VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

ANALÝZA ŽIVOTNOSTI STŘEŠNÍCH PVC FÓLIÍ
ANALYSIS OF THE LIFE SERVICE OF PVC ROOFING FOILS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Pavel Rosecký
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Pavel Rosecký
Název	Analýza životnosti střešních PVC fólií
Vedoucí práce	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

NOVOTNÝ, M., MISAR, I., ŠUTLIAK, S. Hydroizolace plochých střech, Grada Publishing, a.s., Praha, 2014, ISBN 978-80-247-5002-6.
DEPLAZES, A. Constructing and architecture materials processes struktures, p.214–218., Berlín: 2005 Birkhäuser – Publishers for Architecture ISBN: 9783764386313.
DUCHÁČEK, V. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití, VŠCHT v Praze, Praha 2006, ISBN 80-7080-617-6, 280 p.
MLEZIVA, J., ŠŇUPÁREK, J. Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití, Sobotáles, Brno 2000, ISBN 80-85920-72-7, 544 p.
ČSN EN 1297 a další příslušné technické normy a odborná literatura.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

PCV fólie patří v současnosti mezi oblíbené hydroizolační materiály určené k pokrývání plochých i šikmých střech. Moderní PVC fólie nacházejí uplatnění nejen v novostavbách, ale také v sanacích starých střech. Životnost PVC, stejně jako všech polymerních stavebních materiálů, je ovlivněna působením klimatických podmínek, zejména pak UV zářením. Tato práce bude zaměřena na sledování životnosti PVC střešních fólií a bude řešena ve spolupráci s firmou STAVEBNINY DEK.
V diplomové práci proveďte:
1. Popište nejčastěji používané typy střešních PVC fólií a jejich aplikace.
2. Za použití tuzemské a zahraniční odborné literatury zpracujte rešerši zaměřenou na problematiku hodnocení životnosti PVC fólií.
3. Proveďte testování vybraných typů PVC fólií dle dostupných českých a evropských norem zabývajících se stárnutím povlakových hydroizolací. Proveďte případnou úpravu této metodiky za účelem přiblížení se výsledkům zjištěným u vzorků, které byly vystaveny přirozenému stárnutí.
4. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků a rozbor problematiky s praktickými dopady do stavební praxe.
Rozsah práce 60–80 stran.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:
1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Střešní fólie jsou již řadu let známé stavební materiály pro hydroizolaci střech, ale otázka jejich životnosti není doposud zcela známá. Tato diplomová práce je proto zaměřena na problematiku životnosti střešních fólií. V teoretické části popisuje možné složení fólií a vlivy, které napomáhají degradačním procesům. Praktická část upravuje metodiku umělého stárnutí, kterou simuluje v komorách QUV tester a Q-SUN XE3 tester. Dále se snaží s výsledky co nejblíže přiblížit stárnutí přirozenému. Testováním zachycuje vlastnosti, které jsou k degradaci nejnáchylnější.

KLÍČOVÁ SLOVA

STŘEŠNÍ FÓLIE, HYDROIZOLACE, DEGRADACE POLYMERŮ, ŽIVOTNOST POLYMERŮ, UV ZÁŘENÍ, UMĚLÉ STÁRNUTÍ, FTIR, PVC, TPO

ABSTRACT

Roofing foils are known for several years as building material for roof hydro insulation but their life service is not yet fully known. This thesis is focused on problematics of life service of roofing foils. In theoretical part there is discribed structure of foils and impacts which assist degradation processes. Practical part modifies the methodology artificial aging which is simulated in QUV tester and Q-SUN XE3 tester lumber-rooms. The thesis is trying reach with the results to natural aging as close as possible. The testing captures attributes which are more prone to degradation.

KEYWORDS

ROOFING FOIL, HYDRO INSULATION, POLYMER DEGRADATION, DURABILITY OF POLYMERS, UV RADIATION, ARTIFICIAL AGING, FTIR, PVC, TPO

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Pavel Rosecký *Analýza životnosti střešních PVC fólií.* Brno, 2019. 91 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Analýza životnosti střešních PVC fólií* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 3. 1. 2019

Bc. Pavel Rosecký
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Analýza životnosti střešních PVC fólií* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 3. 1. 2019

Bc. Pavel Rosecký
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na prvním místě patří poděkování doc. Ing. Nikol Žižkové, Ph.D. za cenné rady a trpělivost během zpravování této práce. Poděkování dále patří Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. a kolektivu firmy stavebniny DEK, a. s. za užitečné rady připomínky týkající se práce a střešních fólií. Poděkování také patří Ing. Tomáši Melicharovi, Ph.D. za ochotu a rady během provádění procesu umělého stárnutí fólií a Ing. Lence Mészárosové, Ph.D. za ochotu při snímkování vzorků mikroskopem. Dále bych rád poděkoval doc. RNDr. Pavlovi Rovnaníkovi, Ph.D. za provedení zkoušky FTIR a rady s jejím vyhodnocením. V neposlední řadě patří poděkování přítelkyni a rodině za podporu během studia.

Obsah

ÚVOD 11

CÍL PRÁCE 12

TEORETICKÁ ČÁST 12

1. MATERIÁLY 12

1.1 TPO (Termoplastický polyolefin) 12

1.2 PVC (Polyvinylchlorid) 13

2. PŘÍSADY DO POLYMERŮ 15

2.1 Plniva 15

2.2 Pigmenty 15

2.3 Nadouvadla 15

2.4 Maziva 16

2.5 Měkčení PVC 16

2.6 UV stabilizátory 17

2.7 Tepelné stabilizátory 18

2.8 Další typy stabilizátorů 18

3. DEGRADACE POLYMERŮ 18

4. ODOLNOST POLYMERŮ 19

4.1 Odolnost vůči slunečnímu záření 19

4.2 Odolnost vůči působení vody a vlhkosti 21

4.3 Odolnost vůči kyslíku 21

4.4 Odolnost vůči ozonu 21

4.5 Odolnost vůči vysokým teplotám 21

4.6 Odolnost vůči působení větru a mikročástic v ovzduší 22

4.7 Odolnost vůči povětrnosti 22

4.8 Odolnost vůči biologickým činitelům *22*

4.9 Odolnost vůči mechanickému namáhání *22*

4.10 Odolnost vůči ohni *23*

5. ZABRAŇOVÁNÍ DEGRADACI 23

6. VÝROBA VRSTVENÝCH FÓLIÍ 23

7. SKLADBA STŘEŠNÍCH FÓLIÍ 25

7.1 Podkladní vrstva *25*

7.2 Výztužná vrstva *26*

7.3 Lícová vrstva *26*

8. STŘECHY 26

8.1 Jednoplášťové střechy *27*

8.2 Víceplášťové střechy *29*

8.3 Kotvení střešní fólie *30*

8.4 Poruchy plochých střech *30*

PRAKTICKÁ ČÁST 33

9. ETAPIZACE PRÁCE 33

9.1 První etapa – výběr zkušebních vzorků *33*

9.2 Druhá etapa – analýza zkušebních metod *34*

9.3 Třetí etapa – experimentální analýza *35*

10. PRVNÍ ETAPA – VÝBĚR ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ 35

11. DRUHÁ ETAPA – ANALÝZA ZKUŠEBNÍCH METOD 36

11.1 Zkouška umělého stárnutí *36*

11.2 Stanovení změny barevnosti *39*

11.3 Stanovení tahových vlastností *41*

11.4 Stanovení změny tloušťky *42*

11.5 Stanovení ohebnosti za nízkých teplot *42*

11.6 Stanovení změny povrchu vzorku mikroskopem *43*

11.7 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) *43*

12. TŘETÍ ETAPA – EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA 44

12.1 Stanovení změny barevnosti *44*

12.2 Stanovení tahových vlastností *46*

12.3 Stanovení změny tloušťky *62*

12.4 Stanovení ohebnosti za nízkých teplot *63*

12.5 Stanovení změny povrchu vzorku mikroskopem *73*

12.6 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) *82*

ZÁVĚR 84

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 85

SEZNAM OBRÁZKŮ 88

SEZNAM TABULEK 90

SEZNAM GRAFŮ 91

Úvod

Celá Země je dnes obklopena různými druhy plastů od běžně používaných až po ty, které jsou velmi specifické. Proto také v poslední době zaznamenalo a stále zaznamenává toto odvětví průmyslu svůj růst. Plasty jsou dnes především díky svým specifickým vlastnostem velmi rozšířené. Používají se pro velmi širokou škálu aplikací od běžných až po velmi atypické. Mezi nejběžněji používané druhy plastů patří polyvinylchlorid, polystyren, polyuretany, nebo polykarbonáty. Nejčastější aplikace ve stavebnictví jsou pak zateplení objektů, izolace proti vlhkosti, výroba profilů pro okna, zastřešení objektů, nebo dokonce zlepšování bezpečnosti objektů díky speciálním fóliím, které jsou využívány při výrobě skleněných výplní otvorů.

Vznik samotných hydroizolačních fólií úzce souvisí s rozvojem organické chemie ve 20. letech dvacátého století. Střešní fólie se používají, jak už jejich název napovídá, k izolaci střech proti vodě a vlhkosti. Nemají sice takovou tradici, jako asfaltové pásy, ale s úspěchem se již desítky let využívají. Střešní fólie stejně jako asfaltové pásy stále procházejí vývojovým procesem, díky kterému se neustále mění jejich kvalita a to díky využívání ekologičtějších alternativních materiálů. Proto je důležité vědět jak a proč tyto výrobky stárnou a co se s nimi děje. V současné době jsou pro střešní krytiny používány dva typy polymerních fólií. Jedná se o fólie z PVC (polyvinylchlorid), nebo TPO (termoplastický polyolefin). Dlouhodobě nejpoužívanějším typem jsou fólie z PVC. Nejčastější aplikace těchto fólií jako střešní krytiny je na plochých střechách, které jsou definované maximálním sklonem 5°. V moderním stavebnictví, a především na velkých administrativních objektech je použití ploché střechy často jediná možnost. Použití při stavbě rodinných domů má pak tu výhodu, že poslední podlaží je možné plnohodnotně využít bez šikmých ploch jako v případě tradiční konstrukce šikmé střechy.

I přes to, že jde dnes již o tradiční hydroizolaci, není zcela známé její chování, protože se neustále upravují receptury. Kvůli používání ekologičtějších materiálů není jednoduché mezi sebou jednotlivé výrobky porovnávat. Normy a vyhlášky se snaží vlastnosti fólií globalizovat, což rozhodně není možné, protože jiným podmínkám bude fólie jen v rámci Evropy vystavena ve španělském Madridu, nebo v norském městě Alta.

Cíl práce

Cílem této práce je analýza povlakových střešních izolací, konkrétně fólií vyrobených z PVC. Tento typ hydroizolace střech je znám již řadu let, ale dosud není otázka odolností těchto fólií proti stárnutí zcela známa. Proto se bude tato práce zabývat zkoušením nových, běžně dostupných, střešních fólií. Během procesu umělého stárnutí budou fólie vystaveny působení zvýšené teploty, ostřiku vodou a především působení UV záření. Následně po podrobení stárnutí budou testovány vlastnosti fólií a zkoumány jejich změny ve srovnání s referenčními vzorky vystavenými působení v přirozených podmínkách. Vzorky po zestárnutí budou podrobeny zkoušce změny barevnosti, změně tahových vlastností a změně tloušťky. Dále bude zkoušen ohyb za nízkých teplot. Povrch vzorků bude pozorován optickým mikroskopem a bude provedena zkouška FTIR pro stanovení změny chemického složení vzorků. Pro porovnání výsledků a přiblížení výsledků zkoušky reálným podmínkám bude testován i vzorek, který je po dobu dvou let vystaven přirozenému stárnutí na střeše Experimentálního centra DEK v Brně.

Teoretická část

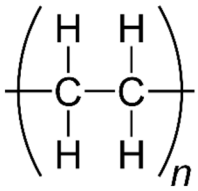
1. Materiály

Hydroizolační fólie se vyrábí z různých materiálů. Tím se i zásadně liší způsob jejich výroby, zpracování a vlastností. Nejpoužívanější materiály jsou TPO a PVC. Proto bude v následujících kapitolách ve zkratce shrnuta jejich výroba.

1.1 TPO (Termoplastický polyolefin)

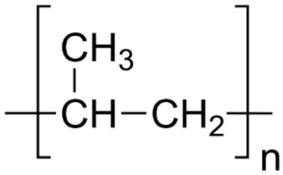
Polyolefiny vznikají polymerací olefinových uhlovodíků. Největší význam mají polyethylen a polypropylen, což jsou polymery, které jsou vyráběny v největším objemu. Jejich výroba totiž vychází z etylenové a propylenové frakce při destilaci ropy. Není tedy založena na chemické syntéze jako ostatní polymery.

Polyethylen (PE) [Obr. 1] se podle podmínek při polymeraci vyrábí různým způsobem s odlišným větvením makromolekul. Způsob výroby je tak odražen ve schopnosti krystalizace a hustotě. Polyethylen se dělí na tři základní typy. Jedním je nízkohustotní polyethylen s rozvětvenými makromolekulami (LDPE – low density polyethylene). Druhým je vysokohustotní polyethylen s lineárními makromolekulami (HDPE – high density polyethylene). Posledním typem je lineární nízkohustotní polyethylen (LLDPE – linear low density polyethylene), který nemá sekundární větvení makromolekul. [1, 2, 3, 4, 6, 8]



Obr. 1 Vzorec polyethylenu (PE) [1]

Polypropylen (PP) [Obr. 2] je svými vlastnostmi velmi podobný polyethylenu, ale jeho mechanické vlastnosti jsou lepší. Nevýhodou je pak křehkost při nižších teplotách. Použití je také podobné polyethylenu, ale pro své lepší mechanické vlastnosti je častěji využíván jako tzv. konstrukční plast. Jedním z charakteristických rysů polypropylenu je jeho schopnost dosáhnout vysoké plastické deformace. [1, 2, 3, 4, 6]



Obr. 2 Vzorec polypropylenu (PP) [1]

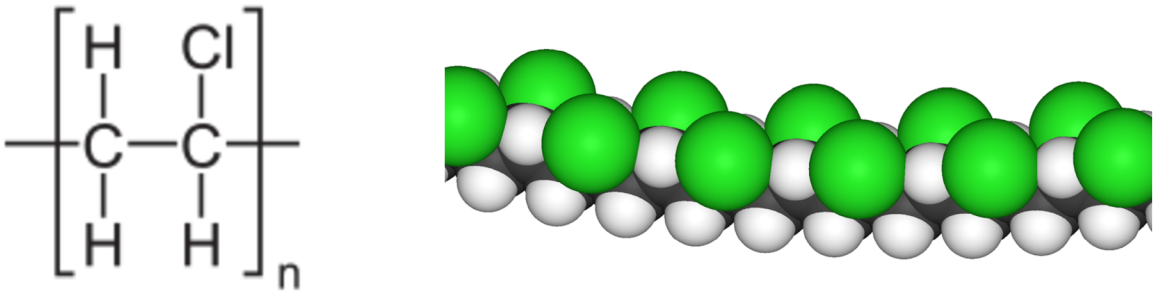
1.2 PVC (Polyvinylchlorid)

PVC patří mezi jeden z nejstarších typů plastických hmot, který je od svého objevení v roce 1835 stále nejvíce vyráběnou plastickou látkou [Obr. 3]. PVC se vyrábí polymerací vinylchloridu [Obr. 4]. Vinylchlorid je plyn, který lze snadno zkapalnit. Tento plyn však velmi snadno polymeruje. V důsledku toho je nutné ho během skladování stabilizovat. Stabilizace probíhá nejčastěji hydrochinonem, nebo butylkatecholem. Před samotnou řízenou polymerací je nutné tyto látky z vinylchloridu odseparovat, což se provádí destilací. Při výrobě PVC je nejčastěji využívána suspenzní a emulzní polymerace. Méně často je pak využívána polymerace bloková, roztoková, nebo

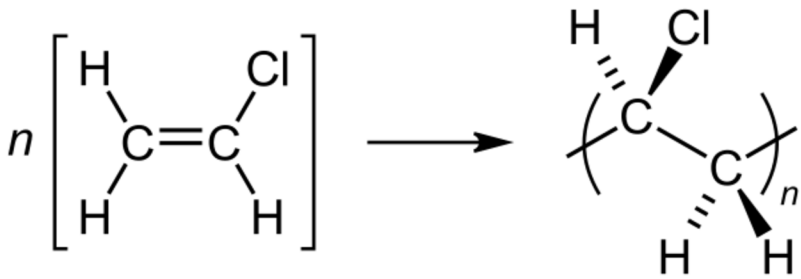
srážecí. Polymerace je exotermická reakce a proto jsou reaktory ve kterých k polymeraci dochází chlazeny. Chlazení je prováděno nejčastěji vodou. Při reakci je v reaktoru zvýšený tlak. Obvykle jde o rozmezí od 0,3 do 1,2 MPa a teplota bývá nejčastěji v rozmezí 30–70 °C. Po ukončení polymerace je zreagováno přibližně 90–95 % monomeru. Zbytek monomeru musí být z reaktoru odstraněn, což probíhá tzv. stripováním. Samotné stripování se nejčastěji provádí za zvýšené teploty dusíkem, nebo parou. Dalším krokem při výrobě PVC je jeho sušení.

Při suspenzní polymeraci je monomer mechanicky dispergován v kapalině, do které je přidáno malé množství stabilizátoru. Polymer je získáván ve formě jemných perliček. Při této polymeraci je množství přidaných látek daleko nižší než při emulzní polymeraci. PVC vyrobené touto cestou je tepelně stabilnější a jeho mechanické vlastnosti jsou také lepší.

Při emulzní polymeraci je monomer emulgovaný ve vodě, ve které je přidán emulgátor. Ze vzniklé směsi vzniká během polymerace latex s velmi jemnými částicemi rozptýlenými ve vodě. Touto polymerací vzniká tzv. pastotvorné PVC. [2, 3, 4, 5, 6]



Obr. 3 Základní jednotka a model PVC [5]



Obr. 4 Vznik PVC [5]

2. Přísady do polymerů

V dnešní době je používání čistých polymerů prakticky nemožné, a to kvůli velmi různorodým požadavkům na ně. Používá se tak velké množství přísad, které dokáží jejich vlastnosti zcela změnit. Koncentrace přísad je závislá na požadovaných vlastnostech. Každá z přísad má svůj podíl i na životnosti polymerů. Některé životnost ovlivňují příznivě, jiné naopak negativně.

2.1 Plniva

Plniva jsou velmi důležité přísady, které významně ovlivňují vlastnosti polymerů. Více než vlastnosti polymerů jsou však ovlivňovány vlastnosti samotných výrobků z nich vyrobených. Pomocí kvality, ale také množstvím plniva jsou vlastnosti ovlivňovány ve velmi širokém rozmezí. Nejčastěji se plniva používají ve formě prášku nebo krátkých vláken. Prášková plniva se velmi často granulují, a to z důvodu snížení prašnosti při výrobě, nebo snazšího navažování. Při míchání směsi se pak granule rozpadnou na prášek, ze kterého byly vyrobeny. Dávkování plniv se pohybuje v rozmezí setin do stovek hmotnostních procent. [2, 3, 4, 6]

2.2 Pigmenty

Pigmenty neboli barviva jsou nejčastěji ve formě prášku, který je v polymeru nerozpustný a tím polymeru dává barvu. Pigmenty lze rozdělit do tří základních skupin. Organické, anorganické pigmenty a práškové kovy. Pigmenty, které se používají k vybarvování polymerů se nesprávně označují jako vulkánová barviva. Musí mít zaručenou stálost barvy i po zahřátí při zpracování. [2, 3, 4, 6]

2.3 Nadouvadla

Nadouvadla se používají při výrobě lehčených polymerních hmot. Nadouvadla jsou takové látky, které se za zvýšené teploty při vytváření výrobků rozkládají a vznikající plynné produkty tak směs provzdušňují. Nejčastěji uvolňovaný plyn je dusík nebo oxid uhličitý. Jako jedno z prvních nadouvadel byly používány uhličitan amonný a hydrogenuhličitan sodný. Brzy se začalo užívat dalších látek jako jsou například chloridy, nebo dusitany. Všechny tyto látky jsou anorganické, velmi levné, ale obtížně

dispergovatelné. Jejich další nevýhodou je jejich samovolné rozkládání při dlouhodobém skladování. Proto se od těchto nadouvadel ustoupilo a v dnešní době jsou tak využívána nadouvadla organická. [2, 3, 4, 6]

2.4 Maziva

Tyto přísady byly vyvinuty pro usnadnění zpracování polymerů. Typickými zástupci těžko zpracovatelnými polymery jsou PVC, PF4, nebo PS. Maziva jako taková nejen že usnadňují zpracování, ale mnohdy zlepšují vlastnosti polymerů. Ke zlepšení dochází nejvýrazněji v tepelné a světelné stabilitě výrobků, popřípadě pak jejich vzhledu. [2, 3, 4, 6]

Maziva s vnějším účinkem

Jsou to látky, které jsou v polymeru málo rozpustné. Po rozpuštění vystupují na povrch a vytváří na výrobku film, který usnadňuje oddělení výrobku od formy pro zpracování.

Maziva s vnitřním účinkem

Látky, které jsou v polymeru dobře rozpustné a snižují tak viskozitu taveniny čím je snazší zpracování, při kterém dochází ke snížení množství tepla vzniklého třením při výrobě finálních výrobků.

Podle chemického složení se pak dělí na:

uhlovodíky.

mastné kyseliny.

vosky.

těžké alkoholy.

vícesytné alkoholy.

2.5 Měkčení PVC

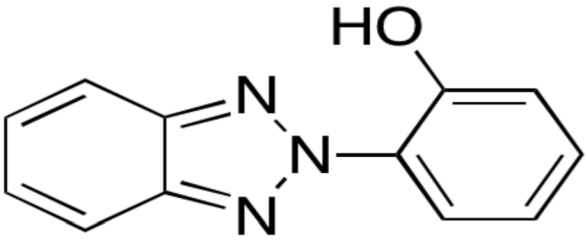
Z PVC se při teplotách nad 180 °C uvolňuje kyselina chlorovodíková. To je důvod, proč drtivá většina výrobků, které jsou z PVC vyrobeny, nejsou z čistého PVC. Směs, která se zpracovává obsahuje právě kvůli rozkladu PVC i další látky, které upravují jeho vlastnosti jako jsou například chemické, fyzikální nebo mechanické. Tyto látky musí být vhodně použity a jsou to například stabilizátory. Dalšími látkami, které jsou v PVC obsaženy mohou být změkčovadla, plniva, pigmenty, maziva, nebo nadouvadla. Každá z těchto látek neovlivňuje jen vlastnosti, ale také technologii zpracování. PVC je zpracováváno na dva základní výrobky, tvrdé a měkčené PVC. Výrobky z tvrdého

PVC obsahují minimální množství změkčovadel. Jejich množství se pohybuje mezi 0–4 %. Je to velmi nepatrné množství, ale na vlastnostech výsledného výrobku je to i přesto znát. Pokud mluvíme o PVC měkčeném, pohybuje se množství změkčovadel i nad 30 %. Změkčovadla jsou těkavé organické látky, které dodávají polymerům ohebnost. Principem změkčovadel je zvyšování vnitřní pohyblivosti makromolekulárních řetězců polymerů. Změkčování PVC se provádí rozpouštědly, která způsobují oddalování molekul, čímž dochází k bobtnání. Díky rozpouštědlům lze dosáhnout podstatně lepší ohebnosti PVC, která je pro střešní fólie velmi důležitá. Nejčastěji se jedná o těkavé organické látky, které jsou buď v kapalném, nebo sypkém stavu. [2, 3, 4, 6, 7]

2.6 UV stabilizátory

UV stabilizátory zpomalují degradační procesy v důsledku slunečního záření. Pro polymery je všeobecně nejhorší UV záření, které vyvolává vznik volných radikálů, což jsou volné nebo nepárové elektrony. Tyto nově vzniklé radikály mohou vyvolat degradační procesy. Degradační procesy jsou v základě dva – štěpení, nebo síťování makromolekul. Proto se v rámci ochrany přidávají právě UV stabilizátory. Tyto látky UV buď absorbují, nebo vůbec nepropustí. Při absorbci UV záření dojde k jeho přeměně na tepelnou energii, nebo na záření o větší vlnové délce, které je pro polymery téměř neškodné.

Nejčastěji využívanými a nejúčinnějšími UV stabilizátory pro PVC jsou saze a oxid titaničitý. Použitím těchto dvou látek ale značně omezuje barevné provedení PVC na odstíny šedé. Další využívané stabilizátory jsou hydroxyfenylbenzotriazoly [Obr. 5], benzofenonové deriváty a stéricky stíněné amini (HALS – z anglického Hindered Amine Light Stabilizers). [2, 3, 4, 6, 8, 15]



Obr. 5 Vzorec hydroxyfenylbenzotriazolu [19]

2.7 Tepelné stabilizátory

Účinek těchto stabilizátorů je spíše krátkodobý a mají proto za úkol ochránit polymer během výroby a zpracování. Protože je jejich účinek časově velmi omezen, musí být výrobky, které mají zvýšené teplotě odolávat dlouhodobě vyrobeny z takového typu polymeru, který je svým chemickým složením pro toto vhodný. Při tepelné degradaci PVC dochází k odštěpování chlorovodíku (HCl) z řetězce makromolekuly. Při tepelné destrukci nedochází k tak výrazným změnám mechanických vlastností jako při působení UV záření. Znehodnocení materiálu se projevuje nejnápadněji změnou barvy výrobků. Tepelná stabilizace PVC důležitá je tedy tolik důležitá, protože dokáží do určité míry zabránit změně zabarvení. [2, 3, 4, 6]

2.8 Další typy stabilizátorů

Do této skupiny patří tzv. stabilizátory se specifickým účinkem. Tyto mají zabraňovat stárnutí polymerů působením vlivů atmosféry – zejména pak vody, kyslíku, ozonu, nebo různých mikroorganismů. Skupina těchto stabilizátorů často bývá nazývána jako antidegradanty a ty chrání polymery během jejich užívání. [2, 3, 4, 6]

3. Degradace polymerů

Degradaci neboli korozi polymerů je možné definovat jako změnu jejich chemického složení, která je velmi nežádoucí. Polymery se oproti jiným látkám vyznačují dobrou odolností proti korozi. Ta může u polymerů nastat již při poslední fázi výroby, nebo zpracování. Degradací polymerů se rozumí změna struktury a vlastností způsobených rozkladnými reakcemi, které v polymeru probíhají. Degradace jako taková má dva kroky. První, jako již bylo zmíněno nastává hned při zpracování. Tento krok je velmi intenzivní a je způsoben především vysokou zpracovací teplotou. Druhý krok, při kterém probíhají reakce v již tuhém polymeru jsou pomalé, ale o to déle trvají. Mezi tyto reakce patří dehydrochlorace, fotooxidace, nebo termická degradace. Jedním z druhů degradace polymerů je i jejich stárnutí, které je vyvolávané různými vnějšími vlivy, jako jsou zvýšená teplota, sluneční záření a podobně.

U polymerů probíhá během stárnutí celá řada změn, které jsou důsledky chemických, nebo fyzikálně chemických procesů. To, jak dokáží polymery vzdorovat těmto procesům je jedním z nejdůležitějších faktorů. Je tím dána jeho životnost a možnost

použití. Zároveň lze říci, že čím kvalitnější polymer, tím kvalitnější výrobky. Podrobnější analýza procesu stárnutí polymerů je velmi důležitá, protože lze různě upravovat jejich složení, avšak tento proces dosud není detailně zmapován. Tedy i přes velký počet studií, které jsou na toto téma zpracovány je v otázkách degradace polymerů mnoho neznámých. Kvůli stálému vývoji polymerů není možné brát například pětileté studie jako relevantní. [2, 3, 4, 6, 8]

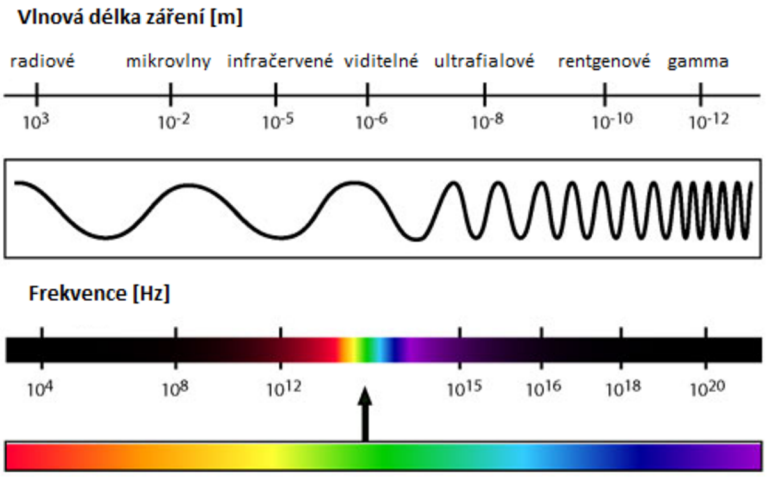
Stárnutí polymerů lze rozdělit do dvou skupin. První skupinou je stárnutí přirozené, druhou skupinou je stárnutí umělé, nebo simulované.
Stárnutí, ať už přirozené, nebo umělé lze shrnout několika procesy, které na Zemi běžně probíhají. Jsou to například:
sluneční záření.
působení vody a vlhkosti.
střídání teplot.
mikročástice v ovzduší.
působení chemických látek v ovzduší.

4. Odolnost polymerů

Při vystavení polymerních materiálů přírodním podmínkám jsou napadány mnoha faktory. Intenzita působení jednotlivých faktorů se liší podle způsobu uložení polymeru, roční doby, zeměpisné polohy, nadmořské výšky, způsobu zabudování polymeru do konstrukce a mnoho dalších. Působení všech těchto jevů a to jednotlivě, nebo v různých kombinacích lze označit jako stárnutí polymerů. [8, 9]

4.1 Odolnost vůči slunečnímu záření

Sluneční záření má na stárnutí polymerů zásadní vliv. Zejména pak UV (ultraviolet) záření, které představuje přibližně 5 % z celkové sluneční radiace. Toto záření je definováno vlnovou délkou od 100 do 400 nm a lze ho rozdělit do tří skupin a nachází se tak mezi rentgenovým zářením a viditelným spektrem [Obr. 6].



Obr. 6 Vlnové délky záření [20]

UV-A

Záření s vlnovou délkou 320 – 400 nm. Tento typ UV záření je nejméně pohlcován atmosférou a proto tvoří největší část UV záření, které dopadá na zemský povrch. Jedná se ale o nejméně škodlivou složku UV záření.

UV-B

Záření s vlnovou délkou 280 – 320 nm. Toto záření je nebezpečné, ale je z velké části pohlcováno atmosférou. Kolik UV-B záření atmosférou pronikne je přímo závislé na tloušťce ozonové vrstvy.

UV-C

Záření s vlnovou délkou 100 – 280 nm. Je to poslední typ UV záření. Nejškodlivější část záření je právě mezi 100 a 280 nm. Tato část je pohlcována atmosférou a na Zemi pak dopadá do 10 % UV-B a 99 % UV-A záření.

Množství UV záření dopadajícího na Zemi je dáno složením atmosféry v daném místě. V závislosti na ozonové vrstvě se může procentuální zastoupení UV záření dopadajícího na povrch země velmi lišit.

Většina polymerů na UV záření reaguje negativně, a proto je nutné je proti tomuto záření stabilizovat (UV stabilizátory budou popsány v jedné z následujících kapitol). Konkrétně u PVC dochází vlivem UV záření k uvolňování HCl. Polymery jsou poškozovány jak UV zářením, tak i viditelným spektrem slunečního záření u kterého hraje největší roli jeho množství dopadající na jeho povrch. [8, 9, 15, 18]

4.2 Odolnost vůči působení vody a vlhkosti

Voda v kapalném skupenství má také velký vliv na stárnutí fólií. Voda totiž vymývá chemické látky, které fólie obsahuje. Postupem času tak fólie přestává být pružnou a stává se křehkou. Dále pak dochází k ubývání UV stabilizátorů, kvůli čemu se fólie opět stává křehkou a mění se i její barva. [2, 3, 8]

4.3 Odolnost vůči kyslíku

Vzdušný kyslík má schopnost oxidovat organické sloučeniny. Oxidací dochází ke změnám fyzikálních vlastností, což je nepříznivé. Na odolnost polymerů má vedle chemického složení vliv také difuze a rozpustnost kyslíku v polymeru. Tato vlastnost lze označit jako propustnost polymeru pro kyslík. Oxidace je autokatalytický proces, kde vznikající rozkladné produkty jsou zároveň iniciátory i katalyzátory rozkladných reakcí. Složitější je tento proces u PVC, kde oxidaci komplikuje uvolňování chlorovodíku za vzniku dvojných vazeb. [2, 3, 8]

4.4 Odolnost vůči ozonu

Ozon je plyn složený ze tří atomů kyslíku. Je přirozenou součástí atmosféry. Vzniká v jejích horních vrstvách díky rozkladu kyslíku. Tento rozklad je způsoben zářením o vlnových délkách od 100 do 250 nm. Tento plyn se v atmosféře nachází v rozmezí jedné a deseti miliontin procent. I přes takto nízkou koncentraci způsobuje stárnutí polymerů. Reaguje na povrchu výrobku, kde vzniká tvrdá a křehká vrstva ozonidu. Používáním výrobků dochází k praskání této vrstvy, odhaluje se tak nový povrch, kde opět vzniká nová ozonidová vrstva. Tento jev pokračuje do té doby, než dojde k mechanickému poškození výrobku. [2, 3, 8]

4.5 Odolnost vůči vysokým teplotám

Cyklické střídání teplot fóliím také příliš nesvědčí. Ostatně s tímto jevem má problém snad každý materiál, především když jde o kombinaci s vodou nebo vlhkostí. Je prokázáno, že pokud dojde ke zvýšení teploty o 10 °C, tak se rozkladná reakce polymerů až zdvojnásobuje. [2, 3, 8]

4.6 Odolnost vůči působení větru a mikročástic v ovzduší

Vítr nemá příliš vliv na degradaci polymerů. Nese s sebou ale mikročástice a chemické látky, které jsou součástí ovzduší a ty se spolu s výše zmíněnými vlivy podílí na degradaci. Svou roli zde hraje například prach, který v kombinaci s rychlostí větru působí na povrch fólie jako smirkový papír a postupně ji obrušuje. [2, 3, 8]

4.7 Odolnost vůči povětrnosti

Při vystavení polymerů povětrnosti na nich lze za čas pozorovat změnu barevnosti a při provádění zkoušek i změnu mechanických vlastností. Hodnocení právě této odolnosti je velmi složité. Zkoušky jsou zdlouhavé a jejich předpis nemá stejnou vypovídající hodnotu pro každou aplikaci. Zkoušení umělého nebo zrychleného stárnutí se provádí ve speciálních přístrojích, které budou podrobněji popsány v kapitolách 11.1.1 a 11.1.2. Na polymer v nich působí cyklicky se střídající prostředí, jako je zvýšená teplota, UV světlo, ostřik vodou, nebo kondenzace vlhkosti. [2, 3, 8]

4.8 Odolnost vůči biologickým činitelům

Biologická koroze, kterou lze označit také jako napadení mikroorganismy je nezanedbatelná. Mezi nejčastější mikroorganismy patří plísně. K biologické korozi dochází víceméně v každé zeměpisné poloze. Největší problém s biologickou degradací má měkčené PVC, nebo PVAL fólie. O náchylnosti polymerů k biologickému napadení nejčastěji rozhoduje jejich chemické složení, kde součástí polymerů je například uhlík, dusík, nebo další biogenní prvky, které mikroorganismy potřebují pro růst. Při růstu je produkována celá řada enzymů, které naleptávají povrch polymerů a vytváří tak vhodnější podmínky pro další růst. Tento problém často nastává u střešních fólií. Z tohoto důvodu se do některých střešních fólií, a to především těch, které jsou určeny pro vegetační střechy přidávají chemické látky, které zamezují růstu kořínků na povrchu fólie. [2, 3]

4.9 Odolnost vůči mechanickému namáhání

Při mechanickém namáhání, jako je například válcování nebo mletí, dochází kvůli vzdušnému kyslíku k degradaci jednotlivých polymerních řetězců. Právě proto se mechanické namáhání výrazně podílí na degradaci. Dochází jak k radikálové, tak

iontové degradaci. Rychlost průběhu degradace při mechanickém namáhání je závislá na frekvenci pohybu, velikosti částic, přítomnosti vzdušného kyslíku, teplotě, nebo struktuře polymeru. První mechanické namáhání probíhá již při výrobě, kde vlivem stoupajícího vnitřního napětí dochází k degradaci. [2, 3]

4.10 Odolnost vůči ohni

Téměř všechny polymery jsou za určitých podmínek hořlavé. Proto lze říci, že polymery v zásadě ohni neodolávají. Díky této neodolnosti je při aplikaci polymerů mnoho omezujících faktorů, které mnohdy vedou i k nahrazení polymerních a tedy hořlavých materiálů zcela jiným materiálem. Hoření polymerů je několikastupňový proces, kde se v žáru plamene polymer začíná rozkládat. Po vzplanutí vznikají nové produkty uvolňující rozkladné teplo díky kterému se rozkládají další části polymeru. Zároveň dochází ke vzplanutí nově vzniklých rozkladných produktů. Hoření proto nejlépe odolávají ty polymery, které potřebují na vznik nových rozkladných produktů velké množství tepla a zároveň při hoření těchto produktů se uvolní tepla co nejméně. [2, 3]

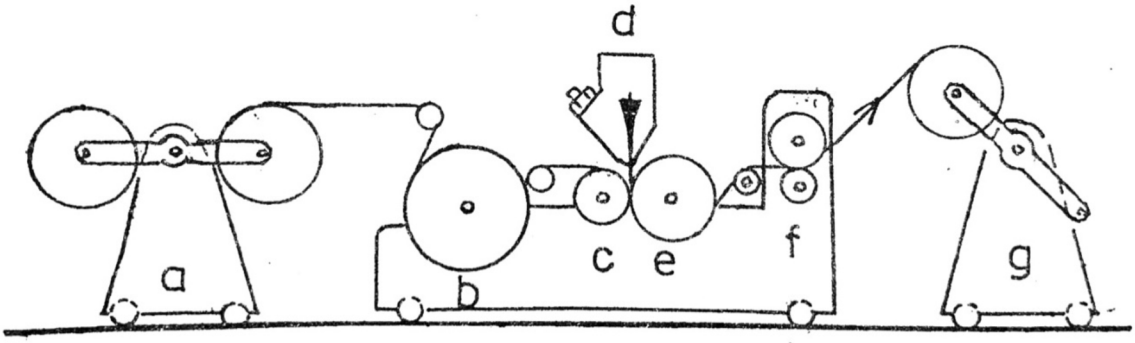
5. Zabraňování degradaci

Látky používané k zabraňování degradaci se označují jako antidegradanty. Zabraňování degradaci je totiž u polymerů stěžejní věc. Používá se proto mnoho chemických látek, které se přidávají jako přísady, a to buď v tekuté, nebo práškové formě. Ani sebelepší UV stabilizátory ale nedokáží po celou dobu životnosti zajistit plnou ochranu a postupem času, kdy jsou vymývány materiál degraduje. Stává se postupně křehčím a mění se i jeho barva. Při volbě druhu stabilizátoru je potřeba brát ohled na všechny látky, které jsou, nebo budou ve hmotě polymeru obsaženy. Zásadní vliv zde můžou mít například změkčovadla, barviva, nebo plniva. [2, 3, 4, 9, 18]

6. Výroba vrstvených fólií

Pro některé účely jsou z polymerů vyráběny vícevrstvé materiály. V tomto případě pak hovoříme o vrstvených, nebo laminovaných materiálech. Mohou být tvořeny jedním, nebo více druhy polymeru s možností kombinace s dalšími materiály. Vrstvené plošné

materiály jsou vyráběny celou řadou speciálních způsobů. Technologie těchto postupů je závislá na požadovaných vlastnostech, jakosti použitých materiálů a v neposlední řadě na ekonomické stránce věci. Pro výrobu různě silných plošných materiálů se používá různých postupů, nejčastěji pak výtlačné nanášení. Tato výrobní linka [Obr. 7] je složena z odvíjecího a navíjecího bubnu se šnekovým vytlačovacím strojem se štěrbinovou hubicí a dvojicí přítlačných válců.

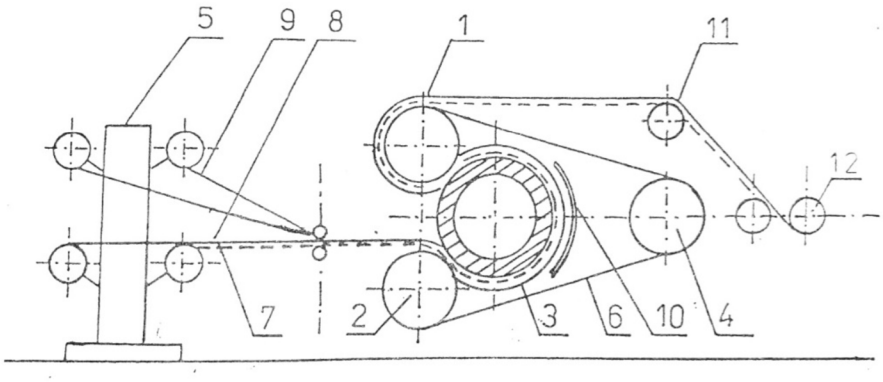


Obr. 7 Schéma linky pro výtlačné nanášení polymerů na podložku [3]

a – odvíjecí zařízení
b – předehřívací buben
c – opryžovaný přítlačný válec
d – štěrbinová hlava šnekového vytlačovacího stroje
e – chlazený leštící válec
f – odtahovací zařízení
g – navíjecí zařízení

Tavenina polymeru je vytlačována ústím ve tvaru fólie a párem válců je lisována k nosiči. Pracovní rychlost této linky je v závislosti na druhu nanášeného polymeru až 200 $m \cdot min^{-1}$. Výhody tohoto procesu jsou mimo nepřetržité výroby i možnosti nanášení vrstvy v šířce od 0,1 do 0,9 mm. Používá se pro nanášení polymerů na netavitelné fólie. Pokud je nanášeno společně několik vrstev různých polymerů jedná se o tzv. soustředné vytlačování (koextruze). Jde v podstatě o jednostupňový způsob výroby fólií, který má několik výhod. Mezi nejvýznamnější patří spojení jednotlivých vrstev před stykem fólie se vzduchem. Díky oxidaci vrstev na vzduchu totiž může dojít ke snížení soudržnosti jednotlivých vrstev výsledné fólie. Na druhé straně má tato metoda velký nedostatek. Především nemožnost zpracování odpadu, který při výrobě vzniká. V případě spojování stejných, nebo chemicky podobných polymerů může být použita výroba postupného nanášení vrstev. Naopak při spojování dvou zcela odlišných polymerů pak musí být použita metoda při které dochází k vytlačování vrstev současně s polymerní mezivrstvou kvůli které dochází k dostatečně pevnému spojení vrstev.

Tento způsob výroby se nazývá zdvojování fólií a používají se bubnové lisy [Obr. 8] Tyto lisy dokáží zpracovat tzv. nekonečné fólie. [2, 3, 4, 6, 8]

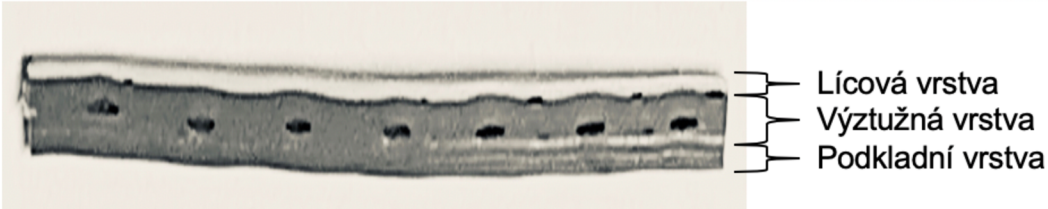


Obr. 8 Schéma bubnového lisu [3]

1 – tažný válec
2 – tlačný válec
3 – vyhřívaný buben
4 – napínací válec
5 – odvíjecí zařízení
6 – nekonečný pás
7 – textilní vložka
8 – rubová vrstva nánosu
9 – lícní vrstva nánosu
10 – přídavná topná tělesa
11 – chladící buben
12 – navíjecí zařízení

7. Skladba střešních fólií

Střešní fólie jsou poskládány z několika vrstev [Obr. 9]. Každá má svou funkci a tím je dáno jejich mírně odlišné složení. Všeobecně jsou vyráběné fólie dvouvrstvé, nebo třívrstvé. Jde tak o podkladní, výztužnou a lícovou vrstvu. Někdy může být podkladní a výztužná vrstva spojena v jednu.



Obr. 9 Skladba střešní fólie [foto: autor]

7.1 Podkladní vrstva

Nejčastěji jde o vrstvu tzv. podpůrnou. Při výrobě je na tuto vrstvu položena výztužná vložka a jde tedy o přechodně nosnou vrstvu na kterou jsou postupně nalaminovávány další vrstvy. Podkladní vrstva je velmi často barevně odlišena od té lícové. Je to z důvodu jiného složení, a především nemožnosti tuto stranu vystavit atmosférickým

vlivům. I přes to je tato vrstva ošetřena UV stabilizátory, ale ve velmi omezeném množství. [Obr. 9] [2, 3, 8]

7.2 Výztužná vrstva

Jak už z názvu této vrstvy vyplývá, vyztužuje fólii a tím jí dává podstatnou část vlastností. Pro výztuž se používá více materiálů. Volba vhodné výztuže závisí na použití dané fólie. Pokud jde o vegetační střechu, kde fólie tvoří především hydroizolační vrstvu (není kotvená, ale přitěžovaná), mohou být pro vyztužení použita skelná vlákna. Pokud jde ale přímo o střešní krytinu, která je vystavena atmosférickým vlivům (a je tedy kotvena), je nutné fólii vyztužit důkladněji. V těchto případech jsou jako výztuž nejčastěji použita polyesterová vlákna. Tato vlákna se pro zlepšení vlastností splétají do tkanin, nebo rohoží. [Obr. 9] [2, 3, 8]

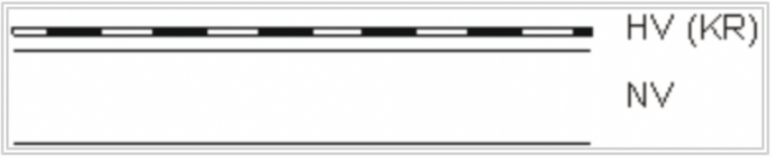
7.3 Lícová vrstva

Lícová vrstva tvoří „tvář“ střešní fólie. Podle výrobce se liší její barva, která se pohybuje mezi bílou a šedou. Tato vrstva musí být co nejvíce stabilizována proti UV záření. Bez těchto stabilizátorů by docházelo k tak rychlé degradaci, že by aplikace těchto fólií pozbývala smyslu. Při použití fólie jako hydroizolace na vegetační střeše musí být v lícové vrstvě přidána přísada, která zamezuje prorůstání kořínků. V tomto případě není nutné použít tolik UV stabilizačních látek. [Obr. 9] [2, 3, 8]

8. Střechy

Střechy jsou tvořeny ze dvou hlavních vrstev. Vrstvy nosné a vrstvy hydroizolační [Obr. 10]. Jak již bylo zmíněno, střešní fólie se nejčastěji používají pro hydroizolaci plochých střech. Existuje celá řada skladeb těchto střech, které budou popsány v následujících kapitolách. Podle počtu plášťů se ploché střechy dělí na tři druhy. Prvním druhem je střecha jednoplášťová, dalším dvouplášťová, a nakonec střecha několikaplášťová.
Volba počtu plášťů je úzce spojena s konkrétním objektem a tím, jak bude střecha využívána. Z toho tedy vyplývá, že jinou skladbu využijeme u novostavby, nebo u rekonstrukce. Dalším velkým rozdílem bude použití vegetační střechy, kde není

nutné mechanické kotvení hydroizolační vrstvy jako u „klasické“ střechy a je pro ni nejčastěji volena varianta jednoho pláště. [10, 11, 12, 14, 16]



HV – hydroizolační vrstva
(KR) - krytina
NV – nosná vrstva

Obr. 10 Základní vrstvy střechy [14]

8.1 Jednoplášťové střechy

Jednoplášťové ploché střechy jsou nejrozšířenějším typem plochých střech. Oproti víceplášťovým mají jednoplášťové střechy několik výhod. Mezi ty nejzásadnější patří menší tloušťka střešního pláště, jednodušší a rychlejší realizace, nižší realizační náklady, a především pak jednodušší realizace oprav.

Jednoplášťové střechy se dále dělí na střechy s klasickým pořadím vrstev, střechy s opačným pořadím vrstev a střechy kombinované. [10, 11, 12, 16]

8.1.1 Střechy s klasickým pořadím vrstev

Jsou to konstrukčně i technologicky nejjednodušší střechy [Obr. 11]. Pokud je ale u této střechy absence parotěsné vrstvy je nutné důkladné tepelně technické posouzení. Tento krok je nutný, aby bylo složením vrstev zamezeno poruchám tepelně vlhkostního chování celého střešního souvrství. Návrh střech bez parotěsné vrstvy je ale značně riskantní, a proto je drtivá většina těchto střech touto vrstvou doplňována. Dochází tak k zamezení kondenzace vodní páry ve skladbě.

Obr. 11 Schéma střechy s klasickým pořadím vrstev [14]

8.1.2 Střechy s opačným pořadím vrstev

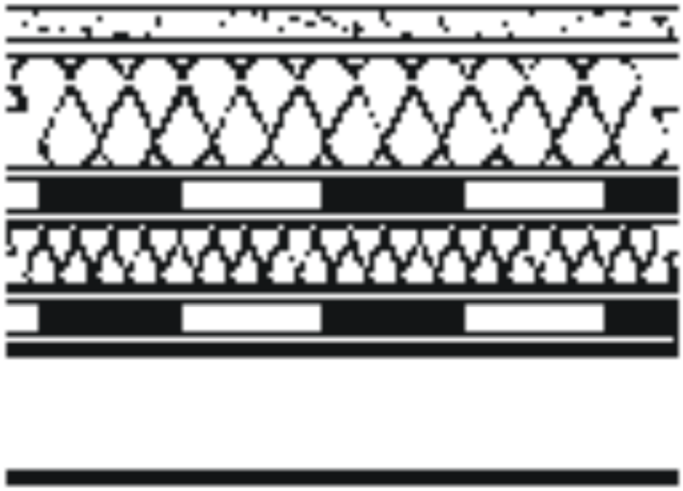
Základní charakteristikou této střechy je záměna polohy tepelné izolace a hydroizolace [Obr. 12]. Tepelná izolace je tedy umístěna nad hydroizolaci a jsou na

ní kladené jiné požadavky. Tepelná izolace musí být především nenasákavá, pevná a objemově stálá. Těmto požadavkům vyhovuje dnes prakticky jen jeden druh tepelné izolace a sice extrudovaný polystyren (XPS). Tato skladba střechy má dvě zásadní výhody. První je, že hydroizolační vrstva je v této střeše chráněna proti UV záření a povětrnostním vlivům, čímž je prodloužena její životnost. Druhou je pak vyloučení možnosti kondenzace ve skladbě střešního pláště. Takto provedená skladba střechy má i nevýhody. Mezi nejzásadnější patří nutnost zatížení tepelné izolace. Díky této skutečnosti je nutné při návrhu této skladby počítat s vysokou hmotností a často tak není možné použít skladbu při rekonstrukci, kde nemůže dojít k výraznému přitížení konstrukce.

Obr. 12 Schéma střechy s opačným pořadím vrstev [14]

8.1.3 Střechy kombinované

Jde o kombinaci předešlých konstrukcí střech. Spojují se tak výhody obou skladeb. Tepelná izolace je rozdělena, nejčastěji v poměru 60:40, kde 40 % tepelné izolace je pod hydroizolací a zbylých 60 % nad hydroizolací. [Obr. 13]



Obr. 13 Schéma kombinované střechy [14]

8.2 Víceplášťové střechy

Víceplášťové střechy odděluje interiér od exteriéru několika střešními plášti, které jsou od sebe odděleny vzduchovou mezerou [Obr. 14]. Tato mezera je buď větraná, nebo nevětraná. Nejčastěji jsou navrhované dvouplášťové střechy, tří a víceplášťové jsou navrhovány pouze výjimečně. [10, 11, 12, 14, 16]

8.2.1 Horní plášť

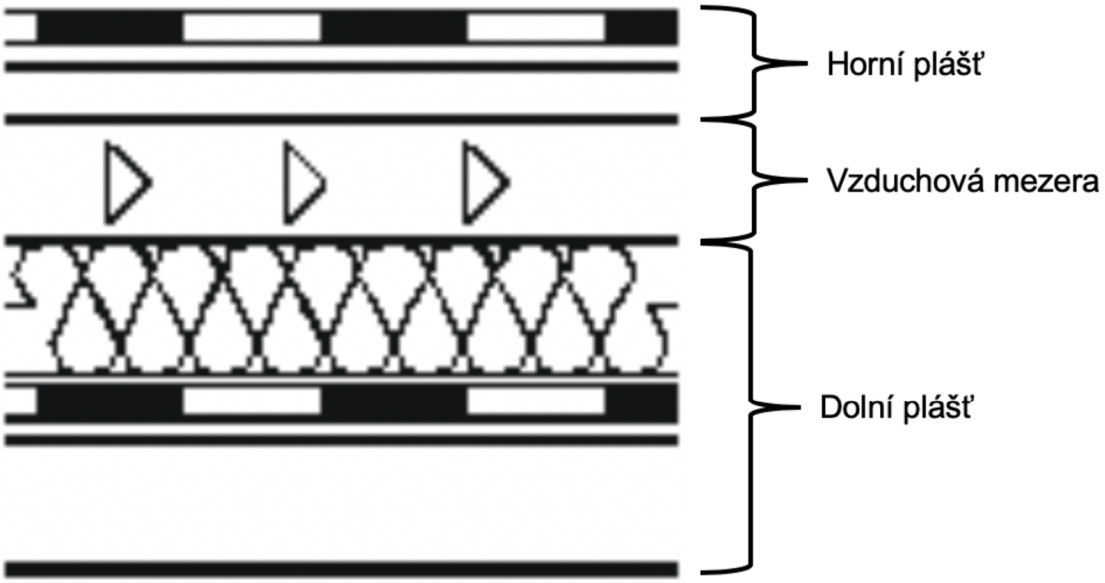
Horní plášť má hydroizolační funkci. Jde tedy o nejvrchnější část střechy, která musí být ve sklonu. Geometrie horního pláště ovlivňuje odvodnění a výrazně také ovlivňuje větrání vzduchové mezery. Nosná konstrukce horního pláště může být tvořena například panely, dřevěným bedněním, nebo trapézovým plechem.

8.2.2 Vzduchová mezera

Vzduchová mezera má být navržena tak, aby žádné překážky nebyly kolmo na směr proudění vzduchu, čím by bylo značně ztíženo jeho proudění v případě větrání. Správný návrh tloušťky vzduchové mezery, plochy větracích otvorů a jejich počtů zásadně ovlivňuje funkci celé střechy.

8.2.3 Dolní plášť

Dolní plášť je tvořen stropní konstrukcí, na které je umístěna tepelná izolace. Dolní plášť je nejčastěji vodorovný.

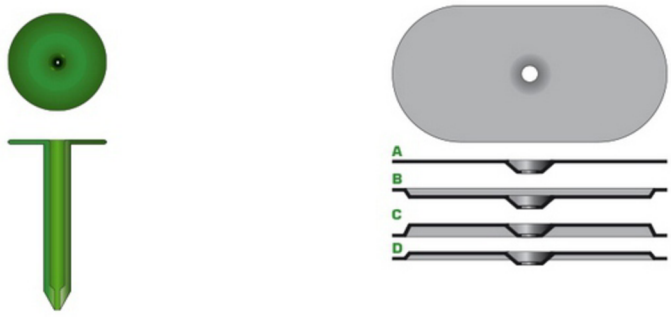


Obr. 14 Schéma dvouplášťové střechy [14]

8.3 Kotvení střešní fólie

Nejběžněji používaný systém pro kotvení povlakových střešních krytin je mechanické kotvení. Návrh tohoto kotvení vychází z ČSN RN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Dále je návrh ovlivněn nařízením ETAG 006. Přes tato nařízení se stále objevují v realizaci kotvení vady, které jsou zapříčiněny selháním kotevních prvků. Mechanickým kotvením se rozumí připevnění povlakové hydroizolace pomocí mechanických kotev k únosnému podkladu. Tento podklad by měl být na stavbě ověřen výtažnou zkouškou. Mimo mechanického kotvení jsou ještě další možnosti zajištění střešní fólie. Je možné využít lepení, nebo přitížení, tyto aplikace mají ale jistá omezení. Zvláště přitížení může mít zásadní vliv na statiku celé stavby, a proto není tento způsob kotvení příliš používaný.

Výběr mechanického kotevního prvku je úzce spojen s podkladní vrstvou. Nejčastěji je tato vrstva tvořena betonem, nebo dřevem. Pokud je kotvení prováděno souvrstvím s tepelnou izolací tak se nejčastěji používají plastové teleskopické podložky [Obr. 15] a vruty s velkoplošnou podložkou [Obr. 15] určenou pro povlakové hydroizolace. Ocelová podložka je často různě tvarována, aby lépe doléhala k fólii a neměla tendenci odstávat a porušovat tak fólii, která ji překrývá. [10, 11, 12, 14, 16, 17]



Obr. 15 Plastová teleskopická podložka a velkoformátová ocelová podložka [22]

8.4 Poruchy plochých střech

Vinu často nese použití nevhodných materiálů, nebo špatné provedení, nikoli střecha jako taková. Nejčastější vady jsou spojeny s těsností hydroizolační vrstvy a s kondenzací vodní páry. Všechny vady mají nepříjemné následky spojené se zatékáním do konstrukce, ztrátou vlastností, které od střechy požadujeme a následnou degradací navazujících konstrukcí. [11, 13, 16]

8.4.1 Poruchy nesouvisející s hydroizolací

Poruchy plochých střech mohou nastat nejen nevhodnou hydroizolací, ale také vlivem všech vrstev střechy. Například propadnutím tepelné izolace může dojít k vytvoření louží. Díky prachu a vodě zde začínají růst mikroorganismy, které narušují hydroizolaci.

8.4.2 Poruchy při špatně zvoleném typu fólie

Špatně zvolený typ hydroizolační fólie může způsobit velmi nepříjemné problémy. Nejčastější chyba spočívá v použití fólie určené k přitížení jako fólii mechanicky kotvenou. Fólie určená k přitížení totiž neobsahuje UV stabilizátory. Záměna fólií může být i na druhou stranu, tedy použití mechanicky kotvené fólie, která nemá látky zamezující prorůstání kořínků pro přitěžovanou nebo dokonce vegetační střechu.

8.4.3 Poruchy související s prokreslenými kotvami

Jednu z vad mohou způsobit špatně zvolené kotevní prvky. Při špatném uchycení se kotvy mohou začít vlivem zvýšené teploty střechy deformovat a následně se prokreslí na povrch fólie [Obr. 16], která je překrývá. Tato porucha ve finále díky pnutí fólií může vést k poškození hydroizolace a tím i zatékání do konstrukce.

Obr. 16 Prokreslené kotvení hydroizolace [foto: autor]

8.4.4 Chybně provedené detaily

U ploché střechy, a především u její těsnosti je klíčové správné provedení detailů. Poruchy tak vznikají u střešních vpustí, světlíků, komínů [Obr. 17], atik a napojení na zdi.

Obr. 17 Chybné provedení detailu připojení hydroizolace na komín [11]

8.4.4 Kombinace s asfaltovými pásy

Vlivem navaření asfaltového pásu na hydroizolační pásy [Obr. 18] dochází k jejich rychlé degradaci s následným zatékáním do střechy. Poruchy je nutné řešit vyříznutím fólie, která byla v kontaktu s asfaltovým pásem a navaření nové fólie.

Obr. 18 Kombinace dvou různých materiálů [11]

Praktická část

V této části práce bude probíhat zkoumání umělého stárnutí střešních fólií, jejich testování a porovnávání vybraných vzorků s fóliemi, které jsou po dobu dvou let vystaveny přirozenému stárnutí. Zkoušky umělého stárnutí vychází z normy ČSN EN 1297. Během testování byly vzorky po 500 hodinách testovány na změnu barevnosti a po 1000 hodinách je jejich povrch zkoumán mikroskopem, jsou stanoveny tahové vlastnosti a ohebnost za nízkých teplot. Dále je zkoumána změna tloušťky jak vzorku, tak i jednotlivých vrstev.

9. Etapizace práce

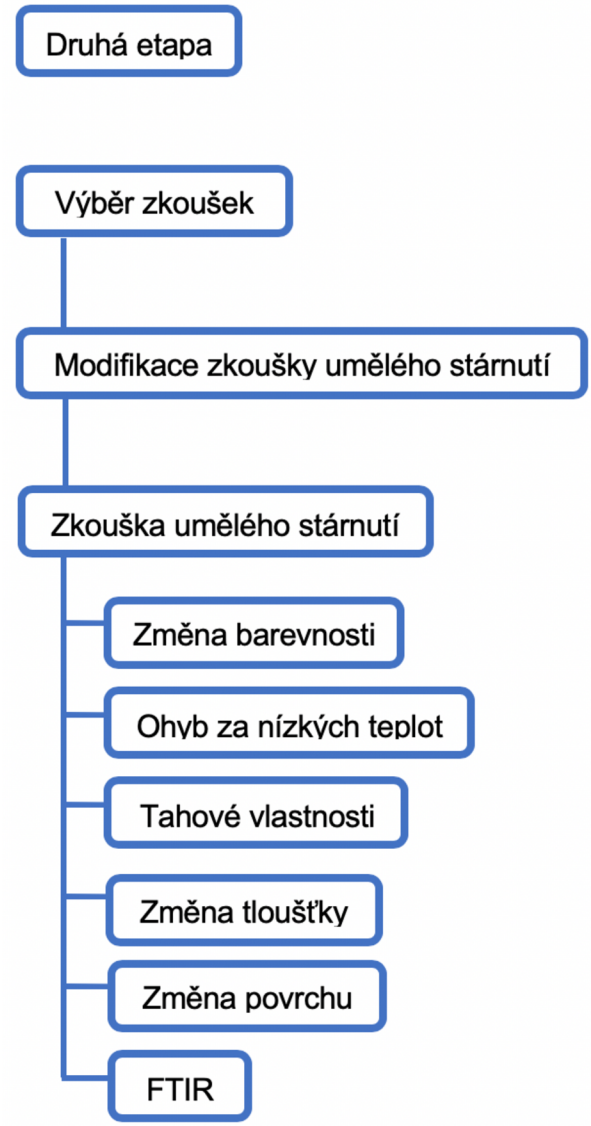
Praktická část práce byla rozdělena do tří etap, kde dochází od výběru vzorků přes analýzu zkušebních metod až k experimentální analýze.

9.1 První etapa – výběr zkušebních vzorků

Na základě spolupráce s firmou Stavebniny DEK a. s. byly vybrány čtyři vzorky fólií, které reprezentují v praxi často aplikované střešní fólie. Vybrané fólie byly dále podrobeny testování.

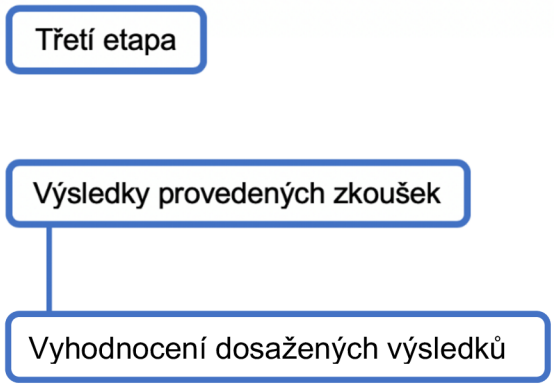
9.2 Druhá etapa – analýza zkušebních metod

Ve druhé etapě byla modifikována zkouška umělého stárnutí. Metodika, která byla v rámci této diplomové práce upravena vychází z normy ČSN EN 1297 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Metoda umělého stárnutí při dlouhodobém vystavení kombinaci UV záření, zvýšené teploty a vody. V rámci této etapy byly dále vybrány zkoušky, které budou na vybraných fóliích prováděny po umělém stárnutí. Posledním krokem je pak provedení všech vybraných zkoušek. Tyto zkoušky následují po provedení umělého stárnutí



9.3 Třetí etapa – experimentální analýza

Třetí etapa spočívá v samotném vyhodnocení výsledků zkoušek provedených v předchozí etapě.



10. První etapa – výběr zkušebních vzorků

První etapa práce spočívala ve výběru fólií, které budou podrobeny zkoušení. Díky spolupráci s firmou stavebniny DEK, a. s. byly z jejich sortimentu vybrány tři běžně používané PVC fólie a pro srovnání byla jako čtvrtý vzorek vybrána fólie na bázi TPO. Tyto fólie byly vybrány na základě jejich častého využití na střechách. Fólie, které byly pro testování vybrány jsou v tabulce 1 [Tab. 1]. V tabulce 2 [Tab. 2] jsou vybrané vlastnosti dle technických listů výrobců.

Tab. 1. Vybrané střešní fólie

Označení vzorku	Báze	Použití	Nosná vložka
Vzorek 01	PVC	Mechanické kotvení	PES tkanina
Vzorek 02	PVC	Přitížení (vegetační střecha)	Skelná rohož
Vzorek 03	TPO	Mechanické kotvení	PES tkanina
Vzorek 04	PVC	Mechanické kotvení	PES tkanina

Tab. 2. Vybrané vlastnosti střešních fólií dle technických listů

Označení / Vlastnost		Vzorek 01	Vzorek 02	Vzorek 03	Vzorek 04
Tloušťka	mm	1,5	1,5	1,5	1,5
Plošná hmotnost	kg	1,8	1,8	1,8	1,85
Třída reakce na oheň	Třída	E	E	E	E
Pevnost v tahu metoda A	N/50 mm	-	-	-	1100
Pevnost v tahu metoda B	N/mm^2	1000	10	700	-
Odolnost spoje ve smyku	N/50 mm	600	800	500	1125
Odolnost proti odlupování ve spoji	N/50 mm	-	200	300	250
Odolnost proti nárazu pevný podklad	mm	400	600	900	700
Odolnost proti nárazu pružný podklad	mm	700	2000	1750	2000
Odolnost proti protrhávání	N	-	140	200	250
Odolnost proti UV záření (5000 h)	Třída	0	1	0	0
Ohebnost při nízké teplotě	°C	-25	-25	-40	-25

11. Druhá etapa – analýza zkušebních metod

Ve druhé etapě práce probíhalo samotné zkoušení vybraných fólií. V první řadě byla modifikována zkouška umělého stárnutí. Na zestárlých fóliích byly následně provedeny srovnávací zkoušky popsané v kapitolách 11.1–11.7

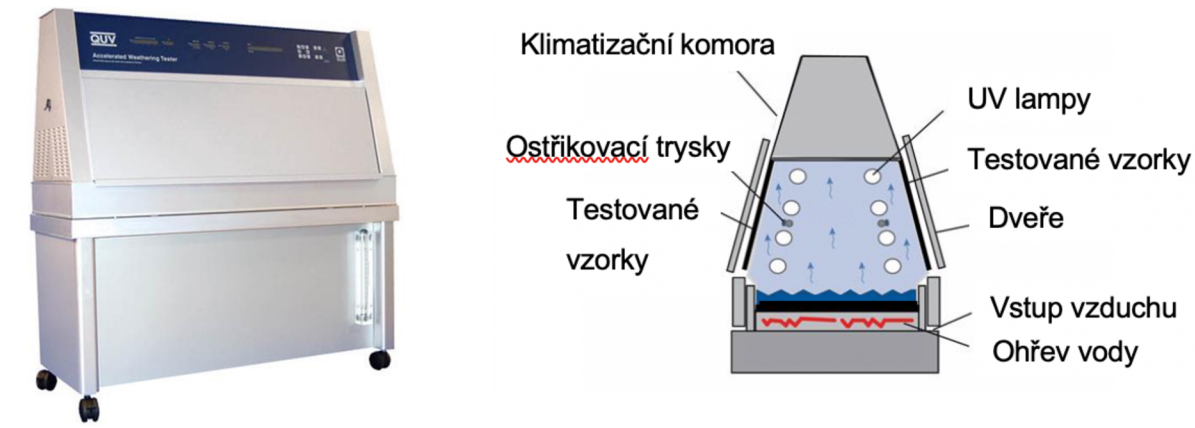
11.1 Zkouška umělého stárnutí

Metoda umělého stárnutí, vychází z normy ČSN EN 1297 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Metoda umělého stárnutí při dlouhodobém vystavení kombinaci UV záření, zvýšené teploty a vody. Modifikace probíhala analytickým zpracováním dat získaných od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a Českého statistického úřadu (ČSÚ). Na

základě těchto dat a dalších informací popsaných v teoretické části této práce byla metoda upravena z výchozích hodnot cyklu expozice o celkové délce 360 minut (6 hodin). Z toho je suchá perioda o délce 300 minut (5 hodin) a zbylých 60 minut (1 hodina) mokrá perioda. V průběhu mokré periody není vzorek ozařovaný. Nově nastavené hodnoty počítají s 240 minutami (4 hodiny) suché periody a 240 minutami (4 hodiny) mokré periody. Zkouška byla záměrně upravena tak, aby stárnutí probíhalo srovnatelně s polohou Brna. Voda, kterou je vzorek ostřikován vyplavuje z fólií důležité látky, které se během suché periody dostaly na povrch vzorku. Další podmínky stárnutí byly totožné s normou ČSN EN 1297. [28]

11.1.1 Použité přístroje QUV ACCELERATED WEATHERING TESTER

QUV tester simuluje fotodegradační procesy trvanlivých materiálů [Obr. 19]. Zářivky tohoto stroje simulují kritické krátkovlnné UV záření a realisticky tak reprodukuje fyzické poškození materiálů, které způsobuje sluneční záření. Mezi druhy poškození patří zejména změna barevnosti, ztráta lesku, praskání, křehnutí, nebo oxidace. Kondenzační systém realisticky simuluje rosu a její účinek urychluje zvýšenou teplotou. Přístroj sám čistí vodu z vodovodního řadu systémem odpařování s následnou kondenzací. Takto dochází k procesu destilace, kterou jsou odstraněny veškeré nečistoty. Pro zkoumané vzorky musely být nejprve zhotoveny nosiče a příponky [Obr. 20]. Nosiče svým tvarem vycházely z originálních nosičů, kde musely být vhodně upraveny rozměry. Nosiče musí dokonale zakrývat vnitřní část přístroje, jinak je vyhodnoceno chybné měření a celá zkouška je přerušena. Tento stroj má velmi široké možnosti nastavení a díky tomu je možné testovat širokou škálu materiálů. Byly použity fluorescenční UV lampy typu I (340 nm). Voda, kterou byly vzorky ostřikovány byla demineralizovaná s počáteční teplotou (25 $\pm$ 5) °C. Norma dále definuje rychlost proudění vody tryskami na (10 $\pm$ 3) litrů za minutu na m^2 exponovaného vzorku. [23]



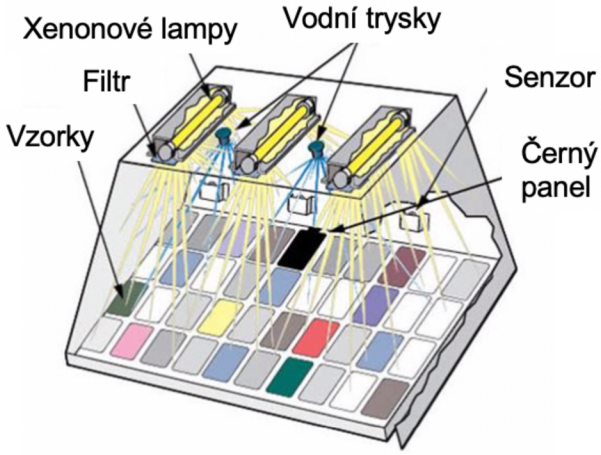
Obr. 19 QUV tester [23]

Obr. 20 Vlevo upravený nosič vzorku s příponkou; vpravo vzorky připravené k umístění do komory

11.1.2 Použité přístroje Q-SUN XE-3 XENON TEST CHAMBER

Zkušební komora Q-SUN Xe-3 simuluje škody způsobené slunečním zářením a deštěm. Za několik dnů, nebo týdnů lze tímto strojem nasimulovat poškození, které nastává v průběhu měsíců nebo let v přirozeném prostředí. Jedná se o komoru, která využívá tři xenonové výbojky. Komora umožňuje použití filtrů, které propustí na vzorek pouze tu část záření, kterou je potřeba simulovat. Ozařovaná plocha přístroje je 451 x 718 mm a je tak vhodný pro zkoušení velkých i trojrozměrných součástí nebo

komponent. Přístroj nabízí možnost duálního postřiku, kde může docházet k ostřiku druhou kapalinou. Často je volena kyselina pro simulaci kyselých dešťů. [Obr. 21] [23]

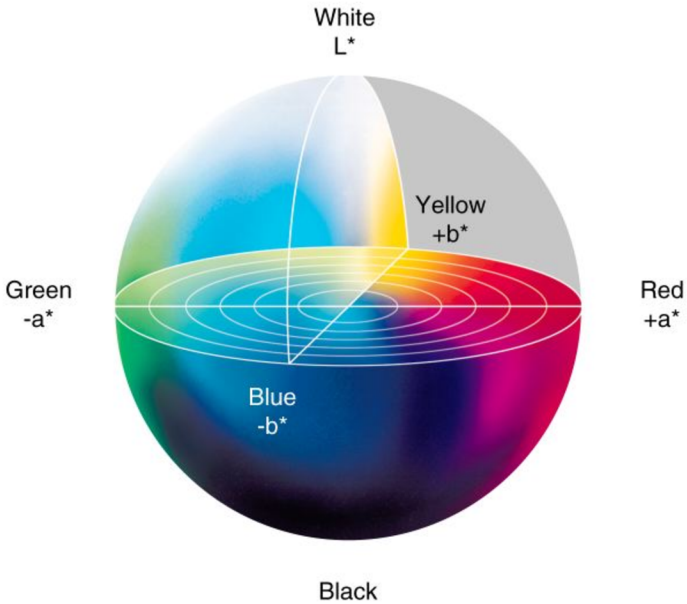


Obr. 21 Q-SUN XE-3 tester [23]

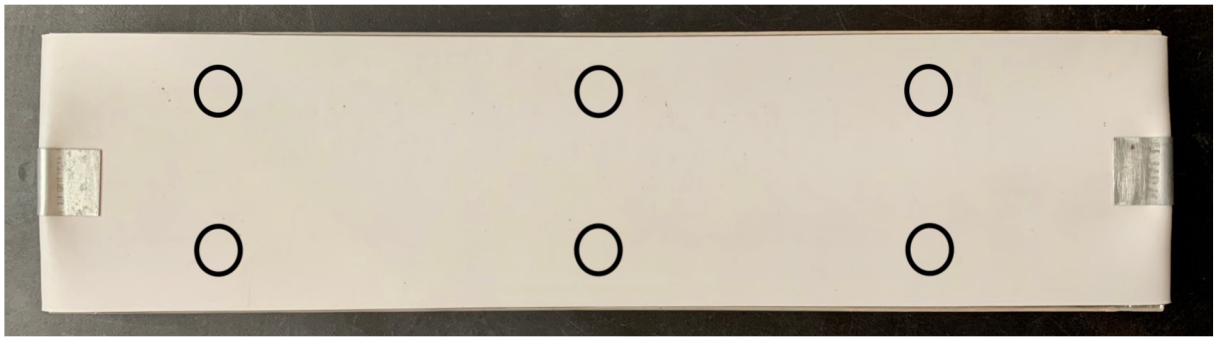
11.2 Stanovení změny barevnosti

Změna barevnosti byla stanovena spektrofotometrem Konica Minolta SPECTROPHOTOMETER CM-600d. [Obr. 22] Tímto přístrojem je zaznamenána odchylka barevného spektra, která je porovnána s hodnotami naměřenými na referenčních vzorcích. Výpočet změny barevnosti byl proveden dle normy ČSN EN ISO 11664 – 4 Kolorimetrie – Část 4: Kolorimetrický prostor CIE 1976 L*a*b. Každý vzorek byl měřen dvakrát. Každé měření má tři měřící body [Obr. 24]. Hodnoty byly pro následné výpočty zprůměrovány. Ve standardu CIE jsou dvě normalizované soustavy. První je CIE 1976 (L*u*v*). Tato soustava je označována jako CIELUV. Druhou soustavou je pak CIE 1976 (L*a*b*) označována jako CIELAB. Tato soustava je určena třemi kolmými osami L*, a* a b*.[Obr. 23] [31]

Obr. 22 Spektrofotometr CM-600d



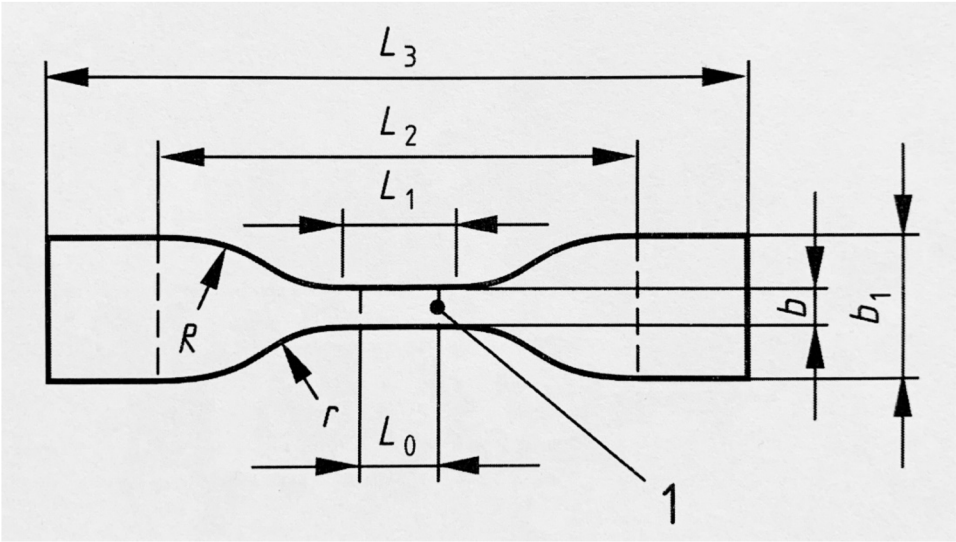
Obr. 23 Barevný prostor CIELAB



Obr. 24 Rozložení měřících bodů

11.3 Stanovení tahových vlastností

Zkoušení probíhalo dle normy ČSN EN 12311–2 Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení tahových vlastností – Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech. Z exponovaných a referenčních vzorků byl vyříznut zkušební vzorek pro stanovení tahových vlastností. Z důvodu omezené plochy bylo použito zkušební těleso s tvarem „přesýpacích hodin“ [Obr. 25]. Z každého zkoumaného vzorku byla vyříznuta dvě zkušební tělesa [Obr. 26], aby mohly být výsledky zprůměrovány pro eliminaci chyb při provádění zkoušek. Dalším důvodem pro použití pouze dvou zkušebních těles byla celkově omezená plocha exponované fólie. Širšími konci byl každý vzorek upnut do zkušebního přístroje a rychlostí (100 ± 1) milimetrů za minutu roztahován až do úplného přetržení. Zkoumána byla nejen síla potřebná pro přetržení, ale také změna délky vzorku. Testování probíhalo na zkušebním lisu Testometric M350-20CT. [30]



Obr. 25 Zkušební těleso pro stanovení tahových vlastností

1 – měřící značka

R – velký poloměr (25 ± 2 mm)

r – malý poloměr (14 ± 1 mm)

b – šířka (6 ± 0,4 mm)

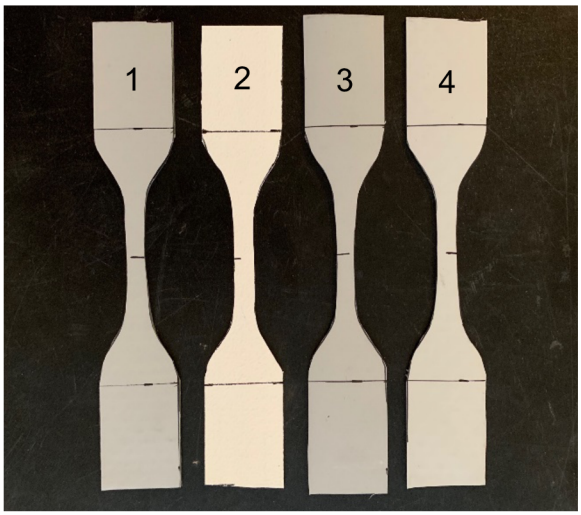
b_1 – šířka na koncích (25 ± 1 mm)

L_0 – vzdálenost mezi značkami (25 ± 1 mm)

L_1 – Délka úzké souběžné části (33 ± 2 mm)

L_2 – Vzdálenost mezi čelistmi (80 ± 5 mm)

L_3 – Celková délka (> 115 mm)



Obr. 26 Vyříznutá zkušební tělesa

11.4 Stanovení změny tloušťky

Stanovení tloušťky a její změny bylo prováděno dvěma způsoby. Prvním bylo měření tradičním mikrometrem. V tomto případě byla stanovena celková tloušťka fólie a její případný úbytek po expozici. Použitý mikrometr [Obr. 27] má jednu z největších styčných ploch, což bylo při měření střešních fólií důležité vzhledem k pružnosti materiálu. Druhým způsobem bylo měření optickým mikroskopem VHX-950F. Druhou metodou mohla být změřena tloušťka každé vrstvy fólie, úbytek tloušťky jednotlivých vrstev a celková tloušťka fólie.

Obr. 27 Mikrometr pro stanovení tloušťky vzorku [25]

11.5 Stanovení ohebnosti za nízkých teplot

Zkoušení ohebnosti probíhalo dle normy ČSN EN 495–5 Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení ohebnosti za nízkých teplot – Část 5: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech. Zkoušení probíhá na vzorcích, které jsou vystaveny teplotě (–45 ± 2) °C. Z referenčních a exponovaných vzorků se vytvoří celkem čtyři vzorky (dva rovnoběžné se směrem výroby fólie, dva další potom kolmo na směr výroby)

o rozměrech 50 x 25 mm, které jsou následně vystaveny nízké teplotě. Po vyjmutí z komory s nízkou teplotou se vzorky ohýbají a následně se zkoumají lupou s minimálně šestinásobným zvětšením. Ze vzorku se vytvoří smyčka, která se po vytemperování na předepsanou teplotu stiskne na 1 vteřinu a poté se stisknutí uvolní. Následně probíhá zkoumání místa ohybu, zda došlo k vytvoření trhlin. [29]

11.6 Stanovení změny povrchu vzorku mikroskopem

U každého vzorku byla každých 1000 hodin expozice zkoumána struktura povrchu optickým mikroskopem. Zkoumání povrchu úzce souvisí se zkouškou z kapitoly 11.5. Díky mikroskopu mohla být lépe zkoumána struktura povrchu fólie v ohýbaném místě. Pro pozorování vzorků byl použit digitální optický mikroskop VHX-950F s možností až 150 násobného zvětšení. Při pozorování vzorků střešních fólií bylo zvětšení 100násobné.

11.7 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

Infračervená spektroskopie je používána k identifikaci chemické struktury látek již od 30. let 20. století. Analýza pevných vzorků byla většinou omezena na práškové materiály, které byly lisovány do tenkých tablet. Kapalné i plynné vzorky bylo možno měřit v prakticky bez omezení. S rozvojem výpočetní techniky v 80. letech 20. století dochází k praktickému rozšíření infračervených spektrometrů s Fourierovou transformací. FTIR spektrometry vykazují celou řadu výhod. Při měření dopadá na detektor vždy celý svazek záření. Takové uspořádání umožňuje i experimenty, při nichž dochází k velkým energetickým ztrátám, tj. měření silně absorbujících vzorků nebo měření s nástavci pro analýzu pevných či kapalných vzorků.

Infračervená spektroskopie je analytická technika určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a také pro stanovení anorganických látek. Tato technika měří pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. [26, 27]

12. Třetí etapa – experimentální analýza

Ve třetí etapě probíhá samotné zkoušení a vyhodnocování výsledků. Všechny vzorky byly umístěny v obou komorách. V QUV testeru byly vzorky 2500 hodin, v Q-SUN XE-3 pak pouze 1000 hodin. Proto byly mezi sebou porovnávány pouze hodnoty naměřené po 500 a 1000 hodinách ozáření. Výsledky vzorků 04 byly porovnány se vzorky, které jsou vystaveny přirozenému stárnutí po dobu přibližně dvou let. Vzorky přirozeně zestárlé fólie byly odebrány ze střechy Experimentálního centra DEK v Brně Horních Heršpicích.

12.1 Stanovení změny barevnosti

Postup provedení byl popsán v kapitole 11.2, tedy každých 500 hodin byla spektrofotometrem změřena barevnost jednotlivých vzorků. Vypočtené průměrné hodnoty změny barevnosti ΔE jsou uvedeny v tabulce 3 [Tab. 3] a následujícím grafu [Graf 1], ze kterého je patrné, jak se odstín barvy měnil s rostoucí dobou expozice.

12.1.1 Vzorek 01

Na vzorku 01 nebyla okem pozorována téměř žádná změna. Při měření spektrofotometrem už změna patrná byla. Nejprve docházelo k mírnému zesvětlení, které bylo maximální při expozici 1500 hodin. Následně vzorek začínal tmavnout a při expozici 2500 hodin byla naměřena téměř stejná hodnota jako při expozici 500 hodin.

12.1.2 Vzorek 02

Na vzorku 02 byla pozorována podobná tendence jako u vzorku 01, ale s výraznějším zesvětlením.

12.1.3 Vzorek 03

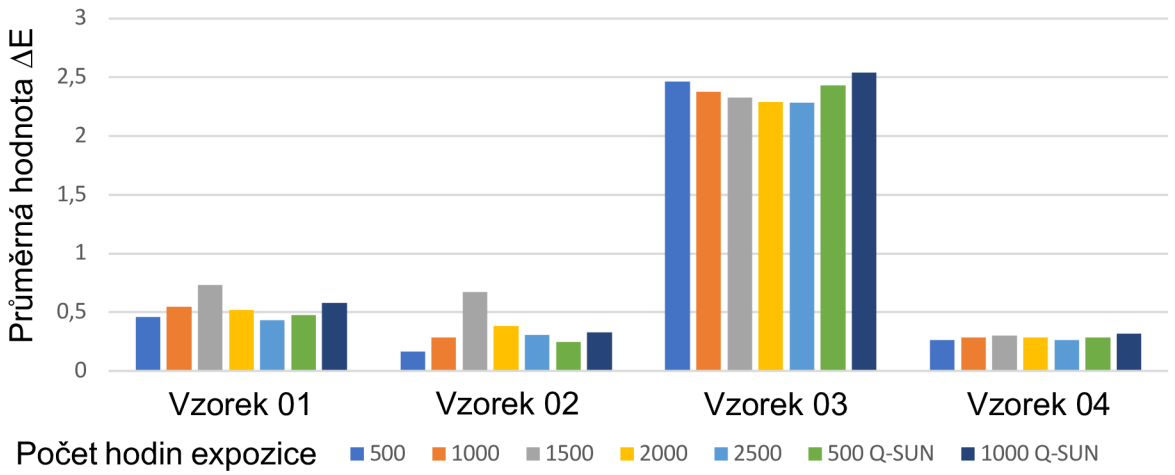
Na třetím vzorku byla díky jeho bílému povrchu pozorovatelná změna i pouhým okem. Změna se projevila mírným nažloutnutím barvy. Při měření spektrofotometrem nebyla zaznamenána tendence zesvětlení jako u předešlých vzorků, ale stále dochází k mírnému tmavnutí.

12.1.4 Vzorek 04

Na vzorku 04 nebyla, stejně jako na vzorku 01 a 02, změna pozorovatelná okem. Vzorek 04 si ale oproti ostatním vzorkům držel poměrně stálou barvu s minimální výchylkou po celou dobu provádění zkoušky.

Tab. 3 Průměrné hodnoty změny barevnosti ΔE

-	Počet hodin expozice						
Označení vzorku	500	1000	1500	2000	2500	500 Q-SUN	1000 Q-SUN
Vzorek 01	0,457	0,544	0,728	0,517	0,429	0,472	0,579
Vzorek 02	0,162	0,286	0,672	0,382	0,304	0,247	0,325
Vzorek 03	2,461	2,375	2,326	2,291	2,283	2,433	2,539
Vzorek 04	0,263	0,283	0,298	0,286	0,263	0,285	0,316



Graf 1 Průběh změny barevnosti z hodnot ΔE

Zhodnocení výsledků

Z výsledků je patrné, že během umělého stárnutí v obou komorách (QUV a Q-SUN) dochází ke změnám barevnosti fólie. Touto změnou je doprovázena degradace jak střešních fólií, tak polymerů jako takových. Při zkoumání změny barevnosti nastala vizuálně pozorovatelná změna pouze u vzorků 03, tedy u TPO fólie, která díky bílé barvě povrchu mírně nažloutla. U dalších fólií nebyla pouhým okem žádná změna pozorována. Při následném měření spektrofotometrem bylo zjištěno, že všechny vzorky mírně ztmavnou a poté začínají světlat. Při expozici 2500 hodin umělého

stárnutí bylo u většiny vzorků dosaženo podobného odstínu jako při měření po prvních 500 hodinách umělého stárnutí.

12.2 Stanovení tahových vlastností

Postup provádění zkoušky byl popsán v kapitole 11.3. Zkoušku je možné provádět dvěma způsoby. Jeden způsob používá tělesa ve tvaru „přesýpacích hodin“ [Obr. 25]. tento způsob byl použit kvůli omezené ploše exponované fólie. Druhý způsob používá pravoúhlé těleso o šířce 50 mm. Pro výpočet napětí v tahu byla použita síla, při které dojde k porušení výztuže. Pouze v případě vzorku 02 byla použita síla při přetržení vzorku. Nelze totiž s jistotou říci, kdy k porušení výztuže došlo. Při popisování bylo pro zjednodušení použito označení: referenční vzorek, 1000 hodin, 2000 hodin a 2500 hodin pro vzorky vystavené expozici ve stroji QUV tester. Vzorky z komory Q-SUN jsou popsány i názvem přístroje ve kterém byly umístěny.

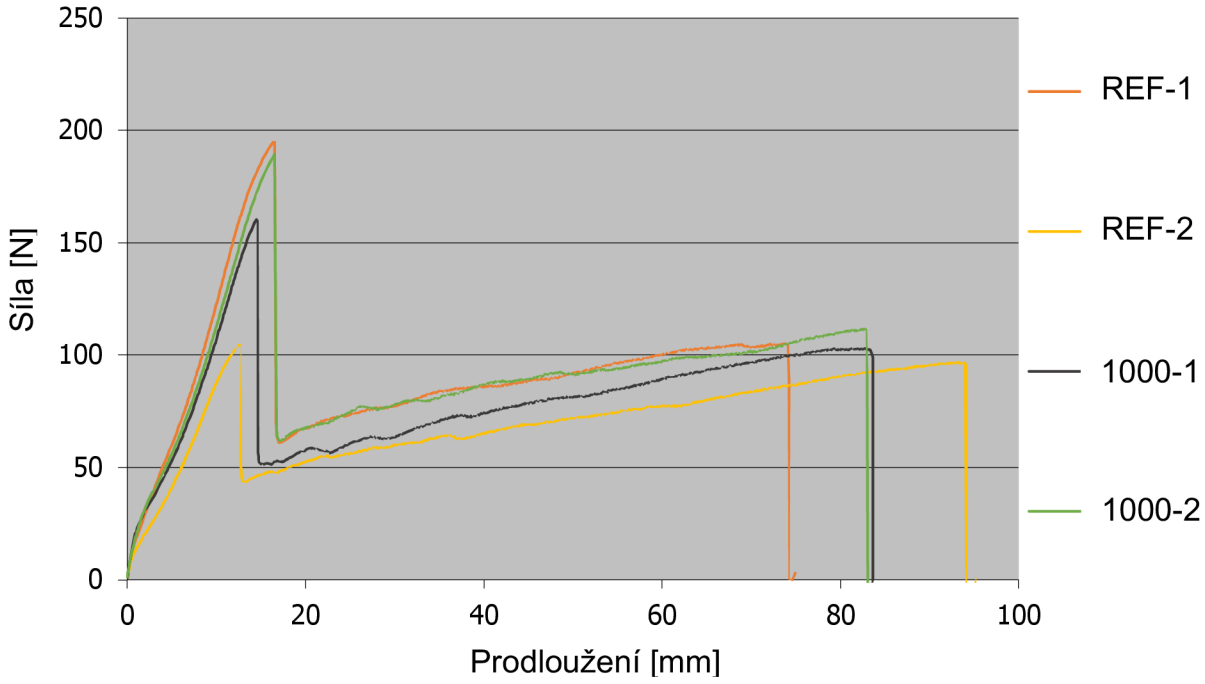
12.2.1 Vzorek 01

Výsledky zkoušek vzorku 01 jsou zaneseny v tabulce 4 [Tab. 4]. Pro lepší přehlednost byl průběh zkoušek rozdělen do více grafů.

Tab. 4 Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 01

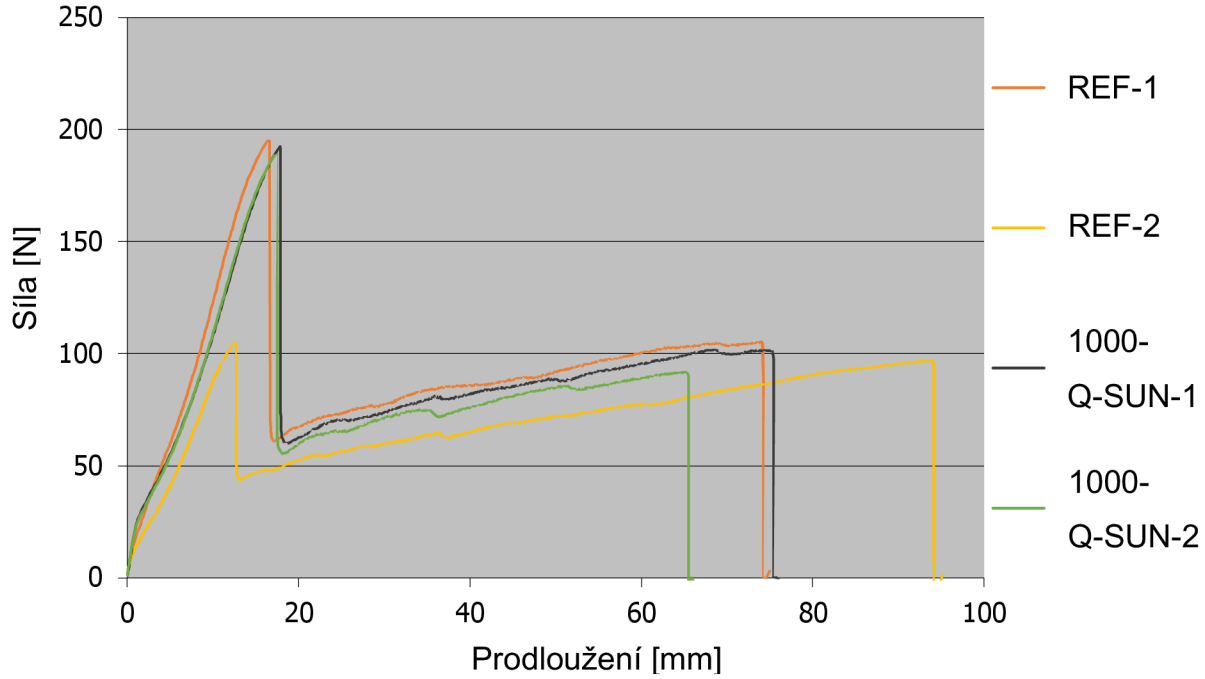
Označení vzorku	Zkouška číslo	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při porušení výztuže (%)	Prodloužení při přetržení (mm)	Napětí v tahu (MPa)	Poměrná deformace (-)	Modul pružnosti (MPa)
01/REF-1	1	195,400	16,490	8,675	74,973	21,71	0,9372	23
01/REF-2	2	105,000	12,588	6,623	95,148	11,67	1,1894	10
01/1000-1	3	161,100	14,598	7,681	84,885	17,90	1,0611	17
01/1000-2	4	189,700	16,613	8,742	83,718	21,08	1,0465	20
01/2000-1	5	103,700	13,035	6,857	95,350	11,52	1,1919	10
01/2000-2	6	148,900	14,405	7,580	85,344	16,54	1,0668	16
01/2500-1	7	181,500	17,252	9,078	83,013	20,17	1,0377	19
01/2500-2	8	186,500	17,532	9,223	83,261	20,72	1,0408	20
01/1000-Q-SUN-1	9	192,500	17,831	9,363	76,276	21,39	0,9535	22
01/1000-Q-SUN-2	10	189,800	17,456	9,184	66,133	21,09	0,8267	26

Každý z následujících grafů znázorňuje průběh zkoušky referenčních vzorků v porovnání se vzorky vystavenými umělému stárnutí. Graf 2 [Graf 2] znázorňuje porovnání referenčních vzorků se vzorky vystavenými 1000 hodinám expozice.



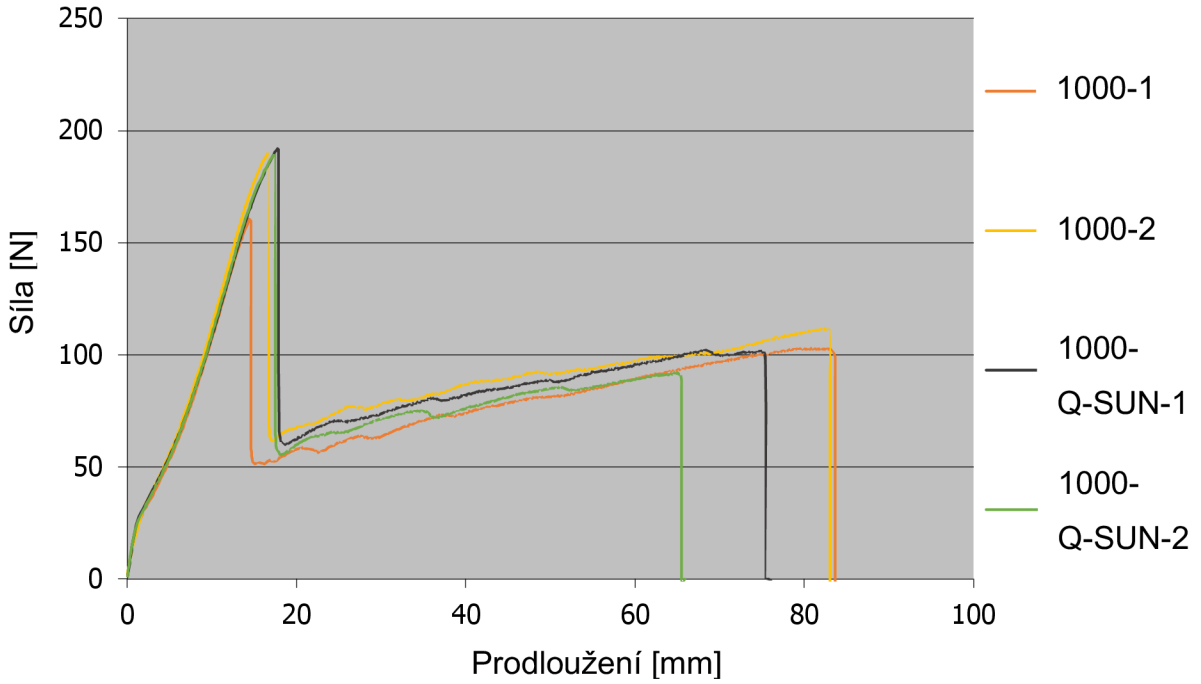
Graf 2 Vzorek 01 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin

Na dalším grafu [Graf 3] je znázorněno porovnání referenčních vzorků se vzorky vystavenými expozici 1000 hodin v komoře Q-SUN XE3.



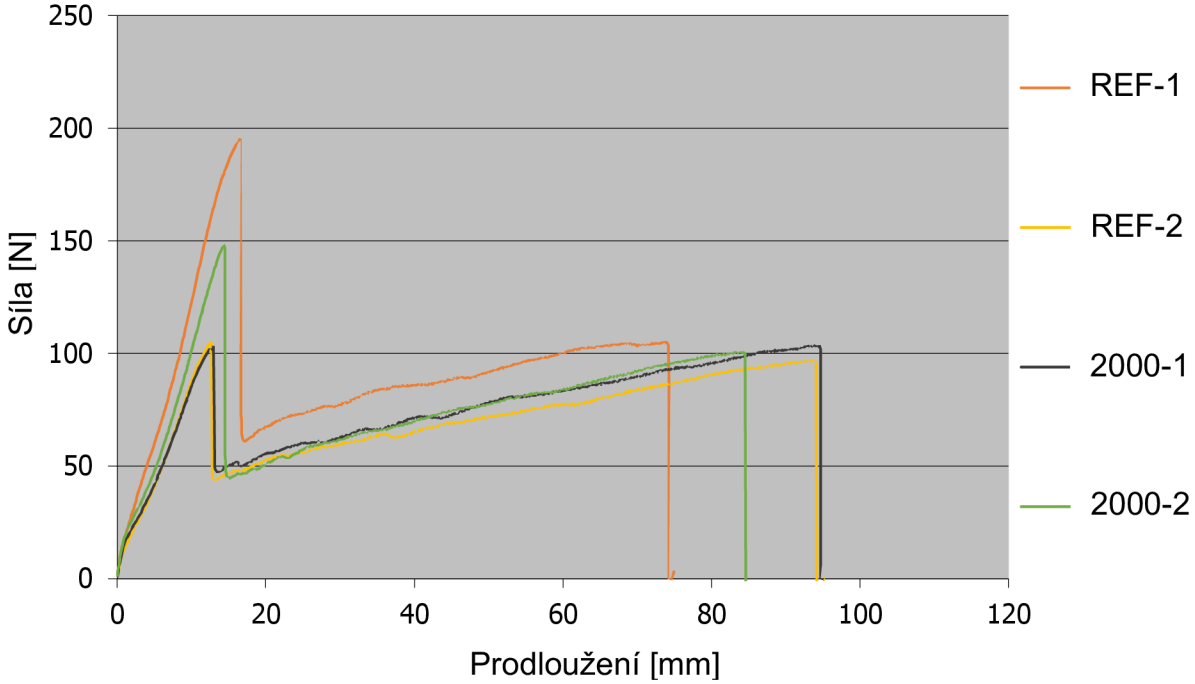
Graf 3 Vzorek 01 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3

Porovnání vzorků vystavených expozici 1000 hodin v komoře QUV a stejně dlouhé expozici v komoře Q-SUN. [Graf 4]



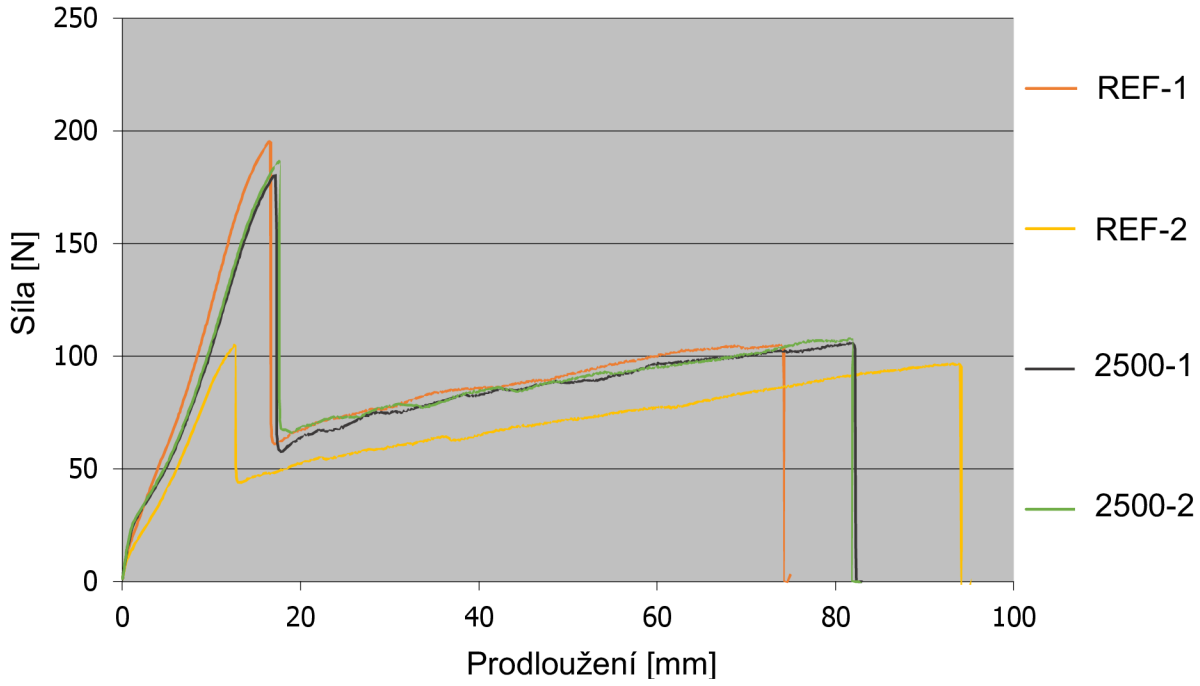
Graf 4 Vzorek 01 - Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3

V pátém grafu [Graf 5] je znázorněn průběh zkoušky referenčních vzorků a vzorků vystavených expozici 2000 hodin.



Graf 5 Vzorek 01 - Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin

V posledním grafu [Graf 6] je znázorněno porovnání průběhu zkoušky referenčních vzorků a vzorků s expozicí 2500 hodin.



Graf 6 Vzorek 01 - Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin

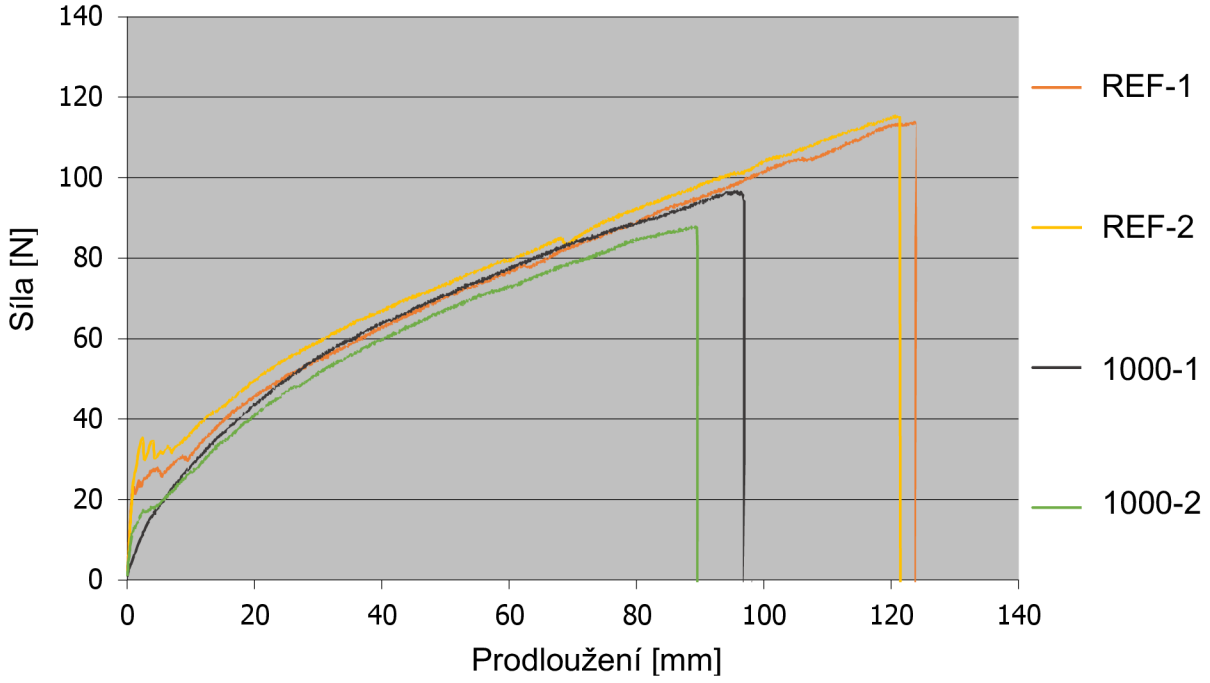
12.2.2 Vzorek 02

Výsledky zkoušek vzorku 02 jsou zaneseny v tabulce 5 [Tab. 5]. Pro lepší přehlednost byl průběh zkoušek rozdělen do více grafů, stejně jako v předešlém případě.

Tab. 5 Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 02

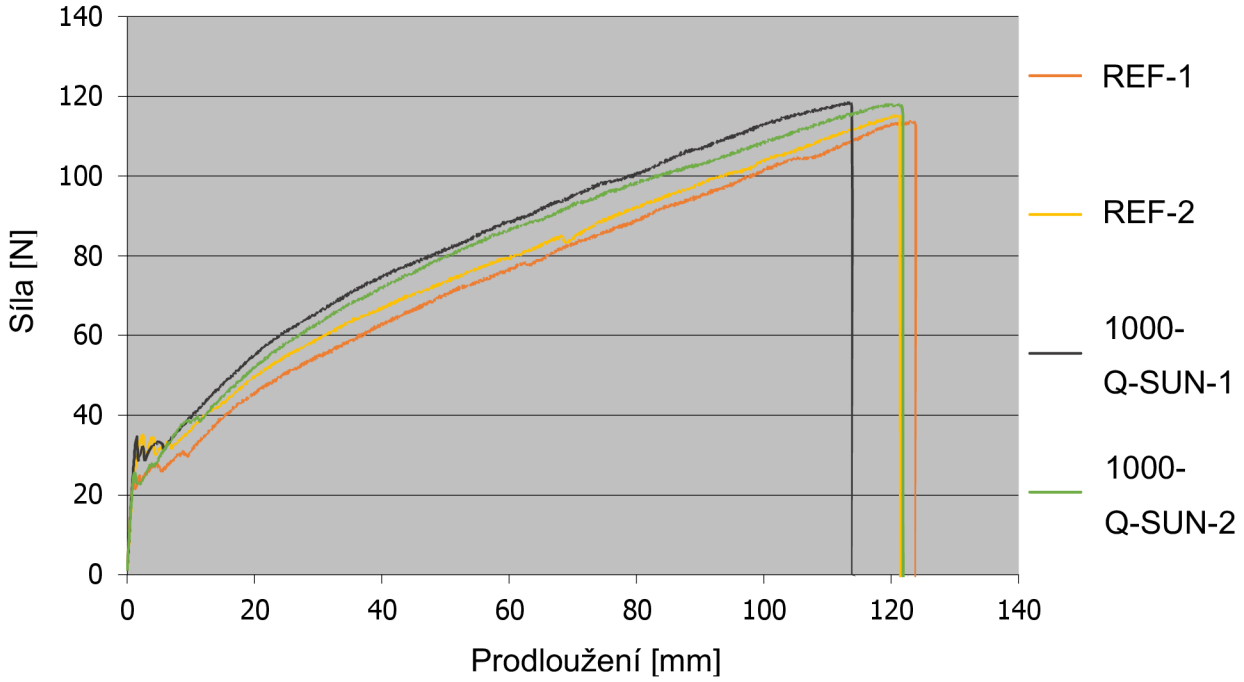
Označení vzorku	Zkouška číslo	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při porušení výztuže (%)	Prodloužení při přetržení (mm)	Napětí v tahu (MPa)	Poměrná deformace (-)	Modul pružnosti (MPa)
02/REF-1	1	113,800	123,031	64,740	124,671	12,64	1,5584	8
02/REF-2	2	115,300	120,589	63,455	121,766	12,81	1,5221	8
02/1000-1	3	96,600	95,343	50,151	97,859	10,73	1,2232	9
02/1000-2	4	87,900	88,673	46,656	90,235	9,77	1,1279	9
02/2000-1	5	99,400	97,962	51,543	100,256	11,04	1,2532	9
02/2000-2	6	83,900	83,350	43,853	85,384	9,32	1,0673	9
02/2500-1	7	103,400	96,014	50,521	99,012	11,49	1,2377	9
02/2500-2	8	108,500	104,254	54,857	106,071	12,06	1,3259	9
02/1000-Q-SUN-1	9	118,500	113,142	59,507	114,614	13,17	1,4327	9
02/1000-Q-SUN-2	10	118,300	120,852	63,594	122,385	13,14	1,5298	9

Každý následující graf znázorňuje průběh zkoušky referenčních vzorků v porovnání se vzorky vystaveny stárnutí. V grafu [Graf 7] je znázorněno porovnání referenčních vzorků se vzorky vystavenými 1000 hodinám expozice.



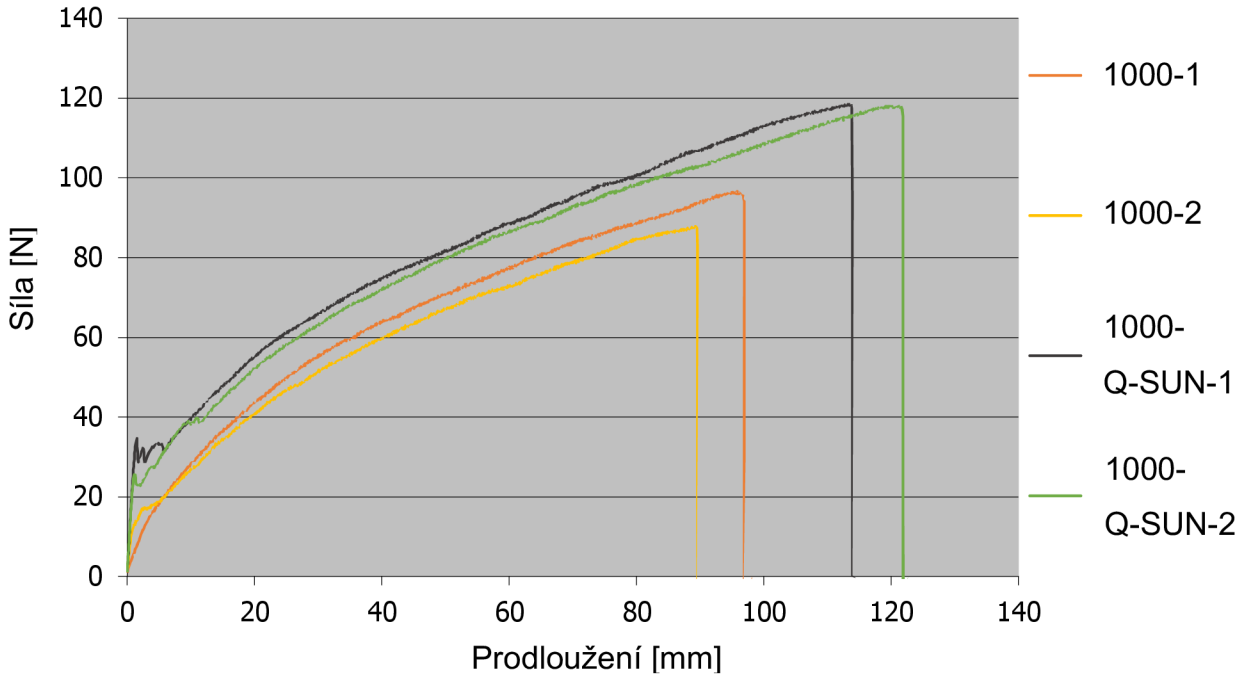
Graf 7 Vzorek 02 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin

Na dalším grafu [Graf 8] je znázorněno porovnání referenčních vzorků se vzorky vystavených expozici 1000 hodin v komoře Q-SUN XE3.



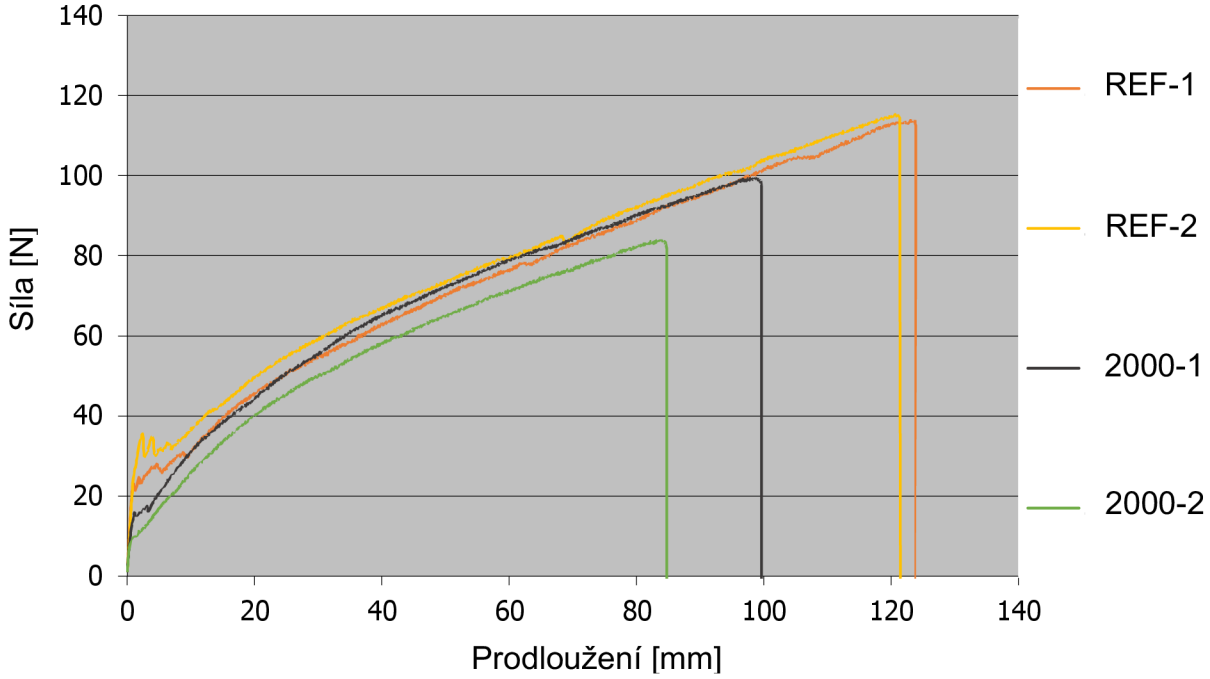
Graf 8 Vzorek 02 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3

Následující graf [Graf 9] ukazuje porovnání vzorků vystavených 1000 hodinám v komorách QUV a Q-SUN.



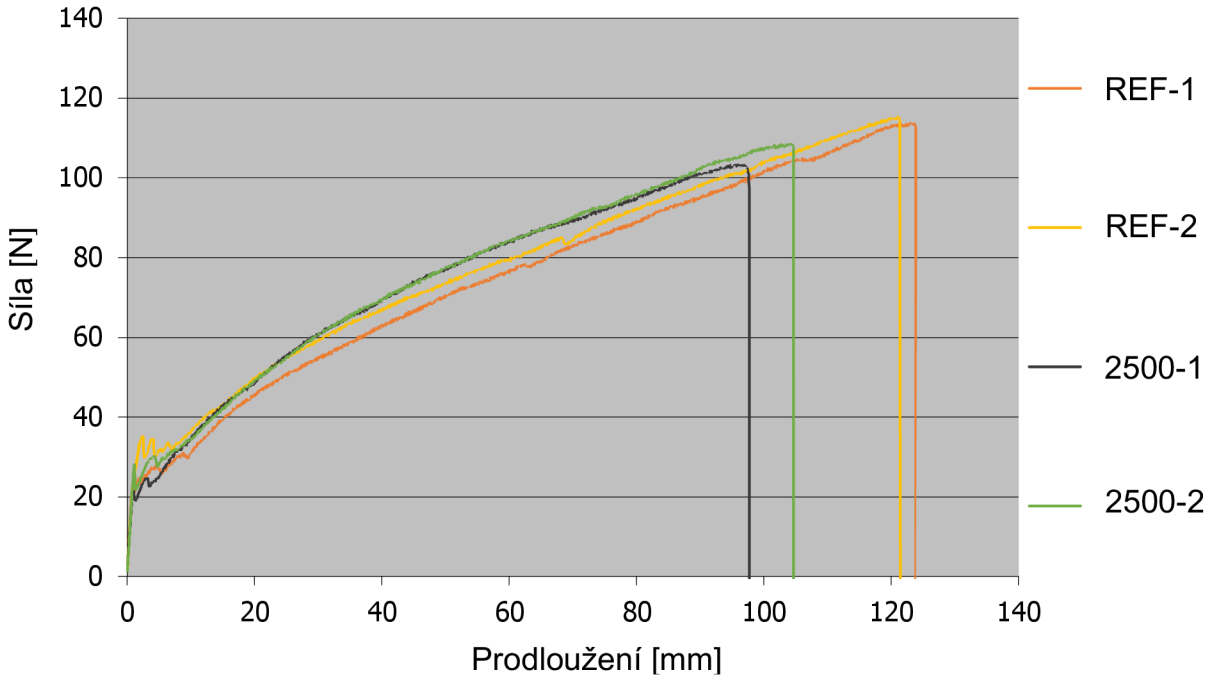
Graf 9 Vzorek 02 - Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3

V desátém grafu [Graf 10] je znázorněn průběh zkoušky referenčních vzorků a vzorků vystavených expozici 2000 hodin.



Graf 10 Vzorek 02 - Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin

V jedenáctém grafu [Graf 11] je znázorněno porovnání průběhu zkoušky referenčních vzorků a vzorků s expozicí 2500 hodin.



Graf 11 Vzorek 02 - Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin

12.2.3 Vzorek 03

Výsledky zkoušek vzorku 03 jsou zaneseny v tabulce 6 [Tab. 6]. Pro lepší přehlednost byl průběh zkoušek rozdělen do více grafů, stejně jako u předchozích vzorků.

Tab. 6 Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 03

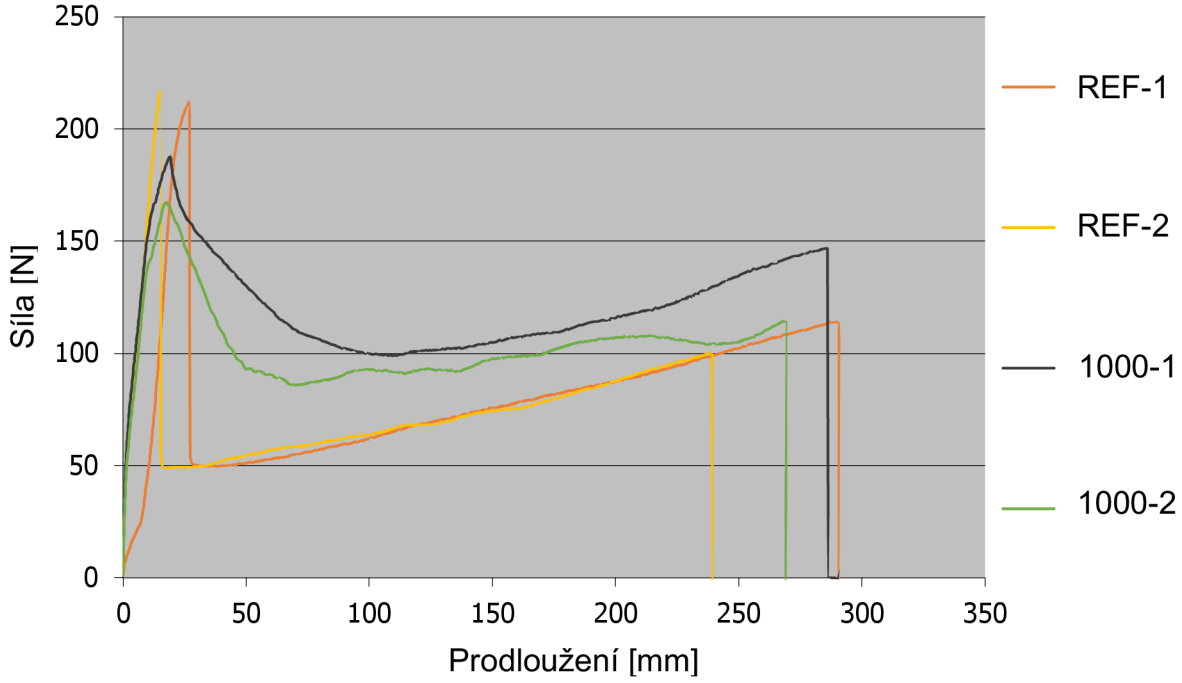
Označení vzorku	Zkouška číslo	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při porušení výztuže (%)	Prodloužení při přetržení (mm)	Napětí v tahu (MPa)	Poměrná deformace (-)	Modul pružnosti (MPa)
03/REF-1	1	211,700	26,877	14,141	295,769	23,52	3,6971	6
03/REF-2	2	217,400	15,268	8,032	248,674	24,16	3,1084	8
03/1000-1	3	188,200	18,997	9,996	290,554	20,91	3,6319	6
03/1000-2	4	167,600	17,327	9,116	274,012	18,62	3,4252	5
03/2000-1	5	132,500	273,708	143,940	292,904	14,50	3,6613	4
03/2000-2	6	135,200	21,924	11,537	275,426	15,02	3,4428	4
03/2500-1	7	133,900	290,161	152,692	291,116	14,24	3,6390	4
03/2500-2	8	130,000	291,148	153,210	296,945	13,07	3,7118	4
03/1000-Q-SUN-1	9	139,300	16,568	8,718	267,357	15,48	3,3420	5
03/1000-Q-SUN-2	10	196,500	32,060	16,869	256,230	21,83	3,2029	7

Při zkoušení sady vzorků 03 bylo u vzorků 03/2000-1, 03/2500-1 a 03/2500-2 dosaženo vyšší pevnosti při přetržení vzorku než při porušení výztuže. Následující tabulka [Tab. 7] ukazuje sílu dosaženou právě při porušení výztuže.

Tab. 7 Výsledky zkoušky vztažené k momentu porušení výztuže

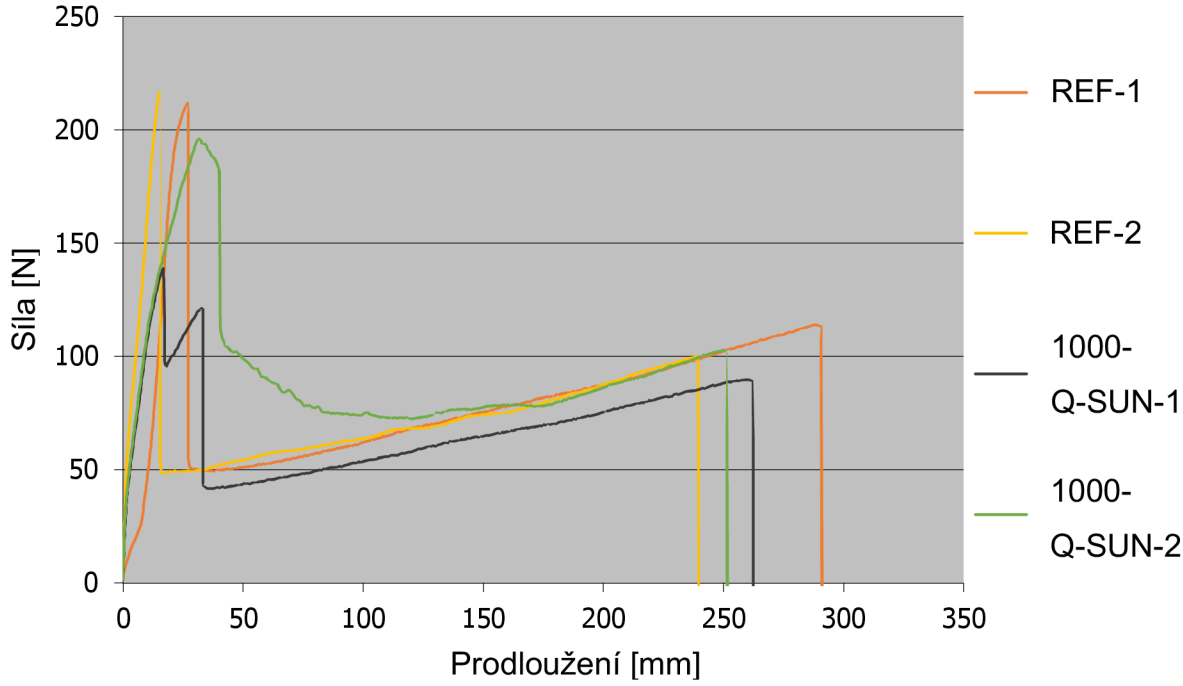
Označení vzorku	Zkouška číslo	Pevnost při porušení výztuže (N)	Prodloužení při porušení výztuže (mm)	Tažnost při porušení výztuže (%)
03/REF-1	1	211,700	26,877	14,141
03/REF-2	2	217,400	15,268	8,032
03/1000-1	3	188,200	18,997	9,996
03/1000-2	4	167,600	17,327	9,116
03/2000-1	5	130,500	20,841	10,969
03/2000-2	6	135,200	21,924	11,537
03/2500-1	7	128,200	12,179	6,413
03/2500-2	8	117,600	18,989	9,994
03/1000-Q-SUN-1	9	139,300	16,568	8,718
03/1000-Q-SUN-2	10	196,500	32,060	16,869

Následující grafy popisují průběhy tahových zkoušek na vzorcích 03, TPO fólie. Na prvním grafu [Graf 12] je znázorněno porovnání referenčních vzorků se vzorky vystavenými expozici 100 hodin.



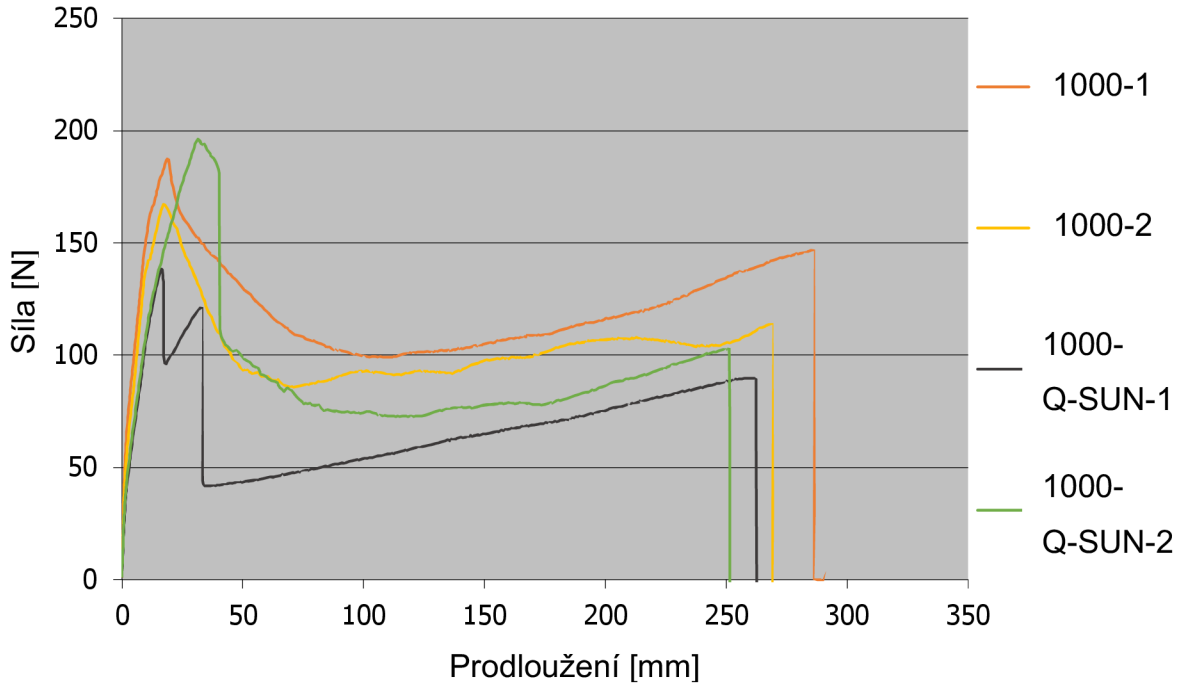
Graf 12 Vzorek 03 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin

Druhý graf [Graf 13] znázorňuje porovnání referenčních vzorků se vzorky vystavenými expozici 1000 hodin v komoře Q-SUN XE3.



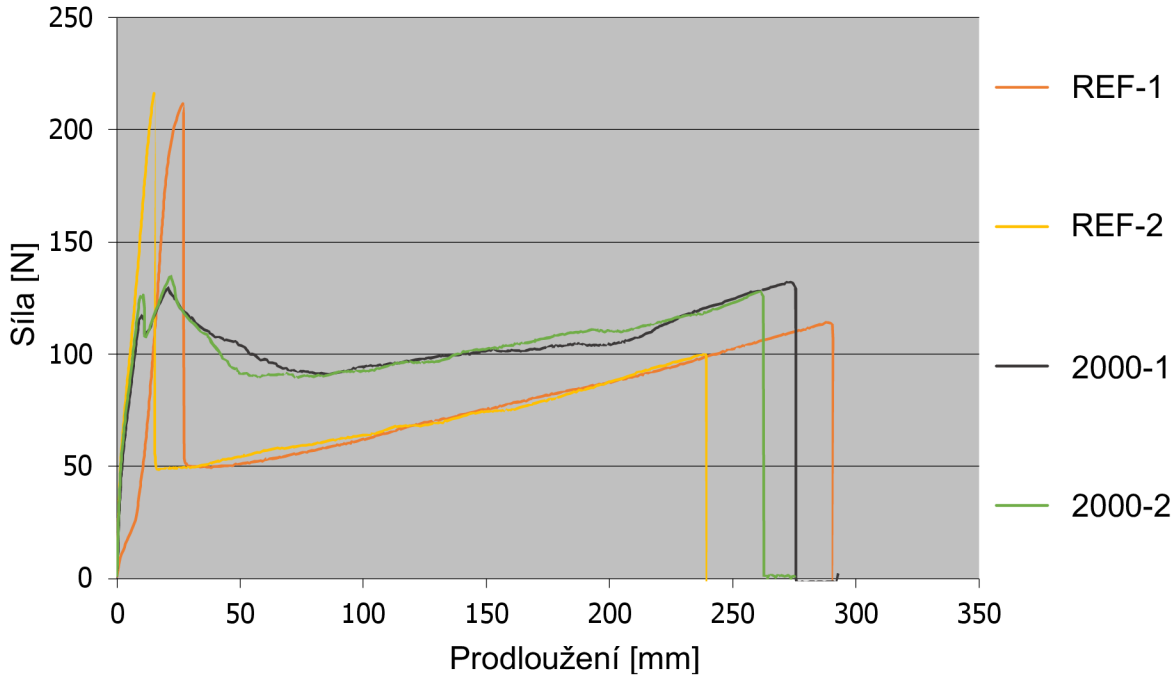
Graf 13 Vzorek 03 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3

V dalším grafu [Graf 14] je vidět průběh zkoušek vzorků s expozicí 1000 hodin na přístroji QUV a Q-SUN.



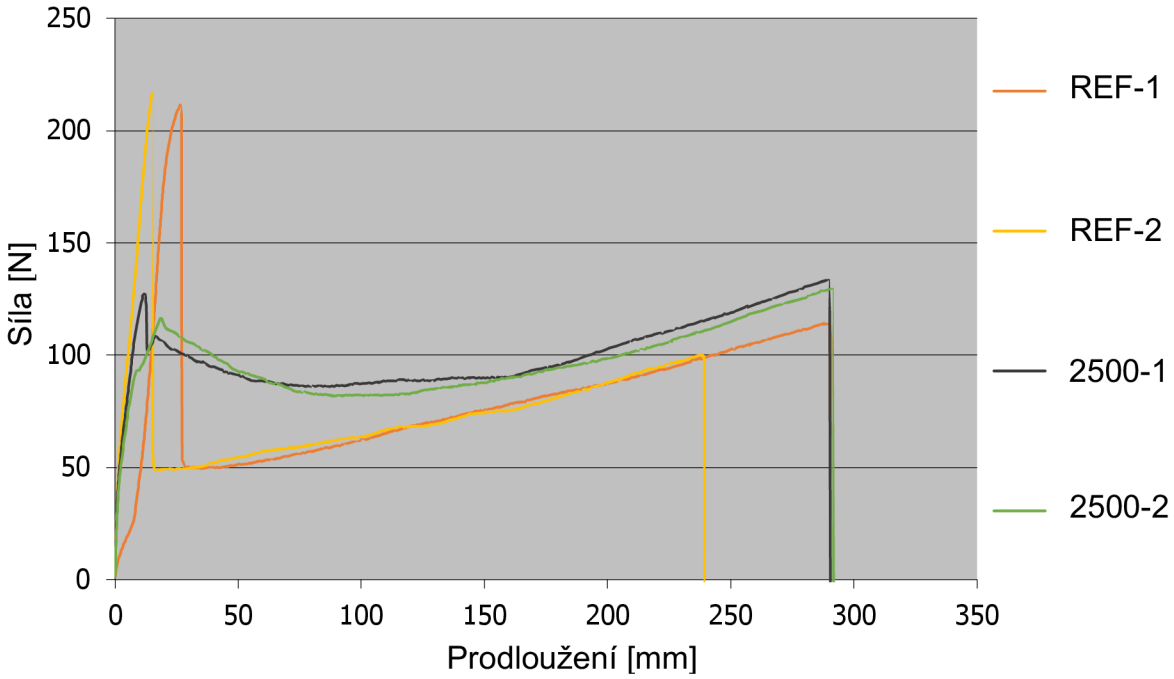
Graf 14 Vzorek 03 - Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3

V dalším grafu [Graf 15] je vidět průběh tahových zkoušek vzorků po 2000 hodinách expozice.



Graf 15 Vzorek 03 - Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin

Poslední graf [Graf 16] ze sady vzorků 03 ukazuje rozdíl mezi referenčními vzorky a vzorky po 2500 hodinách expozice.



Graf 16 Vzorek 03 - Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin

12.2.4 Vzorek 04

Pro tento vzorek je k dispozici i srovnávací vzorek, který byl po dobu dvou let umístěn na střeše Experimentálního centra DEK. Výsledky zkoušek jsou opět zaneseny v tabulce 8 [Tab 8] a následně pro lepší přehlednost i v grafech s průběhem jednotlivých zkoušek.

Tab. 8 Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 04

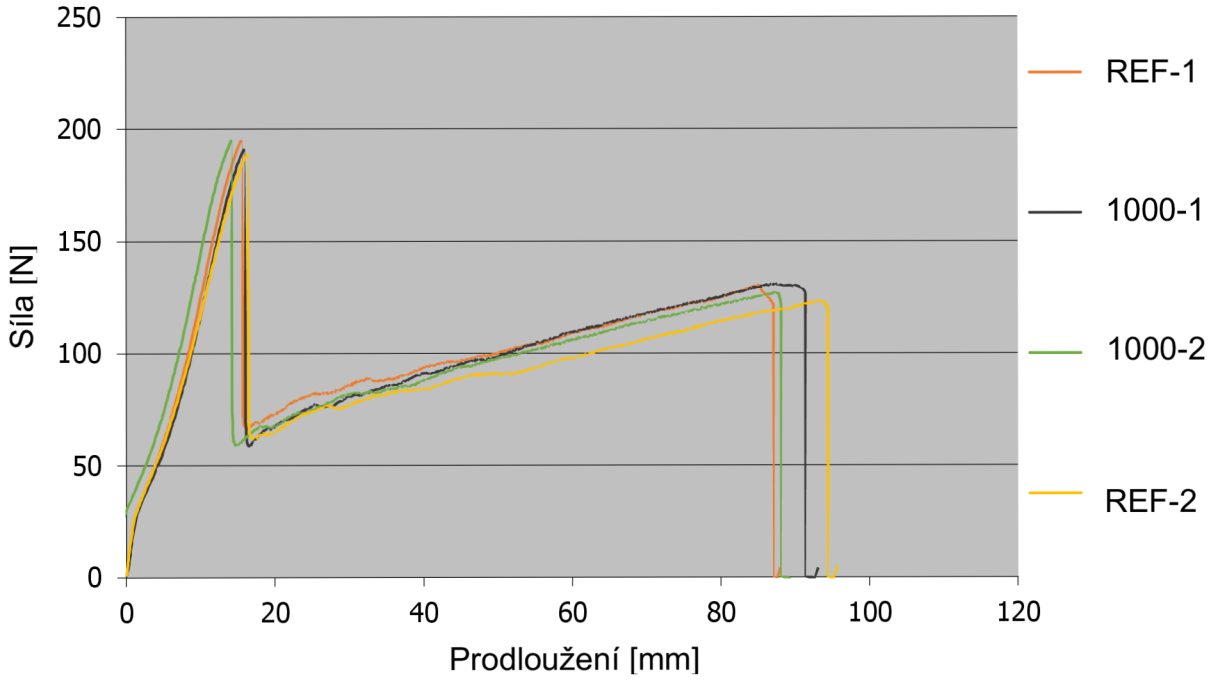
Označení vzorku	Zkouška číslo	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejvíšší pevnosti (mm)	Tažnost při porušení výztuže (%)	Prodloužení při přetržení (mm)	Napětí v tahu (MPa)	Poměrná deformace (-)	Modul pružnosti (MPa)
04/REF-1	1	195,400	15,634	8,218	88,266	21,71	1,1033	20
04/REF-2	10	188,900	16,373	8,606	95,659	20,99	1,1957	18
04/1000-1	2	191,800	15,990	8,373	93,038	21,31	1,1630	18
04/1000-2	3	195,300	14,230	7,438	89,598	21,70	1,1200	19
04/2000-1	4	115,700	87,859	46,225	89,835	11,37	1,1229	10
04/2000-2	5	177,300	14,944	7,849	75,603	19,70	0,9450	21
04/2500-1	6	116,100	95,147	50,063	97,154	11,13	1,2144	9
04/2500-2	7	121,600	93,650	49,269	95,711	11,74	1,1964	10
04/1000-Q-SUN-1	8	180,600	17,553	9,236	84,587	20,07	1,0573	19
04/1000-Q-SUN-2	9	183,100	17,035	8,963	98,093	20,34	1,2262	17
04/Střecha-1	11	151,800	13,866	7,296	77,274	16,87	0,9659	17
04/Střecha-2	12	105,700	13,811	7,264	83,133	11,74	1,0392	11

Při zkoušení sady vzorků 04 bylo u vzorků 04/2000-1, 04/2500-1 a 04/2500-2 dosaženo vyšší pevnosti při přetržení vzorku než při porušení výztuže. Následující tabulka [Tab. 9] ukazuje sílu dosaženou právě při porušení výztuže.

Tab. 9 Výsledky zkoušky vztažené k momentu porušení výztuže

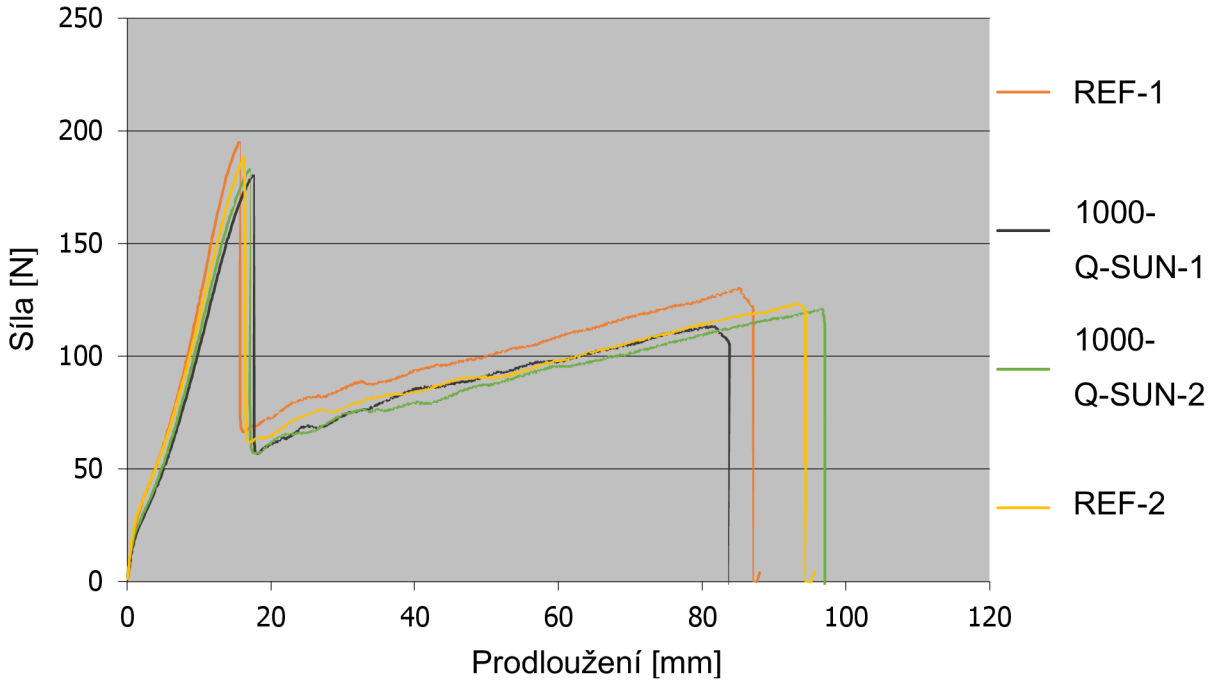
Označení vzorku	Zkouška číslo	Pevnost při porušení výztuže (N)	Prodloužení při porušení výztuže (mm)	Tažnost při porušení výztuže (%)
04/REF-1	1	195,400	15,634	8,218
04/REF-2	10	188,900	16,373	8,606
04/1000-1	2	191,800	15,990	8,373
04/1000-2	3	195,300	14,230	7,438
04/2000-1	4	102,300	11,482	6,043
04/2000-2	5	177,300	14,944	7,849
04/2500-1	6	100,200	11,996	6,314
04/2500-2	7	105,700	12,433	6,544
04/1000-Q-SUN-1	8	180,600	17,553	9,236
04/1000-Q-SUN-2	9	183,100	17,035	8,963
04/Střecha-1	11	151,800	13,866	7,296
04/Střecha-2	12	105,700	13,811	7,264

První graf [Graf 17] popisuje rozdíl v průběhu zkoušek na referenčních vzorcích a vzorcích, které byly 1000 hodin umístěny v QUV komoře.



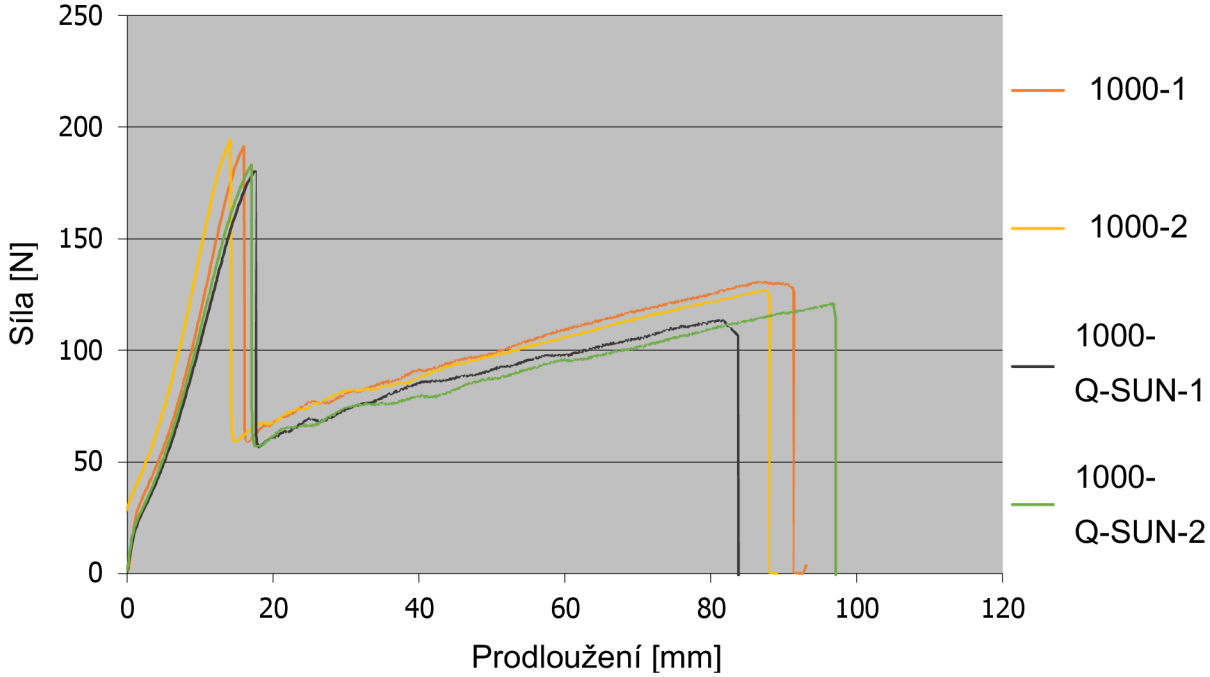
Graf 17 Vzorek 04 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin

Druhý graf [Graf 18] pak ukazuje rozdíl v průběhu zkoušek na referenčních vzorcích a vzorcích, které byly 1000 hodin umístěny v komoře Q-SUN XE3.



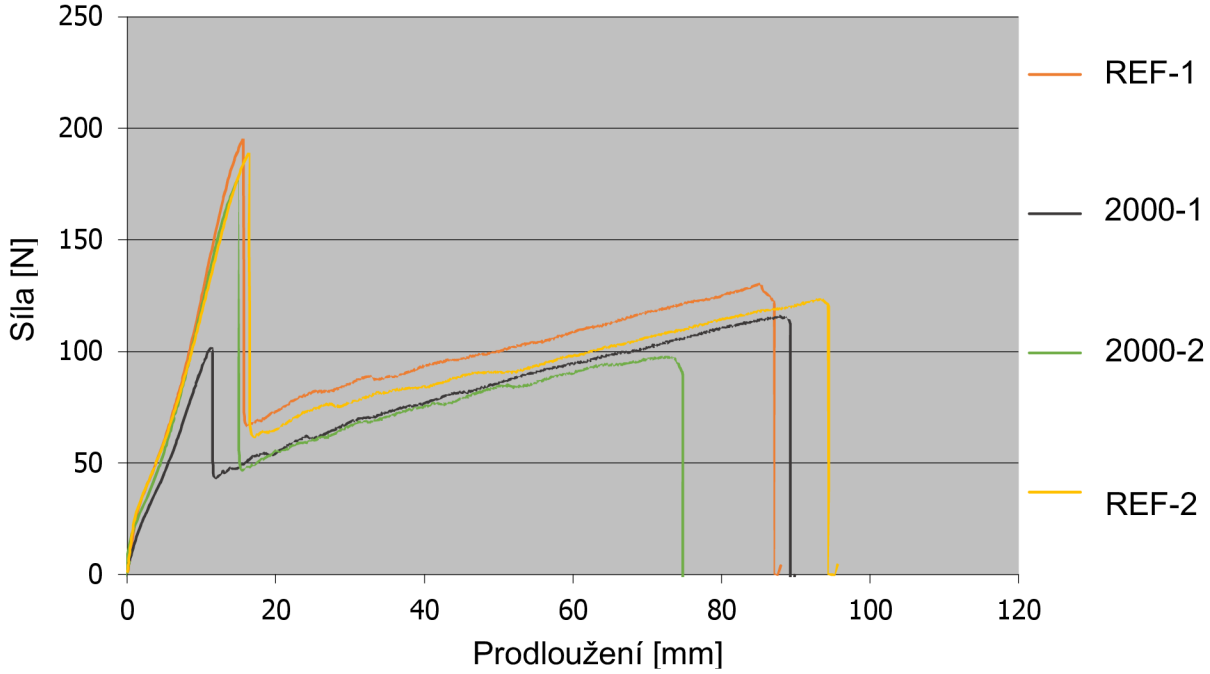
Graf 18 Vzorek 04 - Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin v komoře Q-SUN XE3

Ve třetím grafu [Graf 19] je znázorněn průběh zkoušky vzorků umístěných v obou komorách na 1000 hodin a rozdíl v průběhu této zkoušky.



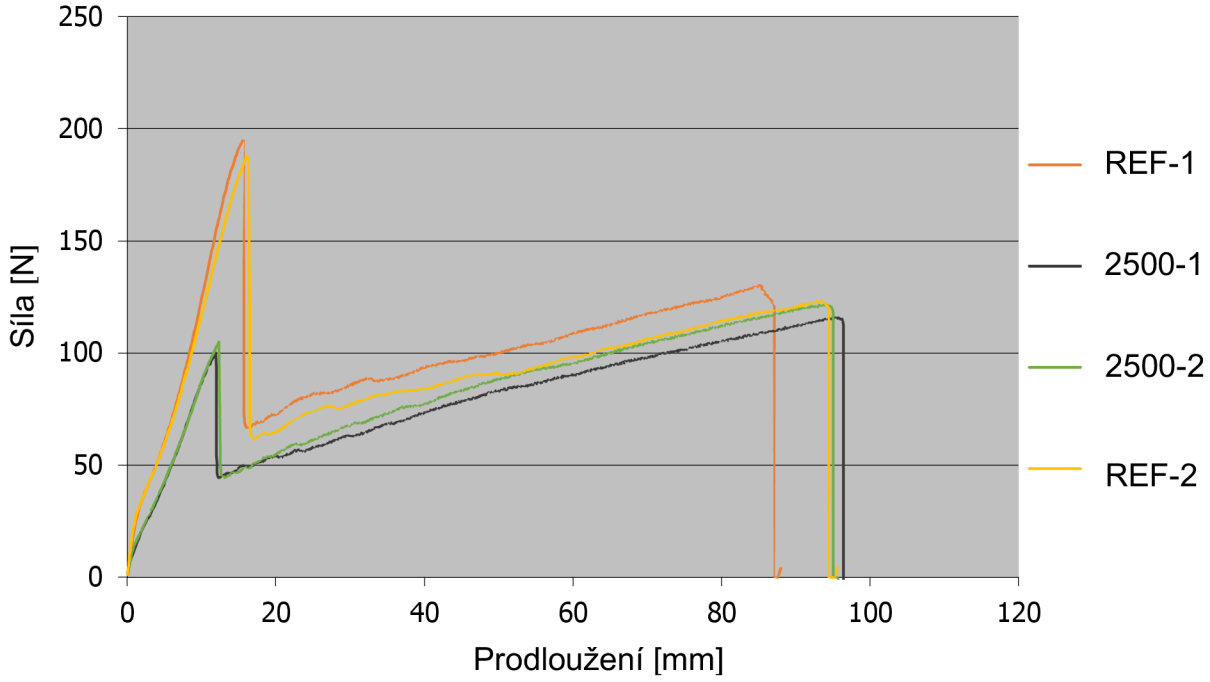
Graf 19 Vzorek 04 - Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3

Další graf [Graf 20] ukazuje opět porovnání referenčních vzorků se vzorky exponovanými na 2000 hodin.



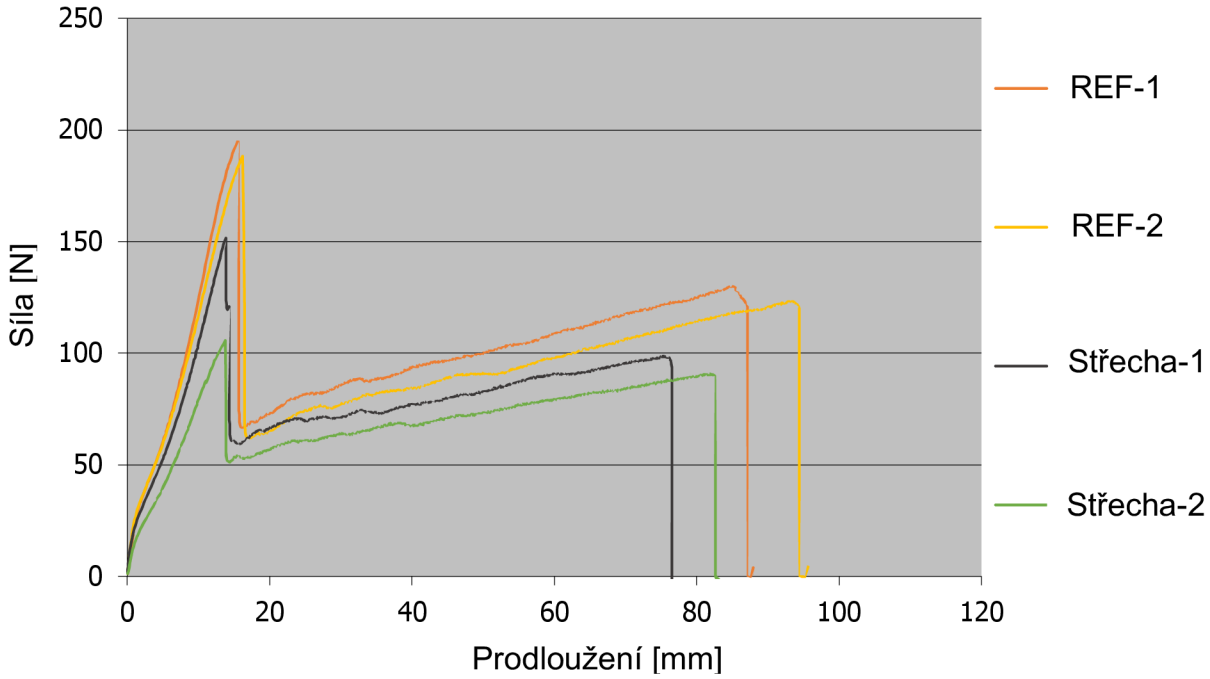
Graf 20 Vzorek 04 - Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin

Tento graf [Graf 21] ukazuje rozdíly mezi referenčními vzorky a vzorky vystavenými 2500 hodinám expozice. Ve stroji QUV.



Graf 21 Vzorek 04 - Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin

Posledním grafem [Graf 22] je pak porovnání referenčních vzorků se vzorky, které byly umístěny po dobu dvou let na střeše.



Graf 22 Vzorek 04 - Průběh zkoušky – referenční a dva roky na střeše

Zhodnocení výsledků

Z dosažených výsledků a grafů zachycujících průběhy zkoušek je patrné, že u testovaných fólií dochází k určitým změnám. S určitostí ale nelze říci, zda jsou tahové vlastnosti fólií zásadně ovlivněny umělým stárnutím. Při zkoušení tahových vlastností bylo zjištěno, že zvolená metoda zkoušení není zcela vhodná pro tento druh materiálů. Zejména pro vzorky 01, 03 a 04, které obsahují výztužnou PES tkaninu. Při přípravě vzorků může dojít k vyříznutí zkušebního tělesa z části, která obsahuje jedno nebo dvě PES vlákna, čímž je pak výsledek zkoušky výrazně zkreslen a porovnání výsledků je pak téměř nemožné. Proto by bylo mnohem vhodnější použít druhou, normově akceptovatelnou, metodu s větším zkušebním vzorkem. V případě, že vzorky měli stejné parametry a ve zkušební části byl stejný počet vláken u referenčních i exponovaných vzorků, došlo ve většině případů ke snížení maximální síly potřebné pro přetržení výztuže. Tento fakt vede k předpokladu, že tahové vlastnosti jsou v průběhu stárnutí postupně omezovány. Experimentem tento fakt nebyl s jistotou prokázán. V případě vzorků ze sady 02 vychází referenční vzorky z testování, dle předpokladů, s lepšími výsledky, protože průběh zkoušky není ovlivněn výztužnou

vrstvou, kterou mají tyto vzorky rozptýlenou v celé ploše. U vzorku 02 je jako u jediného možné s jistotou říci, že tahové vlastnosti jsou průběhem stárnutí omezeny.

12.3 Stanovení změny tloušťky

Postup provádění zkoušky byl popsán v kapitole 11.4. Tloušťka byla měřena na třech místech každého vzorku a následně byla stanovena průměrná tloušťka. U všech vzorků byl pozorován mírný úbytek tloušťky s přibývajícími hodinami expozice. Úbytek je pozorován pouze v rámci tisícin až setin milimetru. Průměrné hodnoty tloušťky vzorků jsou zaznamenány v tabulce 10 [Tab. 10]. Měření tloušťky vzorku probíhalo i při pozorování mikroskopem. Při této metodě ale nebylo měření přesné díky nepřesně uříznutému vzorku, který byl mírně šikmo a měření tím bylo nepřesné. Další nepřesnost vznikala přímo při měření na monitoru mikroskopu, kde se ne vždy povede označit dané místo přesně.

Tab. 10 Stanovení změny tloušťky vzorků, hodnoty v milimetrech

Označení vzorku	REF	Počet hodin expozice			Střecha
		1000	2000	2500	
	Naměřené hodnoty [mm]				
Vzorek 01	1,523	1,516	1,508	1,501	
Vzorek 02	1,536	1,528	1,514	1,513	
Vzorek 03	1,562	1,561	1,554	1,549	
Vzorek 04	1,623	1,622	1,622	1,612	1,565

Zhodnocení výsledků

Při stanovení změny tloušťky jednotlivých fólií bylo zjištěno, že s narůstající dobou vystavení umělému stárnutí dochází u všech zkoumaných fólií k úbytku tloušťky. Úbytek byl zaznamenán v řádech tisícin až setin milimetru, což odpovídá poměrně krátké době, po kterou byli vzorky vystaveny stárnutí. Při měření tloušťky fólií současně s pozorováním jejich řezu mikroskopem byla zjištěná hodnota značně nepřesná, a to díky mírným odklonů vzorků od vodorovné roviny. Další nepřesnosti vznikaly díky ne zcela přesnému označení místa, ke kterému bylo měření vztahováno. Dále je možné předpokládat další úbytky tloušťky s přibývající dobou expozice. Zkoušená doba 2500 hodin ale není dostatečná pro odvození změny tloušťky. S prodlužující se dobou expozice bude rychlost úbytku tloušťky nejpravděpodobněji stoupat.

12.4 Stanovení ohebnosti za nízkých teplot

Postup provádění zkoušky byl popsán v kapitole 11.5. Průběh zkoušky z použité normy pouze vychází. Díky omezené ploše exponovaných vzorků byly vzorky zmrazeny na -45 °C a poté byly předepsaným způsoben ohnuty.

Pro vyhodnocení této zkoušky bylo vytvořeno hodnotící kritérium, které má pět stupňů.

První stupeň – bez porušení

Druhý stupeň – porušení povrchové vrstvy

Třetí stupeň – viditelná výztužná tkanina

Čtvrtý stupeň – poškozená podkladní vrstva

Pátý stupeň – úplné porušení

12.4.1 Vzorek 01

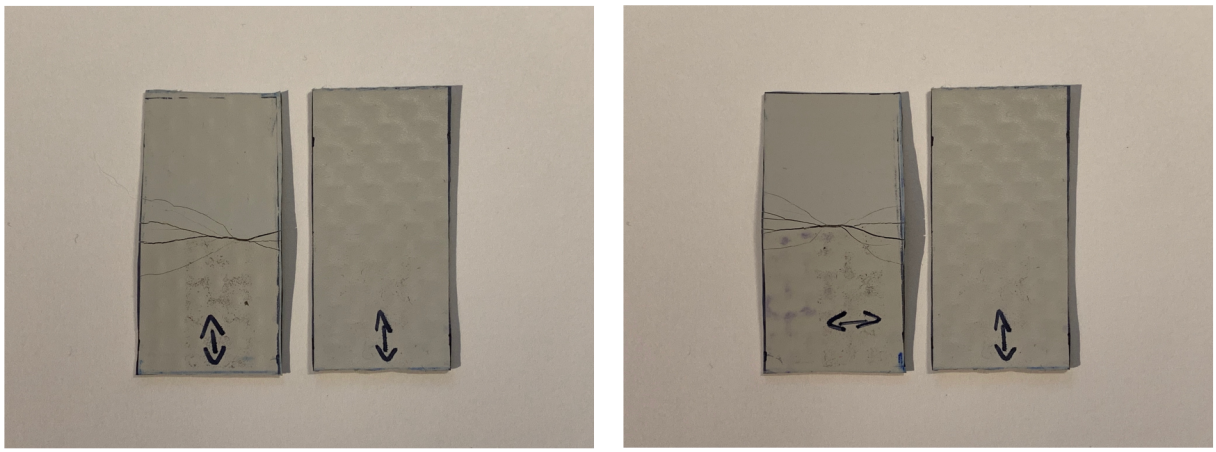
Vzorek 01 má deklarovanou životnost do teploty -25 °C.

Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v následující tabulce [Tab. 11].

Tab. 11 Stupeň porušení vzorku 01

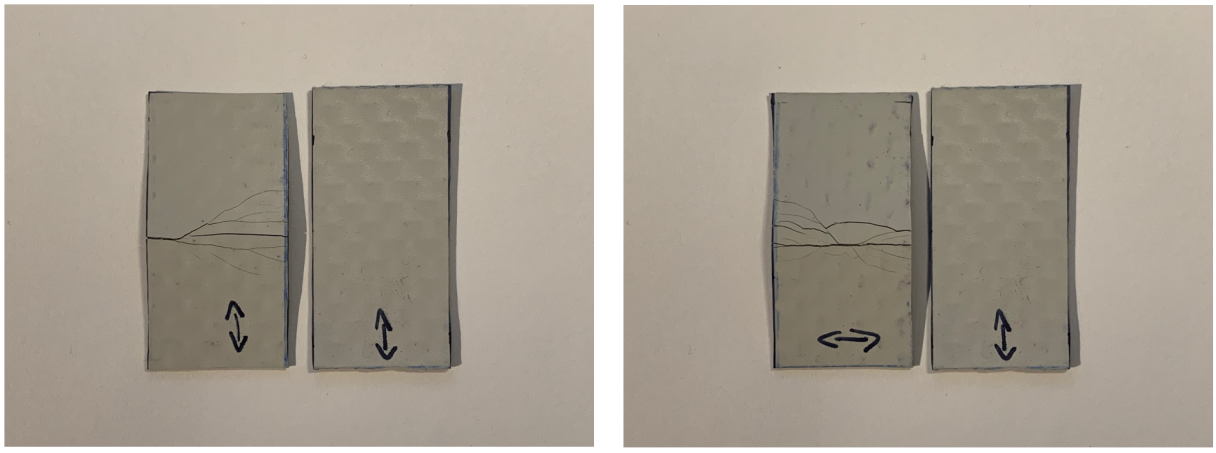
Expozice	Směr	Stupeň porušení	Popis
REF	podélný	3	Viditelná výztuž, nepoškozená podkladní vrstva
REF	příčný	3	Viditelná výztuž, nepoškozená podkladní vrstva
1000	podélný	3	Viditelná výztuž, nepoškozená podkladní vrstva
1000	příčný	3	Viditelná výztuž, na okraji lehké porušení podkladní vrstvy
2000	podélný	4	Viditelná výztuž, popraskaná podkladní vrstva
2000	příčný	4	Viditelná výztuž, popraskaná podkladní vrstva
2500	podélný	5	Úplné oddělení, drží u sebe díky výztužné tkanině
2500	příčný	5	Úplné oddělení, drží u sebe díky výztužné tkanině

Referenční vzorek [Obr. 28] měl poškozenou pouze povrchovou vrstvu a byla viditelná výztužná PES rohož. U referenčního vzorku nebyla podkladní vrstva poškozena ani na okrajích.



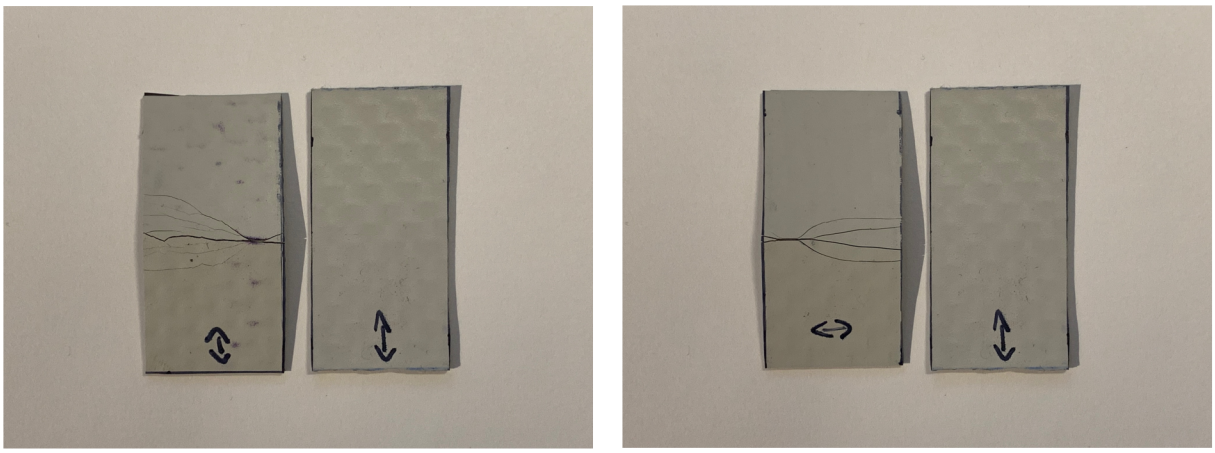
Obr. 28 Referenční vzorky

Ze vzorků vystavených 1000 hodinám expozice [Obr. 29] byl vzorek odebraný v podélném směru fólie poškozen pouze v povrchové vrstvě. Druhý vzorek, tedy ten odebraný z příčného směru fólie měl lehce popraskané i okraje.



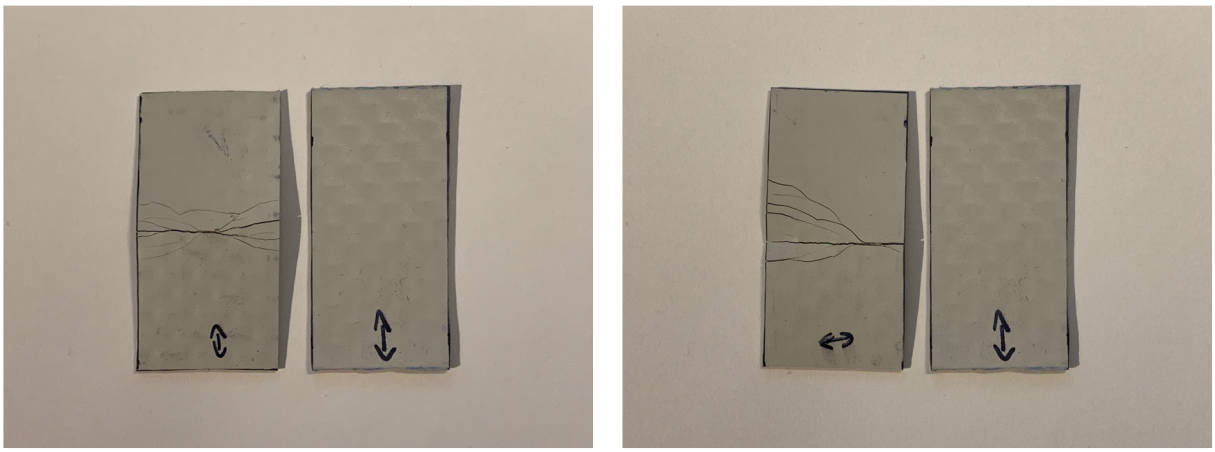
Obr. 29 Vzorky vystavené 1000 hodinám expozice

Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice [Obr. 30] měly lehce popraskanou i podkladní vrstvu



Obr. 30 Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice

Vzorek, který byl vystaven 2500 hodinám expozice [Obr. 31], měl obě poloviny od sebe odděleny. U sebe držely jen díky výztužné tkanině, která byla neporušena.



Obr. 31 Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice

12.4.2 Vzorek 02

Deklarovaná životnost fólie u vzorku 02 je -25 °C

Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v tabulce 12 [Tab. 12].

Tab. 12 Stupeň porušení vzorku 02

Expozice	Směr	Stupeň porušení	Popis
REF	podélný	1	Nepoškozeno
REF	příčný	1	Nepoškozeno
1000	podélný	1	Nepoškozeno
1000	příčný	2	Lehké praskliny na povrchu
2000	podélný	2	Lehké praskliny na povrchu
2000	příčný	3	Viditelná výztužná rohož
2500	podélný	5	Úplné oddělení
2500	příčný	5	Úplné oddělení

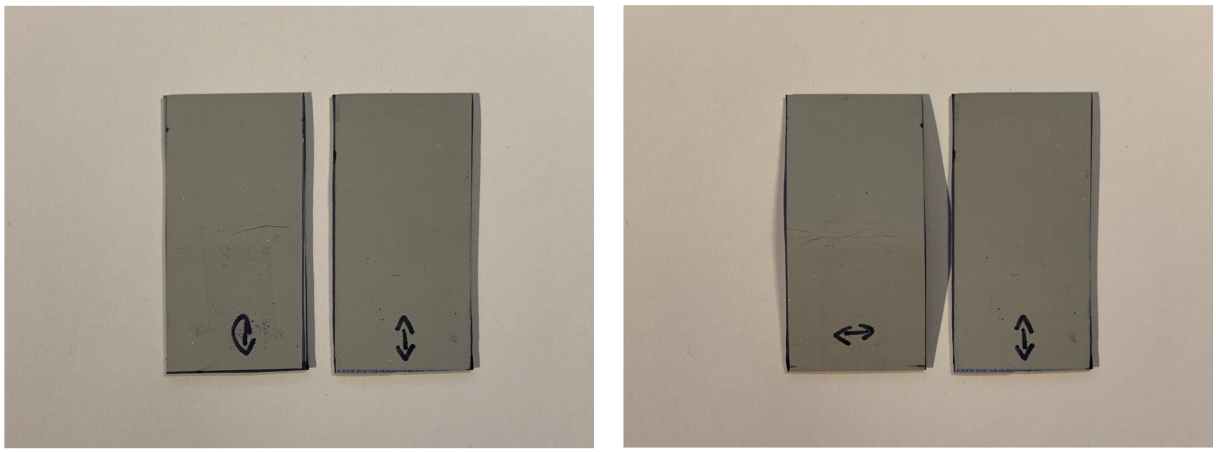
Referenční vzorky [Obr. 32] nevykazovaly žádné porušení.

Obr. 32 Referenční vzorky

První porušení bylo pozorováno u vzorku z příčného směru fólie, který byl vystaven 1000 hodinám expozice [Obr. 33]. Došlo zde k lehkému popraskání povrchové vrstvy.

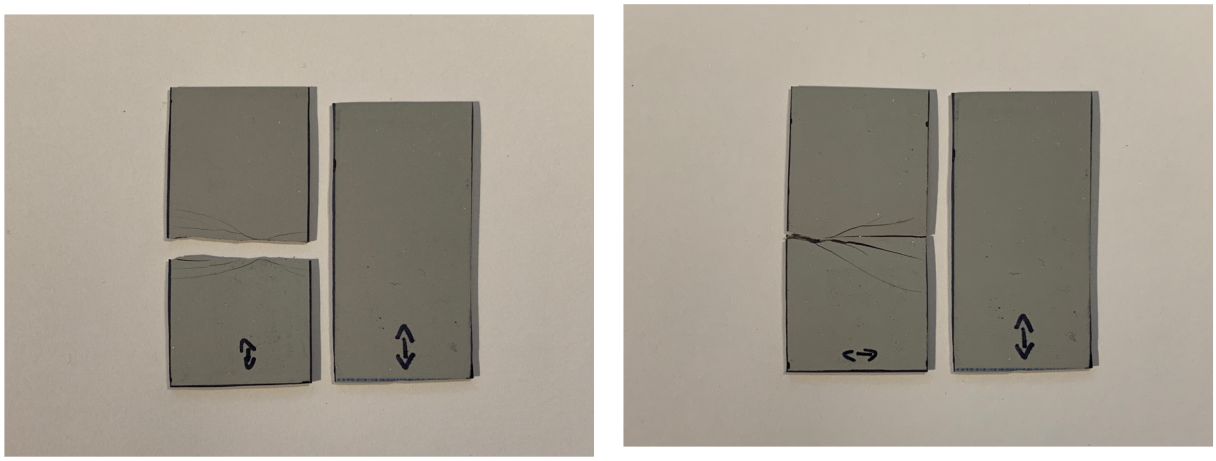
Obr. 33 Vzorky vystavené 1000 hodinám expozice

Stejné poškození bylo pozorováno u vzorku vystaveného 2000 hodinám expozice [Obr. 34] odebraného v podélném směru. U vzorku z příčného směru vystaveného 2000 hodinám expozice byla viditelná výztužná skelná tkanina.



Obr. 34 Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice

Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice [Obr. 35] byly zcela porušeny a poloviny vzorků u sebe nedržely.



Obr. 35 Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice

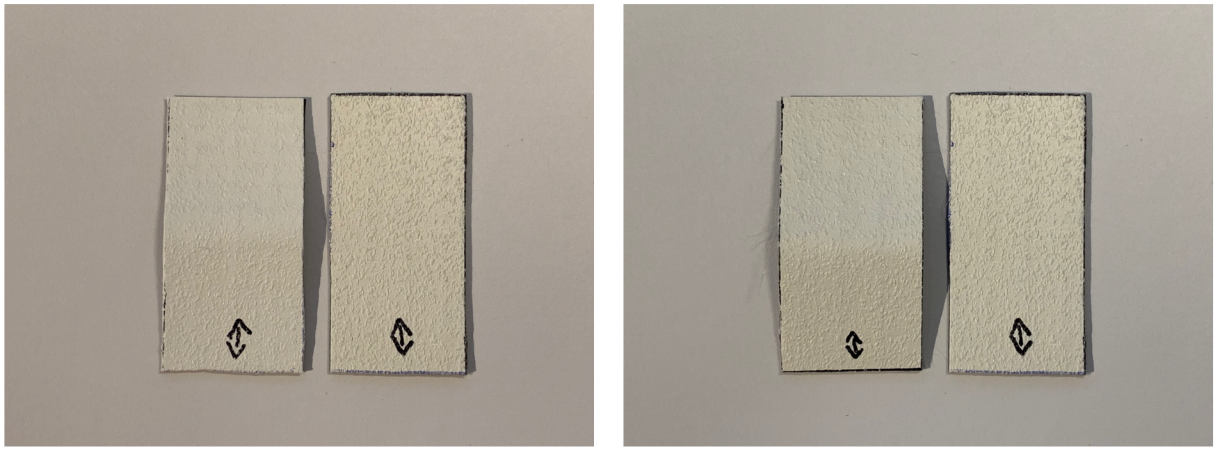
12.4.3 Vzorek 03

Žádný ze vzorků 03 nebyl porušen i přes udávanou odolnost -40 °C. Na obrázku [Obr. 36] jsou referenční vzorky vlevo. Vpravo [Obr. 36] jsou vzorky po 2500 hodinách expozice.

Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v tabulce níže [tab. 13].

Tab. 13 Stupeň porušení vzorku 03

Expozice	Směr	Stupeň porušení	Popis
REF	podélný	1	Nepoškozeno
REF	příčný	1	Nepoškozeno
1000	podélný	1	Nepoškozeno
1000	příčný	1	Nepoškozeno
2000	podélný	1	Nepoškozeno
2000	příčný	1	Nepoškozeno
2500	podélný	1	Nepoškozeno
2500	příčný	1	Nepoškozeno



Obr. 36 Vlevo referenční vzorek; vpravo vzorek vystavený expozici 2500 hodin

12.4.4 Vzorek 04

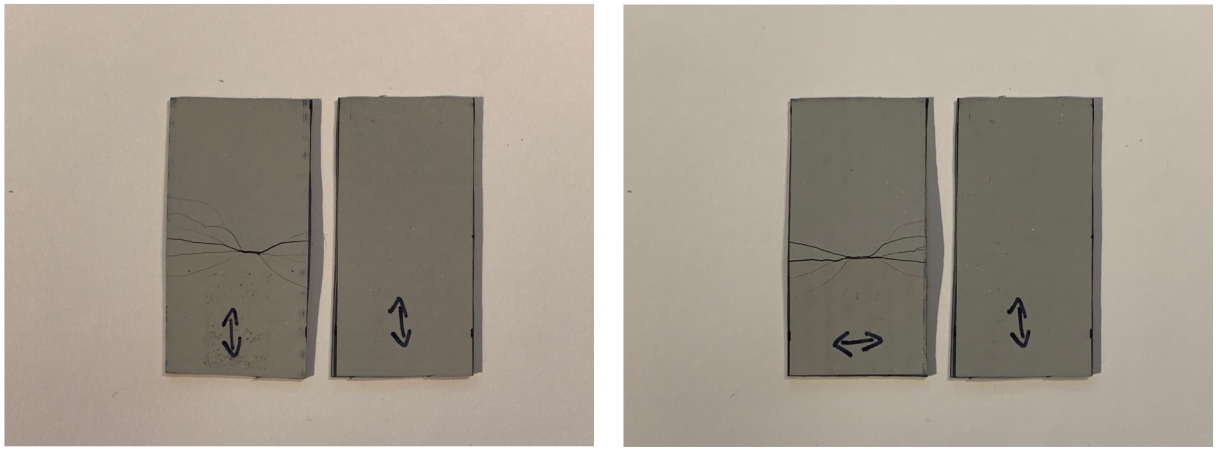
Odolnost vzorku 04 je stanovena na -25 °C. Každý vzorek ze sady 04 byl dle předpokladu porušen.

Výsledky zkoušky jsou zaznamenány v tabulce [tab. 14]

Tab. 14 Stupeň porušení vzorku 04

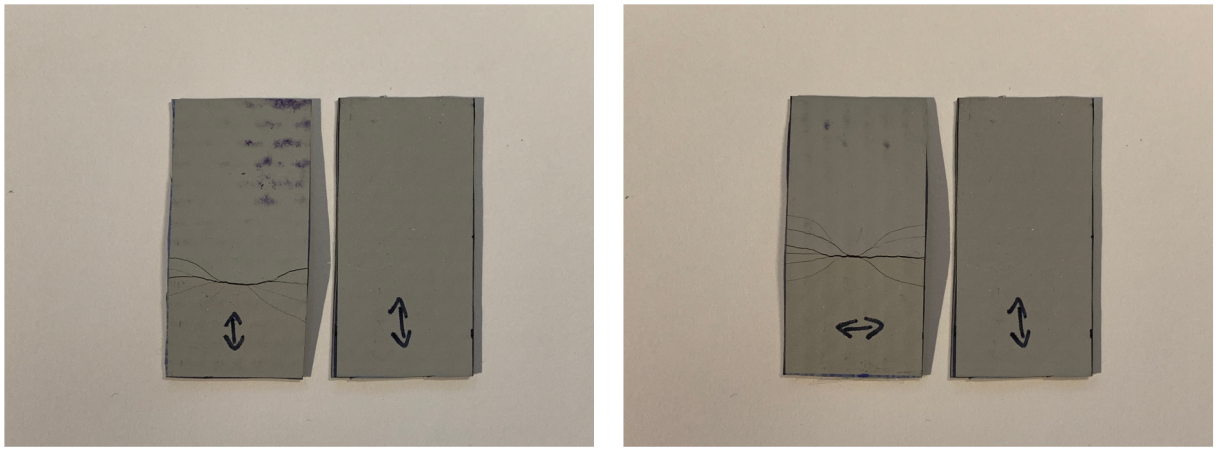
Expozice	Směr	Stupeň porušení	Popis
REF	podélný	3	Viditelná výztuž, nepoškozená podkladní vrstva
REF	příčný	3	Viditelná výztuž, na okraji lehké porušení podkladní vrstvy
1000	podélný	3	Viditelná výztuž, na okraji lehké porušení podkladní vrstvy
1000	příčný	3	Viditelná výztuž, nepoškozená podkladní vrstva
2000	podélný	4	Viditelná výztuž, na okraji lehké porušení podkladní vrstvy
2000	příčný	4	Viditelná výztuž, popraskaná podkladní vrstva
2500	podélný	4	Viditelná výztuž, popraskaná podkladní vrstva
2500	příčný	5	Úplné oddělení, drží u sebe díky výztužné tkanině
Střecha	podélný	5	Úplné oddělení, drží u sebe díky výztužné tkanině
Střecha	příčný	5	Úplné oddělení, drží u sebe díky výztužné tkanině

Referenční vzorek [Obr. 37] z podélného směru měl popraskanou povrchovou vrstvu s viditelnou výztužnou PES tkaninou. Vzorek z příčného směru měl navíc lehce popraskané okraje fólie.



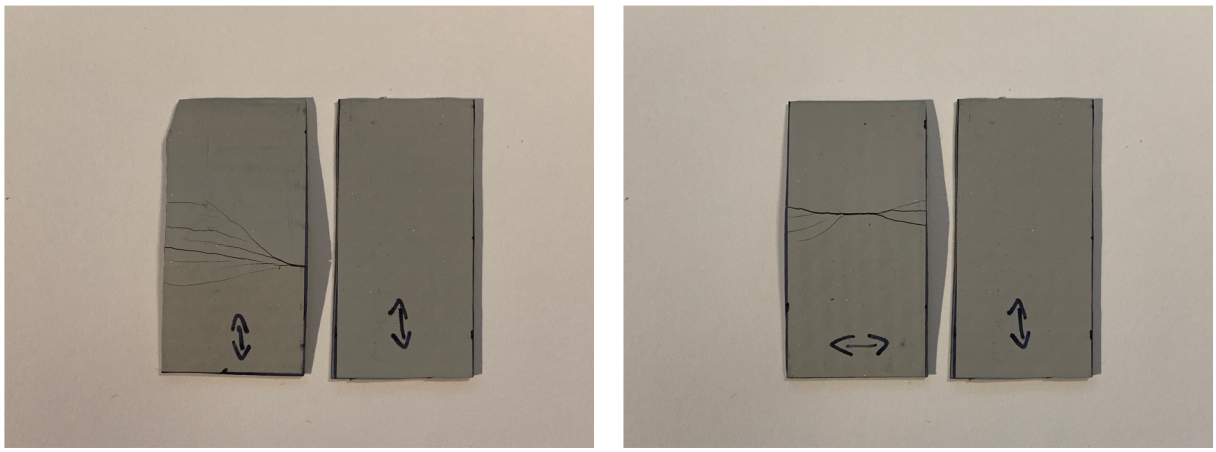
Obr. 37 Referenční vzorky

Vzorek odebraný z podélného směru a vystavený 1000 hodinám expozice [Obr. 38měl také poškozenou jak povrchovou vrstvu, tak okraje. Naproti tomu vzorek z příčného směru měl pouze popraskanou povrchovou vrstvu a viditelnou výztužnou rohož.



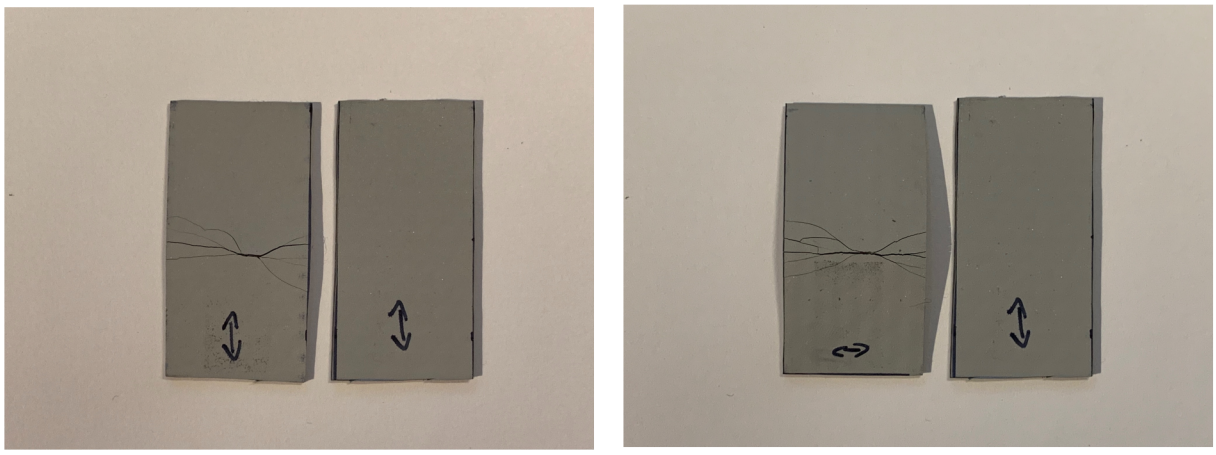
Obr. 38 Vzorky vystavené 1000 hodinám expozice

Při expozici 2000 hodin [Obr. 39] byla v obou případech viditelná výztužná rohož a popraskaná byla i podkladní vrstva.



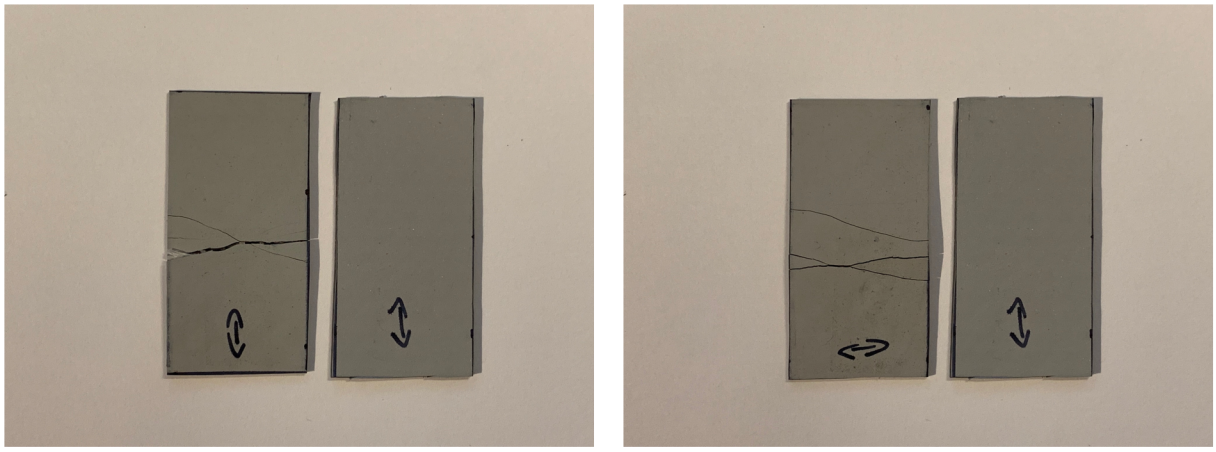
Obr. 39 Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice

Vzorek vystaven 2500 hodinám expozice [Obr. 40] odebraný v podélném směru měl popraskanou i podkladní vrstvu. Vzorek z příčného směru pak byl zcela porušen a obě poloviny u sebe držely jen díky výztužné rohoži.



Obr. 40 Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice

Pro porovnání vzorku 04 byl odebrán vzorek, který byl vystaven 2 letům přirozeného stárnutí ne střeše experimentálního centra DEK [Obr. 41]. Oba vzorky, tedy odebrané z příčného i podélného směru byly od sebe zcela odděleny a držely u sebe pouze díky výztužné rohoži.



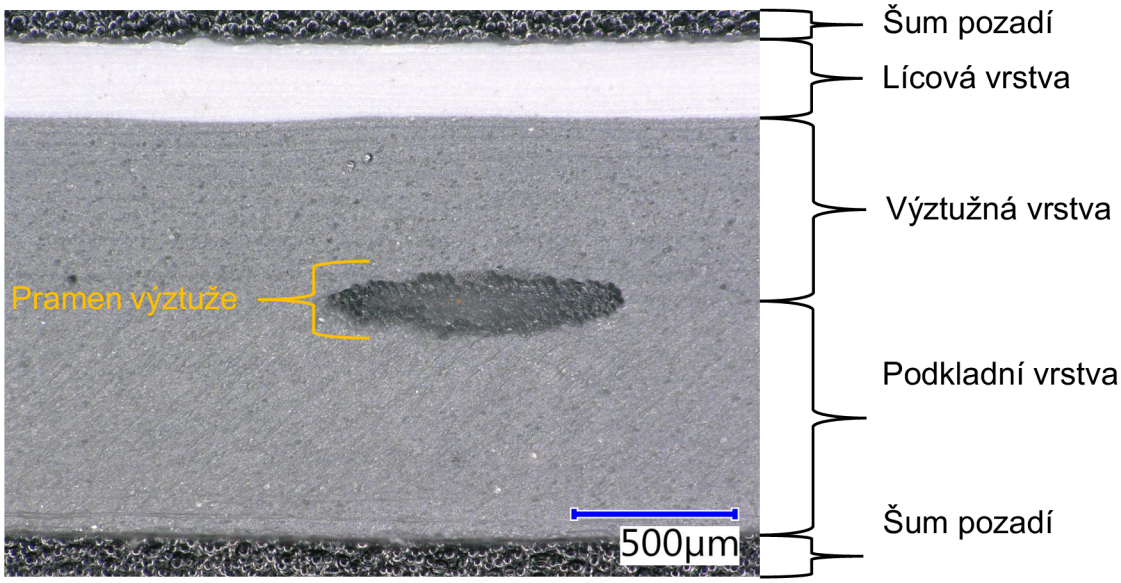
Obr. 41 Vzorky vystavené přirozenému stárnutí

Zhodnocení výsledků

Při stanovení ohebnosti za nízkých teplot bylo dosaženo očekávaných výsledků a sice, že s narůstající dobou expozice se bude ohebnost zhoršovat. Tento předpoklad se potvrdil a s narůstající dobou expozice se trhlinky ve fóliích zvětšovaly, až došlo k úplnému rozdělení vzorků. Lze konstatovat, že každých 1000 hodin na fólii zanechá určité změny. I přesto, že u sad 01 a 04 byly všechny vzorky porušeny, jsou pozorovatelné rozdíly v míře poškození vzorků. Na lícové straně fólie jsou s delší expozicí praskliny větší. Stejně tak jsou změny znát z rubové strany, která u referenčních vzorků byla nedotčená, zatímco u vzorků vystavených 2500 hodinám expozice byla popraskaná takovým způsobem, že obě poloviny vzorku u sebe držely jen díky výztužné PES tkanině. V případě expozice 2500 hodinám umělého stárnutí došlo u vzorku 02, který má výztužnou vrstvu ze skelné rohože k úplnému oddělení polovin vzorků.

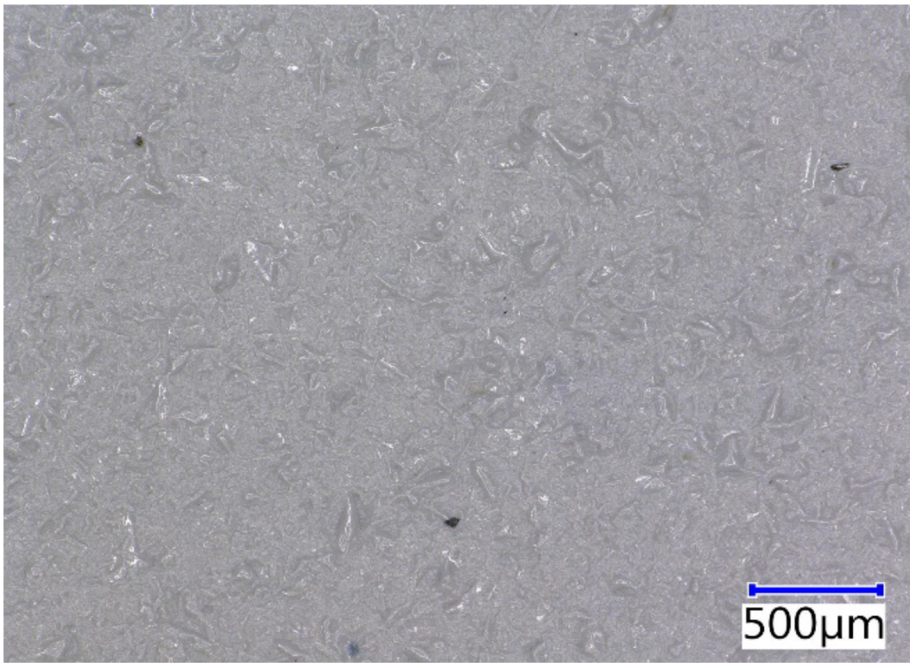
12.5 Stanovení změny povrchu vzorku mikroskopem

Pro správné čtení obrázků je nejprve zapotřebí vysvětlit, co je na obrázcích vidět. Povrch fólie je zvětšen 100krát. Řez fólií [Obr. 42] je zvětšen také 100krát.



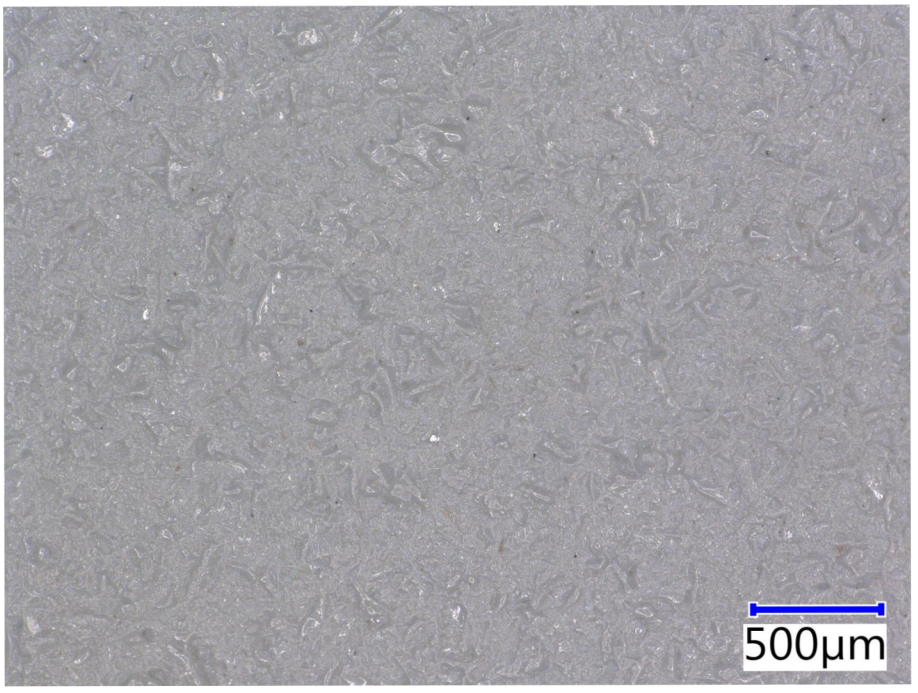
Obr. 42 Legenda řezu fólií

Postup provádění zkoušky byl popsán v kapitole 11.6. Při pozorování povrchu vzorků mikroskopem nebyl prokázán zásadní vliv umělého stárnutí na strukturu povrchu vzorků. Naopak při pozorování řezu jednotlivých vzorků bylo možné poměrně dobře sledovat reliéf povrchu. Žádné výrazné změny nebyly v průběhu stárnutí prokázány. Na následujícím obrázku [Obr. 43] je plocha referenčního vzorku ze sady 04



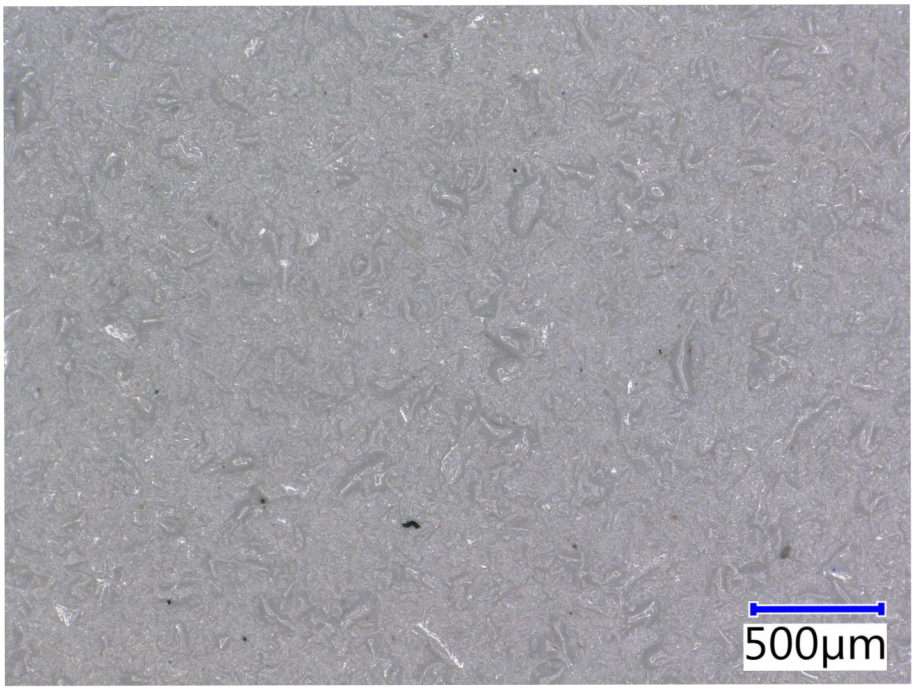
Obr. 43 Povrch referenčního vzorku ze sady 04

Na dalším snímku [Obr. 44] je vidět povrch vzorku 04 vystavený 1000 hodinám expozice. Při vystavení této expozici není prakticky žádná změna viditelná.



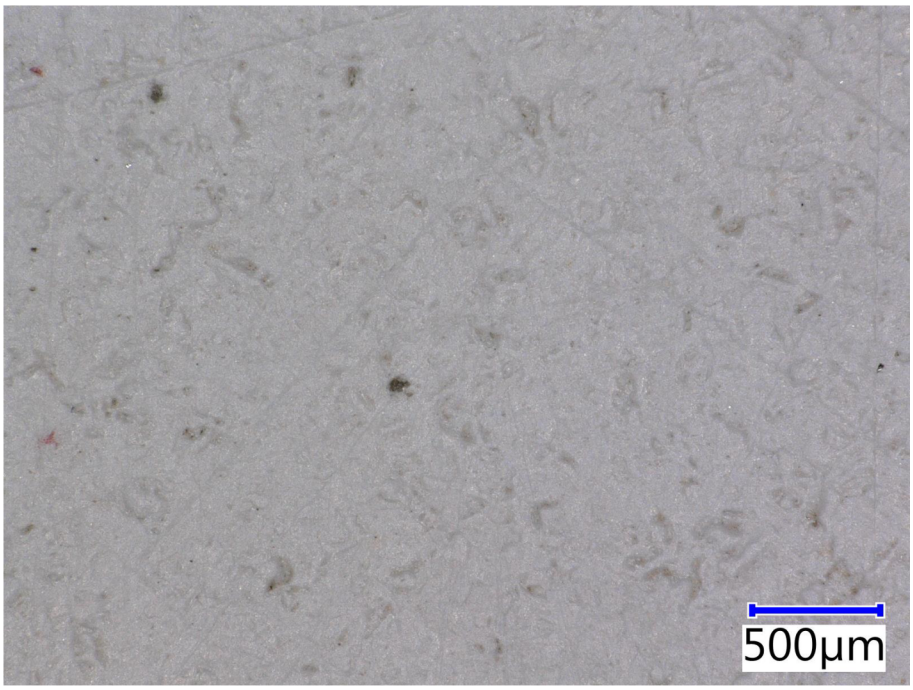
Obr. 44 Povrch vzorku 04 vystavený 1000 hodinám expozice

Další snímek [Obr. 45] ukazuje opět povrch vzorku 04. Tentokrát vystavený 2500 hodinám expozice. I z tohoto snímku je patrné, že nedochází k výrazným změnám povrchu.



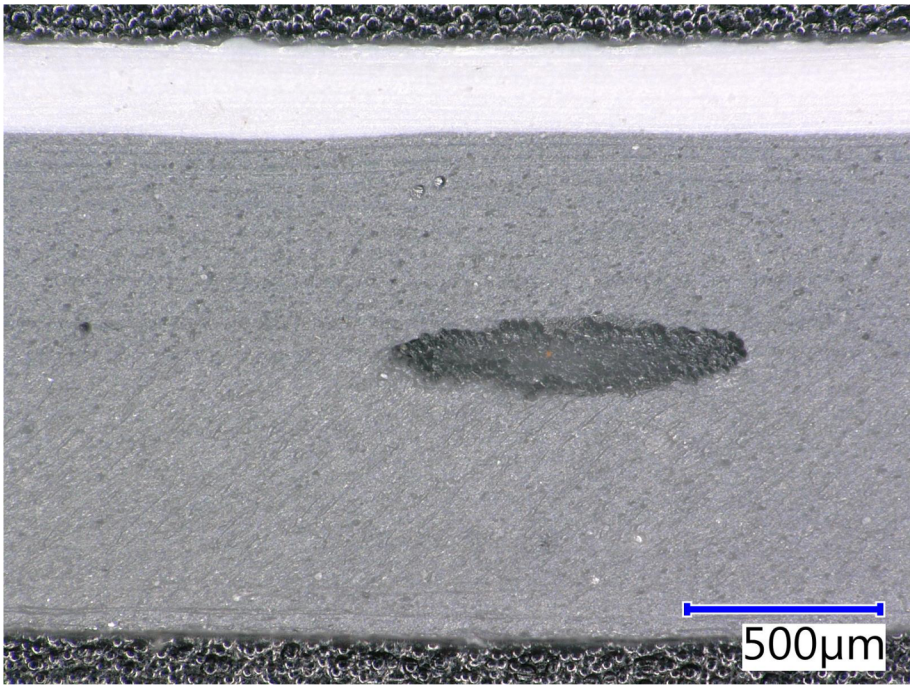
Obr. 45 Povrch vzorku 04 vystavený 2500 hodinám expozice

Na snímku [Obr. 46] je vidět povrch vzorku 04 vystavený dvěma letům přirozeného stárnutí.



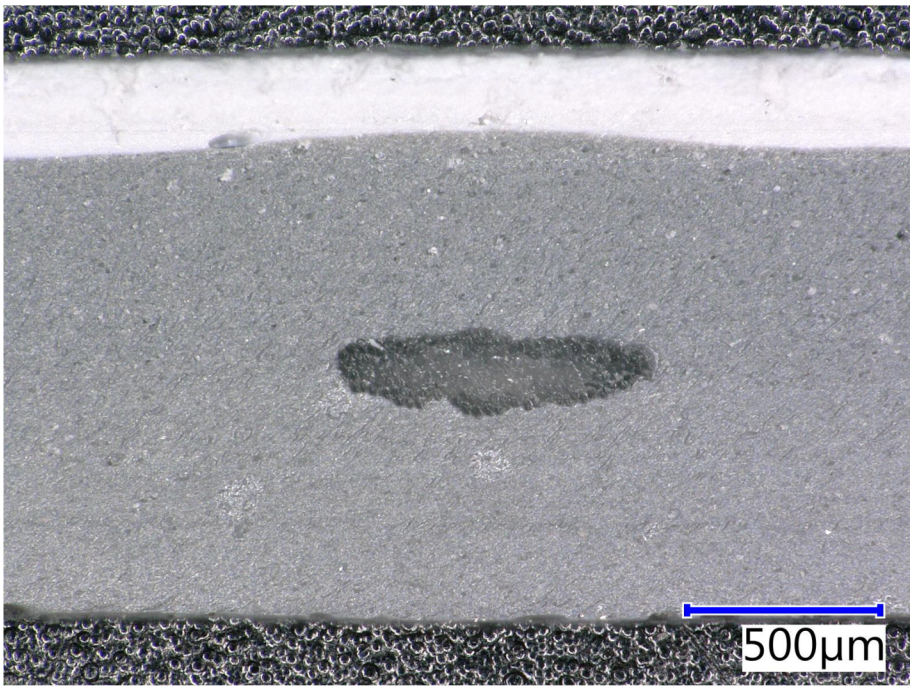
Obr. 46 Povrch vzorku 04 vystavený přirozenému stárnutí

Na dalších snímcích je vidět řez stejnými vzorky fólie. Tyto snímky jsou využitelné spíše pro pozorování reliéfu povrchu než pro měření tloušťky. Na následujícím snímku [Obr. 47] je vidět řez fólií referenčního vzorku 04



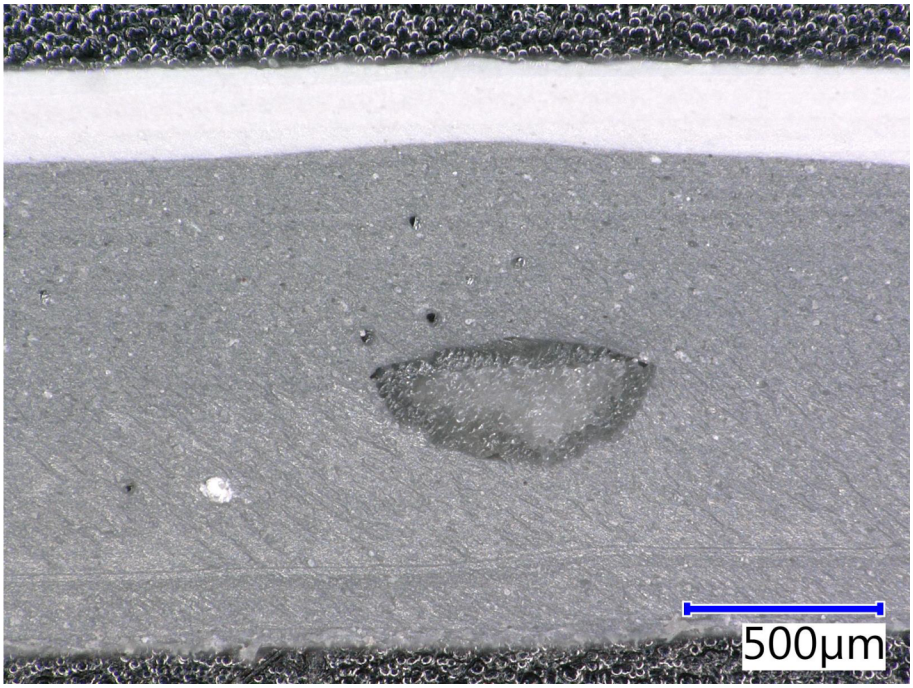
Obr. 47 Řez referenčním vzorkem 04

Při pozorování vzorku vystaveného 1000 hodinám expozice [Obr. 48] nedochází ve struktuře řezu ani v reliéfu povrchu vzorku.



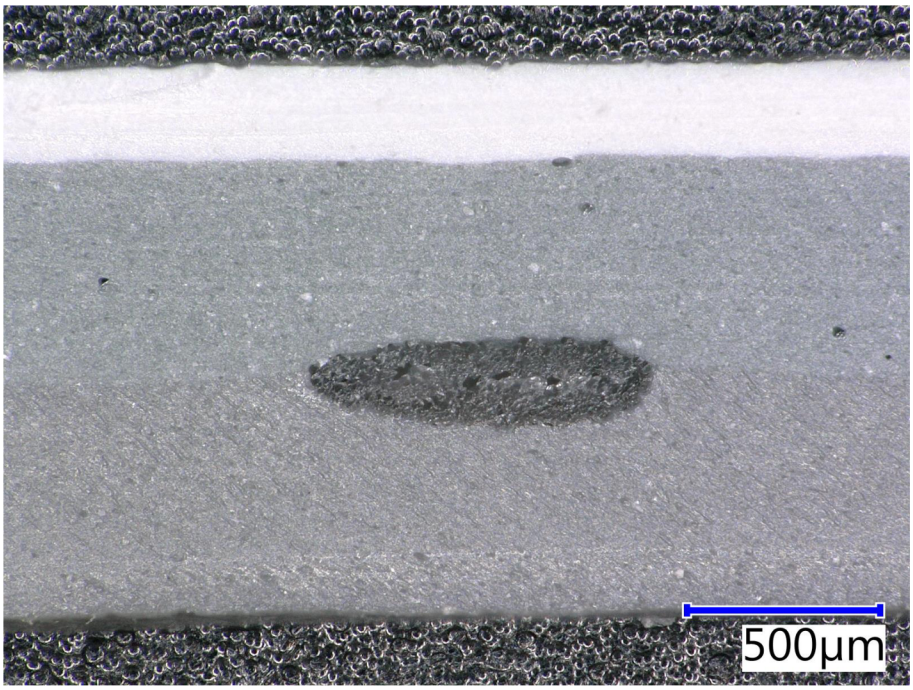
Obr. 48 Řez vzorkem 04 vystavený 1000 hodinám expozice

Na řezu vzorku vystaveného 2500 hodinám expozice [Obr. 49] je možné pozorovat mírně se zvětšující zvrásnění reliéfu povrchu vzorku.



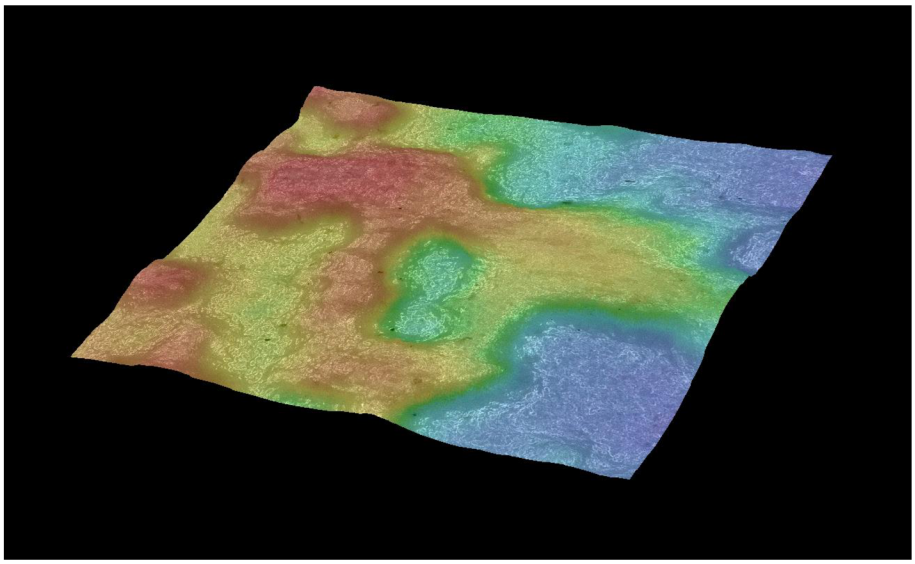
Obr. 49 Řez vzorkem 04 vystavený 2500 hodinám expozice

Dalším snímkem [Obr. 50] je řez vzorku 04, který byl vystaven přirozenému stárnutí. Na tomto snímku je možné vidět znovu nepatrně hrubší reliéf povrchu.



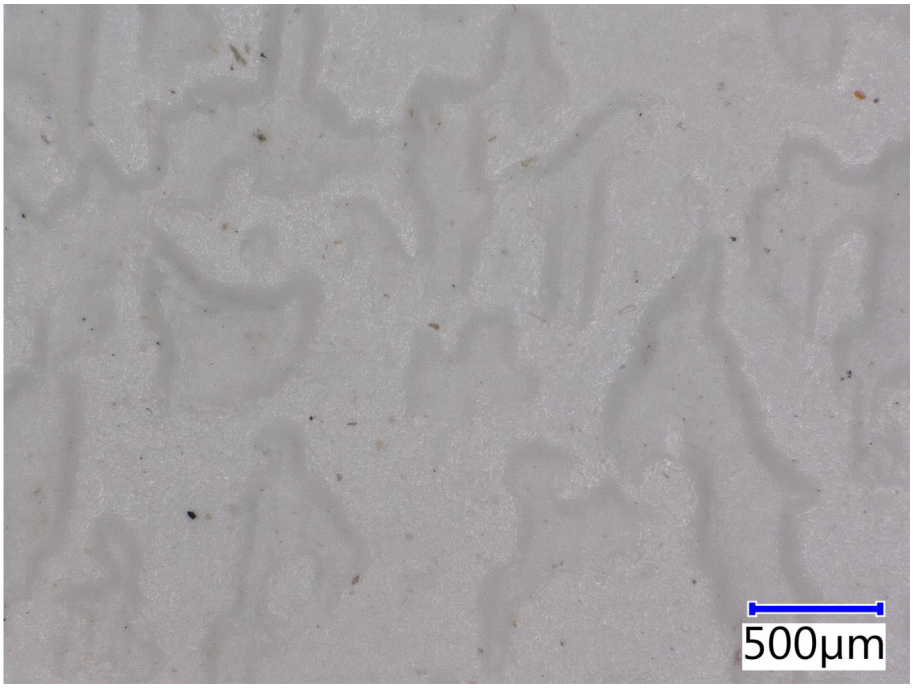
Obr. 50 Řez vzorkem 04 vystavený přirozenému stárnutí

Při hodnocení povrchu hrubších materiálů je možné použít 3D snímek, díky kterému je možné zachytit změny struktury a barevně odstupňovat výškový profil. Vzorek připravený pro 3D snímkování musí být ale co nejrovnější, protože jinak dochází k výraznému zkreslení. Na snímku [Obr. 51] je zachycen referenční vzorek 03, který byl mírně prohnutý.



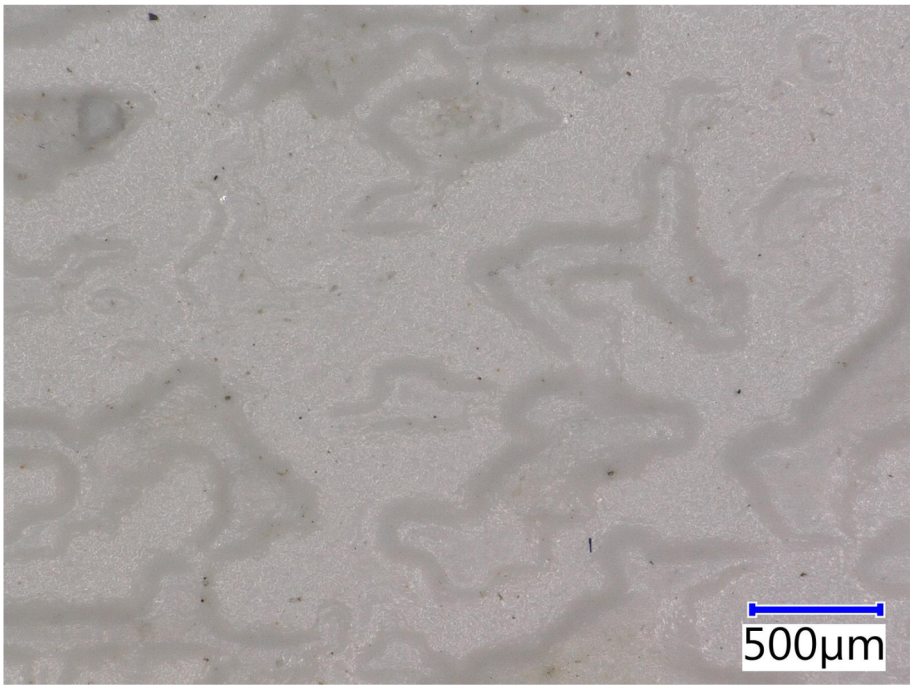
Obr. 51 3D snímek referenčního vzorku 03

Na následujícím snímku [Obr. 52] je zachycen povrch stejného vzorku



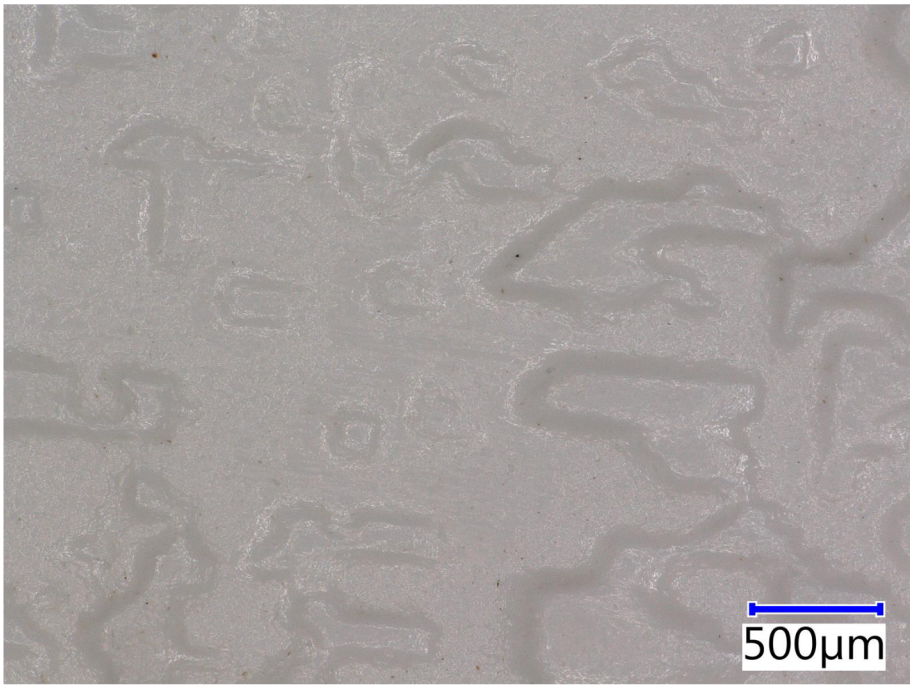
Obr. 52 Povrch referenčního vzorku 03

Další snímek [Obr. 53] ukazuje opět vzorek 03 vystavený 1000 hodinám expozice. Nejsou patrné žádné změny ve struktuře povrchu



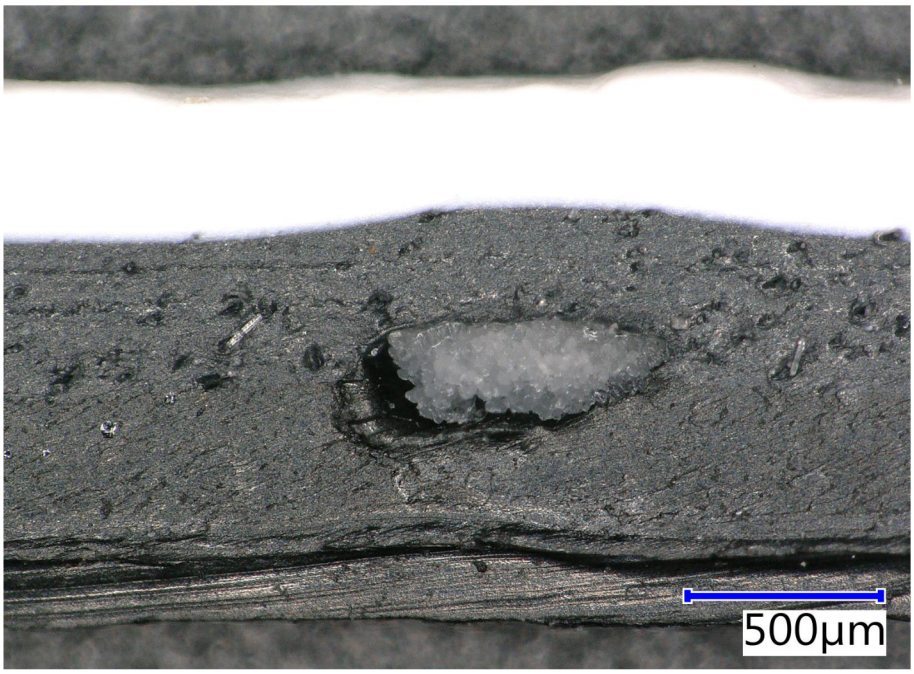
Obr. 53 Povrch vzorku 03 vystaveného 1000 hodinám expozice

Snímek [Obr. 54] ukazuje povrch vzorku 03 vystaveného 2500 hodinám expozice. Ani na tomto snímku nejsou patrné žádné výrazné změny.



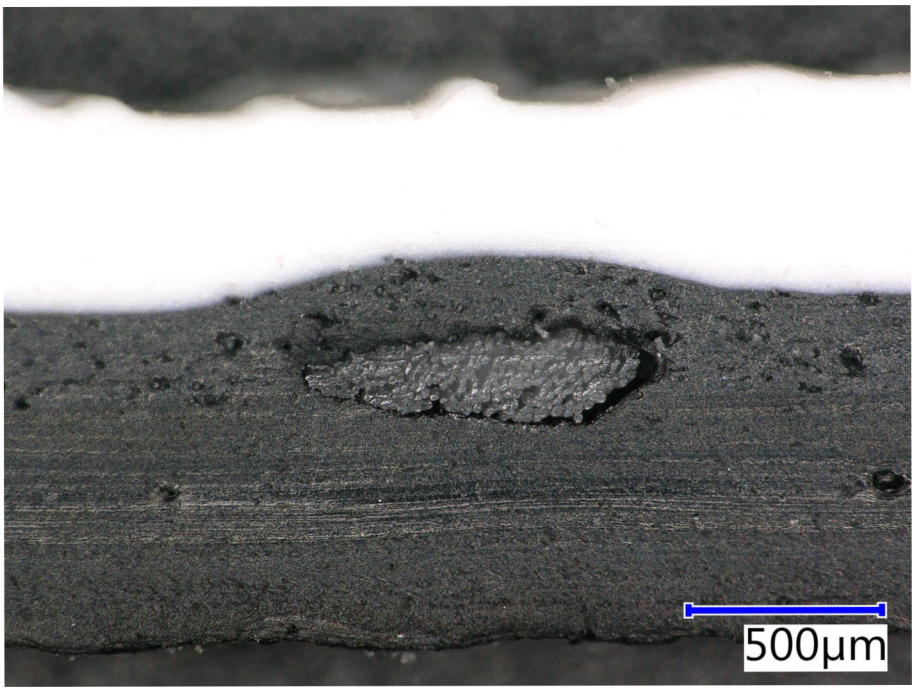
Obr. 54 Povrch vzorku 03 vystaveného 2500 hodinám expozice

Při pohledu na řezy vzorkem 03 nebylo mikroskopem, díky odrazu světla od bílé povrchové vrstvy fólie, možné zachytit detail povrchové vrstvy. Reliéf povrchu tak není zcela patrný, ale není vidět, že by na něm docházelo k výrazným změnám. Na následujícím snímku [Obr. 55] je zachycen řez referenčním vzorkem 03.



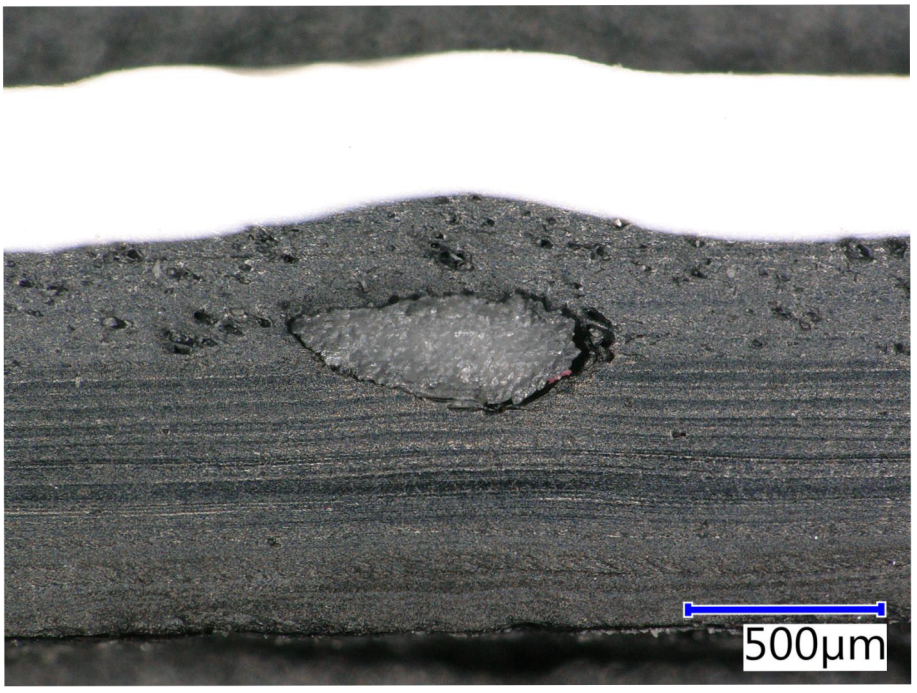
Obr. 55 Řez referenčním vzorkem 03

Další snímek [Obr. 56] zachycuje řez stejným vzorkem vystaveným 1000 hodinám expozice.



Obr. 56 Řez vzorkem 03 vystavený 1000 hodinám expozice

Na řezu vzorkem 03 vystaveného 2500 hodinám expozice [Obr. 57] stále nejsou pozorovatelné výrazné změny.



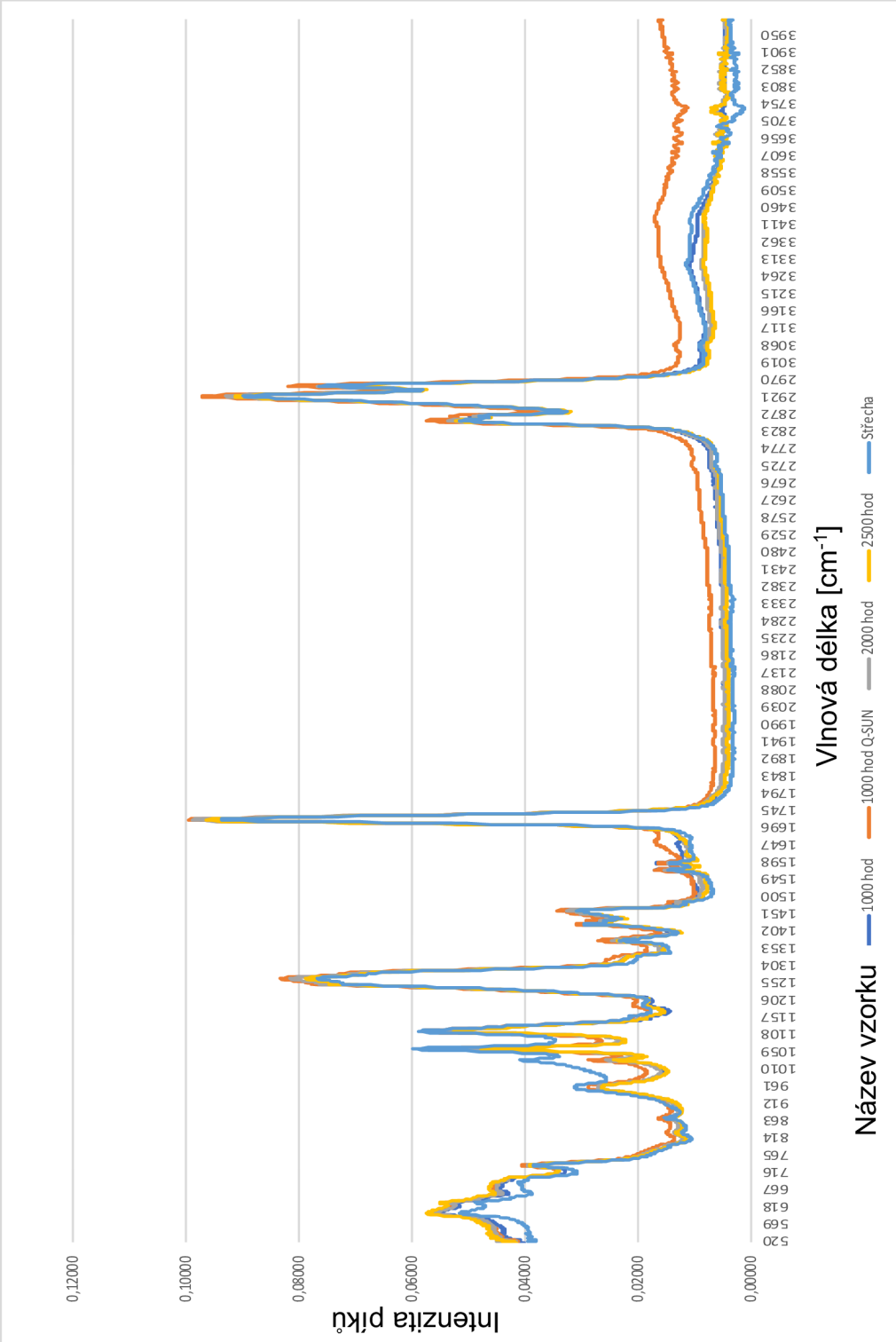
Obr. 57 Řez vzorkem 03 vystavený 2500 hodinám expozice

Zhodnocení výsledků

Při pozorování změny povrchu jednotlivých vzorků optickým mikroskopem nebyla zaznamenána výrazná změna. Pozorováním vzorků, které byly určeny primárně pro stanovení tloušťky a jejího úbytku bylo zjištěno, že použití optického mikroskopu je zcela nevhodné pro stanovení tloušťky. Nicméně při porovnání těchto snímků bylo zjištěno, že pozorování fólií v řezu je lepším ukazatelem pro pozorování změny reliéfu povrchu. U vzorku, který byl vystaven expozici 2500 hodin umělého stárnutí byl povrch mírně hrubší než u vzorků referenčních. Dalším ukazatelem změny povrchu je 3D snímkování. Tato metoda je však vhodná především pro vzorky s hrubým povrchem, kde jsou změny snadno zaznamenatelné. Při snímkování hladkých vzorků nebyla žádná změna zaznamenána.

12.6 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

Testování touto metodou byl podroben pouze vzorek 04. Při vyhodnocení této zkoušky bylo zjištěno, že téměř k žádným změnám nedochází. Pouze u vzorku, který byl vystaven přirozenému stárnutí byl zaznamenán drobný rozdíl v intenzitě píků. Rozdíl intenzit píků jednotlivých vzorků je vidět na následujícím grafu [Graf 23]



Graf 23 Vyhodnocení FTIR analýzy

Zhodnocení výsledků

Analýza FTIR nepotvrdila výrazné změny ve složení fólií. Jediný mírný rozdíl v intenzitě píků byl zaznamenán u vzorku odebraného ze střechy, tedy u vzorku vystaveného přirozenému stárnutí. Tento rozdíl značí mírnou změnu chemického složení fólie.

Závěr

Cílem této práce bylo porovnání přirozeného stárnutí střešních fólií s metodami pro umělé stárnutí za účelem přiblížení se co nejvíce přirozeným podmínkám. Dále bylo úkolem upravení metodiky umělého stárnutí s následným ověřením v komorách pro tento účel určených. Po provedení a vyhodnocení zkoušek byl u většiny vlastností potvrzen předpoklad, a to že již při expozici umělému stárnutí v délce 1000 hodin nastanou u vzorků nevratné změny, které mohou hrát zásadní roli v životnosti střešních fólií. Z dosažených výsledků také vyplývá, že při použití fólií v místech jejího většího namáhání, jako jsou například nároží, nebo úžlabí, by bylo vhodné použít takovou fólii, která kombinuje výhody dvou typů testovaných fólií, a to těch s orientovanou výztužnou tkaninou a fólií s rozptýlenou výztuží. Tento fakt by ale obnášel výrobu zcela nové fólie, která by ovšem do budoucna mohla hrát významnou roli v místech s vyšším namáháním, především pak ve zlepšení tahových vlastností.

Při porovnávání výsledků získaných u uměle zestárlých fólií s výsledky na fólii, která byla vystavena přirozenému stárnutí v délce dvou let bylo zjištěno, že 2500 hodin umělého stárnutí bylo nedostatečných a míra degradace přirozeně zestárlé fólie byla výraznější, což se projevilo při stanovení tloušťky a zejména ve zkoušce ohybu za nízkých teplot.

Upravená metodika byla z časových důvodů testována pouze 2500 hodin. To znamená, že pro získání přesnějších výsledků by bylo zapotřebí v testování nadále pokračovat a dosáhnout nejen normových 5000 hodin, ale testovat například i více než 10000 hodin. Dalším doporučením pro další výzkum této problematiky by bylo použití jiných zkušebních těles, a to především při stanovování tahových vlastností vzorků zejména z důvodu eliminace chyb, kdy je ve zkušební části jeden, nebo více pramenů výztužné tkaniny.

Seznam použité literatury

[1]
Polyethylen. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen
[2]
MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
[3]
DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
[4]
DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1148-1.
[5]
Polyvinylchlorid. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2018. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyvinylchlorid
[6]
Polymery, Ing. Luboš Běhálek, Ph.D. [online]. 2016 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://publi.cz/books/180/Cover.html
[7]
MIČKAL, Petr. *Možnosti studia degradace polymerních materiálů v klimatických podmínkách Antarktidy*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce RNDr. Lukáš Krmíček, Ph.D.
[8]
NAVRÁTILOVÁ, Zuzana. *Problematika stárnutí střešních hydroizolačních fólií na bázi TPO*. Zlín, 2009. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
[9]
FOLEY, Frank, Jim KOONTZ a Joseph VALAITIS. *Aging and Hail Research of PVC Membranes* [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: http://www.jdkoontz.com/articles/aging.pdf
[10]
JŮN, Petr. Ploché střechy: návrh a provedení. *Stavařina.cz* [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: http://www.stavarina.cz/hruba-stavba/ploche-strechy-navrh-provedeni.htm
[11]
JŮN, Petr. Poruchy plochých střešních plášťů. *Stavařina.cz* [online]. 2007 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: http://www.stavarina.cz/poruchy/poruchy-plochych-strech.htm

[12]
Pozemní stavitelství: 2. ročník [online]. 2012 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: http://stavebnikomunita.cz/page/pozemni-stavitelstvi-obsah?fbclid=IwAR2RntOrR_1xqRuXTw7iKswTgydIrDgPeD4ElV8PbH5ly-QgZ8DjnP9kjW8
[13]
IMateriály [online]. 2009 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/informace-vyrobcu/vady-plochych-strech-a-priklady-z-nbsp-praxe_101521.html
[14]
Pozemní stavitelství IV: STŘECHY - ÚČEL, FUNKCE, POŽADAVKY, ROZDĚLENÍ [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/1.html
[15]
HORÁLEK, Jiří, Martin SCHOVANEC, Lubomír KUBÁČ a Jiří AKRMAN. NOVÉ SMĚRY V UV STABILIZACI OCHRANNÝCH POVLAKŮ A SUBSTRÁTŮ. *Chemické listy*. 2007, **2007**(101), 157−164.
[16]
KOLÁŘ, Radim. *Ploché střechy*. Brno, 2014.
[17]
HIPOS: Jak správně navrhnout mechanické kotvení střešního pláště [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://www.hipos.cz/jak-spravne-navrhnout-mechanicke-kotveni-stresniho-plaste
[18]
Thermal degradation of PVC [online]. 2015 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302233
[19]
Benzotriazole [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/533203?lang=en®ion=CZ
[20]
Rozdělení elektromagnetického záření [online]. [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: https://wirelessly.webnode.cz/bezdratove-prenosove-technologie/rozdeleni-elektromagnetickeho-zareni/
[21]
ČSN EN ISO 4892-3. *Plasty - Metody vystavení laboratorním zdrojům světla: Část 3: Fluorescenční UV lampy*. 2016.
[22]
Plastová teleskopická podložka. In: *DEK* [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/3420104464-teleskop-205-125ks-bal?tab_id=popis
[23]
Q-LAB [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://www.q-lab.com/en-gb/

[24]
Barevný prostor CIELAB [online]. 2013 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: http://sheriffblathur.blogspot.com/2013/07/cie-lab-color-space.html
[25]
Šroubovací mikrometr Horex [online]. [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/sroubovaci-mikrometr-horex-2304510-0-25-mm.k819414
[26]
INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE, KANIA Patrik [online]. VŠCHT Praha [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infračervená+spektrometrie.pdf?redirected
[27]
POLKA, Leoš. *UV VIS a FTIR spektroskopická analýza materiálů na bázi polymerů*. Zlín, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
[28]
ČSN EN 1297. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, Hydroizolační pásy a fólie - Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech - Metoda umělého stárnutí při dlouhodobém vystavení kombinaci UV záření, zvýšené teploty a vody*. 2004.
[29]
ČSN EN 495-5. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení ohebnosti: Část 5: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech*. 2013.
[30]
ČSN EN 12311-2. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, Hydroizolační pásy a fólie - Stanovení tahových vlastností: Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech*. 2013.
[31]
ČSN EN ISO 11664 – 4. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA, Kolorimetrie: Část 4: Kolorimetrický prostor CIE 1976 L*a*b*. 2011.

Seznam obrázků

Obr. 1 Vzorec polyethylenu (PE) [1] ... 13
Obr. 2 Vzorec polypropylenu (PP) [1] ... 13
Obr. 3 Základní jednotka a model PVC [5] ... 14
Obr. 4 Vznik PVC [5] ... 14
Obr. 5 Vzorec hydroxyfenylbenzotriazolu [19] ... 17
Obr. 6 Vlnové délky záření [20] ... 20
Obr. 7 Schéma linky pro výtlačné nanášení polymerů na podložku [3] ... 24
Obr. 8 Schéma bubnového lisu [3] ... 25
Obr. 9 Skladba střešní fólie [foto: autor] ... 25
Obr. 10 Základní vrstvy střechy [14] ... 27
Obr. 11 Schéma střechy s klasickým pořadím vrstev [14] ... 27
Obr. 12 Schéma střechy s opačným pořadím vrstev [14] ... 28
Obr. 13 Schéma kombinované střechy [14] ... 28
Obr. 14 Schéma dvouplášťové střechy [14] ... 29
Obr. 15 Plastová teleskopická podložka a velkoformátová ocelová podložka [22] ... 30
Obr. 16 Prokreslené kotvení hydroizolace [foto: autor] ... 31
Obr. 17 Chybné provedení detailu připojení hydroizolace na komín [11] ... 32
Obr. 18 Kombinace dvou různých materiálů [11] ... 32
Obr. 19 QUV tester [23] ... 38
Obr. 20 Vlevo upravený nosič vzorku s příponkou; vpravo vzorky připravené k umístění do komory ... 38
Obr. 21 Q-SUN XE-3 tester [23] ... 39
Obr. 22 Spektrofotometr CM-600d ... 40
Obr. 23 Barevný prostor CIELAB ... 40
Obr. 24 Rozložení měřících bodů ... 40
Obr. 25 Zkušební těleso pro stanovení tahových vlastností ... 41
Obr. 26 Vyříznutá zkušební tělesa ... 42
Obr. 27 Mikrometr pro stanovení tloušťky vzorku [25] ... 42
Obr. 28 Referenční vzorky ... 64
Obr. 29 Vzorky vystavené 1000 hodinám expozice ... 64
Obr. 30 Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice ... 65
Obr. 31 Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice ... 65

Obr. 32 Referenční vzorky 66
Obr. 33 Vzorky vystavené 1000 hodinám expozice 67
Obr. 34 Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice 67
Obr. 35 Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice 68
Obr. 36 Vlevo referenční vzorek; vpravo vzorek vystavený expozici 2500 hodin 69
Obr. 37 Referenční vzorky 70
Obr. 38 Vzorky vystavené 1000 hodinám expozice 70
Obr. 39 Vzorky vystavené 2000 hodinám expozice 71
Obr. 40 Vzorky vystavené 2500 hodinám expozice 71
Obr. 41 Vzorky vystavené přirozenému stárnutí 72
Obr. 42 Legenda řezu fólií 73
Obr. 43 Povrch referenčního vzorku ze sady 04 73
Obr. 44 Povrch vzorku 04 vystavený 1000 hodinám expozice 74
Obr. 45 Povrch vzorku 04 vystavený 2500 hodinám expozice 74
Obr. 46 Povrch vzorku 04 vystavený přirozenému stárnutí 75
Obr. 47 Řez referenčním vzorkem 04 75
Obr. 48 Řez vzorkem 04 vystavený 1000 hodinám expozice 76
Obr. 49 Řez vzorkem 04 vystavený 2500 hodinám expozice 76
Obr. 50 Řez vzorkem 04 vystavený přirozenému stárnutí 77
Obr. 51 3D snímek referenčního vzorku 03 77
Obr. 52 Povrch referenčního vzorku 03 78
Obr. 53 Povrch vzorku 03 vystaveného 1000 hodinám expozice 78
Obr. 54 Povrch vzorku 03 vystaveného 2500 hodinám expozice 79
Obr. 55 Řez referenčním vzorkem 03 79
Obr. 56 Řez vzorkem 03 vystavený 1000 hodinám expozice 80
Obr. 57 Řez vzorkem 03 vystavený 2500 hodinám expozice 80

Seznam tabulek

Tab. 1. Vybrané střešní fólie……35
Tab. 2. Vybrané vlastnosti střešních fólií……36
Tab. 3. Průměrné hodnoty změny barevnosti ΔE……..45
Tab. 4. Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 01……...46
Tab. 5. Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 02……...49
Tab. 6. Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 03……...53
Tab. 7. Výsledky zkoušky vztažené k momentu porušení výztuže……53
Tab. 8. Vyhodnocení zkoušek v tahu na vzorku 04……...57
Tab. 9. Výsledky zkoušky vztažené k momentu porušení výztuže……58
Tab. 10. Stanovení změny tloušťky vzorků, hodnoty v milimetrech……62
Tab. 11. Stupeň porušení vzorku 01……63
Tab. 12. Stupeň porušení vzorku 02……66
Tab. 13. Stupeň porušení vzorku 03……68
Tab. 14. Stupeň porušení vzorku 04……69

Seznam grafů

Graf 1 Průběh změny barevnosti z hodnot ΔE……45
Graf 2 Vzorek 01 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin……...47
Graf 3 Vzorek 01 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3 ……47
Graf 4 Vzorek 01 – Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3……48
Graf 5 Vzorek 01 – Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin……...48
Graf 6 Vzorek 01 – Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin……...49
Graf 7 Vzorek 02 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin……...50
Graf 8 Vzorek 02 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3 ……50
Graf 9 Vzorek 02 – Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3……51
Graf 10 Vzorek 02 – Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin……...51
Graf 11 Vzorek 02 – Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin……...52
Graf 12 Vzorek 03 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin……..……...54
Graf 13 Vzorek 03 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3 ……..…54
Graf 14 Vzorek 03 – Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3……..…55
Graf 15 Vzorek 03 – Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin……..……...55
Graf 16 Vzorek 03 – Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin……..……...56
Graf 17 Vzorek 04 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin……..……...58
Graf 18 Vzorek 04 – Průběh zkoušky – referenční a 1000 hodin Q-SUN XE3 ……..…59
Graf 19 Vzorek 04 – Průběh zkoušky – 1000 hodin a 1000 hodin Q-SUN XE3……..…59
Graf 20 Vzorek 04 – Průběh zkoušky – referenční a 2000 hodin……..……...60
Graf 21 Vzorek 04 – Průběh zkoušky – referenční a 2500 hodin……..……...60
Graf 22 Vzorek 04 – Průběh zkoušky – referenční a dva roky na střeše……61
Graf 23 Vyhodnocení FTIR analýzy……82