2		900	3	E
DVD střední ⁵	EN 622-3		400	9	E
DVD měkká ⁵	EN 622-4		250	9	E

Vysvětlivky k tabulce 1.5

- 1) připevněné bez vzduchové mezery přímo proti třídě A1 nebo A2-s1, d0 výrobky s minimální hustotou 10 kg.m⁻³ nebo alespoň třída D-s2, výrobky d2 s minimální hustotou 400 kg.m⁻³,
- 2) pokud je namontovaný přímo na dřevěnou základnu, může být použitý substrát celulóзовého izolačního materiálu minimálně třídy E,
- 3) nasazené za vzduchovou mezerou. Zadní strana dutiny musí být alespoň třídy A2-s1, d0 výrobky s min. hustotou 10 kg.m⁻³,
- 4) nasazené za vzduchovou mezerou. Zadní strana dutiny musí být nejméně třída D-s2, výrobky d2 s min. hustotou 400 kg.m⁻³,
- 5) dýhované, fenolové a melaminové panely jsou zahrnuty pro třídu kromě podlahoviny,
- 6) parotěsná bariéra s tloušťkou do 0,4 mm a hmotností do 200 g.m⁻² může být namontována mezi dřevěným panelem a podkladem, pokud mezi nimi nejsou mezery.

Zkušební zařízení je zobrazeno na obr. 1.17. Skládá se ze vzorku podpůrného rámu a zdroje. Rám, na kterém drží vzorek, sestává ze tří stěn (zadní stěna má tři části a boční stěna dvě části). Rozměry jednotlivých prvků a jednotlivé části rámu jsou viditelné na obr. 1.17. Zadní strana se skládá z minerální nebo kamenné vlny o tloušťce 100 mm a hustotě 100 kg.m⁻³. Testovaný vzorek musí být kompaktní s držákem a je umístěn v poloze 0,4 m ode dna držáku. Vzorek se namontuje do rámu. Dvě minuty před zahájením testu se spustí všechna měřicí zařízení. Zapálí se zdroj tepla. Zhotovuje se fotografický záznam nebo videozáznam.



Obr. 1. 17 Schéma zařízení (ISO 13785-1)

1 – měření tepelného toku, 2 – zadní stěna, 3 – bok zařízení, 4 – zadní stěna vzorku,
5 – boční stěna vzorku, 6 – hořák, x – umístění termočlánků

Zdroj požáru je propanový hořák pravoúhlého tvaru o rozměrech 1,2 x 0,1 x 0,15 m. Je to plošný hořák speciální konstrukce naplněný kamennou drtí, který zaručuje distribuci tepelného toku na zkušební vzorek. Jako palivo se používá čistý propan o čistotě 95 %. Vzorek reprezentuje systém, který chceme testovat a musí být připraven tak, jak se používá ve skutečnosti. Skládá se z obkladu nebo fasádních panelů, které pokrývají šířku 1,2 m, výšku 2,4 m a šířku 0,6 m a výšku 2,4 m (dvě části, které jsou na sebe navzájem kolmé – lze vidět na obr. 1.17, i na obr. 1.18 vzorek před zkouškou a obr. 1.19 vzorek během zkoušky). Z uvedeného obrázku je patrné i rozmístění termočlánků na testovacím vzorku. Termočlánek je chromel/alumel typu K o průměru 0,3 mm. V této zkušební metodě se vyhodnocuje průběh teplot zaznamenaných termočláneků a zároveň se udává slovní popis chování materiálů při testu.



Obr. 1. 18 Záběr na test před zkouškou

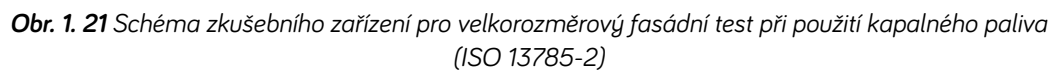
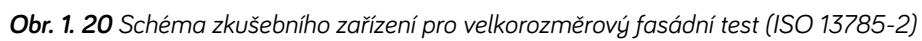
Metoda zakotvená v ISO 13785-2 Zkoušky reakce na oheň pro fasády – Část 2: Velkorozměrový test: specifikuje metodu testu na určení reakce na oheň pro materiály a konstrukci fasádních obkladů při vystavení teplu a plamenům ze simulovaného požáru vnitřního prostoru s plameny, které vystupují přes okenní otvory a zasahují přímo na fasádu (viz obr. 1.7 scénář C). Informace získané z této zkoušky mohou být použitelné i při scénáři vnějšího požáru dopadajícího na fasádu. Tato metoda platí pouze pro fasády a obklady, které nejsou nosné. Nevyžaduje se žádný pokus o určení konstrukční pevnosti fasády nebo obložení.

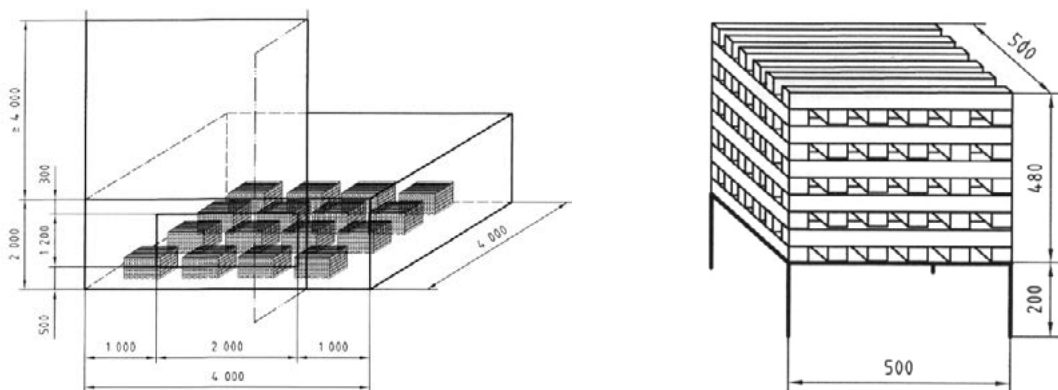


Obr. 1.19 Záběr na test během zkoušky (OSVALD ET AL. 2009)

Zkouška není určena ke stanovení požárního chování dané fasády budovy. Na bližší podrobnosti o balkonech, oknech, záclonách atd. se v tomto testu nepřihlíží. Tento test nezahrnuje riziko šíření požáru, např. přes okenní detaily fasádního systému, protože je postaven pouze jako fasádní stěna. Existují jasné důkazy o tom, že vnitřní roh (nazývaný také opětovně vstupující roh) způsobuje intenzivnější vystavení požáru než plochá fasáda. Nejčastěji se vyskytující vnitřní roh opětovného vstupu je s úhlem 90° . Zkušební fasádní vzorek obsahuje vnitřní roh s úhlem návratu 90° (ISO 13785-2).

Zkušební zařízení sestává z vertikálních držáků fasády, které zahrnují i okno, resp. otvor. Zařízení se skládá ze dvou částí, které vytvářejí roh s úhlem 90° . Výška zařízení je 4 m od okna, které je velké 1,20 m a je umístěno 0,5 m od země. Šířka fasády je 3 m. Okno je dlouhé 2 m (viz obr. 1.20). Test se může provádět ve spalovacím prostoru v interiéru o rozměru minimálně 20 m^3 a maximálně 100 m^3 . Vzorky musí být připraveny tak, jak se používají v praxi. V průběhu zkoušky se měří teplota termočlánky a zároveň se měří tepelný tok radiometry. Termočlánky jsou chromel/alumel typu K o průměru 0,3 mm. Palivo může být v kapalně formě, jako např. heptan nebo aceton, kterého se použije cca 60 l ve speciálních hořácích tak, jak to zobrazuje obr. 1.21. Palivem také mohou být dřevěné hranice, ze dřeva o hustotě 450 až $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a vlhkosti 10 až 12 %. Umístění pevného paliva a detail hranice je zobrazen na obr. 1.22 (ISO 13785-2).





Obr. 1.22 Schéma zkušebního zařízení pro velkorozměrový fasádní test při použití pevného paliva (ISO 13785-2)

Přirozené stárnutí dřeva

Standartně se testují materiály nové. Aby bylo možné testovat fasády pro potřeby protipožární ochrany v čase je potřeba nejprve po určitou dobu vystavit materiál přirozenému stárnutí (Arpaci a kol. 2021). přirozené stárnutí je definováno normou ČSN-EN 927-3. Vzorky jsou umístěny ve speciálních stojanech pod úhlem 45°, vyvýšené nad zemí, nasměrované k jihu. Během stárnutí jsou vzorky vystaveny působení kompletního spektra slunečního záření (UV, IR, VIS), vodě ve všech formách skupenství, i ostatním abiotickým vlivům a kontaminaci biologickými škůdci (de Meijer 2001). Norma definuje také celkovou odolnost povrchu podle změn posouzených vizuálně a zejména podle změn měřených a vyhodnocených po 12 měsících expozice (Mattos a kol. 2014). V praxi se běžně využívá delší doba stárnutí (od 2 až do 5 let) a častější měření hodnot vlastností (každých 6 měsíců), protože po 12 měsících nemusí být zřejmá degradace testovaných materiálů (Kropat a kol. 2020). Nejvýraznější změny nastávají okolo 24 měsíců, v závislosti na druhu dřeviny (Miklečič a kol. 2017).



Obr. 1.23 Model fasády před testováním požární odolnosti po přirozeném stárnutí po dobu 2 let
(Foto Štěrbová 2020)

Na obrázku 1.23. je znázorněn model fasády, který byl nejprve vystaven přirozenému stárnutí po dobu 2 let až následně byly testována požární odolnost fasády. Dřevo po stárnutí vykazuje změny povrchu, Vznikají praskliny, dochází k výronu pryskyřice a také může dojít k chemické degradaci povrchu, která může ovlivnit testované vlastnosti. Tyto změny jsou způsobeny působením abiotických i biotických činitelů.

1.6 Předpisy týkající se použití dřevěných fasád

Kromě materiálových, konstrukčních, certifikačních a jiných předpisů vytváří komplexnost protipožárních opatření také právní předpisy. Přesně omezují podmínky použití fasád ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva. Do podmínek je zakomponována výška budovy, její účel, obsazení budovy osobami, odstupové vzdálenosti a jiné podmínky, které vyplývají z řešení protipožární bezpečnosti dané budovy. V popisu jsou vybrány právní předpisy pro evropské země (ÖSTMAN 2009) a v tabulce 1.6 pro Austrálii (WOOD SOLUTIONS 2013).

Právní předpisy v evropských zemích:

Země:	Rakousko
Požární scénář:	plamen ven z okna
Testovací metoda:	ÖNORM B 3800-5
Hodnoty expozice:	40 kW.m ⁻²
Měření:	poškození, teplota
Fasádní test potřebný pro dřevěné fasády:	4-5 podlaží
Komentáře:	dřevěné konstrukce ÖNORM B
Země:	Francie
Požární scénář:	plamen ven z okna
Testovací metoda:	Aréte 10/09/197
Hodnoty expozice:	15-75 kW.m ⁻²
Měření:	šíření plamene, poškození, teplota
Fasádní test potřebný pro dřevěné fasády:	závisí na typu budovy
Komentáře:	musí se respektovat odstupové vzdálenosti
Země:	Německo
Požární scénář:	plamen ven z okna
Testovací metoda:	DIN 4120-20
Hodnoty expozice:	20-65 kW.m ⁻² , 20 min
Měření:	plamen, sálání, poškození, teplota
Fasádní test potřebný pro dřevěné fasády:	≥ 4 podl.
Komentáře:	kritéria podle DIBT
Země:	Švédsko
Požární scénář:	plamen ven z okna
Testovací metoda:	SP Fire 105
Hodnoty expozice:	15-75 kW.m ⁻² , 15-20 min
Měření:	poškození, teplotní tok, teplota
Fasádní test potřebný pro dřevěné fasády:	>2 podlaží
Komentáře:	-

Země: **Švýcarsko**
 Požární scénář: plamen ven z okna
 Testovací metoda: Large scale test
 Hodnoty expozice: 600-800 kW, 15-20 min
 Měření: poškození, teplota
 Fasádní test potřebný pro dřevěné fasády: 4-8 podl.
 Komentáře: -

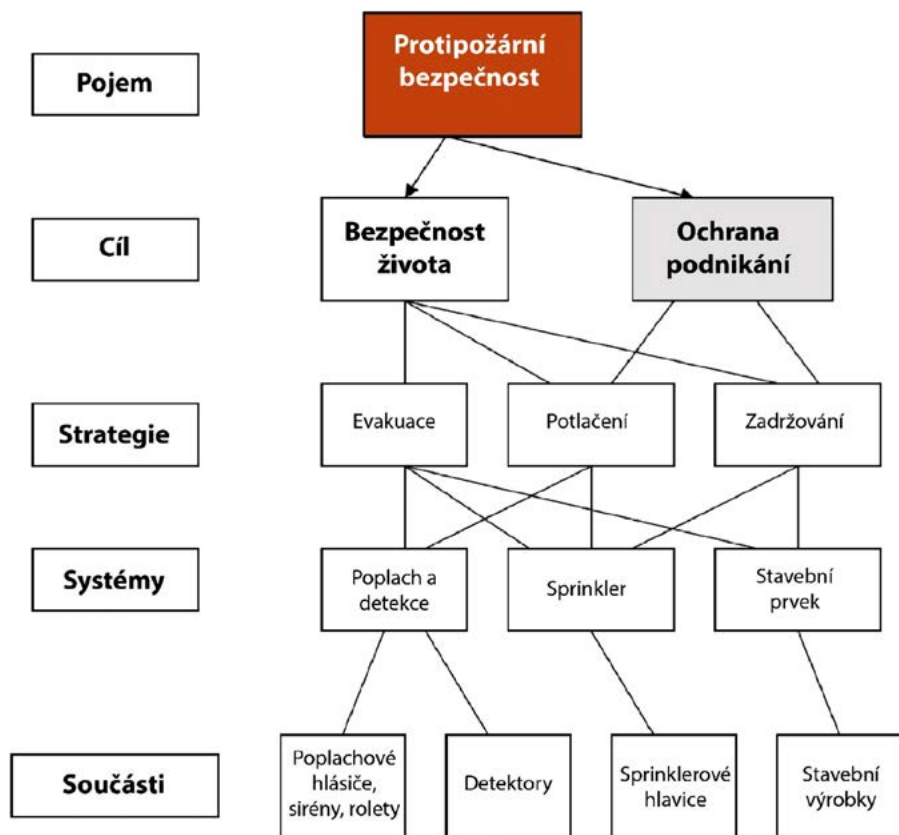
Země: **Velká Británie**
 Požární scénář: plamen ven z okna
 Testovací metoda: BS 8414
 Hodnoty expozice: 15-75 kW.m-2, 15-20 min
 Měření: poškození, tepelný tok,
 Fasádní test potřebný pro dřevěné fasády: >2 podlaží
 Komentáře: -

Tab. 1. 6 Předpisy aplikované v Austrálii (WOOD SOLUTIONS 2013)

Klasifikace budovy	Podmínka	Nárůst v podlažích			
		1	2	3	4 a více
Třída 2 Rezidenční apartmány		C	B	A	A
Třída 3 Krátkodobé ubytování		C	B	A	A
Třída 3 Krátkodobé ubytování	Minimálně dva výstupy, nebo přímý výjezd na cestu, nebo otevřený prostor 2	C	C	A	A
Třída 5 Kanceláře		C	C	B	A
Třída 6 Maloobchod		C	C	B	A
Třída 7 Parkoviště		C	C	B	A
Třída 8 Továrna nebo laboratoř		C	C	B	A
Třída 9a Zdravotní péče		C	B	A	A
Třída 9b Školy nebo montované budovy		C	B	A	A
Třída 9c Péče o seniory		C	B	A	A
Třída 9c Péče o seniory	Minimálně dva výstupy, nebo přímý výjezd na cestu, nebo otevřený prostor 2	C	C	A	A

* **Poznámka:** Šedou barvou vyplněná pole dovolují v Austrálii na stavbu aplikovat fasádu ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva.

Na obrázku 1.24. je znázorněno všeobecné schéma požární bezpečnosti. Požární bezpečnost je obor, který se zabývá předcházením rizik vzniku a důsledků požáru v budovách. Řeší především bezpečnou evakuaci osob, člení budovy na požární úseky, zabývá se dimenzováním a bezpečností únikových cest a východů, jejich vybavením (např. nouzové osvětlení, evakuační výtahy) a provedením (např. panikové kování), dobou evakuace, počtem zásahových cest. Stanovuje optimální počty osob pro únikové cesty a východy. Posuzuje nutnost umístění požární bezpečnostních zařízení (např. požární signalizace, samočinného stabilního hasicího zařízení, požárních hydrantů, zařízení pro odvod kouře a tepla). Hodnotí stavební konstrukce z hlediska požární odolnosti (odpadávání, odkapávání, hořlavost apod.), technická zařízení v budově podle dalších hledisek bezpečnosti (udržení funkčnosti, vliv na zdraví při hoření).



Obr. 1. 24 Schéma požární bezpečnosti podle ÖSTMAN (ÖSTMAN 2009)

LITERATURA 1. KAPITOLA

- ASDRUBALI, F., BALDASSARRI, C., FTHEKANIS, V. (2013): Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings, In: Energy and Buildings. roč. 64, 2013. s. 73–89, ISSN 0378-7788.B
- ABRAUSKAS V. (2003): Ignition handbook. Issaquah : Fire Science Publisher, 2003, s. 24 – 38, ISBN 0-972-8111-3-3.
- BALOG, K., KVARČÁK, M. (1999): Dynamika požáru, Ostrava: SPBI, 1999, ISBN 80-86111-4 X.
- BÖHM, M., REISNER, J., BOMBA, J. (2012): Materiály na bázi dřeva [online]. 2012. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: <http://drevene-materialy.fld.czu.cz>.
- CROITORU, C., ET AL. (2015): Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles Current capabilities and future perspectives, In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. roč. 44, 2015. s. 304 – 318, ISSN 1364-0321.
- DAMSKY, J., GERO, J. (1997): An evolutionary approach to generating constraint-based space layout topologies, In: CAAD Futures. roč. 1, 1997. s. 855 – 864, ISBN: 0-7923-4726-9.
- EVANS, P. D., THAY P. D., SCHMALZL, K. J. (1996): Degradation of surfaces during natural weathering. Effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic latex primers. Wood Science and Technology 30 (6), p. 411 – 422, ISSN 0043-7719.
- EVANS, P. D., CHOWDHURY, M. J., MATHEWS, B., SCHMALZL, K., AYER, S., KIGUCHI, M., KATAOKA, Y. (2005): Weathering and surface protection of wood. Handbook of environmental degradation of materials. William Andrew Publishing, Norwich, 277 – 297, ISBN: 978-0-8155-1500-5.
- EVANS, P. D., (2008): Weathering and photo-degradation of wood. Development of Wood Preservative Systems, ACS Symposium Series, American Chemical Society (ACS), Washington, DC, USA, pp. 69 – 117. ISBN: 0-8412-3951-7.
- FEIST, W. C., (1982): Weathering of wood in structural uses. In Meyer, R.W., & Kellong, R. M., (Ed.), Structural use of wood in adverse environments, New York: Van Nostrand Reinhold, p. 156 – 178.
- FEIST, W. C., HON, D.N.S. (1984): Chemistry of weathering and protection. In: The chemistry of Solid wood, R.M. Rowell, ed. Advances in chemistry series 207. American Chemical Society's, Washington D.C., ISBN13: 978-08-412-0796-7.
- FEIST, W. C., (1990): Outdoor wood weathering and protection. Advanced in Chemistry, Series No. 225. Washington, DC: American Chemical Society 263 – 298, Chapter 11. DOI: 10.1021/ba-1990-0225.ch011, ISBN13: 978-08-412-1623-5.
- FESANGHARY, M., ASADI, S., GEEM, Z. W., (2012): Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm, In: Building and Environment. roč. 49, 2012. s. 245 – 250, ISSN 0360-1323.
- GABRIEL, I. (2011): Dřevěné fasády. Materiály, design, realizace. Praha : Grada publi-shing, 2011, 136 s., 978-80-247-3819-2.
- GOBAKKEN, L. R., LEBOW, P. K. (2010): Modelling mould growth on coated modified and unmodified wood substrates exposed outdoors. Wood Science and Technology, 44 (2), p. 315 – 333, ISSN: 0043-7719.
- GOBAKKEN, L. R., HØIBØ, O. A. (2011): Aesthetic service life of coated and uncoated wooden cladding-influencing factors and modelling. In The 42nd Annual Meeting of IRG. International Research Group on Wood Protection IRG/WP (pp. 11–20470) 11-05-08/12 Queenstown, New Zealand.
- HAMDY, M., HASSAN, A., SIREN, K. (2011): Applying a multi-objective optimization approach for Design of low-emission cost-effective dwellings. In: Building and Environment. roč. 46, 2011, č. 1, s. 109 – 123, ISSN 0360-1323.

- HIDALGO-MEDINA, J. P. (2015): Performance-based Methodology of the Fire Safety Design of Insulation Materials in Energy Efficient Buildings: Dissertation thesis. University of Edinburgh, 2015, 429 s., (nepublikované).
- HON, D. N. S., CHANG, S. T. (1984): Surface degradation of wood by ultraviolet light. *J. Polym. Sci. Polym. Chem* 22, p. 2227-2241, ISSN 1099-0518.
- HON, D. N. S., Shiraishi, N. (2001): Wood and cellulose chemistry. New York und Basel: Marcel Dekker Inc. 914 p. ISBN: 0824700244.
- CHANG, T. C., CHANG, H. T., WU, C. L., CHANG, S. T. (2010): Influences of extractives on the photodegradation of wood. *Polymer Degradation and Stability*, 95(4), 516 – 521, ISSN: 0141-3910.
- ISLAM, H., ET AL. (2015): Optimization approach of balancing life cycle cost and environmental impacts on residential building design, In: *Energy and Buildings*. roč. 87, 2015. s. 282 – 292, ISSN 0378-7788.
- KAIHUA L., ET AL. (2015): Merging behavior of facade flames ejected from two windows of an under-ventilated compartment fire. In: *Proceedings of the Combustion Institute*. Roč. 35, 2015, č. 3. s. 2615 – 2622, ISSN: 1540-7489.
- KATAOKA, Y., KIGUCHI, M. (2001): Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy, *Journal of wood science*, 47(4), 325 – 327. DOI: 10.1007/BF00766722, ISSN: 1435-0211.
- KIM, Y.S. : (2013): „Wooshin Golden siutes“ in Busan. Forum on Fire Safety of Asia [online]. Available from: <http://gcoe.tus-fire.com/eng/ffsa/?p=1761>.
- KOTTHOFF, I. (2001): Brandschutz im Holzbau, 9. DGfH-Brandschutztagung, Würzburg Okt. 2001, [online 15.4.2017] (<http://www.lignum.ch>).
- KUČEROVÁ, I. (2005): Atmosférická degradace dřeva. VŠCHT – Ústav chemické technologie restaurování památek. *Koroze a ochrana materiálu*, 49(1), 9 – 12, ISSN 0452-599X.
- LEŠKO, R., LOPUŠNIAK, M. (2013): Regulative and Standard Requirements on Facades in Slovakia and Their Mutual Comparison with Selected European Countries. In: *Proceedings of 2nd International Seminar for Fire Safety of Facades*, Lund: EDP Sciences, 2013. s. 1 – 8. ISBN: 978-1-5108-2406-5.
- LEŠKO, R. (2017): „Analýza požiarnej bezpečnosti obvodových stien.“ Košice : Tech-nická univerzita Košice. 2017, 126s., (kandidátska dizertačná práca – nepublikované).
- LI, G., HU, H. (2014): Risk design optimization using many-objective evolutionary algorithm with application to performance-based wind engineering of tall buildings. In: *Structural Safety*. roč. 48, 2014. s. 1 – 14, ISSN 0167-4730.
- LOKAJ, A., ET AL. (2010): Dřevostavby a dřevěné konstrukce. Brno: Akademické nakla-datelství, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, L. (2020): Wooden Façades and Fire Safety - Effects of Joint Type on Ignition Behaviour, Springer, 106 s. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48883-3>
- MÜLLER, U ET. AL (2003): Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 69(2): 97-105. DOI: 10.1016/S1011-1344(02)00412-8.
- ORAL, G., K., YENER, A. K., BAYAZIT, N. T. (2004): Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. In: *Building and Environment*. roč. 39, 2004, č. 3, s. 281 – 287, ISSN: 0360-1323.
- OSVALD, A. (1997): Požiarnotechnické vlastnosti dreva a materiálov na báze dreva. Vedecké štúdie 8/97/A, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1997, 52 s., ISBN 80-228-0656-0.
- OSVALD, A., KRAJČOVIČOVÁ, J., MITTEROVÁ, I., ORÉMUSOVÁ, E. (2009): Hodnotenie materiálov a konštrukcii pre potreby protipožiarnej ochrany. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 335 s., ISBN 978-80-228-2039-4.

- OSVALD, A. (2017): Wood Fire Protection. In: Fire protection, safety and security 2017, International scientific conference, Conference Proceedings, Zvolen : Vdavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, 2017, s. 193 – 200, ISBN 978-80-228-2957-1.
- OZDEMIR, T., HIZIROGLU, S. (2009): Influence of surface roughness and species on bond strength between the wood and the finish. *Forest Products Journal* 59 (6), p. 90 – 94, ISSN: 0015-7473.
- OZGENC, O., HIZIROGLU, S., YILDIZ, U. C. (2012): Weathering properties of wood species treated with different coating applications. *Bioresources*, 7(4), p. 4875 – 4888, ISSN: 1930-2126.
- OZGENC, O., OKAN, O. T., YILDIZ, U. C., DENIZ, I. (2013): Wood surface protection against artificial weathering with vegetable seed oils. *BioResources* 8 (4), p. 6242 – 6262, ISSN: 1930-2126.
- ÖSTMAN, B. L. (2009): Fire safety in timber buildings. First draft comments 2009.
- PANDEY, K. K. (2005): A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability* 87, p. 375 – 379, ISSN, 0141-3910.
- PATZAK, W. (1972): Zur Theorie des Brangeschebens von Holz. *VDI Forschungsheft* 552, München 1972, 52 s.
- PUŠKÁR, A., ET. AL. (2002): Obvodové plášte budov – fasády. Bratislava: Jaga group, 2002, 338 s., ISBN: 80-88905-72-9.
- REINPRECHT, L. (2008): Ochrana dreva. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 453 s., ISBN 987-80-228-1863-6.
- SHI, X. (2011): Design optimization of insulation usage and space conditioning load using energy simulation and genetic algorithm. In: *Energy*. roč. 36, 2011, č. 3. s. 1659 – 1667, ISSN: 0360-5442.
- SONDEREGGER, W., KRÁNITZ, K., BUES, C. T., NIEMZ, P. (2015): Aging effects on physical and mechanical properties of spruce, fir and oak wood. *Journal of Cultural Heritage*, 16(6), 883 – 889, ISSN: 1296-2074.
- SCHOBER, K. P., MATZINGER, I. (2006): Brandschutztechnische Ausführung von Holz-fassaden. *proHolz Rakúsko* (Hrsg.) Arbeitsheft 8/06, [online 15.4.2017] (<http://www.lignum.ch>).
- STRAKA, B. (1996): Navrhování dřevěných konstrukcí. Brno: CERM, 1996, 120 s. ISBN 80-720-4015-4.
- SUZUKI, T., ET. AL. (2016): An Experimental study of ejected Flames of a High rise buildings – effects of depth of balcony on ejected flame. In: *Proceedings of AOFST Symposiums*. 2016. s. 363 – 373, ISBN 978-981-10-0376-9.
- ŠTEFKO, J., REINPRECHT, L. (2004): Dřevěné stavby – konstrukce, ochrana a údržba. Bratislava : Jaga group Bratislava, 207 s., ISBN 80-889-0595-8.
- TEACÀ, C. A., ROSU, D., BODÎRLĂU, R., ROSU, L. (2013): Structural changes in wood under artificial UV light irradiation by FTIR spectroscopy and color measurements - a brief review. *BioResources* 8(1): 1478 – 1507. DOI: 10.15376/biores.8.1.1478-1507, ISSN: 1930-2126.
- TEMİZ, A., YILDIZ, U. C., AYDIN, I., EIKENES, M., ALFREDSEN, G., COLAKOGLU, G. (2005): Surface roughness and colour characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied Surface Science* 250 (1 – 4), p. 35–42, ISSN 0169-4332.
- TROITZSCH, J. (1996): Fire regulations and testing of buildings materials in Europe status and perspectives. In: *Zborník referátov z konferencie Wood & Fire Safety*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1996, s. 11 – 20. ISBN 80-228-0493-2.
- WILLIAMS, R. S., FEIST, W. C. (1999): Water repellents and water-repellent preservatives for wood (Vol. 109). *Forest Products Laboratory*.
- WILLIAMS, R. S., KNAEBE, M. T., FEIST, W. C. (2001): Erosion rates of wood during natural weathering. Part II. Earlywood and latewood erosion rates. *Wood and fiber science* 33(1): 43 – 49, ISSN: 0735-6161.
- WILLIAMS, R. S. (2005): Weathering of wood. *Handbook of wood chemistry and wood composites. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* (pp. 139-185). Madison: CRC Press. ISBN: 1439853800.

WOOD SOLUTIONS (2013): Wood solutions desing and build. Sydney : Exonva Warringtonfire Aus Pty Ltd, 2013, 24 s. ISBN 978-1-921763-68-7.

YU, W. (2015): Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design, In: Energy and Buildings. roč. 88, 2015. s. 135 – 143, ISSN 0378-7788.

ŽLAHTIČ, M., HUMAR, M. (2016): Influence of Artificial and Natural Weathering on the Hydrophobicity and Surface Properties of Wood. BioResources, 11(2), 4964 – 4989. ISSN: 1930-2126.

ZÁKON (1985): Zákon č. 133/1985 Sz. O požární ochraně. 32 s.

EN 300: 2006 Oriented strand boards (OSB). Definitions, classification and specifications.

EN 312: 2010 Particleboards. Specifications.

EN 350: 2016 “Durability of wood and wood-based products – Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials,” European Committee for Standardization, Brussels.

EN 622-2: 2004 Fibreboards. Specifications. Requirements for hardboards.

EN 622-3: 2004 Fibreboards. Specifications. Requirements for medium boards.

EN 622-4: 2009 Fibreboards. Specifications. Requirements for softboards.

EN 622-5: 2009 Fibreboards. Specifications. Requirements for dry process boards.

EN 634-2: 2007 Cement-bonded particleboards - Specifications - Part 2: Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions.

EN 636: 2012+A1: 2015 Plywood. Specifications.

EN 13353: 2008 + A1:2011 Solid wood panels (SWP).

EN 15197: 2007 Wood-based panels. Flaxboards. Specifications.

EN 13501-1: 2007+A1:2009 Fire classification of construction products and building elements. Classification using test data from reaction to fire tests.

ISO 13785-1: 2002 Reaction-to-fire tests for facades - Part 1: Intermediate-scale test.

ISO 13785-2: 2002 Reaction-to-fire tests for facades - Part 2: Large-scale test.

(<http://hnonline.sk/svet/875848-na-umelom-polostrove-v-dubaji-zachvatil-velky-poziar-obytny-komplex> (1.6.2017).

(<http://www.firecontrol.sk/-poziar> (1.6.2017).

<http://www.topky.sk/cl/11/1638179/Prekvapive-odhalenie-v-pripade-londynskeho-pekla--Toto-je-dovod-poziaru-ktory-zabil-79-ludi> (12.7 2017).

2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je vyhodnotit povrchové změny čtyř vybraných jehličnatých druhů dřeva během dlouhodobé exteriérové expozice a posoudit jejich vliv na vznícení a hoření, což umožní predikovat riziko požáru u dřevěných fasád neošetřených povrchovou úpravou ani retardéry hoření. Dílčími cíli, které vedou k naplnění hlavního cíle, jsou:

- 1) Průběžně vyhodnotit vliv dvouleté vnější expozice na změny barvy a drsnosti zkoumaných dřev smrku, modřínu, borovice a douglasky.
- 2) Vyhodnotit vliv stárnutí na vybrané charakteristiky hoření, zejména celkový úbytek hmotnosti a rychlost odhořívání.
- 3) Hledat vzájemné vztahy a souvislosti mezi hustotou, druhem dřeva, časem stárnutí, změnami povrchů a parametry hoření.

Celkové vyhodnocení výsledků experimentů povede k zlepšení znalostí o materiálových charakteristikách nativního dřeva používaného na fasády během dlouhodobé vnější expozice vzhledem k rizikům požárů působením otevřeného plamenného zdroje.

3 METODIKA PRÁCE

V následující části monografie je přiblížená metodika od přípravy vzorků až po popis jednotlivých zkoušek a experimentů.

3.1 Materiál

Vzhledem k široké škále materiálů používaných ve stavebnictví je důležité vybrat správný materiál pro daný projekt. To zahrnuje faktory, jako jsou bezpečnost, trvanlivost, ekologická udržitelnost, údržba, náklady a estetika. Mnoho moderních stavebních projektů klade důraz na používání ekologicky šetrných a udržitelných stavebních materiálů.

3.1.1 Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.)

Borovice lesní se řadí mezi pionýrské dřeviny. Je výrazně světlomilná a netolerantní k zastínění. Roste na mělkých chudých sušších písčitých až kamenitých půdách (vzniklých na silikátových horninách, vápencích i hadcích), také se vyskytuje na rašelinných a bažinných půdách, někde i na půdách zasolených. Borovice lesní je 40 metrů vysoký jehličnatý strom. Borovicové dřevo má barevné rozlišitelné jádro, které je červenohnědé, s výraznými letokruhy. Je to dřevo měkké, lehké, pružné a méně houževnaté než dřevo smrkové. Je také obtížněji štípatelné. Obsahuje velké množství pryskyřice (pryskyřičných kanálků), což zvyšuje jeho trvanlivost na vzduchu i ve vodě (<http://www.tuzvo.sk>, 2015 a).

Textura dřeva je fládrovaná a pruhovaná s výrazným dekorem dřeva. Obecně je možné borovicové dřevo z hlediska trvanlivosti na vzduchu zařadit mezi středně trvanlivé dřeviny. Nechráněné a neimpregnované borovicové dřevo má trvanlivost 20 až 70 let, kryté pod střechou pak 90–120 let, pod vodou 250 – 500 let a vždy suché borovicové dřevo má trvanlivost 700 – 900 let (<http://www.tuzvo.sk>, 2015a). Borovicové dřevo je na obr. 3.1 (Oberhofnerová 2016).



Obr. 3. 1 Dřevo borovice (foto Oberhofnerová 2016)

Z hlediska fyzikálních a mechanických vlastností, ale hlavně kvůli většímu počtu suků a vyššímu obsahu pryskyřice, nemá borovicové dřevo takový význam v průmyslovém zpracování jako smrkové nebo jedlové dřevo. Tyto vlastnosti ale neovlivňují jeho využití ve stavebnictví, při zhotovování pomocných, ale i finálních konstrukcí nebo při výrobě rámových konstrukcí panelových dřevostaveb. V původním válcovitém tvaru se z borovicového dřeva vytvářejí i náročné konstrukce srubových staveb. Je jedna z nejdůležitějších hospodářských dřevin. Poskytuje pryskyřičnaté, lehké, měkké, pružné a trvanlivé dřevo se žlutavou bělí, červenohnědým jádrem a ostře výraznými letokruhy. Oproti smrkovému dřevu je křehčí, méně houževnaté, nestejněměrné a hůře štěpné, méně lesklé. Pro vysoký obsah pryskyřice velmi trvanlivé hlavně ve vodě a vlhku, proto se využívá hlavně pro vodní stavby, pumpy, důlní výdřevu, pražce, stěžně, stožáry. Dále slouží ke stavbě konstrukcí, výrobě řeziva, na vláknu, výhřevné palivo.

3.1.2 Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)

Roste v oblastech s přímořským klimatem, s mírnou vlhkou zimou a chladným relativně suchým létem, s malým kolísáním teplot a krátkým mrazivým obdobím. Srážky soustředěny na zimní měsíce. V Kaskádovém pohoří je klima o něco drsnější. K zastínění je druh zprvu poměrně tolerantní, v době dospívání na světlo středně náročný. Oblibuje hluboké, hlinité živinami dobře zásobené půdy, propustné a dobře provzdušněné, s pH 5–6. Vysoký až velmi vysoký strom, v pralesích dorůstá 55–100 m výšky a 1–3 m v průměru. Koruna zprvu kuželovitá, ve stáří zaokrouhlená, nahoře nepravidelně zploštělá. Kmen dlouhý, válcovitý, u starších stromů přirozeně vyvětený. Borka u mladých jedinců hladká s pryskyřičnými puchýřky, u starých stromů korkovitá, silně rozbrázděná v silné podélné červenohnědé hřebeny, oddělené hlubokými prasklinami. Douglaska je původem ze Severní Ameriky a v Evropě se pěstuje od 19. století. Dorůstá až do výšky 30–40 metrů, kmeny jsou až do délky 20 metrů bez suků a mohou být až 1 metr silné. Běl douglasky je úzká, téměř bílá až žlutobílá. Jádro je červenohnědé a pomalu tmavne. Letní dřevo je tmavší a oboustranně zřetelně ohraničené, pryskyřičné kanálky výrazně vystupují. Při vysušení se mírně smršťuje, má dobrou tvarovou stálost, nízkou tendenci k praskání a borcení. Evropská douglaska má hrubou texturu, hůře se obrábí a je relativně odolná vůči kyselinám.

Dřevo obsahuje pryskyřici a může tak docházet k jejímu výronu. Je průměrně odolné vůči povětrnostním vlivům, jádro je odolné proti napadení hmyzem a houbami.



Obr. 3. 2 Dřevo douglasky (foto Oberhofnerová 2016)

Používá se do interiéru i exteriéru, ve stavebnictví, k výrobě dých, na stavbu lodí nebo například na parkety (<http://holz-technik.de/holz/html/holz.html> 2016). Dřevo se také využívá k výrobě harpun, kopí a také užitkových předmětů pro domácnost. Vyobrazení douglasky je na obr. 3.2 (Oberhofnerová 2016).

Douglaska tisolistá byla velmi úspěšně introdukována do mnoha lesních oblastí mírného pásma. V lesích střední a západní Evropy je douglaska nejčastěji pěstovanou a nejlépe osvědčenou cizí jehličnatou dřevinou, v Česku na ploše asi 4000 ha (0,2 % rozlohy našich lesů). Své uplatnění našla v Evropě také jako významná soliterní parková dřevina.

3.1.3 Smrk ztepilý (*Picea abies* (L) Karst.)

Strom dorůstající výšky kolem 50 m s průběžným, přímým kmenem o průměru až 1,5 m a pravidelným, přeslenitým větvením. Borka červenohnědá až šedá. Koruna je kuželovitá, někdy štíhlá, s jemným větvením, jindy zase široká, se silnými větvemi. Letorosty jsou červenožluté až hnědé, lysé nebo řídce chlupaté, větvíčky po opadu jehlic drsné. Jehlice čtyřhranné, leskle zelené, zašpičatělé, 1–3 cm dlouhé. Samčí šištice jsou drobné, červené, po rozkvětu žluté, samičí šištice zelené nebo červené, vzpřímené. Plody jsou převislé, válcovité, nerozpadavé šišky, 10–16 cm dlouhé, opadávající druhým rokem. Semeno tmavohnědé, vejcovité, s blanitým křídlem snadno oddělitelným. Světlo milná dřevina, snášející v mládí zástín, takže snadno vniká do porostů jiných dřevin a postupně zaujímá jejich místo. Je značně náročný na půdní vlhkost. Snese dobře nadbytečnou vlhkost a vydrží i stagnující vodu bažin a rašelinišť. Nedostatek vláhy se však stává limitujícím faktorem dobrého růstu smrku. Na půdu a geologické podloží nemá smrk velké nároky; na vápencových horninách ustupuje zřetelně buku. Při dostatečné vlhkosti osídluje i docela mělké půdy, kryté trochou humusu, např. horní hranice lesa. Citlivější je k vysokým teplotám a nesnáší nízkou relativní vlhkost vzduchu. Je málo odolný vůči působení větru, následkem bývají vývraty. Je velmi choulostivý vůči imisím, zejména SO₂, což se projevilo rozsáhlým hynutím porostů, u nás např. v pohraničních horách. Původně roste v horských lesích, inverzních údolích, v rašeliništích a lokalitách s vyšší půdní vlhkostí, především na kyselých půdách. U uplynulých staletích byl vysazován na různá stanoviště, monokulturní porosty vykazují velkou ekologickou nestabilitu.

Dřevo smrku je nažloutlé až žlutohnědé, lesklé, bez zbarvení jádra, velmi světlé (viz obr. 3.3). Dobře snáší zátěž. Hranice letokruhů jsou výrazné, úzké, letní dřevo přechází pozvolna do širokého jarního dřeva. Smrkové dřevo je lehké, měkké, pružné, dobře štipatelné, dobře se moří a hůře impregnuje. Nejvyšší kvalitu má dřevo, které se vyznačuje souměrnými a úzkými letokruhy (1 – 4 mm) s podílem letního dřeva v letokruhu v rozmezí 5 až 20 % a je zároveň bez kazů.



Obr. 3. 3 Dřevo smrku (foto Oberhofnerová 2016)

Dřevo smrku lze z hlediska trvanlivosti na vzduchu zařadit mezi středně trvanlivá dřeva. Z hlediska trvanlivosti dřeva při kontaktu se zemí, kde hrozí riziko poškození všemi typy hnilob, je zařazeno mezi málo trvanlivá dřeva. Nechráněné a neimpregnované dřevo smrku vydrží 10 – 30 let. Pod střechou má trvanlivost 50 – 75 let. Pod vodou je to 60 – 100 let a vždy suché dřevo smrku vydrží 100 – 900 let.

Smrkové dřevo je z hlediska jeho fyzikálních a mechanických vlastností a struktury zpracovatelského průmyslu mimořádně důležitou surovinou. Nejvýznamnější využití je v podobě stavebního řeziva, především pro nadzemní stavby. Používá se také pro výrobu střešních konstrukcí, hospodářských, ale i speciálních budov. Je osvědčeným polotovarem pro výrobu oken, exteriérových a interiérových dveří, balkonů a schodišť. Smrkové řezivo je součástí rámových konstrukcí panelů dřevostaveb (<http://www.tuzvo.sk>, 2015c).

3.1.4 Modřín opadavý (*Larix decidua* Mill.)

Strom dorůstající výšky 20–50 m. Kmen je přímý s hrubou na povrchu šedavě zbarvenou borkou. Koruna kuželovitá, jehlice na brachyblastech ve svazečcích nejčastěji po 30–50, světle zelené. Samčí šištice vejcovité, žlutavé, převísle, samičí široce vejcovité šištice jsou tvořeny karmínově nebo zelenavě zbarvenými podpůrnými šupinami (na našem snímku nahoře). Šišky jsou nerozpadavé, protáhle vejcovité, někdy vydrží na větvkách i několik let. Jehlice se barví na podzim do žluta. Modřín je horská dřevina. Ve smíšených porostech vydrží déle než smrk. Jeho hospodářský význam byl až donedávna zanedbatelný. Modřín je jehličnatý opadavý strom, rychle roste v mladším věku a celkově dorůstá výšky až 50 m. Koruna je zpočátku úzce kuželovitá, později často široká se zploštělým vrcholem, větve jsou povislé. Modřín je světlo milná dřevina, která se pěstuje jak pro ušlechtilé dřevo, tak i pro okrasu v parcích a ve veřejné zeleni. Světlo milná dřevina značně trpí zastíněním. Jesenický modřín se vyskytuje častěji ve směsi s jinými dřevinami, neboť přece jen snáší slabé zastínění. Modřín má střední nároky na vláhu jak v půdě, tak v ovzduší. Nevyhovují mu vysychavé půdy a vyhýbá se oblastem s nižšími srážkami. Roste nejčastěji na čerstvých, hlubokých, zvětralých půdách, ale také na mělčích půdách suťových svahů s dostatkem vláhy. Dává přednost živnější půdám, jaké jsou na vápencích, dolomitech nebo čedičích – spolu s borovicí jako pionýrská dřevina na skalkách a sutích, kde je přirozená konkurence jiných dřevin silně omezena. Modřín vzdoruje drsnému klimatu s velkými teplotními výkyvy. Dříve se z kmenů modřínu získávala i ceněná pryskyřice. Rozlišuje se několik poddruhů.



Obr. 3. 4 Dřevo modřínu (foto Oberhofnerová 2016)

Dřevo modřínu (viz obr. 3.4) je lehké, pružné, dobře opracovatelné, štípatelné. Z hlediska trvanlivosti na vzduchu lze zařadit mezi trvanlivé dřevo a z hlediska trvanlivosti při kontaktu se zemí mezi středně trvanlivé dřevo. Nechráněné a neimpregnované dřevo modřínu vydrží 20 - 80 let, pod střechou má trvanlivost 100 až 150 let. Pod vodou je to 300 - 700 let a vždy suché dřevo modřínu vydrží 800 - 1000 let. Fyzikální a mechanické vlastnosti modřínového dřeva, ale především jeho jedinečná barva a textura, ho předurčují pro výrobu všech typů výrobků (<http://www.tuzvo.sk>, 2015b).

Jeho dřevo je značně ceněno, je měkké, ale tvrdší než dřevo našich běžnějších jehličnanů (s výjimkou tisu). Je středně těžké, poměrně pružné a trvanlivé. Má úzkou nažloutlou běl a výrazné červenohnědé jádro. Dřevo se používá k výrobě nábytku, obkladům stěn či jako stavební dříví. Dříve se z něj též vyráběly bedny a kola.

3.2 Zkušební vzorky pro experimenty

3.2.1 Zkušební vzorky pro test povětrnostním stárnutím

Zkušební vzorky určené pro test povětrnostním stárnutím byly vyrobeny ze sušených a neomítaných fošen tloušťky 50 mm tak, aby neobsahovaly vady (suky, smolníky, hnilobu, zbarvení atd.) a netrvanlivé bělové dřevo. Zkušební vzorky měly rozměry 375 x 78 x 20 mm (L x T x R) - viz obr. 3.5. Testované vzorky byly broušené brusným papírem zrnitosti 120 a z čelních ploch byly opatřeny vrstvou univerzálního transparentního silikonu k zamezení průniku vody do zkušebních těles. Každý druh dřeviny byl reprezentován 5 zkušebními a 3 referenčními vzorky. Na těchto vzorcích byly pravidelně vyhodnocovány změny povrchových vlastností – barvy a drsnosti.



Obr. 3. 5 Zkušební vzorky pro test povětrnostním stárnutím (foto Oberhofnerová 2014)

Zkušební vzorky pro stanovení změn hustoty v průběhu vnější expozice u testovaných dřevin byly vyrobeny z již exponovaných vzorků popsaných v předešlém textu. Testovaná tělesa měly rozměry 20 x 20 x 20 mm. Hustota byla určována na 5 vzorcích od každé dřeviny pro každý čas expozice.

3.2.2 Zkušební vzorky pro test zapálením a hořením

Po ukončení testu povětrnostním stárnutím byly pro zkoušku tepelným zatěžováním vyrobeny zkušební vzorky o rozměrech 60 x 20 x 20 mm (L x T x R) z již exponovaných vzorků jehličnatých dřevin. Každá dřevina byla zastoupena čtyřmi zkušebními vzorky pro každý čas expozice.

3.3 Zkušební zařízení a postupy při testování

3.3.1 Zkouška povětrnostním stárnutím

Přirozenou trvanlivost a chování dřeva v exteriéru je možné s určitou přesností predikovat pomocí testu přirozeným stárnutím. Metodika testování byla stanovena dle ČSN EN 927-3: Nátěrové hmoty – Povlakové materiály a povlakové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí - Část 3: Zkouška přirození stárnutím. Výsledky této zkoušky jsou ovlivněny mnoha faktory, od zeměpisné polohy a nadmořské výšky, po specifické klimatické podmínky (množství srážek, vlhkost vzduchu, znečištění, kyselé deště atd.). Výsledky není možné plně reprodukovat pro různé lokality a časová období. Na rozdíl od zrychlených laboratorních zkoušek však testy přirozeným stárnutím poskytují data vypovídající o skutečném chování dřeva v exteriéru. Test probíhal v lokalitě Suchdol, Praha (50 ° 07'49.68 „N, 14 ° 22'13.87“ E, nadmořská výška 285 m). Zkušební vzorky zde byly vystaveny po dobu 24 měsíců od 15.12.2014 do 15.12.2016. Klimatické podmínky v daném období jsou zaznamenány v následujících tabulkách (viz tabulky 3.1 a 3.2).

Tab. 3. 1 Průměrné hodnoty klimatických podmínek podle měsíců v roce 2016

Rok 2016	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12
Teplota (°C)	2	5,2	14,1	21,2	14,4	6,7
Relativní vlhkost (%)	77,3	67,1	61,5	55,2	67,8	80,6
Srážky (mm)	15,5	19,1	36,1	33,4	31,7	13,4
Solární záření (kJ/m ²)	2746	10010	18602	19248	11144	3494

Tab. 3. 2 Průměrné hodnoty klimatických podmínek podle měsíců v roce 2017

Rok 2017	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12
Teplota (°C)	0,6	4,5	18	19,1	15,9	1,1
Relativní vlhkost (%)	82,6	75	66,2	64,4	67,6	75,2
Srážky (mm)	54,5	22	46,8	17,8	39,7	17,8
Solární záření (kJ/m ²)	3640	10624	19612	19299	11546	4311

Poznámka: na základě dat z <http://meteostanice.agrobiologie.cz/>

Testované vzorky byly vystaveny ve speciálních stojanech směrem na jih pod úhlem 45°, přibližně 1 m nad zemí – viz obr. 3.6. Před expozicí a během expozice po 6, 12 a 24 měsících byly pravidelně vyhodnocovány změny vlastností – barvy, drsnosti a hustoty. Po uplynutí stanoveného intervalu vnější expozice byly vzorky ze stojanů odebrány a týden klimatizovány při teplotě 20 ± 2 °C a 65% relativní vlhkosti k ustálení jejich vlastností.



Obr. 3. 6 Zkouška povětrnostním stárnutím (foto Oberhofnerová 2014)

3.3.2 Zkouška tepelného zatěžování

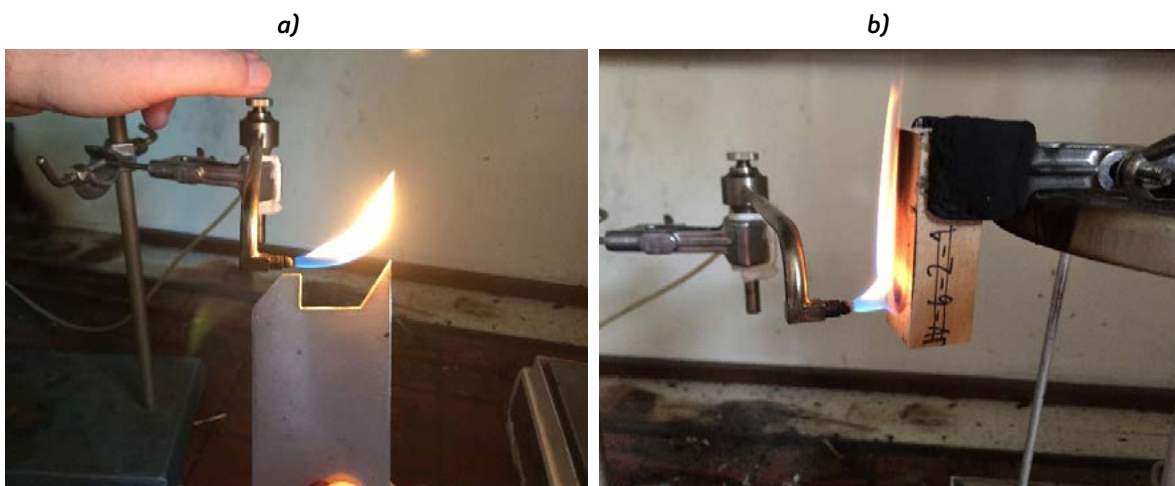
Zařízení, postup, jakožto i hodnotící kritéria pro tento experiment byly modifikovány z více testů zakotvených v normách nebo aplikovaných ve vědeckých pracích (CONEVA, 2014; KADLICOVÁ ET AL. 2016; CONEVA 2017). Pro tento účel a dané rozměry vzorků žádný speciální laboratorní test (malorozměrový) neexistoval. Nově navržené podmínky pro test byly dány rozměrem vzorků a účelem měření a byly stanoveny s cílem získat poznatky o reakci jednotlivých druhů dřevin a vlivu povětrnostního stárnutí, které bylo popsáno v předchozí kapitole.

Jako zdroj tepla plamenného zatěžování byl vybrán plynový kahan na propan-butan z laboratorního zařízení ČSN EN ISO 2592 pro určování bodu vzplanutí a hoření. Clevelandova metoda v otevřeném kelímku (viz obr. 3.7a). Z tohoto zařízení byl použit pouze plynový hořák (viz obr. 3.7b). Na obr. 3.8a je detail regulace plamene na předepsaný rozměr a na obr. 3.8b působení plamene na vzorek. Přesné parametry vzorku a polohy hořáku jsou na obr. 3.9. Červená šipka na obr. 3.9 značí polohu hořáku, přičemž velikost jeho plamene před přiložením na vzorek byla nastavena na 20 mm. Na obr. 3.10 je celkové schéma nově navrženého laboratorního zařízení.



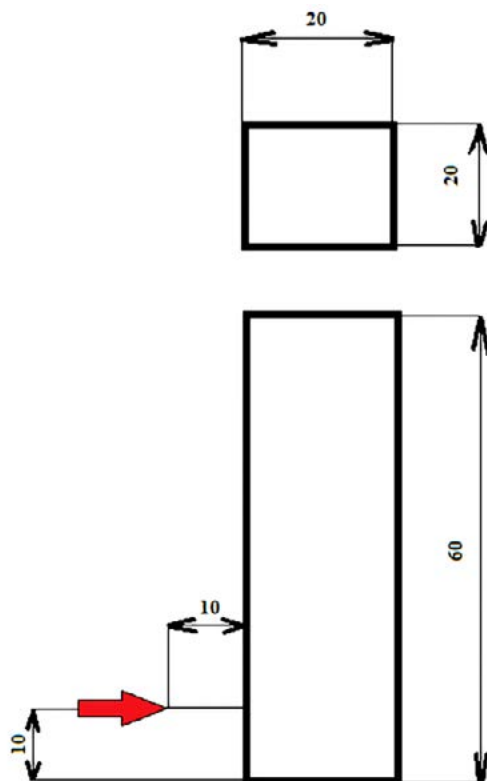
Obr. 3. 7 Laboratorní zařízení dle ČSN EN ISO 2592 (Clevelandova metoda)
(foto Kadlicová 2017)

a) celkový pohled na zařízení, **b)** detail plynového hořáku

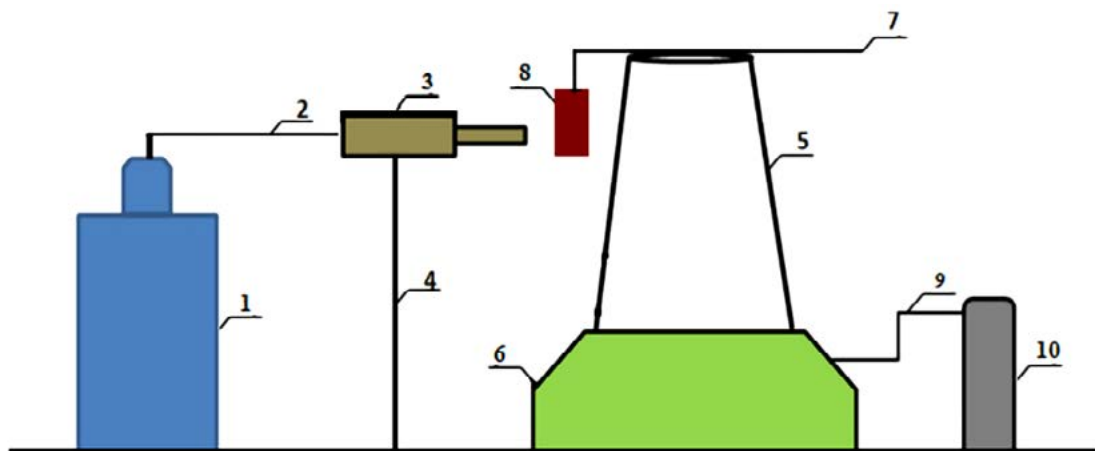


Obr. 3. 8 Regulace velikosti plamene a jeho působení na vzorek (foto Kadlicová 2017)

a) regulace plamene, **b)** detail působení plamene na vzorek



Obr. 3. 9 Schéma rozměrů vzorku a polohy hořáku při experimentu (Osvald 2017)

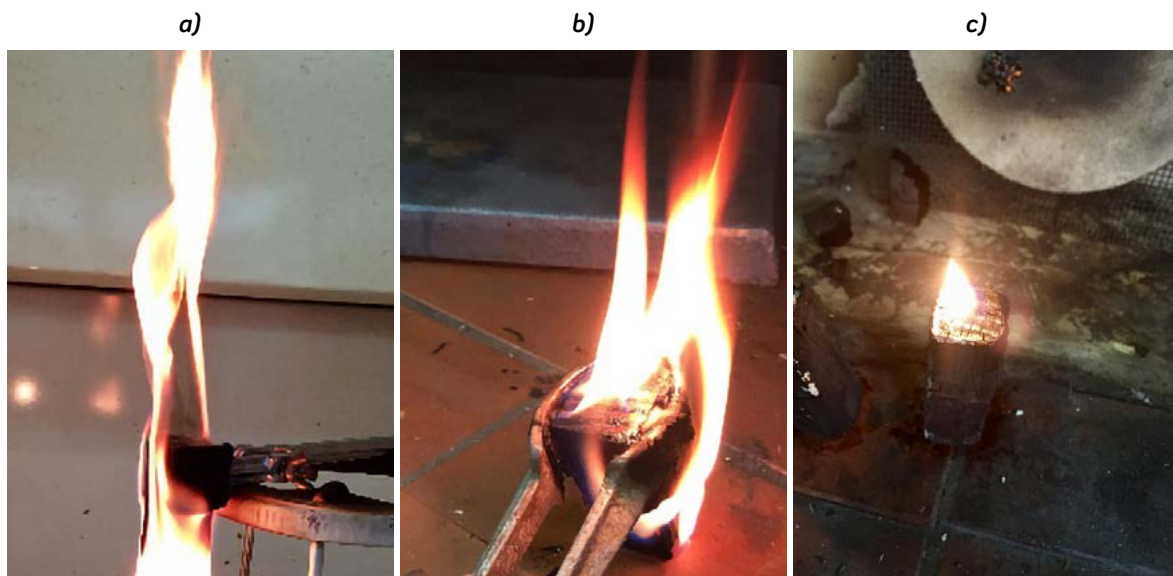


Obr. 3. 10 Celkové schéma nově navrženého laboratorního zařízení (Osvald 2017)

- 1 – plynová bomba propan-butan, 2 – tlaková hadice, 3 – plynový hořák ze zařízení podle Clevelanda,
4 – držák hořáku, 5 – stojan na váhách, 6 – váhy, 7 – držák vzorku, 8 – vzorek,
9 – kabel na propojení vah s počítačem, 10 – počítač

Průběh zkoušky byl následující. Vzorek se upevnil do předem odváženého držáku (po vážení držáku se váha resetovala) a společně se umístily na váhu. Váha zaznamenala hmotnost vzorku. Na počítači se spustil program, který v 10 sekundových intervalech zaznamenával hmotnost vzorku. Předem nastavený hořák se v předepsané poloze přiložil k vzorku a nechal se 60 sekund působit na vzorek. Po tomto intervalu se hořák odsunul a úbytek na hmotnosti se měřil ještě dalších 180 sekund (bez působení plamene z hořáku). Po tomto intervalu se měření ukončilo. Celé měření trvalo 240 sekund. Jak ukazují výsledky v kap. 4 této monografie, metoda experimentu (velikost, zdroje, délka jeho působení, poloha a jiné), byly nastaveny tak, že všechna požadovaná kritéria byla v rámci testování vyhodnotitelná.

Vzorky některých dřevin téměř nehořely a jejich chování dokumentovaly také hodnotící kritéria, zatímco vzorky některých dřevin i při tomto nastavení aparatury hořely velmi intenzivně nejen během experimentu, ale i po jeho ukončení (viz obr. 3.11).



Obr. 3. 11 Hoření vzorků při experimentu (Kadlicová 2017)
a) po odstavení hořáku v 60 sekundě, **b)** po odstavení z vah po 240 sekundě,
c) tři minuty po ukončení experimentu

3.4 Hodnotící kritéria

3.4.1 Zkouška povětrnostním stárnutím

3.4.1.1 Změna barvy dřeva

První hodnocenou vlastností je barva dřeva, která je rychlým a přesným indikátorem degradací povrchových vrstev dřeva. Je exaktně měřitelná spektrofotometricky (dle CIELab 1986) nebo může být hodnocena za využití skenování testovaných povrchů. V rámci tohoto experimentu byly barevné změny dřeva zaznamenávány pomocí spektrofotometru Minolta 600D (Konica Minolta, Japonsko). Přístroj byl nastaven na světelný zdroj D65 a pozorovací úhel 10° (CIELab standard). Barevné parametry L^* a^* b^* byly měřeny na 8 vyznačených místech v rámci jednoho vzorku (viz obr. 3.12). Z těchto parametrů byl vypočten celkový průměrný barevný rozdíl E^* podle uvedeného vzorce (3.1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.1)$$

kde:

L^* – světlost od černé (0) do bílé (100)

a^* – chromatická souřadnice s rozsahem od zelené (-60) do červené (+60)

b^* – chromatická souřadnice s rozsahem od modré (-60) do žluté (+60)

ΔL^* , Δa^* , Δb^* – rozdíly mezi hodnotami barevných parametrů před a po stárnutí



Obr. 3. 12 Měření barvy dřeva pomocí spektrofotometru (Oberhofnerová 2014)

3.4.1.2 Změna drsnosti

Drsnost povrchu vzorků byla určena na základě EN ISO 4287 a EN ISO 4288 za použití profiloměru Talysurf Form Intra (Taylor-Hobson, UK). Měření se provádělo na 4 místech každého vzorku, kolmo na vlákna dřeva na tangenciálním povrchu (viz obr. 3.13). Parametry měření byly nastaveny v souladu s normou EN ISO 4288. Byl naměřen standardizovaný parametr určující drsnost povrchu R_a – střední aritmetická odchylka profilu v μm .



Obr. 3. 13 Měření drsnosti povrchu dřeva pomocí profilometru (Oberhofnerová 2014)

Hustota zkušebních těles byla určena za použití laboratorních vah a posuvného měřidla na základě ČSN 49 0108 podle následujícího vztahu (3.2):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg.m}^{-3}) \quad (3.2)$$

kde:

m - hmotnost vzorku (kg),

V - objem vzorku (m^3).

3.4.2 Zkouška tepelným zatěžováním

Úbytek na hmotnosti

Při působení tepelného zdroje byl sledován a zaznamenáván úbytek na hmotnosti. Z těchto údajů byl podle následujícího vztahu vypočítán relativní úbytek na hmotnosti (3.3):

$$\delta_m(\tau) = \frac{\Delta m}{m(\tau)} \cdot 100 = \frac{m(\tau) - m(\tau + \Delta \tau)}{m(\tau)} \cdot 100 \quad (3.3)$$

kde:

$\delta_m(\tau)$ - relativní úbytek hmotnosti v čase (τ) (%),

$m(\tau)$ - hmotnost vzorku v čase (τ) (g),

$m(\tau + \Delta \tau)$ - hmotnost vzorku v čase ($\tau + \Delta \tau$) (g),

Δm - rozdíl hmotností (g).

Relativní rychlost odhořívání

Relativní rychlost odhořívání byla určena podle vztahů (3.4) (3.5):

$$v_r = \left| \frac{\partial \delta_m}{\partial \tau} \right| \quad (\% \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.4)$$

nebo numericky

$$v_r = \frac{|\delta_m(\tau) - \delta_m(\tau + \Delta \tau)|}{\Delta \tau} \quad (\% \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3.5)$$

kde:

v_r - relativní rychlost odhořívání ($\% \cdot \text{s}^{-1}$),

$\delta_m(\tau)$ - relativní úbytek na hmotnosti v čase (τ) (%),

$\delta_m(\tau + \Delta \tau)$ - relativní úbytek hmotnosti v čase ($\tau + \Delta \tau$) (%),

$\Delta \tau$ - časový interval, ve kterém se zaznamenává hmotnost (s).

Čas dosažení maximální rychlosti odhořívání

Vedle hodnoty rychlosti odhořívání je důležitý i čas, kdy se tato maximální rychlost odhořívání dosáhne. Pokud k tomu dojde již v prvních sekundách experimentu, ne k jeho konci, je to z pohledu protipožární ochrany nepříznivý faktor. Z tohoto důvodu byla tato fyzikální veličina zařazena jako hodnotící kritérium všech provedených experimentů.

Poměr (a)/(b)

Toto hodnotící kritérium je matematickým poměrem dvou předchozích hodnotících kritérií – relativní rychlosti odhořívání (a) a času, kdy se dosáhne maximální hodnota relativní rychlosti odhořívání (b). Číselná hodnota tohoto kritéria dává relevantní informaci o chování materiálu v podmínkách experimentu. Pokud se maximální hodnota relativní rychlosti odhořívání dosáhne v krátkém čase experimentu, můžeme to považovat za negativní faktor. Pokud se maximální hodnota dosáhne později, je to příznivý ukazatel. Považovali jsme však za nezbytné dát tyto dva ukazatele do poměru a zdůraznit tak jejich synergický efekt. Jako názorný příklad můžeme uvést, že pokud je maximální rychlost odhořívání s hodnotou 10 dosažena v desáté minutě, náš sledovaný poměr má hodnotu 1. Pokud je dosažena v páté minutě, hodnota poměru je 2, pokud v první minutě, poměr má hodnotu 10.

Rozdíl v úbytku na hmotnosti 0 - 48

Při působení tepelného zdroje na vzorky byl sledován a zaznamenáván úbytek na hmotnosti v několika krocích. Jelikož se navržená aparatura i celková metodika experimentu ukázala dostatečně citlivá pro zvolené hodnocení, rozhodli jsme se měřit hmotnost vzorků po 48 hodinách po ukončení experimentu. Hmotnost byla měřena kontinuálně 240 sekund (viz podkapitolu 3.4.2.1), následně se vypočítal „konečný“ úbytek na hmotnosti při tepelném namáhání (v 240 sekundě) a od něj se odečetl úbytek na hmotnosti po 48 hodinách (vzorec 3.6).

Tento rozdíl byl u některých dřevin záporný. To znamená, že když se u vzorku během hoření zaznamenal vyšší úbytek na hmotnosti, mohl být způsoben jak tepelnou degradací, tak i sušením dřevěného vzorku. Pokud k intenzivnímu hoření vzorku nedošlo, po 48 hodinách se „naklimatizoval“, a přijal vlhkost z prostředí, ve kterém byl umístěn, což se odrazilo na změně úbytku hmotnosti jeho snížením.

Pokud vzorek po odstavení od plamene hořel bezplamenným hořením, projevilo se to na úbytku hmotnosti, i přesto, že ještě nějakou vlhkost později mohl přijmout. Poměr změny hmotnosti vlivem vlhkosti a tepelné degradace při daném experimentu nebylo možné sledovat, nakolik vzorky byly umísťovány pouze v místnosti laboratoře. Toto hodnotící kritérium, jak se později ukázalo, má svou vypovídající hodnotu.

$$\delta_{m48} = \left(\frac{m(0) - m(240)}{m(0)} \right) - \left(\frac{m(0) - m(48)}{m(0)} \right) \cdot 100 \quad (\%) \quad (3.6)$$

kde:

δ_{m48} – rozdíl v relativním úbytku na hmotnosti (%),

$m(0)$ – hmotnost vzorku v čase (τ_0) (g),

$m(240)$ – hmotnost vzorku v čase (τ_{240}) (g),

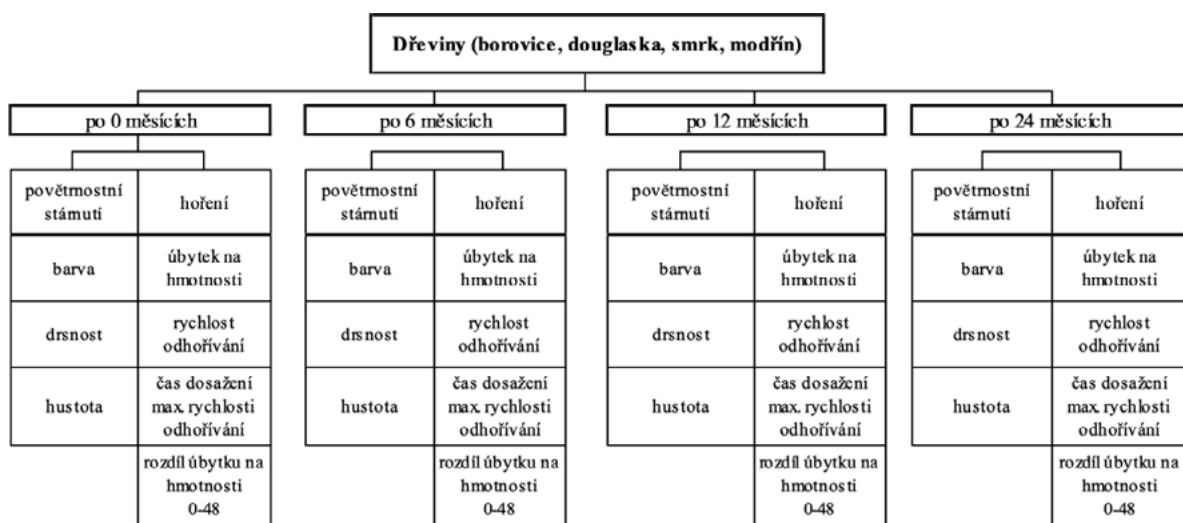
$m(48)$ – hmotnost vzorku v čase (τ_{48}) (g).

3.5 Statistické vyhodnocení

Na statistické a grafické vyhodnocení experimentů byly použity programy STATISTICA 12 (StatSoft CR, Česká republika) a Microsoft® Excel 2013 (Redmond, WA, USA). Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny jako jejich průměr a směrodatné odchylky. Zobrazené byly ve formě sloupcových grafů, spojnicových grafů a svorkových spojnicových grafů s 95% oboustrannými intervaly spolehlivosti. Korelace mezi jednotlivými naměřenými charakteristikami byly vyhodnoceny na základě lineárních závislostí a jejich koeficientů determinace (R^2). Síla korelace byla vyhodnocena následovně: $R^2 = <1; 0.81>$ interpretuje se jako velmi vysoká závislost, $R^2 = <0.81; 0.49>$ jako vysoká závislost, $R^2 = <0.49; 0.16>$ jako střední závislost, $R^2 = <0.16; 0.04>$ jako nízká míra závislosti a $R^2 = <0.04; 0>$ jako slabá až žádná závislost mezi vybranou dvojicí.

3.6 Schéma experimentu

Celkové schéma experimentu je na obr. 3.14. Základem schématu je časový interval expozice vybraných jehličnatých dřevin. Dále jsou uvedeny hodnotící kritéria, která popisují změny vlastností vybraných jehličnatých dřevin v závislosti na délce expozice.



Obr. 3. 14 Celkové schéma experimentu

LITERATURA 3. KAPITOLA

- CIE (1986). "Colorimetry," 2nd Edition, CIE Pub. No. 15.2, Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna, Austria, 74 pp. ISBN: 3-900-734-00-3.
- CONEVA, I., (2014): Zápalnosť celulóзовých látok ovplyvnená druhom bieliaceho prostriedku In: Krízový manažment = Crisis Management, vedecko-odborný časopis FBI, ŽU v Žiline, roč.13, č.2/2014, Žilina: Žilinská univerzita, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, 2014, s.5 – 15, ISSN 1336-0019.
- KADLICOVÁ, P., CONEVA, I., MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, L. (2016): Comparison of flammability between standard and premium fuels based on examining of measured fire resistance In: ADVANCES IN FIRE & SAFETY ENGINEERING 2016: V. ročník medzinárodnej vedeckej konferencie, Žilina, ŽU v Žiline, FBI, KPI, 27.-28.októbra 2016, recenzovaný vedecký zborník príspevkov [elektronický zdroj-CD]: Žilina : ŽU v Žiline, EDIS, 2016, ISBN 978-80-554-1269-6.
- CONEVA, I., (2017): Horľavý materiál vyskytujúci sa v prevádzkach a v priestoroch určených pre verejné stravovanie a ubytovanie. In: FIRECO 2017: Protipožiarna bezpečnosť hotelov a zariadení poskytujúcich ubytovanie vo vzťahu k cestovnému ruchu: XII. medzinárodná vedecká konferencia: 4.-5. máj 2017 Trenčín, Slovenská republika: Bratislava : Požiarnotechnický a expertízny ústav (PTEÚ) MV SR, Národné informčné stredisko (NIS) HaZZ MV SR, Bratislava: zborník prednášok: [elektronický zdroj]: 2017, s.51 – 64, ISBN 978-80-89051-20-5.
- ČSN 49 0108 (1993): Dřevo. Zjišťování hustoty, Český Normalizační Institut, Praha, Česká republika.
- EN ISO 4287. (1997). Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters. International Organization for Standardization, Geneva.
- EN ISO 4288. (1996). Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Rules and procedures for the assessment of surface texture. International Organization for Standardization, Geneva.
- ČSN EN ISO 2592:2018 Ropa a ropné výrobky - Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření - Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda.
- <http://www.tuzvo.sk> (2015a) Dostupné na:http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struk-tura/lesnicka_fakulta/organizacneclenenie/katedry/katedra-lesnej-tazbylogistiky-melioracii/servis_studentom/hlavna_dreviny_borovica.html. Získané: 22. 6. 2015.
- <http://www.tuzvo.sk> (2015b) Dostupné na: http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struk-tura/lesnicka_fakulta/organizacneclenenie/katedry/katedralesnejtazbylogistikymelioracii/servis_studentom/hlavnadreviny/smrekovec-opadavy.html. Získané: 22. 6. 2015.
- <http://www.tuzvo.sk> (2015c) Dostupné na: http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struk-tura/lesnicka_fakulta/organizacneclenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky_melio-racii/kontakt/smrek-obycajny.html. Získané: 22. 6. 2015.
- <http://holz-technik.de/holz/html/holz.html> 2017

4 NAMĚŘENÉ HODNOTY

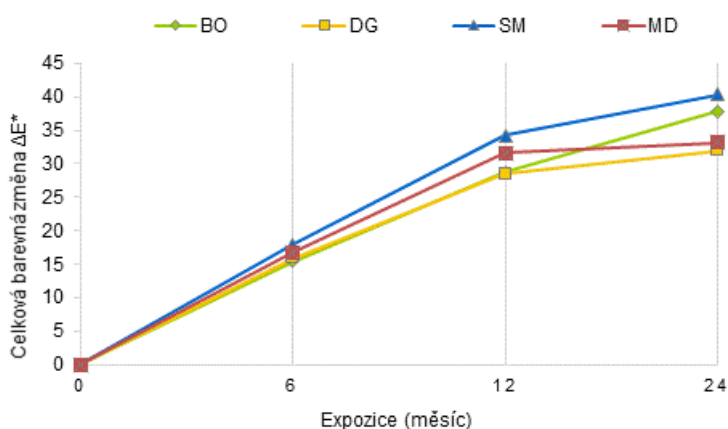
V této kapitole uvádíme naměřené hodnoty hodnotících kritérií. Kapitulu tvoří dvě samostatné podkapitoly, kvůli lepšímu přehledu v naměřených hodnotách, protože se jedná o veliký počet měření. Podkapitola 4.1 přehledně zobrazuje hodnotící kritéria z pohledu expozic v rámci jednoho druhu dřeva, podkapitola 4.2 přehledně zobrazuje hodnotící kritéria z pohledu expozice pro jednotlivé druhy dřeva.

4.1 Experiment povětrnostního stárnutí – vliv stárnutí v rámci druhu dřeva

Podkapitola uvádí naměřené hodnoty jednotlivých sledovaných vlastností během testu povětrnostním stárnutím vybraných druhů dřeva z pohledu doby trvání testu. Informace o průběhu jednotlivých vlastností jsou uvedeny ve formě grafů (obr. 4.1 až 4.3), bez dalšího komentáře anebo hodnocení.

4.1.1 Změna barvy

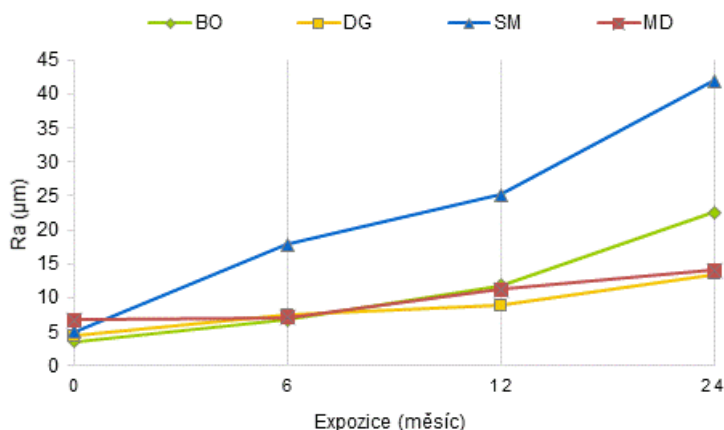
V následujícím grafu je uveden průběh barevných změn testovaných druhů dřev během 24 měsíců povětrnostního stárnutí (obr. 4.1).



Obr. 4. 1 Průběh barevných změn testovaných druhů dřev během 24 měsíců povětrnostního stárnutí

4.1.2 Změna drsnosti

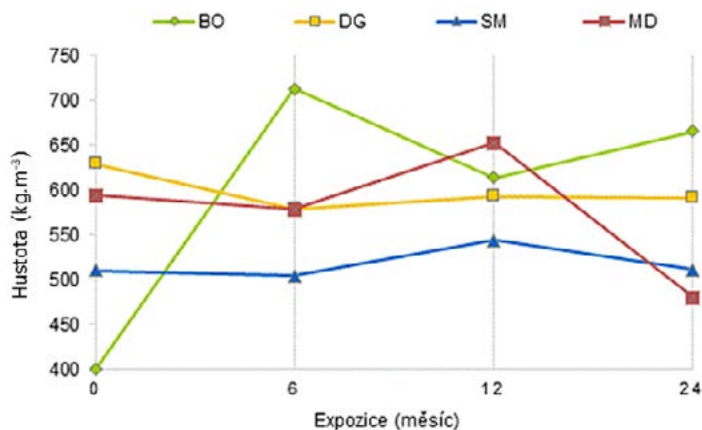
Průběh změn drsnosti povrchu testovaných druhů dřev během 24 měsíců povětrnostního stárnutí je uveden v následujícím grafu (obr. 4.2).



Obr. 4. 2 Průběh změn drsnosti povrchů testovaných druhů dřev během 24 měsíců povětrnostního stárnutí

4.1.3 Hustota testovaných vzorků

Hustota vzorků testovaných druhů dřev použitých na 24 měsíců povětrnostního stárnutí je uvedena v následujícím grafu (obr. 4.3).



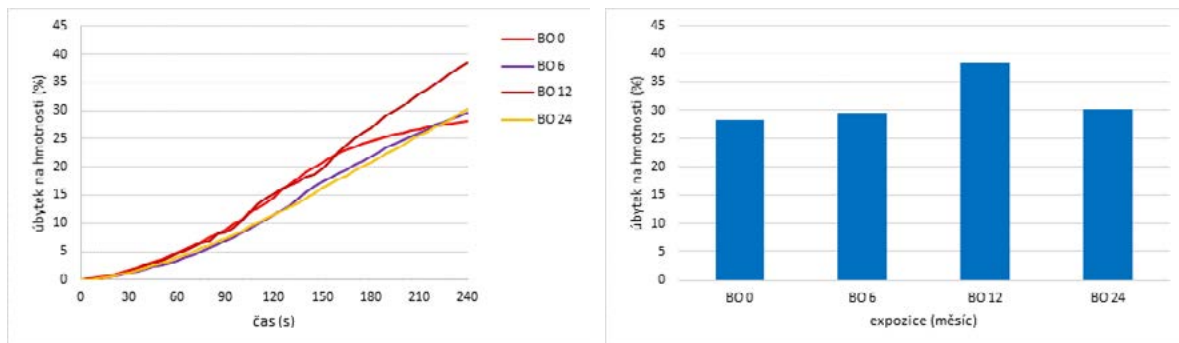
Obr. 4. 3 Hustoty testovaných druhů dřev použitých na 24 měsíců povětrnostního stárnutí

4.2 Experiment tepelného zatěžování – vliv stárnutí v rámci druhu dřeva

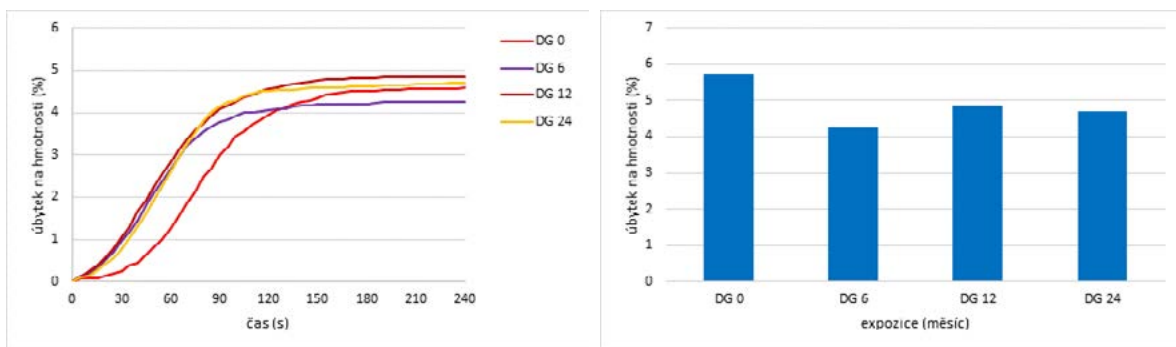
Podkapitola uvádí naměřené hodnoty jednotlivých hodnotících kritérií z části experimentu tepelného zatěžování. V ní jsou uvedeny hodnotící kritéria, v rámci nich hodnoty pro jednotlivé sledované druhy dřeva. Informace o naměřených hodnotách jsou uváděny graficky nebo tabelárně, bez dalšího komentáře anebo hodnocení.

4.2.1 Hodnotící kritérium úbytek na hmotnosti v rámci druhu dřeva (vliv expozice)

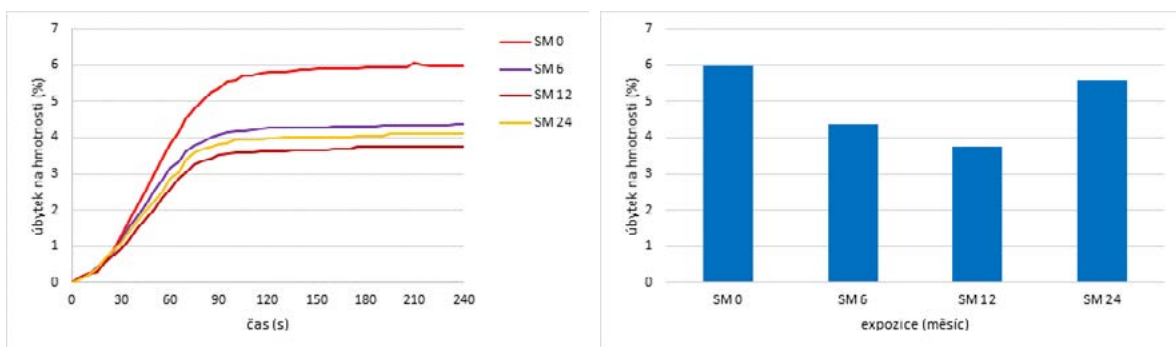
Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice jsou pro borovici znázorněny na obr. 4.4, pro douglasku na obr. 4.5, pro smrk na obr. 4.6 a pro modřín na obr. 4.7.



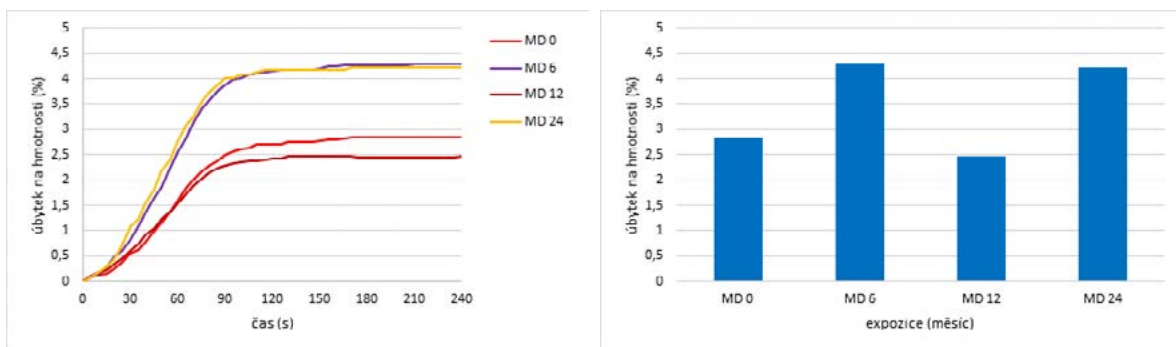
Obr. 4. 4 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro borovici (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)



Obr. 4. 5 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro douglasku (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)



Obr. 4. 6 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro smrk (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)

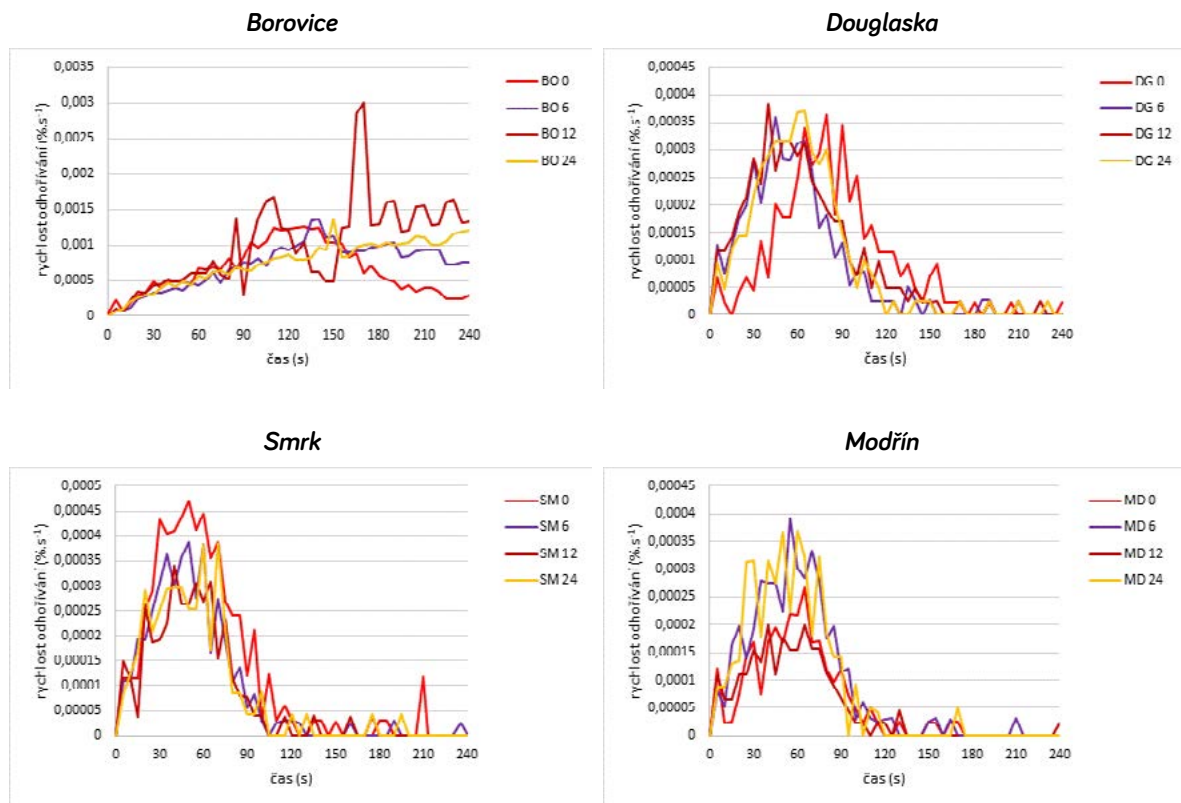


Obr. 4. 7 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od doby expozice pro modřín (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)

Na tomto místě chceme upozornit na rozdílné měřítko na ose y na sloupcových grafech. Je to záměr, aby byla zvýrazněna rozdílnost v expozicích pro zkoumané druhy dřev.

4.2.2 Kritéria relativní rychlosti odhořívání, její maximální hodnota, čas dosažení maximální hodnoty a poměr (a)/(b) v rámci druhu dřeva – vliv expozice

Průběhy relativní rychlosti odhořívání a její maximální hodnoty v závislosti od doby expozice jsou pro jednotlivé druhy dřev znázorněny na obr. 4.8. Ostatní hodnoty (maximální hodnota rychlosti odhořívání, čas dosažení maximální hodnoty rychlosti odhořívání a poměr (a)/(b)) jsou uvedeny tabelárně v tabulce 4.1.



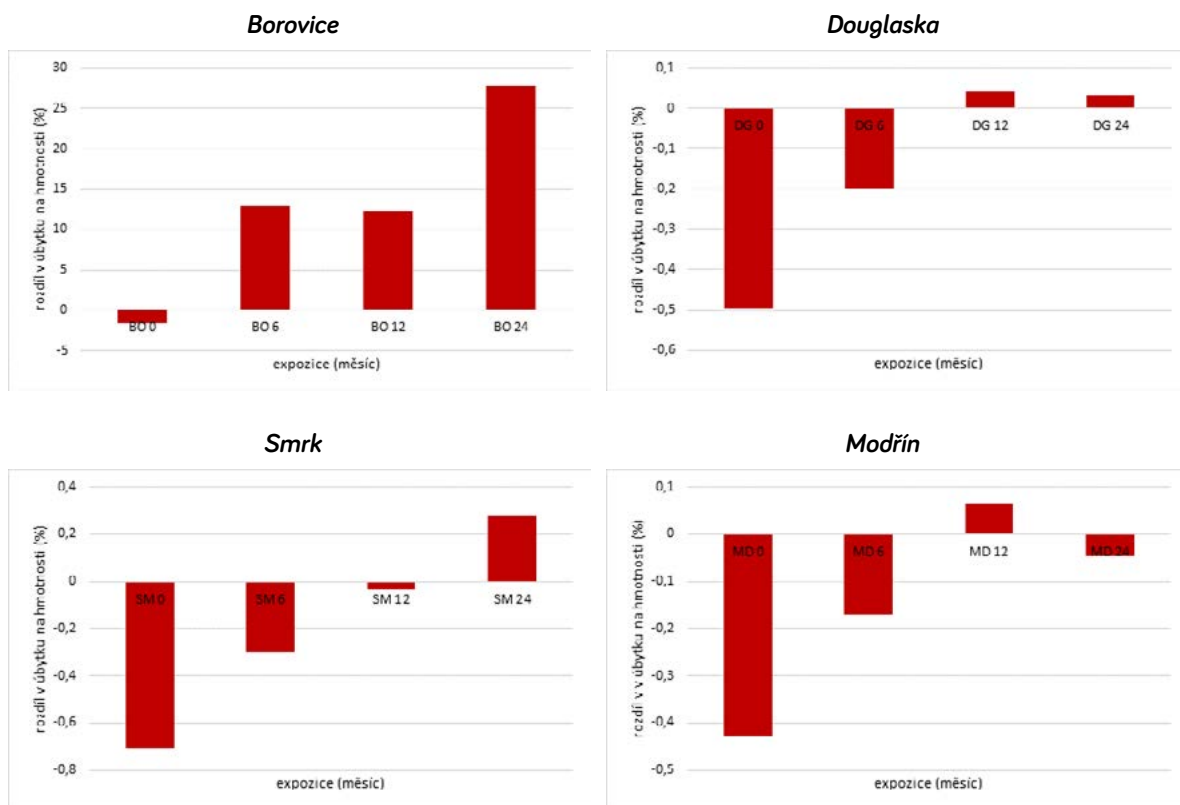
Obr. 4.8 Průběhy relativní rychlosti odhořívání v závislosti od doby expozice

Tab. 4.1 Hodnoty maximální rychlosti odhořívání ($v_{r \max}$), čas dosažení maximální hodnoty rychlosti odhořívání ($\tau_{\max}$) a poměr (a)/(b) pro jednotlivé druhy dřeva a expozice

Dřevo	Kritérium	Expozice			
		0	6	12	24
BO	$v_{r \max}$	0,00124	0,00137	0,00285	0,00136
	$\tau_{\max}$	125	145	165	150
	(a)/(b)	0,00993	0,00945	0,01728	0,00907
DG	$v_{r \max}$	0,00036	0,00032	0,00038	0,00037
	$\tau_{\max}$	80	65	40	65
	(a)/(b)	0,00455	0,00486	0,00960	0,00570
SM	$v_{r \max}$	0,00047	0,00039	0,00034	0,00037
	$\tau_{\max}$	50	50	40	60
	(a)/(b)	0,00943	0,00778	0,00852	0,00614
MD	$v_{r \max}$	0,00027	0,00039	0,00020	0,00037
	$\tau_{\max}$	65	55	40	60
	(a)/(b)	0,00409	0,00711	0,00496	0,00614

4.2.3 Hodnotící kritérium úbytek 0-48 v rámci druhu dřeva – vliv expozice

Hodnoty maximálních rozdílů v úbytku na hmotnosti hned po ukončení hoření (čas 0) a po 48 hodinách po experimentu v závislosti na expozici jsou pro jednotlivé druhy dřeva znázorněny na obr. 4.9.



Obr. 4. 9 Hodnoty maximálních rozdílů úbytků na hmotnosti v závislosti od času expozice

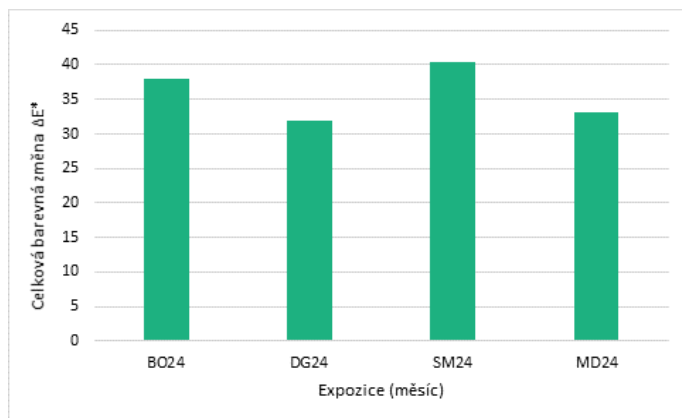
Záporné hodnoty znamenají, že proces hoření byl rychle ukončen a vysušené vzorky nabíraly vzdušní vlhkost z místnosti, kde byly uloženy. Uvedený komentář platí také pro podkapitolu 4.4.3.

4.3 Experiment povětrnostního stárnutí – vliv stárnutí v rámci testovaných druhů dřeva

Podkapitola uvádí naměřené hodnoty jednotlivých sledovaných vlastností během testu povětrnostním stárnutím z pohledu druhu dřeva. Informace o průběhu změn jednotlivých vlastností jsou uvedeny ve formě grafů, bez dalšího komentáře anebo hodnocení.

4.3.1 Změna barvy

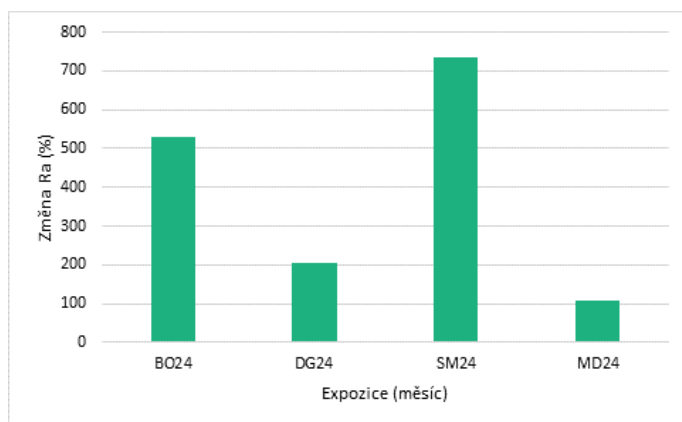
V následujícím grafu je uveden celkový rozdíl barev jednotlivých druhů dřeva před a po dvouleté vnější expozici (obr. 4.10).



Obr. 4. 10 Celkový rozdíl barev jednotlivých druhů dřeva před a po dvouleté vnější expozici

4.3.2 Změna drsnosti

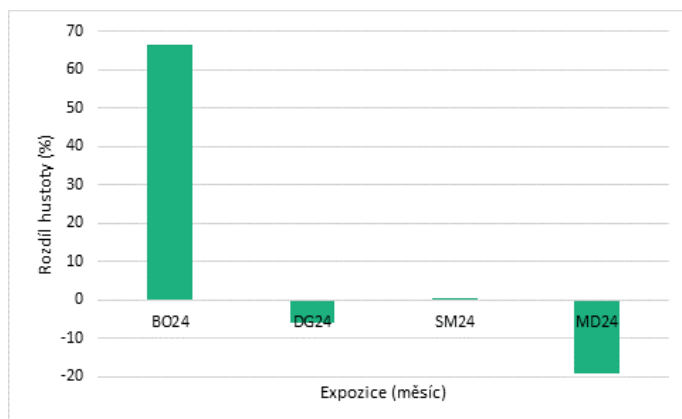
Procentuální nárůst drsnosti povrchů jednotlivých druhů dřeva během dvouleté vnější expozice je uveden v následujícím grafu (obr. 4.11).



Obr. 4. 11 Procentuální nárůst drsnosti povrchu jednotlivých druhů dřeva během dvouleté vnější expozice

4.3.3 Vliv hustoty

Procentuální rozdíl mezi hustotou zkušebních těles jednotlivých druhů dřev pro další druhy testů bez expozice a po dvouleté expozici je uveden v následujícím grafu (obr. 4.12).

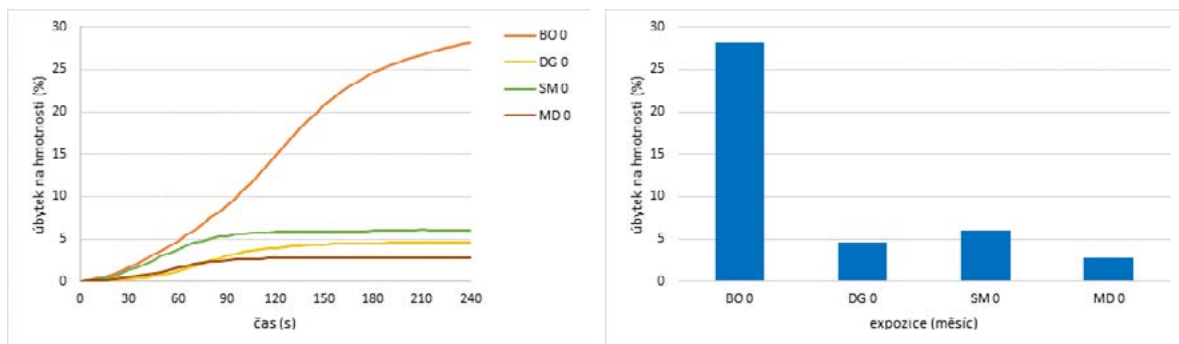


Obr. 4. 12 Procentuální rozdíl mezi hustotou zkušebních těles jednotlivých druhů dřev bez expozice a po dvouleté expozici

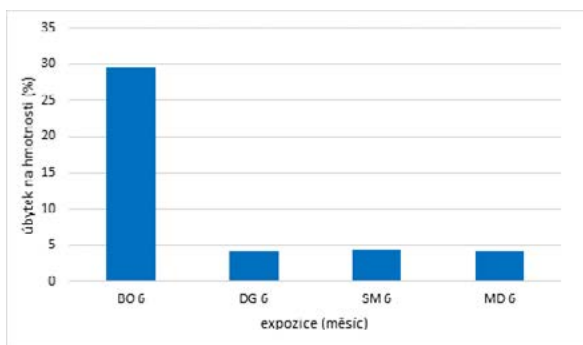
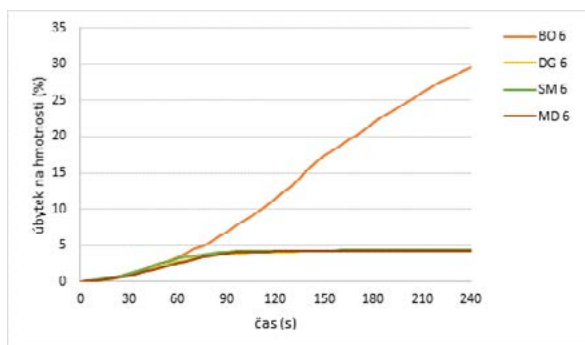
4.4 Experiment tepelného zatěžování – vliv stárnutí v rámci testovaných druhů dřev

4.4.1 Úbytek na hmotnosti v rámci expozice – vliv druhu dřeva

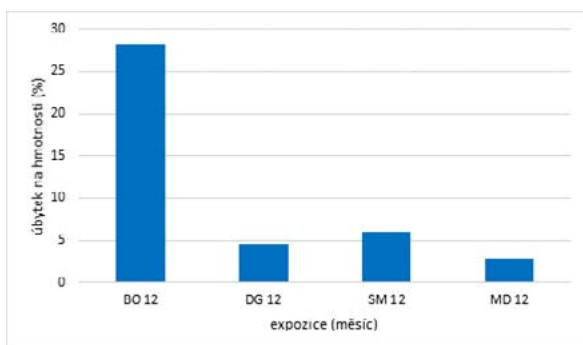
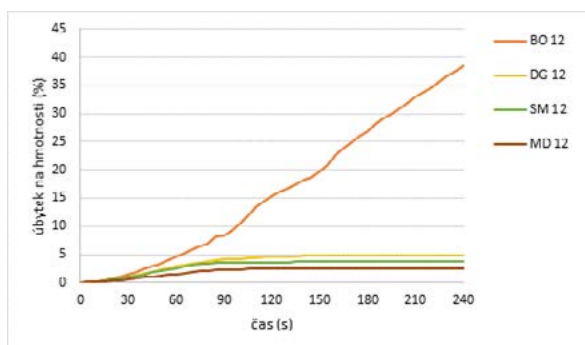
Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti na druhu dřeva pro jednotlivé expozice jsou znázorněny na obr. 4.13 až 4.16. Pro expozici 0 obr. 4.13, pro expozici 6 obr. 4.14, expozici 12 obr. 4.15 a pro expozici 24 je obr. 4.16.



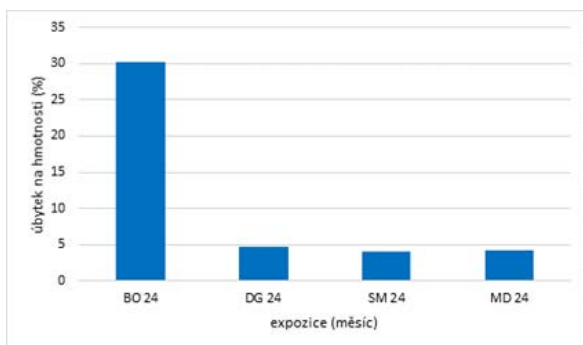
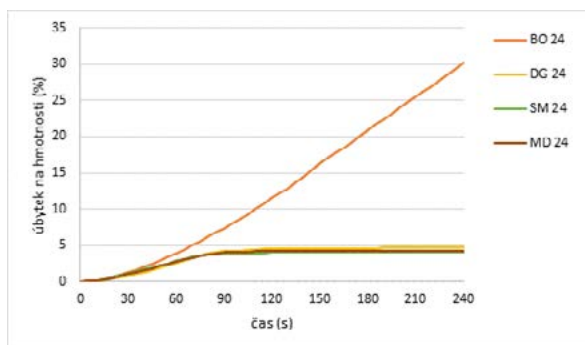
Obr. 4. 13 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 0 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)



Obr. 4. 14 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 6 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)



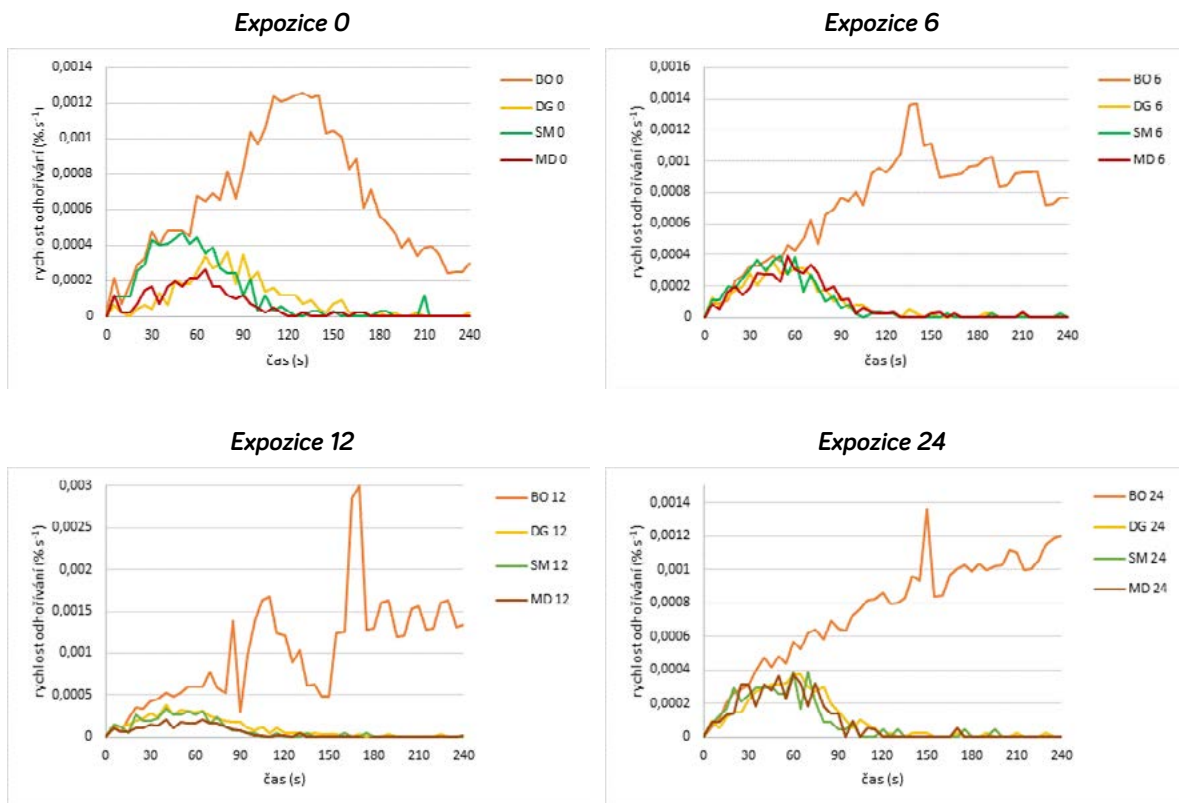
Obr. 4. 15 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 12 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)



Obr. 4. 16 Průběhy úbytku na hmotnosti a maximální hodnoty úbytku na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva pro expozici 24 (čárový graf průběh, sloupcový maximální hodnoty)

4.4.2 Kritéria relativní rychlost odhořívání, její maximální hodnota, čas dosažení maximální hodnoty a poměr (a)/(b) v rámci expozice - vliv druhu dřeva

Průběhy relativní rychlosti odhořívání a její maximální hodnoty v závislosti od druhu dřeva jsou pro jednotlivé expozice znázorněny na obr. 4.17. Ostatní hodnoty (maximální hodnota rychlosti odhořívání, čas dosažení maximální hodnoty rychlosti odhořívání a poměr (a)/(b)) jsou uvedeny tabelárně v tabulce 4.2.



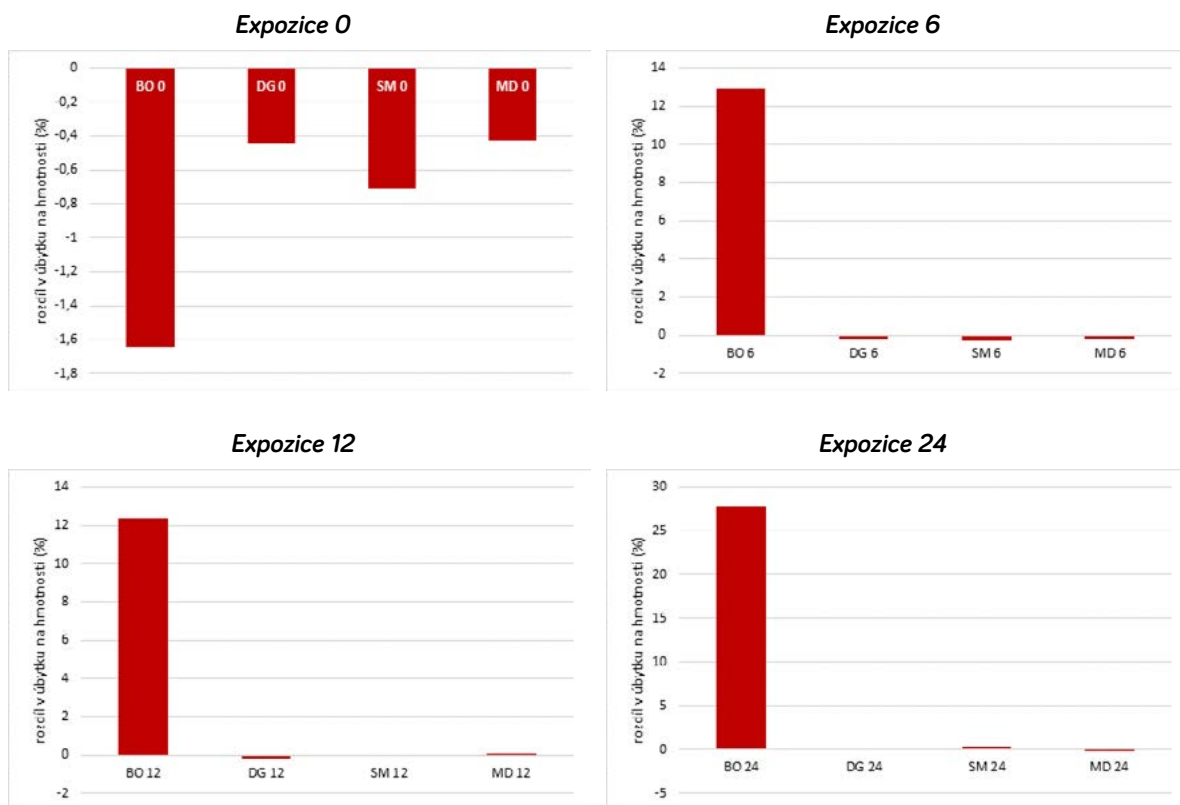
Obr. 4. 17 Průběhy relativní rychlosti odhořívání v závislosti od druhu dřeva

Tab. 4. 2 Hodnoty maximální rychlosti odhořívání ($v_{r \max}$), čas dosažení maximální hodnoty rychlosti odhořívání ($t_{\max}$) a poměr (a)/(b) pro jednotlivé druhy dřeva a expozice

Expozice	Kritérium	Druh dřeva			
		BO	DG	SM	MD
0	$v_{r \max}$	0,00124	0,00036	0,00047	0,00027
	$\tau_{\max}$	125	80	50	65
	(a)/(b)	0,00993	0,00455	0,00943	0,00409
6	$v_{r \max}$	0,00137	0,00032	0,00039	0,00039
	$\tau_{\max}$	145	65	50	55
	(a)/(b)	0,00945	0,00486	0,00778	0,00711
12	$v_{r \max}$	0,00285	0,00038	0,00034	0,00020
	$\tau_{\max}$	165	40	40	40
	(a)/(b)	0,01728	0,00960	0,00852	0,00496
24	$v_{r \max}$	0,00136	0,00037	0,00037	0,00037
	$\tau_{\max}$	150	65	60	60
	(a)/(b)	0,00907	0,00570	0,00614	0,00614

4.4.3 Úbytek na hmotnosti 0-48 v rámci expozice -vliv druhu dřeva

Hodnoty maximálních rozdíl úbytku na hmotnosti hned po ukončení hoření (čas 0) a po 48 hodinách po experimentu v závislosti na druhu dřeva jsou pro jednotlivé druhy dřeva znázorněny na obr. 4.18.



Obr. 4.18 Hodnoty maximálních rozdílů úbytků na hmotnosti v závislosti od druhu dřeva

5 VYHODNOCENÍ A DISKUZE

V kapitole jsou hlouběji zkoumány změny jednotlivých testovaných parametrů, diskutovány i další vědecké práce řešící podobně zaměřená témata a bude provedena analýza limitací a silných stránek publikované studie.

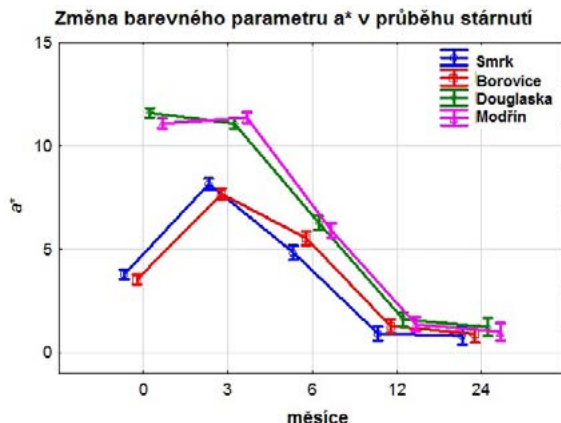
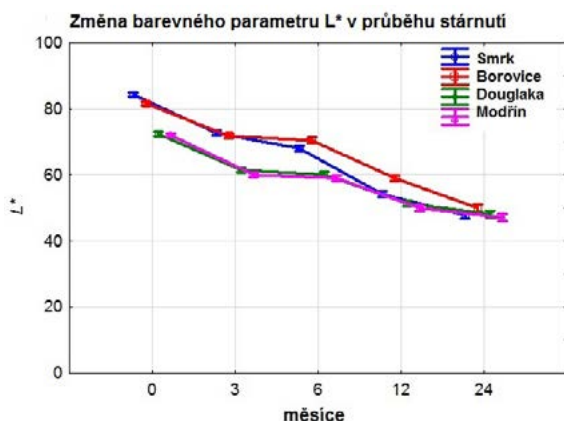
5.1 Změny povrchových charakteristik dřeva exponovaného v exteriéru

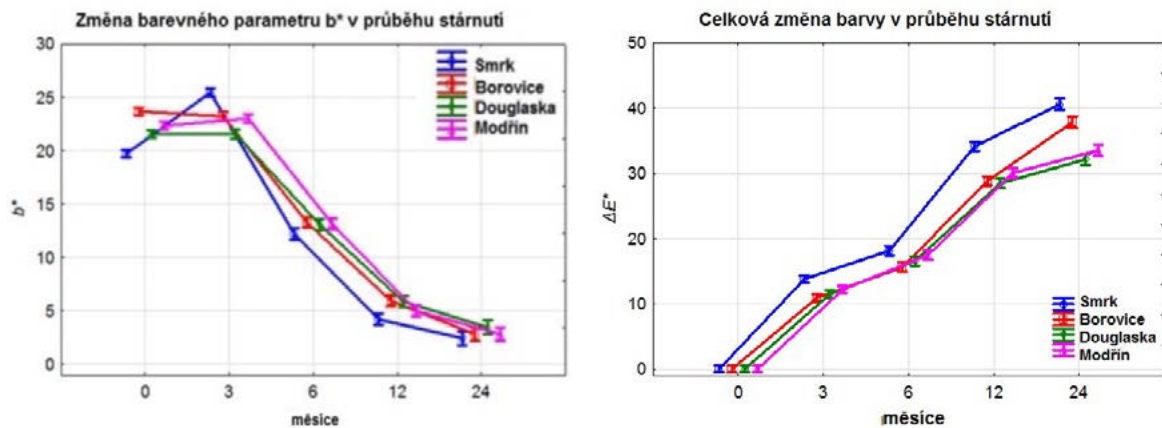
Změny barvy testovaných druhů dřev během vnější expozice jsou dokumentovány na scanech pořízených v stanovených časových intervalech (Obr. 5.1), vyjádření barevných změn pomocí souřadnic L^* , a^* , b^* a celkových barevných změn ΔE^* měřených pomocí spektrofotometru (Obr. 5.2) a také na Obr. 5.3 vytvořeného pomocí konfokálního laserového scanovacího mikroskopu.



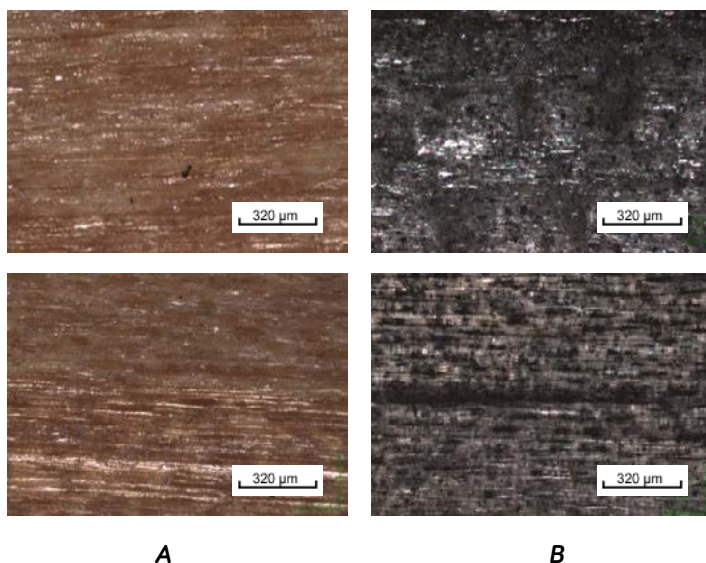
Obr. 5. 1 Změny povrchu dřeva v průběhu vnější expozice pod úhlem 45°
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

Na Obr. 5.1 a 5.2 je viditelný časový průběh stárnutí. Byly potvrzeny výsledky dokumentované ve více vědeckých pracích (Evans 2013, Kržišnik ET al. 2018, Reinprecht ET al. 2018, Oberhofnerová ET al. 2018). V počátečním stadiu, přibližně do 3 měsíce expozice dochází zejména k fotodegradaci ligninů a extraktivních látek (Teacă ET al. 2013, Pandey 2005), což vede k úvodnímu nárůstu červeného a žlutého odstínu dřeva (Obr. 5.2, MÜLLER ET AL. 2003). Tento nárůst je o něco výraznější u smrkového dřeva, světlejšího ve srovnání s jádrovými částmi modřínu, borovice a douglasky (Obr. 5.1). Poté již dochází k výraznějšímu vlivu vymývání fotodegradovaných ligninů, hemicelulóz a extraktiv srážkami (Sudiyani ET al. 1999, Owen ET al. 1993) spojených se světláním dřeva (přibližně do 6 měsíce expozice – Obr. 5.1). Během delší expozice narůstá vliv usazování prachových nečistot (Evans 2013), případně růstu plísní a dřevozbarvujících hub (Sell a Leukens 1975), což vede v kombinaci se světlostou, zachovanou nedegradovanou celulózu, k tvorbě typického šedého odstínu dřeva vystaveného v exteriéru (Kržišnik ET al. 2018, Reinprecht ET al. 2018, Oberhofnerová ET al. 2018, Obr. 5.1 a 5.3).

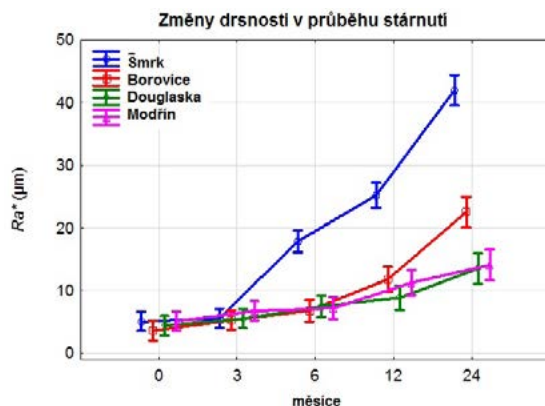




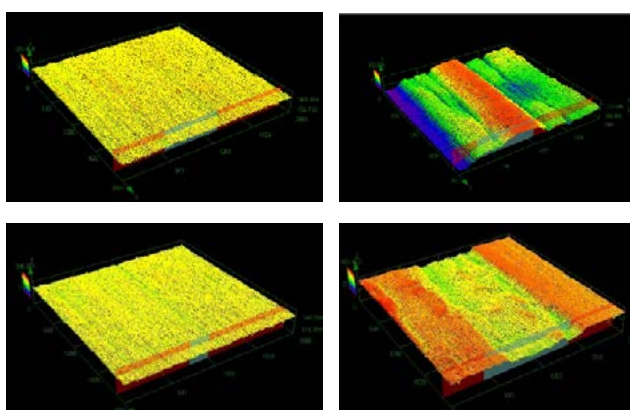
Obr. 5. 2 Změny barevných souřadnic L^* , a^* , b^* a celkové změny barvy ΔE^* v průběhu povětrnostního stárnutí vzorků. (faktorová ANOVA ve všech případech prokázala statistickou významnost, $p = 0.00$)
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)



Obr. 5. 3 Modřín (A) a douglaska (B) před (vlevo) a po 24 měsících přirozeného stárnutí v exteriéru (vpravo) – obrázky z konfokálního laserového skenovacího mikroskopu
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)



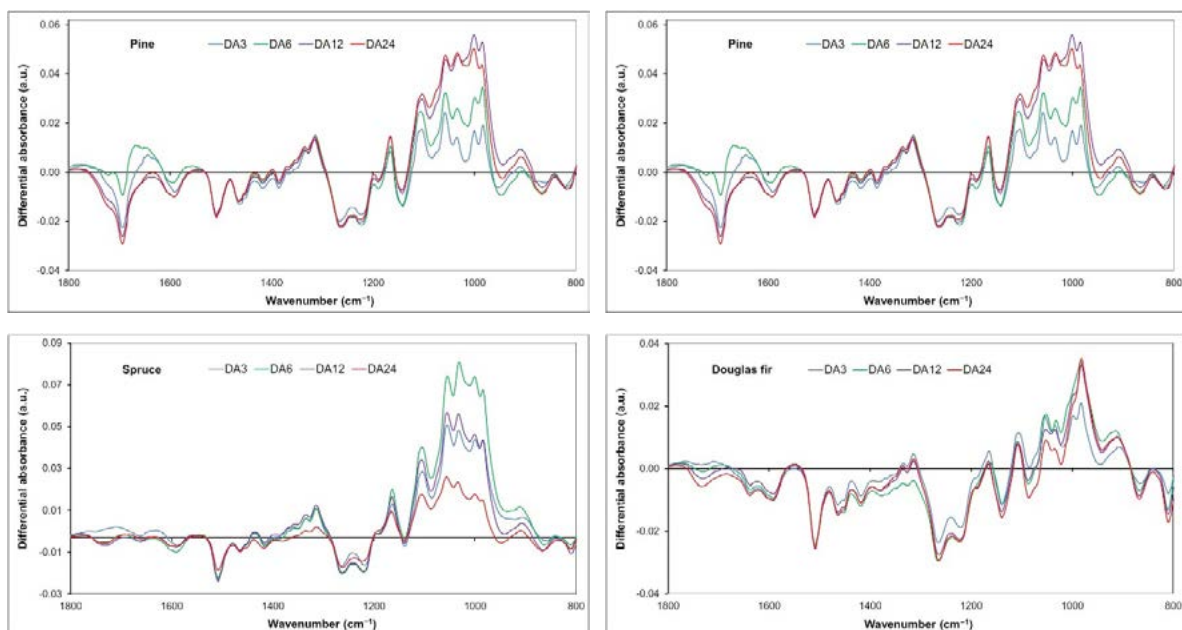
Obr. 5. 4 Změny drsnosti povrchů dřeva v průběhu stárnutí v exteriéru (faktorová ANOVA prokázala $p = 0.00$)
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)



Obr. 5. 5 Povrch smrku (A) a modřínu (B) před (vlevo) a po 24 měsících přirozeného stárnutí v exteriéru (vpravo) – na ploše 800x800 µm (laserový scanovací mikroskop)
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

Drsnost vystaveného dřeva v průběhu expozice rostla, což také odpovídá výsledkům více vědeckých prací (Temiz ET al. 2005, Williams ET al. 2001, Tolvaj ET al. 2014, Oberhofnerová ET al. 2018). Vliv je patrnější od 6 měsíce expozice (Obr. 5.4), kde již docházelo k vymývání ligninu (Sudiyani ET al. 1999), který je obsažen zejména ve střední lamelě (Turkulin ET al. 2004), a tím docházelo k uvolňování jednotlivých buněčných elementů na povrchu dřeva (Reinprecht 2016). Tento jev byl výraznější u smrkového dřeva (Obr. 5.4 a 5.5). Je to způsobeno jeho nižší hustotou ve srovnání s ostatními testovanými druhy dřev, kdy se projevuje vyšší abrazivní působení větrem unášených prachových částic a vody (Reinprecht 2016). Další možností je výraznější působení mikroskopických hub působících ve vnější expozici (Sell a Leukens 1975) na méně trvanlivém smrku (ČSN EN 350), které mohli urychlit nárůst drsnosti, zejména mezi 12 až 24 měsícem (Obr. 5.4)

Dokumentace chemických změn povrchů dřeva během povětrnostního stárnutí je možné dokumentovat pomocí FTIR (Fourier transform infra red) spektrální analýzy (Tolvaj a Papp 1999, PFEFFER ET al. 2012, Reinprecht ET al. 2018). Pro druhy dřeva testované v této práci jsou změny absorpance dokumentovány na Obr. 5.6. Jednotlivé změny hodnot absorpance naměřené v průběhu expozice v určitých vlnových délkách (osa x) odpovídají změnám podílů a množství určitých chemických vazeb (např. C=O odpovídající vlnové délce 1730 cm^{-1} , nebo C-H odpovídající vlnové délce 1462 cm^{-1}), a tím lze dokázat rozklad a vyplavení ligninu (Kačík ET al. 2016, Sun ET al. 2018), hemicelulóz nebo dalších složek dřeva (Pfeffer ET al. 2012, Traoré ET al. 2018). Ukázky a vysvětlení je pouze rámcové, zájemce o hlubší pochopení dané problematiky je možné odkázat na výše citované práce.

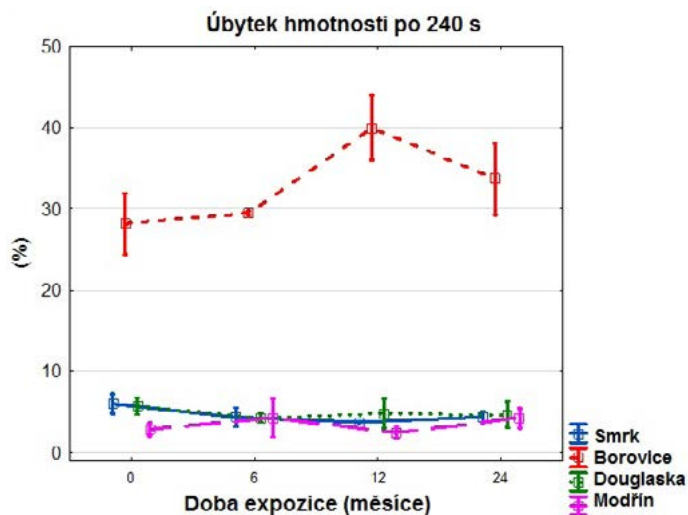


Obr. 5. 6 Diferenční FTIR spektra povrchů borovicového, modřínového, smrkového a douglaskového dřeva po 3 (DA3), 6 (DA6), 12 (DA12) a 24 měsících (DA24) povětrnostního stárnutí (PÁNEK ET AL. 2021)

5.2 Změny v testovaných charakteristikách hoření

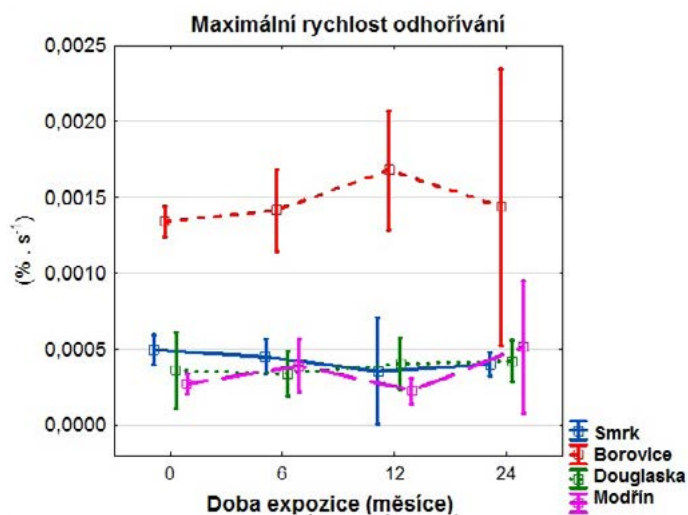
Výsledky testovaných vlastností stárlého dřeva vystaveného působení otevřeného ohně jsou zobrazeny na Obr. 5.7 až 5.10. Z uvedených grafů je patrné, že vliv atmosférického stárnutí a jeho délky na měřené charakteristiky hoření: úbytek hmotnosti, maximální rychlost odhořívání, čas dosažení maximální rychlosti odhořívání a poměru a/b, nebyl ve většině případů statisticky významný. Výrazně jiné hodnoty, zejména na Obr. 5.7 až 5.9 však byly naměřeny u dřeva borovice. Projevil se vyšší obsah terpenoidů (ENGLUND A NUSSBAUM 2000, WAJS ET AL. 2007, GIERLINGER ET AL. 2004), které svojí hořlavostí (ORMEÑO ET AL. 2009) ovlivnili výrazně intenzitu odhořívání ve srovnání se smrkem, modřínem a douglaskou. Pouze čas dosažení nejvyšší rychlosti odhořívání byl u borovice vyšší, což je ve shodě s prací XU ET AL. (2015), která porovnávala borovicové a douglaskové dřevo.

Výsledky potvrzují, že délka expozice testovaných druhů dřev nemá výraznější vliv na hoření a odhořívání, je však nutné myslet na možný vliv konkrétního druhu použitého dřeva ve výrobku (POLETTI ET AL. 2012, HUGI ET AL. 2007, HAURIE ET AL. 2019, FRIQUIN 2011, BARTLETT ET AL. 2019, LOWDEN A HULL 2013).



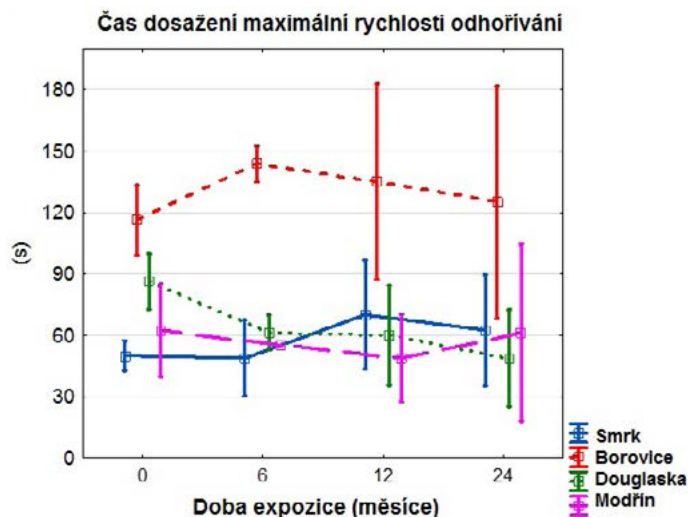
Obr. 5. 7 Úbytek hmotnosti po 240 sekundách od zahájení působení plamenného zdroje
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

Tukey HSD test prokázal, že rozdíl mezi analyzovanými hodnotami byl statisticky významný (p -hodnota $<0,05$) pro úbytek hmotnosti borovicového dřeva ve srovnání s ostatními testovanými druhy.



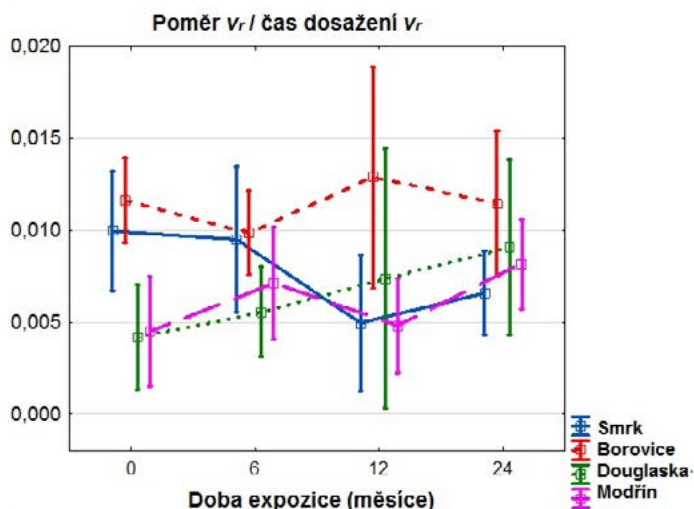
Obr. 5. 8 Maximální rychlost odhořívání v průběhu vystavení plamennému zdroji
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

Tukey HSD test prokázal, že rozdíl mezi analyzovanými hodnotami byl statisticky významný (p -hodnota $<0,05$) pro maximální rychlost odhořívání borovicového dřeva ve srovnání s ostatními testovanými druhy.



Obr. 5. 9 Čas dosažení maximální rychlosti odhořívání
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

Tukey HSD test prokázal, že rozdíl mezi analyzovanými hodnotami byl statisticky významný (p -hodnota <0.05) pro čas dosažení maximální rychlosti odhořívání borovicového dřeva ve srovnání s ostatními testovanými druhy.



Obr. 5. 10 Poměr mezi maximální rychlostí odhořívání a časem jejího dosažení
(Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

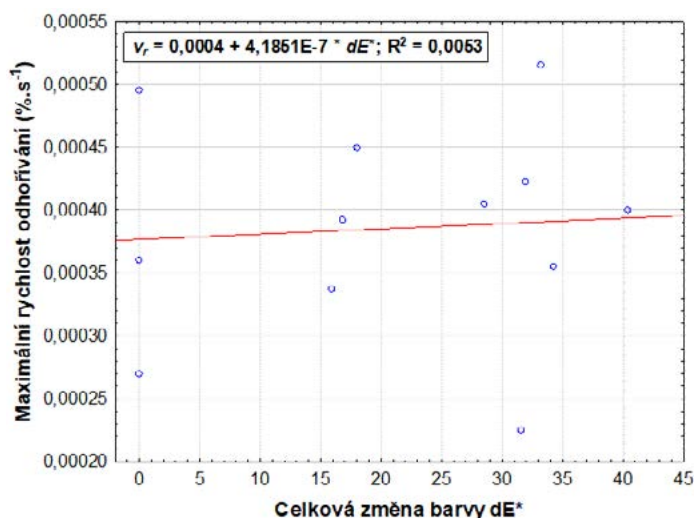
Fasády bez nátěrů chránících vůči povětrnosti a retardérů hoření mají i po dlouhodobém stárnutí ve vnější expozici a po zešednutí podobné vlastnosti během působení plamenného zdroje, vzplanutí a následného hoření. Toto přidává další plus pro tuto ekologicky výhodnou bezúdržbovou variantu jejich výroby a použití, která zejména v zemích západní Evropy v posledních desetiletích nabývá na oblibě (Kržišnik ET al. 2018).

5.3 Vzájemné vztahy mezi jednotlivými vlastnostmi a další možný výzkum

V práci byly hodnoceny a analyzovány možné závislosti mezi jednotlivými testovanými charakteristikami. Záměrem bylo určit, zdali je možné predikovat možné chování dřevěných prvků po stárnutí během vystavení ohni na základě naměřených změn barvy, drsnosti, případně hustoty.

5.3.1 Vztah barvy a drsnosti k hoření

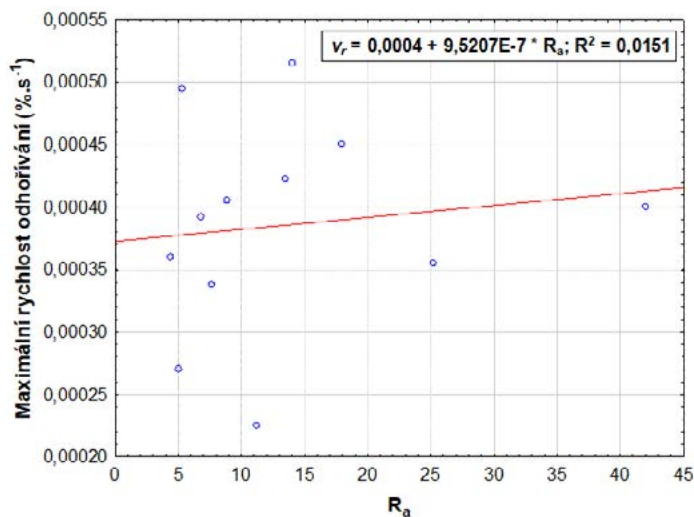
Lineární korelace mezi jednotlivými měřenými charakteristikami odhořívání testovaných dřev a celkovými změnami barvy a drsnosti neprokázali vzájemnou závislost. Koeficienty determinance (R^2) byly ve všech případech velmi nízké. To se potvrdilo i v případech, kdy byla z analýz vyselektována borovice, která měla výrazně odlišné charakteristiky hoření ve srovnání s ostatními testovanými druhy dřev. Jako příklad jsou uvedeny závislosti mezi celkovou změnou barvy ΔE^* , respektive drsností R_a a maximální rychlostí odhořívání (Obr. 5.11 a 5.12). Podobně nízké vzájemné závislosti byly stanoveny pro další měřené charakteristiky hoření – hmotnostní úbytek, poměr a/b a čas dosažení maximální rychlosti odhořívání.



Obr. 5. 11 Lineární korelace mezi maximální rychlostí odhořívání a celkovou změnou barvy vyjádřenou jako ΔE^*

* **Poznámka:** U ostatních vlastností charakterizujících hoření zkušebních vzorků byla také sledována nízká míra závislost k celkové změně barvy

Neexistující závislost mezi změnou barvy a parametry charakterizující hoření není překvapivá. Změna barvy je vyvolaná atmosférickou degradací dřeva, vyplavením ligninů, hemicelulóz, extraktivních látek a postupným usazováním prachových částic, případně růstem dřevokazných hub a plísní (REINPRECHT 2016). Z hlediska tepelného rozkladu jsou nejodolnější složkou dřeva právě ligniny, naopak hemicelulózy a extraktivní látky jsou nejlabilnější (MÜLLER-HAGEDORN ET AL. 2003, DING ET AL. 2016, ORMEÑO ET AL. 2009, LINGENS ET AL. 2005). Na povrchu fotodegradovaného dřeva zůstává zejména celulóza (VOLKMER ET AL. 2013), které teplota rozkladu je vyšší než u hemicelulóz, ale nižší ve srovnání s ligninem (FRIQUIN 2011, BARTLETT ET AL. 2019). Ve dřevě je obsažena přibližně 50 % podílem, s určitou variabilitou (FENGEL A WEGENER 2011). Navíc, výraznější fotodegradace a změny chemického složení dřeva zasahují pouze do hloubky desetin milimetru (KATAOKA A KIGUCHI 2001, OBERHOFNEROVÁ ET AL. 2018) a tím je také celkové ovlivnění hoření stárnutím povrchů na povětrnosti nízké, což dokazují i výsledky prezentované v této studii. Je však možné, že u testování větších zkušebních těles, by výsledky požárních testů mohly být ovlivněny trhlinami, které ve větší míře vznikají na povrchu exponovaného dřeva (ŠTĚRBOVÁ ET AL. 2021).

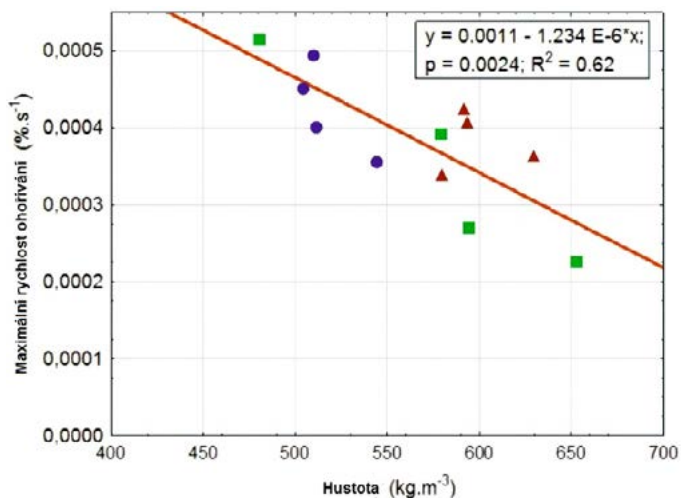


Obr. 5. 12 Lineární korelace mezi maximální rychlostí odhořívání a drsností*Poznámka: U ostatních vlastností charakterizujících hoření zkušebních vzorků byla také sledována nízká míra závislost k drsnosti

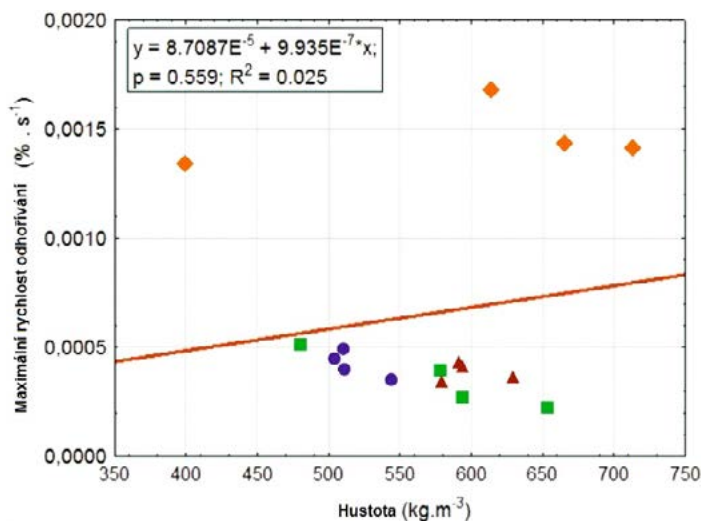
Vztah mezi nárůstem drsnosti povrchů dřeva během expozice (Obr. 5.4 a 5.5) a změnami měřených charakteristik hoření (Obr. 5.7 – 5.10) také nebyl potvrzen (Obr. 5. 12). Vysvětlit je to možné opět relativně tenkou vrstvou dřeva, která byla atmosférickou degradací ovlivněna. Změny drsnosti řádově v desítkách μm (Obr. 5.4) neměly při použitém druhu testu za použití otevřeného plamenného zdroje měřitelný dopad. Je možné, že využití citlivějších testovacích zařízení, např. kónického kalorimetru, by mohlo určitě rozdíly ukázat. Autoři však nepředpokládají, že by se jednalo o výraznější změny.

5.3.2 Vztah hustota hoření

V případě námi testovaných druhů dřev se prokázala zajímavá skutečnost. V případě, že byly do porovnání maximální rychlosti odhořívání s hustotou zahrnuty všechny druhy dřev (Obr. 5.14), závislost byla velmi nízká ($R^2 = 0,025$). Avšak, po selekci borovicových vzorků, byla lineární korelace mezi hustotou a maximální rychlosti odhořívání poměrně vysoká ($R^2 = 0,62$).



Obr. 5. 13 Závislost mezi maximální rychlostí odhořívání těles ze smrku (●), douglasky (▲) a modřínu (■) v průběhu hoření a jejich hustotou (Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)



Obr. 5. 14 Závislost mezi maximální rychlostí odhořívání těles ze smrku (●), douglasky (▲), modřínu (■) a borovice (♦) v průběhu hoření a jejich hustotou (Upraveno dle PÁNEK ET AL. 2021)

Autoři tím potvrdili, že rychlost odhořívání a jiné charakteristiky hoření jsou sice závislé na hustotě dřeva (Gilka-Bötzow ET al. 2011, Bartlett ET al. 2019, Buchanan 2001, White a Nordheim 1992), avšak v určitých případech může hrát roli i konkrétní druh testovaného dřeva. To bylo dokumentováno ve více vědeckých pracích (Poletto ET al. 2012, Hugi ET al. 2007, Haurie ET al. 2019). U borovicového dřeva je vysvětlením poměrně vysoký obsah terpenoidů (Englund a Nussbaum 2000, Wajs ET al. 2007, Gierlinger ET al. 2004), které jsou hořlavější ve srovnání s jinými základními komponenty dřeva (Friquin 2011, Ormeño ET al. 2009). Bylo to potvrzeno i během provádění testů hoření, kdy na povrchy dřeva vystaveného vysoké teplotě prosakovaly rozpuštěné pryskyřice. Poté došlo k rychlému vznícení a hoření intenzivním plamenem. Po shoření pryskyřic již celý vzorek hořel intenzivně, což dokládají i rozdílné výsledky ve srovnání s dalšími druhy dřev (Obr. 5.7 a 5.8). To vede autory studie k doporučení, že jádrové dřevo borovice není z hlediska hořlavosti nejvhodnějším materiálem na výrobu fasádních profilů. Z testovaných druhů dřeva, lze tak s ohledem na jejich vyšší odolnost vůči biotickému poškození (EN 350) doporučit pro bezúdržbové nenatřené fasády jádrové dřeva modřínu a douglasky. Smrkové dřevo je levnější, podléhá však rychlejší změně povrchů vlivem fotodegradace a vyplavení dešťovou vodou. Navíc je vzhledem k nižší trvanlivosti náchylnější na bio-poškození, které vede k úplné ztrátě funkčnosti (Meyer-Veltrup ET al. 2017, EN 350).

Ve více vědeckých pracích zaměřených na hodnocení charakteristik dřeva během tepelného zatížení byl použit kónický kalorimetr (Xu ET al. 2015, Batiot ET al. 2014). Zařízení umožňuje přesné nastavení dopadající energie na povrchy materiálu, přesné hodnocení času do vznícení a také hodnocení hmotnostního úbytku během testu (Xu ET al. 2015, Lindholm ET al. 2012). Jak již bylo zmíněno, využití tohoto zařízení by umožnilo přesnější hodnocení hoření testovaných vzorků a pravděpodobně by citlivěji odhalilo některé rozdíly, které nebylo možné odhalit použitou metodou působením otevřeného plamene. Autoři však předpokládají, že zjištěné rozdíly by nebyly velmi výrazné a nezměnily by celkové vyznění dosažených výsledků. Čili, že délka expozice nemá výraznější vliv na hoření dřeva a že jádrové dřevo borovice vykazuje výrazně odlišné vlastnosti ve srovnání s ostatními testovanými druhy dřev (smrkem, modřínem a douglaskou).

Další zajímavou oblastí výzkumu, která nebyla na atmosféricky stárých fasádách realizována je testování jejich požární odolnosti. V případě testování větších konstrukčních celků by se mohl projevit konkrétní tvar a rozměr jednotlivých fasádních prken, způsob jejich uchycení na fasádu, konstrukční řešení fasády (horizontální, svislá) a celkové designové řešení fasády, které skýtá velké množství variant (Obr 5.15 – modely fasád). Jelikož v práci Štěrbová ET al. (2021) byl prokázán vliv tvarového řešení fasády na průběh povětrnostního stárnutí, lze předpokládat i dopad na požární odolnost. Zejména v některých konstrukčních a designových variantách lze předpokládat rychlejší ohřev okrajových částí fasádních prken a tím rychlejší vzplanutí působením plamenného zdroje, nebo vznícení vlivem sálavého zdroje tepla.

LITERATURA 5. KAPITOLA

- Bartlett, A.I., Hadden, R.M., Bisby, L.A. (2019): A review of factors affecting the burning behaviour of wood for application to tall timber construction. *Fire Technol* 55:1-49. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787->
- Batiot, B., Luche, J., Rogaume, T. (2014): Thermal and chemical analysis of flammability and combustibility of fir wood in cone calorimeter coupled to FTIR apparatus. *FIRE AND MATERIALS Fire Mater.* 2014; 38:418–431. DOI: 10.1002/fam.2192.
- Buchanan, A. (2001): *Structural Design for Fire Safety*. Wiley: Chichester, England 421pp. ISBN 9780471890607
- Ding, Y., Ezekoye, O.A., Lu, S., Wang, Ch. (2016): Thermal degradation of beech wood with thermogravimetry/ Fourier transform infrared analysis. *Energy Conversion and Management* 120:370–377. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.007>
- EN 350 (2016) Durability of wood and wood-based products – Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials; European Committee for Standardization, Brussels
- EN 927-3 (2006) Paints and varnishes. Coating materials and coating system for exterior wood, Part 3: Natural weathering test,” European Committee for Standardization, Brussels, Belgium
- Englund, F., Nussbaum, R.M. (2000): Monoterpenes in Scots Pine and Norway Spruce and their emission during kiln drying. *Holzforschung* 54(5):449–456
- Evans, P. (2013): Weathering of wood and wood composites. In *Handbook of wood chemistry and wood composites* 2nd ed., CRC Press. pp166–231
- Fengel, D., Wegener, G. (2011): *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. De Gruyter, 626pp. ISBN 9783110839654
- Friquin, K.L. (2011): Material properties and external factors influencing the charring rate of solid wood and glue-laminated timber. *Fire Mater* 35:303–327. DOI: 10.1002/fam.1055
- Gierlinger, N., Jacques, D., Wimmer, R., Pâques, L.E., Schwanninger, M. (2004): Heartwood extractives and lignin content of different larch species (*Larix* sp.) and relationships to brown-rot decay-resistance. *Trees Struct Funct* 18:230–236. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0300-0>
- Gilka-Bötzow, A., Heiduschke, A., Haller, P. (2011): Zur Abbrandrate von Holz in Abhängigkeit der Rohdichte. *Holz als Roh- und Werkstoff* 69(1):159–162. DOI:10.1007/s00107-010-0430-1
- Haurie, L., Giraldo, M.P., Lacasta, A.M., Montón, J., Sonnier, R. (2019): Influence of different parameters in the fire behaviour of seven hardwood species. *Fire Safety Journal* 107:193–201. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.08.002>
- Hugi, E., Wuersch, M., Risi, W., Wakili, K.G. (2007): Correlation between charring rate and oxygen permeability for 12 different wood species. *J. Wood Sci* 53:71–75. DOI 10.1007/s10086-006-0816-1
- Kačík, F., Podzimek, Š., Vizárová, K., Kačíková, D., Čabalová, I. (2016): Characterization of cellulose degradation during accelerated ageing by SEC-MALS, SEC-DAD, and A4F-MALS methods. *Cellulose* 23:357–366.
- Kataoka, Y., Kiguchi, M. (2001): Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy. *Journal of Wood Science* 47:325–327.
- Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., Humar, M. (2018): Influence of natural and artificial weathering on the colour change of different wood and wood-based materials. *Forests* 9:488. DOI:10.3390/f9080488
- Lindholm, J., Brink, A., Hupa, M. (2012): Influence of decreased sample size on cone calorimeter results. *Fire and Materials* 36:63–73.
- Lingens, A., Windeisen, E., Wegener, G. (2005): Investigating the combustion behaviour of various wood species via their fire gases. *Wood Sci Technol* 39:49–61. DOI 10.1007/s00226-004-0271-3
- Lowden, L.A., Hull, T.R. (2013): Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews* 2(4): 19pp. <http://www.firesciencereviews.com/content/2/1/4>

- Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flæte, P.O., Isaksson, T., Brelid, P.L., Westin, M., Jermer, J. (2017): The combined effect of wetting ability and durability on outdoor performance of wood: Development and verification of a new prediction approach. *Wood Sci Technol* 51(3):615-637. DOI: 10.1007/s00226-017-0893-x
- Müller-Hagedorn, M., Bockhorn, H., Krebs, L., Müller, U. (2003): A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 68-69:231-249. DOI:10.1016/S0165-2370(03)00065-2
- Müller, U., Ratzsch, M., Schwanninger, M., Steiner, M., Zobl, H. (2003): Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 69: 97-105. DOI: 10.1016/s1011-1344(02)00412-8
- Oberhofnerová, E., Pánek, M., García-Cimarras, A. (2017): The effect of natural weathering on untreated wood surface. *Maderas- Cienc. Technol.* 19(2):173-184. DOI: 10.4067/S0718-221X2017005000015
- Ormeño, E., Céspedes, B., Sánchez, I.A., Velasco-García, A., Moreno, J.M., Fernandez, C., Baldy, V. (2009): The relationship between terpenes and flammability of leaf litter. *Forest Ecology and Management* 257:471-482. DOI:10.1016/j.foreco.2008.09.019
- Owen, J.A., Owen, N.L., Feist, W.C. (1993): Scanning electron microscope and infrared studies of weathering in Southern pine. *Journal of Molecular Structure* 300(C):105-114
- Pandey, K.K. (2005): A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability* 87:375–379. DOI:10.1016/j.polymdegradstab.2004.09.007.
- Pánek, M., Kubovský, I., Oberhofnerová, E., Štěrbová, I., Niemz, P., Osvald, A., Kačík, F. (2021): Influence of natural weathering on the ignition and relative burning rate of selected softwoods. *Construction and Building Materials* 304: 124615. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124615
- Pfeffer, A., Mai, C., Militz, H. (2012): Weathering characteristics of wood treated with water glass, siloxane or DMDHEU. *Holz als Roh- und Werkstoff* 70(1-3):165-176 DOI:10.1007/s00107-011-0520-8
- Poletto, M., Zattera, J.A., Santana, R.M.C. (2012): Thermal decomposition of wood: Kinetics and degradation mechanisms. *Bioresource Technology* 126:7–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.133>
- Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M. (1993): Štruktúra a vlastnosti dreva. (Structure and properties of wood). 1st Edition. Bratislava Príroda a.s. 485 pp.
- Reinprecht, L. (2016): *Wood Deterioration, Protection and Maintenance*, 1st ed.; Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, p. 376.
- Reinprecht, L., Mamoňová, M., Pánek, M., Kačík, F. (2018): The impact of natural and artificial weathering on the visual, colour and structural changes of seven tropical woods. *European Journal of Wood and Wood Products* 76:175-190. DOI:10.1007/s00107-017-1228-1.
- Reinprecht, L., Pánek, M. (2013): Vplyv pigmentov v náteroch na prirodzené a urýchlené starnutie povrchov smrekového dreva. *Acta facultatis xylogologiae Zvolen* 55(1): 71-84, ISSN 1336-3824
- Sell, J., Leukens, U. (1971): Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen – Zweite Mitteilung: Verwitterungserscheinungen an ungeschützten Hölzern. *Holz als Roh- und Werkstoff* 29(1):23–31
- Sudiyani, Y., Tsujijama, S., Imamura, Y., Takahashi, M., Minato, K., Kajita, H. (1999): Chemical characteristics of surfaces of hardwood and softwood deteriorated by weathering. *Journal of Wood Science* 45(4):348-353
- Sun, Z., Fridrich, B., de Santi, A., Elangovan, S., Barta, K. (2018): Bright Side of Lignin Depolymerization: Toward New Platform Chemicals. *Chem. Rev.* 118:614–678.
- Štěrbová, I., Oberhofnerová, E., Pánek, M., Dvořák, O., Pavelek, M. (2021): Influence of different exposition of larch wood facade models on their surface degradation processes. *Central European Forestry Journal* 67 (1), 45-53. DOI:10.2478/forj-2020-0023
- Teacă, C.A., Roșu, D., Bođirlău, R., Roșu, L. (2013): Structural changes in wood under artificial UV light irradiation determined by FTIR Spectroscopy and color measurements – a brief review. *BioResources* 8(1): 1478-1507

- Temiz, A., Yildiz, U.C., Aydin, I., Eikenes, M., Alfredsen, G., Colakoglu, G. (2005): Surface roughness and colour characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied Surface Science* 250(1–4):35–42
- Tolvaj, L., Molnar, Z., Magoss, E. (2014): Measurement of photodegradation-caused roughness of wood using a new optical method. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 134(5):23–26
- Tolvaj, L., Papp, G. (1999): Outdoor weathering of impregnated and steamed black locust. ICWSF'99 conference, Missenden Abbey (UK):112–115.
- Traoré, M., Kaal, J., Martínez Cortizas, A. (2018): Differentiation between pine woods according to species and growing location using FTIR-ATR. *Wood Sci Technol* 52: 487–504. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0967-9>
- Turkulin, H., Derbyshire, H., Miller, E.R. (2004): Investigations into the photodegradation of wood using microtensile testing - Part 5: The influence of moisture on photodegradation rates. *Holz Roh Werkst* 62: 307–312. DOI: 10.1007/s00107-004-0493-y.pdf.
- Volkmer, T., Arietang, L., Plummer, C., Strautmann, J., Noel, M. (2013): Loss of tensile strength in cellulose tissue on the surface of spruce (*Picea abies*) caused by natural photodegradation and delignification. *Polymer Degradation and Stability* 98:1118–1125. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.03.019
- Wajs, A., Pranovich, A., Reunanen, M., Willför, S., Holmbom, B. (2007): Headspace-SPME analysis of the sapwood and heartwood of *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Larix decidua*. *J Essent Oil Res* 19:125–133. <https://doi.org/10.1080/10412905.2007.9699244>
- White, R.H., Nordheim, E.V. (1992): Charring rate of wood for ASTM E 119 exposure. *Fire Technology* 28:5–30. DOI: 10.1007/BF01858049
- Williams, R.S., Knaebe, M.T., Feist, W.C. (2001): Erosion rates of wood during natural weathering. Part II: earlywood and latewood erosion rates. *Wood and Fiber Science* 33(1):43–49
- Xu, Q., Chen, L., Harries, K.A., Zhang, F., Liu, Q., Feng, J. (2015): Combustion and charring properties of five common constructional wood species from cone calorimeter tests. *Construction and Building Materials* 96:416–427. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.062>

ZÁVĚR

V současné době, ale i v budoucnu lze očekávat nárůst obliby dřevěných fasád na stavbách vyrobených bez povrchové úpravy. Tato varianta je levnější, bezúdržbová, ekologicky a zdravotně nezávadná. Klade však větší nároky na výzkum jejich vlastností a změn během užívání a hledání správných řešení, které povedou k dostatečně dlouhé životnosti.

Výsledky experimentů prezentované v této monografii ukázaly, že využitím neošetřeného dřeva dochází v poměrně krátké době k výrazným barevným změnám povrchů dřeva. V této práci byla využita expozice pod úhlem 45°, která šedivění dřeva výrazně urychluje ve srovnání s obvyklým sklonem fasádních prvků 90°. Urychlení změn barvy je dle dalších prací autorů 2 až 3 - násobně rychlejší, také v závislosti na konkrétní lokalitě, ve které je dřevo exponované. O něco vyšší byla celková barevná změna na smrkovém dřevě, což je způsobeno jeho světlejší barvou. Avšak i další testované druhy dřeva, jádrové části modřínu, borovice a douglasky šedivěli přibližně stejnou rychlostí. Změny drsnosti byly u smrku mnohem výraznější, pravděpodobně nejvýznamnějším ovlivňujícím faktorem byla jeho nižší hustota a tím zvýšená abraze povrchových vrstev během exteriérové expozice.

Nejdůležitějším zjištěním výzkumu bylo, že dlouhodobé stárnutí neošetřeného dřeva v exteriéru nemění jeho vlastnosti v případě působení plamenného zdroje. Úbytek na hmotnosti, rychlost odhořívání i čas do dosažení maximální rychlosti odhořívání zůstal i po 24 měsících ve vnější expozici bez statisticky významných změn. Nebyla zjištěna závislost hoření od celkových změn barvy indukujících změny chemické struktury povrchů vlivem atmosférické degradace, také míra závislosti od nárůstu drsnosti byla zanedbatelná. Prokázala se však výrazná lineární korelace mezi hustotou dřeva a rychlostí odhořívání, ale pouze v případě modřínu, douglasky a smrku. V případě, že byla do korelace zahrnuta také borovice, závislost od hustoty již nebyla prokázána. Toto zjištění dokazuje, že v případě borovicového dřeva je významnějším faktorem vyšší obsah hořlavých terpenoidů. Dosažené výsledky jsou z pohledu využití neošetřeného dřeva jehličnanů na fasády pozitivní. Dokladují, že dřevo je materiál, který nejen že z pohledu funkčnosti dobře odolává dlouhodobé atmosférické degradaci, ale také to, že stárnutí výrazněji neovlivňuje jeho vznícení a hoření. Důležitým zjištěním je, že krom hustoty, může hoření významně ovlivnit druh použitého dřeva. Zejména borovice se z tohoto pohledu může jevit jako více riziková během tepelného zatížení. Je však nutné zmínit, že výsledky mohou být v případě velkorozměrových testů ovlivněny také tvarem a rozměry fasádních prken, konkrétním konstrukčním řešením fasády a také obsah pryskyřičných látek v dřevě jehličnanů bývá variabilní.

Výše zmíněné vlivy je nutné dále zkoumat a budou vyžadovat náročnější testy velkoformátových modelů, v případě testování vlivu podílu pryskyřičných látek testy s velkým množstvím vzorků, u kterých budou předem provedeny analýzy chemického složení.

Celkově lze na základě této práce a dalších výzkumů doporučit pro konstrukci dřevěných fasád zejména jádrové dřevo modřínu a douglasky. Patří mezi druhy s vyšší přirozenou odolností vůči bio-poškození ve srovnání se smrkem a srovnatelně odolávaly v průběhu vystavení plamennému zdroji. Naopak využití jádrového dřeva borovice, se z pohledu vznícení a rychlosti odhořívání může jevit jako méně vhodná alternativa s potenciálně vyšším rizikem vzniku požáru.



***Obr. 6.1** Dřevěná fasáda v praxi*

PODĚKOVÁNÍ MILOŠOVI

Tato monografie byla dokončena k památce našeho kolegy a přítele Miloše Pánka. Jeho práce měla podstatný vliv nejen na vznik této monografie, ale i na rozvoj celého dřevařství. Byl to člověk, který byl inspirativní pro své okolí nejen z odborného, ale i z lidského hlediska. Byl lidský, spravedlivý, upřímný a svůj názor se nebál říci nahlas. Pro jeho odborné znalosti a nadhled, s kterým řešil problémy, byl oporou všem, kteří ho znali. Oblasti ochrany dřeva a povrchových úprav se věnoval celou vědeckou kariéru a obohatil dřevařství na Fakultě lesnické a dřevařské v Praze o mnoho zajímavých poznatků. Za svou práci získal velké uznání. Přesto všechno, ale nikdy neopomíjel osobní přístup a trpělivost, čímž byl pro ostatní velkou oporou. Veškerý volný čas neváhal věnovat svým blízkým a zejména rodině. Tím nám všem byl velkým vzorem a příkladem. Za to všechno moc děkujeme a nikdy nezapomeneme!

LESYČR



Podporujeme oborové vzdělávání

Název: Vliv povětrnostního stárnutí povrchu dřeva fasád na jeho zapálení a hoření – VĚDECKÁ MONOGRAFIE

Autor: Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.; doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.; Ing. Eliška Racková, Ph.D.;
prof. Ing. Anton Osvald, CSc., doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

Lektoroval: prof. Ing. Ladislav Reinprecht, CSc.; Ing. Petronela Kozlovská, PhD.

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Schváleno ediční komisí FLD

Publikace prošla recenzním řízením.

Tisk: Tisk Kvalitně s.r.o.

Počet stran: 86

Vydání: první

Rok vydání: 2025

ISBN: 978-80-213-3414-4

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchbát

Publikace vznikla za podpory Fakulty lesnické a dřevařské.

Tisk: Tisk Kvalitně s.r.o., Petržilkova 13, 158 00 Praha 13

Vliv povětrnostního stárnutí povrchu dřeva
fasád na jeho zapálení a hoření
– VĚDECKÁ MONOGRAFIE

Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.
doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.
Ing. Eliška Racková, Ph.D.
prof. Ing. Anton Osvald, CSc.
doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

2025



9 788021 334144