

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE

Ing. Peter Godovčín

Autoreferát dizertačnej práce

**MODIFIKÁCIA POLYMÉROV VYBRANÝMI FYZIKÁLNYMI
FAKTORMI A JEJ VPLYV NA ZMENU FARBY A
POŽIARNO-TECHNICKÉ VLASTNOSTI**

na získanie akademického titulu: doktor („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe: Integrovaná bezpečnosť

v študijnom odbore: 8.3.5. bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Trnava, dňa 31.5.2023

Dizertačná práca bola vypracovaná na

Ústave integrovanej bezpečnosti, Materiálovotechnologickej fakulty so sídlom v Trnave, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ:

Ing. Peter Godovčin

Ústav integrovanej bezpečnosti
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Botanická 49
917 24 Trnava

Školiteľ:

prof. Ing. Jozef Martinka, PhD.

Ústav integrovanej bezpečnosti
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Botanická 49
917 24 Trnava

Oponenti:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(meno a priezvisko školiteľa a oponentov s uvedením ich titulov a názov ustanovizne, s ktorou je školiteľ, resp. oponent v pracovnom pomere)

Autoreferát bol rozoslaný:

(dátum rozoslania)

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa 24.8.2023 o 9:30 h.

na Ústav integrovanej bezpečnosti, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Botanická 49 , 917 24 Trnava

.....
prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
dekan Materiálovotechnologickej fakulty STU

Obsah

ÚVOD	4
1. MODIFIKÁCIA POLYMÉROV	5
1.1 Modifikácia dreva.....	5
1.1.1 Tepelná modifikácia dreva	5
1.1.1.1 Parametre ovplyvňujúce tepelné spracovanie.....	6
1.2 Modifikácia syntetických polymérov	8
1.2.1 Aditíva a výplne	8
1.2.1.1 Antioxidanty	8
1.2.1.2 Fotostabilizátory	9
1.2.1.3 Tepelné stabilizátory	10
1.2.1.4 Retardéry horenia	10
2. CIELE PRÁCE.....	11
3. METODOLÓGIA PRÁCE.....	11
3.1 Úprava vzoriek a experimentálne metódy	12
3. VYBRANÉ VÝSLEDKY A DISKUSIA.....	14
3.1 Organické polyméry - Drevo.....	14
3.1.1 Zmena farby – Drevo.....	14
3.1.2 Zmena tvrdosti – Drevo.....	16
3.1.3. Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FT-IR) – Drevo.....	17
3.1.4 Požiarno-technické parametre – Drevo	18
3.2 Syntetické polyméry - Plasty.....	20
3.2.1 Zmena farby – Plasty.....	20
3.2.2 Zmena tvrdosti – Plasty	22
3.2.3 Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FT-IR) – Plasty.....	23
3.2.4 Požiarno-technické parametre – Plasty.....	23
PRÍNOSY PRE VEDU, PEDAGOGIKU A PRAX.....	25
ZÁVER.....	26
ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV	28
PUBLIKAČNÁ ČINNOSŤ	30
SÚHRN	31
ABSTRACT	32

ÚVOD

Modifikácia polymérov sa praktizuje od rannej histórie ľudstva, spracovaním dreva, zvieracích koží a prírodných vlákien. Používanie dreva, ktoré je tvorené prírodnými polymérmi, v budovách siaha až do doby kamennej. V roku 9000 pred našim letopočtom bol neolitický Long House, drevený dom v Británii, jednou z najväčších stavieb na svete. Aj napriek príchodu ďalších materiálov je drevo stále jednou z najdôležitejších a najschodnejších možností.

Napriek tomu, že je drevo jedným z najudržateľnejších materiálov je náchylné na degradáciu, ak nie je ošetrované. V takomto prípade by nevydržalo riziká dlhodobej expozície, ako sú nepriaznivé klimatické podmienky a napadnutie hmyzom a plesňami.

Medzi prvotné spôsoby ošetrovania dreva môžeme zaradiť- namáčanie trávov v olivovom oleji alebo používaním dechtu pri stavbe lodí počas rímskeho veku. Komericializácia upraveného dreva začala tým, že železničný priemysel začal používať kreozot, destilát uhoľného dechtu, ktorý sa používal viac ako 150 rokov. V tom čase používali železničné spoločnosti neošetrované väzby a museli ich každých päť rokov vymieňať. Používanie prostriedkov na ochranu dreva predĺžilo životnosť dreva, čo sa prejavilo znížením nákladov na prácu a materiál.

V priebehu minulého storočia boli objavené a vyrobené nové druhy materiálov známych ako syntetické polyméry, ktoré nielenže nahradili dovtedy používané klasické prírodné materiály, ale umožnili aj vývoj úplne nových výrobkov, ktoré prispeli k rozvoju ľudskej spoločnosti.

Tieto nové syntetické materiály so sebou priniesli nové možnosti úprav. Cieľom takýchto úprav polymérov je priniesť nové alebo vylepšené vlastnosti pre daný typ materiálu. Vlastnosti, ako je zvýšená tepelná stabilita, biologická odolnosť, kompatibilita alebo degradovateľnosť, zvýšená pružnosť, flexibilita, tuhosť a iné.

Úpravy môžeme zhruba rozdeliť do dvoch kategórií:

- a. Fyzikálna modifikácia, vrátane zaplnenia voľných miest v štruktúre a zmien vyvolaných žiarením
- b. Chemická modifikácia, ktoré je založené na chemickej reakcii v polyméri. V súčasnosti patria takto upravené syntetické polyméry (plasty) medzi celosvetovo najpoužívanejšie materiály.

Vzhľadom na spôsob modifikácie a fakt, že modifikované materiály patria k najrozšírenejším, môže predpokladať, že spôsob úpravy plastov alebo dreva môže mať značný vplyv na ich správanie sa pri vzniknutom požiari. Nakoľko výplne, chemické látky alebo zmeny v štruktúre spôsobené žiarením ovplyvňujú proces horenia.

1. MODIFIKÁCIA POLYMÉROV

1.1 Modifikácia dreva

Ako prírodný obnoviteľný zdroj je drevo vo všeobecnosti netoxický, ľahko dostupný a cenovo dostupný materiál. Odpradáva ľudstvo drevo na základe jeho inherentných vlastností, čo znamená, že na dosiahnutie najlepších výsledkov bol použitý konkrétny druh alebo časť stromu. Okrem sušenia bola úprava dreva z historického hľadiska vzácna. Pretože je drevo prírodný produkt, ktorý pochádza z rôznych stromov, je jeho použitie limitované a materiál je potrebné transformovať, aby získal požadovanú funkčnosť. Podstatou úpravy je prekonanie slabých miest dreveného materiálu, ktoré súvisia hlavne s citlivosťou na vlhkosť, nízkou rozmerovou stabilitou, tvrdosťou a odolnosťou proti opotrebovaniu, nízkou odolnosťou proti biologickému poškodeniu pôsobením húb, termitov, morských vrtákov a nízkou odolnosťou proti UV žiareniu. (Sandberg,2017)

Modifikácia dreva je pojem, ktorý slúži na opísanie použitia chemických, mechanických, fyzikálnych alebo biologických metód na zmenu vlastností materiálu. Takáto definícia úpravy dreva zahŕňa takmer všetko, čo sa deje v drevenom materiáli už po jeho spílení. Hill (2006) sformoval definíciu úpravy dreva: „Úprava dreva zahŕňa pôsobenie chemického, biologického alebo fyzikálneho činidla na materiál, čo má za následok požadované zlepšenie vlastností počas životnosti upraveného dreva. Samotné upravené drevo by malo byť za prevádzkových podmienok netoxické a okrem toho by sa počas používania alebo na konci životnosti po likvidácii alebo recyklácii upraveného dreva nemali vylučovať toxické látky. Ak je modifikácia určená na zvýšenie odolnosti proti biologickému napadnutiu, potom by režim pôsobenia nemal byť biocídny.“ Je potrebné poznamenať, že vyššie uvedené nevyhnutne nevylučuje použitie nebezpečnej chemikálie pri príprave upraveného dreva za predpokladu, že po dokončení procesu úpravy dreva nezostanú žiadne nebezpečné zvyšky. Pri úprave dreva možno implementovať štyri hlavné typy procesov: (Sandberg,2017)

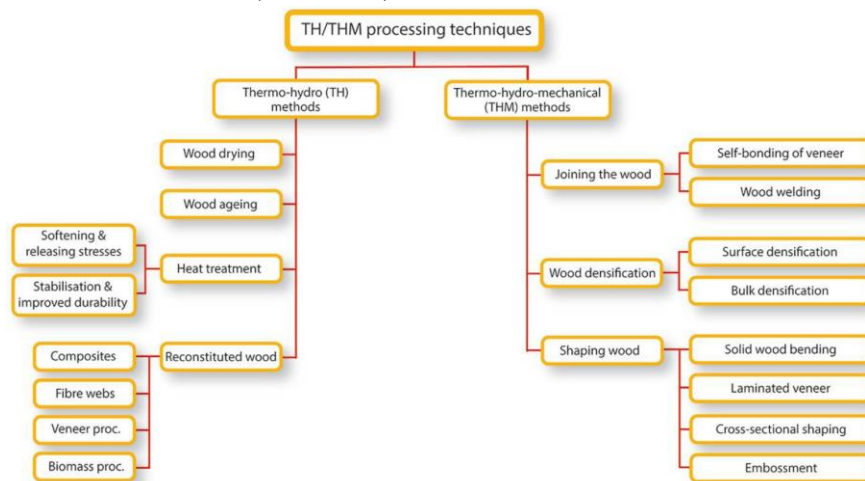
1. Chemické ošetrenie
2. Termo-hydro (TH) a termo-hydro-mechanické (THM) ošetrenie
3. Ošetrenie založené na biologických procesoch
4. Fyzikálne ošetrenie pomocou elektromagnetického žiarenia alebo plazmy (Sandberg,2017)

1.1.1 Tepelná modifikácia dreva

Tepelne modifikované drevo je drevo, pri ktorom sa zloženie materiálu bunkovej steny a jeho fyzikálne vlastnosti upravujú vystavením teplotám vyšším ako 160 °C a podmienkam zníženej dostupnosti kyslíka. Na vykonanie tohto procesu existujú rôzne postupy, z ktorých väčšina sa líši podľa spôsobu, akým vylučujú vzduch/kyslík zo systému (Navi & Sandberg 2012). Napríklad v peci je možné použiť parnú alebo dusíkovú atmosféru alebo drevo ponoriť do horúceho oleja. Procesy tepelnej modifikácie je možné použiť na širokú škálu drevín, je však potrebné ich optimalizovať pre konkrétny druh dreva. Získané zlepšenie vlastností značne závisí od podmienok procesu, intenzity spracovania (teplota, doba trvania), druhu dreva a rozmerov dreva. Podrobnejší prehľad použitých metód tepelnej úpravy môžeme vidieť na Obrázku 1.

V dôsledku tepelne vyvolaných chemických zmien makromolekulárnych zložiek sa menia fyzikálne a biologické vlastnosti dreva. Medzi tieto zmeny patrí:

- zlepšenie rozmerovej stability v závislosti od podmienok spracovania;
- znížená hydroskopicita (pokles rovnovážneho obsahu vlhkosti pri danej relatívnej vlhkosti a znížená zmäčavosť)
- zlepšená odolnosť voči mikrobiologickým útokom
- zvýšenie modulu pružnosti počas počiatkových fáz zahrievania s následným znížením
- zníženie rázovej húževnatosti, modulu lomu
- znížená odolnosť proti oderu
- tendencia k tvoreniu prasklín a prasklín, uvoľňovanie uzlov a podobne
- stmavnutie materiálu (Hill,2006)



Obrázok 1. Klasifikácia Termo-hydro (TH) a termo-hydro-mechanických (THM) metód (Sandberg & Kutnar 2016)

1.1.1.1 Parametre ovplyvňujúce tepelné spracovanie

Vlastnosti tepelne upraveného dreva veľmi závisia od použitého tepelného spracovania a je veľmi dôležité ich zohľadniť pri porovnaní rôznych použitých spôsobov spracovania. Existuje celá rada spôsobov tepelnej úpravy, ktoré môžu byť aplikované na drevo, a presný spôsob ošetrenia môže mať významný vplyv na vlastnosti tepelne upraveného dreva. Medzi dôležité procesné premenné patria nasledujúce:

- a) čas a teplota
- b) atmosféra
- c) uzavreté verzus otvorené systémy
- d) druh dreva
- e) mokré a suché systémy
- f) rozmery vzorky
- g) použitie katalyzátorov (Hill,2006)

Čas a teplota ošetrenia

Pri zahrievaní dreva dochádza spočiatku k zníženiu hmotnosti materiálu v dôsledku straty viazanej vody a prchavých extrakčných látok, pričom menej prchavé extrakty majú tendenciu migrovať na povrch dreva. Pri zvyšovaní teploty dochádza k chemickým zmenám makromolekulárnych zložiek bunkovej steny, sprevádzaným ďalším úbytkom hmotnosti a zmenami farby. Niekoľko štúdií preukázalo, že úbytok hmotnosti (ako aj zmeny v ďalších vlastnostiach) podlieha kinetickému procesu prvého rádu, aj keď iné štúdie preukázali, že to závisí od podmienok spracovania a veľkosti vzorky. (Hill, 2006)

Atmosféra

Ošetrenie sa môže uskutočňovať na vzduchu, vo vákuu alebo v inertnej atmosfére. V niektorých prvotných štúdiách bol vzduch vylúčený zahrievaním dreva pod roztaveným kovom. Je zrejmé, že ošetrenie za prítomnosti kyslíka vedie k oxidačným procesom a existujú významné rozdiely v chémii rozkladu, ako aj v získaných vlastnostiach materiálu. Existujú práce, pri ktorých sa zahrievanie dreva vykonáva v oleji, ktorý funguje ako teplonosné médium a navyše vylučuje kyslík z dreva. To malo za následok vývoj procesu Menzholz v Nemecku. Ak je voda prítomná v dostatočnom množstve, môže to pôsobiť aj ako pokrývka na zabránenie alebo zníženie rýchlosti oxidačných procesov. (Hill, 2006)

Uzavreté a otvorené systémy

Zahrievanie dreva v utesnenom reaktore umožňuje hromadenie degradačných produktov, ktoré môžu ovplyvňovať chemické zmeny prebiehajúce v dreve; dochádza tiež k zvýšeniu tlaku v reaktore. Prítomnosť kyselín produkovaných z acetylových skupín v hemicelulózach vedie k urýchlenej degradácii polysacharidových zložiek bunkovej steny (Stamm, 1956). Tepelné ošetrenie pomocou otvoreného systému umožňuje odstránenie týchto produktov. Ak sa zelené drevo upravuje v uzavretom reaktore, proces prebieha za prítomnosti vysokotlakovej pary, zatiaľ čo voda uniká z otvoreného systému. V niektorých procesoch sa používa recirkulačný systém, v ktorom sa kondenzačné produkty (prchavé extrakčné látky a voda) a produkty rozpadu (napr. Kyselina octová) odstraňujú pred návratom atmosféry do reaktora. (Hill, 2006)

Druh dreva

Medzi jednotlivými druhmi boli zaznamenané rozdiely v spôsobe, akým reagujú na tepelné ošetrenie, predovšetkým medzi tvrdými a mäkkými drevinami. Tepelné, hydrotermálne ošetrenie rôznych drevín vedie k stratám hmotnosti, ktoré sú všeobecne vyššie u tvrdého dreva v porovnaní s druhmi mäkkých drevín (MacLean, 1951; Zaman a kol., 2000; Militz, 2002).

Rozmery vzorky

Inherentná heterogenita materiálu vedie k zmenám v dreve v reakcii na tepelnú modifikáciu. Rýchlosť prenosu tepla do dreva je mimoriadne dôležitá, aby sa zabezpečila konštantná teplota vo vzorke. Tepelná vodivosť suchého dreva je nízka a použitá metóda ohrevu musí zabezpečiť, aby bola úprava čo najrovnomernejšia. Prestup tepla je veľmi významným faktorom pri spracovaní dreva väčších rozmerov. (Hill, 2006)

Mokr  a such  systémy

Pr tornosť vody alebo vodnej pary ovplyvnuje chémiu tepelnej modifikácie a prenosu tepla v dreve (Burmester,1981). Za suchých podmienok sa drevo pred tepelnou úpravou vysuší alebo sa voda odstráni pomocou otvoreného systému alebo recirkulačného systému s kondenzátorom. V uzavretých systémoch zostáva voda odparen  z dreva ako vysokotlakov  para počas procesu. Para môže byť tiez vstrekovan  do reaktora, aby pôsobila ako m di m na prenos tepla, a môže ďalej pôsobiť ako inertn  vrstva na obmedzenie oxidačných procesov. Tak to procesy úpravy parou sa označujú ako hydrotermálne úpravy. Ak sa drevo ohrieva vo vode, je to známe ako hydrotermálny proces. (Hill,2006)

Použitie katalyzátorov

Uskutočnilo sa niekoľko obmedzených prác, pri ktorých sa drevo ohrieva za pr tornosti chemikálií, ktoré sa pouz vajú na urýchlenie degradačných procesov. To zvyčajne zahrnuje pouz tie katalyzátorov, ktoré generujú kyseliny, a t m urýchľujú degradáciu polysacharidových zloz iek. Katalyzátory sa nepouz vajú komerčne. Stamm (1959c) študoval zlepšenie rozmerovej stability pomocou tepelného spracovania dreva v pr tornosti celého radu katalyzátorov. Katalyzátory zn ížili čas zahrievania potrebn  na dosiahnutie daného zvyšenia rozmerovej stability, ale neovplyvnili koreláciu medzi mechanickými vlastnosťami a odolnosti voči zmršťovaniu (ASE), ani medzi stratou hmotnosti v dôsledku zahriatia a ASE. Pouz tie kyslých katalyzátorov v kombinácii s tepelným spracovaním zvyšuje v t' zky derivátov furfuralu a fur nu (Fengel a Wegener,1989).

1.2 Modifikácia syntetických polymérov

1.2.1 Aditíva a výplne

Originálne polymérne materiály často vykazujú zl  vlastnosti a mali by za následok komer n  zlyhanie. Aditíva hraj  veľmi d ležit  úlohu v spracovateľnosti plastových materiálov, ako aj v ich aplikáciách (Gatcher a Muller, 1990). Vďaka pridaniu pr s d sú polymérne materiály vhodné na rôzne vyuz tie: automobilov  priemysel, dizajn, obaly, konštrukcie, elektronika, telekomunikácie (Pritchard, 1998). Aditiv cia molekúl alebo častíc k pôvodnému polyméru môže zlepšiť jeho objemov  a povrchov  vlastnosti. (Bockhorn a kol.,1999). Aditíva môžeme rozdeliť podľ  rôznych kategórií: antioxidanty, stabilizátory svetla, absorbéry ultrafialového z arenia (UV), retardéry horenia (FR), tepeln  stabilizátory, modifikátory nárazu, plastifikátory, kompatibiliz tory, spojovacie látky, farbivá, pigmenty, bielidlá.

1.2.1.1 Antioxidanty

Antioxidanty sú chemick  zl u eniny, ktoré chránia polyméry a plasty pred tepelnými a fotooxida n mi procesmi, ktoré sa vyskytujú počas prirodzeného starnutia. AO sa všeobecne delia do dvoch skupín podľ  ich ochranného mechanizmu (Rabek,1990):

1. Kinetick  antioxidanty - rozkladajúce reťazce (termin tory reťazcov, zachytávače reťazcov). Majú schopnosť zachytávať niektor  alebo dokonca všetky dostupn  nízkomolekulárne radikály ($R\cdot$, $RO\cdot$, $ROO\cdot$, $HO\cdot$ atď.) A polymérne radikály ($P\cdot$, $PO\cdot$, $POO\cdot$) procesom nazývaným rozbíjanie reťazcov. mechanizmus darcu elektrónov(Rabek,1990)

2. Peroxidové rozkladače - ktoré rozkladajú hydroperoxyskupiny (HOO) prítomné v polyméri. Antioxidanty pokrývajú rôzne triedy zlúčenín, ktoré môžu interferovať s oxidačnými cyklami a inhibovať alebo spomaliť oxidačnú degradáciu polymérov (Al-Malaika a Sheena,2005). V súčasnosti bolo vyvinutých mnoho tried prísad na prevenciu alebo zníženie oxidačnej degradácie. Tieto prísady fungujú pomocou niekoľkých mechanizmov, z ktorých niektoré z dôvodu zvýšenia praktického významu sú hydroperoxidový rozklad a zachytávanie radikálov (Zweifel,1998).

1.2.1.2 Fotostabilizátory

Fotodegradácia je degradácia fotodegradovateľnej molekuly spôsobená absorpciou fotónov, najmä tých vlnových dĺžok nachádzajúcich sa v slnečnom svetle, ako je infračervené žiarenie, viditeľné svetlo a ultrafialové svetlo (Yousif a Haddad,2013).

Fotostabilizácia polymérov zahŕňa inhibíciu alebo spomalenie fotochemických procesov (hlavne fotooxidácie) v polyméroch a plastoch znížením rýchlosti fotoiniciácie a / alebo znížením dĺžky kinetického reťazca štádia šírenia fotooxidačného mechanizmu. Fotostabilizátory (UV, svetelné stabilizátory) sú prísady do plastov a polymérnych materiálov, ktoré zabraňujú fotochemickým deštruktívnym procesom a reakciám spôsobeným UV žiarením prítomným na slnečnom svetle (Rabek,1995).

Fotostabilizátory možno rozdeliť do troch hlavných tried: UV absorbéry, zhášače a UV clony.

UV absorbéry - Pôsobenie UV absorbéra je pomerne jednoduché, pretože interaguje s prvým stupňom fotooxidačného procesu absorpciou škodlivého UV žiarenia (300 - 400 nm) predtým, ako dosiahne fotoaktívne chromoforické druhy v molekule polyméru. Preto sa energia rozptýli spôsobom, ktorý nevedie k fotosenzibilizácii. UV absorbér musí byť stabilný na svetle, pretože inak by sa zničil pri stabilizačných reakciách (Yousif,2012). Veľmi častým procesom rozptylu energie je premena škodlivého UV žiarenia na neškodné infračervené žiarenie alebo teplo, ktoré sa odvádza cez polymérnu maticu.

Zhášače - Tieto zlúčeniny sú schopné deaktivovať excitované stavy (singlet/triplet) chromoforických skupín prítomných v polyméri skôr, ako dôjde k štiepeniu väzby (Wiles a Carlsson,1980). Na rozdiel od absorbérov, zhášače nemusia mať vysokú absorpciu pri kritickej vlnovej dĺžke pre degradáciu polyméru. Zhášanie je bimolekulárny proces charakterizovaný veľmi rýchlou kinetikou. (Heller,1969)

UV clony - UV clony sú materiály, ktoré môžu odrážať škodlivé svetlo od povrchu polyméru. Niektoré príklady sú povrchové úpravy (farbou alebo pokovovaním) povrchu alebo zabudovanie pigmentu s vysokou UV odrazivosťou (Rabek,1990). Pretože pigmenty pôsobia ako vysoko absorbujúce prísady, fotooxidačné javy sú obmedzené hlavne na povrch vzoriek (Yousif,2012). Pigmenty je možné rozdeliť do dvoch tried:

Anorganické pigmenty: oxid titaničitý (TiO₂), oxid zinočnatý, oxid železitý (červený), oxid chrómu atď.

Organické pigmenty: ftalokyanínová modrá a zelená, chinakridónové červené, karbazolová fialová, ultramarínová modrá

1.2.1.3 Tepelné stabilizátory

Stabilizátory tepla sa používajú na zabránenie degradácie plastov pôsobením tepla, napríklad pri spracovaní. Sú široko používané v zmesiach PVC. Stabilizátory tepla pôsobia zastavením tepelnej oxidácie alebo útokom na rozkladané produkty oxidácie (Murphy,1999). Kvôli svojej štruktúre je PVC obzvlášť citlivý na teplo. Najväčšie využitie tepelných stabilizátorov je skutočne v PVC priemysle, PVC má zďaleka najväčšiu spotrebu tepelných stabilizátorov. Ďalšou dôležitou oblasťou použitia tepelných stabilizátorov sú recyklované materiály, v prípade ktorých tieto látky zohrávajú dvojitú úlohu: brzdia degradáciu a obnovujú plastový odpad po použití. Ako tepelné stabilizátory môžu byť použité tri typy materiálov.

- a) **Kovové soli** - najčastejšie na báze bária, kadmia, olova, alebo zinku, sa často používajú spoločne na získanie synergického účinku. Zmiešané kovové soli a mydlá sa všeobecne pripravujú reakciou komerčne dostupných oxidov alebo hydroxidov kovov s požadovanými C₈-C₁₈ karboxylovými kyselinami. Soli zinku a kadmia reagujú s chybnými miestami na PVC za účelom vytesnenia labilných atómov chloridu (Mesch,1994).
- b) **Organokovové zlúčeniny** - hlavne na báze cínu. Všetky tieto zlúčeniny sú deriváty štvormocného cínu Sn (IV) a všetky majú jednu alebo dve alkylové skupiny kovalentne naviazané priamo na atóm cínu. Mnoho zo stabilizátorov alkylcínu je považovaných za bezpečné na použitie pri takmer všetkých možných konečných použitíach pre PVC (Figge,1990).
- c) **Nekovové organické stabilizátory** - Od začiatku 90. rokov sa vynakladá značné úsilie na zníženie alebo vylúčenie väčšiny kovov, najmä olova, z tepelných stabilizátorov z PVC. Spravidla sú založené na fosfitoch, ktoré zlepšujú optické vlastnosti, ako je priehľadnosť, počiatočná farba a stálosť svetla.

1.2.1.4 Retardéry horenia

Všetky materiály na báze uhlíka, od dreva po plasty horia, pokiaľ je prítomné teplo a kyslík. Pretože je kyslíka dostatok, spaľovanie predstavuje na našej planéte stálu silu prírody. Energia sa absorbuje, kým sa neroztrhne väzba C-C, C-O, C-N v hlavnom reťazci a kým sa v atmosfére neuvoľnia prchavé plyny s nízkou molekulovou hmotnosťou spolu s potenciálne škodlivými prvkami, ako sú dusík, kyslík, síra, fluór a chlór (Morgan a Gilman,2013). Úlohou spomaľovača horenia je dosiahnuť, aby bola polymérna formulácia menej horľavá interferenciou s chémiou a / alebo fyzikou spaľovacieho procesu (Innes a Innes,2003). Retardéry horenia možno podľa technológie rozdeliť do troch typov.

- a) **Halogénové** - ako už naznačuje ich názov, sú molekuly, ktoré obsahujú prvky zo skupiny VII periodickej tabuľky - F, Cl, Br a I. Môžu sa veľmi líšiť v chemickej štruktúre, od alifatických až po aromatické uhlíkové substráty, ktoré sú perhalogénované (všetky vodíky nahradené atómami halogénu) alebo môžu byť v anorganickej forme. Organohalogénové zlúčeniny majú najväčšiu účinnosť ako prísady spomaľujúce horenie pre polyméry (Grand a Wilkie,2000). Pracujú v plynnom alebo plynnom skupenstve a narúšajú chemický radikálny mechanizmus spaľovacieho

procesu. Niektoré retardéry patriace do tejto triedy, najmä brómované, sa však považujú za škodlivé pre životné prostredie (De Wit,2002).

- b) **Na báze fosforu** - začleňujú fosfor do svojej štruktúry a štruktúra sa môže veľmi líšiť od anorganických po organické formy a medzi oxidačnými stavmi (0, 13, 15) (Levchik a Weil,2006). Tieto retardéry sú známe aj ako zuhoľnatejúce látky, pretože počas procesu horenia produkujú kyseliny fosforečné, ktoré reagujú so substrátom za vzniku zuhoľnatenia, ktoré slúži ako ochrana samotného substrátu.
- c) **Hydráty kovu**. Táto trieda zahŕňa typicky trihydroxid hlinitý ($\text{Al}(\text{OH})_3$) a hydroxid horečnatý ($\text{Mg}_2(\text{OH})_4$). Tieto produkty poskytujú ochranu FR uvoľňovaním vody po tepelnom rozklade, čo ovplyvňuje proces spaľovania (Horn a Clever,1996).

d)

2. CIELE PRÁCE

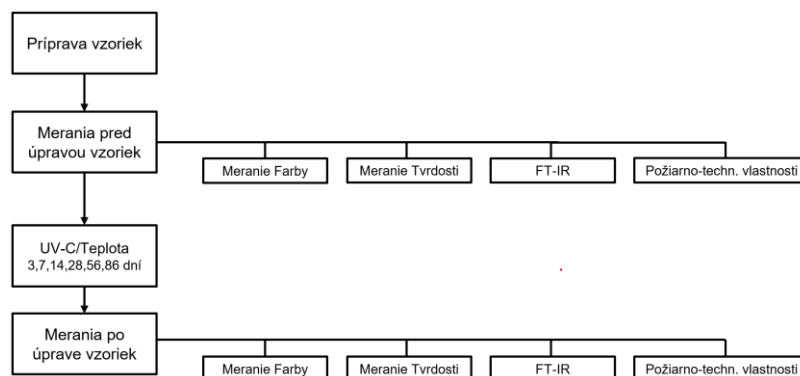
Hlavný cieľ dizertačnej práce

Komplexné preskúmanie pôsobenia UV žiarenia a teploty zmenu vybraných vlasností vybraných prírodných a syntnetických polymérov. Polyméry použité v experimentálnej časti budú bukové, smrekové a jedľové drevo, polyamid a kompozity polyftalamidu a skleneného vlákna.

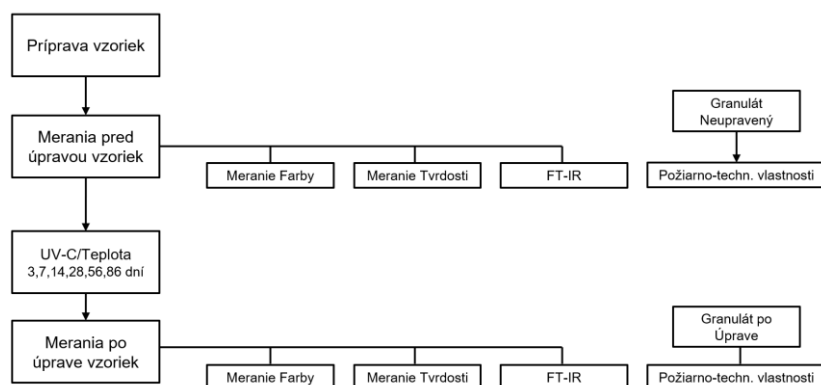
Čiastkové ciele dizertačnej práce

- Zostrojenie komory na simulovanie vplyvu UV žiarenia
- Stanovenie vplyvu teploty/UV žiarenia na vizuálne vlastnosti polymérov.
- Stanovenie vplyvu teploty/UV žiarenia na mechanické vlastnosti polymérov
- Stanovenie vplyvu teploty/UV žiarenia na zmeny v chemickom zložení polymérov
- Stanovenie vplyvu teploty/UV žiarenia na požiarno-technické vlastnosti polymérov

3. METODOLÓGIA PRÁCE



Obrázok 2. Schematické znázornenie postupu vykonávania experimentov na vzorkách dreva



Obrázok 3. Schematické znázornenie postupu vykonávania experimentov na vzorkách plastov

3.1 Úprava vzoriek a experimentálne metódy

Tepelná úprava dreva sa vykonáva s cieľom zlepšiť niektoré jeho fyzikálne a chemické vlastnosti, vďaka ktorým je takto upravené drevo atraktívnejšie pre použitie. Niektoré fyzikálne vlastnosti dreva sa pri tepelnej úprave nenávratne menia. Na tepelnú úpravu vzoriek použijeme laboratórnu sušiareň TCN 50 Plus.

Vzhľadom na situáciu spojenú s pandémiou koronavírusu SARS-CoV-2 sme ako zdroj UV-C žiarenia vybrali germicídne žiarivky. Tieto žiarivky sa používajú dezinfekciu vzduchu, vody, predmetov alebo tiež nástrojov v zdravotníctve a vede. Vzhľadom na veľké množstvo vzoriek a časovú náročnosť a použitiu veľmi špecifického UV-C žiarenia sme pristúpili k výrobe vlastnej UV-C komory. Vzorky boli upravené podľa harmonogramu uvedeného v Tabuľke 1. V prípade UV-C žiarenia zostávajú časové intervaly expozície rovnaké a jedinou zmenou je výmena zdroja tepla za zdroj UV-C žiarenia.

Tabuľka 1. Časový a teplotný harmonogram tepelnej a UV-C úpravy dreva a plastov

Plasty [dní]						
EcoPaXX® Q150-D	3	7	14	28	56	84
ForTii® T11	3	7	14	28	56	84
ForTii® MX1	3	7	14	28	56	84
ForTii® MX3	3	7	14	28	56	84
Drevo [dní]						
Buk lesný	3	7	14	28	56	84
Smrek obyčajný	3	7	14	28	56	84
Jedľa strieborná	3	7	14	28	56	84
Teplota						
110 °C	130°C			150°C		

Použité experimentálne metódy

1. Meranie zmeny farby

Najpopulárnejšou metódou merania farby je metóda L^* , a^* , b^* . Je to jedna zo všeobecných farebných metód definovaných CIE (*International Commission on Illumination*). V tomto farebnom rozsahu L^* označuje svetlosť a a^* a b^* sú súradnice chromatickosti. $+a^*$ smer je červený, $-a^*$ smer je zelený, $+b^*$ smer žltý a $-b^*$ smer modrý. Stred je achromatický; Keď sa hodnoty a^* a b^* zvyšujú a pohybujú sa od stredu, zvyšuje sa sýtosť farby.

2. Meranie mechanických vlastností

Meranie tvrdosti podľa Janku

Jankov test bol vyvinutý ako variácia Brinellovho testu tvrdosti. Skúška meria silu potrebnú na vtláčenie oceleovej gule s priemerom 11,28 milimetra do dreva do hĺbky polovice priemeru gule (5,64 mm). Stanovenie tvrdosti podľa Janku sa najčastejšie využíva pri určovaní vhodnosti dreva na použitie ako podlahové krytiny.

Meranie tvrdosti podľa Shore D – STN EN ISO 868

Norma STN EN ISO 868 je určená na stanovenie tvrdosti plastov pomocou tvrdomerov. Na meranie sa konkrétne využívajú Shoreve tvrdomery. V tejto norme sa uvádzajú dva typy tvrdomerov Shore A a Shore D. Ďalším typom, ktorý nie je určený v tejto norme je Shore 00, ktorý je určený na veľmi mäkké gumeny a gély.

3. Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FT-IR)

Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FT-IR) je výkonná metóda na určovanie funkčných skupín na povrchoch. IR spektroskopia je meranie absorpcie IR frekvencií umiestnených v dráhe lúča svetla. Protónový lúč vo forme laseru bombarduje povrch a po excitácii je emitovaný fotón.

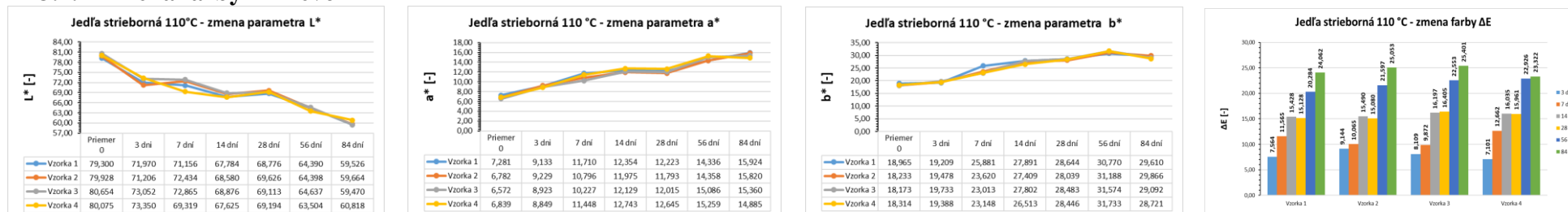
4. Požiarno-technické vlastnosti

Medzi najdôležitejšie požiarotechnické charakteristiky umožňujúce posúdenie vplyvu požiaru na okolie (životy osôb, majetok a pod.) sú vlastnosti vyjadrujúce rýchlosť uvoľňovania sprievodných javov požiaru. Medzi základné sprievodné javy požiaru považujeme teplo a splodiny horenia. Z hľadiska požiarotechnických charakteristík sa jedná o rýchlosť uvoľňovania tepla, oxidu uhoľnatého a dymu. (Balog a kol., 2015) Na termické zaťaženie vzoriek bol použitý tepelný tok 50 kW/m^2 . Bol použitý iniciačný zdroj v podobe elektrickej iskry. Ako testovacie zariadenie bol využitý kónický kalorimeter.

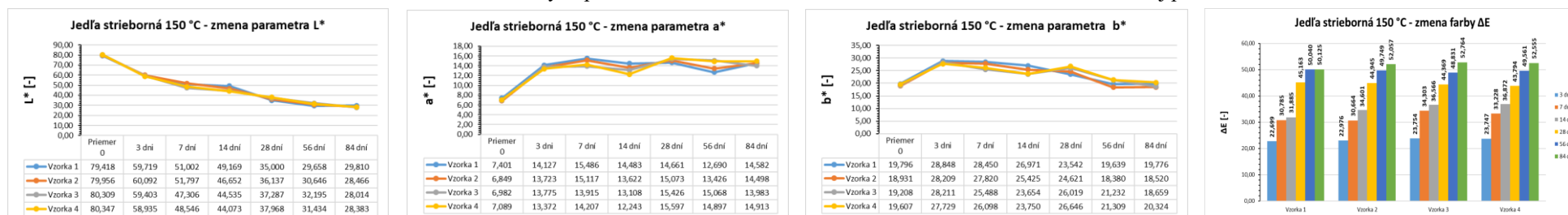
3. VYBRANÉ VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Organické polyméry - Drevo

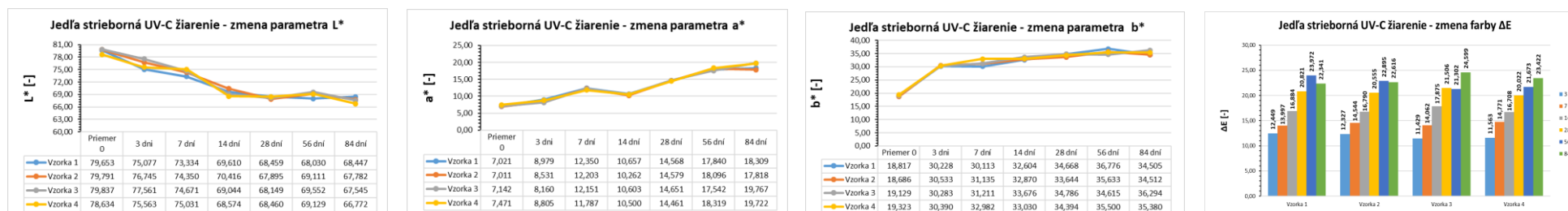
3.1.1 Zmena farby – Drevo



Obrázok 4. Zmena farebných parametrov L* a* b* a celková farebná zmena ΔE Jedle striebornej pri 110 °C



Obrázok 5. Zmena farebných parametrov L* a* b* a celková farebná zmena ΔE Jedle striebornej pri 150 °C



Obrázok 6. Zmena farebných parametrov L* a* b* a celková farebná zmena ΔE Jedle striebornej po vystavení UV-C žiareniu

U vzorky Jedle striebornej sa pri teplote 110 °C znížila hodnota L*, počas 84 dní, zhruba o 20 bodov v rámci stupnice (100-0), čo sa viditeľne prejavilo na farbe vzoriek. Mierne stúpajúci parameter a* naznačuje posun na osi smerom k červenej farbe. Parameter b* naznačuje posun na osi smerom k žltej farbe. V oboch prípadoch sa jedná o zmenu v rámci jednotiek.

Po vystavení teplote 150°C sa hodnota L* počas 84 dní znížila zhruba o 55 bodov v rámci stupnice (100-0), čo sa výrazne prejavilo na farbe vzoriek. Najväčšia zmena u všetkých parametrov nastala v počas prvých 3 dní. Následne parametre L* a b* klesali. Parameter a* sa zvyšoval len veľmi mierne. Táto anomália bola s najväčšou pravdepodobnosťou spôsobená migráciou živice, extraktívnych látok a produktov degradácie k povrchu vzoriek počas prvých 3 dní.

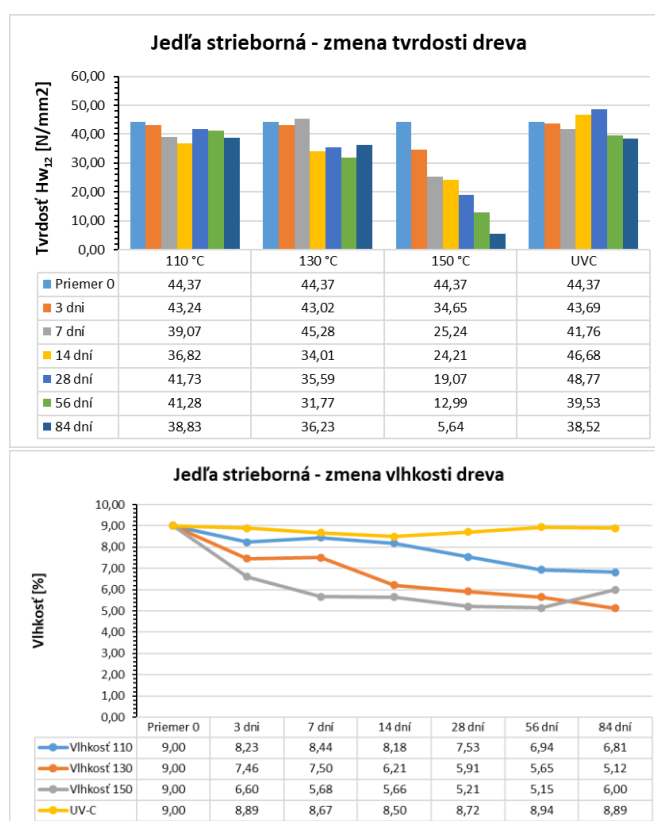
Pri expozícií UV-C žiarení sa najvýznamnejšie sa na zmene farby podieľal parameter b*. Hodnota L* sa počas 84 dní znížila zhruba o 12 bodov v rámci stupnice (100-0), čo sa mierne prejavilo na farbe vzoriek. Stúpajúci parameter a* naznačuje posun na osi smerom k červenej farbe. Parameter b* naznačuje posun na osi smerom k žltej farbe. Zmena parametra b* prevyšuje ostatné parametre, čo reprezentuje zožltnutie vzorky pôsobením UV-C. Najdynamickejšia zmena parametra b* nastáva v priebehu prvých 3 dní a následne spomaľuje.

Parameter ΔE určuje celkový farebný rozdiel medzi dvomi vzorkami. V prípade, že je hodnota ΔE väčšia ako 2,5 je možné zmenu farby rozoznať aj voľným okom. U všetkých testovaných vzoriek je zmena farby rozpoznateľná už po najkratšom testovanom intervale t.j. po 3 dňoch. Pri 150 °C a 3 dňoch je zmena farby u testovaných drevín 9 až 10-násobne väčšia ako minimálna rozpoznateľná hodnota ($\Delta E > 2,5$).

Po priemerovaní hodnôt L*, a*, b* všetkých vzoriek a pomocou online generátora bolo možné pripraviť nasledovný vzorkovník farieb.



3.1.2 Zmena tvrdosti – Drevo



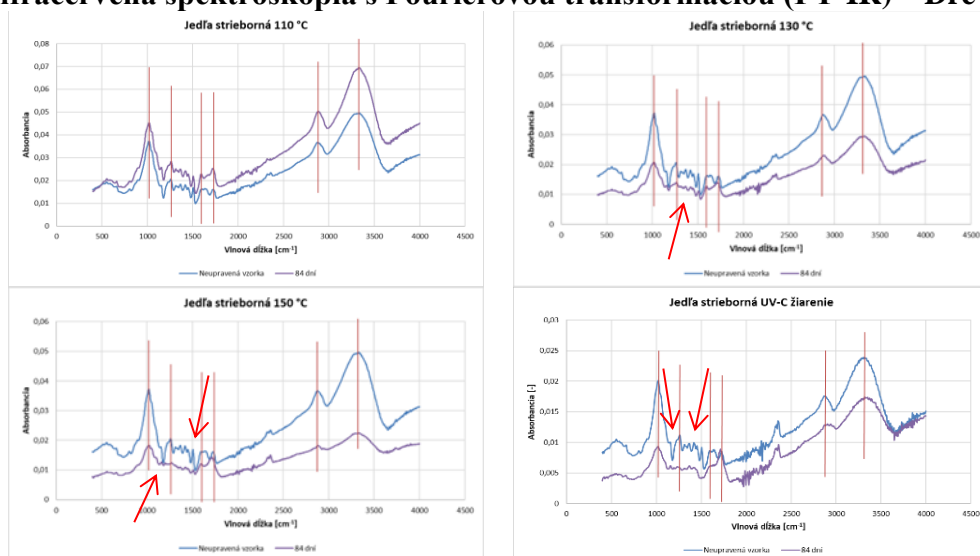
Obrázok 7. Zmena v tvrdosti a rovnovážnej vlhkosti Jedle striebornej po vystavení zvýšenej teploty a UV-C žiareníu

Na Obrázku 7. môžeme vidieť zmeny v tvrdosti a rovnovážnej vlhkosti Jedle striebornej. V prípade zmeny tvrdosti môžeme pozorovať pokles v tvrdosti jednotlivých vzoriek. Tento pokles je s narastajúcou teplotou a časom pôsobenia dynamickejší. V prípade vystavenia vzoriek teplote 150 °C je v časoch 56 až 84 dní prítomná značná termická degradácia vzoriek. Tá sa prejavila zvýšenou krehkosťou a následnou deštrukciou niektorých vzoriek pri meraní tvrdosti. V prípade vplyvu UV-C žiarenia na tvrdosť dreva môžeme konštatovať takmer zanedbateľný vplyv. Nakoľko vplyv UV-C žiarenia siaha aj s jeho druhotnými účinkami do hĺbky niekoľkých mikrometrov nanajvýš 0,15 mm. Pri meraní tvrdosti sa oceľová guľička zatlačala do hĺbky približne 2,7 mm. Čo rádovo prekračuje možný vplyv UV-C žiarenia.

Pôsobením vyššej teploty môžeme pozorovať pokles rovnovážnej vlhkosti. Tento pokles môže byť spôsobený: Zníženou absorpciou vody v bunkových stenách dôsledku chemických zmien spojených s poklesom hydroxylových skupín; zvyšuje sa neprístupnosť hydroxylových skupín celulózy molekulám vody v dôsledku zvýšenia kryštalinity celulózy a dochádza k zosieťovaniu v ligníne.

Prípadné odchýlky v oboch hodnotách je možné pripísať heterogenite dreva.

3.1.3. Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FT-IR) – Drevo



Obrázok 8. Porovnanie FT-IR Jedle striebornej po vystavení zvýšenej teploty a UV-C žiareniu

Na grafe reprezentatívnej vzorky dreva môžeme ako oblasť odtlačkov prstov charakterizovať oblasť s vlnovou dĺžkou v rozmedzí 750 cm^{-1} až 1785 cm^{-1} .

Vzorky Jedle striebornej boli vystavené teplote 110 °C počas 84 dní. Na základe grafov absorbancie jednotlivých vzoriek. Môžeme pozorovať najvýznamnejšie zmeny v píkoch s vlnovou dĺžkou 1587 cm^{-1} a 1735 cm^{-1} . Pík 1587 cm^{-1} reprezentuje väzby C=C, ktoré sa nachádzajú v aromatických štruktúrach obsiahnutých v ligníne. Pík 1735 cm^{-1} reprezentuje väzbu C=O skupiny nachádzajúcu sa nekonjugovaných ketónoch, karbonyloch, aldehydoch a ďalších esterových skupinách obsiahnutých v hemicelulóze.

Pri vystavení vzoriek dreva teplote 150 °C môžeme pozorovať intenzívne zmeny takmer v celom rozsahu vlnových dĺžok. V prípade Buky lesného je možné pozorovať výrazne zmeny v píkoch s vlnovou dĺžkou 1031 cm^{-1} ; 1238 cm^{-1} ; 1506 cm^{-1} ; 1587 cm^{-1} ; 1735 cm^{-1} . V rozsahu odtlačkov prstov dreva je možné pozorovať všeobecný pokles. V prípade píkovo 1587 cm^{-1} a 1735 cm^{-1} môžeme sledovať nárast.

Najvýraznejší vplyv UV-C žiarenia na vzorky dreva môžeme pozorovať u niekoľkých píkovo. Jedná sa o píky s vlnovou dĺžkou 1238 cm^{-1} ; 1416 cm^{-1} . U všetkých vzoriek môžeme pozorovať absenciu píku s vlnovou dĺžkou 1506 cm^{-1} . Tento pokles môžeme spôsobené degradáciou lignínu. Na druhej strane môžeme pozorovať výrazný nárast píku 1735 cm^{-1} .

Vo všetkých vzorkách vzoriek je možné pozorovať zmeny u píkov s vlnovou dĺžkou 3332 cm^{-1} . Tento vrchol zodpovedá vodíkovo viazanej OH skupine, ktorú obsahuje voda a všetky hlavné zložky dreva. (Kocaefe a kol. 2008). V tepelne modifikovaných vzorkách sú niektoré OH skupiny nahradené a tento vrchol tohto píku je zredukovaný (Esteves et al. 2013, Mattos a kol. 2015, Missio a kol. 2015, Tjeerdsma a Militz 2005). Pík s vlnovou dĺžkou 2892 cm^{-1} je viazaný s C-H, ktoré sa vyskytujú v metylových a metylénových skupinách.

Absorpčný pík pri 897 cm^{-1} indikuje asymetrickú deformáciu celulózoých a hemicelulózoých jednotiek (Esteves a kol. 2013, Kocaefe a kol. 2008, Müller a kol. 2009). K poklesu tohto píku došlo, najmä v dôsledku depolymerizácie hemicelulózoých jednotiek. Spôsobeného zvyšujúcou sa teplotou úpravy.

3.1.4 Požiarno-technické parametre – Drevo

Tabuľka 2. Vybrané požiarno-technické parametre Jedle striebornej

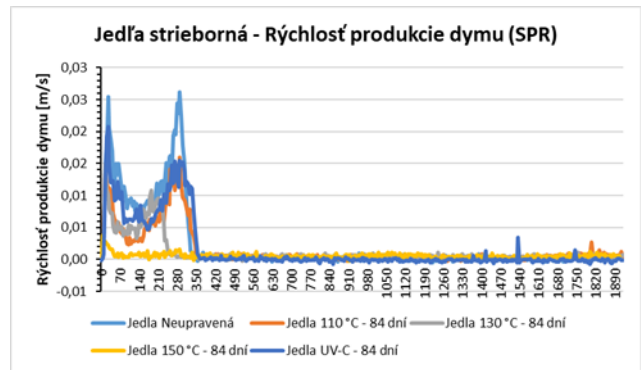
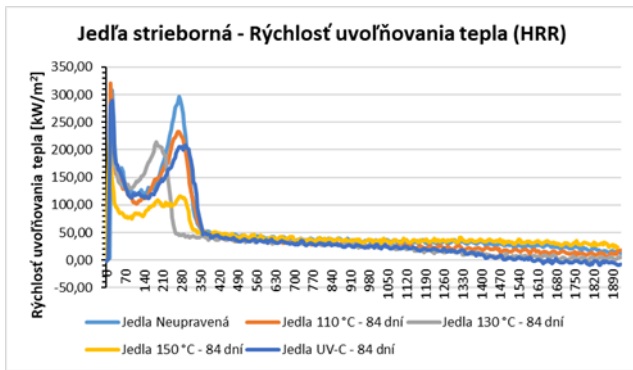
Píky	Jedľa strieborná				
	Neupravená	110 °C 84 dní	130 °C 84 dní	150 °C 84 dní	UV-C 84 dní
Max HRR (kW/m ²)	307,80	320,06	271,13	221,32	289,66
Čas do MAX HRR (s)	20	15	15	10	20
Čas do Iniciácie (s)	14,00	5,00	6,00	4,00	7,00
Výsledky meraní					
	medzi 14-1495 s	medzi 5-1645 s	medzi 6-1320 s	medzi 4-1205 s	medzi 7-1245 s
Priem. HRR (kW/m ²)	65,88	53,93	54,34	54,76	63,77
Celkové uvoľnené teplo (MJ/m ²)	97,94	88,45	71,79	66,09	79,18
Celkový uvoľnený dym (m ² /m ²)	483,19	304,93	220,87	94,11	373,40
Celková produkcia dymu (m2)	4,27	2,70	1,95	0,75	3,30
MARHE (kW/m ²)	170,30	187,71	169,69	154,34	180,07

V tejto časti boli pomocou kónického kalorimetra hodnotené vznietenia sálavým tepelným tokom 50 kW/m² pre ošetrené a neošetrené vzorky dreva. Začiatok vznietenia v testoch na kónickom kalorimetri možno ľahko zistiť rýchlym zvýšením rýchlosti uvoľňovania tepla.

V Tabuľke 2. môžeme vidieť časy do iniciácie vzorky z Jedle striebornej. Pri porovnaní neupravenej vzorky s tepelne upravenými vzorkami môžeme u Jedle pozorovať klesajúci trend v časoch do iniciácie. Medzi neupravenými vzorkami a vzorkou, ktorá bola vystavená teplote 150 °C môžeme vo všetkých prípadoch pozorovať skrátenie času do iniciácie najmenej o polovicu. Z čoho vyplýva, že povrchová vrstva vzoriek je natoľko narušená, že k vytvoreniu iniciačnej atmosféry je potrebné menšie množstvo energie. Pri vplyve UV-C žiarenia môžeme pozorovať o niečo kratšie časy iniciácie ako u neupravenej vzorky. Na základe daných výsledkov môžeme predpokladať, že na povrchu vzorky nastala dostatočná degradácia, ktorá umožnila rýchlejšie uvoľnenie prchavých látok a skrátila dobu iniciácie. Aj napriek tomu, že penetračná schopnosť UV-C žiarenia je niekoľko μm.

U všetkých vzoriek môžeme pozorovať dva vrcholy rýchlosti uvoľňovania tepla (HRR). Prvý vrchol sa objavila krátko po zapálení. Následne nastáva pokles v rýchlosti uvoľňovania tepla v dôsledku vytvorenia tepelne izolačnej zuhoľnatej vrstvy na povrchu vzorky. (Zuhoľnatené látky vznikajú primárne z príspevkov lignínu a celulózy). Táto zuhoľnatená vrstva má izolačný účinok, ktorý spomaľuje proces pyrolýzy, zamedzuje transportu tepla a prchavých látok cez materiál. Predpokladá sa, že druhý/koncový vrchol je výsledkom prepálenia materiálu a praskania zuhoľnatenia, čo umožňuje únik ďalších prchavých plynov. Keďže zadná strana vzorky bola izolovaná, po prerazení sa vzorka viac zahrievala a následne sa zrýchlila tepelná degradácia a rýchlosť uvoľňovania tepla sa začala opäť zvyšovať.

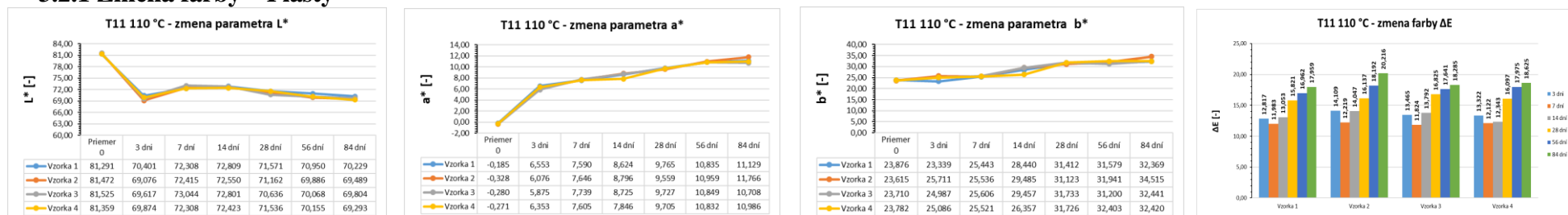
Pokles rýchlosti uvoľňovania tepla (HRR) v dôsledku tepelného spracovania bol spôsobený predovšetkým znížením obsahu hemicelulózy a sprievodných zložiek v dreve, čo v konečnom dôsledku spôsobilo zníženie množstva degradačných prchavých produktov uvoľňovaných do spaľovacej zóny.



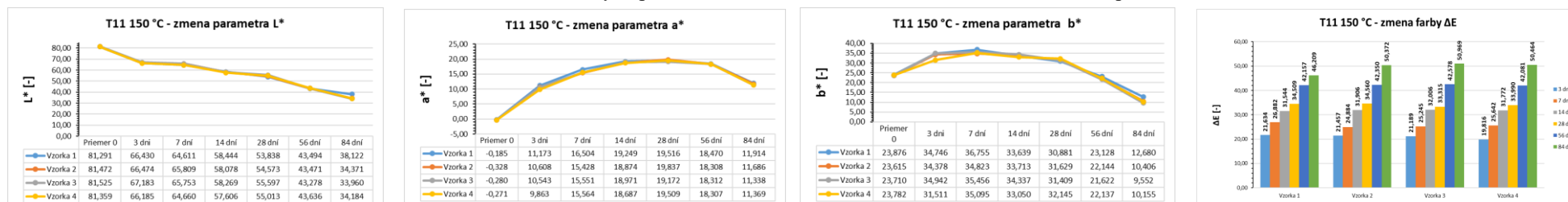
Obrázok 9. Porovnanie vybraných požiaro-technických parametrov FT-IR Jedle striebornej po vystavení zvýšenej teplote a UV-C žiareniu

3.2 Syntetické polyméry - Plasty

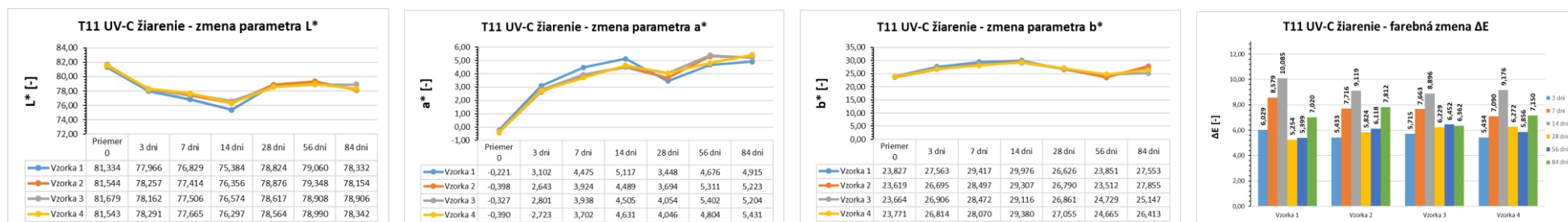
3.2.1 Zmena farby – Plasty



Obrázok 10. Zmena farebných parametrov L* a* b* a celková farebná zmena ΔE T11 pri 110 °C



Obrázok 11. Zmena farebných parametrov L* a* b* a celková farebná zmena ΔE T11 pri 150 °C



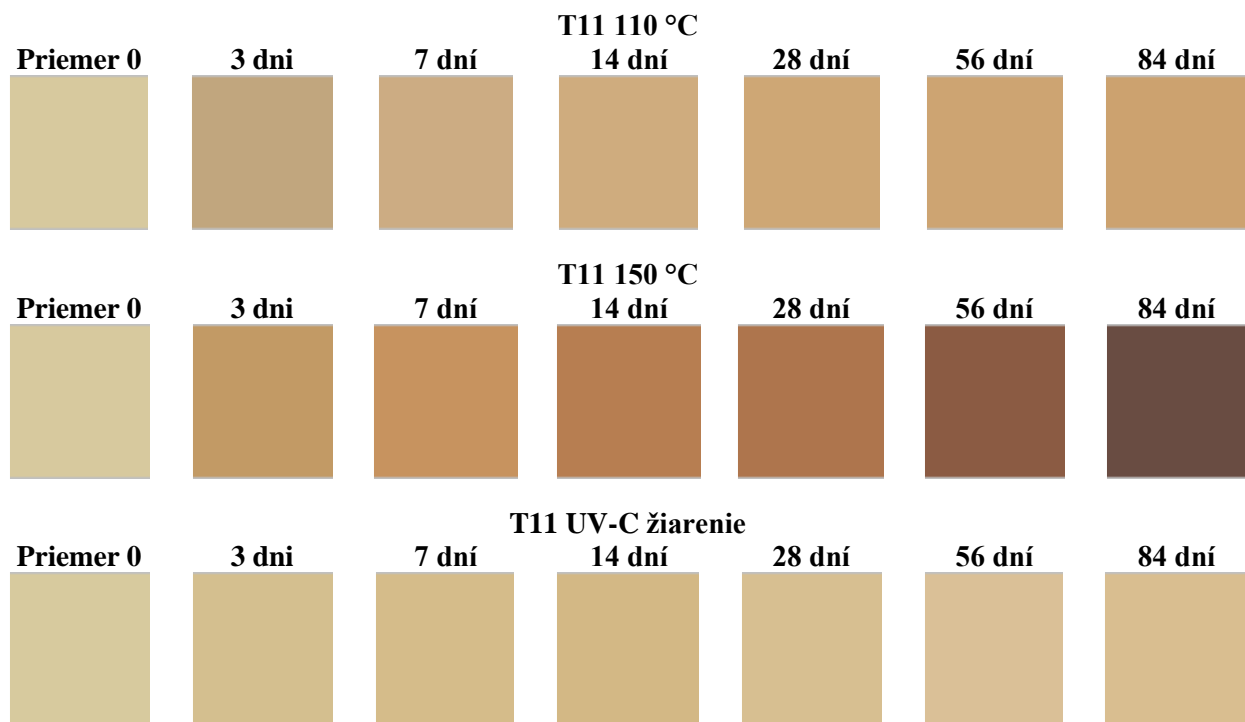
Obrázok 12. Zmena farebných parametrov L* a* b* a celková farebná zmena ΔE T11 po vystavení UV-C žiareniu

V prípade kompozitu T11 sa pri teplote 110 °C najvýznamnejšie podieľali na zmene farby parametre L* a a*. Hodnota L* sa počas 84 dní znížila zhruba o 12 bodov v rámci stupnice (100-0), čo sa mierne prejavilo na farbe vzoriek. Stúpajúci parameter a* naznačuje posun na osi smerom k červenej farbe. Parameter b* naznačuje posun na osi smerom k žltej farbe. Zmena parametra a* prevyšuje ostatné parametre, čo reprezentuje sčervenanie vzorky pôsobením zvýšenej teploty. Najdynamickejšia zmena parametra a* nastáva v priebehu prvých 3 dní a následne sa nárast spomaľuje.

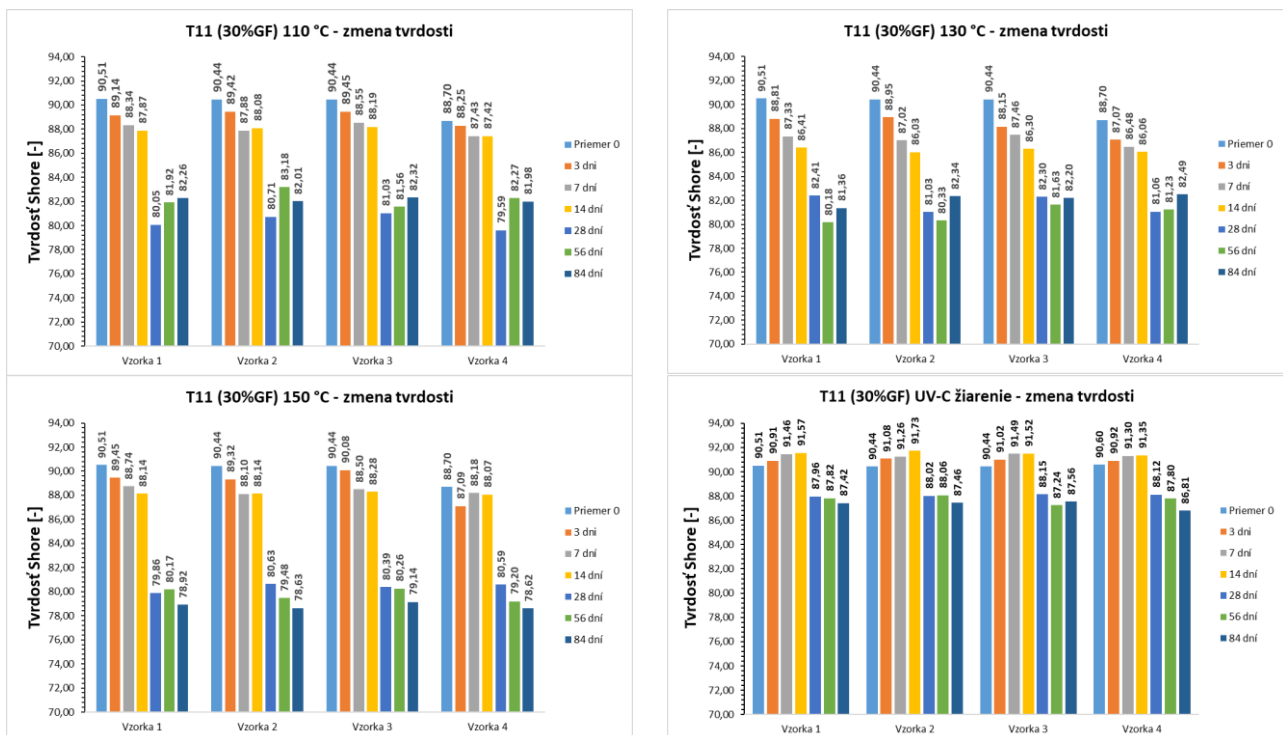
Najvýznamnejšie sa pri teplote 150 °C na zmene farby opäť podieľali parametre L* a a*. Hodnota L* sa počas 84 dní znížila zhruba o 48 bodov v rámci stupnice (100-0), čo sa značne prejavilo na farbe vzoriek. Kompozit T11 obsahuje podľa materiálových listov aj tepelné stabilizátory. Na základe priebehov jednotlivých parametrov môžeme pozorovať kontinuálnu zmenu farby v čase. Kedy sa farba vzorky menila z bledej žltá bielej farby cez svetlo hnedú až k tmavo hnedej.

Pri pôsobení UV-C žiarenia môžeme na základe priebehov jednotlivých parametrov pozorovať zmeny zväčša v čase 14 až 28 dní. Môžeme predpokladať, že v tomto časovom horizonte nastávajú zmeny spôsobené degradáciou polymérov v povrchovej vrstve. Kedy sa farba vzorky menila z bledej žltá bielej farby k tmavším odtieňom no následne sa vzorky výraznejšie degradovali. Čo sa v prípade T11 prejavilo miernym zosvetlením farby.

Po spriemerovaní hodnôt L*, a*, b* všetkých vzoriek a pomocou online generátora bolo možné pripraviť nasledovný vzorkovník farieb.



3.2.2 Zmena tvrdosti – Plasty

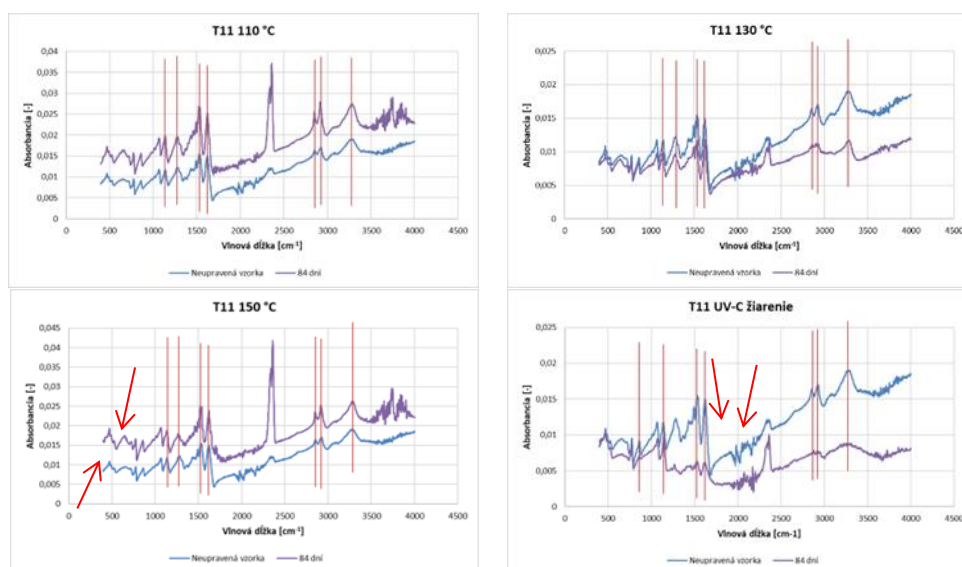


Obrázok 13. Zmena v tvrdosti T11 po vystavení zvýšenej teplote a UV-C žiareníu

Na Obrázku 13. môžeme vidieť zmeny v tvrdosti kompozitu polyftalamidu T11 s obsahom 30% skleneného vlákna. V prípade pôsobenia zvýšenej teploty môžeme v priebehu prvých 14 dní pozorovať kontinuálny pokles v tvrdosti. Následne v 28 dni môžeme pozorovať rapidný prepád v tvrdosti. Vývoj tvrdosti sa v čase 28 až 84 dní mení s narastajúcou teplotou. V prípade pôsobenia UV-C žiarenia môžeme na rozdiel od pôsobenia zvýšenej teploty pozorovať mierny nárast v tvrdosti počas prvých 14 dní. Následne v 28 dni môžeme pozorovať rapidný prepád v tvrdosti. Tento pokles pokračuje v čase. No zmena v tvrdosti už nie je taká významná. Priamym porovnaním hodnôt môžeme vidieť, že zvýšená teplota má výraznejší vplyv na zmenu tvrdosti ako UV-C žiarenie. Vo všeobecnosti môžeme pozorovať zlom v tvrdosti v rozmedzí medzi 14 a 28 dňom.

Pri vysokých teplotách sa môžu zložky hlavného reťazca polyméru štiepiť a vzájomne reagovať (zosieťovanie), čím sa menia vlastnosti polyméru. Tieto reakcie vedú k zmenám molekulovej hmotnosti (a distribúcií molekulovej hmotnosti) polyméru čo môže ovplyvniť jeho vlastnosti tým, že spôsobia zníženie ťažnosti, krehnutie, kriedovanie, zmeny farby, praskanie a všeobecné zníženie väčšiny ostatných požadovaných fyzikálnych vlastností. Dôležitú úlohu v tomto procese taktiež zohrávajú rôzne prímеси, stabilizátory, farbivá, retardéry horenia i. Tieto prísady môžu ovplyvniť proces štiepenia a následného sieťovania do nových reťazcov.

3.2.3 Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou (FT-IR) – Plasty



Obrázok 14. Porovnanie FT-IR T1 po vystavení zvýšenej teplote a UV-C žiareniu

Vzorky polymérov, ktoré boli v rámci experimentálnej časti použité patria do spoločnej skupiny polyamidov. V rámci tejto spoločnej skupiny zdieľajú polyméry niektoré spoločné píky. Píky pri vyskytujúce sa pri vlnovej dĺžke 2850 a 2919 cm^{-1} zodpovedajú vibráciám, ktoré sú spojené s reťazcami CH_2 . Píky pri 3293 a 1628 cm^{-1} sú spojené s prítomnosťou amidových skupín. Píky pri 1537, 1495 a 3075 cm^{-1} sú spojené s výskytom benzénových jadier. Testované polyftalamidy obsahujú aj rôzne aditíva, stabilizátory, retardéry, pigmenty a i. Tieto prímеси samozrejme spadajú pod výrobné tajomstvo, a nie sú obsiahnuté v materiálových listoch.

Polyftalamidy T11 je odolnejší voči vystaveniu zvýšenej teplote, čo potvrdzujú minimálne zmeny v absorbanciach aj pri najvyššej teplote. UV-C žiarenie malo na povrchovú vrstvu plastu enormný degradačný vplyv. V celom spektre môžeme pozorovať absenciu píkov, zmeny v tvare píkov a formovanie úplne nových píkov.

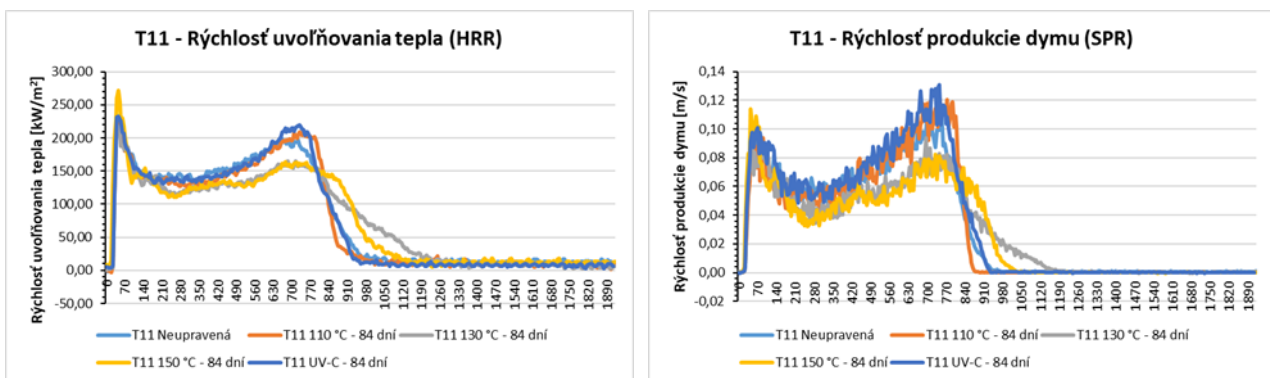
3.2.4 Požiarno-technické parametre – Plasty

Tabuľka 3. Vybrané požiarno-technické parametre plastu T11

Píky	T11				
	Neupravený	110 °C 84 dní	130 °C 84 dní	150 °C 84 dní	UV-C 84 dní
Max HRR (kW/m^2)	228,57	221,88	217,46	272,02	232,33
Čas do MAX HRR (s)	45	50	40	45	45
Čas do Iniciácie (s)	25,00	25,00	26,00	20,00	27,00
Výsledky meraní					
	medzi 25-1825 s	medzi 25-1825 s	medzi 26-1826 s	medzi 20-1820 s	medzi 27-1827 s
Priem. HRR (kW/m^2)	83,06	79,80	80,08	80,35	80,47
Celkové uvoľnené teplo (MJ/m^2)	149,50	143,64	144,43	144,62	145,08
Celkový uvoľnený dym (m^2/m^2)	6980,41	6953,80	6328,04	6048,27	7611,60
Celková produkcia dymu (m^2)	61,71	61,47	55,94	53,47	67,29
MARHE (kW/m^2)	157,55	154,52	136,59	158,84	158,60

Testované vzorky plastov merané na kónickom kalorimetri boli vo forme granulátu. Kompozit T11 dosahuje (v rámci odchýlok) takmer identické časy do iniciácie. Výraznejšie skrátenie času do iniciácie nastáva pri dlhodobom vystavení teplote 150 °C. Rovnako môžeme pozorovať aj výraznejší nárast v maximálnej rýchlosti uvoľňovania tepla (Max HRR). Kompozit T11 obsahuje podľa materiálových listov aj retardéry horenia (nie sú bližšie špecifikované). Môžeme sa domnievať, že pri danej kombinácii teploty a času expozície došlo k degradácii časti retardérov. Alebo došlo k ich reakcií s ďalšími aditívami.

Kompozit T11 ma odlišný priebeh HRR ako plast EcoPaXX. Čo môže súvisieť s odlišným správaním materiálov. V priebehu HRR môžeme pozorovať dva vrcholy. Podobne ako tomu bolo v prípade dreva. Avšak v tomto prípade sa nevytvárala žiadna zuhoľnatená vrstva. Izolačnú vrstvu postupne vytváralo sklené vlákno, ktoré zostalo po odhorení polyméru. Zároveň je ale viditeľný výraznejší vplyv teploty 130 a 150 °C na priebeh HRR.



Obrázok 15. Porovnanie vybraných požiaro-technických parametrov T11 po vystavení zvýšenej teplote a UV-C žiareniu

PRÍNOSY PRE VEDU, PEDAGOGIKU A PRAX

V technickej praxi sa modifikácia polymérov realizuje buď ako zámerná (napr. výroba termodreva) alebo ako nežiadúci dôsledok (napr. pri sterilizácií UV žiarením). V práci bol skúmaný vplyv tejto modifikácie na zmenu kľúčových parametrov pre ktoré môžu mať zásadný vplyv na bezpečnosť. Jedná sa hlavne o vybrané mechanické a požiarne charakteristiky. Tieto charakteristiky môžu byť ďalej doplnené o fyzikálne, chemické a optické vlastnosti materiálov.

Kvantifikáciou zmeny farby bude v budúcnosti možné predikovať zmenu ostatných charakteristík (Nie v každom prípade sú známe podmienky úpravy, napr. akou teplotou bolo drevo exponované, no vytvorením závislosť zmeny farby od teploty a času pôsobenia, je možné túto teplotu odhadnúť). Tento spätný odhad teda možno použiť napr. pri kontrole teplotného programu úpravy dreva deklarovanej výrobcom a pri zisťovaní príčin požiarov.

Zistené údaje môžu taktiež viesť k tvorbe databáz, štandardov alebo katalógov pre jednotlivé materiály. Na základe ktorých bude možné na základe farby vybrať vhodné parametre úpravy materiálu s ohľadom na zmenu v ďalších parametroch materiálu. Zároveň by takéto databázy vytvorili priestor na objavenie limitov u sledovaných vlastností. To môže viesť k úpravám už existujúcich modifikačných procesov alebo tvorbe nových. Vhodným príkladom je nami vykonávaná úprava plastov UV-C žiarením. Kde sa nám podarilo určiť hranicu medzi vylepšovaním vlastností (nárast tvrdosti) a degradáciou materiálu (pokles tvrdosti). V prípade plastov boli vykonané aj skúšky ťahom. Čiastočné výsledky ale neboli použité v tejto dizertačnej práci. Aj napriek tomu z dostupných dát boli viditeľné zmeny v priebehoch ťahových diagramov. V praxi môže teda využitie ultrafialového žiarenia predstavovať finančne nenáročný spôsob zlepšenia mechanických vlastností. Čo potvrdzuje aj záujem o výsledky tejto dizertačnej práce prejavovaný spoločnosťou Boge Elastmetall Slovakia, a.s.

V neposlednom rade za prínos pre vedu a pedagogiku považujem zhotovenie komory na expozíciu UV-C žiarením. Komora rozšírila technické vybavenie fakulty a ústavu Integrovanej bezpečnosti. Tento prínos potvrdzuje aj niekoľko vedeckých publikácií a záverečných prác na ktoré bola komora využitá. Do budúca by bolo možné komoru využiť aj v rámci interdisciplinárnych výskumov. Nakoľko sa germicídne UV-C žiarenie využité v komore vo veľkej miere využívalo aj počas pandémie SARS-CoV-2 na inaktiváciu vírusu. Zároveň výsledky prezentované v tejto práci môžu slúžiť ako podklad, k hlbšiemu preskúmaniu princípov samotnej modifikácie polymérov a taktiež ich je možné aplikovať v ďalšom výskume, kde môžu slúžiť ako prechod k ďalším témam záverečných prác.

ZÁVER

V literatúre sa môžeme stretnúť s pojmom modifikácia, pričom tento pojem zväčša reprezentuje zmeny v materiály vykonané pridaním rôznych aditív, impregnáciu a i. Pre modifikáciu v súvislosti s využitím fyzikálnych faktorov, v našom prípade zvýšená teplota a ultrafialové žiarenie, je vhodnejšie použiť slovné spojenie riadená degradácia. Zvýšená teplota má za následok tepelnú degradáciu polymérov. V prípade organických polymérov (drevo) sa prejavuje degradáciou makromolekulových zložiek v bunkových stenách, zníženiu obsahu extraktívnych látok, oxidácií. U syntetických polymérov dochádza primárne k štiepeniu reťazcov a oxidácií. Pôsobenie ultrafialového žiarenia na polyméry ma za následok spustenie procesu fotodegradácie. Pri fotodegradácií je ovplyvnená iba povrchová vrstva materiálu, na rozdiel od tepelnej degradácie, ktorá pôsobí v celom priereze.

Ako môžeme pozorovať problematika modifikácie je v celku komplikovaná a komplexná. Hlavným cieľom práce bolo preskúmať vplyv modifikácie na farbu a požiaro-technické vlastnosti polymérov. No preskúmanie vplyvu iba na vybrané vlastnosti neposkytuje dostatočnú výpovednú hodnotu o celkom vplyve modifikácie na polymér. Vhodným príkladom by bol polyamid EcoPaXX, ktorého vystavenie ultrafialovému žiareniu spôsobilo v praxi nežiadúcu zmenu zafarbenia (zožltnutie), na druhú stranu sa to ale prejavilo zlepšením mechanických vlastností. Ďalším príkladom môže byť, že vystavenie dreva tepelnej úprave spôsobí žiadanú zmenu farby,lepší farebnú stálosť, zvýši odolnosť voči biologickým vplyvom no zhorší mechanické a požiaro-technické vlastnosti ako je napr. čas do iniciácie.

Takáto komplexná evaluácia vplyvu modifikácie na materiály umožní lepšie nastavenie doterajších procesov, prípadne tvorbu nových. Ktoré môžu do budúcnosti priniesť ešte odolnejšie, esteticky stálejšie, a bezpečnejšie materiály.

Stručné zhrnutie zistení z experimentálnej časti

- Tepelná modifikácia sa na organických aj syntetických polyméroch prejavila primárne poklesom svetlosti vzorky a sfarbením do odtieňov hnedá až čierna. Svetlosť vzorky klesala so stúpajúcim časom expozície. Vplyv ultrafialového žiarenia sa prejavil primárne zožltnutím vzoriek.
- Vplyv tepelnej modifikácie na tvrdosť organických polymérov (drevo) bol preukázateľne pozorovateľný pri teplote 130 °C. Vplyv ultrafialového žiarenia sa neprejavil, nakoľko ovplyvnená vrstva dosahovala niekoľko μm. U syntetických polymérov môžeme pozorovať rôzne prebiehajúce procesy v materiály. U polyamidu môžeme pozorovať pokles v tvrdosti až v 28 dni expozície a následný nárast v tvrdosti. Tento nárast sa so zvyšujúcou teplotou znižuje. Ultrafialové žiarenie spôsobuje nárast v tvrdosti už v najkratšom intervale, v 28 dni nastáva prepád a tvrdosť naďalej klesá. Polyftalamidy počas pôsobenia zvýšenej teploty zvyšovali svoju tvrdosť až do prepádu v 28 dni. Ultrafialové žiarenie malo aj napriek vysokej počiatkovej tvrdosti vzoriek pozitívny vplyv na tvrdosť až do 28 dňa, kedy sa tvrdosť razantne prepáda.

- Pomocou FT-IR sme analyzovali povrchové vrstvy polymérov po vystavení zvýšenej teplote a ultrafialovému žiareniu. U organických polymérov môžeme pozorovať zmeny v charakteristických skupinách v ligníne, celulóze a hemicelulóze. Tieto zmeny sú narastajúcou teplotou výraznejšie. Podobný priebeh môžeme pozorovať aj u syntetických polymérov. Ultrafialové žiarenie malo najvýraznejší vplyv na zmenu chemického zloženia organických a syntetických polymérov.
- U požiarno-technických vlastnosti môžeme pozorovať vplyvy na dobu iniciácie, max HRR, a celkový priebeh HRR. Tepelná úprava mala výrazný vplyv na organické polyméry (drevo) vo všetkých sledovaných parametroch. Tento vplyv narastal spoločne s narastajúcou teplotou úpravy. Syntetické polyméry boli voči značne odolnejšie, nakoľko väčšina z nich obsahovala bližšie nešpecifikované tepelné stabilizátory a retardéry.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

Al-Malaika, S., Sheena, H.H., (2005). *Antioxidants*. Goodman, R.M., Steed, J.W. (Eds.), Encyclopedia of Chemical Processing. Marcel Dekker, New York, s. 81-100.

Balog K., Kačíková D., Martinka J. *Zisťovanie príčin vzniku požiarov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2015, ISBN 978-80-228-2831-4

Bockhorn, H., Hornung, A., Hornung, U., Schawaller, D., (1999): *Kinetic study on the thermal degradation of polypropylene and polyethylene*

De Wit, C.A., (2002). *An overview of brominated flame retardants in the environment*. *Chemosphere* 46 (5), s. 583-624.

Esteves, B., Marques, A.V., Domingos, I., Pereira, H. 2013. *Chemical changes of heat treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR*. *Maderas-Cienc Tecnol* 15 (2): s. 245-258.

Fengel, D. and Wegener, G. (1989). *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter De Gruyter, Berlin, Germany.

Figge, K., (1990). *Polyvinyl chloride and its organotin stabilizers with special reference to packaging materials and commodities: a review*. *Packag. Technol. Sci.* 3, s. 27-39.

Gatcher, R., Muller, H., (1990) . *Plastics Additives Handbook*. Hanser, Munich.

Grand, A.F., Wilkie, C.A. (Eds.), (2000). *Fire Retardancy of Polymeric Materials*. Marcel Dekker Inc., New York.

Heller, H.J., (1969) . *Protection of polymers against light irradiation*. *Eur. Polym. J.* s. 105-132.

Hill CAS (2006). *Wood modification - chemical, thermal and other processes*. Wiley Series in Renewable Resources, Wiley and Sons, Chichester, UK, s. 260.

Horn, W.E., Clever, T.R., (1996). *Mineral hydroxides— their manufacture and use as flame retardants*. *Flame Retardants_101: Basic Dynamics, Proceedings of the 1996 Spring*

Innes, J., Innes, A., (2003). *Plastic Flame Retardants: Technology and Current Developments*. Rapra Technology Ltd, Shropshire.

Kocaefe, D., Poncsak, S., Boluk, Y. 2008. *Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen*. *BioResources* 3 (2): s. 517-537.

Levchik, S.V., Weil, E.D., (2006). *A review of recent progress in phosphorus-based flame retardants*. *J. Fire Sci.* 24, s. 345-364.

MacLean, J.D. (1951). *Rate of disintegration of wood under different heating conditions*. *Proceedings of the American Wood Preservers Association*, 47, s. 155–169.

Mesch, K.A., (1994). *Heat stabilizers*. fourth ed. Howe-Grant, M. (Ed.), *Encyclopedia of Chemical Technology*, vol. 10. John Wiley & Sons, Toronto, s. 1071-1091.

Militz, H. (2002). *“Heat treatment of wood: European processes and their background,”* International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes, N° IRG/WP 02-40241.

Missio, A.L., Mattos, B.D., de Cademartori, P.H., Pertuzzatti, A., Conte, B., Gatto, D.A. 2015. *Thermochemical and physical properties of two fast-growing eucalypt woods subjected to two-step freeze–heat treatments*. *Thermochimica Acta* 615: s. 15-22.

- Morgan, A.B., Gilman, J.W., (2013). *An overview of flame retardancy of polymeric materials: application, technology, and future directions*. Fire Mater. 37, s. 259-279
- Müller, G., Schopper, C., Vos, H., Kharazipour, A., Polle, A. 2009. *FTIR-ATR spectroscopic analyses of changes in wood properties during particle-and fibreboard production of hard-and softwood trees*. Bioresources 4 (1): s. 49-71.
- Murphy, J., 1999. *Heat Stabilizers*. Plast. Addi. Comp. 1, s. 24-29.
- Navi P, Sandberg D (2012). *Thermo hydro mechanical processing of wood*. EPFL Press, Lausanne, Switzerland, s. 376.
- Pritchard, G. (Ed.), (1998). *Plastics Additives: An A-Z Reference*. Chapman & Hall, London
- Rabek JF (1995). *Polymer photodegradation-mechanisms and experimental methods*. Cambridge: Chapman Hall;
- Rabek, J.F., (1990). *Photostabilization of Polymers, Principles and Applications*. Elsevier, London
- Sandberg D, Kutnar A (2016). *Thermal modified timber: recent developments in Europe and North America*. Wood and Fiber Science 48 (1): s. 28-39.
- Sandberg D, Kutnar A, Mantanis G (2017). *Wood modification technologies – a review*. iForest 10, s. 895-908.
- Stamm, A.J. (1959c). *Dimensional stabilisation of wood by thermal reactions and formaldehyde cross-linking*. Tappi, 42(1), s. 39–44.
- Tjeerdsma, B.F., Militz, H. 2005. *Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood*. European Journal of Wood and Wood Products 63 (2): s. 102-111.
- Wiles, D.M., Carlsson, D.J., (1980). *Photostabilisation mechanisms in polymers: a review*. Polym. Degrad. Stab. 3, s. 61-72.
- Yousif, E., (2012). *Photostabilization of Thermoplastic Polymers*. Lambert Academic Publishing, Germany
- Yousif, E., Haddad, R., (2013). *Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: a review*. SpringerPlus 2 (1), s. 398-430.
- Zaman, A., Alén, R. and Kotilainen, R. (2000) *Thermal behaviour of Scots pine (Pinus sylvestris) and silver birch (Betula pubescens) at 200–230 deg C*. Wood and Fiber Science, 32(2), s. 138–143.
- Zweifel, H., (1998). *Stabilization of Polymeric Materials*. Springer, Berlin

PUBLIKAČNÁ ČINNOSŤ

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

ADF01 BLINOVÁ, Lenka - **GODOVČIN, Peter**. Importance of recycling the waste-cables containing copper and PVC. In *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*. Vol. 29, no. 48 (2021), s. 1-21. ISSN 1336-1589. V databáze: INSPEC.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie od 2022: V3

ADF02 **PASTIEROVÁ, Alica** - **GODOVČIN, Peter**. Degradation of electrical wire sheaths by UV radiation. In *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*. Vol. 29, no. 48 (2021), s. 98-104. ISSN 1336-1589. V databáze: INSPEC.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie od 2022: V3

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 **GODOVČIN, Peter** - NEČAS, Aleš - KUCMANOVÁ, Alexandra. Vplyv aditív na rýchlosť odhorievania a dymivosť sviečok. In ŠTEFKO, Tomáš. *Advances in Fire and Safety Engineering 2020 : Recenzovaný zborník pôvodných vedeckých prác z IX. ročníka medzinárodnej vedeckej konferencie, Trnava, 22.10.2020*. 1. vyd. Trnava : AlumniPress, 2020, S. 33-39. ISBN 978-80-8096-272-2.
Kategória publikácie od 2022: V2

AFD02 **GODOVČIN, Peter** - **PASTIEROVÁ, Alica**. Influence of germicidal UV radiation on polymers and composites. In *International Doctoral Seminar 2022 : 27. - 28. 04. 2022, Smolenice, SR*. 1. vyd. Trnava : AlumniPress, 2022, S. 73-79. ISBN 978-80-8096-292-0.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie od 2022: V2

AFD03 MARTINKA, Jozef - RANTUCH, Peter - **GODOVČIN, Peter**. Prehľad možností modelovania požiarov v požiarnom inžinierstve. In *Advances in Fire & Safety Engineering 2022 : zborník príspevkov z 11. medzinárodnej vedeckej konferencie "Advances in Fire & Safety Engineering 2022" a 5. odbornej konferencie "Ochrana pred požiarimi a záchranné služby", 22. - 23. november 2022, Žilina, SR*. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2022, S. 155-162. ISBN 978-80-554-1932-9.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie od 2022: V2

AFD04 SIROTIK, Maroš - **GODOVČIN, Peter** - KRAJČOVIČOVÁ, Mária. Porovnanie účinnosti vybraných textilných sorbentov a fibroílovej striže pre viazanie ropných látok. In *Manažérstvo životného prostredia : Recenzovaný zborník z XXI. medzinárodnej vedeckej konferencie, 15.06.2021, Bratislava = Management of Environment*. 1. vyd. Bratislava : Slovak Society of Environment, 2021, S. 221-230. ISBN 978-80-973844-1-8.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie od 2022: V2

ADN Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

ADN01 **GODOVČIN, Peter** - MARTINKA, Jozef - RANTUCH, Peter - HLADOVÁ, Martina - KOPÚNEK, Juraj - OTAJOVIČOVÁ, Mária - BEDNÁRIKOVÁ, Mária Zuzana. Impact of temperature and ultraviolet radiation on changes of colour of fir and spruce wood. In *Wood Research*. Vol. 67, iss. 6 (2022), s. 894-907. ISSN 1336-4561 (2021: 1.254 - IF, Q3 - JCR Best Q, 0.413 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.37763/wr.1336-4561/67.6.894907 ; SCOPUS: 2-s2.0-85147905354.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie od 2022: V3

SÚHRN

GODOVČIN, Peter: *Modifikácia polymérov vybranými fyzikálnymi faktormi a jej vplyv na zmenu farby a požiarno-technické vlastnosti*. [Dizertačná práca] – Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav integrovanej bezpečnosti – Školiteľ: prof. Ing. Jozef Martinka, PhD. – Trnava: MTF STU, 2023, 141 s.

Cieľom tejto dizertačnej práce preskúmať a stanoviť vplyv vybraných fyzikálnych faktorov, najmä teploty a elektromagnetického žiarenia v ultrafialovej oblasti, na prírodné a syntetických polyméry a ich kľúčové vlastností. Medzi sledované vlastnosti patrí najmä zmena farby, tvrdosti, požiarno-technických vlastností a zmena chemického zloženia. Výskumu budú podrobené technicky najvýznamnejšie organické polyméry, najmä smrekové, jedľové a bukové drevo a syntetické polyméry / kompozity využívané prevažne v automobilovom priemysle ako polyamid a polyftalamid. Teoretická časť práce sa zaoberá rozborom organických a syntetických polymérov, najčastejšími spôsobmi ich modifikácie a procesmi fotodegradácie a tepelnej degradácie. Metodická časť práce zahŕňa exaktne definované východiskové a čiastočné ciele práce, charakterizáciu testovacích vzoriek a samotnú metodiku pre jednotlivé experimenty. V tejto časti je podrobne opísaný postup prípravy vzoriek, proces ich modifikácie, parametre jednotlivých procesov, spôsoby prípravy, realizácie, a vyhodnocovania experimentov ako aj návrh a stavba vlastnej komory na degradáciu UV-C žiarením. Záverečnú časť práce tvorí prezentácia získaných výsledkov pri zmene farby, tvrdosti, chemického zloženia na povrchu a požiarno technických-vlastností vybraných druhov organických a syntetických polymérov.

ABSTRACT

GODOVČIN, Peter: *Modification of polymers by selected physical factors and its influence on color change and fire characteristics*, [Dissertation thesis] – Slovak University of Technology Bratislava. Faculty of Materials Science and Technology; Institute of Integrated Safety. Supervisor: prof. Ing. Jozef Martinka, PhD. – Trnava: MTF STU, 2023, 140 p.

The aim of this dissertation is to investigate and determine the influence of selected physical factors, especially temperature and electromagnetic radiation in the ultraviolet region, on natural and synthetic polymers and their key properties. Among the monitored properties are focusing on changes in color, hardness, fire-technical properties, and changes in chemical composition. The most technically important organic polymers, especially spruce, fir and beech wood, and synthetic polymers/composites used in the automotive industry, such as polyamide and polyphthalamide, will be subjected to research. The theoretical part of the work deals with the analysis of organic and synthetic polymers, the most common ways of their modification and the processes of photodegradation and thermal degradation. The methodological part of the work includes exactly defined starting and partial goals of the work, characterization of test samples and the methodology itself for individual experiments. This part describes in detail the sample preparation procedure, the process of their modification, the parameters of individual processes, methods of preparation, implementation, and evaluation of experiments, as well as the design and construction of the own chamber for degradation by UV-C radiation. The final part of the work consists of the presentation of the obtained results in the change of color, hardness, chemical composition on the surface and fire-technical properties of selected types of organic and synthetic polymers.