

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Ing. Jozef Kováč

Autoreferát dizertačnej práce

Fyzikálno-mechanické vlastnosti fóliových povlakových hydroizolačných materiálov aplikovaných
na strechy v kontexte ÚV degradácie

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe: 3659 Teória a konštrukcie pozemných stavieb

v študijnom odbore: 59. Stavebníctvo

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Bratislava 2022

Dizertačná práca bola vypracovaná na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave na katedre konštrukcií pozemných stavieb.

Predkladateľ: **Ing. Jozef Kováč**
Stavebná fakulta STU
Katedra konštrukcií pozemných stavieb
Radlinského 11, 810 05 Bratislava, SK

Školiteľ: **doc. Ing. et Ing. arch. Milan Palko, PhD.**
Stavebná fakulta STU
Katedra konštrukcií pozemných stavieb
Radlinského 11, 810 05 Bratislava, SK

Oponenti: **doc. Dr. Ing. arch. Roman Rabenseifer**
Stavebná fakulta STU
Katedra konštrukcií pozemných stavieb
Radlinského 11, 810 05 Bratislava, SK

prof. Ing. Dušan Katunský, PhD.
Stavebná fakulta TUKE
Oddelenie konštrukcií pozemných stavieb
Vysokoškolská 4, 0422 00 Košice, SK

doc. Ing. Jan Pěňčík, Ph.D.
Stavebná fakulta VUT Brno
Antonínská 548/1, Veveří, 601 90, Brno, CZ

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa ohod.
na Katedre konštrukcií pozemných stavieb Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave,
Radlinského 11, v miestnosti č.

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Dekan fakulty

Abstrakt

Predmetom skúmania v dizertačnej práci je fyzikálno-mechanická analýza povlakových hydroizolačných materiálov zaťažených vonkajším prostredím v čase (teplota, vlhkosť, UV-žiarenie a iné). Fyzikálno-mechanické vlastnosti majú priamy dopad na životnosť hydroizolačných materiálov a ich neskoršie sanácie. V úvodnej časti práce je zhodnotený popis súčasného stavu problematiky, faktory ovplyvňujúce vlastnosti hydroizolačných materiálov, chyby a poruchy strešných plášťov. V ďalšej časti je zhodnotené materiálové riešenie povlakovej krytiny, základné rozdelenie hydroizolačných materiálov a ich všeobecný opis. Na základe všeobecne známych informácií na našom trhu prevláda používanie fólií na báze PVC-P (mPVC) a z toho dôvodu je nevyhnutné sa touto problematikou zaoberať z hľadiska ich životnosti. Hlavnou časťou dizertačnej práce je testovanie materiálov, základné možnosti testovania materiálov, normatívne podmienky testovania a ich kritické aspekty realizácie. V práci sa zaoberám laboratórnym testovaním hydroizolačných fólií na báze PVC-P z hľadiska jej degradácie voči UV žiareniu, vlhkosti a teploty. Ďalej v experimentálnej časti bude prebiehať analýza pevnostných vlastností z hľadiska riešenia konštrukčných detailov stavby, ktoré sú v mnohých prípadoch hlavným faktorom spôsobujúci chyby a poruchy strešných konštrukcií, čo je aj jedným z cieľov dizertačnej práce.

Kľúčové slová

PVC, UV degradácia, vlhkosť, testovanie

Abstract

The subject of the thesis is physical-mechanical analysis of the waterproofing coatings of the external environment over time (temperature, humidity, UV radiation and others). Physical-mechanical properties have a direct impact on the life of the waterproofing materials and their later repairs. In the introduction of the thesis is evaluated the description of the present state of the matter, factors influencing the properties of waterproofing materials, mistakes and defects of the roof coats. In the next part is evaluated the material coating solution, the basic distribution of waterproofing materials and their general description. Based on the well-known information on our market, the use of PVC-P (mPVC) films prevails and it is therefore necessary to address this issue in terms of their lifetime. The main part of the dissertation is material testing, basic testing of materials, normative testing conditions and their critical aspects of realization. In the thesis I deal with laboratory testing of PVC-P based waterproofing films in terms of its degradation against UV radiation, humidity and temperature. In the experimental part, an analysis of strength properties will be carried out in terms of the design of structural details, which are in many cases the main factor causing mistakes and defects of roof structures, which is one of the aims of the dissertation.

Key words

PVC-P, UV degradation, humidity, testing

Obsah

1. Úvod	5
2. Prehľad súčasného stavu problematiky	5
2.1 Strešná konštrukcia, plochá strecha.....	5
2.1.2 Klimatické faktory ovplyvňujúce životnosť strešnej konštrukcie	5
2.2 Materiálové riešenie povlakovej krytiny	7
3. Testovanie materiálov	9
3.1. Prirodzené testovanie	9
3.2 Zrýchlené vonkajšie testovanie	9
3.3 Laboratórne testovanie	9
4. Témy dizertačnej práce.....	11
4.1 Predmet riešenia dizertačnej práce	11
4.2 Ciele dizertačnej práce	11
4.3 Metódy spracovania dizertačnej práce	12
4.4 Metodika dizertačnej práce.....	12
5. Testovanie PVC-P materiálov z hľadiska vplyvu UV žiarenia a vlhkosti.....	12
5.1 Laboratórne vybavenie pre experimentálne meranie	12
5.2 Laboratórne testovanie	15
5.2.1 Získavanie vzoriek.....	15
5.2.2 Príprava experimentálneho merania UV degradácie v QUV prístroji	15
5.2.3 Príprava experimentálneho merania – pevnostná skúška	18
5.2.4. Príprava experimentálneho merania – infračervená spektroskopia – analýza chemických zmien na povrchu materiálu	21
6. Záver	23
Literatúra a normy.....	25
Zoznam publikovaných prác doktoranda	27

1. Úvod

Počas storočí ľudia používali prírodné organické polyméry vo forme vosku a živice. V 19. storočí boli objavené plasty na základe chemicky modifikovaných prírodných polymérov. Označenie plasty je odvodené z gréckeho slova „plassein“ (tvarovať).

Blízky vzťah k plastom má história spracovania kaučuku. V roku 1850 britský chemik Alexander Parkes zistil, že pevný zvyšok získaný odparovaním pri rozpúšťaní kolódia, je elastická vodeodolná substancija. Vynašiel tzv. ebonit, prvý tepelne vodivý materiál s inou chemickou modifikáciou ako prírodný. Ďalší vývoj moderného plastového priemyslu sa presunul do Ameriky. Na začiatku 20. storočia sa rozvoj plastov presunul do automobilového priemyslu. Následný rozmach plastov nastal v období od roku 1930 do roku 1940. V tom čase boli objavené látky, ktoré sa využívajú dodnes – polyvinylchlorid, polyetylén, polystyrén a polymetilmetakrýlát. Po ukončení druhej svetovej vojny začal „vek plastov“ a plastické látky sa začali využívať prakticky vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Široká škála produktov dramaticky znížila ceny a tieto plasty postupne začali vytláčať tradičné prírodné materiály. Aj napriek tomu, že využitie plastov v rôznych priemyselných odvetviach je prínosom z hľadiska energetického (šetrí energetické zdroje a znižujú množstvo exhalátov) a ekonomického (šetrí surovinové zdroje), nemožno zabúdať na fakt, že aj polymérne materiály degradujú. Mnohé z nich pri degradačných procesoch uvoľňujú nízkomolekulové zlúčeniny, ktoré môžu škodiť zdraviu, ohrozovať životné prostredie alebo dokonca môžu byť i toxické. Je preto dôležité poznať vlastnosti plastov v rôznych degradačných prostrediach, či dochádza k ich podstatnej zmene a tým zabrániť hromadeniu plastového odpadu a šetriť životné prostredie.

Jeden z najväčších rozvojov plastov nastal v stavebnom priemysle. Polymérne výrobky sa v stavebníctve vo veľkom rozmachu používajú k výrobe okenných profilov, tepelnej, hlukovej izolácii, ale najviac k výrobe hydroizolácii. Keďže plasty v stavebníctve nepatria k spotrebnému materiálu, musia vykazovať dlhú životnosť a zachovanie ich vlastností. V odvetví hydroizolácii sa polyméry objavujú vo forme fólií a sú súčasťou ďalších tmelov a náterov.

2. Prehľad súčasného stavu problematiky

2.1 Strešná konštrukcia, plochá strecha

Strecha, strešná konštrukcia je stavebná konštrukcia nad chráneným (vnútorným) prostredím, vystavená priamemu pôsobeniu atmosférických vplyvov, podieľajúca sa na zabezpečení vyžadovaného stavu prostredia v objekte sa skladá z nosnej konštrukcie, jedného alebo niekoľkých strešných plášťov oddelených vzduchovými vrstvami a z doplnkových konštrukcií a prvkov.

Základná funkcia strešnej konštrukcie: strecha je konštrukcia nad posledným podlažím objektu a skladá sa z nosnej strešnej konštrukcie, ktorá prenáša zaťaženie od strešného plášťa, ktorý chráni objekt od vonkajších vplyvov a zabezpečuje vyžadovaný stav vnútorného prostredia. Plochá strecha je strecha so sklonom krytiny do 10°.

2.1.2 Klimatické faktory ovplyvňujúce životnosť strešnej konštrukcie

Územie Slovenskej republiky patrí do mierneho klimatického pásma a ovplyvňuje ho polárna aj tropická klíma. Ani jeden z týchto vplyvov v našom prostredí neprevláda, takže naše klimatické pomery sú výslednicou striedajúcich sa vonkajších vplyvov.

Strešné materiály, ktoré sú dlhodobo vystavené vonkajšiemu prostrediu najmä slnečnému žiareniu, teplotným zmenám, dažďu, vetru, snehu a znečisteniu atmosféry dochádza k degradácii a stratám fyzikálnych a mechanických vlastností. Dokonca aj najodolnejšie materiály sa modifikujú ukladaním okolitého prachu a trosiek, čo môže poskytnúť príležitosť na kolonizáciu biologickými organizmami, ako sú napr. huby, riasy a pod.

Slnečné žiarenie

Slnko je rovnomerne pracujúci jadrový reaktor. Prebieha v ňom termonukleárna syntéza hélia z vodíka a uvoľňuje sa energia. Slnko vyžaruje energiu so spektrálnym zložením ako absolútne čierne teleso s povrchovou teplotou 6000 K. Na našu Zem dopadne len nepatrná časť (jedna dvoj miliardtina), ktorú Slnko rovnomerne rozdeľuje po celej planéte (Bielek, 2014).

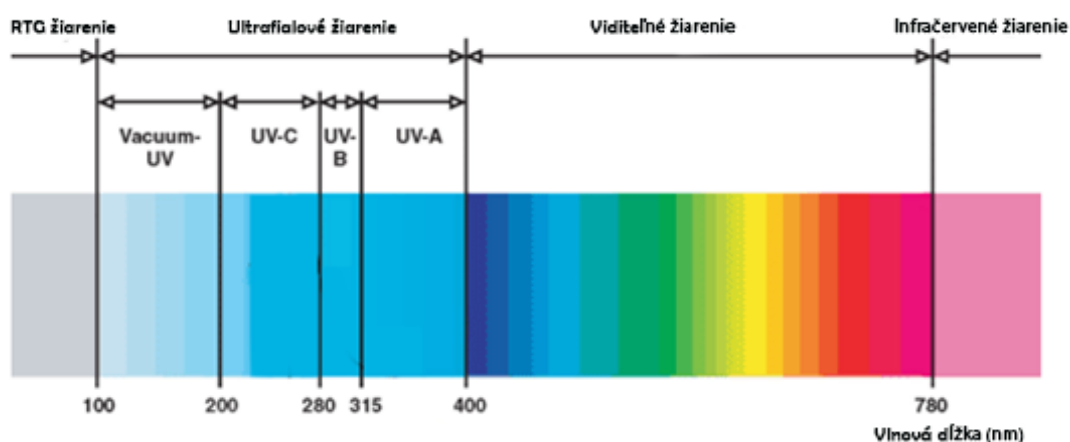
Slnečné žiarenie je možné rozdeliť na dve časti a to na priame slnečné žiarenie a rozptýlené slnečné žiarenie (difúzne). Slnečné spektrum sa obvykle delí na tri hlavné časti a podľa toho rozlišujeme: ultrafialové žiarenie, viditeľné slnečné žiarenie, infračervené slnečné žiarenie.

Infračervené slnečné žiarenie - je to elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou väčšou ako viditeľné svetlo a kratšou ako mikrovlnné žiarenie. Infračervené žiarenie má vlnovú dĺžku medzi 780 nm a 1 mm.

Viditeľné slnečné žiarenie (viditeľné svetlo) - je to elektromagnetické žiarenie, ktoré je vďaka svojej vlnovej dĺžke viditeľné ľudským okom, čiže žiarenie s vlnovou dĺžkou od 400 nm do 780 nm.

Ultrafialové žiarenie - je elektromagnetické žiarenie o vlnovej dĺžke od 10 nm do 380 nm, kratšie ako viditeľné svetlo, ale dlhšie ako mäkké röntgenové žiarenie. Ultrafialové žiarenie sa ďalej delí na:

- dlhovlnné UV-A žiarenie (315-400 nm)
- strednovlnné UV-B žiarenie (280-315 nm)
- krátkovlnné UV-C žiarenie (100-280 nm)
- vákuové žiarenie (10-100 nm)



Obr. 1 Spektrum slnečného žiarenia

Následkom absorpcie svetelnej energie dochádza v polyméroch k odbúravaní chemických látok a degradácii v dôsledku rôznych typov fotochemických reakcií. Na polyméry má najväčší dopad slnečné

žiarenie s vlnovou dĺžkou od 290 – 400 nm, ktoré tvorí asi 5% z celkového slnečného žiarenia dopadajúceho na povrch Zeme. Rozsah slnečného žiarenia závisí na znečistenosti atmosféry, nadmorskej výške a ročnom či dennom období (Mleziva, 2000)

Teplota a jej zmeny

Rast teploty vplyvom slnečného žiarenia môže priamo viesť k degradácii materiálov. Zvýšená teplota môže urýchliť škodlivé chemické reakcie, spôsobiť stratu prchavých zložiek a zmäkčiť niektoré polyméry. Zmeny teploty môžu byť postupné alebo náhle (dažď počas horúceho dňa), spôsobujú namáhanie v dôsledku diferenčnej teplotnej rozťažnosti (Berdahl, 2006). Taktiež kolísanie teplôt prispieva k degradácii, vyvoláva rozmerové zmeny, ktoré môžu byť príčinou vzniku vnútorného pnutia a následne vzniku trhlín. Týmto typom porušenia dochádza k difúzii kyslíku a ozónu do polyméru čo vedie k urýchleniu degradácie. Pri vyšších teplotách dochádza k migrácii prísad, predovšetkým zmäkčovadiel, stabilizátorov a ďalších. Následkom toho je neprimerané stvrdnutie polymérov a strata mechanických vlastností (Mleziva, 2000).

Vlhkosť

Faktory spôsobujúce vlhkosť na povrchu resp. v konštrukciách sú napr. dažď, krupobitie, sneh, mráz a rosa. V prípade porušenia povrchu vonkajším vplyvom (napr. UV žiarením) má v tomto prípade vlhkosť negatívne účinky na hydroizolačnú vrstvu a dopomáha k degradácii polymérov. Jej účinok spočíva vo vymývaní katalyzátorov, antioxidantov a svetelných stabilizátorov. Pokiaľ voda vnikne do polyméru môže spôsobiť napučanie alebo pôsobiť ako zmäkčovadlo. K vode sú najnáchylnejšie polyméry, ktoré obsahujú hydrolyzovateľné skupiny vzniknuté oxidáciou. Ak sú tieto skupiny v hlavnom reťazci dochádza k významnému zníženiu molekulovej hmotnosti a strate pevnosti (Mleziva, 2000).

Extrémny ľadový dažď – krupobitie spôsobuje mechanické poškodenie strechy. Cykly zmrazovania a rozmrazovania sú ďalším dôležitým faktorom následkom ktorých dochádza k rozťažnosti vody, čo vedie k zväčšovaniu trhlín v povlakových materiáloch. Nežiaduca je kombinácia rosy a mrazu. Teplota strechy pri jasnej noci klesá pod teplotu okolitého vzduchu na základe vyžarovaneého chladiaceho efektu, ak je relatívna vlhkosť vysoká, vytvára sa rosa alebo mráz. Vodné pary sú absorbované niektorými stavebnými materiálmi. Zmeny vlhkosti vedú k zmenám v rovnovážnom obsahu vody. S vlhkosťou súvisí aj prítomnosť množstva nežiaducich mikroorganizmov (riasy, huby, plesne).

Atmosférické plyny a znečisťujúce látky

Dusík tvoriaci väčšinu atmosféry (78% objemu) nie je veľmi chemicky reaktívny, avšak reakcia s kyslíkom (21%) a vodnou parou (0,3-3%) môže spôsobiť tvorbu rôznych oxidov a hydroxidov. Napríklad produkty korózie železa zahŕňajú FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ a FeOOH. Niektoré ďalšie dôležité atmosférické zložky zahŕňajú oxidy uhlíka, síry, a dusíka – napríklad CO₂, SO₂ a NO₂, vytvorené spaľovaním. Keď sa tieto plyny rozpustia vo vode, vytvárajú sa kyseliny. Tieto kyseliny môžu podporovať korozívne chemické reakcie. Ďalšou znečisťujúcou látkou sú sadze, ktoré sú silným absorbérom slnečného žiarenia. Prítomnosť sadzí na streche spôsobuje zmenu farby povrchovej vrstvy (tmavne) a tým vedie k nežiadúcemu zvýšeniu teploty povlakovej krytiny (Berdahl, 2006).

2.2 Materiálové riešenie povlakovej krytiny

Najdôležitejšou vlastnosťou plochej strechy je jej vodotesnosť, ktorú zabezpečuje hydroizolačná vrstva – povlaková krytina. Na našom trhu existuje veľké množstvo rôznych druhov materiálov s rôznymi fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Povlaková krytina je časť stavby, ktorá je najviac namáhaná

klimatickými vplyvmi a musí svojimi vlastnosťami týmto vplyvom dlhodobo odolávať. Z tohto dôvodu vývoj povlakových krytín neustále napreduje.

Povlakové krytiny môžeme rozdeliť nasledovne:

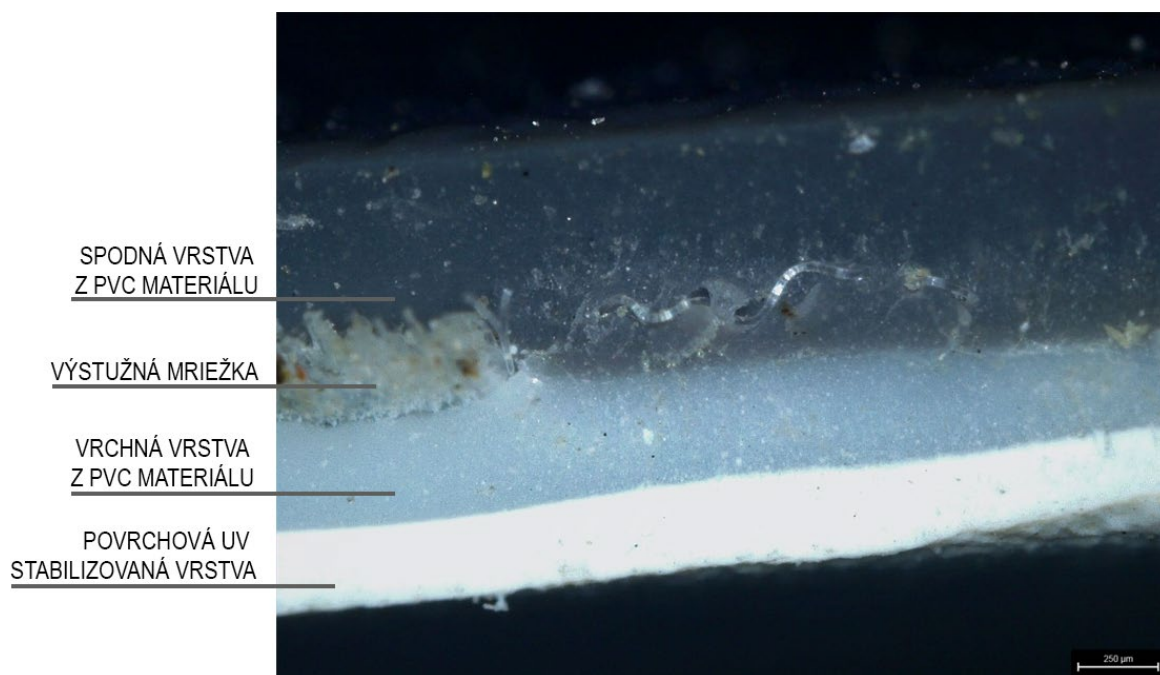
- Hydroizolačné pásy
 - asfaltové pásy (oxidované, modifikované)
 - hydroizolačné fólie (termoplastické fólie s nízkym obsahom asfaltov, termoplastické fólie, termoplastické elastoméry, elastomerické fólie).
- Hydroizolačné stierky (asfaltované, akrylátové, polyuretánové, polyesterové).

Na základe všeobecne známych informácií na našom trhu prevláda používanie fólií na báze PVC-P (mPVC) a z toho dôvodu je sme sa zaoberali týmto typom hydroizolácie.

PVC-P

Polyvinylchlorid je jedným z najdôležitejších termoplastov. Má množstvo výhodných vlastností a relatívne nízku cenu. Žiadny polymér nemá tak široké možnosti použitia. Jeho podiel na celkovej výrobe plastov sa v jednotlivých technicky vyspelých štátoch pohybuje od 13 do 22%. Svetová produkcia PVC je v súčasnosti 43,6 miliónov ton za rok a neustále rastie. Z pôvodnej produkcie 24,7 miliónov ton v roku 2000 sa v roku 2020 očakáva nárast produkcie na 55,2 miliónov ton (Research and Markets, 2011).

PVC má široké spektrum využitia. Výrobky z PVC môžu byť tuhé (ohybné), farebné (priehľadné), izolanty (vodiče). PVC sa často používa v stavebníctve, kde nahrádza tradičné stavebné materiály ako drevo, betón, hlinu. PVC má totiž prakticky ideálne stavebné vlastnosti. Je to ľahko opracovateľný (pri veľmi vysokých aj nízkych teplotách (50 °C až -20 °C)) a pritom odolný materiál, ktorý sa používa pri výrobe odpadového potrubia, okenných a dverných rámov. Mäččené PVC sa používa pri výrobe polotuhých až elastických výrobkov, ako sú strešné fólie, podlahové krytiny. Praxou overená životnosť sa uvádza minimálne na 25 rokov (Lederer, 2015).



Obr. 2 Snímka z mikroskopu Leica DVM 6. Vzorka – PVC-P s výstužnou vložkou

3. Testovanie materiálov

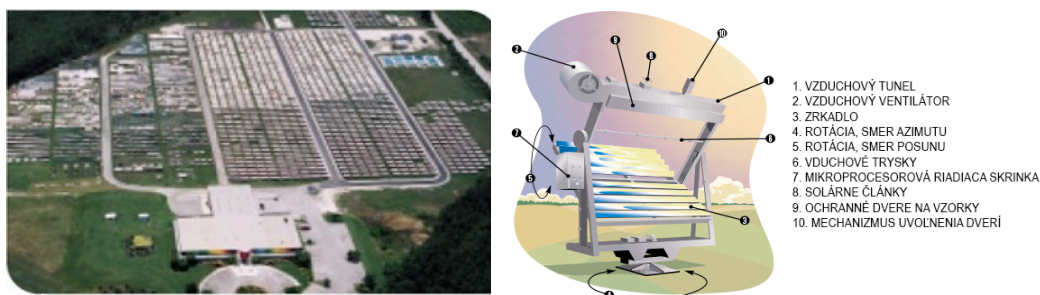
Analýza základných fyzikálnych charakteristík v spojitosti s okolitou teplotou a UV degradáciou. UV degradácia je jedným z najdôležitejších faktorov, ktoré ovplyvňujú mechanické vlastnosti materiálov ako napríklad zníženie pevnosti v ťahu, odolnosť proti nárazu, krehkosť a vznik ťahových trhlín.

3.1. Prirodzené testovanie

Existuje celá rada expozičných miest po celom svete, z ktorých každá má odlišné podnebie, ktoré je možné použiť na predpovedanie vonkajšej životnosti materiálov. Vybraná lokalita by mala byť tá, ktorá je najreprezentatívnejšia pre všeobecné záujmové prostredie, avšak je zvyčajnejšie vybrať miesta extrémneho podnebia a porovnať výslednú degradáciu s degradáciou, ku ktorej dochádza v prostredí realizácie. Týmto spôsobom sa dosiahne "prirodzená" expozícia, aj keď hladiny UV, teploty a vlhkosti sa môžu značne líšiť od úrovní, ktoré by boli splnené v prevádzke. Medzi najznámejšie lokality napr. Miami na Floride, Arizona, Hook of Holland.

3.2 Zrýchlené vonkajšie testovanie

Poveternostné podmienky materiálov možno ďalej urýchliť efektívnejším používaním vonkajšej expozície. Príkladom tohto je rozšírené použitie prístrojov EMMA (Mechanické držiaky so zrkadlami pre zrýchlenie) a EMMAQUA (EMMA s cyklom rozprašovania vodou). Tieto prístroje majú desať vysoko-leštených pohyblivých hliníkových zrkadiel, ktoré zosilňujú slnečné lúče zamerané na skúšobnú vzorku. Systém dosahuje približne devätnásobok expozície voči prirodzenej expozícii, zistená miera zhoršenia je v priemere 5-6 krát rýchlejšia. Je to dôsledok toho, že hliníkové zrkadlá odrážajú menej škodlivé UV komponenty slnečného žiarenia. V dôsledku vysokej intenzity žiarenia zameranej na vzorku sa môžu vyvinúť teploty až do 150 °C na povrchu vzorky a preto je potrebné použiť vzduchové chladenie., (Johnson, 1996).

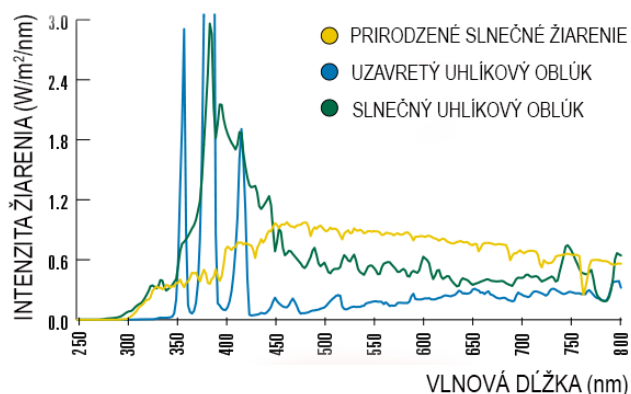


Obr. 3 Testovacia farma (vľavo) prístroj EMMA (vpravo) (Atlas,2001)

Hlavným dôvodom použitia umelých poveternostných metód je urýchliť degradáciu za kontrolovaných podmienok tak, aby sa charakteristiky trvanlivosti konkrétneho polyméru mohli hodnotiť v prijateľne rýchlom čase. Laboratórne skúšky môžu prebiehať nepretržite, pri prirodzene sa vyskytujúcom vyššom ožiarení ako pri slnečnom žiarení, ktoré neprerušujú prirodzené cykly deň – noc, sezónne zmeny a poveternostné podmienky. Teploty, teplotné cykly, vlhkosť a celková expozícia slnečného žiarenia môže byť manipulovateľná na maximá, ktoré môžu viesť až k nerealistickým úrovňam, pri ktorých môžu vzniknúť nepriaznivé foto-chemické javy, ktoré by pri prirodzenej expozícii nevznikli. Z toho dôvodu je nutné dbať na tieto faktory, aby všetky degradačné procesy pôsobili na vzorky v rovnakom rozsahu. Existuje veľký počet komerčných postupov umelého zrýchlenia, ktoré sú zvyčajne založené na rovnakých dvoch alebo troch svetelných zdrojoch (Tocháček, 2014).

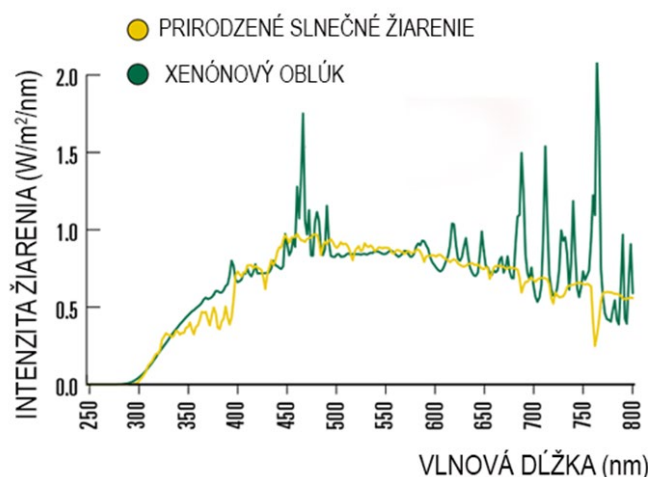
Svetelné zdroje

Zdroje uhlíkového oblúka boli prvý krát použité v roku 1918 k vyhodnoteniu degradácie farebných textílií. Jeho spektrálny výstup má len málo porovnaní s prirodzeným slnečným žiarením, pričom hlavné žiarenie má formu troch vrcholov vysokej intenzity medzi 350-450 nm. Okrem toho má významné množstvo žiarenia pod 295 nm, hoci je možné ho odstrániť použitím vhodných filtrov. Ak sa použije bez filtrov na rýchlejšie testovanie, môže sa stať, že niektoré materiály sú v porovnaní s vonkajšími testami deformované.



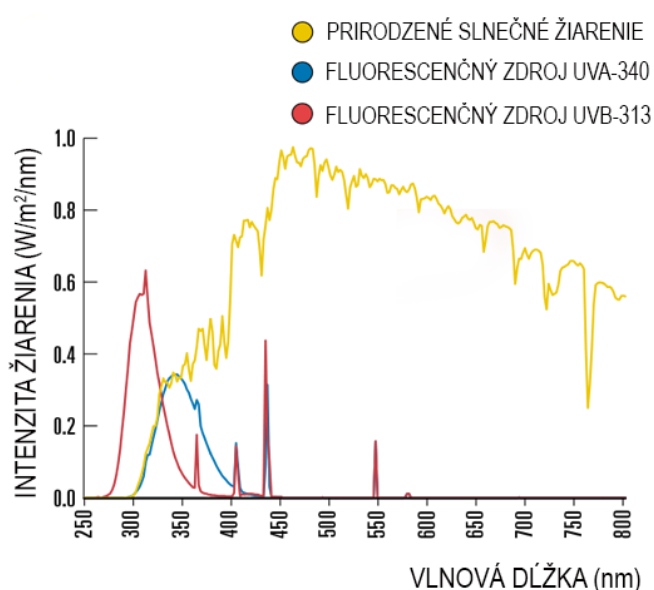
Obr. 4 Spektrálna distribúcia žiarenia uhlíkového oblúka v porovnaní so slnečným žiarením (Atlas, 2001)

Zdroje xenónového oblúka boli prvý krát použité v roku 1954 (Xenotest 150). Xenónový oblúk reprodukuje celé spektrum slnečného žiarenia. Ako zdroj svetla sa vo veľkej miere používa na testovanie degradácie v textilnom, polymérnom, lakovom a automobilovom priemysle. Nevýhoda xenónového oblúka spočívajú v tom, že sa vyvíja vysoká intenzita infračerveného žiarenia, ktoré sa musí odstrániť, aby sa predišlo prehriatiu vzoriek a že oba horáky a filtre sa pri používaní zhoršujú; preto ich výkonnosť musí byť pravidelne kontrolovaná. Existujú dva druhy systémov chladenia: vodou a vzduchom chladené xenónové lampy, typ chladenia má len zanedbateľný vplyv na spektrálny výstup lámp. Okrem úzkej simulácie solárneho spektra zahŕňajú ďalšie výhody xenónového oblúka automatické riadenie intenzity svetla, teploty, doby svetla / tmy a vlhkosti, čo vedie ku konzistentnej a reprodukovateľnej testovacej metóde. Okrem toho začlenenie atmosférických znečisťujúcich látok do systému robí tieto nástroje veľmi užitočné pri spájaní správania materiálov s agresívnymi faktormi vonkajšieho prostredia. (Johnson, 1996), (Tocháček, 2015).



Obr. 5 Spektrálna distribúcia žiarenia xenónového oblúka v porovnaní so slnečným žiarením (Atlas, 2001)

Fluorescenčné zdroje sú oveľa lacnejšie ako xenónové zdroje a majú tú výhodu, že nevytvárajú nežiaduce teplo. Lamps sú k dispozícii s rôznymi spektrálnymi výstupmi, najbežnejšími sú žiarivky UV-B a UV-A. Spektrum UV-B má špičkovú intenzitu pri vlnovej dĺžke približne 313 nm s vysokou intenzitou pri vlnových dĺžkach pod solárnym okrajom (t.j. 270 až 290 nm). V dôsledku toho poskytujú silné urýchlenie degradácie, ale vyvolávajú nežiaduce alebo neprirodzené chemické reakcie. UV-A žiarovky poskytujú omnoho bližšiu reprodukciu solárneho spektra až do približne 350 nm a preto môžu produkovať oveľa presnejšiu koreláciu s prirodzenou expozíciou. Keďže s týmito zdrojmi žiarenia vzniká iba zanedbateľný tepelný účinok, je potrebný samostatný zdroj tepla, ktorý poskytuje používateľovi primeranú kontrolu teploty. Vďaka týmto systémom je možné kontrolovať cykly teploty, vlhkosti a svetla / tmy (Johnson, 1996), (Tocháček, 2015).



Obr. 6 Spektrálna distribúcia dvoch typov fluorescenčných zdrojov s maximom pri 313, resp. 340 nm v porovnaní so slnečným žiarením

4. Tézy dizertačnej práce

4.1 Predmet riešenia dizertačnej práce

Predmetom riešenia dizertačnej práce sú fóliové povlakové hydroizolácie na báze PVC-P z hľadiska degradácie vonkajším prostredím s dôrazom na UV žiarenie. Počas riešenia dizertačnej práce bol uskutočňovaný výskum ich fyzikálno-mechanických vlastností vplyvujúcich na životnosť a funkčnosť striech. V písomnej časti je zosumarizovaný prehľad aktuálnej problematiky degradácie povlakových materiálov, najčastejšie chyby a poruchy strešných plášťov v aktuálnom období. Boli zosumarizované rôzne metódy testovania týchto materiálov a možnosti, ktoré sú k dispozícii v laboratórii na Stavebnej fakulte v Bratislave.

4.2 Ciele dizertačnej práce

Cieľom dizertačnej práce je aplikačná optimalizácia vhodných fóliových povlakových krytín pre ich UV exponované aplikácie a optimalizácia konštrukčných riešení detailov, na ktoré má UV degradácia dopad.

Pre potreby naplnenia cieľa dizertačnej práce budú musieť byť splnené čiastkové ciele:

- analýza a optimalizácia testovacích metodík a cyklov pre fóliové povlakové krytiny z hľadiska UV žiarenia a ním zapríčinennej degradácie,

- testovanie pevnostných charakteristík fólií ovplyvnených UV degradáciou a ich dopad na konštrukčnú tvorbu detailov,
- testovanie rozmerovej stálosti fólií ovplyvnenej UV degradáciou a jej dopad na konštrukčnú tvorbu detailov.

4.3 Metódy spracovania dizertačnej práce

Zoznam metód, ktoré sú použité v dizertačnej práci:

- analýza súčasného stavu danej problematiky – teoretická časť;
- experimentálna analýza – testovanie povlakových hydroizolácií z hľadiska pôsobenia UV žiarenia a vlhkosti v komorách pre urýchlené starnutie materiálov;
- experimentálna analýza – testovanie povlakových hydroizolácií z hľadiska ich pevnostných vlastností;
- chemická analýza – sledovanie zmien na povrchu materiálu z hľadiska starnutia;
- vyhodnotenie výsledkov – porovnanie výsledkov z jednotlivých druhov analýz a odporúčania.

4.4 Metodika dizertačnej práce

Dizertačná práca je metodicky členená na tieto časti:

- oboznámenie sa s problematikou degradácie povlakových krytín – študovanie vedeckej literatúry týkajúcej sa tejto problematiky;
- získavanie vzoriek od externých dodávateľov;
- naštudovanie manuálov a osvojenie si práce s prístrojmi simulujúcimi starnutie materiálov;
- testovanie rôznych vzoriek v laboratóriu na výskum striech z hľadiska odolnosti voči UV žiareniu a vlhkosti na prístroji QUV
- testovanie rôznych vzoriek v laboratóriu na výskum striech z hľadiska ich pevnostných vlastností na trhacom prístroji M500-25CT
- analýza a sledovanie chemických zmien na povrchu materiálu v dôsledku starnutia – infračervená spektrometria;
- zosumarizovanie a vyhodnotenie výsledkov
- celkové vyhodnotenie dizertačnej práce a prínos pre prax

5. Testovanie PVC-P materiálov z hľadiska vplyvu UV žiarenia a vlhkosti

5.1 Laboratórne vybavenie pre experimentálne meranie

Testovanie v prevažnej miere prebiehalo v Laboratóriu pre výskum striech na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Laboratórium disponuje prístrojmi pre príslušné meranie základných charakteristík materiálov (hmotnosť, rozmery), prístrojmi simulujúcimi vonkajšie podmienky a prístrojom pre zisťovanie mechanickej odolnosti materiálov. Dopĺňujúca chemická analýza povrchu vzoriek prebiehala v spolupráci s Ing. Angelou Kleinovou a Mgr. Máriou Kováčovou, PhD. na Ústave polymérov Slovenskej akadémie vied v Bratislave.

Digitálne laboratórne váhy KERN PLJ 600-3CM

Presné digitálne laboratórne váhy s internou kalibráciou a automatickou adjustáciou, ktorá prebieha každé 3 hodiny alebo pri zmene okolitej teploty o 3°C. Váživosť 600g a citlivosť 0,001g. Laboratórnu váhu som používal na priebežné váženie vzoriek pre zhodnotenie úbytku hmotnosti testovaného materiálu.

Digitálne posuvné meradlo

Digitálne posuvné meradlo určené na meranie rozmerov s maximálnym rozsahom do 300 mm. Citlivosť/tolerancia zariadenia je 0,02 mm.



Obr. 7 Digitálne váhy KERN (vľavo), Dig. posuvné meradlo (vpravo)

Ručný dielenský hydraulický lis 12t a oceľová raznica

Hydraulicko-pneumatický lis Dema WP 12H s pracovným tlakom 12t určený na stláčanie a lisovanie. Rám je posilnený a zaisťuje odolnosť voči mechanickému poškodeniu. K lisu prislúcha sada tlakových nástavcov pre rozloženie hmotnosti na tlačný prvok. Lis sa používal k vysekávaniu vzoriek určených k pevnostnej skúške.

Oceľová raznica je určená k vysekávaniu vzoriek pre pevnostné (trhacie) skúšky. Bola vyrobená na základe spracovanej výkresovej dokumentácie. Tvar a rozmery sú zadefinované v STN EN 12311-2 ako skúšobné teleso činkovitého tvaru pre metódu B.



Obr. 8 Ručný hydraulický lis (vľavo), oceľová raznica (vpravo)

Trhací stroj M500-25CT – 20kN s klimakomorou TH2700

M500-25CT je stolový dvojstĺpový, počítačom riadený univerzálny skúšobný stroj pre skúšanie materiálov v ťahu, tlaku, ohybe, cyklickom namáhaní, šmyku a tvrdosti. Strojom je možné testovať

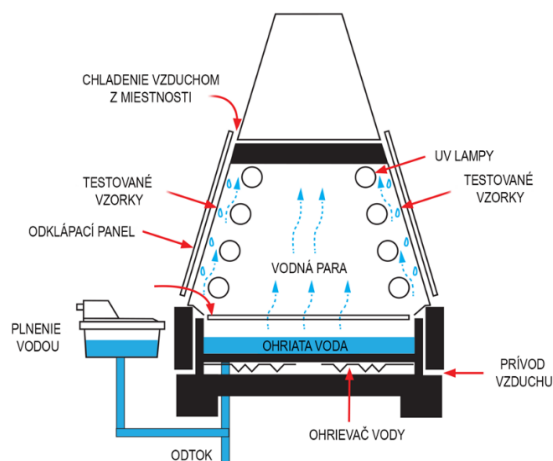
mechanické vlastnosti stavebných materiálov a ich spojov pri záporných a kladných teplotách (od $+70^{\circ}\text{C}$ do 280°C). Stroj je riadený pomocou software winTest™ Analysis.



Obr. 9 Trhací prístroj M500-25 CT s klimakomorou TH2700 (vľavo, stred); Nádoba na kvapalný dusík Cryotherm 50L (vpravo)

Prístroj QUV/spray

Prístroj QUV na urýchlené poveternostné testy sa používa k laboratórnej simulácii škodlivého pôsobenia poveternostných vplyvov. Slúži k predpovedaniu relatívnej odolnosti materiálu vystavenému exteriérovému prostrediu. Dážď a rosa sa simulujú pomocou kondenzačného systému, alebo vodným rozprašovacím systémom. Škodlivé pôsobenie slnečného žiarenia sa simuluje fluorescenčnými UV lampami. Automaticky sa riadi ožarovacia teplota a taktiež aj denná postupnosť UV periód a vlhkostných periód. Počas niekoľkých dní resp. týždňov môže v QUV prístroji dôjsť k poškodeniu vzoriek, ktoré by sa v exteriérových podmienkach prejavilo až za niekoľko mesiacov prípadne rokov. Medzi pozorované poškodenia patrí blednutie farby, vznik škvrn, popraskanie, vznik trhlín, tvorenie vypuklín, strata lesku, strata pevnosti a krehnutie (Labimex, 2008).



Obr. 10 Prístroj QUV/spray, princíp fungovania prístroja

Infračervený spektrometer NICOLET 8700TM

FTIR spektroskopia sa používa na stanovenie obsahu rôznych organických a anorganických látok a ich zlúčenín v pevných, kvapalných a plyných vzorkách (potraviny, pôda, kovy a ich zliatiny, polyméry a pod.) na absorpčných spektrách.

Princíp zariadenia je založený na tom, že pohyb jedného zo zrkadiel interferometra je zmenou dráhového rozdielu medzi rušivými lúčmi. Zaznamenaný svetelný tok na výstupe interferometra (interferogram) je Fourierova transformácia detekovaného optického spektra, vlastné spektrum (v škále vlnových čísel) získané po vykonaní inverznej Fourierovej transformácie.

Digitálny mikroskop Leica DVM6

Digitálny mikroskop Leica DVM6 s objektívom PlanAPO FOV 12.55 s veľkým rozsahom zväčšení (40× – 675×) pri vysokej pracovnej vzdialenosti (33 mm). Rýchla zmena zväčšenia vďaka širokému rozsahu ohniskovej vzdialenosti 16:1. Vysoko citlivý 10-megapixelový detektor snímajúci v najlepšej kvalite s prvotriednou optikou. Inteligentný LAS X softvér – merací nástroj pre rôzne nastavenia s možnosťou reportovania pre 2D a 3D merania. Reprodukateľné výsledky systémovým nastavením, ktoré sa dá uložiť pre každý obrázok ako napr. pozícia, zväčšenie, osvetlenie.



Obr. 11 FT-IR spektrometer Nicolet 8700TM (vľavo), Mikroskop Leica DVM6 (vpravo)

5.2 Laboratórne testovanie

5.2.1 Získavanie vzoriek

Cieľom bolo získať materiály s podobnými vlastnosťami, ako je hrúbka a jeho použitie v stavebnej praxi. Získané vzorky od rôznych výrobcov sú nasledovné:

- Vzorka č. 1 – PVC-P – fólia vystužená polyesterovou vložkou, hr. 1,5 mm
- Vzorka č. 2 – PVC-P – fólia vystužená polyesterovou vložkou, hr. 1,5 mm
- Vzorka č.3 – PVC-P – fólia je homogénna t.j. bez výstužnej mriežky, hr. 2,0mm
- Vzorka č. 4 – PVC-P – fólia vystužená s polyesterovou vložkou, hr. 1,5 mm

5.2.2 Príprava experimentálneho merania UV degradácie v QUV prístroji

K realizácii experimentu je nutné pripraviť vzorky požadovaných rozmerov pre umiestnenie do testovacieho prístroja. Prístroj obsahuje 24 rámkov, v každom rámku je možné umiestniť 2 vzorky s maximálnym rozmerom 75 mm x 150 mm. Z každého materiálu bolo v úvode pripravených 12 ks vzoriek (spolu 48 ks). V priebehu testovania boli vzorky vyberané a následne nahradené novými pre získanie

potrebného počtu vzoriek k realizácii pevnostnej skúšky. Pred začatím experimentu bola zistená hmotnosť každej vzorky a bol sledovaný priemerný úbytok hmotnosti.

Testovanie degradácie prebiehalo v laboratórnych podmienkach podľa normy STN EN ISO 4892-3: Plast. Metódy vystavovania účinkom laboratórnych svetelných zdrojov. Časť 3: Fluorescenčné UV lampy. Z tabuľky č.4 expozičné cykly bola zvolená metóda A: Zrýchlené laboratórne starnutie so žiarivkami typu UVA 340 a navolený cyklus č. 2. (Tab. 1) Cyklus zodpovedá štandardnému testovaniu polymérnych výrobkov. Testovanie prebiehalo v zariadení QUV. Pred spustením bol prístroj QUV/spray skalibrovaný pomocou prenosného kalibrátora. Proces kalibrácie bol vykonaný každých 1000 hod.

Tab. 1 Tabuľka 4 – Expozičné cykly (ISO 4892-3:2016)

Metóda A: Zrýchlené laboratórne starnutie so žiarivkami typu UVA-340				
Číslo cyklu	Doba vystavenia	Typ žiarivky	Ožiarenie	Teplota čierneho telesa
1	8 h za sucha 4 h kondenzácia	UVA-340 (typ 1A)	0,76 Wm ⁻² × nm ⁻¹ pri 340nm UV žiarivky vypnuté	60 °C ± 3 °C 50 °C ± 3 °C
2	8 h za sucha 0,25 h postrek vodou 3,75 h kondenzácia	UVA-340 (typ 1A)	0,76 Wm ⁻² × nm ⁻¹ pri 340nm UV žiarivky vypnuté UV žiarivky vypnuté	50 °C ± 3 °C Nekontrolované 50 °C ± 3 °C
3	5 h za sucha 1 h postrek vodou	UVA-340 (typ 1A)	0,83 Wm ⁻² × nm ⁻¹ pri 340nm UV žiarivky vypnuté	50 °C ± 3 °C Nekontrolované
4	5 h za sucha 1 h postrek vodou	UVA-340 (typ 1A)	0,83 Wm ⁻² × nm ⁻¹ pri 340nm UV žiarivky vypnuté	70 °C ± 3 °C Nekontrolované
Metóda B: Zrýchlené laboratórne starnutie so žiarivkami typu UVA-351				
5	24 h za sucha (žiadna vlhkosť)	UVA-351 (typ 1B)	0,76 Wm ⁻² × nm ⁻¹ pri 340nm	50 °C ± 3 °C
Metóda C: Zrýchlené laboratórne starnutie so žiarivkami typu UVB-313				
6	8 h za sucha 4 h kondenzácia	UVB-313 (typ 2)	0,48 Wm ⁻² × nm ⁻¹ pri 310nm UV žiarivky vypnuté	70 °C ± 3 °C 50 °C ± 3 °C
POZNÁMKA 1 Testy s vyšším ožarovaním sa môžu uskutočniť, ak sa dohodnú všetky zainteresované strany. Ak sa použijú podmienky s vyššou mierou ožiarenia, životnosť žiaroviek sa môže výrazne skrátiť.				
POZNÁMKA 2 Rozsah ± 3 °C zobrazený pre teplotu čierneho telesa je prípustná fluktuácia indikovanej teploty čierneho telesa okolo požadovanej hodnoty teploty čierneho telesa v rovnovážnych podmienkach. To neznamená, že nastavená hodnota sa môže meniť o ± 3 °C od danej hodnoty.				
POZNÁMKA 3 Teplota čierneho panelu počas cyklu postrekovania vodou nie je kontrolovaná, ale nesmie prekročiť 30 °C. Teplota rozstrekovanej vody môže mať významný vplyv na výsledok testu.				

Pred spustením bol prístroj QUV/spray skalibrovaný pomocou prenosného kalibrátora. Proces kalibrácie bol vykonaný každých 1000 hod.

Vyhodnotenie výsledkov UV degradácie

Hodnotenie strešných fólií podľa európskych noriem a dokumentov hodnotiacich kvalitu:

- EN 13956:2013 – Hydroizolačné pásy a fólie – plastové a pryžové pásy a fólie pre hydroizolácie striech – definície a charakteristiky,

- EAD 030351-00-0402 – Systém mechanicky kotvených pružných strešných hydroizolačných povlakov (od 29.5.2019 „ETAG 006“),
- MOAT 65 – Technická príručka UEAtc pre hodnotenie strešných hydroizolačných systémov z PVC.

Každý z týchto dokumentov hodnotí príslušnú kvalitu všetkých vlastností, ktoré má hydroizolačná fólia spĺňať. Pre uvedenie na trh je požadované, aby fólia spĺňala požiadavky skúšobnej normy EN 13956, kde sú kritéria vzhľadom na očakávanú životnosť nie úplne dostačujúce. Porovnanie pre hodnotenie starnutia po expozícii voči UV žiareniu sú uvedené v Tab. 2. Niektorí z výrobcov vo svojom technickom liste dopĺňajú informáciu, že ich materiál bol skúšaný voči UV degradácii až 5000 hod. Z tohto dôvodu bol zvolený postup, porovnanie UV degradácie a následne pevnostná skúška každých 1000 hodín.

Tab. 2 Porovnanie pre hodnotenie starnutia voči UV žiareniu

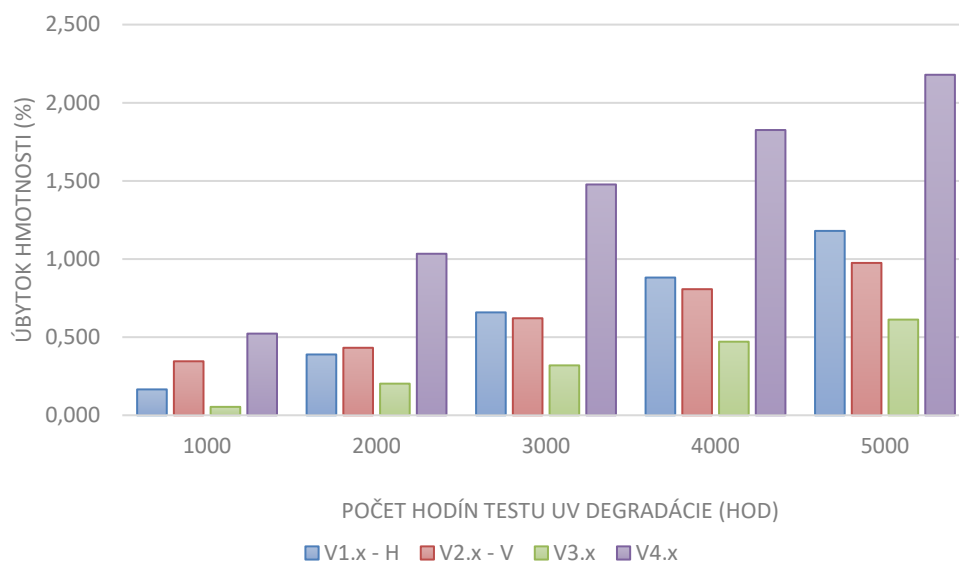
Vlastnosť	EN 13959	ETAG 006	MOAT 65
Starnutie po expozícii UV žiarením	1000 hod, QUV Tester – UVA Lampy	5000 hod, QUV Tester, UVA Lampy	2500 hod. 4500 MJ/m ² Xenotest

Vyhodnotenie hmotnostného úbytku bolo zaznamenávané v tabuľkách, hmotnosť vzoriek bola evidovaná každých 1000 hodín následne bol zrealizovaný prepočet úbytku hmotnosti v percentách.

Tab. 3 Priemerný úbytok hmotnosti (%) pre všetky testované typy hydroizolácie PVC-P

Označenie vzorky	Úbytok hmotnosti (%)					
	Počet hodín v QUV prístroji (hod)					
	0	1000	2000	3000	4000	5000
V1.x - H	N/A	0,166	0,389	0,658	0,881	1,180
V2.x - V	N/A	0,345	0,432	0,621	0,807	0,975
V3.x	N/A	0,054	0,202	0,319	0,471	0,612
V4.x	N/A	0,523	1,034	1,477	1,825	2,179

Graf 1 Priemerný úbytok hmotnosti pre všetky testované typy hydroizolácie PVC-P



Graf č. 1 zobrazuje porovnanie - celkové priemerné hodnoty úbytku hmotnosti. Vzorky č. 1 a vzorky č.2 sú kvalitatívne z tých lepších na našom trhu. Vzorka č. 3 je PVC-P fólia, používaná k opracovaniu detailov (bez výstužnej mriežky) môžeme pozorovať, že má najmenší podiel samotného percentuálneho úbytku hmotnosti. Jej UV stálosť je z toho dôvodu vyššia, keďže sa používa k opracovaniu najnamáhavejších detailov strešného pláštá. Vzorka č. 4 je výrobca, ktorým sú často v stavebnej praxi nahrádzané kvalitnejšie materiály navrhnuté projektantom. Môžeme sledovať, že úbytok hmotnosti tohto materiálu je dvojnásobný. V tomto prípade bol aj hmatom a zrakom citeľný úbytok hmotnosti resp. zmäkčovadiel, výstužná mriežka viac vynikla na povrch a samotný materiál bol tuhší. Úbytok hmotnosti má priamy vplyv na zmenu fyzikálnych vlastností, ktorou je napr. pevnostná charakteristika. Analýza pevnostných vlastností pokračuje v nasledujúcej kapitole.

5.2.3 Príprava experimentálneho merania – pevnostná skúška

Z prístroja pre UV degradáciu boli postupne vyberané vzorky pre realizáciu pevnostnej skúšky po 1000 hod, 2000hod, 3000 hod, 4000 hod a 5000 hod.. Rovnako bola skúška vykonaná aj na vzorkách bez UV degradácie. Pre realizáciu pevnostnej skúšky podľa STN EN 12311-2 je nutné pripraviť 5 ks vzoriek z testovaného typu. Z každej vzorky v QUV prístroji bolo možné pripraviť 2 ks vzorky pre trhovú skúšku.

Príprava vzoriek pre stanovenie pevnostných vlastností bola vyhotovená podľa STN EN 12311-2 pre metódu B. Jedná sa o skúšobné teleso činkovitého tvaru. Pre presné vyhotovenie vzoriek bola navrhnutá a vyrobená oceľová raznica. Vzorky boli následne vysekávané pomocou ručného hydraulického lisu.



Obr. 12 Príprava vzoriek pre pevnostnú skúšku

Pevnostná/trhacia skúška je realizovaná pomocou trhacieho prístroja M500-25CT. Prístroj je riadený pomocou software winTest™ Analysis. V programe je nutné nastaviť okrajové podmienky ako je vzdialenosť upínacích čeľustí a rýchlosti ťahu, ktorý je definovaný príslušnou normou STM EM 12311-2 na 100 mm/min.

Vyhodnotenie výsledkov

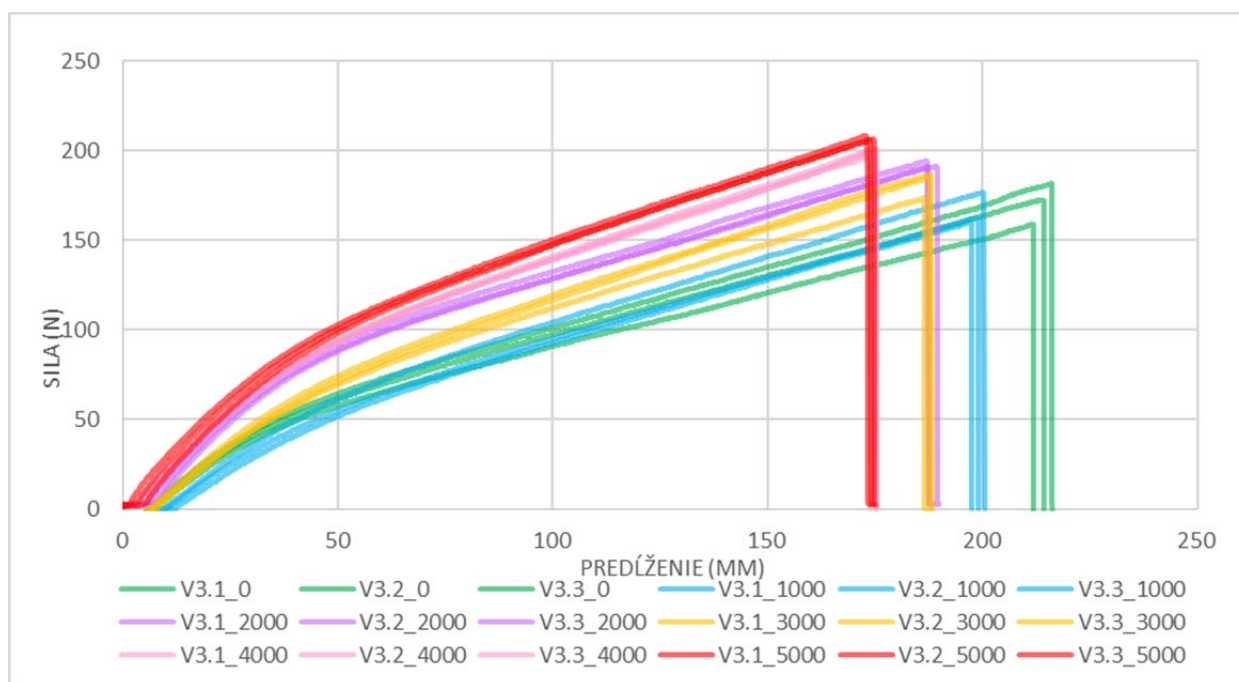
Z hľadiska prezentácie a prehľadnosti výsledkov meraní, boli vybraté 3 reprezentatívne vzorky z každého materiálu. Vzhľadom na skúsenosti s realizáciou pevnostnej skúšky by bolo vhodné testovať vzorky bez výstužnej mriežky. Metodika popisuje, že vzorky musia spĺňať v jednom reze rovnaký počet

výstužných vlákien, keďže podľa vybraného a zvoleného činkovitého tvaru pre metódu B je miesto kde má dôjsť k porušeniu príliš úzke a je veľmi realizačne náročné mať vzorky úplne totožné. Otvára sa tým otázka, či je práve táto metodika správna pre testovanie podobných typov mPVC hydroizolačnej fólie.



Obr. 13 Všetky vzorky boli pred a po realizácii pevnostnej skúšky odfotografované

Graf 2 Vzorka č. 3 porovnanie pevnostných vlastností vzoriek - bez UV degradácie a s UV degradáciou po 1000, 2000, 3000, 4000 a 5000 hodinách

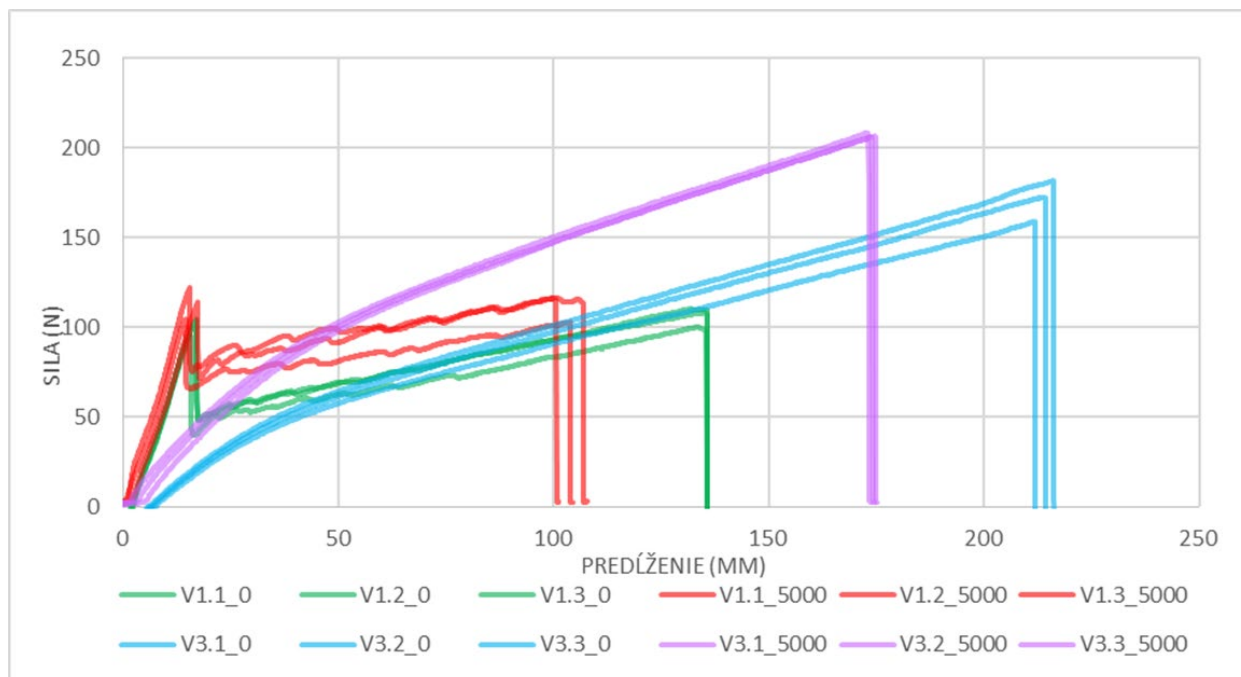


V grafe č. 2 vidíme najreprezentatívnejšie výsledky z hľadiska degradácie materiálu vplyvom UV žiarenia. Vzorky č. 3 neobsahujú výstužnú mriežku, v tomto prípade máme homogénnu materiálovú zmes. Graf potvrdzuje, že vplyvom UV žiarenia dochádza k úbytku zmäkčovadiel, kedy dochádza k čiastočnému zvýšeniu pevnosti a následne ku skoršiemu zlyhaniu. Vzhľadom na to, že ide o strešnú krytinu, ktorá je vhodná k opracovaniu detailov, má zvýšenú elasticitu (neovplyvnenú výstužnou mriežkou). Na samotných vzorkách vidíme po pretrhnutí stav materiálu pred zlyhaním, dochádza v tomto prípade k predĺženiu až o 215 mm.

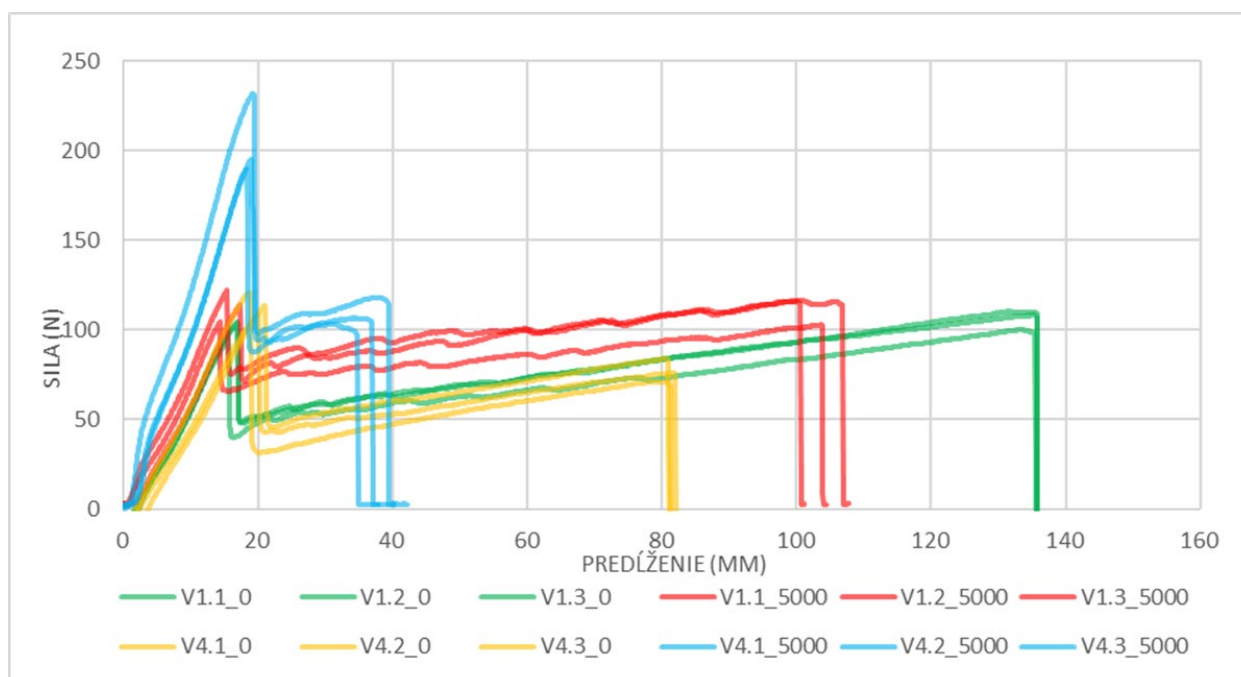
Graf č. 3 reprezentuje pohľad na jednotlivé vlastnosti povlakovej krytiny bez a s výstužnou mriežkou pri vzorkách, ktoré neboli vystavené UV žiareniu a vzorkám s UV degradáciou v maxime a to 5000 hodín. Napriek tomu, že pevnostné vlastnosti povlakovej krytiny bez výstužnej mriežky sú aj po

vystavení UV žiareniu priaznivejšie ako pevnostné vlastnosti povlakovej krytiny s výstužnou mriežkou, nie je vhodné používať v praxi tento typ fólie aj na bežné rovinné plochy, nakoľko sekundárna funkcia výstužnej mriežky odoláva voči nárazom, lokálnemu prerazeniu a súdržnosti samotného materiálu v prípade poruchy. Z toho dôvodu je použitie nevystuženej povlakovej krytiny odporúčané len v prípade opracovania detailov.

Graf 3 Porovnanie pevnostných vlastností (Vzorky č. 1.x s výstužnou mriežkou a vzorky č. 3.x bez výstužnej mriežky) bez UV degradácie a s UV degradáciou 5000 hodín v QUV prístroji.



Graf 4 Porovnanie pevnostných vlastností (Vzorky č. 1.x a 4.x s výstužnou mriežkou) bez UV degradácie a s UV degradáciou 5000 hodín v QUV prístroji.



Graf č. 4 porovnáva povlakové krytiny, ktoré sú častokrát alternované v realizácii. Testované krytiny majú v technických materiálových listoch takmer totožné parametre, avšak pri realizácii experimentálnych meraní sa zistilo, že pevnostné charakteristiky týchto krytín sú výrazne rozdielne. Kvalitnejšia povlaková krytina (V1) po vystavení degradácii UV žiarením v prístroji po 5000 hodinách má lepšie mechanické vlastnosti ako nová povlaková krytina nižšej akosti (V4).

Vzhľadom na to, že tézou dizertačnej práce nie je overovať hodnoty parametrov povlakových krytín uvádzaných v technických listoch, ale porovnávanie vlastností jednotlivých vzoriek krytín medzi sebou. Avšak, ak sú materiály alternované na základe ceny aj napriek rovnakým parametrom, nemusia byť v prípade realizátora resp. investora vhodná náhrada a je nutné sa zaoberať zvýšením požiadaviek k uvedeniu materiálu na trh.

5.2.4. Príprava experimentálneho merania – infračervená spektroskopia – analýza chemických zmien na povrchu materiálu

Infračervené spektrá jednotlivých vzoriek boli nasnímané na infračervenom spektrometri NICOLET 8700™ (fy Thermo Scientific, Madison, WI, USA) v strednej infračervenej oblasti ($4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$) technikou ATR (Attenuated Total Reflection) s použitím Ge (germánia) ako optického materiálu. Pracovalo sa s rozlíšením 4 cm^{-1} a počet scanov pre merania sa pohyboval v rozmedzí 32 - 64. Pre infračervené spektrá získané technikou ATR v prípade použitia Ge kryštálu platí, že maximálny prienik infračerveného lúča do materiálu je $0.66 \mu\text{m}$ pri vlnočte 1100 cm^{-1} .

Pre každú sériu vzoriek sa uskutočnilo po 5 meraní z každej strany vzoriek z náhodne vybraných miest, nakoľko sa vzorky skladali z dvoch rôznych vrstiev (tenšia bledosivá a v prípade vzorky V3 hrubšia tmavosivá bez výstužnej mriežky; v prípade vzorky V1 bola hrubšia tmavosivá vrstva vystužená mriežkou a takisto v prípade vzorky V4 bola hrubšia vrstva, ktorá bola takmer čierna, vystužená mriežkou). Zloženie výstužných mriežok nebolo predmetom stanovenia chemického zloženia; tým bolo sledovanie zmien na povrchu materiálov.

Pre účely vyhodnotenia sa z každej série meraní vybralo jedno reprezentatívne spektrum, nakoľko namerané spektrá sa v rámci meraní spektier jednej vzorky líšili len minimálne. Napriek tomu je však potrebné uviesť, že pomocou techniky ATR, pri ktorej sa snímajú spektrá z povrchu (v tomto prípade z plochy cca 2 mm^2 , čo je kontaktná plocha Ge kryštálu a vzorky) je možné detegovať aj nehomogenitu chemického zloženia povrchu, ktorá sa prejaví aj v spektrách. Ide však o časovo náročnejšie experimenty (mapovanie povrchu pomocou infračervenej mikroskopie) a pre charakterizáciu povrchu materiálu v makroškále tým pádom nepraktické.

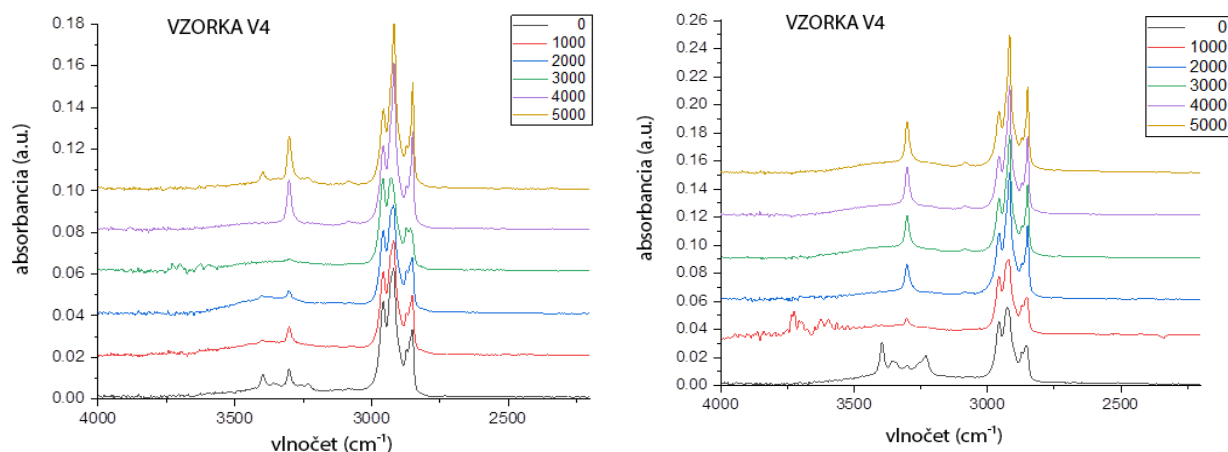
Namerané spektrá boli vyhodnotené pomocou spektroskopického software OMNIC™ v. 8.1. Výsledky sú prezentované v grafoch ako závislosť medzi vlnočtom (počet vln na jednotku dĺžky) a absorbanciou (bezrozmerná fyzikálna veličina vyjadrujúceho množstvo viditeľného spektra elektromagnetického žiarenia pohltená látkou).

Vyhodnotenie výsledkov

Vzorka č. 4 - pre svetlú aj tmavú stranu sa zhodne pozorovali zmeny prevažne v oblasti aromatických/násobných, resp. NH väzieb. Pre svetlú vrstvu, ktorá je pravdepodobne stabilizovaná nejakým typom UV stabilizátora sa pozorovala tvorba a nárast obsahu polyénových štruktúr až po vyše 3000 hodinách starnutia, pričom najprv pravdepodobne dochádza k eliminácii tohto stabilizátora a až keď

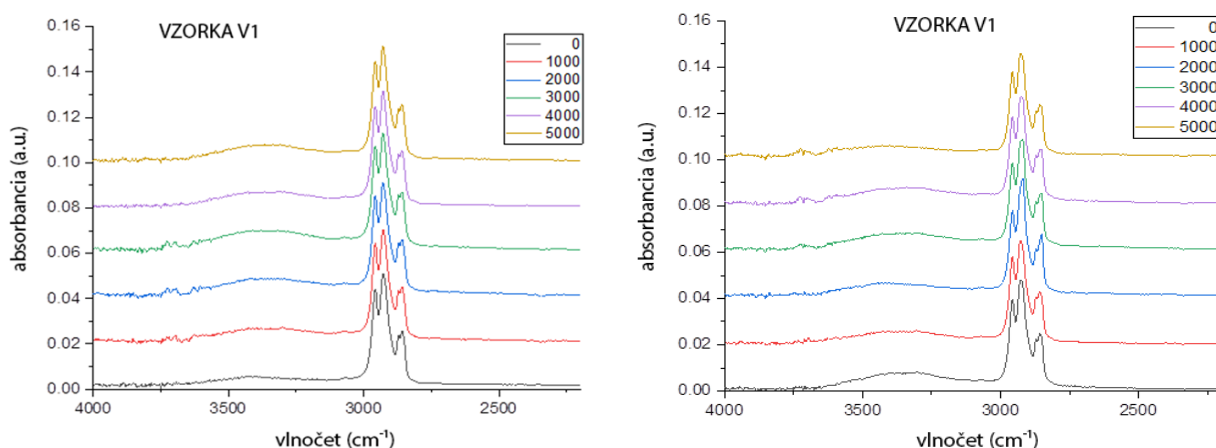
sa jeho účinok vytratí, započne dehydrochlorácia PVC. Zároveň sa v spektrách svetlej vrstvy po 4000 hodinách starnutia prejavajú zmeny aj v oblasti CH valenčných väzieb ($3040 - 2800 \text{ cm}^{-1}$) čo je spôsobené degradáciou reťazcov PVC a vznikom nových terminálnych CH_3 skupín. Toto sa prejaví zvýšením hodnôt absorpcie týchto väzieb (vzniká viac kratších polymérnych reťazcov, čo má tiež za následok zhoršenie mechanických vlastností).

Graf 5 Vzorka V4, svetlá strana (vľavo) tmavá strana (vpravo), oblasť valenčných vibrácií



V spektrách krytiny V1 (aj V3) sa nepozorovali takmer žiadne zmeny v spektrách snímaných v strednej infračervenej oblasti počas celej doby starnutia materiálu. Rozdiely medzi jednotlivými spektrami sú len v oblasti $-\text{OH}$ valenčných a deformačných vibrácií, čo je spôsobené naviazaním vlhkosti do materiálu.

Graf 6 Vzorka V1, svetlá strana (vľavo), tmavá strana (vpravo), oblasť valenčných vibrácií



Infračervená spektroskopia nám svojím záverom potvrdzuje prítomnosť a úbytok UV stabilizátorov, ktoré majú priamo vplyv na mechanické vlastnosti, ktoré sú uvádzané v predchádzajúcich kapitolách. Najväčšie zmeny sú prezentované na vzorke č. V4, kde je rovnako potvrdený aj najväčší úbytok hmotnosti a najväčšia strata pevnostných vlastností. Infračervená spektroskopia bola realizovaná aj na tmavej neožarovanej strane UV žiarením, ktorá nám dáva priestor do budúcnosti sa rovnako zaoberať nie len degradáciou vplyvom UV žiarenia, ale rovnako aj starnutiu za tepla.

6. Záver

Vzhľadom na fakt, že plasty v stavebníctve nepatria k spotrebnému materiálu, musia vykazovať dlhú životnosť a zachovanie si svojich vlastných fyzikálno-mechanických vlastností. V stavebníctve sa polyméry objavujú vo forme hydroizolácii, či už spodnej stavby alebo strechy. Predmetom riešenia dizertačnej práce je fyzikálno-mechanická analýza strešných povlakových hydroizolačných materiálov zaťažených vonkajším prostredím v čase (teplota, vlhkosť, UV žiarenie a iné). Na našom trhu existuje množstvo strešných povlakových krytín na báze polymérov, avšak medzi najpoužívanejšie krytiny v praxi patria fólie na báze PVC-P (mPVC), ktorým sa venuje dizertačná práca. V súčasnej dobe výrobcovia ponúkajú viaceré varianty PVC-P fólií, ktoré majú výrazné kvalitatívne rozdiely, napriek tomu spĺňajú základné normy. V dôsledku šetrenia sú materiály vyššej akosti často zamieňané, čo môže v budúcnosti spôsobiť finančné a zdravotné škody. Preštudovaním rôznych materiálov a absolvovaním niekoľkých konferencií sa dá zhodnotiť, že existuje niekoľko dokumentov, podľa ktorých jednotliví výrobcovia uvádzajú svoje produkty na trh.

Primárnym cieľom dizertačnej práce bola experimentálna analýza povlakových hydroizolačných krytín z hľadiska pôsobenia UV žiarenia a vlhkosti v komore pre urýchlené starnutie materiálov. Následne boli vykonané sekundárne merania a to hmotnostná, pevnostná a chemická analýza skúšaných vzoriek. Vzhľadom na potrebu veľmi dlhého obdobia prípadného experimentálneho porovnania s materiálmi vystavenými reálnym poveternostným podmienkam a stanovenia principiálneho prevodového koeficientu, sa postavili všetky experimentálne merania na porovnávacej metóde, ktorých výsledky sú spracované v jednotlivých kapitolách.

Vplyv UV žiarenia má priamy dopad na fyzikálno-mechanické vlastnosti materiálu a ovplyvňuje ich zníženie pevnosti v ťahu, odolnosť proti nárazu, krehkosť a vznik ťahových trhlin. Interferovanie týchto vlastností má priamy dopad na konštrukčnú tvorbu samotných detailov v realizácii.

Prínos pre vedu a prax

Získané vedomosti a skúsenosti, je možné aplikovať v ďalších výskumoch, ktoré je možné uskutočniť, či už v laboratóriách na Stavebnej fakulte alebo v spolupráci s externými laboratóriami. Otvára sa možnosť ďalších experimentálnych meraní, ktoré nám dokážu priblížiť správanie sa materiálu v realizáciách a ako doceliť jeho maximálnu životnosť, či už z hľadiska vplyvu degradácie UV žiarením, teplotou, následnou realizáciou a zabudovaním do hotových stavebných konštrukcií.

Jednotlivé prínosy tejto dizertačnej práce možno zosumarizovať v niekoľkých bodoch:

- rozšírený pohľad na povlakové krytiny na báze PVC-P z hľadiska ich odolnosti voči UV žiareniu a vlhkosti,
- návrh k optimalizácii metodiky pre spracovanie pevnostnej skúšky podľa STN EN 12311-2 - primárne pre vystužené materiály – optimalizácia tvaru skúšobnej vzorky, napr. podľa ASTM štandardov, ktoré opisujú množstvo odlišných tvarov, ktoré by mohli byť v rámci testovacích metodík aplikované aj v našich STN štandardoch,
- návrh k optimalizácii metodiky, ktorá hodnotí kvalitu materiálu a splnenie kvalitatívnych požiadaviek, dovoľuje uvádzať na trh nové materiály, riadiť sa a zväziť sprísnenie podmienok podľa dokumentov ETAG 006 resp. MOAT 65, vzhľadom na to, že v experimentálnych meraniach bola dokázaná veľká kvalitatívna odlišnosť materiálov, ktoré sú častokrát zamieňané v stavebnej praxi,

- návrh k optimalizácii technických dokumentov dodávaných k povlakovým krytinám a v prípade testovania podľa vyššie spomenutých dokumentov uvádzať splnenie nadštandardných parametrov, ktoré preukázateľne zvyšujú životnosť materiálu,
- dbať na dostatočnú prípravu konštrukčných detailov z aspektu realizácie v kriticky namáhaných miestach z hľadiska úbytku zmäkčovadiel a samotného stavu dotvarovanosti povlakovej krytiny,
- pomocou IR spektroskopie boli otvorené ďalšie možnosti skúmania materiálu nakoľko degradácia prebieha na oboch povrchoch, pričom na strane nevystavenej UV žiareniu dochádza pravdepodobne k termickej degradácii, keďže materiál bol okrem UV žiarenia a vlhkosti vystavený aj starnutiu za tepla a to 50°C,
- budúci výskum zameraný na ďalšie aspekty poznania povlakových krytín na báze PVC-P a to napr. testovanie rozmerovej stálosti materiálu, analýza možností oprav fólií aplikovaných v strešnom plášti v rôznych štádiách UV degradácie.

Literatúra a normy

Atlas Material Testing and Solutions, Weathering Testing Guidebook. [online]. [cit. 27.12.2018].

Dostupné z: <http://www.strenometer.dk/files/downloads/guidebook.pdf>

Berdahl P., Akbari H., Levinson R., Miller W.A., Lawrence, Weathering of roofing materials. Berkley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Mail Stop 70-108B- 1 Cyclotron Road, Berkley, CA 94720, United States, (2006).

Bielek B., Bielek M., Vranay F., Lukášik D., Vranayová Z., Vilčeková S., Ehrenwald P., Híreš J., Majšniar V., Mikušová M. Nízkoenergetická, zelená, udržateľná budova - klíma - energia. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014. 602 p. ISBN 978-80-227-4185-9.

Johnson B.W., McIntyre R., Analysis of test methods for UV durability predictions of polymer coatings, Progres in organic Coatings. 1996.

Labimex: Návod k obsluze QUV/spray: prístroj na urychlené poveternostní testy. Labimex CZ, 2008

Lederer J.. Polyamidy, Katedra chémie, UJEP [online]. [cit. 20.12.2018]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PVC07022013.pdf>

Mleziva J., Šňupárek J. Polymery výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha, Sobotáles, 2000. 537 s. ISBN 80-85920-72-7.

Oláh J., Rusnák, R., Urbánek, M., Žiak, V. Konštrukcie pozemných stavieb III: Strechy budov. Bratislava : STU v Bratislave, 2013. 205 s. ISBN 978-80-227-3635-0.

Research and Markets, Polyvinyl Chloride (PVC) Global Supply Dynamics to 2020 - China Emerges as the Leader in Global Production. [online]. [cit. 20.12.2018]. Dostupné z: <http://www.businesswire.com/news/home/20110110006117/en/ResearchMarkets-Polyvinyl-Chloride-PVC-Global-Supply>

Tocháček J., Vrátničková Z., Polymer life-time prediction: The role of temperature in UV accelerated ageing of polypropylene and its copolymers. Polymer Testing 36 (2014). CEITEC – Central European Institute of Technology, Brno

STN ISO 4892-1 – Metódy vystavovania účinkom laboratórnych svetelných zdrojov, časť 1: Všeobecné pokyny

STN ISO 4892-2 – Metódy vystavovania účinkom laboratórnych svetelných zdrojov, časť 2: Xenónové zdroje žiarenia

STN ISO 4892-3 – Metódy vystavovania účinkom laboratórnych svetelných zdrojov, časť 2: Fluorescenčné zdroje

STN ISO 527-1 – Plasty. Stanovenie ťahových vlastností. Časť 1. Všeobecné zásady.

ASTM D5071 – Vystavenie foto-degradovateľných plastov

ASTM D2565 – Plasty pre exteriérové použitie

STN EN 12311-2 – Hydroizolačné pásy a fólie. Stanovenie ťahových vlastností. Časť 2: Plastové a gumové pásy a fólie na hydroizoláciu striech

EN 13956:2013 – Hydroizolačné pásy a fólie – plastové a pryžové pásy a fólie pre hydroizolácie striech – definície a charakteristiky

EAD 030351-00-0402 – Systém mechanicky kotvených pružných strešných hydroizolačných povlakov (od 29.5.2019 „ETAG 006“)

MOAT 65 – Technická príručka pre hodnotenie strešných hydroizolačných systémov z PVC

Zoznam publikovaných prác doktoranda

Uvedený zoznam obsahuje publikované práce autora vo forme výpisu z Akademického informačného systému.

KOVÁČ, J. -- PALKO, M. Anchoring systems for hydroinsulating materials and their faults. In Nové poznatky ve vědě a výzkumu z oblasti pozemního stavitelství. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2019, s. 69--74. ISBN 978-80-248-4199-1. prís. v zbor. 2019

KOVÁČ, J. -- JAVORČEK, M. Bytový dom. Bakalárska práca. 2015. zp 2015

KOVÁČ, J. -- PALKO, M. Factors performing properties of waterproofing materials and testing in the UV degradation process. In PĚNČÍK, J. -- PAVČEKOVÁ, M. APABD 2018. Brno: VUT - Brno University of Technology, 2018, s. 174--178. ISBN 978-80-7204-999-8. prís. v zbor. 2018

KOVÁČ, J. Faktory ovplyvňujúce vlastnosti povlakových hydroizolačných materiálov a ich testovanie v procese UV degradácie. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering. Bratislava: Spektrum STU, 2018, s. 383--392. ISBN 978-80-227-4864-3. prís. v zbor. 2018

KOVÁČ, J. -- PALKO, M. -- KLEINOVÁ, A. Kvalitatívne požiadavky na strešné povlakové krytiny z hľadiska UV degradácie. In JAMRICH, E. -- PALKO, M. -- PALKOVÁ, A. -- KOVÁČ, J. -- KRÁĽOVÁ, B. -- BOSÁK, L. Strechy 2021. Bratislava: Spektrum STU, 2021, s. 162--168. ISBN 978-80-227-5152-0. prís. v zbor. 2021

KOVÁČ, J. -- PALKO, M. Laboratórne testovanie vybraných strešných fóliových hydroizolácií v kontexte UV degradácie. In JAMRICH, E. -- PALKO, M. -- KOVÁČ, J. -- KRÁĽOVÁ, B. Strechy 2019. Bratislava: Spektrum STU, 2019, s. 165--174. ISBN 978-80-227-4958-9. prís. v zbor. 2019

KOVÁČ, J. Mechanické vlastnosti fóliových povlakových hydroizolačných materiálov na báze mPVC. In Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering. Bratislava: Spektrum STU, 2019, s. 301--309. ISBN 978-80-227-4972-5. prís. v zbor. 2019

KOVÁČ, J. -- PALKO, M. Múzeum a galéria fotografií. Diplomová práca. 2017. zp 2017

BOSÁK, L. -- KOVÁČ, J. Optimization of biocomposite materials for outer shell of buildings. In HRAŠKA, J. - - HANULIAK, P. -- HARTMAN, P. Proceedings of the enviBUILD 2019: Buildings and Environment. Bratislava, 7th November 2019. 1. vyd. Warsaw : De Gruyter Poland, 2020, s. 24--29. ISBN 978-83-956696-9-9. prís. v zbor. 2020

PALKO, M. -- BOSÁK, L. -- BOHUNICKÝ, B. -- HOLLÝ, J. -- PALKOVÁ, A. -- CRUZ, S. -- BLAŽO, A. -- KOVÁČ, J. - - VAVROVIČ, B. -- FRANEK, M. -- RABENSEIFER, R. -- PAVČEKOVÁ, M. -- MAŇKOVÁ, L. -- MINAROVÍČOVÁ, K. -- HANULIAK, P. -- SZABÓ, D. -- VARGOVÁ, A. -- ŠUJANOVÁ, P. -- ČEHEĽOVÁ, D. -- BIELEK, B. -- TOMAŠOVIČ, P. -- DRŽKA, M. -- DEÁKOVÁ, K. Selected laboratory instrumentation of building physics. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2017. ISBN ISBN 978-80-7204-968-4. monografie 2017

JAMRICH, E. -- PALKO, M. -- KOVÁČ, J. -- KRÁĽOVÁ, B. Strechy 2019. Bratislava: Spektrum STU, 2019. ISBN 978-80-227-4958-9. zborník 2019

JAMRICH, E. -- PALKO, M. -- PALKOVÁ, A. -- KOVÁČ, J. -- KRÁĽOVÁ, B. Strechy 2020. Bratislava: Spektrum STU, 2020. ISBN 978-80-227-5059-2. zborník 2020

JAMRICH, E. -- PALKO, M. -- PALKOVÁ, A. -- KOVÁČ, J. -- KRÁĽOVÁ, B. -- BOSÁK, L. Strechy 2021. Bratislava: Spektrum STU, 2021. ISBN 978-80-227-5152-0. zborník 2021

PALKO, M. -- KOVÁČ, J. -- PALKOVÁ, A. Testovanie fóliových hydroizolácií na UV degradáciu v laboratórnych podmienkach. Strechár, 22. s. 25--27. čl. v čas. 2021

KOVÁČ, J. -- PALKO, M. Vlastnosti kvalitnej strechy v kontexte UV degradácie. In JAMRICH, E. -- PALKO, M. -- PALKOVÁ, A. -- KOVÁČ, J. -- KRÁĽOVÁ, B. Strechy 2020. Bratislava: Spektrum STU, 2020, s. 30--38. ISBN 978-80-227-5059-2. prís. v zbor. 2020