

# Návrh snímání a vyhodnocení crash testu polymerního výrobku

Bc. Oliver Kačina

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Oliver KAČINA**  
Osobní číslo: **T10964**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Návrh snímání a vyhodnocení crash testu  
polymerního výrobku**

Zásady pro vypracování:

### Teoretická část:

- Uveďte vhodné normy pro vyhodnocování crash testů
- Popište crash test jako aj jeho postup pro polymerní výrobek
- Popište základné charakteristiky crashovacích zařízení
- Popište vysokorychlostní snímací zařízení a systémy snímání
- Navrhněte matematicko - statistické metody na vyhodnocování vysokorychlostních dějů

### Praktická část:

- Navrhněte upnutí polymerního výrobku za účelem jeho nasnímání
- Vypracovat obrazovou analýzu crash testu
- Výsledky matematicko statisticky zpracujte
- Uveďte příslušné závěry a doporučení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

CHUDÝ, Vladimír, et al. *Meranie technických veličín*. Vyd. 1. Bratislava : STU, 1999. 672 s. ISBN 80-227-1275-2  
PATA, Vladimír. *Vysokorychlostní kamerové systémy*. Vyd. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 92 s. ISBN 80-7204-480-X

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Kacina Oliver

Obor: RJ komb.

## 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 4.5.2012

Kacina

<sup>1)</sup> 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 nevýdělečně 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 nahlášení 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.*

<sup>2)</sup> *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, ušije-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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</sup> *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 díla:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek práva 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 vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Úlohou mojej diplomovej práce bolo zosumarizovať vhodné normy na vyhodnocovanie crash testov, popísať crash test a aj jeho postup pre polymérny výrobok, základné charakteristiky crashovacích zariadení, vysokorýchlostné snímacie systémy a samotné navrhnutie matematicko-štatistickej metódy na vyhodnocovanie. V praktickej časti sme vypracovali obrazovú analýzu crash testov v spojení so štatistickým vyhodnotením. Na základe získaných skúseností bol navrhnutý nový spôsob upnutia polymérneho výrobku za účelom jeho snímania počas crashovacieho deja.

Kľúčové slová: crash test, padostroj, vysokorýchlostná kamera, polymér, polypropylén.

## **ABSTRACT**

The task of my diploma thesis is to summarize suitable norms for evaluation of crash tests, to describe crash test and his process for polymer product, basic characteristics of crash machines, high-speed scanning systems and the suggestion of mathematic – statistic method for evaluation. In the practical part, we created picture analysis of crash tests in relation to statistics evaluation. On the basis of our experiences has been created new solution of fixation polymer product – the purpose is scanning during crashing process.

Keywords: crash test, crash machine, high-speed camera, polymer, polypropylene.

Touto formou by som sa rád úprimne poďakoval vedúcemu diplomovej práce doc.Dr.Ing.Vladimírovi Patovi za jeho rady, pripomienky a odbornú pomoc pri vypracovaní diplomovej práce.

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval samostatne a použitú literatúru som citoval. Odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahratá do IS/STAG sú totožné.

V Zlíne dňa 7.5.2012

.....

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>11</b>
<b>1 NORMY PRE VYHODNOCOVANIA CRASH TESTOV</b> .....	<b>12</b>
<b>2 CRASH TEST</b> .....	<b>18</b>
2.1 ČSN 700 592.....	18
2.1.1 Podmienky skúšania.....	18
2.1.2 Skúška nárazom gule o hmotnosti 227g.....	18
2.2 POSTUP CRASH TESTU PRE POLYMÉRNÍ VÝROBOK .....	20
2.2.1 Postup crash testu na manuálnom padostroji .....	20
2.2.2 Postup crash testu na automatickom padostroji Zwick Reoll HIT230F .....	20
<b>3 ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY CRASHOVACÍCH ZARIADENÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1 SCHÉMA MANUÁLNEHO CRASHOVACIEHO ZARIADENIA.....	22
3.1.1 Popis a parametre manuálneho crashovacieho zariadenia .....	24
3.2 SCHÉMA AUTOMATICKÉHO CRASHOVACIEHO ZARIADENIA .....	25
<b>4 VYSOKORÝCHLOSTNÉ KAMEROVÉ SYSTÉMY</b> .....	<b>26</b>
4.1 TYPICKÉ VYUŽITIE VYSOKORÝCHLOSTNÝCH KAMIER.....	27
4.2 OBRAZOVÉ SNÍMAČE A PROCESORY .....	27
4.2.1 Obrazový snímač.....	27
4.2.2 Obrazový senzor.....	29
4.3 OBJEKTÍV .....	30
4.3.1 Chronická vada – aberácia .....	30
4.3.2 Ohnisková vzdialenosť a uhol záberu .....	31
4.3.3 Svetelnosť.....	31
4.4 OSVETLENIE .....	32
4.4.1 Fiber-optic iluminátor .....	32
4.4.2 Optický kábel .....	33
4.5 VYSOKORÝCHLOSTNÉ KAMEROVÉ SYSTÉMY OD FIRMY OLYMPUS .....	34
4.5.1 i-SPEED LT .....	34
4.5.2 i-SPEED 2 .....	35
4.5.3 i-SPEED TR.....	37
4.5.4 i-SPEED 3 .....	38
4.5.5 i-SPEED FS.....	39
4.5.6 Zapájanie a príslušenstvo .....	40
4.5.6.1 Diaľkové ovládanie (RCP) .....	42
4.5.6.2 CDU zobrazovacie zariadenie .....	43
<b>5 ŠTATISTICKÉ METÓDY NA VYHODNOCEVANIE VYSOKORÝCHLOSTNÝCH DEJOV</b> .....	<b>44</b>



5.1	ZÁKLADNÉ ŠTATISTICKÉ POJMY .....	44
5.2	PREZENTÁCIA ŠTATISTICKÝCH ÚDAJOV .....	44
5.3	ŠTATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY .....	45
5.4	MIERY VARIABILITY .....	45
5.5	ROZPTYL , SMERODAJNÁ ODCHÝLKA A VARIÁČNÝ KOEFICIENT .....	46
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>SNÍMANIE, MERANIE A VYHODNOTENIE CRASH TESTU .....</b>	<b>48</b>
6.1	PARAMETRE POLYPROPYLENOVÝCH VÝROBKOV .....	48
6.2	POSTUP SNÍMANIA A MERANIA NA CRASHOVACOM PRÍSTROJI ZWICK ROELL HIT230F .....	50
6.2.1	Nastavenie programu testXpert II .....	50
6.2.2	Zapojenie vysokorýchlostného kamerového systému.....	53
6.2.3	Osvetľovací systém olympus .....	54
6.2.4	Riešenie snímania na súčasnom držiaku .....	55
6.3	CRASHOVANIE POLYPROPYLENOVÝCH VÝROBKOV .....	57
6.3.1	Popis nameraných premenných veličín.....	58
6.4	NÁVRH METÓDY NA VYHODNOTENIE CRASH TESTOV .....	59
6.4.1	Nájdenie vychýlených hodnôt.....	60
6.4.2	Analýza vychýlených hodnôt.....	67
6.4.3	Vyhodnotenie variačných koeficientov.....	67
6.5	MERANIE NA MANUÁLNO M PADOSTROJI .....	68
6.5.1	Meranie .....	70
<b>7</b>	<b>NÁVRH STOJANA PRE PADOSTROJ ZWICK/ROEL HIT230F .....</b>	<b>77</b>
7.1	KALKULÁCIA NOVÉHO NÁVRHU STOJANU A DRŽIAKA .....	80
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>81</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>83</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>84</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>88</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>93</b>
	<b>ZOZNAM VZORCOV .....</b>	<b>94</b>
	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

V súčasnej dobe sa plasty vo väčšej miere používajú v takmer všetkých konštrukčných riešeniach výrobkov a hrajú významnú úlohu v každej priemyselnej oblasti. Kovové materiály sú postupne nahrádzané plastovými alternatívami vďaka neustálemu vývoju plasty. Aby sme vedeli takúto alternatívu navrhnúť, musíme zvoliť správny materiál s vhodnými mechanickými, chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami.

Na vyhodnotenie mechanických vlastností sa budeme snažiť navrhnúť vhodné normy pre crashovacie testy. Budeme popisovať crash test polymérneho výrobku ako aj jeho postup. Opíšeme základné charakteristiky crashovacích zariadení a vysokorýchlostných kamerových systémov. Pokúsime sa navrhnúť vhodnú matematicko-štatistickú metódu na vyhodnotenie crash testov.

V praktickej časti vykonáme potrebný počet meraní oboch typov vzoriek. Testy vykonáme na automatickom padostroji Zwick Roell HIT230F ako i manuálnom padostroji a následne sa zameriame na štatistické vyhodnotenie crash testov polypropylénového výrobku v štatistickom programe Minitab 16 a podložíme ich obrazovou analýzou, ktorú získame pomocou vysokorýchlostného kamerového systému I-Speed 2. Na základe získaných poznatkov z meraní sa pokúsime navrhnúť nový spôsob upnutia polypropylénového výrobku na automatickom padostroji Zwick Roell HIT230F za účelom jeho snímania počas crashovacieho deja, čo súčasné riešenie neumožňuje.

V závere zosumarizujeme nadobudnuté poznatky z meraní a vyhodnocovaní crash testov. Doporučíme najvhodnejší spôsob vyhodnocovania crash testov polypropylénových výrobkov. Nakoniec odporučíme konkrétny návrh riešenia stojana pre padostroj Zwick Roell HIT230F tak, aby umožňoval plnohodnotné snímanie počas celého crashovacieho deja.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 NORMY PRE VYHODNOCOVANIA CRASH TESTOV

Každá krajina stanovuje minimálne požiadavky bezpečnosti predávaných výrobkov pomocou zákonných noriem. Našou úlohou v tejto časti diplomovej práce je preskúmať a odporučiť najvhodnejšie normy pre vyhodnocovanie crash testov a to najmä crash testov polymérnych výrobkov.

*Tab. 1. Prehľad vhodných noriem pre vyhodnocovanie crash testov.*

Názov Normy	Číslo normy	Predmet normy
Bezpečnostné sklo pre automobily, traktory a poľnohospodárske stroje, Stanovenie mechanických vlastností	ČSN 70 0592	Sklo (Touto normou sa zavádza ST SEV 745-77 Bezpečnostné sklo pre automobily, traktory a poľnohospodárske stroje. Stanovenie mechanických vlastností ako čs. štátna norma.)
Trubky z termoplastov pre rozvod tekutín – Stanovení odolnosti proti rýchlemu šíreniu trhliny (RCP) – Skúška v malom meradle v ustálenom stave (skúška S4)	ČSN EN ISO 13477	Plast (Tato norma špecifikuje postup skúšky v malom meradle (S4), ktorou sa zisťuje zastavenie alebo šírenie trhliny, iniciované na trubke z termoplastu pri predpísanej teplote a vnútornom pretlačku.)
Stanovenie odporu proti pomalému šíreniu trhliny (PENT-Pennsylvania Notch Test)	ISO 16241:2005	Plast (Norma špecifikuje metódu pre stanovenie odolnosti k pomalému rastu trhlín materiály z polyetylénu (PE) pre potrubie a montáž výrobkov.)
Skúšanie	ČSN EN 12814-1	Plast (Norma stanovuje rozmery a metódy pre odoberanie a zhotovenie skú-

zvarových spojov polotovarov z termoplastov – časť 1: Skúška ohybom		šobných telies, vrátane stanovenia podmienok pre prevedenie ohybové skúšky.
Plasty - Stanovenie tlakových vlastností	ČSN EN ISO 604	Plast (Norma špecifikuje metódu pre stanovenie vlastností plastov zo skúšky tlakom za stanovených podmienok.
Plasty - Stanovenie správania tuhých plas- tov pri viacsom rá- zovom namáhaní - Časť 1: Neinštrumen- tovaná rázová skúška	ČSN EN ISO 6603-1	Plasty (Norma uvádza metódy stanovení rázových vlastností plastov prierezom dosky.)
Plasty- Stanovenie správania tuhých plastov pri viacosom rázovom namáhaní - Časť 2: Inštrumentovaná rázová skúška	ČSN EN ISO 6603-2	Plasty (Norma špecifikuje skúšobnú metódu pre stanovenie rázových vlastností prierezom tuhých plastov v podobe rovinných skúšobných telies pri použití skúšobných prístrojov pre meranie sily a deformácie.)
Metóda skúšania odolnosti proti hori- zontálnemu rázu	ČSN 26 9312	Plasty (plastové prepravky)

Metóda skúšania odolnosti proti rázu pri voľnom páde	ČSN 26 9313	Plasty (plastové prepravky)
Plastové spotrebiteľské obaly, odolnosť proti nárazu a proti rázu pri voľnom páde. Metódy skúšania.	ČSN 77 0513	Plasty (skúšanie tuhých a polotuhých spotrebiteľských obalov)
Profily z nemäkčeného polyvinylchloridu (PVC-U) pre výrobu okien a dverí – Stanovenie odolnosti proti prerážaniu hlavných profilov pomocou padajúceho závažia	ČSN EN 477	Polyvinylchlorid (PVC-U)  Skúšobná metóda na stanovenie odolnosti proti prerážaniu hlavných profilov pomocou padajúceho závažia
Plastové rozvodné a ochranné potrubné systémy – Trubky z termoplastov – Stanovenie rázovej odolnosti padajúcim závažím po obvode	ČSN EN 744	Plasty (Metóda stanovenia rázovej odolnosti termoplastových trubiek kruhového prierezu nárazom padajúceho závažia po celom obvode trubky)
Okná, dvere, rolety a okenice, ľahké obvodové plášte – Stanovenie odolnosti dverí proti nárazu mäkkým a ťažkým telesom	ČSN EN 949	Drevo (Norma určuje skúšobnú metódu pre zistenie poškodenia dreveného krídla upevneného do drevenej zárubne, ako súčasťou dreveného kompletu, následkom nárazu) mäkkým a ťažkým telesom na plochu zavretého dreveného krídla.
Plastové rozvodné	ČSN EN 1411	Termoplast (Norma uvádza stanovenie

a ochranné potrubné systémy – Trubky z termoplastov – Stanovenie odolnosti vonkajším nárazom stupňovitou metódou		odolnosti termoplastových trubiek proti vonkajším nárazom stupňovitou metódou)
Sklo v stavebníctve – Kyvadlová skúška – Metóda skúšania nárazom a klasifikácia pre ploché sklo	ČSN EN 12600	Sklo (Norma špecifikuje metódu skúšania kyvadlovým nárazom pre jednoduché ploché tabule skla pre použitie v stavebníctve)
Okná – Náraz mäkkým a ťažkým telesom – Skúšobná metóda, bezpečnostné požiadavky a klasifikácia	ČSN EN 13049	Sklo atď. (Norma určuje skúšobnú metódu, bezpečnostné požiadavky a klasifikáciu pre stanovenie vplyvu nárazu mäkkého a ťažkého telesa na okno.
Okenice – Náraz tvrdým telesom – Skúšobná metóda	ČSN EN 13330	Plast, Drevo, Kov (Norma určuje skúšky pre stanovenie správania okeníc pri bežnom náraze tvrdým telesom pre: vonkajšie žalúzie, pred okenné rolety, benátske okenice, naplocho uzatváracie skladacie okenice, skladacie okenice, krídlové okenice, posuvné okenice.)
Ľahké obvodové plášte – Odolnosť proti nárazu - Funkčné požiadavky	ČSN EN 14019	Plast (Norma určuje funkčné požiadavky pre ľahké obvodové plášte podľa kritéria zaťažovania pri náraze mäkkým telesom.
Umelý kameň - Skúšobné metódy – časť 9: Stanovenie odol-	ČSN EN 14617-9	Umelý kameň (Norma určuje metódu pre stanovenie odolnosti proti nárazu plochých výrobkov z umelého kameňa)

nosti proti nárazu		
Obaly – Prepravné balenie – Skúška rázom pri voľnom páde	ČSN EN 22248	Norma stanoví metódu skúšania prepravného balenia pri podmienkach rázu pri voľnom páde.
Skúšanie vplyvu prostredia – časť 2-47: Skúšky - Upevnenie vzorky pre skúšky vibráciami, nárazmi a obdobné dynamické skúšky	ČSN EN 60068-2-47 ed. 2	Norma popisuje skúšky - Upevnenie vzorky pre skúšky vibráciami, nárazmi a obdobné dynamické skúšky
Skúšanie vplyvov prostredí – časť 2: Skúšobné metódy – Skúška Ef: Náraz, palička	ČSN EN 60068-2-62	Norma popisuje skúšobné metódy pre stanovenie schopnosti vzorku elektrotechnického výrobku odolávať špecifikovaným stupňom príslosti nárazov.
Skúšanie vplyvov prostredí – časť 2: Skúšky – Skúška Eh: Skúšky kladivom (paličkou, pružinovým prístrojom a zvislým kladivom)	ČSN EN 60068-2-75	Norma poskytuje tri normalizované a koordinované skúšobné metódy pre určovanie schopnosti vzorkou odolávať špecifikovaným stupňom príslosti nárazov.
Skúšanie vplyvov prostredí – časť 2: Skúšky – Skúška 77: Pevnosť tela súčiastky a skúška úderom	ČSN EN 60068-2-77	Norma poskytuje skúšobné metódy použiteľné pre povrchové montované súčiastky (SMD) vyrobené zo skla alebo slinovaných materiálov, ako sú kondenzátory, rezistory a indukčnosti, vrátane feritov. Existujú dve skúšobné metódy: skúška pevnosti tela súčiastky a skúška úderom.



<p>Skúšanie vplyvov prostredí – časť 2-81: Skúšky – Skúška Ei: Údery – Syntéza spektra odozvy úderov</p>	<p>ČSN EN 60068-2-81</p>	<p>Norma pre skúšanie syntetickým spektrom odozvy úderov (SRS – Shock Response Spectrum), je určená ku všeobecnému použitiu súčiastky, zariadenie a iné výrobky, ďalej uvedené ako „vzorky“, keď sa požaduje simulácia prechodných odoziev zložitej povahy.</p>
<p>Plasty – Stanovenie rázovej húževnatosti metódou Charpy – časť 1: Neinstrumentovaná rázová skúška</p>	<p>ČSN EN ISO 179-1</p>	<p>Plasty (Norma špecifikuje metódu pre stanovenie rázových vlastností Charpy u plastov za stanovených podmienok. Definuje rôzne typy skúšobných telies a rôzne usporiadání skúšky. Rôzne parametre skúšky sú špecifikované podľa typu plastov, skúšobného telesa a vrubu.</p>
<p>Plasty – Stanovenie rázovej húževnatosti Charpy – časť 2: Instrumentovaná rázová skúška</p>	<p>ČSN EN ISO 179-2</p>	<p>Plasty (Norma špecifikuje metódu pre stanovenie rázových vlastností Charpy plastov zo záznamu závislosti sila - priehyb. Definuje rôzne typy skúšobných telies tvaru hranolu, rôzne usporiadanie a parametre skúšky podľa typu plastov, skúšobného telesa a vrubu, ktoré sú definované v ISO 179-1</p>
<p>Plastové fólie a tenké dosky - Stanovenie rázovej húževnatosti metódou padajúceho tílku – časť 1: Stupňovitá metóda</p>	<p>ČSN EN ISO 7765-1</p>	<p>Norma špecifikuje metódu pre stanovenie energie, ktorá spôsobí porušenie 50% skúšobných telies odobraných z plastovej fólie a tenké dosky s hrúbkou menšou ako 1 mm za definovaných podmienok rázu voľne padajúceho tílka z definovanej výšky.</p>

## 2 CRASH TEST

Crash testy sú deštruktívne skúšky, ktoré testujú pasívnu bezpečnosť výrobkov respektíve odhaľujú limity materiálov voči deformácii. Keďže my sa budeme venovať crash testu polymérneho výrobku pri postupe crash testu budeme vychádzať z normy ČSN 700 592 (Bezpečnostné sklo pre automobily, traktory a poľnohospodárske stroje, Stanovenie mechanických vlastností). A to z dôvodu že princíp hodnotenia je v podstate rovnaký nakoľko hodnotíme pri plaste aj skle o koľko sa nám prehne. S tým, že pri crashovacom teste polymérneho výrobku hodnotíme ako nám vzniká trhlina a pri skle hodnotíme ako sa nám roztriešti.

### 2.1 ČSN 700 592

Norma určuje metódy stanovenia pevnosti v ráze nárazom gule s hmotnosťou 227g a 2260g, nárazom fantómov a metódu stanovenia neškodnosti úlomkov pri rozbití.

#### 2.1.1 Podmienky skúšania

Pokiaľ nie je stanovené inak skúšanie sa realizuje za týchto podmienok:

Teplota: (20 +/- 5) °C

Tlak: od 88 do 106 kPa

Relatívna vlhkosť vzduch: (60 +/- 20) %

#### 2.1.2 Skúška nárazom gule o hmotnosti 227g

##### Podstata metódy

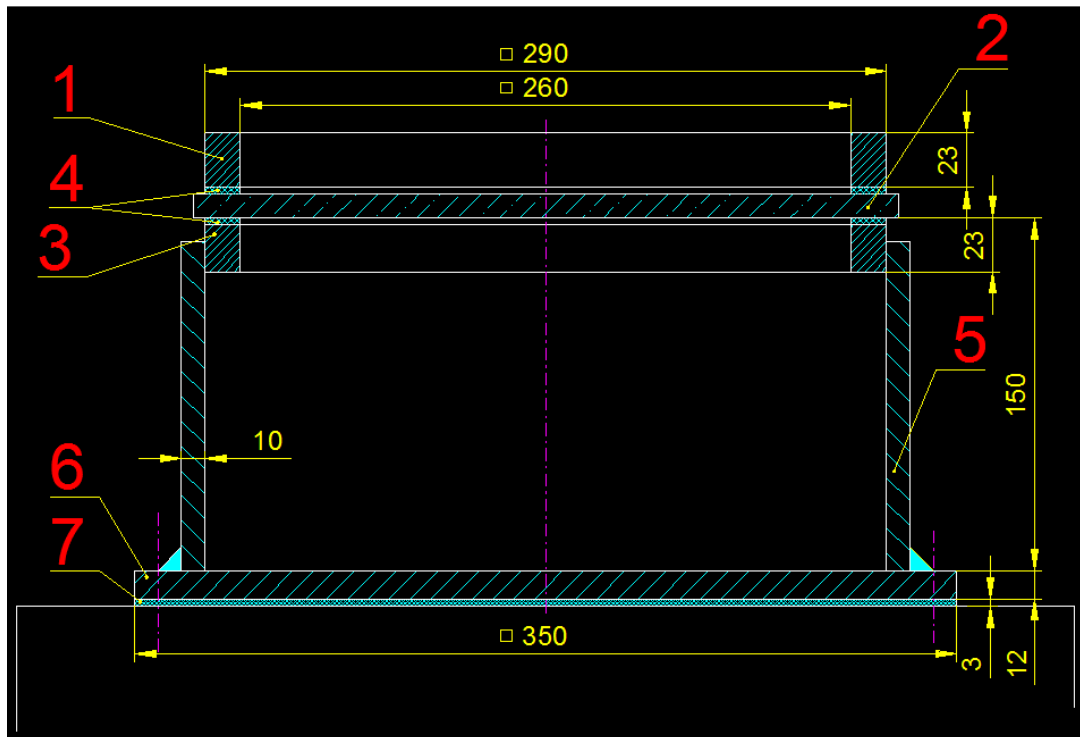
Metóda spočíva v stanovení minimálnej mechanickej pevnosti a dostatočnej súdržnosti pri náraze malého tvrdého predmetu.

##### Zariadenie

Oceľová kalená guľa o hmotnosti (227+/-2) g, priemeru približne 38mm. Zariadenie pre vypúšťanie gule rýchlou rovnejúcou sa rýchlou voľného pádu.

Podstavec pre vzorku sa skladá zo spodného oceľového rámu umiestneného na oceľovej bedni ktorá je privarená k oceľovej doske podloženej gumovou doskou. Skúšobná vzorka sa upevní na spodný oceľový rám vrchným oceľovým rámom ktorého hmotnosť je približne 3 kg. Rámy s podporným povrchom širokým 15 mm musí byť vzájomne zlíčovany.

Medzi vzorku a rámy sa umiestni gumové vložky hrúbky približne 3 mm a šírky 15 mm (Tvrdosť gummy 50° podľa ST SEV)



Obr. 1. Uchytenie vzorky do crashovacieho zariadenia.

Legenda: 1 - horný rám, 2 - vzorka, 3 - spodný rám, 4 - gumové vložky, 5 - bedňa, 6 - oceľová doska, 7 - gumová doska

### Skúšobné vzorky

Skúšobné vzorky musia byť tvaru štvorca o strane  $300 +10/-0$  mm.

### Postup skúšky

Vzorky ostanú pred začiatkom skúšky aspoň 4 hodiny v prostredí predpísanej teploty.

Skúšaná vzorka sa umiestnený na podstavec pre vzorku tak, aby guľa udrela na povrch bezpečnostného skla, ktorý predstavuje vonkajšiu stranu pri jeho použití na vozidle.

Guľa sa spustí zo stanovenej výšky v norme RVHP na výrobok tak, aby bod nárazu bol vo vzdialenosti najviac 25 mm od geometrického stredu vzorky (ak je výška pádu menšia alebo rovných 6 m) alebo vo vzdialenosti najviac 50 mm od geometrického stredu vzorky (ak je výška pádu väčšia ako 6 m). Smer dopadu gule musí byť kolmo na rovinu vzorky z odchýlkou menej ako  $3^\circ$ . Guľa smie vykonať iba jeden náraz.

### **Vyjadrenie výsledkov**

Vyhodnotí sa stupeň porušenia (úplné porušenie, prienik vložkou atď.), odvážia sa s presnosťou na 0,1 g celková hmota úlomkov a hmota najväčšieho úlomku, ktoré sa oddelili zo strany protiľahlej strany nárazu skúšanej vzorky [3].

## **2.2 Postup crash testu pre polymérni výrobok**

Keďže úlohou našej diplomovej práce je navrhnutie upnutia polypropylénových výrobkov. Prvá verzia je vyrobená zo 100% polypropylénu a druhá 70% polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien. Na vykonanie crash testov sme mali k dispozícii dva typy crashovacích zariadení a to:

- 1- Manuálny padostroj,
- 2- Automatický padostroj typu Zwick Reoll HIT230F.

### **2.2.1 Postup crash testu na manuálnom padostroji**

1. Priskrutkujeme zverák k podlahe,
2. Do zveráku upneme adaptér na uchytenie vzoriek,
3. Do adaptéru upneme vzorku polypropylénového výrobku,
4. Zapojenie a osadenie vysokorýchlostného kamerového systému olympus I-speed 2,
5. Zapojenie a usporiadanie osvetlenia lowel DP,
6. Zamedzenie prístupu denného svetla na crashovanú vzorku,
7. Do držiaka osadíme navíjací meter,
8. Zaistíme polohovací krúžok do potrebnej polohy,
9. Vytiahneme tlk pomocou manipulačnej úchytky,
10. Pomocou zaistovacieho čapu upneme tlk do potrebnej polohy,
11. Zaostríme kameru a nastavíme program na snímanie vysokorýchlostného deja,
12. Spustenie snímania vysokorýchlostného deja,
13. Vytiahnutie čapu a následné uvoľnenie tlka,
14. Ukončenie snímania tesne po zdeformovaní vzorky,
15. Uloženie video záznamu.

### **2.2.2 Postup crash testu na automatickom padostroji Zwick Reoll HIT230F**

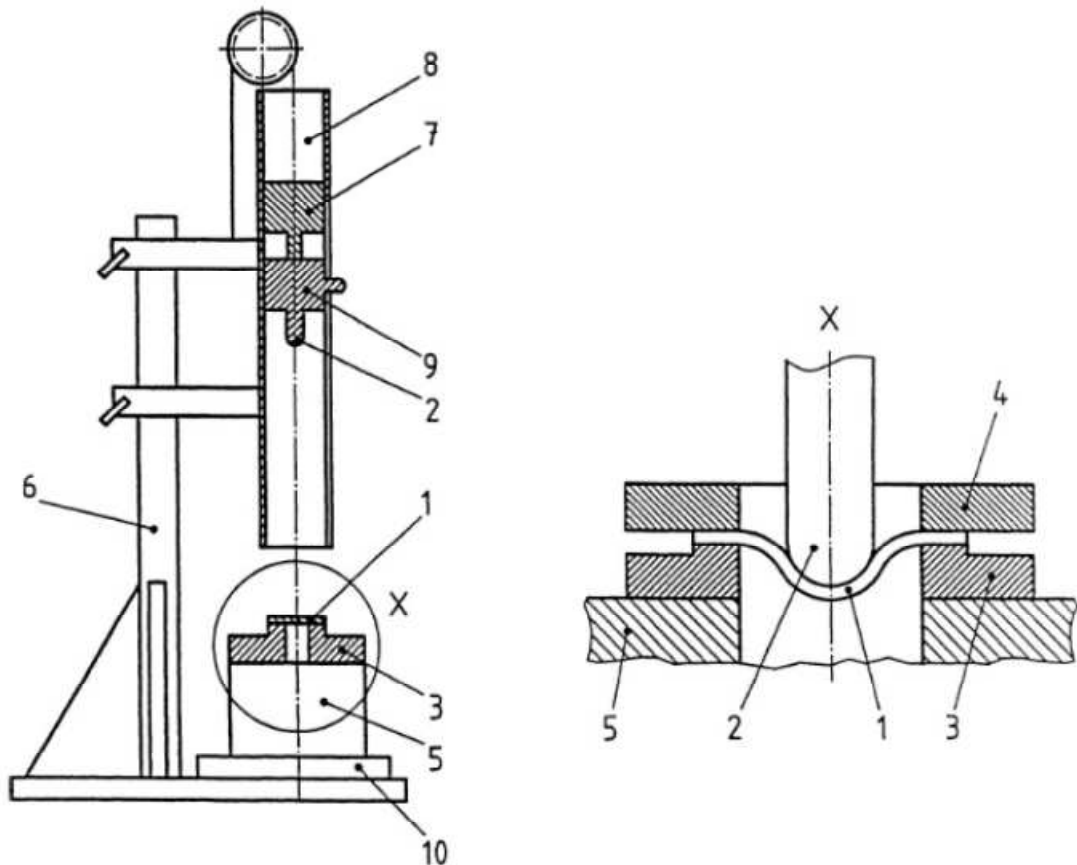
1. Zapojenie tlakovej hadice do crashovacieho zariadenia,
2. Prepojenie crashovacieho zariadenia s elektronickým prevádzáčom a počítačom,

3. Zapnutie padostroja a elektronického prevádzača,
4. Spustenie a nastavenie programu testXpert II,
5. Zapojenie vysokorýchlostného kamerového systému I-speed II,
6. Zapojenie halogenidového osvetlenia Olympus a osadenie optovodu na telo kamery,
7. Osadenie zrkadla do dutiny stojanu a jeho fixácia pomocou plastelíny,
8. Osadenie kamery a osvetlenia do vhodnej polohy,
9. Uloženie polypropylénovej vzorky na stojan padostroja,
10. Zamedzenie prístupu denného svetla na crashovanú vzorku,
11. Zaostríme kameru a nastavíme program na snímanie vysokorýchlostného deja,
12. V programe testXpert II zvolíme: Štart jednej,
13. Spustenie snímania vysokorýchlostného deja,
14. Stlačenie oboch spúští súčasne na padostroji,
15. Ukončenie snímania tesne po zdeformovaní vzorky,
16. Uloženie video záznamu,
17. V programe testXpert II zvolíme: typ defektu na vzorke/Tečenie s plastickým pretvorením (YD).

### 3 ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY CRASHOVACÍCH ZARIADENÍ

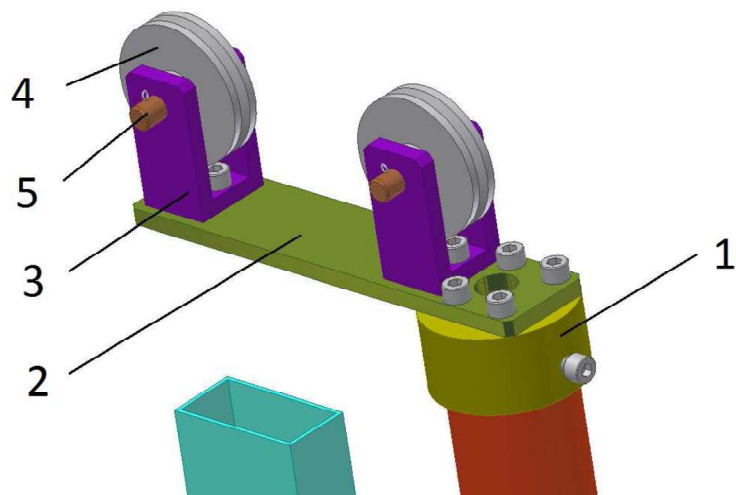
#### 3.1 Schéma manuálneho crashovacieho zariadenia

Crashovacie zariadenie sa skladá z nasledujúcich častí:



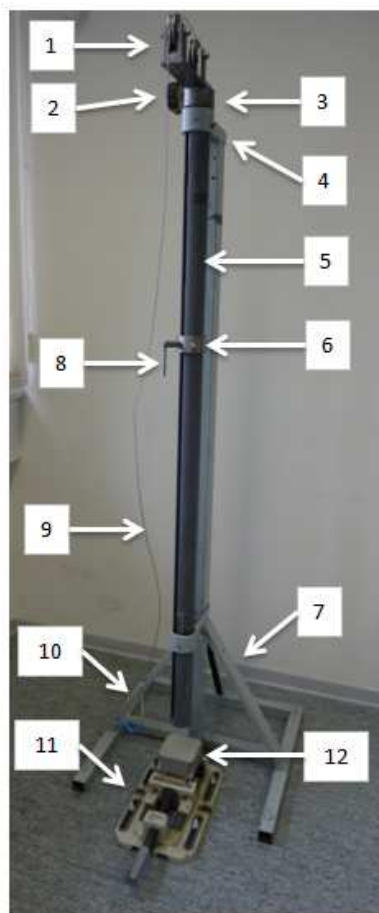
Obr. 2. Schéma crashovacie zariadenie – padostroj [7].

Legenda: 1 - skúšobné teleso, 2 - pologul'ová nárazová plocha, 3 - podpera pre skúšobné teleso, 4 - upínací krúžok (voliteľný), 5 – základňa, 6 - držiak tĺčika, 7 - systém pre pridržanie a uvoľnenie tĺčika, 8 - vodiaca lišta tĺčika o známej hmotnosti, 9 - tĺčik o známej hmotnosti.



Obr. 3. Detail konštrukcie pre vedenie oceľového lana [7].

Legenda: 1 – Objímka, 2 – Doska, 3 – Držiak, 4 – Kladka, 5 – Čap.



Obr. 4. Crashovacie zariadenie.

1- Kladka, 2- Meter, 3- Držiak pre navinovací meter, 4- Držiak na uchytenie vodiacej trubky, 5- Vodiaca trubka, 6- Polohovací krúžok, 7- Rám padostroja, 8- Fixačný čap, 9- Oce-

řové vodiace lano, 10- Manipulačná úchytka, 11- Adaptér na testovaných vzoriek, 12- Zverák na fixáciu adaptéra.

### 3.1.1 Popis a parametre manuálneho crashovacieho zariadenia

Hlavnou súčasťou skúšobného zariadenia sú:

- nosič energie typu zotrvačnej hmotnosti (systém padajúceho tlčika), ktorý sa skladá zo: závažia, tlčika,
- podpery pre skúšobné teleso.

Skúšobné zariadenie musí umožniť, aby na skúšobné teleso dopadol tlčik do jeho stredu, kolmo k povrchu skúšobného telesa.

#### **Parametre crashovacieho zariadenia:**

Maximálna hmotnosť tlčika: 2,5 [kg],

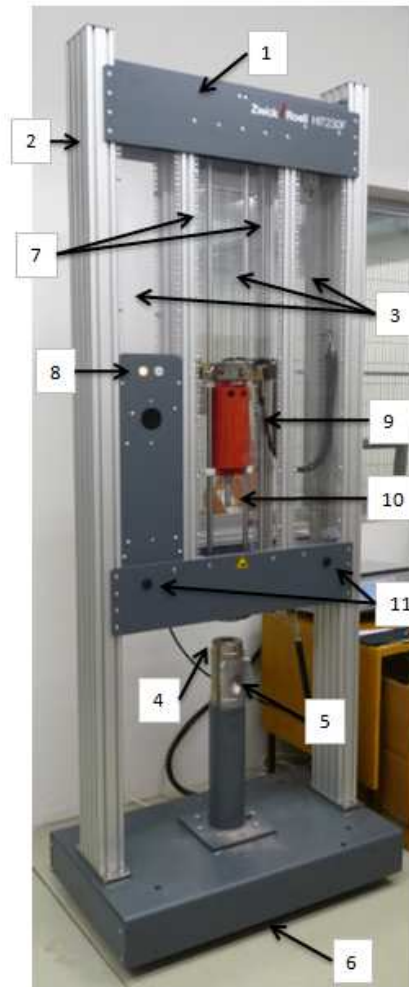
Maximálna spúšťacia výška: 1,7 [m],

Testovacia rýchlosť do: 5,77 [m.s<sup>-1</sup>],

Maximálna dopadová energia: 41,69 [J] [7].



### 3.2 Schéma automatického crashovacieho zariadenia



Obr. 5. Zwick Roell HIT230F.

1 - Čelná doska, 2 - Nosný rám, 3 - Ochranné plexisklo, 4 - Držiak, 5 - Otvor na úlomky, 6 - Základňa, 7 - Závitové tyče, 8 - Vypínač, 9 - Závažie, 10 - Tlák, 11 - Obojručná spúšť.

#### Parametre crashovacieho zariadenia:

Maximálna hmotnosť tlčika: 0,291 [kg],

Maximálna hmotnosť závažia: 23 [kg],

Maximálna spúšťacia výška: 1082 [mm],

Testovacia rýchlosť do: 4,4 [m/s],

Maximálna dopadová energia: 230 [J] [10].

## 4 VYSOKORÝCHLOSTNÉ KAMEROVÉ SYSTÉMY

U rýchlych priemyselných zariadení a skúšok je často treba spraviť záznam a analýzu extrémne rýchlych dejov. Jednou z možností je využitie vysokorýchlostných snímacích zariadení tzv. vysokorýchlostných kamier. Výhodou týchto zariadení je možnosť spomaleného prehrania video záznamu alebo aj následná analýza dejov po jednotlivých obrázkoch, čo umožní užívateľovi podrobne preskúmať snímané deje a rýchle odhaliť problémy. Vysokorýchlostný kamerový systém je používaný vo väčšine priemyslových odvetví.

Vysokorýchlostná kamera je optoelektronické zariadenie na vyvážanie obrazového záznamu vysokou frekvenciou snímania. V súčasnej dobe vysokorýchlostné kamery rovnako ako videokamery pre domáce použitie umožňujú snímanie digitalizovaného obrazu záznamu spolu so zvukovým záznamom. Vysokorýchlostné kamery umožňujú snímanie obrazu čiernobielo ale aj farebne. Čiernobiele snímanie nie je tak náročné na prenos dát a môže byť pri niektorých druhoch snímania výhodnejšia možnosť. Konštrukcia vysokorýchlostných kamier je v podstate jednoduchá. Predná časť pozostáva zo skrutkovacích prvkov pre upevnenie výmenného objektívu kamery. Pripojovacie konektory na zadnej strane súžia na zapojenie rôznych ovládacích a zobrazovacích zariadení, preto nie je potrebná montáž internej zobrazovacej jednotky to isté platí pre jednotlivé prvky ovládania, nakoľko skoro všetky tieto funkcie obsahujú externé prvky pripojené pomocou týchto konektorov. Uchytenie vysokorýchlostnej kamery ku statívu sa robí pomocou závitových dier umiestnených na spodnej strane kamery [5].



Obr. 6. Systém uchytenia kamery ku statívu [5].

## 4.1 Typické využitie vysokorýchlostných kamier

Veľmi častou oblasťou využitia vysokorýchlostných kamerových systémov je v crash testoch automobilov a motoriek., kde sa testujú aktívne a pasívne prvky bezpečnosti, napríklad funkčnosť airbagov. V skúšobníctve sa používa vysokorýchlostný kamerový systém na mechanické skúšky vlastností materiálov, prípadne skúška odolnosti výrobku proti pôsobeniu tlaku, vibrácii atď. Tieto systémy našli uplatnenie pri vylepšovaní plynulého chodu robotických liniek. Ďalším uplatnením systémov je analýza vysokorýchlostných výrobných procesov, vedecké pokusy, výskumy balistické skúšky a letecký priemysel.

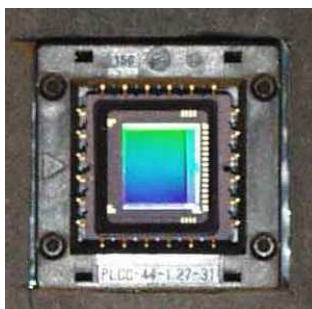
Rovnako ako všetky videokamery aj vysokorýchlostné kamery obsahujú rovnaké dôležité prvky pre snímanie, ako sú obrazové snímače, obrázkové procesory a objektívy.

## 4.2 Obrazové snímače a procesory

Z dôvodu, aby sme si mohli zaznamenaný dej prehrať, musí najskôr zaznamenaný obraz prejsť cez objektív do obrazového snímača a tam sa zmení na elektrický signál putujúci do obrazového procesora. Ten riadi kontinuálny chod všetkých súčastí a výsledný spracovaný obraz signálu posiela na dátový nosič, z ktorého si ho môžeme prehrať.

### 4.2.1 Obrazový snímač

Druh obrazového snímača ovplyvňuje hlavne kvalitu farebného podania a šumu obrazu (bez ohľadu na výsledné rozlíšenie záznamu). Tiež je dôležité ako dokáže snímač reagovať na svetlo a či môže pomocou ďalej spracovávať obraz. Najčastejšie používané snímače sú CMOS a CCD.



Obr. 7. Snímač CCD[8].

CCD (Charge Coupled Device) obrazové snímače sú náročné na výrobu a preto aj drahé. Hovoríme od doštičkách veľkých približne 1 cm, ktoré obsahujú veľa sensorov citlivých na svetlo tzv. bunky. Každá bunka sa skladá z polovodičových elementov reagujúcich na

svetlo a dokážu ho absorbovať do seba. V prípade videokamier sa množstvo týchto buniek pohybuje od 300 000 do 500 000. Fotoaparáty v súčasnej dobe umožňujú mať až milióny takýchto buniek, poznáme ich ako megapixely. Výsledné rozlíšenie obrazu závisí od množstva buniek, ktoré snímač obsahuje - čím ich je viac, tým vyššie rozlíšenie dosiahne. Pred výstavnou dobou sú bunky neaktívne a prázdne. Po otvorení uzávierky prechádza svetlo cez objektív a výsledné svetlo dopadá na jednotlivé bunky. Každá bunka dokáže zmeniť tento vstupný signál na elektrický náboj, ktorý dokáže zmeniť. Miesta, ktoré sú svetlejšie, produkujú väčší elektrický náboj a miesta, ktoré sú tmavšie, produkujú menší elektrický náboj. Samotný CCD snímač zaznamenáva iba analógové hodnoty, ktoré posielajú do ďalších súčastí, ktoré vykonávajú jeho sčítanie a digitalizáciu.

Je jasné že taký senzor môže zaznamenávať iba čiernobiele obrázky závislé na miestach jasnejších a miestach tmavších. Preto sa pred každú bunku vkladá farebný filter. Teraz keď svetlo dopadá na snímač musí samozrejme prejsť cez filter kde modrá vstupná farba prejde pred modrý filter a odráža zelený a červený vstupný signál. To isté platí pre zelený a červený filter. Znovu dochádza k bunkami pohlcujúceho dopadajúceho svetla a jeho následného zmenenia sa na elektrický náboj, ale s tým rozdielom, že teraz už nezávisí na intenzite dopadajúceho svetla ale tiež na farebnom zložení [8].

CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) vo veľkej miere ich dnes obsahujú zrkadlové digitálne fotoaparáty ale tiež vysokorýchlostné kamery.



Obr. 8. Snímač CMOS [8].

CMOS funguje na rovnakom princípe ako CCD snímač, iba má viac výhod ako napríklad nižšia spotreba energie vďaka miernej zmene konštrukcie a tiež so schopnosťou pracovať iba s jednou napäťovou úrovňou pričom CCD snímače potrebujú pracovať s dvomi napäťovými úrovňami. Menej zbytkového tepla, ktorý je problém predovšetkým pri väčších CCD snímačoch, má za následok vyšší šum a tým zníženie kvality výsledného obrazu. Pri výro-

be CMOS snímačov sa stávajú ekonomicky výhodnejšími, vďaka menšej potrebe drahého kremíku a nízkej poruchovosti, napriek vysokej investícii do výrobného zariadenia.

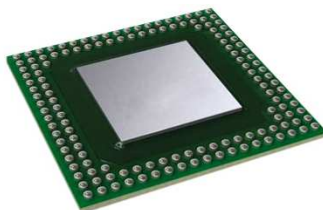
CCD snímače používajú pre prenos elektrického náboja z jednotlivých buniek príslušným prenosovým kanálom systém postupného odovzdávania. Elektrický náboj z buniek sú posielané do zosilňovača na okraji snímača až potom sú všetky jednotlivé náboje načítané a môže byť signál zosilnený a odoslaný do obrazového procesoru. Vďaka tomu sú CCD snímače oproti CMOS pomalšie. CMOS snímače vyrábané firmou CANON je konverzia signálu náboja zosilňovaná zosilňovačom nachádzajúcim sa pri každej bunke snímača. Tým sa podstatne urýchľuje proces dopravy signálu do obrazového snímača ale tiež vznik šumu a tiež spomenutá spotreba energie [8].

#### 4.2.2 Obrazový senzor

Obrazový senzor je mozog každého fotoaparátu alebo kamery. Pomocou A/D prevodníka je prevedený signál z bunky snímača na digitálne hodnoty, ktoré smerujú do procesora, ktorý ich ďalej prevedie na výsledný snímok.

Pokiaľ nastavujeme redukciu šumu nastavenie bielej farby kontrast či ostrosť tak nastavujeme operácie ktoré bude procesor vykonávať s výsledným obrazom. Napríklad sa snažíme čo najviac redukovať množstvo šumu na výslednej snímke. Záleží na type procesorov a tiež na tom, ako sa s týmto problémom dokáže vyrovnáť. U malých citlivostí väčšinou nie je problém viac redukovať šum, u väčších citlivostí už to problém je.

Kapacita obrazového procesora má obrovský vplyv na spracovanie výslednej snímky. Tiež záleží, ako rýchlo dokáže procesor komunikovať s pamäťovou kartou a tiež ako veľkú má vyrovnávaciu pamäť. Obrazový procesor je priamo konštruovaný pre prácu s veľkým počtom snímok. V porovnaní s procesorom, ktorý by sme našli v každom stolovom PC je obrazový procesor oveľa výkonnejší čo sa týka spracovania snímok, pretože ich architektúry sa značne líšia [8].



Obr. 9. Obrazový procesor[8].

### 4.3 Objektív

Objektív je jeden z ďalších dôležitých faktorov ovplyvňujúci výslednú kvalitu nadobudnutej snímky. Výber správneho objektívu závisí na charakteristike expozície. Rozlišujeme dva druhy objektívov so stálou a meniteľnou ohniskovou vzdialenosťou.

Pokiaľ treba nasnímať scénu, ktorá je malá alebo je kamera umiestnená vo väčšej vzdialenosti od scény, je doporučené použiť objektív s veľkou ohniskovou vzdialenosťou. Nevýhodou tohto objektívu je, že má malú svetelnosť a z toho dôvodu je výsledný obraz nejasný.

V prípade snímania veľkých scén alebo keď je kamera umiestnená blízko scény, používame objektív s malou ohniskovou vzdialenosťou. Nevýhodou objektívov s malou ohniskovou vzdialenosťou je, že deformujú perspektívu snímky.

Objektívy sú zložené zariadenia obsahujúce optické prvky v skupinách. Ako každé zariadenie, aj objektívy bohužiaľ obsahujú určité chyby obrazu. Najviac nežiaducou chybou je chromatická aberácia.

Pre kameru Olympus i-SPEED 2 sa za štandardný objektív považuje objektív s ohniskovou vzdialenosťou 25mm a s rozsahom clonových čísel f/1.4 až f/22 [8].

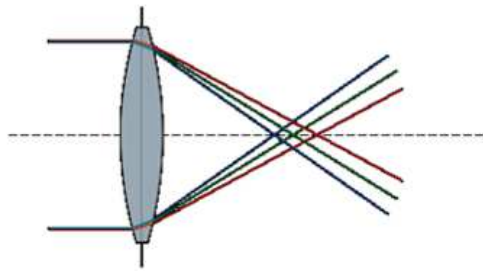


Obr. 10. Objektív PENTAX 12,5-75mm[8].

#### 4.3.1 Chronická vada – aberácia

Aberácia je chyba vznikajúca nie rovnakým lomom svetla o rôznych vlnových dĺžkach. Aberácia sa v praxi na snímkach objavuje fialovou alebo zelenou stopou na hranici medzi vysokým a nízkym jasom. Tejto chyby, ktorá vzniká na šošovkách v zložitých optických zariadeniach, sa nedá zbaviť. Je možné ju obmedziť pomocou šošoviek z fluoridu vápena-

tého, kde dochádza k malému rozptylu alebo je možné použitie difrakčných elementov, ktoré majú farebnú chybu úplne opačnú, než majú bežné šošovky.



Obr. 11. Vznik aberácie [8].

#### 4.3.2 Ohnisková vzdialenosť a uhol záberu

Je to najdôležitejšia charakteristika objektívu. Ohnisková vzdialenosť je vzdialenosť šošovky ich ohniska. Najlepšie sa to dá predstaviť u normálneho objektívu, kde uhol záberu sa rovná uhlu záberu, ktoré vníma ľudské oko. Jedná sa teda o prirodzenú perspektívu.

Pomocou objektívu vytvárame výrez reality. Ten je daný práce ohniskovou vzdialenosťou a uhlom záberu. Širokouhlé objektívy s ohniskovou vzdialenosťou 18 – 35mm sú širokouhlé objektívy. Na okrajoch výslednej snímky sú viditeľné malé deformácie. Ohniskové vzdialenosti pokračujú cez krátke teleobjektívy, kde ohnisková vzdialenosť je 80 – 300mm až po dlhé teleobjektívy, kedy sa ohnisková vzdialenosť pohybuje od 400 – 1200mm, avšak na úkor malej hĺbky ostrosti [5].

#### 4.3.3 Svetelnosť

Je to bezrozmerná hodnota, ktorá udáva podiel svetla prechádzajúceho objektívom. Označuje sa ako hodnota menovateľa zlomku s činiteľom rovnajúcim sa 0. Ideálny objektív by prepúšťal všetko svetlo v celom rozsahu uhla záberu. Avšak reálne objektívy časť svetla pohlcujú preto sa v menovateli označujú číslami ktoré určujú, koľko daný objektív pohltí svetla.

Hodnotám približujúcim sa ideálnemu objektívu je možné dosiahnuť zväčšovaním prednej šošovky vďaka čomu sa do objektívu dostane viac svetla a zvýši sa tak svetlosť. V praxi sa používa skôr označenie zlomku s čitateľom označujúcim písmeno  $f$  napríklad  $f/6$ . Okrem iného sa objektívy tiež spolu so svetelnosťou označujú aj s ohniskovou vzdialenosťou v jednom zlomku napríklad  $1,8/55\text{mm}$ .

## 4.4 Osvetlenie

Ďalším dôležitým prvkom pri snímaní vysokorýchlostnou kamerou je osvetlenie. U súčasných kamier snímajúcich frekvenciu dosahujúcu až stovky tisíc snímok za sekundu sa môže aj priame svetlo zdať dosť nedostačujúce. Výsledný snímok bez dobrej svetelnej scény potom môže byť dosť tmavý alebo na ňom nemusí byť nič vidieť. Preto sa musí použiť osvetľovacie zariadenie ktoré dosahujú výkon až niekoľko kilowattov.

Typ použitia osvetlenia závisí od druhu snímanej scény. Halogénové svetlo môže byť použité pri menej náročnom snímkaní. Hlavnou nevýhodou halogénového osvetlenia je jeho vysoký rozptyl svetla do okolia. Pri použití výbojkového osvetlenia pri vysokom počte snímkaní za sekundu je výsledný snímok nedostatočný. To je spôsobené nelineárnym osvetľovaním výbojky pretože výbojka bliká vo vysokej frekvencii. Najlepším spôsobom osvetlenia sa javí Fiber-optic iluminátory využívajúci prenos svetla pomocou optického kábla.

### 4.4.1 Fiber-optic iluminátor

Pomocou tohto prístroja sa svetlo prenáša pomocou optického kábla na predmet alebo scénu. Vo vnútri prístroja sa nachádza lampa ktorá je chladená ventilátorom. Na konci lampy je optická hlava ktorá presne dosadá na jeden koniec optického kábla. Druhý koniec optického kábla sa nasmeruje na snímanú scénu. Okolo lampy sa tiež nachádza reflektor, ktorý žiarenie vysielané do okolia nasmeruje priamo do optického kábla. Lampa môže byť halogénová, kremíková alebo halogenidová. Halogenidová lampa poskytuje najväčší jas. Ten je tiež ovplyvnený výkonom lampy, ktorý sa pohybuje od 50 do 250 wattov. Hlavnou výhodou tohto osvetlenia je, že má veľmi nízky rozptyl svetla do okolia oproti osvetleniu pomocou halogénovej lampy [4].



Obr. 12. Optický iluminátor.



#### 4.4.2 Optický kábel

Optické vlákno je vyrobené zo skla alebo plastu. Jeho vnútorná časť sa nazýva jadro, ktoré je obalené plášťom ako primárna ochrana. Index lomu musí byť na povrchu plášťa nižší ako index lomu jadra. Prenášaním signálu dochádza pomocou svetla. Optické vlákna sa časť využívajú v komunikáciách. Vďaka vysokej prenosovej rýchlosti na dlhé vzdialenosti patria medzi najlepšie komunikačné technológie. Použitie skla alebo plastu namiesto kovu znižuje straty vedením a sú imúnne voči elektromagnetickým javom. Optické káble sú zväzky optických vlákien s využitím princípu totálneho odrazu na rozhraní dvoch prostredí s rozdielnym indexom lomu.

Index lomu je zmena rýchlosti šírenia svetla prechodom medzi jednotlivými prostrediami. Vo vákuu je rýchlosť šírenia svetla najväčšia. Vo vesmíre sa šírenie svetla pohybuje rýchlosťou 300 miliónov metrov za sekundu. Index lomu svetla sa dá ľahko spočítať vydeľením rýchlosti svetla vo vákuu rýchlosťou v danom prostredí. Index lomu plášťa vlákna je 1,46 a jadra 1,48. Čím je index lomu väčší tým pomalšie sa svetla v prostredí šíri.

Totálny odraz vzniká, keď sa svetlo pohybuje vo veľmi ťažko prenikateľnom prostredí a dopadá na rozhranie pod šikmým uhlom väčším než je uhol hraničný. Vďaka tomu sa svetlo kompletne odrazí späť. Tento jav sa využíva v optických kábloch aby bolo svetlo udržované v jadre vlákna. Iba svetlo ktoré vstupuje do jadra v určitom rozsahu uhla sa môže ďalej šíriť bez straty. K tomu sa využíva tzv. vstupný kužeľ. Veľkosť vstupného kužeľa sa určuje podľa indexu lomu a rozdielom medzi jadrom a povrchom vlákna.

Útlm je rozdiel napätia medzi začiatkom a koncom vedenia. Čím nižší bude útlm tým kvalitnejší signál dosiahneme. Vlákna vyrobené zo skla majú útlm v desiatkach decibelov na kilometer.

Disperzia je zakresľovanie signálu vďaka zmene rýchlosti impulzov a zmene ich tvaru. Vzniká vďaka rozdielu indexu lomu a rôznou rýchlosťou v prostredí.

Veľavidové optické vlákno sa používa pre komunikáciu na krátkych vzdialenostiach napríklad vo vnútri budov alebo medzi jednotlivými budovami. Rýchlosť sa tu pohybuje od 10 Mb/s až do 10Gb/s na vzdialenosť až 600m [4].

Jednovidová vlákna sa používajú na prenos signálu na väčšie vzdialenosti napríklad medzi štátmi či kontinentmi využívané časti pre prenos vysokorýchlostného internetu.



*Obr. 13. Optický kábel.*

## **4.5 Vysokorýchlostné kamerové systémy od firmy Olympus**

Najväčším výrobcom vysokorýchlostných kamier na svete sú firmy Olympus a Radlake. Firma Olympus ponúka 5 druhov vysokorýchlostných kamier:

- i-SPEED LT,
- i-SPEED 2,
- i-SPEED TR,
- i-SPEED 3,
- i-SPEED FS.

Firma Olympus bola založená v roku 1919 v Japonsku v Tokiu. Zaoberá sa optikou a zobrazovacím zariadením. Vďaka dlhoročným skúsenostiam sa môžu série vysokorýchlostných kamier chváliť vysokou kvalitou a spracovaním obrázkov. Vďaka pevnej hliníkovej konštrukcii sú tieto kamery vhodné do širokého spektra využitia v priemysle. Videonahrávky sa ukládajú na internú pamäť z ktorej ich potom môžeme stiahnuť na flash disk alebo pomocou LAN do počítača. Dodávaný software pomáha ľahko analyzovať napríklad rýchlosť alebo meranie vzdialenosti.

### **4.5.1 i-SPEED LT**

Táto kamera bola navrhnutá hlavne pre jej jednoduchú obsluhu. Jej hlavné využitie sa nachádza vo výrobe a priemyselnej diagnostike.



Obr. 14. i-SPEED LT [4].

Typ senzora:	CMOS senzor
Rozlíšenie senzora:	800 x 600
Plné rozlíšenie senzora do:	1000 fps
Nastavenie senzora:	farebné / čiernobiely
Maximum snímkou za sekundu:	2000 fps
Interná pamäť:	1GB / 2GB / 4GB
Napájanie kamery:	12V DC +/- 10%
Pracovná teplota:	0°C - 40°C

Tab. 2. Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED LT [4].

Typ kamery	Doba snímání pri plnom rozlíšení [s]
1 GB farebný / čiernobiely	2,25
2 GB farebný / čiernobiely	4,5
4 GB farebný / čiernobiely	9

#### 4.5.2 i-SPEED 2

Táto kamera je veľmi podobná i-SPEED LT rozdiel medzi nimi je že i-SPEED 2 môže snímať rýchlosťou až 33 000 fps. Jej hlavným využitím je v oblasti výskumu a vývoja. Umožňuje tiež okamžitú analýzu a prehrávanie cez CDU alebo pomocou LAN kábla s PC.



Obr. 15. i-SPEED 2 [4].

Typ senzora:	CMOS senzor
Rozlíšenie senzora:	800 x 600
Plné rozlíšenie senzora do:	1000 fps
Nastavenie senzora:	farebné / čiernobiely
Maximum snímok za sekundu:	33 000 fps
Interná pamäť:	2GB / 4GB
Napájanie kamery:	12V DC +/- 10%
Pracovná teplota:	0°C - 40°C

Tab. 3. Vplyv doby snímania na pamäť kamery i-SPEED 2 [4].

Typ kamery	Doba snímania pri plnom rozlíšení [s]
2 GB farebný / čiernobiely	4,5
4 GB farebný / čiernobiely	9
4 GB farebný / čiernobiely	9

Tab. 4. Hodnoty rýchlostí a rozlíšenia 2 GB verzie [4].

Rýchlosť fps	Doba záznamu [s]	Rozlíšenie (š x v)	Pixely na snímok	Snímky v pamäti	Zoom
60	74,55	800 x 600	480000	4473	1
100	44,73	800 x 600	480000	4473	1
150	29,82	800 x 600	480000	4473	1
200	22,37	800 x 600	480000	4473	1
300	22,37	800 x 600	480000	4473	1

400	11,18	800 x 600	480000	4473	1
500	8,95	800 x 600	480000	4473	1
600	7,46	800 x 600	480000	4473	1
800	5,59	800 x 600	480000	4473	1
1000	4,47	800 x 600	480000	4473	1
1500	4,23	672 x 504	335355	6340	1,19
2000	4,32	576 x 432	248832	8630	1,39
3000	4,76	448 x 336	150628	14226	1,79
4000	4,85	384 x 288	110592	19418	2,08
5000	5,59	320 x 240	76800	27962	2,5
6000	5,75	288 x 216	62208	34521	2,78
8000	5,46	256 x 192	49152	43690	3,13
10 000	5,71	224 x 168	37632	57065	3,57
15 000	7,46	160 x 120	19200	111848	5
20 000	8,74	128 x 96	12288	174762	6,25
33 000	9,41	96 x 72	6912	310689	8,33

#### 4.5.3 i-SPEED TR

Táto vysokorýchlostná kamera bola navrhnutá hlavne pre výskum a vývoj. Prioritou je zachytenie vysoko kvalitného záznamu pre následné vyhodnotenie a analýzu. S maximálnou rýchlosťou snímkovania za sekundu je 10 000 a maximálnym rozlíšením 1280 x 1024 pixelov je kamera vhodná na prevažnú väčšinu skúšok.



Obr. 16. i-SPEED TR [4].

Typ senzora:	CMOS senzor
Rozlíšenie senzora:	1280 x 1024
Plné rozlíšenie senzora do:	2000 fps
Nastavenie senzora:	farebné / čiernobiele
Maximum snímok za sekundu:	10 000 fps
Interná pamäť:	8GB / 8GB / 16GB

Napájanie kamery: 14V DC -0% to 28V +5%

Pracovná teplota: 0°C - 40°C

Tab. 5. Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED TR [4].

Typ kamery	Doba snímání pri plnom rozlíšení [s]
4 GB farebný / čiernobiely	1,2
8 GB farebný / čiernobiely	2,4
16 GB farebný / čiernobiely	4,9

#### 4.5.4 i-SPEED 3

Táto kamera je navrhnutá vďaka jej vysokej frekvencii snímok za sekundu (150 000) a nízkej citlivosti na svetlo ako analytický nástroj pre vyššiu úroveň výskumu.



Obr. 17. i-SPEED 3 [4].

Typ senzora: CMOS senzor

Rozlíšenie senzora: 1280 x 1024

Plné rozlíšenie senzora do: 2000 fps

Nastavenie senzora: farebné / čiernobiele

Maximum snímok za sekundu: 150 000 fps

Interná pamäť: 8GB / 8GB / 16GB

Napájanie kamery: 14V DC -0% to 28V +5%

Pracovná teplota: 0°C - 40°C

Tab. 6. Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED 3 [4].

Typ kamery	Doba snímání pri plnom rozlíšení [s]
4 GB farebný / čiernobiely	1,2
8 GB farebný / čiernobiely	2,4
16 GB farebný / čiernobiely	4,9

#### 4.5.5 i-SPEED FS

Navrhnutá hlavne pre balistický trh. Obsahuje IRIG-B časový stamping, synchronizáciu snímokovania až 1 000 000 snímokou za sekundu a 0,2 mikrosekúnd globálnej uzávierky.



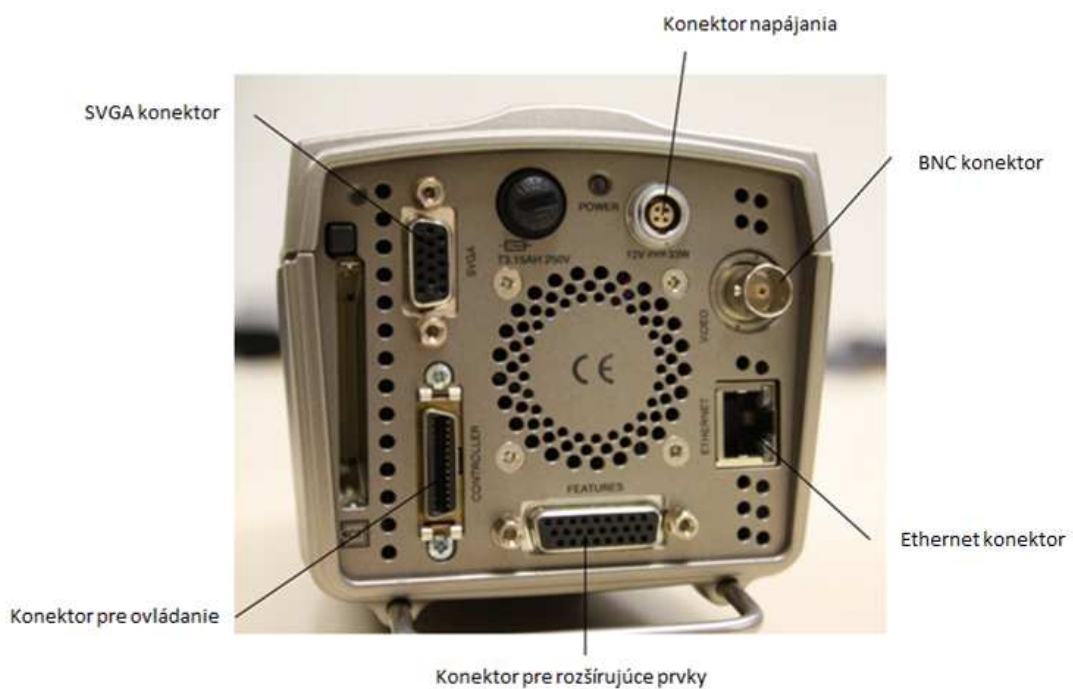
Obr. 18. i-SPEED FS [4].

Typ senzora:	CMOS senzor
Rozlíšenie senzora:	1280 x 1024
Plné rozlíšenie senzora do:	2000 fps
Nastavenie senzora:	farebné / čiernobiele
Maximum snímokou za sekundu:	1000 000 fps
Interná pamäť:	8GB / 8GB / 16GB
Napájanie kamery:	14V DC -0% to 28V +5%
Pracovná teplota:	0°C - 40°C

Tab. 7. Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED FS [4].

Typ kamery	Doba snímání pri pl- nom rozlíšení [s]
4 GB farebný / čiernobiely	1,2
8 GB farebný / čiernobiely	2,4
16 GB farebný / čiernobiely	4,9

#### 4.5.6 Zapájanie a príslušenstvo



Obr. 19. Pripojovacie konektory.

##### Konektor SVGA

Pomocou tohto konektora je možné ľahko pripojiť jednotku CDU ktorá je priamo navrhnutá pre zobrazovanie a kópie obrazu priamo z kamery. Vďaka využitiu D-SUB video konektora je možné namiesto CDU použiť aj obyčajné LCD alebo CRT zobrazovací monitor a dosiahnuť tak maximálne kvalitného obrazu priamo z kamery [2].

##### Konektor pre ovládanie

Slúži k pripojeniu diaľkového ovládania kamery alebo jednotky CDU [2].

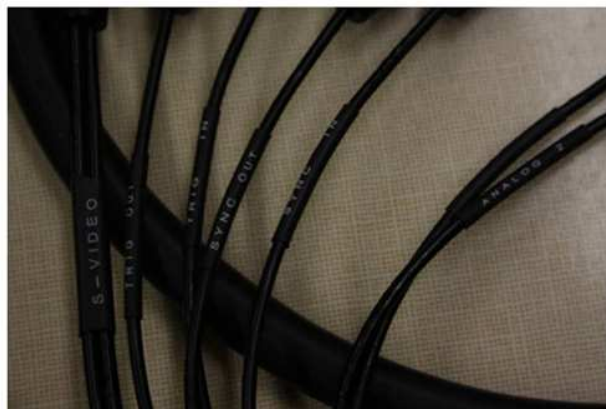
##### Konektor pre rozširujúce prvky



Tento konektor umožňuje prenos viac signálov. Jeden koniec sa umiestni do kamery a druhý koniec obsahuje viacej konektorov pre zapojenie rôznych zariadení, napríklad štartovacie tlačidlo, predĺženie kábla a synchronizáciu s ďalšou vysokorychlostnou kamerou alebo pripojenie k S-Video konektoru [2].



*Obr. 20. Kábel rozširujúcich prvkov.*



*Obr. 21. Detail kábla rozširujúcich prvkou.*

#### Ethernet konektor

Tento konektor je konektor štandardu RJ-45. Kamera sa cez tento kábel pripája pomocou kríženého LAN kábla k PC alebo notebooku a slúži pre prenos výsledného snímku pre jeho následnú analýzu [2].

#### BNC konektor

Tento konektor je štandardný kompozitný farebný signál pre prenos PAL alebo NTSC do video monitora [2].

### Konektor napájania

Tento konektor je určený pre napájanie zo siete. Zaisťuje chod videokamery ale tiež napájanie príslušenstva ako je jednotka CDU alebo diaľkové ovládanie. Samozrejmosťou je tiež ochrana proti prepólovaniu. Keby k nemu došlo odpália sa iba poistky zvyšok videokamery zostane v poriadku [2].



Obr. 22. Pohľad na zapojenie konektorov kamery.

#### 4.5.6.1 Diaľkové ovládanie (RCP)

Zapájame do konektora ovládania. Diaľkové ovládanie je napájané priamo z kamery preto nie je potrebný žiadny externý zdroj energie. Po pripojení diaľkového ovládania k videokamere sa na zobrazovacom zariadení zobrazí menu v ktorom sa dá s týmto ovládačom pohybovať.



Obr. 23. Diaľkové ovládanie.

Diaľkové ovládanie obsahuje malú sadu tlačidiel. Zelené tlačidlo pre záznam či prehrávanie červené pre ukončenie záznamu. Medzi nimi sa nachádza tlačidlo späť. Najväčšie tlačidlo je s nápisom Menu/Ent otvára menu nastavenia v ktorom sa dá pohybovať štvoricou navigačných tlačidiel umiestnených okolo tohto tlačidla [2].

#### 4.5.6.2 CDU zobrazovacie zariadenie

Toto zariadenie sa dá pripojiť namiesto diaľkového ovládania. CDU obsahuje 8,4“ veľký LCD display čiže nie je potrebné žiadne ďalšie zobrazovacie zariadenie. CDU obsahuje sadu tlačidiel rovnako ako diaľkové ovládanie ktoré jednoducho a rýchlo vie nastaviť dané špecifikácie potrebné pre snímanie. Toto zariadenie tiež umožňuje jednoduché uloženie tej časti snímku ktoré potrebujeme k ďalšej analýze [4].



Obr. 24. Zariadenie CDU [4].

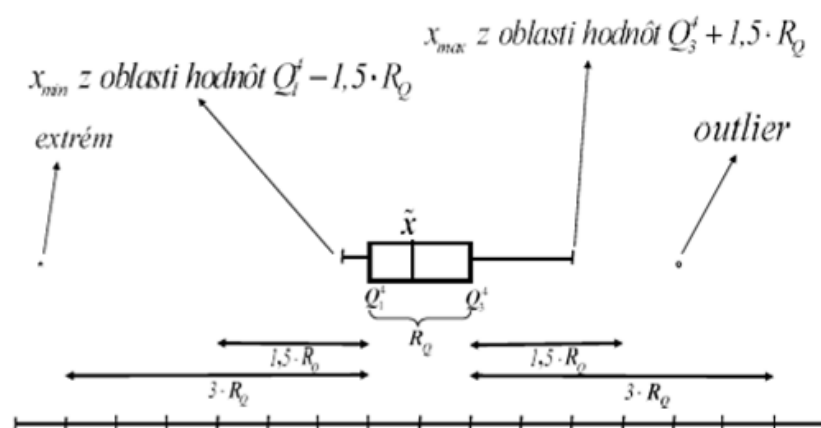
## 5 ŠTATISTICKÉ METÓDY NA VYHODNOCEVANIE VYSOKORÝCHLOSTNÝCH DEJOV

### 5.1 Základné štatistické pojmy

Štatistický súbor predstavuje vymedzenú množinu objektov, prvkov skúmania. Jednotlivé objekty označujeme ako štatistické jednotky a počet týchto jednotiek nazývame rozsah súboru. Skúmané vlastnosti štatistického súboru sleduje štatistika prostredníctvom merateľných vlastností štatistických jednotiek, ktoré sú vyjadrené tzv. štatistickými znakmi [9].

### 5.2 Prezentácia štatistických údajov

Štatistické zisťovanie prechádza niekoľkými etapami. Východiskovou etapou je štatistické zisťovanie. Cieľom je získavanie údajov o štatistických znakoch, ktoré by malo byť časovo, priestorovo a vecne vymedzené. Na sprehl'adnenie získaných štatistických údajov využívame tabuľky alebo grafy rozdelenia početností. Medzi najznámejšie grafické zobrazenia štatistického rozdelenia početností patrí polygón, histogram a boxplot. Histogram je stĺpcový graf, ktorý znázorňuje rad rozdelenia početnosti štatistického súboru. Tento graf sa využíva na znázornenie intervalového rozdelenia početností. Polygón sa znázorňuje v pravouhlom súradnicovom systéme a používa os x pre obmeny znaku x a os y pre početnosti. Ďalším druhom grafického zobrazenia štatistického súboru je boxplot, ktorý sa nachádza na obrázku nižšie [9]:



Obr. 25. Boxplot [9].

### 5.3 Štatistické charakteristiky

Úroveň javov vyjadrovaných kvantitatívnymi znakmi určujú stredné hodnoty. Tie v koncentrovanej podobe zovšeobecňujú informáciu o skúmaných štatistických znakoch. Najznámejšou skupinou stredných hodnôt sú priemery – aritmetický priemer, geometrický priemer, harmonický priemer. Aritmetický priemer je najznámejším a najpoužívanejším typom priemeru. Je možné ho použiť všade tam, kde má informačný zmysel súčet hodnôt. Počíta sa nasledovným spôsobom [9]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$\bar{x}$  – odhad aritmetického priemeru,

$n$  – počet prvkov výberového súboru,

$x_i$  –  $i$ -tá nameraná hodnota,

$i$  – index.

### 5.4 Miery variability

Variabilitou štatistického znaku rozumieme kolísanie hodnôt tejto veličiny. Ak by súbor obsahoval všetky hodnoty rovnaké, vravíme o nulovej variabilite. Kolísanie hodnôt v súbore môžeme posudzovať buď ako vzájomnú rozdielnosť jednotlivých hodnôt sledovanej veličiny alebo ako rozdielnosť jednotlivých hodnôt od aritmetického priemeru. Meranie variability sa využíva k hodnoteniu homogenity súboru a tiež k posudzovaniu kvality informácie, ktorú poskytuje stredná hodnota. K základným charakteristikám variability patrí variačné rozpätie, rozptyl, smerodajná odchýlka a variačný koeficient.

Variačné rozpätie  $R$  je založené na informácii o minimálnej a maximálnej hodnote v súbore. Pri jeho použití si musíme byť vedomí toho, že hodnoty minima a maxima v súbore môžu mať charakter extrémov a vedú nás k mylnej predstave o charaktere variability v súbore. Vypočítame ho ako [9]:

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (2)$$

$R$  - Variačné rozpätie,

$X_{max}$  – najväčšia hodnota výberového súboru,

$X_{min}$  - najmenšia hodnota výberového súboru.

## 5.5 Rozptyl , smerodajná odchýlka a variačný koeficient

Rozptyl môžeme definovať ako aritmetický priemer štvorcov odchýliek hodnôt znaku od aritmetického priemeru. Je najznámejšou a najpoužívanejšou mierou variability. Vypočíta sa:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (3)$$

$s^2$  – odhad rozptylu,

$n$  – počet prvkov výberového súboru,

$x_i$  –  $i$ -tá nameraná hodnota,

$\bar{x}$  – odhad aritmetického priemeru,

$i$  - index.

Samotný rozptyl je veľmi ťažko interpretovateľný, keďže výsledok je daný v štvorcových merných jednotkách. Preto sa používa tzv. smerodajná odchýlka, ktorú vypočítame ako druhú odmocninu rozptylu.

Pri porovnávaní variability viacerých skúmaných súborov nám poslúži variačný koeficient, ktorý patrí medzi relatívne miery variability, pretože nevyjadruje variabilitu v pôvodných merných jednotkách, ale ako pomer smerodajnej odchýlky a priemeru [9]:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (4)$$

$V$  – odhad variačného koeficientu,

$s$  – odhad smerodajnej odchýlky,

$\bar{x}$  – odhad aritmetického priemeru.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 SNÍMANIE, MERANIE A VYHODNOTENIE CRASH TESTU

V tejto časti diplomovej práce sa budeme venovať návrhu snímania a vyhodnoteniu merania polypropylénových výrobkov. Meranie vykonáme na modernom crashovacom zariadení/padostrojii typu ZWICK Roell HIT230F.



*Obr. 26. ZWICK Roell HIT230F.*

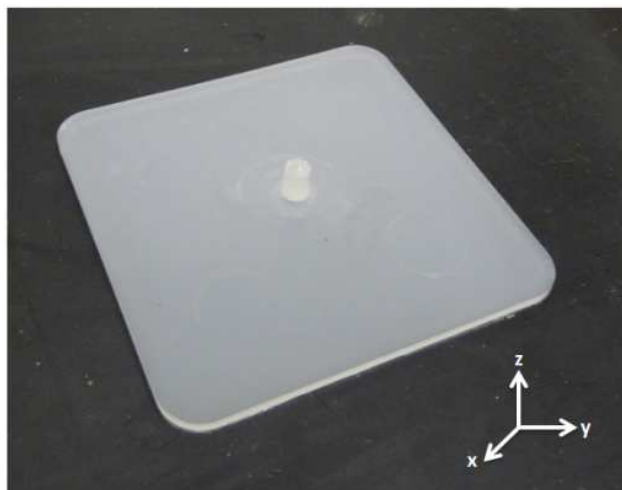
### 6.1 Parametre polypropylénových výrobkov

Na návrhu snímania sme mali k dispozícii dva typy polypropylénových výrobkov, ktoré boli vyrobené na lise a zmes bola vtlačaná bočným vtokom. Rozmery vzoriek sme spriemerovali z desiatich nameraných hodnôt z každého typu vzorky.



Tab. 8. 100% polypropylén.

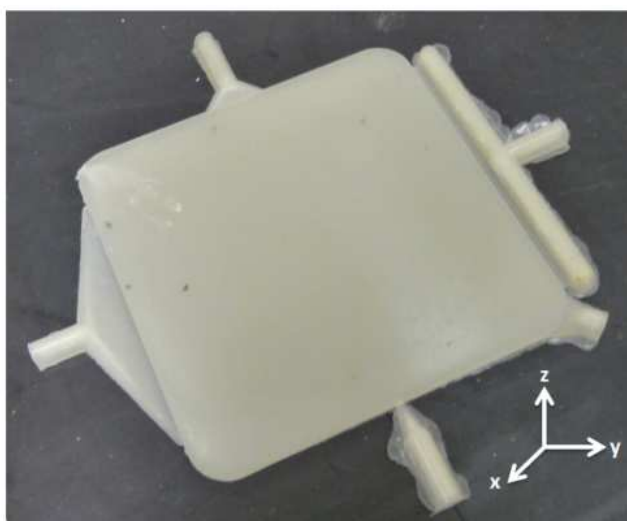
$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\bar{z}$ [mm]
9,87	9,87	2,7



Obr. 27. 100% polypropylén.

Tab. 9. Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

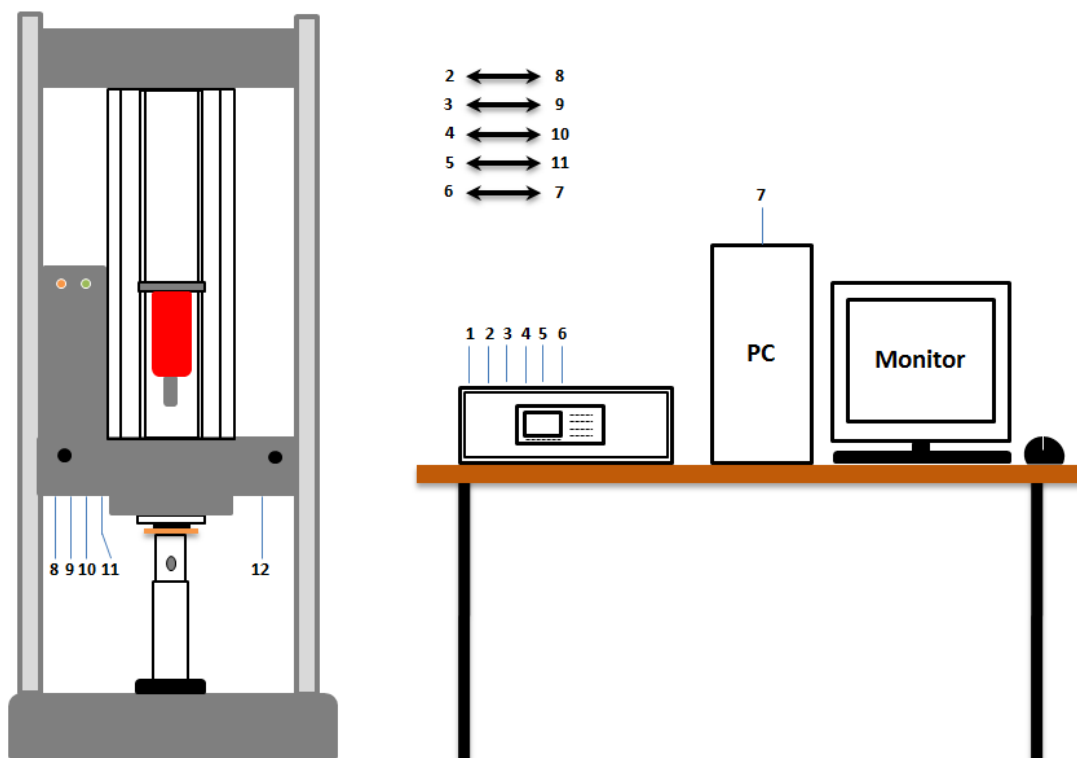
$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\bar{z}$ [mm]
9,87	9,87	2,7



Obr. 28. Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

## 6.2 Postup snímání a merania na crashovacom prístroji ZWICK Roell HIT230F

Ako už bolo uvedené meranie sme vykonali na crashovacom zariadení/padostroji typu ZWICK Roell HIT230F. Ako prvé je potrebné prekontrolovať zapojenie medzi padostroj-om, elektronickým prevádzacom a počítačom podľa uvedenej schémy.



Obr. 29. Zapojenie crashovacieho zariadenia.

1 – Napájací konektor; 2,8 – Motor1; 3,9 – Konektor snímača; 4,10 – Motor2; 5,11 - Ovlá-  
dací konektor; 6,7 – USB konektor, 12 – Napájanie vzduchu.

Pokiaľ je zapojenie padostrojového systému v poriadku, zapneme elektronický prevádzáč a padostroj pomocou tlačidla „on“.

### 6.2.1 Nastavenie programu testXpert II

Na vyhodnotenie crash testu používame software testXpert II. Po spustení programu nastá-  
vime nasledujúce parametre:

Tab. 10. Prehľad nastavení.

Č.zál.:	Názov záložky:	Nastavenie:
1	Záznamy série skúšok	Vymažeme predchádzajúce údaje namerané v pod sériách.
		Prednastavíme rozmery (šírku a hrúbku) a teplotu testovaného výrobku.
2	Grafický záznam skúšky	
3	Média	
4	Sprievodca	
4.1	Definícia skúšky	Typ prístroja: Padostroj
		Skúšobná metóda: Inštrumentovaná
		Typ skúšky: Penetračná skúška
		Detekcia krivky podľa: DIN EN ISO 6603-2
		Okamžik zadania parametrov vzorky: Po každej skúške
		Okamžik zadania parametrov vzorky: Po každej skúške
4.2	Nastavenie prístroja	Padacie závažie: 22,800 kg
		Hmotnosť barana: 0,366kg
4.3	Parametre skúšobného telesa	Dĺžka vzorky: 100mm
		Šírka vzorky: 100mm
		Výška vzorky: 3mm
		Teplota vzorky: 20°C
4.4	Výška pádu	Zadaná hodnota pre výpočet výšky pádu: Menovitá energia, Požadovaná menovitá energia: 100J
4.5	Kanál meraných dát	Zdroj spúšte: Optická brána

		Celkový interval merania: 100ms
		Vzorkovacia frekvencia: 2MHz
4.6	Display/Výpočty	Počiatok mernej dráhy v % $F_{max}$ : 5%
		Začiatok vyhodnotenia počiatku meranej dráhy pri % $F_{max}$ : 5%
		Koniec meranej dráhy pri % $F_{max}$ : 3%
		Časový filter, sila: 0,1ms
		Automatické nulovanie
4.7	Výsledky	Dátum/Čas
		Teoretická nárazová rýchlosť
		Celková hmotnosť
		Nominálna energia
		Menovitá energia
		$F_{max}$ : Maximálna sila
		$S_m$ : Priehyb pri $F_{max}$
		$W_m$ : Energia do $F_{max}$
		Meraná dráha počiatok: Počiatok meranej dráhy
		Meraná dráha koniec: Koniec
		$V_{Begin}$ : Rýchlosť na začiatku mernej dráhy
		$V_{End}$ : Rýchlosť na konci mernej dráhy
		Pokles rýchlosti
		Výška pádu
		$I_p$ : Penetračná deformácia
		$F_p$ : Penetračná sila
		$E_p$ : Penetračná energia

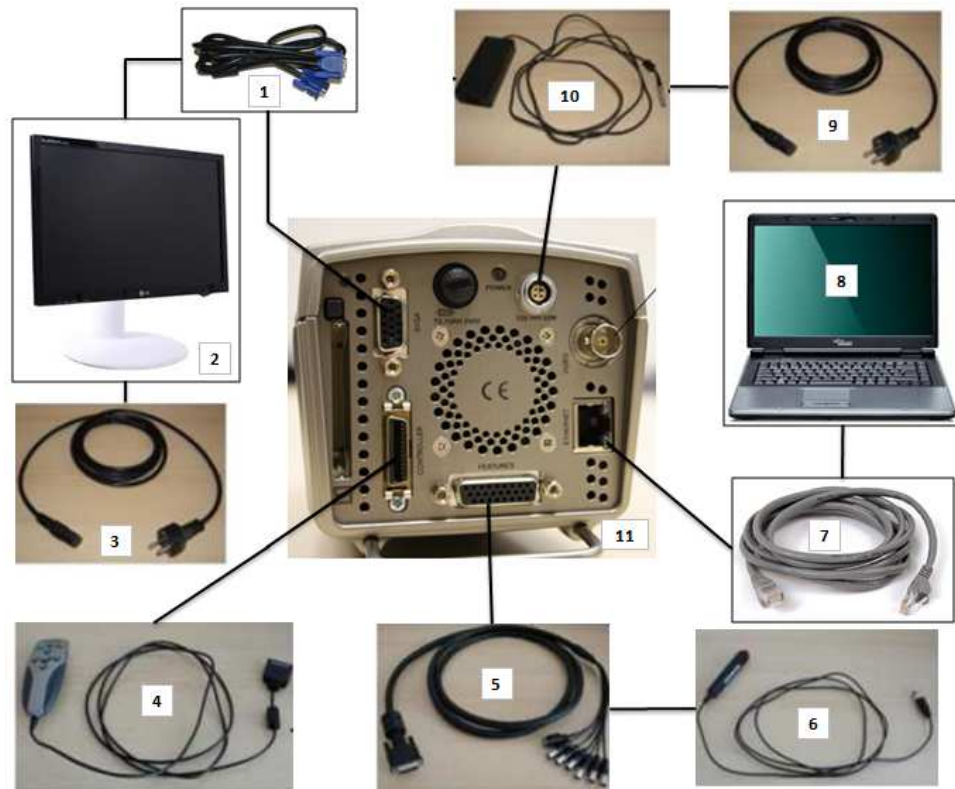
		Wkonec: Energia na konci mernej dráhy
		Typ defektu
4.8	Parametre do protokolu	Zadávateľ
		Dávka č.
		Skúšal (a)
		Štandard
		Materiál
		Ohrev vzorky
		Spracovanie
		Poznámka
		Údaje o prístroji

Prístroj musí byť natlakovaný na 5 MPa počas celej doby testovania túto hodnotu skontrolujeme na tlakomeri na zadnej strane prístroja.

### 6.2.2 Zapojenie vysokorýchlostného kamerového systému

Následne osadíme a zapojíme vysokorýchlostný kamerový systém typu I-Speed 2 vrátane ovládacích a zobrazovacích prvkov.

Do monitora zapojíme sieťový napájací kábel, kameru s monitorom prepojíme pomocou VGA kábla, ktorý zapojíme do SVGA konektora. Diaľkové ovládanie zapojíme do Controller (konektor pre ovládanie) konektora. Kábel rozširujúcich prvkov zapojíme do konektora Features (konektor pre rozširujúce prvky) z druhej strany kábla zapojíme spínač spúšte do konektora vstup spúšte. Notebook prepojíme s kamerou cez Ethernet konektor pomocou sieťového kábla. Druhý sieťový napájací kábel zapojíme do napájacieho zdroja a ten do konektora napájania.



Obr. 30. Zapojenie kamerového systému.

Legenda: 1 – VGA kábel, 2 – LCD Monitor, 3 – Napájací kábel, 4 – Diaľkové ovládanie, 5 - Kábel rozširujúcich prvkov, 6 – Spínač spúšte, 7 – Sieťový kábel, 8 – Notebook, 9 - Napájací kábel, 10 – Adaptér, 11 – Vysokorýchlostná kamera I-Speed 2.

### 6.2.3 Osvetľovací systém olympus

Dôležitou súčasťou je kvalitný osvetľovací systém fiber-optic iluminátor značky olympus. Napájací kábel zapojíme do optického iluminátora zo zadnej strany a následne optický kábel (optovod) tiež do iluminátora ale z prednej strany. Pre čo najlepšie osvetlenie snímaného deja umiestnime optický kábel na kameru tak aby koniec optického kábla lemoval koniec kamerového objektívu pentax (vid' obrázok nižšie). Teraz zapneme helogenidový iluminátor a nastavíme jas na maximálnu úroveň.



Obr. 31. Osvetľovací systém olympus.

Legenda: 1 - Napájací kábel, 2 - Fiber-optic iluminátor, 3 – Optovod.

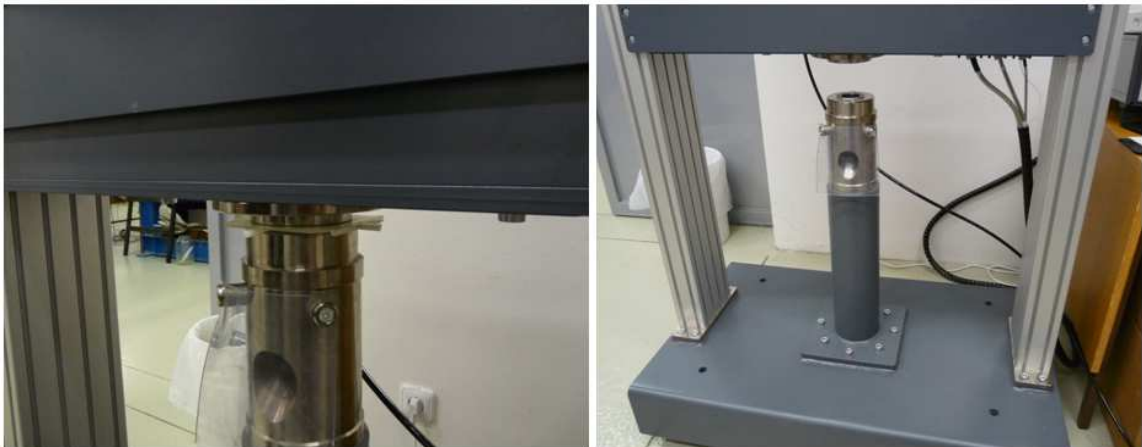


*Obr. 32. Osadenie optického kábla.*

#### **6.2.4 Riešenie snímania na súčasnom držiaku**

Kvôli možným vychýleným hodnotám, ktoré môžu byť namerané počas crash testov ktoré chceme vykonať a následne vyhodnotiť bude potrebné určiť ktoré vychýlené hodnoty treba vyradiť a preto bude potrebný kvalitný video záznam.

Keďže súčasná konštrukcia držiaka neumožňuje priame snímanie crashovacieho deja musíme navrhnúť spôsob ako tento dej nasnímať.



*Obr. 33. Súčasné riešenie držiaka.*

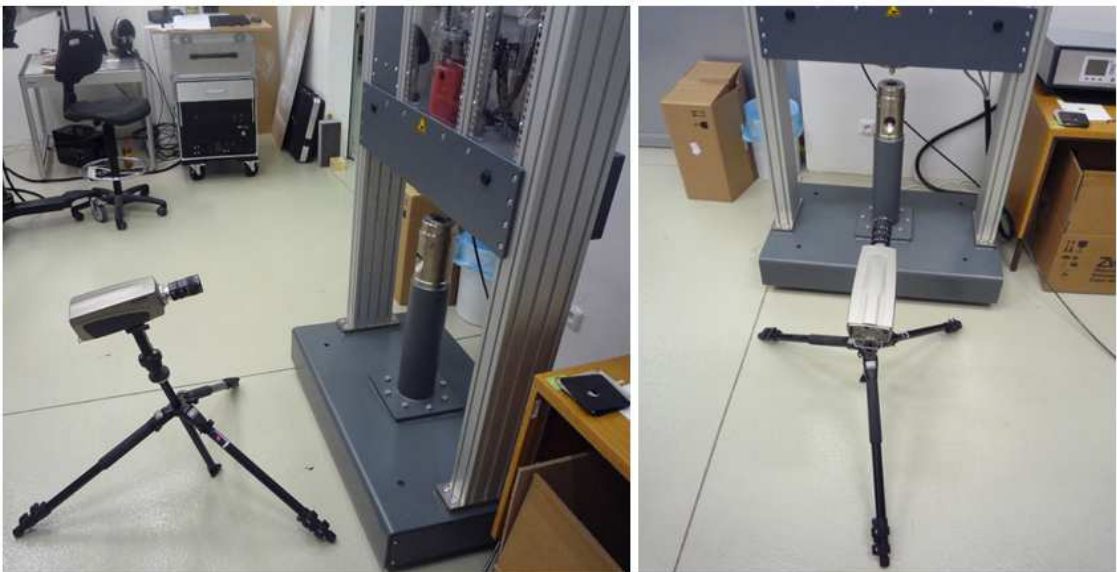
Ako jediná možnosť prichádza do úvahy snímanie deja cez zrkadlový odraz obrazu. Pomocou okrúhleho rovinného zrkadla o priemere 38 mm. Boli sme limitovaný rozmerom otvoru o priemere 40 mm a taktiež tvarom (vid' obrázok vyššie). Pre priamu viditeľnosť na zr-

kadlo sme zdemontovali ochranný kryt a následne sme zafixovali okrúhle rovinné zrkadlo pomocou plastelíny v otvore držiaku tak, ako je zachytené na nasledujúcej fotografii.



*Obr. 34. Fixácia okrúhleho rovinného zrkadla.*

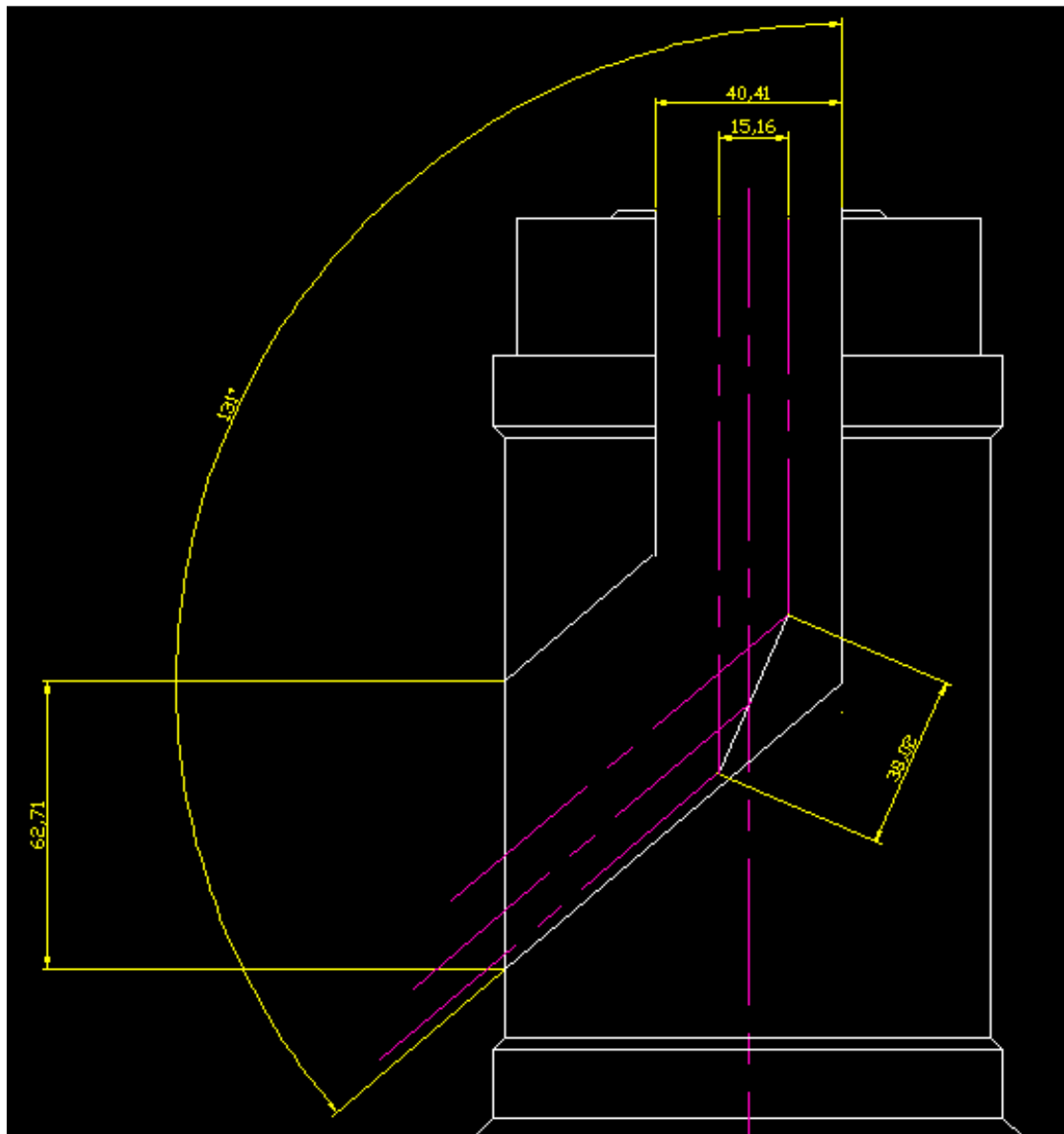
Maximálna plocha ktorú je možné snímať je  $1282,53 \text{ mm}^2$  na súčasnem držiaku. Pomocou dostupného okrúhleho rovinného zrkadla môžeme zachytiť  $180,5 \text{ mm}^2$  čiže približne iba 14% z celkovej plochy vieme zachytiť pomocou tohto riešenia.



*Obr. 35. Osadenie kamery.*



Priemer tĺka je 20 mm čo je viac ako priemer plochy ktorú dokážeme nasnímať pomocou  $\varnothing 38$  mm rovinného zrkadla.



Obr. 36. Návrh snímání crashovacieho deja pomocou zrkadla.

### 6.3 Crashovanie polypropylénových výrobkov

Tak ako už bolo uvedené mali sme k dispozícii dva druhy polypropylénových výrobkov, ktoré potrebujeme vyhodnotiť. Meranie sme vykonali na tridsiatich vzorkách z každého druhu.

Postup merania na crashovacom zariadení ZWICK HIT230F:

- 1- Uloženie polypropylénovej vzorky na stojan padostroja,
- 2- V programe testXpert II zvolíme: Štart jednej,
- 3- Stlačenie oboch spúšťí súčasne na padostroji,
- 4- V programe testXpert II zvolíme: typ defektu na vzorke/Tečenie s plastickým pretvorením (YD).

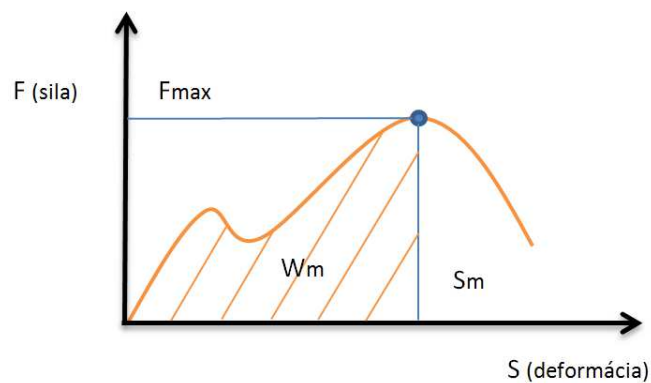
Po vykonaní šesťdesiatich meraní sme dostali výsledky jednotlivých crashovacích testov (viď príloha 1, 2).

### 6.3.1 Popis nameraných premenných veličín

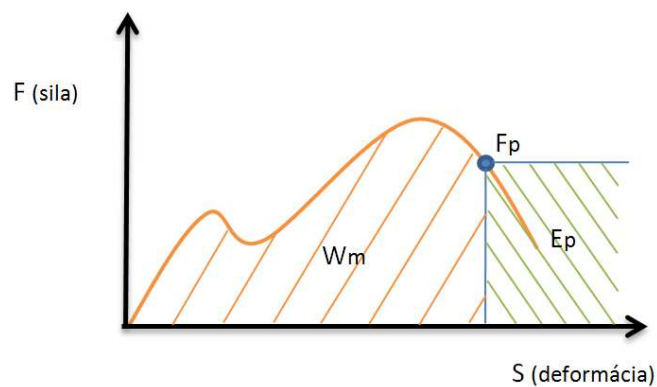
Na crashovacom prístroji ZWICK Roell HIT230F som meral celú škálu premenných veličín ktoré som zdokumentoval v prílohe. V tejto kapitole popíšeme iba veličiny ktoré budeme ďalej vyhodnocovať a to:

Tab. 11. Popis veličín.

Označenie	Popis	Skratka mernej jednotky	Popis mernej jednotky
Fmax	Maximálna sila	N	Newton
Sm	Priehyb pri maximálnej sile Fmax	mm	Milimeter
Wm	Energia pod Fmax	J	Joule
Pokles rýchlosti	Pokles rýchlosti rozdiel vyšiel zaokrúhlením	%	Percento
Fp	Penetračná sila/sila pri porušení	N	Newton
Ep	Penetračná energia/celková plastická energia	J	Joule



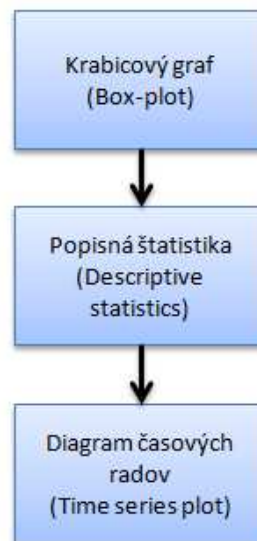
Obr. 37. Priehybu pri maximálnej sile.



Obr. 38. Sila pri porušení.

#### 6.4 Návrh metódy na vyhodnotenie crash testov

Jeden z bodov teoretickej časti našej diplomovej práce je návrh matematicko-štatistickej metódy na vyhodnocovanie vysokorýchlostných dejov. Keďže musíme preveriť či namerané hodnoty neobsahujú: vychýlene hodnoty, veľké rozptyly a vysoké hodnoty variačných koeficientov použijeme chronologicky nasledujúce štatistické metódy:



Obr. 39. Postup použitia štatistických metód.

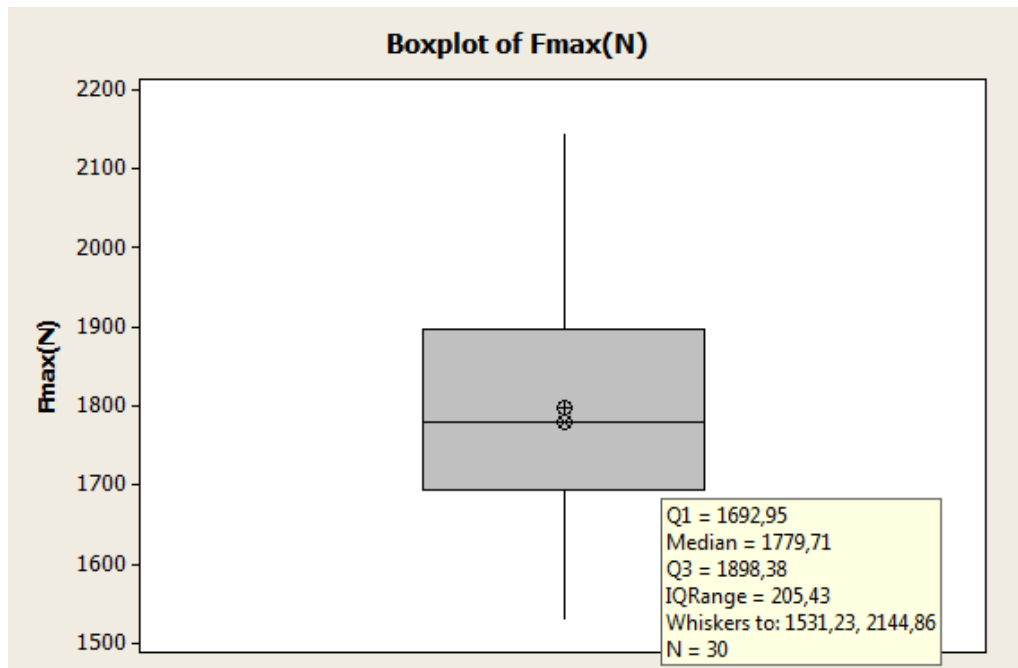
Súbor s nameranými hodnotami budeme vyhodnocovať v programe Minitab a zameriame sa na tieto veličiny:

- $F_{max}$ : Maximálna sila [N],
- $S_m$ : Priehyb pri maximálnej sile  $F_{max}$  [mm],
- $W_m$ : Energia pod  $F_{max}$  [J],
- Pokles rýchlosti [%],
- $F_p$ : Penetračná sila/sila pri porušení [N],
- $E_p$ : Penetračná energia/celková plastická energia [J].

#### 6.4.1 Nájdenie vychýlených hodnôt

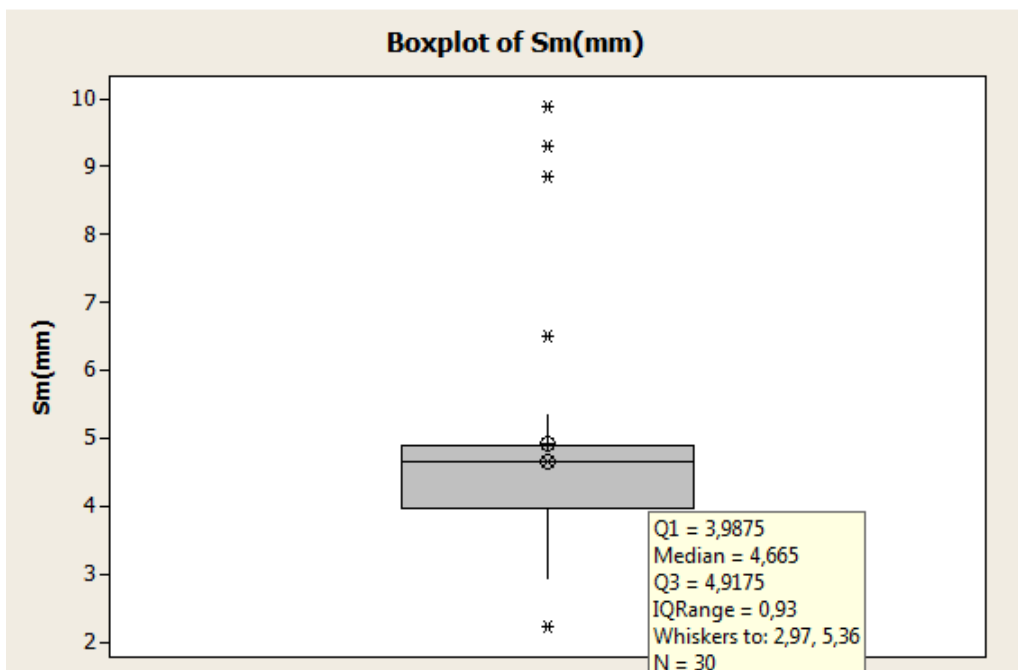
Pomocou techniky 1,5 IQR čo je súčasťou box-plotového diagramu nájdeme vychýlené hodnoty:

Súbor premenných Fmax neobsahuje odľahlé pozorovania.



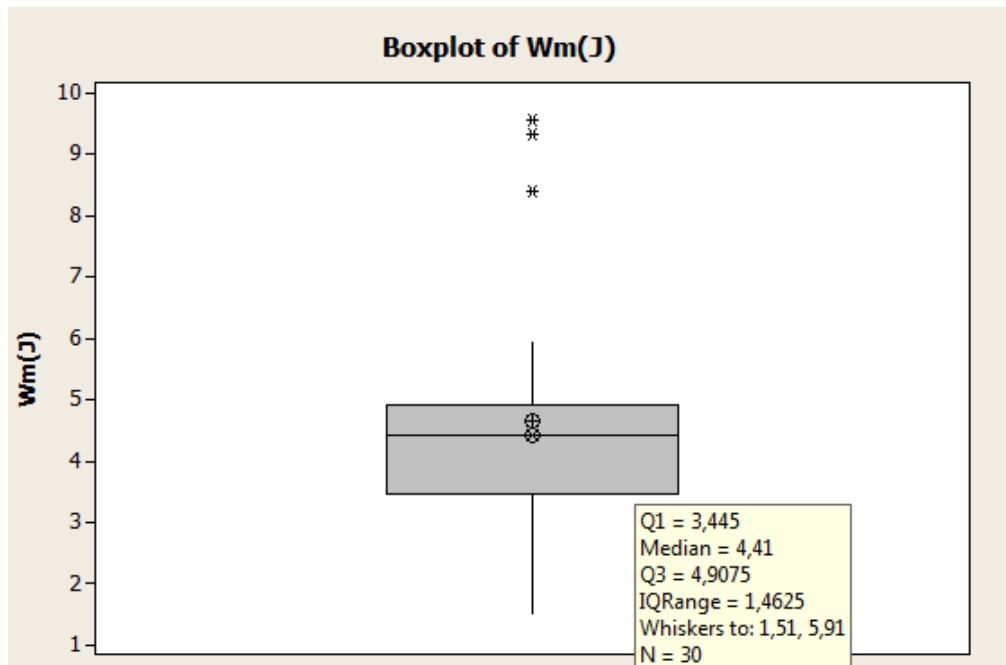
Obr. 40. Fmax: 100% polypropylén.

Súbor premenných Sm obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovania: 2,26[mm]; 6,52[mm]; 8,85[mm]; 9,30[mm]; 9,87[mm].



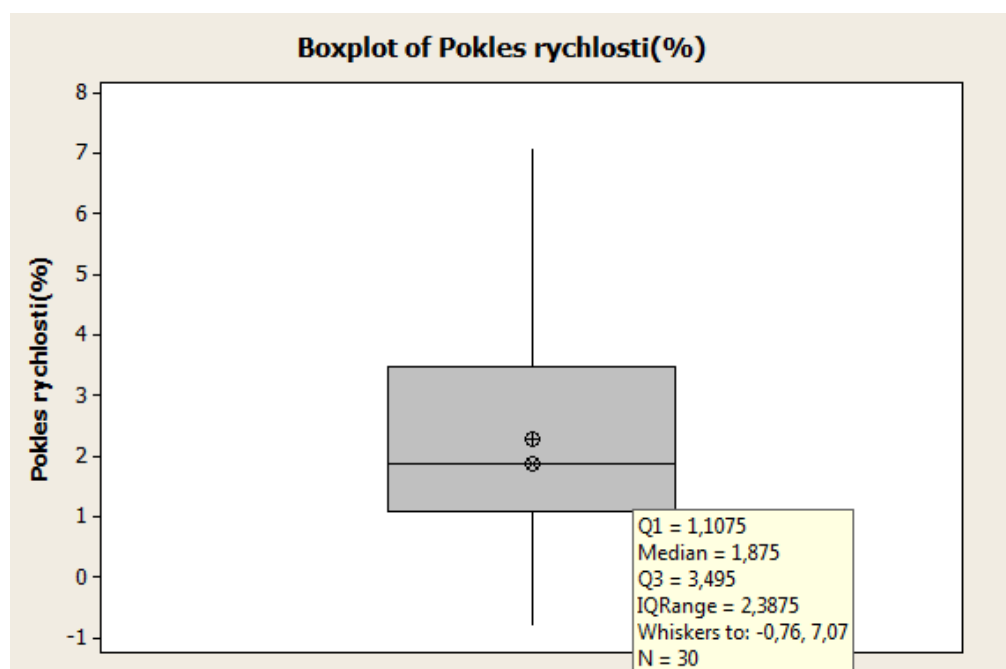
Obr. 41. Sm: 100% polypropylén.

Súbor premenných Wm obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovania: 8,40[J]; 9,33[J]; 9,56[J].



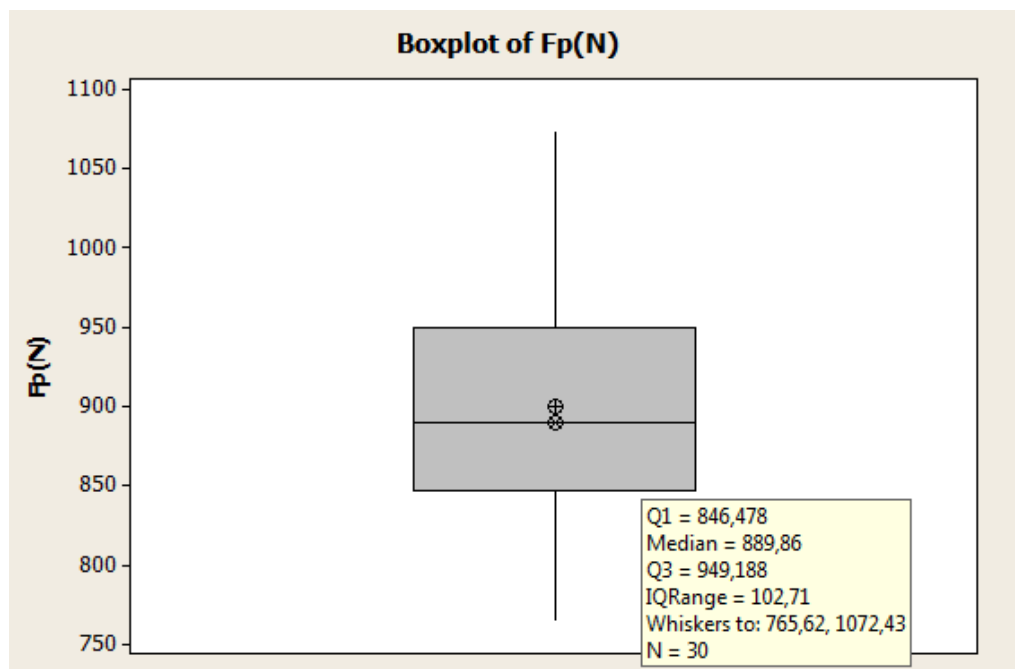
Obr. 42. Wm: 100% polypropylén.

Súbor premenných pokles rýchlosti neobsahuje odľahlé pozorovania.



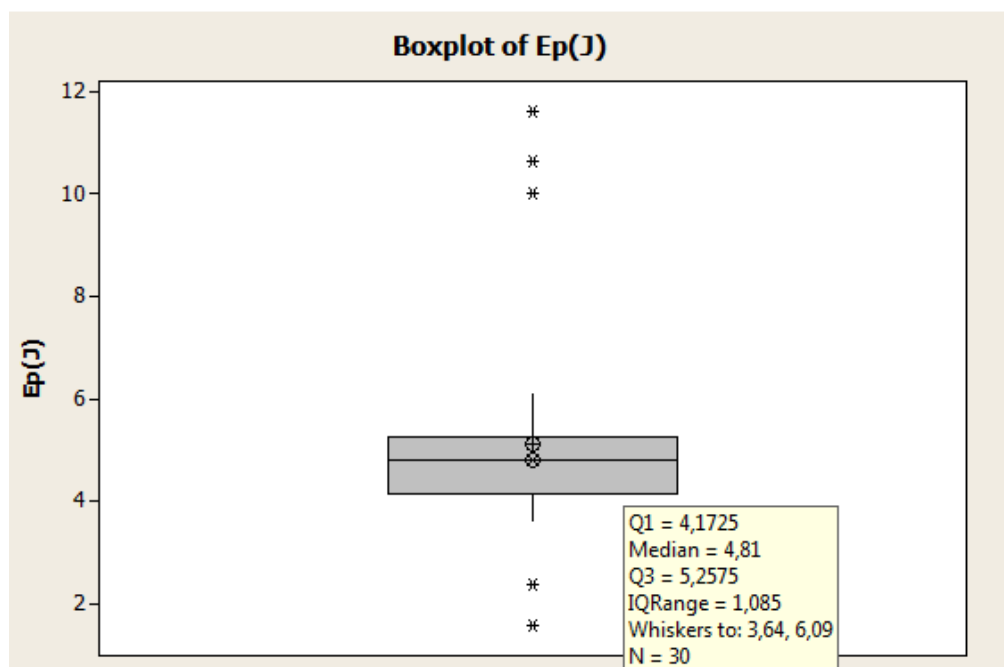
Obr. 43. Pokles rýchlosti: 100% polypropylén.

Súbor premenných  $F_p$  neobsahuje odľahlé pozorovania.



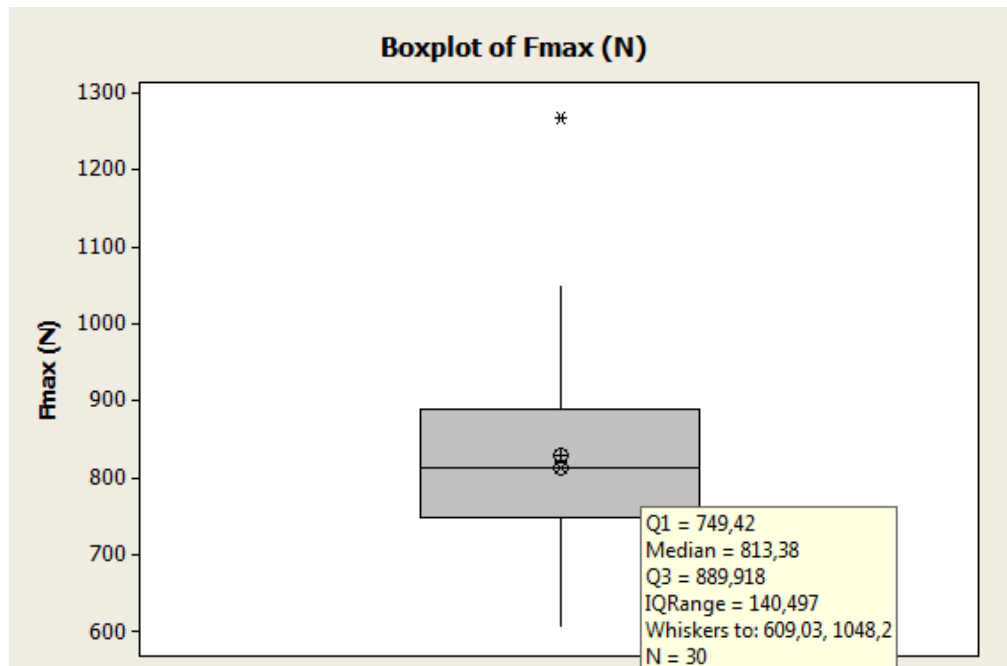
Obr. 44.  $F_p$ : 100% polypropylén.

Súbor premenných  $E_p$  obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovania: 1,60[J]; 2,40[J]; 10,01[J]; 10,65[J]; 11,61[J].



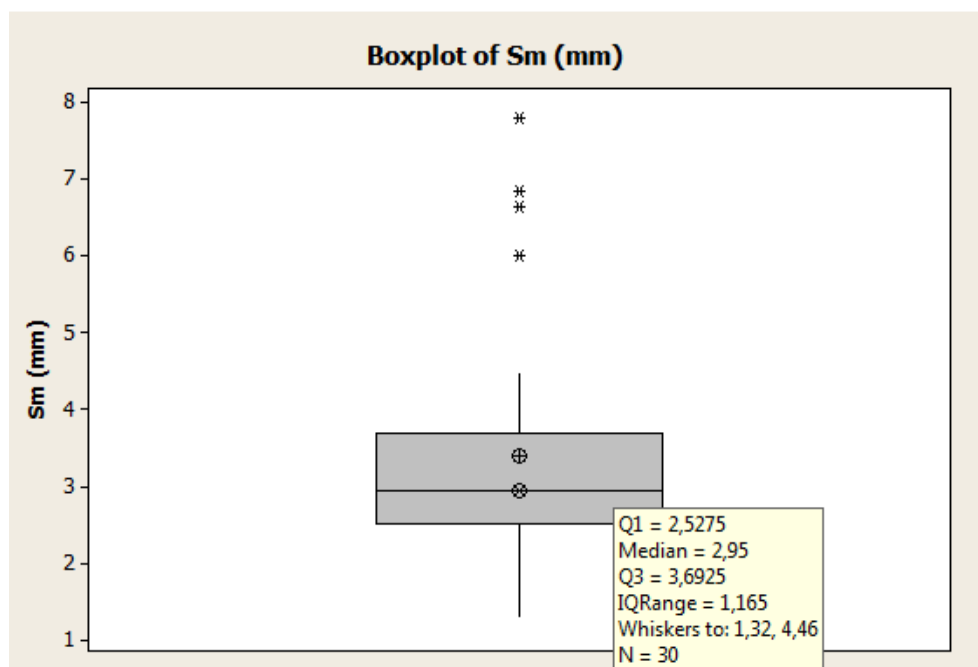
Obr. 45.  $E_p$ : 100% polypropylén.

Súbor premenných Fmax obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovanie: 1267,65[N].



Obr. 46. Fmax: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

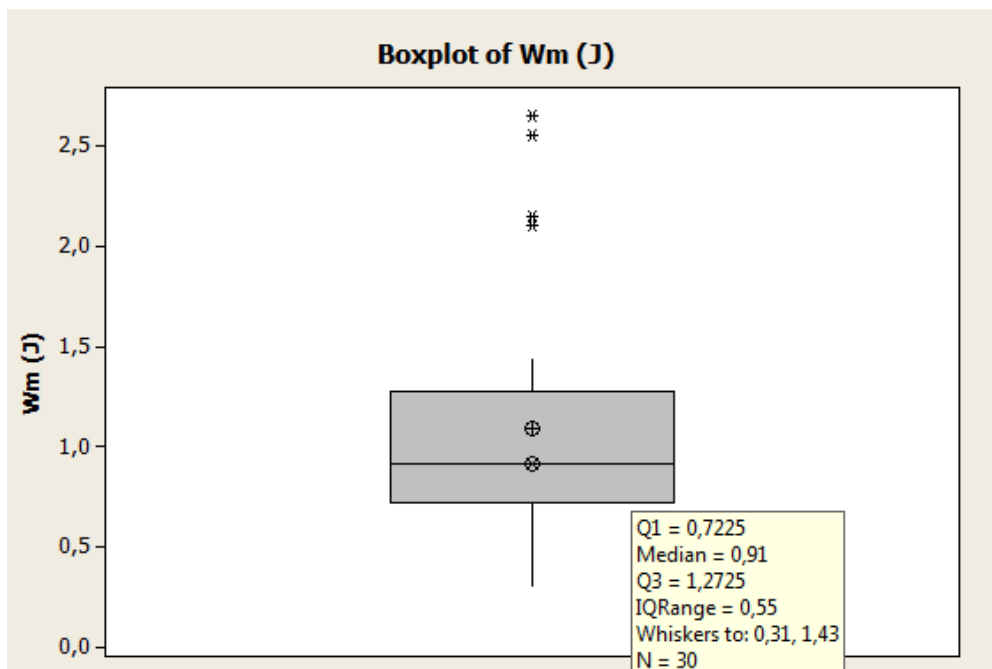
Súbor premenných Sm obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovania: 6,01[mm]; 6,65[mm]; 6,84[mm]; 7,79[mm].



Obr. 47. Sm: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

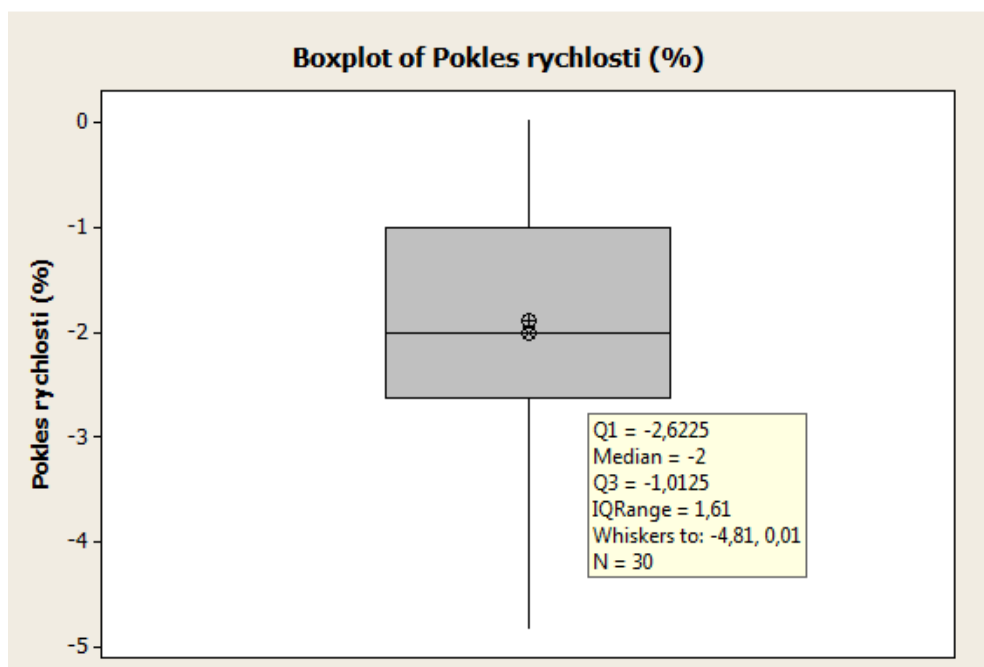


Súbor premenných  $W_m$  obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovania: 2,10[J]; 2,15[J]; 2,55[J]; 2,65[J].



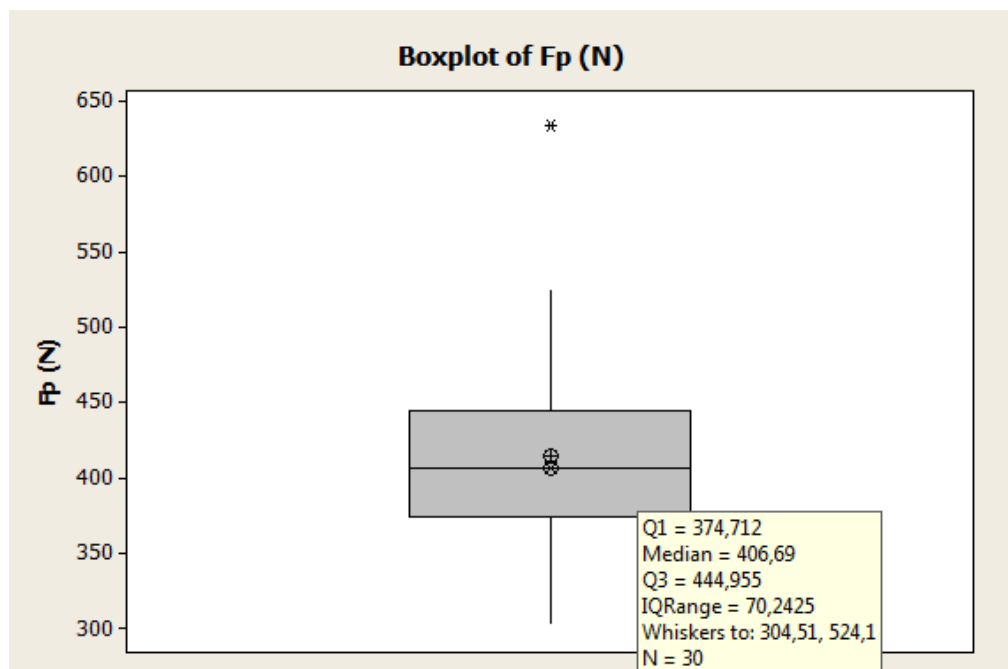
Obr. 48.  $W_m$ : Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

Súbor premenných pokles rýchlosti neobsahuje odľahlé pozorovania.



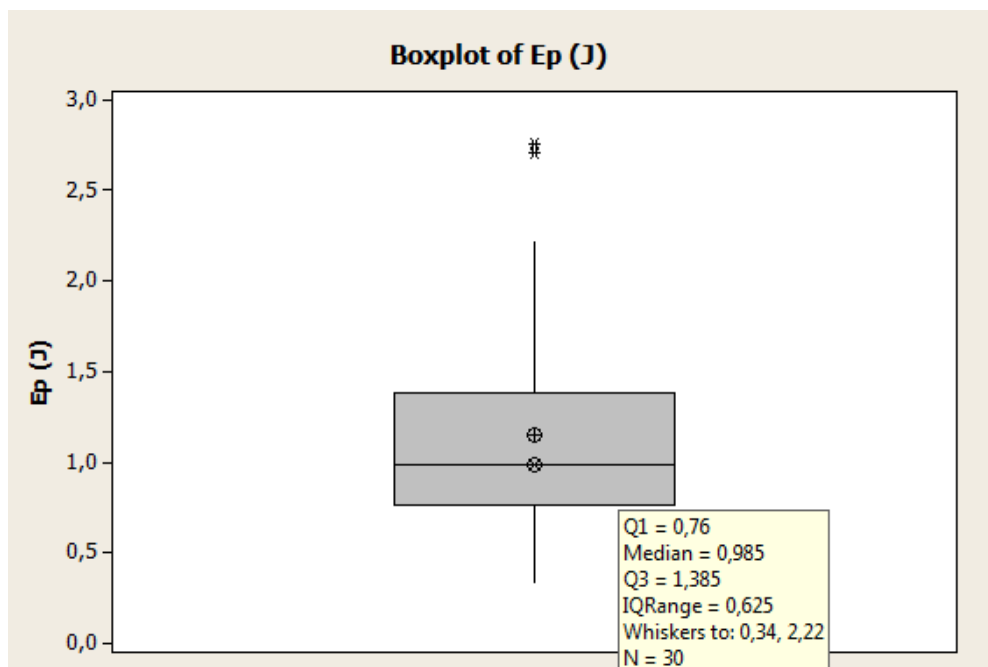
Obr. 49. Pokles rýchlosti: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

Súbor premenných  $F_p$  obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovanie: 633,82[N].



Obr. 50.  $F_p$ : Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

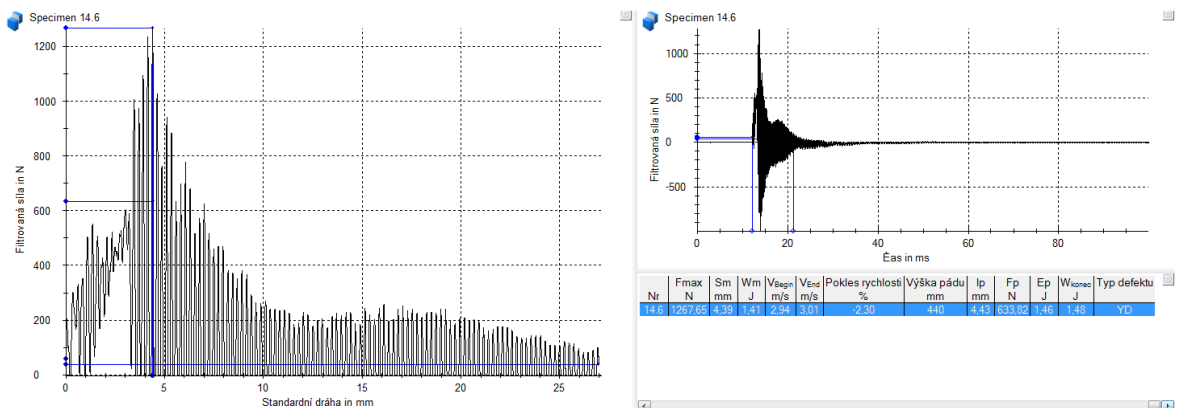
Súbor premenných  $E_p$  obsahuje nasledujúce odľahlé pozorovania: 2,71[J]; 2,76[J].



Obr. 51.  $E_p$ : Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.

### 6.4.2 Analýza vychýlených hodnôt

Jedná sa o šestnásté meranie polypropylénovej vzorky s 30% obsahom sklenených vlákien veličiny  $F_p$  s hodnotou 633,82 N. Zvyšné box-plotové grafy s obsahom vychýlených hodnôt sú uvedené v prílohe. Nato aby sme mohli rozhodnúť o vyradení odľahlého merania z analýzy je potrebné doplniť meranie o video záznam ktorý by odhalil prípadné abnormality o ktorých by sme vedeli následne rozhodnúť. Nakoľko nám súčasné riešenie držiaka neumožňuje snímanie videozáznamu nie je možné vyhodnotiť odľahlé merania z pohľadu ich vyčlenenia z nameraného súboru hodnôt.



Obr. 52. Grafy: sila/dráha, sila/čas.

### 6.4.3 Vyhodnotenie variačných koeficientov

Variačný koeficient udáva mieru kolísania okolo aritmetického priemeru skóre. V prípade ak  $V_x > 50\%$ , súbor je taký nesúrodý a aritmetický priemer ho nemôže reprezentovať. Pre polymérne výrobky by nemal variačný koeficient presiahnuť 15-20% vid'. sumárna tabuľka variačných koeficientov nižšie. Vzorec pre odhad variačného koeficientu sme uviedli v teoretickej časti.

Tab. 12. Popisná štatistika:  $F_{max}(N)$ .

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
$F_{max}$ [N]	30	1798,1	28,3	155,0	8,62	1531,2
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah

Fmax [N]	1693,0	1779,7	1898,4	2144,9	613,6	205,4
----------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

Tab. 13. Prehľad variačných koeficientov.

Variačný koeficient:	100% polypropylén	Polypropylén s 30% obsahom sklenených vlákien
Fmax [N]	8,62	16,60
Sm [mm]	33,96	45,23
Wm [J]	38,31	53,41
Pokles rýchlosti [%]	87,01	-58,00
Fp [N]	8,62	16,60
Ep [J]	41,18	52,44

## 6.5 Meranie na manuálnom padostroji

Z dôvodu veľkého počtu vychýlených hodnôt a vysokých hodnôt variačných koeficientov by bolo vhodné doplniť crashovací test o videozáznam polypropylénového výrobku na manuálnom crashovacom zariadení v spojení s vysokorýchlostnou kamerou olympus I-speed 2. Na zosťrihanie a upravenie video záznamu použijeme program i-SPEED Suite.



Obr. 53. Manuálny padostroj.

Výpočet dopadovej (kinetickej) energie:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (5)$$

$$1,25 \cdot 10 \cdot 1,6 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot v^2$$

$$0,625 \cdot v^2 = 10$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

m- hmotnosť závažia [kg],

g- gravitačné zrýchlenie [10N/kg],

h- výška dopadu [m],

v- rýchlosť pádu [m/s].

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (6)$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 4^2$$

**Ek = 10J veľkosť dopadovej energie**

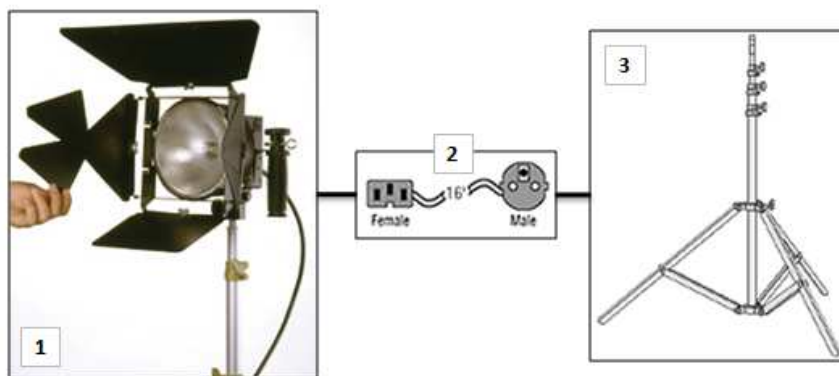
$m$ - hmotnosť závažia [kg],

$v$ - rýchlosť pádu [m/s],

$E_k$ - dopadová energia [J].

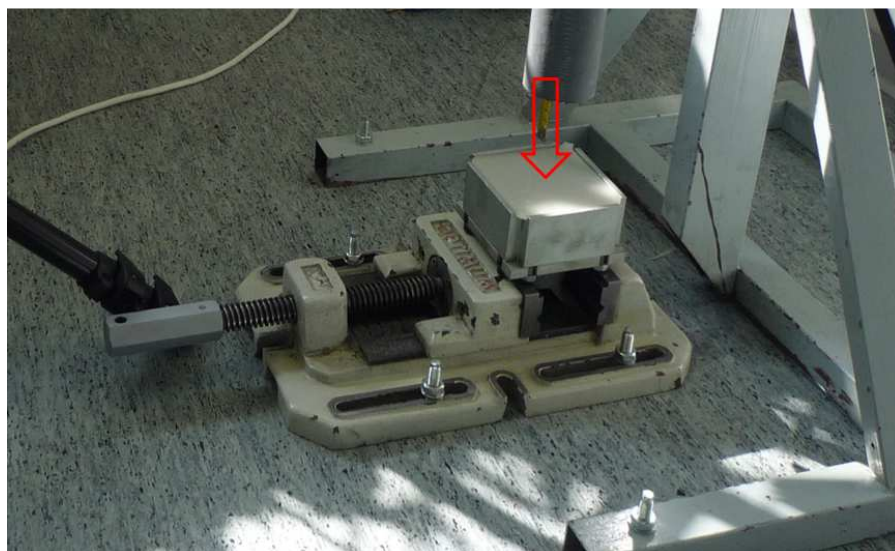
### 6.5.1 Meranie

Meranie sme vykonali na dvoch typoch vzoriek. Pri meraní na manuálnom padostriji sme použili iný typ osvetlenia v kombinácii s vysokorýchlostnou kamerou a to osvetlenie značky lowel DP s maximálnym výkonom 1000 W využíva volfrámový halogénový zdroj.

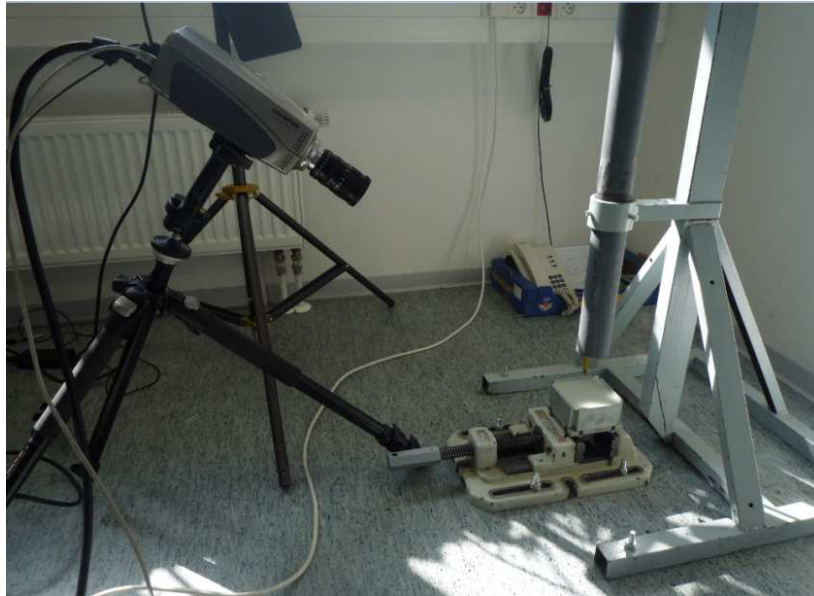


Obr. 54. Zapojenie osvetlenia.

Legenda: 1 - Volfrámový halogénový reflektor, 2 – Napájací kábel, 3 – Stojan.



Obr. 55. Testovaná vzorka uchopená v držiaku.

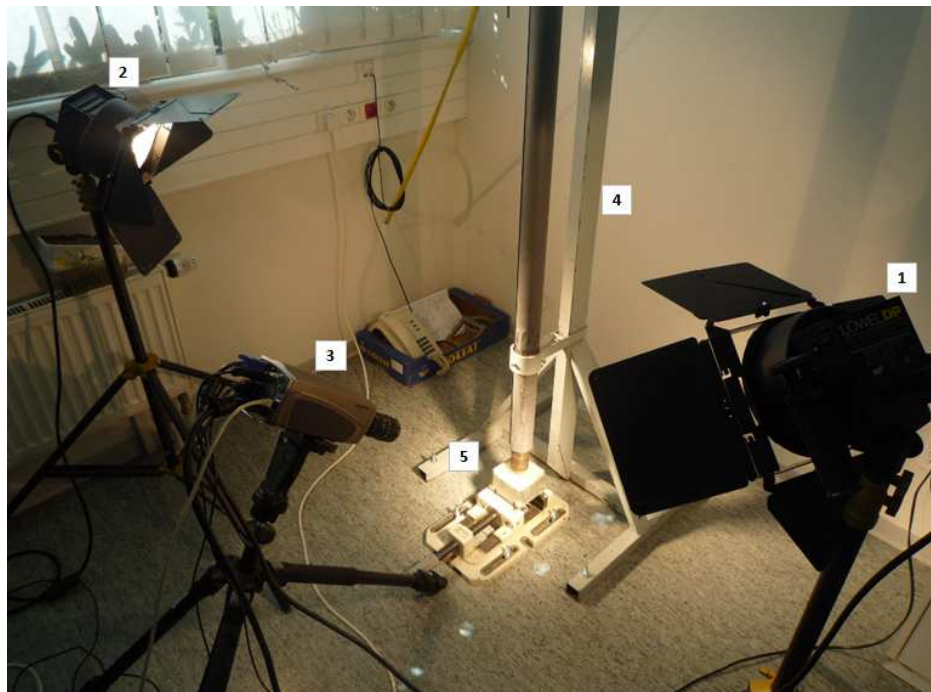


Obr. 56. Usporiadanie pracoviska.

#### Parametre snímania

Rýchlosť snímania: 10 000/20 000 snímkom za sekundu

Shutter: 1 x / 2 x

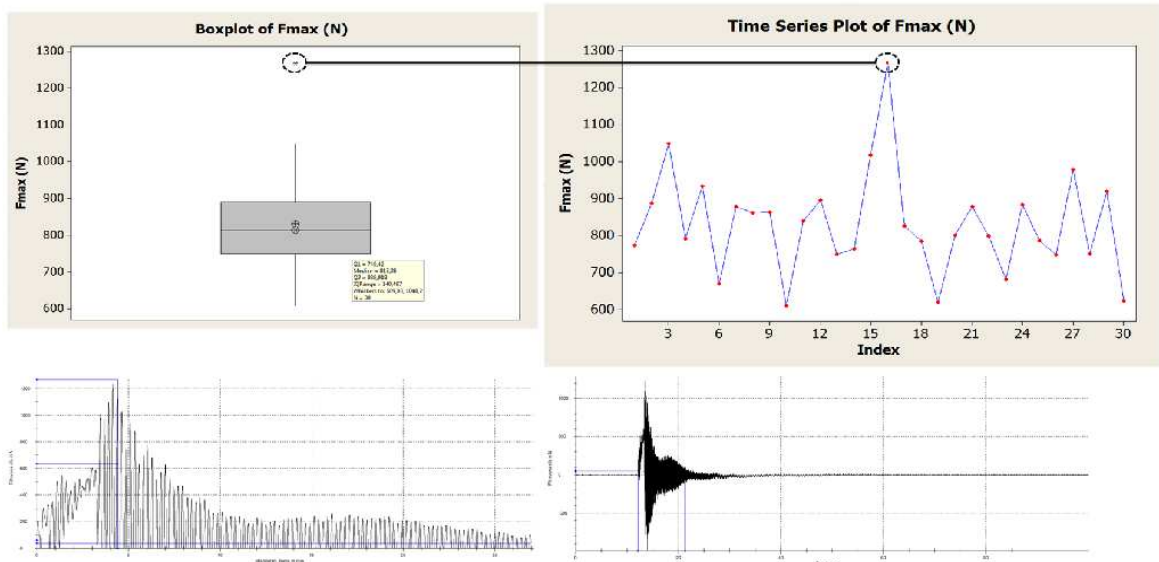


Obr. 57. Rozmiestnenie osvetlenia a kamery.

Legenda: 1,2 - Volfrámovo halogénové reflektory, 3 – Vysokorýchlostná kamera I-Speed  
2, 4 – Konštrukcia padostroja, 5 – Zverák s upnutým adaptérom a testovanou vzorkou.

**Pokus 1:** Polypropylénová vzorka s 30% obsahom sklenených vlákien

Ako už bolo uvedené pri odľahlých meraniach je potrebné doplniť merania o videozáznam ktorý napomôže pri rozhodovaní o zahrnutí alebo vyčlenení odľahlého merania zo súboru nameraných hodnôt. Na nižšie uvedenom krabicovom grafe je znázornené vychýlené meranie o veľkosti 1267,65 N je to šestnáste meranie tohto typu vzorky.

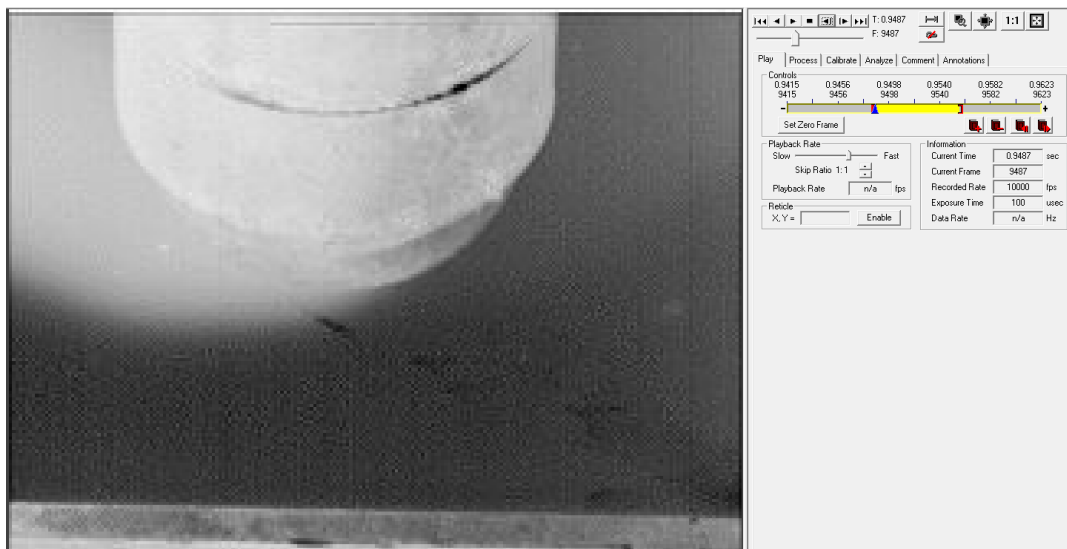


Obr. 58. Znázornenie odľahlého merania.

Shutter: 1x

Čas: 0,9487 [s]

Rám: 9487 počet snímkou

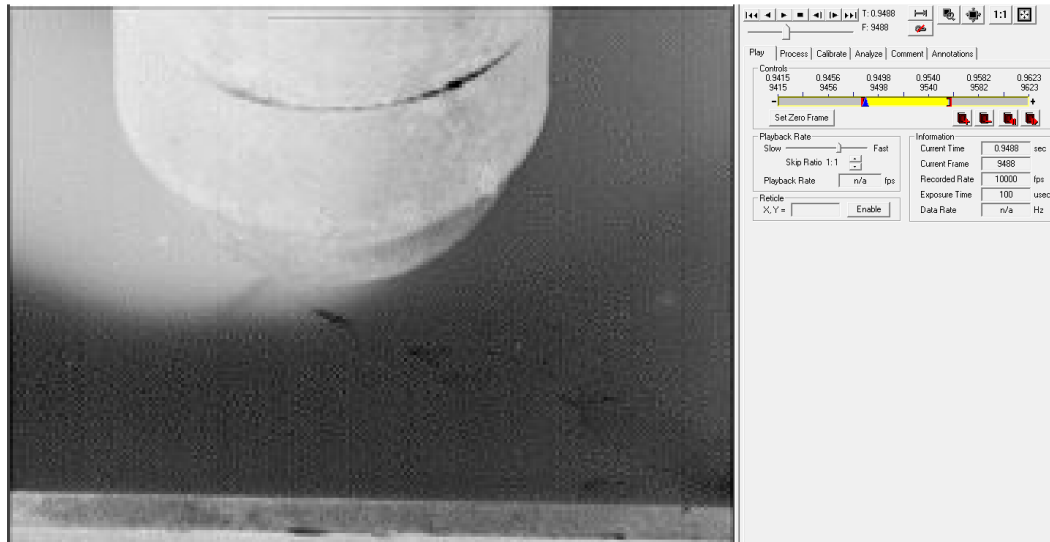


Obr. 59. Snímok prvého dotyku tíka so vzorkou.



Čas: 0,9488 [s]

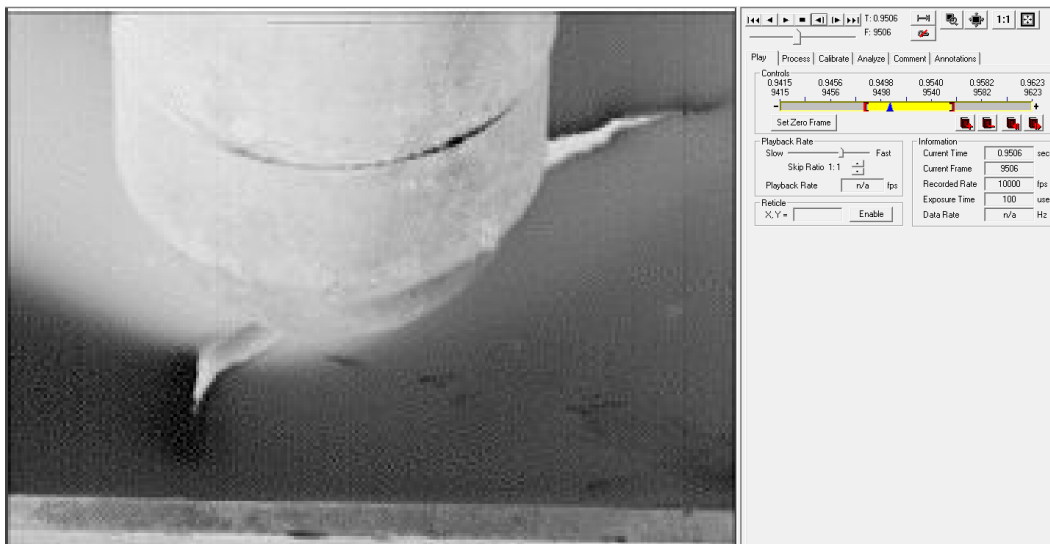
Rám: 9488 počet snímkou



Obr. 60. Vznik trhliny.

Čas: 0,9506 [s]

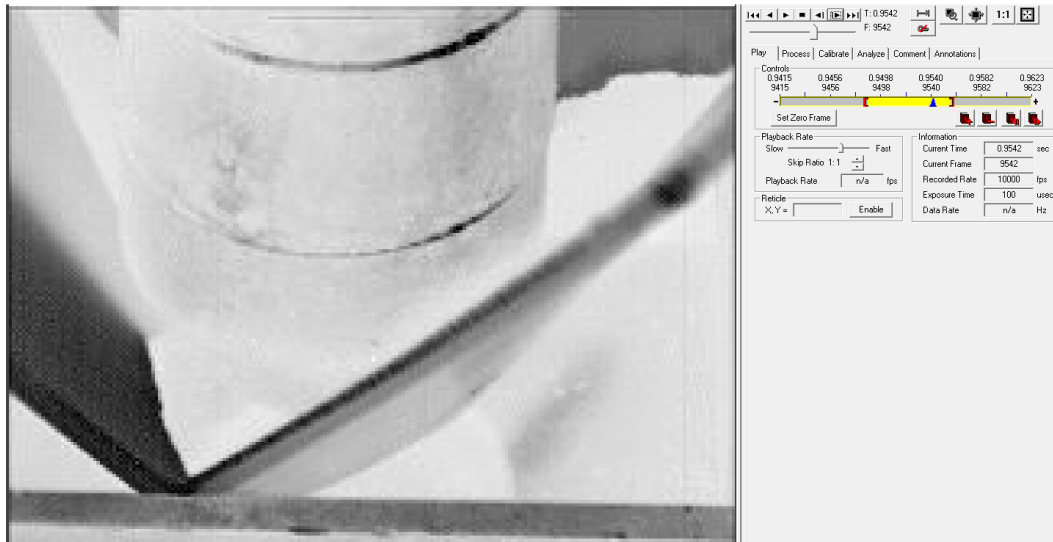
Rám: 9506 počet snímkou



Obr. 61. Šíření trhliny.

Čas: 0,9542 [s]

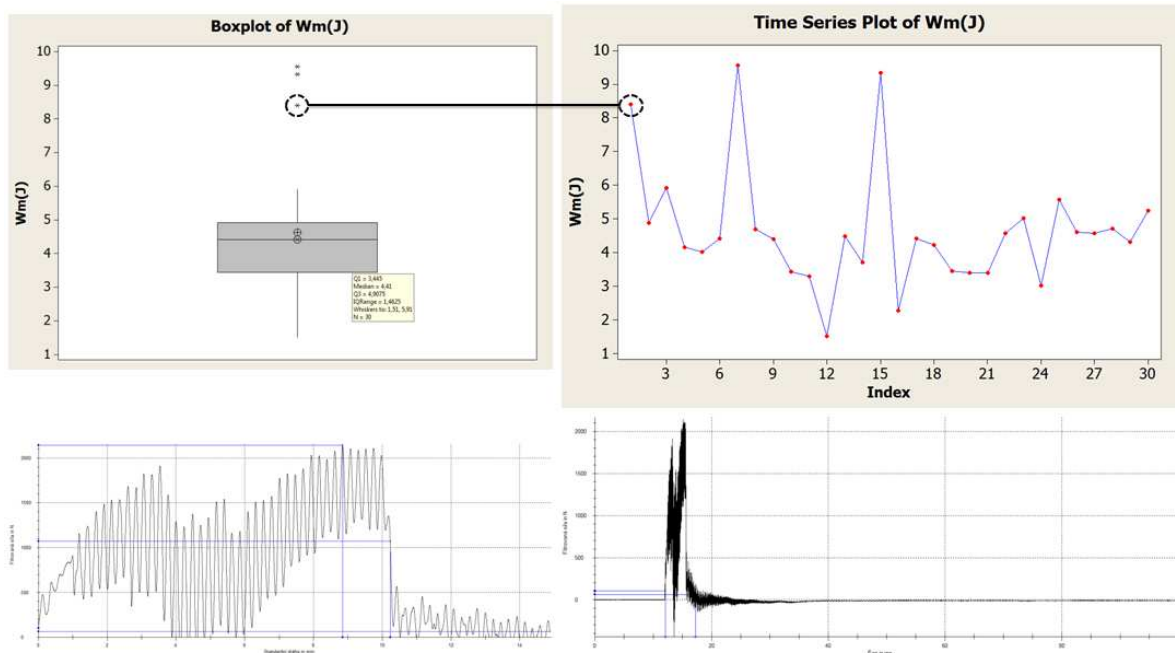
Rám: 9542 počet snímkou



Obr. 62. Roztrieštenie polypropylénovej vzorky.

### **Pokus 2:** 100%-ná polypropylénová vzorka

Na nižšie uvedenom krabicovom grafe je znázornené vychýlené meranie o veľkosti 8,4J je to prvé meranie tohto typu vzorky.

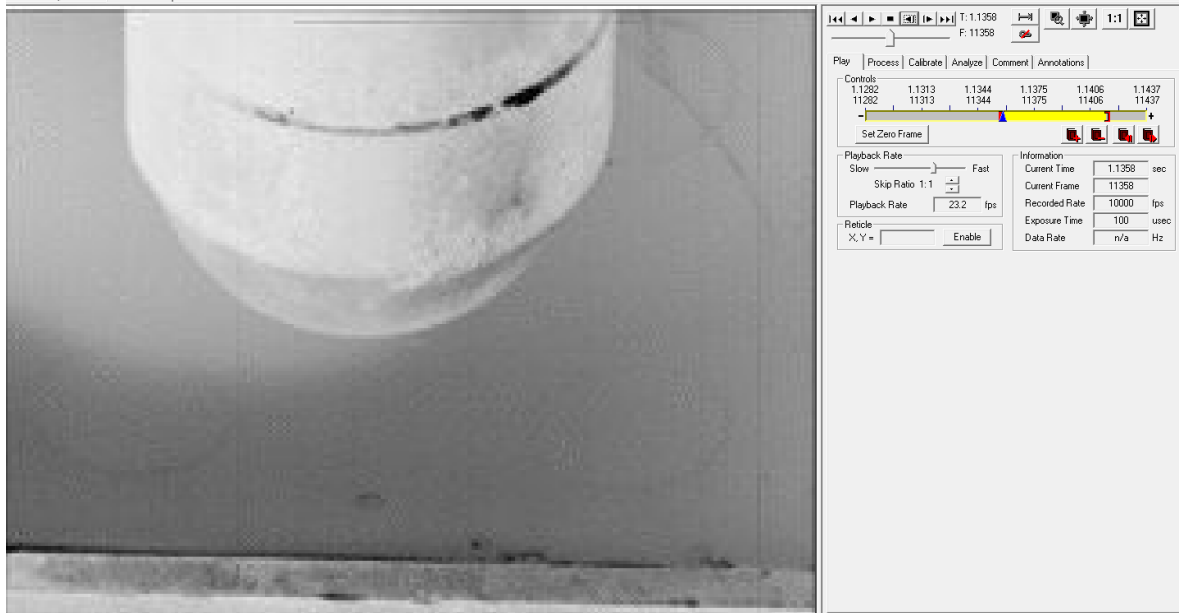


Obr. 63. Znázornenie odľahlého merania.

Čas: 1,1358 [s]

Rám: 11358 počet snímkou

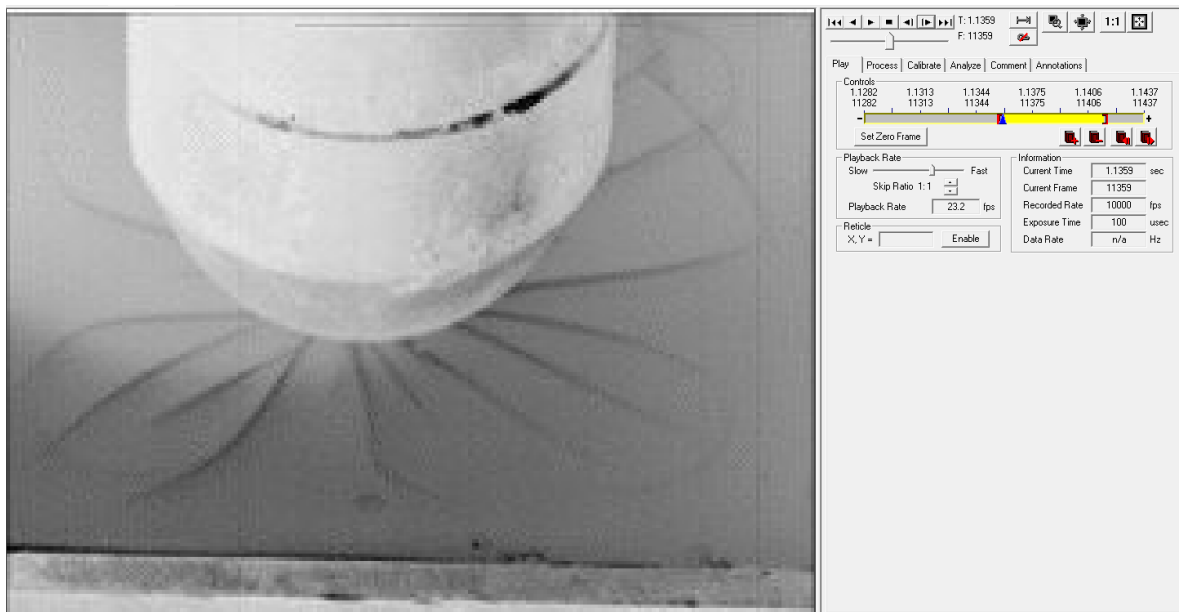
Shutter: 1x



Obr. 64. Snímek prvního dotyku tláka so vzorkou.

Čas: 1,1358 [s]

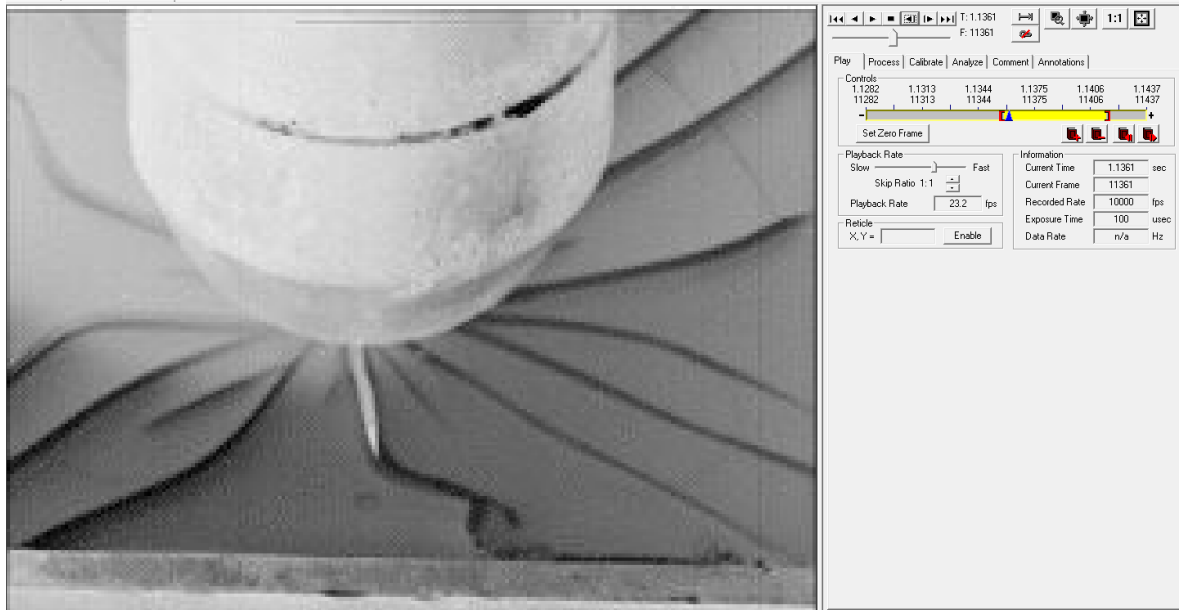
Rám: 11358 počet snímkou



Obr. 65. Vznik trhliny.

Čas: 1,1361 [s]

Rám: 11361 počet snímkou



Obr. 66. Šírenie trhliny.

Čas: 1,1415 [s]

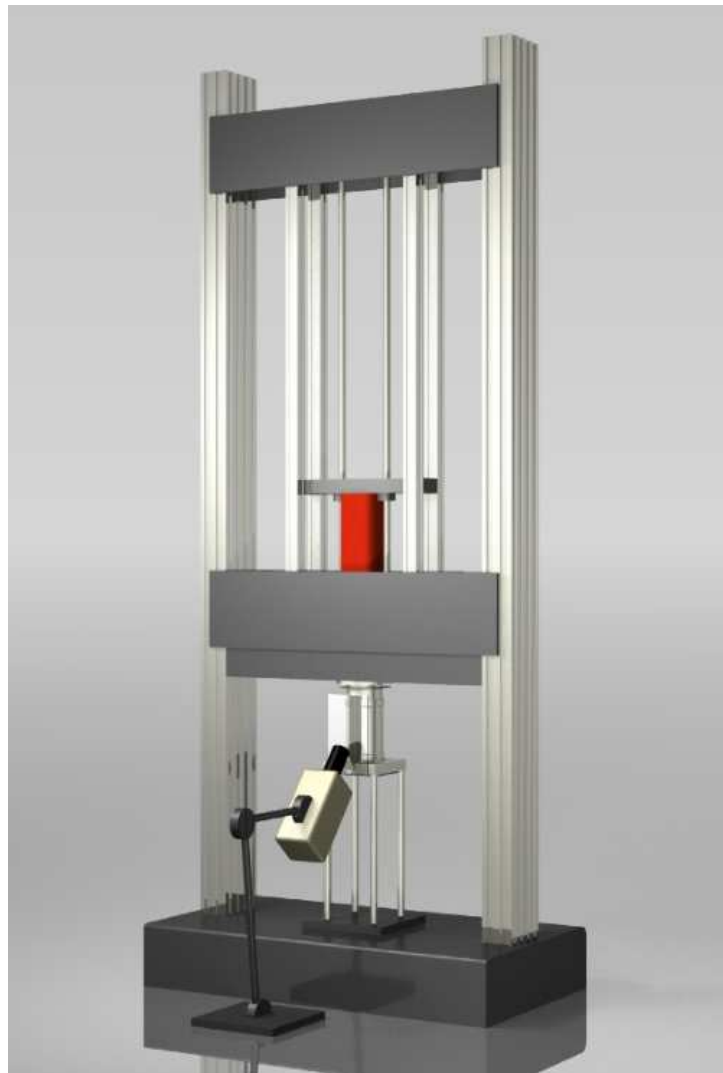
Rám: 11415 počet snímkou



Obr. 67. Roztriešenie polypropylénovej vzorky.

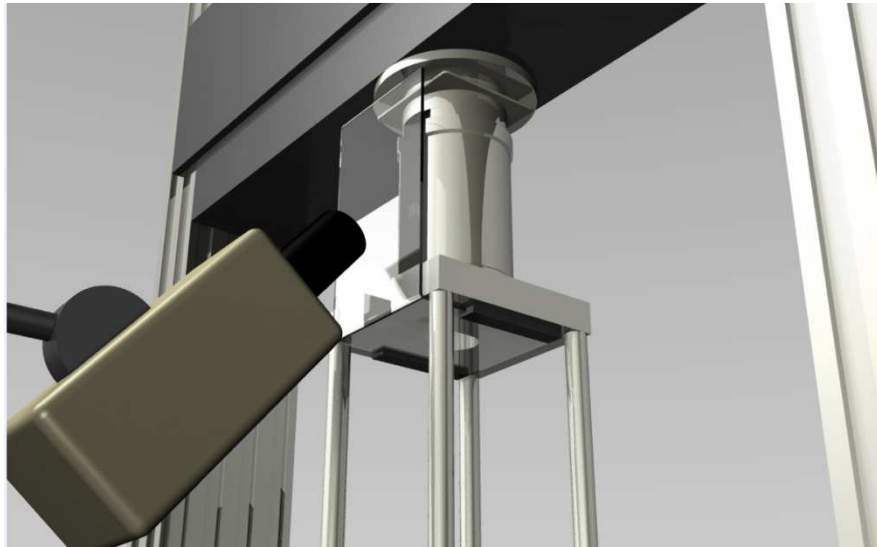
## 7 NÁVRH STOJANA PRE PADOSTROJ ZWICK/ROEL HIT230F

Na súčasnom riešení stojana nie je možné plnohodnotne zaznamenávať video záznamy, pretože neexistuje priamy pohľad na crashovanú vzorku. Preto sme sa rozhodli navrhnuť stojan tak, aby bolo možné crashovacie deje zaznamenávať. Tiež bolo potrebné navrhnuť držiak kamery kvôli polohovaniu pod rôznymi uhlami, ktorý musí byť oddelený od crashovacieho zariadenia. Návrh sme realizovali v programe Rhinoceros 3D 4.0.

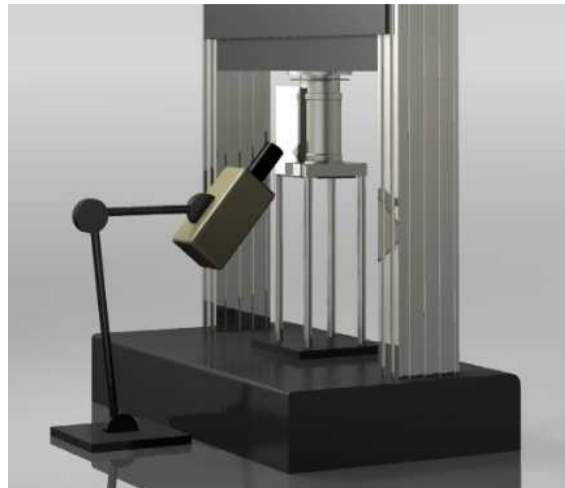


*Obr. 68. Celkový pohľad na novonavrhnuté riešenie.*

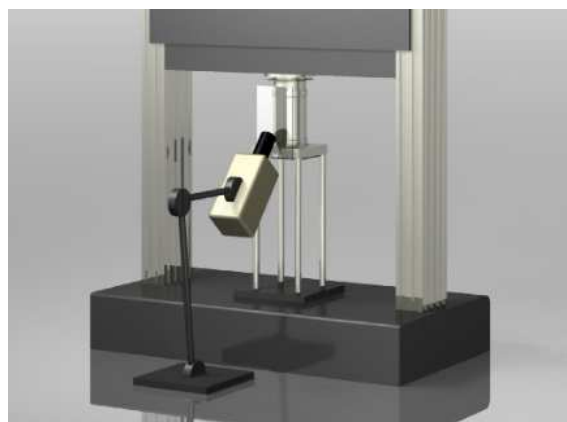
Pri samotnom crashovacom deji dochádza k rozbitiu vzoriek z ktorých odletujú úlomky v rôznych veľkostiach a počte čo závisí na vlastnostiach materiálu crashovanej vzorky. Preto bolo nutné do návrhu zakomponovať lapač úlomkov, ktorý bude chrániť vysokorýchlostnú kameru pred prípadným poškodením.



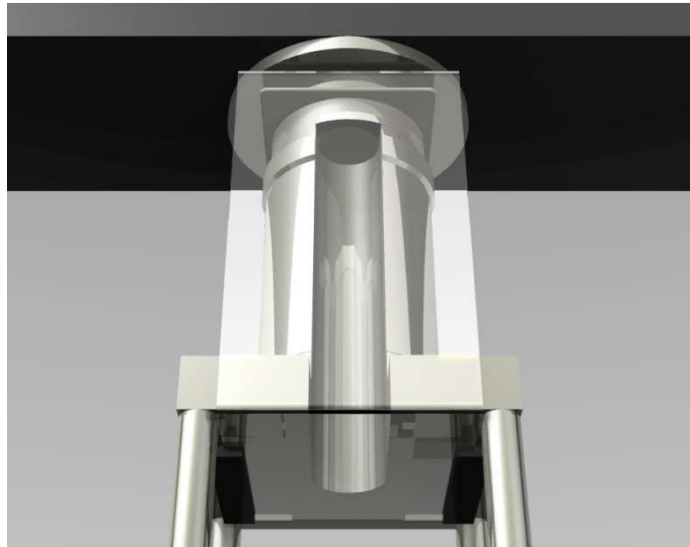
*Obr. 69. Ochrana proti odletujúcim úlomkom.*



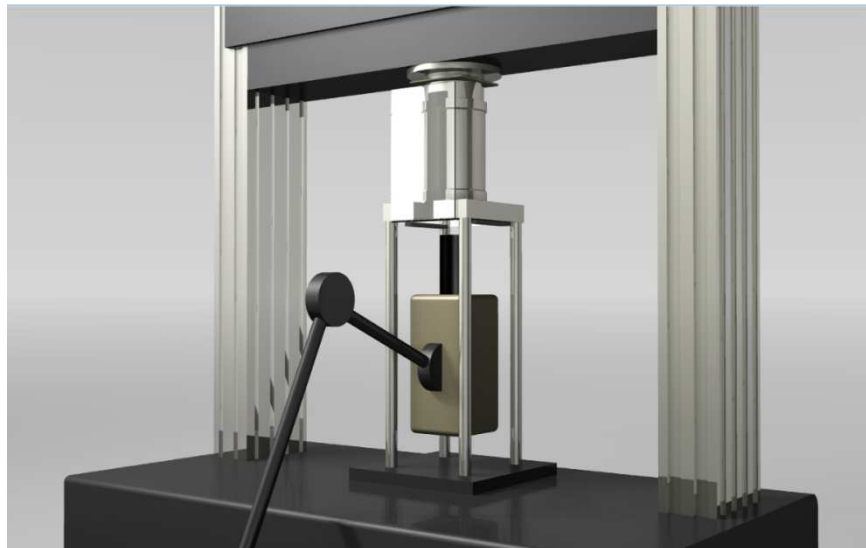
*Obr. 70. Návrh držiaka vysokorýchlostnej kamery.*



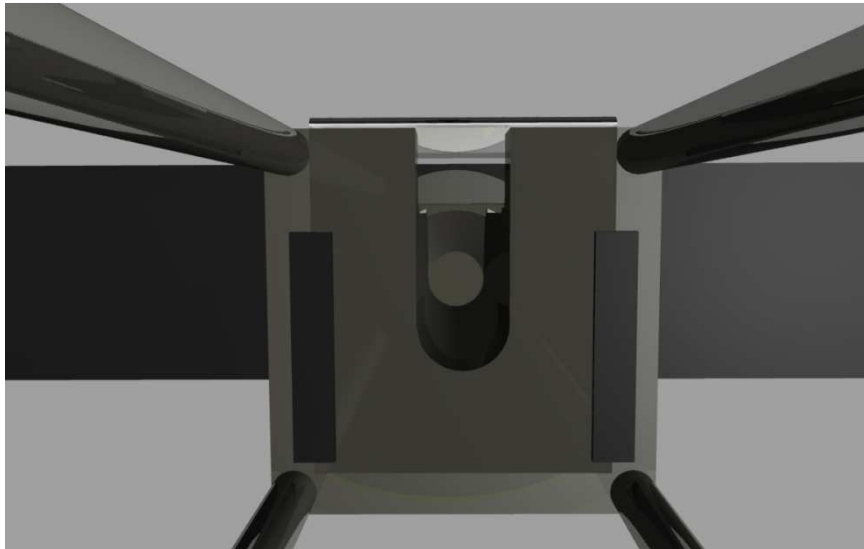
*Obr. 71. Osadenie kamery pod 45° uhlom.*



*Obr. 72. Detail snímanej plochy pod 45° uhlom.*



*Obr. 73. Osadenie kamery pod 90° uhlom.*



Obr. 74. Detail snímanej plochy pod 90° uhlom.

## 7.1 Kalkulácia nového návrhu stojanu a držiaka

Nový návrh stojanu pre crashovacie zariadenie Zwick HIT230F a držiak vysokorýchlostnej kamery olympus I-speed 2 sme prekalkulovali aby sme mali predstavu o nutnej investícii ak by sme chceli zaznamenávať crashovacie deje na tomto zariadení.

Tab. 14. Kalkulácia nákladov nového držiaka a stojanu.

Stojan:			Cena celkom: 404,77 €			
Material	Rozmer	Počet	jednotková Cena	MJ	Cena celkom	Kvalita
Valcovaný ocelový profil kruhový/gulatina	ø 20 x 410,6 mm	4,0504	0,73 €	kg	2,96 €	S235JR
Valcovaný ocelový profil kruhový/gulatina	ø 110 x 198,2 mm	14,7855	1,26 €	kg	18,63 €	S235JR
Valcovaný ocelový profil štvorcový/štvorhran	10 x 10 x 210 mm	0,1649	0,72 €	kg	0,12 €	S235JR
Ocelový profil plochý	169,64 x 170,4 x 30,03 mm	6,8143	1,89 €	kg	12,88 €	S235JR
Frézovanie		8	20,00 €	hodina	160,00 €	
Vŕtanie		3	10,00 €	hodina	30,00 €	
Závitovanie		1	7,00 €	hodina	7,00 €	
Zváranie		5	15,00 €		75,00 €	
Skrutky		12	0,30 €	ks	3,60 €	
Ochranný kryt/plexisklo		1	20,00 €	ks	20,00 €	
				<b>SUM</b>	<b>330,18 €</b>	
<b>Držiak kamery:</b>						
Ocelový profil plochý	169,64 x 170,4 x 30,03 mm	6,8143	1,89 €	kg	12,88 €	S235JR
Valcovaný ocelový profil kruhový/gulatina	ø 15 x 410,6 mm	0,5696	0,73 €	kg	0,42 €	S235JR
Valcovaný ocelový profil plochý/pásovina	100 x 5 x 120 mm	0,471	0,73 €	kg	0,34 €	S235JR
Vŕtanie		3	10,00 €	hodina	30,00 €	
Závitovanie		2	7,00 €	hodina	14,00 €	
Skrutky		5	0,30 €	ks	1,50 €	
Zváranie		1	15,00 €	hodina	15,00 €	
Valcovaný ocelový profil kruhový/gulatina	ø 50 x 15 mm	0,2312	0,73 €	kg	0,17 €	S235JR
Valcovaný ocelový profil kruhový/gulatina	ø 15 x 410,6 mm	0,3853	0,73 €	kg	0,28 €	S235JR
				<b>SUM</b>	<b>74,59 €</b>	



## ZÁVER

Diplomová práca sa skladá z dvoch častí - teoretickej a praktickej časti.

Cieľom teoretickej časti bolo zosumarizovanie vhodných noriem pre vyhodnocovanie crash testov polymérnych výrobkov, kde sme zistili, že neexistuje individuálna norma ČSN ISO, ktorá by sa zaoberala crash testom polymérnych výrobkov. Na vyhodnotenie crash testu sme použili normu ČSN 70 0592 (Bezpečnostné sklo pre automobily, traktory a poľnohospodárske stroje) a to z dôvodu, že princíp hodnotenia je v podstate rovnaký, nakoľko hodnotíme pri plaste aj skle o koľko mm sa nám prehne. S tým že pri crashovaní teste polymérneho výrobku hodnotíme, ako nám vzniká trhlina a pri skle hodnotíme ako sa nám roztriešti.

V teoretickej časti sme ďalej popísali crash test ako aj jeho postup pre polymérny výrobok pre oba druhy crashovacích zariadení: manuálny padostroj a automatický padostroj Zwick Roell HIT230F. Uviedli sme základné charakteristiky oboch crashovacích zariadení a ich jednotlivých častí, ktoré sme podložili obrázkovou dokumentáciou.

Ďalej sme popisovali vysokorýchlostné kamerové systémy značky Olympus a jeden z uvedených kamerových systémov I-Speed 2 sme použili pri vyhodnocovaní našich crash testov polypropylénových výrobkov.

Nasledujúca kapitola popisuje štatistické metódy na vyhodnocovanie vysokorýchlostných dejov.

Jednou z úloh praktickej časti bolo vypracovanie obrazovej analýzy crash testu čomu predchádzalo zapojenie automatického crashovacieho zariadenia Zwick Reoll HIT230F ako aj nastavenie vyhodnocovacieho programu testXpert II a následné zapojenie vysokorýchlostného kamerového systému I-speed 2 spolu s halogenidovým osvetlením značky Olympus. Následne sme vykonali crash testy na oboch typoch polypropylénových vzorkách. Nameňované údaje z oboch vzoriek sme vložili do programu Minitab 16 a vypracovali sme krabicové grafy pomocou ktorých sme našli vychýlené hodnoty, popisnú štatistiku, kde sme sledovali veľkosť variačných koeficientov a diagram časových radov na identifikáciu odľahlého merania. Súčasné riešenie stojana neumožňovalo priame snímanie deja, takže sme dej snímali cez odraz v rovinnom kruhovom zrkadle ale toto riešenie nebolo ideálne, nakoľko sme zosnímali približne 14% z celkovej snímanej plochy. Z dôvodu, že nebolo možné vykonať plnohodnotné meranie na automatickom crashovacom zariadení Zwick Roell

HIT230F dali sme ideový návrh vrátane rozpočtu na zostrojenie stojana, ktorý umožňuje plnohodnotné snímanie celého crashovacieho deja. Návrh bol vytvorený v programe Rhinoceros 3D 4.0.

Čiže na automatickom padostroji sme nemohli preveriť odľahlé merania cez obrazovú analýzu. Z toho dôvodu sme museli vykonať merania oboch typov polypropylénových vzoriek na manuálnom padostroji aby sme vedeli posúdiť správanie testovaných vzoriek. Meranie sa líšilo nie len uhlom snímania, ale aj spôsobom uchytienia vzoriek a spôsobom osvetlenia crashovacieho deja. Použili sme osvetlenie značky lowel DP s maximálnym výkonom 1000 W, ktoré využíva volfrámovo halogénový zdroj.

Na základe skúseností, ktoré sme pri meraní získali by sme navrhli nasledujúci postup crashovacieho merania polymérnych výrobkov s popisom detailov v praktickej časti: Meranie polymérnych vzoriek na automatickom padostroji Zwick Roell HIT230F. Všetky crashovacie deje musia byť zosnímané vysokorýchlostnou kamerou doplnenou halogenidovým osvetlením značky Olympus. Následne spracovanie hodnôt v štatistickom programe Minitab pomocou: krabicového grafu, popisnou štatistikou a diagramom časových radov a spätné zanalyzovanie odľahlých meraní pomocou zosnímaných crashovacích dejov.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] CHUDÝ, Vladimír. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava: STU, 1999, 689 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [2] PATA, Vladimír. Vysokorychlostní kamerové systémy. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 91 s. ISBN 80-720-4480-X.
- [3] ČSN 70 0592. Bezpečnostní sklo pro automobily, traktory a zemědělské stroje: Stanovení mechanických vlastností. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1980.
- [4] OLYMPUS CORPORATION. [online]. 2011 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.olympus-ims.com/en/>
- [5] BAROŇ, Michal. Měření a vyhodnocení vysokorychlostních dějů pomocí vysokorychlostního kamerového systému Olympus i-SPEED 2. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [6] I-Speed 2: Návod k použití Software pro PC. UK, 2006.
- [7] REKONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO 2D RÁZOVÉ NAMÁHÁNÍ POLYMERŮ A KOMPOZITŮ. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [8] KATRŇÁK, Michal. Vysokorychlostní děje a způsoby jejich snímání. Zlín, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [9] SOUČEK, Eduard. Statistika pro ekonomy. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomie a managementu, 2005.
- [10] Instruction manual Drop weight tester: Zwick/Roell HIT230F. Ulm, 2012.

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

Nr.1.19	1-poradové číslo pod série 19-poradové číslo merania v danej pod sérii
Celková hmotnosť	Celková hmotnosť kladiva s tlkom
Nominálna energia	Počiatočná/štartovacia energia [J]
Menovitá energia	Energia dopadu [J]
F <sub>max</sub>	Maximálna sila [N]
S <sub>m</sub>	Priehyb pri maximálnej sile F <sub>max</sub> [mm]
W <sub>m</sub>	Energia pod F <sub>max</sub> [J]
V <sub>Begin</sub>	Rýchlosť na začiatku meranej dráhy/na začiatku nárazu [m/s]
V <sub>End</sub>	Rýchlosť na konci meranej dráhy/na konci nárazu [m/s]
Pokles rýchlosti	Pokles rýchlosti rozdiel vyšiel zaokrúhlením [%]
Výška pádu	Výška pádu/vypočítaná na energiu 100J [mm]
I <sub>p</sub>	Penetračná deformácia [mm]
F <sub>p</sub>	Penetračná sila/sila pri porušení [N]
E <sub>p</sub>	Penetračná energia/celková plastická energia [J]
W <sub>koniec</sub>	Energia na konci meranej dráhy [J]
Typ defektu	Tečenie s plastickým pretvorením (YD)
USB	Universal Serial Bus
∅	Priemer [mm]
s	Sekunda
N	Newton
J	Joule
%	Percento
mm	Milimeter

---

kg	Kilogram
€	Euro
ks	Počet kusov
W	Watt
m/s	Meter/sekunda
PC	Personal Computer
fps	Frames per second
MPa	Mega Pascal
kPa	Kilo Pascal
IQR	Inter Quartile Range
Ek	Dopadová energia
v	Rýchlosť pádu
m	Hmotnosť závažia
h	Výška dopadu
N/k	Newton/kilogram
g	Gravitačné zrýchlenie
V	Odhad variačného koeficientu
s	Odhad smerodajnej odchýlky
$\bar{x}$	Odhad aritmetického priemeru
$Q_1$	Prvý kvartil
N, n	Počet premenných
$Q_3$	Tretí kvartil
IQRRange	Inter kvartilové rozpätie
$x_i, n_i$	Hodnota meraného znaku
$\gamma_1$	Šikmosť

---

$\gamma_2$	Koeficient špicatosti
R	Variačné rozpätie
$X_{min}$	Najmenšia hodnota v súbore
$X_{max}$	Najväčšia hodnota v súbore
$R_Q$	Rozpätie kvartilů
"	Palec
RCP	Remote control pad
CDU	Camera display unit
BNC	Bayonet Neill-Concelman
LAN	Local Area Network
PAL	Phase Alternating Line
NTSC	National Television System Committee
S-Video	Super Video
LCD	Liquid Crystal Display
CRT	Cathode-Ray Tube
D-SUB	D-Subminiature connector
SVGA	Super Video Graphics Array
GB	Giga byte
V	Volt
°C	Stupeň Celsia
DC	Direct Current
m	Meter
Mb	Mega bit
Gb	Giga bit
°	Stupeň (uhol)

---

g	Gram
Q	Kvartil
$s^2$	Odhad rozptylu
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
f	Svetelnost'

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

Obr. 1.	Uchytenie vzorky do crashovacieho zariadenia. ....	19
Obr. 2.	Schéma crashovacieho zariadenia – padostroj [7]. ....	22
Obr. 3.	Detail konštrukcie pre vedenie oceľového lana [7]. ....	23
Obr. 4.	Crashovacie zariadenie. ....	23
Obr. 5.	Zwick Roell HIT230F. ....	25
Obr. 6.	Systém uchytenia kamery ku statívu [5]. ....	26
Obr. 7.	Snímač CCD [8]. ....	27
Obr. 8.	Snímač CMOS [8]. ....	28
Obr. 9.	Obrazový procesor [8]. ....	29
Obr. 10.	Objektív PENTAX 12,5-75mm [8]. ....	30
Obr. 11.	Vznik aberácie [8]. ....	31
Obr. 12.	Optický iluminátor. ....	32
Obr. 13.	Optický kábel. ....	34
Obr. 14.	i-SPEED LT [4]. ....	35
Obr. 15.	i-SPEED 2 [4]. ....	36
Obr. 16.	i-SPEED TR [4]. ....	37
Obr. 17.	i-SPEED 3 [4]. ....	38
Obr. 18.	i-SPEED FS [4]. ....	39
Obr. 19.	Pripojovacie konektory. ....	40
Obr. 20.	Kábel rozširujúcich prvkov. ....	41
Obr. 21.	Detail kábla rozširujúcich prvkov. ....	41
Obr. 22.	Pohľad na zapojenie konektorov kamery. ....	42
Obr. 23.	Diaľkové ovládanie. ....	42
Obr. 24.	Zariadenie CDU [4]. ....	43
Obr. 25.	Boxplot [9]. ....	44
Obr. 26.	ZWICK Roell HIT230F. ....	48
Obr. 27.	100% polypropylén. ....	49
Obr. 28.	Polypropylén s 30% obsahom sklenených vlákien. ....	49
Obr. 29.	Zapojenie crashovacieho zariadenia. ....	50
Obr. 30.	Zapojenie kamerového systému. ....	54
Obr. 31.	Osvetľovací systém olympus. ....	54
Obr. 32.	Osadenie optického kábla. ....	55



Obr. 33.	SúčasnÉ riešenie držiaka.....	55
Obr. 34.	Fixácia okrúhleho rovinného zrkadla.....	56
Obr. 35.	Osadenie kamery.....	56
Obr. 36.	Návrh snímania crashovacieho deja pomocou zrkadla.....	57
Obr. 37.	Priehybu pri maximálnej sile.....	59
Obr. 38.	Sila pri porušení.....	59
Obr. 39.	Postup použitia štatistických metód.....	60
Obr. 40.	Fmax: 100% polypropylén.....	61
Obr. 41.	Sm: 100% polypropylén.....	61
Obr. 42.	Wm: 100% polypropylén.....	62
Obr. 43.	Pokles rýchlosti: 100% polypropylén.....	62
Obr. 44.	Fp: 100% polypropylén.....	63
Obr. 45.	Ep: 100% polypropylén.....	63
Obr. 46.	Fmax: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.....	64
Obr. 47.	Sm: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.....	64
Obr. 48.	Wm: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.....	65
Obr. 49.	Pokles rýchlosti: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.....	65
Obr. 50.	Fp: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.....	66
Obr. 51.	Ep: Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien.....	66
Obr. 52.	Grafy: sila/dráha, sila/čas.....	67
Obr. 53.	Manuálny padostroj.....	69
Obr. 54.	Zapojenie osvetlenia.....	70
Obr. 55.	Testovaná vzorka uchopená v držiaku.....	70
Obr. 56.	Usporiadanie pracoviska.....	71
Obr. 57.	Rozmiestnenie osvetlenia a kamery.....	71
Obr. 58.	Znázornenie odľahlého merania.....	72
Obr. 59.	Snímok prvého dotyku tíka so vzorkou.....	72
Obr. 60.	Vznik trhliny.....	73
Obr. 61.	Šírenie trhliny.....	73
Obr. 62.	Roztriešenie polypropylénovej vzorky.....	74
Obr. 63.	Znázornenie odľahlého merania.....	74
Obr. 64.	Snímok prvého dotyku tíka so vzorkou.....	75
Obr. 65.	Vznik trhliny.....	75

Obr. 66.	Šíření trhliny.....	76
Obr. 67.	Roztříštění polypropylénové vzorky. ....	76
Obr. 68.	Celkový pohľad na novonavrnuté riešenie.....	77
Obr. 69.	Ochrana proti odletujúcim úlomkom. ....	78
Obr. 70.	Návrh držiaka vysokorychlostnej kamery.....	78
Obr. 71.	Osadenie kamery pod 45° uhlom. ....	78
Obr. 72.	Detail snímanej plochy pod 45° uhlom.....	79
Obr. 73.	Osadenie kamery pod 90° uhlom. ....	79
Obr. 74.	Detail snímanej plochy pod 90° uhlom.....	80
Obr. 75.	Odľahlé meranie Sm č.12: 2,26[mm].....	98
Obr. 76.	Odľahlé meranie Sm č.3: 6,52[mm].....	98
Obr. 77.	Odľahlé meranie Sm č.1: 8,85[mm].....	98
Obr. 78.	Odľahlé meranie Sm č.7: 9,30[mm].....	99
Obr. 79.	Odľahlé meranie Sm č.15: 9,87[mm].....	99
Obr. 80.	Odľahlé meranie Sm č.26: 6,01[mm].....	99
Obr. 81.	Odľahlé meranie Sm č.1: 6,65[mm].....	100
Obr. 82.	Odľahlé meranie Sm č.3: 6,84[mm].....	100
Obr. 83.	Odľahlé meranie Sm č.9: 7,79[mm].....	100
Obr. 84.	Odľahlé meranie Fmax č.16: 1267,65[N]. ....	101
Obr. 85.	Odľahlé meranie Wm č.1: 8,40[J]. ....	101
Obr. 86.	Odľahlé meranie Wm č.15: 9,33[J]. ....	101
Obr. 87.	Odľahlé meranie Wm č.7: 9,56[J]. ....	102
Obr. 88.	Odľahlé meranie Wm č.26: 2,10[J]. ....	102
Obr. 89.	Odľahlé meranie Wm č.1: 2,15[J]. ....	102
Obr. 90.	Odľahlé meranie Wm č.3: 2,55[J]. ....	103
Obr. 91.	Odľahlé meranie Wm č.9: 2,65[J]. ....	103
Obr. 92.	Odľahlé meranie Fp č.16: 633,82[N]. ....	103
Obr. 93.	Odľahlé meranie Fp č.12: 1,60[J]. ....	104
Obr. 94.	Odľahlé meranie Fp č.16: 2,40[J]. ....	104
Obr. 95.	Odľahlé meranie Fp č.15: 10,01[J]. ....	104
Obr. 96.	Odľahlé meranie Fp č.1: 10,65[J]. ....	105
Obr. 97.	Odľahlé meranie Fp č.7: 11,61[J]. ....	105
Obr. 98.	Odľahlé meranie Fp č.9: 2,71[J]. ....	105

Obr. 99. Odľahlé meranie Fp č.3: 2,76[J]. .....	106
Obr. 100. Odľahlé meranie Sm: 2,26[mm] je to dvanáste vykonané meranie. ....	112
Obr. 101. Odľahlé meranie Sm: 6,52[mm] je to tretie vykonané meranie. ....	112
Obr. 102. Odľahlé meranie Sm: 8,85[mm] je to prvé vykonané meranie. ....	113
Obr. 103. Odľahlé meranie Sm: 9,30[mm] je to siedme vykonané meranie. ....	113
Obr. 104. Odľahlé meranie Sm: 9,87[mm] je to pätnáste vykonané meranie. ....	114
Obr. 105. Odľahlé meranie Sm: 6,01[mm] je to 26-ste vykonané meranie. ....	114
Obr. 106. Odľahlé meranie Sm: 6,65[mm] je to prvé vykonané meranie. ....	115
Obr. 107. Odľahlé meranie Sm: 6,84[mm] je to tretie vykonané meranie. ....	115
Obr. 108. Odľahlé meranie Sm: 7,79[mm] je to deviate vykonané meranie. ....	116
Obr. 109. Odľahlé meranie Wm: 8,4[J] je to prvé vykonané meranie. ....	116
Obr. 110. Odľahlé meranie Wm: 9,33[J] je to pätnáste vykonané meranie. ....	117
Obr. 111. Odľahlé meranie Wm: 9,56[J] je to siedme vykonané meranie. ....	117
Obr. 112. Odľahlé meranie Wm: 2,1[J] je to dvadsiate štvrté vykonané meranie. ....	118
Obr. 113. Odľahlé meranie Wm: 2,15[J] je to prvé vykonané meranie. ....	118
Obr. 114. Odľahlé meranie Wm: 2,55[J] je to tretie vykonané meranie. ....	119
Obr. 115. Odľahlé meranie Wm: 2,65[J] je to deviatom vykonané meranie. ....	119
Obr. 116. Odľahlé meranie Fp: 633,82[N] je to šestnáste vykonané meranie. ....	120
Obr. 117. Odľahlé meranie Ep: 1,60[J] je to dvanáste vykonané meranie. ....	120
Obr. 118. Odľahlé meranie Ep: 2,40[J] je to šestnáste vykonané meranie. ....	121
Obr. 119. Odľahlé meranie Ep: 10,01[J] je to pätnáste vykonané meranie. ....	121
Obr. 120. Odľahlé meranie Ep: 10,65[J] je to prvé vykonané meranie. ....	122
Obr. 121. Odľahlé meranie Ep: 11,61[J] je to siedme vykonané meranie. ....	122
Obr. 122. Odľahlé meranie Ep: 2,71[J] je to deviate vykonané meranie. ....	123
Obr. 123. Odľahlé meranie Ep: 2,76[J] je to tretie vykonané meranie. ....	123
Obr. 124. Snímok prvého dotyku tľka so vzorkou. ....	124
Obr. 125. Vznik trhliny. ....	124
Obr. 126. Šírenie trhliny. ....	125
Obr. 127. Roztrieštenie polypropylénovej vzorky. ....	125
Obr. 128. Snímok prvého dotyku tľka so vzorkou. ....	126
Obr. 129. Vznik trhliny. ....	126
Obr. 130. Šírenie trhliny. ....	127
Obr. 131. Roztrieštenie polypropylénovej vzorky. ....	127

---

Obr. 132. Snímok prvého dotyku tláka so vzorkou.....	128
Obr. 133. Vznik trhliny. ....	128
Obr. 134. Šírenie trhliny.....	129
Obr. 135. Roztriešenie polypropylénovej vzorky. ....	129
Obr. 136. Snímok prvého dotyku tláka so vzorkou.....	130
Obr. 137. Vznik trhliny. ....	130
Obr. 138. Šírenie trhliny.....	131
Obr. 139. Roztriešenie polypropylénovej vzorky. ....	131
Obr. 140. Snímok prvého dotyku tláka so vzorkou.....	132
Obr. 141. Vznik trhliny. ....	132
Obr. 142. Šírenie trhliny.....	133
Obr. 143. Roztriešenie polypropylénovej vzorky. ....	133
Obr. 144. Snímok prvého dotyku tláka so vzorkou.....	134
Obr. 145. Vznik trhliny. ....	134
Obr. 146. Šírenie trhliny.....	135
Obr. 147. Roztriešenie polypropylénovej vzorky. ....	135

**ZOZNAM TABULIEK**

Tab. 1.	Prehľad vhodných noriem pre vyhodnocovanie crash testov.....	12
Tab. 2.	Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED LT [4].....	35
Tab. 3.	Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED 2 [4].....	36
Tab. 4.	Hodnoty rýchlostí a rozlíšenia 2 GB verzie [4].....	36
Tab. 5.	Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED TR [4].....	38
Tab. 6.	Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED 3 [4].....	39
Tab. 7.	Vplyv doby snímání na pamäte kamery i-SPEED FS [4]. ....	40
Tab. 8.	100% polypropylén. ....	49
Tab. 9.	Polypropylén s 30% obsahom sklených vlákien. ....	49
Tab. 10.	Prehľad nastavení. ....	51
Tab. 11.	Popis veličín. ....	58
Tab. 12.	Popisná štatistika: $F_{max}(N)$ . ....	67
Tab. 13.	Prehľad variačných koeficientov.....	68
Tab. 14.	Kalkulácia nákladov nového držiaka a stojana. ....	80
Tab. 15.	Namerané hodnoty na vzorkách zo 100% polypropylénu .....	96
Tab. 16.	Namerané hodnoty na vzorkách z polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien .....	97
Tab. 17.	V: 100% polypropylénu pre $F_{max}$ . ....	107
Tab. 18.	V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre $F_{max}$ . ....	107
Tab. 19.	V: 100% polypropylénu pre $S_m$ . ....	107
Tab. 20.	V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre $S_m$ . ....	108
Tab. 21.	V: 100% polypropylénu pre $W_m$ . ....	108
Tab. 22.	V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre $W_m$ . ....	109
Tab. 23.	V: 100% polypropylénu pre Pokles rýchlosti. ....	109
Tab. 24.	V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre Pokles rýchlosti. ....	109
Tab. 25.	V: 100% polypropylénu pre $F_p$ . ....	110
Tab. 26.	V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre $F_p$ . ....	110
Tab. 27.	V: 100% polypropylénu pre $E_p$ . ....	111
Tab. 28.	V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre $E_p$ . ....	111

**ZOZNAM VZORCOV**

(1) Odhad aritmetického priemeru .....	45
(2) Variačné rozpätie.....	45
(3) Odhad rozptylu.....	46
(4) Odhad variačného koeficientu.....	46
(5) Rýchlosť pádu.....	69
(6) Dopadová energia.....	69

**ZOZNAM PRÍLOH**

PRÍLOHA PI: Namerané hodnoty .....	96
PRÍLOHA P II: Namerané hodnoty.....	97
PRÍLOHA P III: Grafický zoznam skúšok .....	98
PRÍLOHA P IV: Popisná štatistika.....	107
PRÍLOHA P V: Zostava grafov .....	112
PRÍLOHA P VI: Video záznamy crashovacích skúšok.....	124

# PRÍLOHA PI: NAMERANÉ HODNOTY

Tab. 15. Namerané hodnoty na vzorkách zo 100% polypropylénu

100%-PP- Datum/Č as (Nr)	100%-PP- Teoretická nárazová rychlosť (m/s)	100%-PP- Celková hmotnosť (kg)	100%-PP- Nominálna energia (J)	100%-PP- Jmenovitá energia (J)	100%-PP- Fmax(N)	100%-PP- Sm(mm)	100%-PP- Wm(J)	100%-PP- V(lo Begin) (m/s)	100%-PP- V(lo End) (m/s)	100%-PP- rychlosť (%)	100%-PP- Výška pádu (mm)	100%-PP- Ip(mm)	100%-PP- Fp(N)	100%-PP- Ep(J)	100%-PP- W(lo koniec) (J)	100%-PP- Typ defektu
1.18	2,938	23,17	0	99,96	2144,86	8,85	8,4	2,94	2,82	4	440	10,23	1072,43	10,65	11,22	YD
1.19	2,938	23,17	0	99,96	1908,97	5	4,87	2,94	2,93	0,25	440	5,14	954,49	5,06	9,03	YD
1.20	2,938	23,17	0	99,96	1975,31	6,52	5,91	2,94	2,77	5,5	440	6,6	987,66	6,04	19,63	YD
1.21	2,938	23,17	0	99,96	1893,16	4,45	4,15	2,94	2,94	0,01	440	4,73	946,58	4,54	6,82	YD
1.22	2,938	23,17	0	99,96	1769,05	4,36	4,02	2,94	2,84	3,16	440	4,65	884,53	4,41	8,95	YD
1.23	2,938	23,17	0	99,96	1853,91	4,76	4,41	2,93	2,86	2,37	440	5,3	926,95	5,22	12,5	YD
1.24	2,938	23,17	0	99,96	1752,37	9,3	9,56	2,94	2,73	7,07	440	10,8	876,18	11,61	22,58	YD
1.25	2,938	23,17	0	99,96	1798,58	4,83	4,69	2,94	2,89	1,75	440	4,91	899,29	4,8	11,94	YD
1.26	2,938	23,17	0	99,96	1894,85	4,55	4,39	2,94	2,88	1,78	440	4,85	947,42	4,84	10,52	YD
1.27	2,938	23,17	0	99,96	1756,52	3,99	3,43	2,94	2,91	0,92	440	4,32	878,26	3,89	9,86	YD
11.1	2,938	23,17	0	99,96	1714,78	3,8	3,29	2,94	2,94	-0,01	440	4,07	857,39	3,64	6,23	YD
11.2	2,938	23,17	0	99,96	1531,23	2,26	1,51	2,94	2,83	3,6	440	2,33	765,62	1,6	15,94	YD
11.3	2,938	23,17	0	99,96	1793,16	4,68	4,48	2,94	2,88	1,93	440	4,93	896,58	4,83	10,74	YD
11.4	2,938	23,17	0	99,96	1766,74	4,16	3,71	2,94	2,87	2,2	440	4,54	883,37	4,2	9,46	YD
11.5	2,938	23,17	0	99,96	1721,31	9,87	9,33	2,94	2,73	6,91	440	10,4	860,66	10,01	22,21	YD
11.6	2,938	23,17	0	99,96	1692,35	2,97	2,27	2,94	2,87	2,16	440	3,07	846,17	2,4	6,13	YD
11.7	2,938	23,17	0	99,96	1597,29	4,65	4,41	2,94	2,9	1,34	440	5,01	798,64	4,9	10,94	YD
11.8	2,938	23,17	0	99,96	1765,66	4,45	4,23	2,94	2,92	0,57	440	4,53	882,83	4,35	4,82	YD
11.9	2,938	23,17	0	99,96	1584,98	3,88	3,45	2,94	2,88	1,88	440	4,35	792,49	3,99	6,48	YD
11.10	2,938	23,17	0	99,96	1693,15	3,81	3,39	2,94	2,96	-0,76	440	4,49	846,58	4,25	7,7	YD
12.1	2,938	23,17	0	99,96	1676,27	3,98	3,4	2,94	2,88	1,87	440	4,29	838,13	3,78	7,57	YD
12.2	2,938	23,17	0	99,96	1790,37	4,88	4,57	2,94	2,9	1,31	440	5,03	895,19	4,78	10,95	YD
12.3	2,938	23,17	0	99,96	1875,82	4,85	5,02	2,94	2,88	1,82	440	4,92	937,91	5,13	11,85	YD
12.4	2,938	23,17	0	99,96	1582,21	3,67	3,01	2,94	2,78	5,4	440	4,51	791,11	4,09	19,46	YD
12.5	2,938	23,17	0	99,96	2028,52	5,36	5,57	2,94	2,89	1,73	440	5,67	1014,26	6,09	6,75	YD
12.6	2,938	23,17	0	99,96	1793,48	4,75	4,61	2,93	2,88	1,99	440	5,31	896,74	5,47	10,92	YD
12.7	2,938	23,17	0	99,96	1562,72	4,71	4,56	2,94	2,95	-0,55	440	4,91	781,36	4,82	7,62	YD
12.8	2,938	23,17	0	99,96	1965,68	4,89	4,7	2,94	2,83	3,71	440	5,22	982,84	5,19	11,52	YD
12.9	2,938	23,17	0	99,96	2029,93	4,65	4,31	2,94	2,9	1,17	440	4,73	1014,97	4,44	8,95	YD
12.10	2,938	23,17	0	99,96	2031,19	5,21	5,24	2,94	2,84	3,46	440	5,28	1015,6	5,37	15,27	YD



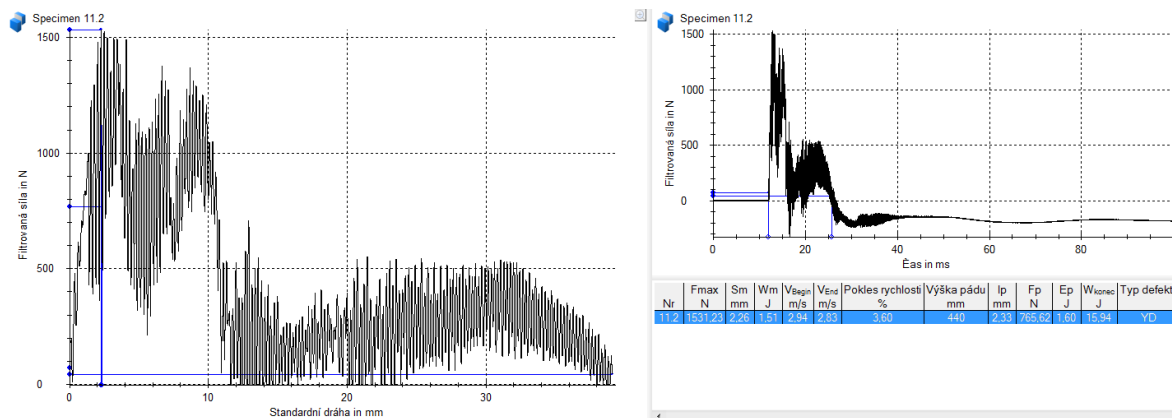
## PRÍLOHA P II: NAMERANÉ HODNOTY

Tab. 16. Namerané hodnoty na vzorkách z polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien

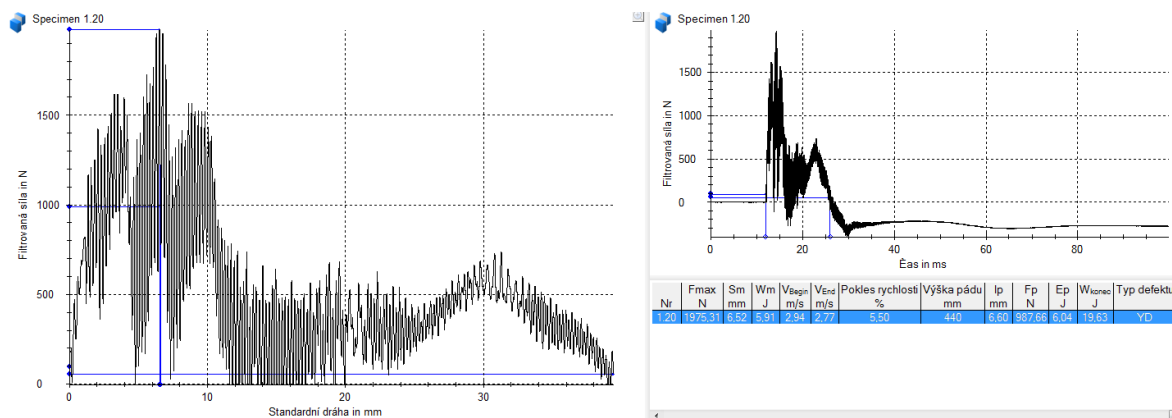
PP-30%KSV-Datum/ Čas (Nr)	PP-30%KSV-Teoretická nárazová rýchlosť (m/s)	PP-30%KSV-Celková hmotnosť (kg)	PP-30%KSV-Nominálna energia (J)	PP-30%KSV-Jmennovitá energia (J)	PP-30%KSV-Fmáx(N)	PP-30%KSV-Sm(mm)	PP-30%KSV-Wm(J)	PP-30%KSV-V(lo Begin) (m/s)	PP-30%KSV-V(lo End) (m/s)	PP-30%KSV-Pokles rýchlosti (%)	PP-30%KSV-Výška pádu (mm)	PP-30%KSV-lp (mm)	PP-30%KSV-Fp(N)	PP-30%KSV-Ep(J)	PP-30%KSV-W(lo konec) (J)	PP-30%KSV-Typ defektu	
13.1	15.03.2012 14:57	2,938	23,17	0	99,96	773,8	6,65	2,15	2,94	2,95	-0,33	440	6,77	386,9	2,22	2,7	YD
13.2	15.03.2012 14:58	2,938	23,17	0	99,96	887,89	2,72	0,82	2,94	3,01	-2,53	440	2,79	443,94	0,87	2,44	YD
13.3	15.03.2012 15:00	2,938	23,17	0	99,96	1048,2	6,84	2,55	2,94	2,95	-0,43	440	7,12	524,1	2,76	3,03	YD
13.4	15.03.2012 15:01	2,938	23,17	0	99,96	790,71	2,93	0,93	2,94	3,01	-2,45	440	3,01	395,36	0,99	2,8	YD
13.5	15.03.2012 15:02	2,938	23,17	0	99,96	933,46	2,68	0,8	2,94	2,98	-1,36	440	2,72	466,73	0,84	1,95	YD
13.6	15.03.2012 15:03	2,938	23,17	0	99,96	668,55	2,56	0,69	2,94	3,03	-3,05	440	2,61	334,28	0,72	2	YD
13.7	15.03.2012 15:05	2,938	23,17	0	99,96	878,56	4,46	1,43	2,94	2,95	-0,45	440	4,53	439,28	1,48	2,05	YD
13.8	15.03.2012 15:06	2,938	23,17	0	99,96	861,36	1,76	0,46	2,94	2,96	-0,48	440	1,83	430,68	0,5	1,48	YD
13.9	15.03.2012 15:07	2,938	23,17	0	99,96	863,47	7,79	2,65	2,94	2,94	0,01	440	7,88	431,73	2,71	3,05	YD
13.10	15.03.2012 15:08	2,938	23,17	0	99,96	609,03	2,52	0,65	2,93	3,03	-3,22	440	2,57	304,51	0,67	2,34	YD
14.1	15.03.2012 15:09	2,938	23,17	0	99,96	838,81	2,97	0,94	2,94	2,97	-1,13	440	3,03	419,41	0,98	1,97	YD
14.2	15.03.2012 15:10	2,938	23,17	0	99,96	896	2,48	0,77	2,94	3,04	-3,45	440	2,55	448	0,82	2,39	YD
14.3	15.03.2012 15:10	2,938	23,17	0	99,96	747,95	3,22	1	2,93	3,02	-2,81	440	3,35	373,97	1,07	2,72	YD
14.4	15.03.2012 15:11	2,938	23,17	0	99,96	764,28	2,48	0,73	2,94	3,01	-2,63	440	2,55	382,14	0,77	2,61	YD
14.5	15.03.2012 15:12	2,938	23,17	0	99,96	1017,59	3,16	0,87	2,94	3	-2,04	440	3,2	508,8	0,91	1,8	YD
14.6	15.03.2012 15:13	2,938	23,17	0	99,96	1267,65	4,39	1,41	2,94	3,01	-2,3	440	4,43	633,82	1,46	1,48	YD
14.7	15.03.2012 15:13	2,938	23,17	0	99,96	826	3,02	1,06	2,94	2,99	-1,68	440	3,07	413	1,1	2,23	YD
14.8	15.03.2012 15:14	2,938	23,17	0	99,96	784,44	3,76	1,31	2,94	2,97	-0,96	440	4,04	392,22	1,49	1,51	YD
14.9	15.03.2012 15:15	2,938	23,17	0	99,96	619,55	2,93	0,89	2,94	2,97	-1,06	440	3,23	309,77	1,05	2,31	YD
14.10	15.03.2012 15:16	2,938	23,17	0	99,96	800,76	2,69	0,83	2,94	3,02	-2,62	440	2,77	400,38	0,88	4,22	YD
15.1	15.03.2012 15:17	2,938	23,17	0	99,96	878,19	2,57	0,82	2,94	3	-1,96	440	2,64	439,1	0,87	1,71	YD
15.2	15.03.2012 15:17	2,938	23,17	0	99,96	798,55	2,03	0,57	2,94	3	-2,17	440	2,08	399,28	0,6	2,69	YD
15.3	15.03.2012 15:24	2,938	23,17	0	99,96	680,57	3,18	1,02	2,94	2,99	-1,91	440	3,32	340,28	1,09	3,47	YD
15.4	15.03.2012 15:25	2,938	23,17	0	99,96	884,16	3,51	1,26	2,94	3,02	-2,87	440	3,6	442,08	1,33	3,03	YD
15.5	15.03.2012 15:33	2,938	23,17	0	99,96	785,46	1,93	0,52	2,94	2,97	-1,03	440	1,99	392,73	0,56	1,46	YD
15.6	15.03.2012 15:34	2,938	23,17	0	99,96	747,4	6,01	2,1	2,94	3,01	-2,31	440	6,08	373,7	2,15	4,35	YD
15.7	15.03.2012 15:35	2,938	23,17	0	99,96	978,54	3,44	1,25	2,94	2,99	-1,7	440	3,52	489,27	1,31	5,08	YD
15.8	15.03.2012 15:36	2,938	23,17	0	99,96	749,91	3,67	1,21	2,94	2,96	-0,79	440	3,94	374,96	1,36	1,39	YD
15.9	15.03.2012 15:37	2,938	23,17	0	99,96	918,86	1,32	0,31	2,94	3,01	-2,27	440	1,36	459,43	0,34	3,57	YD
15.10	15.03.2012 15:38	2,938	23,17	0	99,96	623,71	2,53	0,7	2,94	3,08	-4,81	440	2,6	311,86	0,73	2,27	YD

# PRÍLOHA P III: GRAFICKÝ ZOZNAM SKÚŠOK

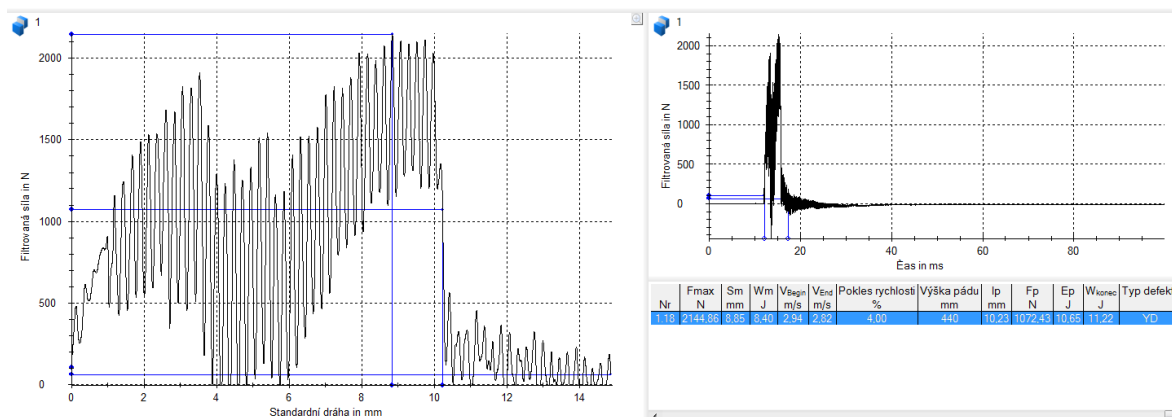
Grafický záznam skúšky: Sm (Priehyb pri maximálnej sile Fmax) 100% polypropylénu



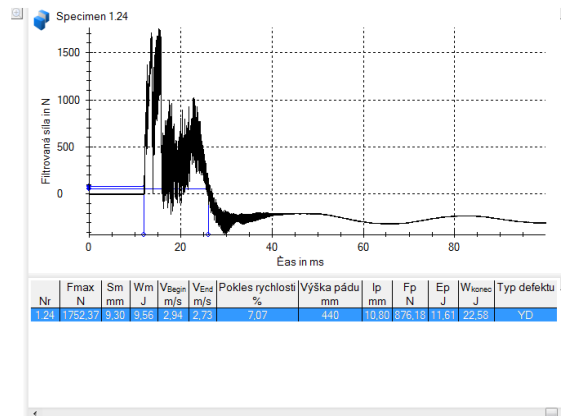
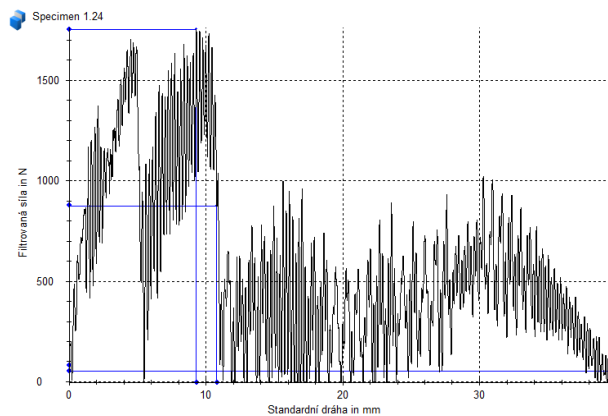
Obr. 75. Odľahlé meranie Sm č.12: 2,26[mm].



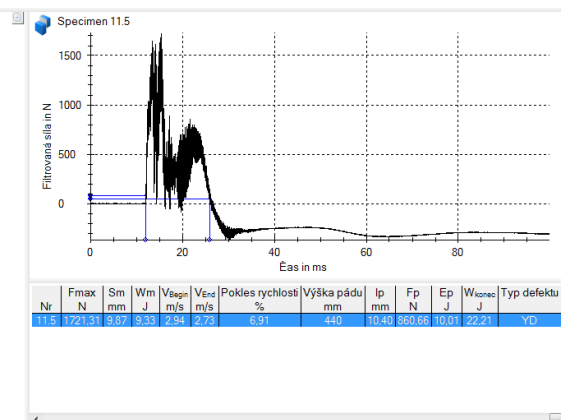
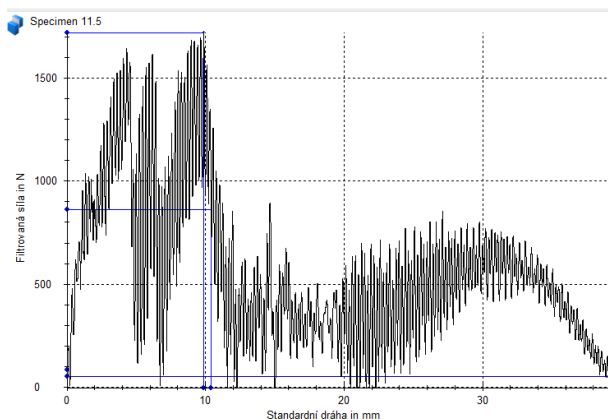
Obr. 76. Odľahlé meranie Sm č.3: 6,52[mm].



Obr. 77. Odľahlé meranie Sm č.1: 8,85[mm].

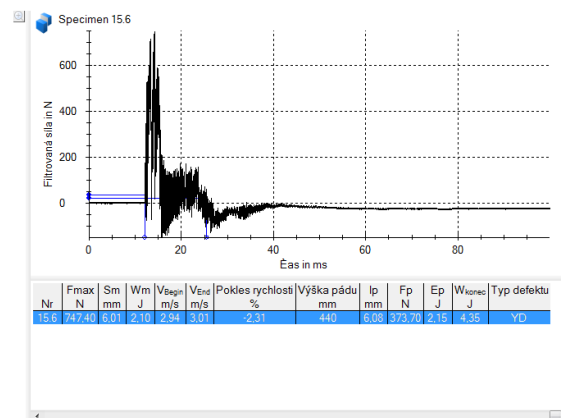
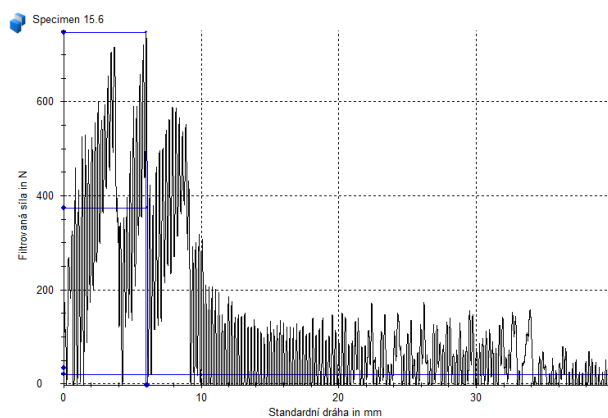


Obr. 78. Odľahlé meranie Sm č.7: 9,30[mm].

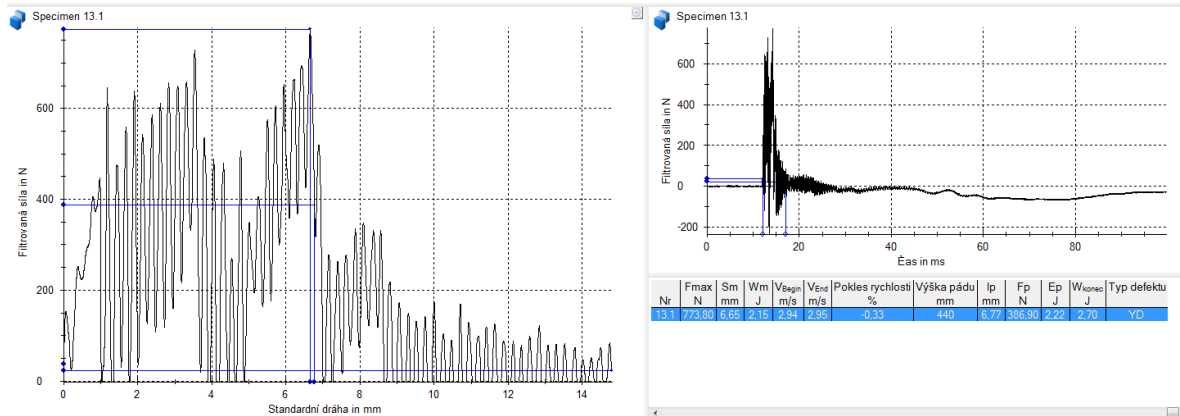


Obr. 79. Odľahlé meranie Sm č.15: 9,87[mm].

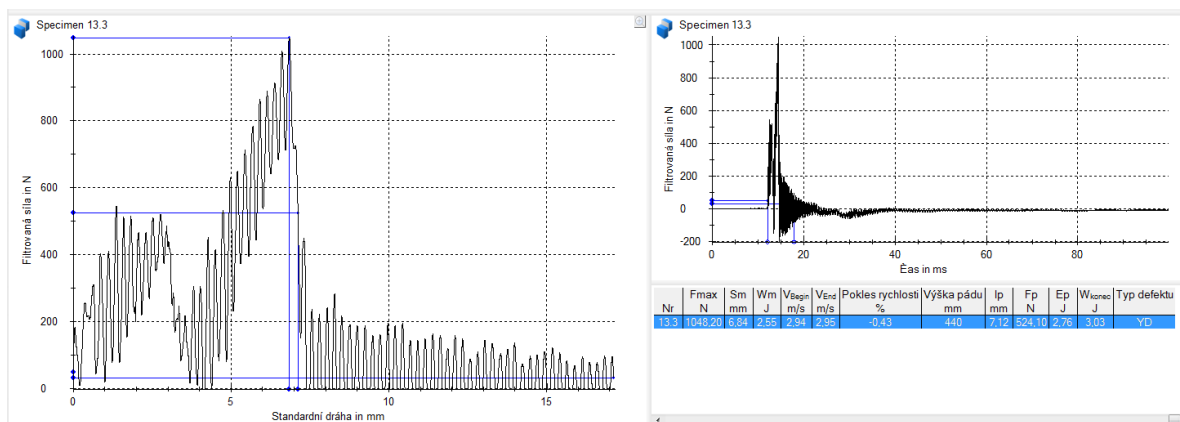
Grafický záznam skúšky: Sm (Priehyb pri maximálnej sile Fmax) polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien



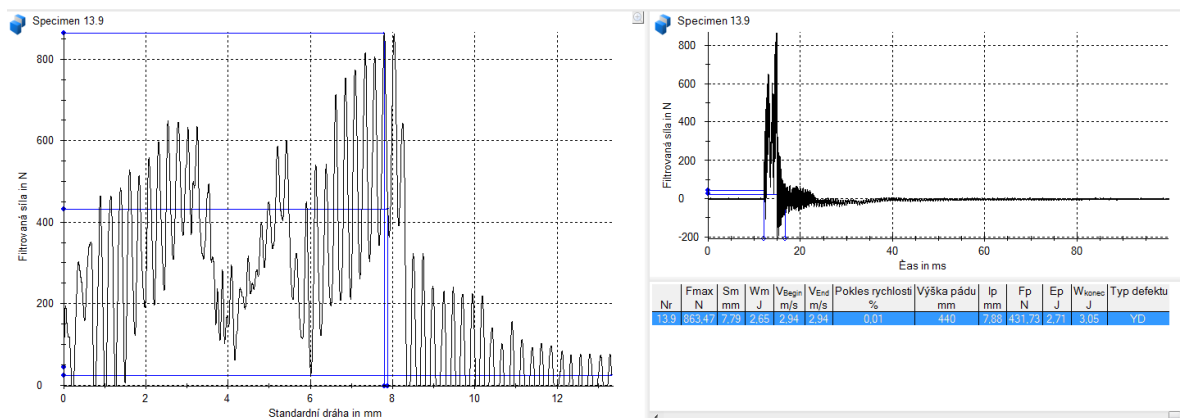
Obr. 80. Odľahlé meranie Sm č.26: 6,01[mm].



Obr. 81. Odřahlé meranie Sm č.1: 6,65[mm].

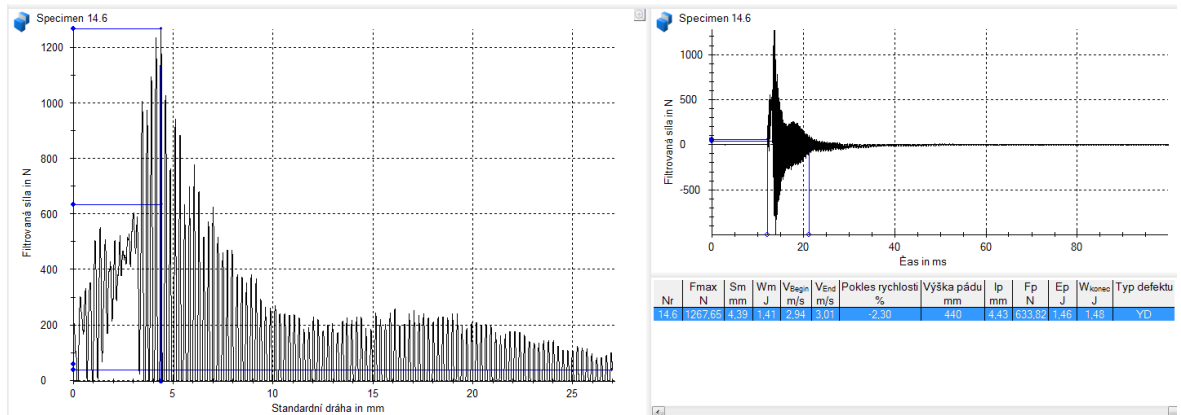


Obr. 82. Odřahlé meranie Sm č.3: 6,84[mm].



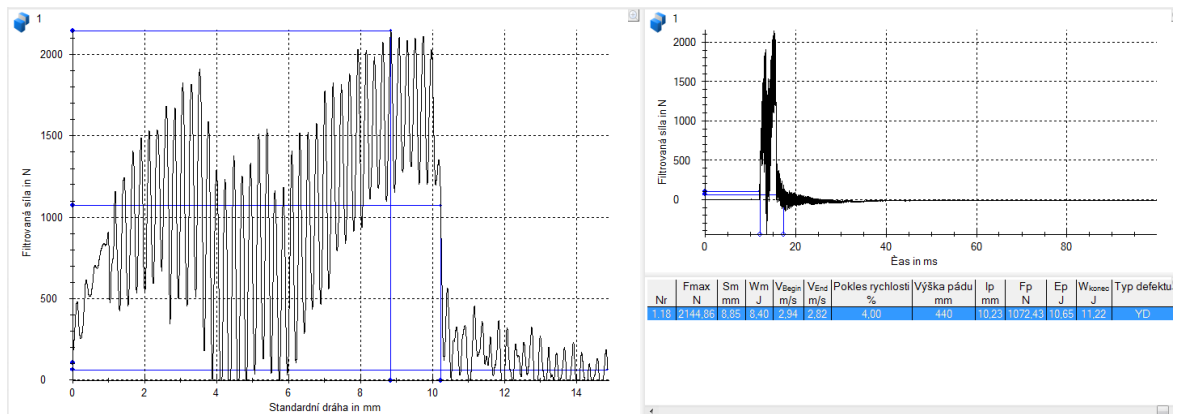
Obr. 83. Odřahlé meranie Sm č.9: 7,79[mm].

Grafický záznam skúšky: Fmax (Maximálna sila) polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien

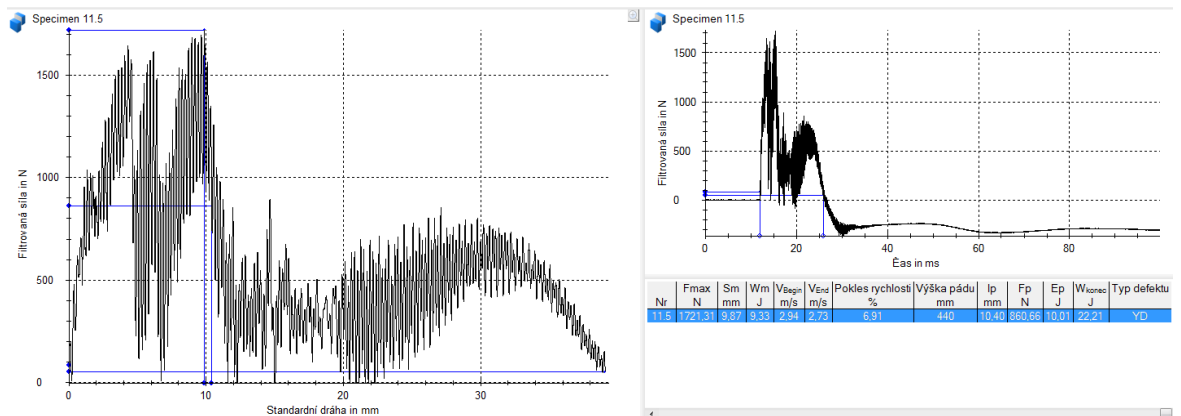


Obr. 84. Odľahlé meranie Fmax č.16: 1267,65[N].

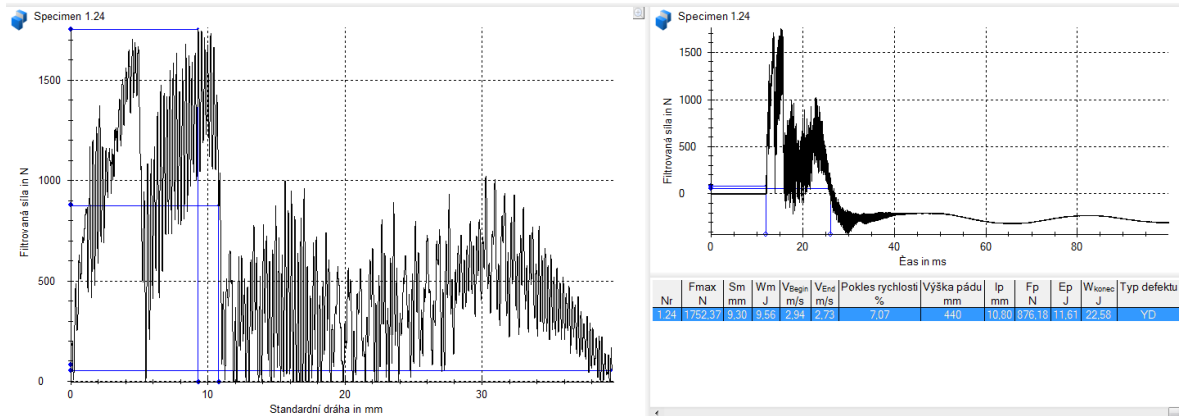
Grafický záznam skúšky: Wm (Energia pod Fmax) 100% polypropylénu



Obr. 85. Odľahlé meranie Wm č.1: 8,40[J].

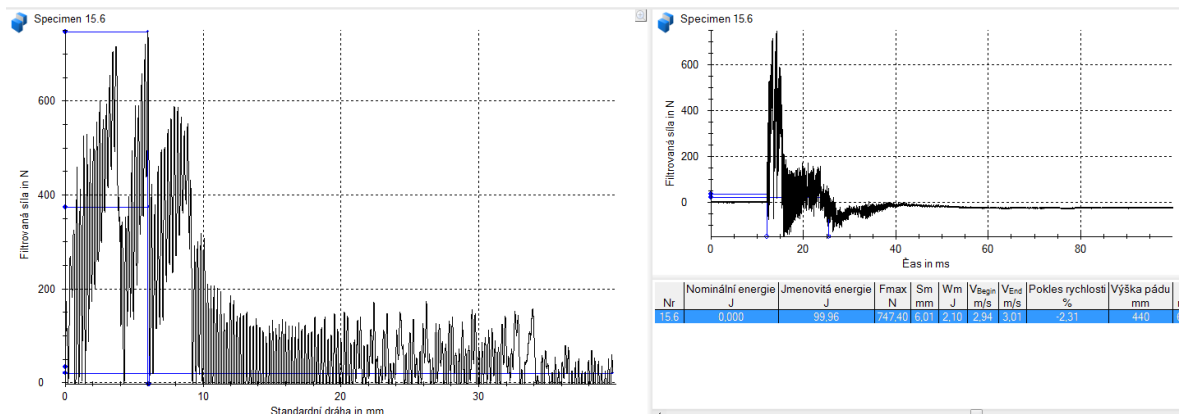


Obr. 86. Odľahlé meranie Wm č.15: 9,33[J].

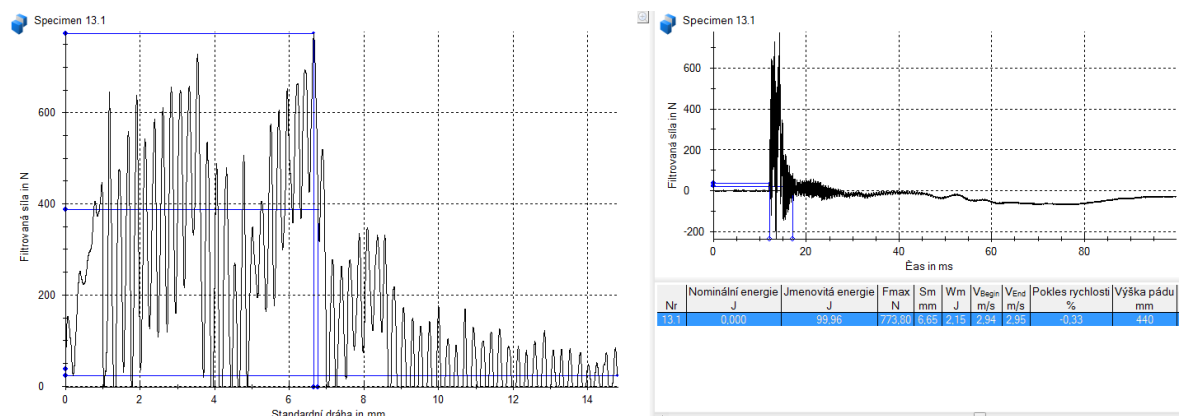


Obr. 87. Odľahlé meranie Wm č.7: 9,56[J].

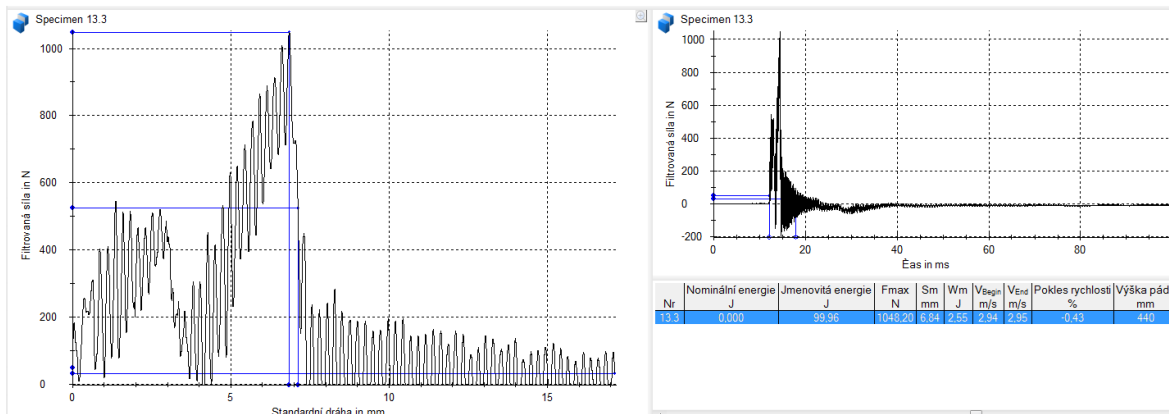
Grafický záznam skúšky: Wm (Energia pod Fmax) polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien



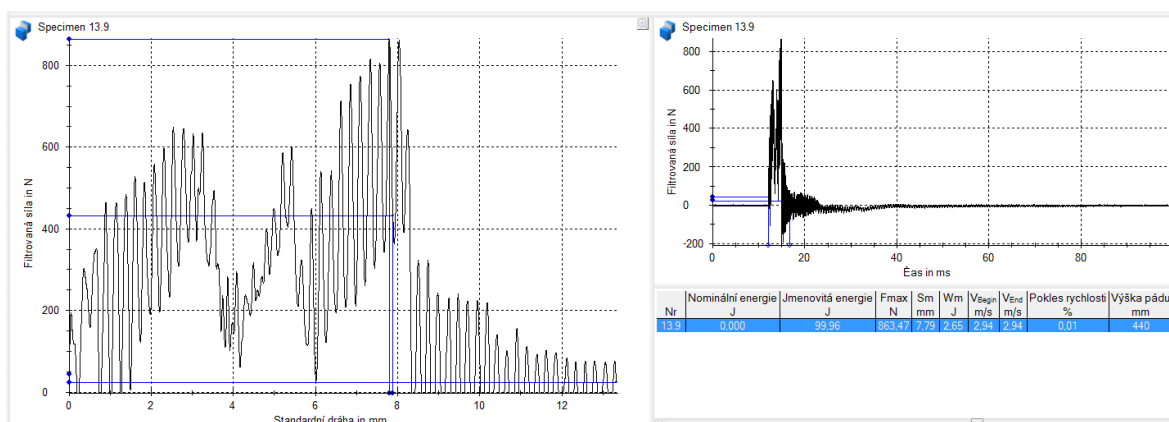
Obr. 88. Odľahlé meranie Wm č.26: 2,10[J].



Obr. 89. Odľahlé meranie Wm č.1: 2,15[J].

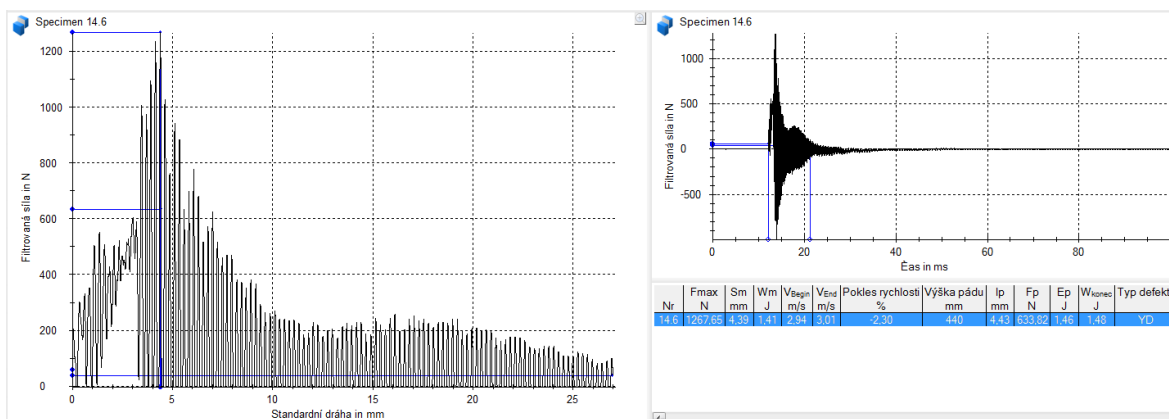


Obr. 90. Odľahlé meranie Wm č.3: 2,55[J].



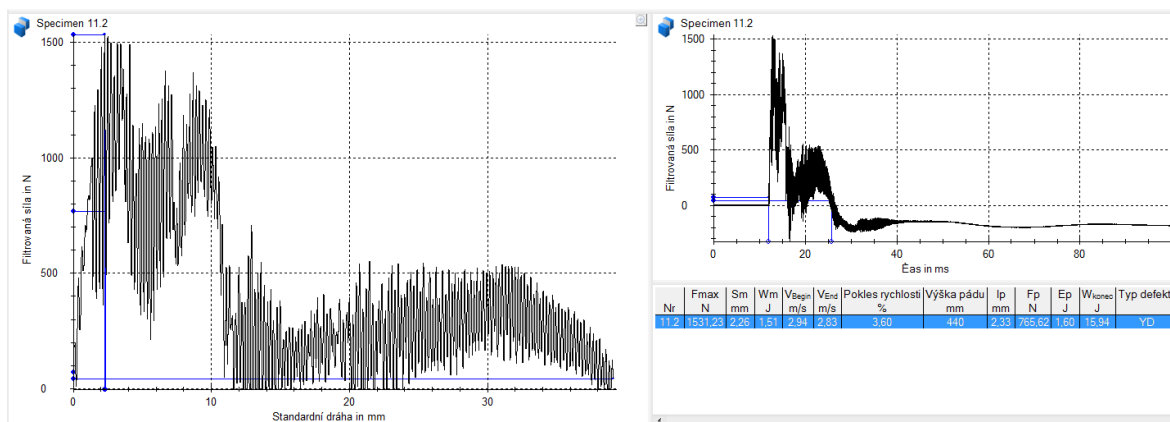
Obr. 91. Odľahlé meranie Wm č.9: 2,65[J].

Grafický záznam skúšky: Fp (Penetračná sila/sila pri porušení) polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien

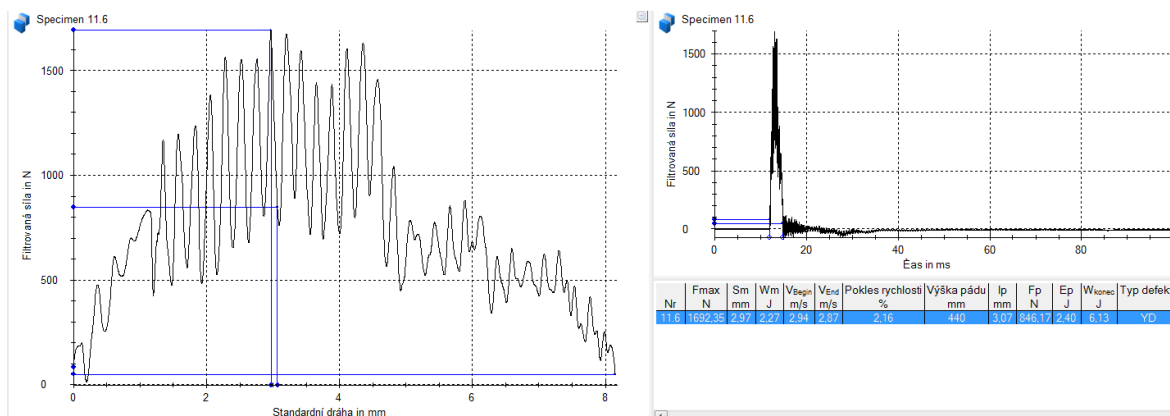


Obr. 92. Odľahlé meranie Fp č.16: 633,82[N].

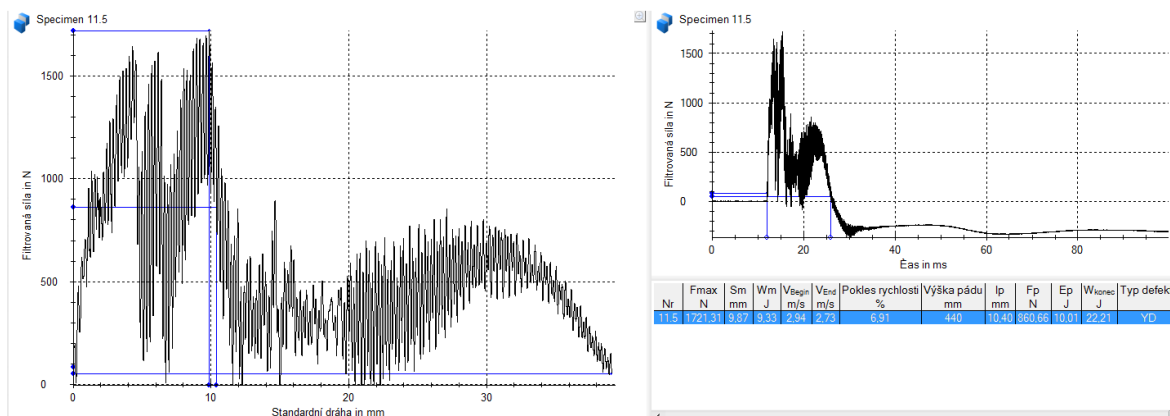
Grafický záznam skúšky: Ep (Penetračná energia/celková plastická energia) 100% polypropylénu



Obr. 93. Odľahlé meranie Fp č.12: 1,60[J].

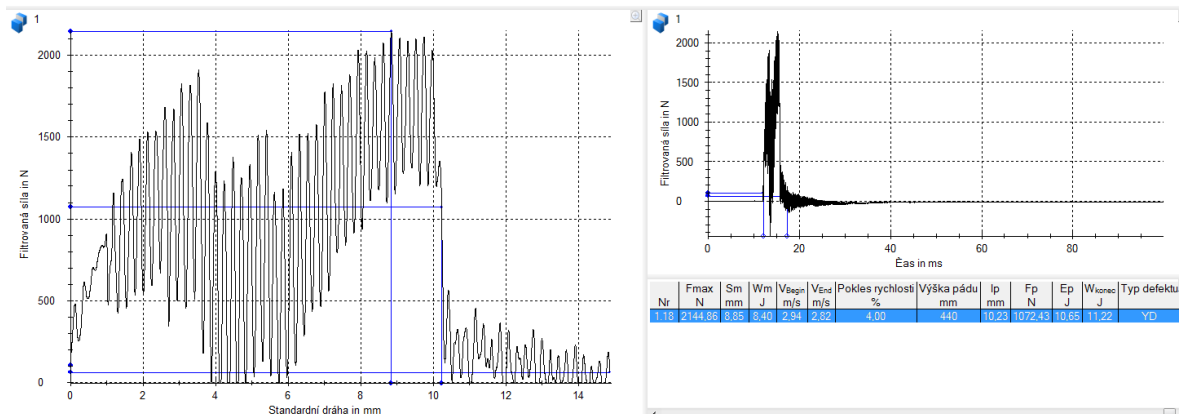


Obr. 94. Odľahlé meranie Fp č.16: 2,40[J].

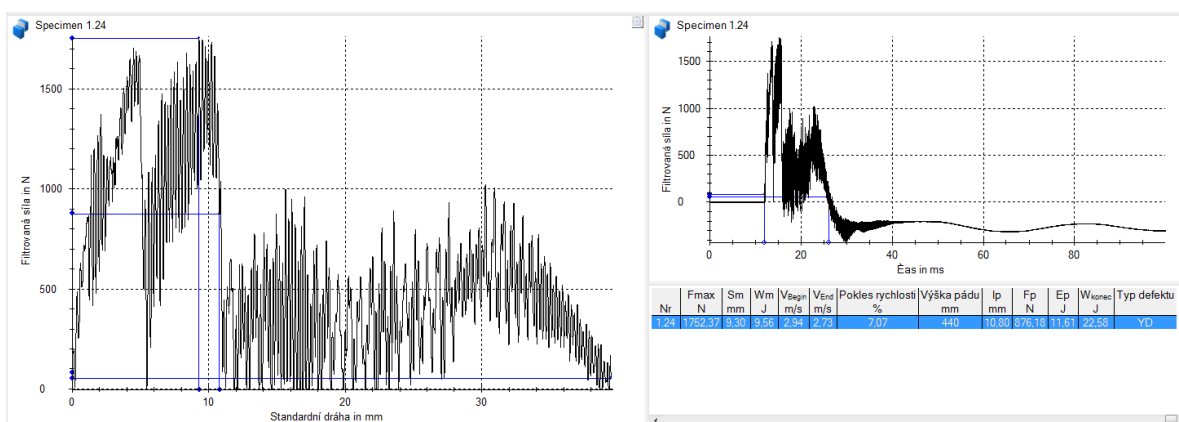


Obr. 95. Odľahlé meranie Fp č.15: 10,01[J].



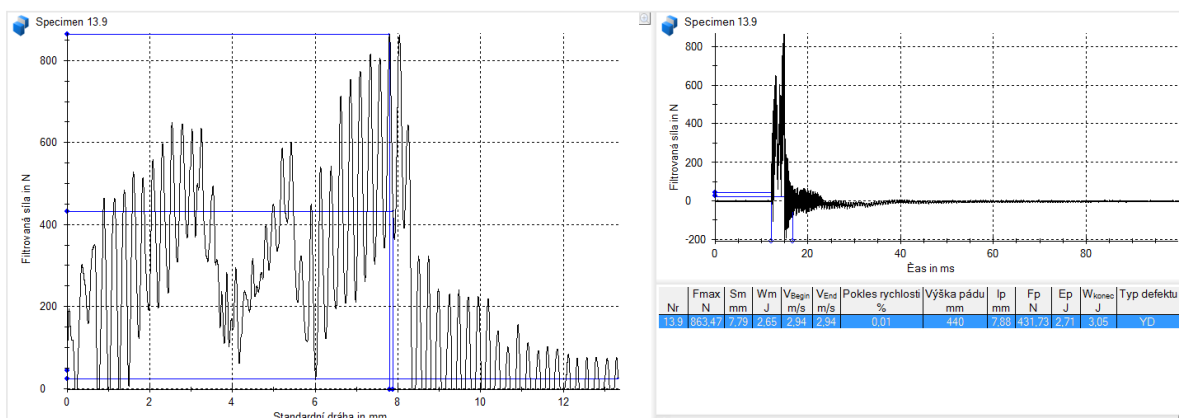


Obr. 96. Odľahlé meranie Fp č.1: 10,65[J].

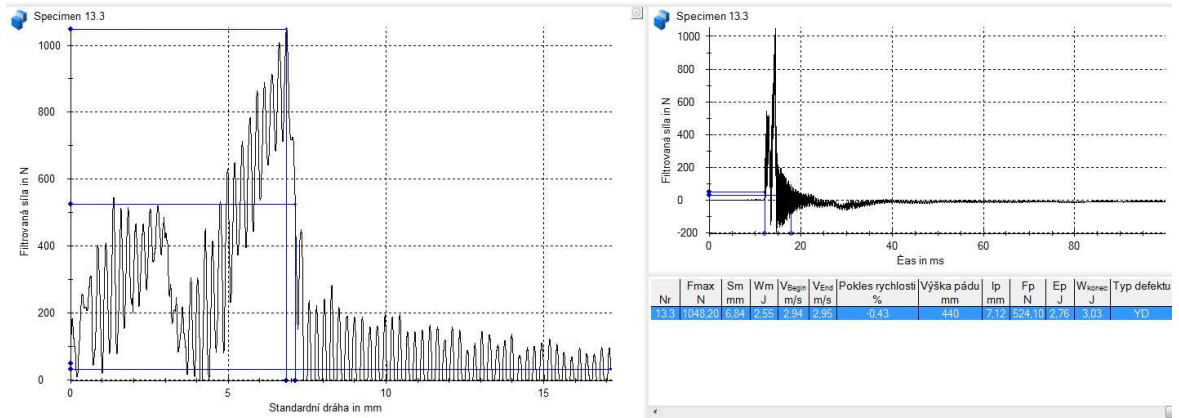


Obr. 97. Odľahlé meranie Fp č.7: 11,61[J].

Grafický záznam skúšky: Ep (Penetračná energia/celková plastická energia) polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien



Obr. 98. Odľahlé meranie Fp č.9: 2,71[J].



Obr. 99. Odřahlé meranie Fp č.3: 2,76[J].

## PRÍLOHA P IV: POPISNÁ ŠTATISTIKA

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Fmax [N]

Tab. 17. V: 100% polypropylénu pre Fmax.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Fmax [N]	30	1798,1	28,3	155,0	8,62	1531,2
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Fmax [N]	1693,0	1779,7	1898,4	2144,9	613,6	205,4

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Fmax [N]

Tab. 18. V: polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien pre Fmax.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Fmax [N]	30	830,8	25,2	137,9	16,60	609,0
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Fmax [N]	749,4	813,4	889,9	1267,7	658,6	140,5

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Sm [mm]

Tab. 19. V: 100% polypropylénu pre Sm.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Sm [mm]	30	4,936	0,306	1,677	33,96	2,260

Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Sm [mm]	3,988	4,665	4,917	9,870	7,610	0,930

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Sm [mm]

Tab. 20. V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre Sm.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Sm [mm]	30	3,407	0,281	1,541	45,23	1,320
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Sm [mm]	2,527	2,950	3,692	7,790	6,470	1,165

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Wm [J]

Tab. 21. V: 100% polypropylénu pre Wm.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Wm [J]	30	4,630	0,324	1,774	38,31	1,510
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Wm [J]	3,445	4,410	4,907	9,560	8,050	1,462

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Wm [J]

Tab. 22. V: polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien pre Wm.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Wm [J]	30	1,090	0,106	0,582	53,41	0,310
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Wm [J]	0,722	0,910	1,273	2,650	2,340	0,550

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Pokles rýchlosti [%]

Tab. 23. V: 100% polypropylénu pre Pokles rýchlosti.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Pokles rýchlosti[%]	30	2,285	0,363	1,988	87,01	-0,760
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Pokles rýchlosti[%]	1,107	1,875	3,495	7,070	7,830	2,387

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Pokles rýchlosti [%]

Tab. 24. V: polypropylénu s 30% obsahom sklenených vlákien pre Pokles rýchlosti.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Pokles	30	-1,893	0,200	1,098	-58,00	-4,810

rýchlosti[%]						
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Pokles rýchlosti[%]	-2,623	-2,000	-1,013	0,010	4,820	1,610

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Fp [N]

Tab. 25. V: 100% polypropylénu pre Fp.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Fp [N]	30	899,1	14,1	77,5	8,62	765,6
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Fp [N]	846,5	889,9	949,2	1072,4	306,8	102,7

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Fp [N]

Tab. 26. V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre Fp.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Fp [N]	30	415,4	12,6	68,9	16,60	304,5
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Fp [N]	374,7	406,7	445,0	633,8	329,3	70,2

### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Ep [J]

Tab. 27. V: 100% polypropylénu pre Ep.

Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Ep [J]	30	5,146	0,387	2,119	41,18	1,600
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Ep [J]	4,173	4,810	5,258	11,610	10,010	1,085

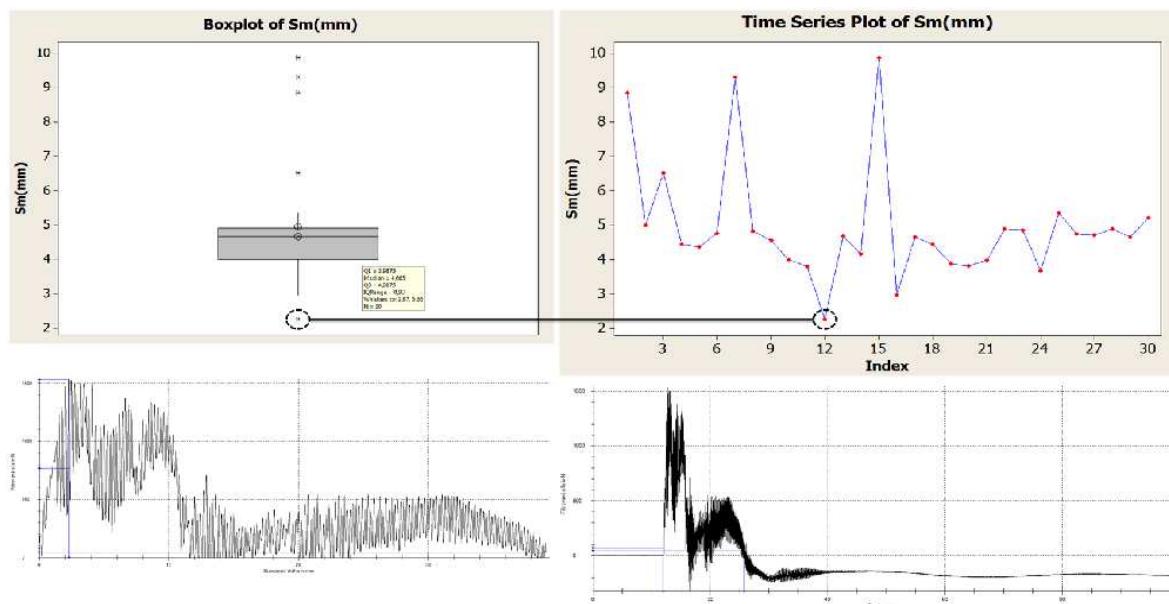
### Popisná štatistika (Descriptive Statistics): Ep [J]

Tab. 28. V: polypropylénu s 30% obsahom sklených vlákien pre Ep.

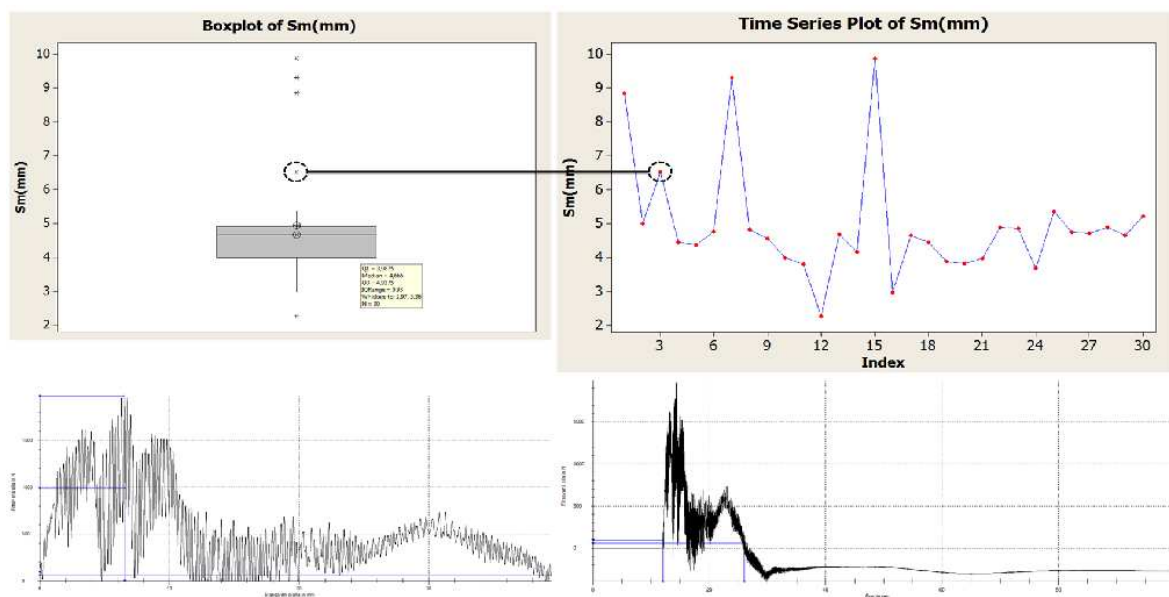
Premenná:	Počet meraní	Arit. Priemer	Štandardná chyba priemeru	Štandardná odchýlka	Variačný koeficient	Minimálna hodnota
Ep [J]	30	1,154	0,111	0,605	52,44	0,340
Premenná:	Dolný kvartil	Medián	Horný kvartil	Maximálna hodnota	Rozsah	Inter kvartilový rozsah
Ep [J]	0,760	0,985	1,385	2,760	2,420	0,625

## PRÍLOHA P V: ZOSTAVA GRAFOV

Meranie 100% polypropylénového výrobku:

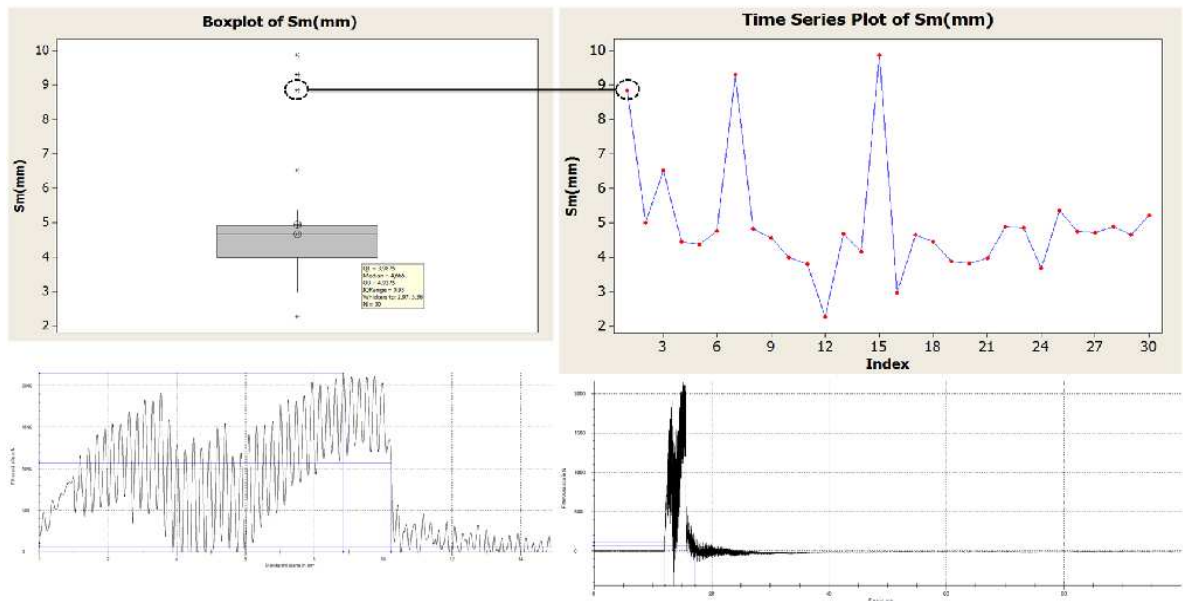


Obr. 100. Odľahlé meranie  $S_m$ : 2,26[mm] je to dvanáste vykonané meranie.

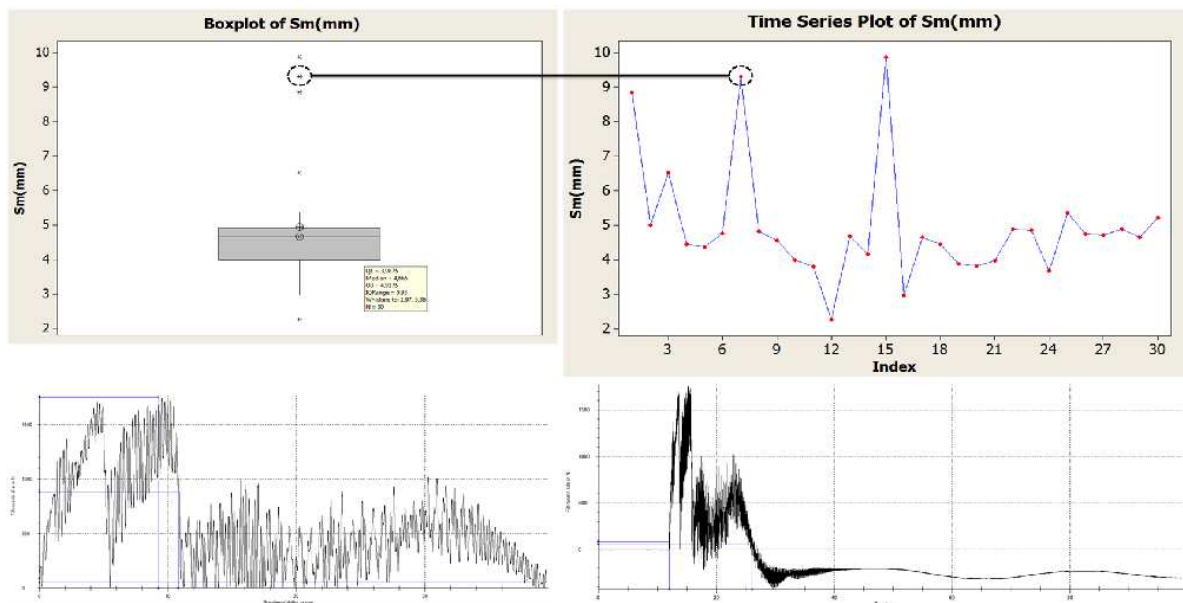


Obr. 101. Odľahlé meranie  $S_m$ : 6,52[mm] je to tretie vykonané meranie.

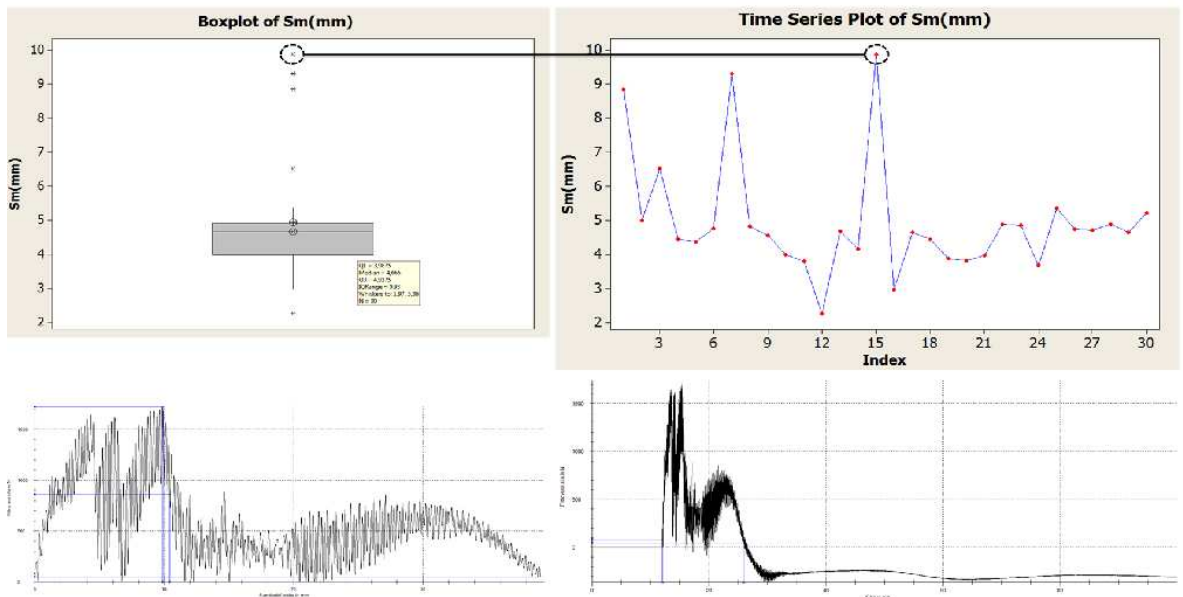




Obr. 102. Odľahlé meranie  $S_m$ : 8,85[mm] je to prvé vykonané meranie.

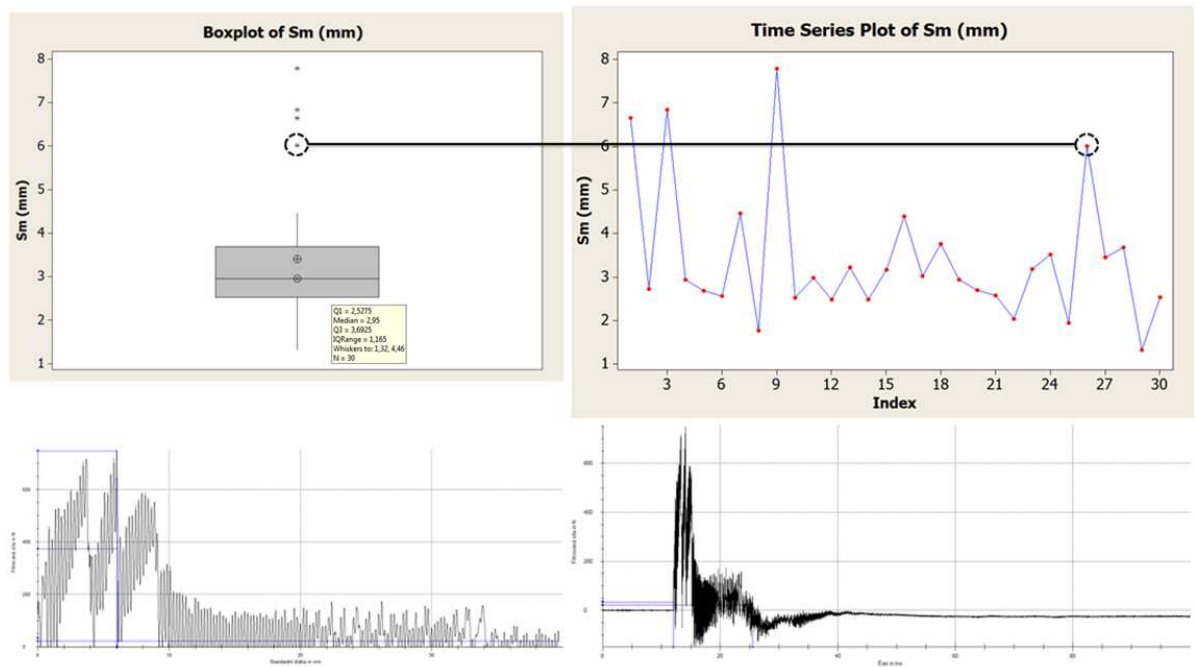


Obr. 103. Odľahlé meranie  $S_m$ : 9,30[mm] je to siedme vykonané meranie.

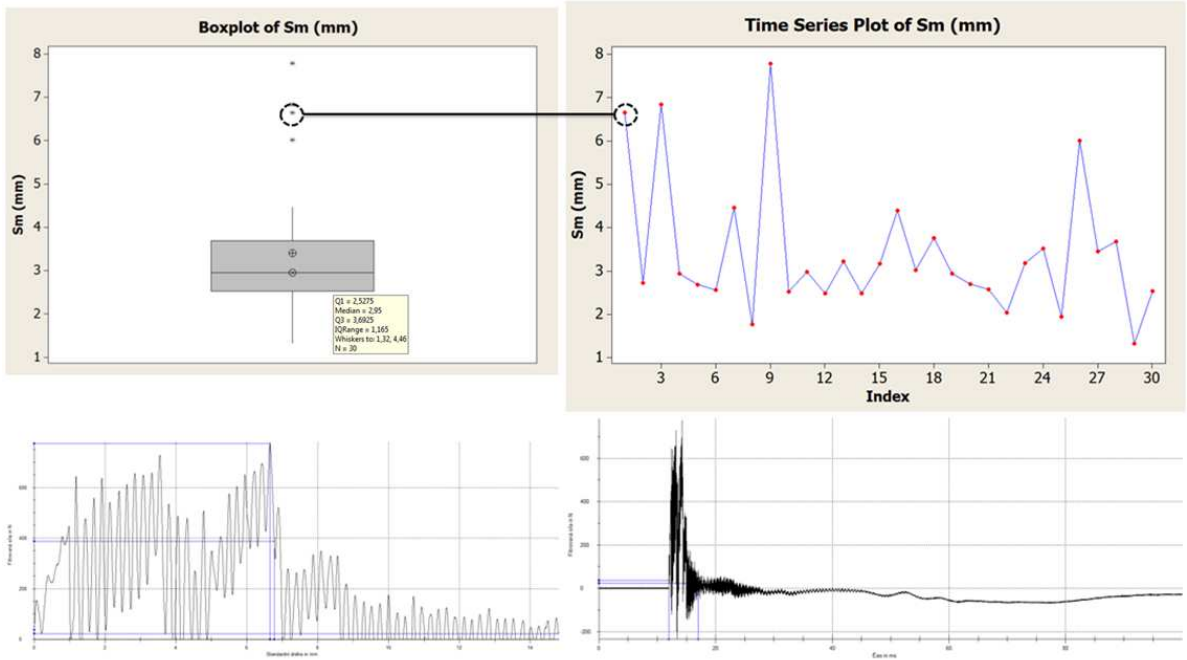


Obr. 104. Odľahlé meranie  $S_m$ : 9,87[mm] je to pätnáste vykonané meranie.

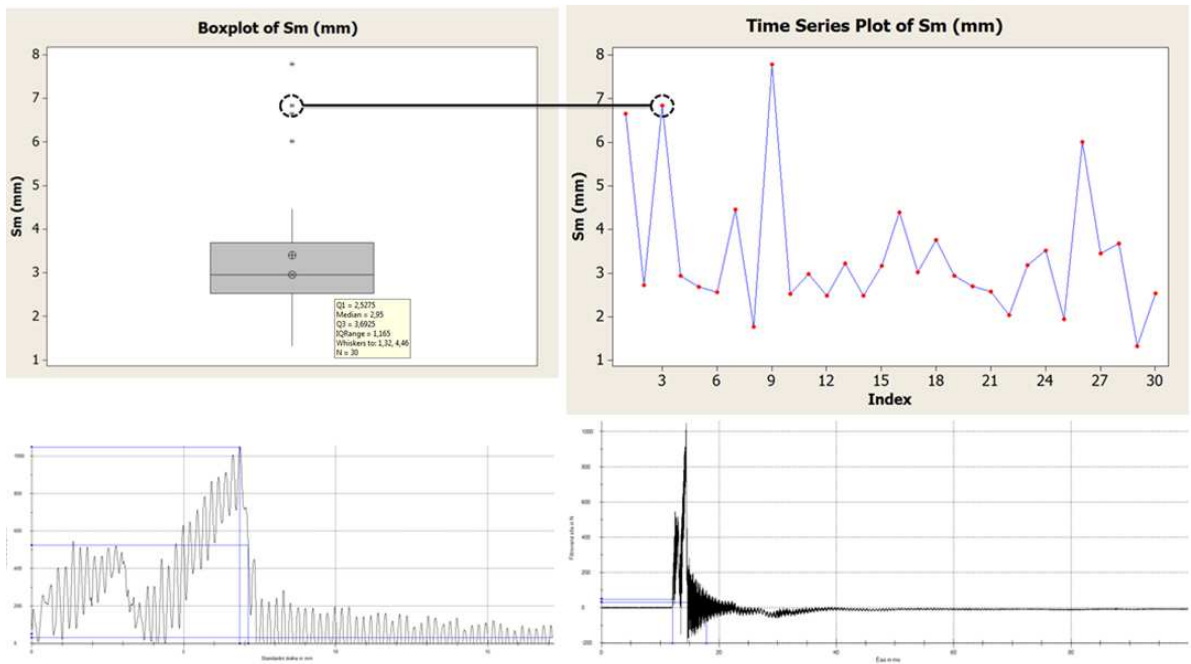
Meranie polypropylénového výrobku s 30% obsahom sklenených vlákien:



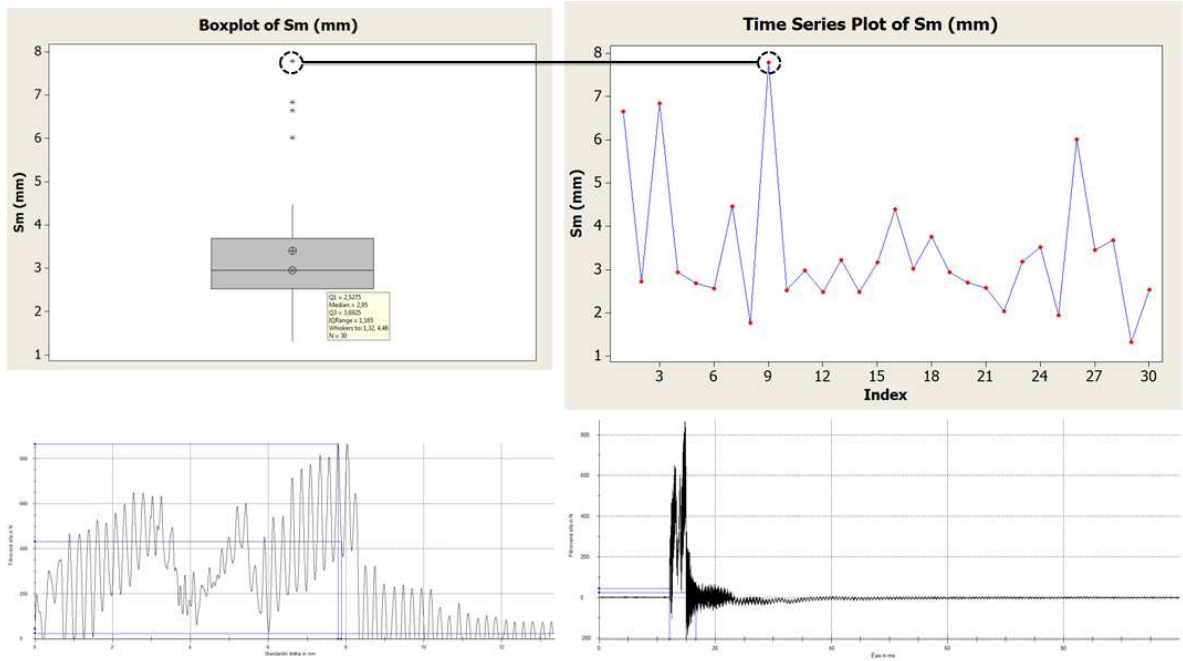
Obr. 105. Odľahlé meranie  $S_m$ : 6,01[mm] je to 26-ste vykonané meranie.



Obr. 106. Odľahlé meranie Sm: 6,65[mm] je to prvé vykonané meranie.

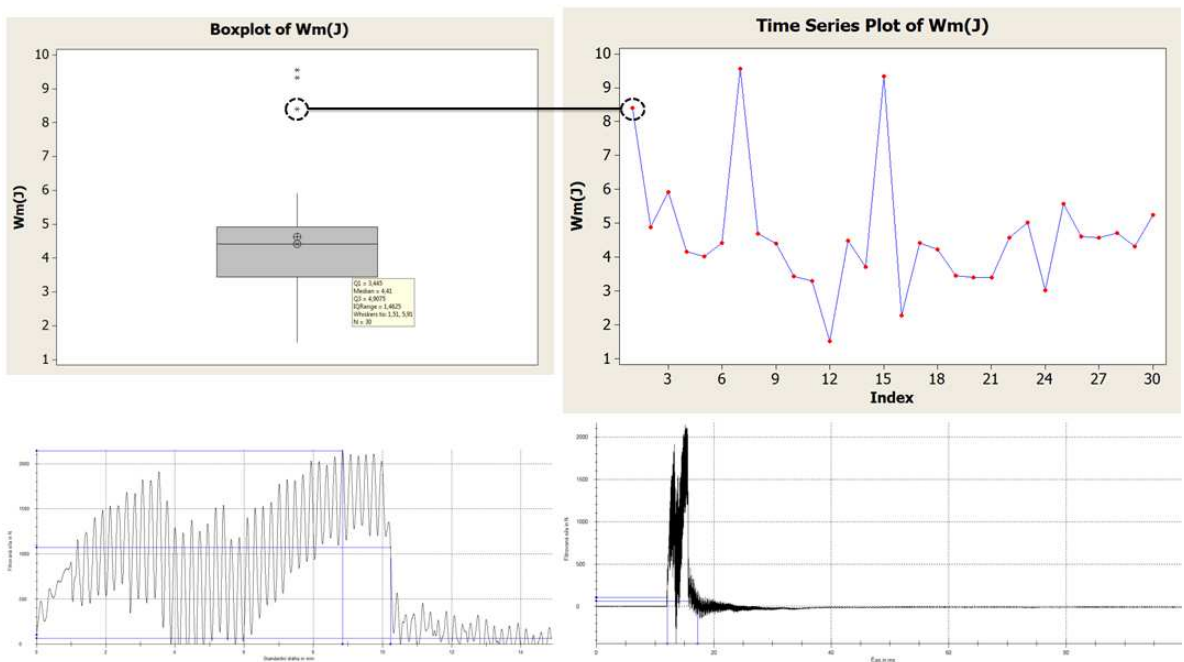


Obr. 107. Odľahlé meranie Sm: 6,84[mm] je to tretie vykonané meranie.

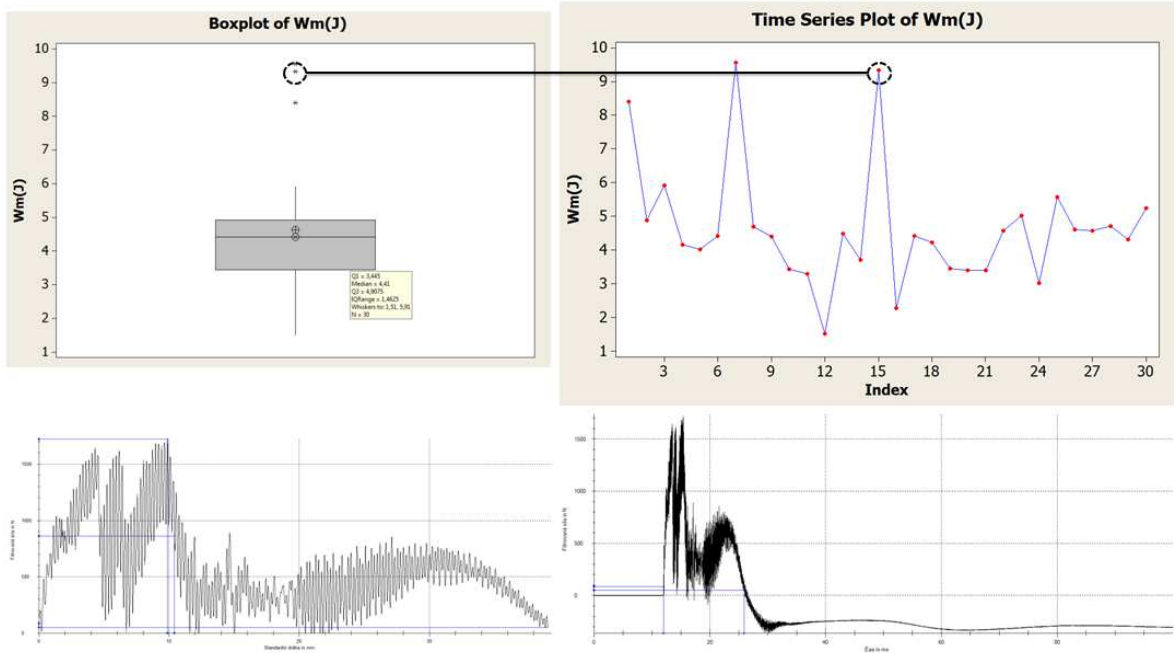


Obr. 108. Odľahlé meranie Sm: 7,79[mm] je to deviate vykonané meranie.

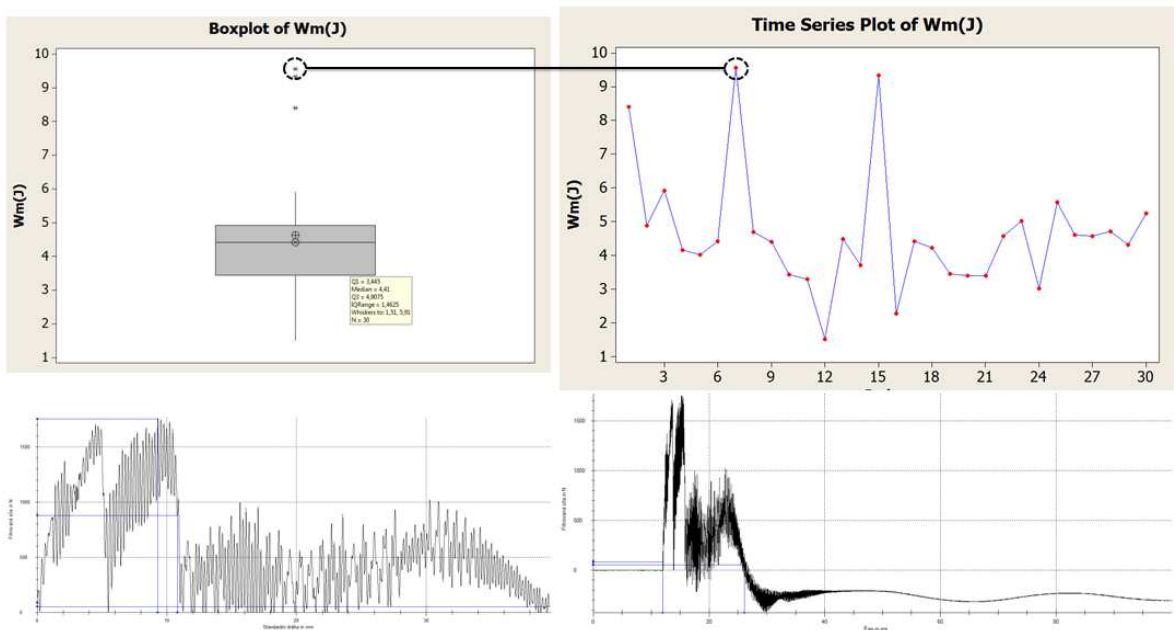
Meranie 100% polypropylénového výrobku:



Obr. 109. Odľahlé meranie Wm: 8,4[J] je to prvé vykonané meranie.

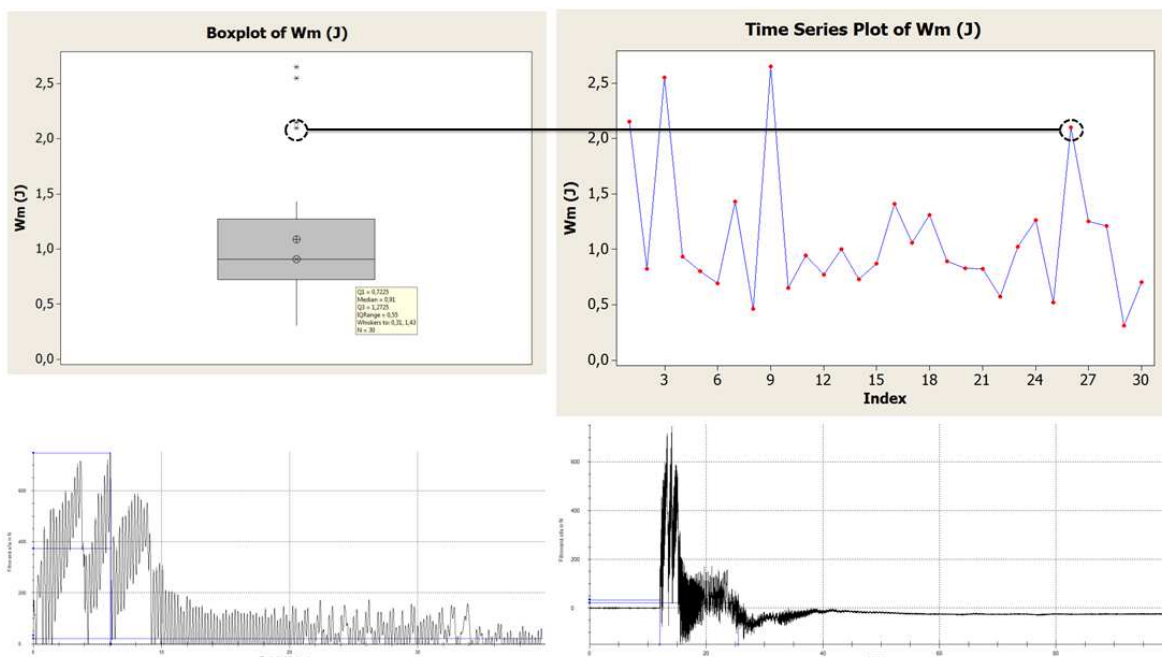


Obr. 110. Odľahlé meranie  $W_m$ :  $9,33[J]$  je to pätnáste vykonané meranie.

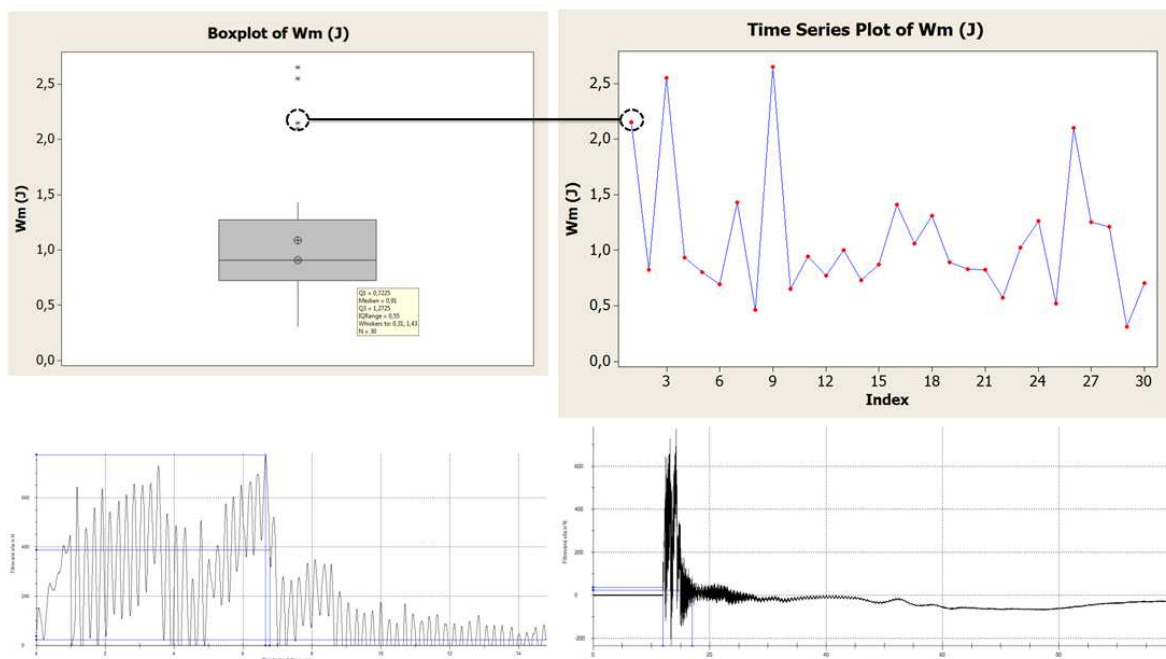


Obr. 111. Odľahlé meranie  $W_m$ :  $9,56[J]$  je to siedme vykonané meranie.

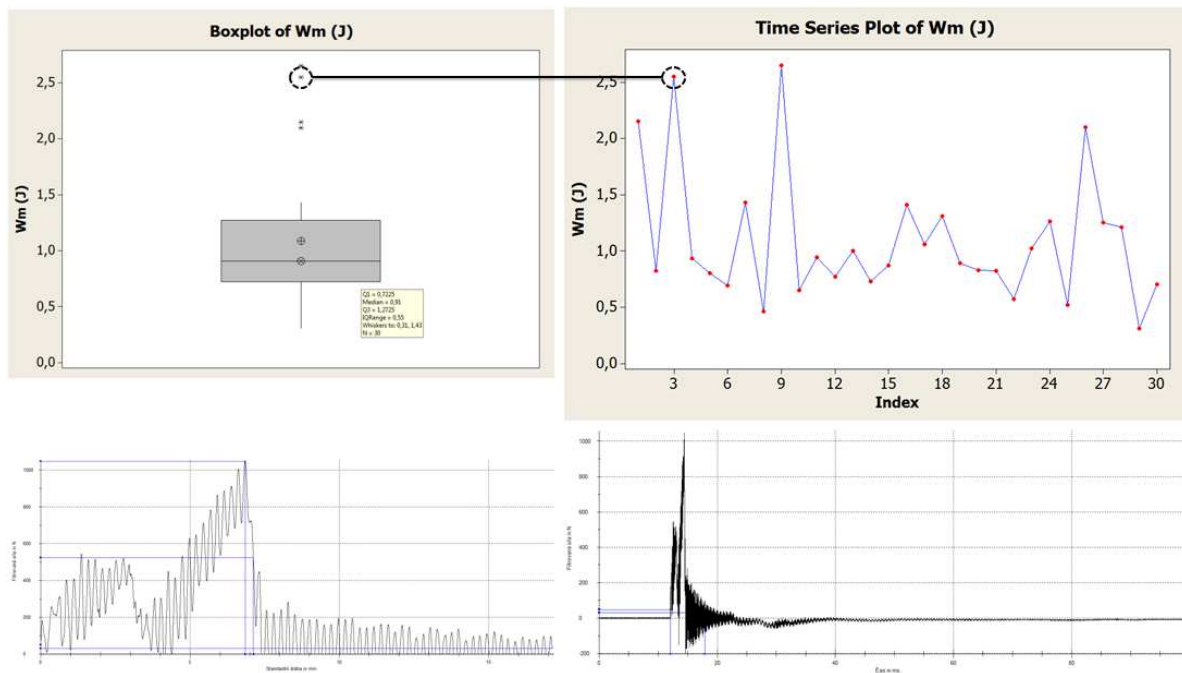
Meranie polypropylénového výrobku s 30% obsahom sklenených vlákien:



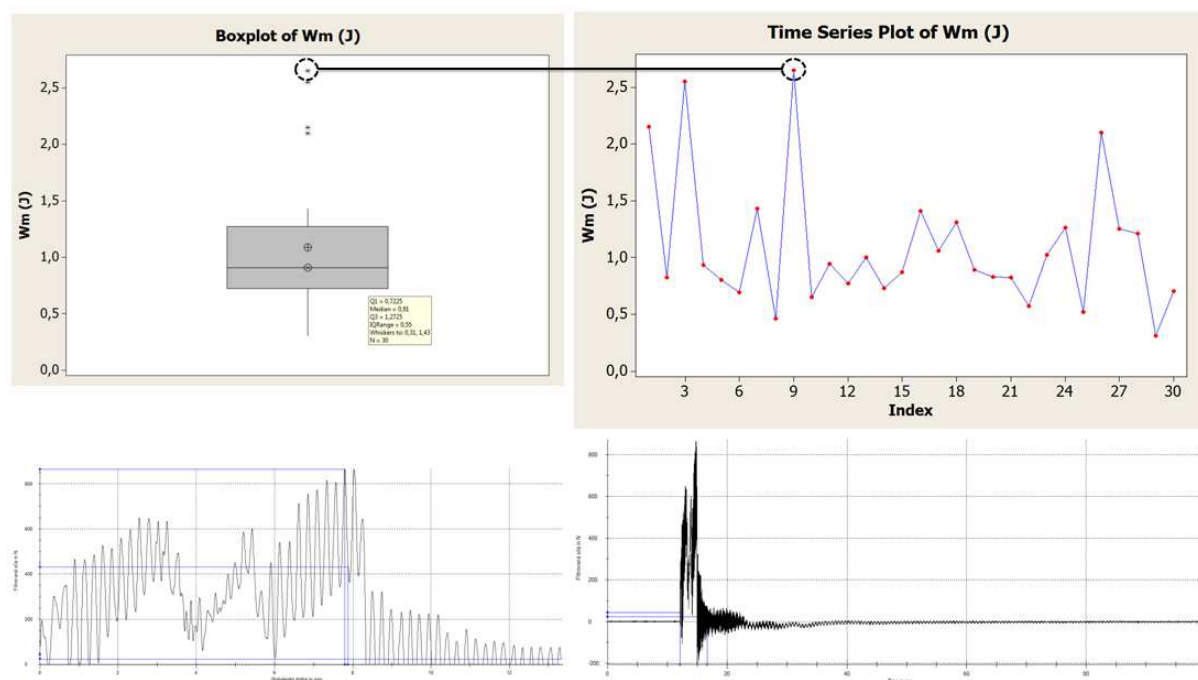
Obr. 112. Odľahlé meranie  $W_m$ : 2,1[J] je to dvadsiate štvrté vykonané meranie.



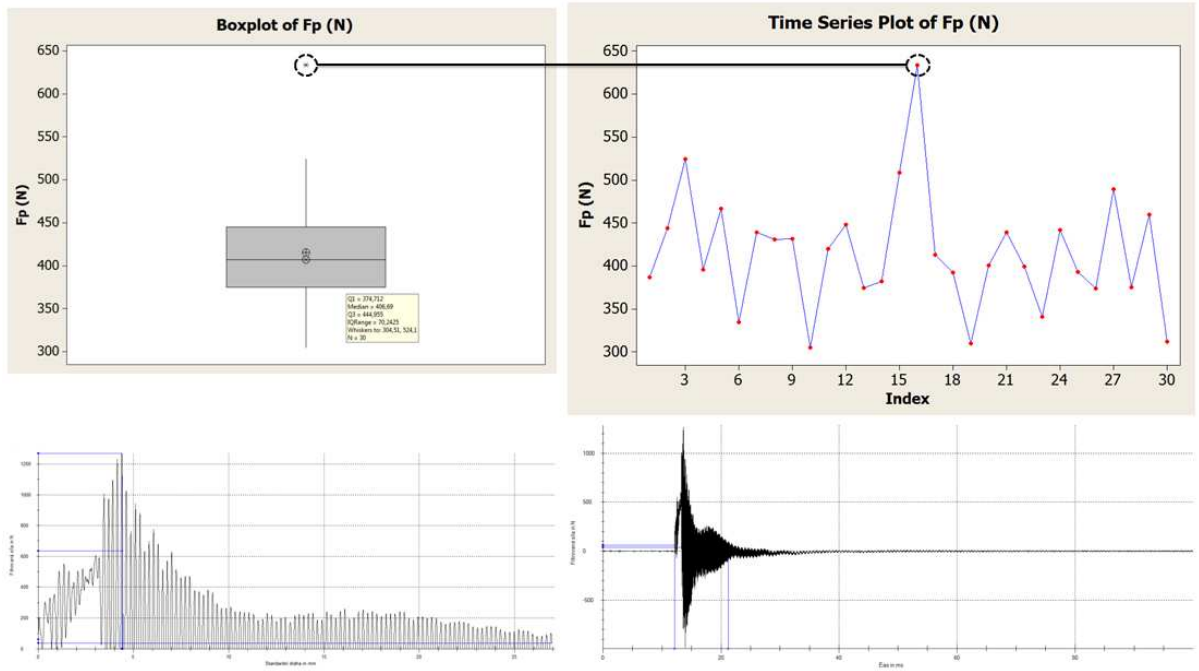
Obr. 113. Odľahlé meranie  $W_m$ : 2,15[J] je to prvé vykonané meranie.



Obr. 114. Odľahlé meranie  $W_m$ : 2,55[J] je to tretie vykonané meranie.

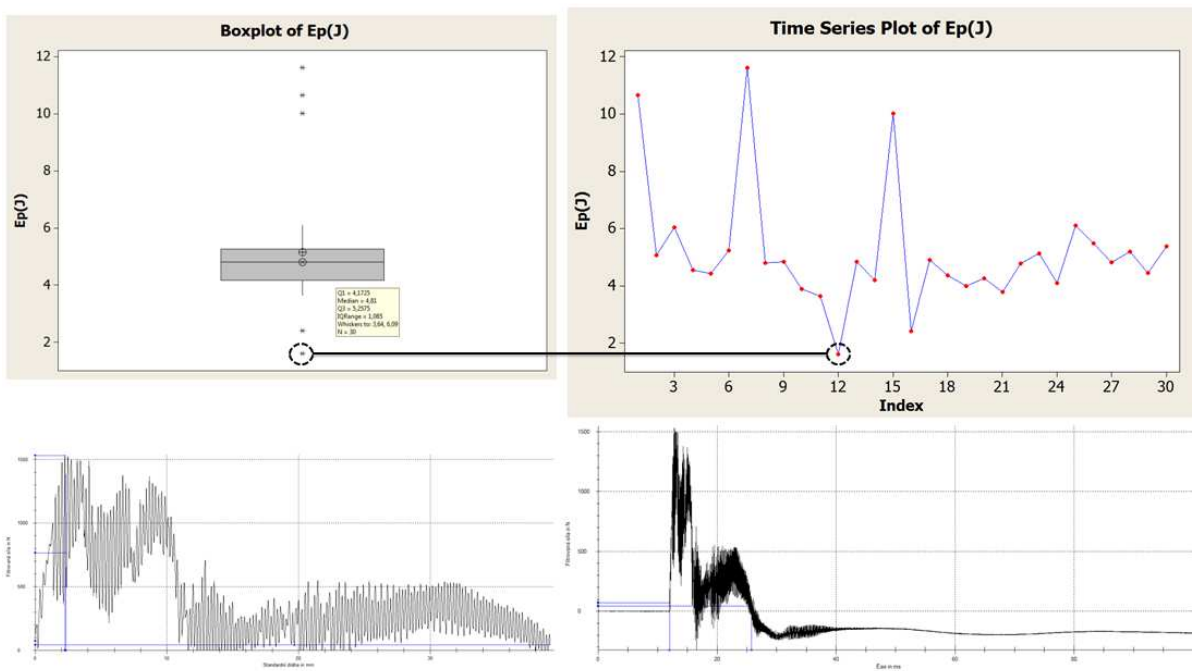


Obr. 115. Odľahlé meranie  $W_m$ : 2,65[J] je to deviatom vykonané meranie.



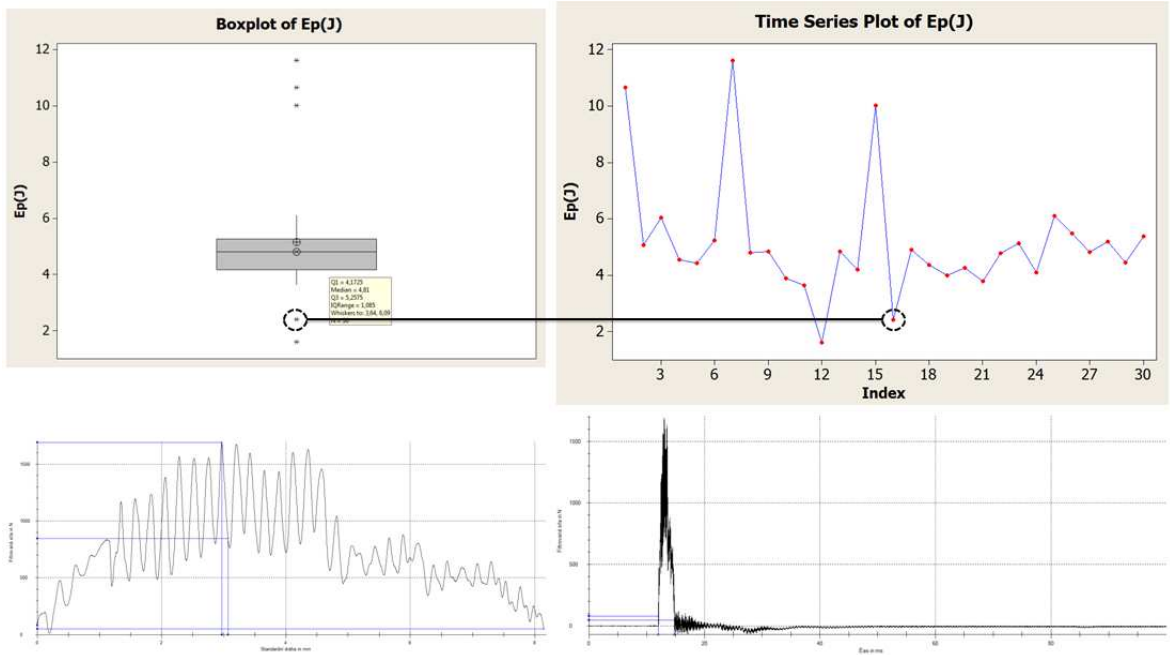
Obr. 116. Odľahlé meranie  $F_p$ : 633,82[N] je to šestnásté vykonané meranie.

Meranie 100% polypropylénového výrobku:

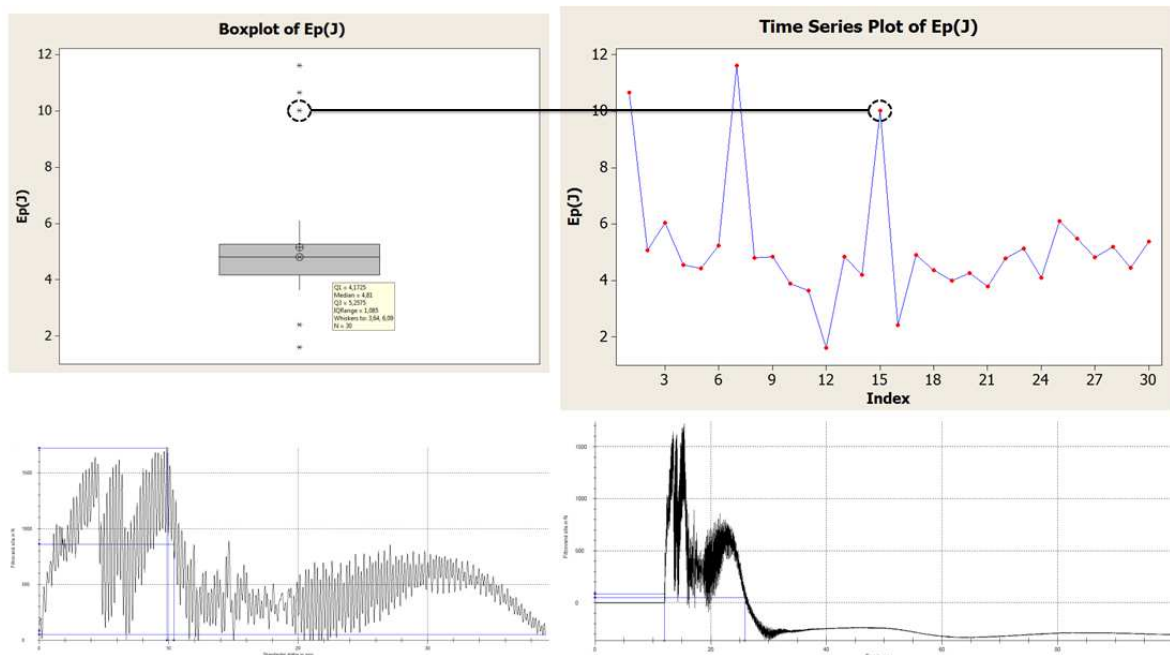


Obr. 117. Odľahlé meranie  $E_p$ : 1,60[J] je to dvanásté vykonané meranie.

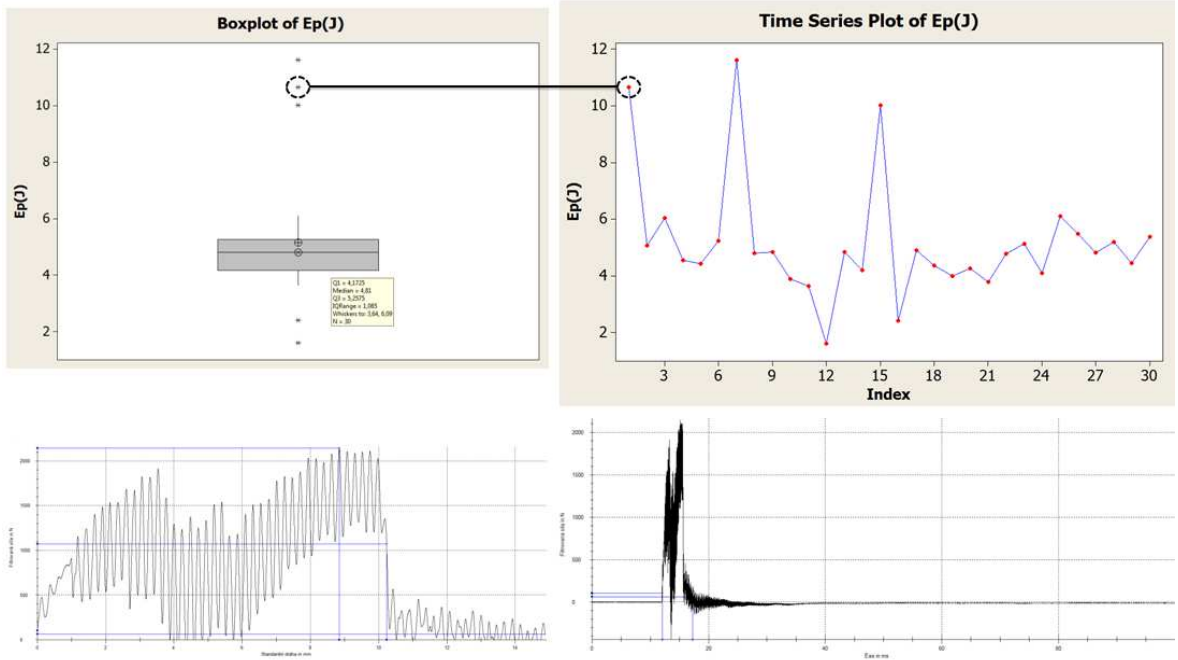




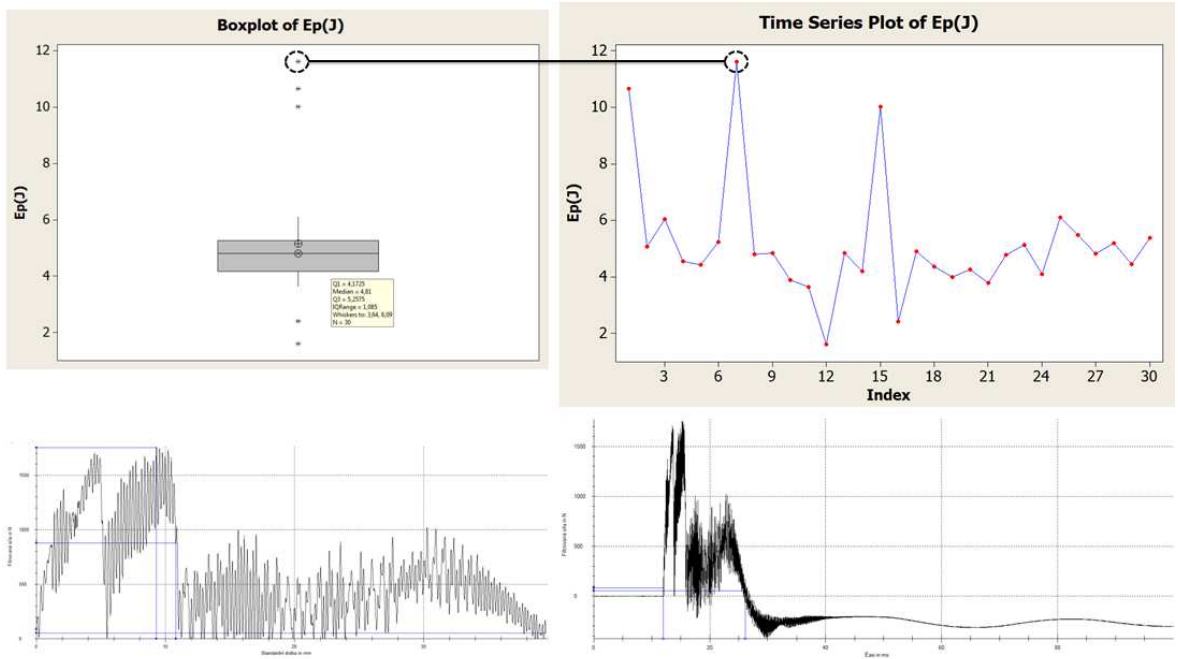
Obr. 118. Odľahlé meranie  $E_p$ : 2,40[J] je to šestnásté vykonané meranie.



Obr. 119. Odľahlé meranie  $E_p$ : 10,01[J] je to pätnáste vykonané meranie.

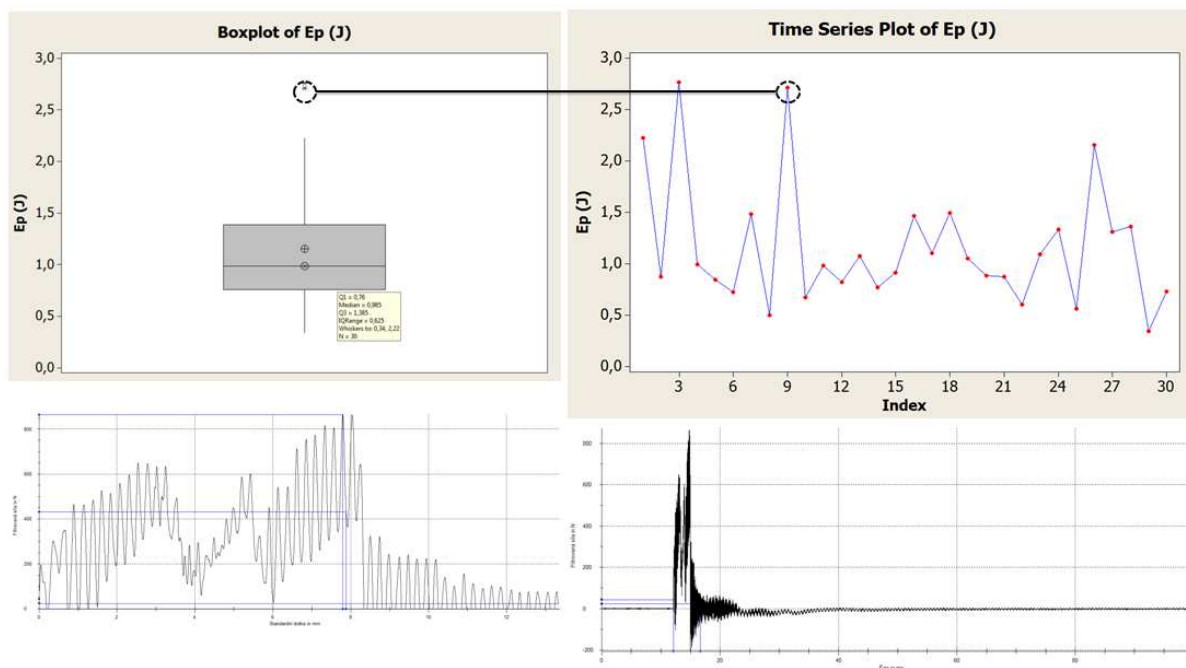


Obr. 120. Odľahlé meranie  $E_p$ : 10,65[J] je to prvé vykonané meranie.

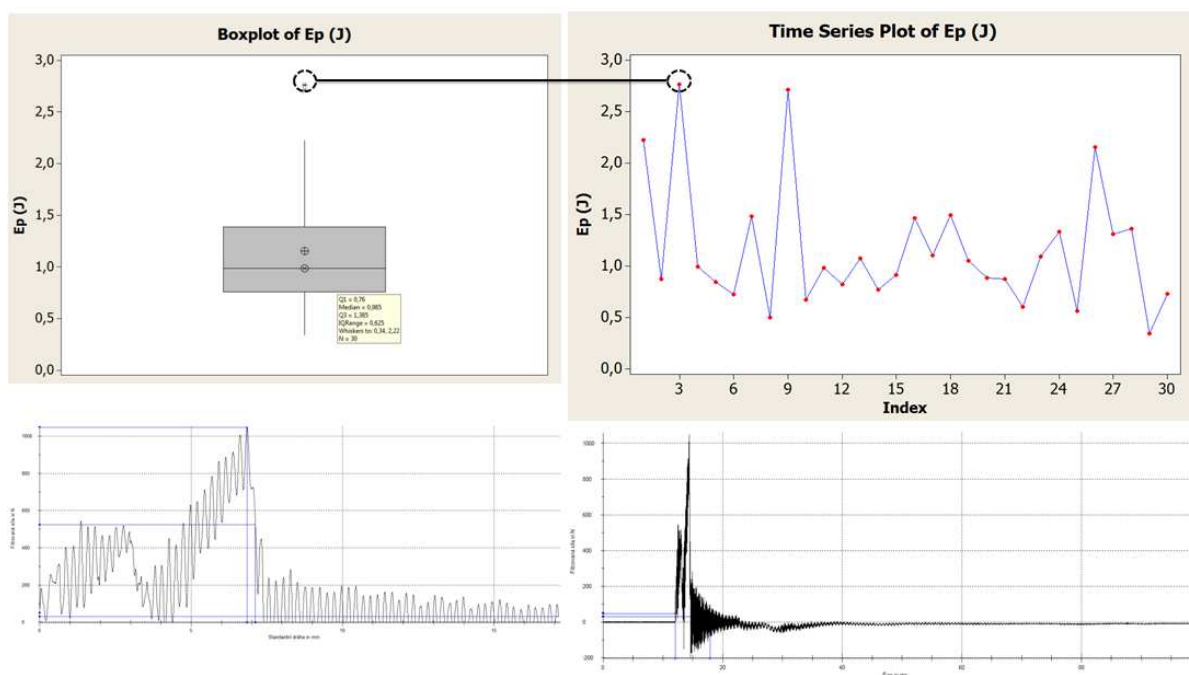


Obr. 121. Odľahlé meranie  $E_p$ : 11,61[J] je to siedme vykonané meranie.

Meranie polypropylénového výrobku s 30% obsahom sklených vlákien:



Obr. 122. Odľahlé meranie  $E_p$ : 2,71[J] je to deviate vykonané meranie.



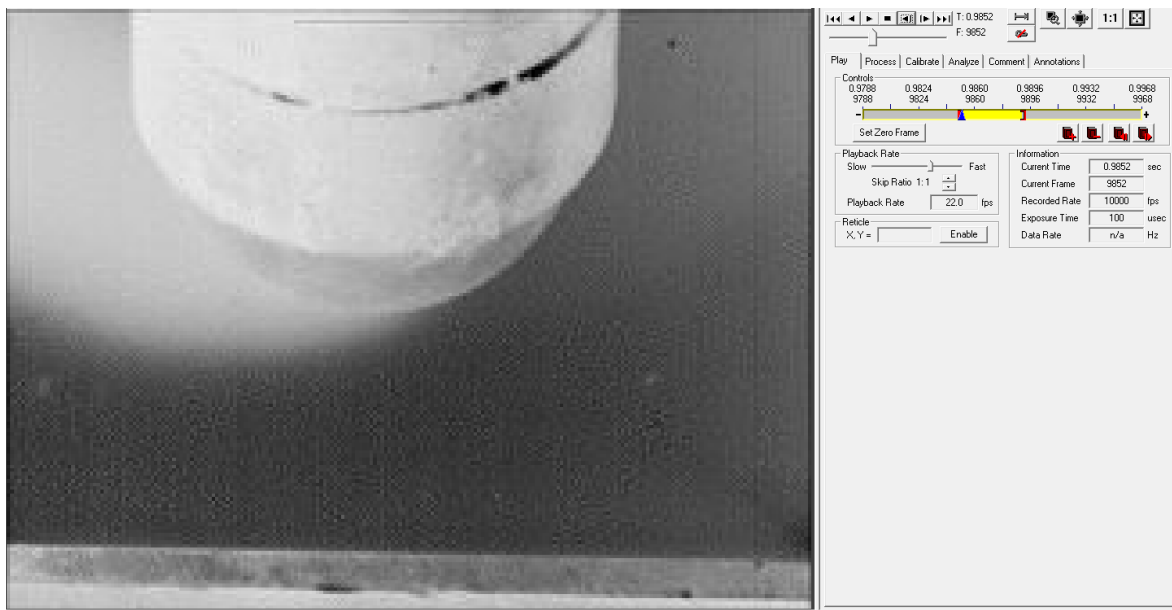
Obr. 123. Odľahlé meranie  $E_p$ : 2,76[J] je to tretie vykonané meranie.

## PRÍLOHA P VI: VIDEO ZÁZNAMY CRASHOVACÍCH SKÚŠOK

### Pokus 3,4,5: Polypropylénová vzorka s 30% obsahom sklených vlákien

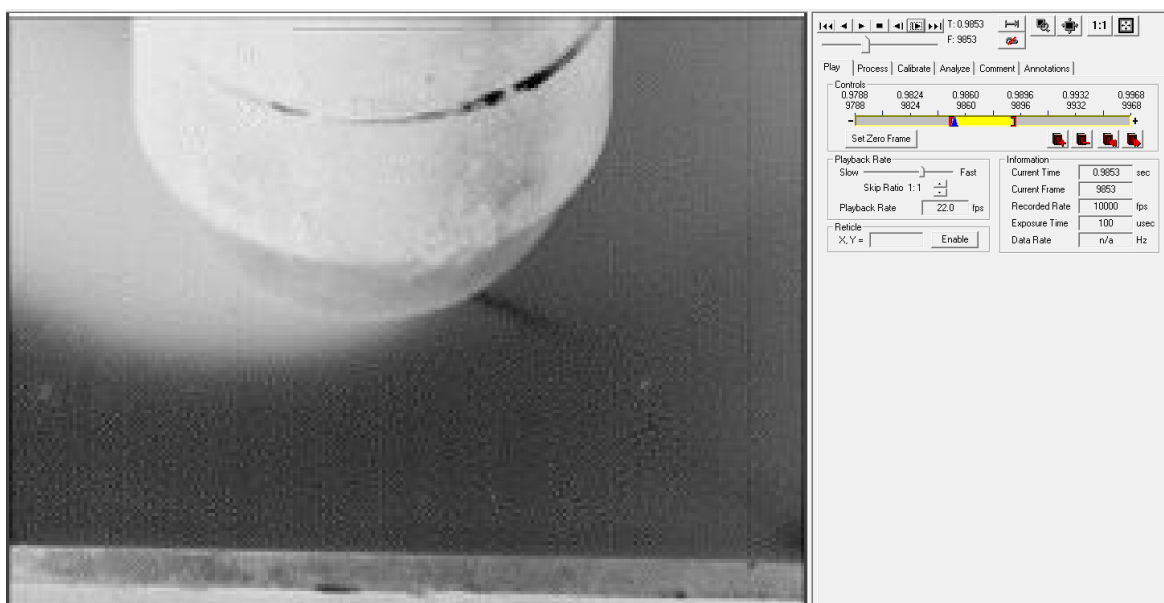
#### Pokus 3: Shutter: 1x

Čas: 0,9852 [s], Rám: 9852 počet snímkou



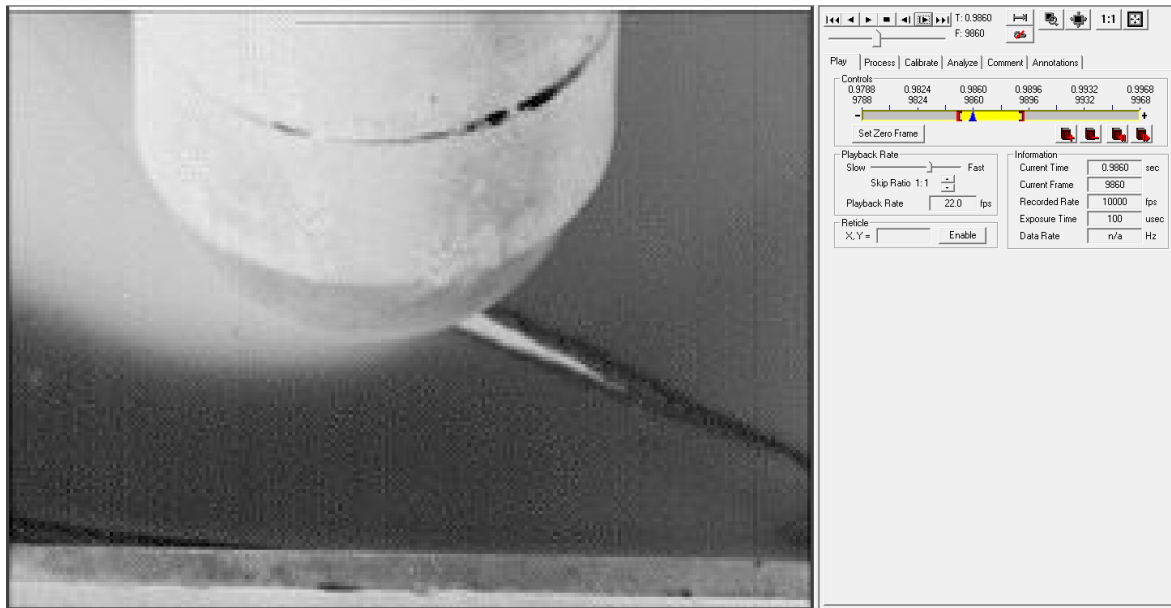
Obr. 124. Snímok prvého dotyku tíka so vzorkou.

Čas: 0,9853 [s], Rám: 9853 počet snímkou



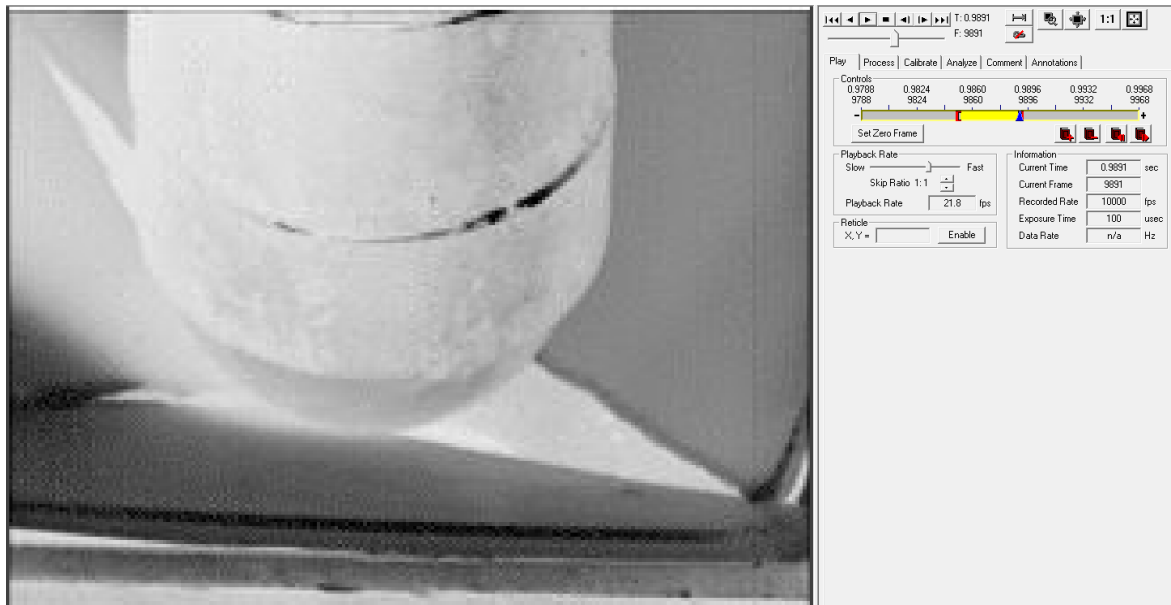
Obr. 125. Vznik trhliny.

Čas: 0,9860 [s], Rám: 9860 počet snímkou



Obr. 126. Šírenie trhliny.

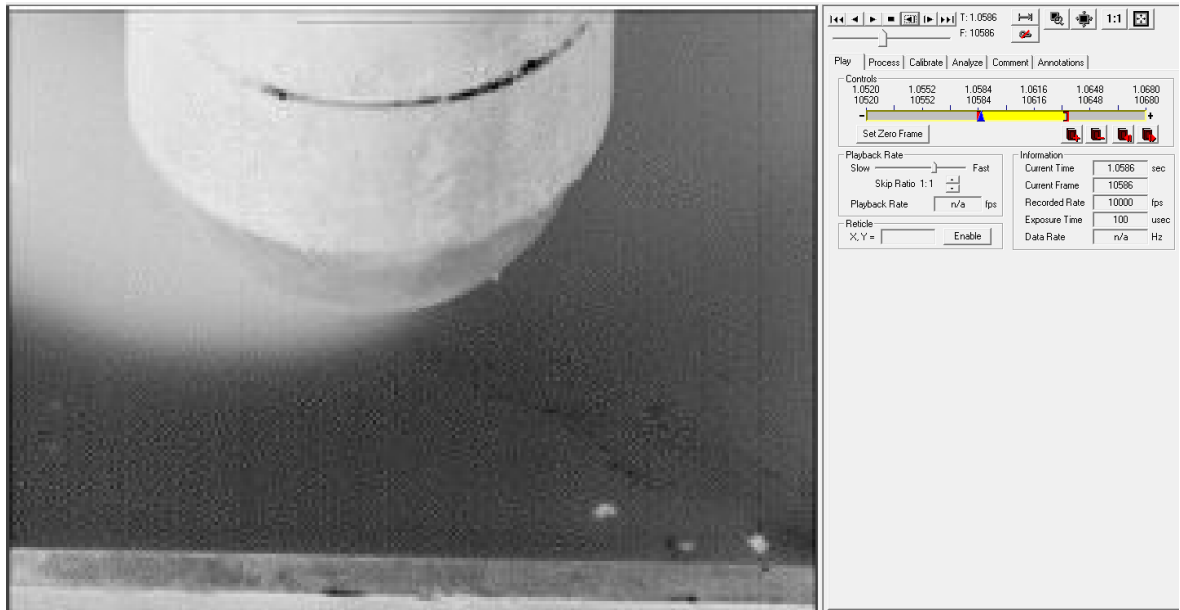
Čas: 0,9891 [s], Rám: 9891 počet snímkou



Obr. 127. Roztrieštenie polypropylénovej vzorky.

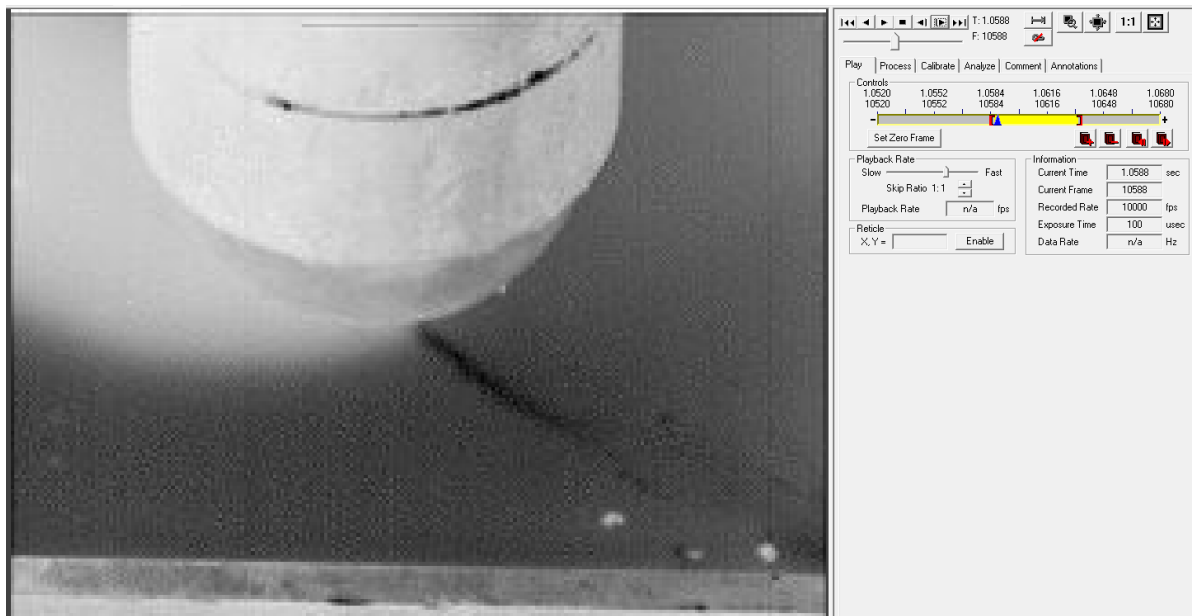
**Pokus 4:** Shutter: 1x

Čas: 1,0586 [s], Rám: 10586 počet snímkou



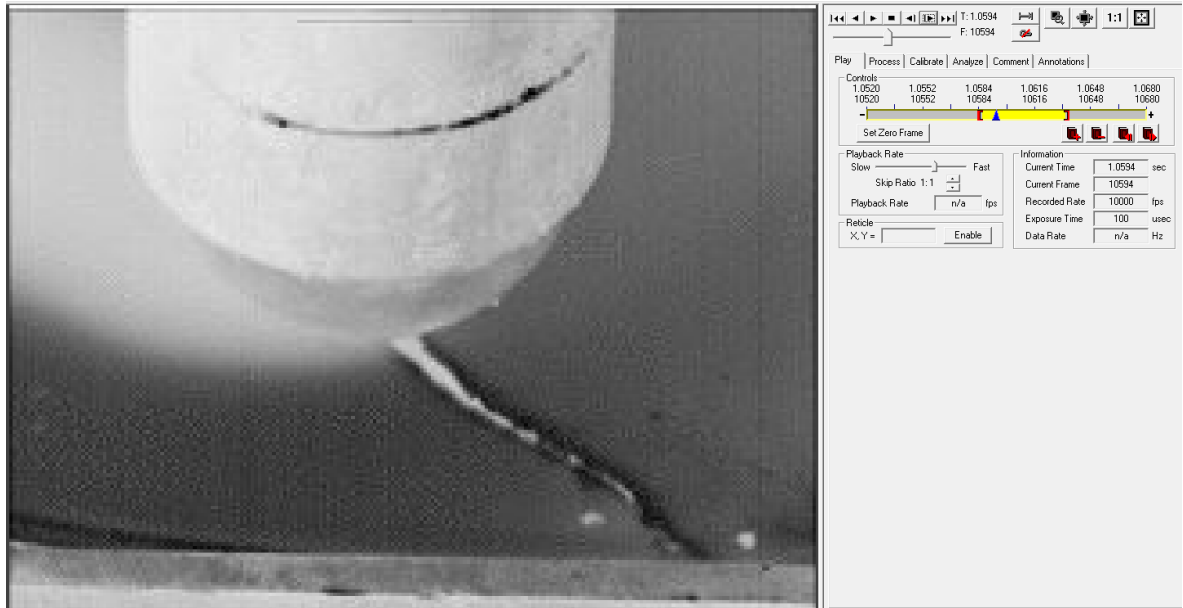
*Obr. 128. Snímek prvního dotyku tůka so vzorkou.*

Čas: 1,0588 [s], Rám: 10588 počet snímkou



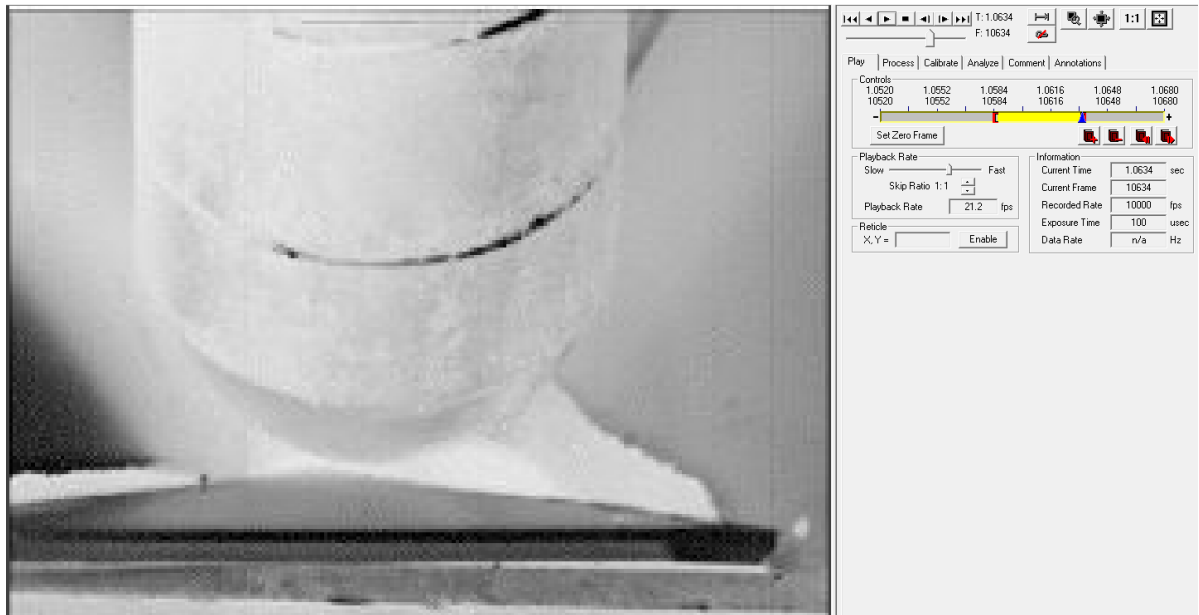
*Obr. 129. Vznik trhliny.*

Čas: 1,0594 [s], Rám: 10594 počet snímkou



Obr. 130. Šírenie trhliny.

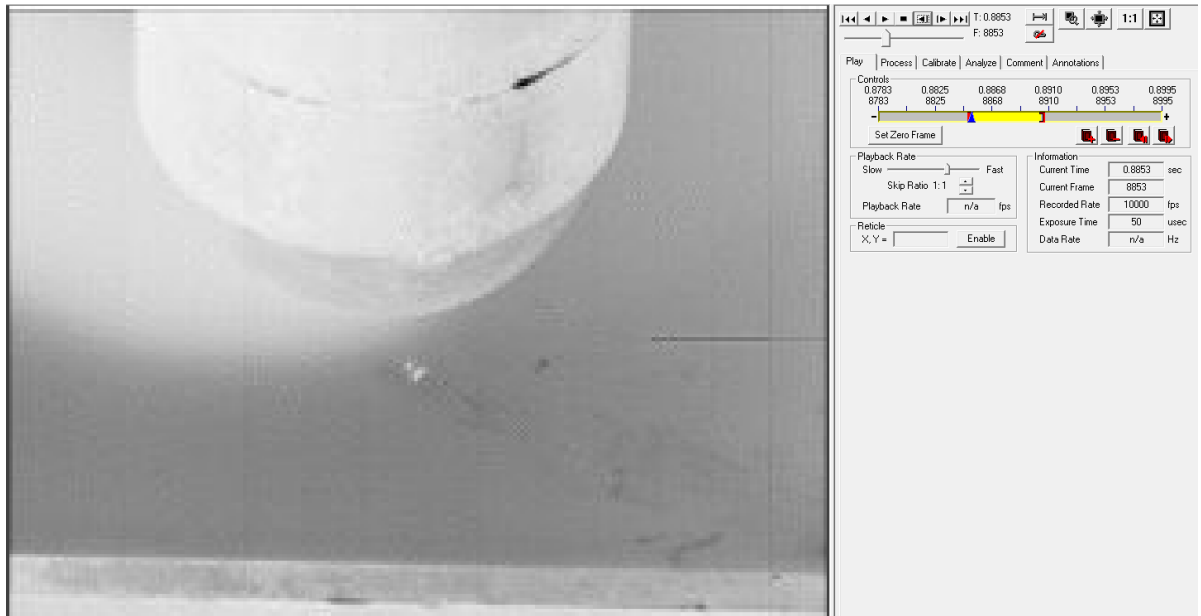
Čas: 1,0634 [s], Rám: 10634 počet snímkou



Obr. 131. Roztriešenie polypropylénovej vzorky.

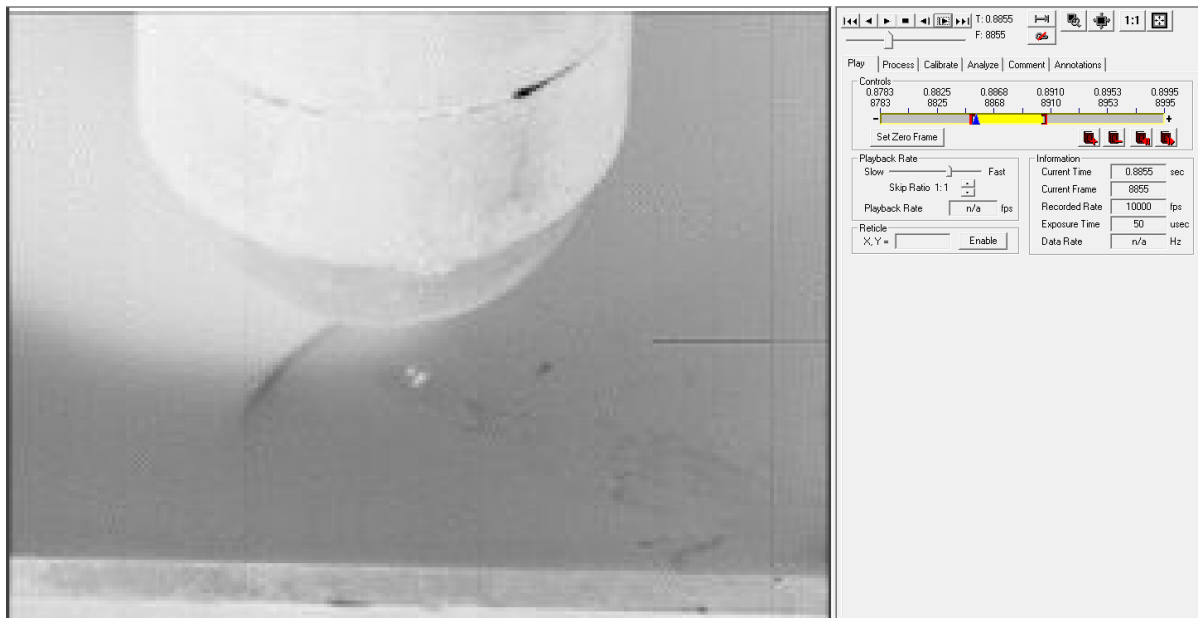
**Pokus 5:** Shutter: 2x

Čas: 0,8853 [s], Rám: 8853 počet snímkou



Obr. 132. Snímok prvého dotyku tláka so vzorkou.

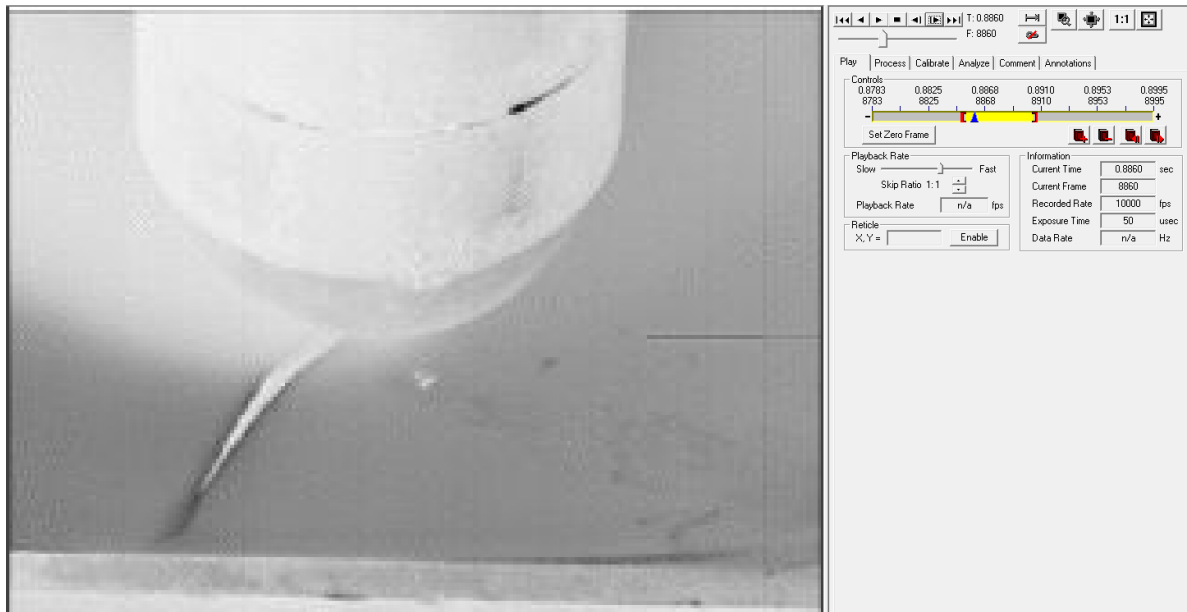
Čas: 0,8855 [s], Rám: 8855 počet snímkou



Obr. 133. Vznik trhliny.

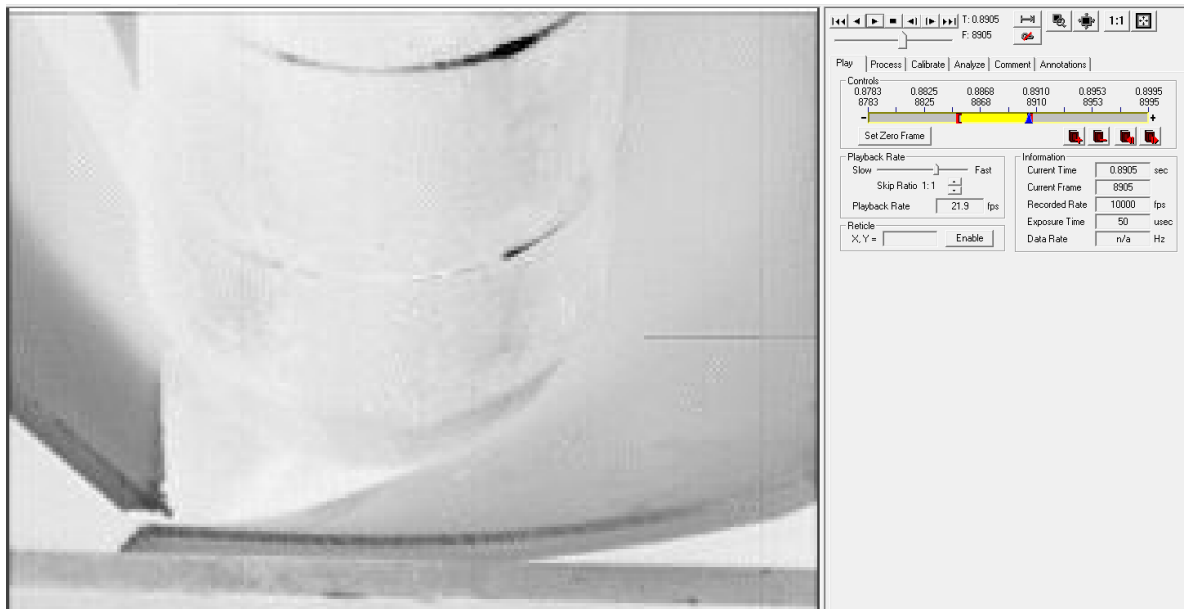


Čas: 0,8860 [s], Rám: 8860 počet snímkou



Obr. 134. Šírenie trhliny.

Čas: 0,8905 [s], Rám: 8905 počet snímkou

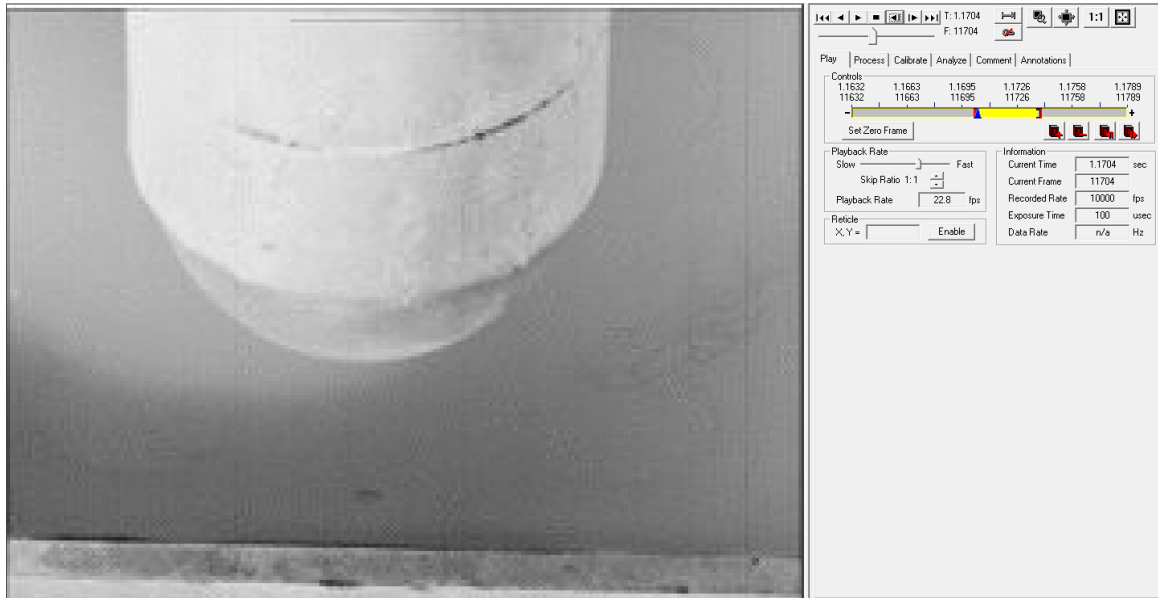


Obr. 135. Roztriešenie polypropylénovej vzorky.

## Pokus 6,7,8: 100%-ná polypropylénová vzorka

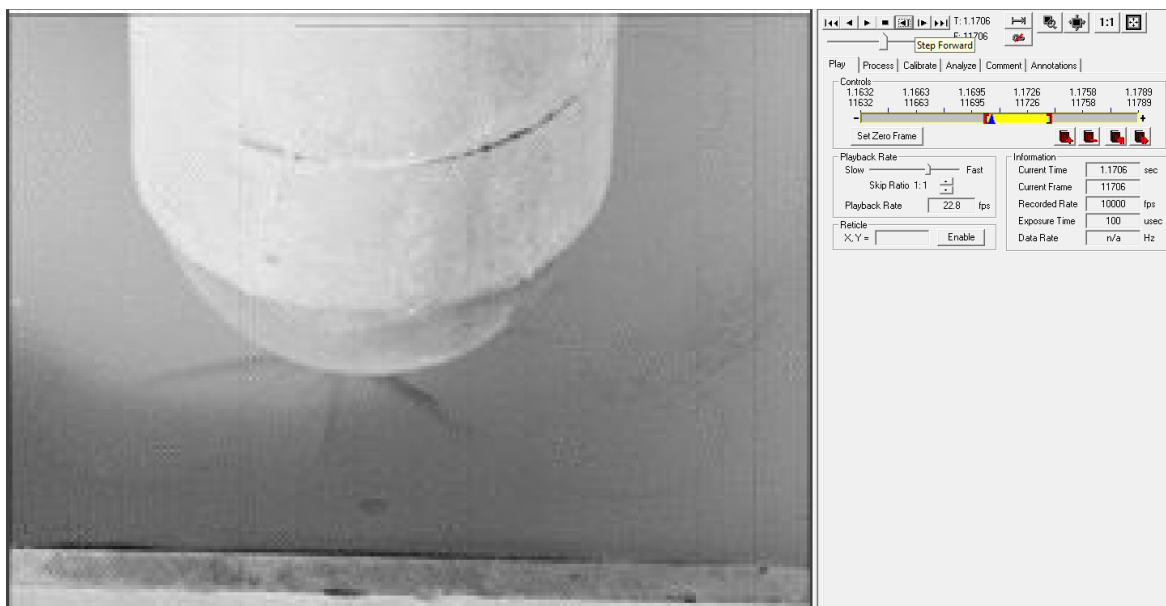
### Pokus 6: Shutter: 1x

Čas: 1,1704 [s], Rám: 11704 počet snímkou



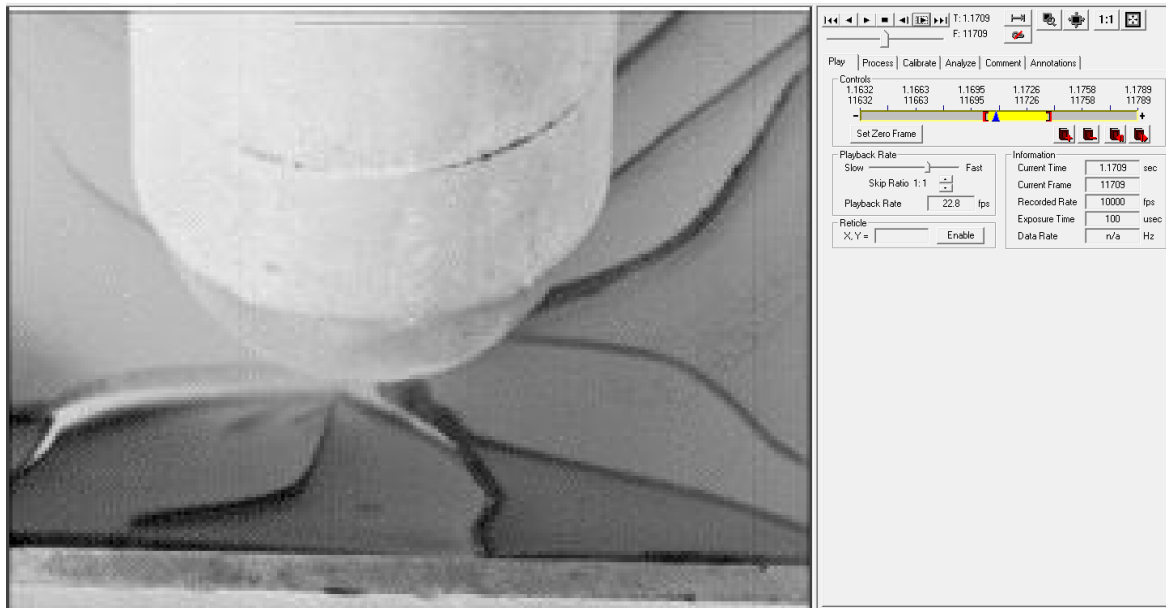
Obr. 136. Snímek prvního dotyku tíka so vzorkou.

Čas: 1,1706 [s], Rám: 11706 počet snímkou



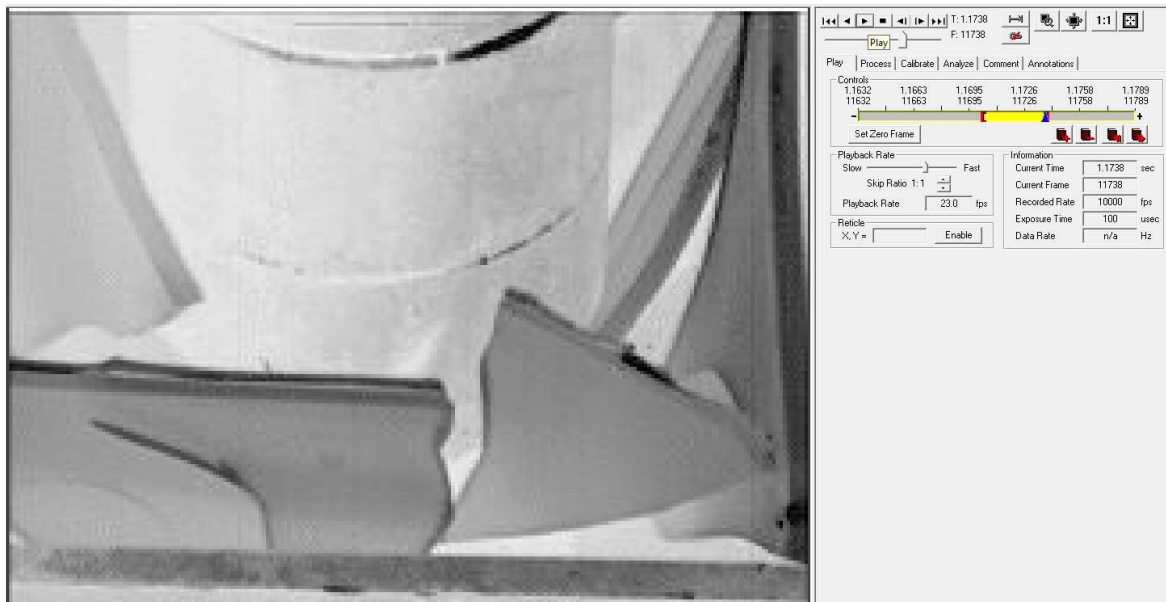
Obr. 137. Vznik trhliny.

Čas: 1,1709 [s], Rám: 11709 počet snímkou



Obr. 138. Šírenie trhliny.

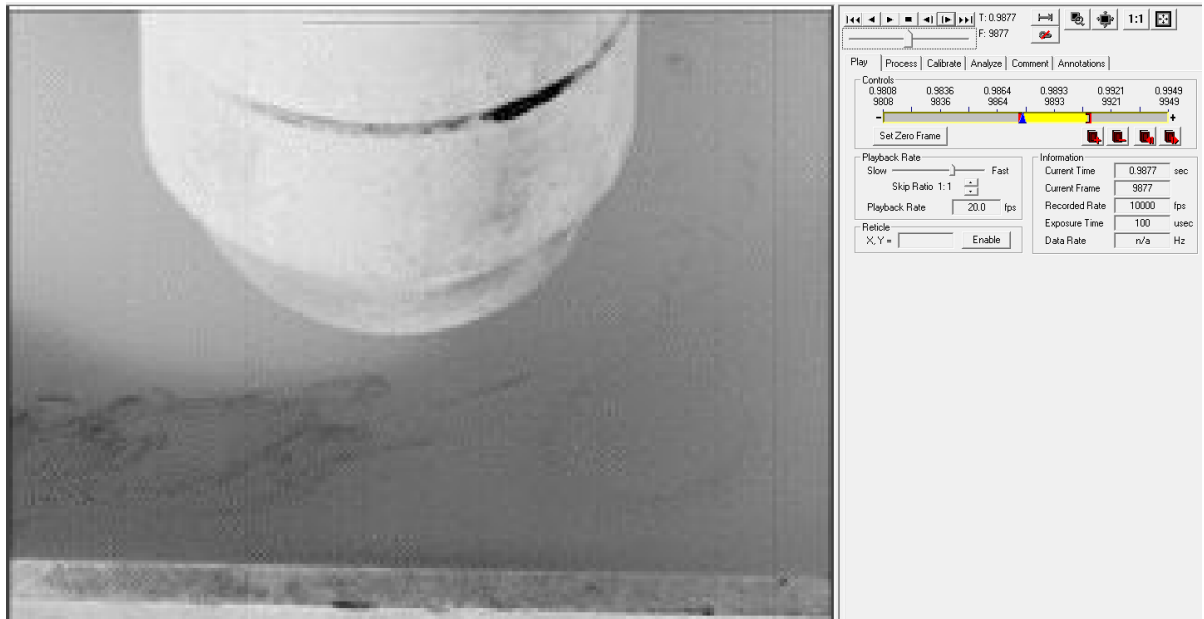
Čas: 1,1738 [s], Rám: 11738 počet snímkou



Obr. 139. Roztriešenie polypropylénovej vzorky.

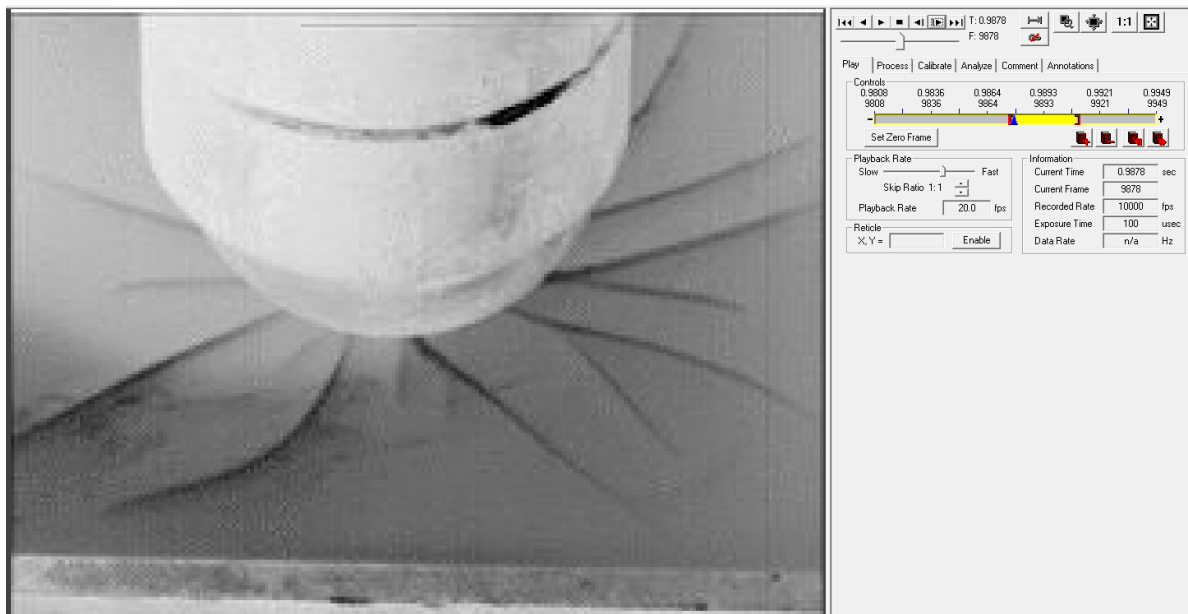
**Pokus 7:** Shutter: 1x

Čas: 0,9877 [s], Rám: 9877 počet snímkou



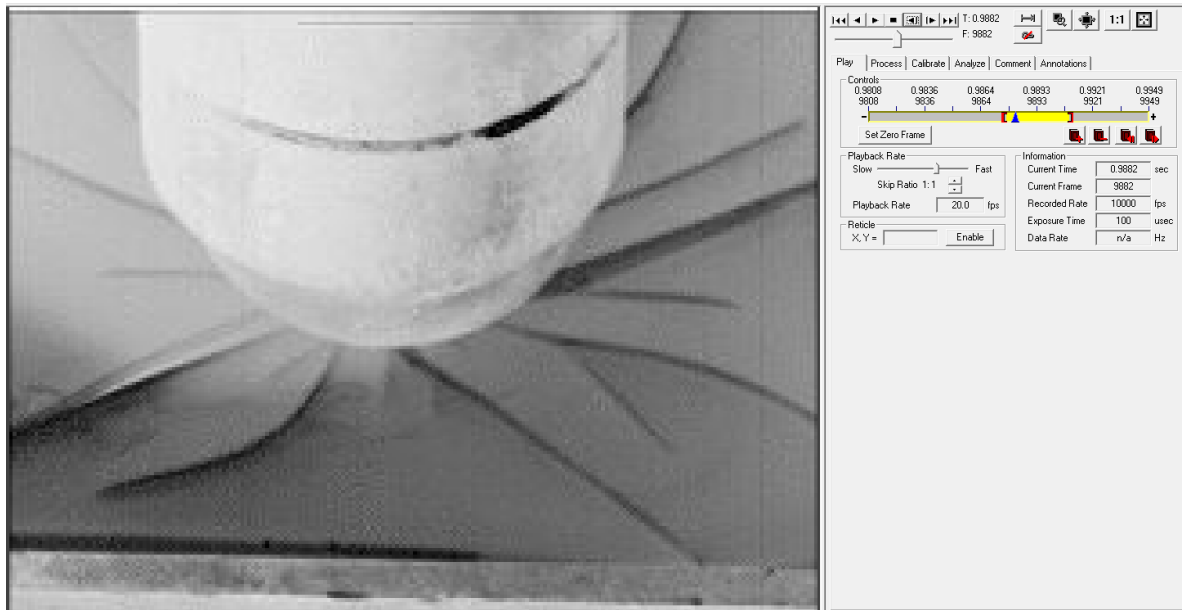
*Obr. 140. Snímok prvého dotyku tĺka so vzorkou.*

Čas: 0,9878 [s], Rám: 9878 počet snímkou



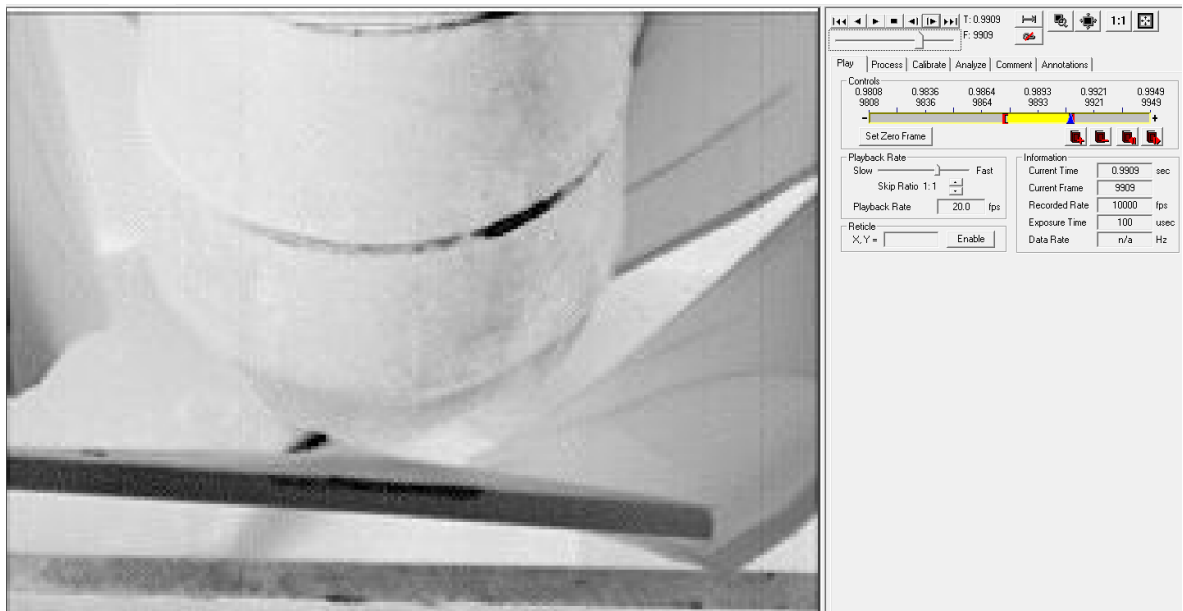
*Obr. 141. Vznik trhliny.*

Čas: 0,9882 [s], Rám: 9882 počet snímkou



Obr. 142. Šírenie trhliny.

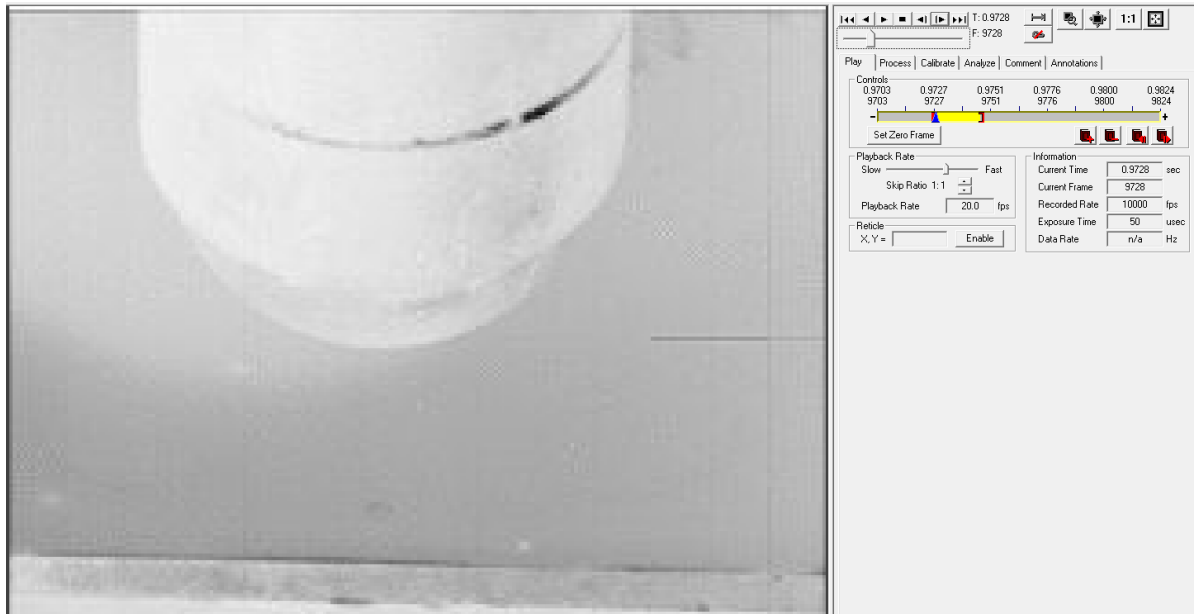
Čas: 0,9909 [s], Rám: 9909 počet snímkou



Obr. 143. Roztriešenie polypropylénovej vzorky.

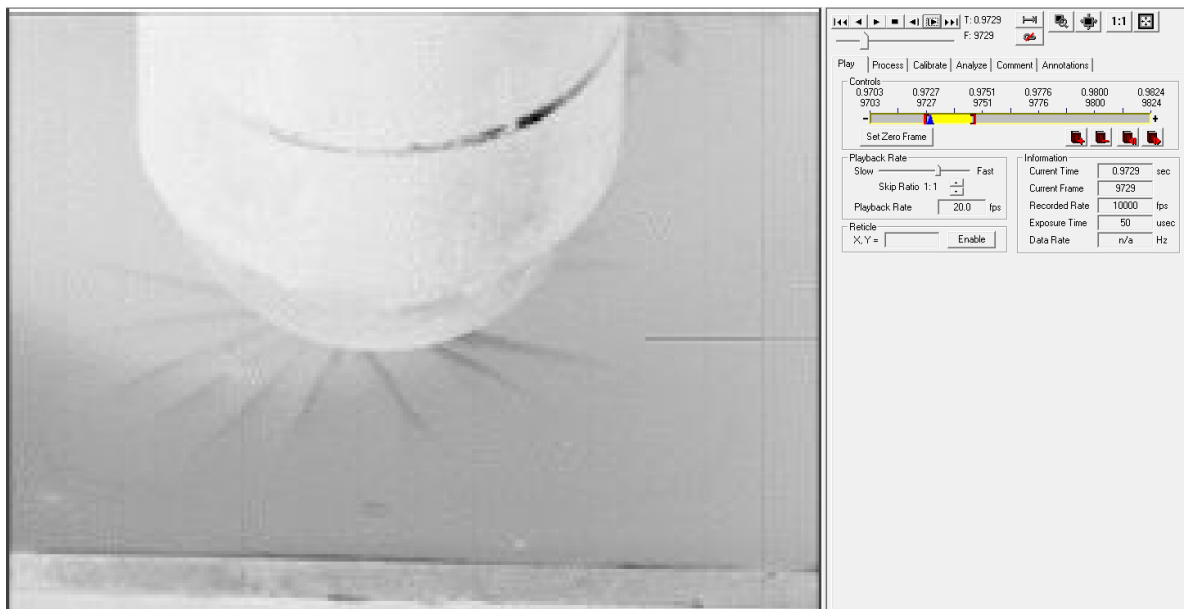
**Pokus 8:** Shutter: 2x

Čas: 0,9728 [s], Rám: 9728 počet snímkou



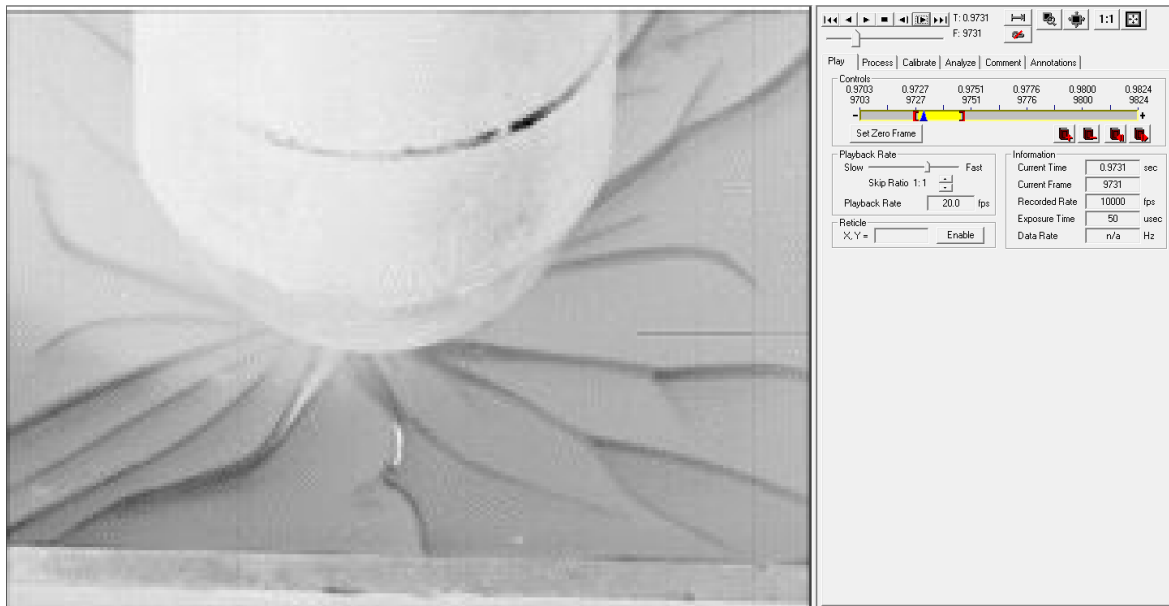
*Obr. 144. Snímok prvého dotyku tlka so vzorkou.*

Čas: 0,9729 [s], Rám: 9729 počet snímkou



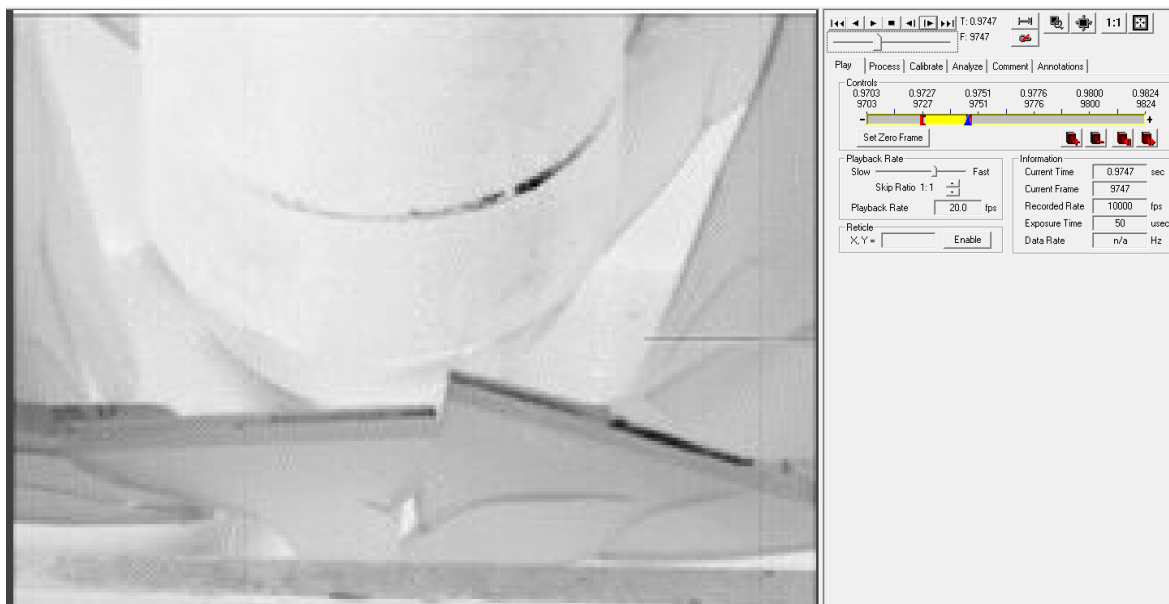
*Obr. 145. Vznik trhliny.*

Čas: 0,9731 [s], Rám: 9731 počet snímkou



Obr. 146. Šírenie trhliny.

Čas: 0,9747 [s], Rám: 9747 počet snímkou



Obr. 147. Roztrieštenie polypropylénovej vzorky.