

Hodnocení stárnutí plastových výrobků

Rating aging of plastic products

Bc. Michal Bartko

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Bartko**
Osobní číslo: **T11732**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení stárnutí plastových výrobků**

Zásady pro vypracování:

1. Způsoby degradace polymerů, zkoušky urychleného tepelného stárnutí.
2. Představení vzorků polymerů vybraných pro výrobu dílů ručních palných zbraní.
3. Provedení zkoušek rozměrové stálosti, tvrdosti vtlačení kuličky dle ČSN EN ISO 2039-1, tahové vlastnosti dle ČSN EN ISO 527-2 a srovnání změn ukazatelů.
4. Vyhodnocení zkoušek a doporučení vhodných materiálů pro výrobu dílů ručních palných zbraní.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

Bartko Michal

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá degradací polymerů používaných ve zbrojním průmyslu. Působení degradačních procesů může způsobovat selhání těchto specifických výrobků a zkrátit garantovanou životnost. Srovnání polymerů je provedeno na základě zkoušek rozměrové stálosti, tvrdosti vtlačení kuličky dle ČSN EN ISO 2039-1 a tahových vlastností dle ČSN EN ISO 527-2. Cílem, je pomocí těchto zkoušek nalézt vhodné materiály pro výrobu dílů ručních palných zbraní.

Klíčová slova: polymer, degradace, stárnutí, zkouška

ABSTRACT

Diploma thesis deals with degradation process of polymers that are used in arms industry. Influence of degradational processes may cause failure of these specific products and shorten a guaranteed working life. Comparison of polymers is carried out in frame of dimensional stability tests, hardness of a pressed-in ball in accordance with standard ČSN EN ISO 2039-1 as well as tensile properties in accordance with standard ČSN EN ISO 527-2. The aim is to find out suitable materials for production of components for hand-operated firearms with use of these tests.

Key words: polymer, degradation, aging, test

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při vypracování diplomové práce. Dále společnosti Česká Zbrojovka Uherský Brod a.s. za finanční podporu prováděných zkoušek.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 ZPŮSOBY DEGRADACE POLYMERŮ	13
1.1 VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ	13
1.2 DEGRADAČNÍ PROCESY	14
1.2.1 Termodegradace	14
1.2.2 Oxidativní degradace	15
1.2.3 Hydrolytická degradace	15
1.2.4 Fotodegradace	16
1.2.5 Biodegradace.....	16
1.2.6 Degradace povětrnostními vlivy	16
2 ZKOUŠKY POLYMERŮ.....	17
2.1 ZKOUŠKY STÁRNUTÍ POLYMERŮ.....	17
2.1.1 Zkoušky přirozeného stárnutí.....	17
2.1.2 Zkoušky zrychleného tepelného stárnutí.....	18
2.1.3 Zrychlené stárnutí v kyslíku.....	19
2.1.4 Zrychlené stárnutí vlivem ozónu.....	19
2.1.5 Zrychlené stárnutí ve veterometru	20
2.2 VZORKY POLYMERNÍCH KOMPOZITŮ URČENÉ KE ZKOUŠKÁM.....	21
2.2.1 Zytel ST801	21
2.2.2 VESTAKEEP 4000G	21
2.2.3 AQUAMID 66 G30.....	21
2.2.4 VERTON RV00 AES	21
2.2.5 DERLIN 100 BK 602.....	21
2.2.6 VERTON RV00 AESC BK 9001	21
2.2.7 LEXAN EXL 1434T	22
2.2.8 SILAMID 13.01 ESV30.....	22
2.2.9 ZYTEL 70 G30 HSL BK039B	22
2.2.10 DURAMID TH7G12.0 S 9207	22
3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	24
4 ZKOUŠKY STÁRNUTÍ PLASTOVÝCH VÝROBKŮ	25
4.1 METODY PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠEK	25
4.1.1 Metoda urychleného tepelného stárnutí ČSN 62 1522	26
4.1.2 Stanovení tvrdosti – metoda vtlačení kuličky ČSN EN ISO 2039-1	26
4.1.3 Stanovení tahových vlastností ČSN EN ISO 527-2.....	27
4.2 ZKOUŠENÍ JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ POLYMERŮ.....	28
4.2.1 Zytel ST801.....	28
4.2.1.1 Rozměrová stálost.....	28
4.2.1.2 Tvrdost vtlačení kuličky	29
4.2.1.3 Tahové vlastnosti	31
4.2.2 Vestakeep 4000G	34
4.2.2.1 Rozměrová stálost.....	34
4.2.2.2 Tvrdost vtlačení kuličky	35

4.2.2.3	Tahové vlastnosti	36
4.2.3	Aquamid 66 G30	38
4.2.3.1	Rozměrová stálost.....	38
4.2.3.2	Tvrдость vtlačení kuličky	39
4.2.3.3	Tahové vlastnosti	40
4.2.4	Verton RV00 AES.....	44
4.2.4.1	Rozměrová stálost.....	44
4.2.4.2	Tvrдость vtlačení kuličky	45
4.2.4.3	Tahové vlastnosti	46
4.2.5	Derlin 100BK 602	49
4.2.5.1	Rozměrová stálost.....	49
4.2.5.2	Tvrдость vtlačení kuličky	50
4.2.5.3	Tahové vlastnosti	51
4.2.6	Verton RV00 AESC BK 9001	54
4.2.6.1	Rozměrová stálost.....	54
4.2.6.2	Tvrдость vtlačení kuličky	55
4.2.6.3	Tahové vlastnosti	56
4.2.7	Lexan EXL 1434T.....	59
4.2.7.1	Rozměrová stálost.....	59
4.2.7.2	Tvrдость vtlačení kuličky	60
4.2.7.3	Tahové vlastnosti	61
4.2.8	Silamid 13.01 ESV30.....	64
4.2.8.1	Rozměrová stálost.....	64
4.2.8.2	Tvrдость vtlačení kuličky	65
4.2.8.3	Tahové vlastnosti	66
4.2.9	Zytel 70 G30 HSLBK 039B.....	69
4.2.9.1	Rozměrová stálost.....	69
4.2.9.2	Tvrдость vtlačení kuličky	70
4.2.9.3	Tahové vlastnosti	71
4.2.10	Duramid – TH7G12.IS* 9207 - SCHWARTZ	74
4.2.10.1	Rozměrová stálost.....	74
4.2.10.2	Tvrдость vtlačení kuličky.....	75
4.2.10.3	Tahové vlastnosti	76
5	ZÁVĚR.....	79
5.1	STRUKTUROVANÝ VÝPIS VÝSLEDKŮ	79
5.2	ZÁVĚREČNÉ SHRnutí ZKOUŠEK	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	91
	SEZNAM PŘÍLOH.....	93

ÚVOD

Využití polymerů dnes zasahuje do většiny výrobků. Vzhledem k nízké ceně finálního produktu stále častěji vytlačuje použití ocelí. Jejich široká škála umožňuje plnohodnotně nahrazovat výrobky produkované běžnými technologiemi např. slévárstvím, kováním, třískovým obráběním aj. Jejich vývojový boom umožnil zajištění konkurenceschopnosti velkých koncernů převážně v automobilovém průmyslu. Zásadní část představují polymery s prodlouženou životností, u kterých je snaha prodlužování doby použití, uchování fyzikálních a mechanických vlastností a tím i zajištění požadované životnosti výsledného produktu. Výsledkem je stále častější nahrazení klasických materiálů, jako je dřevo, keramika, porcelán a kovy. Polymery se staly významným trendem minulého století, většina klasických materiálů, pokud to bylo možné, byla nahrazena polymery srovnatelných vlastností. Převážná část plastických hmot nachází uplatnění ve venkovním prostředí, kde jsou vystaveny degradačním vlivům tepla, ultrafialového záření a atmosférického znečištění.

Polymerní materiály se s časem neustále proměňují, dozrávají, stárnou, právě tak jako živé organismy. Chemickými a fyzikálními metodami lze sledovat časovou závislost změn řady vlastností, změny molekulárních a nadmolekulárních struktur, které o makroskopických vlastnostech rozhodují. Všechny tyto změny, ať už probíhají spontánně nebo jsou vyvolány vnějším prostředím, se souhrnně označují jako stárnutí. Během života plastů dochází tedy k neúmyslné, ale nevratné změně jejich struktury a vlastností vlivem času a vnějších podmínek. Tyto změny bývají označovány jako stárnutí, degradace, odbourávání, znehodnocování, koroze či porušování. Význam těchto pojmů se do určité míry překrývá, ale není úplně totožný. Termín stárnutí zdůrazňuje časový faktor, přičemž nemusí nutně docházet ke zhoršování vlastností. Degradace v úzkém slova smyslu označuje změnu struktury a vlastností polymerů způsobenou rozkladnými reakcemi polymerů.

Polymery jsou během svého života vystaveny dvěma různým degradačním etapám. První z nich je krátká, ale velmi intenzivní. Probíhá ve zpracovatelském stroji, kdy je tavenina plastu vystavena současně vysoké teplotě i mechanickému smykovému namáhání. Pokud se tento proces děje v uzavřeném prostoru, nemusí být příliš ovlivněn přítomností vzdušného kyslíku. Důsledkem této degradace může být odbourávání makromolekulárního řetězce a uvolňování plynných zplodin – např. u PVC, nebo štěpení řetězců doprovázené snižováním molární hmotnosti. Štěpení nastane nejčastěji ve střední části polymerního řetězce, kde jsou chemické vazby vystaveny největšímu tahu. Výsledkem je pak polymer s nižšími hodnotami molárních hmotností. U některých polymerů probíhají naopak síťující

pochody, které mohou být vyvolány záměrně přidáním vhodných látek. To je případ síťovaného PE či zpracování většiny reaktoplastů. Zpracování polymerní taveniny tak může velmi podstatně ovlivnit dlouhodobou stabilitu materiálu v pevném stavu. Proto je třeba polymer při zpracování chránit vhodnými stabilizátory.

Druhá etapa degradace probíhá v pevném stavu. Může být sice také krátká (např. u nevratných obalů), ale ve většině případů se očekává od plastu dlouhodobá služba. Hotový materiál nebo výrobek je pak vystaven v průběhu času řadě vnitřních a vnějších vlivů. K vnitřním vlivům patří termodynamická nerovnováha. K vnějším vlivům počítáme zejména teplotu, sluneční záření, vzdušný kyslík, ozon, vlhkost, déšť, oxidy síry a dusíku, prašný spad, agresivní média (plyny, páry, kapaliny), ionizující záření, mechanickou sílu (často proměnlivou) a mikroorganismy.

Mezi užívané metody určující degradační vlivy patří zkoušky zrychleného stárnutí. Při zkoušce zrychleného stárnutí se využívá uměle zesíleného vlivu některého z faktorů stárnutí. V mém případě to budou zkoušky rozměrové stálosti dle ČSN 62 1522, tvrdosti vtlačení kuličky dle ČSN EN ISO 2039-1, tahové vlastnosti dle ČSN EN ISO 527-2 a srovnání změn ukazatelů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZPŮSOBY DEGRADACE POLYMERŮ

1.1 Vymezení základních pojmů

Polymery podléhají určitým změnám podle vlivů, které na ně působí. Mohou být vyvolány v průběhu zpracování vlivem zpracovatelské teploty a mechanického namáhání. Po dobu užívání působí na výrobky celá řada dalších vlivů, což může vést k výrazným změnám vlastností. Nevratné změny polymerů vyvolané fyzikálními, chemickými a biologickými vlivy v dlouhém časovém intervalu označujeme souhrnným názvem stárnutí.

Proces probíhající v materiálu důsledkem dlouhodobého statického nebo časově proměnného namáhání, které způsobuje, že k porušení materiálů dochází při napětích nižších, než odpovídá pevnosti zjištěné krátkodobými zkouškami, nazýváme jako únava materiálu.

Životnost je doba použitelnosti výrobku s ohledem na jeho funkci. Závisí, na vlastnostech použitého materiálu a na podmínkách za kterých je výrobek používán.

Při použití přísad do polymerů nebo jejich směsí můžeme docílit zpomalení průběhu stárnutí. Rozlišují se podle svého specifického účinku. Takovou přísadou je stabilizátor. Udržuje vlastnosti makromolekulárních látek na původních nebo blízkých hodnotách během zpracování, skladování nebo používání. Podle toho proti jakému vlivu mají stabilizátory chránit, rozeznáváme např. tepelné stabilizátory, světelné stabilizátory, apod. [1]

Pojmem koroze se označuje znehodnocování materiálů vzájemným chemickým nebo fyzikálně chemickým působením okolního prostředí. Podmínkou pro korozi není světelná ani tepelná iniciace. Působením tepelné energie se koroze urychluje.

Účinkem ozonu vznikají na povrchu napjatého pryžového výrobku ozonové trhliny. Jejich směr je kolmý ke směru napětí. Radiální trhliny vznikají rovněž účinkem na rotačních tělesech. Křehký lom je porušení tělesa bez znatelné plastické deformace. Naopak tvárný lom je porušení tělesa po vzniku znatelné plastické deformace. [1]

1.2 Degradční procesy

1.2.1 Termodegradace

Tepelný rozklad polymerů je vyvolán účinkem tepelné energie, pokud probíhá v interní atmosféře nebo ve vakuu. Průběh je charakterizován vznikem těkavých produktů o různém chemickém složení a uhlíkatého zbytku, jehož složení je zpravidla nedefinovatelné. V některých případech se získá monomer ve velkém výtěžku. Termodegradace přichází v úvahu nejčastěji v průběhu zpracování, kdy jsou polymery vystaveny zpracovatelským teplotám 200° až 300°C. I když rozklad v průběhu zpracování se nemusí nijak výrazně projevit, vznikají poruchová centra, která jsou pak příčinou následujících reakcí, např. oxidace. [1]

Polymer	Výtěžek monomeru [%]	T _h [°C]
PMMA	95	327
PMS	100	286
PTFE	95	509
PS	42	364
PP	2	387
PMA	2	328
PVC	0	260

Tab. 1 Termické odbourání některých polymerů při 450°C [1]

1.2.2 Oxidativní degradace

Typické projevy postupné oxidace polymerních výrobků v průběhu jejich užívání závisí na daném typu polymeru a podmínkách jeho použití. Na jedné straně se projevy oxidace týkají vzhledu a estetických rysů, např. žloutnutí až hnědnutí, objevování skvrn, ztráty lesku či průhlednosti polymeru, křídovatění a vzniku povrchových trhlin. Na druhé straně, více či méně simultánně dochází ke ztrátě mechanických vlastností, jako např. houževnatosti, tažnosti, pevnosti nebo elektrických vlastností. Podle dalších faktorů, které různou měrou ovlivňují oxidativní degradaci plastů, např. zvýšená teplota, mechanické namáhání, γ - záření, rozlišujeme blíže termooxidativní, mechanickou, radiační a fotooxidativní degradaci.

Dochází-li k znehodnocení plastů při venkovních aplikacích kombinovaným působením slunečního ultrafialového záření, kyslíku a vzdušné vlhkosti, mluvíme o atmosférickém stárnutí. Společným rysem všech oxidačně degradačních reakcí, ať již probíhají za zvýšené teploty, působením ultrafialového či γ -záření, ozonu nebo vlivem mechanického napětí, je obecné schéma, které vystihuje autokatalytický charakter, nazýváme jej autooxidací. Jedná se o soubor radikálových řetězových reakcí, které citlivě reagují na přítomnost iniciujících termo- nebo fotolabilních látek a katalyticky působících nečistot, či naopak inhibujících aditiv. Termooxidační degradace PP probíhá již za mírně zvýšených teplot tak rychle, že doba života polymerního výrobku je kratší než jeden rok. Totéž platí i o venkovním použití polyolefinů, kde PP i PE naprosto zdegraduje za dobu kratší než jeden rok.

1.2.3 Hydrolytická degradace

Kromě termooxidativní degradace je však navíc pro polyamidy, ale také pro polyestery, charakteristická jejich poměrně značná náchylnost k degradaci způsobené vodou, k hydrolytické degradaci. Hydrolyza amidových skupin vede ke štěpení řetězců a zvýšené tvorbě reaktivních center. Pro potlačení hydrolytické degradace je nezbytné důsledné vysušení polyamidu, zejména před zpracovatelskými kroky prováděnými při teplotách mezi 200 až 300°C. Řízené hydrolytické degradace (PET) polyethylénglykoltereftalátu se naopak v současnosti s výhodou využívá při chemické recyklaci tohoto odpadního polyesteru, kdy se získaný monomer a rozkladné produkty znovu využívají při výrobě polymerního PET.

1.2.4 Fotodegradace

Ultrafialový podíl slunečního záření vyvolává obdobné reakce jako tepelná energie, dochází k trhání řetězců, k síťování, k aktivaci oxidačních reakcí. Nejkratší vlnová délka záření dopadajícího na zemský povrch je asi 290nm. Celkový podíl UV složky ve slunečním záření o vlnové délce pod 400nm je asi 6% (kolísá v závislosti na geografických faktorech). Působení světelného záření na polymer bez žádných jiných degradačních vlivů je výjimečné. Většinou spíše dochází k fotooxidaci, která má stejný průběh jako termooxidace, avšak s tím rozdílem, že fotooxidační reakce je iniciována ozářením. [1], [2]

1.2.5 Biodegradace

Polymery jsou napadány některými mikroorganismy a ojediněle také makroorganismy. Pro vznik mikrobiologického napadení musí být splněny určité podmínky. Je to prostředí, které umožňuje existenci mikroorganismů a dále je to povaha polymeru a přísad. Nejčastěji bývají polymery napadány plísněmi. Pro většinu plísní je optimální teplota 25 až 35°C. Nižší teplota vede k zpomalení růstu, který se po dosažení určité minimální teploty (cca 0°C) zastaví a vegetativní části organismů odumírají. Růst plísní nezávisí pouze na teplotě, ale také na vlhkosti. Pro většinu je optimální relativní vlhkost vzduchu 95%.

Většina mikroorganismů vyžaduje pro svůj vývoj určité pH. Rozsah hodnot pH pro růst plísní je 4-7, některé typy vyžadují až pH 9. Bakterie se dobře vyvíjejí v alkalickém prostředí při pH 7.4 až 8.5. Sluneční záření, zejména ultrafialové, nepříznivě působí na životaschopnost plísní, delší působení tohoto záření mikroorganismy ničí. [1]

1.2.6 Degradace povětrnostními vlivy

Degradace povětrnostními vlivy je proces probíhající u polymerních výrobků s využitím ve venkovním prostředí. Zde materiál čelí dlouhotrvajícímu působení všech klimatických faktorů jako je vítr, voda, ozon, oxid dusíku, oxid siřičitý nebo prašný spad. Degradace se projevuje erozí povrchu spojenou s úbytkem hmotnosti, změnou zbarvení, poklesem mechanických a užitných vlastností. Mezi odolné plasty vůči této degradaci patří fluoroplasty a akryláty.

2 ZKOUŠKY POLYMERŮ

Velmi důležitou technickou činností na poli zkoušení polymerů je normalizace, která se zabývá vytvářením norem. Normované zkušební postupy jsou základem pro sledování vlastností výrobků, stanovení přijímacích podmínek a v neposlední řadě stanovení úrovně hodnocení výrobků státními autorizovanými zkušebnami. Při vypracování národních norem se sice bere zřetel na národní zvláštnosti, dané technologickým vybavením, ale především se přihlíží k normám ostatních států. Účelem systému státních zkušeben je nezávislé sledování jakosti výrobků a ve spolupráci s hodnotitelskými komisemi zlepšování jakosti výrobků ekonomickými nástroji. Každý nový výrobek musí projít povinným hodnocením ve státní zkušebně a podle výsledků je zařazen do jakostní třídy. Jakostní zařazení je pak základem pro povolení výroby a stanovení ceny. [3]

2.1 Zkoušky stárnutí polymerů

2.1.1 Zkoušky přirozeného stárnutí

Při přirozeném povětrnostním stárnutí se zkušební vzorky upevňují na stojany bez podložky do rámečků nebo na podložky aby se zabránilo jejich prověšení. Stojany jsou nastaveny směrem k jihu a zkušební vzorky jsou skloněny pod úhlem 45° . Vzorky se odebírají ve stanovených intervalech. Sleduje se vývoj povrchových a vzhledových změn (tvorba trhlin, barevné změny aj.). Přirozené povětrnostní stárnutí je u mnoha polymerů časově velmi náročné, expozice může trvat i desítky let. Zkušební stanice se rozestavují tak, aby mohl být sledován vliv průmyslové atmosféry, horského, mořského a tropického klimatu. Vlastnosti vystavených zkušebních těles se doporučuje zkoušet po ukončení zimního, jarního, letního a podzimního období při stárnutí po dobu tří let. Při expozici po dobu pěti let se zkoušení vzorků provádí každé ukončené pololetí. Při delší expozici se vzorky kontrolují jednou za rok. Fólie do tloušťky 0.3mm se zkouší každých deset dnů při vystavení na jeden rok. Ostatní termíny se určují na základě programu, tloušťky zkušebních těles, množství plniv, změkčovadel, barviv, antioxidantů, stabilizátorů. Základním kritériem pro volbu termínů je předpokládaná rychlost změn sledovaných veličin. [3]

Vnější vzhled ozařované části	Ztráta lesku, změna barvy, vznik trhlin, vznik propadlin nebo nerovností, rozvrstvení u vrstvených materiálů. Eroze vodou, prachem, prasknutí zkušebního tělesa, vznik plísň
Hmota	Absolutní, poměrná změna hmoty materiálu. Procentová změna obsahu změkčovadel.
Lineární rozměry	Délka, šířka, tloušťka, průměr apod.
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti v tahu, pevnost v ohybu, rázová houževnatost, tažnost, průtažnost
Dielektrické vlastnosti	Povrchový izolační odpor, objemový elektrický odpor, ztrátový činitel tgδ, elektrická průrazná pevnost
Mechanické vlastnosti ozařovaného povrchu	Tvrдость povrchové vrstvy, křehkost povrchové vrstvy

Tab. 2 Základní kritéria pro hodnocení přirozeného stárnutí. [3]

2.1.2 Zkoušky zrychleného tepelného stárnutí

Nejznámější tepelnou zkouškou urychleného stárnutí je metoda A podle Geera. Zkušební tělesa materiálu, jehož fyzikální hodnoty byly předem zjištěny, se vystaví účinku cirkulujícího vzduchu určité teploty a po určité době se fyzikální hodnoty znovu stanoví. Jako zkušební tělesa se užívá kroužků nebo tělísek lopatkovitého tvaru. Zkouška se provádí v termostatu, kde se udržuje teplota 70°C s přesností $\pm 1^\circ\text{C}$. Zkoušený materiál se v termostatu ponechává 24, 48, 72, 144 a další násobky 24 hodin. Hodnocení některých materiálů tímto způsobem je velmi výhodné, protože při něm výrazněji vyniknou změny způsobené stárnutím. Jindy může výsledek zkoušky značně zkreslit. Výhodnější je používat dvou nebo více teplot a extrapolovat zjištěnou závislost do běžných podmínek. Největším problémem při stárnutí podle Geera je otázka migrace příměsí. Vystavením materiálu zvýšeným teplotám v proudícím vzduchu unikají těkavé příměsi. Tím vznikají nepřesnosti ve výsledcích. Řešením jak migraci zabránit je sušárna s oddělenými celami pro jednotlivé materiály tzv. zkumavková metoda. Jedná se o samostatně elektricky vyhřívané bloky s potřebným počtem otvorů. Do nich se vkládají zkumavky průměru 40mm. Každý materiál se podrobuje stárnutí odděleně. Proudění vzduchu obstarává dmychadlo. Teplota v blocích se udržuje automaticky a zapisuje se v celém průběhu zkoušky. Tato zkouška odstraňuje nepříznivý vliv migrace, zpřesňuje výsledek zkoušky, umožňuje regulovat výměnu vzduchu a pracovat i při vysokých teplotách. [3]



Obr. 1 Zkumavkový termostat

2.1.3 Zrychlené stárnutí v kyslíku

Obdobou Geerovi metody je zkouška stárnutí v kyslíkové tlakové láhvi podle Bierera-Davise. Jejím širšímu využití bránila náročnost přístrojového vybavení. Podstatou je 6 tlakových nádob vyhřívaných na potřebnou teplotu elektricky vytápěnými hliníkovými bloky. Každá nádoba je samostatným celkem s vlastním napouštěcím a vypouštěcím ventilem a manometrem. Nádoba se po uzavření naplní kyslíkem na tlak 20 atmosfér. Využití nalezla převážně k hodnocení pryží z přírodních kaučuků, zvláště málo plněných. Změny vlastností při stárnutí touto metodou se vyjadřují obdobně jako u Geera změnou pevnosti a tažnosti v % nebo koeficientem stárnutí, vyjádřeným změnou tahových součinitelů.

2.1.4 Zrychlené stárnutí vlivem ozónu

Ozón je dalším faktorem ovlivňujícím stárnutí materiálů zejména pryží. Charakteristické ozónové trhliny vznikají na staticky deformovaných pryžových výrobcích. Z počátku jsou velmi nenápadné, ale postupně se zvětšují. Podstatou zkoušky je vystavení zkušebních těles pod určitým napětím účinku ozónu určité koncentrace. Měrnou jednotkou je jednak doba, po kterou materiál odolává dané koncentraci ozónu, než se objeví trhliny, jednak stupeň popraskání za určitou dobu. V poslední době byly konstrukce ozonizátorů technicky různě zdokonalovány. Nejmodernější typy těchto přístrojů mají plně automatickou regulaci koncentrace ozónu, ozonizační skříň opatřenou topením i chlazením pro zkoušky za různých teplot, zařízením pro dynamické (relaxační) zkoušky odolnosti proti ozónu, automatickým registračním analyzátozem a řadou jiných technických zlepšení. [3]

2.1.5 Zrychlené stárnutí ve veterometru

Veterometry jsou přístroje obsahující umělé zdroje povětrnostních vlivů. Jako zdroj slunečního světla se osvědčila uhlíková oblouková lampa, jejíž oblouk je chráněn válcem ze skla propouštějícího ultrafialové záření. Uhlíky mají měkké jádro obsahující jednak soli železa, hořčíku, a jiných kovů, jednak soli alkalických zemin, které zvyšují podíl ultrafialového záření. Xenotest používá jako světelného zdroje vysokotlakého hořáku plněného xenonem. Plášť hořáku má dvojité stěny, mezi nimiž protéká destilovaná voda. Sklo pláště odfiltruje záření menší vlnové délky než 300 nm a voda absorbuje záření o vlnové délce nad 1200 nm. Další možností je použití filtrů, zaručujících takové spektrum záření, které se co nejvíce přibližuje slunečnímu. Zkušební tělesa se uchytí na stěnu bubnu nebo disku, který se otáčí v určité vzdálenosti od světelného zdroje. Přístroje mají nekonečný řetězový transportér. Zkušební tělesa prodělávají při jednom oběhu suchý a mokrý cyklus. Dále přístroj obsahuje sprchu a sušárnu. Od manipulačního prostoru postupují vzorky pod sprchu, potom se předsušují infračervenými zářiči a ještě ve vlhkém stavu procházejí okolo obloukové a křemenné lampy.



Obr. 2 Veterometr Q-Sun



Obr. 3 Detail komory se vzorky

2.2 Vzorčky polymerních kompozitů určené ke zkouškám

2.2.1 Zytel ST801

Polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny adipové (PA66). Při přípravě polyamidu 66 se vychází z nečistších surovin ve stechiometrickém poměru, který se kontroluje měřením pH. Výrobek společnosti DuPont. Polyamid 66 má výhodu ve vysokém bodu tání, vyšší pevnosti, neobsahuje volný polymer takže odpadá i jeho odstraňování.

2.2.2 VESTAKEEP 4000G

Produkt společnosti Evonik. Vysoce viskózní nevyztužený polyetheretherketone (PEEK) pro vstřikování a vytlačování. Částečně krystalický polymer má vynikající tepelnou a chemickou odolnost. Samozhášiví.

2.2.3 AQUAMID 66 G30

Produkt společnosti Aqafil. Polyamid (PA66) vyztužený skleněným vláknem 30%. Vysoce odolný kompozit. Zvýšená odolnost mechanickému namáhání.

2.2.4 VERTON RV00 AES

RV00 AES je hmota na bázi polyamidu 66, pryskyřice obsahuje dlouhá vlákna skla. Může být označován pod obchodním názvem LNP Verton Compound RF-700-10-EM HS. Dodává společnost Sabic.

2.2.5 DERLIN 100 BK 602

Termoplastický polymer bez vláken na bázi formaldehydu. Označuje se jako polyoxymethylen (POM). V technické praxi nazývaný jako polyformaldehyd. Neboťná v organických rozpouštědlech, čehož se využívá pro zhotovování uzávěrů aerosolových nádobek, součástí strojů, ozubených kol, ventilů, čerpadel, kloubových čepů.

2.2.6 VERTON RV00 AESC BK 9001

RV00 AESC je hmota na bázi polyamidu 66, pryskyřice obsahuje dlouhá vlákna skla. Může být označován pod obchodním názvem LNP Verton Compound RF-700-10-EM HS. Dodává společnost Sabic. Modifikace kompozitu zaměřená na vyšší pevnost a mechanické namáhání.

2.2.7 LEXAN EXL 1434T

Polykarbonát (PC) siloxanu kopolymer pryskyřice je UV stabilizovaný. Vyniká vysokou rázovou houževnatostí i za velmi nízkých teplot (-40°C). Dobrá rozměrová stabilita až do 140°C , dobré elektroizolační vlastnosti, vysoká mechanická pevnost zvláště v tahu.

2.2.8 SILAMID 13.01 ESV30

Polyamid (PA66) vyztužený krátkým skleněným vláknem 30%. Vysoce odolný kompozit. Zvýšená odolnost mechanickému namáhání. Polyamid PA66 má výhodu ve vysokém bodu tání, vyšší pevnosti, neobsahuje volný polymer takže odpadá i jeho odstraňování.

2.2.9 ZYTEL 70 G30 HSL BK039B

Polyamid (PA66) obsahující 30% skleněných vláken. Vyznačuje se vysokou mechanickou pevností, vynikající rovnováha tuhosti a houževnatost. Nehořlavý. Existuje v řadě modifikací a barevných variant. Využití v automobilovém průmyslu nábytku aj.

2.2.10 DURAMID TH7G12.0 S 9207

Polyamid (PA6) vyztužený skleněným vláknem (30-60%). Vysoce odolný kompozit. Vyniká nízkou deformací vysoce kvalitní vzhled povrchu výrobku. Zvýšená odolnost mechanickému namáhání. Využití v automobilovém průmyslu a elektro díly.

3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Základním cílem diplomové práce je určení vhodných materiálů z oblasti polymerních kompozitů. Dnes se polymery v mnohých případech dostávají svými vlastnostmi na úroveň komunálních materiálů (dřevo, keramika, ocel, aj.). Své uplatnění nalézají i ve velmi specifických oblastech průmyslu, mezi které nepochybně patří výroba ručních palných zbraní. Dominantní výhodou polymerů v této oblasti je jejich nízká cena a z uživatelského hlediska nízká hmotnost. Vzhledem k tomu že se jedná, o výrobky určené k častému nošení je jejich celková hmotnost nezanedbatelný hodnotícím prvkem.

Vedle těchto výhod polymerů stojí jejich nevýhody, mezi které patří změny mechanických a fyzikálních vlastností rozměrová a geometrická nestabilita vliv povětrnostních podmínek, změny podnebí. Tyto kritéria mohou ovlivnit spolehlivost výrobků a jeho životnost. Celkovou funkci ovlivňují podmínky ve kterých je výrobek užíván. Jeho chování se liší dle podnebí jednotlivých kontinentů. Při užívání ve venkovním prostředí např. na Aljašce, Sibiři se bude chovat jinak než na Floridě. Aby bylo možné minimalizovat negativní vlivy prostředí je nutná správná volba polymerního materiálu.

V praktické části diplomové práce se pokusím nalézt z předložených vzorků polymerních kompozitů alespoň tři zástupce vhodné k použití pro výrobu dílů ručních palných zbraní. Vzorky budou podrobeny zkoušce urychleného tepelného stárnutí ve vzduchu dle ČSN 62 1522, zkouška tvrdosti metoda vtlačení kuličky dle ČSN EN ISO 2039-1 a zkouška tahových vlastností dle ČSN EN ISO 527-2. Vyhodnocení bude provedeno na základě srovnání změn jednotlivých ukazatelů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZKOUŠKY STÁRNUTÍ PLASTOVÝCH VÝROBKŮ

V praktické části diplomové práce jsou provedeny zkoušky stárnutí plastových výrobků dle tří metodik zkoušení. Metoda urychleného tepelného stárnutí ČSN 62 1522. Stanovení tvrdosti metoda vtlacení kuličky ČSN EN ISO 2039-1. Stanovení tahových vlastností ČSN EN ISO 527-2. V úvodní části jsou uvedené zkoušky blíže představeny v souladu s příslušnou českou technickou normou. V dalších kapitolách je prováděno zkoušení jednotlivých vzorků včetně grafického znázornění. Závěr dokumentuje výsledný stav po provedení zkoušek. Je zde patrná odolnost předložených vzorků a jejich reakce. Shrnutí výsledků umožňuje porovnat vlastnosti zkoušených vzorků.

4.1 Metody prováděných zkoušek

Od každého druhu polymerního kompozitu bylo dodáno 60ks zkušebních těles typu 1A obr. 4 pro tahové zkoušky dle ČSN EN ISO 527-2. Vzorky byly rozděleny do skupin po šesti, kdy každá skupina reprezentovala jeden typ polymeru obr.4. Před vložením do termostatů byly u všech vzorků změřeny vybrané rozměry obr. 5. Vzorky byly vystaveny teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C po dobu 24, 72, 168, a 240 hodin. Po expozici byly na vzorcích měřeny následující ukazatele: *rozměry, tvrdost a tahové vlastnosti*. Stejně testy byly provedeny i na vzorcích před expozicí a byly tak získány hodnoty ukazatelů před urychleným tepelným stárnutím ve vzduchu.

Dle normy ČSN 62 1522 byly vypočítány změny hodnot jednotlivých ukazatelů (rozměry, tahové vlastnosti) viz kap. 4.1.1.

Obr. 4 vzorky deseti druhů zkoušených polymerních kompozitů



4.1.1 Metoda urychleného tepelného stárnutí ČSN 62 1522

Metoda je založena na srovnání ukazatelů fyzikálních vlastností zkušebních těles, vystavených v nedeformovaném stavu účinku cirkulujícího vzduchu po stanovenou dobu při zvýšené teplotě v termostatu (způsob A) nebo ve zkumavkách (způsob B) a zkušebních těles, která nebyla vystavena urychlenému tepelnému stárnutí ve vzduchu. Odolnost pryže proti urychlenému tepelnému stárnutí ve vzduchu se stanoví v závislosti na změnách ukazatelů těchto fyzikálních vlastností, které jsou důležité při praktickém použití výrobku. [9]

Za výsledek zkoušky se považuje změna fyzikálních vlastností pryže po urychleném stárnutí ve vzduchu. Změna hodnot ukazatelů S v procentech se vypočte podle vzorce:

Vzorec č. 1

$$S = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \cdot 100$$

Změna hmotnosti tvrdosti ΔH se vypočte podle vzorce:

Vzorec č. 2

$$\Delta H = H_1 - H_0$$

4.1.2 Stanovení tvrdosti – metoda vtlačení kuličky ČSN EN ISO 2039-1

Metoda spočívá ve vtlačení kuličky pod specifikovaným zařízením do povrchu zkušebního tělesa. Hloubka vtlačení se měří pod zatížením. Plocha vtlačení se vypočítá z jeho hloubky. Tvrdost vtlačení kuličky se poté vypočítá z následujícího vztahu:

$$\text{Tvrdost vtlačené kuličky} = \text{použité zatížení/plocha vtlačení}$$

Zkušební tělesa se před zkouškou kondicionují v jednom z prostředí definovaném v ISO 291. Zkušební těleso se umístí na opěrnou desku tak, aby na ní spočívalo celým svým povrchem a aby jeho plochy byly kolmé ke směru působení zátěže. [10]

Redukované zkušební zatížení F_r , v newtonech, se vypočítá z následující rovnice:

Vzorec č. 3

$$F_r = F_m \times \frac{\alpha}{(h - h_r) + \alpha}$$

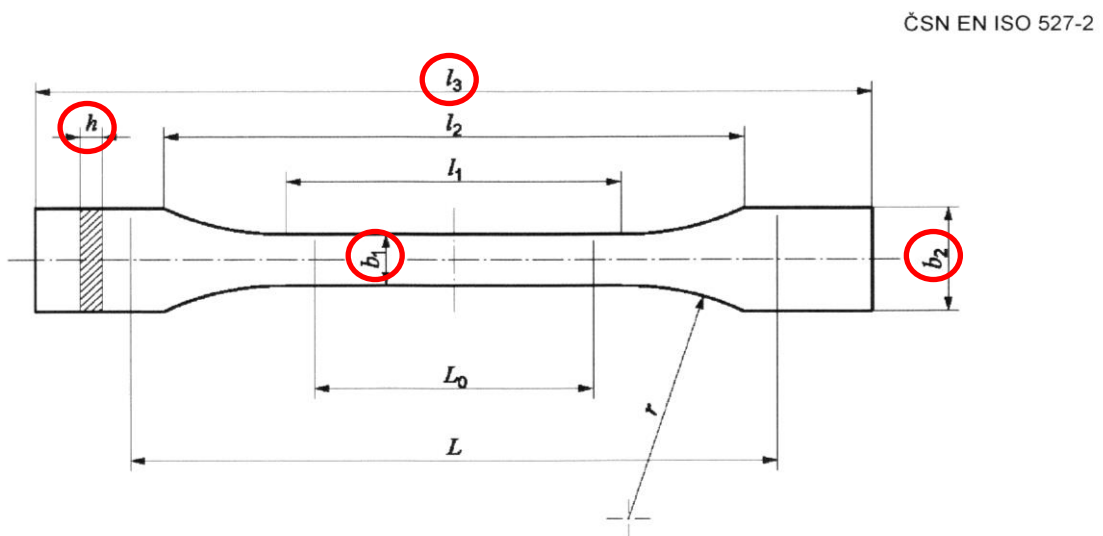
Hodnota tvrdosti vtlačení kuličky se vypočítá z rovnice:

Vzorec č. 4

$$HB = \frac{F_r}{\pi d h_r}$$

4.1.3 Stanovení tahových vlastností ČSN EN ISO 527-2

Zkušební těleso je protahováno ve směru své hlavní podélné osy konstantní zkušební rychlostí do jeho porušení nebo do okamžiku, kdy napětí (zatížení) nebo deformace (prodloužení) dosáhnou předem zvolené hodnoty. Během zkoušky se měří zatížení působící na zkušební těleso a prodloužení. Metody používají zkušební tělesa, která mohou být buď tvářena na zvolené rozměry, nebo obrobena, vyřezaná nebo vyseknutá z hotových výrobků a polotovarů, jako jsou výlisky, lamináty, folie a vytlačované nebo lité desky. [11]



Obr. 5 zkušební tělesa typu 1A a 1B

Rozměry v milimetrech

	Typ zkušebního tělesa	1A	1B
l_3	Celková délka ^a	170	≥ 150
l_1	Délka zúžené části s rovnoběžnými hranami	80 ± 2	60,0 ± 0,5
r	Poloměr	24 ± 1	60 ± 0,5
l_2	Vzdálenost mezi rozšířenými částmi s rovnoběžnými hranami ^b	109,3 ± 3,2	108 ± 1,6
b_2	Šířka konců	20,0 ± 0,2	
b_1	Šířka zúžené části	10,0 ± 0,2	
h	Doporučená tloušťka	4,0 ± 0,2	
L_0	Počáteční měřená délka (preferovaná)	75,0 ± 0,5	50,0 ± 0,5
	Počáteční měřená délka (přípustná, jestliže se požaduje pro řízení kvality nebo když je předepsána)	50,0 ± 0,5	
L	Počáteční vzdálenost mezi čelistmi	115 ± 1	115 ± 1

^a Doporučená celková délka 170 mm pro typ 1A je v souladu s ISO 294-1 a ISO 10724-1. U některých materiálů smí být délka lopatek prodloužena (např. $l_3 = 200$ mm), aby se zabránilo porušení nebo prokluzování tělesa v upínacích čelistech zkušebního stroje.

^b $l_2 = l_1 + [4r(b_2 - b_1) - (b_2 - b_1)^2]^{1/2}$, pro l_1 , r , b_1 a b_2 , musí však být v určených mezích.

Tab. 3 rozměry zkušebních těles typu 1A a 1B

4.2 Zkoušení jednotlivých vzorků polymerů

4.2.1 Zytel ST801

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.1 Zytel ST801

4.2.1.1 Rozměrová stálost

Na všech zkušebních tělesech byly měřeny čtyři rozměry: tloušťka h , šířka zúžené rovnoběžné části b_1 , šířka konců b_2 a celková délka l_3 . Rozměry h a b_1 byly měřeny kalibrovaným mikrometrem ve třech bodech na zúžené rovnoběžné části zkušebního tělesa. Rozměry b_2 a l_3 byly měřeny digitálním posuvným měřidlem.

Naměřené hodnoty rozměrů pro vzorek Zytel ST801 jsou uvedeny v tab. 4 Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti měření na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 5 Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 6

Tab. 4 naměřené hodnoty rozměrů pro Zytel ST801 před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel ST801	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C
h [mm]	4,00 ± 0,01	4,01 ± 0,00	3,99 ± 0,01	4,01 ± 0,01	3,99 ± 0,01	4,01 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,01 ± 0,00	3,99 ± 0,01
b ₁ [mm]	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0
b ₂ [mm]	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0	19,9 ± 0,0
l ₃ [mm]	168,6 ± 0,1	167,7 ± 0,1	168,6 ± 0,1	167,8 ± 0,1	168,6 ± 0,1	167,7 ± 0,1	168,6 ± 0,1	167,8 ± 0,1	168,6 ± 0,1

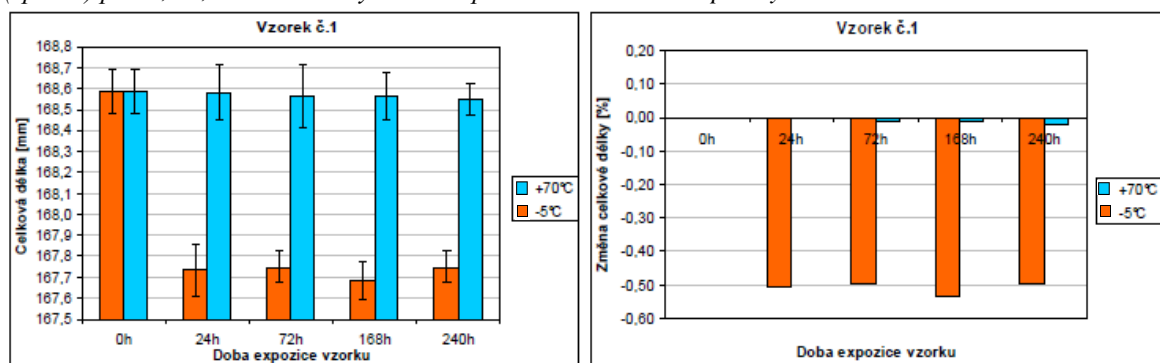
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 5 změna hodnot rozměrů pro Zytel ST801 (vzorek č.1) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel ST801	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C
Δl ₃ [%]	-	-0,51	0,00	-0,50	-0,01	-0,53	-0,01	-0,50	-0,02

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 6 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Zytel ST801



4.2.1.2 Tvrdość vtlačení kuličky

Tvrdość vtlačení kuličky byla měřena dle normy ČSN EN ISO 2039-1: Plasty – Stanovení tvrdosti – Část 1: Metoda vtlačení kuličky. Tvrdość vždy byla měřena pouze na tom konci zkušebního tělesa, na kterém bylo patrné místo vstřiku. Zkušební tělesa měla ve většině případů jednu plochou stranu rovnou a druhou prohnutou. Při měření tvrdosti byly vzorky pokládány na podložku jejich rovnou stranou a vpichy tak byly prováděny vždy na

prohnuté straně. Pokud by vzorky ležely na podložce prohnutou stranou, docházelo by k nepřesnostem měření díky pružení vzorku směrem k podložce.

Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené tvrdosti vtláčením kuličky H pro Zytel ST801 jsou uvedeny v tab. 6. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tvrdosti jsou uvedeny v tab. 7. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 7.

Tab. 6 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Zytel ST801 (vzorek č.1) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel ST801	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
F_m [N]	358	358	358	358	358	358	358	358	358
h [mm]	0,258 ± 0,005	0,252 ± 0,006	0,261 ± 0,005	0,253 ± 0,004	0,258 ± 0,007	0,247 ± 0,005	0,259 ± 0,009	0,247 ± 0,009	0,254 ± 0,004
H [N/mm ²]	87,7 ± 2,1	90,4 ± 2,4	86,8 ± 1,9	89,9 ± 1,8	87,8 ± 3,1	92,6 ± 2,0	87,7 ± 3,4	92,5 ± 3,9	89,5 ± 1,7

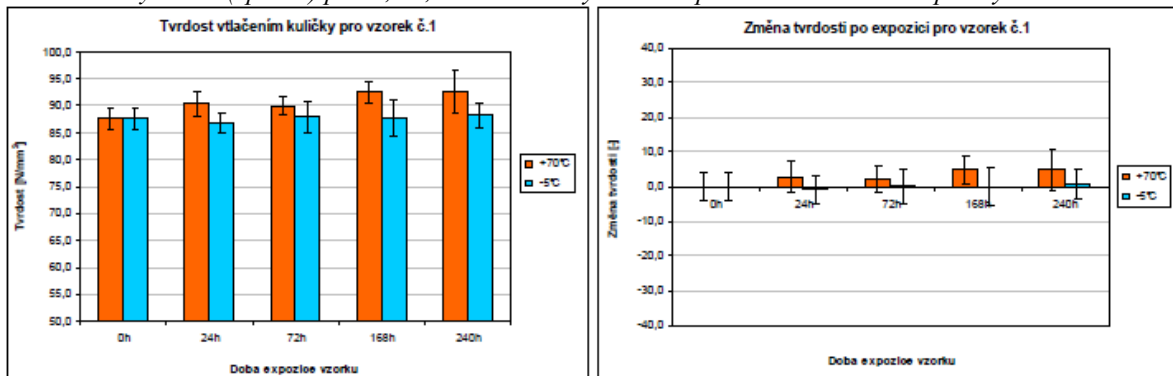
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 7 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Zytel ST801 (vzorek č.1) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel ST801	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔH [-]	0,0 ± 4,1	2,7 ± 4,4	-0,9 ± 4,0	2,2 ± 3,8	0,1 ± 5,1	4,9 ± 4,1	0,0 ± 5,4	4,8 ± 5,9	0,6 ± 4,3

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 7 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Zytel ST801



4.2.1.3 Tahové vlastnosti

Tahové vlastnosti byly měřeny dle normy ČSN EN ISO 527-2: Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty. Tahové vlastnosti byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu AGS-G s kapacitou siloměru 10kN nebo Dartec s kapacitou siloměru 250kN při zvolené rychlosti zkoušení. Zvolené podmínky měření (typ přístroje, rychlost zkoušení) byly dodržovány po celou dobu urychleného stárnutí určitého vzorku.

Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 8 Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 9. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 8 a obr. 9. Tahové vlastnosti vzorku Zytel ST801 byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 8 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Zytel ST801 před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel ST801	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	50	50	50	50	50	50	50	50	50
F _{max} [N]	2014,0 ± 11,7	1887,2 ± 19,7	1812,3 ± 7,2	2126,8 ± 8,6	2020,0 ± 17,0	2124,2 ± 16,6	2001,0 ± 22,2	2112,7 ± 11,0	1954,0 ± 98,9
σ _M [MPa]	50,3 ± 0,3	47,1 ± 0,5	45,3 ± 0,2	53,2 ± 0,2	50,5 ± 0,4	53,1 ± 0,4	50,0 ± 0,6	52,8 ± 0,3	48,8 ± 2,5
ε _M [%]	28,4 ± 3,5	25,6 ± 2,1	30,1 ± 3,5	22,6 ± 1,6	30,7 ± 4,2	23,9 ± 2,7	30,9 ± 2,5	23,3 ± 1,0	30,3 ± 1,1
F _{trh} [N]	1870,2 ± 138,0	159,0 ± 41,2	182,5 ± 33,0	358,0 ± 34,0	398,0 ± 153,5	1916,5 ± 191,6	1780,3 ± 155,0	1854,5 ± 186,7	1740,2 ± 240,6
σ _B [MPa]	46,8 ± 3,5	4,0 ± 1,0	4,6 ± 0,8	9,0 ± 0,9	10,0 ± 3,8	47,9 ± 4,8	44,5 ± 3,9	46,4 ± 4,7	43,5 ± 6,0
ε _B [%]	88,0 ± 7,5	64,5 ± 4,5	76,3 ± 5,2	60,7 ± 1,5	79,6 ± 6,1	55,5 ± 6,9	72,2 ± 13,5	54,4 ± 3,7	77,5 ± 11,3

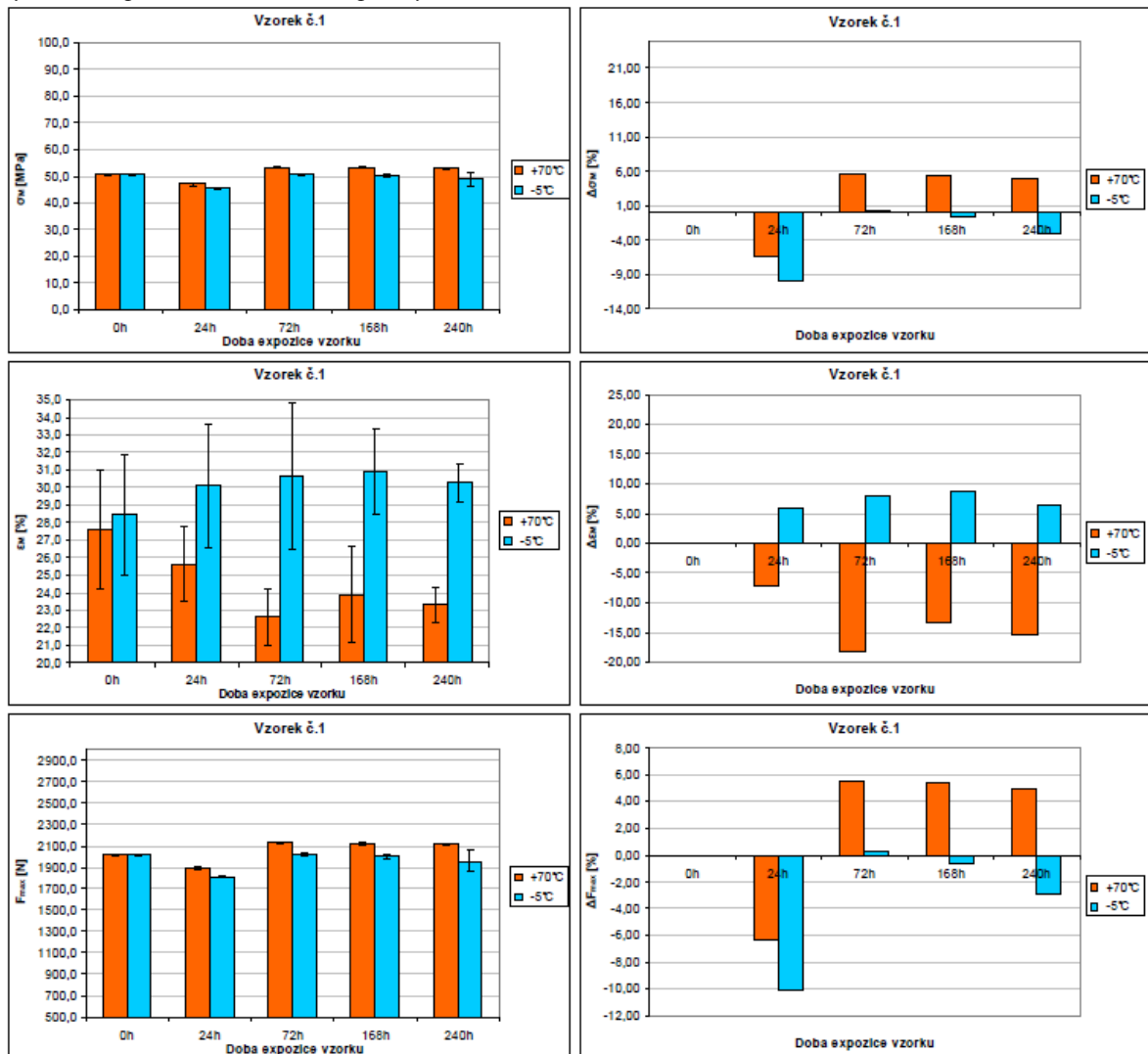
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 9 změna hodnot tahových vlastností pro Zytel ST801 (vzorek č.1) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

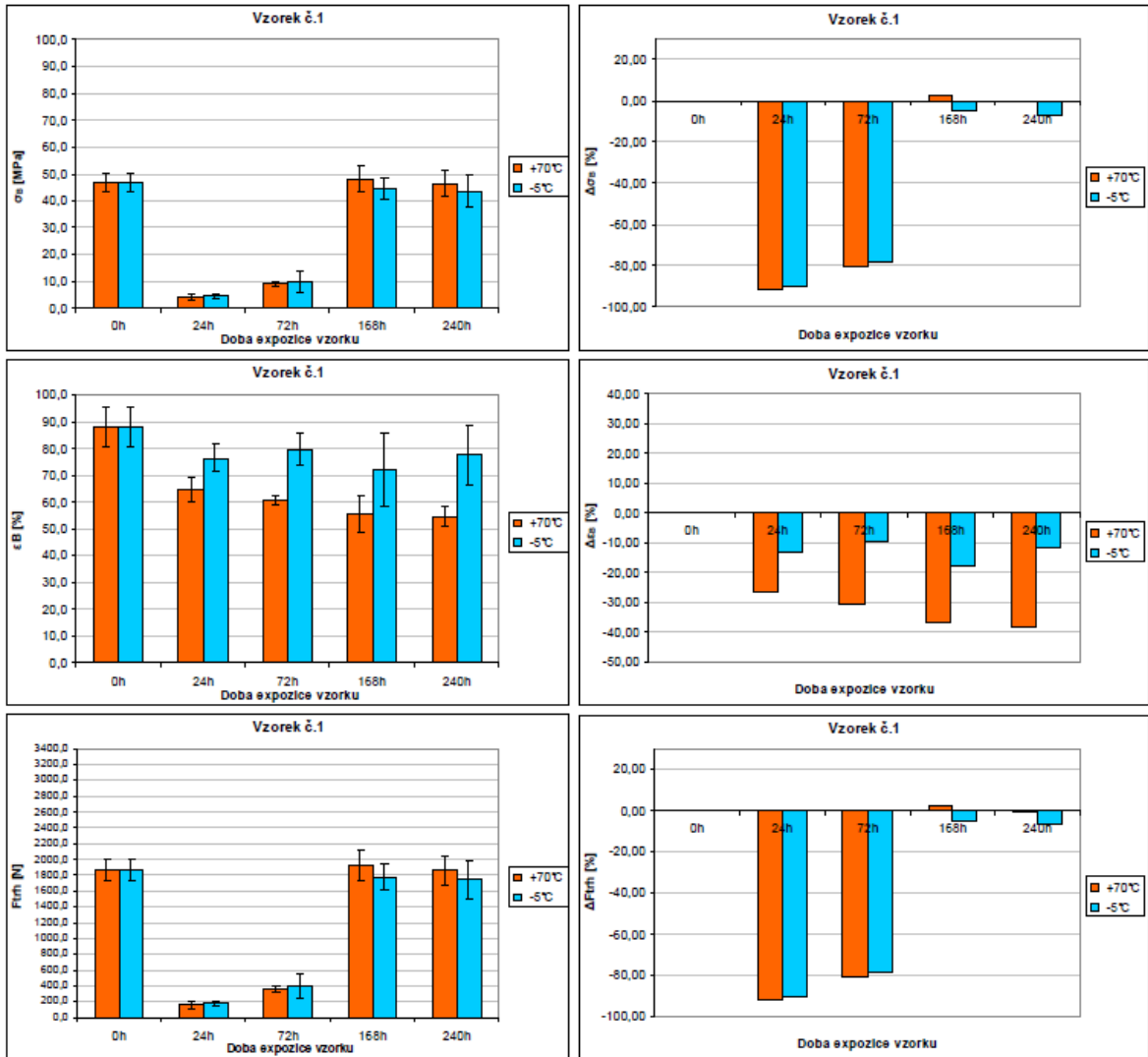
Zytel ST801	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	
ΔF_{max} [%]	-	-6,30	-10,02	5,60	0,30	5,47	-0,65	4,90	-2,98	
$\Delta \sigma_M$ [%]	-	-6,48	-9,97	5,60	0,31	5,46	-0,66	4,90	-2,98	
$\Delta \varepsilon_M$ [%]	-	-7,10	5,94	-18,11	7,93	-13,33	8,82	-15,52	6,52	
ΔF_{trh} [%]	-	-91,50	-90,24	-80,86	-78,72	2,48	-4,81	-0,84	-6,95	
$\Delta \sigma_B$ [%]	-	-91,52	-90,23	-80,85	-78,72	2,47	-4,82	-0,85	-6,95	
$\Delta \varepsilon_B$ [%]	-	-26,68	-13,28	-31,00	-9,47	-36,89	-17,96	-38,18	-11,93	

ΔF_{max} = změna maximální síly; $\Delta \sigma_M$ = změna meze pevnosti v tahu; $\Delta \varepsilon_M$ = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; $\Delta \sigma_B$ = změna napětí v tahu při přetržení; $\Delta \varepsilon_B$ = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 8 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta \delta_M$, $\Delta \varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Zytel ST801



Obr. 9 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení δ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\delta_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Zytel ST801



4.2.2 Vestakeep 4000G

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.2 Vestakeep 4000G

4.2.2.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů pro vzorek Vestakeep 4000G jsou uvedeny v tab. 10. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 11. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 10.

Tab. 10 naměřené hodnoty rozměrů pro Vestakeep 4000G (vzorek č.2) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Vestakeep 4000G	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	3,99 ± 0,01	3,98 ± 0,00	3,98 ± 0,01	3,97 ± 0,01	3,98 ± 0,01	3,98 ± 0,00	3,98 ± 0,00	3,98 ± 0,00	3,98 ± 0,01	
b ₁ [mm]	10,6 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	
b ₂ [mm]	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	
l ₃ [mm]	170,8 ± 0,1	170,7 ± 0,1	170,7 ± 0,1	170,7 ± 0,1	170,8 ± 0,1	170,7 ± 0,1	170,7 ± 0,1	170,7 ± 0,1	170,7 ± 0,1	

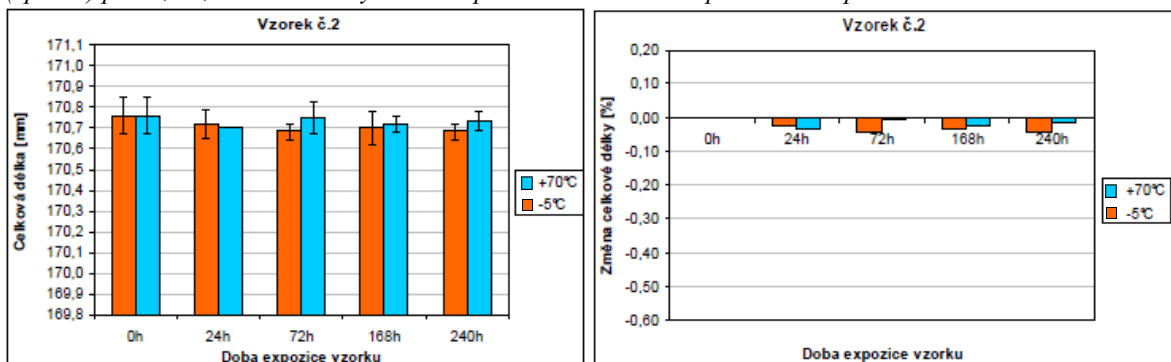
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 11 změna hodnot rozměrů pro Vestakeep 4000G (vzorek č.2) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Vestakeep 4000G	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	-0,03	-0,04	-0,04	-0,01	-0,04	-0,03	-0,04	-0,02	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 10 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Vestakeep 4000G



4.2.2.2 Tvrdość vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 12. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změny tvrdosti jsou uvedeny v tab. 13. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 11.

Tab. 12 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Vestakeep 4000G (vzorek č.2) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Vestakeep 4000G	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
F_m [N]	358	358	358	358	358	358	358	358	358
h [mm]	0,141 $\pm 0,004$	0,145 $\pm 0,005$	0,148 $\pm 0,008$	0,140 $\pm 0,005$	0,146 $\pm 0,004$	0,140 $\pm 0,005$	0,149 $\pm 0,006$	0,147 $\pm 0,006$	0,146 $\pm 0,005$
H [N/mm^2]	190,5 $\pm 7,9$	182,3 $\pm 8,8$	178,3 $\pm 12,4$	191,7 $\pm 8,6$	180,5 $\pm 7,3$	192,1 $\pm 9,4$	176,4 $\pm 9,4$	178,9 $\pm 9,5$	181,8 $\pm 8,4$

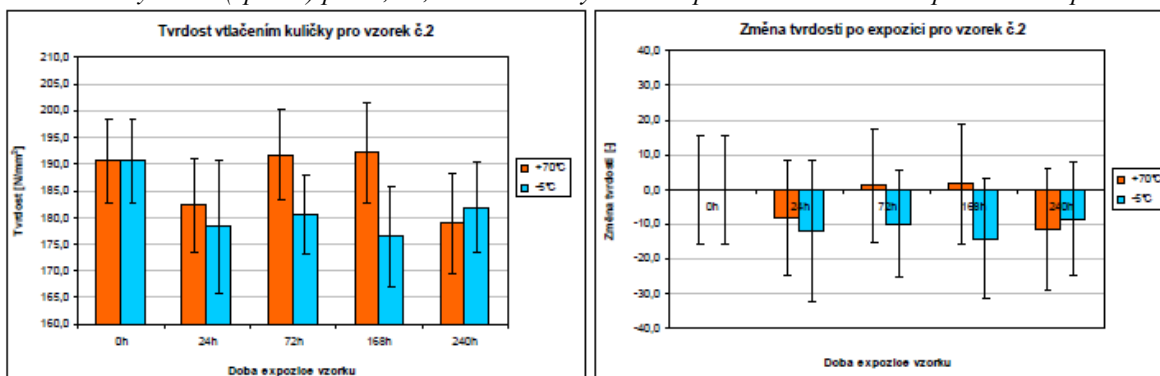
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 13 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Vestakeep 4000G (vzorek č.2) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Vestakeep 4000G	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
ΔH [-]	0,0 $\pm 15,8$	-8,2 $\pm 16,7$	-12,2 $\pm 20,3$	1,2 $\pm 16,5$	-10,0 $\pm 15,2$	1,6 $\pm 17,3$	-14,1 $\pm 17,3$	-11,6 $\pm 17,4$	-8,7 $\pm 16,3$

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 11 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Vestakeep 4000G



4.2.2.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 14. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 15. Grafické znázornění je uvedeno na obr. 12 a obr. 13. Tahové vlastnosti vzorku Vestakeep 4000G byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 14 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Vestakeep 4000G (vzorek č.2) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Vestakeep 4000G	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	50	50	50	50	50	50	50	50	50
F _{max} [N]	3804,8 ± 27,9	3772,8 ± 55,0	3729,6 ± 35,2	3870,8 ± 34,3	3880,6 ± 22,5	3798,3 ± 36,1	3778,7 ± 14,5	3810,8 ± 21,6	3778,3 ± 17,0
σ _M [MPa]	95,1 ± 0,7	89,0 ± 1,3	88,0 ± 0,8	96,8 ± 0,9	97,0 ± 0,6	94,9 ± 0,9	94,5 ± 0,4	95,3 ± 0,5	94,5 ± 0,4
ε _M [%]	5,0 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,0 ± 0,0	5,1 ± 0,0	5,2 ± 0,0	5,1 ± 0,0	5,2 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,0 ± 0,1
F _{trh} [N]	3118,0 ± 76,7	380,6 ± 30,7	389,5 ± 46,1	457,0 ± 38,7	528,5 ± 43,9	3054,8 ± 100,9	3039,0 ± 90,2	2990,8 ± 129,6	2996,8 ± 81,2
σ _B [MPa]	77,9 ± 1,9	9,0 ± 0,7	9,2 ± 1,1	11,4 ± 1,0	13,2 ± 1,1	76,4 ± 2,5	76,0 ± 2,2	74,8 ± 3,2	74,9 ± 2,0
ε _B [%]	21,3 ± 9,6	27,0 ± 9,4	29,5 ± 6,4	21,8 ± 2,2	24,5 ± 6,0	24,0 ± 9,6	27,1 ± 9,8	21,9 ± 2,8	18,8 ± 8,9

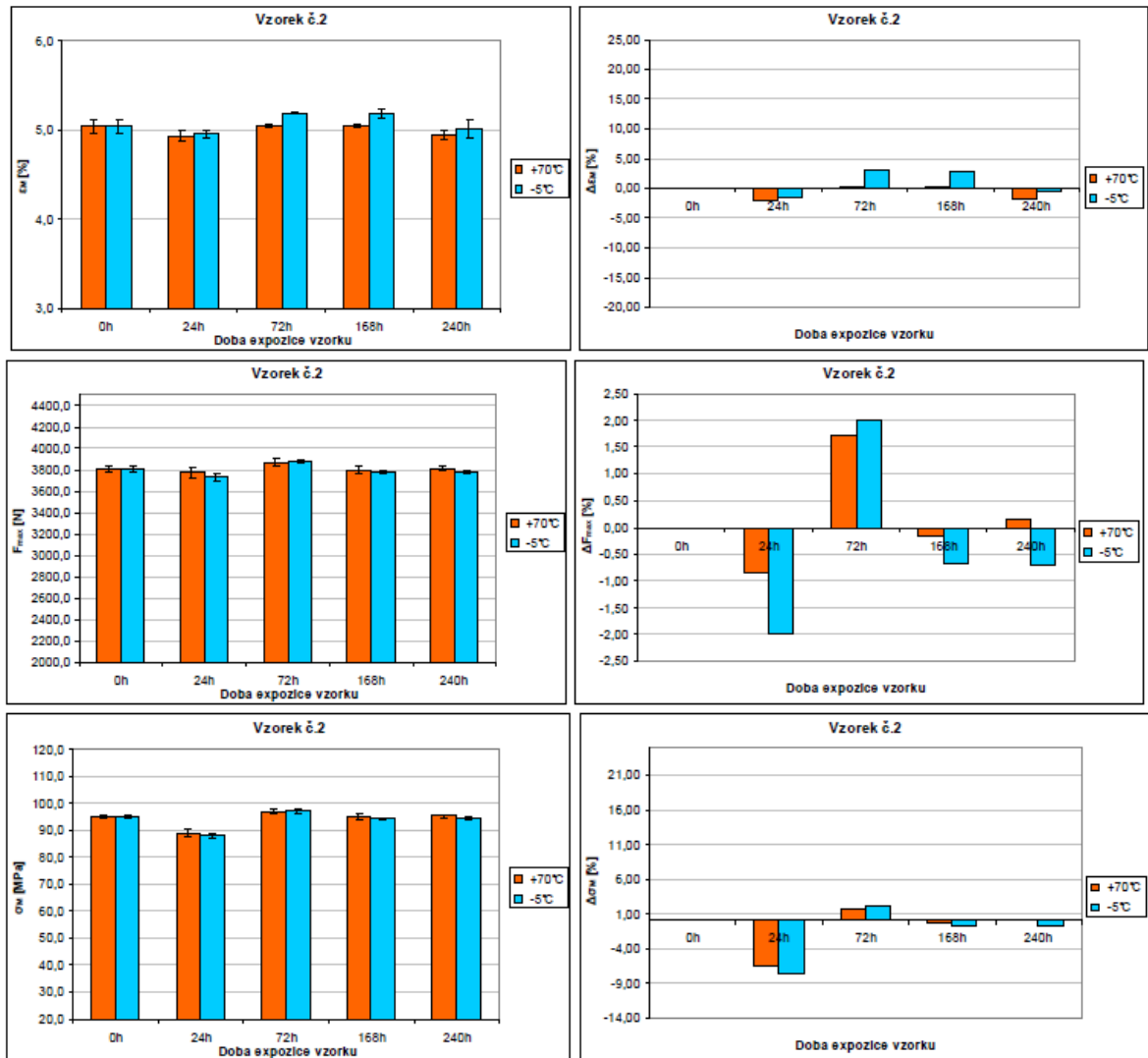
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 15 změna hodnot tahových vlastností pro Vestakeep 4000G (vzorek č.2) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

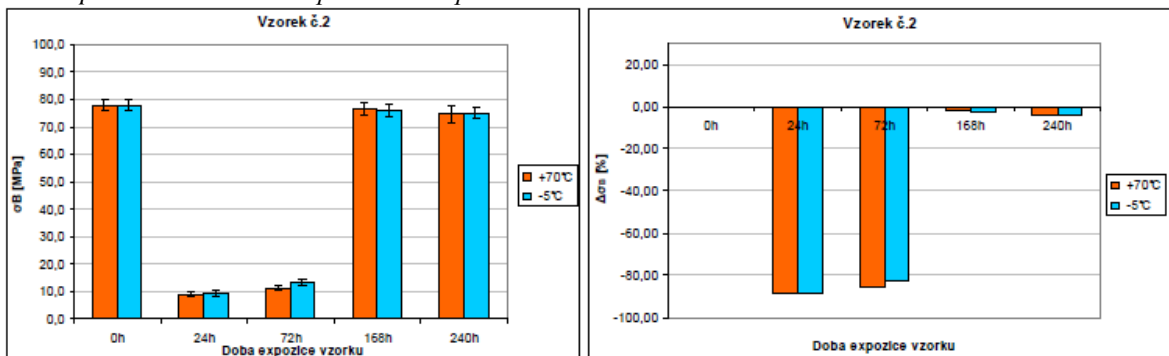
Vestakeep 4000G	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF _{max} [%]	-	-0,84	-1,98	1,73	1,99	-0,17	-0,69	0,16	-0,70
Δσ _M [%]	-	-6,46	-7,52	1,73	2,00	-0,18	-0,69	0,16	-0,69
Δε _M [%]	-	-2,17	-1,69	0,19	3,02	0,19	2,84	-1,89	-0,49
ΔF _{trh} [%]	-	-87,79	-87,51	-85,34	-83,05	-2,03	-2,53	-4,08	-3,89
Δσ _B [%]	-	-88,48	-88,21	-85,34	-83,05	-2,02	-2,52	-4,07	-3,87
Δε _B [%]	-	26,63	38,51	2,27	14,77	12,45	27,29	2,68	-11,97

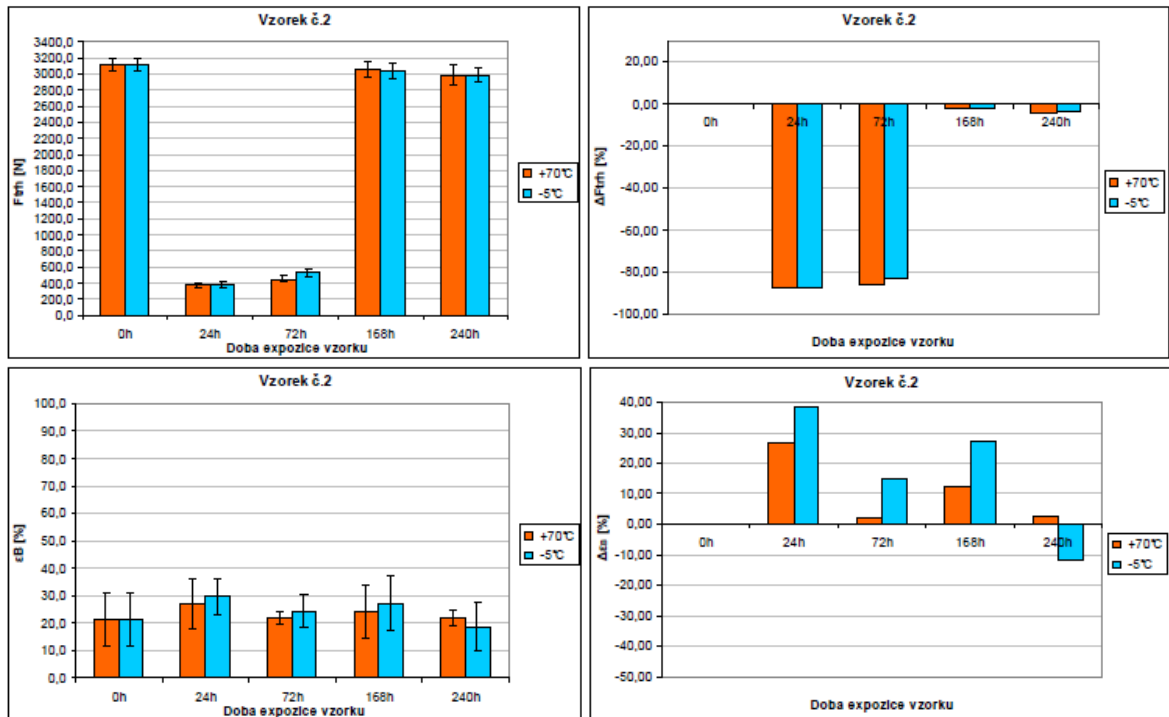
ΔF_{max} = změna maximální síly; Δσ_M = změna meze pevnosti v tahu; Δε_M = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; Δσ_B = změna napětí v tahu při přetržení; Δε_B = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 12 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta \delta_M$, $\Delta \varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Vestakeep 4000G



Obr. 13 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení δ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta \delta_B$, $\Delta \varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Vestakeep 4000G





4.2.3 Aquamid 66 G30

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.3 Aquamid 66 G30

4.2.3.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 16. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 17. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 14.

Tab. 16 naměřené hodnoty rozměrů pro AQUAMID 66 G30 (vzorek č.3) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

AQUAMID 66 G30	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C
h [mm]	4,02 $\pm 0,01$	4,09 $\pm 0,00$	4,02 $\pm 0,01$	4,02 $\pm 0,01$	4,06 $\pm 0,01$	4,00 $\pm 0,00$	4,03 $\pm 0,00$	4,00 $\pm 0,00$	4,01 $\pm 0,01$
b_1 [mm]	10,0 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$	10,0 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$	9,9 $\pm 0,0$
b_2 [mm]	20,1 $\pm 0,0$	20,1 $\pm 0,0$	20,1 $\pm 0,0$	20,0 $\pm 0,0$	20,1 $\pm 0,0$	20,1 $\pm 0,0$	20,1 $\pm 0,0$	20,0 $\pm 0,0$	20,1 $\pm 0,0$
l_3 [mm]	171,4 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$	171,5 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$	171,4 $\pm 0,1$

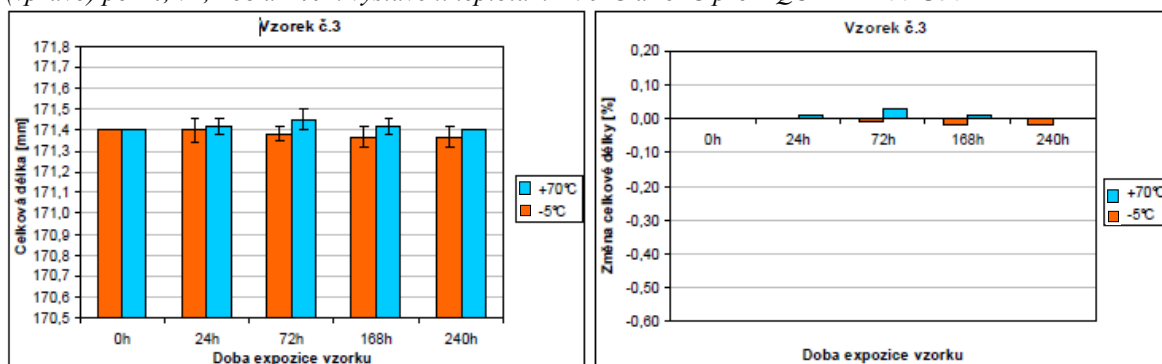
h = tloušťka; b_1 = šířka zúžené rovnoběžné části; b_2 = šířka konců; l_3 = celková délka

Tab.17 změna hodnot rozměrů pro AQUAMID 66 G30 (vzorek č.3) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

AQUAMID 66 G30	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C
Δl_3 [%]	-	0,00	0,01	-0,01	0,03	-0,02	0,01	-0,02	0,00

Δl_3 = změna celkové délky

Obr. 14 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro AQUAMID 66 G30



4.2.3.2 Tvrdost vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 18. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tvrdosti jsou uvedeny v tab. 19. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 15.

Tab. 18 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro AQUAMID 66 G30 (vzorek č.3) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

AQUAMID 66 G30	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
F_m [N]	961	961	961	961	961	961	961	961	961
h [mm]	0,273 $\pm 0,005$	0,284 $\pm 0,006$	0,274 $\pm 0,006$	0,269 $\pm 0,009$	0,271 $\pm 0,004$	0,279 $\pm 0,008$	0,274 $\pm 0,006$	0,272 $\pm 0,009$	0,276 $\pm 0,006$
H [N/mm ²]	220,3 $\pm 4,8$	211,0 $\pm 5,6$	219,4 $\pm 5,7$	224,6 $\pm 8,3$	222,4 $\pm 3,5$	215,0 $\pm 6,7$	219,9 $\pm 5,6$	221,8 $\pm 8,6$	218,1 $\pm 5,5$

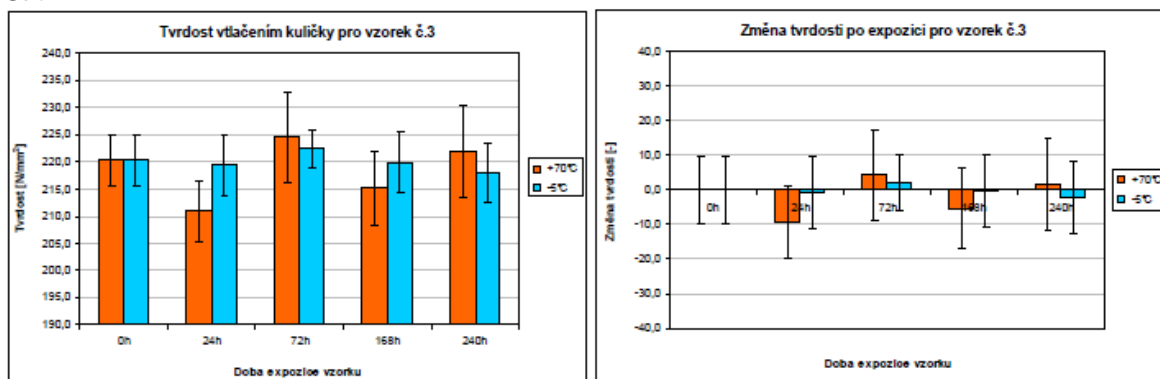
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 19 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro AQUAMID 66 G30 (vzorek č.3) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

AQUAMID 66 G30	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔH [-]	0,0	-9,3	-0,9	4,3	2,1	-5,3	-0,4	1,6	-2,2
	$\pm 9,7$	$\pm 10,5$	$\pm 10,6$	$\pm 13,2$	$\pm 8,3$	$\pm 11,5$	$\pm 10,4$	$\pm 13,4$	$\pm 10,4$

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 15 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro AQUAMID 66 G30



4.2.3.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 20. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 21. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 16 a obr. 17. Tahové vlastnosti vzorku Aquamid 66 G33 byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 20 naměřené hodnoty tahových vlastností pro AQUAMID 66 G30 (vzorek č.3) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

AQUAMID 66 G30	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
F_{\max} [N]	6902,8 ± 223,3	7541,0 ± 140,8	7180,0 ± 114,1	7453,5 ± 133,0	7286,5 ± 131,1	7478,4 ± 38,0	7157,8 ± 140,4	7502,8 ± 52,2	7177,0 ± 122,8
σ_M [MPa]	172,6 ± 5,6	188,5 ± 3,5	179,5 ± 2,9	186,3 ± 3,3	182,2 ± 3,3	187,0 ± 0,9	179,0 ± 3,5	187,6 ± 1,3	179,9 ± 4,0
ε_M [%]	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,0	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,6 ± 0,1	3,6 ± 0,1
F_{trh} [N]	6546,3 ± 802,6	7470,2 ± 221,1	6650,2 ± 530,5	7072,7 ± 762,8	6778,7 ± 961,7	7478,4 ± 38,0	7148,2 ± 137,0	7442,8 ± 151,2	7098,2 ± 224,2
σ_B [MPa]	163,7 ± 20,1	186,8 ± 5,5	166,3 ± 13,3	176,8 ± 19,1	169,5 ± 24,1	187,0 ± 0,9	178,7 ± 3,4	186,1 ± 3,8	177,5 ± 5,6
ε_B [%]	3,8 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,8 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,1	3,6 ± 0,1	3,6 ± 0,1

v = rychlost zkoušení; F_{\max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

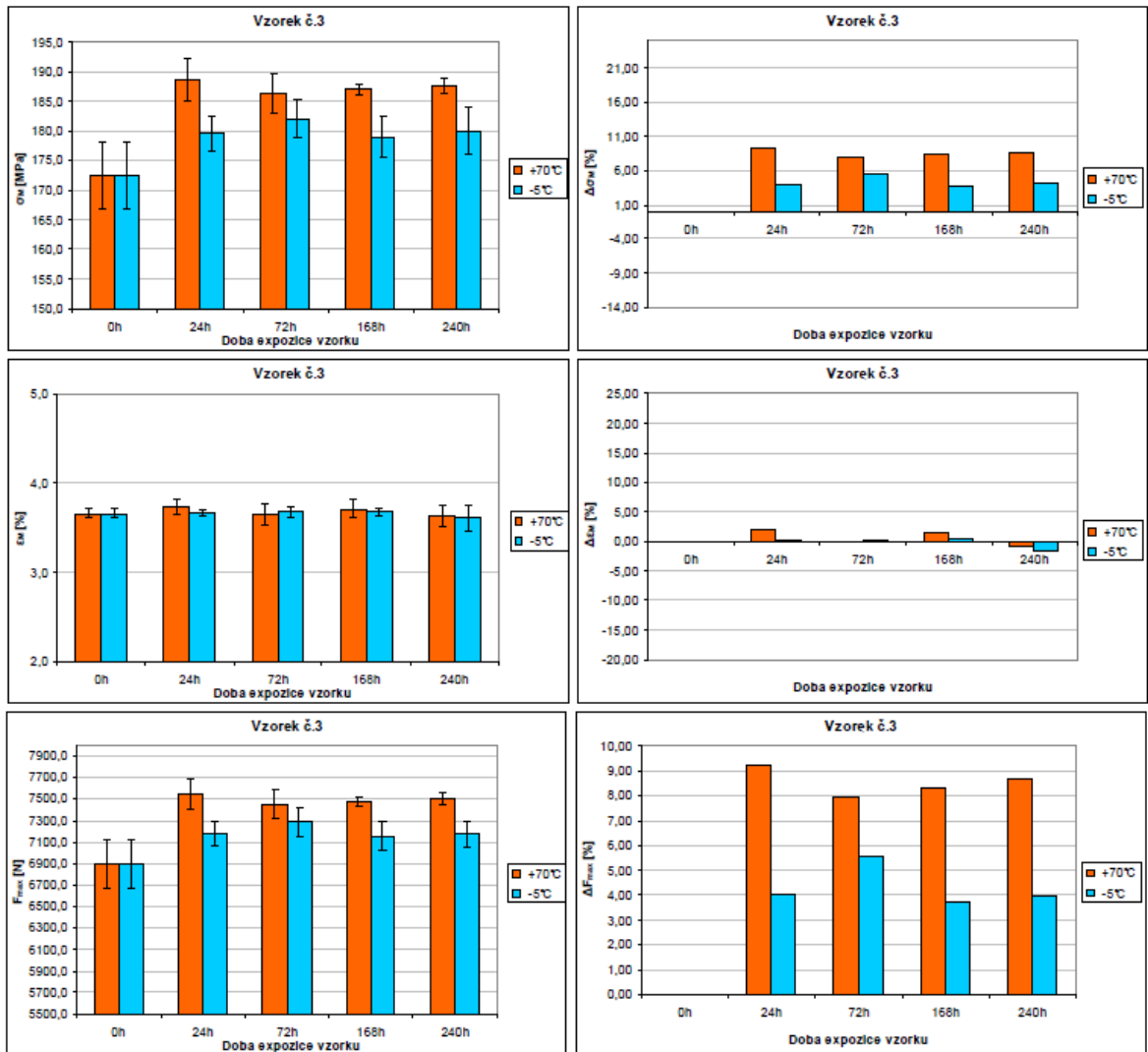
Tab. 21 změna hodnot tahových vlastností pro AQUAMID 66 G30 (vzorek č.3) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

AQUAMID 66 G30	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF_{\max} [%]	-	9,24	4,02	7,98	5,56	8,34	3,69	8,69	3,97
$\Delta \sigma_M$ [%]	-	9,27	4,04	7,99	5,57	8,36	3,71	8,71	4,28
$\Delta \varepsilon_M$ [%]	-	1,97	0,28	-0,21	0,34	1,33	0,52	-0,71	-1,53

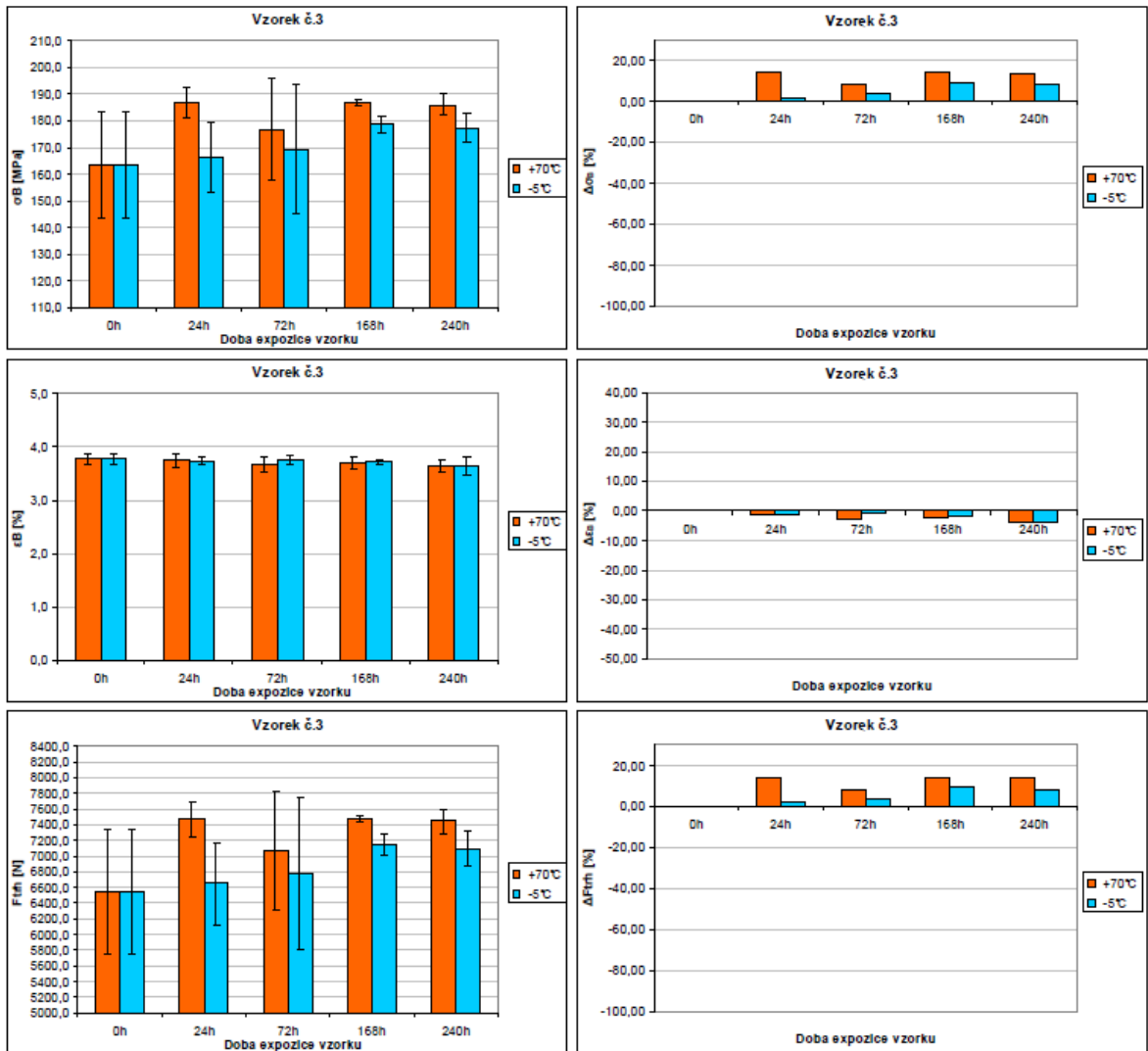
AQUAMID 66 G30	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF_{trh} [%]	-	14,11	1,59	8,04	3,55	14,24	9,19	13,69	8,43
$\Delta \sigma_B$ [%]	-	14,12	1,59	8,05	3,55	14,26	9,20	13,71	8,43
$\Delta \varepsilon_B$ [%]	-	-1,17	-1,18	-2,95	-0,74	-2,07	-1,94	-3,91	-3,89

ΔF_{\max} = změna maximální síly; $\Delta \sigma_M$ = změna meze pevnosti v tahu; $\Delta \varepsilon_M$ = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; $\Delta \sigma_B$ = změna napětí v tahu při přetržení; $\Delta \varepsilon_B$ = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 16 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Aquamid 66 G33



Obr. 17 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Aquamid 66 G33



4.2.4 Verton RV00 AES

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.4 Verton RV00 AES

4.2.4.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 22. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 23. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 18.

Tab. 22 naměřené hodnoty rozměrů pro Verton RV00 AES (vzorek č.4) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Verton RV00 AES	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	3,96 ± 0,01	3,97 ± 0,00	3,97 ± 0,01	3,97 ± 0,01	3,96 ± 0,01	3,96 ± 0,00	3,96 ± 0,00	3,95 ± 0,00	3,96 ± 0,01	
b ₁ [mm]	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	
b ₂ [mm]	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	
l ₃ [mm]	171,4 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,6 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,6 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,4 ± 0,1	

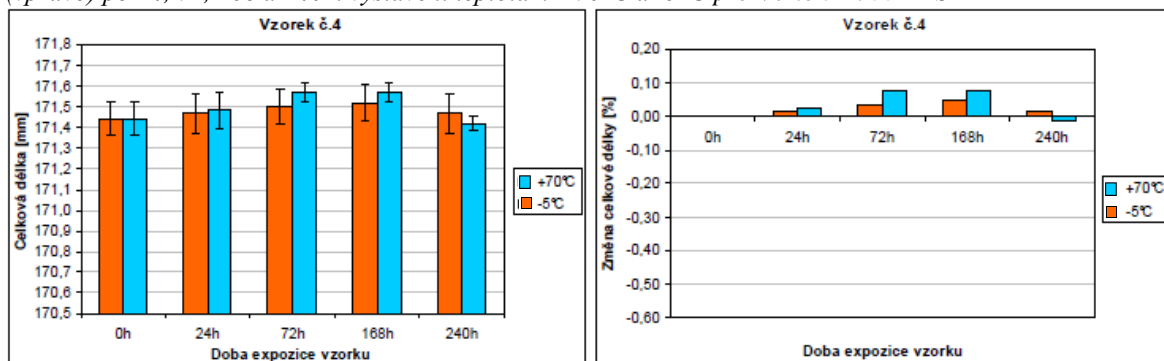
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 23 změna hodnot rozměrů pro Verton RV00 AES (vzorek č.4) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Verton RV00 AES	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	0,02	0,03	0,03	0,07	0,04	0,07	0,02	-0,01	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 18 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Verton RV00 AES



4.2.4.2 Tvrdość vřlačením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vřlačení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vřlačením kuličky H jsou uvedeny v tab. 24. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vřlačení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změny tvrdosti jsou uvedeny v tab. 25. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 19.

Tab. 24 naměřené hodnoty tvrdosti vřlačením kuličky pro Verton RV00 AES (vzorek č.4) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Verton RV00 AES	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
F_m [N]	961	961	961	961	961	961	961	961	961
h [mm]	0,238 $\pm 0,005$	0,241 $\pm 0,006$	0,243 $\pm 0,010$	0,231 $\pm 0,007$	0,232 $\pm 0,005$	0,225 $\pm 0,004$	0,231 $\pm 0,004$	0,224 $\pm 0,006$	0,234 $\pm 0,006$
H [N/mm^2]	260,1 $\pm 6,8$	255,4 $\pm 7,0$	253,2 $\pm 11,8$	270,1 $\pm 9,1$	267,7 $\pm 6,6$	278,0 $\pm 5,4$	269,9 $\pm 6,1$	279,5 $\pm 9,0$	265,0 $\pm 7,6$

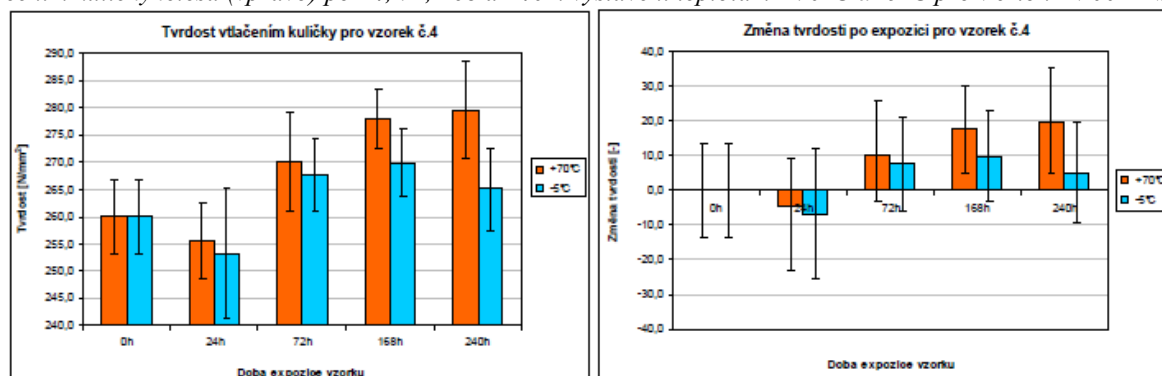
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vřlačení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vřlačením kuličky

Tab. 25 změna hodnot tvrdosti vřlačením kuličky pro Verton RV00 AES (vzorek č.4) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Verton RV00 AES	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
ΔH [-]	0,0 $\pm 13,6$	-4,6 $\pm 13,8$	-6,9 $\pm 18,6$	10,0 $\pm 15,9$	7,7 $\pm 13,4$	18,0 $\pm 12,2$	9,9 $\pm 12,9$	19,4 $\pm 15,8$	5,0 $\pm 14,4$

ΔH = změna tvrdost vřlačením kuličky

Obr. 19 graf naměřených hodnot tvrdosti vřlačením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vřlačením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Verton RV00 AES



4.2.4.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 26. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 27. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 20 a obr. 21. Tahové vlastnosti vzorku Vertron RV00 AES byly měřeny na zkušebním stroji Dartec.

Tab. 26 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Vertron RV00 AES (vzorek č.4) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Vertron RV00 AES	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
F _{max} [N]	8451,3 ± 98,0	9714,3 ± 127,0	9720,0 ± 78,1	10078,9 ± 151,1	10005,8 ± 120,6	10169,5 ± 133,3	9818,2 ± 72,4	10235,0 ± 89,5	9811,6 ± 56,4
σ _M [MPa]	211,3 ± 2,4	242,9 ± 3,2	243,0 ± 2,0	252,0 ± 3,8	250,1 ± 3,0	254,2 ± 3,3	245,5 ± 1,8	255,9 ± 2,2	245,3 ± 1,4
ε _M [%]	2,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,0	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,0	2,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1
F _{trh} [N]	8451,3 ± 98,0	9714,3 ± 127,0	9720,0 ± 78,1	10078,9 ± 151,1	10005,8 ± 120,6	10169,5 ± 133,3	9818,2 ± 72,4	10235,0 ± 89,5	9811,6 ± 56,4
σ _B [MPa]	211,3 ± 2,4	242,9 ± 3,2	243,0 ± 2,0	252,0 ± 3,8	250,1 ± 3,0	254,2 ± 3,3	245,5 ± 1,8	255,9 ± 2,2	245,3 ± 1,4
ε _B [%]	2,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,0	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,0	2,9 ± 0,1	2,8 ± 0,1

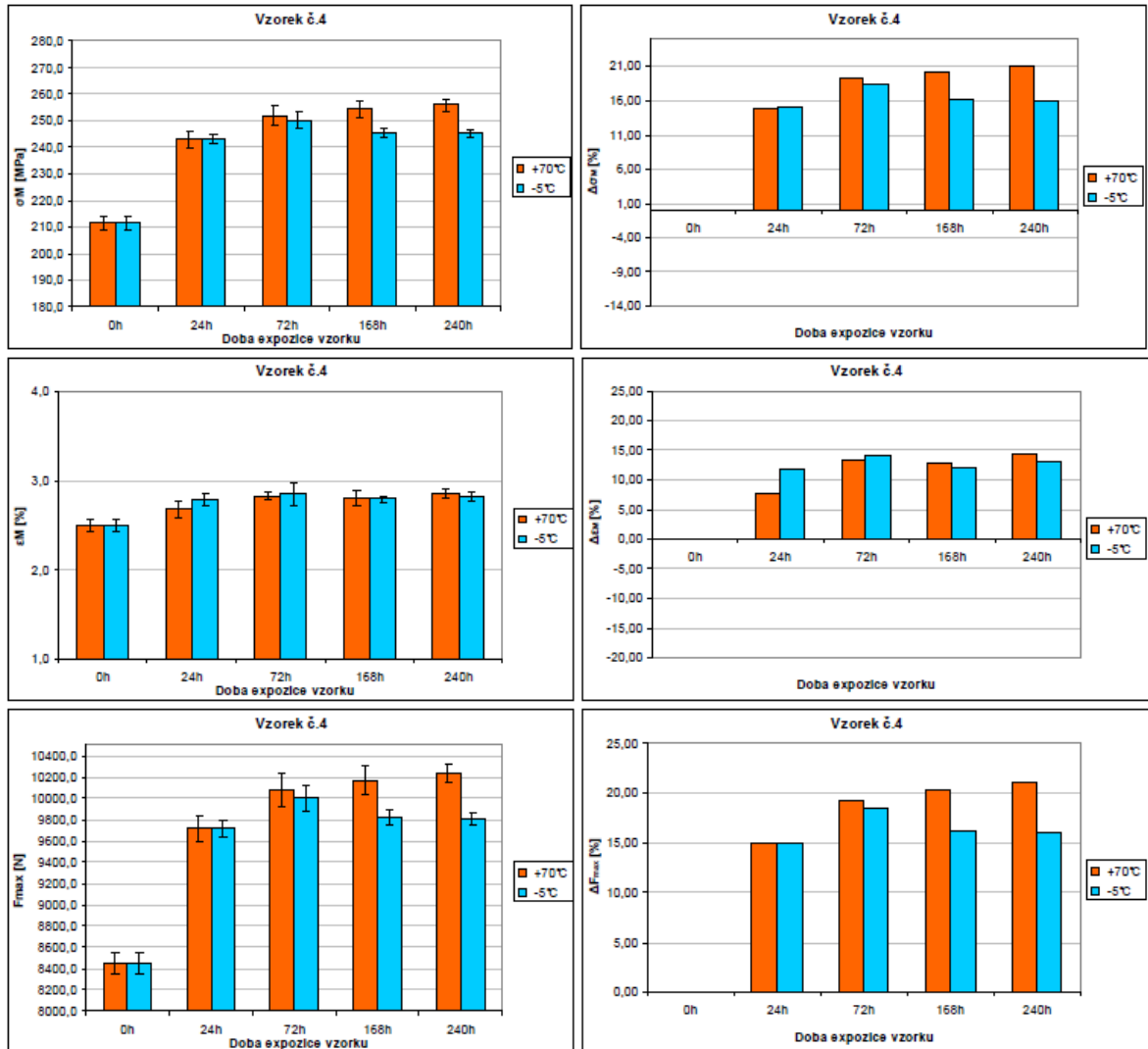
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 27 změna hodnot tahových vlastností pro Vertron RV00 AES (vzorek č.4) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

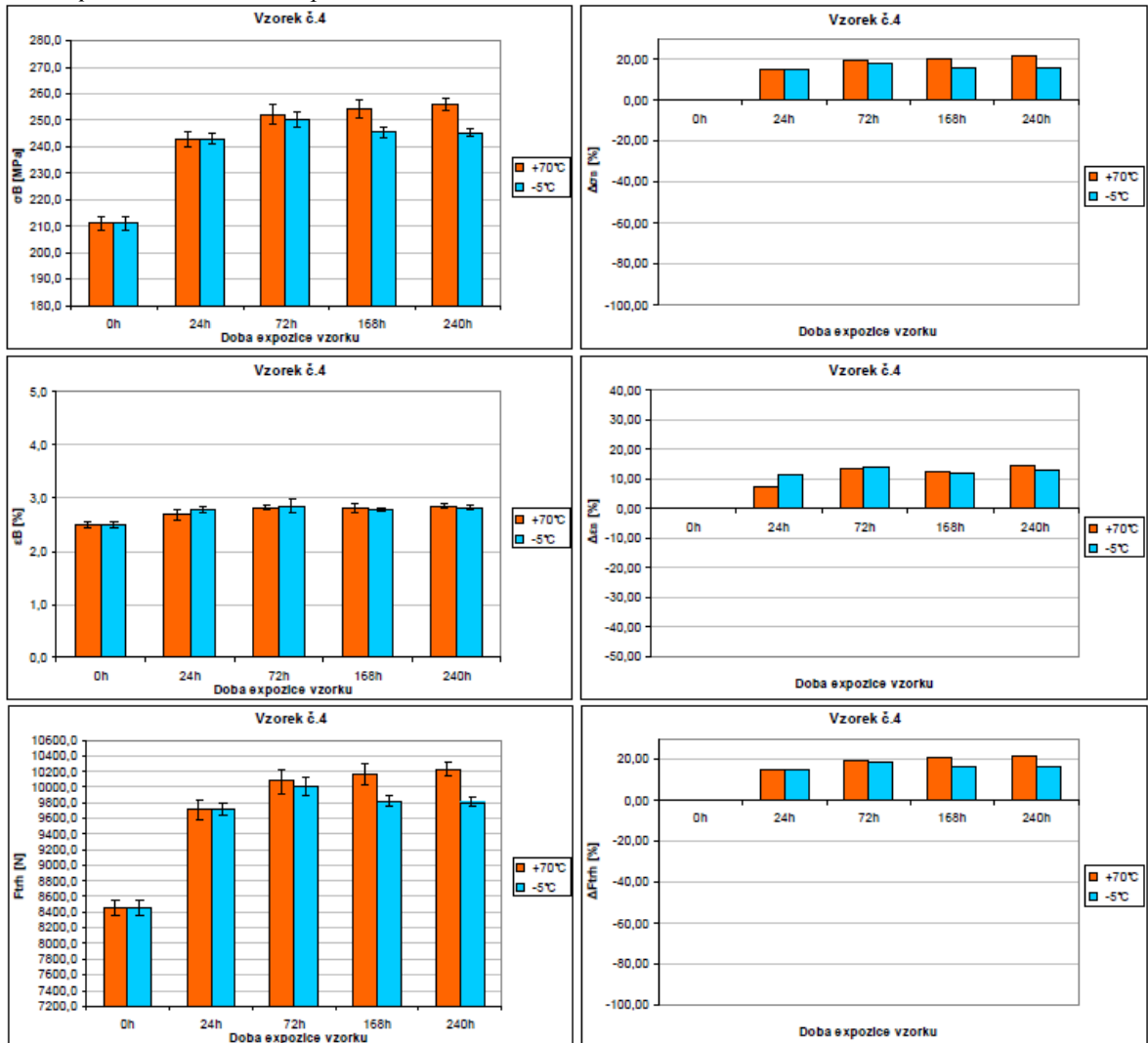
Vertron RV00 AES	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF _{max} [%]	-	14,94	15,01	19,26	18,39	20,33	16,17	21,11	16,10
Δσ _M [%]	-	14,94	15,01	19,26	18,39	20,33	16,17	21,11	16,10
Δε _M [%]	-	7,64	11,66	13,26	14,09	12,69	12,00	14,46	13,02
ΔF _{trh} [%]	-	14,94	15,01	19,26	18,39	20,33	16,17	21,11	16,10
Δσ _B [%]	-	14,94	15,01	19,26	18,39	20,33	16,17	21,11	16,10
Δε _B [%]	-	7,64	11,66	13,26	14,09	12,69	12,00	14,46	13,02

ΔF_{max} = změna maximální síly; Δσ_M = změna meze pevnosti v tahu; Δε_M = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; Δσ_B = změna napětí v tahu při přetržení; Δε_B = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 20 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Verton RV00 AES



Obr. 21 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení δ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\delta_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Verton RV00 AES



4.2.5 Derlin 100BK 602

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.5 Derlin 100BK 602

4.2.5.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 28. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 29. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 22.

Tab. 28 naměřené hodnoty rozměrů pro Derlin 100 BK 602 (vzorek č.5) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Derlin 100 BK 602	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	3,99 ± 0,01	3,99 ± 0,00	3,99 ± 0,01	3,99 ± 0,01	3,99 ± 0,01	3,99 ± 0,00	3,99 ± 0,00	4,00 ± 0,00	3,99 ± 0,01	
b ₁ [mm]	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	
b ₂ [mm]	19,8 ± 0,0	19,7 ± 0,0	19,7 ± 0,0	19,7 ± 0,0	19,7 ± 0,0	19,7 ± 0,0	19,8 ± 0,0	19,7 ± 0,0	19,8 ± 0,0	
l ₃ [mm]	167,6 ± 0,1	167,4 ± 0,1	167,7 ± 0,1	167,4 ± 0,1	167,7 ± 0,1	167,3 ± 0,1	167,7 ± 0,1	167,4 ± 0,1	167,7 ± 0,1	

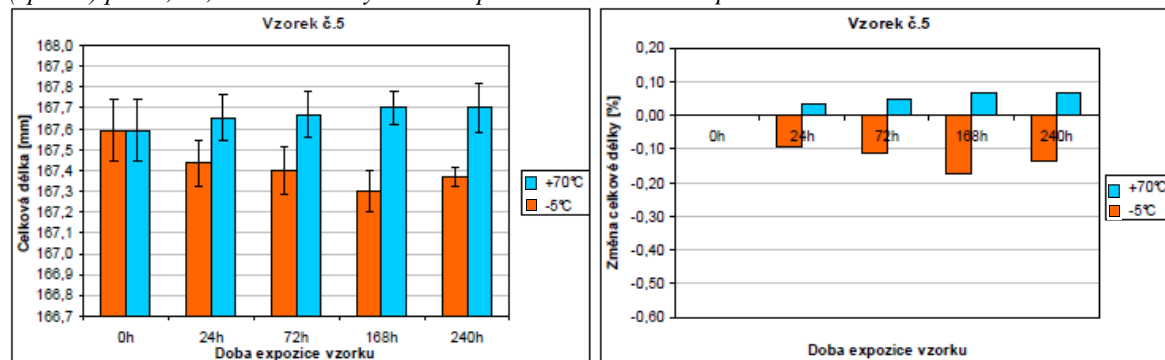
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 29 změna hodnot rozměrů pro Derlin 100 BK 602 (vzorek č.5) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Derlin 100 BK 602	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	-0,09	0,04	-0,11	0,05	-0,17	0,07	-0,13	0,07	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 22 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Derlin 100 BK 602



4.2.5.2 Tvrdość vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 30. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změny tvrdosti jsou uvedeny v tab. 31. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 23.

Tab. 30 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Derlin 100 BK 602 (vzorek č.5) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Derlin 100 BK 602	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
F_m [N]	358	358	358	358	358	358	358	358	358	358
h [mm]	0,162 $\pm 0,007$	0,156 $\pm 0,006$	0,160 $\pm 0,005$	0,157 $\pm 0,004$	0,158 $\pm 0,005$	0,173 $\pm 0,005$	0,167 $\pm 0,007$	0,162 $\pm 0,004$	0,168 $\pm 0,006$	0,168 $\pm 0,006$
H [N/mm^2]	157,0 $\pm 9,3$	165,1 $\pm 8,2$	159,6 $\pm 6,4$	163,7 $\pm 5,4$	162,6 $\pm 7,3$	144,6 $\pm 5,7$	151,6 $\pm 7,9$	156,7 $\pm 4,7$	149,7 $\pm 7,4$	149,7 $\pm 7,4$

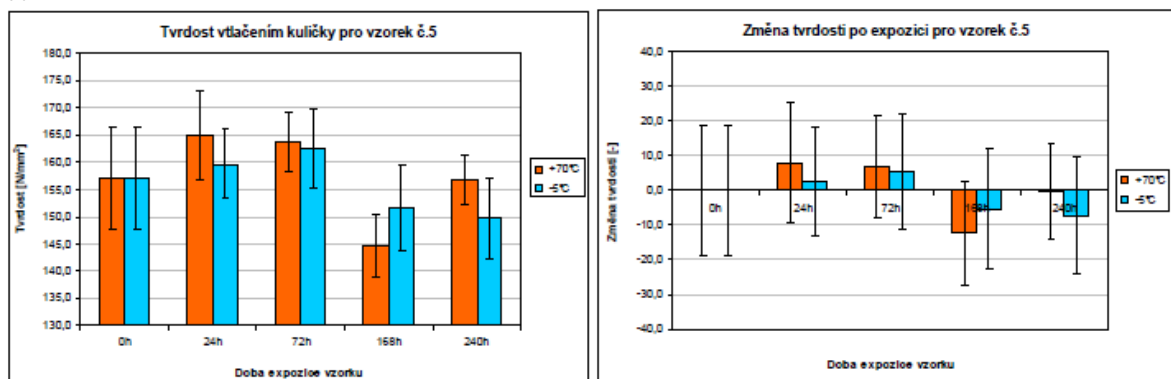
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 31 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Derlin 100 BK 602 (vzorek č.5) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Derlin 100 BK 602	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
ΔH [-]	0,0 $\pm 18,6$	8,0 $\pm 17,5$	2,6 $\pm 15,7$	6,7 $\pm 14,7$	5,5 $\pm 16,6$	-12,4 $\pm 15,0$	-5,4 $\pm 17,2$	-0,3 $\pm 14,0$	-7,3 $\pm 16,7$	-7,3 $\pm 16,7$

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 23 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Derlin 100 BK 602



4.2.5.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 32. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 33. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 24 a obr. 25. Tahové vlastnosti vzorku Derlin 100 BK 602 byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 32 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Derlin 100 BK 602 (vzorek č.5) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Derlin 100 BK 602	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
v [mm/min]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
F_{\max} [N]	3166,8 $\pm 32,9$	2899,3 $\pm 141,3$	2768,8 $\pm 8,5$	3236,8 $\pm 32,9$	3153,2 $\pm 25,2$	3212,8 $\pm 17,7$	3088,5 $\pm 18,8$	3201,8 $\pm 12,1$	3112,2 $\pm 26,2$	
σ_M [MPa]	79,2 $\pm 0,8$	72,5 $\pm 3,5$	69,2 $\pm 0,2$	80,9 $\pm 0,8$	78,8 $\pm 0,6$	80,3 $\pm 0,4$	77,2 $\pm 0,5$	80,0 $\pm 0,3$	77,8 $\pm 0,7$	
ε_M [%]	17,5 $\pm 1,2$	18,7 $\pm 1,6$	16,4 $\pm 0,7$	18,8 $\pm 1,6$	17,7 $\pm 0,8$	18,9 $\pm 1,8$	18,3 $\pm 0,5$	19,7 $\pm 1,2$	17,7 $\pm 0,2$	
F_{trh} [N]	2986,2 $\pm 187,3$	2828,7 $\pm 189,5$	2682,6 $\pm 156,4$	3194,5 $\pm xx$	3070,8 $\pm 109,4$	3169,8 $\pm 85,7$	2909,8 $\pm 286,6$	3148,7 $\pm 112,4$	3037,8 $\pm 69,2$	
σ_B [MPa]	74,6 $\pm 4,7$	70,7 $\pm 4,7$	67,1 $\pm 3,9$	79,9 $\pm 2,4$	76,8 $\pm 2,7$	79,2 $\pm 2,1$	72,7 $\pm 7,2$	78,7 $\pm 2,8$	75,9 $\pm 1,7$	
ε_B [%]	24,0 $\pm 5,4$	22,8 $\pm 5,1$	19,0 $\pm 2,7$	21,9 $\pm 3,8$	24,7 $\pm 3,0$	21,1 $\pm 3,8$	25,9 $\pm 1,4$	22,8 $\pm 3,5$	27,5 $\pm 3,3$	

v = rychlost zkoušení; F_{\max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

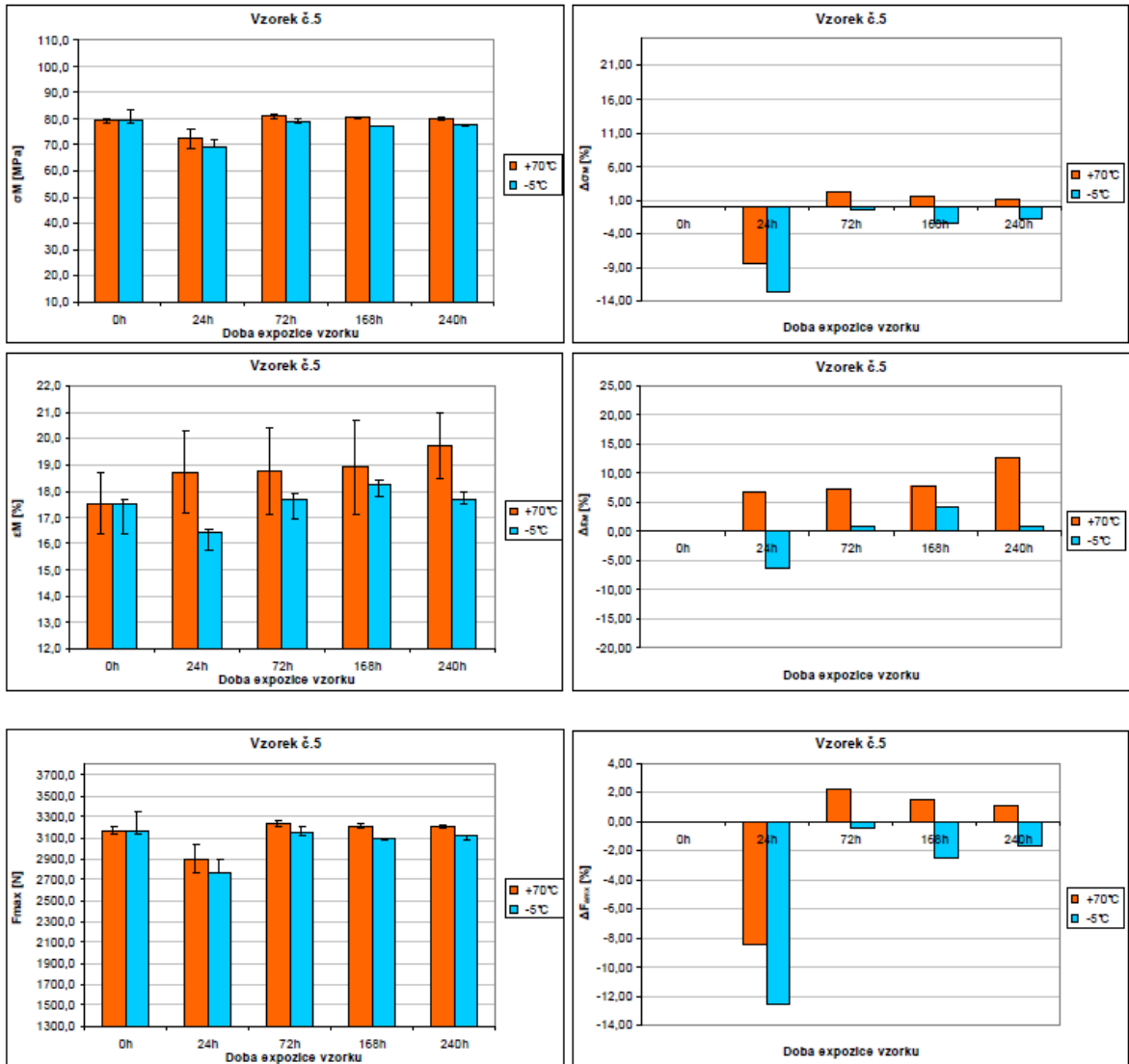
Tab. 33 změna hodnot tahových vlastností pro Derlin 100 BK 602 (vzorek č.5) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Derlin 100 BK 602	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
ΔF_{\max} [%]	-	-8,45	-12,57	2,21	-0,43	1,45	-2,47	1,11	-1,73	
$\Delta \sigma_M$ [%]	-	-8,45	-12,58	2,21	-0,44	1,44	-2,48	1,10	-1,73	
$\Delta \varepsilon_M$ [%]	-	6,82	-6,25	7,15	0,94	7,90	4,17	12,54	0,91	

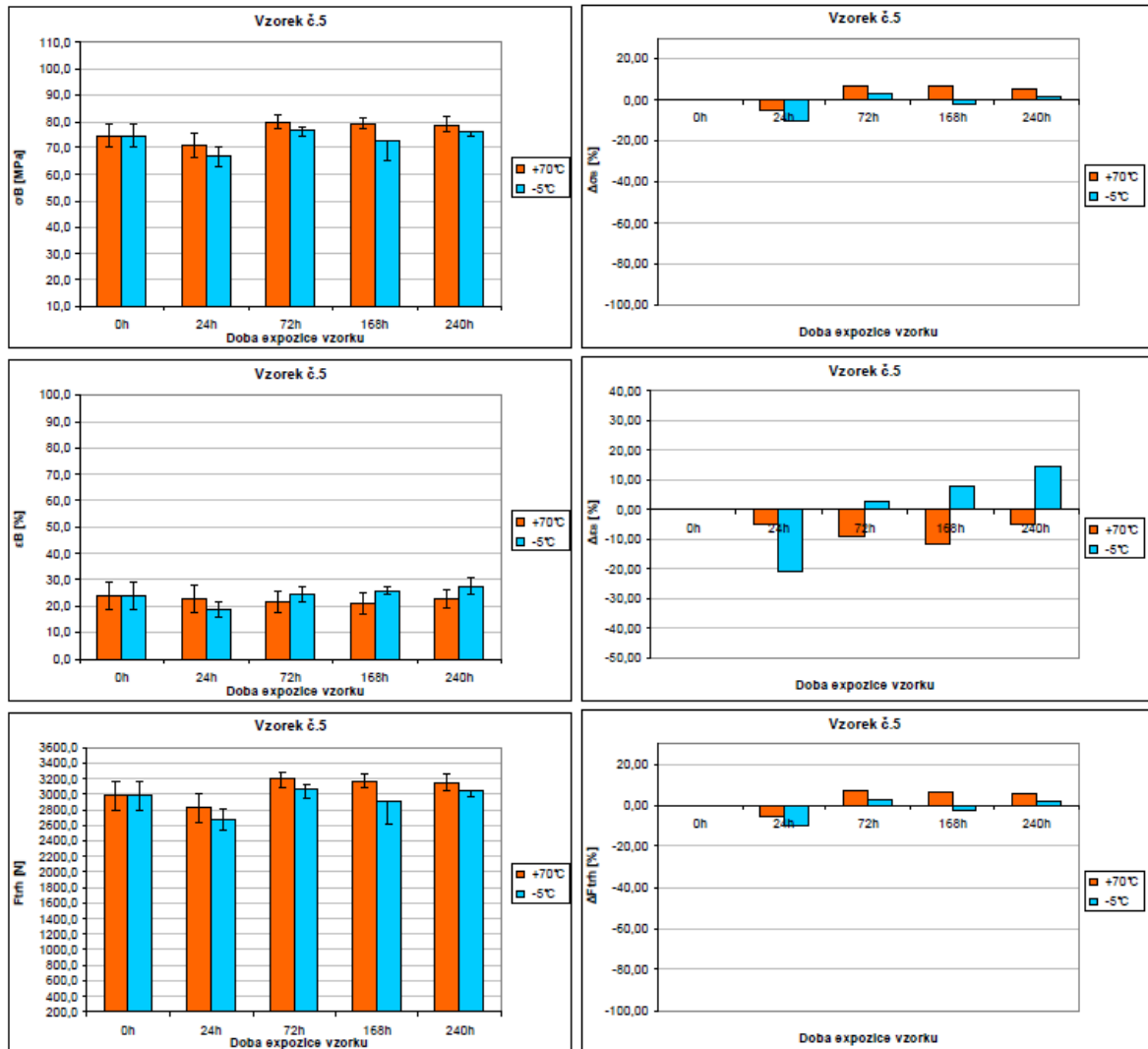
Derlin 100 BK 602	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
ΔF_{trh} [%]	-	-5,27	-10,17	6,98	2,84	6,15	-2,56	5,44	1,73	
$\Delta \sigma_B$ [%]	-	-5,28	-10,16	6,98	2,83	6,15	-2,55	5,44	1,73	
$\Delta \varepsilon_B$ [%]	-	-4,86	-20,89	-8,87	2,83	-11,93	7,91	-5,10	14,54	

ΔF_{\max} = změna maximální síly; $\Delta \sigma_M$ = změna meze pevnosti v tahu; $\Delta \varepsilon_M$ = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; $\Delta \sigma_B$ = změna napětí v tahu při přetržení; $\Delta \varepsilon_B$ = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 24 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Derlin 100 BK 602



Obr. 25 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Derlin 100 BK 602



4.2.6 Verton RV00 AESC BK 9001

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.6 Verton RV00 AESC BK9001

4.2.6.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 34. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 35. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 26.

Tab. 34 naměřené hodnoty rozměrů pro Verton RV00 AESC BK 9001 (vzorek č.6) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Verton RV00 AESC BK 9001	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	3,97 ± 0,01	3,97 ± 0,00	3,97 ± 0,01	3,97 ± 0,01	3,98 ± 0,01	3,97 ± 0,00	3,97 ± 0,00	3,97 ± 0,00	3,98 ± 0,01	
b ₁ [mm]	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0	10,0 ± 0,0	
b ₂ [mm]	20,1 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	
l ₃ [mm]	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,6 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,5 ± 0,1	171,6 ± 0,1	

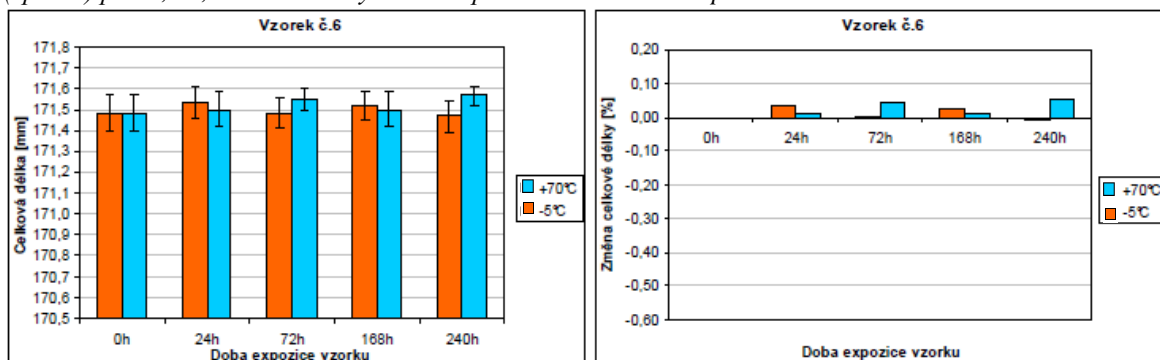
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 35 změna hodnot rozměrů pro Verton RV00 AESC BK 9001 (vzorek č.6) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Verton RV00 AESC BK 9001	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	0,03	0,01	0,00	0,04	0,02	0,01	-0,01	0,05	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 26 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Verton RV00 AESC BK 9001



4.2.6.2 Tvrdość vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 36. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změny tvrdosti jsou uvedeny v tab. 37. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 27.

Tab. 36 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Verton RV00 AESC BK 9001 (vzorek č.6) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Verton RV00 AESC BK 9001	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
F_m [N]	961	961	961	961	961	961	961	961	961
h [mm]	0,238 $\pm 0,005$	0,236 $\pm 0,004$	0,240 $\pm 0,004$	0,226 $\pm 0,004$	0,238 $\pm 0,006$	0,233 $\pm 0,007$	0,242 $\pm 0,004$	0,230 $\pm 0,005$	0,239 $\pm 0,003$
H [N/mm ²]	259,4 $\pm 6,8$	262,3 $\pm 5,7$	257,3 $\pm 5,3$	275,8 $\pm 6,2$	260,4 $\pm 7,4$	266,1 $\pm 9,0$	254,1 $\pm 5,8$	270,5 $\pm 6,4$	257,8 $\pm 3,7$

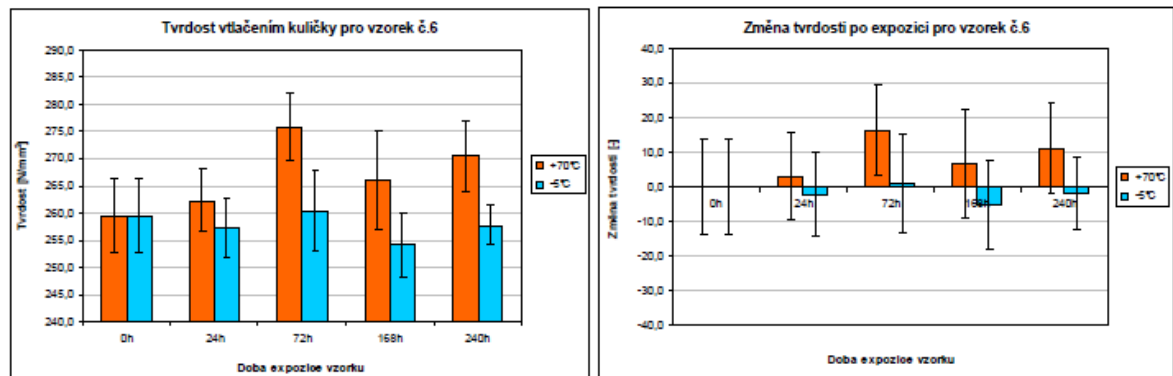
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 37 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Verton RV00 AESC BK 9001 (vzorek č.6) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Verton RV00 AESC BK 9001	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
ΔH [-]	0,0 $\pm 13,6$	2,9 $\pm 12,5$	-2,1 $\pm 12,1$	16,4 $\pm 13,0$	1,0 $\pm 14,2$	6,7 $\pm 15,8$	-5,3 $\pm 12,6$	11,1 $\pm 13,2$	-1,6 $\pm 10,5$

ΔH = změna tvrdosti vtláčením kuličky

Obr. 27 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Verton RV00 AESC BK 9001



4.2.6.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 38. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 39. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 28 a obr. 29. Tahové vlastnosti vzorku Verton RV00 AESC BK 9001 byly měřeny na zkušebním stroji Dartec.

Tab. 38 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Verton RV00 AESC BK 9001 (vzorek č.6) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Verton RV00 AESC BK 9001	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
F _{max} [N]	8411,5 ±174,7	10036 ±112,9	9967,7 ±120,0	10126,6 ±177,0	9923,1 ±43,6	10040,8 ±137,4	9975,6 ±0,0	9975,6 ±0,0	9975,6 ±0,0
σ _M [MPa]	210,3 ±4,4	250,9 ±2,8	249,2 ±3,0	253,2 ±4,4	248,1 ±1,1	251,0 ±3,4	249,4 ±0,0	249,4 ±0,0	249,4 ±0,0
ε _M [%]	2,4 ±0,1	2,5 ±0,0	2,7 ±0,1	2,5 ±0,1	2,6 ±0,2	2,7 ±0,1	2,7 ±0,2	3,0 ±0,2	2,6 ±0,3
F _{trh} [N]	8411,5 ±174,7	10036,6 ±112,9	9967,7 ±120,0	10126,6 ±177,0	9923,1 ±43,6	10040,8 ±137,4	9975,6 ±0,0	9975,6 ±0,0	9975,6 ±0,0
σ _B [MPa]	210,3 ±4,4	250,9 ±2,8	249,2 ±3,0	253,2 ±4,4	248,1 ±1,1	251,0 ±3,4	249,4 ±0,0	249,4 ±0,0	249,4 ±0,0
ε _B [%]	2,4 ±0,1	2,5 ±0,0	2,7 ±0,1	2,5 ±0,1	2,6 ±0,2	2,7 ±0,1	2,7 ±0,2	3,0 ±0,2	2,6 ±0,3

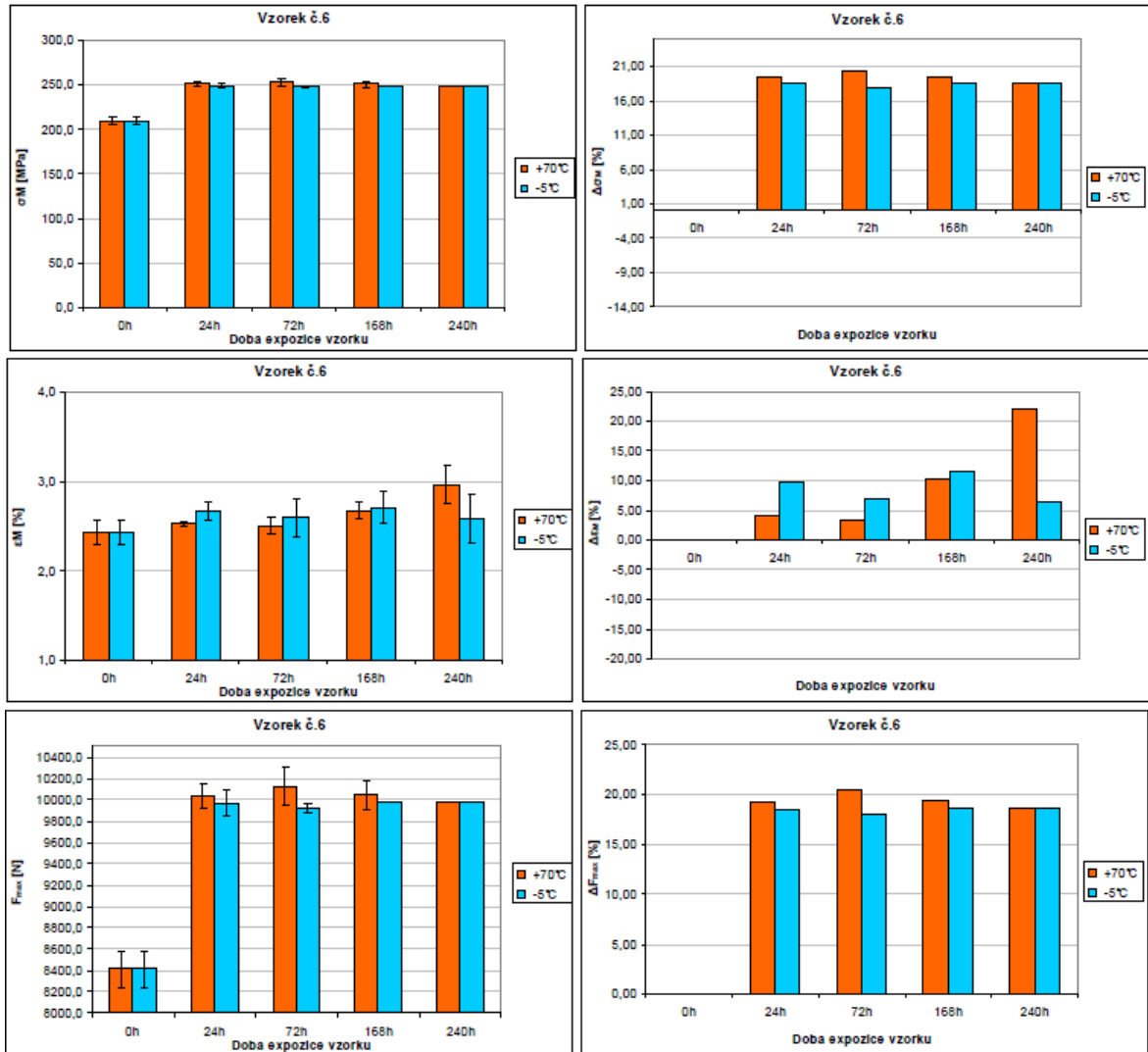
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 39 změna hodnot tahových vlastností pro Verton RV00 AESC BK 9001 (vzorek č.6) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

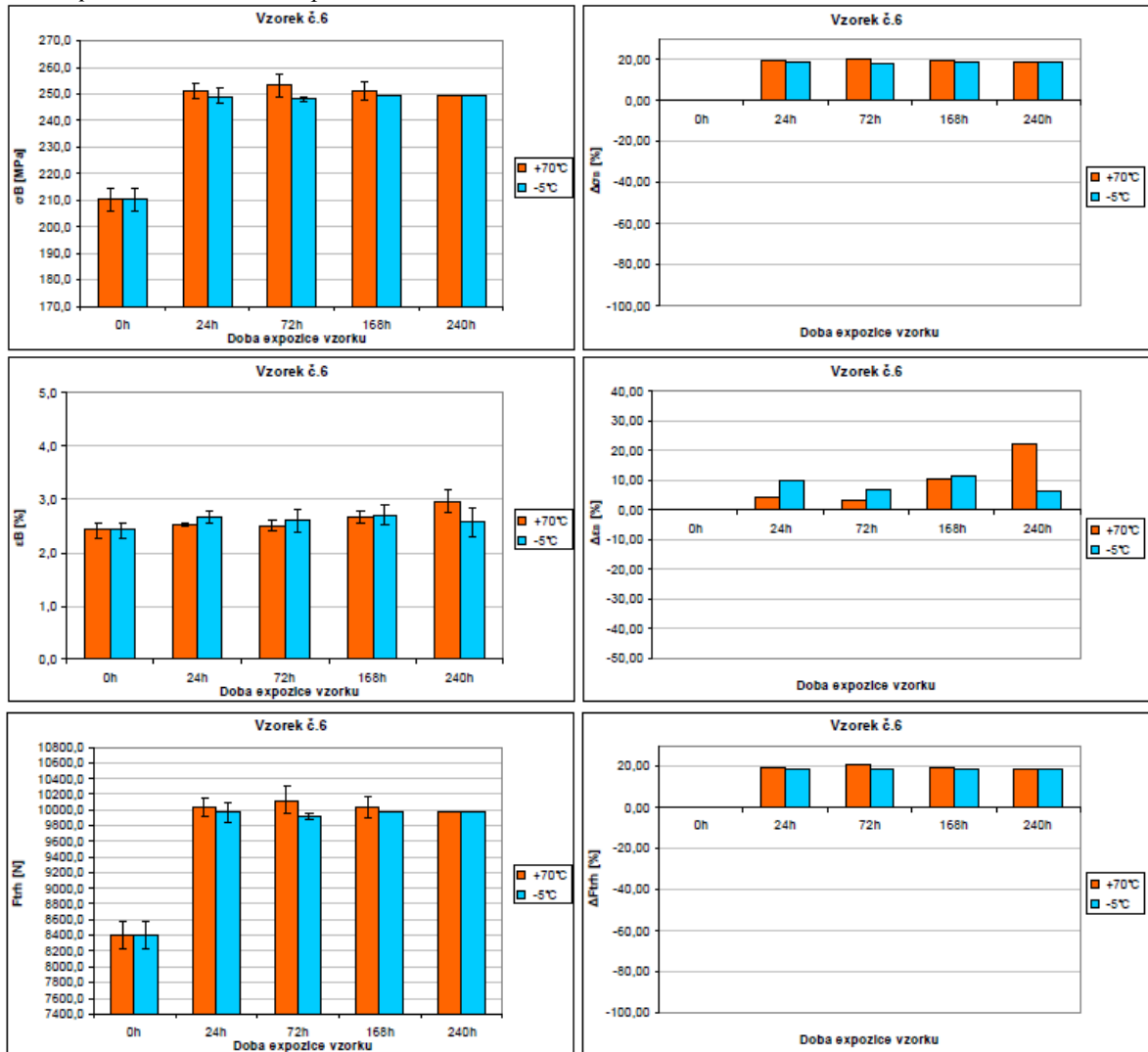
Verton RV00 AESC BK 9001	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF _{max} [%]	-	19,32	18,50	20,39	17,97	19,37	18,59	18,59	18,59
Δσ _M [%]	-	19,32	18,50	20,39	17,97	19,37	18,59	18,59	18,59
Δε _M [%]	-	4,12	9,85	3,35	6,94	10,36	11,52	22,13	6,39
ΔF _{trh} [%]	-	19,32	18,50	20,39	17,97	19,37	18,59	18,59	18,59
Δσ _B [%]	-	19,32	18,50	20,39	17,97	19,37	18,59	18,59	18,59
Δε _B [%]	-	4,12	9,85	3,35	6,94	10,36	11,52	22,13	6,39

ΔF_{max} = změna maximální síly; Δσ_M = změna meze pevnosti v tahu; Δε_M = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; Δσ_B = změna napětí v tahu při přetržení; Δε_B = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 28 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Verton RV00 AESC BK 9001



Obr. 29 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Verton RV00 AESC BK 9001



4.2.7 Lexan EXL 1434T

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.7 Lexan EXL 1434T

4.2.7.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 40. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 41. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 30.

Tab. 40 naměřené hodnoty rozměrů pro Lexan EXL 1434T (vzorek č.7) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Lexan EXL 1434T	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	4,01 ± 0,01	4,02 ± 0,01	4,02 ± 0,01	4,02 ± 0,01	4,02 ± 0,00	4,02 ± 0,01	4,01 ± 0,00	4,01 ± 0,00	4,02 ± 0,01	
b ₁ [mm]	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	10,1 ± 0,0	
b ₂ [mm]	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	
l ₃ [mm]	170,5 ± 0,1	170,5 ± 0,0	170,5 ± 0,0	170,5 ± 0,0	170,5 ± 0,0	170,4 ± 0,0	170,5 ± 0,1	170,4 ± 0,0	170,5 ± 0,0	

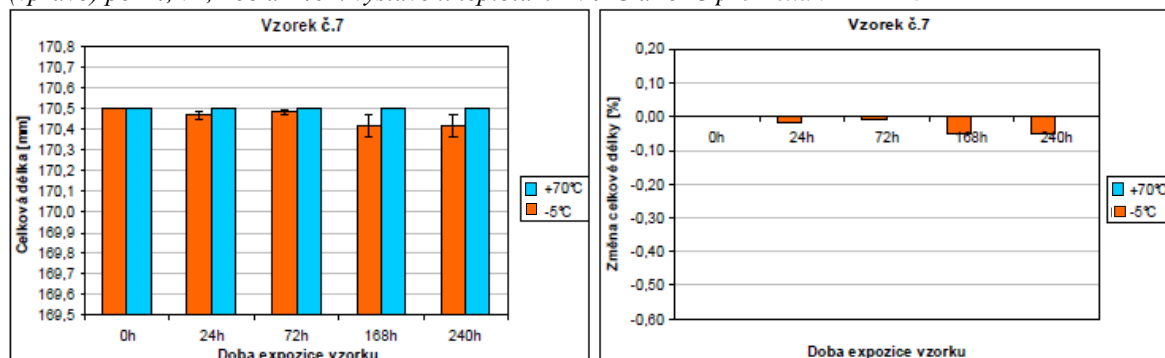
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 41 změna hodnot rozměrů pro Lexan EXL 1434T (vzorek č.7) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Lexan EXL 1434T	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	-0,02	0,00	-0,01	0,00	-0,05	0,00	-0,05	0,00	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 30 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Lexan EXL 1434T



4.2.7.2 Tvrdość vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 42. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změny tvrdosti jsou uvedeny v tab. 43. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 31.

Tab. 42 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Lexan EXL 1434T (vzorek č.7) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Lexan EXL 1434T	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
			$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$
F_m [N]	358	358	358	358	358	358	358	358	358
h [mm]	0,220 $\pm 0,004$	0,220 $\pm 0,003$	0,221 $\pm 0,005$	0,215 $\pm 0,004$	0,217 $\pm 0,003$	0,210 $\pm 0,004$	0,215 $\pm 0,004$	0,213 $\pm 0,004$	0,220 $\pm 0,003$
H [N/mm^2]	106,4 $\pm 2,5$	106,2 $\pm 2,0$	105,8 $\pm 3,1$	109,6 $\pm 2,5$	108,4 $\pm 2,1$	112,8 $\pm 2,6$	109,4 $\pm 2,3$	110,7 $\pm 2,8$	106,5 $\pm 2,0$

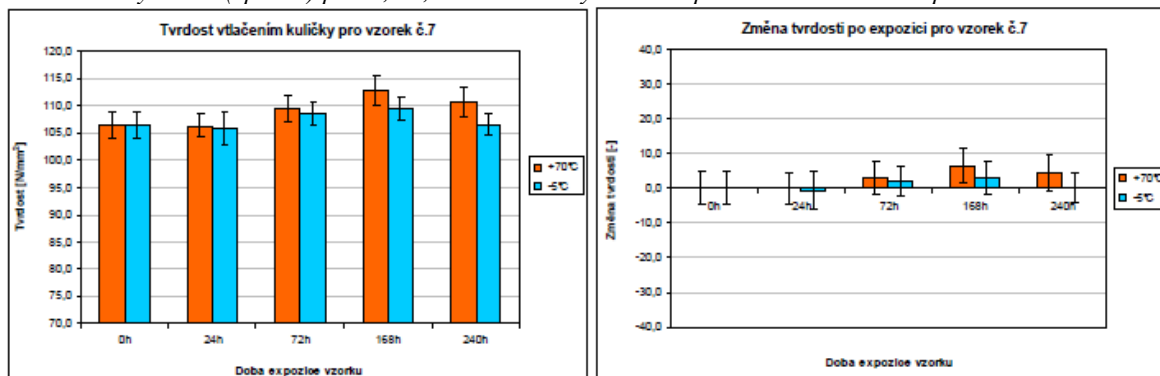
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 43 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Lexan EXL 1434T (vzorek č.7) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Lexan EXL 1434T	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
			$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$
ΔH [-]	0,0 $\pm 4,9$	-0,2 $\pm 4,5$	-0,6 $\pm 5,5$	3,1 $\pm 4,9$	2,0 $\pm 4,5$	6,4 $\pm 5,0$	3,0 $\pm 4,7$	4,3 $\pm 5,3$	0,1 $\pm 4,5$

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 31 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Lexan EXL 1434T



4.2.7.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 44. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 45. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 32 a obr. 33. Tahové vlastnosti vzorku Lexan EXL 1434T byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 44 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Lexan EXL 1434T (vzorek č.7) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Lexan EXL 1434T	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	
v [mm/min]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
F _{max} [N]	2298,5 ± 7,2	2356,0 ± 4,1	2292,4 ± 12,0	2430,5 ± 3,1	2297,7 ± 9,3	2415,8 ± 10,8	2332,7 ± 7,8	2450,3 ± 10,6	2351,5 ± 5,8	
σ _M [MPa]	216,8 ± 0,7	222,3 ± 0,4	216,2 ± 1,1	229,3 ± 0,3	216,8 ± 0,9	227,9 ± 1,0	220,0 ± 0,7	231,2 ± 1,0	221,8 ± 0,5	
ε _M [%]	5,0 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	4,7 ± 0,1	5,1 ± 0,1	4,7 ± 0,0	5,1 ± 0,1	
F _{trh} [N]	1882,0 ± 109,4	1892,8 ± 144,3	1864,8 ± 34,0	1883,2 ± 53,5	1772,8 ± 63,1	1468,5 ± 351,0	1829,8 ± 46,0	1183,0 ± 364,5	1599,8 ± 302,6	
σ _B [MPa]	177,5 ± 10,3	178,5 ± 13,6	175,9 ± 3,2	177,6 ± 5,1	167,2 ± 6,0	138,5 ± 33,1	172,6 ± 4,3	111,6 ± 34,4	150,9 ± 28,5	
ε _B [%]	58,8 ± 23,8	56,5 ± 29,0	68,5 ± 10,5	47,3 ± 23,4	40,6 ± 19,9	59,0 ± 16,6	37,6 ± 21,4	48,4 ± 17,9	64,5 ± 14,0	

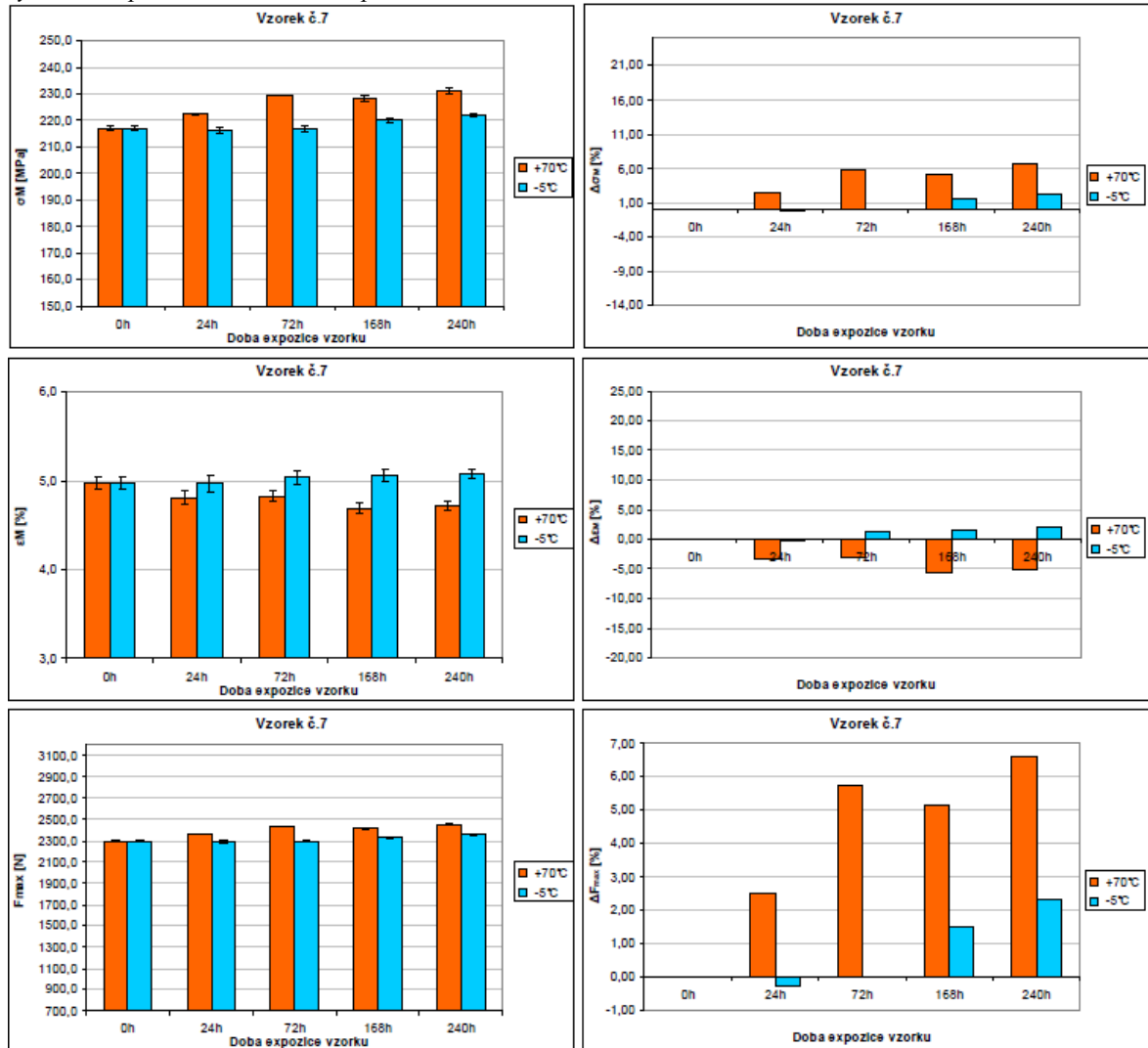
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 45 změna hodnot tahových vlastností pro Lexan EXL 1434T (vzorek č.7) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

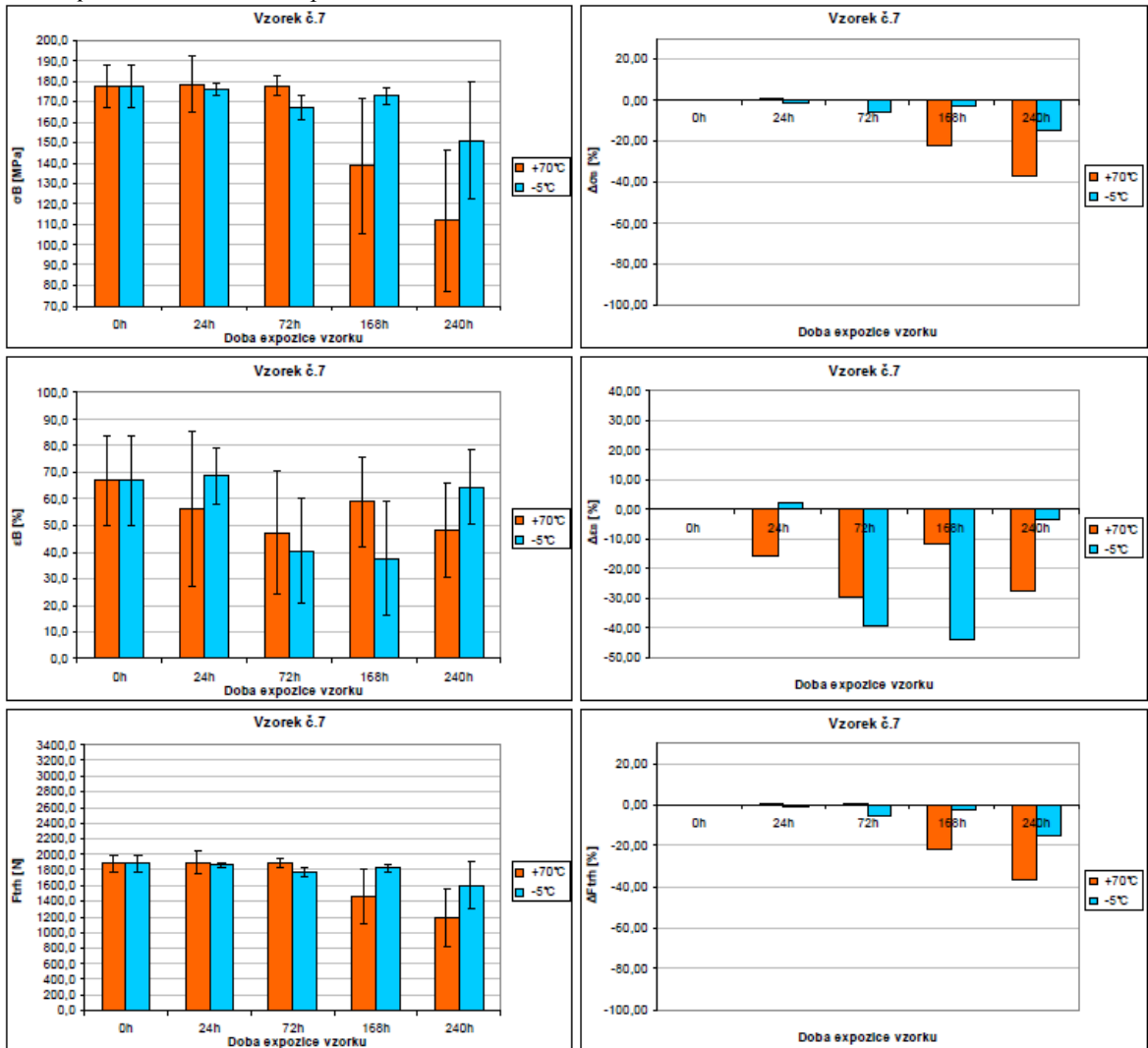
Lexan EXL 1434T	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	
ΔF _{max} [%]	-	2,50	-0,27	5,74	-0,04	5,10	1,49	6,61	2,31	
Δσ _M [%]	-	2,51	-0,27	5,74	-0,03	5,11	1,48	6,61	2,31	
Δε _M [%]	-	-3,33	-0,11	-2,96	1,22	-5,77	1,64	-5,13	1,94	
ΔF _{trh} [%]	-	0,58	-0,91	0,06	-5,80	-21,97	-2,77	-37,14	-14,99	
Δσ _B [%]	-	0,56	-0,93	0,06	-5,81	-21,99	-2,78	-37,15	-15,01	
Δε _B [%]	-	-15,54	2,50	-29,26	-39,28	-11,81	-43,75	-27,67	-3,46	

ΔF_{max} = změna maximální síly; Δσ_M = změna meze pevnosti v tahu; Δε_M = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; Δσ_B = změna napětí v tahu při přetržení; Δε_B = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 32 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Lexan EXL 1434T



Obr. 33 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Lexan EXL 1434T



4.2.8 Silamid 13.01 ESV30

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.8 Silamid 13.01 ESV30

4.2.8.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 46. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 47. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 34.

Tab. 46 naměřené hodnoty rozměrů pro Silamid 13.01 ESV30 (vzorek č.8) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Silamid	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,01	4,01 ± 0,01	4,00 ± 0,01	4,01 ± 0,00	4,00 ± 0,01	4,01 ± 0,00	4,00 ± 0,01	4,01 ± 0,01	
b ₁ [mm]	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	
b ₂ [mm]	20,0 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,1 ± 0,0	
l ₃ [mm]	171,5 ± 0,10	171,4 ± 0,0	171,5 ± 0,0	171,4 ± 0,0	171,5 ± 0,0	171,4 ± 0,0	171,5 ± 0,0	171,4 ± 0,0	171,5 ± 0,0	

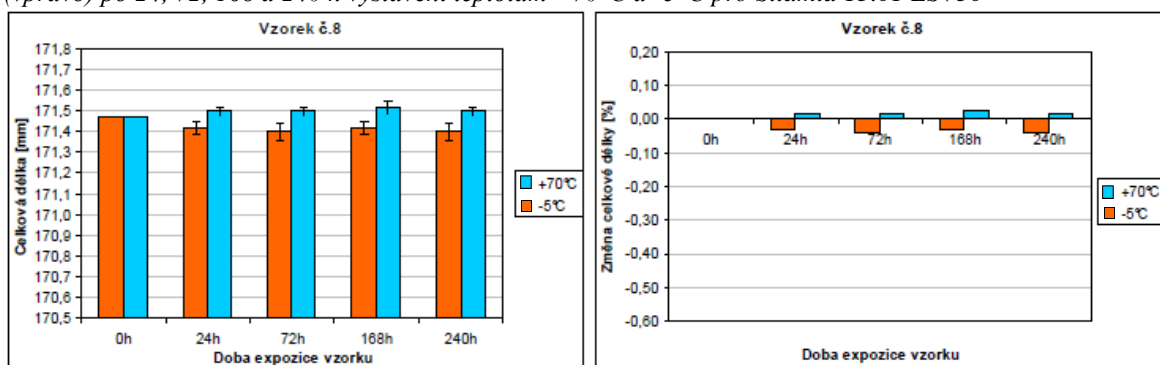
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 47 změna hodnot rozměrů pro Silamid 13.01 ESV30 (vzorek č.8) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Silamid	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	-0,03	0,02	-0,04	0,02	-0,03	0,03	-0,04	0,02	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 34 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Silamid 13.01 ESV30



4.2.8.2 Tvrdość vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 48. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změny tvrdosti jsou uvedeny v tab. 49. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 35.

Tab. 48 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Silamid 13.01 ESV30 (vzorek č.8) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Silamid	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
F_m [N]	358	358	358	358	358	358	358	358	358	
h [mm]	0,139 $\pm 0,004$	0,140 $\pm 0,004$	0,152 $\pm 0,003$	0,140 $\pm 0,005$	0,157 $\pm 0,005$	0,136 $\pm 0,004$	0,149 $\pm 0,003$	0,137 $\pm 0,004$	0,145 $\pm 0,003$	
H [N/mm^2]	193,7 $\pm 7,4$	191,9 $\pm 7,5$	171,2 $\pm 4,8$	191,5 $\pm 8,9$	163,5 $\pm 7,2$	198,9 $\pm 8,1$	175,2 $\pm 4,8$	198,6 $\pm 8,2$	182,9 $\pm 5,4$	

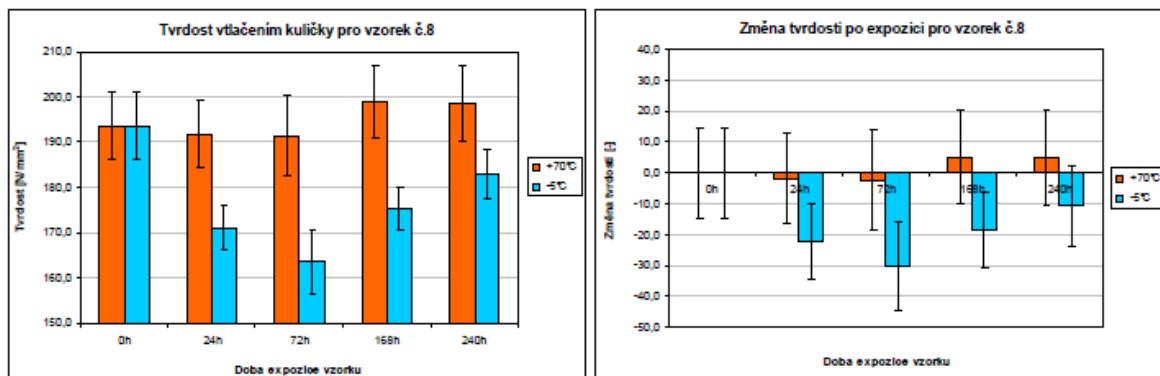
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 49 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Silamid 13.01 ESV30 (vzorek č.8) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Silamid	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	
ΔH [-]	0,0 $\pm 14,9$	-1,8 $\pm 14,9$	-22,5 $\pm 12,3$	-2,1 $\pm 16,3$	-30,2 $\pm 14,6$	5,2 $\pm 15,5$	-18,4 $\pm 12,2$	4,9 $\pm 15,7$	-10,7 $\pm 12,9$	

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 35 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Silamid 13.01 ESV30



4.2.8.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 50. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 51. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 36 a obr. 37. Tahové vlastnosti vzorku Silamid 13.01 ESV30 byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 50 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Silamid 13.01 ESV30 (vzorek č.8) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Silamid	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	
v [mm/min]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
F _{max} [N]	4592,7 ± 29,4	4941,0 ± 16,0	4579,2 ± 66,6	5230,7 ± 72,4	4814,0 ± 38,8	5390,8 ± 11,6	4866,8 ± 36,2	5336,6 ± 21,3	4790,4 ± 48,8	
σ _M [MPa]	433,3 ± 2,8	466,1 ± 1,5	432,0 ± 6,3	493,4 ± 6,8	454,1 ± 3,7	508,6 ± 1,1	459,1 ± 3,4	503,4 ± 2,0	451,9 ± 4,6	
ε _M [%]	3,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,1 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,1 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,1 ± 0,0	3,0 ± 0,0	
F _{trh} [N]	4422,7 ± 170,4	4665,7 ± 259,9	4466,5 ± 70,6	5119,7 ± 57,5	4685,7 ± 51,3	2514,0 ± 456,9	2850,0 ± 926,3	2606,8 ± 723,7	2288,2 ± 456,4	
σ _B [MPa]	417,2 ± 16,1	440,1 ± 24,5	421,3 ± 6,7	483,0 ± 5,4	442,0 ± 4,8	237,2 ± 43,1	268,8 ± 87,4	245,9 ± 68,3	215,8 ± 43,1	
ε _B [%]	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,0	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,0	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,0	3,3 ± 0,1	

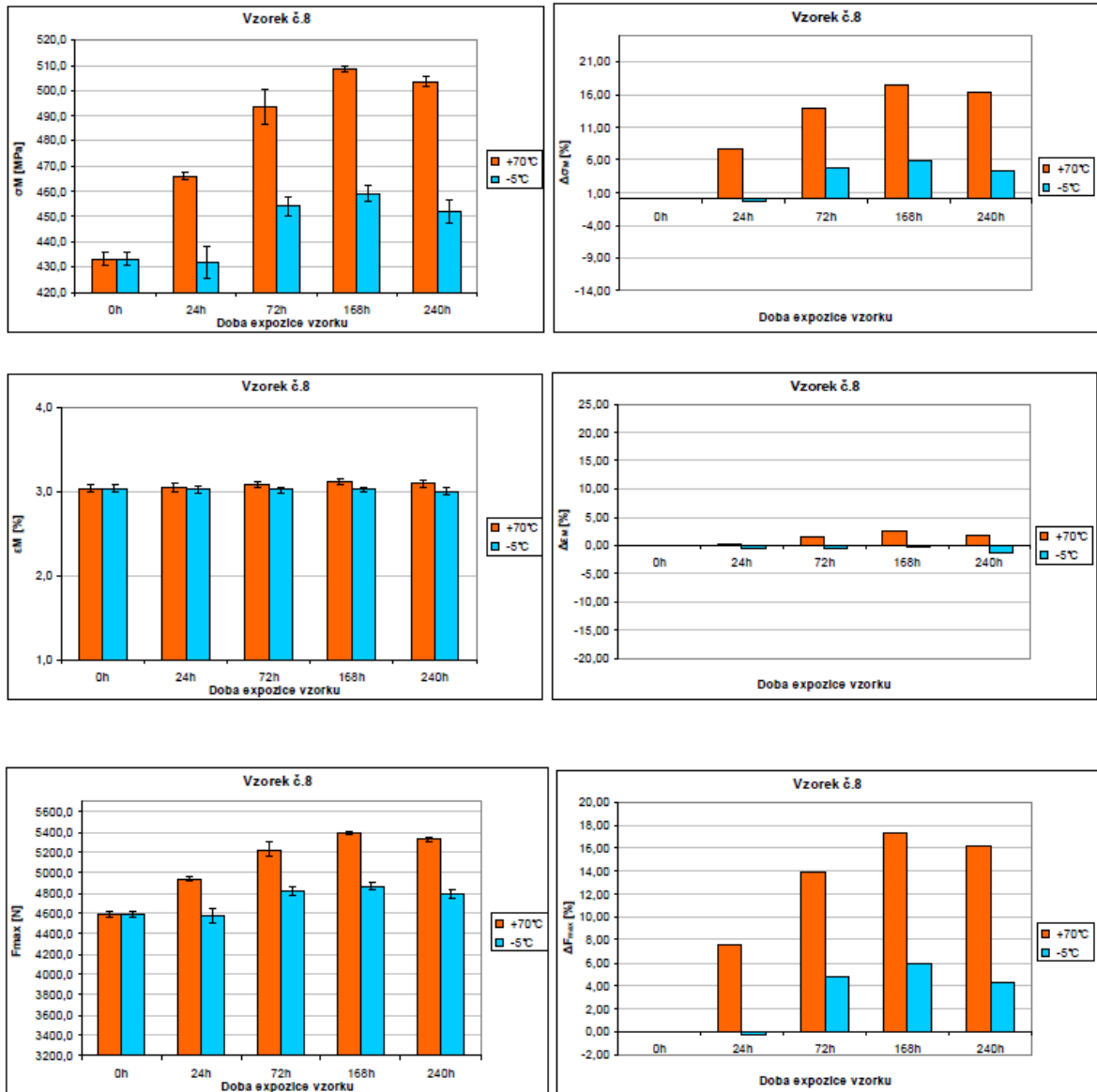
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 51 změna hodnot tahových vlastností pro Silami 13.01 ESV30 (vzorek č.8) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

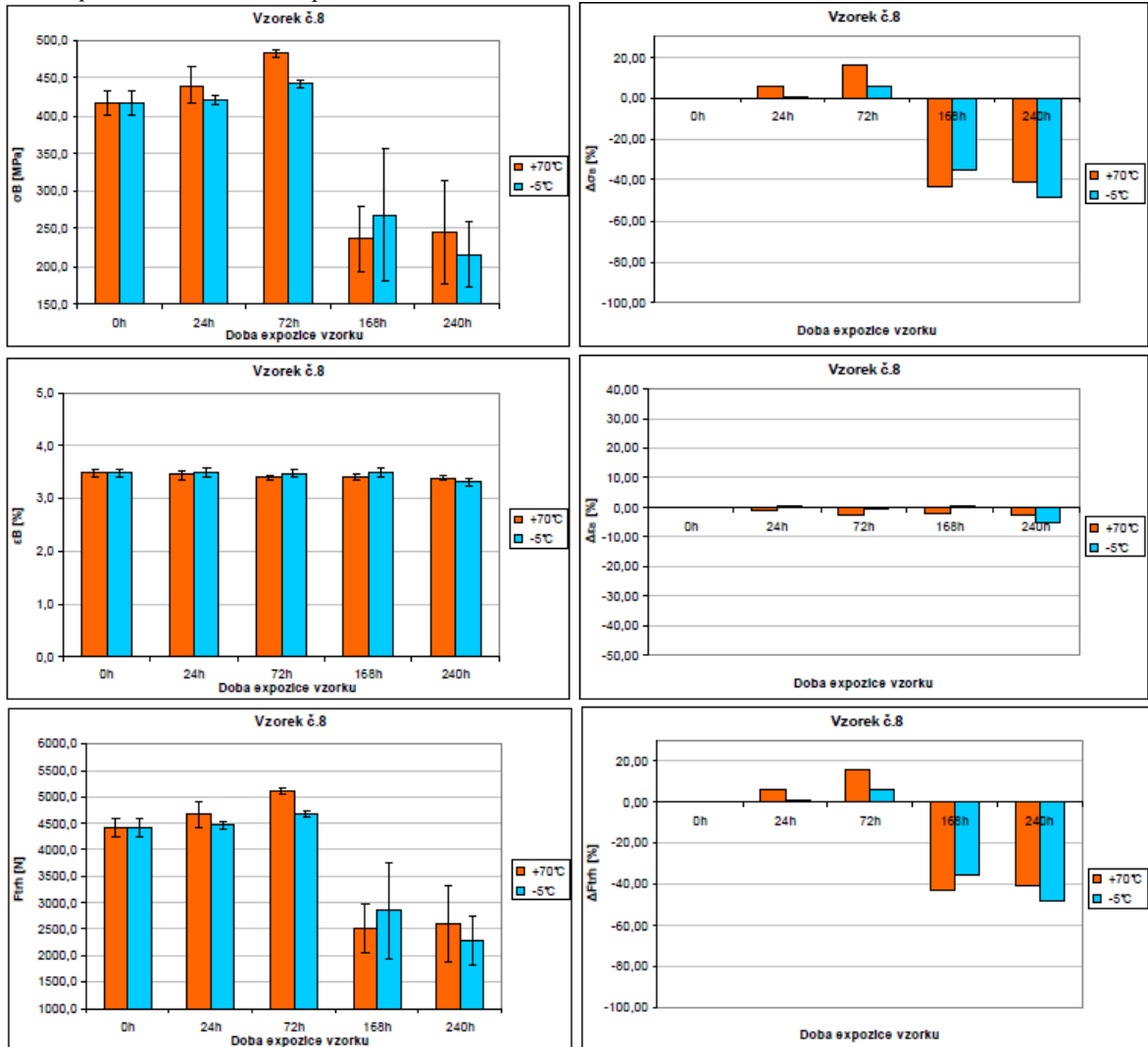
Silamid	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	
ΔF _{max} [%]	-	7,58	-0,29	13,89	4,82	17,38	5,97	16,20	4,31	
Δσ _M [%]	-	7,58	-0,30	13,88	4,81	17,38	5,96	16,20	4,30	
Δε _M [%]	-	0,23	-0,50	1,47	-0,59	2,55	-0,29	1,77	-1,26	
ΔF _{trh} [%]	-	5,49	0,99	15,76	5,95	-43,16	-35,56	-41,06	-48,26	
Δσ _B [%]	-	5,49	0,98	15,76	5,94	-43,16	-35,57	-41,07	-48,27	
Δε _B [%]	-	-0,96	0,53	-2,40	-0,37	-2,37	0,50	-2,76	-4,94	

ΔF_{max} = změna maximální síly; Δσ_M = změna meze pevnosti v tahu; Δε_M = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; Δσ_B = změna napětí v tahu při přetržení; Δε_B = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 36 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Silamid 13.01 ESV30



Obr. 37 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Silamid 13.01 ESV30



4.2.9 Zytel 70 G30 HSLBK 039B

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.9 Zytel 70 G30 HSLBK 039B

4.2.9.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 52. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 53. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 38.

Tab. 52 naměřené hodnoty rozměrů pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B (vzorek č.9) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel 70 G30 HSLBK 039B	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C
h [mm]	3,98 ± 0,00	3,98 ± 0,01	4,01 ± 0,06	3,99 ± 0,01	3,98 ± 0,01	3,98 ± 0,02	4,03 ± 0,07	3,98 ± 0,01	3,97 ± 0,05
b ₁ [mm]	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	9,9 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	9,9 ± 0,0
b ₂ [mm]	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,1
l ₃ [mm]	171,4 ± 0,1	171,3 ± 0,0	171,4 ± 0,1	171,3 ± 0,1	171,4 ± 0,1	171,3 ± 0,1	171,4 ± 0,1	171,3 ± 0,1	171,4 ± 0,1

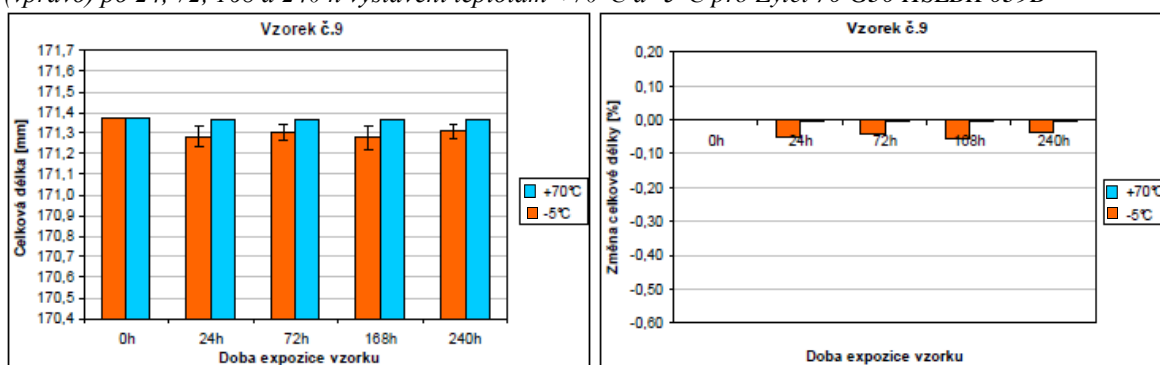
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 53 změna hodnot rozměrů pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B (vzorek č.9) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel 70 G30 HSLBK 039B	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C
Δl ₃ [%]	-	-0,05	0,00	-0,04	0,00	-0,06	0,00	-0,04	0,00

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 38 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B



4.2.9.2 Tvrdość vtláčením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vtláčení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky H jsou uvedeny v tab. 54. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vtláčení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tvrdosti jsou uvedeny v tab. 55. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 39.

Tab. 54 naměřené hodnoty tvrdosti vtláčením kuličky pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B (vzorečk.9) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Zytel 70 G30 HSLBK 039B	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
F_m [N]	961	961	961	961	961	961	961	961	961
h [mm]	0,277 $\pm 0,005$	0,268 $\pm 0,005$	0,272 $\pm 0,008$	0,269 $\pm 0,006$	0,282 $\pm 0,011$	0,277 $\pm 0,006$	0,284 $\pm 0,009$	0,268 $\pm 0,005$	0,276 $\pm 0,006$
H [N/mm ²]	217,1 $\pm 4,2$	225,7 $\pm 5,1$	221,5 $\pm 7,9$	224,5 $\pm 6,3$	212,7 $\pm 9,5$	217,4 $\pm 5,7$	211,0 $\pm 7,6$	225,8 $\pm 4,7$	218,1 $\pm 5,2$

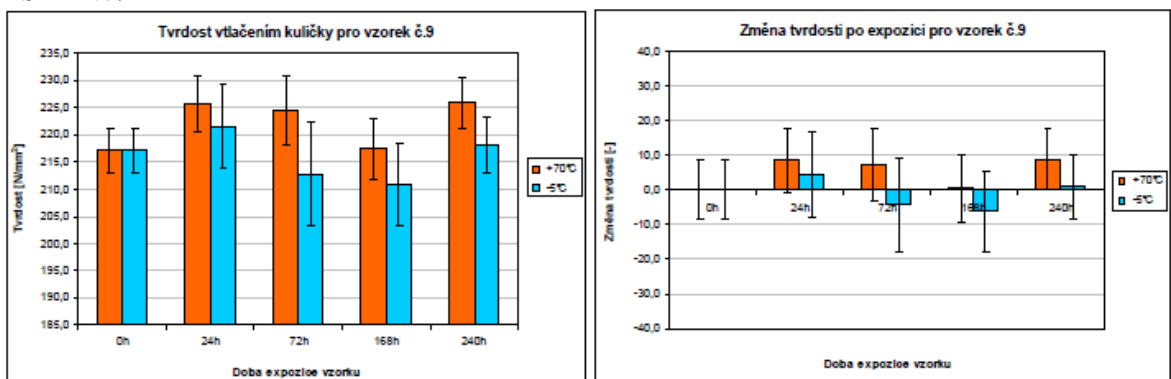
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vtláčení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vtláčením kuličky

Tab. 55 změna hodnot tvrdosti vtláčením kuličky pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B (vzorek č.9) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C

Zytel 70 G30 HSLBK 039B	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C	$+70^{\circ}\text{C}$	-5°C
ΔH [-]	0,0 $\pm 8,3$	8,6 $\pm 9,3$	4,5 $\pm 12,1$	7,4 $\pm 10,5$	-4,3 $\pm 13,6$	0,4 $\pm 9,8$	-6,1 $\pm 11,8$	8,8 $\pm 8,9$	1,0 $\pm 9,3$

ΔH = změna tvrdost vtláčením kuličky

Obr. 39 graf naměřených hodnot tvrdosti vtláčením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vtláčením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^{\circ}\text{C}$ a -5°C pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B



4.2.9.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 56. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 57. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 40 a obr. 41. Tahové vlastnosti vzorku Zytel 70 G30 HSLBK 039B byly měřeny na zkušebním stroji Shimadzu.

Tab. 56 naměřené hodnoty tahových vlastností pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B (vzorek č.9) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

Zytel 70 G30 HSLBK 039B	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
F_{max} [N]	6260,3 ±222,1	6610,3 ±249,3	6333,6 ±377,3	6771,8 ±211,9	6386,0 ±253,6	6600,8 ±301,5	6299,8 ±236,4	6723,5 ±246,1	6252,6 ±193,7
σ_M [MPa]	590,6 ± 21,0	623,6 ± 23,5	597,5 ± 35,6	638,8 ± 20,0	602,5 ± 23,9	622,7 ± 28,4	594,3 ± 22,3	634,3 ± 23,2	589,9 ± 18,3
ε_M [%]	3,6 ± 0,2	3,7 ± 0,1	3,6 ± 0,2	3,8 ± 0,1	3,7 ± 0,0	3,7 ± 0,1	3,7 ± 0,0	3,7 ± 0,3	3,7 ± 0,0
F_{trh} [N]	5987,8 ±459,3	2997,3 ±692,1	3481,4 ±730,0	4015,2 ±1501,1	3787,5 ±1339,7	2690,3 ±603,2	2845,8 ±146,8	2876,0 ±918,4	4033,6 ±637,4
σ_B [MPa]	565,0 ± 43,1	282,7 ± 65,3	328,4 ± 68,9	378,8 ± 141,6	357,3 ± 126,4	253,8 ± 56,9	268,5 ± 13,9	271,3 ± 86,7	380,5 ± 60,2
ε_B [%]	3,9 ± 0,3	3,9 ± 0,2	3,8 ± 0,3	3,8 ± 0,1	3,9 ± 0,1	3,8 ± 0,2	3,9 ± 0,0	3,8 ± 0,3	4,0 ± 0,1

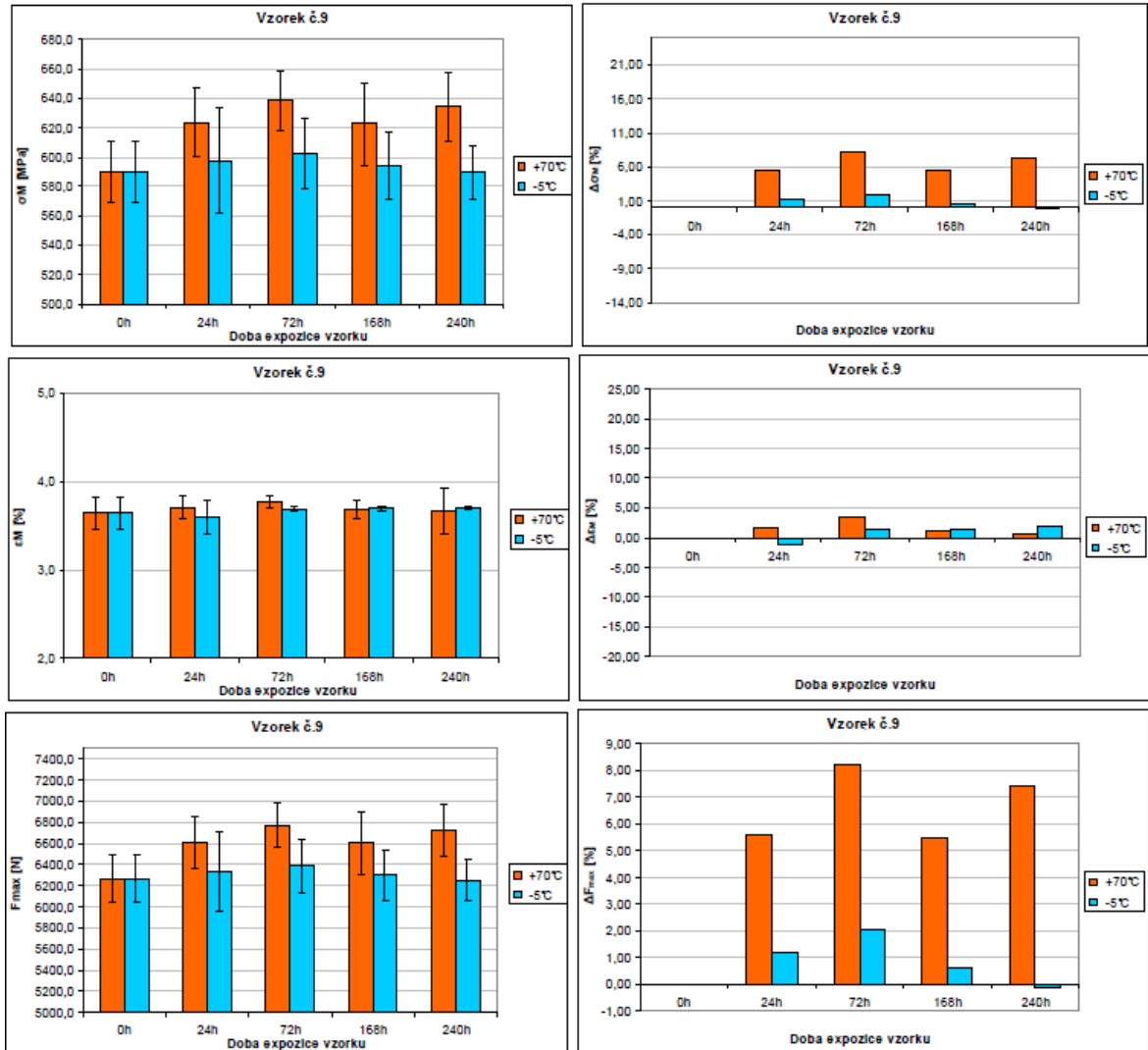
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 57 změna hodnot tahových vlastností pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B (vzorek č.9) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

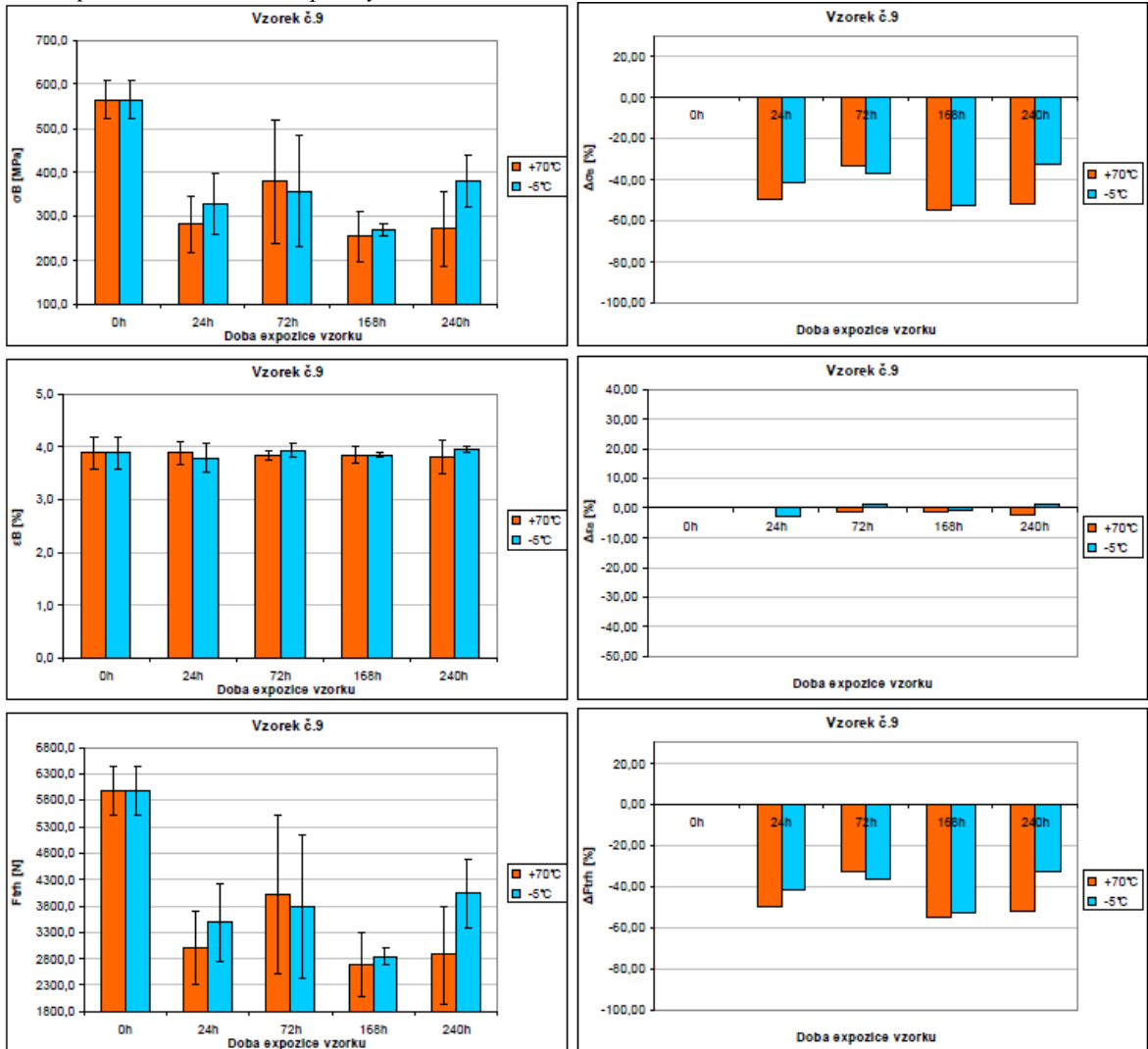
Zytel 70 G30 HSLBK 039B	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF_{max} [%]	-	5,59	1,17	8,17	2,01	5,44	0,63	7,40	-0,12
$\Delta \sigma_M$ [%]	-	5,59	1,18	8,17	2,01	5,44	0,63	7,40	-0,12
$\Delta \varepsilon_M$ [%]	-	1,72	-1,26	3,42	1,32	1,22	1,41	0,64	1,81
ΔF_{trh} [%]	-	-49,94	-41,86	-32,94	-36,75	-55,07	-52,47	-51,97	-32,64
$\Delta \sigma_B$ [%]	-	-49,96	-41,88	-32,96	-36,77	-55,08	-52,49	-51,98	-32,66
$\Delta \varepsilon_B$ [%]	-	0,04	-2,68	-1,43	1,25	-1,18	-0,90	-2,37	1,60

ΔF_{max} = změna maximální síly; $\Delta \sigma_M$ = změna meze pevnosti v tahu; $\Delta \varepsilon_M$ = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; $\Delta \sigma_B$ = změna napětí v tahu při přetržení; $\Delta \varepsilon_B$ = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 40 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B



Obr. 41 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Zytel 70 G30 HSLBK 039B



4.2.10 Duramid – TH7G12.IS* 9207 - SCHWARTZ

Tato kapitola obsahuje výsledky zkoušek pro vzorek č.10 Duramid – TH7G12.IS* 9207 - schwartz

4.2.10.1 Rozměrová stálost

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.1. Naměřené hodnoty rozměrů jsou uvedeny v tab. 58. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn rozměrů jsou uvedeny v tab. 59. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 42.

Tab. 58 naměřené hodnoty rozměrů pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207-SCHWARTZ (vzorek č.10) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

DURAMID	Rozměry zkušebního tělesa po vystavení teplotě									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
h [mm]	4,01 ± 0,01	4,01 ± 0,01	4,02 ± 0,01	4,01 ± 0,00	4,01 ± 0,01	4,01 ± 0,01	4,01 ± 0,01	4,02 ± 0,01	4,01 ± 0,01	
b ₁ [mm]	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	10,0 ± 0,0	
b ₂ [mm]	20,2 ± 0,0	20,2 ± 0,0	20,2 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,2 ± 0,0	20,2 ± 0,0	20,1 ± 0,0	20,2 ± 0,0	
l ₃ [mm]	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	171,6 ± 0,0	

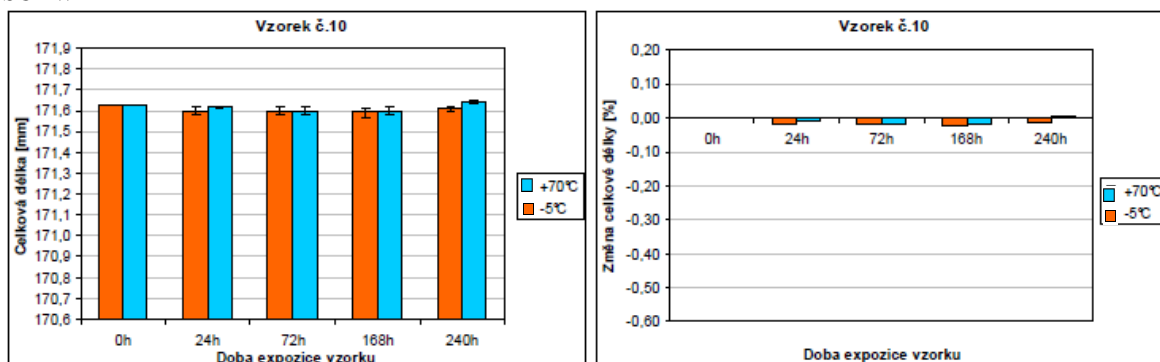
h = tloušťka; b₁ = šířka zúžené rovnoběžné části; b₂ = šířka konců; l₃ = celková délka

Tab. 59 změna hodnot rozměrů pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207-SCHWARTZ (vzorek č.10) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

DURAMID	Změna hodnot rozměrů zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]									
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h		
		-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	
Δl ₃ [%]	-	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,01	

Δl₃ = změna celkové délky

Obr. 42 graf naměřených hodnot celkové délky tělesa (vlevo) a vypočtených změn hodnot celkové délky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207-SCHWARTZ



4.2.10.2 Tvrdość vřlačením kuličky

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.2. Naměřené hodnoty hloubek vřlačení h a vypočtené hodnoty tvrdosti vřlačením kuličky H jsou uvedeny v tab. 60. Tabulka uvádí průměrné hodnoty z 12-ti naměřených hodnot hloubek vřlačení na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tvrdosti jsou uvedeny v tab. 61. Grafické znázornění hodnot v tabulkách je uvedeno na obr. 43.

Tab. 60 naměřené hodnoty tvrdosti vřlačením kuličky pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207- SCHWARTZ (vzorek č.10) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

DURAMID	Naměřené hodnoty tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
F_m [N]	961	961	961	961	961	961	961	961	961
h [mm]	0,216 ± 0,009	0,212 ± 0,007	0,214 ± 0,006	0,212 ± 0,003	0,213 ± 0,004	0,209 ± 0,006	0,213 ± 0,004	0,207 ± 0,005	0,207 ± 0,003
H [N/mm ²]	293,1 ± 14,0	298,8 ± 12,1	296,1 ± 10,3	299,2 ± 5,5	297,1 ± 7,3	304,7 ± 9,9	297,6 ± 6,5	307,8 ± 8,9	307,2 ± 6,0

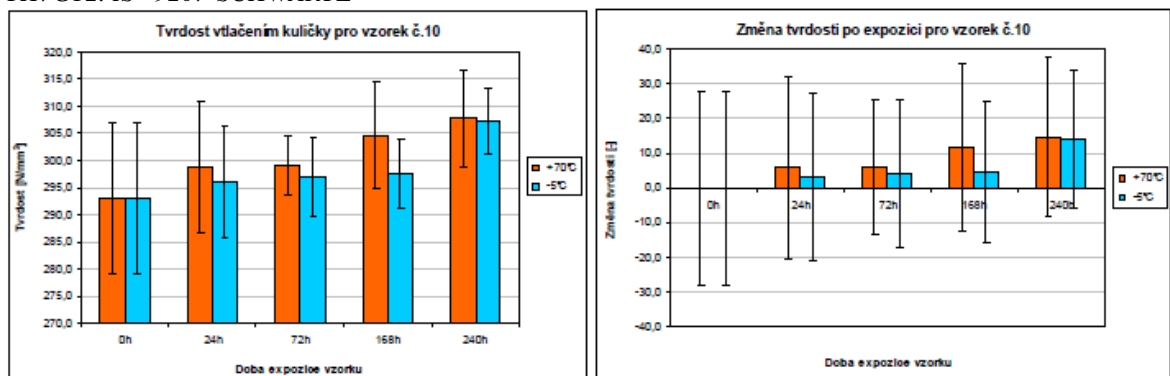
F_m = zkušební zatížení; h = hloubka vřlačení po provedení korekce na deformaci rámu; H = tvrdost vřlačením kuličky

Tab. 61 změna hodnot tvrdosti vřlačením kuličky pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207- SCHWARTZ (vzorek č.10) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

DURAMID	Změna hodnot tvrdosti zkušebního tělesa po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔH [-]	0,0 ± 27,9	5,8 ± 26,1	3,0 ± 24,2	6,1 ± 19,4	4,0 ± 21,3	11,6 ± 23,9	4,5 ± 20,5	14,8 ± 22,9	14,1 ± 20,0

ΔH = změna tvrdost vřlačením kuličky

Obr. 43 graf naměřených hodnot tvrdosti vřlačením kuličky (vlevo) a vypočtených změn hodnot tvrdosti vřlačením kuličky tělesa (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C pro DURAMID-TH7G12. IS* 9207-SCHWARTZ



4.2.10.3 Tahové vlastnosti

Podmínky měření rozměrů jsou shodné s popisem v kapitole 4.2.1.3. Naměřené hodnoty tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 62. Tabulka uvádí průměrné hodnoty ze 6-ti naměřených hodnot na 6-ti zkušebních tělesech. Vypočtené hodnoty změn tahových vlastností jsou uvedeny v tab. 63. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na obr. 44 a obr. 45. Tahové vlastnosti vzorku Duramid – TH7G12.IS* 9207 - SCHWARTZ byly měřeny na zkušebním stroji Dartec.

Tab. 62 naměřené hodnoty tahových vlastností pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207- SCHWARTZ (vzorek č.10) před a po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

DURAMID	Naměřené hodnoty na zkušebním tělese po vystavení teplotě [mm]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
v [mm/min]	5	5	5	5	5	5	5	5	5
F_{max} [N]	9303,2 ±276,5	9298,5 ±99,6	8796,8 ±97,2	9334,7 ±89,6	8820,0 ±51,2	9646,6 ±115,7	8867,7 ±124,6	9614,8 ±114,5	8953,6 ±118,5
σ_M [MPa]	232,6 ±6,9	232,5 ±2,5	219,9 ±2,4	233,4 ±2,2	220,5 ±1,3	241,2 ±2,9	221,7 ±3,1	240,4 ±2,9	223,8 ±3,0
ε_M [%]	2,4 ±0,2	2,4 ±0,0	2,4 ±0,0	2,4 ±0,0	2,4 ±0,0	2,5 ±0,0	2,4 ±0,1	2,5 ±0,1	2,5 ±0,1
F_{trh} [N]	9303,2 ±276,5	9298,5 ±99,6	8796,8 ±97,2	9334,7 ±89,6	8820,0 ±51,2	9646,6 ±115,7	8867,7 ±124,6	9614,8 ±114,5	8953,6 ±118,5
σ_B [MPa]	232,6 ±6,9	232,5 ±2,5	219,9 ±2,4	233,4 ±2,2	220,5 ±1,3	241,2 ±2,9	221,7 ±3,1	240,4 ±2,9	223,8 ±3,0
ε_B [%]	2,4 ±0,2	2,4 ±0,0	2,4 ±0,0	2,4 ±0,0	2,4 ±0,0	2,5 ±0,0	2,4 ±0,1	2,5 ±0,1	2,5 ±0,1

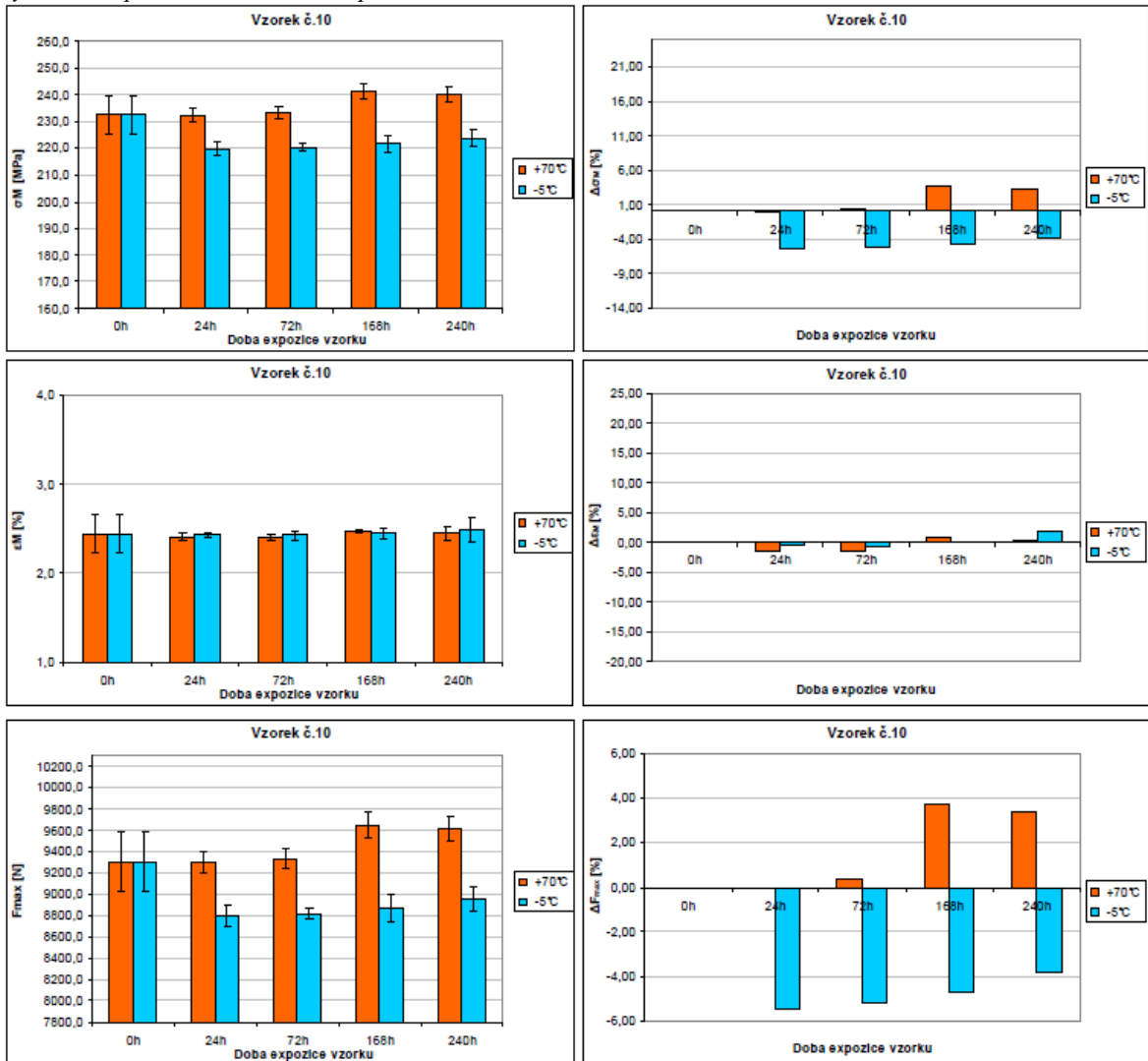
v = rychlost zkoušení; F_{max} = maximální síla; σ_M = mez pevnosti v tahu; ε_M = poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu; F_{trh} = síla při přetržení; σ_B = napětí v tahu při přetržení; ε_B = poměrné prodloužení při přetržení

Tab. 63 změna hodnot tahových vlastností pro DURAMID-TH7G12.IS* 9207-SCHWARTZ (vzorek č.10) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám +70°C a -5°C

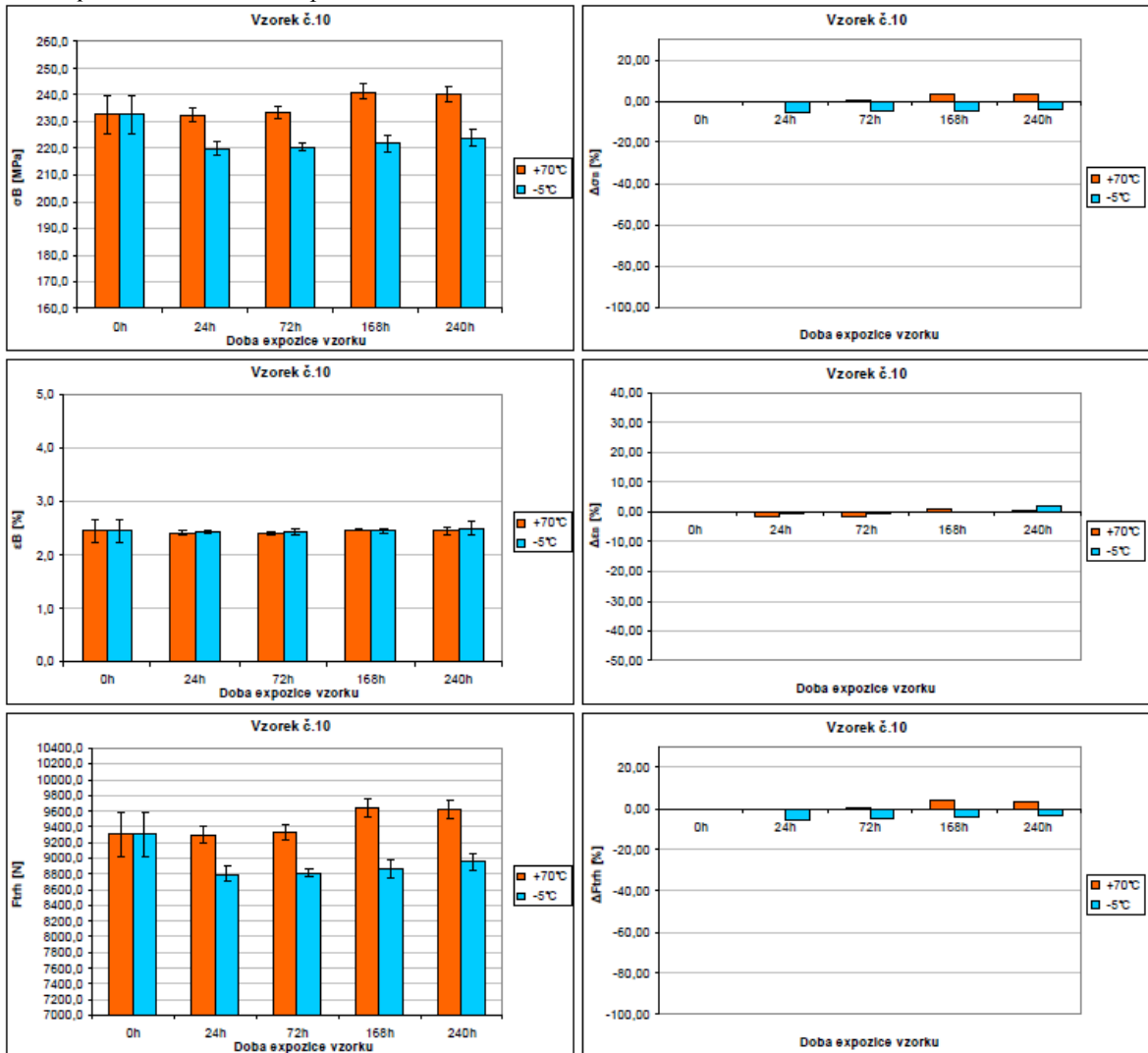
DURAMID	Změna tahových vlastností po vystavení teplotě [%]								
	po 0 h	po 24 h		po 72 h		po 168 h		po 240 h	
		+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C	+70°C	-5°C
ΔF_{max} [%]	-	-0,05	-5,44	0,34	-5,19	3,69	-4,68	3,35	-3,76
$\Delta \sigma_M$ [%]	-	-0,05	-5,44	0,34	-5,19	3,69	-4,68	3,35	-3,76
$\Delta \varepsilon_M$ [%]	-	-1,39	-0,52	-1,54	-0,58	0,93	0,07	0,44	1,83
ΔF_{trh} [%]	-	-0,05	-5,44	0,34	-5,19	3,69	-4,68	3,35	-3,76
$\Delta \sigma_B$ [%]	-	-0,05	-5,44	0,34	-5,19	3,69	-4,68	3,35	-3,76
$\Delta \varepsilon_B$ [%]	-	-1,39	-0,52	-1,54	-0,58	0,93	0,07	0,44	1,83

ΔF_{max} = změna maximální síly; $\Delta \sigma_M$ = změna meze pevnosti v tahu; $\Delta \varepsilon_M$ = změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu; ΔF_{trh} = změna síly při přetržení; $\Delta \sigma_B$ = změna napětí v tahu při přetržení; $\Delta \varepsilon_B$ = změna poměrného prodloužení při přetržení

Obr. 44 graf naměřených hodnot maximální síly F_{max} , meze pevnosti v tahu δ_M a poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu ε_M (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{max} , $\Delta\delta_M$, $\Delta\varepsilon_M$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Duramid – TH7G12.IS* 9207 - schwartz



Obr. 45 graf naměřených hodnot síly při přetržení F_{trh} , napětí v tahu při přetržení σ_B a poměrného prodloužení při přetržení ε_B (vlevo) a jejich vypočtených změn ΔF_{trh} , $\Delta\sigma_B$, $\Delta\varepsilon_B$ (vpravo) po 24, 72, 168 a 240 h vystavení teplotám $+70^\circ\text{C}$ a -5°C pro Duramid – TH7G12.IS* 9207 - schwartz



5 ZÁVĚR

Byly provedeny zkoušky urychleného tepelného stárnutí deseti polymerních kompozitů, při kterých byly vzorky vystaveny teplotám +70 °C a -5 °C po dobu 24, 72, 168 a 240 h a byly na nich postupně měřeny rozměry, tvrdost a tahové vlastnosti. Na základě vypočtených změn naměřených ukazatelů lze výsledky zkoušek shrnout takto:

5.1 Strukturovaný výpis výsledků

Vzorek č.1 - Zytel ST801:

Rozměrová stálost:

- +70 °C – celková délka vzorku se nezměnila
- -5 °C – celková délka vzorku se po 24 h snížila o cca 0,5 %

Tvrdost vtlačáním kuličky:

- +70 °C – po 168 h se tvrdost vzorku mírně zvýšila – o cca 5 N/mm²
- -5 °C – tvrdost vzorku se nezměnila

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – maximální síla a mez pevnosti v tahu se po 24 h snížily o cca 6,5 %, poté se o cca 5 % zvýšily; poměrné prodloužení ϵ_M se po 72 h snížilo o cca 16 %; poměrné prodloužení při přetržení ϵ_B se po 24 h snížilo o cca 27 % a po 168 h až o cca 38 %
- -5 °C – maximální síla a mez pevnosti v tahu se po 24 h snížily o cca 10 %, poté se vrátily na svou původní hodnotu; poměrné prodloužení ϵ_M se po 72 h zvýšilo o cca 8 %; poměrné prodloužení při přetržení ϵ_B se po 24 h snížilo o cca 15 %

Vzorek č.2 - Vestakeep 4000G:

Rozměrová stálost:

- +70 °C – celková délka vzorku se nezměnila
- -5 °C – celková délka vzorku se velmi mírně snížila, max. o cca 0,04 %

Tvrдость vtlačéním kuličky:

- +70 °C – po 240 h se tvrдость vzorku snížila o cca 10 N/mm²
- -5 °C – po 24 h se tvrдость vzorku snížila o cca 10 N/mm²

Tahové vlastnosti:

- +70 °C i -5 °C – hodnoty F_{max} , δ_M a ϵ_M v bodě meze pevnosti v tahu se téměř nemění; hodnoty F_{trh} a δ_B v bodě přetržení se po 24 h snížily o cca 85 % a po 168 h se vrátily na svou původní hodnotu

Vzorek č.3 - AQUAMID 66 G30:Rozměrová stálost:

- +70 °C i -5 °C – celková délka vzorku se nezměnila

Tvrдость vtlačéním kuličky:

- +70 °C i -5 °C – tvrдость vzorku se nezměnila

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – maximální síla a mez pevnosti v tahu se po 24 h zvýšily o cca 9 %, hodnoty F_{trh} a δ_B v bodě přetržení se po 24 h zvýšily o cca 14 %, poměrné prodloužení ϵ_M zůstalo bez změny a ϵ_B se velmi mírně postupně snižovalo – max. o cca 4 %.
- -5 °C – maximální síla a mez pevnosti v tahu se po 24 h zvýšily o cca 4 %, hodnoty F_{trh} a δ_B v bodě přetržení se postupně zvyšovaly až na hodnotu vyšší o cca 9 %, poměrné prodloužení ϵ_M zůstalo beze změny a ϵ_B se velmi mírně postupně snižovalo – max. o cca 4 %.

Vzorek č.4 - Verton RV00 AES:Rozměrová stálost:

- +70 °C i -5 °C – celková délka vzorku se téměř nezměnila

Tvrдость vtlačéním kuličky:

- +70 °C – tvrдость vzorku se postupně zvyšovala až na hodnotu vyšší o cca 20 N/mm²
- -5 °C – tvrдость vzorku se postupně zvyšovala až na hodnotu vyšší o cca 10 N/mm²

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B se postupně zvyšovaly až na hodnotu vyšší o cca 21 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se po 72 h zvýšily o cca 13 %
- -5 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B se postupně zvyšovaly až po 72 h dosáhly hodnoty vyšší o cca 18 %, po 168 h tyto hodnoty klesly na 16 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se po 24 h zvýšily o cca 13 %

Vzorek č.5 - Derlin 100 BK 602:Rozměrová stálost:

- +70 °C – celková délka vzorku se postupně mírně zvyšovala až na hodnotu vyšší o cca 0,07 %
- -5 °C – celková délka vzorku se postupně snižovala až na hodnotu nižší o cca 0,15 %

Tvrдость vtlačéním kuličky:

- +70 °C i -5 °C – tvrдость vzorku kolísala kolem střední hodnoty (hodnota před expozicí)

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B kolísaly kolem střední hodnoty (hodnota před expozicí), hodnota ϵ_M se zvýšila o cca 13 % a hodnota ϵ_B se snížila o cca 12 %
- -5 °C – všechny parametry kolísaly kolem střední hodnoty (hodnota před expozicí)

Vzorek č.6 - Verton RV00 AESC BK 9001:Rozměrová stálost:

- +70 °C i -5 °C – celková délka vzorku se nezměnila

Tvrdość vtlačeníím kuličky:

- +70 °C – tvrdość vzorku se po 72 h zvýšila o cca 16 N/mm²
- -5 °C – tvrdość vzorku se téměř nezměnila

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B se po 24 h zvýšily o cca 19 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se postupně zvyšovaly až na hodnotu vyšší o cca 22 %
- -5 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B se po 24 h zvýšily o cca 19 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se po 24 h zvýšily o cca 10 %

Vzorek č.7 - Lexan EXL 1434T:Rozměrová stálost:

- +70 °C – celková délka vzorku se nezměnila
- -5 °C – celková délka vzorku se po 168 h snížila o cca 0,05 %

Tvrdość vtlačeníím kuličky:

- +70 °C – tvrdość vzorku se po 168 h zvýšila o cca 6 N/mm²
- -5 °C – tvrdość vzorku se po 168 h zvýšila o cca 3 N/mm²

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} a δ_M se postupně zvyšovaly až na hodnotu vyšší o cca 7 %, hodnota ϵ_M se postupně snižovala až na hodnotu nižší o cca 6 %, hodnoty F_{trh} a δ_B se začaly měnit až po 168 h, kdy se snížily až o cca 37 %, hodnoty ϵ_B se po 24 h snížily o cca 21 %
- -5 °C – hodnoty F_{max} a δ_M se začaly měnit až po 168 h, kdy se zvýšily o cca 2,3 %, hodnota ϵ_M se začala měnit po 72 h, kdy se postupně zvyšovala až na hodnotu vyšší o cca 2 %, hodnoty F_{trh} a δ_B se začaly měnit až po 72 h, kdy se postupně snížily až o cca 15 %, hodnoty ϵ_B se po 72 h snížily o cca 40 % a po 240 h se vrátily na svou původní hodnotu 52

Vzorek č.8 - Silamid 13.01 ESV30:Rozměrová stálost:

- +70 °C – celková délka vzorku se po 24 h nepatrně zvýšila – max. o cca 0,03 %
- -5 °C – celková délka vzorku se po 24 h nepatrně snížila – max. o cca 0,04 %

Tvrdość vtlačeníím kuličky:

- +70 °C – tvrdość vzorku se po 168 h zvýšila o cca 5 N/mm²
- -5 °C – tvrdość vzorku se postupně snižovala až po 72 h dosáhla hodnoty nižší o cca 30 N/mm², po 168 h se tvrdość opět začala zvyšovat až po 240 h dosáhla hodnoty nižší pouze o cca 11 N/mm² ve srovnání s původní hodnotou tvrdości před expozicí

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} a δ_M se postupně zvyšovaly až na hodnotu vyšší o cca 17 %, hodnota ϵ_M se po 72 h zvýšila o cca 2 %, hodnoty F_{trh} a δ_B se postupně zvyšovaly až po 72 h dosáhly hodnoty vyšší o cca 16 %, po 168 h hodnoty F_{trh} a δ_B klesly až na hodnotu nižší o cca 42 % oproti původní hodnotě před expozicí, hodnota ϵ_B zůstala beze změny
- 5 °C – hodnoty F_{max} a δ_M se po 72 h zvýšily o cca 5 %, hodnota ϵ_M se po 240 h nepatrně snížila o cca 1,3 %, hodnoty F_{trh} a δ_B se postupně zvyšovaly až po 72 h dosáhly hodnoty vyšší o cca 6 %, po 168 h hodnoty F_{trh} a δ_B klesly až na hodnotu nižší o cca 45 % oproti původní hodnotě před expozicí, hodnota ϵ_B se začala měnit až po 240 h, kdy se snížila o cca 5 %

Vzorek č.9 - Zytel 70 G30 HSLBK 039B:Rozměrová stálost:

- +70 °C – celková délka vzorku se nezměnila
- -5 °C – celková délka vzorku se po 24 h nepatrně snížila o cca 0,05 %

Tvrdość vtlačeníím kuličky:

- +70 °C i -5 °C – tvrdość vzorku kolísala kolem střední hodnoty (hodnota před expozicí)

Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} a δ_M se po 24 h zvýšily o cca 6,5 %, hodnoty F_{trh} a δ_B se po 24 h snížily o cca 50 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se téměř nemění
- -5 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , ϵ_M a ϵ_B se téměř nemění, hodnoty F_{trh} a δ_B klesly po 24 h o cca 40 %

Vzorek č.10 - DURAMID-TH7G12.IS* 9207-SCHWARTZ:Rozměrová stálost:

- +70 °C i -5 °C – celková délka vzorku se nezměnila

Tvrдость vtlačéním kuličky:

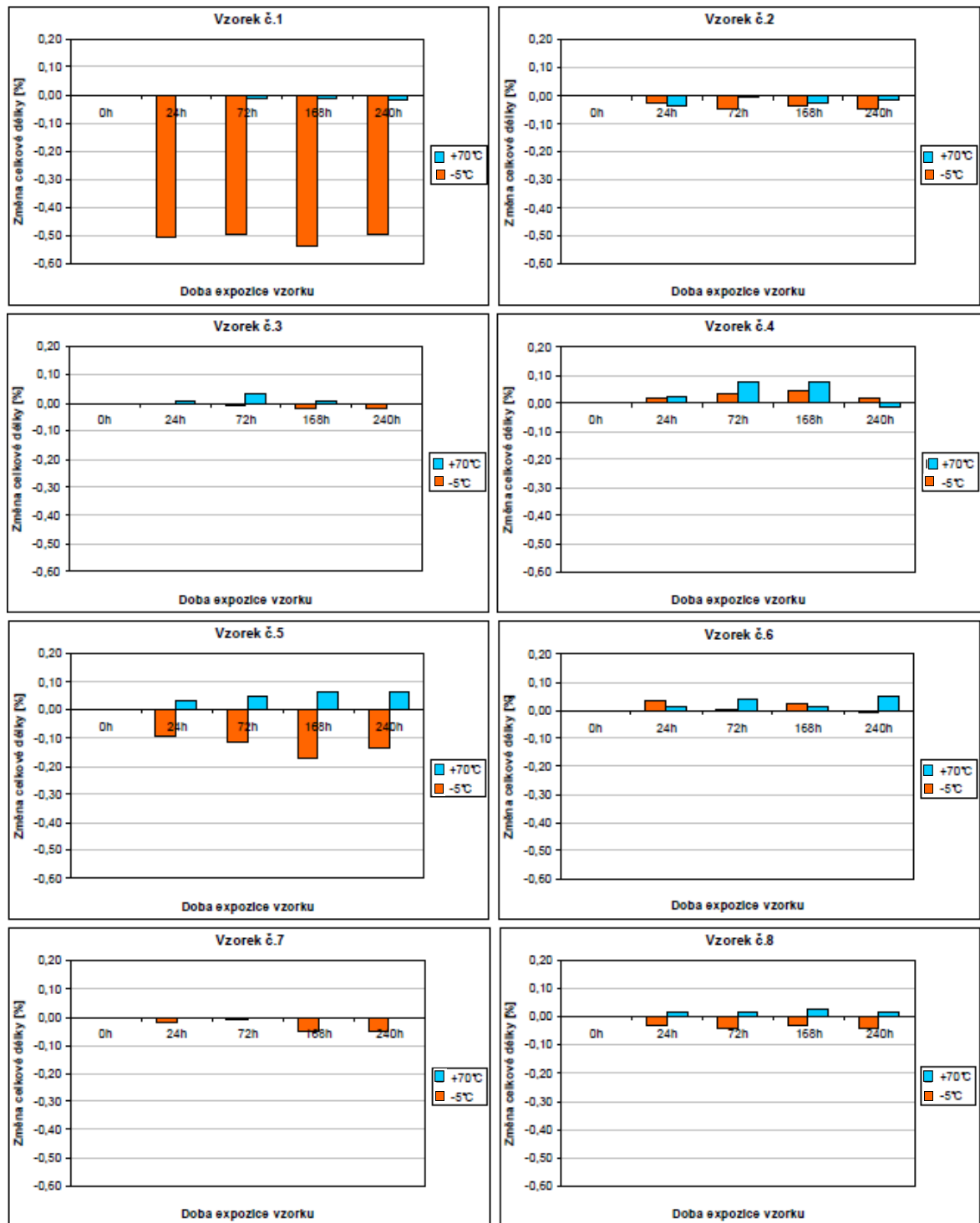
- +70 °C i -5 °C – tvrдость vzorku se postupně zvyšovala až na hodnotu vyšší o cca 14N/mm²

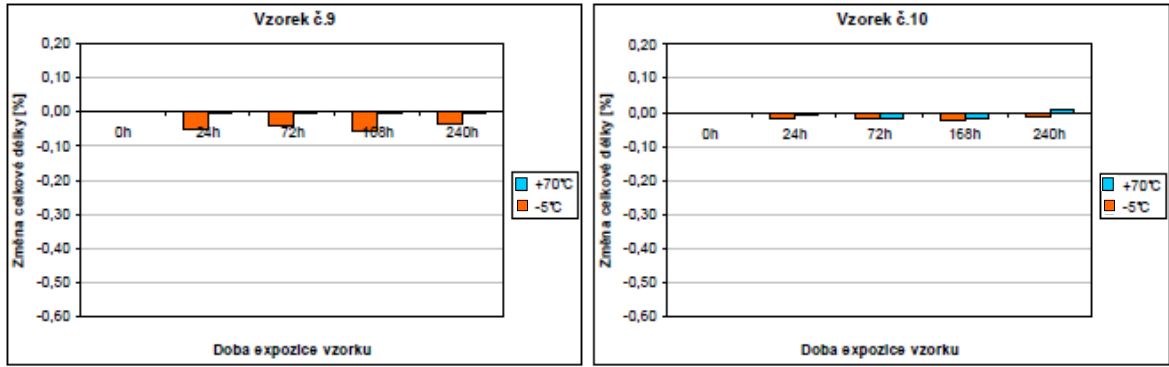
Tahové vlastnosti:

- +70 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B se začaly měnit až po 168 h, kdy se zvýšily o cca 4 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se nezměnily
- -5 °C – hodnoty F_{max} , δ_M , F_{trh} a δ_B se po 24 h snížily o cca 5,5 %, poté se začaly mírně zvyšovat až na hodnotu, která byla oproti původní hodnotě před expozicí nižší jen o cca 4 %, hodnoty ϵ_M a ϵ_B se nezměnily

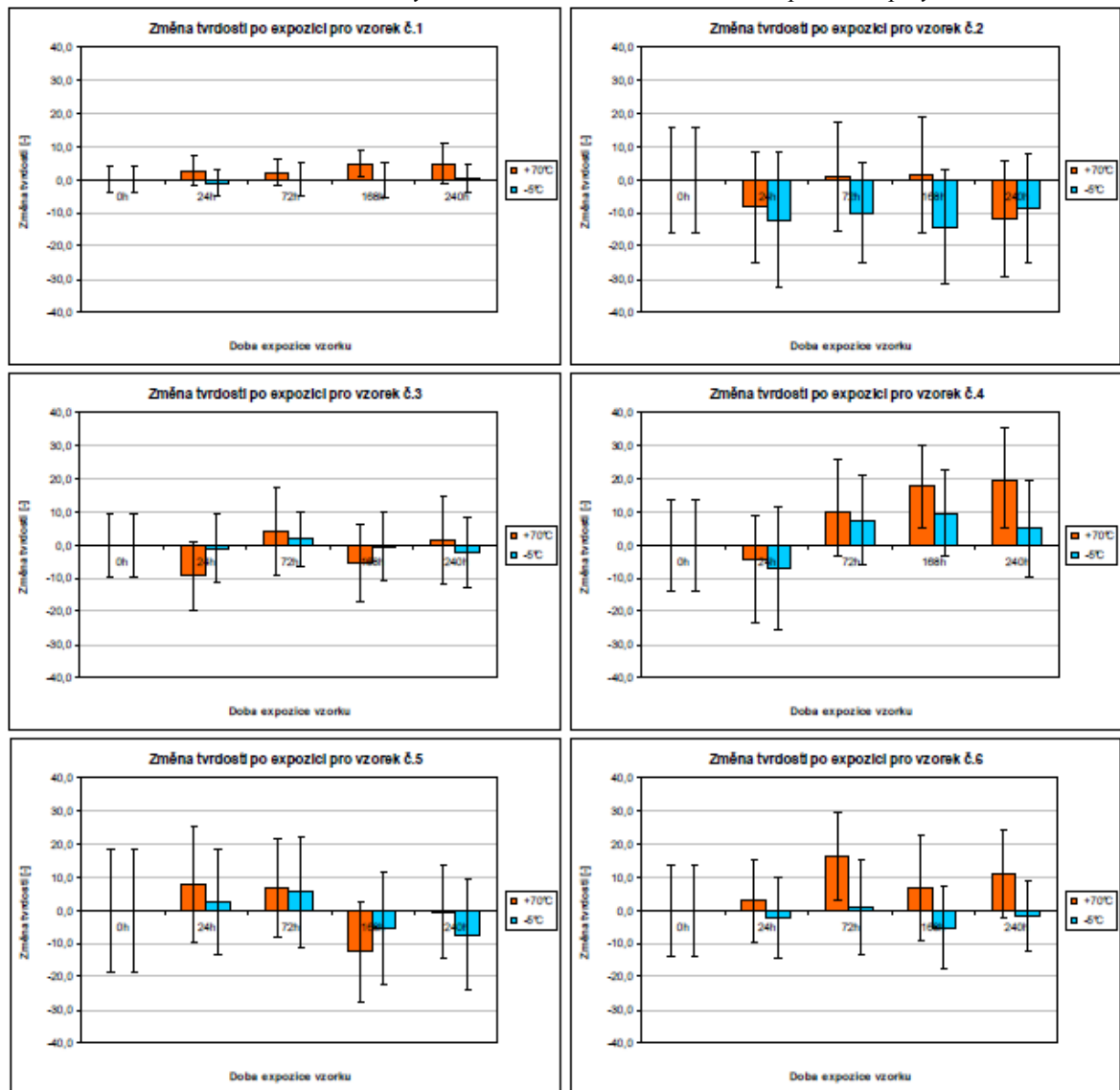
Na následujících obrázcích jsou shrnuty grafy znázorňující změnu ukazatelů pro všech 10 vzorků polymerních kompozitů. Grafy pro jednotlivé změny ukazatelů jsou ve stejném měřítku, aby bylo možné porovnat vzorky mezi sebou. Obr 46 změna celkové délky tělesa, obr. 47 změna tvrlosti vtlačéním kuličky, obr. 48 změna meze pevnosti v tahu.

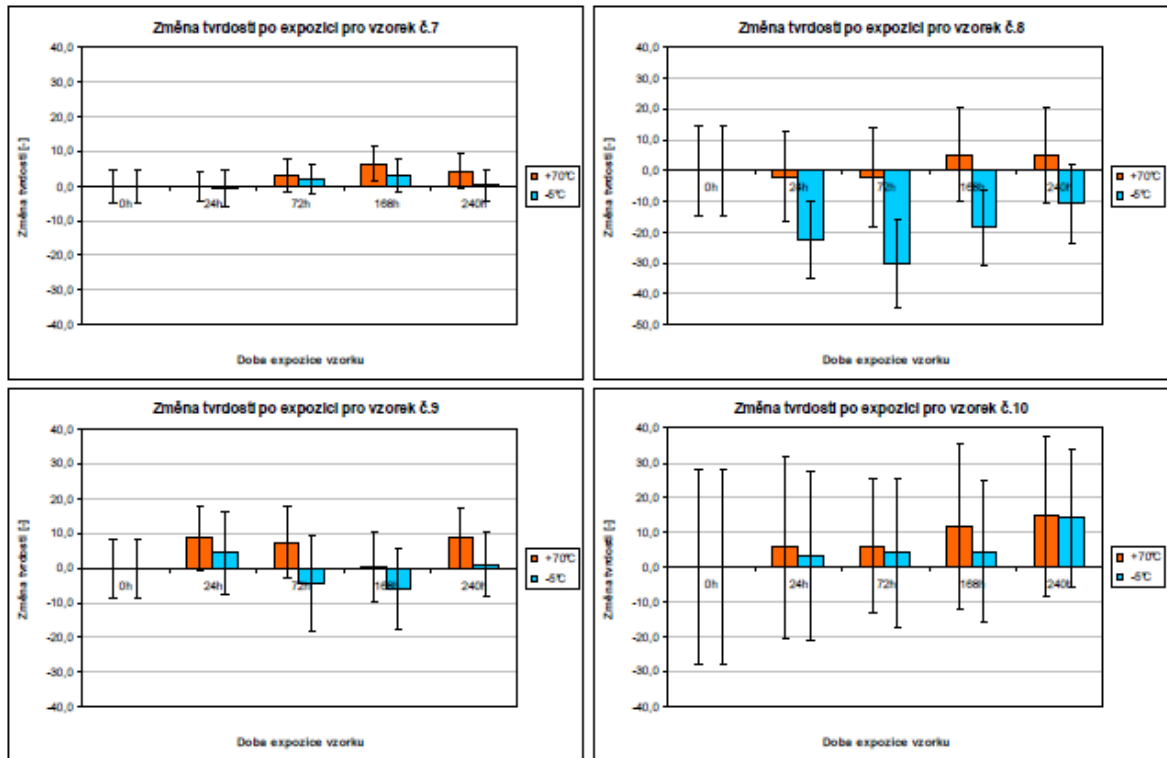
Obr. 46 Změna celkové délky tělesa – srovnání všech deseti vzorků kompozitních polymerů



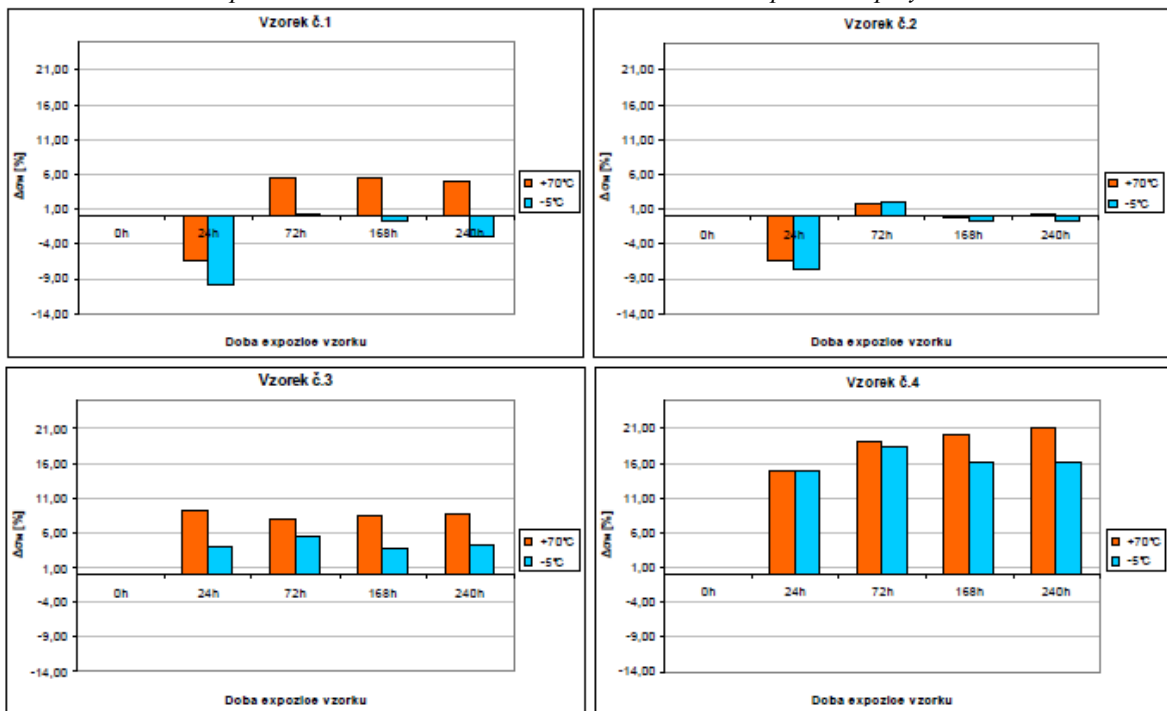


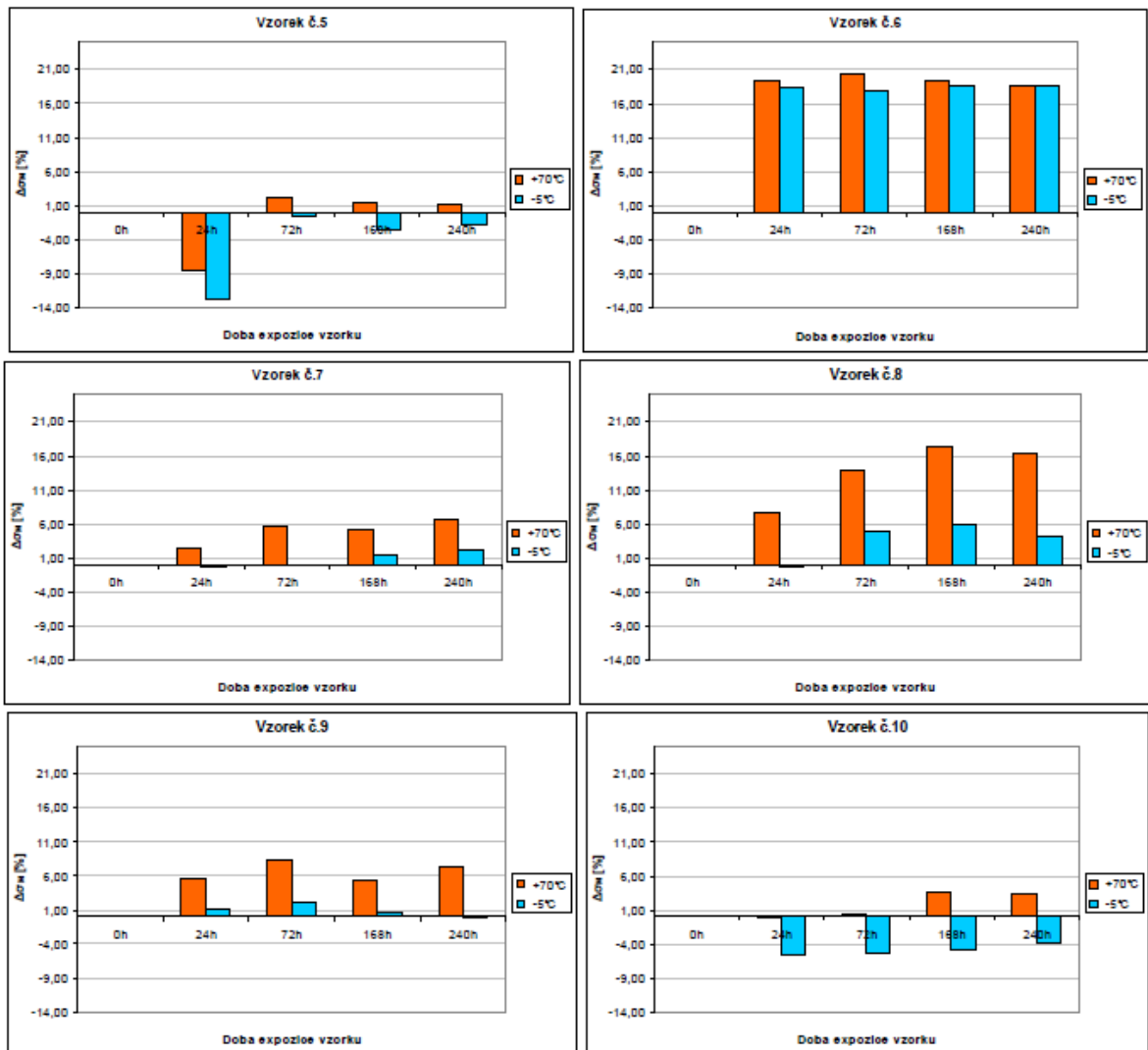
Obr. 47 Změna tvrdosti vtačením kuličky - srovnání všech deseti vzorků kompozitních polymerů





Obr. 48 Změna meze pevnosti v tahu - srovnání všech deseti vzorků kompozitních polymerů





5.2 Závěrečné shrnutí zkoušek

Jako velmi vhodné kompozitní polymery pro výrobu dílů ručních palných zbraní se jeví vzorek č.3 Aquamid 66 G30 a vzorek č.10 Duramid. Vyznačují se rozměrovou stálostí i stabilní tvrdostí. V oblastech δ_M a δ_B jsou jejich změny minimální viz tab.64.

Výborné mechanické vlastnosti vykazuje vzorek č. 7 Lexan EXL 1434T. Vzhledem k tomu že je polymer určen pro výrobky kde významnou úlohu hraje design a vzhled tento vzorek nedoporučuji z důvodu změny vzhledu (jeho mléčné zbarvení).

Vhodným kompromisem by mohl být vzorek č. 5 Derlin 100BK 602 jehož změny ukazatelů se pohybují ve středních hodnotách viz tab.64.

Ostatní vzorky nedoporučuji z důvodu poměrné nestability v oblastech δ_M a δ_B .

Tab. 64 porovnání změn ukazatelů pro všechny vzorky kompozitních polymerů

Vzorek	Teplota	Rozměr	Tvrdość	Tah			
				σ_M	σ_B	Tvorba krčku	Změna vzhledu
1. Zytel ST801	+70°C					ano	-
	-5°C					ano	-
2. Vestakeep	+70°C					ano	-
	-5°C					ano	-
3. Aquamid	+70°C					-	-
	-5°C					-	-
4. Verton AES	+70°C					-	-
	-5°C					-	-
5. Delrin	+70°C					-	-
	-5°C					-	-
6. Verton AESC	+70°C					-	-
	-5°C					-	-
7. Lexan	+70°C					ano	ano (mléčná barva)
	-5°C					ano	ano (mléčná barva)
8. Silamid	+70°C					-	-
	-5°C					-	-
9. Zytel 70G30	+70°C					-	-
	-5°C					-	-
10. Duramid	+70°C					-	-
	-5°C					-	-

Tab. 65 legenda k tabulce 64

Rozměr	0,00 - 0,06	0,07 - 0,13	0,14 - 0,20	≥ 0,21
Tvrdość	0,0 - 6,9	7,0 - 13,9	14,0 - 20,9	≥ 21,0
σ_M	0,0 - 6,9	7,0 - 10,9	11,0 - 15,9	≥ 16,0
σ_B	0,0 - 14,9	15,0 - 29,9	30,0 - 44,9	≥ 45,0

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAGEN, V.; *Únava a stárnutí materiálů*. SNTL, VUT Brno 1977
- [2] Horák Z.; *Studijní materiály do předmětu AMCH*
- [3] Schatz, M.; Vondráček, P. *Zkoušení polymerů*. SNTL – Praha 1979
- [4] Koutný M.; *Biodegradace polytelyenu s prooxidanty; Plasty a kaučuk*, 2007
- [5] Doležel, B.; *Odolnost plastů a pryží*, STNL, 1977
- [6] Svoboda, M., Schneider B., Štork, J.; *Termická degradace plastů*. ČSAV, Praha 1990
- [7] Štěpek, J., Zelinger, J., Kuta, A.; *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL/Alfa, Praha 1989
- [8] Schnabel, W.; *Polymer Degradation, Principles and Practical Applications*. Akademie Verlag, Berlin 1981
- [9] ČSN 62 1522, [online]. Dostupné z [http:// www.unmz.cz](http://www.unmz.cz)
- [10] ČSN EN ISO 2039-1, [online]. Dostupné z [http:// www.unmz.cz](http://www.unmz.cz)
- [11] ČSN EN ISO 527-2, [online]. Dostupné z [http:// www.unmz.cz](http://www.unmz.cz)
- [12] Ducháček V.; *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [13] Davis Anthona, David Sims.; *Weathering of polymers*, London 1983. ISBN 0-85334-226-1
- [14] Mleziva, J.; *Polymery: struktura, vlastnosti a použití*. Sobotáles, 1993
- [15] Bareš R.A.; *Kompozitní materiály*, STNL Praha 1988
- [16] Meissner, B – Zilvar, V; *Fyzika polymerů*, STNL Praha 1987
- [17] Mleziva, J. – Tupátek, J.; *Polymery*, Praha 2000

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F_r	Redukované zkušební zatížení	[N]
F_m	Zatížení působící na měřicí kuličku	[N]
h_r	Redukovaná hloubka vtlačení	[mm]
h_1	Hloubka vtlačení měřicí kuličky	[mm]
h_2	Deformace zkušebního zařízení	[mm]
h	(= $h_1 - h_2$) hloubka vtlačení	[mm]
α	(= 0,21) konstanta	
HB	Tvrдость vtlačení kuličky	[N]
d	Průměr měřicí kuličky	[mm]
S	Změna hodnot ukazatelů	[%]
A_0	Hodnota ukazatele před urychleným tepelným stárnutím	[mm]
A_1	Hodnota ukazatele po urychleném tepelném stárnutí	[mm]
ΔH	Změna hodnot tvrdosti	[N/mm ²]
H_0	Hodnota tvrdosti před urychleným tepelným stárnutím	[N/mm ²]
H_1	Hodnota tvrdosti po urychleném tepelném stárnutí	[N/mm ²]
Δl_3	Změna celkové délky	[%]
H	Tvrдость vtlačení kuličky	[N/mm ²]
v	Rychlost zkoušení	[mm/min]
F_{\max}	Maximální síla	[N]
δ_M	Mez pevnosti	[MPa]
ε_M	Poměrné prodloužení na mezi pevnosti v tahu	[%]
F_{trh}	Síla při přetržení	[N]
δ_B	Napětí v tahu při přetržení	[MPa]
ε_B	Poměrné prodloužení při přetržení	[%]
ΔF_{\max}	Změna maximální síly	[%]

$\Delta\delta_M$	Změna meze pevnosti v tahu	[%]
$\Delta\varepsilon_M$	Změna poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu	[%]
ΔF_{trh}	Změna síly při přetržení	[%]
$\Delta\delta_B$	Změna napětí v tahu při přetržení	[%]
$\Delta\varepsilon_B$	Změna poměrného prodloužení při přetržení	[%]
PMMA	Polymethylmethakrylát	
PTFE	Polytetrafluorethylen	
PS	Polystyren	
PVC	Polyvinylchlorid	

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: ČSN EN ISO 527 – 1, Stanovení tahových vlastností část 1
(elektronická příloha v PDF)
- Příloha 2: ČSN EN ISO 527 – 2, Stanovení tahových vlastností část 2
(elektronická příloha v PDF)
- Příloha 3: ČSN EN ISO 2039-1, Stanovení tvrdosti metoda vtlačení kuličky
(elektronická příloha v PDF)
- Příloha 4: ČSN 62 1522, Stanovení urychleného tepelného stárnutí ve vzduchu
(elektronická příloha v PDF)

Adresář na CD:

Soubor: DP_Bartko.xlsx

DP_Bartko.pdf