

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Měření mechanických vlastností a nasákavosti ve vodě
laminovacích folií používaných ve fotovoltaických
panelech**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr OULÍK**
Osobní číslo: **E11N0031P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Měření mechanických vlastností a nasákavosti ve vodě laminačních folií používaných ve fotovoltaických panelech**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

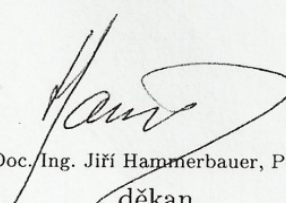
1. Proveďte literární rešerši na téma použití etylen-vinyl acetátu při výrobě fotovoltaického panelu (základní vlastnosti, výhody a nevýhody jeho použití).
2. Proveďte rešerši českých i zahraničních norem zabývajících se měřením mechanických vlastností a stanovením nasákavosti materiálů ve vodě.
3. Proměřte mechanické vlastnosti a nasákavost ve vodě u dodaných etylen-vinyl acetátových laminačních folií.
4. Proveďte základní statistickou analýzu naměřených dat.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

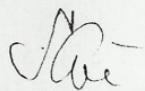
1. M. Ashby, H. Shercliff and D. Cebon. **Materials: engineering, science, processing and design**. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. ISBN 978-185-6178-952.
2. **České a zahraniční technické normy.**
3. **Elektronické informační zdroje (databáze SCIENCE DIRECT, Interscience-Wiley apod.)**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Radek Polanský, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Cílem diplomové práce je změřeni mechanických vlastností etylen vinyl acetátových laminačních fólií. Mechanické vlastnosti byly změřeny na přístroji, který je určený k měření dynamických mechanických vlastností. Dále bylo provedeno měření nasákavosti dodaných etylen vinyl acetátových fólií. Měřené vzorky byly uloženy v destilované vodě v místnosti s konstantní teplotou. Výsledky měření nasákavosti ukázaly, že u dodaných vzorků nedochází k nasákavosti, ale naopak vzorky začaly po určitém časovém období ztrácet svou hmotnost. Vážení vzorků probíhalo při teplotě 25 °C. Zbývající část diplomové práce je zaměřená na použití etylen-vinylacetátu při výrobě fotovoltaického panelu. Druhá část rešerše se zabývá českými i zahraničními normami, které se zabývají problematikou měření mechanických vlastností a stanovením nasákavosti materiálů ve vodě.

Klíčová slova

Fotovoltaika, etylen-vinylacetát (EVA), síťování, kopolymer, polymerace, vulkanizace, žloutnutí, degradace, dynamická-mechanická analýza, nasákavost ve vodě, mechanické vlastnosti

Abstract

The aim of this master's thesis is to measure the mechanical properties of ethylene-vinylacetate laminating film. Mechanical properties were determined on the device, which is designed to measure the dynamic mechanical properties. Further measurements involved absorbency of supplied ethylene vinyl acetate film. The measured samples were stored in distilled water in a room with a constant temperature. The results of absorption measurements showed that the samples did not absorb water, but instead the samples started to lose weight after a certain period of time. Weighing the samples was carried out at 25 ° C. The remaining part of the diploma thesis is focused on the use of ethylene-vinyl acetate in the manufacture of photovoltaic panels. The final is concerned deals with Czech and international standards which deal with the measurement of mechanical properties of materials and determination of the absorption in water.

Key words

Photovoltaic, ethylene-vinyl acetate (EVA), cross-linking, copolymer, polymerization, vulcanization, yellowing, degradation, dynamic-mechanical analysis, absorption in water, mechanical properties

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 6.5.2013

Bc. Petr Oulík

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radkovi Polanskému, Ph.D. za užitečné rady a náměty v průběhu celého měření experimentální práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Čermákovi a Ing. Monice Bartůňkové za pomoc při měření nasákavosti a měření mechanických vlastností. Rovněž bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu během celého studia.

Tato diplomová práce vznikla také za podpory Evropského fondu pro regionální rozvoj a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE), číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0094.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1. FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	12
1.1 MONOKRYSTALICKÝ ČLÁNEK	12
1.2 POLYKRYSTALICKÝ ČLÁNEK.....	13
1.3 AMORFNÍ ČLÁNEK.....	13
1.4 STRUKTURA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU.....	13
1.5 ŽIVOTNOST FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	15
2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY POLYMERŮ	16
2.1 POLYMERACE	16
2.1.1 Iontová polymerace.....	17
2.1.2 Koordinační polymerace	17
2.1.3 Radikálová polymerace.....	17
2.2 HISTORIE POLYMERŮ	17
2.3 SÍŤOVÁNÍ POLYMERŮ	18
2.4 KOPOLYMER.....	19
3. ETYLEN-VINYLCETÁT (EVA)	20
3.1 VLIV OBSAHU VINYLCETÁTU NA VLASTNOSTI KOPOLYMERU.....	21
3.2 POUŽITÍ A DŮVODY ZAVEDENÍ ETYLEN-VINYLCETÁTU.....	22
3.3 ŽLOUTNUTÍ EVA KOPOLYMERŮ A ZTRÁTY VÝKONU VYVOLANÉ ŽLOUTNUTÍM.....	25
3.4 STABILIZOVANÝ A NESTABILIZOVANÝ EVA KOPOLYMER.....	27
3.5 ZPŮSOB URČENÍ VINYL ACETÁTU V EVA KOPOLYMERU.....	28
3.6 VLIV TEPLoty NA EVA KOPOLYMERY	29
4. TECHNICKÉ NORMY – NASÁKAVOST MATERIÁLŮ VE VODĚ	31
4.1 NORMA ČSN EN ISO 62:2008	31
4.1.1 Rozsah normy.....	32
4.1.2 Princip normy.....	32
4.1.3 Zkušební vzorky.....	33
4.1.4 Postupy zkoušky.....	33
4.1.5 Použitá metoda pro měření nasákavosti EVA vzorků - Metoda : Stanovení absorbovaného množství vody po ponoření vzorku do vody o teplotě 23 ° C.....	33
4.1.6 Vyjádření výsledků.....	34
4.2 NASÁKAVOST PLASTŮ – PŘEHLED NOREM.....	35
5. TECHNICKÉ NORMY – MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ	37
6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
6.1 MĚŘENÍ NASÁKAVOSTI EVA FÓLÍÍ	42
6.2 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ NASÁKAVOSTI EVA FÓLÍÍ	47
6.3 MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ EVA FÓLÍÍ.....	57
6.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ EVA FÓLÍÍ.....	57
6.5 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	64
ZÁVĚR	66
POUŽITÁ LITERATURA	67
SEZNAM PŘÍLOH	70

PŘÍLOHY	71
Příloha A – TECHNICKÉ ÚDAJE DODANÝCH VZORKŮ	71
Příloha B – NAMĚŘENÉ HODNOTY – MĚŘENÍ NASÁKAVOSTI	71
Příloha C – NAMĚŘENÉ HODNOTY – MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	90
Příloha D – TECHNICKÉ SPECIFIKACE PŘÍSTROJŮ	91

Seznam použitých symbolů a zkratek

°C	Stupeň Celsia
DMA	Dynamická-mechanická analýza
EVA	Etylen vinylacetát
FTIR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
FV	Fotovoltaika
IR	Infračervené záření
kPa	Kilopascal
LDPE	Nízko-hustotní polyetylén
MPa	Megapascal
OPTAR	Opticky a tepelně urychlený reaktor
PVB	Poly-vinyl butyral
TG	Termogravimetrie
UV	Ultra-fialové záření
VA	Vinylacetát

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřená na etylen-vinylacetát (EVA), který má v dnešním moderním světě mnoho způsobů využití. EVA je kopolymer Etylenu a vinylacetátu. Vlastnosti tohoto kopolymeru jsou dány množstvím obsaženého vinylacetátu. Vinyl acetát následně značně ovlivní vlastnosti daného kopolymeru. EVA kopolymer je toxicky nezávadný a značně chemicky odolný. Díky tomuto faktu je využití EVA kopolymerů velice široké. Etylen-vinylacetát se dá využít v automobilovém průmyslu (těsnění dveří), v potravinářském průmyslu (obalové fólie), v oděvním průmyslu (části bot) nebo v energetice u fotovoltaických panelů (běžně se využívá zkratka FV). Jeho využitelnost je ale mnohem širší, a proto lze říci, že se využívá ve všech lidských odvětvích. Ve fotovoltaických panelech se EVA kopolymer používá ve formě fólií, které jsou položeny mezi temperované sklo a křemíkové články. V některých případech se ukládá EVA fólie i z druhé strany křemíkových článků. Roztavením fólie se výborně vyplní veškeré mezery mezi vrstvami. EVA fólie se využívají ve FV panelech, protože jejich výrobní cena je značně ekonomicky výhodná. Využívá se také jejich dobrá průhlednost, která nebrání průchodu slunečního záření. Problém však nastává v případě, dojde-li ke žloutnutí použitého EVA kopolymeru. Žloutnutí až zhnědnutí vede ke snížení výkonu a zkrácení životnosti FV zařízení. Žloutnutí nastává ve fotovoltaických panelech hlavně ve velice teplých oblastech (např. jihozápad USA) a je doprovázeno vznikem kyseliny octové.

Experimentální část diplomové práce má dvě části. První část práce je zaměřená na mechanické vlastnosti EVA fólií. Měření se provádělo na přístroji určeného k měření dynamicko-mechanických vlastností. Ve druhé části jeshrnuto měření nasákavosti EVA fólií. Měření obsahovalo sedm různých sad vzorků, kdy čtyři dodané vzorky (Sekisui, Etimec, Novovellum a Evasa) byly síťované. Zbylé dodané vzorky byly nesíťované. Veškeré vzorky byly uloženy ve společné padesátilitrové nádobě s destilovanou vodou. Měření probíhalo v místnosti se stálou teplotou a v předem daných časových intervalech.

1. Fotovoltaický článek

Problematika solárních článků není přímo obsažena v zadání této diplomové práce, ale etylen-vinylacetát je jejich důležitou součástí, a proto jsem se rozhodl danou tematiku stručně popsat.

Fotovoltaické články lze rozdělit na tři základní druhy, které se liší dle použitého typu článku. V současnosti se vyrábějí fotovoltaické články v monokrystalickém, polykrystalickém a amorfním provedení. Tyto varianty mají rozdílnou účinnost, od které se odvíjí i jejich pořizovací cena.

1.1 Monokrystalický článek

Monokrystalické křemíkové články se vyrábějí z jediného krystalu. Tvar křemíkových článků může být čtvercový nebo čtvercový se zaoblenými rohy. Monokrystalické články mají tmavomodrou až černou barvu. Jejich strukturální kvalita je velmi vysoká a dosahují nejvyšší účinnosti, která se pohybuje kolem 21 %. Průměrná uváděná účinnost těchto článků se pohybuje od 15 do 17 %. [1]

Výroba monokrystalických článků probíhá tzv. Czochralskiho metodou. Do vysoce čisté křemíkové taveniny, jejíž teplota se pohybuje okolo 1415 °C, vnořímeme malý monokrystal. Tento monokrystal slouží v Czochralskiho metodě jako zárodek pro budoucí velký monokrystal. Zárodek se pomalým otáčením kolem své osy vytahuje z taveniny. Takto vzniká kulatá monokrystalická tyč o průměru max. 30 cm a délce několika metrů. Celý výrobní proces probíhá v inertní atmosféře a za sníženého okolního tlaku. Vzniklá kulatá tyč se v další části výroby upraví řezáním na dlouhý kvádr. Úpravou získala podstava kvádrů čtvercový průřez. Čtvercové průřezy dále řežeme na malé destičky, jejichž tloušťka se pohybuje přibližně kolem 0,3 mm. Destičky se poté skládají do fotovoltaických článků. Velikou nevýhodou monokrystalických článků je vznik velkého množství odpadního křemíku, který vzniká ve výrobě při řezání. [1, 2]

1.2 Polykrystalický článek

Polykrystalické (mnoho-krystalické) články na první pohled rozeznáme od monokrystalických tím, že jejich krystalická struktura má odlišně modře se třpytící díly. Účinnost polykrystalických článků je nepatrně nižší než u monokrystalických článků a pohybuje se v rozmezí 13 až 16 %. [1]

Výroba polykrystalických křemíkových článků je jednodušší a o poznání levnější. Při výrobě se křemíkový materiál roztaví a nalije se do předem připravené formy, ve které se nechává pomalu chladnout. Křemík se taví ve vakuu při teplotě 1500 °C. Pomalé ochlazování formy (grafitový kelímek) je velice přesně regulováno. Křemík chladíme do teploty, která se blíží jeho bodu tání. Vzniklé křemíkové bloky řežeme do tyčí, ze kterých získáváme destičky. Ty následně skládáme do polykrystalických článků. Při výrobě se snažíme zabránit vzniku potenciálové bariéry, která je v tomto procesu nežádoucí. Velikou výhodou výroby polykrystalických článků oproti monokrystalickým článkům je, že při řezání destiček vzniká mnohem méně odpadu. [1, 2]

1.3 Amorfni článek

Amorfni články, jak již z názvu vyplývá, nemají krystalickou strukturu, která byla typická pro předešlé dva případy křemíkových článků. Jejich struktura je sklovitá a vyrábí se napařováním na vhodný podklad. Křemík, který získáme tímto způsobem výroby, obsahuje malé množství vodíku. Nevýhodou amorfniho článku jsou jeho zhoršující se vlastnosti v průběhu života. Účinnost je ze všech typů nejnižší a pohybuje se v rozmezí 5 až 7 %.[3]

1.4 Struktura fotovoltaického článku

Jednotlivé fotovoltaické články se při výrobě skládají do sériově paralelní kombinace. Tento způsob skládání nám zaručí, že při definovaném osvětlení získáme požadované stejnosměrné napětí a výkon. Maximální výkon panelů je dán jejich celkovou plochou. [1]

Solární panel se skládá z několika velice důležitých částí. Na přední straně panelu je umístěné temperované (tzv. kalené) sklo. Sklo má speciální konstrukci, aby bylo schopné

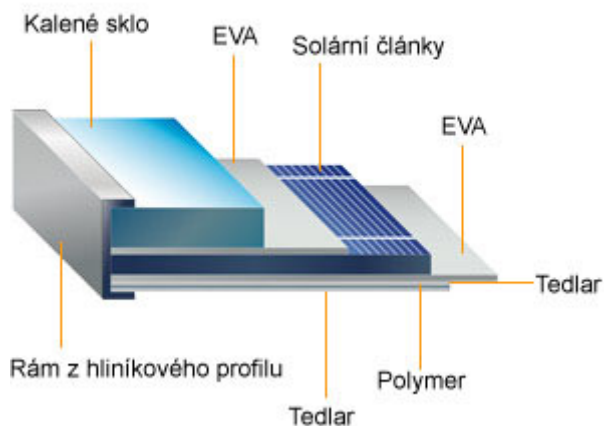
odolávat značným mechanickým nárazům a silným klimatickým vlivům. Sklo tak velice dobře chrání křemíkové články před kroupami, či silným deštěm. Pod temperované sklo se pokládá fólie z etylen-vinylacetátu (EVA). Na druhou stranu této fólie se umístí propojené fotovoltaické články. Pod tyto články se položí druhá vrstva EVA fólie. Nejspodnější stranu fotovoltaického panelu tvoří laminátová kompozice. V této kompozici se nachází dvě vrstvy tedlaru¹, mezi kterými je umístěný polymer. [1]

Po správném naskládání jednotlivých vrstev, následuje další výrobní fáze. V této výrobní fázi se odsaje z panelu veškerý nežádoucí vzduch. Když je veškerý vzduch odsán, nastává zahřívání panelu. Zahřívací teplota je tak vysoká, že dojde k tání EVA fólie. Roztavená fólie díky tomuto kroku zateče do mezer mezi křemíkovými články. Získáme tak dokonale uzavřený prostor, který je navíc velice dobře chráněný temperovaným sklem a laminátovou kompozicí. EVA fólie se spojuje s články a sklem asi při teplotě 100 °C. Tato část výrobního postupu se nazývá laminování. Hotový laminát chrání články před nebezpečnou vlhkostí. EVA je průhledný materiál, který navíc elektricky izoluje jednotlivé články. Na závěr se panely rámují do hliníkových profilů. Hliníkový rám chrání citlivé hrany skla a je využíván k montáži. Netěsnosti profilů s panely vyplníme tmelem. Používá se tmel na bázi silikonu. Kompletní fotovoltaický panel je doplněn o krabici s kontakty. Krabice je vyrobená z tepelně stabilního plastu, který je odolný proti UV záření, a obsahuje obtokové diody a přípojovací svorky. Diody v případě poruchy článku brání vadám, protože přemostí tento poškozený článek. [2, 4]

Zapouzdřený článek je chráněn před povětrnostními vlivy, mechanickým namáháním a vlhkostí. Jak již bylo několikrát zmíněno, ve fotovoltaických panelech se používá speciální sklo, které obsahuje malé množství oxidů železa. Takovéto sklo je schopné velice dobře propouštět sluneční svit. Někteří výrobci fotovoltaických panelů používají temperované sklo i na jejich spodní straně. Tento výrobní krok má za následek zvýšenou mechanickou stabilitu celého systému. Použité sklo musí být také dobře světelně transparentní. Při výrobě lze také vynechat EVA fólie. Křemíkové články musíme v tomto případě zalít do odlévací pryskyřice. Pryskyřice je dražší materiál než EVA fólie, a proto se nám podstatně zvýší výrobní náklady. [2, 4]

¹Tedlar vyrábí společnost Dupont. Jde o materiál z polyvinyl-fluoridu. Používané tedlarové fólie jsou těžké, chemicky odolné, nepodléhají vlhkostním vlivům a jsou odolné vůči sluneční degradaci. [6]

Celkové složení fotovoltaického panelu je dobře vidět na *obr. 1.4*



Obr. 1.4 Složení FV panelu (převzato z[3])

Krycí skleněnou desku lze vylepšit přidáním UV ochranné masky, která se dá vyrobit například z oxidu ceričitého nebo z upravených polymerů. Skleněná deska se dá také laminovat, ale tento výrobní krok není přímo nezbytný a na chod systému nemá vliv. EVA se dá nahradit skleněným substrátem, ale není to příliš běžný postup, protože v 95 % monokrystalických a polykrystalických solárních systémech je využíván etylen-vinylacetát. Povrch solárních panelů se dá vylepšit antireflexním povlakem, který je nejčastěji vyrobený z 50 nm silné vrstvy SiO_2 . [5]

1.5 Životnost fotovoltaických panelů

Životnost modulů se odvíjí především od atmosférických jevů. Každý degrační činitel má na životnost značný vliv. Životnost fotovoltaických panelů se může rapidně snížit během silného krupobití. K potlačení tohoto degračního činitele bylo u FV panelů vytvořené speciální ochranné temperované sklo. Toto sklo musí být schopné také co možná nejvíce odolávat znečištění, které je způsobeno např. prachem. Dalšími degračními faktory jsou povětrnostní vlivy. U FV panelů se dále objevují degradace tepelné, oxidační nebo indukovaným elektrickým polem. Na podstatnou část těchto procesů má vliv počáteční koncentrace nečistot a nahromaděných plynů. Tyto nečistoty a plyny se v panelech objeví již při výrobní fázi, při které se uzavřou do modulu. [5]

2. Úvod do problematiky polymerů

Následující část diplomové práce je zaměřená na polymery a kopolymery. Tato problematika je zmíněná z toho důvodu, protože etylen-vinylacetát (EVA), který je popisován v další kapitole, řadíme mezi běžně používané kopolymery. Tato kapitola tak pomáhá lehce navázat na hlavní část diplomové práce a velice stručně seznamuje s polymery a jejich historií. V jedné podkapitole je také stručně popsáno síťování polymerů, protože síťované a nesíťované kopolymery EVA jsou používané v experimentální části této diplomové práce.

2.1 Polymerace

Polymerace je řetězová chemická reakce, při které vzniká z monomeru (nízkomolekulární látky) polymer (makromolekulární látka). Při řetězové chemické reakci spolu reaguje velký počet molekul monomeru. Chemickou reakcí následně vznikají dlouhé makromolekuly polymeru. Polymerace se vyznačuje především tím, že při této reakci nevznikají žádné vedlejší produkty. Polymer je svým chemickým složením totožný s monomerem, ze kterého vznikl. [7]

Polymerací vzniká makromolekulární řetězec, který je schopný dosáhnout konečné délky v opravdu velice krátké době. Jednotlivé dílčí děje polymerace mají přímý vliv na rychlost a velikost vznikajících makromolekul. Polymerace se skládá ze tří základních dějů. Počáteční reakcí polymerace je iniciace. Část polymerace, při které dochází k růstu, nazýváme propagace. Celý děj je zakončený terminací. [7]

Polymerační proces začíná dodáním aktivační energie. Tato energie převádí reagující látky do aktivní formy, ve které jsou schopné chemické reakce. Monomery lze aktivovat teplem, zářením či aktivující látkou. Tato látka se nazývá iniciátor. Během propagace může nastat další reakce, která je v literatuře označována jako transfer. Při transferu se reaktivita aktivní molekuly přenáší na jiný monomer či makromolekulu. [7]

Podle druhu aktivních částic rozlišujeme několik základních polymerací: iontovou, koordinační a radikálovou. [7]

2.1.1 Iontová polymerace

V iontové polymerační reakci rostoucí konce či aktivní centra makromolekuly vytvářejí polarizované seskupení. Mezi tyto seskupení je následně vtahována molekula monomeru. [7]

2.1.2 Koordinační polymerace

Koordinační polymerace je děj, při kterém vznikají prostorově pravidelné uspořádané makromolekulární řetězce. Monomer se včlení mezi rostoucí konce makromolekulárních řetězců. Celý děj je velice koordinovaným procesem. [7]

2.1.3 Radikálová polymerace

Radikálová polymerace je vyvolána účinkem iniciátoru, kterým rozumíme chemickou či tepelnou energii. Aktivační energie umožňuje překonání odpudivé síly jednotlivých molekul. Dojde-li k překonání odpudivé síly, jednotlivé molekuly se vzájemně přiblíží na tak malou vzdálenost, že nastane chemická reakce. Při tepelné reakci dochází ke srážce dvou tepelně aktivovaných molekul. [7]

2.2 Historie polymerů

Syntetické polymery jsou z historického hlediska stále nové materiály. V průmyslu se využívají necelých sto let. Syntetický polymer jako první připravil Američan Baekeland. Podařilo se mu připravit fenolformaldehydové pryskyřice. Syntetické polymery navazují na již používané přírodní polymery, kterými jsou např. celulóza, přírodní kaučuk nebo kaseinové hmoty. Veliký rozmach polymerů nastal během druhé světové války, kdy se některé světové mocnosti snažili tímto krokem nahradit nedostatkové materiály. Velikou výhodou polymerů je, že s jejich pomocí lze nahradit klasické materiály (kovy, keramiku nebo kůži) a díky odlišným vlastnostem vznikají i nové aplikace, které klasické materiály neumožňovaly. Některé polymery se vyrábějí z relativně dostupných materiálů. Můžeme si tedy dovořit nahradit drahé materiály levnými polymery, které jsou schopné plnit podobnou funkci. Díky snadnému zpracování polymerů, lze velice rychle a snadno vyrábět spotřební zboží. Polymery jsou poměrně značně odolné proti korozi a v mnoha případech mají elektroizolační vlastnosti.

Všechny tyto výhody syntetických polymerů způsobily, že se dnes vyskytují téměř ve všech lidských oborech. [8]

2.3 Síťování polymerů

Síťováním polymerů se rozumí vzájemné propojení polymerních řetězců, kdy dochází ke vzniku trojrozměrné prostorové sítě. Existují dva způsoby síťování polymerů. Prvním způsobem je síťování lineárního² nebo rozvětveného polymeru. Druhým způsobem síťování je vzájemná reakce dvou a více monomerů. Jelikož jsou makromolekulární řetězce velice dlouhé, stačí před reakcí přidat poměrně malé množství síťovacího činidla. Síťovací činidlo poté způsobí, že mnohonásobně vzroste molekulová hmotnost daného polymeru. [7]

Po ukončení síťování ztrácejí polymery schopnost se rozpouštět. V rozpouštědlech dojde jen k jejich nabobtnání, což má za následek zvětšení jejich objemu. Polymery přicházejí síťováním také o tavitelnost a termoplasticitu. Síťováním lze naopak získat tvarovou stálost polymerů při zvýšené teplotě a v některých případech dokonce může u polymerů nastat zvýšená odolnost vůči chemikáliím. Hustota síťování polymeru má vliv na jeho vlastnosti. Při vyšší hustotě síťování do polymeru velice obtížně pronikají nízkomolekulární látky a polymer tak méně bobtná a navlhá. Prostorová síť polymerů vzniká například polykondenzací nebo polyadicí tří a více funkčních monomerů. Možný způsob síťování je také vzájemná reakce makromolekulárních řetězců s vhodnými reaktivními skupinami. Nejběžnější síťovací reakcí je vulkanizace kaučuků³. Síťovací činidla se v některých případech mohou stát součástí příčných vazeb⁴. V ostatních případech způsobí činidlo pouze propojení reaktivních míst. [7]

Síťování polymerů má několik kroků. V prvním kroku je zavedeno malé množství příčných vazeb do lineárního polymeru. Tyto vazby mají konečnou molekulovou hmotnost. Reakcí narůstá hmotnost polymerů, ale nevzniká u nich zatím trojrozměrná síť. Trojrozměrná struktura začne vznikat při vysoké koncentraci příčných vazeb. Další fází u síťovaného polymeru je vznik gelové složky. V závěrečné fázi dojde ke vzniku solu. Gelová složka je

² Lineární síťování je typické pro kaučuky.

³ Jedná se o historicky nejstarší chemickou modifikaci polymerů. První přírodní kaučuk byl Evropany objeven v roce 1493. V roce 1839 byla objevena vulkanizace kaučuku sírou. Vulkanizací vznikají průmyslově využitelné pryže.

⁴ Velice dobrým příkladem začlenění činidla do příčných vazeb je vulkanizace kaučuku sírou.

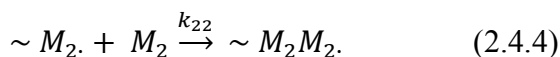
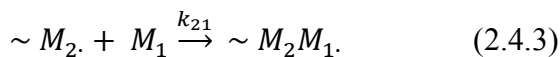
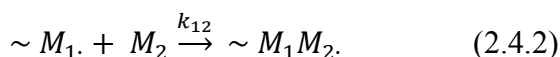
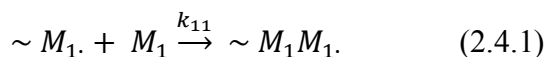
nerozpustná ve všech rozpouštědlech, ale složka solu se dá rozpouštět a vyextrahovat. V gelové fázi se vlastnosti polymeru do značné míry mění. Polymery se v této fázi dají velice dobře válcovat, vytlačovat a všemožně tvarovat. Proběhne-li konečné síťování, přestává být polymerní látka plastická a při určitém stupni síťování ji nelze už vůbec tvarovat.[7]

2.4 Kopolymer

Kopolymerace představuje děj, při kterém podrobíme polymeraci dva a více monomerů současně. Ke kopolymeraci dochází u monomerů, jejichž polymerace se energeticky příliš neliší. [7]

Zda reakcí monomerů vznikne kopolymer nebo jen homopolymer⁵, závisí do značné míry na reaktivitě vstupujících monomerů. Užitečný a zjednodušený předpoklad v kinetické analýze kopolymerace volných radikálů je reaktivita polymerních radikálů. Tato reaktivita je řízená koncovými monomery v řetězci. Kopolymeraci dvou různých monomerů popisují čtyři odlišné růstové reakce a dva typy polymerních radikálů.

Čtyři základní růstové reakce[9]:



⁵ Homopolymer je makromolekulární látka, která má stejné chemické složení jako výchozí monomer (makromolekulární látka).

Poměry k_{11}/k_{12} a k_{22}/k_{21} se nazývají koeficienty monomerní reaktivity a dají se zapsat takto[8]:

$$r_1 = k_{11} / k_{12} \quad (2.4.5)$$

$$r_2 = k_{22} / k_{21} \quad (2.4.6)$$

Takto zapsané poměry reaktivity představují relativní míru reakce na polymerní radikály s jejich vlastními monomery. Je-li velikost $r_1 > 1$, pak radikál $\sim M_1$ reaguje s monomerem M_1 rychleji než s komonomerem M_2 . V druhém případě, je-li $r_1 < 1$, je tomu právě naopak.[9]

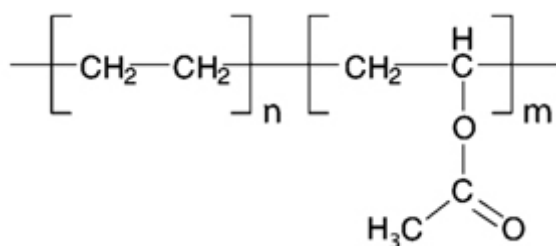
V další části diplomové práce se budu zabývat převážně kopolymerem etylenu s vinylacetátem (EVA).

3. Etylen-vinylacetát (EVA)

Třetí kapitola této diplomové práce je zaměřena na vlastnosti, využití, výhody a nevýhody etylen-vinylacetátu. EVA se běžně využívá u fotovoltaických panelů, ale v podkapitolách je popsáno i další využití tohoto kopolymeru. Dále se tato kapitola zaměřuje na výhody tohoto materiálu oproti jinak běžně využívaným plastům. Problematikou etylen-vinylacetátu se zabývá již od osmdesátých let dvacátého století několik vědeckých institucí. Velikými odborníky na dané téma jsou hlavně A.W. Czanderna a F.J. Pern. Jejich práce byla zdrojem cenných informací v této kapitole diplomové práce, protože jde o uznávané odborníky zabývající se žloutnutím etylen-vinylacetátu.

Kopolymer etylenu s vinylacetátem se získává radikálovou polymerací. Jedná se o blokovou vysokotlakou radikálovou polymeraci, která probíhá při tlaku 140 MPa. Teploty používané při polymeraci se pohybují v rozmezí 180 až 250 °C. Typická hustota EVA se nejběžněji pohybuje v rozmezí od 930 do 950 kg/m³. Kopolymer EVA je průsvitný nebo průhledný. Má vysokou pevnost a je rozpustný v ketonech nebo v aromatických a chlórovaných uhlovodících. EVA kopolymeru mají nízkou krystaličnost. Tento fakt je způsobený zasahováním větví vinylacetátu do krystalizace kopolymeru.[8, 10-13]

Zrychlené testy prokázaly, že EVA kopolymery odolávají mnohem lépe degradaci než běžné polyetyleny. Oproti běžným polyetylenům mají ale mírně horší chemickou odolnost. Přesto jsou polyetylenům vlastnostmi velice blízké. Vlastnosti EVA jsou kvalifikované za pomoci množství VA a podle molekulové hmotnosti⁶. EVA kopolymery jsou schopné přijímat značně vysoké množství plniv, aniž by došlo k výraznému zhoršení jejich fyzikálních vlastností.[11, 14] Struktura EVA je názorně vidět na obrázku 3.



Obr. 3 Struktura EVA kopolymeru (převzato z [31])

Velice důležitou vlastností EVA kopolymeru je teplota tání, která se pohybuje od 90 °C do 120 °C. Na teplotu tání má podstatný vliv obsah vinylacetátu (VA). Se stoupajícím obsahem VA podstatně klesá tato teplota.[13]

VA nemá vliv pouze na teplotu tání, ale ovlivňuje i jiné důležité faktory EVA, a proto je další podkapitola zaměřená na tento polymer.

3.1 Vliv obsahu vinylacetátu na vlastnosti kopolymeru

Obsah vinylacetátu má vliv na velké množství vlastností etylen-vinylacetátu. Existují tři základní typy tohoto kopolymeru, které se liší právě obsahem tohoto polymeru VA. Čím je vyšší obsah této složky, tím roste průtažnost materiálu, odolnost proti vzniku trhlin pod napětím a rázová houževnatost. Naopak rostoucí množství VA způsobuje snižování odolnosti proti chemikáliím a schopnost odolávat nežádoucím vlivům vody. Chceme-li získat vysokou tvrdost a tvarovou stálost EVA kopolymerů za zvýšeného tepla, musíme naopak množství VA složky snížit. V následující tabulce (Tab. 3.1) je velice dobře vidět vliv VA na pevnost v tahu.

⁶ Molekulová hmotnost je definována na základě alternativních vlastností. U etylen-vinylacetátu využíváme měření indexu toku taveniny. Tento tok je přímo úměrný molekulové hmotnosti, protože čím je vyšší tok taveniny, tím nižší je průměrná molekulová hmotnost a viskozita.

Tab. 3.1 Vliv VA na pevnost v tahu EVA kopolymeru[15]

	Maximální provozní teplota [°C]	Pevnost v tahu [MPa]
EVA s 12 % VA	50	19
EVA s 25 % VA	50	17
EVA s 33 % VA	50	10

Z tabulky (3.1) je dobře vidět, že množství VA nemá v žádném ze tří uvedených případů vliv na provozní teplotu materiálu. S narůstajícím množstvím VA ale dochází ke snížení pevnosti v tahu. Velice markantní je tento jev u kopolymeru s 25% a 33% obsahem VA. Přítomnost reziduí vinylacetátu v řetězci snižuje pravidelnost polymeru, a proto lze snadno ovládat jeho krystaličnost. [13, 16]

EVA s množstvím VA větším než 70 % jsou použitelná v kombinaci s deriváty celulózy. EVA kopolymery lze použít v celulózových mikro-kapslích, kde s jeho pomocí dochází k postupnému uvolňování léčiv.[16] V následující podkapitole je popsáno další využití kopolymeru EVA.

3.2 Použití a důvody zavedení etylen-vinylacetátu

EVA se ze současných známých kopolymerů, ve kterých se vyskytuje etylen, komerčně osvědčily nejvíce. EVA kopolymery jsou využívány v aplikacích, kde je vyžadována dobrá flexibilita, odolnost, průhlednost, dielektrická pevnost a výborné nízkoteplotní vlastnosti. Kopolymer EVA se používá úspěšně v lékařských aplikacích. V předešlé kapitole již byly zmíněné mikro-kapsle, které slouží k uvolňování léčiv. Dále se v lékařství lze setkat s jednorázovými injekčními stříkačkami nebo kapátky z etylen-vinylacetátu.[11, 17]

Jak již bylo zmíněno výše, vlastnosti EVA se mění s množstvím vinylacetátu (VA). V současnosti je nejčastěji zastoupený kopolymer EVA s množstvím VA nižším než 4 %. Tento druh je charakteristický svým vysokým leskem. Mezi jeho další důležité vlastnosti patří vysoká měkkost a pružnost. Jde o netoxický materiál, a proto se využívá v obalových materiálech jako fólie. Oproti tradičním fóliím dochází u EVA fólií k vysokému antistatickému tření povrchu, a proto se velice těžce zpracovávají na běžných strojích. Nicméně jejich gumová povaha, značný lesk, světelná propustnost a dobrá rázová pevnost se

dá velice dobře využít u smršťovacích fólií. Jeden z možných způsobů využití smršťovacích fólií je balení masa, kde je vyžadována zdravotní nezávadnost balícího materiálu. Některé druhy EVA kopolymeru využíváme jako laminované fólie. U obalových materiálů jsou používány EVA fólie, protože výroba tohoto kopolymeru je velmi levná a nedochází proto ke zbytečnému zvyšování cen prodávaných výrobků. [8, 10, 17]

EVA s 20 % obsahem vinyl acetátu se svými vlastnostmi velice zdatně blíží měkčenému PVC⁷ nebo vulkanizované pryži. Tento kopolymer označujeme jako termoplastický EVA kopolymer a je široce používán jako dobrá alternativa zakázaných změkčovadel u PVC aplikací. Tyto kopolymery totiž vykazují vyšší modul elasticity než standardní elastomery. Jsou kompatibilní s inertními plnivy a mají velice dobrou pružnost a houževnatost při nízkých teplotách. Jejich výhodou je, že se dají snadněji zpracovat. K jejich zpracování není potřeba dokonce ani vulkanizace. V některých aplikacích nahrazují EVA kopolymery PVC, protože nemají vyluhovatelná změkčovadla, což jim poskytuje značnou výhodu oproti měkčenému PVC. Jejich nevýhodou je však o něco větší tuhost než mají normální gumárenské směsi. [8, 11, 17]

Kopolymer, který obsahuje 20 až 40 % vinyl acetátu, se využívá například ve výrobě laků a snímacích povlaků, které jsou určeny k ochraně proti korozi. Kopolymery s obsahem vinyl acetátové složky, která se pohybuje v rozmezí 40 až 70 %, se používají jako oxidačně síťované kaučuky. Tyto kaučuky mají nadprůměrně vysokou tepelnou odolnost, kterou využíváme u topných vedení a těsnění, opláštěvaných kabelů, flexibilních obalů, při výrobě hraček nebo stavebních fólií. EVA kaučuky jsou také díky své vysoké teplotní odolnosti využívány v automobilovém průmyslu jako těsnicí materiály. Tyto těsnicí materiály také odolávají nežádoucím účinkům motorových olejů. EVA pryže mají při nižších teplotách lepší pružnost, ale mají větší náchylnost k bobtnání. [8, 10]

EVA kopolymery s procentem vinyl acetátu vyšším než 40 % lze síťovat peroxidy. Antioxidanty přidávané k jejich výrobě mohou do značné míry rušit síťování, a proto jsou často ve výrobě opomíjené. Tento druh kopolymeru lze také mísit s čtými pojivy, ale je dobré si uvědomit, že některá pojiva také narušují vytvrzení. Dobrým příkladem tohoto typu

⁷ Některé publikace uvádějí, že měkčenému PVC se blíží EVA kopolymery s obsahem VA v rozmezí 10-15 % [17]

pojiva je například kaolín.[8, 10]

EVA kopolymery se dají dobře využít v tavných lepidlech v polygrafickém a nábytkářském průmyslu. Kopolymery s 30 % vinylacetátu jsou pružné pryskyřice. Dají se rozpouštět v toluenu a benzenu při pokojové teplotě. Jejich hustota je $0,95 \text{ g/cm}^3$ a pevnost v tahu se pohybuje pod 10 MPa. Tento druh kopolymeru využíváme velice dobře jako lepicí složku v mnoha konstrukčních aplikacích.[17]

EVA kopolymer se využívá u fotovoltaických (FV) panelů, protože je snadno ekonomicky dostupný. Nezanedbatelnou výhodou je dobrá zpracovatelnost, vysoká dielektrická stálost, nízká nasákavost a propustnost vody. Ve fotovoltaických panelech se využívá EVA kopolymer také díky své vysoké přilnavosti a mechanické pevnosti. Navíc se jedná o inertní materiál, který nebude narušovat celý FV systém. Používané EVA jsou ve většině případů z průhledného kopolymeru, a proto poskytují dobrý optický přenos v předepsané oblasti spektra. Transparentní EVA kopolymer byl vyvinut v roce 1980. Od tohoto roku je používán u fotovoltaických panelů dodnes. V prvopočátcích fotovoltaiky se místo EVA používal také poly-vinyl-butyrál (PVB), ale od používání tohoto materiálu bylo velice brzo upuštěno, protože nebyl v porovnání s etylen-vinylacetátem ekonomicky výhodný. Jednou z nejdůležitějších vlastností EVA kopolymeru je odolnost vůči ultrafialovému záření (UV). Tento materiál UV záření odolává jen do určité míry, a proto se po několika letech provozu objevuje nežádoucí žloutnutí, které snižuje výkon FV panelů.[17]

Lepidla na bázi EVA kopolymerů zahrnují téměř dvě třetiny všech tavných lepidel. Téměř polovina těchto lepidel se používá v obalových aplikacích. EVA na bázi horké taveniny se skládá z EVA kopolymeru, upravené pryskyřice a voskové složky. Použitý vosk je na ropné bázi. Množství a typ jednotlivých komponentů se určuje podle místa použití. EVA kopolymer dodává potřebnou pevnost a tuhost. Pryskyřice zajišťuje dobrou smáčivost a přilnavost. Použitý vosk řídí rychlost tuhnutí. Dají se použít ale i další přísady, kterými jsou antioxidanty, různé druhy plniv, změkčovadla nebo pěnicí činidla. EVA kopolymery používané pro tavná lepidla obsahují 80 % etylenu a 20 % vinylacetátu⁸. [18]

Problematice žloutnutí se věnuje následující podkapitola diplomové práce.

⁸ Existují varianty lepidel, které obsahují ethylen a vinylacetát v poměru 90-10% nebo 40-60%. [18]

3.3 Žloutnutí EVA kopolymerů a ztráty výkonu vyvolané žloutnutím

Žloutnutí etylen-vinylacetátu (EVA) je velmi zásadním problémem při použití daného materiálu ve fotovoltaických panelech. Rychlost zbarvení EVA fólií může být ovlivněna chemickými⁹ a fyzikálními¹⁰ faktory. Na žloutnutí má největší vliv UV záření. Tento fyzikální faktor způsobuje produkci hydroxidových skupin v kopolymeru. Počet hydroxidových skupin narůstá s obsahem vinylacetátu (VA). Degradace fólií se projeví v první fázi vytvořením kyseliny octové. Po první fázi následuje celková oxidace materiálu, při které dochází k rozpadu hlavního řetězce kopolymeru. Oxidační indukční doba je mnohem delší při nízkých hodnotách VA. Na rychlost rozkladu má dále nepříznivý vliv přítomnost kyslíku, protože s jeho pomocí se celková degradace značně urychluje.[19, 20, 21]

V roce 1993 tvrdila většina výrobců EVA kopolymeru, určeného pro použití ve fotovoltaických panelech, že nikdy neslyšela o problematice žloutnutí. Toto tvrzení nebylo ovšem pravdivé, protože zbarvení EVA fólií bylo prokázáno již v roce 1979¹¹. Žloutnutí bylo zaznamenáno i v období mezi lety 1982 a 1986¹². Protože nebyla problematika žloutnutí zahrnuta mezi nežádoucí vlastnosti EVA, vznikly zcela nesprávné interpretace čistoty kopolymeru. Vlivem žloutnutí se tak funkčnost EVA fólií o několik let nižší. Americký vědec Willis prováděl pokus, zabývající se žloutnutím EVA kopolymeru, při kterém vystavil tento materiál UV záření. Celý pokus probíhal při teplotě 85 °C. Při pokusu Willis využíval holé zkušební vzorky, které nebyly kryté sklem, začaly po nějaké době žloutnout. Tento pokus tedy neukazuje reálné situace ve FV panelech. Willis na tento fakt sám poukazuje a uvádí, že na holé vzorky působí naprosto odlišné vlivy, než kterým jsou vystaveny zapouzdřené materiály začleněné do solárních modulů. Z hlediska životnosti samotného EVA kopolymeru je ale tento výzkum zajímavý. Willis proto uskutečnil další výzkum, ve kterém použil malé moduly o rozměrech 12,7 x 21 cm. K pokusu použil kombinaci dvou UV zdrojů. Prvním zdrojem byla oblouková lampa¹³ a druhým zdrojem byl opticky urychlený reaktor

⁹ Za chemické faktory ovlivňující žloutnutí EVA fólií lze označit např. UV absorbér nebo přidaná tvrdidla. [19]

¹⁰ Mezi fyzikální faktory ovlivňující žloutnutí EVA fólie patří např. intenzita UV záření nebo propustnost plynů daným materiálem. [19]

¹¹ V roce 1979 byl tento kopolymer vystaven ozáření obloukovou lampou s křemičito-boritým filtrem. Ozáření způsobilo, že se u EVA fólií začalo projevovat žloutnutí viditelné pouhým okem.

¹² Výzkum v tomto období probíhal především v USA, kde se danou problematikou zabývali např. Lewis, Megerle nebo Willis.

¹³ Využíval obloukovou lampu RS-4 o teplotě 85 °C

(OPTAR)¹⁴. U tohoto zdroje používal Willis přírodní UV a po 2,5 letech zaznamenal mírné zbarvení vzorků. Výzkumy jasně ukázaly, že při zrychleném stárnutí prokazatelně dochází ke změně barvy EVA kopolymeru. Zbarvení EVA se pohybuje od světle žluté barvy až po tmavě hnědou barvu. Zbarvení EVA pochopitelně ovlivňuje účinnost FV panelů. Tmavě hnědé zbarvení má procentuálně nejvyšší výkonové ztráty. Není však pravidlem, že by se shodovaly ztráty u panelů, které mají na první pohled totožné zbarvení, a proto lze u dvou vzorků pozorovat naprosto odlišné výkony. [5, 16]

Pozorování výkonových ztrát u FV panelů probíhalo již v roce 1985. Jedno z důležitých měření se provádělo ve střední Kalifornii na elektrárně o výkonu 5,2 MW. V roce 1987 se zde objevila u vrchní vrstvy EVA fólií poprvé změna barvy. EVA fólie začaly poměrně výrazně hnědnout. Degradace polymeru byla připsána vysoké teplotě, která se blížila v solárních panelech až 90 °C. Z výzkumů, které provedli Rosenthal a Lane, je patrné, že se u jednotlivých modulů s relativně totožnou barvou značně liší výkonové ztráty. Při pozorování žloutnutí EVA se u většiny modulů prokázal vznik kyseliny octové. Tento nežádoucí činitel byl zmíněn v práci již dříve. U solárních panelů stejného složení nastávaly dva typy degradace. V prvním případě se projevilo velice silné hnědé zbarvení, které bylo doprovázeno ztrátou výkonu. V uzavřených modulech navíc vznikaly nežádoucí plyny. Ve druhém případě nastalo pouze nepatrné zežloutnutí EVA. Některé další výzkumy došly však k velice zajímavému poznatku. U EVA kopolymeru bylo zjištěno zjevné zhnědnutí, ale nenastávaly žádné výkonové ztráty. [5]

Ztráty vznikající vlivem žloutnutí EVA kopolymerů se tak značně liší. V některých případech přes viditelné zežloutnutí nedocházelo i po více než deseti letech prakticky k žádným ztrátám. V jiných případech však již po pěti letech nastávají až 40 % ztráty výkonu. Všechny zbarvené moduly byly zapouzdřené a obsahovaly EVA kopolymery. Žloutnutí nebylo zpozorováno u panelů, ve kterých se využíval poly-vinyl-butyrál (PVB)¹⁵. Hnědnutí FV panelů způsobuje vysoké sluneční záření a vysoká provozní teplota. Hnědnutí panelů bylo totiž zpozorováno jen ve velice teplých oblastech USA (Kalifornie, Nové Mexiko) a v Izraeli naopak ve střední části USA a západní Evropě zbarvení zpozorováno nebylo vůbec. [5]

¹⁴ OPTAR byl provozován při teplotách 70, 90 a 105 °C

¹⁵ Fólie z PVB se vyžívají převážně u laminovaného skla, aby zlepšili jeho pevnostní a bezpečnostní parametry. Konečný produkt lze využívat v automobilech (čelní skla), stavebním průmyslu, dveřních výplních nebo skleněných schodištích. [23]

3.4 Stabilizovaný a nestabilizovaný EVA kopolymer

UV záření má na nestabilitu EVA značný vliv, protože kopolymer produkuje kyselinu octovou a aldehyd. Maximální ztráty ve fotovoltaickém systému způsobené žloutnutím mohou dosáhnout až 50 % oproti původnímu výkonu. Této degradaci lze do jisté míry zabránit tím, že do kopolymeru přidáme určité množství UV absorbující činidla. Degradace stabilizovaného EVA kopolymeru při 105 °C způsobuje vyplavování a odpařování stabilizátorů. Odpařování a vyplavování stabilizátorů má vliv na zvyšování síťované složky v celkovém objemu materiálu. To má za následek, že v kopolymeru EVA vznikají těkavé látky (např. kyselina octová) a některé další produkty. Kyselina octová vzniká tepelným a foto-tepelným rozkladem. Kyselina octová je při teplotě 85 - 130 °C katalyzátorem žloutnutí EVA kopolymerů. Během žloutnutí EVA hraje důležitou roli také přítomnost vzduchu. K ochraně před UV zářením se používá absorpční CYASORB UV 531, u kterého dochází postupem času k postupnému vyčerpání. Vyčerpáním CYASORBU se zvyšuje tmavnutí EVA kopolymeru. Dále se zvyšuje gelová složka materiálu, která se nachází ve větší míře uvnitř kopolymeru. V okrajových částech gelová složka není příliš patrná. Ochrana proti UV záření se dá vylepšit také přidáním speciálních sazí. Tento druh stabilizace je ale ve fotovoltaických systémech nepoužitelný, protože dojde ke zhoršení optických vlastností. [24, 25]

Vliv UV záření na gelovatění kopolymeru je značný. Na množství vznikajícího gelu má také vliv množství VA v používaném materiálu. Čím je obsah VA vyšší, tím se snižuje gelovatění. Náhodně rozptýlené VA části jsou nejzranitelnější částí EVA. [22]

Nejpoužívanější nestabilizovaný EVA kopolymer je ELVAX¹⁶. Na trhu se však objevuje nepřeborné množství EVA fólií, které se liší množstvím přidaných absorbérů a stabilizátorů. EVA fólie se vyrábějí se třemi základními stabilizátory, které obsahují pomalé nebo rychlé tvrdidlo. Využívané stabilizátory jsou CYASORB UV 531¹⁷, TINUVIN 770¹⁸ a NAUGARD P¹⁹. Výroba fólií kopolymeru EVA probíhá tak, že se nejdříve promíchávají kuličky ELVAX s potřebnými přísadami. Účinnost stabilizace závisí na vhodnosti složení jednotlivých

¹⁶ Nestabilizovaný kopolymer ELVAX vyrábí společnost DuPont. Využívá se v obalových aplikacích. Materiál lze lisovat, foukat nebo skládat do vícevrstvých fólií. ELVAX lze formovat nebo vytlačovat do měkkých plastových výrobků, izolačních kabelů, tavných lepidel nebo solárních zařízení. [26]

¹⁷ CYASORB UV 531 se využívá k potlačení UV degradace a zháší excitované stavy

¹⁸ TINUVIN 770 likviduje vznikající volné radikály

¹⁹ NAUGARD P brání rozkladu peroxidu vodíku

stabilizátorů. Nevýhodou stabilizátorů CYASORB a TINUVIN je, že poměrně rychle fyzicky stárnou. Tento fakt má za následek, že se postupně snižuje ochrana EVA kopolymerů proti degradačním vlivům.[5]

3.5 Způsob určení vinyl acetátu v EVA kopolymeru

Protože obsah vinylacetátu rozhoduje o vlastnostech etylen-vinylacetátu, jsou v následující podkapitole stručně popsány způsoby zjišťování jeho obsahu.

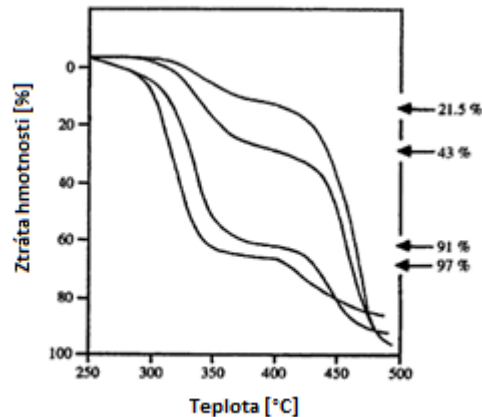
Etylen vinyl acetát je snadno rozpoznatelný podle infračerveného (IR) spektra. K určení množství vinyl acetátu v EVA kopolymeru se využívá FTIR²⁰ spektroskopie. Využívanou vlastností této spektroskopie je, že se dá měřit celý svazek záření, a proto lze provádět i experimenty, při kterých dochází k velkým energetickým ztrátám. Infračervená spektroskopie²¹ se využívá k identifikaci a charakteristice struktury organických sloučenin. S její pomocí můžeme také velice přesně určit anorganické látky v daném materiálu. Infračervená spektroskopie je založená na měření pohlceného IR záření o různé vlnové délce v daném materiálu. Oblast IR záření je rozdělená na tři pásma. Blízké pásmo se nachází v rozmezí 13 000 - 4 000 cm⁻¹, střední pásmo v rozmezí 4 000 - 200 cm⁻¹ a vzdálené pásmo v rozmezí 200 - 100 cm⁻¹. Metoda je založená na absorpci procházejícího záření měřeným materiálem. Při průchodu materiálem se mění energetické stavy molekul v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Výstupem měření je IR spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti dané energie. FTIR spektroskopie se dá také velice dobře využívat u studie tepelné degradace EVA fólií.[27, 28]

Obsah vinyl acetátu v kopolymeru EVA lze stanovit rovněž pomocí NIR spektroskopie. Velmi často využívanou metodou k určení VA v kopolymeru EVA je termogravimetrická analýza. Tato metoda je založená na faktu, že při degradaci EVA kopolymerů dochází k uvolňování kyseliny octové a dochází k produkci nenasycených vinylů ve zbývajícím hlavním řetězci polymeru. EVA prochází dvěma stavy tepelného rozkladu. V první fázi vzniká kyselina octová. Ve druhé fázi probíhá pyrolýza uhlovodíkového řetězce za vzniku

²⁰ V 80. letech 20. století se začíná využívat FTIR. Jde o Infračervenou spektroskopii založenou na Fourierově transformaci. [27]

²¹ IR spektroskopie se využívá k identifikaci látek již od 30. let 20. století. Běžně se daly měřit plynné a kapalné vzorky. Problém nastával však u pevných vzorků. Tento problém se vyřešil zavedením FTIR. [27]

řady uhlovodíků. Tím že se měří počáteční ztráty hmotnosti během termogravimetrie (TG), snadno zjistíme obsah VA složky. Obsah vinyl acetátu u čtyř různých EVA kopolymerů je za použití TG dobře vidět na obrázku (3.5). Zřetelný úbytek hmotnosti začíná u kopolymerů EVA při teplotě 300 °C. Tento jev nastává v důsledku ztráty kyseliny octové z vinylacetátové složky kopolymeru.[28]



Obr. 3.5 Zjišťování množství VA pomocí Termogravimetrie (překresleno z [28])

3.6 Vliv teploty na EVA kopolymery

EVA kopolymery mají ve srovnání s LDPE²² dobrou chemickou odolnost a vysoký koeficient tření. Ve srovnání s LDPE mají EVA fólie větší jasnost a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Dají se sítovat nebo radio-frekvenčně svařovat. Mají také mnohem lepší odolnost proti protržení než LDPE a jsou schopné snášet vysoké zatížení. V porovnání s LDPE mají menší odolnost proti tečení a o poznání horší chemickou odolnost. [15]

²² LDPE (Lowdensitypolyethylene) je nízko hustotní polyetylén. Jedná se o nejdéle využívaný typ polyetyleny, který se vyrábí za vysokého tlaku. LDPE je pevný, měkký a ohebný materiál, jehož hustota se pohybuje v rozmezí 915 až 935 kg/m³. V současnosti se využívá převážně jako balicí materiál. [29]

V tabulce 3.12 je názorně ukázán vliv množství VA v EVA kopolymeru na stupeň krystalizace a bodu tání.

Tab. 3.12.1 Vliv množství VA na kopolymer EVA[30]

Množství VA [mol%]	Rozmezí bodu tání [°C]	Stupeň krystalizace [%]
4,3	83-103	27,4
7,6	72-98	19,9
16,8	61-77	8,0
27,0	41-44	bez krystalizace

Tepelná degradace různých typů EVA kopolymerů byla prováděna při třech odlišných teplotách (150, 175 a 200 °C) v izotermické troubě. Jako první nastává u EVA kopolymerů změna krystalizace. Tento proces probíhá v počáteční fázi ohřevu. Poté následují další jevy, z nichž nejvýznamnější je oxidace polymerní matrice. Tato oxidace nastává při teplotě 235 °C. [30]

Tab. 3.12.2 Hlavní procesy vyskytující se u EVA kopolymerů během ohřevu[30]

Teplota [°C]	EVA (27-29 % VA)	EVA (32-34 % VA)	Proces
70	endotermní	-	změna krystalizace
175	exotermní	-	uvolňování těkavých látek
235	endotermní	-	počáteční oxidace
270	-	exotermní	-
290	endotermní	-	-
305	endotermní	-	řetězová oxidace
325-335	exotermní	exotermní	-
355	endotermní	endotermní	ukončení oxidace

4. Technické normy – Nasákavost materiálů ve vodě

Nasákavosti plastů se věnuje několik českých technických norem. Jednotlivé normy jsou zaměřené na různá průmyslová odvětví. Veliký důraz je například kladen na nasákavost plastů ve stavebním průmyslu, kde se využívá široká škála plastových materiálů. Měření nasákavosti plastů ve stavebnictví popisuje např. norma ČSN EN 1847 nebo ČSN EN ISO 15148. Norma ČSN EN 2378 najde uplatnění při měření materiálů, které se využívají v letectví a kosmonautice. Firmy vyrábějící elektronické a optické kabely dozajista přišli do styku s ČSN EN 60811-1-3, která se zabývá nasákavostí tohoto typu výrobků. Nejpodrobněji je v této kapitole diplomové práce popsána ČSN EN ISO 62²³, která byla přijata v roce 2008. Této normě je věnovaný značný prostor, protože se s její pomocí prováděla analýza nasákavosti dodaných vzorků EVA fólií. Jednotlivé normy zabývající se danou problematikou jsou popsány na dalších stránkách diplomové práce.

4.1 Norma ČSN EN ISO 62:2008

Nasákavostí plastů ve vodě se zabývá Česká technická norma ČSN EN ISO 62:2008. Tato norma nahrazuje předešlou normu ČSN EN ISO 62 (64 0112) ze září 1999.

ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) je celosvětová federace národních normalizačních orgánů. Práce na přípravě mezinárodních norem se obvykle provádí prostřednictvím technických komisí ISO. Každá členská organizace, která se zajímá o předmět, pro který byla zřízena technická komise, má právo, aby byla zastoupena v této technické komisi. Mezinárodní organizace, vládní i nevládní, které spolupracují s ISO, se také účastní prací na vydávání nových norem. ISO úzce spolupracuje s Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) ve všech záležitostech normalizace, které se zabývají elektrotechnikou.[32]

²³ Norma EN ISO 62 je platná v celé řadě evropských zemí, ve kterých je přeložena do národních jazyků. Např. v Německu jí lze dohledat pod názvem DIN EN ISO 62, v Itálii pod názvem UNI EN ISO 62:2008 nebo v Holandsku pod názvem NEN-EN-ISO 62:2008

4.1.1 Rozsah normy

Tato mezinárodní norma popisuje postup pro stanovení absorpčních vlastností plastů na základě jejich tloušťky. Norma se zabývá nasákavostí pouze pevných plastů, které mají rovinný nebo zakřivený tvar.

Norma také popisuje postupy pro stanovení množství absorbované vody plastových vzorků o definovaných rozměrech. Množství absorbované vody měříme úplným ponořením vzorků do vody. Koeficient vlhkostní difuze může být určen pro materiál za předpokladu, že difúzní chování je konstantní s absorpčními vlastnostmi díky neměnné tloušťce zkušební vzorku. Tento model je platný pro homogenní materiály a kompozity vyztužené polymerní matricí. Plasty musí být testovány pod teplotou jejich skelného přechodu²⁴. Nasákavost plastových vzorků o stanovených rozměrech lze také určit při ponoření vzorků do vody za řízených podmínek. Tento postup se dá použít jen pro určité časové období k porovnání různých šarží stejného materiálu nebo pro testy kontroly kvality daného materiálu. U tohoto typu srovnání je nezbytné, aby všechny zkušební vzorky byly stejného rozměru a jejich fyzikální vlastnosti byly co nejbližší. Jde například o povrchovou hladkost nebo vnitřní pnutí. Výsledky získané dodržováním této normy nejsou použitelné pro celulární plasty, granuláty nebo plastové prášky, které mohou vykazovat další absorpční a kapilární efekty.[32]

4.1.2 Princip normy

Zkušební vzorky se ponoří do destilované vody o teplotě 23 °C nebo do vroucí destilované vody nebo vzorky vystavíme přibližně 50% relativní vlhkosti vzduchu při dané teplotě. Zkouška se provádí za předepsané časové období. Množství vody absorbované každým zkušebním vzorkem se stanoví měřením změny hmotnosti. Tj. měřením mezi počáteční hmotností a hmotností, kterou získáme po působení vody. Přičemž změna je vyjádřena jako procentuální počáteční hmotnost vzorku. Je-li to možné či nutné, lze určit také množství ztracené vody po vysušení vzorku.[32]

²⁴ Norma se nevztahuje např. na tvrzené epoxidy

4.1.3 Zkušební vzorky

Pro každý zkoušený materiál je nutné vyzkoušet alespoň tři zkušební vzorky. U některých materiálů lze očekávat různé výsledky získané mezi profílovanými vzorky a vzorky vyříznutými z většího listu. Každý kontaminant na povrchu zkušební vzorku, který by mohl ovlivňovat absorpci vody, se odstraní takovým čistícím činidlem, které nenapadá plasty. Stupeň napadení se stanoví v souladu s normou ISO 175. Vzorky je nutné nechat vyschnout při teplotě 23°C a 50% relativní vlhkosti po dobu alespoň dvou hodin po čištění a před zahájením testu. Při manipulaci se vzorky používáme čisté rukavice, aby se zabránilo jejich nežádoucí kontaminaci.[32]

4.1.4 Postupy zkoušky

Před zkouškou musíme všechny vzorky pečlivě vysušit v peci při teplotě 50 °C. Sušení se pohybuje v rozmezí jednoho až deseti dnů. Délka sušení vzorků je dána jejich tloušťkou.

Na každý zkušební vzorek je nutné použít minimálně 8 ml destilované vody na centimetr čtvereční celkové plochy zkušební vzorku. Na jeden vzorek nesmí být však použito méně než 300 ml destilované vody. Takovéto množství destilované vody nám zajistí, že nebude docházet k nechtěné extrakci vzorků vlivem jejich přílišné koncentrace ve vodě v průběhu zkoušky. Vzorky se nesmí dále dotýkat stěn nádoby, ve které je měření prováděno. Vzorky, které mají hustotu nižší než je voda, je nutné přichytit ke kotvicímu zařízení pomocí nerezového drátu. Je velice důležité, aby se kotvicí zařízení nedotýkalo vzorků.[32]

4.1.5 Použitá metoda pro měření nasákavosti EVA vzorků - Metoda : Stanovení absorbovaného množství vody po ponoření vzorku do vody o teplotě 23 ° C

Všechny zkušební vzorky vysušíme v sušárně o teplotě (50 ± 2) °C po dobu nejméně 24 hodin. Vzorky necháme vychladnout na pokojovou teplotu v exsikátoru. Hmotnost vzorků musí být před vážením v konstantním rozmezí $\pm 0,1$ mg. Získanou hmotnost vzorku před vložením do vody označíme m_1 .

Zkušební vzorky ponoříme celé do nádoby naplněné destilovanou vodou a udržujeme teplotu prostředí na $23,0^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ v závislosti na příslušné specifikaci.

Zkušební vzorky necháme ponořené ve vodě (24 ± 1) hodin. Poté vyndáme vzorky z vody a odstraníme veškerou povrchovou vodu suchým hadříkem nebo filtračním papírem. Vzorky se znovu zváží na vahách s přesností $\pm 0,1$ mg. Takto získáme druhou hodnotu m_2 . Zvážení vzorku by mělo proběhnout do 1 minuty po vyndání z vody. Obsah vody se měří opětovným ponořením zkušebních vzorků do vody. Po určitém časovém intervalu provedeme opětovné převážení vzorku. Typická doba ponoření je v intervalu 24 h, 48 h, 96 h, 192 h, 384 h atd. Před každým vážením vzorku, je nutné provést odstranění povrchové vody.[32]

Norma stanovuje ještě další tři možné metody měření. Tyto metody nebyly ale vhodné pro měření této diplomové práce.

4.1.6 Vyjádření výsledků

U každého měřeného vzorku spočteme procentuální změny hmotnosti c vzhledem k počáteční hmotnosti za pomoci příslušného vzorce[32]:

$$c = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\% \quad (4.1.6.1)$$

lze také použít vzorec[32]:

$$c = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \cdot 100\% \quad (4.1.6.2)$$

kde

m_1 je hmotnost zkušební vzorku v miligramech po počátečním sušení a před ponořením do vody

m_2 je hmotnost zkušební vzorku v miligramech po vyndání z vody

m_3 je hmotnost zkušebního vzorku v miligramech po vyndání z vody a po konečném sušení

Výsledek měření se vyjádří jako aritmetický průměr tří hodnot při stejně dlouhé expoziční době. V některých případech může nastat situace, že bude nutné vyjádřit množství absorbované vody v hmotnostních procentech ve vztahu k hmotnosti zkušebního vzorku po dosušení. V tomto případě se vychází z následujícího vzorce[32]:

$$c = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \cdot 100\% \quad (4.1.6.3)$$

4.2 Nasákavost plastů – přehled norem

V březnu 2010 byla schválena ČSN EN ISO 15512, která obsahuje specifikace pro stanovení obsahu vody v plastech. Jde o českou verzi evropské normy EN ISO 15512:2009. Tato norma tedy pomáhá velice dobře zjistit množství absorbované vody v plastech, které jsou ve formě granulí nebo konečných výrobků. Metody měření jsou vhodné pro stanovení obsahu vody v následujících úrovních[33]:

- Metoda A – 0,1 % a více²⁵
- Metoda B – 0,01 % a více²⁶
- Metoda C – 0,01 % a více²⁷

Obsah vody by měl být udržován pod hodnotou, která je předepsána příslušnou normou pro daný plastový materiál.[33]

V letectví a kosmonautice se používá norma ČSN EN 2378 z dubna 1998, která stanovuje nasákavost ve vodě u vláken vyztužených plasty. Hlavní uplatnění nachází u sklem vyztužených plastů. Nahrazuje normu ČSN EN 2378 z prosince 1996 a umožňuje porovnání dvou materiálů nebo stanovení difúzních parametrů, kdy výběr závisí na použitém modelu

²⁵ Metoda A – Extrakční metoda, kde se používá bez-vodný metanol. Následně se zjistí množství extrahované vody. Lze využít pro všechny druhy plastů s maximální velikostí granulí 4x4x3 mm.

²⁶ Metoda B – Principem je odpařování vody za pomoci ohřivaného suchého vzduchu nebo dusíku. Stanovení shromážděné vody je možné pro granule všech druhů plastů menších než 4x4x3 mm.

²⁷ Metoda C – Manometrická metoda. Obsah vody se stanoví z nárůstu tlaku, který je vyvolán odpařováním vody ve vakuu. Vhodné především pro plasty, které obsahují těkavé látky

měření.[34]

Zkouškami nasákavosti plastů se dále zabývá norma ČSN EN 60811-1-3 z července 1997. Tato norma obsahuje všeobecné zkušební metody izolačních a plášťových materiálů elektrických a optických kabelů. V částech 1-3 jsou popsány metody všeobecného použití, mezi které patří stanovení hustoty, zkouška smrštivosti a především zkouška nasákavosti, která je popisována v této kapitole diplomové práce. Zkoušky nasákavosti popsané v této normě jsou vhodné pro nejpoužívanější typy izolačních a plášťových kabelových směsí (elastomerové, PVC, PE nebo PP).[35]

Problematikou nasákavosti plastů se dále zabývá norma ČSN EN ISO 15148. Tato norma se zabývá tepelně vlhkostním chováním stavebních materiálů a výrobků. Obsah absorbované kapaliny se stanoví částečným ponořením vzorku do vody. Norma slouží k určení nasákavosti na základě kapilárních sil z nepřetržitého nebo hnaného deště. Využit se dá taktéž v neobvyklých případech, kterými může být např. krátkodobé uložení izolačních nebo stavebních hmot na staveništi. Tato norma není zaměřená na hodnocení nasákavosti materiálů, které jsou určeny k uložení pod vodou nebo kde dochází ke kontaktu s permanentně nasáklou zemínou. V tomto případě je vhodnější použít zkoušky celkového ponoření. Nasákavost částečným ponořením se stanoví změřením změn hmotnosti zkušební vzorku. Zkušební vzorek musí být v kontaktu s vodou minimálně 24 hodin. Vzorky musí mít pravidelný tvar, stálý průřez a plochy vzorku musí být bez povrchových nepravidlostí. Požaduje se, aby zkušební vzorky byly co nejvíce reprezentativní pro daný materiál. Kdyby tento požadavek nebyl z nějakého důvodu dodržen, výsledky měření by neměly správnou vypovídající hodnotu.[36]

Zkouška se provádí při teplotě $18 - 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) a relativní vlhkosti $0,4 - 0,6 \%$ ($\pm 0,05$). Postup měření je následující[36]:

Nejprve zvážíme vzorek na vahách s přesností $\pm 0,1 \%$ hmotnosti vzorku (získáme hodnotu hmotnosti m_1). Zkušební nádrž naplníme vodou z vodovodu. Vzorek se postaví na opěrné body. Je dobré dbát, aby se pod vzorkem netvořily vzduchové bublinky. K dostatečnému kontaktu s opěrnými body se používá zatěžovací zařízení. Hladina vody musí být konstantní (5 ± 2) mm nad spodní stranou vzorku. Před každým zvážením musíme vzorek

dostatečně osušit, abychom nezaváděli do měření chybu. Měření probíhá v intervalech 20 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h atd. Zvážením vzorku získáme hmotnost m_2 .

Plasty se samozřejmě využívají také jako stavební materiály, ale tato norma nebyla příliš vhodná k měření mé diplomové práce. Nejvíce důležitým faktorem byla tloušťka, zkušebních vzorků, která se pohybuje pod 1 mm, a proto by metoda částečným ponořením nešla zrealizovat. Mnohem vhodnější je tedy norma ČSN EN ISO 62.[36]

Ve stavebnictví se využívá také norma ČSN EN 1847 z dubna 2010, která je určena pro stanovení charakteristik plastových a pryžových pásů nebo fólií. Zkušební metody se vztahují výhradně na výrobky, ale ve vhodných případech také na jejich součásti. Norma se nevztahuje na hydroizolační systémy zabudované ve stavbách, které jsou složené z těchto výrobků. Zkouška je určena ke společnému používání s evropskou normou EN 13956.[37]

Předmětem normy je zkouška používající ponoření celého povrchu zkušebního tělesa. Jsou dané tři metody stanovení změn vlastností[37]:

- A – Okamžitá změna hmotnosti v ponoření²⁸ nebo po ponoření a sušení²⁹
- B – Okamžitá změna vzhledu po ponoření nebo ponoření a sušení
- C – Okamžitá změna fyzikálních vlastností (změna tahových vlastností) okamžitě po ponoření nebo po ponoření a sušení

5. Technické normy – Mechanické vlastnosti plastů

Mechanickými vlastnostmi plastů se zabývá značné množství technických norem. Každá norma se zabývá jiným druhem plastů a jiným způsobem měření mechanických vlastností. Některé normy byly vytvořené na nátlak výrobců, protože neexistovala taková norma, která by umožňovala snadno porovnávat vlastnosti podobných druhů plastů. Příkladem takovéto normy je ČSN EN ISO 11403-1, která je určená ke stanovení a prezentaci srovnatelných vícebodových hodnot mechanických vlastností plastů. V České republice se v současnosti

²⁸ Okamžité zkoušky po ponoření používáme v případě, jestliže je požadováno zjištění stavu materiálu v průběhu působení kapaliny

²⁹ Zkoušky po ponoření a sušení používáme v případě, že je potřeba zjištění stavu materiálu u těkavých látek

používá celá řada norem, které byly přijaté podle evropského standardu. O navrhování evropských norem a standardů se stará Evropský výbor pro normalizaci (CEN)³⁰. Česká republika patří mezi členské státy této evropské organizace. Novým normám přijatým organizací CEN nebo ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) jsou členské státy (tedy i Česká republika) povinné udělit statut národní normy. Toho je docíleno vydáním identického textu v národním jazyce dané země nebo schválením k přímému používání. Národní normy, které jsou s ní v rozporu, je nutné co nejrychleji zrušit.

Norma ČSN EN 50289-3-16 je částí normy, která se zabývá komunikačními kabely a byla schválena Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC)³¹. Norma obsahuje popis tahových vlastností kabelů a v České republice byla přijata v květnu 2002. Jde o českou verzi evropské normy EN 50289-3-16:2001. Jejím obsahem je popis zkušebního zařízení, které se skládá z měřiče pevnosti v tahu³², převodového zařízení a siloměru, jehož maximální povolená chyba je $\pm 3 \%$. Při vlastním měření dochází ke spojitě zvyšovanému tahu až na požadovanou hodnotu. Norma se vztahuje na koaxiální kabely, symetrické kabely a optické kabely.[40]

Další českou technickou normou, která se zabývá mechanickými vlastnostmi plastů, je ČSN EN 15977. V normě je kladen důraz spíše na textilie, které jsou však provrstvené pryží nebo plasty. Jedná se o českou verzi evropské normy EN 15977:2001 a v České republice byla přijata v září 2001. Měřením se stanovuje prodloužení vzorků při zatížení a následná zbytková deformace. Před vlastním měřením dojde k označení proužků provrstvené textilie. Poté dochází k zatěžování těchto vzorkových proužků. Po stanoveném čase se odebere závaží a vzorky určitý čas odpočívají, aby se dala vypočítat zbytková deformace vzorků na základě změřené vzdálenosti mezi značkami před a po zatěžování. K zatěžování se používá sestava připínacích závaží a upínací čelisti.[41]

³⁰ Evropský výbor pro normalizaci je mezinárodní nezisková organizace se sídlem v Bruselu, která byla založena 30. 10. 1975. Cílem organizace je odstraňování obchodních bariér v evropském průmyslu. CEN navrhuje normy a standardy ve všech hospodářských oblastech s výjimkou elektrotechniky (CENELEC) a telekomunikace (ETSI). V současnosti má CEN již 33 členských zemí, které spolupracují na rozvoji dobrovolných evropských norem (EN). Podepsáním Vídeňské úmluvy v roce 1991 se dohodl CEN na spolupráci s ISO (mezinárodní organizace pro normalizaci) na technické spolupráci v oblasti tvorby norem [38]

³¹ Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice je mezinárodní technická organizace, která byla založena roku 1973. Odpovídá za normalizaci v elektrotechnice a usnadňuje tak obchod mezi evropskými zeměmi, pomáhá vytvářet nové trhy a podporuje rozvoj evropského tržního systému. Úzce spolupracuje s Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) [39]

³² Měřič je schopen se přizpůsobit nejmenší zkoušené délce kabelu.

Plasty se nemusí kombinovat pouze s textiliemi, ale dají se velice dobře vyplňovat jinými materiály. V letectví a kosmonautice se úspěšně využívají plastové materiály, které jsou vyztužené lehkými a velice pevnými uhlíkovými vlákny. K měření podobných materiálů se využívá norma ČSN EN 2597. Jde o českou verzi evropské normy EN 2597:1998. Norma je zaměřená na zkoušku tahem, která se provádí kolmo na směr vláken u jednosměrných kompozitů. Předmětem normy je popis metod, které jsou určené na stanovení pevnosti v tahu, modulu v tahu a jeli to nutné i Poissonova čísla³³. Zkouška vzorků daná ČSN EN 2597 spočívá v měření podélných nebo příčně poměrných prodloužení materiálu ve vztahu k působící síle během tahové zkoušky. Zkouška probíhá při konstantní rychlosti až do porušení vzorku.[42]

Česká technická norma ČSN EN ISO 7765-1 se zabývá stanovením rázové houževnatosti metodou padajícího tlouku u plastových a tenkých desek stupňovitou metodou. Jde o normu, která byla schválena organizací CEN³⁴ 21. 6. 2013. Předmětem normy je specifikovat měřicí metodu pro stanovení energie, která způsobí porušení 50 % zkušebních vzorků odebraných z plastové fólie nebo tenké desky. Tloušťka vzorků je menší než 1 mm a měření musí probíhat za předem definovaných podmínek rázu volně padajícího tlouku, u kterého je nutné předem stanovit výšku pádu. Norma popisuje dvě měřicí metody. První používá tlouk s polokulovitou hlavou (průměr 38 ± 1 mm), který dopadá z výšky ($0,66 \pm 0,01$) m. Tato metoda je vhodná pro materiály, jejichž rázová houževnatost vyžaduje k proražení hmotnost tlouku mezi 0,05 až 2,00 kg. Druhá metoda využívá tlouk s půlkulovitou hlavou o průměru (50 ± 1 mm), který dopadá z výšky $1,50 \pm 0,01$ m. Této metody se využívá u vzorků, u kterých je k proražení fólie nebo desky zapotřebí hmotnosti od 0,3 až 2,0 kg. Pro obě dvě metody používáme stupňovitou měřicí metodu, kdy během měření konstantně zvyšujeme (snižujeme) přírůstky hmotnosti v závislosti na pozorovaném výsledku zkoušky. Zkušební zařízení se skládá z držáku zkušebního tělesa, elektromagnetu, polohovacího zařízení, mikrometru, tlumícího a ochranného zařízení³⁵, kroužku³⁶ a tlouku³⁷. [43]

³³Poissonovo číslo – jde o absolutní hodnotu poměru rozdílu poměrných prodloužení a rozdílu poměrných prodloužení materiálů ve vztahu k působící síle během zkoušky

³⁴ Evropský výbor pro normalizaci vydává normy ve třech základních verzích (anglická, francouzská a německá). Ostatní verze jsou překládány do národních jazyků a mají stejný status jako oficiální verze

³⁵ Jako tlumící a ochranné zařízení se nejčastěji využívá pěnová pryž, která utlumí padající tlouk

³⁶ Vnitřní průměr kroužku je 7 mm a je zajišťován sadou šroubů, aby bylo docíleno přesné polohy na ose tlouku

³⁷ Tlouk je při měření umístěn na válcových tyčích o průměru ($6,5 \pm 0,1$) mm a délce větší než 115 mm. Na tyče se umísťují odnímatelná závaží. Povrch tlouku musí být bez rýh, vrypů a jiných nerovnoměrností

Mechanické vlastnosti plastů lze určit také pomocí ČSN EN ISO 6603, která stanovuje chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání. Norma je složena ze dvou částí. První popisuje instrumentované rázové zkoušky a druhá část ČSN EN ISO 6603-2³⁸ je zaměřena na instrumentované rázové zkoušky. Předmětem normy je specifikace zkušebních metod, určených pro stanovení rázových vlastností tuhých plastů. Plastové vzorky mají podobu rovinných zkušebních těles. Zkouška probíhá za použití přístrojů měřících sílu a deformaci. Metoda je využívána v případech, u kterých je nutné zaznamenávat podrobnou charakteristiku křivky rázového chování. Centrální část vzorku je při zkoušení podrobena nárazu tlouku. Ráz je realizován nominálně stálou rychlostí kolmo na povrch tělesa. Výsledná křivka síla-čas nebo síla-průhyb je elektronicky zaznamenávána.[44]

Rázovou houževnatostí se zabývá také česká technická norma ČSN EN ISO 8256. Její přijetí proběhlo v dubnu 2005 a nahradila předešlou normu ČSN EN ISO 8256 ze srpna 1998. Obsahem normy je specifikace dvou metod vhodných pro stanovení rázové houževnatosti v tahu plastů za stanovených podmínek. Zkoušky probíhají při vysokých rychlostech deformace. Metody lze použít i pro tuhé materiály, ale především jejich uplatnění najdeme u materiálů, které jsou až příliš ohebné nebo tenké, aby bylo možné použít metod rázových zkoušek podle ISO 179 nebo ISO 180.[45]

Norma ČSN EN ISO 11403-1 byla přijata v srpnu 2003³⁹ a zabývá se stanovením a prezentací srovnatelných vícebodových hodnot plastů. Norma stanovuje postup při měření dynamického modulu, tahové vlastnosti při konstantní zkušební rychlosti, kríp v tahu⁴⁰, rázovou houževnatost Charpy a víceosé rázové chování. Metody a podmínky zkoušení jsou vhodné pro plasty, které byly zhotovené lisováním, vstřikováním nebo byly zpracované do podoby desek. Z takto získaných plastů se zhotovují zkušební vzorky. Norma klade značný důraz na přípravu zkušebních těles, a proto jsou parametry přípravy uvedené v tabulce 3.[46]

³⁸ ČSN EN ISO 6603-2 ze srpna 2001 nahrazuje ČSN EN ISO 6603-2 ze srpna 1998. Hlavní změnou je povinnost mazání tlouku vhodným mazivem, což vede ke snížení tření a zvýšení reprodukovatelnosti výsledků

³⁹ Norma nahrazuje ČSN EN ISO z roku 2000. Oproti starší verzi se liší přidáním nové zkoušky (víceosé rázové namáhání podle ISO 6603-2), dále aktualizováním zkušebních norem u rázové houževnatosti Charpy

⁴⁰ Kríp v tahu je dále popisován normou ČSN EN ISO 899-1.[36]

Tab. 3 Způsob přípravy zkušebních vzorků[46]

Typ materiálu	Způsob přípravy a norma (v případě její existence)	Parametry přípravy zkušebních těles
Termoplast	Vstřikování ISO 294-1 a 294-3	Teplota taveniny, teplota formy, Průměrná vstřikovací rychlost
Termoplast	Lisování ISO 293	Teplota lisování, Čas lisování, Rychlost chlazení, Teplota při otevření formy
Reaktoplast	Vstřikování ISO 10724-1 a 10724-2	Teplota plastifikovaného materiálu, Teplota povrchu formy, Čas vytvrzování
Reaktoplast	Lisování ISO 295	Teplota formy, Lisovací tlak, Čas vytvřování

Stanovením krípkového chování plastů se zabývá norma ČSN ISO 899-1. Metody používané v této normě jsou vhodné pro tuhé a polotuhé nevyztužené, plněné a vlákny vyztužené plastové materiály. Metody využíváme k získání údajů pro konstrukční účely, dále pro výzkum a vývoj. Při měření délky zkušební tělesa je nutné využít extenzometry. Jestliže jsou vlastnosti krípu v tahu využívány pro konstrukční účely, je nutné, aby bylo měření plastů prováděno v širokém rozsahu napětí, časů a v různých prostředích.[47]

Velice podrobně se plastům věnuje poslední norma zmíněná v této kapitole. Jde o ČSN EN ISO 527-1, ve které jsou popsány obecné principy měření plastů. Zbylé části normy se věnují jednotlivým typům plastů (např. Část 3: Zkušební podmínky pro fólie a desky). Jedná se o českou verzi evropské normy EN ISO 527-1:2002, která byla v České republice přijata v říjnu 2012. Norma specifikuje obecné zásady pro stanovení tahových vlastností plastů a plastových kompozitů. Používané měřicí metody jsou vhodné pro tuhé a polotuhé termoplasty, tuhé a polotuhé reaktoplasty nebo kompozity plněné vlákny na bázi reaktoplastů a termoplastů. Při vlastním měření je zkušební těleso protahováno ve směru své hlavní podélné osy konstantní zkušební rychlostí. Těleso je protahováno do porušení vzorku nebo do okamžiku, při kterém prodloužení nebo zatížení dosáhnou předem zvolené hodnoty. Během zkoušky je sledováno prodloužení a zatížení, které působí na zkušební vzorek. Je velice důležité, aby upínací čelisti zkušebního přístroje nezapříčinily předčasné porušení nebo rozmačkání vzorku. Hlavní osa zkoušeného vzorku musí být shodná se směrem protahování a musí procházet osou sestavy čelisti. K indikaci poměrného prodloužení je používáno

průtahoměrů, extenzometrů nebo tenzometrů. Norma ČSN EN ISO 527-1 je vhodná při měření prodloužení v tahu, které bylo prováděno v experimentální části této diplomové práce. Protože se experimentální část diplomové práce zabývala měřením EVA fólií, je dobré při experimentu doplnit tuto normu o ČSN EN ISO 527-3, která se detailněji zabývá právě plastovými fóliemi a deskami z plastu.[48]

Českých technických norem, které se zabývají danou problematikou, je mnohem více, ale v rešerši této diplomové práce nejsou již zmíněné. Evropské normy, které byly vytvořené organizacemi CEN, ISO nebo CENELEC se shodují s českými. České technické normy lze překládat z anglické, francouzské nebo německé verze.

6. Experimentální část diplomové práce

Jak již bylo zmíněno v úvodu, experimentální část diplomové práce se zabývá analýzou nasákavosti EVA fólií a měřením jejich mechanických vlastností. K měření nasákavosti a mechanických vlastností bylo dodáno sedm rozdílných sad vzorků EVA fólií. Sady vzorků byly označeny následným způsobem: Sekisui, Etimex, Novovellum, Evasa, Novovellum TM, EVA fólie Vistasolar a EVA film Vistasolar. Z toho první čtyři sady vzorků byly ještě před dodáním řádně sesíťovány zadavatelem tématu práce. Zbylé tři sady vzorků byly dodány a následně i testovány v nesíťovaném stavu. Z každé sady vzorkových fólií byly pro účely plánovaných experimentů nařezány menší vzorky.

6.1 Měření nasákavosti EVA fólií

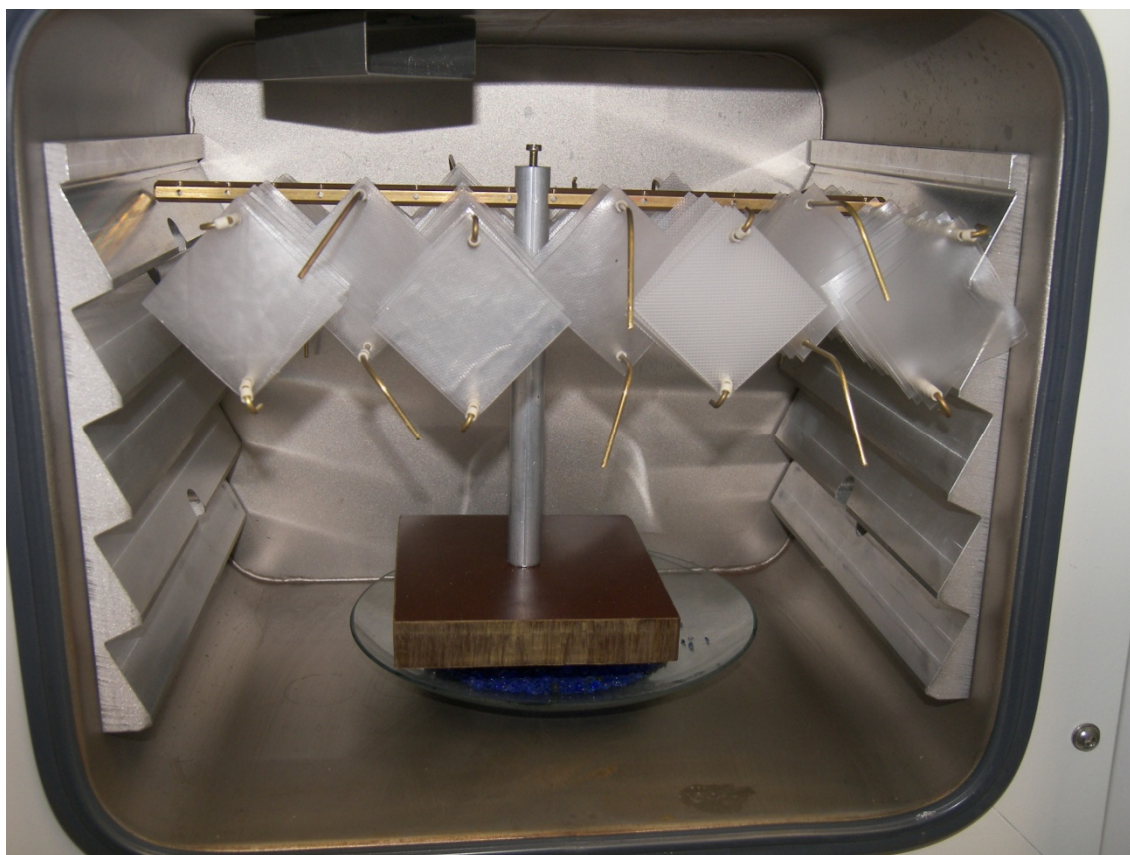
Vzhledem k tomu, že je analýza nasákavosti časově velice náročná, započalo toto měření o několik týdnů dříve než měření mechanických vlastností. K měření byl zhotoven stojánek, který udržel vzorky ve vodě (viz *Obr. 6.1.1*). Stojánek byl vložen do nádoby, která byla až po okraj naplněná destilovanou vodou. Z dodaných vzorkových EVA fólií byl skalpelem nařezán dostatečný počet vzorků. Od každé sady EVA fólií bylo nařezáno 20 vzorků o rozměrech 5x5 cm. Celkem bylo připraveno 7x20 vzorků. Ve dvou rozích těchto čtvercových vzorků byly pomocí děrovače vyraženy kruhové otvory o průměru 4 mm. První otvor sloužil k nasunutí vzorků na připravené kovové tyčky, které se upevnily na předem připravenou konstrukci

stojánku. Druhý otvor vzorku sloužil k provléknutí tyčky, která zatěžovala EVA fólie, protože jejich hustota byla příliš malá. Vzorky by bez této přídavné kovové tyčky plavaly a nebyly by celé ponořené ve vodě. Plavání vzorků bylo nepřípustné, protože norma ČSN EN ISO 62:2008 stanovuje, že při měření nasákavosti musí být vzorky zcela ponořené v destilované vodě.

Každá sada vzorků tedy měla určené dvě kovové tyčky, které zajišťovaly naprosté ponoření dodaných zkušebních vzorků v destilované vodě. Jednotlivé vzorky EVA fólií byly oddělené nastříhanými plastovými brčky, aby nedocházelo k jejich vzájemnému dotyku. Navíc byla jednotlivá brčka v odlišném barevném provedení, které napomáhalo správnému rozlišení jednotlivých sad měřených vzorků.

Před vlastním měřením nasákavosti se u každého vzorku změřila tloušťka. Tloušťka byla změřená na pěti náhodných místech. Naměřených pět hodnot se zprůměrovalo a získala se tak výsledná konečná průměrná tloušťka. Průměry jednotlivých vzorků je možné vidět v tabulce, která je přiložená v příloze (*Tab. P. 2 - 8*). Když byly všechny vzorky přeměřené, umístily se na připravené tyčky, které se připevnily na připravený stojánek. V horní části stojánku byla šroubem upevněná kovová trubka, ve které byly vyvrtané malé dírky. Tyto dírky měly přesně takový průměr, aby do nich zapadly tyčky se sadami vzorků.

Měření započalo tak, že se všechny vzorky naskládaly na zhotovený stojánek. Tento stojánek se vložil do pece Vacucell, ve které byla navíc přidaná miska se silica gelem (*Obr. 6.1.1*). V peci se vzorky vysoušely po dobu 24 hodin, aby se z nich odstranila veškerá vlhkost. Vysoušení probíhalo ve vakuu při teplotě 50 °C. Po ukončení vysoušení se vzorky nechaly v peci vychladnout do druhého dne. Přiložený silica gel zajistil, aby vzorky EVA fólie nenasály vlhkost znovu zpět.



Obr. 6.1.1 Uložení stojánku se vzorky EVA fólií ve vysoušecí peci Vacucell

Vysušené a vychladlé vzorky (pokojová teplota 23 °C) bylo nutné co nejrychleji převážít. Vážení muselo probíhat velice rychle, aby se v jejich hmotnosti neprojevila vlhkost okolí. Prvním zvážením byla pro každý vzorek získána hmotnost m_1 . Hmotnost m_1 byla důležitá při následných výpočtech nasákavosti. Převážené vzorky se opět naskládaly na stojánek, který se celý ponořil do destilované vody. Nádoba s destilovanou vodou byla umístěna v laboratoři se stabilní teplotou (21±1 °C). Vložením vzorků do destilované vody započalo prvních 24 hodin měření nasákavosti. Další převážení vzorků proběhlo druhý den přesně po 24 hodinách od ponoření stojánku do vody. Před vážením se vzorky umístily do dvou přenosných nádob⁴¹ s destilovanou vodou, která měla stejnou teplotu jako hlavní nádoba. Vzorky byly neustále zcela ponořené ve vodě, protože jinak by docházelo k jejich vysoušení.

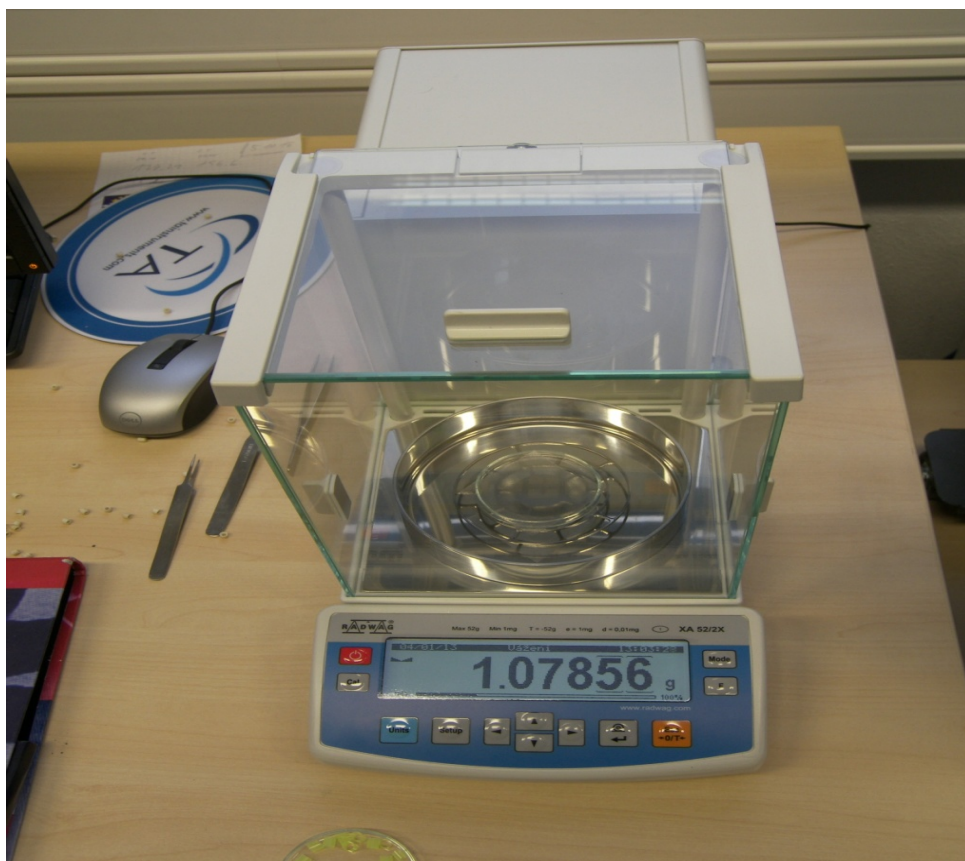
⁴¹ Nebylo možné přenášet celou 50 kg nádobu se vzorky

Měřicí mikrováhy⁴² (Obr. 6.1.2) se nenacházely v jiné místnosti než uskladněné vzorky. Před měřením vzorků byla zapsána teplota místnosti a relativní vlhkost vzduchu. Hodnoty teploty a relativní vlhkosti je možné si prohlédnout v příloze (Tab. P. 9). Každý jednotlivý vzorek se musel před vážením na mikrováhách pečlivě vysušit, aby se nezanášela do vážení nasákavosti nepřesnost. K vysoušení vzorků se používaly papírové ubrousky. Se vzorky bylo manipulováno v gumových rukavicích a s laboratorní pinzetou, aby se na ně nedostala nežádoucí vlhkost či nečistota. Po zvážení všech dvaceti vzorků z jedné sady EVA fólií, byly vzorky opět naskládány na kovovou tyčku, která se vrátila do nádoby s vodou. Celý proces se opakoval u všech sedmi sad vzorků. Po ukončení měření byl stojánek se vzorky vložen do destilované vody a čekalo se na další odběr. Další vážení probíhalo v časových intervalech, které jsou uvedené v tabulce Tab. 6.1 a v příloze Tab. P. 9. Zvážením vzorku po působení v destilované vodě jsme získali hmotnost m_2 .

Tab. 6.1 Počet hodin od ponoření vzorků do destilované vody

Datum měření nasákavosti	Počet hodin od ponoření vzorků do destilované vody
04.1.2013	-
05.1.2013	24
06.1.2013	48
08.1.2013	96
12.1.2013	192
16.1.2013	288
20.1.2013	384
24.1.2013	480
30.1.2013	624
06.2.2013	792
14.2.2013	984
21.2.2013	1152
28.2.2013	1320
07.3.2013	1488
14.3.2013	1656
21.3.2013	1824
28.3.2013	1992
04.4.2013	2160

⁴² Analytické váhy XA 52/2X vyrobila společnost RADWAG, která byla založena v roce 1984. Veškeré produkty společnosti jsou založené na vlastních konstrukčních a technických řešeních. První analytické váhy vyrobila společnost v roce 1997. V roce 2002 obdrželi certifikát ISO 9001:2000 [49]



Obr. 6.1.2 Mikrováhy na vážení vzorků



Obr. 6.1.3 Detail vzorku EVA fólie při vážení

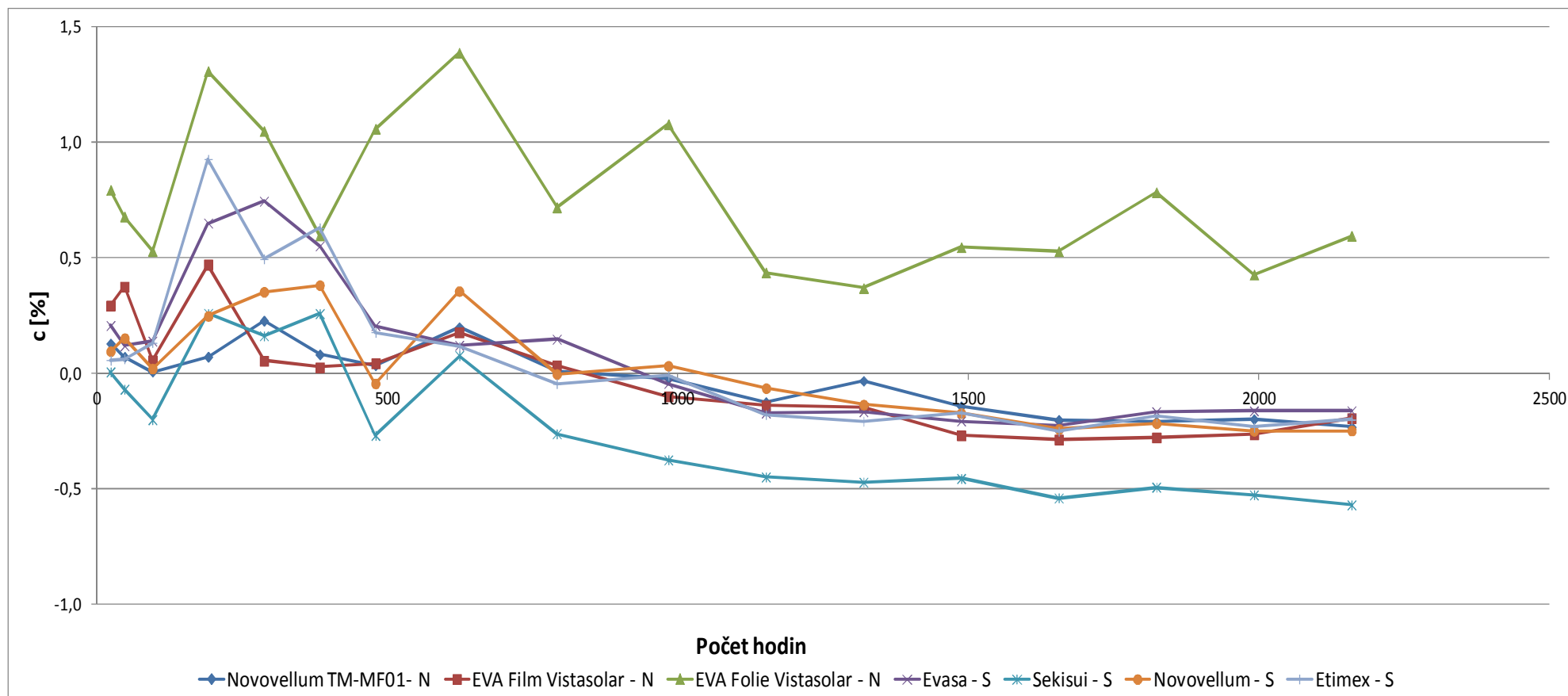
6.2 Vyhodnocení výsledků nasákavosti EVA fólií

Analýza nasákavosti byla ukončena 4.4. 2013 a celkem bylo provedeno 18 jednotlivých měření. Celková doba, kterou strávily vzorky v destilované vodě, byla 2160 hodin, což představuje 90 dní. Prvním měřením (4.1.2013) se získala důležitá hmotnost m_1 , která byla potřebná pro všechna další měření, protože udávala hmotnost vysušených vzorků před ponořením do vody. Veškeré další hmotnosti se označují m_2 . Hmotnosti m_1 a m_2 byli dosazené do vzorce[32]:

$$c = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\% \quad (4.1.6.1)$$

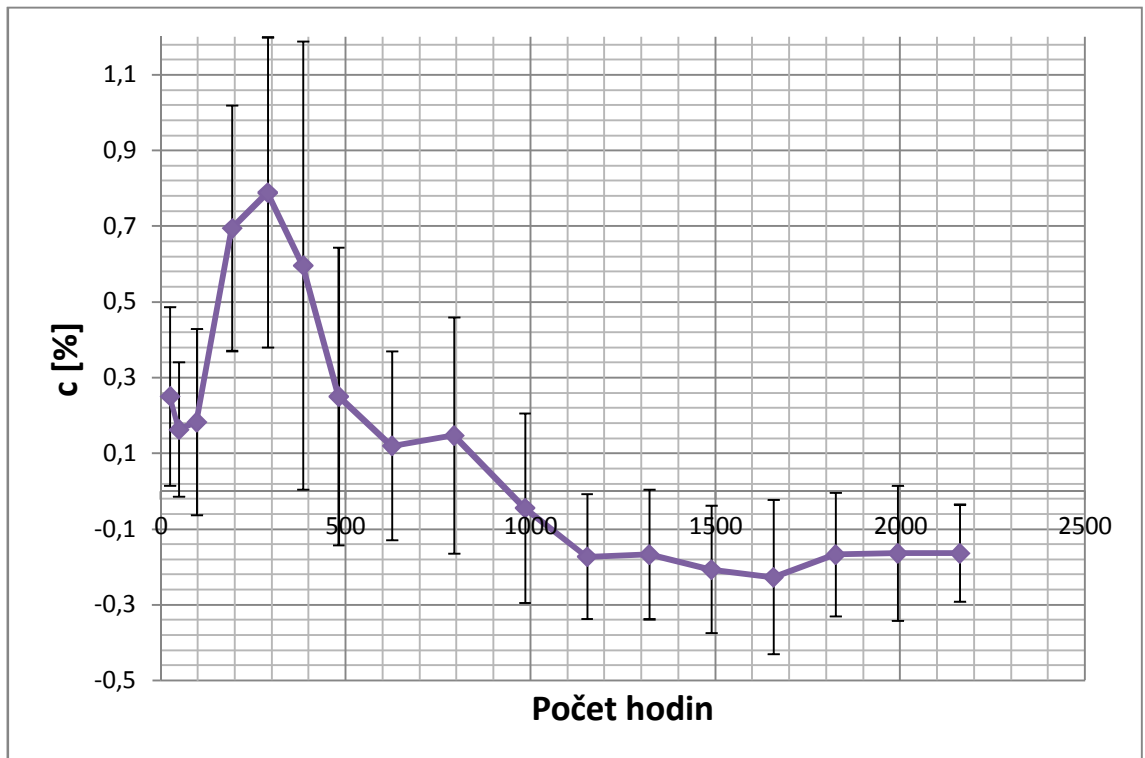
Pro každou ze sedmi dodaných sad vzorků EVA fólií byly podle rovnice (4.1.8.1) vypočteny procentuální změny hmotnosti c vzhledem k počáteční hmotnosti. Společný graf všech sad vzorků je možné vidět na následujícím obrázku (*Obr. 6.2*). Čtyři sady vzorků (Etimex, Evasa, Novovellum, Sekisui) jsou v legendě doplněné o zkratku S, která znamená, že se jedná o síťovaný druh kopolymeru etylen-vinylacetátu. Ostatní vzorky doplněné o zkratku N byly dodány a po celou dobu měření se nacházely v nesíťovaném stavu.

Obr. 6.2 Nasákavost EVA fólií – Společný graf



Prvním měřením byl u všech vzorků zjištěn mírný nárůst hmotnosti. Vysušené vzorky EVA fólií tedy v první fázi experimentu absorbovali malé množství destilované vody. Přírůstky hmotnosti vzrostly o 0,5 – 1 % z původní váhy vzorků. Z grafu je však dále patné, že při následujících třech měřeních byl zaznamenán u všech sad vzorků mírný pokles hmotnosti. Od 8. 1. 2013 (3. měření vzorků po vložení do vody) nastalo střídání úbytků a přírůstků váhy. Toto střídání lze pozorovat až do 30. 1. 2013. Tento den probíhalo 8. měření vzorků. Od tohoto dne nastává postupný úbytek hmotnosti u šesti ze sedmi sad vzorků. Jedinou výjimkou jsou vzorky fólií, které jsou dodány pod názvem EVA fólie Vistasolar. Tento druh fólií byl dodán v nesítovaném stavu. Fólie měla ze spodní strany rozdílnou povrchovou strukturu než vrchní strana. Vrchní strana fólie byla zhotovena s vroubkovaným vzorem, ve kterém se drželo malé množství vody. Spodní strana byla velice hladká a nedržely se na ní přebytečné kapky. Horní strana však působila před měřením potíže, protože se z ní velice složitě odstraňovala voda, která vnášela nepřesnosti do měření. Papírovým ubrouskem se voda nemohla ze vzorků odstraňovat příliš dlouho, protože norma ČSN EN ISO 62 stanovuje, že vzorky musí být osušené a převážené v co nejkratším čase. Veškeré tyto nežádoucí faktory způsobovaly, že se u této sady vzorků vyskytovalo střídání úbytků a přírůstků hmotnosti oproti předešlému měření. Střídání úbytků a přírůstků hmotnosti probíhalo po celou dobu měření. EVA fólie Vistasolar jako jediná sada vzorků měla na konci experimentu nepatrný nárůst hmotnosti oproti vysušenému stavu. Nárůst hmotnosti činil přibližně 0,5 %. U ostatních šesti sad vzorků EVA fólií došlo na konci experimentu (4. 4. 2013) k úbytku váhy oproti původním vysušeným vzorkům. Nejvyšší ztrátu hmotnosti zaznamenaly vzorky, které byly označené pod názvem Sekisui. Šlo o výrobce sítovaný etylen-vinylacetát, který se na první pohled nikterak nelišil od ostatních sítovaných sad vzorku. Odlišnosti se neprojevovaly ani hmatovým vjemem. Fólie Sekisui zaznamenaly na konci experimentu úbytek hmotnosti, který činil zhruba 0,5 %. Zbývajících pět sad vzorků EVA fólií (dvě nesítované a tři sítované sady) mělo velice podobný průběh. Od 6. 2. 2013, kdy bylo ukončeno 9. měření vzorků, se jejich procentuální změna hmotnosti prakticky ustálila na stejných hodnotách. Při desátém měření se všechny tyto vzorky dostaly poprvé do záporných hodnot. Od tohoto dne tedy docházelo k pozvolnému úbytku váhy. Konečná hmotnost se v posledních třech týdnech experimentu (21. 3. – 4. 4. 2013) pohybovala na hranici - 0,2 % oproti počáteční hmotnosti vysušených vzorků.

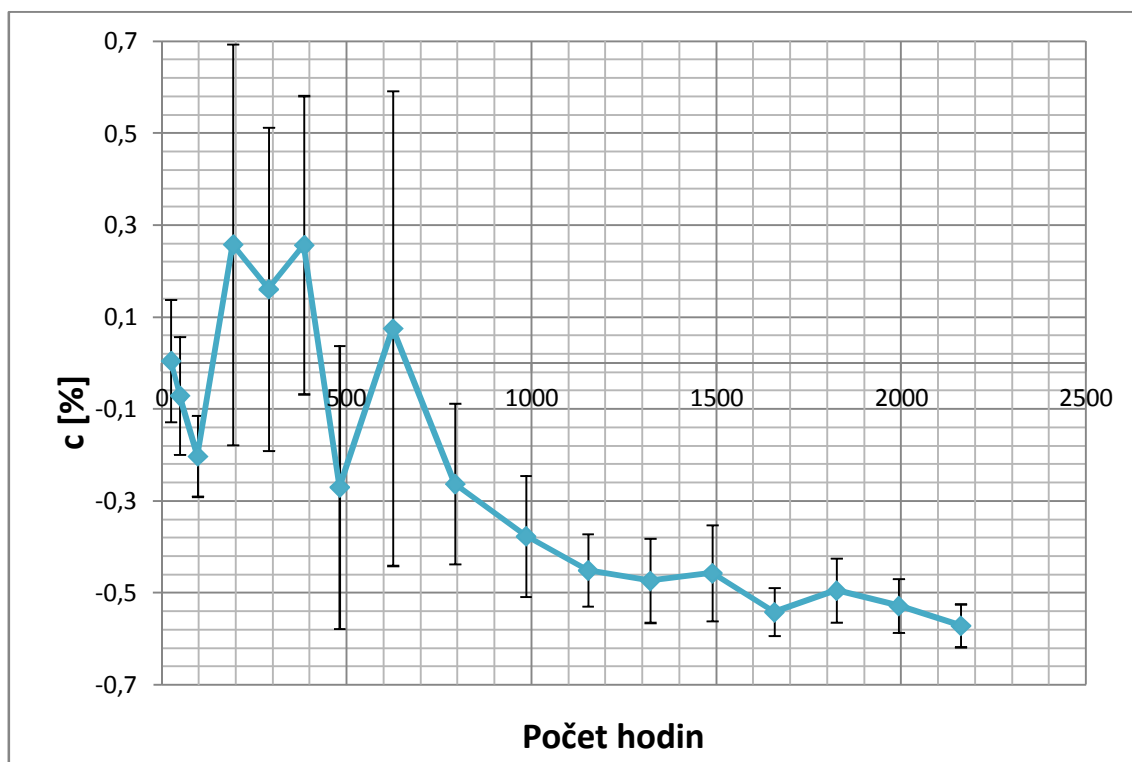
Sada vzorků Evasa byla dodána v síťovaném stavu. Průměrná hmotnost jednoho z dvaceti vzorků byla 1,005 gramu. Nejvyšší hmotnosti dosáhl tento kopolymer EVA po pátém měření, kdy zaznamenal procentuální přírůstek hmotnosti o 0,789 %, což v průměru představuje nárůst o 0,008 gramu. Až na malé výjimky⁴³ nastal po pátém měření úbytek váhy, který pokračoval až do ukončení experimentu. Hodnota procentuálního přírůstku hmotnosti se zastavila v záporných hodnotách, které představovaly pokles váhy o 0,163 %. Průměrně ztratily vzorky 1,65 miligramu ze své počáteční hmotnosti. Celkový průběh hodnot sady vzorků Evasa je možné si prohlédnout na obrázku (Obr. 6.3). Všechny sedm sad EVA fólií bylo měřeno pro 20 jednotlivých vzorků, u kterých docházelo k rozdílným výsledkům nasákavosti. Některé vzorky hmotnost nepatrně ztrácely, ale jiné vzorky hmotnost naopak získávaly. Tento fakt následně způsobuje, že se v jednotlivých fázích experimentu objevují poměrně značné směrodatné odchylky. V průběhu měření se celý proces stabilizoval, a proto se již dále směrodatné odchylky snižují.



Obr. 6.3 Procentuální přírůstek hmotnosti –Evasa

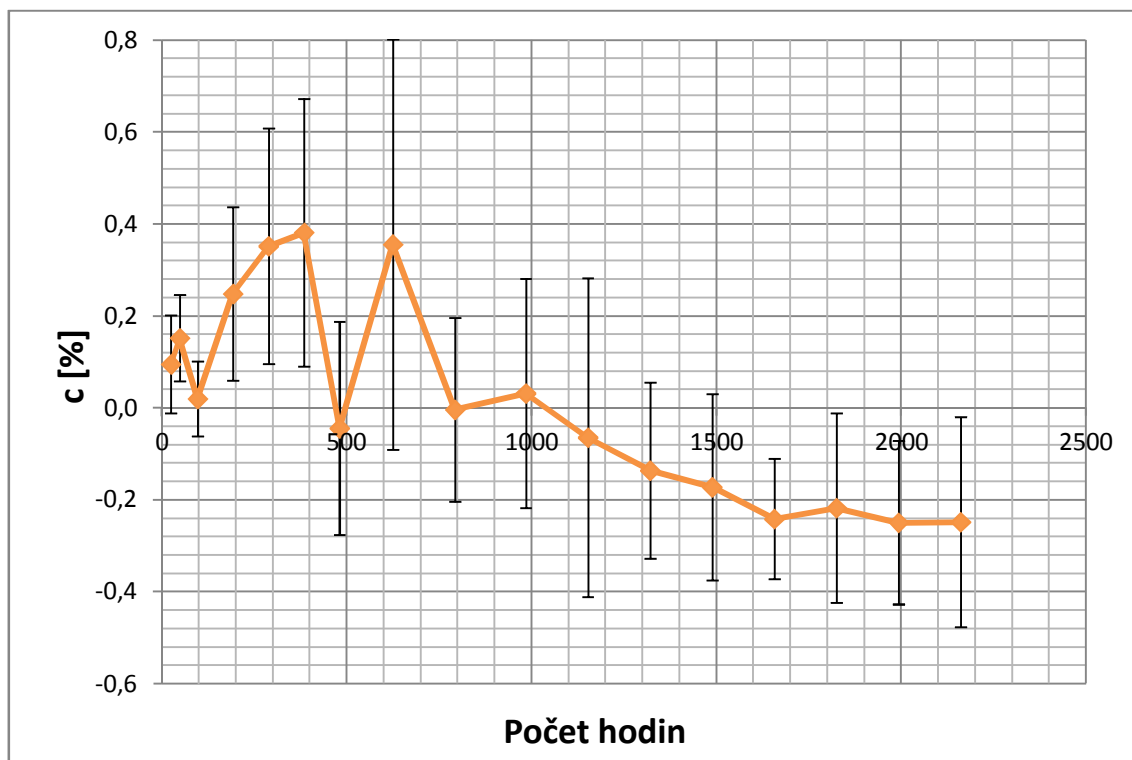
⁴³ Nepatrný nárůst byl oproti předešlému vážení zaznamenán po 792 a 1824 hodinách

Sada vzorků Sekisui byla dodána v síťovaném stavu. Průměrná hmotnost vzorků po vysušení byla 1,067 gramu. Jak již bylo zmíněno v předešlé části diplomové práce, jedná se o druh fólií, který zaznamenal během experimentu největší úbytek hmotnosti. Po 2160 hodinách ztratily fólie kopolymeru EVA Sekisui v průměru 6,087 miligramů z původní váhy. Celkový průběh měření nasákavosti je možné si prohlédnout na grafu (Obr. 6.4). Z obrázku je patrné, že v počátečních dnech měření vykazovaly vzorky velké směrodatné odchylky, které signalizují velké vzájemné odlišnosti hodnot. V průběhu experimentu se směrodatné odchylky snižovaly, protože se zmenšovaly rozdíly hmotností mezi jednotlivými vzorky fólií. Velice malé směrodatné odchylky na konci experimentu znamenají, že některé vzorky ztrácely svou hmotnost rychleji než zbylé, protože postupně docházelo ke stabilizaci jednotlivých vzorků. Náhodný proces ztráty hmotnosti se tak časem ustálil a váhy jednotlivých vzorků se podstatně přiblížily.



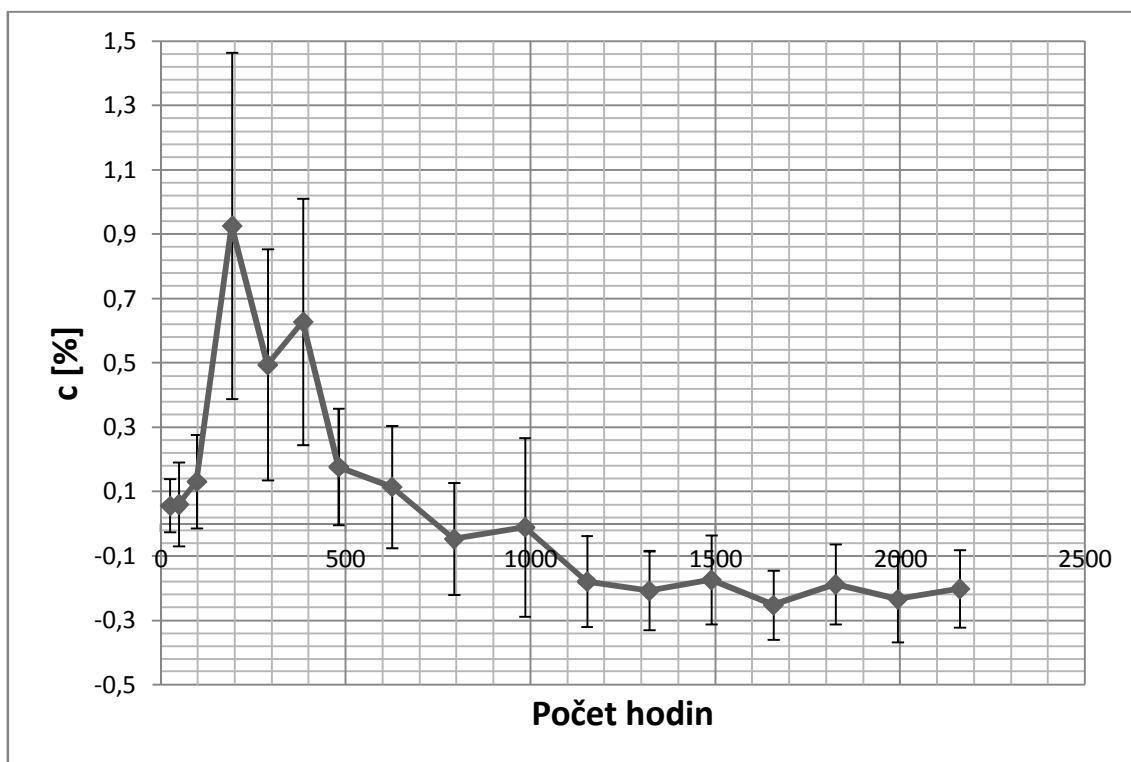
Obr. 6.4 Procentuální přírůstek hmotnosti – Sekisui

Sada vzorků Novovellum byla také dodána v síťovaném stavu. Průměrná hmotnost tohoto druhu etylen-vinylacetátu po vysušení byla 1,027 gramu. Vzorky Novovellum zaznamenaly největší výkyv hodnot v rozmezí 20. 1. 2013 až 6. 2. 2013, což představuje časový interval od 384 do 792 hodin po ponoření vzorků do destilované vody. V tomto časovém rozmezí byla maximální průměrná hmotnost 1,031 gramu a minimální hmotnost činila 1,027 gramu. Rozdíl hmotností představoval 4,378 miligramu. Od 14. 2. 2013 započal postupný úbytek hmotnosti, který se koncem experimentu zastavil na hodnotě 1,025 gramu. Tento úbytek hmotnosti představuje ztrátu 0,278 % oproti stavu vzorků po vysušení. Celkový průběh síťovaných fólií etylen-vinylacetátu Novovellum je dobře patrný z grafu (Obr. 6.5)



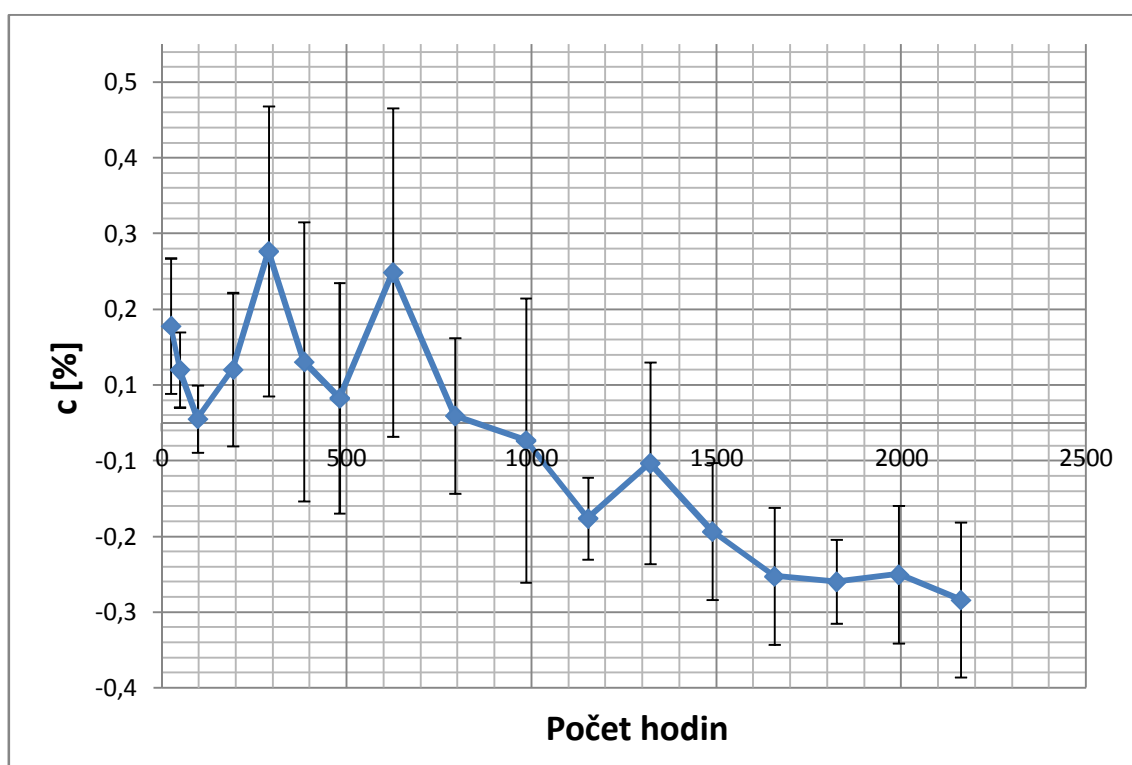
Obr. 6.5 Procentuální přírůstek hmotnosti – Novovellum

Posledním dodaným síťovaným etylen-vinylacetátem byly vzorky, které byly označeny jako Etimex. Počáteční hmotnost vzorků po vysušení se pohybuje na hranici 1,053 gramu. U fólií Etimex probíhá nárůst hmotnosti do čtvrtého měření, které bylo provedeno 12. 1. 2013, tedy po 192 hodinách od vložení vzorků do destilované vody. Průměrná hmotnost fólií činila 1,063 gramu, což představuje nárůst váhy o 0,926 %. Celkový přírůstek hmotnosti jednoho vzorku mezi začátkem měření a tímto dnem činí v průměru 9,759 miligramu. Od sedmého měření nastává pozvolný úbytek hmotnosti. Také směrodatné odchylky v této části experimentu jsou velice nízké. Vzorky Etimex ztratily v průběhu měření přibližně 0,201 % původní váhy. Tento procentuální úbytek představuje 2,127 miligramu etylen-vinylacetátu. Průběh experimentu fólií Etimex je názorně vidět na grafu (Obr. 6.6).



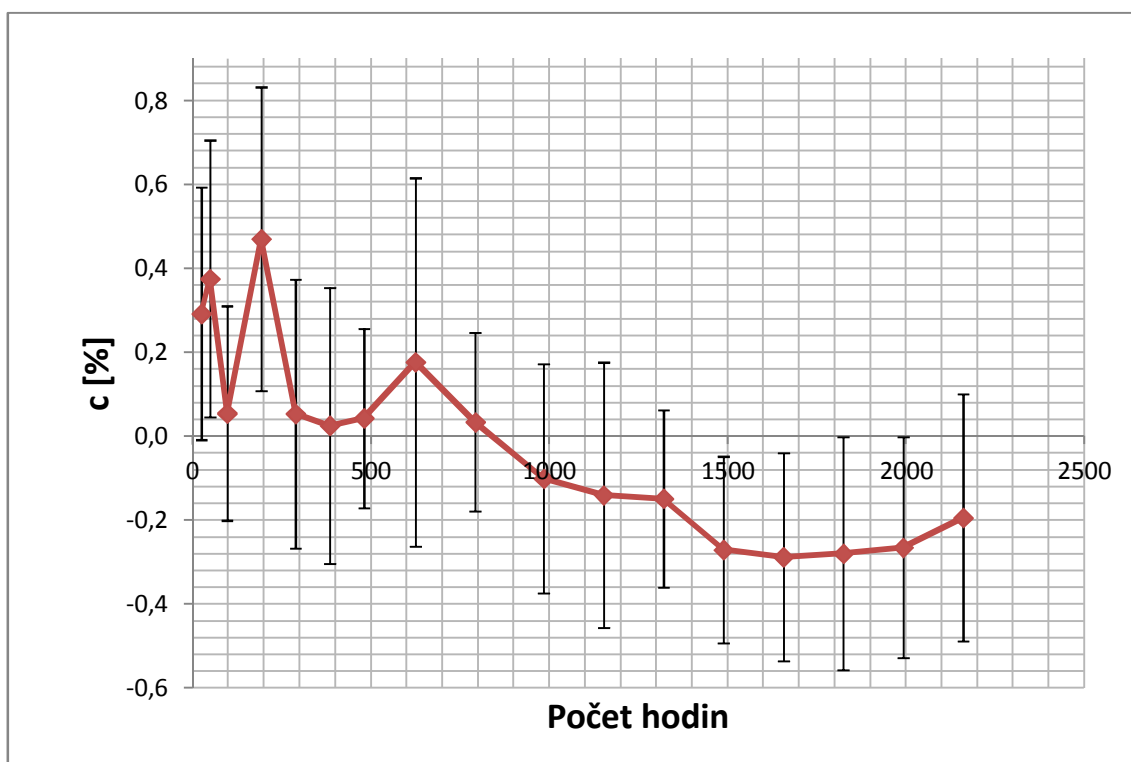
Obr. 6.6 Procentuální přírůstek hmotnosti – Etimex

Mezi tři dodané vzorky, které nebyly dodány v síťovaném stavu, patří Novovellum TM. Tento nesíťovaný etylen-vinylacetát byl na dotek poměrně značně kluzký. Kluzkost vzorku se během experimentu nezměnila. Počáteční průměrná hmotnost jednoho vzorku činila 1,018 gramu. Novovellum TM se vyznačuje poměrně častým střídáním přírůstků a úbytků hmotností v první polovině měření. Tento jev trvá do osmého měření (30. 1. 2013). Od tohoto dne nastává ztráta hmotnosti, která je v počátku poměrně rychlá. Zpomalení děje nastává po 1152 hodinách. V následujícím odběru se projeví dokonce mírný nárůst váhy, což je patně způsobeno nedostatečným očištěním povrchu vzorku. Kluzkost daného materiálu totiž občas bránila úplnému odstranění nežádoucích kapek. Nárůst hmotnosti mezi jedenáctým a dvanáctým měřením však představoval pouze 0,752 miligramu. Po ukončení měření byla hmotnost vzorku v průměru 1,016 gramu, což představuje procentuální úbytek hmotnosti o 0,233 %. Průběh měření sady vzorků Novovellum TM je znázorněn v grafu (Obr. 6.7)



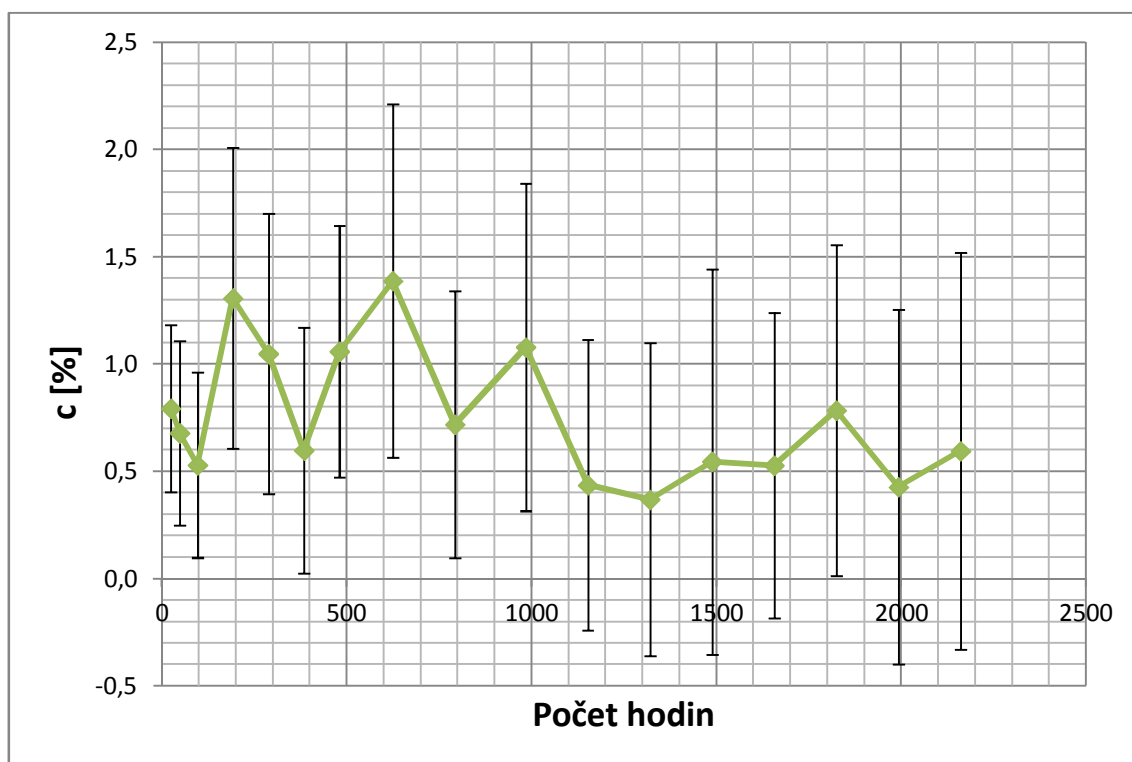
Obr. 6.7 Procentuální přírůstek hmotnosti – Novovellum TM

Nesíťovaný vzorek EVA film Vistasolar měl velice lepivou jednu stranu. Tato lepivá strana měla patrně vliv na rozdíly hmotností mezi jednotlivými vzorky. EVA film Vistasolar se tak vyznačuje vysokými směrodatnými odchylkami v průběhu celého měření. Počáteční hmotnost vzorků po vysušení činila přibližně 1,0496 gramu. Dne 30. 1. 2013 byl u vzorků zaznamenán poslední větší nárůst hmotnosti. Od tohoto dne začíná pomalý úbytek váhy, který se zastaví po 1656 hodinách. Vzorky měly po tomto časovém období průměrnou hmotnost 1,0465 gramu, tedy rozdíl 3 miligramů oproti počátku experimentu. V posledních třech měřeních vzorků EVA film Vistasolar byl zaznamenán mírný nárůst váhy. Konečná váha tak byla 1,0475 gramu a představovala úbytek o 0,194 %. Ode dne 14. 3. 2013 tak byl zaznamenán nárůst hmotnosti o 0,982 miligramu. Celkový procentuální přírůstek hmotnosti této sady vzorků je dobře vidět na grafu (Obr. 6.8)



Obr. 6.8 Procentuální přírůstek hmotnosti – EVA film Vistasolar

Poslední měřenou sadou vzorků byly EVA fólie Vistasolar, které byly dodány v nesíťovaném stavu. Jak již bylo zmíněno dříve, jednalo se z pohledu vysoušení vzorků o velice problematický materiál. Tento druh dodaných fólií měl nejvyšší počáteční hmotnost, která po vysušení činila 1,097 gramu. Nejvyšší hmotnost měly vzorky při osmém měření, které probíhalo 30. 1. 2013 po 624 hodinách. Průměrná hmotnost vzorků tento den byla 1,112 gramu, což představuje nárůst o 15,212 miligramu. U vzorků se objevují také značně vysoké směrodatné odchylky, které dosahovaly nejnižších hodnot v prvních třech měřeních. EVA fólie Vistasolar jako jediné ze sedmi sad vzorků zaznamenaly oproti vysušenému stavu nárůst hmotnosti. Celkově fólie nasákly 6,46 miligramů destilované vody, přibližný nárůst váhy představuje 0,594 % oproti počátku experimentu. Celý průběh nasákavosti tohoto druhu etylen-vinylacetátu je znázorněn v grafu (Obr. 6.9)



Obr. 6.9 Procentuální přírůstek hmotnosti – EVA fólie Vistasolar

Z experimentu je patrné, že u měřených vzorků nedocházelo k absorpci vody, ale naopak se postupně část kopolymeru EVA vylouhovala. Úbytek hmotnosti je patrně způsoben ztrátou části vinylacetátové složky. Veškeré naměřené a vypočtené hodnoty dodaných EVA fólií je možné si prohlédnout v tabulkách, které se nachází v příloze (Tab. P. 10-23). Celkový přehled

počátečních průměrných hmotností po vysušení u jednotlivých vzorků je možné vidět v příloze (Tab. P. 24). Tabulka je pro zajímavost doplněna i o konečné hmotnosti vzorků.

6.3 Měření mechanických vlastností EVA fólií

Měření mechanických vlastností probíhalo oproti měření nasákavosti o několik týdnů později. Z dodaných sad EVA fólií byly skalpelem připraveny zkušební vzorky. Pro každou sadu EVA fólií bylo zhotoveno 5 totožných vzorků o rozměrech 1x2,5 cm.

Před zahájením měření se všech 35 vzorků pečlivě přeměřilo. Provedlo se změření jejich tloušťky. Jednotlivé průměry tlouštěk se nachází v příloze (Tab. P. 25). U každého vzorku se navíc změřila jejich přesná šířka, protože nebylo při řezání skalpelem možné dodržet vždy přesný rozměr 1 cm. Při měření tahové zkoušky je nejdůležitější plocha průřezu dodaných vzorků, protože působící napětí [MPa] je podílem působící síly [F] na průřez [m²].

Vlastní měření probíhalo na přístroji pro dynamicko mechanickou analýzu DMA Q800⁴⁴. Parametry přístroje jsou přidány v příloze (Tab. P. 27). Přístroj měl během experimentu nastavenou pracovní teplotu na 50 °C, kterou si sám udržoval na potřebné hodnotě. Jednotlivé připravené vzorky byly postupně upevňovány do polohovatelných čelistí. Za pomoci šroubováku bylo provedeno pečlivé utahení těchto dvou čelistí. Utahování závitů se muselo provádět velice opatrně, aby nedošlo k jejich stržení. Přílišná síla by také mohla zapříčinit přetržení tenkých zkušebních vzorků. Ty bylo nutné velice přesně vycentrovat, aby nedošlo k ovlivnění výsledků napětí v tahu. Jednotlivá měření trvala přibližně deset minut. Po skončení každého měření se z čelistí opatrně odstranil vzorek EVA fólií, který již neměl další využití, protože došlo k jeho přetržení. Tento cyklus se opakoval pro všech 35 vzorků.

6.4 Vyhodnocení výsledků mechanických vlastností EVA fólií

Na přístroji DMA Q800 se provedlo měření napětí v tahu při definovaném prodloužení vzorků. Mechanické vlastnosti vzorků jsou v pěti ze sedmi případů velice podobné. Rozdílné

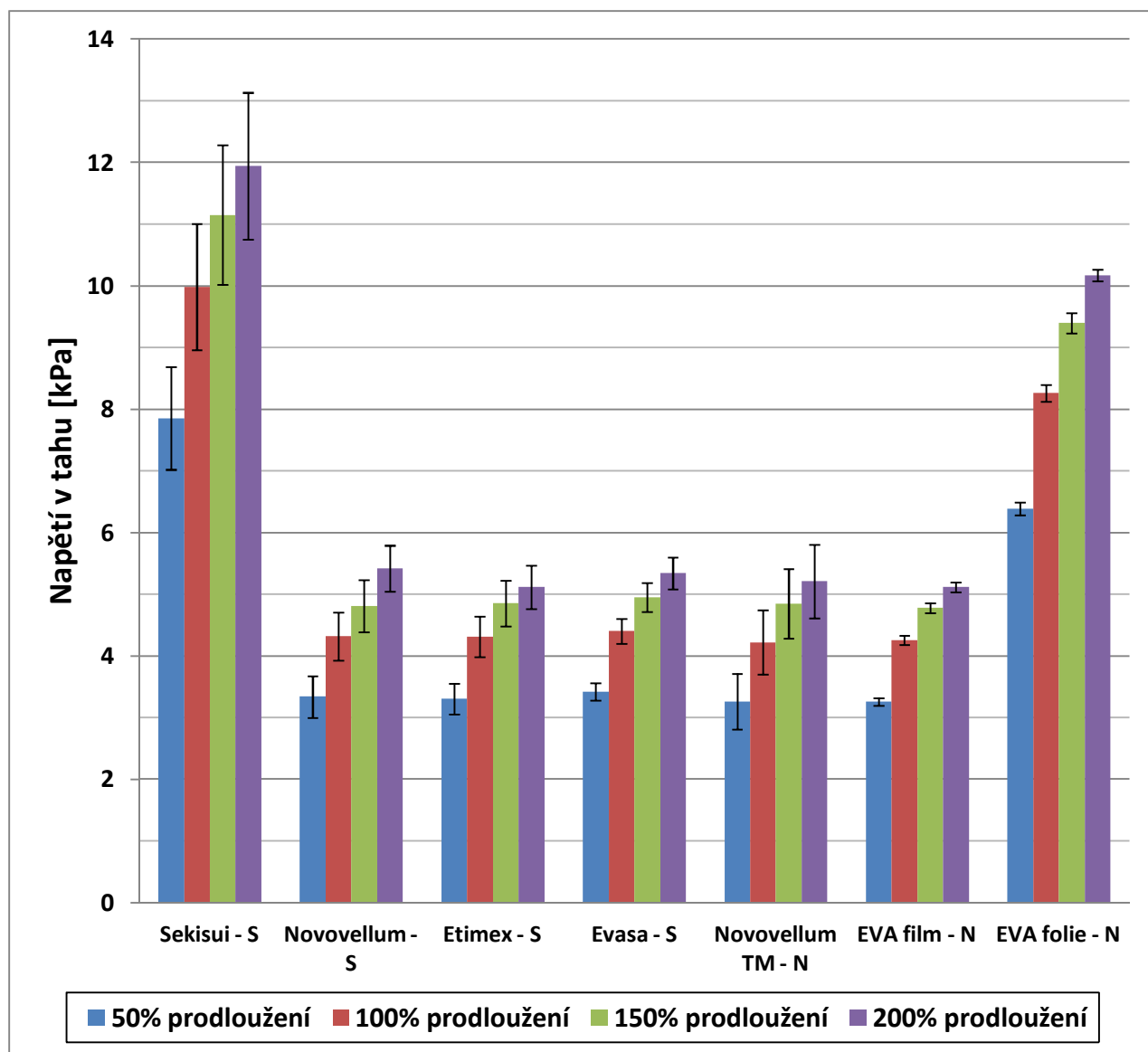
⁴⁴ Přístroj DMA Q800 vyrábí společnost TA Instruments, jejíž hlavní sídlo se nachází v americkém státě Delaware (východní pobřeží USA). Další výrobní závody společnosti se nachází v dalších státech USA a Evropě. Společnost má vedoucí postavení na trhu v oblasti teplotní analýzy (např. přístroj DMA Q800) a mikrokalorimetrii.[50]

vlastnosti mají pouze vzorky EVA fólií Sekisui a EVA fólie Vistasolar. Tyto dvě sady vzorků byly od ostatních sad odlišné i v předešlém měření nasákavosti. EVA fólie Sekisui je síťovaný kopolymer etylen-vinylacetátu. EVA fólie Vistasolar představovaly jednoho ze tří zástupců, u kterých síťování nebylo provedeno. Výsledný přehled hodnot je sestaven v tabulce (Tab. 6.3). Zkratka S, která se nachází v této tabulce, představuje, že u daného materiálu bylo výrobcem fólií provedeno síťování. Zbylé tři sady vzorků, které jsou v tabulce doplněné o zkratkou N, byly dodány v nesíťovaném stavu.

Tab. 6.3 Přehled hodnot napětí v tahu pro jednotlivé vzorky EVA fólií

Materiál	Napětí v tahu při definovaném prodloužení [kPa]							
	50%	Sm.odch. [kPa]	100%	Sm.odch. [kPa]	150%	Sm.odch. [kPa]	200%	Sm.odch. [kPa]
Sekisui - S	7,86	0,83	9,98	1,02	11,15	1,13	11,94	1,19
Novovellum - S	3,34	0,34	4,32	0,39	4,81	0,42	5,42	0,37
Etimex - S	3,31	0,25	4,32	0,33	4,85	0,37	5,12	0,35
Evasa - S	3,43	0,14	4,41	0,20	4,95	0,23	5,34	0,26
Novovellum TM -N	3,27	0,45	4,22	0,52	4,85	0,57	5,21	0,60
EVA film - N	3,26	0,06	4,26	0,07	4,78	0,08	5,12	0,08
EVA folie - N	6,39	0,11	8,26	0,14	9,40	0,16	10,17	0,09

Z tabulky (6. 3) je patrné, že již zmíněné vzorky Sekisui a EVA fólie Vistasolar jsou schopné odolávat většímu mechanickému napětí než zbylé vzorky. Tento jev je mnohem lépe patrný z výsledného grafu (Obr. 6. 10)



Obr. 6. 10 Napětí v tahu při definovaném prodloužení

U všech sedmi vzorků je dobře vidět pozvolný trend nárůstu prodloužení v závislosti na působícím napětí v tahu. Největšímu napětí, aniž by došlo k přetržení vzorku, jsou schopné odolávat vzorky Sekisui. Tento etylen-vinylacetát ovšem ztrácel největší množství váhy při měření nasákavosti. Jeho jednotlivé směrodatné odchylky jsou také nejvyšší, z čehož vyplývá, že oproti vzorkům jako je např. EVA film Vistasolar, dochází mezi jednotlivými fóliemi Sekisui ke značným rozdílům. Vysoká hodnota prodloužení u toho materiálu je dána především prvním a druhým vzorkem. Tyto dva vzorky dosahují oproti pátému vzorku značných rozdílů. Nejvíce je tento úkaz patný při 150 % a 200 % prodloužení (Tab. 6. 4). Při 150 % prodloužení je rozdíl mezi prvním a pátým vzorkem 3,21 kPa. Při prodloužení 200 % dosahují hodnoty dokonce 3,39 kPa. I přes tento jev je ale nutné zmínit, že pátý vzorek má vyšší hodnoty napětí než je průměr druhé nejlepší fólie. Průměr napětí EVA fólií je totiž při 200 % prodloužení 10,17 kPa (5. Vzorek Sekisui dosahuje hodnoty 10,53 kPa). Z tabulky je dále dobře patrné, že se u všech 5 vzorků objevuje trend snižování prodloužení v tahu. Tento trend je s největší pravděpodobností způsobený přístrojem DMA Q800, který se v počátcích experimentu potýkal s přesnou stabilizací provozní teploty (50 °C). U dalších sad vzorků se již tento problém neobjevoval.

Tab. 6.4 Hodnoty prodloužení vzorků fólií Sekisui

Sekisui				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	9,34	11,73	13,04	13,92
2	8,11	10,31	11,53	12,34
3	7,61	9,93	11,16	11,99
4	7,23	9,14	10,18	10,93
5	6,99	8,82	9,83	10,53
Průměr [kPa]	7,86	9,98	11,15	11,94
Sm. odch. [kPa]	0,83	1,02	1,13	1,19
Variační koeficient [%]	10,59	10,25	10,14	9,97

Vzorky fólií EVA film Vistasolar mají při měření napětí v tahu v průměru druhou nejnižší hodnotu směrodatné odchylky. Nejnižších hodnot směrodatných odchylek dosahuje další nesíťovaný materiál, který byl dodán pod názvem EVA film Vistasolar. Z měření tak plyne, že nejlepších hodnot směrodatných odchylek dosahují nesíťované etylen-vinylacetáty od Vistasolaru. Hodnoty prodloužení EVA fólie Vistasolar jsou vyhodnocené v tabulce (Tab.

6.5). Z tabulky je patrné, že pátý vzorek nevydržel nastavené napětí a přetrhl se před 200 % prodloužením. Tento jev je možné dále pozorovat i u jiných vzorků. Nejhůře dopadl v tomto ohledu třetí vzorek ze sady Evasa, který se přetrhl těsně před 100 % prodloužením.

Tento fakt patrně způsobila vada ve struktuře vzorku. Naměřené hodnoty sady Evasa jsou vyobrazeny v tabulce (Tab. 6.6)

Tab. 6.5 Hodnoty prodloužení vzorků fólií EVA fólie Vistasolar

EVA fólie Vistasolar				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	6,26	8,12	9,24	10,08
2	6,32	8,15	9,25	10,09
3	6,43	8,31	9,45	10,31
4	6,36	8,23	9,37	10,22
5	6,57	8,51	9,69	N/A
Průměr [kPa]	6,39	8,26	9,40	10,17
Sm. odch. [kPa]	0,11	0,14	0,16	0,09
Variačníkoeficient [%]	1,65	1,69	1,74	0,93

Tab. 6.6 Hodnoty prodloužení vzorků fólií Evasa

Evasa				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	3,54	4,51	5,04	5,42
2	3,21	4,14	4,64	5,00
3	3,53	N/A	N/A	N/A
4	3,30	4,31	4,86	5,25
5	3,55	4,67	5,27	5,71
Průměr [kPa]	3,43	4,41	4,95	5,34
Sm. odch. [kPa]	0,14	0,20	0,23	0,26
Variačníkoeficient [%]	4,10	4,57	4,71	4,80

Vzorky Evasa jsou síťované a během měření nasákavosti patřily svými úbytky hmotnosti mezi pět velice blízkých sad EVA fólií. Z tabulky je patrné, že padesátiprocentního prodloužení dosahovali vzorky při prakticky totožném napětí. Postupem času se směrodatné odchylky zvětšovaly. Přesto lze však říci, že všechny vzorky (kromě vzorku 3) se víceméně shodovaly. Výborných hodnot v porovnání se zbylými čtyřmi vzorky z dané sady dosahuje

vzorek číslo 5. Tento vzorek odolával při 200 % prodloužení napětí 5,34 kPa.

Nejhorších výsledků při 200 % prodloužení dosáhly vzorky, které byly dodané pod názvem Novovellum a EtimeX. U fólií Novovellum nedosáhly tohoto prodloužení dva z pěti vzorků. Zbývající tři vzorky však odolávají při 200 % prodloužení napětí 5,42 kPa. Vyšších hodnot napětí dosahují pouze vzorky Sekisui a EVA fólie Vistasolar. Směrodatné odchylky napětí patří ale mezi nejvyšší. Hůře dopadly pouze vzorky Sekisui a Novovellum TM. Naměřené hodnoty fólií Novovellum je možné si prohlédnout v tabulce (Tab. 6.7)

Tab. 6.7 Hodnoty prodloužení vzorků fólií Novovellum

Novovellum				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	3,14	4,14	4,65	4,98
2	3,85	4,94	5,51	5,89
3	3,63	4,59	5,07	5,40
4	3,08	3,98	4,43	N/A
5	3,01	3,93	4,40	N/A
Průměr [kPa]	3,34	4,32	4,81	5,42
Sm. odch. [kPa]	0,34	0,39	0,42	0,37
Variačníkoeficient [%]	10,11	9,04	8,82	6,86

Tab. 6.8 Hodnoty prodloužení vzorků fólií EtimeX

EtimeX				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	3,58	4,63	5,19	5,59
2	3,00	3,92	4,41	4,76
3	3,18	4,13	4,64	5,00
4	3,62	4,78	5,38	N/A
5	3,16	4,13	4,65	N/A
Průměr [kPa]	3,31	4,32	4,85	5,12
Sm. odch. [kPa]	0,25	0,33	0,37	0,35
Variačníkoeficient [%]	7,54	7,63	7,60	6,86

Také u materiálu EtimeX (Tab. 6.8) nevydržely dva vzorky mechanické napětí a došlo k jejich přetržení ještě před 200 % prodloužením. Hodnoty směrodatných odchylek jsou jen

nepatrně lepší než u fólií Novovellum. Tyto dva vzorky mají při 200 % prodloužení prakticky totožnou hodnotu směrodatné odchylky. Tato shoda je však do jisté míry způsobená srovnáváním pouze tří hodnot z každé sady etylen-vinylacetátu. K lepšímu porovnání by bylo zapotřebí větší množství měřených vzorků. Nejlepších hodnot odolávání mechanickému namáhání dosahuje u fólií Etimex první měřený vzorek. Do prodloužení 150 % se však nejlépe choval přetržený vzorek číslo 4, který již později nebyl schopný vydržet vysoké hodnoty napětí v tahu. Přitom při 150 % prodloužení odolával napětí 5,38 kPa. Tato hodnota byla ze všech pěti vzorků jednoznačně nejlepší.

Jak již bylo zmíněno výše, nejlepších hodnot z pohledu směrodatných odchylek dosáhl materiál EVA film Vistasolar. Naměřené hodnoty všech pěti fólií z této sady se prakticky shodují. Tento materiál se řadí mezi velice podobné sady EVA fólií. K podobným výsledkům docházelo při měření prodloužení v tahu i nasákavosti. Dále do této skupiny materiálů patří: Etimex, Evasa, Novovellum a Novellum TM. Nejvíce se fólie EVA film Vistasolar shodovaly při 50 % prodloužení. V této fázi činila jejich směrodatná odchylka pouze 0,06 kPa. Tyto výsledky jsou velice zajímavé v porovnání se vzorky Sekisui, které dosahovaly při 50 % prodloužení hodnot 0,83 kPa. V pozdějších fázích měření je tento rozdíl ještě vyšší (při 200% prodloužení činila směrodatná odchylka 0,08 a 1,19 kPa). Hodnoty vzorků EVA film Vistasolar je možné si prohlédnout v tabulce (Tab. 6.9)

Tab. 6.9 Hodnoty prodloužení vzorků fólií EVA film Vistasolar

EVA Film Vistasolar				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	3,30	4,30	4,83	5,19
2	3,23	4,20	4,72	5,07
3	3,16	4,15	4,67	5,01
4	3,31	4,30	4,82	5,19
5	3,31	4,34	4,88	N/A
Průměr [kPa]	3,26	4,26	4,78	5,12
Sm. odch. [kPa]	0,06	0,07	0,08	0,08
Variačníkoeficient [%]	1,87	1,70	1,66	1,52

Posledním měřeným materiálem je Novovellum TM. Naměřené hodnoty tohoto nesíťovaného etylen-vinylacetátu se nachází v tabulce (Tab. 6.10).

Jak již bylo zmíněno dříve, jde o materiál s druhými nejvyššími směrodatnými odchylkami. Největšího rozdíl napětí při prodloužení dosahují vzorky 1 a 3. Rozdíl napětí těchto dvou vzorků při 200 % prodloužení představuje 1,46 kPa. Vzorek číslo 5 byl přetržený již po 100 % prodloužení. Vzorek číslo 1 dosáhl při hodnotě napětí 5,15 kPa 100 % prodloužení. V porovnání se zbylými vzorky z této sady se jedná o výborný výsledek, protože ostatní fólie dosáhly při srovnatelném napětí již 200 % prodloužení. Vzorek číslo 1 tak v porovnání s ostatními vzorky Novovellum TM velice dobře odolává mechanickému namáhání.

Tab. 6.10 Hodnoty prodloužení vzorků fólií Novovellum TM

Novovellum TM				
	Napětí při prodloužení [kPa]			
Vzorek	50%	100%	150%	200%
1	4,06	5,15	5,72	6,12
2	3,46	4,46	4,99	5,37
3	2,96	3,85	4,33	4,66
4	3,01	3,90	4,37	4,69
5	2,84	3,77	N/A	N/A
Průměr [kPa]	3,27	4,22	4,85	5,21
Sm. odch. [kPa]	0,45	0,52	0,57	0,60
Variačníkoeficient [%]	13,76	12,36	11,66	11,46

6.5 Celkové zhodnocení dosažených výsledků

Výsledky nasákavosti ukazují, že vzorky vody neabsorbovaly a nemohlo tak docházet k nárůstu váhy. Vlivem působení okolních vlivů a destilované vody naopak dochází ke ztrátě hmotnosti. Ztráta hmotnosti je s největší pravděpodobností vyvolána vylouhováním části vinylacetátu z řetězce kopolymeru. Jediný materiál, který měl po skončení experimentu vyšší hmotnost oproti vysušenému stavu, je nesíťovaná EVA fólie Vistasolar. Na tomto materiálu se však vlivem povrchové struktury držely zbytky vody, které do jisté míry ovlivnily celé měření. Úbytky hmotnosti se prakticky shodovaly u pěti sad vzorků (Etimex, Evasa, Novovellum, Novovellum TM a EVA film Vistasolar). Z hlediska směrodatných odchylek úbytků hmotnosti vycházejí z těchto pěti sad nejlépe materiály Evasa a Etimex.

Nejvíce konstantní průběh nasákavosti byl pozorován u fólií Etimex, které

zaznamenávaly nepatrné úbytky hmotnosti v období od 792 do 2160 hodin experimentu. Z tohoto důvodu je hodnocen materiál Etimex jako nejlepší, protože nejméně podléhá nežádoucím vlivům kapalin. V tomto případě se jednalo o destilovanou vodu. Nejvíce hmotnosti ztratili v průběhu celého měření vzorky Sekisui. Tento materiál se však vyznačuje tím, že se s přibývajícím časem snižovaly směrodatné odchylky vzorků, a proto by bylo zajímavé sledovat jeho vývoj delší dobu.

Z hlediska měření mechanických vlastností při použití přístroje DMA Q800 se podle mého názoru nejlépe chovají tři sady vzorků fólií (Evasa, EVA fólie Vistasolar, Sekisui). Nejvyšších hodnot napětí v tahu dosáhly fólie Sekisui, ale jejich vysoké směrodatné odchylky naznačují, že se mezi jednotlivými vzorky vyskytují značné rozdíly. Tento fakt je poměrně zarážející, protože zkušební vzorky byly nařezány ze stejného kusu fólie, jejíž plocha nebyla větší než 15 cm². Otázkou zůstává, jak by se projevíly mechanické vlastnosti nesíťovaných vzorků EVA film Vistasolar a EVA fólie Vistasolar po provedení síťování. Nesíťované fólie od Vistasolaru dosahují z hlediska homogenity velice dobrých výsledků. Bude-li při výrobě etylen-vinylacetátu Evasa zajištěno, že se v celé fólii neobjeví slabá místa jako u vzorku 3, dá se tento typ fólie označit za nejlepší měřený materiál. Musela by být ale zajištěna stejná homogenita materiálu v celé ploše dodaných fólií. Za nejméně vhodné materiály z hlediska mechanických vlastností považují síťované vzorky Etimex a Novovellum, protože u nich docházelo k častějšímu přetržení při větším prodloužení. U materiálu Novovellum TM panují stejné nejistoty jako u zbylých dvou již dříve zmíněných nesíťovaných materiálů. K přesnějšímu vyhodnocení experimentu by bylo potřeba větší množství vzorků. Tento požadavek je však z hlediska časové a finanční náročnosti experimentu neproveditelný.

Po ukončení experimentálních měření považují za nejlepší materiál pro fotovoltaické systémy etylen-vinylacetát Evasa, který vykazoval dobré vlastnosti v prvním i druhém měření. Dodaná sada Evasa byla velice kvalitní, protože se z ní podařilo získat velice totožné vzorky pro dané experimenty. Dále je velice zajímavý fakt, že sady vzorků Sekisui a EVA fólie Vistasolar vykazovaly oproti zbývajícím sadám vzorků odlišné vlastnosti v prvním i druhém měření.

Závěr

Fotovoltaické panely jsou již několik let z hlediska obnovitelné energie zajímavým fenoménem. Veškeré komponenty, ze kterých se skládají jednotlivé panely, jsou neustále podrobovány vědeckému výzkumu. Pozadu tak nezaostávají ani fólie etylen-vinylacetátu. Fólie jsou vylepšovány o vhodné stabilizátory a další příměsi, které výrazně zlepšují jejich mechanické a optické vlastnosti. Výhoda stabilizátorů spočívá v tom, že podstatně zpomalují žloutnutí fólií ve fotovoltaických panelech. Žloutnutí je nežádoucí jev, který má v mnoha případech vliv na výkon instalovaných panelů. Kopolymery etylen-vinylacetátu se dají dále využívat i v jiných oblastech lidské činnosti. Tento materiál se tak objevuje ve stavebnictví, automobilovém průmyslu, oděvnictví, potravinářství nebo v lékařství.

Mechanickými vlastnostmi a nasákavostí plastů se zabývá celá řada českých technických norem, které jsou přejímány ze zahraničních technických norem. Jejich sestavování mají na starosti mezinárodní organizace CEN, CENELEC nebo ISO. Každá norma, která se zabývá mechanickými vlastnostmi, popisuje jiný druh měření a jejich využití je tak značně odlišné.

Hlavním cílem experimentu, který se zabýval měřením nasákavosti, bylo zjištění, zda u dodaných vzorků EVA fólií dochází k absorbování kapaliny. Absorbování vody se u všech sedmi sad vzorků objevovalo pouze v prvním týdnu měření. Ve zbylém období již docházelo ke ztrátě hmotnosti. Hmotnost šesti sad vzorků byla nakonec o několik miligramů nižší než jejich původní váha po vysušení. Úbytek hmotnosti byl způsobený patrně ztrátou části vinylacetátu z kopolymerového řetězce. Jediná sada vzorků, která zaznamenala nepatrný nárůst váhy, byla dodána v nesíťovaném stavu pod názvem EVA fólie Vistasolar.

Měření mechanické pevnosti v tahu bylo měřeno s pomocí přístroje DMA Q800. V experimentu bylo porovnáváno sedm sad fólií po pěti zkušebních vzorcích. Největšímu napětí odolávaly vzorky Sekisui a EVA fólie Vistasolar. Fólie Sekisui při 200 % prodloužení odolaly napětí blízcímu se 12 kPa. Tato hodnota byla dvakrát vyšší než u pěti zbývajících sad. U několika připravených testovaných vzorků došlo k přetržení ještě před 200 % prodloužení. Tento jev je patrně způsobený rozdílnou homogenitou dodaných etylen-vinylacetátových fólií.

Použitá literatura

- [1] HASELHUHN, Ralf. FOTOVOLTAIKA: *Budovy jako zdroj proudu*. 1. vyd. Ostrava - Plesná: HEL, 2010, 176 s. ISBN 978-3-410-20354-4.
- [2] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů*. ELEKTRO [online]. 2007 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40646
- [3] Fotovoltaické panely: Stručný popis běžně používaných SI článků. [online]. [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.hqline.com/fotovoltaicke-panely>
- [4] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. GradaPublishing a.s., 2010, 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [5] CZANDERNA, A. W.; PERN, F. J.: Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: A critical review. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 43(1995), s. 101-181.
- [6] DuPont™ Tedlar® solar PV film for PV backsheets. [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: http://www2.dupont.com/Photovoltaics/en_US/products_services/backsheet/tedlarPV.html
- [7] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [8] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: Výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
- [9] RAVVE, A. *Principles of Polymer Chemistry*. 2. vyd. New York: Plenum Publishers, 2000. ISBN 0-306-46368-7.
- [10] WHELAN, Tony. *Polymer Technology Dictionary*. London: Springer, 1994. ISBN 0-412-58180-9.
- [11] HARPER, Charles A. a Edward M. PETRIE. *Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia*. New Jersey: Wiley, 2003. ISBN 0-471-45603-9.
- [12] SOROKA, A. *Illustrated Glossary of Packaging Terminology*. Naperville (Illinois): DEStech Publications, 2008. ISBN 1-930268-27-0.
- [13] CRAWFORD, R.J a James L HABER. *Rotational Molding Technology*. Norwich (NY): William Andrew, 2002. ISBN 1-884207-85-5.
- [14] READ, John. *The Shell Bitumen Handbook*. London: Thomas Telford, 2003. ISBN 0-7277-3220-X.
- [15] DOLBEY, Rebecca a Michael C. HOUGH. *The Plastics Compendium: Key Properties and Sources*. Shawbury: iSmithers Rapra Publishing, 1995. ISBN 1-85957-058-5.
- [16] BENEDEK, István. *Pressure-sensitive Formulation*. Utrecht: VSP, 2000. ISBN 90-6764-330-0.
- [17] BRYDSON, John A. *Plastics Materials*. 7. vyd. London: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 0-7506-4132-0.
- [18] ROLANDO, T.E. *Solvent-Free Adhesives*. iSmithers Rapra Publishing, 1998. ISSN 0889-3144.
- [19] PERN, F. J., S. H. GLICK a A. W. CZANDERNA. *EVA Encapsulants for PV Modules: Reliability issues and current R&D status at NREL*. 1996, s. 367-370.
- [20] ALLEN, Norman S., Michele EDGE, Miguel RODRIGUEZ, Cristopher M. LIAUW a Eusebio FONTAN. *Aspects of the thermal oxidation of ethylene vinyl acetate copolymer*.

- Madrid, Spain.1999, s. 9. DOI: S0141-3910(00)00020-3.
- [21] GIURGINCA, Maria, Livia POPA a Traian ZAHARESCU. Thermo-oxidativedegradation and radio-processingofethylene vinyl acetateelastomers. DOI: S0141-3910(03)00200-3.
- [22] JIN, Jing, Shuangjun CHEN a Jun ZHANG. UV agingbehaviourofethylene-vinyl acetatecopolymers (EVA) withdifferent vinyl acetatecontents. Nanjing University of Technology, China.
- [23] DuPont Moravia, spol. s r.o. [online]. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/dupont-moravia-spol-s-ro/f/538>
- [24] CZANDERNA, A.W. Overview of possible causes of EVA degradation in PV modules, in: L. mrig (Ed.), PV Module Reliability Workshop, SERI /CP-4079
- [25] MASSEY, Liesl K. *The Effect of UV Light and Weather: On Plastics and Elastomers*. Norwich (NY): William Andrew, 2007. ISBN 1-800-932-7045.
- [26] Elvax. [online]. [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: http://www2.dupont.com/Elvax/en_US/
- [27] Infračervená spektroskopie. [online]. [cit. 2013-03-5]. Dostupné z: <http://lms.vscht.cz/Zverze/Infrared.htm>
- [28] SCHEIRS, John. *Compositional and FailureAnalysisofPolymers: A PracticalApproach*. Wiley, 2000. ISBN 978-0-471-62572-8.
- [29] Níz kohustotnípolyethylen (LDPE). [online]. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/ldpe.aspx>
- [30] VASILE, Cornelia a Mihaela PASCU. *PracticalGuide to Polyethylene*. Shrewsbury: iSmithersRapraPublishing, 2005. ISBN 1-85957-493-9.
- [31] Molecularstructureofethylene vinyl acetate (EVA) copolymers. [online]. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.vitaldose.com/blog/molecular-structure-of-eva-copolymers/>
- [32] ČSN EN ISO 62. *Plasty: Stanovení nasákavosti ve vodě*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.
- [33] ČSN EN ISO 15512. *Plasty - Stanovení obsahu vody*. Praha: ČSN, 3.2010.
- [34] ČSN EN 2378. *Letectví a kosmonautika - Vlákný vyztužené plasty - Stanovení nasákavosti ve vodě*. Praha: ČSN, 4.1998
- [35] ČSN EN 60811-1-3. *Všeobecné zkušební metody izolačních a plášťových matriálů elektrických a optických kabelů*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [36] ČSN EN ISO 15148. *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků: Stanovení nasákavosti částečným ponořením*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [37] ČSN EN 1847. *Hydroizolační pásy a fólie - Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolacistřech: Metodyexpozicekapalnýmichemikáliemi, včetně vody*. Praha: ČSN, 2010.
- [38] CEN. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <https://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx>
- [39] CENELEC. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.cenelec.eu/index.html>
- [40] ČSN EN 50289-3-16. *Komunikační kabely - Specifikace zkušebních metod: Část 3-16: Mechanické zkušební metody - Tahové vlastnosti kabelu*. Praha: ČSN, 5.2002.
- [41] ČSN EN 15977. *Textilie provrstvené pryží nebo plasty: Mechanické vlastnosti - Stanovení prodloužení při zatížení a zbytková deformace*. Praha: ČSN, 9.2011
- [42] ČSN EN 2597. *Letectví a kosmonautika - Plasty vyztužené uhlíkovými vlákny: Jednosměrné kompozity - Zkouška tahem kolmo na směr vláken*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [43] ČSN EN ISO 7765-1. *Plastové fólie a tenké desky: Stanovení rázové houževnatosti*

- metodou padajícího tlouku - Část 1: Stupňovitá metoda.* Praha: Český normalizační institut, 3.2005.
- [44] ČSN EN ISO 6603-2. *Plasty - Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání: Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška.* Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [45] ČSN EN ISO 8256. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti v tahu.* Praha: ČSN, 4.2005.
- [46] ČSN EN ISO 11403-1. *Plasty - Stanovení a prezentace srovnatelných vícebodových hodnot: Část 1: Mechanické vlastnosti.* Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [47] ČSN EN ISO 899-1. *Plasty - Stanovení krípkového chování - Část 1: Kríp v tahu.* Praha: Český normalizační institut, 1.2004.
- [48] ČSN EN ISO 527-1. *Plasty - Stanovení tahových vlastností: Část 1: obecné principy.* Praha: ČSN, 2012.
- [49] RADWAG. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://radwag.com/english/historia.htm>
- [50] TA Instruments. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.tainstruments.com/default.aspx?siteid=11>

Seznam příloh

Příloha A	Technické údaje dodaných vzorků
Příloha B	Naměřené hodnoty – Měření nasákavosti
Příloha C	Naměřené hodnoty – Měření mechanických vlastností
Příloha D	Technické specifikace přístrojů

Přílohy

Příloha A – Technické údaje dodaných vzorků

Tab. P. 1 Technické údaje o dodaných síťovaných vzorcích EVA fólií

Vzorek	Teplota	Doba lisování		
		Přehřev	mBar/sec	mBar/sec
Etimex	139	210	120	75
Novovellum	139	210	120	75
Sekisui	139	210	120	75
Evasa	139	210	120	75

Příloha B – Naměřené hodnoty – Měření nasákavosti

Tab. P. 2 Evasa – tloušťka vzorků

Evasa - S					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,432	0,484	0,492	0,454	0,475	0,4674
0,482	0,476	0,47	0,475	0,43	0,4666
0,487	0,541	0,46	0,483	0,489	0,492
0,563	0,463	0,458	0,486	0,459	0,4858
0,451	0,537	0,508	0,473	0,46	0,4858
0,485	0,489	0,449	0,492	0,473	0,4776
0,45	0,48	0,497	0,472	0,47	0,4738
0,48	0,517	0,489	0,514	0,485	0,497
0,532	0,5	0,495	0,48	0,455	0,4924
0,472	0,46	0,473	0,501	0,451	0,4714
0,525	0,507	0,511	0,539	0,47	0,5104
0,472	0,454	0,446	0,46	0,495	0,4654
0,48	0,546	0,474	0,466	0,478	0,4888
0,516	0,49	0,503	0,479	0,465	0,4906
0,496	0,451	0,464	0,474	0,48	0,473
0,502	0,485	0,517	0,445	0,472	0,4842
0,476	0,474	0,477	0,478	0,469	0,4748
0,471	0,462	0,474	0,456	0,48	0,4686
0,513	0,487	0,474	0,464	0,467	0,481
0,501	0,478	0,528	0,478	0,519	0,5008
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,48237

Tab. P. 3 Novovellum – Tloušťka vzorků

Novovellum - S					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,505	0,471	0,442	0,433	0,509	0,472
0,444	0,428	0,49	0,492	0,484	0,4676
0,489	0,482	0,454	0,422	0,485	0,4664
0,496	0,457	0,442	0,44	0,479	0,4628
0,471	0,445	0,444	0,441	0,47	0,4542
0,421	0,436	0,436	0,452	0,446	0,4382
0,467	0,463	0,45	0,438	0,438	0,4512
0,498	0,43	0,44	0,462	0,516	0,4692
0,441	0,45	0,5	0,435	0,443	0,4538
0,511	0,503	0,507	0,434	0,454	0,4818
0,464	0,44	0,451	0,447	0,442	0,4488
0,488	0,48	0,439	0,493	0,45	0,47
0,411	0,43	0,426	0,45	0,43	0,4294
0,439	0,481	0,538	0,464	0,472	0,4788
0,453	0,466	0,457	0,438	0,452	0,4532
0,447	0,413	0,464	0,469	0,491	0,4568
0,491	0,487	0,468	0,433	0,434	0,4626
0,422	0,438	0,5	0,451	0,428	0,4478
0,46	0,495	0,488	0,504	0,427	0,4748
0,45	0,507	0,445	0,487	0,457	0,4692
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,46043

Tab. P. 4 Sekisui – Tloušťka vzorků

Sekisui - S					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,559	0,521	0,479	0,52	0,511	0,518
0,491	0,549	0,506	0,478	0,504	0,5056
0,517	0,513	0,563	0,57	0,538	0,5402
0,523	0,51	0,514	0,492	0,526	0,513
0,541	0,481	0,483	0,535	0,529	0,5138
0,55	0,491	0,512	0,5	0,492	0,509
0,53	0,509	0,472	0,514	0,484	0,5018
0,489	0,534	0,516	0,579	0,509	0,5254
0,538	0,507	0,53	0,524	0,479	0,5156
0,495	0,512	0,556	0,5	0,507	0,514
0,456	0,482	0,486	0,484	0,569	0,4954
0,546	0,492	0,496	0,535	0,496	0,513
0,479	0,465	0,493	0,458	0,451	0,4692
0,511	0,486	0,534	0,494	0,51	0,507
0,486	0,499	0,561	0,552	0,456	0,5108
0,528	0,554	0,548	0,521	0,541	0,5384
0,469	0,501	0,534	0,535	0,527	0,5132
0,473	0,484	0,473	0,506	0,478	0,4828
0,514	0,514	0,546	0,498	0,511	0,5166
0,48	0,495	0,501	0,507	0,508	0,4982
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,51005

Tab. P. 5 Etimex – Tloušťka vzorků

Etimex - S					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,515	0,479	0,487	0,515	0,465	0,4922
0,517	0,483	0,518	0,585	0,615	0,5436
0,514	0,531	0,523	0,507	0,489	0,5128
0,573	0,54	0,483	0,528	0,51	0,5268
0,464	0,493	0,57	0,504	0,494	0,505
0,511	0,519	0,492	0,473	0,538	0,5066
0,451	0,474	0,487	0,501	0,484	0,4794
0,584	0,505	0,542	0,501	0,528	0,532
0,539	0,513	0,566	0,474	0,471	0,5126
0,503	0,479	0,51	0,508	0,463	0,4926
0,531	0,463	0,469	0,483	0,506	0,4904
0,474	0,517	0,555	0,544	0,503	0,5186
0,508	0,489	0,499	0,485	0,467	0,4896
0,488	0,473	0,504	0,484	0,47	0,4838
0,477	0,495	0,515	0,508	0,498	0,4986
0,47	0,496	0,477	0,505	0,46	0,4816
0,476	0,502	0,485	0,484	0,474	0,4842
0,578	0,565	0,471	0,514	0,568	0,5392
0,494	0,483	0,47	0,457	0,502	0,4812
0,55	0,493	0,488	0,563	0,558	0,5304
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,50506

Tab. P. 6 Novovellum TM – Tloušťka vzorků

Novovellum TM - N					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,438	0,433	0,434	0,437	0,432	0,4348
0,434	0,426	0,43	0,43	0,43	0,43
0,436	0,431	0,436	0,426	0,433	0,4324
0,432	0,432	0,431	0,428	0,433	0,4312
0,436	0,437	0,436	0,43	0,443	0,4364
0,432	0,441	0,44	0,433	0,435	0,4362
0,439	0,442	0,437	0,427	0,437	0,4364
0,436	0,444	0,441	0,441	0,431	0,4386
0,435	0,427	0,43	0,438	0,431	0,4322
0,432	0,434	0,434	0,437	0,434	0,4342
0,436	0,433	0,431	0,431	0,434	0,433
0,434	0,423	0,435	0,434	0,43	0,4312
0,431	0,434	0,435	0,433	0,434	0,4334
0,438	0,435	0,433	0,443	0,442	0,4382
0,434	0,433	0,43	0,431	0,431	0,4318
0,446	0,444	0,442	0,444	0,445	0,4442
0,441	0,446	0,442	0,448	0,442	0,4438
0,448	0,448	0,446	0,449	0,438	0,4458
0,438	0,436	0,439	0,441	0,435	0,4378
0,453	0,442	0,451	0,455	0,45	0,4502
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,43659

ab. P. 7 EVA Fólie Vistasolar – Tloušťka vzorků

EVA Fólie Vistasolar - N					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,595	0,612	0,607	0,607	0,612	0,6066
0,636	0,61	0,622	0,62	0,628	0,6232
0,612	0,609	0,612	0,629	0,612	0,6148
0,607	0,61	0,607	0,61	0,61	0,6088
0,622	0,632	0,636	0,634	0,641	0,633
0,63	0,651	0,631	0,623	0,617	0,6304
0,631	0,633	0,634	0,638	0,632	0,6336
0,638	0,639	0,64	0,645	0,635	0,6394
0,643	0,645	0,639	0,64	0,638	0,641
0,638	0,639	0,64	0,637	0,635	0,6378
0,637	0,633	0,627	0,624	0,628	0,6298
0,642	0,634	0,63	0,631	0,635	0,6344
0,632	0,637	0,641	0,638	0,635	0,6366
0,654	0,652	0,648	0,653	0,654	0,6522
0,647	0,652	0,646	0,672	0,646	0,6526
0,635	0,637	0,638	0,633	0,639	0,6364
0,635	0,63	0,632	0,629	0,628	0,6308
0,666	0,652	0,642	0,639	0,643	0,6484
0,624	0,628	0,627	0,644	0,627	0,63
0,613	0,609	0,608	0,611	0,613	0,6108
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,63153

Tab. P. 8 EVA Film Vistasolar – Tloušťka vzorků

EVA Film Vistasolar - N					
1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
0,447	0,446	0,445	0,441	0,442	0,4442
0,447	0,448	0,444	0,444	0,447	0,446
0,443	0,449	0,449	0,451	0,446	0,4476
0,453	0,444	0,437	0,436	0,451	0,4442
0,438	0,44	0,449	0,461	0,463	0,4502
0,458	0,461	0,457	0,444	0,444	0,4528
0,463	0,454	0,446	0,455	0,469	0,4574
0,447	0,454	0,463	0,453	0,449	0,4532
0,454	0,461	0,455	0,453	0,453	0,4552
0,455	0,461	0,455	0,458	0,462	0,4582
0,46	0,463	0,455	0,446	0,445	0,4538
0,445	0,445	0,441	0,444	0,451	0,4452
0,455	0,455	0,445	0,461	0,459	0,455
0,46	0,459	0,46	0,458	0,454	0,4582
0,469	0,471	0,467	0,448	0,448	0,4606
0,462	0,466	0,46	0,46	0,468	0,4632
0,463	0,463	0,46	0,465	0,466	0,4634
0,463	0,465	0,453	0,451	0,466	0,4596
0,453	0,468	0,472	0,456	0,451	0,46
0,463	0,464	0,456	0,467	0,461	0,4622
Výsledný průměr všech 20 vzorků:					0,45451

Tab. P. 9 Naměřené teploty a relativní vlhkosti při měření nasákavosti EVA fólií

Datum měření nasákavosti	Teplota [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]
04.1.2013	24	40
05.1.2013	24	40
06.1.2013	24,5	41
08.1.2013	24	40
12.1.2013	23	33
16.1.2013	24	35
20.1.2013	24	35
24.1.2013	25	34
30.1.2013	25	36
06.2.2013	25,5	37
14.2.2013	26	35
21.2.2013	25	34
28.2.2013	23	38
07.3.2013	25	38
14.3.2013	24,5	30
21.3.2013	25	35
28.3.2013	24	35
04.4.2013	24	34

Tab. P. 10 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků Evasa - síťovaný

Evasa									
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]							
	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	0,9792	0,98246	0,97934	0,98229	0,98812	0,99326	0,98465	0,97845	0,97962
2	1,00102	1,0077	1,00769	1,00565	1,00865	1,01005	1,00793	1,00482	1,00272
3	0,98043	0,98076	0,98144	0,98013	0,98899	0,98127	0,98003	0,98397	0,97817
4	1,01493	1,01572	1,01593	1,01378	1,02643	1,01982	1,01606	1,01361	1,01389
5	1,03172	1,0311	1,03358	1,03052	1,03523	1,04208	1,04946	1,03994	1,03055
6	1,00101	1,00745	1,00682	1,00941	1,00698	1,01589	1,00995	1,01005	1,01012
7	1,00697	1,00849	1,00931	1,01005	1,01203	1,01884	1,02899	1,00788	1,00876
8	1,0086	1,01081	1,00894	1,00841	1,01487	1,01533	1,02184	1,00928	1,00841
9	1,01171	1,01244	1,01301	1,01398	1,01857	1,02273	1,02021	1,01449	1,01573
10	1,00157	1,00189	1,00234	1,00432	1,01038	1,01679	1,00532	1,00568	1,00227
11	0,99878	0,99978	1,00061	1,00006	1,00258	1,00612	1,00229	0,99953	1,00359
12	1,00745	1,00833	1,00804	1,00806	1,01764	1,01311	1,01135	1,00776	1,00762
13	1,04071	1,04212	1,0411	1,03975	1,05643	1,04318	1,04528	1,04033	1,04351
14	1,00329	1,00553	1,00381	1,00589	1,00633	1,00667	1,01428	1,01536	1,00221
15	0,99567	0,99595	0,9961	0,99503	0,99743	1,00405	0,99761	0,99706	0,99443
16	0,9707	0,97845	0,97162	0,97148	0,97318	0,97288	0,97652	0,97946	0,97151
17	1,00248	1,00518	1,00326	1,00382	1,00917	1,01015	1,00618	1,00066	1,00325
18	1,02411	1,02793	1,02574	1,02458	1,03291	1,03363	1,02326	1,02262	1,02493
19	1,00603	1,00894	1,00638	1,00982	1,01088	1,01062	1,00584	1,00574	1,00723
20	1,01087	1,01635	1,01496	1,01678	1,02047	1,01938	1,01032	1,01056	1,01288
Číslo vzorku	m_2 [g]								
	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	0,98673	0,97668	0,9762	0,97635	0,97605	0,97552	0,97569	0,97805	0,97895
2	1,00087	0,99996	1,00031	0,99982	0,99941	0,99845	1,00049	0,99953	0,99973
3	0,97902	0,97796	0,97812	0,97762	0,97792	0,97708	0,97729	0,97709	0,97837
4	1,01375	1,01357	1,01169	1,01175	1,01169	1,01151	1,01285	1,01114	1,01235
5	1,03094	1,02957	1,02857	1,02829	1,02841	1,02772	1,02869	1,02889	1,03015
6	1,00922	1,00962	1,00546	1,00526	1,00494	1,00686	1,00484	1,0048	1,00136
7	1,00727	1,00686	1,00664	1,00789	1,00687	1,00663	1,00612	1,00913	1,00606
8	1,00868	1,00821	1,00631	1,00675	1,00593	1,00661	1,00573	1,00601	1,00968
9	1,01161	1,01009	1,00975	1,01087	1,01048	1,00912	1,00962	1,01002	1,00938
10	1,00389	1,00492	1,00145	0,99943	0,99942	0,99867	0,99977	0,99996	1,00021
11	0,99939	0,99893	0,99659	0,99685	0,99616	0,99579	0,99737	0,99736	0,99873
12	1,00632	1,00529	1,00519	1,00489	1,00513	1,00484	1,00684	1,00509	1,00739
13	1,03938	1,04045	1,03819	1,03927	1,03735	1,03775	1,03829	1,03921	1,03863
14	1,00312	1,00331	1,00147	1,00134	1,00097	1,00156	1,00161	1,00243	1,00067
15	0,99819	0,99675	0,99368	0,99248	0,99217	0,99254	0,99243	0,99411	0,99263
16	0,97019	0,97028	0,96966	0,96945	0,96873	0,96836	0,97055	0,96826	0,96866
17	1,00215	1,00132	1,00011	1,00017	0,99975	0,99923	0,99987	1,00044	0,99977
18	1,0279	1,02193	1,02147	1,02371	1,02194	1,02214	1,02212	1,02129	1,02055
19	1,00863	1,00422	1,00322	1,00313	1,00188	1,00224	1,00279	1,00187	1,00227
20	1,01939	1,00834	1,00835	1,00832	1,01049	1,00902	1,01061	1,00964	1,00876

Tab. P. 11 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků Sekisui – síťovaný

Sekisui									
Číslo vzorku	m_1 [g]		m_2 [g]						
	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	1,11312	1,11091	1,11114	1,11244	1,11273	1,12067	1,11836	1,11788	1,11202
2	1,11265	1,11159	1,10967	1,10799	1,12258	1,11993	1,11692	1,10848	1,11233
3	1,01967	1,01911	1,01824	1,01645	1,02007	1,01645	1,01842	1,01436	1,01623
4	1,08776	1,08821	1,08581	1,08627	1,09039	1,08712	1,08531	1,08282	1,08395
5	1,04197	1,04436	1,04013	1,04062	1,04218	1,04048	1,04231	1,03732	1,04597
6	1,06268	1,06523	1,06061	1,06132	1,06249	1,06045	1,06248	1,05803	1,06165
7	1,09174	1,09241	1,09022	1,09041	1,09038	1,08949	1,08994	1,08687	1,09071
8	1,10554	1,10469	1,1042	1,10454	1,11657	1,11463	1,10919	1,10047	1,10152
9	1,05178	1,05103	1,04964	1,04882	1,04978	1,05108	1,04932	1,04747	1,04781
10	1,03843	1,03763	1,03734	1,03517	1,03934	1,03511	1,04391	1,03351	1,03589
11	1,07587	1,07631	1,0751	1,07284	1,08532	1,07781	1,08376	1,08262	1,07418
12	1,01513	1,01504	1,01471	1,01283	1,01391	1,01662	1,01873	1,01417	1,01801
13	1,08319	1,08254	1,08483	1,08126	1,08549	1,08442	1,08862	1,07851	1,08825
14	1,06444	1,0645	1,06411	1,0632	1,07342	1,0674	1,06416	1,06037	1,06055
15	1,09173	1,09199	1,09108	1,08929	1,10542	1,10026	1,09842	1,08842	1,08956
16	1,04968	1,05329	1,05213	1,04719	1,05192	1,05102	1,05167	1,04821	1,04933
17	1,00947	1,00798	1,00978	1,00758	1,00862	1,01334	1,01093	1,00528	1,02578
18	1,07667	1,07502	1,07568	1,07458	1,07558	1,07614	1,07962	1,07818	1,07703
19	1,11769	1,11793	1,11912	1,11489	1,11721	1,12262	1,12843	1,11293	1,12044
20	1,02449	1,02493	1,02502	1,02301	1,0266	1,02442	1,02883	1,02068	1,03717
Číslo vzorku	m_2 [g]								
	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	1,10936	1,10814	1,10693	1,10751	1,10851	1,10805	1,10596	1,10565	1,10552
2	1,10825	1,10859	1,10693	1,10648	1,10577	1,10594	1,10801	1,10625	1,10543
3	1,01787	1,01485	1,01504	1,01412	1,01378	1,01372	1,01572	1,01342	1,01355
4	1,08333	1,08217	1,08281	1,08279	1,08261	1,08172	1,08157	1,08113	1,08107
5	1,03765	1,03682	1,03648	1,03631	1,03862	1,03633	1,03637	1,03606	1,03585
6	1,06011	1,05779	1,05752	1,05727	1,05842	1,05651	1,05736	1,05687	1,05691
7	1,08711	1,08716	1,08654	1,08709	1,08499	1,08587	1,08569	1,08638	1,08604
8	1,10464	1,10039	1,09962	1,09974	1,10208	1,09924	1,09978	1,09984	1,09893
9	1,04704	1,04788	1,04673	1,04959	1,04728	1,04599	1,04676	1,04664	1,04574
10	1,03766	1,03469	1,03431	1,03303	1,03269	1,03238	1,03296	1,03393	1,03217
11	1,07158	1,07164	1,07055	1,07035	1,07003	1,06983	1,07043	1,06979	1,07071
12	1,01132	1,01069	1,01282	1,00987	1,00913	1,00944	1,00995	1,01011	1,00927
13	1,07907	1,07906	1,07801	1,07805	1,07932	1,07731	1,07755	1,07768	1,07723
14	1,05998	1,06498	1,05947	1,05948	1,05941	1,05851	1,05859	1,05884	1,05841
15	1,08696	1,08978	1,08858	1,08625	1,08809	1,08598	1,08619	1,08601	1,08615
16	1,04898	1,04598	1,04504	1,04439	1,04491	1,04395	1,04577	1,04482	1,04373
17	1,00888	1,00471	1,00584	1,00423	1,00473	1,00392	1,00419	1,00471	1,00365
18	1,0762	1,07207	1,07142	1,07148	1,07167	1,07098	1,07158	1,07089	1,07114
19	1,11529	1,11584	1,11272	1,11248	1,11231	1,11176	1,11376	1,11198	1,11154
20	1,02606	1,02048	1,02003	1,02222	1,02203	1,02086	1,02003	1,01995	1,01891

Tab. P. 12 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků Novovellum – síťované

Novovellum									
	m_1 [g]	m_2 [g]							
Číslo vzorku	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	1,01838	1,01848	1,02181	1,02051	1,02301	1,02259	1,02213	1,01841	1,02103
2	1,02805	1,03069	1,03086	1,02846	1,03625	1,03227	1,02885	1,02448	1,02407
3	1,02318	1,02491	1,02585	1,02383	1,02774	1,02933	1,03527	1,02687	1,02702
4	1,03825	1,04008	1,04017	1,03792	1,04082	1,04247	1,04088	1,03737	1,03908
5	1,01505	1,01555	1,01652	1,01542	1,01675	1,02009	1,01693	1,01425	1,02095
6	1,03423	1,03761	1,03714	1,03635	1,03706	1,04085	1,03853	1,0334	1,04393
7	1,01103	1,01149	1,01205	1,01073	1,01424	1,01872	1,01817	1,01674	1,01362
8	1,04121	1,04503	1,04208	1,04109	1,04303	1,04393	1,04341	1,03932	1,04719
9	1,03287	1,03358	1,03484	1,03333	1,03589	1,03361	1,03595	1,03146	1,04686
10	0,98669	0,98695	0,98767	0,98768	0,98952	0,98739	0,99002	0,98556	0,98946
11	1,04327	1,04362	1,04369	1,04301	1,04434	1,04409	1,04526	1,04182	1,04847
12	1,00058	1,00168	1,00109	1,00099	1,00282	1,00218	1,00842	1,00293	1,00253
13	1,02751	1,02826	1,02819	1,02824	1,02727	1,02821	1,02963	1,02541	1,02645
14	1,02657	1,02686	1,02659	1,02591	1,03141	1,02795	1,02732	1,02459	1,02747
15	1,04663	1,04701	1,04676	1,04632	1,0467	1,04813	1,05333	1,04479	1,06132
16	1,05576	1,05589	1,05766	1,05545	1,05672	1,05917	1,05422	1,05388	1,06017
17	1,06309	1,06274	1,06439	1,06159	1,06539	1,06894	1,06638	1,06077	1,06735
18	1,02398	1,02437	1,02541	1,02385	1,02653	1,02339	1,02786	1,02255	1,02433
19	1,04323	1,04365	1,04531	1,0429	1,04511	1,05128	1,04835	1,04147	1,04272
20	0,9905	0,99102	0,99305	0,99035	0,99028	0,99771	0,99704	0,99431	0,98959
	m_2 [g]								
Číslo vzorku	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	1,01835	1,02006	1,01783	1,01615	1,01925	1,01546	1,01678	1,01649	1,01554
2	1,02767	1,02263	1,02546	1,02224	1,02157	1,02468	1,02217	1,02078	1,02116
3	1,02684	1,02754	1,03723	1,02649	1,02821	1,02568	1,02676	1,02636	1,02795
4	1,03796	1,03775	1,04065	1,03739	1,03646	1,03648	1,03629	1,03549	1,03725
5	1,01475	1,01627	1,01434	1,01466	1,01401	1,01238	1,01617	1,01397	1,01304
6	1,03557	1,03432	1,03256	1,03231	1,03295	1,03181	1,03241	1,03214	1,03145
7	1,00945	1,01141	1,00976	1,01005	1,00914	1,00798	1,01139	1,00951	1,00872
8	1,04152	1,04782	1,03957	1,03857	1,03998	1,03765	1,03897	1,03791	1,03845
9	1,03276	1,03502	1,03118	1,03067	1,03221	1,03224	1,03247	1,03009	1,03089
10	0,98533	0,98779	0,98637	0,98426	0,98438	0,98364	0,98603	0,98397	0,98307
11	1,04253	1,04181	1,04067	1,04134	1,04011	1,04104	1,03962	1,03969	1,0393
12	1,0027	1,00134	0,99846	0,99827	0,99828	0,99756	0,99753	0,99805	0,99668
13	1,02523	1,02623	1,02558	1,02887	1,02563	1,02448	1,02427	1,0263	1,02379
14	1,02421	1,03056	1,02576	1,02725	1,02486	1,02323	1,02305	1,02298	1,02532
15	1,04506	1,04582	1,04509	1,04645	1,04414	1,04327	1,04286	1,04308	1,04837
16	1,05382	1,05305	1,05273	1,05293	1,05316	1,05358	1,05185	1,05317	1,05183
17	1,06854	1,06178	1,06131	1,05996	1,05983	1,05957	1,05894	1,06009	1,05963
18	1,02273	1,02306	1,02283	1,02543	1,02141	1,02198	1,02099	1,02174	1,02122
19	1,04095	1,04231	1,04098	1,04069	1,04157	1,04052	1,03941	1,04016	1,03877
20	0,99316	0,98972	0,98825	0,98794	0,98731	0,98713	0,98705	0,98669	0,9866

Tab. P. 13 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků Etimex – síťovaný

Etimex									
Číslo vzorku	m ₁ [g]	m ₂ [g]							
	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	1,0787	1,07992	1,07826	1,07934	1,0826	1,08985	1,09255	1,07892	1,07917
2	0,99103	0,99207	0,99059	0,99179	1,00936	0,99914	1,00193	0,99955	0,99372
3	1,08323	1,08282	1,08621	1,08541	1,09804	1,09121	1,09669	1,08402	1,08682
4	1,07992	1,08096	1,08078	1,08066	1,08865	1,08323	1,08631	1,08039	1,08251
5	1,07843	1,08056	1,07813	1,08034	1,09514	1,08087	1,08346	1,07945	1,08013
6	1,05172	1,05243	1,05244	1,05496	1,05834	1,05757	1,05668	1,05358	1,05162
7	1,04247	1,04258	1,04184	1,04166	1,0533	1,04624	1,04513	1,04338	1,04537
8	0,99529	0,99495	0,99464	0,99537	1,00082	0,99621	1,00728	0,99887	1,00131
9	1,05227	1,05154	1,05175	1,05097	1,06874	1,05519	1,05241	1,05268	1,05182
10	1,06079	1,06128	1,06053	1,06238	1,06679	1,06958	1,0747	1,06165	1,06367
11	1,06952	1,06891	1,06907	1,06908	1,07297	1,07842	1,07518	1,07073	1,06908
12	0,99489	0,99491	0,99524	0,99731	1,00186	1,00593	0,99781	0,99868	0,99288
13	1,07779	1,0771	1,07875	1,08165	1,08873	1,08865	1,08624	1,07944	1,08026
14	1,07408	1,07655	1,07611	1,07389	1,07749	1,08258	1,07897	1,07635	1,07293
15	1,07066	1,07123	1,07111	1,07219	1,09327	1,07051	1,07568	1,07186	1,07132
16	1,05441	1,05581	1,05948	1,05543	1,06543	1,05419	1,05951	1,05615	1,0562
17	1,06334	1,0647	1,06394	1,06821	1,07622	1,06507	1,06732	1,06557	1,06541
18	1,05812	1,05921	1,05931	1,06029	1,06905	1,05952	1,06475	1,05931	1,05684
19	1,02068	1,02132	1,02108	1,02168	1,02314	1,02315	1,02501	1,02185	1,02116
20	1,06545	1,0659	1,06662	1,06802	1,06804	1,06982	1,06738	1,06694	1,06465
Číslo vzorku	m ₂ [g]								
	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	1,07951	1,07827	1,07632	1,07732	1,08002	1,07667	1,07691	1,07603	1,07631
2	0,99161	0,99862	0,98907	0,9892	0,99013	0,98888	0,98896	0,98852	0,98962
3	1,08634	1,08122	1,08076	1,08013	1,08038	1,08035	1,07963	1,07972	1,07996
4	1,07899	1,08518	1,07755	1,07756	1,07718	1,07568	1,07694	1,07602	1,07673
5	1,07657	1,08331	1,07667	1,07667	1,07663	1,07561	1,07563	1,07565	1,07532
6	1,04987	1,04928	1,04949	1,04898	1,05061	1,04927	1,04927	1,04849	1,04938
7	1,04066	1,04023	1,0401	1,03991	1,04102	1,03936	1,04055	1,03962	1,04061
8	0,99292	0,99421	0,99326	0,99346	0,99277	0,99216	0,99218	0,99253	0,99332
9	1,05087	1,05064	1,04923	1,04912	1,04921	1,04871	1,04874	1,04905	1,04887
10	1,05881	1,06014	1,05886	1,05816	1,05817	1,05842	1,05817	1,05802	1,05903
11	1,06842	1,06857	1,06688	1,06706	1,06822	1,06772	1,06836	1,06689	1,06849
12	0,99838	0,99331	0,99236	0,99215	0,99211	0,99204	0,99234	0,99211	0,9919
13	1,07609	1,0753	1,07492	1,07491	1,07588	1,07588	1,07709	1,07554	1,07523
14	1,07234	1,07022	1,06845	1,06874	1,06868	1,06846	1,07063	1,06858	1,06887
15	1,06922	1,07279	1,07286	1,07278	1,07202	1,07103	1,07228	1,07205	1,07211
16	1,05257	1,05246	1,05421	1,05223	1,05263	1,05163	1,05503	1,05428	1,05331
17	1,06297	1,06465	1,06287	1,06156	1,06105	1,06035	1,06119	1,06325	1,06149
18	1,05784	1,05722	1,05847	1,05703	1,0558	1,05685	1,05675	1,05546	1,05597
19	1,02001	1,02108	1,01952	1,01835	1,01854	1,01803	1,01962	1,01884	1,01968
20	1,06894	1,06373	1,06326	1,06383	1,06531	1,06263	1,0631	1,06288	1,06405

Tab. P. 14 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků Novovellum TM – nesítovaný

Novovellum TM									
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]							
	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	1,02612	1,02721	1,02681	1,02554	1,02654	1,02586	1,02586	1,02501	1,02907
2	1,02992	1,03061	1,03102	1,03018	1,03163	1,03702	1,03556	1,03052	1,03614
3	1,03601	1,03798	1,03812	1,03598	1,03836	1,03669	1,03958	1,03542	1,04165
4	1,02269	1,02367	1,02343	1,02263	1,02253	1,02473	1,02413	1,02294	1,02759
5	1,01647	1,01903	1,01738	1,01547	1,01643	1,01606	1,01492	1,01524	1,01591
6	1,02044	1,02153	1,02031	1,0202	1,02049	1,02193	1,02289	1,01941	1,01985
7	1,01794	1,01994	1,01852	1,01771	1,01787	1,02222	1,01928	1,01784	1,01964
8	1,03763	1,04176	1,03862	1,03752	1,03705	1,03967	1,03708	1,03673	1,04016
9	0,96684	0,96867	0,96713	0,9672	0,96675	0,96813	0,96876	0,96787	0,96934
10	0,96591	0,96725	0,96748	0,96566	0,96568	0,96591	0,97022	0,96902	0,97062
11	1,01392	1,01453	1,01448	1,01371	1,01374	1,01632	1,01441	1,01442	1,01774
12	1,05241	1,05438	1,05337	1,05286	1,05388	1,05655	1,05233	1,05172	1,05636
13	1,02753	1,02801	1,02842	1,02821	1,03006	1,03117	1,02692	1,02842	1,02858
14	1,03561	1,03656	1,03582	1,03545	1,03517	1,03807	1,03561	1,03493	1,03548
15	1,03421	1,03452	1,03472	1,03432	1,03368	1,03645	1,03498	1,03403	1,03432
16	1,00213	1,00243	1,00258	1,00195	1,00384	1,00296	1,00126	1,00318	1,00311
17	1,02548	1,02585	1,02565	1,02604	1,02684	1,02782	1,02568	1,02439	1,02551
18	0,97887	0,97961	0,97917	0,97942	0,98045	0,98035	0,97846	0,98014	0,98096
19	1,04621	1,04701	1,04654	1,04721	1,04802	1,04834	1,04528	1,04626	1,04504
20	1,01053	1,01248	1,01165	1,01079	1,01236	1,01711	1,00996	1,0157	1,01019
Číslo vzorku	m_2 [g]								
	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	1,02503	1,02477	1,02375	1,02337	1,02638	1,02247	1,02334	1,02284	1,02237
2	1,03076	1,03294	1,02925	1,03197	1,02963	1,02802	1,02935	1,02738	1,03092
3	1,03645	1,04139	1,03507	1,03668	1,03434	1,03438	1,03408	1,03372	1,03323
4	1,02531	1,0214	1,02177	1,02183	1,02093	1,02151	1,02073	1,02116	1,02014
5	1,0154	1,01618	1,01636	1,01558	1,01368	1,01353	1,01547	1,01358	1,01288
6	1,01986	1,01962	1,01887	1,01896	1,01797	1,01758	1,01848	1,01947	1,01703
7	1,01772	1,01722	1,01603	1,01902	1,01636	1,01527	1,01582	1,01725	1,01537
8	1,03878	1,03674	1,03701	1,03781	1,03572	1,03654	1,03472	1,03515	1,03479
9	0,96643	0,96536	0,96580	0,96479	0,96474	0,96424	0,96433	0,96399	0,96418
10	0,96594	0,96532	0,96464	0,96497	0,96504	0,9636	0,96361	0,96431	0,96397
11	1,01349	1,01251	1,01213	1,01237	1,01202	1,01399	1,01125	1,01254	1,01138
12	1,05208	1,05182	1,05092	1,05273	1,05031	1,05122	1,05013	1,04956	1,04977
13	1,02947	1,02641	1,02654	1,02564	1,02607	1,02484	1,02580	1,02455	1,02496
14	1,03464	1,03972	1,03445	1,03388	1,03351	1,03333	1,03343	1,03435	1,03360
15	1,03356	1,03333	1,03265	1,03503	1,03241	1,03194	1,03198	1,03258	1,03193
16	1,00204	1,00211	1,00124	1,0014	1,00034	0,99977	0,99981	1,00075	0,99934
17	1,02587	1,02371	1,02409	1,02427	1,02421	1,02501	1,02316	1,02454	1,02259
18	0,97762	0,97772	0,97724	0,97741	0,97978	0,97729	0,97706	0,97784	0,97665
19	1,04621	1,04441	1,04385	1,04562	1,04399	1,04282	1,04318	1,04180	1,04389
20	1,01226	1,00978	1,00958	1,01296	1,01020	1,00838	1,00854	1,00871	1,01032

Tab. P. 15 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků EVA film Vistasolar– nesítovaný

EVA film Vistasolar									
Číslo vzorku	m ₁ [g]	m ₂ [g]							
	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	1,04513	1,0459	1,04702	1,04802	1,04984	1,04468	1,04637	1,04377	1,05127
2	1,04981	1,05296	1,05241	1,05143	1,05384	1,04916	1,05163	1,05018	1,05132
3	1,04784	1,05213	1,04935	1,05271	1,05844	1,04754	1,04814	1,04889	1,04648
4	1,05189	1,05691	1,05494	1,05269	1,05732	1,05316	1,06125	1,05251	1,06163
5	1,03498	1,04072	1,03792	1,03486	1,04277	1,03688	1,03788	1,03768	1,03921
6	1,03432	1,03941	1,03871	1,03524	1,04148	1,03474	1,03685	1,03492	1,03668
7	1,04407	1,04752	1,04602	1,04601	1,05346	1,04274	1,04508	1,04408	1,05644
8	1,04483	1,04972	1,04601	1,04535	1,04766	1,04591	1,04693	1,04466	1,05168
9	1,04122	1,05163	1,04365	1,04168	1,04518	1,04043	1,04032	1,04109	1,04158
10	1,08156	1,0841	1,08706	1,07986	1,08677	1,08011	1,08125	1,08074	1,08293
11	1,06705	1,07106	1,06962	1,06748	1,07116	1,06964	1,06493	1,06742	1,06512
12	1,04428	1,04593	1,04832	1,04316	1,04238	1,04374	1,04227	1,04582	1,04487
13	1,01876	1,02055	1,02898	1,02133	1,02494	1,02251	1,01659	1,02377	1,01872
14	1,06168	1,06171	1,06367	1,06371	1,06884	1,06338	1,06269	1,06064	1,06038
15	1,0483	1,04966	1,05341	1,04688	1,05937	1,04669	1,04659	1,04657	1,04998
16	1,05476	1,05933	1,05856	1,05665	1,05732	1,05719	1,05425	1,05578	1,05774
17	1,05282	1,04977	1,06531	1,04653	1,04801	1,04498	1,04503	1,05152	1,04496
18	1,0558	1,05257	1,0523	1,05242	1,05854	1,05194	1,05226	1,05253	1,05177
19	1,04734	1,05472	1,05689	1,05331	1,05543	1,05588	1,05305	1,05397	1,05268
20	1,06603	1,06726	1,07088	1,06442	1,06814	1,07235	1,06431	1,06468	1,06381
Číslo vzorku	m ₂ [g]								
	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	1,04658	1,04624	1,04567	1,04471	1,04188	1,04535	1,04637	1,04568	1,04596
2	1,04971	1,04815	1,04848	1,04778	1,04661	1,04163	1,04151	1,04142	1,04188
3	1,04949	1,04621	1,04674	1,04567	1,04753	1,04722	1,04733	1,04679	1,04849
4	1,05144	1,05107	1,05038	1,05107	1,04967	1,04979	1,04998	1,04943	1,05421
5	1,03856	1,03324	1,03546	1,03357	1,0333	1,03325	1,03281	1,03217	1,03378
6	1,03255	1,03526	1,03264	1,03254	1,03212	1,03165	1,0323	1,03277	1,03379
7	1,04486	1,04309	1,04291	1,04231	1,04157	1,04143	1,04151	1,04221	1,04295
8	1,04455	1,04518	1,04287	1,04422	1,04225	1,04205	1,04207	1,04176	1,04231
9	1,03995	1,03989	1,04936	1,04114	1,03832	1,03843	1,03868	1,03775	1,03796
10	1,0802	1,07927	1,0792	1,07901	1,07874	1,07839	1,07836	1,07939	1,08028
11	1,07084	1,06433	1,06466	1,06455	1,06413	1,06376	1,06425	1,06552	1,06612
12	1,04244	1,04417	1,04172	1,04239	1,04145	1,04102	1,04161	1,04298	1,04389
13	1,01701	1,01714	1,01649	1,01846	1,01576	1,01545	1,01527	1,01586	1,01566
14	1,06085	1,06722	1,05918	1,05801	1,05805	1,05727	1,05725	1,05733	1,05808
15	1,04984	1,04528	1,04521	1,04634	1,04541	1,04454	1,04595	1,04631	1,04631
16	1,05418	1,0536	1,05296	1,05353	1,05223	1,05206	1,05239	1,05329	1,05372
17	1,04891	1,04514	1,04388	1,04615	1,04372	1,04387	1,04317	1,04392	1,04343
18	1,05804	1,05023	1,04971	1,05409	1,04926	1,05142	1,04907	1,04889	1,04932
19	1,05301	1,05225	1,05167	1,05316	1,05129	1,05138	1,05158	1,05092	1,05097
20	1,06656	1,06427	1,06366	1,06241	1,06232	1,06203	1,06221	1,06233	1,06252

Tab. P. 16 Naměřené hodnoty – Hmotnosti vzorků EVA fólie Vistasolar– nesíťovaný

EVA fólie Vistasolar									
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]							
	4.1.2013	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013
1	1,10242	1,10528	1,10904	1,10129	1,11645	1,10571	1,11704	1,11234	1,11782
2	1,12721	1,13358	1,13076	1,12414	1,12137	1,12076	1,12043	1,12901	1,12648
3	1,10768	1,10708	1,11084	1,12486	1,13962	1,13641	1,13231	1,13785	1,14976
4	1,11071	1,12265	1,11643	1,11217	1,13342	1,12222	1,11756	1,11413	1,14159
5	1,09378	1,10133	1,09863	1,10547	1,11547	1,09264	1,09842	1,10128	1,10627
6	1,1051	1,11126	1,1118	1,10723	1,11983	1,11472	1,10972	1,11974	1,12106
7	1,07872	1,08683	1,08678	1,08273	1,09164	1,08878	1,09088	1,09183	1,09963
8	1,09658	1,10015	1,10041	1,10202	1,10482	1,10671	1,10225	1,10439	1,09658
9	1,09299	1,10775	1,10021	1,09786	1,10943	1,10398	1,10524	1,10206	1,11052
10	1,09256	1,10613	1,11085	1,10383	1,11648	1,10739	1,09953	1,11385	1,11143
11	1,09201	1,10818	1,10951	1,09273	1,10171	1,10069	1,09271	1,10384	1,10483
12	1,09513	1,10945	1,09892	1,10152	1,10768	1,11468	1,10363	1,11263	1,10873
13	1,05209	1,05831	1,06371	1,06182	1,06888	1,06233	1,06221	1,06002	1,06855
14	1,11094	1,11952	1,11614	1,11787	1,11916	1,12456	1,11453	1,11932	1,11843
15	1,08562	1,09036	1,09475	1,09173	1,09153	1,09358	1,09095	1,10011	1,09811
16	1,09473	1,10318	1,09475	1,09608	1,11189	1,11118	1,09751	1,11361	1,10544
17	1,09007	1,10265	1,10438	1,09588	1,10743	1,10471	1,08885	1,09532	1,10303
18	1,08608	1,09443	1,09154	1,09672	1,09595	1,10142	1,09387	1,09301	1,1015
19	1,12075	1,12963	1,12955	1,12683	1,12997	1,13612	1,12447	1,13242	1,13992
20	1,10648	1,11779	1,11081	1,11452	1,12526	1,12281	1,11006	1,11693	1,11622
Číslo vzorku	m_2 [g]								
	6.2.2013	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013
1	1,10196	1,11248	1,10145	1,10848	1,10837	1,11223	1,10882	1,10857	1,10205
2	1,12053	1,11143	1,11991	1,11257	1,11212	1,12586	1,11678	1,11292	1,11305
3	1,13309	1,13279	1,13372	1,13095	1,13162	1,12903	1,12574	1,12841	1,13068
4	1,11255	1,11671	1,11772	1,11062	1,11512	1,11326	1,11896	1,11278	1,11146
5	1,10512	1,10518	1,09764	1,09956	1,10342	1,09876	1,10004	1,09459	1,10068
6	1,10816	1,12886	1,10907	1,10071	1,10384	1,10404	1,11009	1,09822	1,10136
7	1,09119	1,08989	1,09577	1,09419	1,09965	1,1024	1,10216	1,09807	1,10885
8	1,10625	1,10863	1,08802	1,08498	1,08244	1,08553	1,08546	1,08341	1,08684
9	1,10392	1,10857	1,10289	1,10062	1,10366	1,11178	1,10525	1,10511	1,11023
10	1,10245	1,10061	1,09288	1,09921	1,09854	1,09985	1,10691	1,10149	1,10229
11	1,09714	1,10773	1,09135	1,09711	1,09258	1,09742	1,10158	1,10361	1,10661
12	1,11048	1,10744	1,10229	1,10278	1,10338	1,10012	1,11088	1,10839	1,11057
13	1,06453	1,05982	1,05467	1,05816	1,05617	1,05744	1,06203	1,05665	1,06126
14	1,12255	1,12659	1,12198	1,12051	1,13029	1,11526	1,12328	1,11442	1,11823
15	1,09874	1,09104	1,08949	1,08506	1,10185	1,09231	1,10581	1,08654	1,09085
16	1,1019	1,11573	1,10166	1,09852	1,10503	1,09573	1,09493	1,09337	1,10062
17	1,09326	1,09634	1,0941	1,09165	1,08858	1,09524	1,09685	1,09003	1,09261
18	1,09432	1,09787	1,08754	1,08779	1,08583	1,08743	1,09462	1,09224	1,08775
19	1,11983	1,13242	1,12293	1,12489	1,12172	1,12227	1,12554	1,12617	1,12273
20	1,11033	1,12782	1,11203	1,11352	1,11636	1,11093	1,11687	1,11966	1,11213

Tab. P. 17 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – Evasa

Evasa - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	0,33292	0,01430	0,31556	0,91095	1,43587	0,55658	-0,07659	0,04289	0,76900
2	0,66732	0,66632	0,46253	0,76222	0,90208	0,69030	0,37961	0,16983	-0,01498
3	0,03366	0,10302	-0,03060	0,87309	0,08568	-0,04080	0,36107	-0,23051	-0,14381
4	0,07784	0,09853	-0,11331	1,13308	0,48181	0,11134	-0,13006	-0,10247	-0,11626
5	-0,06009	0,18028	-0,11631	0,34021	1,00415	1,71946	0,79673	-0,11340	-0,07560
6	0,64335	0,58041	0,83915	0,59640	1,48650	0,89310	0,90309	0,91008	0,82017
7	0,15095	0,23238	0,30587	0,50250	1,17878	2,18676	0,09037	0,17776	0,02979
8	0,21912	0,03371	-0,01884	0,62165	0,66726	1,31271	0,06742	-0,01884	0,00793
9	0,07216	0,12850	0,22437	0,67806	1,08924	0,84016	0,27478	0,39735	-0,00988
10	0,03195	0,07688	0,27457	0,87962	1,51961	0,37441	0,41036	0,06989	0,23164
11	0,10012	0,18322	0,12816	0,38046	0,73490	0,35143	0,07509	0,48159	0,06107
12	0,08735	0,05856	0,06055	1,01146	0,56181	0,38712	0,03077	0,01687	-0,11216
13	0,13548	0,03747	-0,09224	1,51051	0,23734	0,43912	-0,03651	0,26905	-0,12780
14	0,22327	0,05183	0,25915	0,30300	0,33689	1,09540	1,20304	-0,10765	-0,01694
15	0,02812	0,04319	-0,06428	0,17677	0,84164	0,19484	0,13960	-0,12454	0,25310
16	0,79839	0,09478	0,08035	0,25549	0,22458	0,59957	0,90244	0,08344	-0,05254
17	0,26933	0,07781	0,13367	0,66734	0,76510	0,36908	-0,18155	0,07681	-0,03292
18	0,37301	0,15916	0,04589	0,85928	0,92959	-0,08300	-0,14549	0,08007	0,37008
19	0,28926	0,03479	0,37673	0,48209	0,45625	-0,01889	-0,02883	0,11928	0,25844
20	0,54211	0,40460	0,58464	0,94968	0,84185	-0,05441	-0,03067	0,19884	0,84284
průměrné c [%]	0,25078	0,16299	0,18278	0,69469	0,78905	0,59621	0,25023	0,11982	0,14706
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,23594	0,17726	0,24561	0,32440	0,41001	0,59187	0,39350	0,24978	0,31155
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	-0,25735	-0,30637	-0,29105	-0,32169	-0,37582	-0,35846	-0,11744	-0,02553	
2	-0,10589	-0,07093	-0,11988	-0,16084	-0,25674	-0,05295	-0,14885	-0,12887	
3	-0,25193	-0,23561	-0,28661	-0,25601	-0,34169	-0,32027	-0,34067	-0,21011	
4	-0,13400	-0,31923	-0,31332	-0,31923	-0,33697	-0,20494	-0,37342	-0,25420	
5	-0,20839	-0,30532	-0,33245	-0,32082	-0,38770	-0,29368	-0,27430	-0,15217	
6	0,86013	0,44455	0,42457	0,39260	0,58441	0,38261	0,37862	0,03496	
7	-0,01092	-0,03277	0,09136	-0,00993	-0,03376	-0,08441	0,21450	-0,09037	
8	-0,03867	-0,22705	-0,18342	-0,26472	-0,19730	-0,28455	-0,25679	0,10708	
9	-0,16012	-0,19373	-0,08303	-0,12158	-0,25600	-0,20658	-0,16704	-0,23030	
10	0,33447	-0,01198	-0,21366	-0,21466	-0,28955	-0,17972	-0,16075	-0,13579	
11	0,01502	-0,21927	-0,19324	-0,26232	-0,29937	-0,14117	-0,14217	-0,00501	
12	-0,21440	-0,22433	-0,25411	-0,23028	-0,25907	-0,06055	-0,23425	-0,00596	
13	-0,02498	-0,24214	-0,13837	-0,32286	-0,28442	-0,23253	-0,14413	-0,19986	
14	0,00199	-0,18140	-0,19436	-0,23124	-0,17243	-0,16745	-0,08572	-0,26114	
15	0,10847	-0,19987	-0,32039	-0,35152	-0,31436	-0,32541	-0,15668	-0,30532	
16	-0,04327	-0,10714	-0,12877	-0,20295	-0,24106	-0,01545	-0,25136	-0,21016	
17	-0,11571	-0,23641	-0,23043	-0,27232	-0,32420	-0,26035	-0,20350	-0,27033	
18	-0,21287	-0,25778	-0,03906	-0,21189	-0,19236	-0,19432	-0,27536	-0,34762	
19	-0,17992	-0,27932	-0,28826	-0,41251	-0,37673	-0,32206	-0,41351	-0,37375	
20	-0,25028	-0,24929	-0,25226	-0,03759	-0,18301	-0,02572	-0,12168	-0,20873	
průměrné c [%]	-0,04443	-0,17277	-0,16734	-0,20662	-0,22691	-0,16740	-0,16373	-0,16366	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,25059	0,16498	0,17090	0,16823	0,20382	0,16323	0,17799	0,12818	

Tab. P. 18 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – Sekisui

Sekisui - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	-0,19854	-0,17788	-0,06109	-0,03504	0,67827	0,47075	0,42763	-0,09882	-0,33779
2	-0,09527	-0,26783	-0,41882	0,89246	0,65429	0,38377	-0,37478	-0,02876	-0,39545
3	-0,05492	-0,14024	-0,31579	0,03923	-0,31579	-0,12259	-0,52076	-0,33736	-0,17653
4	0,04137	-0,17927	-0,13698	0,24178	-0,05884	-0,22523	-0,45414	-0,35026	-0,40726
5	0,22937	-0,17659	-0,12956	0,02015	-0,14300	0,03263	-0,44627	0,38389	-0,41460
6	0,23996	-0,19479	-0,12798	-0,01788	-0,20985	-0,01882	-0,43757	-0,09692	-0,24184
7	0,06137	-0,13923	-0,12182	-0,12457	-0,20609	-0,16487	-0,44608	-0,09434	-0,42409
8	-0,07689	-0,12121	-0,09045	0,99770	0,82222	0,33016	-0,45860	-0,36362	-0,08141
9	-0,07131	-0,20346	-0,28143	-0,19015	-0,06655	-0,23389	-0,40978	-0,37746	-0,45066
10	-0,07704	-0,10497	-0,31394	0,08763	-0,31971	0,52772	-0,47379	-0,24460	-0,07415
11	0,04090	-0,07157	-0,28163	0,87836	0,18032	0,73336	0,62740	-0,15708	-0,39875
12	-0,00887	-0,04137	-0,22657	-0,12018	0,14678	0,35463	-0,09457	0,28371	-0,37532
13	-0,06001	0,15140	-0,17818	0,21234	0,11355	0,50130	-0,43206	0,46714	-0,38036
14	0,00564	-0,03100	-0,11649	0,84364	0,27808	-0,02630	-0,38236	-0,36545	-0,41900
15	0,02382	-0,05954	-0,22350	1,25397	0,78133	0,61279	-0,30319	-0,19877	-0,43692
16	0,34391	0,23340	-0,23722	0,21340	0,12766	0,18958	-0,14004	-0,03334	-0,06669
17	-0,14760	0,03071	-0,18723	-0,08420	0,38337	0,14463	-0,41507	1,61570	-0,05845
18	-0,15325	-0,09195	-0,19412	-0,10124	-0,04923	0,27399	0,14025	0,03344	-0,04365
19	0,02147	0,12794	-0,25052	-0,04295	0,44109	0,96091	-0,42588	0,24604	-0,21473
20	0,04295	0,05173	-0,14446	0,20596	-0,00683	0,42363	-0,37189	1,23769	0,15325
průměrné c [%]	0,00535	-0,07029	-0,20189	0,25852	0,16155	0,25741	-0,26958	0,07604	-0,26222
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,13329	0,12829	0,08802	0,43583	0,35171	0,32451	0,30808	0,51639	0,17438
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	-0,44739	-0,55609	-0,50399	-0,41415	-0,45548	-0,64324	-0,67109	-0,68277	
2	-0,36489	-0,51409	-0,55453	-0,61834	-0,60306	-0,41702	-0,57520	-0,64890	
3	-0,47270	-0,45407	-0,54429	-0,57764	-0,58352	-0,38738	-0,61294	-0,60019	
4	-0,51390	-0,45506	-0,45690	-0,47345	-0,55527	-0,56906	-0,60951	-0,61503	
5	-0,49426	-0,52689	-0,54320	-0,32151	-0,54128	-0,53744	-0,56719	-0,58735	
6	-0,46016	-0,48556	-0,50909	-0,40087	-0,58061	-0,50062	-0,54673	-0,54297	
7	-0,41951	-0,47630	-0,42593	-0,61828	-0,53767	-0,55416	-0,49096	-0,52210	
8	-0,46584	-0,53548	-0,52463	-0,31297	-0,56986	-0,52101	-0,51559	-0,59790	
9	-0,37080	-0,48014	-0,20822	-0,42785	-0,55050	-0,47729	-0,48870	-0,57426	
10	-0,36016	-0,39675	-0,52002	-0,55276	-0,58261	-0,52676	-0,43335	-0,60283	
11	-0,39317	-0,49448	-0,51307	-0,54282	-0,56141	-0,50564	-0,56512	-0,47961	
12	-0,43738	-0,22756	-0,51816	-0,59106	-0,56052	-0,51028	-0,49452	-0,57727	
13	-0,38128	-0,47822	-0,47452	-0,35728	-0,54284	-0,52068	-0,50868	-0,55023	
14	0,05073	-0,46691	-0,46597	-0,47255	-0,55710	-0,54958	-0,52610	-0,56650	
15	-0,17862	-0,28853	-0,50196	-0,33342	-0,52669	-0,50745	-0,52394	-0,51112	
16	-0,35249	-0,44204	-0,50396	-0,45442	-0,54588	-0,37249	-0,46300	-0,56684	
17	-0,47153	-0,35959	-0,51908	-0,46955	-0,54979	-0,52305	-0,47153	-0,57654	
18	-0,42724	-0,48761	-0,48204	-0,46439	-0,52848	-0,47275	-0,53684	-0,51362	
19	-0,16552	-0,44467	-0,46614	-0,48135	-0,53056	-0,35162	-0,51088	-0,55024	
20	-0,39141	-0,43534	-0,22157	-0,24012	-0,35432	-0,43534	-0,44315	-0,54466	
průměrné c [%]	-0,37588	-0,45027	-0,47286	-0,45624	-0,54087	-0,49414	-0,52775	-0,57055	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,13170	0,07837	0,09147	0,10479	0,05191	0,06964	0,05846	0,04660	

Tab. P. 19 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – Novovellum

Novovellum - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	0,00982	0,33681	0,20916	0,45464	0,41340	0,36823	0,00295	0,26022	-0,00295
2	0,25680	0,27333	0,03988	0,79763	0,41049	0,07782	-0,34726	-0,38714	-0,03696
3	0,16908	0,26095	0,06353	0,44567	0,60107	1,18161	0,36064	0,37530	0,35771
4	0,17626	0,18493	-0,03178	0,24753	0,40645	0,25331	-0,08476	0,07994	-0,02793
5	0,04926	0,14482	0,03645	0,16748	0,49653	0,18521	-0,07881	0,58125	-0,02956
6	0,32681	0,28137	0,20498	0,27363	0,64009	0,41577	-0,08025	0,93790	0,12956
7	0,04550	0,10089	-0,02967	0,31750	0,76061	0,70621	0,56477	0,25617	-0,15628
8	0,36688	0,08356	-0,01153	0,17480	0,26123	0,21129	-0,18152	0,57433	0,02977
9	0,06874	0,19073	0,04454	0,29239	0,07165	0,29820	-0,13651	1,35448	-0,01065
10	0,02635	0,09932	0,10034	0,28682	0,07094	0,33749	-0,11452	0,28074	-0,13783
11	0,03355	0,04026	-0,02492	0,10256	0,07860	0,19075	-0,13899	0,49843	-0,07093
12	0,10994	0,05097	0,04098	0,22387	0,15991	0,78355	0,23486	0,19489	0,21188
13	0,07299	0,06618	0,07105	-0,02336	0,06813	0,20632	-0,20438	-0,10316	-0,22190
14	0,02825	0,00195	-0,06429	0,47147	0,13443	0,07306	-0,19288	0,08767	-0,22989
15	0,03631	0,01242	-0,02962	0,00669	0,14332	0,64015	-0,17580	1,40355	-0,15001
16	0,01231	0,17997	-0,02936	0,09093	0,32299	-0,14587	-0,17807	0,41771	-0,18375
17	-0,03292	0,12229	-0,14110	0,21635	0,55028	0,30948	-0,21823	0,40072	0,51266
18	0,03809	0,13965	-0,01270	0,24903	-0,05762	0,37891	-0,13965	0,03418	-0,12207
19	0,04026	0,19938	-0,03163	0,18021	0,77164	0,49078	-0,16871	-0,04889	-0,21855
20	0,05250	0,25745	-0,01514	-0,02221	0,72792	0,66027	0,38465	-0,09187	0,26855
průměrné c [%]	0,09434	0,15136	0,01946	0,24768	0,35160	0,38113	-0,04462	0,35532	-0,00446
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,10648	0,09419	0,08177	0,18861	0,25665	0,29118	0,23173	0,44654	0,19971
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	0,16497	-0,05401	-0,21898	0,08543	-0,28673	-0,15711	-0,18559	-0,27887	
2	-0,52721	-0,25193	-0,56515	-0,63032	-0,32781	-0,57196	-0,70716	-0,67020	
3	0,42612	1,37317	0,32350	0,49160	0,24434	0,34989	0,31080	0,46619	
4	-0,04816	0,23116	-0,08283	-0,17241	-0,17048	-0,18878	-0,26583	-0,09632	
5	0,12019	-0,06995	-0,03842	-0,10246	-0,26304	0,11034	-0,10640	-0,19802	
6	0,00870	-0,16147	-0,18565	-0,12376	-0,23399	-0,17598	-0,20208	-0,26880	
7	0,03759	-0,12561	-0,09693	-0,18694	-0,30167	0,03561	-0,15034	-0,22848	
8	0,63484	-0,15751	-0,25355	-0,11813	-0,34191	-0,21513	-0,31694	-0,26508	
9	0,20816	-0,16362	-0,21300	-0,06390	-0,06100	-0,03873	-0,26915	-0,19170	
10	0,11148	-0,03243	-0,24628	-0,23412	-0,30911	-0,06689	-0,27567	-0,36688	
11	-0,13994	-0,24922	-0,18500	-0,30289	-0,21375	-0,34986	-0,34315	-0,38053	
12	0,07596	-0,21188	-0,23087	-0,22987	-0,30182	-0,30482	-0,25285	-0,38977	
13	-0,12457	-0,18783	0,13236	-0,18297	-0,29489	-0,31533	-0,11776	-0,36204	
14	0,38867	-0,07890	0,06624	-0,16657	-0,32536	-0,34289	-0,34971	-0,12176	
15	-0,07739	-0,14714	-0,01720	-0,23791	-0,32103	-0,36020	-0,33918	0,16625	
16	-0,25669	-0,28700	-0,26805	-0,24627	-0,20649	-0,37035	-0,24532	-0,37224	
17	-0,12323	-0,16744	-0,29442	-0,30665	-0,33111	-0,39037	-0,28220	-0,32547	
18	-0,08985	-0,11231	0,14160	-0,25098	-0,19532	-0,29200	-0,21875	-0,26954	
19	-0,08819	-0,21568	-0,24347	-0,15912	-0,25977	-0,36617	-0,29428	-0,42752	
20	-0,07875	-0,22716	-0,25846	-0,32206	-0,34023	-0,34831	-0,38465	-0,39374	
průměrné c [%]	0,03114	-0,06484	-0,13673	-0,17301	-0,24206	-0,21795	-0,24981	-0,24873	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,24954	0,34728	0,19170	0,20249	0,13116	0,20601	0,17783	0,22877	

Tab. P. 20 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – Etimex

Etimex - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	0,11310	-0,04079	0,05933	0,36155	1,03365	1,28395	0,02039	0,04357	0,07509
2	0,10494	-0,04440	0,07669	1,84959	0,81834	1,09987	0,85971	0,27143	0,05852
3	-0,03785	0,27510	0,20125	1,36721	0,73669	1,24258	0,07293	0,33142	0,28710
4	0,09630	0,07964	0,06852	0,80839	0,30650	0,59171	0,04352	0,23983	-0,08612
5	0,19751	-0,02782	0,17711	1,54947	0,22625	0,46642	0,09458	0,15764	-0,17247
6	0,06751	0,06846	0,30807	0,62945	0,55623	0,47161	0,17685	-0,00951	-0,17590
7	0,01055	-0,06043	-0,07770	1,03888	0,36164	0,25516	0,08729	0,27819	-0,17363
8	-0,03416	-0,06531	0,00804	0,55562	0,09244	1,20467	0,35969	0,60485	-0,23812
9	-0,06937	-0,04942	-0,12354	1,56519	0,27750	0,01330	0,03896	-0,04276	-0,13305
10	0,04619	-0,02451	0,14989	0,56562	0,82863	1,31129	0,08107	0,27150	-0,18665
11	-0,05703	-0,04207	-0,04114	0,32257	0,83215	0,52921	0,11313	-0,04114	-0,10285
12	0,00201	0,03518	0,24324	0,70058	1,10967	0,29350	0,38095	-0,20203	0,35079
13	-0,06402	0,08907	0,35814	1,01504	1,00762	0,78401	0,15309	0,22917	-0,15773
14	0,22996	0,18900	-0,01769	0,31748	0,79137	0,45527	0,21134	-0,10707	-0,16200
15	0,05324	0,04203	0,14290	2,11178	-0,01401	0,46887	0,11208	0,06164	-0,13450
16	0,13278	0,48084	0,09674	1,04513	-0,02086	0,48368	0,16502	0,16976	-0,17451
17	0,12790	0,05643	0,45799	1,21128	0,16269	0,37429	0,20972	0,19467	-0,03480
18	0,10301	0,11246	0,20508	1,03296	0,13231	0,62658	0,11246	-0,12097	-0,02646
19	0,06270	0,03919	0,09797	0,24102	0,24200	0,42423	0,11463	0,04703	-0,06564
20	0,04224	0,10981	0,24121	0,24309	0,41016	0,18114	0,13985	-0,07509	0,32756
průměrné c [%]	0,05638	0,06112	0,13161	0,92659	0,49455	0,62807	0,17736	0,11511	-0,04627
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,08250	0,12970	0,14442	0,53791	0,35941	0,38252	0,18139	0,18989	0,17364
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	-0,03986	-0,22064	-0,12793	0,12237	-0,18819	-0,16594	-0,24752	-0,22156	
2	0,76587	-0,19777	-0,18466	-0,09081	-0,21695	-0,20887	-0,25327	-0,14228	
3	-0,18556	-0,22802	-0,28618	-0,26310	-0,26587	-0,33234	-0,32403	-0,30187	
4	0,48707	-0,21946	-0,21853	-0,25372	-0,39262	-0,27595	-0,36114	-0,29539	
5	0,45251	-0,16320	-0,16320	-0,16691	-0,26149	-0,25964	-0,25778	-0,28838	
6	-0,23200	-0,21203	-0,26053	-0,10554	-0,23295	-0,23295	-0,30712	-0,22249	
7	-0,21487	-0,22734	-0,24557	-0,13909	-0,29833	-0,18418	-0,27339	-0,17842	
8	-0,10851	-0,20396	-0,18387	-0,25319	-0,31448	-0,31247	-0,27731	-0,19793	
9	-0,15490	-0,28890	-0,29935	-0,29080	-0,33832	-0,33547	-0,30601	-0,32311	
10	-0,06128	-0,18194	-0,24793	-0,24699	-0,22342	-0,24699	-0,26113	-0,16591	
11	-0,08882	-0,24684	-0,23001	-0,12155	-0,16830	-0,10846	-0,24590	-0,09630	
12	-0,15881	-0,25430	-0,27541	-0,27943	-0,28646	-0,25631	-0,27943	-0,30054	
13	-0,23103	-0,26629	-0,26721	-0,17721	-0,17721	-0,06495	-0,20876	-0,23752	
14	-0,35938	-0,52417	-0,49717	-0,50276	-0,52324	-0,32121	-0,51207	-0,48507	
15	0,19894	0,20548	0,19801	0,12702	0,03456	0,15131	0,12983	0,13543	
16	-0,18494	-0,01897	-0,20675	-0,16881	-0,26365	0,05880	-0,01233	-0,10432	
17	0,12320	-0,04420	-0,16740	-0,21536	-0,28119	-0,20219	-0,00846	-0,17398	
18	-0,08506	0,03308	-0,10301	-0,21926	-0,12002	-0,12947	-0,25139	-0,20319	
19	0,03919	-0,11365	-0,22828	-0,20966	-0,25963	-0,10385	-0,18027	-0,09797	
20	-0,16143	-0,20555	-0,15205	-0,01314	-0,26468	-0,22056	-0,24121	-0,13140	
průměrné c [%]	-0,00998	-0,17893	-0,20735	-0,17340	-0,25212	-0,18758	-0,23393	-0,20161	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,27763	0,14162	0,12310	0,13852	0,10680	0,12431	0,13339	0,12028	

Tab. P. 21 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – Novovellum TM

Novovellum TM - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	0,10623	0,06724	-0,05652	0,04093	-0,02534	-0,02534	-0,10817	0,28749	-0,10623
2	0,06700	0,10680	0,02524	0,16603	0,68937	0,54762	0,05826	0,60393	0,08156
3	0,19015	0,20367	-0,00290	0,22683	0,06564	0,34459	-0,05695	0,54440	0,04247
4	0,09583	0,07236	-0,00587	-0,01565	0,19947	0,14081	0,02445	0,47913	0,25619
5	0,25185	0,08953	-0,09838	-0,00394	-0,04034	-0,15249	-0,12101	-0,05509	-0,10527
6	0,10682	-0,01274	-0,02352	0,00490	0,14602	0,24009	-0,10094	-0,05782	-0,05684
7	0,19648	0,05698	-0,02259	-0,00688	0,42046	0,13164	-0,00982	0,16700	-0,02161
8	0,39802	0,09541	-0,01060	-0,05590	0,19660	-0,05301	-0,08674	0,24382	0,11083
9	0,18928	0,02999	0,03723	-0,00931	0,13342	0,19859	0,10653	0,25857	-0,04241
10	0,13873	0,16254	-0,02588	-0,02381	0,00000	0,44621	0,32198	0,48762	0,00311
11	0,06016	0,05523	-0,02071	-0,01775	0,23671	0,04833	0,04931	0,37676	-0,04241
12	0,18719	0,09122	0,04276	0,13968	0,39338	-0,00760	-0,06556	0,37533	-0,03136
13	0,04671	0,08662	0,06618	0,24622	0,35425	-0,05937	0,08662	0,10219	0,18880
14	0,09173	0,02028	-0,01545	-0,04249	0,23754	0,00000	-0,06566	-0,01255	-0,09366
15	0,02997	0,04931	0,01064	-0,05125	0,21659	0,07445	-0,01740	0,01064	-0,06285
16	0,02994	0,04490	-0,01796	0,17064	0,08282	-0,08682	0,10478	0,09779	-0,00898
17	0,03608	0,01658	0,05461	0,13262	0,22819	0,01950	-0,10629	0,00293	0,03803
18	0,07560	0,03065	0,05619	0,16141	0,15119	-0,04189	0,12974	0,21351	-0,12770
19	0,07647	0,03154	0,09558	0,17301	0,20359	-0,08889	0,00478	-0,11183	0,00000
20	0,19297	0,11083	0,02573	0,18109	0,65114	-0,05641	0,51161	-0,03365	0,17120
průměrné c [%]	0,12836	0,07045	0,00569	0,07082	0,22704	0,08100	0,03298	0,19901	0,00964
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,08935	0,04973	0,04438	0,10121	0,19132	0,18435	0,15238	0,21702	0,10263
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	-0,13156	-0,23097	-0,26800	0,02534	-0,35571	-0,27092	-0,31965	-0,36545	
2	0,29323	-0,06505	0,19904	-0,02816	-0,18448	-0,05534	-0,24662	0,09709	
3	0,51930	-0,09073	0,06467	-0,16120	-0,15733	-0,18629	-0,22104	-0,26834	
4	-0,12614	-0,08996	-0,08409	-0,17210	-0,11538	-0,19165	-0,14961	-0,24934	
5	-0,02853	-0,01082	-0,08756	-0,27448	-0,28924	-0,09838	-0,28432	-0,35318	
6	-0,08036	-0,15386	-0,14504	-0,24205	-0,28027	-0,19207	-0,09506	-0,33417	
7	-0,07073	-0,18763	0,10610	-0,15522	-0,26229	-0,20826	-0,06778	-0,25247	
8	-0,08577	-0,05975	0,01735	-0,18407	-0,10505	-0,28045	-0,23901	-0,27370	
9	-0,15308	-0,10757	-0,21203	-0,21720	-0,26892	-0,25961	-0,29477	-0,27512	
10	-0,06108	-0,13148	-0,09732	-0,09007	-0,23915	-0,23812	-0,16565	-0,20085	
11	-0,13906	-0,17654	-0,15287	-0,18739	0,00690	-0,26333	-0,13611	-0,25051	
12	-0,05606	-0,14158	0,03041	-0,19954	-0,11307	-0,21665	-0,27081	-0,25085	
13	-0,10900	-0,09635	-0,18394	-0,14209	-0,26179	-0,16836	-0,29002	-0,25011	
14	0,39687	-0,11201	-0,16705	-0,20278	-0,22016	-0,21050	-0,12167	-0,19409	
15	-0,08509	-0,15084	0,07929	-0,17405	-0,21949	-0,21562	-0,15761	-0,22046	
16	-0,00200	-0,08881	-0,07284	-0,17862	-0,23550	-0,23151	-0,13771	-0,27841	
17	-0,17260	-0,13555	-0,11799	-0,12384	-0,04583	-0,22624	-0,09166	-0,28182	
18	-0,11748	-0,16652	-0,14915	0,09296	-0,16141	-0,18491	-0,10522	-0,22679	
19	-0,17205	-0,22558	-0,05639	-0,21219	-0,32403	-0,28962	-0,42152	-0,22175	
20	-0,07422	-0,09401	0,24047	-0,03266	-0,21276	-0,19693	-0,18010	-0,02078	
průměrné c [%]	-0,02277	-0,12578	-0,05285	-0,14297	-0,20225	-0,20924	-0,19980	-0,23356	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,18750	0,05405	0,13348	0,09053	0,09055	0,05569	0,09109	0,10241	

Tab. P. 22 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – EVA film Vistasolar

EVA film Vistasolar - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	0,07368	0,18084	0,27652	0,45066	-0,04306	0,11865	-0,13013	0,58749	0,13874
2	0,30005	0,24766	0,15431	0,38388	-0,06192	0,17336	0,03524	0,14384	-0,00953
3	0,40941	0,14411	0,46477	1,01160	-0,02863	0,02863	0,10021	-0,12979	0,15747
4	0,47724	0,28995	0,07605	0,51621	0,12074	0,88983	0,05894	0,92595	-0,04278
5	0,55460	0,28406	-0,01159	0,75267	0,18358	0,28020	0,26087	0,40870	0,34590
6	0,49211	0,42443	0,08895	0,69224	0,04061	0,24461	0,05801	0,22817	-0,17113
7	0,33044	0,18677	0,18581	0,89936	-0,12739	0,09674	0,00096	1,18479	0,07567
8	0,46802	0,11294	0,04977	0,27086	0,10337	0,20099	-0,01627	0,65561	-0,02680
9	0,99979	0,23338	0,04418	0,38032	-0,07587	-0,08644	-0,01249	0,03457	-0,12197
10	0,23485	0,50852	-0,15718	0,48171	-0,13407	-0,02866	-0,07582	0,12667	-0,12574
11	0,37580	0,24085	0,04030	0,38517	0,24273	-0,19868	0,03468	-0,18087	0,35518
12	0,15800	0,38687	-0,10725	-0,18194	-0,05171	-0,19248	0,14747	0,05650	-0,17620
13	0,17570	1,00318	0,25227	0,60662	0,36809	-0,21300	0,49177	-0,00393	-0,17178
14	0,00283	0,18744	0,19121	0,67440	0,16012	0,09513	-0,09796	-0,12245	-0,07818
15	0,12973	0,48746	-0,13546	1,05600	-0,15358	-0,16312	-0,16503	0,16026	0,14690
16	0,43327	0,36027	0,17919	0,24271	0,23038	-0,04835	0,09670	0,28253	-0,05499
17	-0,28970	1,18634	-0,59744	-0,45687	-0,74467	-0,73992	-0,12348	-0,74657	-0,37138
18	-0,30593	-0,33150	-0,32014	0,25952	-0,36560	-0,33529	-0,30972	-0,38170	0,21216
19	0,70464	0,91183	0,57002	0,77243	0,81540	0,54519	0,63303	0,50986	0,54137
20	0,11538	0,45496	-0,15103	0,19793	0,59285	-0,16135	-0,12664	-0,20825	0,04972
průměrné c [%]	0,29200	0,37502	0,05466	0,46978	0,05357	0,02530	0,04302	0,17657	0,03363
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,30061	0,33015	0,25544	0,36203	0,32044	0,32889	0,21345	0,43870	0,21276
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	0,10621	0,05167	-0,04019	-0,31097	0,02105	0,11865	0,05263	0,07942	
2	-0,15812	-0,12669	-0,19337	-0,30482	-0,77919	-0,79062	-0,79919	-0,75537	
3	-0,15556	-0,10498	-0,20709	-0,02958	-0,05917	-0,04867	-0,10021	0,06203	
4	-0,07795	-0,14355	-0,07795	-0,21105	-0,19964	-0,18158	-0,23386	0,22056	
5	-0,16812	0,04638	-0,13623	-0,16232	-0,16715	-0,20967	-0,27150	-0,11594	
6	0,09088	-0,16243	-0,17209	-0,21270	-0,25814	-0,19530	-0,14986	-0,05124	
7	-0,09386	-0,11110	-0,16857	-0,23945	-0,25286	-0,24519	-0,17815	-0,10727	
8	0,03350	-0,18759	-0,05838	-0,24693	-0,26607	-0,26416	-0,29383	-0,24119	
9	-0,12773	0,78178	-0,00768	-0,27852	-0,26795	-0,24394	-0,33326	-0,31309	
10	-0,21173	-0,21820	-0,23577	-0,26073	-0,29310	-0,29587	-0,20064	-0,11835	
11	-0,25491	-0,22398	-0,23429	-0,27365	-0,30833	-0,26241	-0,14339	-0,08716	
12	-0,01053	-0,24514	-0,18099	-0,27100	-0,31218	-0,25568	-0,12449	-0,03735	
13	-0,15902	-0,22282	-0,02945	-0,29448	-0,32490	-0,34257	-0,28466	-0,30429	
14	0,52181	-0,23548	-0,34568	-0,34191	-0,41538	-0,41726	-0,40973	-0,33909	
15	-0,28809	-0,29476	-0,18697	-0,27568	-0,35868	-0,22417	-0,18983	-0,18983	
16	-0,10998	-0,17065	-0,11661	-0,23986	-0,25598	-0,22470	-0,13937	-0,09860	
17	-0,72947	-0,84915	-0,63354	-0,86435	-0,85010	-0,91659	-0,84535	-0,89189	
18	-0,52756	-0,57681	-0,16196	-0,61944	-0,41485	-0,63743	-0,65448	-0,61375	
19	0,46881	0,41343	0,55569	0,37715	0,38574	0,40484	0,34182	0,34659	
20	-0,16510	-0,22232	-0,33958	-0,34802	-0,37522	-0,35834	-0,34708	-0,32926	
průměrné c [%]	-0,10083	-0,14012	-0,14854	-0,27042	-0,28761	-0,27953	-0,26522	-0,19425	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,27259	0,31607	0,21103	0,22222	0,24827	0,27712	0,26321	0,29458	

Tab. P. 23 Vypočtené hodnoty – Procentuální změny hmotnosti – EVA fólie Vistasolar

EVA fólie Vistasolar - Procentuální změny hmotnosti [%]									
Číslo vzorku	5.1.2013	6.1.2013	8.1.2013	12.1.2013	16.1.2013	20.1.2013	24.1.2013	30.1.2013	6.2.2013
1	0,25943	0,6005	-0,1025	1,27265	0,29843	1,32617	0,89984	1,39693	-0,04173
2	0,56511	0,31494	-0,27235	-0,51809	-0,57221	-0,60149	0,15969	-0,06476	-0,59261
3	-0,05417	0,28528	1,55099	2,8835	2,59371	2,22357	2,72371	3,79893	2,29398
4	1,07499	0,51499	0,13145	2,04464	1,03627	0,61672	0,30791	2,7802	0,16566
5	0,69027	0,44342	1,06877	1,98303	-0,10423	0,42422	0,6857	1,14191	1,03677
6	0,55742	0,60628	0,19274	1,33291	0,87051	0,41806	1,32477	1,44421	0,2769
7	0,75182	0,74718	0,37174	1,19772	0,93259	1,12726	1,21533	1,93841	1,156
8	0,32556	0,34927	0,49609	0,75143	0,92378	0,51706	0,71221	0,00000	0,88183
9	1,35042	0,66057	0,44557	1,50413	1,0055	1,12078	0,82983	1,60386	1,00001
10	1,24204	1,67405	1,03152	2,18935	1,35736	0,63795	1,94863	1,72714	0,90521
11	1,48076	1,60255	0,06593	0,88827	0,79486	0,0641	1,08332	1,17398	0,46978
12	1,30761	0,34608	0,58349	1,14598	1,78518	0,77616	1,59798	1,24186	1,40166
13	0,5912	1,10447	0,92483	1,59587	0,9733	0,96189	0,75374	1,5645	1,18241
14	0,77232	0,46807	0,6238	0,73991	1,22599	0,32315	0,75432	0,6742	1,04506
15	0,43662	0,84099	0,56281	0,54439	0,73322	0,49096	1,33472	1,15049	1,20853
16	0,77188	0,00183	0,12332	1,56751	1,50265	0,25394	1,72463	0,97832	0,65496
17	1,15405	1,31276	0,53299	1,59256	1,34303	-0,11192	0,48162	1,18891	0,29264
18	0,76882	0,50273	0,97967	0,90877	1,41242	0,71726	0,63807	1,41978	0,75869
19	0,79233	0,78519	0,54249	0,82266	1,3714	0,33192	1,04127	1,71046	-0,08209
20	1,02216	0,39133	0,72663	1,69727	1,47585	0,32355	0,94444	0,88027	0,34795
průměrné c [%]	0,79303	0,67762	0,529	1,30722	1,04798	0,59707	1,05809	1,38748	0,71808
hodin	24	48	96	192	288	384	480	624	792
smodch[%]	0,38874	0,42931	0,43153	0,70143	0,65268	0,57249	0,58687	0,82313	0,62326
Číslo vzorku	14.2.2013	21.2.2013	28.2.2013	7.3.2013	14.3.2013	21.3.2013	28.3.2013	4.4.2013	
1	0,91254	-0,08799	0,5497	0,53972	0,88986	0,58054	0,55786	-0,03356	
2	-1,39992	-0,64762	-1,29878	-1,3387	-0,11976	-0,92529	-1,26773	-1,2562	
3	2,2669	2,35086	2,10079	2,16127	1,92745	1,63043	1,87148	2,07641	
4	0,5402	0,63113	-0,0081	0,39704	0,22958	0,74277	0,18637	0,06752	
5	1,04226	0,3529	0,52844	0,88135	0,4553	0,57233	0,07406	0,63084	
6	2,15003	0,35924	-0,39725	-0,11402	-0,09592	0,45154	-0,62257	-0,33843	
7	1,03549	1,58058	1,43411	1,94026	2,19519	2,17295	1,79379	2,79313	
8	1,09887	-0,78061	-1,05783	-1,28946	-1,00768	-1,01406	-1,20101	-0,88822	
9	1,42545	0,90577	0,69809	0,97622	1,71914	1,12169	1,10888	1,57732	
10	0,7368	0,02929	0,60866	0,54734	0,66724	1,31343	0,81735	0,89057	
11	1,43955	-0,06044	0,46703	0,0522	0,49542	0,87637	1,06226	1,33698	
12	1,12407	0,6538	0,69855	0,75334	0,45565	1,43819	1,21082	1,40988	
13	0,73473	0,24523	0,57695	0,3878	0,50851	0,94479	0,43342	0,8716	
14	1,40872	0,99375	0,86143	1,74177	0,38886	1,11077	0,31325	0,6562	
15	0,49925	0,35648	-0,05158	1,495	0,61624	1,85977	0,08474	0,48175	
16	1,91828	0,63303	0,3462	0,94087	0,09135	0,01827	-0,12423	0,53803	
17	0,57519	0,3697	0,14494	-0,13669	0,47428	0,62198	-0,00367	0,23301	
18	1,08556	0,13443	0,15745	-0,02302	0,1243	0,78631	0,56718	0,15376	
19	1,04127	0,19451	0,3694	0,08655	0,13562	0,42739	0,4836	0,17667	
20	1,92864	0,50159	0,63625	0,89292	0,40218	0,93901	1,19116	0,51063	
průměrné c [%]	1,07819	0,43578	0,36822	0,54459	0,52764	0,78346	0,42685	0,5944	
hodin	984	1152	1320	1488	1656	1824	1992	2160	
smodch[%]	0,76285	0,67776	0,72979	0,89858	0,71165	0,77082	0,82583	0,92385	

Tab. P. 24 Přehled počáteční a konečné hmotnosti jednotlivých sad vzorků fólií

Název	Průměrná hmotnost po vysušení [g]	Konečná průměrná hmotnost [g]	Rozdíl hmotností [mg]
Evasa	1,00486	1,00322	-1,65
Sekisui	1,06669	1,0606	-6,09
Novovellum	1,0275	1,02495	-2,55
Etimex	1,05314	1,05101	-2,13
Novovellum TM	1,01834	1,01597	-2,38
EVA film Vistasolar	1,04962	1,04758	-2,04
EVA fólie Vistasolar	1,09708	1,10354	6,46

Příloha C – Naměřené hodnoty – Měření mechanických vlastností

Tab. P. 25 Tabulka naměřených rozměrů EVA fólií – vzorky na Měření mechanických vlastností

Evasa	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]	Sekisui	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]
	1	2	3				1	2	3		
1	0,452	0,438	0,456	0,449	10,71	1	0,44	0,49	0,462	0,464	10,32
2	0,44	0,467	0,477	0,461	10,38	2	0,461	0,456	0,458	0,458	10,55
3	0,445	0,489	0,503	0,479	10,41	3	0,543	0,515	0,519	0,526	10,34
4	0,43	0,446	0,457	0,444	10,66	4	0,478	0,469	0,463	0,470	10,57
5	0,456	0,452	0,444	0,451	10,69	5	0,491	0,519	0,527	0,512	10,33
Novovellum	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]	Etimex	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]
1	2	3	1				2	3			
1	0,477	0,508	0,433	0,473	10,73	1	0,473	0,459	0,485	0,472	10,21
2	0,457	0,484	0,465	0,469	10,3	2	0,458	0,449	0,469	0,459	10,85
3	0,525	0,526	0,484	0,512	10,2	3	0,475	0,461	0,459	0,465	10,66
4	0,477	0,482	0,487	0,482	10,14	4	0,476	0,479	0,499	0,485	9,86
5	0,427	0,449	0,443	0,440	10,35	5	0,468	0,476	0,479	0,474	10,54
Novovellum TM	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]	EVA film Vistasolar	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]
1	2	3	1				2	3			
1	0,438	0,436	0,434	0,436	10,49	1	0,457	0,452	0,451	0,453	10,48
2	0,437	0,432	0,437	0,435	10,3	2	0,454	0,453	0,453	0,453	10,62
3	0,433	0,434	0,429	0,432	10,26	3	0,463	0,461	0,456	0,460	10,67
4	0,432	0,437	0,433	0,434	10,57	4	0,46	0,455	0,45	0,455	10,59
5	0,422	0,42	0,422	0,421	10,3	5	0,464	0,458	0,455	0,459	10,38
EVA fólie Vistasolar	Tloušťka [mm]			Průměrná tloušťka [mm]	Šířka vzorků [mm]						
1	2	3	1			2	3				
1	0,575	0,588	0,59	0,584	10,64						
2	0,602	0,596	0,587	0,595	10,6						
3	0,606	0,601	0,596	0,601	10,52						
4	0,599	0,603	0,597	0,600	10,66						
5	0,601	0,592	0,594	0,596	10,2						

Příloha D – Technické specifikace přístrojů

Tab. P. 26 Vacucell VUK-B2V/VU22

Technická data	Vacucell 22 Komfort	
Pracovní teplota (začátek regulace)	od 5 °C nad okolní teplotou do:	200 °C
Vysálané teplo do okolí	při 100 °C při 200 °C	150 W 300 W
Doba náběhu na 98 % při napětí 230 V	na teplotu 100 °C na teplotu 200 °C	130 min 170 min
Elektrické parametry - síť 50/60 Hz	jmenovité napětí max. příkon nosnost celkem nosnost jedné police proud příkon v pohotovostním stavu (stand by)	230 V 0,8 kW 35 kg 20 kg 3,5 A 5W
Maximální přípustné zatížení polic	nosnost celkem nosnost jedné police	35 kg 20 kg
Hmotnost	brutto netto	76 kg 65 kg
Vnější rozměry (včetně dveří a madla)	hloubka šířka výška s nohama	490 mm 560 mm 700 mm
Využitelný rozměr police	šířka x hloubka	280x236 mm
Vzdálenost mezi policemi	Výška	40 mm
Police	počet vedení pro police	2 ks max. počet 5
Vnitřní prostor nerez DIN 1.4571	hloubka objem šířka výška	260 mm 22 l 340 mm 300 mm

Tab. P. 27 TA Instruments DMA Q800

Technical data:	DMA Q800
RH Control	Optional
Force Resolution	0.00001 N
Strain Resolution	1 nanometer
Modulus Range	103 to 3x10 ¹² Pa
Modulus Precision	± 1%
Tan δ Sensitivity	0.0001
Tan δ Resolution	0.00001
Frequency Range	0.01 to 200 Hz
Dynamic Sample Deformation Range	± 0.5 to 10 000 μm
Temperature Range	-150 to 600°C
Heating Rate	0.1 to 20°C/min
Cooling Rate	0.1 to 10°C/min
Isothermal Stability	± 0.1°C
Isothermal Stability	Yes
Maximum Force	18 N
Minimum Force	0.0001 N

Tab. P. 28 RADWAG Analytical balance XA 52/2X

Technical data:	XA 52/2X
Max capacity	52 g
Minimum load	1 mg
Readability	0,01 mg
Tare range	-52 g
Repeatability	0,02 mg
Linearity	±0,06 mg
Eccentric load deviation	0,06 mg
Sensitivity offset	$2 \times 10^{-6} \times R_t$
Sensitivity temperature drift	$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times R_t$
Sensitivity stability	$1 \times 10^{-6} / \text{Year} \times R_t$
Minimum weight (USP)	60 mg
Minimum weight (U = 1%, k = 2)	4 mg
Pan size	ø 85 mm
Stabilization time	5 s
Sensitivity drift	1 ppm/°C in temperature +15 ° - +35 °C
Working temperature	+10 ° - +40 °C
Power supply	13,5 ÷ 16 V DC / 2,1 A
Adjustment/calibration	internal (automatic)
Display	graphic
Interface	RS 232, USB
Net weight/Gross weight	9/12 kg
Packaging size	685×405×495 mm