



Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

Obor stavitelství

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Ověření a rozbor materiálových charakteristik povlakových krytin

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana GROSSOVÁ**  
Osobní číslo: **A19N0054P**  
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Stavitelství**  
Téma práce: **Ověření a rozbor materiálových charakteristik povlakových krytin**  
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky**

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte textové části dle zadání práce s obecným popisem a rozbohem povlakových krytin se zaříděním do základních skupin a jejich vhodnosti či nevhodnosti použití do konstrukčních systémů střešních souvrství.
2. Zpracujte a připravte vzorkovací sady dle ČSN na testování materiálových charakteristik povlakových krytin a to v sadách dle vzorků na dané testovací zařízení jako experimentální část práce.
3. Zpracujte a vyhodnoťte testovací vzorky pomocí zařídění do základních tabulek vhodnosti a statisticky vyhodnoťte dle metody SBRA.

Rozsah diplomové práce: **60 – 75 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **práce skládající se z výkresů a textových částí**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 1990 – Zásady navrhování stavebních konstrukcí.
2. ČSN EN 1991 – Zatížení stavebních konstrukcí.
3. ČSN 73 06 07 – Skládání vod. konstrukce.
4. ČSN 73 1901 – Navrhování střech, ČSN P 73 0600 – Hydroizolace staveb.
5. Frick / Knoll – Stavební konstrukce I. a II. JAGA 2005.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kesl, Ph.D.**  
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **1. července 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **6. ledna 2021**



*Radová*

**Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová**  
děkanka

*Jan Vimmr*

**Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 1. července 2020

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Ověření a rozbor materiálových charakteristik povlakových krytin“ vypracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce Ing. Petra Kesla, Ph.D. a s využitím odborné literatury uvedené v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni, dne 6. 1. 2021

.....

Bc. Zuzana Grossová

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Keslovi, Ph.D. za vedení mé práce, vstřícnost a užitečné rady, které mi při konzultacích věnoval. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Tomáši Zieglerovi za cenné rady a poskytnutí materiálů potřebných pro experimentální měření. Velké poděkování patří také Ing. Janu Krystkovi, Ph. D. za vedení při experimentu samotném.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala mé rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole a mému příteli, který při mně stál a po dobu vypracování mé diplomové práce mě plně podporoval.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá ověřením a rozбором materiálových charakteristik povlakových krytin. Teoretická část práce se věnuje členění a rozboru povlakových krytin, jejich zařazení do základních skupin a zjištění jejich vhodnosti či nevhodnosti použití do konstrukčních systémů střešních souvrství. Přibližuje technologii provádění a upozorňuje na různé druhy vad a poruch.

Experimentální část práce je zaměřena na testování materiálových charakteristik tří sad zkušebních vzorků hydroizolačních fólií při různých teplotách a s různými druhy porušení. Cílem diplomové práce je jednak experimentálně zjistit pevnost fólie v tahu při pokojové teplotě a ověřit, zda tato hodnota splňuje limitní pevnost v tahu udávanou v technickém listu výrobcem, ale také zkoumat vliv teploty a trhlin na pevnost a únosnost fólie. Práce se zabývá zkoumáním fólií při pokojové teplotě (22 °C), při extrémně nízkých teplotách v zimních měsících (-25 °C) a při extrémně vysokých teplotách v letních měsících, kdy v našich klimatických podmínkách dosahuje teplota střešních povlaků až +65 °C. Dále je v práci zkoumána pevnost fóliových vzorků ovlivněných různě orientovanými trhlinami.

Výsledky z experimentálního měření jsou vyhodnoceny grafickou metodou a poté ověřeny metodou statistickou. Z experimentálního měření vyplývá, že fóliové vzorky při pokojové teplotě vykazují vyšší hodnoty pevnosti v tahu, než jsou uvedeny v technickém listě výrobce a zároveň jsou přímo závislé na měnící se teplotě. S rostoucí teplotou hodnoty pevnosti a únosnosti klesají, naopak s klesající teplotou vzorků jejich hodnota pevnosti a únosnosti roste. Na materiálové charakteristiky má zásadní vliv druh i orientace trhliny.

Součástí diplomové práce je fotodokumentace vzorků před vykonáním tahové zkoušky a po dosažení pevnosti fóliových vzorků v tahu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Asfaltový pás, hydroizolační fólie, poruchy a vady, tahová zkouška, trhliny

## ABSTRACT

The diploma thesis deals with the verification and analysis of the material characteristics of flat surfaced roof materials. The theoretical part of the work is devoted to the division and analysis of flat surfaced roof materials, their classification into basic groups and finding out their suitability or unsuitability for use in structural systems of roof layers. It introduces the implementation technology and draws attention to various types of defects and failures.

The experimental part of the work is focused on testing the material characteristics of three sets of test specimens of waterproofing foils at different temperatures and with different types of failure. The aim of the diploma thesis is to experimentally determine the tensile strength of the foil at room temperature and verify whether this value meets the limit tensile strength specified by the manufacturer in the data sheet, but also to examine the effect of temperature and cracks on the strength and load-bearing capacity. The work deals with the research of foils at room temperature (22 °C), at extremely low temperatures in the winter months (-25 °C) and at extremely high temperatures in the summer months, when in our climatic conditions the temperature of roof coatings reaches up to +65 °C. Furthermore, the strength of foil samples affected by differently oriented cracks is investigated.

The results of the experimental measurements are evaluated by a graphical method and then verified by a statistical method. The experimental measurements show that the foil samples at room temperature show higher values of tensile strength than stated in the technical data sheet of the manufacturer and at the same time are directly dependent on the changing temperature. With increasing temperature the values of strength and load-bearing capacity decrease, on the contrary, with decreasing temperature of the samples their value of strength and load-bearing capacity increases. The type and orientation of the crack have a fundamental influence on the material characteristics.

Part of the diploma thesis is the photo documentation of samples before the tensile test and after reaching the tensile strength of foil samples.

## KEYWORDS

Asphalt strip, waterproofing foils, defects, tensile test, cracks

## OBSAH

Úvod .....	1
Cíle práce .....	2
Motivace .....	2
Hypotéza .....	2
<b>TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>3</b>
1 Povlakové krytiny .....	3
2 Asfaltové hydroizolační pásy .....	4
2.1 Druhy asfaltových pásů .....	4
2.2 Složení asfaltových pásů .....	5
3 Technologie provádění pokládky asfaltových pásů .....	10
3.1 Natavování .....	10
3.2 Lepení .....	11
3.3 Mechanické kotvení .....	12
4 Hydroizolační fólie .....	13
4.1 Druhy hydroizolačních fólií z hlediska konstrukce .....	13
4.2 Druhy hydroizolačních fólií z hlediska materiálové báze .....	14
5 Technologie provádění pokládky hydroizolačních fólií .....	19
6 Porovnání hydroizolačních pásů .....	22
7 Stěrkové hydroizolace .....	23
8 Poruchy a vady povlakových hydroizolací plochých střech .....	24
8.1 Poruchy a vady asfaltových pásů .....	24
8.2 Poruchy a vady fóliových hydroizolací .....	32
<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>36</b>
9 Příprava sad zkušebních vzorků .....	36
10 Experiment .....	40
11 Výsledky z experimentálního měření .....	46
12 Metoda SBRA .....	52
12.1 Simulace v metodě SBRA .....	53
12.2 Posudek spolehlivosti metodou SBRA .....	55
13 Ověření hypotézy .....	58



14 Závěr.....	59
Seznam použité literatury a internetových odkazů.....	61
Použitý software .....	64
PŘÍLOHOVÁ ČÁST .....	I

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1:Schéma členění povlakových hydroizolací [1] .....	3
Obrázek 2: Skladba asfaltového pásu typu R nebo S [2].....	5
Obrázek 3: Povrchová úprava - barevný posyp z hrubozrnné břidlice [12] .....	9
Obrázek 4: Doporučená pokládka dvou vrstev pásů [16].....	10
Obrázek 5: Plnoplošné natavení pásu [16] .....	11
Obrázek 6: Natavení propan-butanovým hořákem [16] .....	11
Obrázek 7: Kotva celokovová a teleskopická se šroubem do betonu [18] .....	12
Obrázek 8: Fólie typu Evalon-Solar [10].....	14
Obrázek 9:Přímé kotvení hydroizolační fólie mPVC [1] .....	20
Obrázek 10: Nepřímé kotvení hydroizolační fólie mPVC [1].....	20
Obrázek 11: Kotevní prvky hydroizolačních fólií [20] .....	20
Obrázek 12: Nevhodné skladování asfaltových pásů naležato [22] .....	25
Obrázek 13: Praskání asfaltových pásů [21].....	26
Obrázek 14: Zkracování asfaltových pásů [21] .....	26
Obrázek 15: Puchýře na povrchu pásu [21].....	27
Obrázek 16: Sjíždění asfaltové hmoty [21] .....	27
Obrázek 17: Krokodýling [21].....	28
Obrázek 18: Porucha mechanického kotvení [21].....	28
Obrázek 19: Poškození hydroizolačního povlaku kroupami [21] .....	29
Obrázek 20: Vlnění hydroizolace a tzv. delaminace spojů [21].....	29
Obrázek 21: Mechanické poškození [21] .....	30
Obrázek 22: Boulení [23] .....	30
Obrázek 23: Nedostatečně svařený asfaltový pás [23] .....	31
Obrázek 24: Zanedbání kontroly střešního pláště [23].....	31
Obrázek 25: Problém stojící vody [23].....	32
Obrázek 26: Poškození fólie v průběhu výroby [21].....	32
Obrázek 27: Praskání z důvodu migrace změkčovadel [21].....	33
Obrázek 28: Delaminace fólie [21].....	33
Obrázek 29: Mrazové trhliny [21] .....	34
Obrázek 30:Poškození neopatrností pracovníků [21].....	34
Obrázek 31:Poškození při odklizení sněhu [21].....	35
Obrázek 32:Vlnění povlaku z důvodu absence kotvení [21].....	35
Obrázek 33:Fólie DEKPLAN 76 S [24].....	36
Obrázek 34: Zkoumané druhy trhlin.....	37
Obrázek 35: Šablona pro vytvoření normové trhliny .....	38
Obrázek 36:Profil zkoumané fólie .....	38

Obrázek 37: Značení vzorků.....	39
Obrázek 38: Trhací stroj Zwick/Roell Z050.....	40
Obrázek 39: Zkouška tahem při teplotě RT.....	41
Obrázek 40: Sekvence snímků z průběhu tahové zkoušky vzorku S_45_RT_01 .....	42
Obrázek 41: Sekvence snímků z průběhu tahové zkoušky vzorku S_90_RT_01 .....	43
Obrázek 42: Nádoba s tekutým dusíkem .....	44
Obrázek 43: Zkouška tahem při teplotě M_25 .....	44
Obrázek 44: Zaznamenávání hodnot do počítače .....	45
Obrázek 45: Schéma principu posouzení spolehlivosti metodou SBRA [25] .....	52
Obrázek 46: Vzorky před vykonáním tahové zkoušky.....	XV
Obrázek 47: Vzorky S_RT po vykonání tahové zkoušky.....	XV
Obrázek 48: Vzorky S_0_RT po vykonání tahové zkoušky.....	XVI
Obrázek 49: Vzorky S_30_RT po vykonání tahové zkoušky.....	XVI
Obrázek 50: Vzorky S_45_RT po vykonání tahové zkoušky.....	XVII
Obrázek 51: Vzorky S_60_RT po vykonání tahové zkoušky.....	XVII
Obrázek 52: Vzorky S_90_RT po vykonání tahové zkoušky.....	XVIII
Obrázek 53: Vzorky S_M25 po vykonání tahové zkoušky .....	XVIII
Obrázek 54: Vzorky S_0_M25 po vykonání tahové zkoušky .....	XIX
Obrázek 55: Vzorky S_30_M25 po vykonání tahové zkoušky .....	XIX
Obrázek 56: Vzorky S_45_M25 po vykonání tahové zkoušky .....	XX
Obrázek 57: Vzorky S_60_M25 po vykonání tahové zkoušky .....	XX
Obrázek 58: Vzorky S_90_M25 po vykonání tahové zkoušky .....	XXI
Obrázek 59: Výpočet únosnosti vzorků S_RT .....	XXII
Obrázek 60: Výpočet pevnosti a modulu pružnosti vzorků S_RT .....	XXIII
Obrázek 61: Výpočet napětí vzorků S_RT .....	XXIV
Obrázek 62: Výpočet únosnosti vzorků S_90_RT .....	XXV
Obrázek 63: Výpočet pevnosti a modulu pružnosti vzorků S_90_RT .....	XXVI
Obrázek 64: Výpočet napětí vzorků S_90_RT.....	XXVII

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Minimální počet pásů typu „S“ [8] .....	5
Tabulka 2: Srovnání vlastností asfaltových pásů [1][5] .....	7
Tabulka 3: Porovnání povlakových izolací dle ceny a jejich životnosti [15] .....	18
Tabulka 4: Porovnání vlastností hydroizolačních pásů [13][14][15] .....	22
Tabulka 5: Vliv druhu trhliny na pevnost vzorků .....	50
Tabulka 6: Návrhová životnost [25] .....	54
Tabulka 7: Kategorizace tříd následků dle EN 1990 [25] .....	55
Tabulka 8: Návrhové hodnoty indexu spolehlivosti a pravděpodobnosti poruchy [25].	55
Tabulka 9: Porovnání výsledků tahových sil vzorků S_RT .....	55
Tabulka 10: Porovnání výsledků pevnosti vzorků S_RT .....	56
Tabulka 11: Porovnání výsledků modulu pružnosti vzorků S_RT .....	56
Tabulka 12: Porovnání výsledků tahových sil vzorků S_90_RT .....	56
Tabulka 13: Porovnání výsledků pevnosti vzorků S_90_RT .....	56
Tabulka 14: Porovnání výsledků modulu pružnosti vzorků S_90_RT .....	56
Tabulka 15: Porovnání výsledků normálového napětí vzorků S_RT .....	57
Tabulka 16: Porovnání výsledků normálového napětí vzorků S_90_RT .....	57
Tabulka 17: Geometrické parametry vzorků S_RT .....	I
Tabulka 18: Geometrické parametry vzorků S_0_RT .....	I
Tabulka 19: Geometrické parametry vzorků S_30_RT .....	I
Tabulka 20: Geometrické parametry vzorků S_45_RT .....	II
Tabulka 21: Geometrické parametry vzorků S_60_RT .....	II
Tabulka 22: Geometrické parametry vzorků S_90_RT .....	II
Tabulka 23: Geometrické parametry vzorků S_M25 .....	III
Tabulka 24: Geometrické parametry vzorků S_0_M25 .....	III
Tabulka 25: Geometrické parametry vzorků S_30_M25 .....	III
Tabulka 26: Geometrické parametry vzorků S_45_M25 .....	IV
Tabulka 27: Geometrické parametry vzorků S_60_M25 .....	IV
Tabulka 28: Geometrické parametry vzorků S_90_M25 .....	IV
Tabulka 29: Geometrické parametry vzorků S_65 .....	V
Tabulka 30: Geometrické parametry vzorků S_0_65 .....	V
Tabulka 31: Geometrické parametry vzorků S_30_65 .....	V
Tabulka 32: Geometrické parametry vzorků S_45_65 .....	VI
Tabulka 33: Geometrické parametry vzorků S_60_65 .....	VI
Tabulka 34: Geometrické parametry vzorků S_90_65 .....	VI
Tabulka 35: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_RT .....	VII
Tabulka 36: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_M25 .....	VII

Tabulka 37: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_65 .....	VII
Tabulka 38: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_0_RT .....	VIII
Tabulka 39: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_0_M25 .....	VIII
Tabulka 40: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_0_65 .....	VIII
Tabulka 41: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_30_RT .....	IX
Tabulka 42: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_30_M25 .....	IX
Tabulka 43: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_30_65 .....	IX
Tabulka 44: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_45_RT .....	X
Tabulka 45: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_45_M25 .....	X
Tabulka 46: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_45_65 .....	X
Tabulka 47: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_60_RT .....	XI
Tabulka 48: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_60_M25 .....	XI
Tabulka 49: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_60_65 .....	XI
Tabulka 50: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_90_RT .....	XII
Tabulka 51: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_90_M25 .....	XII
Tabulka 52: Maximální síly a maximální napětí vzorků S_90_65 .....	XII
Tabulka 53: Modul pružnosti pro vzorky bez trhliny .....	XIII
Tabulka 54: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 0° .....	XIII
Tabulka 55: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 30° .....	XIII
Tabulka 56: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 45° .....	XIV
Tabulka 57: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 60° .....	XIV
Tabulka 58: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 90° .....	XIV

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Smluvní diagramy – vzorky bez trhliny .....	46
Graf 2: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem $0^\circ$ .....	46
Graf 3: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem $30^\circ$ .....	47
Graf 4: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem $45^\circ$ .....	47
Graf 5: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem $60^\circ$ .....	48
Graf 6: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem $90^\circ$ .....	48
Graf 7: Smluvní diagramy pro sadu S_RT .....	49
Graf 8: Smluvní diagramy pro sadu M_25 .....	49
Graf 9: Smluvní diagramy pro sadu S_65 .....	50
Graf 10: Vliv rychlosti zatěžování na průběh deformace .....	51
Graf 11: Modul pružnosti E pro vzorky S_RT .....	51

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Geometrické parametry skupin vzorků .....	I
Příloha B: Únosnost a pevnost skupin vzorků .....	VII
Příloha C: Hodnoty modulu pružnosti pro sadu S_RT .....	XIII
Příloha D: Fotodokumentace vzorků .....	XV
Příloha E: Podrobný výpočet metodou SBRA .....	XXII

## ÚVOD

Vzhledem k současnému výskytu velkého množství informací a významnému technickému vývoji by mělo být navrhování střešních konstrukcí bezproblémové, bohužel to však není pravda. V dnešní době se klade důraz na kvantitu na úkor kvality, což přináší řadu problémů, které vznikají už při samotném návrhu stavebních konstrukcí. Stále častěji se stavební realizace provádí dle projektu pro stavební povolení, kde nejsou dostatečně podrobně řešeny izolační systémy. Až 75 % stavebních poruch odpovídá poruchám vodotěsných izolací.

Další příčinou problémů je nedostatečná kvalita materiálů, využití méně kvalitních, zato levnějších přísad nebo také snížení tloušťky hydroizolačního materiálu až na dolní hranici tolerance.

V neposlední řadě pak nastávají problémy při realizaci samotné. Hydroizolace pokládají izolatéři s nedostatečnými zkušenostmi, což je dáno také tím, že v současnosti u nás neexistuje obor, kde by bylo možné studovat na izolatéra. Nezkušené izolatéři, jejich nedbalost, nevhodné či málo kvalitní materiály, to vše vede k problémům hydroizolačních systémů. Se stále se zvyšujícím tlakem na snížení ceny se dodat bezchybné dílo stává nelehkým, často až nemožným úkolem. Vlivem toho vady a poruchy konstrukcí nastávají již brzy po samotném dokončení díla.

Teoretická část diplomové práce se zabývá členěním a rozbořem povlakových krytin, jejich zatříděním do základních skupin a zjištěním jejich vhodnosti či nevhodnosti použití do konstrukčních systémů střešních souvrství. Přibližuje technologii provádění a upozorňuje na různé druhy vad a poruch povlakových hydroizolací. Vady materiálů mohou vzniknout už při samotné výrobě, kdy není dostatečně dbáno na čištění strojů, poruchy vznikají vlivem klimatických jevů, v průběhu realizace nebo při čištění či údržbě střešního pláště.

Experimentální část práce je zaměřena na zjištění pevnosti hydroizolačních fólií v tahu při pokojové teplotě (22 °C) a ověření, zda daná hodnota splňuje limitní pevnost v tahu udávanou v technickém listu výrobcem. Zkoumány jsou vzorky z fólie DEKPLAN 76 S vyrobené z měkčeného PVC (PVC-P) o tloušťce 1,5 mm vyztužené polyesterovou tkaninou a vzorky ze syntetické střešní hydroizolační fólie MAPEPLAN T M z pružného polyolefinu TPO/FPO o tloušťce 1,5 mm vyztužené polyesterovou síťovinou.

Práce se dále věnuje testování materiálových charakteristik sad zkušebních vzorků po 36 vzorcích hydroizolačních fólií při „extrémních teplotách“ a s různými druhy porušení. Zkoumány jsou pevnosti a únosnosti fólií při extrémně nízkých teplotách v zimních měsících (-25 °C) a při extrémně vysokých teplotách v letních měsících, kdy v našich klimatických podmínkách dosahuje teplota střešních povlaků až +65 °C. Dále jsou v práci zkoumány materiálové charakteristiky sad fóliových vzorků ovlivněných různě orientovanými trhlinami. Výsledky zjištěné experimentálně jsou porovnávány s výsledky vypočtenými pravděpodobnostní metodou SBRA v programu Anthill.

## CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je experimentálně zjistit pevnost fólie v tahu při pokojové teplotě a ověřit, zda tato hodnota splňuje limitní pevnost v tahu udávanou v technickém listu výrobcem. V neposlední řadě je cílem zkoumat chování vzorků za extrémních teplot a vliv různě orientovaných trhlin na pevnost a únosnost fólie.

## MOTIVACE

Hlavní motivací pro vypracování diplomové práce bylo setkání s v praxi se stále zvyšující četností použití těchto hydroizolačních materiálů. Navzdory jejich rozšiřující se oblíbenosti se lze jen zřídka setkat s bezchybným dodržением technologických postupů při pokládce hydroizolačního pláště a stejně tak se znalostí možných rizik s tímto spojených.

## HYPOTÉZA

Je očekáváno, že materiálové charakteristiky hydroizolačních fólií se přímo zhoršují s jejich vystavením extrémním podmínkám jako je změna teploty či fyzické poškození materiálu.



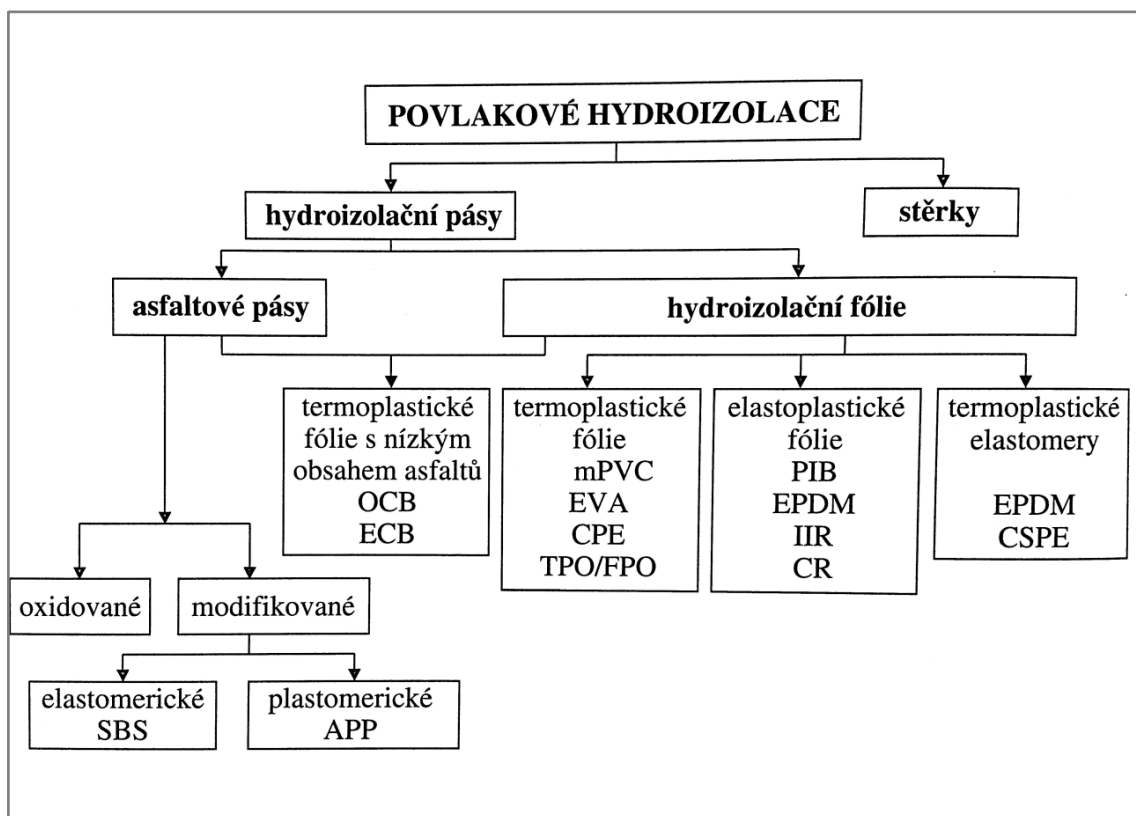
# TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

## 1 POVLAKOVÉ KRYTINY

Krytiny nízkého spádu tvoří dokonale souvislý hydroizolační povlak, který vytváří spolehlivou ochranu stavby proti vodě v kapalném i tuhém skupenství. Jedná se o vrstvu nejvíce namáhanou klimatickými vlivy, kterým musí odolávat. Odolává působení větru, deště, sněhu, krup, UV záření a dalších. Členění povlakových hydroizolací je znázorněno na obrázku 1.

Vrstva hydroizolace může být z vrchní strany chráněna ochrannou vrstvou (př. kačírkem, drcenou břidlicí, keramickým granulátem), vrstvou provozní nebo konstrukční úpravou (obrácené pořadí vrstev), což výrazně zvyšuje životnost hydroizolací.

Stálost polohy povlakové krytiny je zajištěna mechanickým kotvením, lepením, natavením či stálým zatížením stabilizační vrstvou.



Obrázek 1: Schéma členění povlakových hydroizolací [1]

## 2 ASFALTOVÉ HYDROIZOLAČNÍ PÁSY

Patří ve stavebnictví mezi nejstarší a nejrozšířenější materiál pro výrobu hydroizolací. K největšímu rozvoji došlo během minulého století, což zapříčinilo podstatný nárůst nabídky asfaltových výrobků, zvyšování kvality a životnosti. Nejstaršími pásy byly tzv. asfaltové lepenky, které se používaly na začátku 20. století, poté vznikaly natavitelné pásy z oxidovaného asfaltu, které jsou stále více nahrazovány pásy z modifikovaného asfaltu. Pásy jsou tvořeny impregnovanou nosnou vložkou nebo vložkou s asfaltovou krycí hmotou.

### 2.1 DRUHY ASFALTOVÝCH PÁSŮ

Jedná se o pásy předem vyrobené ve výrobních závodech s konstantní tloušťkou a kvalitou. Na stavbě dochází pouze k jejich rozvinutí, odbornému položení a vzájemnému homogennímu spojení. Dle jejich provedení rozdělujeme asfaltové pásy na 3 typy:

#### **Asfaltové pásy typu A**

Jedná se o nosné vložky impregnované asfaltem. Vložky jsou z hadrové lepenky bez asfaltové krycí vložky v tloušťce cca 1 mm. V tomto případě se nejedná o hydroizolační pásy, neboť hydroizolace se zajišťovala pokládkou do nátěrů z horkého asfaltu, což se dnes již neprovádí. Tyto pásy se dnes užívají ve střešním plášti na podkladní, vyrovnávací, separační či ochranné vrstvy.

#### **Asfaltové pásy typu R**

Nosná vložka je opatřena z každé strany asfaltovou krycí vrstvou a je zpravidla ze skelné rohože nebo z hadrové lepenky. Vložka má tloušťku do 1 mm, celková tloušťka asfaltového pásu se pohybuje do 2,5 mm. Hydroizolace je zajištěna pokládkou asfaltových pásů do nátěrů z horkého asfaltu. Tyto pásy se dnes již jako vodotěsné izolace plochých střech nevyužívají. Jejich využití je především jako izolace proti zemní vlhkosti.

#### **Asfaltové pásy typu S**

Nosná vložka asfaltových pásů typu S je opatřena z obou stran asfaltovou krycí hmotou s tloušťkou větší než 1 mm, celková tloušťka přesahuje 3 mm. Tento typ asfaltových pásů se užívá pro vytvoření povlakových krytin plochých střech. Díky moderní technologii je možný různý způsob jejich položení. Plnoplošně samolepící asfaltové pásy mají mít minimální tloušťku 3 mm, natavitelné asfaltové pásy minimální tloušťku 4 mm a speciální asfaltové pásy tvořící jednovrstvou vodotěsnou izolaci mají mít tloušťku minimálně 5 mm. Orientační počet asfaltových pásů typu S v závislosti na sklonu střechy je uveden v tabulce 1.

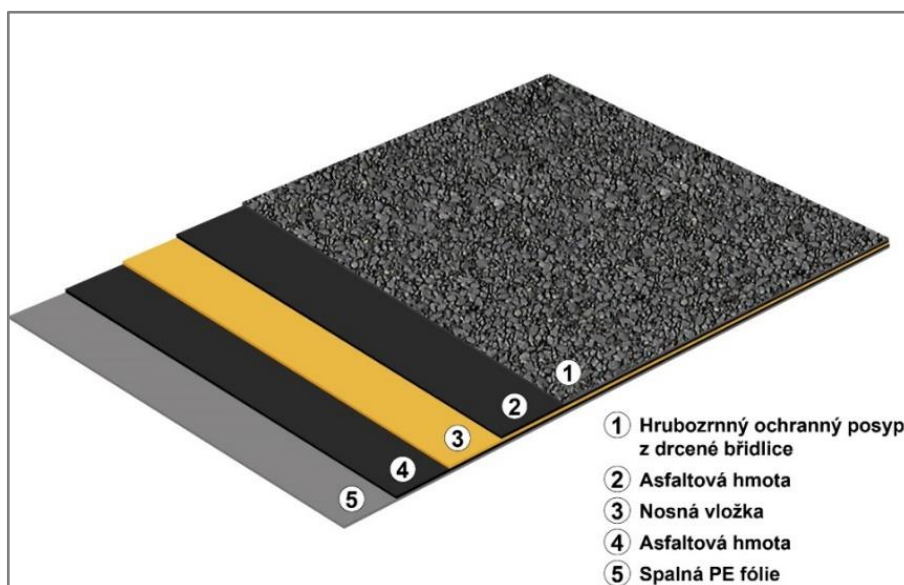
Tabulka 1: Minimální počet pásů typu „S“ [8]

Druh asfaltu	Sklon střechy	Min. počet pásů typu „S“
oxidovaný	1° až 3°	3
modifikovaný	1° až 3°	2
oxidovaný	nad 3°	2
modifikovaný	nad 3°	1
speciální pásy	nad 1°	1

## 2.2 SLOŽENÍ ASFALTOVÝCH PÁSŮ

Konstrukční skladba asfaltového pásu typu R nebo S je tvořena:

- horní asfaltovou krycí hmotou,
- nosnou vložkou,
- spodní asfaltovou krycí hmotou. [1]



Obrázek 2: Skladba asfaltového pásu typu R nebo S [2]

Horní i spodní povrch asfaltového pásu může být opatřen povrchovými úpravami. Kvalita použité asfaltové krycí hmoty, druh nosné vložky, tloušťka pásu a způsob výroby má vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti, vhodnost použití a také na samotnou životnost asfaltových pásů. Skladba asfaltového pásu typu R nebo S je znázorněna na obrázku 2.

### 2.2.1 Asfaltová krycí hmota

Jedná se o krycí hmotu vyrobenou z ropného asfaltu a minerálních plniv, v případě přidání modifikátoru mluvíme o modifikovaném asfaltu. U samolepících asfaltů se

přidávají speciální pryskyřice, pro pásy určené do požárně nebezpečného prostoru přísady proti hoření.

Hlavní surovinou pro výrobu asfaltových pásů je asfalt, jenž se získává destilací ropy. Dochází k atmosférické a poté vakuové destilaci ropy po níž vzniká vakuový zbytek, který tvoří základní surovinu výroby asfaltů, tzv. primární asfalt. Pokud se do primárního asfaltu fouká kyslík vzniká tzv. oxidovaný asfalt, dále je možné jej upravit extrakcí vakuového zbytku, kdy dojde ke vzniku extrahovaného asfaltu. Modifikovaného asfaltu docílíme přidáním modifikátorů do směsi extrahovaného a polofoukaného asfaltu.

### **2.2.1.1 Oxidovaný asfalt**

Natavitelné pásy z oxidovaného asfaltu se u nás vyrábí od roku 1962 a jedná se o klasické asfaltové pásy.

Obecné vlastnosti:

- pásy nejsou odolné vůči UV záření, proto jsou pokryty povrchovou úpravou,
- stárnutím dochází k jejich křehnutí,
- na svislých plochách snadno stékají,
- nízká životnost,
- levnější než modifikované asfaltové pásy,
- příliš neodolávají velmi nízkým teplotám (pod 0 °C) a vysokým teplotám (nad 70 °C). [1] [3]

### **2.2.1.2 Modifikovaný asfalt**

Jedná se o asfaltové pásy složené z nosné vložky a z asfaltové hmoty upravené pro hydroizolační účely modifikačními přísadami. Modifikací asfaltu dochází k výraznému zlepšení jeho užitných a technických vlastností a k zvětšení rozmezí jeho použitelnosti. Rozlišují se dvě základní modifikace asfaltu:

- modifikace APP,
- modifikace SBS. [1][4]

#### **Asfaltový pás typu APP**

Modifikované asfalty typu APP byly vyvinuty v Itálii v 70. letech 20. století. Zkratka APP vznikla dle jeho přísady, kterou je ataktický nebo amorfní polypropylen v množství 17 - 25 %.

Obecné vlastnosti:

- pásy jsou velmi odolné vůči UV záření (nemusí být chráněny povrchovou vrstvou),
- levnější modifikace než SBS,
- má plastickou deformaci (při protažení má téměř nulový vratný efekt),
- větší tuhost pásů (oproti pásům typu SBS),
- větší životnost,
- malá kompatibilita s jinými druhy asfaltových pásů.

### Asfaltový pás typu SBS

Modifikované asfalty typu SBS byly vyvinuty v 70. letech 20. století ve Francii. Přísadou SBS asfaltu je kaučuk styren – butadien-styren v množství 8 – 15 %. Srovnání vlastností asfaltových pásů je znázorněno v tabulce 2.

Obecné vlastnosti:

- má elastickou deformaci (po protažení se vrací do původního stavu),
- lehčí zpracovatelnost při nižších teplotách,
- nejsou odolné vůči UV záření (vyžadují povrchovou úpravu),
- mohou na svislých plochách stékat (při nižším stupni modifikace),
- dražší než APP,
- větší životnost,
- větší kompatibilita s pásy z oxidovaného asfaltu. [1] [5]

Tabulka 2: Srovnání vlastností asfaltových pásů [1][5]

Vlastnost	Oxidovaný asfalt	Modifikovaný APP	Modifikovaný SBS
Ohebnost při teplotě [°C]	0-4	-15	-25
Stálost za tepla [°C]	+70	+130	+100
Bod měknutí [°C]	+80	+150	+120
Životnost	nízká	větší	větší
Odolnost vůči UV záření	žádná	velká odolnost	žádná
Cena	nejlevnější	dražší	nejdražší
Pružnost	žádná	malá	vysoká

### 2.2.2 Plnivo

Minerální plniva se přidávají do asfaltové krycí hmoty za účelem zlepšení některých jejích vlastností, zajišťují vyrobitelnost, snižují stékačnost, zvyšují bod měknutí a zlepšují skladovací stabilitu. Jako plnivo se používá rozemletá břidlice, vápencová či čedičová moučka nebo popílek.

Množství plniva se pohybuje mezi 18 – 40 %. Optimální množství je kolem 30%. Při větším množství plniva je zapotřebí větší teploty k natavení pásu, více propan – butanu, snižuje se lepivost hmoty a může se porušit nosná vložka asfaltového pásu.[1][6]

### 2.2.3 Nosná vložka

Nosná vložka ovlivňuje vlastnosti, spolehlivost a životnost asfaltového pásu. Je situována v jeho střední části z důvodu snížení rizika poškození a její hlavní funkcí je zajištění rozměrové stability pásu při výrobě, skladování a pokládce. Ovlivňuje difúzní propustnost pásu, způsob natavování, protipožární vlastnosti a jeho trvanlivost. Různá materiálová provedení mají vliv na protažení při maximální tahové síle a na maximální tahovou sílu. U mechanicky kotveného asfaltového pásu má vložka vliv na pevnost pásu proti jeho roztržení a vytržení.

Nosné vložky rozdělujeme dle jejich materiálu:

- nasákavé - strojní hadrová lepenka,
- nenasákavé - skelná rohož,  
- skelná tkanina,  
- PES rohož,  
- PES tkanina – použití minimálně,  
- spřažená vložka,  
- kombinovaná vložka.

Skelné materiály jsou nehořlavé, zajišťují vyšší odolnost proti ohni a jejich výhodou je snadnější zpracování. Polyesterové materiály jsou oproti nim citlivější na plamen hořáku a jednoduše se propálí. PES rohož je vhodná do míst, kde je potřeba umožnit dilatace z důvodu její možnosti protažení. Pro opracování detailů, kde se klade důraz na přesné vytvarování pásu, se využívají bezvložkové pásy. [1][7][8]

### 2.2.4 Povrchové úpravy asfaltových pásů

Asfaltové pásy jsou opatřeny vhodnou povrchovou úpravou za účelem ochrany proti UV záření, obrany proti slepení pásu při svinutí do role, snížení povrchové teploty pásu a ochrany střešního pláště proti „přelétavému ohni“. Asfaltové pásy se natavují k podkladu plamenem nebo se celoplošně lepí do asfaltu.

Povrchovými úpravami horního povrchu pásu jsou barevné posypy z drcené břidlice (obrázek 3), keramického granulátu nebo posypy jemným křemičitým pískem. Výjimečně může být horní povrch pásu opatřen profilovanou hliníkovou, měděnou nebo nerezovou fólií.

Na spodním povrchu pásu je lehká tavitelná polyethylenová fólie, která se při natavování pásu roztaví. Spodní povrch je také možné opatřit posypem z hrubozrnného písku, kašírováním rouny ze syntetických vláken či netkanými textiliemi. [9]

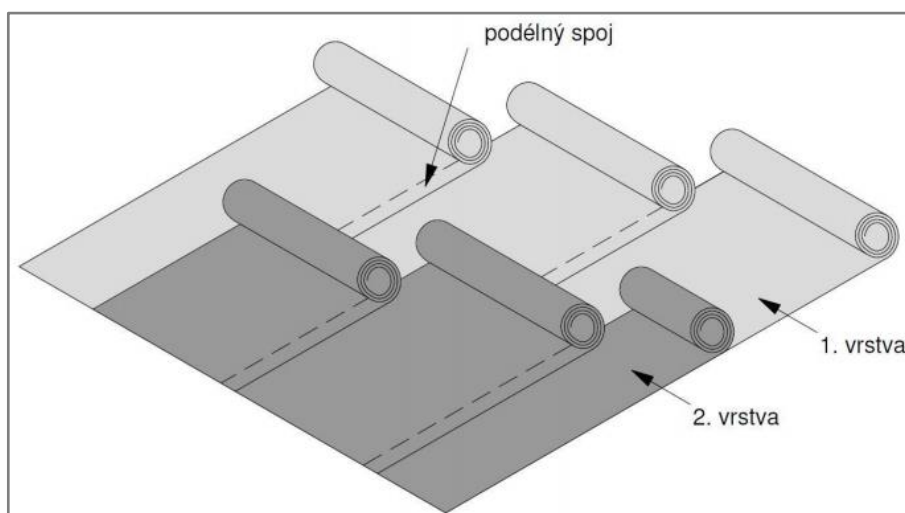


Obrázek 3: Povrchová úprava - barevný posyp  
z hrubozrnné břidlice [12]

### 3 TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ POKLÁDKY ASFALTOVÝCH PÁSŮ

Způsob pokládání pásů závisí na materiálu hydroizolace a jeho nosné vložce, na vlastnostech nosné konstrukce a povětrnostních podmínkách.

Pokládka se provádí při minimální teplotě 5 °C, u samolepících pásů 10°C. Pásky se kladou zpravidla ve spádu, výjimečně kolmo na spád střechy. Pokládají se na hladký povrch s odchylkou rovinnosti max. 5 mm na 2 m lati. Povrch musí být zbavený všech nečistot, hrotů a prohlubní a na tento povrch se nanese penetrační nátěr. Na takto připravený podklad se pokládají jednotlivé vrstvy asfaltových pásů a při sklonech větších než 5° se musí navíc zabezpečovat proti sesunutí. Přesah se u vícevrstevných systémů uvažuje minimálně 10 cm, u jednovrstevných systémů či střech provozních minimálně 12 cm, v rozích potom 15 cm. Spoje jednotlivých vrstev nesmí být nad sebou, musí docházet k tzv. vystřídání přesahů. Pokládka pásů je znázorněna na obrázku 4.



Obrázek 4: Doporučená pokládka dvou vrstev pásů [16]

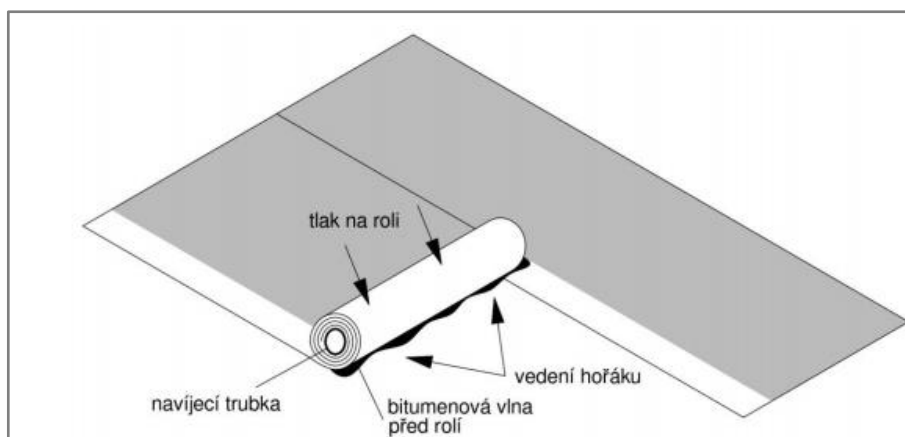
#### Zajištění stabilizace asfaltových pásů:

- natavení k podkladu,
- lepení,
- mechanické kotvení se svařením v přesazích.

#### 3.1 NATAVOVÁNÍ

Při natavování se první vrstva hydroizolace natavuje bodově nebo celoplošně, další pak vždy celoplošně. Při bodovém natavení se tvoří 3-4 talířové plochy na plochu 1 m<sup>2</sup> nebo se taví v pruzích a v přesazích. Při natavování se používá propan-butanového hořáku (obrázek 6) nebo horkého vzduchu. Práce s hořáky umožňuje rychlou a plynulou práci, avšak při přílišném ohřátí může docházet ke snížení pružnosti pásů či propálení jejich vložky. Plnoplošné natavení je vidět na obrázku 5.





Obrázek 5: Plnoplošné natavení pásu [16]

Oproti tomu horkovzdušné natavení je bezpečné, ale pomalé, a proto je ho využíváno především pro spoje či opravy detailů. Pásky se před natavením rozkládají do správné polohy se zachovanými minimálními přesahy a poté se opět do poloviny navinou. Nahřívá se spodní strana pásů opatřená fólií. Fólie se roztaví a asfalt zvláční. Při postupném odvíjení a přitiskávání pásu k podkladu dochází k vytečení asfaltové hmoty ze stran pásu, což je důkazem kvalitního spojení. Svislé plochy se rolují zdola nahoru, aby nedocházelo k vytékání asfaltu. Natavují se plamenem. [16][17]



Obrázek 6: Natavení propan-butanovým hořákem [16]

### 3.2 LEPENÍ

V místech s nebezpečím otevřeného ohně se využívá pokládky lepením. Dokonalé spojení je zajištěno penetračním živичným nátěrem. Pásky se rozvinou a položí na podklad s minimálními předepsanými přesahy, poté se navinou na pevné jádro, příkladem může být ocelová trubka a vinou se do horké živичné lepicí hmoty.

Lepicí hmota je rozlévána před asfaltový pás, přičemž je její zbytek vytlačován po stranách pásu ven. Rovnoměrnost hmoty zajišťuje tlak rozvinující se role pásu, stěrkou či jinými pomůckami je možné pouhé zatření hmoty po okrajích pásu.

Lepení je možno provádět i za studena, a to s použitím samolepících asfaltových pásů. V tomto případě je kladen důraz na povrch, který musí být dokonale suchý, očištěn od prachu a jiných nečistot. Pásky je možno lepit při teplotě nad 10 °C, aby byla zajištěna jejich lepicí schopnost.[17]

### 3.3 MECHANICKÉ KOTVENÍ

Jedná se o spojení pásu s podkladem pomocí kotevních prvků situovaných v přesazích dvou sousedních pásů. Pro tuto technologii se využívají pásy s vložkou ze skelné tkaniny pro svou vysokou pevnost a odolnost proti vytržení, mezi kotvu a pás se dále vkládá přitlačná podložka. Tento systém se využívá především pro skladby střech s menší tloušťkou tepelné izolace, tj. do 60 mm nebo zcela bez tepelné izolace. Pro skladby s větší tloušťkou izolace se využívají kotvy teleskopické s možností svislého pohybu, které brání poškození hydroizolace při nášlapu na kotvu. Druhy kotev je možné vidět na obrázku 7. [17][18]



Obrázek 7: Kotva celokovová a teleskopická se šroubem do betonu [18]

#### **Kontrola těsnosti hydroizolace**

Po skončení pokládky hydroizolace se provádějí zkoušky těsnosti. Kontrola těsnosti má o to větší význam, pokud hydroizolace není poslední vrstvou střešní konstrukce a tvoří vnitřní vrstvu střešního souvrství. Provádějí se tyto kontroly těsnosti:

- vizuální kontrola,
- kontrola spojů špachtlí,
- jiskrová zkouška,
- zátopová zkouška. [20]

## 4 HYDROIZOLAČNÍ FÓLIE

Hydroizolační fólie se ve stavebnictví začaly využívat ve 20. letech 20. století souběžně s rozvojem aplikované organické chemie. První fólie pro hydroizolaci ploché střechy, byla využita v Německu v roce 1938 a jednalo se o polymerní fólii na bázi polyizobutylenu (PIB). Tento typ fólie se dodnes stále používá. V 50. letech se začaly vyrábět fólie z polyvinylchloridu (PVC).

Po druhé světové válce došlo k rychlému rozvoji dalších typů fólií. Místo masivních konstrukcí byly snahou konstrukce odlehčené s vyššími požadavky na tepelně technické vlastnosti. Protože byly ocelové konstrukce méně tuhé a docházelo u nich ke kmitání a průhybům a dosavadní fóliové hydroizolační pláště nebyly na tyto pohyby přizpůsobené, začalo docházet k jejich problémům. To vyvolalo potřebu rychlého vývoje nových fólií určených pro ploché střechy.

### 4.1 DRUHY HYDROIZOLAČNÍCH FÓLIÍ Z HLEDISKA KONSTRUKCE

Jedná se o hydroizolační povlak o malé tloušťce, který je aplikován v jedné vrstvě a jeho údržba je v podstatě nulová. Dle jeho konstrukce se fólie dělí na 4 druhy:

- vyztužené,
- s vložkou,
- nevyztužené,
- speciální typy.

**Vyztužené fólie** vykazují lepší mechanické vlastnosti a to především lepší pevnost fólie v tahu a menší průtažnost. Fólie je možno vyztužit dvěma způsoby, vnitřně či z vnějšku.

Při vyztužení vnitřně se výztuž vkládá mezi 2 samostatné vrstvy fólie. Vzniká třívrstvá konstrukce, která je příčinou, proč se těmito fóliím říká armované. Výztuží bývá zpravidla mřížka z polyesterových vláken či kombinovaná se skelnou rohoží. Horní a spodní fólie se liší svými vlastnostmi a proto je potřeba tyto fólie klást UV stabilní vrstvou směrem vzhůru, čemuž pomáhá jejich barevné odlišení. Kvalitnější fólie mají horní a spodní fólii stejné tloušťky, méně kvalitní mají spodní (často částečně vyrobenou z recyklátu tlustší, což má výrazný vliv na životnost fóliového systému. Do této skupiny fólií řadíme systémy na bázi měkčeného PVC (mPVC) a polyolefinů (PO).

Při vnějším vyztužení jsou mechanické vlastnosti fólie zesíleny integrovanou vrstvou umístěnou na spodní straně jednovrstvé fólie, tzv. kašírováním. Integrovaná vrstva se vyrábí z polyesterového rouna či z vrstvy skelné rohože s mřížkou z polyesterových vláken. Vnější vyztužení se také využívá k vytvoření integrované separační, ochranné či expanzní vrstvy. Řadí se sem systémy na bázi etylen-vinylacetátů (EVA) a polyizobutylenů (PIB).

**Fólie s vložkou** jsou taktéž třívrstvou konstrukcí, polyesterová mřížka je zde ovšem nahrazena vložkou ze skelného rouna pro zabezpečení dokonalé rozměrové stálosti fólie. Tyto fólie se vyrábí z měkčeného PVC a polyolefinů. Fólie se používají pod zátěž, jako jsou provozní střechy, střechy s obráceným pořadím vrstev a další. Fólie bývají většinou ještě ze spodní strany opatřeny kašírováním, pro lepší přilnavost lepidla k fólii při využití pro lepené povlakové krytiny.

**Nevyztužené fólie** jsou materiálově homogenní fólie na bázi EPDM nebo EVA. Tyto fólie se pod zátěž používají bez kašírování na spodní straně. Dodávány jsou také homogenní doplňkové fólie stejné materiálové báze s větší tvárností a průtažností pro vytvoření vnějších a vnitřních rohů, manžet a dalších.

**Speciální fólie** jsou fólie, které mimo svou hydroizolační funkci plní ještě funkce další. Řadí se sem fólie s integrovanými fotoelektrickými články na jejím horním povrchu (fólie typu Evalon-Solar na bázi EVA/PVC na obrázku 8) nebo fólie se sníženou klouzavostí, které se využívají k zajištění bezpečných přístupových cest k technologickým zařízením na střeše. [1][9]



Obrázek 8: Fólie typu Evalon-Solar [10]

#### 4.2 DRUHY HYDROIZOLAČNÍCH FÓLIÍ Z HLEDISKA MATERIÁLOVÉ BÁZE

Z důvodu stálého vývoje stavebních materiálů a snahy vylepšení jejich vlastností dochází k snižování rozdílu mezi materiály a ty se svými vlastnostmi začínají sobě podobat. Pásky z asfaltu získávají vlastnosti dříve vyhrazené fóliím (možnost mechanického kotvení, aplikace jako jednovrstvé, spojování pásů pomocí horkovzdušného agregátu místo plamene a zpracovatelnost v širším rozmezí teplot). Fólie naopak obsahují podíl asfaltů z důvodu zlepšení jejich odolnosti proti poškození.

Hydroizolační fólie se dle jejich materiálu dělí do 4 základních skupin:

- termoplastické fólie,
- termoplastické fólie s nízkým obsahem asfaltů,
- elastomerní fólie,
- termoplasticko-elastomerní fólie.

#### 4.2.1 Termoplastické fólie

Jedná se o nejrozšířenější skupinu hydroizolačních fólií. Fólie s klesající teplotou tuhnou a ztrácejí svoji ohebnost, naopak s rostoucí teplotou měknou. Za teplot mezi 380 - 450 °C dochází k jejich zplastizování, čehož je využito při svařování horkovzdušnými agregáty (prokázaná opakovatelná plastifikace po jejím ochlazení).

Fólie mají vysokou tažnost, jsou recyklovatelné, vykazují pružnoplastické chování a tudíž nemají plný vratný efekt. Typickým konstrukčním doplňkem těchto fólií jsou poplastované plechy. Plastová vrstva zajišťuje pevné přivaření fólie na lišty či úhelníky vytvarované z tohoto poplastovaného plechu u detailů světlíků či atik.

Dle chemické báze se dělí na druhy:

- měkčené PVC (mPVC),
- etylen-vinyl-acetát (EVA),
- polyetylenchlorid (CPE event. i PEC),
- polyolefin (PO).

##### **Fólie na bázi měkčeného PVC (mPVC)**

Tato fólie je v současné době nejrozšířenějším typem jak v Čechách, tak Evropě. Vyznačují se velkou ohebností, tvárností a mimořádnou svařitelností. Svařují se horkým vzduchem či tetrahydrofuranem (THF). Fólie na bázi mPVC se skládá z uhlovodíkových řetězců s chlórem, změkčovadel, UV stabilizátorů, plniv, pigmentů a dalších. Existují 2 typy změkčovadel: monometrická a polymetrická.

Monometrická změkčovadla mohou za určitých podmínek unikat do okolí, jsou jimi většinou olejové ftaláty. Tento únik je ještě urychlen přímým kontaktem fólie s asfaltem, s dehtovými výrobky, méně pak také s pěnovými polystyreny. Při úniku ftalátů dochází ke snižování pružnosti fólie, proto se tyto materiály oddělují separační vrstvou, kterou bývají tepelně izolační desky z minerální plsti či netkané polyesterové nebo polypropylenové geotextílie.

Polymetrická změkčovadla unikají z materiálu fólie podstatně pomaleji a mohou proto být v přímém kontaktu s asfaltem či polystyreny, jsou však dražší.

##### **Fólie typu etylen-vinyl-acetát (EVA)**

Jedná se o fólie s vyšší kvalitou, velkou snášenlivostí s jinými materiály a tudíž vyšší životností než fólie typu mPVC a to díky absenci migrujících změkčovadel. Tyto fólie jsou tvořeny pevnými netěkavými látkami a to etylen-vinyl-acetátem (60%), PVC (35%), stabilizátory, pigmenty a plnivy. Fólie jsou s ohledem na své fyzikálně-technické vlastnosti vhodné pro nedestruktivní sanace zavlhklých střech s živичnou krytinou. Fóliové pásy se svařují obdobně jako mPVC.

### **Fólie na bázi polyetylenchloridů (CPE)**

Jedná se o vnitřně změkčené fólie, které neobsahují změkčovadla unikající do okolí a mohou být tedy v kontaktu s asfalty nebo polystyreny. Fólie se svařují horkým vzduchem.

### **Fólie na bázi polyolefinů (PO)**

Fólie jsou vyrobeny z polypropylenů a polyetylenů bez užití změkčovadel. Mohou proto být v přímém kontaktu s asfalty či polystyreny, nemají se ovšem rády s materiály na bázi mPVC. Fólie jsou obtížně svařitelné a proto se často místo svaru očišťuje aktivátorem od možné vrstvičky vosku. Fólie se svařují horkým vzduchem.

#### **4.2.2 Termoplastické fólie s nízkým obsahem asfaltů**

Jedná se o fólie na pomezí polymerních fólií a asfaltových pásů typu APP či SBS. Dle množství asfaltu se jejich povaha a způsob pokládky přibližuje jedné či druhé skupině povlakových krytin. Je pro ně typická černá barva.

Dle chemického složení je členíme do dvou skupin:

- etylen-kopolymer-bitumen (ECB)
- olefin-polymer-bitumen (OCB)

### **Fólie na bázi etylen-kopolymer-bitumenů (ECB)**

Fólie se vyrábějí zpravidla s vložkou ze skelných vláken pro zajištění rozměrové stálosti. Jsou velmi tuhé, obtížně se pokládají a nesnadné je i tvarování detailů. Svařují se horkým vzduchem.

### **Fólie na bázi olefinických kopolymerů a bitumenů (OCB)**

Fólie neobsahující změkčovadla a se snášenlivostí s asfalty či polystyreny. Mají velkou mechanickou odolnost a tuhost, obtížně se pokládají. Pásky se mezi sebou spojují horkým vzduchem či propan-butanovým hořákem. [1][9]

#### **4.2.3 Elastomerní fólie**

Typickým znakem těchto fólií je, že jsou plně elastické a po protažení se vrací zpět do původního stavu. Fólie nejsou tepelně tvarovatelné, není možno je tvarovat horkým vzduchem a dobře se snášejí s asfalty a polystyreny.

Do této skupiny patří fólie:

- polyizobutylene (PIB)
  - etylen-propylen-dien-monomer-kaučuk (EPDM)
  - polychloropénový kaučuk (CR)
  - izoprén-izobutylový kaučuk (IIR)
- } málo využívané

### **Fólie na bázi polyizobutylenu (PIB)**

Jedná se o fólie vynikajících vlastností a dlouhých životností. Fólie se řadí na pomezí elastomerů a termoplastů. Absence změkčovadel zajišťuje velkou snášenlivost s asfaltem a pěnovými plasty. Jsou typické svojí vynikající ohebností, tvárností a odolností proti kyselinám. Fólie jsou homogenní vyztužené polyesterovým rounem na spodní straně. Spojují se pomocí samolepících pruhů umístěných na okraji fóliových pásů.

### **Fólie typu etylen-propylen-dien-monomer-kaučuku (EPDM)**

Jde o nejběžnější druh elastomerních fólií, mají mimořádnou pružnost, životnost a UV odolnost. Fólie se spojují lepidly nebo spojovacími páskami, výjimečně se svařují horkým vzduchem.

#### **4.2.4 Termoplasticko-elastomerní fólie**

Jedná se o malou skupinu fólií se snášenlivostí s asfaltem i polystyreny, které navíc vykazují vlastnosti elastomerů (zajišťují pružnost) i termoplastů (umožňují svařování horkým vzduchem).

Do této skupiny zařazujeme fólie typu:

- etylen-propylen-dien-monomer-kaučuk (EPDM)
- chlorsulfid polyetylen (CSPE)

### **Fólie na bázi etylen-propylen-dien-monomer-kaučuku (EPDM)**

Fólie o vysoké chemické odolnosti a velké snášenlivosti s asfaltem a EPS. Fólie jsou velmi ohebné a tvárné. Spojení fólií se provádí svářením horkým vzduchem. V tabulce 3 je znázorněno porovnání povlakových izolací dle ceny a jejich životnosti. [1][9][11]

Tabulka 3: Porovnání povlakových izolací dle ceny a jejich životnosti [15]

	Cena (v Kč/m <sup>2</sup> )			Životnost (max )	Časová cena (v Kč/m <sup>2</sup> )		
	materiál	práce	celkem		20 let	40 let	60 let
<a href="#">asfaltová jednovrstvá skladba</a>	220	150	370	20 let	370	740	<b>1 110</b>
<a href="#">asfaltová dvojevrstvá skladba ekonomická</a>	220	200	420	20 let	420	840	<b>1 260</b>
<a href="#">asfaltová dvojevrstvá skladba doporučená</a>	330	200	530	20 let	530	1 060	<b>1 590</b>
<a href="#">PVC fólie</a>	180	170	350	20 let	350	700	<b>1 050</b>
<a href="#">PO fólie</a>	250	200	450	30 let	450	840	<b>900</b>
<a href="#">EVA fólie</a>	370	230	600	40 let	600	600	<b>900</b>
<a href="#">PIB fólie</a>	470	400	870	60 let	870	870	<b>870</b>



## 5 TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ POKLÁDKY HYDROIZOLAČNÍCH FÓLIÍ

Střechy s hydroizolační fólií jsou řešeny jako jednovrstvé, což je důvodem, proč jsou na ně kladeny tak vysoké nároky. Fólie jsou citlivé na kvalitu a preciznost montáže. Kvalitní systémy jsou proto dostupné pouze pro specializované firmy, které jsou pro pokládku fólií odborně proškolené.

Fólie jsou dodávány v pásech o šířce cca 2 m, které se mezi sebou vodotěsně spojují. Spoj se může ještě dodatečně zajistit tzv. zálivkou (těsnícím tmelem na bázi materiálu fólie) nanášenou podél spojů pásu. Výjimkou jsou fólie typu EPDM, které je možné dodat jako celistvé střešní plachty, což vede ke zvýšení efektivity a snížení času montážních prací.

Možnosti spojení fóliových pásů:

- horkovzdušným svařením – cca 420 °C,
- svařením – chemicky,
- kontaktními lepidly,
- samolepicími okraji a spojovacími páskami.

### **Sváření**

Tímto druhem spojení je dosaženo zplastizování materiálu fólie v místě svaru a po stlačení těchto ploch k sobě je zajištěn pevný homogenní spoj. Chemického svařování měkčených PVC se provádí tetrahydrofuranem, je rychlé a oproti horkovzdušnému svaření nepotřebuje žádný přívod energie, svařovat je ale možné jen do cca 10°C a to za naprostého sucha. Šířka svaru je min. 20 mm.

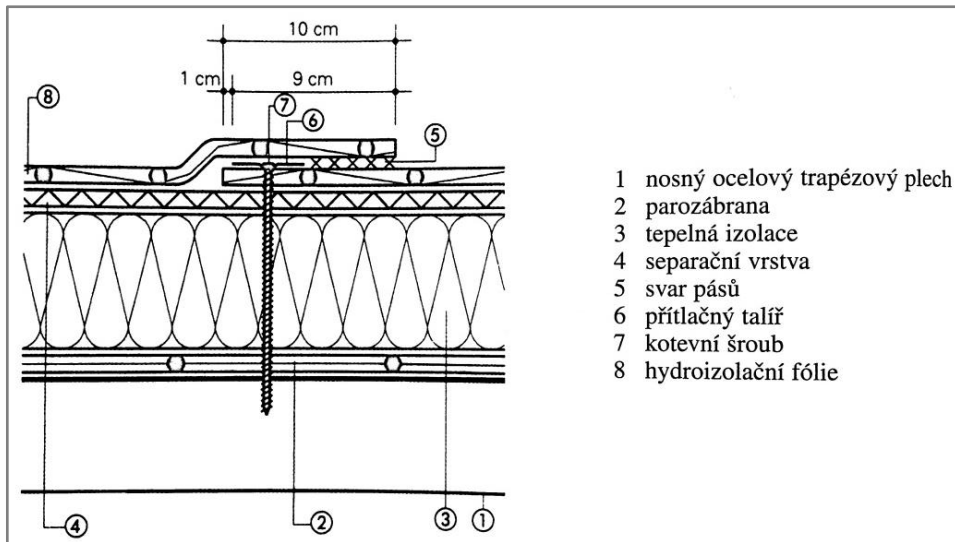
### **Zajištění stabilizace hydroizolačních fólií:**

- mechanickým kotvením,
- stálým zatížením,
- lepením,
- kombinací jmenovaných variant.

### **Mechanické kotvení**

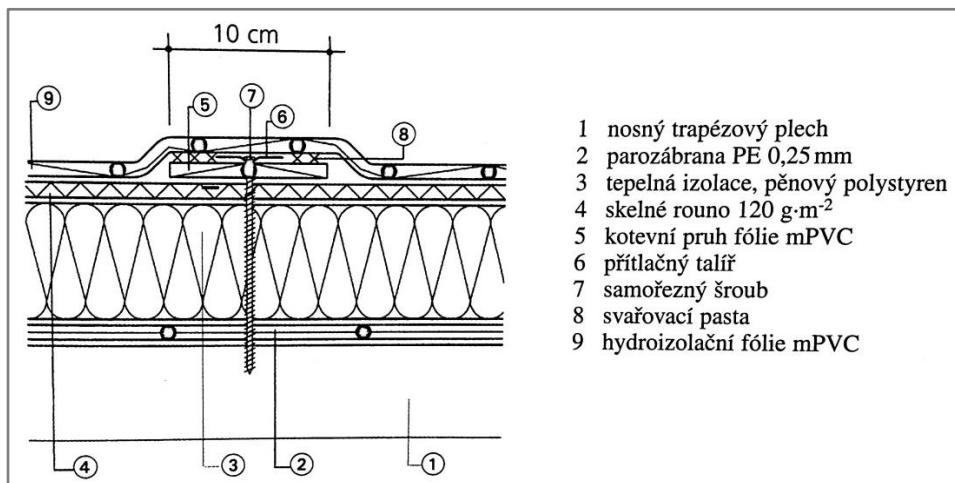
Jedná se o nejčastější způsob upevnění fólie na střešní plochu novostaveb, a to pomocí kotev nebo lineárních kotevních profilů. Tento způsob montáže je rychlý a nezávislý na povětrnostních podmínkách. Mechanické kotvení dělíme na přímé a nepřímé (obrázek 9 a 10).

V případě přímého kotvení je okraj fólie přichycen k nosnému podkladu bodově pomocí přítlačných talířů a kotevních prvků. Kotevní prvky znázorněné na obrázku 11 (šrouby, hmoždinky nebo zatloukací hřeby) jsou poté pokryty další vrstvou fólie. Ve více namáhaných místech se fólie kromě kotvení na okraji přichycují ještě uprostřed či ve třetině fóliového pásu a opět se překryjí fóliovým pásem.

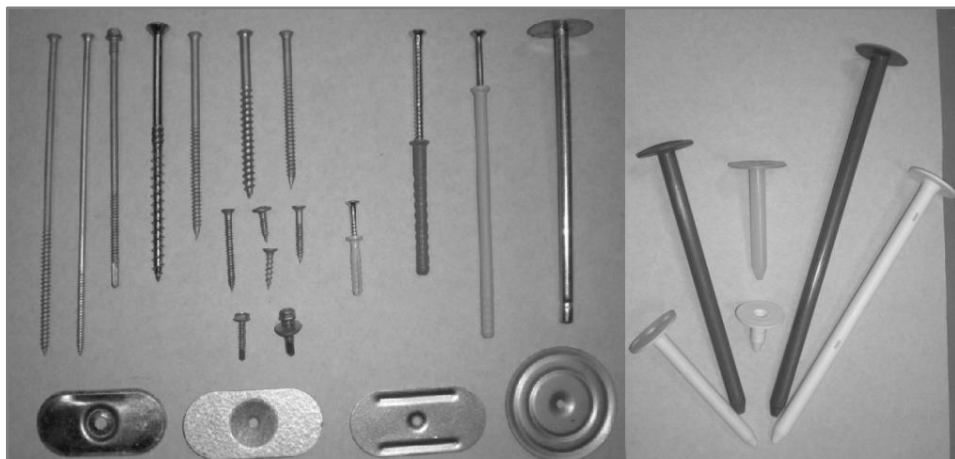


Obrázek 9: Přímé kotvení hydroizolační fólie mPVC [1]

V případě nepřímého kotvení jsou mezi fólie a bodové kotvy připevněny kotevní lišty nebo kotevní fóliové pruhy.



Obrázek 10: Nepřímé kotvení hydroizolační fólie mPVC [1]



Obrázek 11: Kotevní prvky hydroizolačních fólií [20]

## **Stálé zatížení**

Fólie je k podkladu připevněna pouze po obvodu a u prostupujících stavebních částí, jinak je volně položena. Její poloha je zajištěna trvalou stabilizační vrstvou, která je zároveň ochrannou vrstvou fólie, kterou tvoří vrstva oblázků, provozní vrstva (dlaždice, vrstva vegetace v případě zelených střech, a další) nebo funkční vrstvy střechy s obráceným pořadím vrstev. Stabilizační vrstva musí mít dostatečnou hmotnost, aby odolala účinkům sání větru v dané oblasti.

Stabilizační vrstva zajišťuje ochranu fólie proti mechanickému poškození a klimatickým jevům, její tíha ale bohužel zatěžuje nosné konstrukce střechy. Nevýhodou je také složité odhalení netěsností vzniklých během montáže.

## **Lepení**

V případě, že není vhodná žádná z předchozích metod stabilizace, využívá se lepení. Položené střešní vrstvy musí být mezi sebou pevně spojeny a připevněny k nosné vodorovné konstrukci z důvodu odolnosti proti sání větru.

Fólie používající se při lepení mají na spodní straně polyesterové nebo polypropylenové rouno, které zajišťuje lepší přilnavost lepidla.

Lepidlo se na podklad nanáší v pruzích za pomoci tzv. lepících vozíků, čímž je umožněna dilatace fólie. Vystupující svislé plochy se lepí celoplošně. Připravený podklad pro lepení je pevný, rovný, suchý a očištěný od prachu a jiných částic.

Na trhu jsou také samolepící fólie, které se kvůli vyšší ceně používají především na kupole či jiné složitější tvary střech, kde by byl jiný druh stabilizace složitý. [1]

## **Kontrola těsnosti fólií**

Po provedení izolačních prací se provádějí zkoušky těsnosti. Jakým způsobem bude zkouška provedena a počet zkoušek samotných záleží na vzájemné dohodě objednatele a dodavatele fólií.

Způsoby kontroly těsnosti fólií:

- vizuální kontrola – provádí se po délce spojů,
- kontrola zkušební jehlou,
- vakuová zkouška těsnosti spojů,
- tlaková zkouška těsnosti spojů,
- jiskrová zkouška
- zátopová zkouška. [20]

Porovnání vlastností hydroizolačních pásů je znázorněno v tabulce 4.

## 6 POROVNÁNÍ HYDROIZOLAČNÍCH PÁSŮ

Tabulka 4: Porovnání vlastností hydroizolačních pásů [13][14][15]

Vlastnosti	Asfaltové hydroizolační pásy	Hydroizolační fólie
Pokládka	v jedné vrstvě častěji 2 a více vrstev	pouze v jedné vrstvě
Tloušťka hydroizolace [mm]	tl. 4 - 5 (jednovrstvá) tl. min. 2 x 4 mm (dvouvrstvá)	tl. 1 - 2
Způsob pokládky	natavení volná pokládka s kotvením pokládka se stabilizační vrstvou samolepící za studena nalepení lepidlem	volná pokládka s kotvením pokládka se stabilizační vrstvou samolepící fólie lepení
Manipulace	pásy jsou těžší, problematické při pokládce na svislé plochy	snadná manipulace
Přenesení pohybu	nepřenáší velký pohyb podkladních vrstev hrozí tvorba trhlin	jsou průtažné některé elastické
Obtížnost detailů	pracné	velké množství doplňků poplastované klempířské prvky
Řešení detailů, spojů	spoje, přesahy i vzájemně mezi sebou se svařují	přesahy a tvorba detailů pomocí horkého vzduchu a speciálních lepidel či lepících pásků
Nároky na údržbu	nutné pravidelně kontrolovat opravovat přesahy a detaily kontrolovat povrch - může dojít k porušení asfaltové vrstvy pásu	malé nároky na držbu
Odolnost proti mechanickému poškození	větší tloušťka a počet vrstev zajišťuje větší odolnost proti poškození	malá odolnost kvůli malé tloušťce a kladení pouze v jedné vrstvě
Pečlivost při kladení	důraz na pečlivost kladení v případě netěsnosti jedné vrstvy je těsnost zajištěna vrstvou pod ní	nutnost dokonalé kladečské práce kvůli kladení v jedné vrstvě provádí se kontrola těsnosti
Snášenlivost s ostatními materiály	snášenlivost téměř se všemi materiály na střeše	některé typy fólií nesnášenlivost s asfaltem i polystyreny (př. mPVC)
Odolnost vůči UV záření	pouze s vhodnou povrchovou úpravou	odolné
Plošná hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]	4 - 6	1,5 - 3
Faktor difuzního odporu	$\mu = 10\ 000 - 60\ 000$	$\mu = 12\ 000 - 260\ 000$
Ekvivalentní difuzní tloušťka [m]	sd = cca 150 - 550	sd = cca 15 - 390

## 7 STĚRKOVÉ HYDROIZOLACE

Stěrkové hydroizolace neboli tekuté fólie vznikly již dávno před asfaltovými pásy a hydroizolačními fóliemi. Používaly se kamenouhelné dehty, později lité asfalty a asfaltové tmely, do kterých se později začaly přidávat různé druhy vložek. Dnes se používají stěrky asfaltové, akrylátové, polyuretanové a polyesterové.

Tekuté fólie se v dnešní době používají jen zřídka a to hned z několika důvodů. Nanášení několika vrstev stěrky je velmi pracné a je těžké zajistit rovnoměrné nanášení. Podklad pro tekutou fólii musí být čistý, suchý, zbavený prachu a mastnoty. Vysoké nároky jsou kladeny i na teplotu, která musí být vyšší než 5 °C a nesmí pršet jak během montáže, tak i během doby vysychání. [9]

## 8 PORUCHY A VADY POVLAKOVÝCH HYDROIZOLACÍ PLOCHÝCH STŘECH

Přestože v posledních desetiletích došlo k velkému technickému vývoji hydroizolačních systémů, setkáváme se s celou řadou vad a poruch.

Jedná se o vady vzniklé snahou výrobců o stále se snižující náklady na výrobu materiálu, ale také nesprávnou manipulací s materiálem. Poruchy vznikají nesprávným návrhem, kdy se realizace často provádí pouze na základě projektu ke stavebnímu povolení, kde není dostatek informací o hydroizolacích, o absenci detailů nemluvě, ale také volbou nevhodných materiálů či chybným prováděním při realizaci samotné.

Zásady vedoucí k omezení či úplné eliminaci poruch:

- vysoká podrobnost navrhovaného technického a materiálového řešení,
- použití kvalitních hydroizolací vč. jejich systémových prvků, které sníží riziko vzniku poruch nedokonalostí izolatérů,
- zajištění kvalitní izolační firmy, která je schopna na místě dořešit nejasnosti v projektu,
- zajistit nezávislou kontrolu při realizaci stavebním dozorem.

### 8.1 PORUCHY A VADY ASFALTOVÝCH PÁSŮ

Mezi poruchy a vady asfaltových pásů se řadí výrobní poruchy, poruchy způsobené klimatickými vlivy a poruchy při provádění a užívání.

#### VÝROBNÍ PORUCHY

Poruchy jsou vzniklé především snížením kvality materiálů a jejich životnosti za účelem snížení výrobní ceny.

Způsoby snižování výrobní ceny asfaltových pásů:

- snížení tloušťky hydroizolačního pásu na dolní hranici tolerance (tzn. vždy pod deklarovanou tloušťku),
- zrychlení výroby v kombinaci se snížením teploty,
- zvýšení podílu plnidel na úkor dalších složek,
- užití levnějších avšak méně stabilizovaných modifikátorů.

#### Rozdílné geometrické vlastnosti pásů

Tloušťky asfaltových pásů jsou někdy menší než dovolené tolerance, proto je před pokládkou nutné materiály náhodně zkontrolovat a nafotit.

#### Vady materiálů vzniklé nevhodným balením a skladováním

Asfaltové pásy mohou mít na povrchu příčné čáry bez posypu či s posypem zatlačeným do pásu v případě nevhodného balení do rolí (tvar role je oválný namísto

kruhového). Další poruchou může být nevhodné skladování rolí naležato, což je znázorněno na obrázku 12. [21]



Obrázek 12: Nevhodné skladování asfaltových pásů naležato [22]

#### Vady vzniklé mechanickým poškozením při výrobě

Při výrobě může dojít k poškození celistvosti a nerovnoměrnosti posypu z důvodu znečištění výrobní linky, může také vzniknout tzv. plešatění asfaltových pásů, čímž vznikají plochy bez ochrany proti UV záření. K této vadě dochází u důvodu nedostatečného nebo naopak přílišného zatlačení posypu do asfaltové hmoty přítlačným válcem. Dalším důvodem může být nevhodná teplota asfaltu, kdy do studeného asfaltu není možné posyp zakotvit dostatečně kvalitně.

Z důvodu znečištění výrobních válců, může dojít ke stržení posypu či asfaltové hmoty protáhlého tvaru, čemuž se dá předejít pravidelnou kontrolou a čištěním válců.

#### Poruchy vzniklé snižováním přímých nákladů na výrobek

Redukce nákladů lze dosáhnout snížením výrobní teploty či zvýšením podílu plniva v materiálu. Technologický problém nastává při příliš velkém podílu plniva, kdy materiál nelze dostatečně svařit.

#### Praskání asfaltových hydroizolací

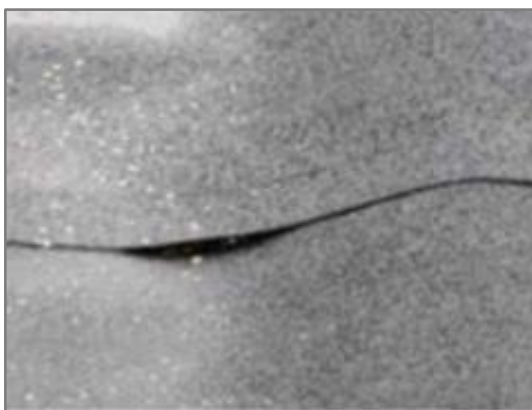
Pokud hydroizolace nemá dostatečnou odolnost proti záporným teplotám, při ohybu může docházet k jejímu praskání (obrázek 13). To je způsobeno tím, že je materiál přeplněn plnivem. Tato chyba se vyskytuje převážně u oxidovaných asfaltových pásů.



Obrázek 13: Praskání asfaltových pásů [21]

#### Vady vzniklé smršťováním hydroizolačních pásů

Dochází ke zkrácení pásů po jejich aplikaci na střešní rovinu z důvodu vnesení předpětí do materiálu během výroby a jeho vymizení po samotném navaření. Jedná se o častou poruchu, jejíž příčinou je velká výrobní rychlost. Zkracování asfaltových pásů je vidět na obrázku 14.



Obrázek 14: Zkracování asfaltových pásů [21]

#### Výskyt puchýřů

K puchýřům na horním povrchu asfaltového pásu dochází v případě, že dojde k výskytu vody ve vložce. Voda se do vložky mohla dostat během výroby či v průběhu aplikace. Převážná většina puchýřů se objeví na pásu ihned po aplikaci na střešní rovinu. Puchýře (obrázek 15) jsou nebezpečné z toho důvodu, že po vzniku puchýře vlákna vložky zasahují do exteriéru a umožňují tak vodě dostat se ke vložce.





Obrázek 15: Puchýře na povrchu pásu [21]

#### Sjíždění asfaltových pásů ze svislých ploch

Ke sjíždění asfaltových pásů dochází, pokud má materiál nedostatečnou tepelnou odolnost a více těkavějších segmentů asfaltu v izolačním materiálu. Sjíždění pásů je znázorněno na obrázku 16.



Obrázek 16: Sjíždění asfaltové hmoty [21]

#### Bahenní praskání hydroizolačních pásů

Praskání vzniká migrací těkavých částí asfaltu z izolačního materiálu společně s rozpadem SBS modifikátoru. Tento jev je nazýván „krokodýling“ (obrázek 17) a jeho urychlení může nastat v případě zhoršené UV ochrany materiálu.



Obrázek 17: Krokodýling [21]

## PORUCHY ZPŮSOBENÉ KLIMATICKÝMI VLIVY

Jedná se zejména o poruchy způsobené sáním větru a kroupami.

### Poruchy způsobené sáním větru

Při pokládce hydroizolací je kladen důraz na jejich mechanické kotvení. Současné výpočty kotvení jsou velmi důkladné, problém se týká převážně kotvicích prvků. Ty musí být odolné proti jejich vytažení buď opatřením kontrazávity nebo jakýmkoli jiným způsobem, který brání vytahování mechanického kotvení. Porucha mechanického kotvení je znázorněna na obrázku 18.



Obrázek 18: Porucha mechanického kotvení [21]

### Poruchy vzniklé kroupami

Poruchy střešních pláštíů mohou být způsobeny klimatickými jevy. Na obrázku 19 můžeme vidět kroupami poškozený hydroizolační povlak.



Obrázek 19: Poškození hydroizolačního povlaku kroupami [21]

## PORUCHY PŘI PROVÁDĚNÍ A UŽÍVÁNÍ

Jedná se o poruchy způsobené realizací nezkušeným izolatérem, jeho nedbalostí nebo nevhodným následným užíváním. Nesprávné provedení je viditelné na první pohled. Poruchy mohou být celoplošné nebo pouze lokální.

### Praskliny a deformace

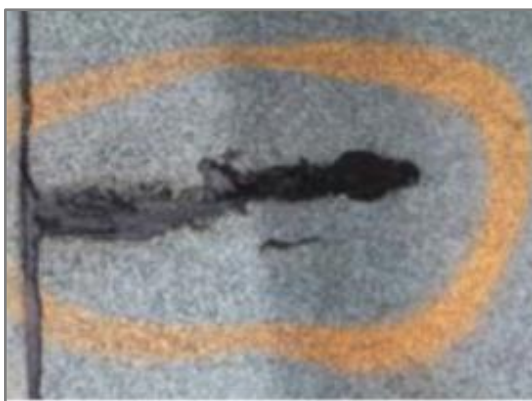
Z důvodu pohybu podkladní konstrukce může dojít k vlnění povlaku na svislých konstrukcích, kdy jsou asfaltové pásy namáhány smykem. Po dosažení maximálního namáhání, které materiál dokáže přenést, dochází k tzv. delaminaci neboli oddělení jednotlivých pásů od sebe (obrázek 20).



Obrázek 20: Vlnění hydroizolace a tzv. delaminace spojů [21]

### Mechanické poškození

Poškození hydroizolačního povlaku během provádění patří mezi nejčastější zdroje poruch. Problémem je také skladování na již hotové hydroizolaci, nedbalost stavebních firem, klempířů či geodetů, kteří si do již hotové hydroizolace fixují své přístroje. Viditelným poškozením je bodové či liniové narušení ochranného posypu. Na obrázku 21 můžeme vidět poškozený hydroizolační povlak, který byl opraven neodborným pracovníkem a došlo pouze k jeho zašpachtlování.



Obrázek 21: Mechanické poškození [21]

### Vyboulení hydroizolačního povlaku

Boulení povlaku je způsobeno vlhkostí obsaženou v podkladních vrstvách střešního souvrství z důvodu absence parozábrany a je nebezpečné především pro povlaky celoplošně navařené k podkladu. K boulení (obrázek 22) může docházet i ve spojích či přesazích, což způsobuje rozevření a vede tedy k netěsnosti hydroizolace.



Obrázek 22: Boulení [23]

### Poruchy vzniklé špatným svařováním

Pásky je nutné řezat dostatečně rovně a klást je v přesné návaznosti. Dostatečné svaření asfaltového pásu poznáme tak, že je ochranný posyp zatlačený do asfaltu. Nedostatečně svařený asfaltový pás je znázorněn na obrázku 23. [21]



Obrázek 23: Nedostatečně svařený asfaltový pás [23]

#### Nedostatečná kontrola střešního pláště

Po realizaci je nutná pravidelná kontrola stavu hydroizolace minimálně jednou ročně, dále kontrola rizikových částí střechy jako jsou střešní vpusti, žlaby apod. Zanedbání kontroly střešního pláště je vidět na obrázku 24.



Obrázek 24: Zanedbání kontroly střešního pláště [23]

#### Problémy s odvedením vody

Problémy s odvedením vody ze střešní roviny vznikají v případě, že plocha střešní roviny nesplňuje minimální sklon 3 %. Dalším důvodem může být zajištěný nedostatečně objemný odtok vody, ta se na střeše hromadí a tvoří kaluže, které jsou příčinou zatékání. Problém stojící vody je možné vidět na obrázku 25. Římsy a atiky se provádí se sklonem 5 %.





Obrázek 25: Problém stojící vody [23]

## 8.2 PORUCHY A VADY FÓLIOVÝCH HYDROIZOLACÍ

U fólií obsahujících změkčovadla je problémem zajištění jejich dostatečné životnosti z důvodu migrace daných změkčovadel a také prudkým zhoršením jejich vlastností. Fólie bez změkčovadel se vyznačují dobrou odolností proti UV záření, jsou ale dražší a složitější na zpracování samotné.

### VÝROBNÍ PORUCHY

Jedná se o poruchy fólií z důvodu snižování výrobní ceny, jako je tomu u asfaltových pásů viz 8.1 „Způsoby snižování výrobní ceny asfaltových pásů“.

Z geometrických vlastností se jedná zejména o menší délku, šířku, ale především tloušťku fólie. Dochází také k nevhodnému řezání výztužné vložky (tzv. přežvýkání), nevhodnému balení či skladování. Fólie mohou být poškozeny z důvodu špatného seřízení a čištění výrobní linky nebo nedostatečné kontroly a údržby výrobního zařízení. Poškození tohoto druhu znázorňuje obrázek 26. V tomto případě může dojít ke vzniku otisků ve fólii z důvodu výskytu zbytků izolační hmoty a oslabení tím tloušťky fólie.



Obrázek 26: Poškození fólie v průběhu výroby [21]

## Praskání fóliových hydroizolací z důvodu migrace změkčovadel

Z důvodu migrace změkčovadel ubývá hmota z izolační fólie, dochází ke vzniku napětí a fólie praská (obrázek 27). Praskliny se rozšiřují na místa s dalším úbytkem hmoty.



Obrázek 27: Praskání z důvodu migrace změkčovadel [21]

## Delaminace

Jedná se o poruchu, kdy dochází k oddělení jednotlivých vrstev hydroizolačního povlaku (obrázek 28). Důvodem je nižší teplota, menší stlačení během výrobního procesu, vadná vložka nebo špatná receptura materiálu, kdy dochází ke snižování soudržnosti jednotlivých vrstev fólie.



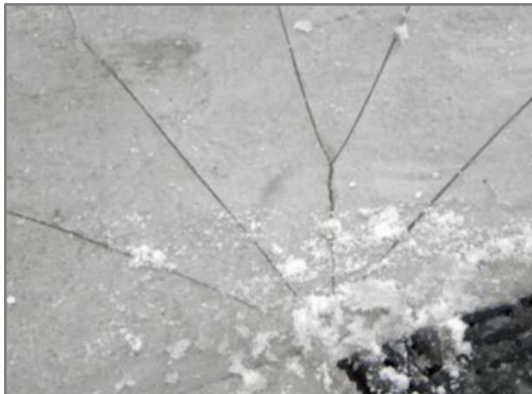
Obrázek 28: Delaminace fólie [21]

## PORUCHY ZPŮSOBENÉ KLIMATICKÝMI VLIVY

Střešní hydroizolace bývá vystavena klimatickým vlivům, způsobujícím jejich poruchy. Jedná se zejména o kroupy nebo mrazové trhliny. Při nedostatečném mechanickém kotvení může při extrémních klimatických podmínkách, jako je např. extrémní sání větru, docházet k totální destrukci hydroizolačního povlaku.

## Mrazové trhliny

Ty vznikají v případě velmi nízkých teplot bez přítomnosti sněhu a za současného foukání větru. Dochází k pohybu fólie a tím k jejímu praskání. Mrazové trhliny znázorňuje obrázek 29.



Obrázek 29: Mrazové trhliny [21]

## PORUCHY PŘI PROVÁDĚNÍ A UŽÍVÁNÍ

### Poškození při provádění izolací či při následných stavebních pracích

K poškození při pokládce hydroizolace nebo při dalších stavebních pracích dochází velmi často. Jedná se o proříznutí či proražení fólie nějakým předmětem (obrázek 30). Toto nebezpečné poškození je způsobeno nezodpovědností izolatérů a klempířů, ale také absencí či nedostatečnou svědomitostí stavebního dozoru.



Obrázek 30: Poškození neopatrností pracovníků [21]

### Poškození při údržbě

Jedná se o nejčastější příčinu poruchy. Příkladem je například neopatrné odklizení sněhu ze střešní roviny (obrázek 31), kdy dochází k tvorbě rýh až postupně k roztržení fólie, a to především ve spojích.





Obrázek 31: Poškození při odklizení sněhu [21]

#### Nevhodné provádění hydroizolačního povlaku

U pokládky hydroizolačních pásů je nutné dodržovat technologické postupy, zajistit dostatečné přesahy a mechanické kotvení a zajistit tak dokonale vodotěsnou vrstvu. Vlnění povlaku z důvodu absence kotvení znázorňuje obrázek 32.



Obrázek 32: Vlnění povlaku z důvodu absence kotvení [21]

Dále se může jednat například o poruchy z důvodu neodborného svařování či poruchy v konstrukčních detailech, které jsou také častými příčinami poruch.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

### 9 PŘÍPRAVA SAD ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

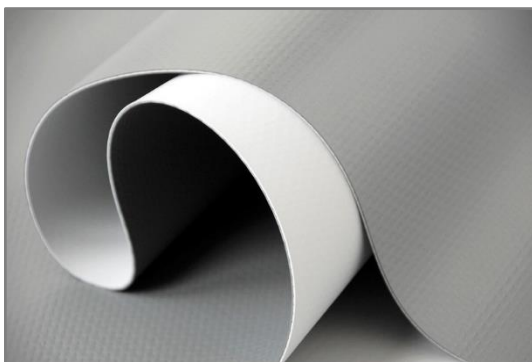
Základem celého experimentu jsou dvě střešní hydroizolační fólie pro mechanicky kotvené střechy. První z nich je fólie DEKPLAN 76 S vyrobená z měkčeného PVC (PVC-P) o tloušťce 1,5 mm vyztužená polyesterovou tkaninou. Druhou fólií je syntetická střešní hydroizolační fólie MAPEPLAN T M z pružného polyolefinu TPO/FPO o tloušťce 1,5 mm vyztužená polyesterovou síťovinou.

Při prvních zkouškách se bohužel ukázalo, že fólie typu MAPEPLAN T M z pružného polyolefinu nebude pro experiment vhodná, neboť při trhlině jakéhokoli druhu se fólie poškozují v upínacích čelistech trhačích zařízení.

Vzorky z fólie MAPEPLAN T M byly ze zkoumání vyřazeny a experiment byl zaměřen na využití fólie DEKPLAN 76 S z měkčeného PVC (PVC-P), kterou je možno vidět na obrázku 33.

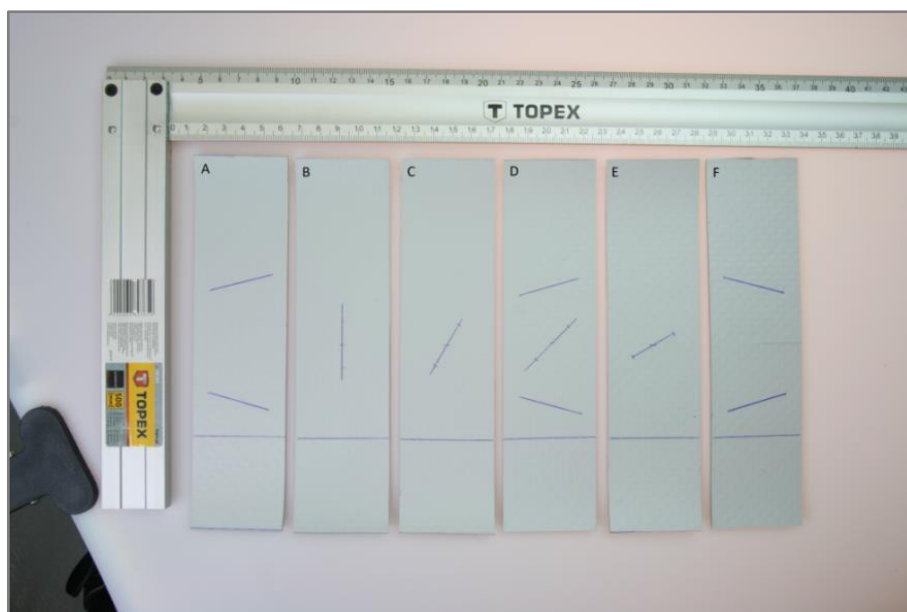
#### Sady zkušebních vzorků

K provedení experimentu byly připraveny tři sady zkušebních vzorků po 36 vzorcích z fólie DEKPLAN 76 S, celkem tedy 108 vzorků. První sada vzorků byla zkoumána při pokojové teplotě  $+22^{\circ}\text{C}$  (sada označena RT = room temperature), druhá sada při teplotě  $-25^{\circ}\text{C}$  (sada označena M25) a poslední sada vzorků při teplotě  $+65^{\circ}\text{C}$  (sada označena hodnotou teploty, tedy číslem 65).



Obrázek 33:Fólie DEKPLAN 76 S [24]

Každá ze tří sad zkušebních vzorků pak obsahovala šest druhů vzorků dle typu jejich trhliny a od každého typu bylo vytvořeno právě šest vzorků. Typy trhlin jsou vidět na obrázku 34.



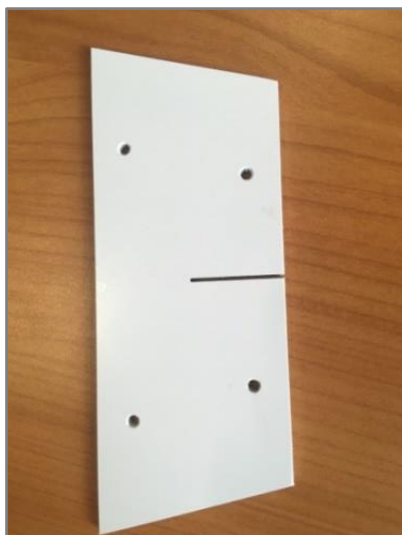
Obrázek 34: Zkoumané druhy trhlin

#### Druhy vzorků podle typu jejich trhliny

- A. Vzorek bez trhliny,
- B. vzorek s trhlinou pod úhlem  $0^\circ$ ,
- C. vzorek s trhlinou pod úhlem  $30^\circ$ ,
- D. vzorek s trhlinou pod úhlem  $45^\circ$ ,
- E. vzorek s trhlinou pod úhlem  $60^\circ$ ,
- F. vzorek s trhlinou pod úhlem  $90^\circ$ .

#### Šablona pro vytvoření trhliny

Při experimentu bylo vycházeno z normy ČSN EN 12310-2, kde je definována šablona pro vytvoření normové trhliny pod úhlem  $90^\circ$  vůči delší hraně vzorku a s šikmým upnutím. Šablona byla pro tento experiment vyrobena z plechu o tloušťce 2 mm (obrázek 35). Oproti normě byl vzorek do čelistí trhacího stroje upnut rovnoběžně s kratší stranou vzorku.



Obrázek 35: Šablona pro vytvoření normové trhliny

#### Výroba testovacích vzorků

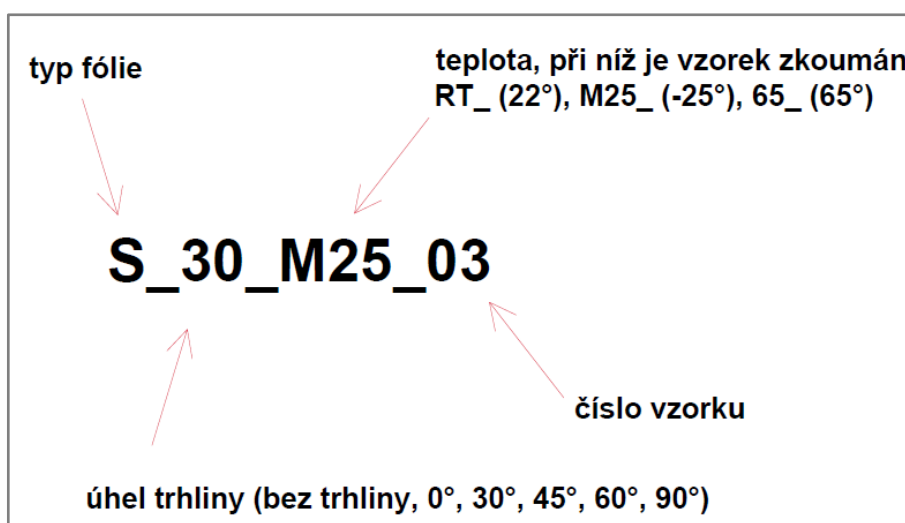
Z fólie byly vyřezány testovací vzorky o velikostech 200 x 50 mm a od spodního okraje vyznačena vzdálenost 50 mm pro uchycení čelistí trhacího přístroje do stejné polohy u všech testovaných vzorků. Po vyřezání všech 108 vzorků o potřebných rozměrech bylo možné opatrně naříznout vzorky s trhlínami. Naříznutí bylo prováděno odlamovacím nožem. Fólie byly naříznuty přes horní světle šedou vrstvu k polyesterové tkanině, ale nesmělo dojít k protržení této výztužné tkaniny. Trhlina má délku 25 mm nezávisle na jejím úhlu. Na obrázku 36 je vidět profil fólie DEKPLAN 76 S.



Obrázek 36: Profil zkoumané fólie

## Označení sad zkušebních vzorků

Každý vzorek jednotlivých sad byl náležitě označen. První písmeno značí typ fólie (v našem případě S), dále je vzorek označen úhlem, pod jakým je ve vzorku naříznuta trhlina, druhem sady a svým pořadovým číslem. Pomocí digitálního posuvného měřítka (tzv. digitální šuplery) byla změřena jeho tloušťka ve třech místech (uprostřed vzorku a v místech ramének extenzometru) a šířka s přesností na setiny milimetru. Tabulky 17-34 s geometrickými parametry jednotlivých skupin vzorků tvoří přílohu A této diplomové práce, značení vzorků je možné vidět na obrázku 37.

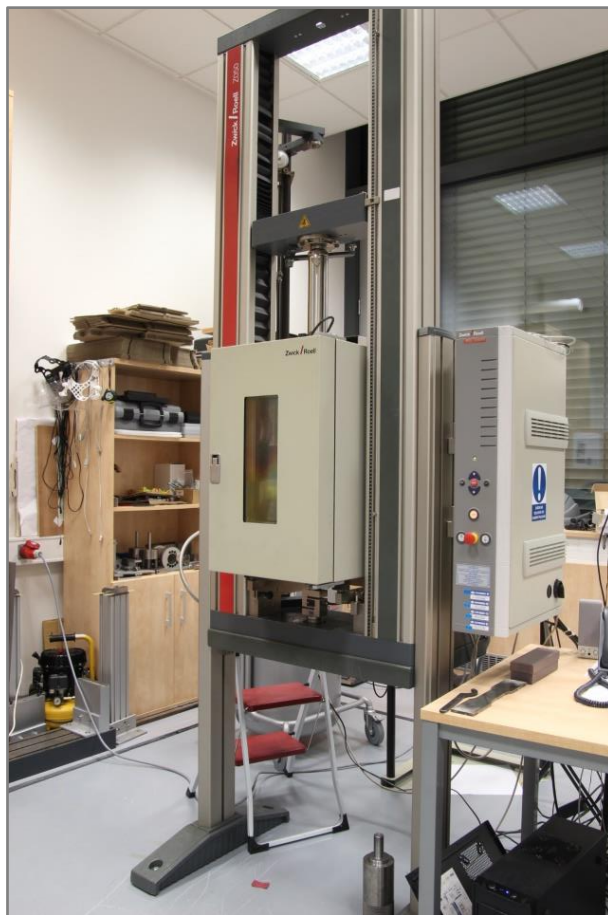


Obrázek 37: Značení vzorků

Testované vzorky sady S\_RT byly umístěny v místnosti s teplotou 22°C po dobu minimálně 24 hodin. Po dobu přibližně 1 hodiny byly vzorky umístěny ve vychlazeném prostoru na -25°C či vyhřátém prostoru na 65°C.

## 10 EXPERIMENT

Experiment byl prováděn na zařízení Zwick/Roell Z050 (obrázek 38), které je umístěno v budově „Nové technologie pro informační společnost“ (NTIS) Západočeské univerzity v Plzni. Maximální silový rozsah je 50 kN.



Obrázek 38: Trhací stroj Zwick/Roell Z050

Než bylo možné začít se samotným experimentem, bylo nutné trhací zařízení přednastavit do potřebné polohy. Délka mezi upínacími čelistmi byla nastavena na  $l_j = 100$  mm, rychlost zatěžování  $v = 10$  mm/min (rychlost posunutí příčnicku). Hodnota předpětí byla uvažována 10 N.

Experiment byl rozdělen na tři části, a to podle teploty, při níž byl experiment prováděn.

Cílem experimentu bylo nejen zjistit hodnotu pevnosti fólie v tahu a její ověření dle technického listu daného výrobcem, ale také zkoumat vliv teploty na pevnost fólie při extrémních teplotách v letních měsících (uvažováno  $+65$  °C) a v extrémních teplotách v zimních měsících (uvažováno  $-25$  °C), se kterými se v ČR můžeme setkat.

## I. ČÁST: testování při pokojové teplotě +22 °C

Vzorek ze sady S\_RT byl upevněn mezi horní a dolní upínací čelisti. Pro zajištění kvalitního upevnění a předejití prasknutí vzorků v čelistech byl mezi testovaný vzorek a upínací čelisti trhačky vložen brusný papír. Došlo k dostatečnému utážení čelistí ráčnou. Vzorek se po upnutí v čelistech vlnil, a proto byl předeprnut, poté začalo měření. Během experimentu byly ze zkušebního stroje do počítače zaznamenávány hodnoty síly  $F$  [N] a prodloužení  $\Delta l_e$  [mm] měřené jednoosým extenzometrem, které byly přepočítávány na normálové napětí  $\sigma$  [Pa] a relativní prodloužení  $\varepsilon$  [-]. Při pružné deformaci platí Hookův zákon, který říká, že normálové napětí je přímo úměrné relativnímu prodloužení

$$\sigma = E * \varepsilon \text{ [Pa]},$$

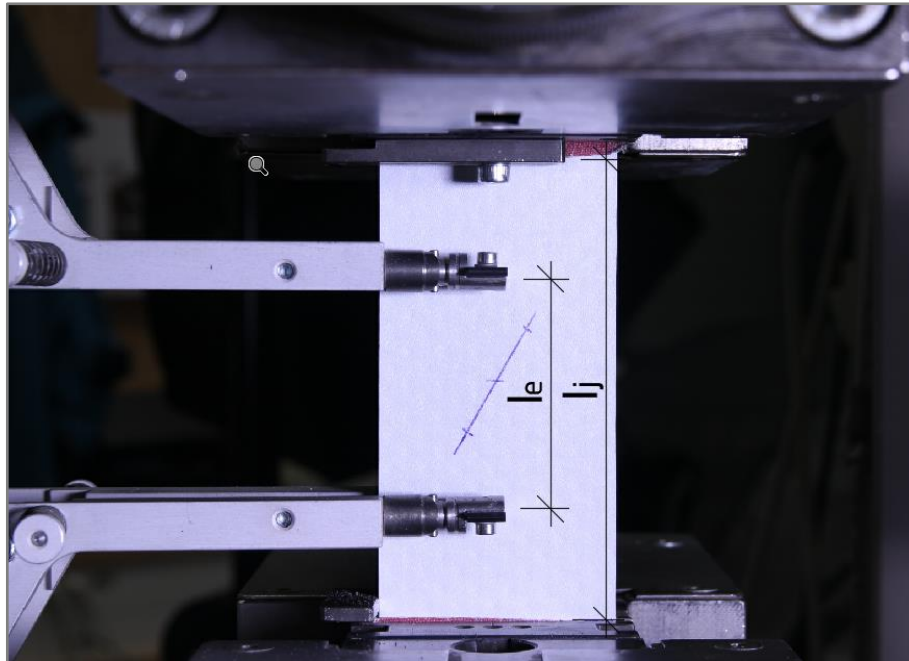
kde  $E$  je youngův modul pružnosti (modul pružnosti v tahu). Napětí při namáhání v tahu je vypočteno

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [Pa]},$$

kde  $F$  je síla v tahu [N] a  $S$  je průřez tělesa kolmý na působící sílu [m<sup>2</sup>]. Relativní prodloužení popisuje deformaci materiálu

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_e}{l_e} \text{ [-]},$$

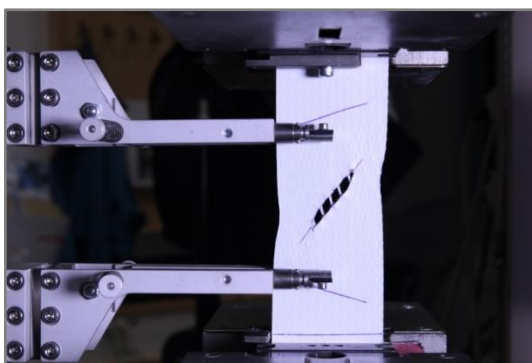
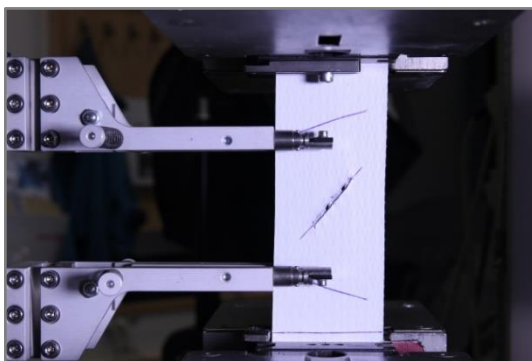
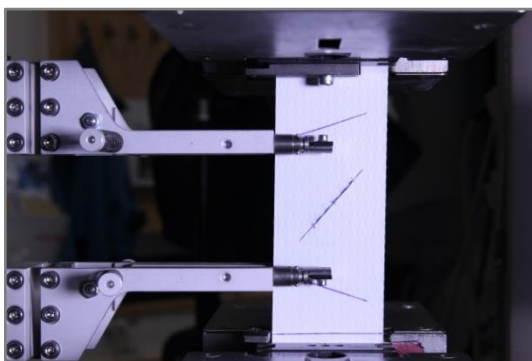
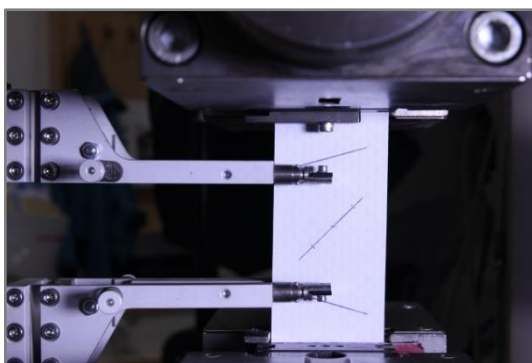
kde  $\Delta l_e$  je měřené prodloužení a  $l_e$  je výchozí vzdálenost ramen extenzometru ( $l_e = 50$  mm) viz obrázek 39.



Obrázek 39: Zkouška tahem při teplotě RT

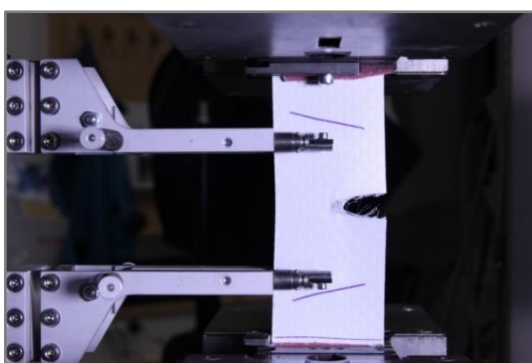
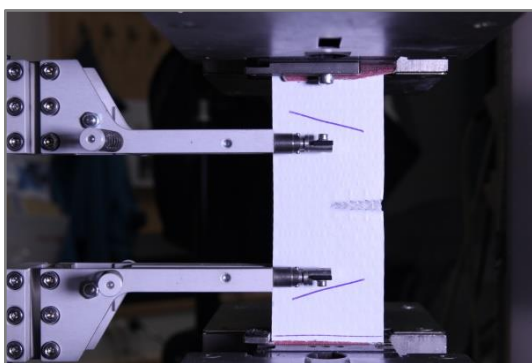
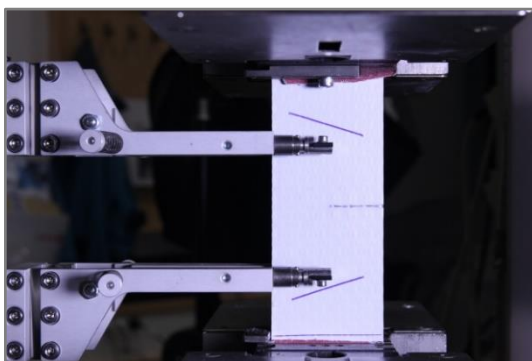
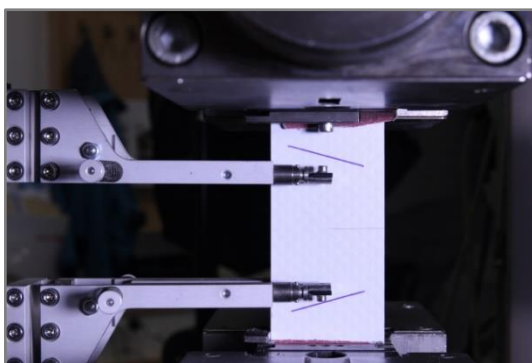
Sekvenci snímků z průběhu tahové zkoušky je možné vidět na obrázku 40 a 41.





Obrázek 40: Sekvence snímků z průběhu tahové zkoušky vzorku S\_45\_RT\_01





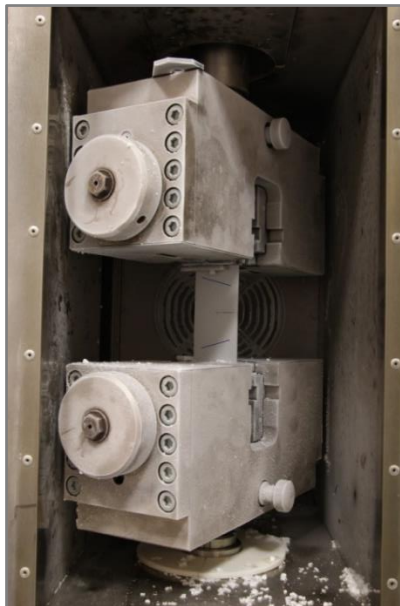
Obrázek 41: Sekvence snímků z průběhu tahové zkoušky vzorku S\_90\_RT\_01

## II. ČÁST: testování při teplotě $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Při testování druhé sady (S\_M25) byl vzorek upevněn stejným způsobem jako v předchozím případě, avšak navíc zde byla využita termokomora, na kterou byla napojena nádoba s tekutým dusíkem (obrázek 42) pro zajištění vychlazení vzorků na teplotu  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Další změnou oproti první testovací sadě bylo, že hodnoty zaznamenávané do počítače byly měřeny z posunutí příčnicku, neboť nebylo možné využití termokomory a zároveň jednoosého extenzometru. Prodloužení bylo měřeno z posunutí čelistí I<sub>j</sub>. Zkouška vzorku při teplotě M\_25 je vidět na obrázku 43.



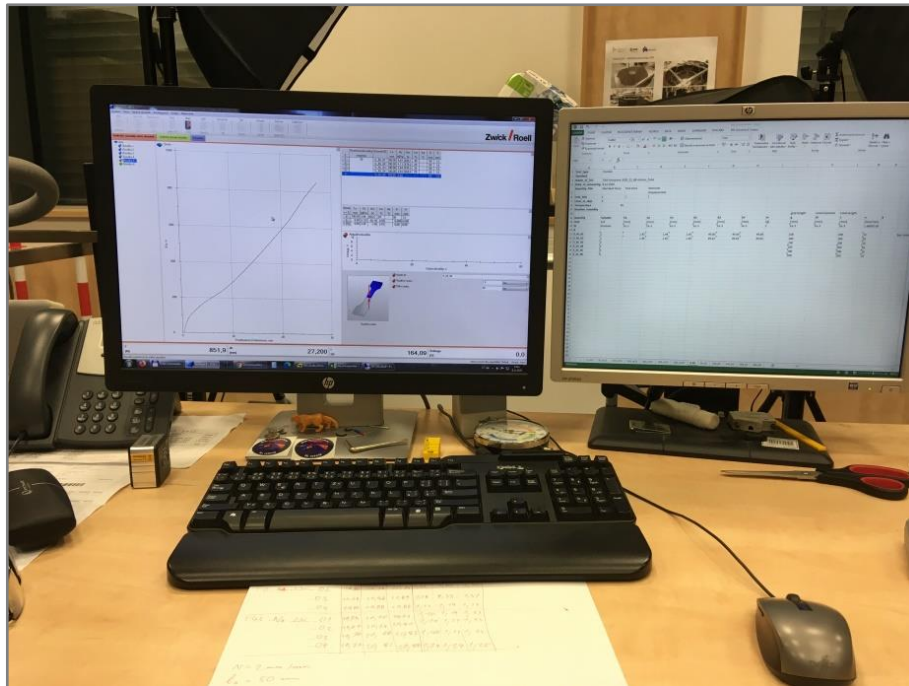
Obrázek 42: Nádoba s tekutým dusíkem



Obrázek 43: Zkouška tahem při teplotě M\_25

### III. ČÁST: tetování při teplotě +65°C

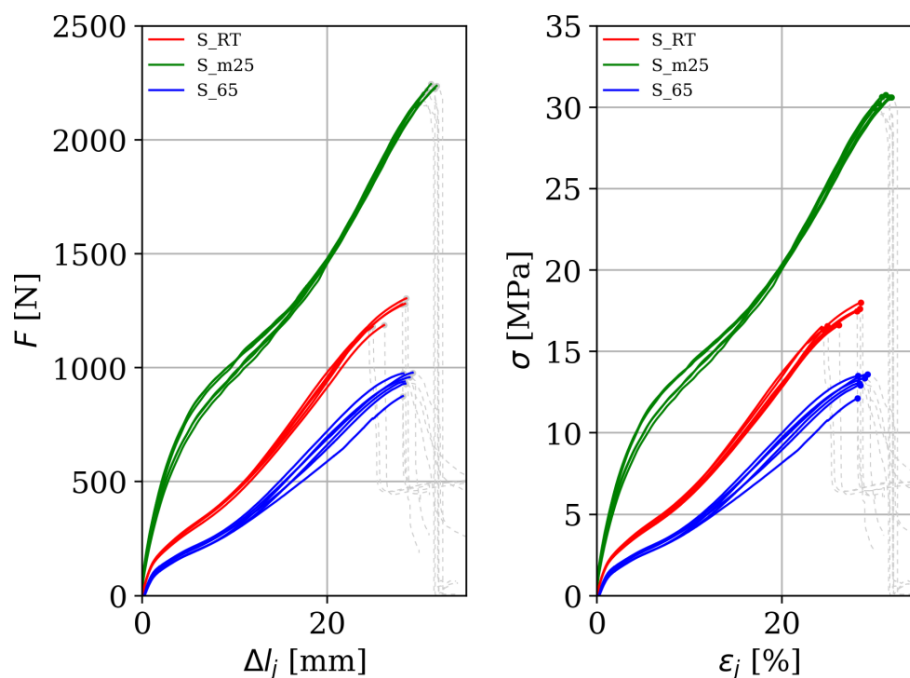
Třetí vzorkovací sada (S\_65) byla vystavena „extrémní teplotě“ +65°C. Pro zajištění vysokých teplot byla využita tatáž termokomora. Zaznamenávané hodnoty byly měřeny z posunutí přičníku. Na obrázku 44 je vidět zaznamenávání hodnot do počítače.



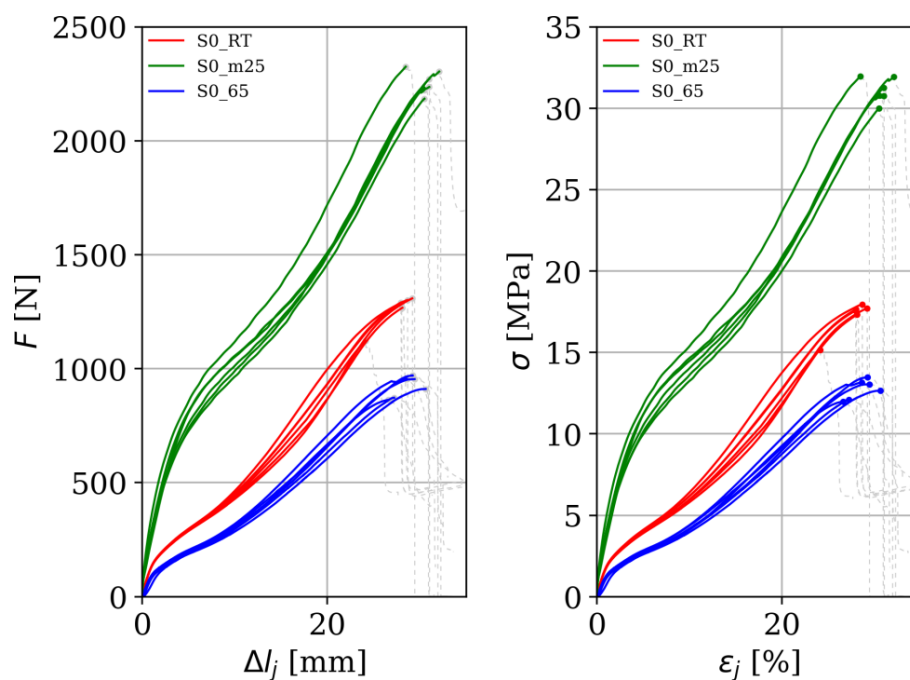
Obrázek 44: Zaznamenávání hodnot do počítače

## 11 VÝSLEDKY Z EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

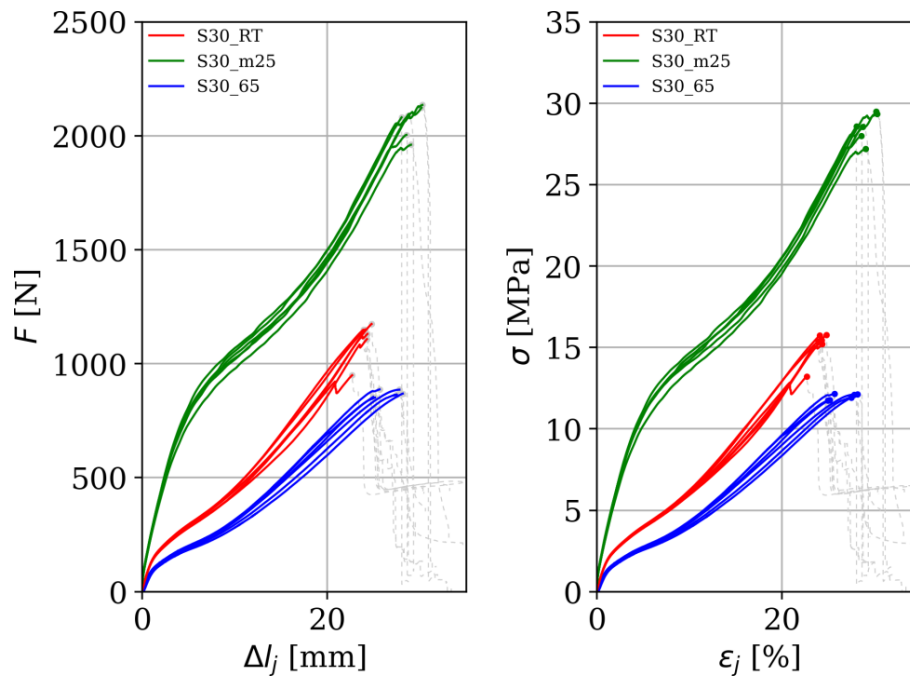
Z experimentálního měření vyplývá, že bez ohledu na druh trhliny fólie při nízké teplotě vykazuje vyšší pevnost, naopak při vyšší teplotě je pevnost fólie podstatně nižší. Vliv teploty na pevnost vzorků dle typu jejich trhliny je možné vyčíst z grafů 1-6. Grafy znázorňují závislost napětí na deformaci pomocí smluvních diagramů, kdy napětí vztahujeme ke klidovému průřezu  $A_0$ .



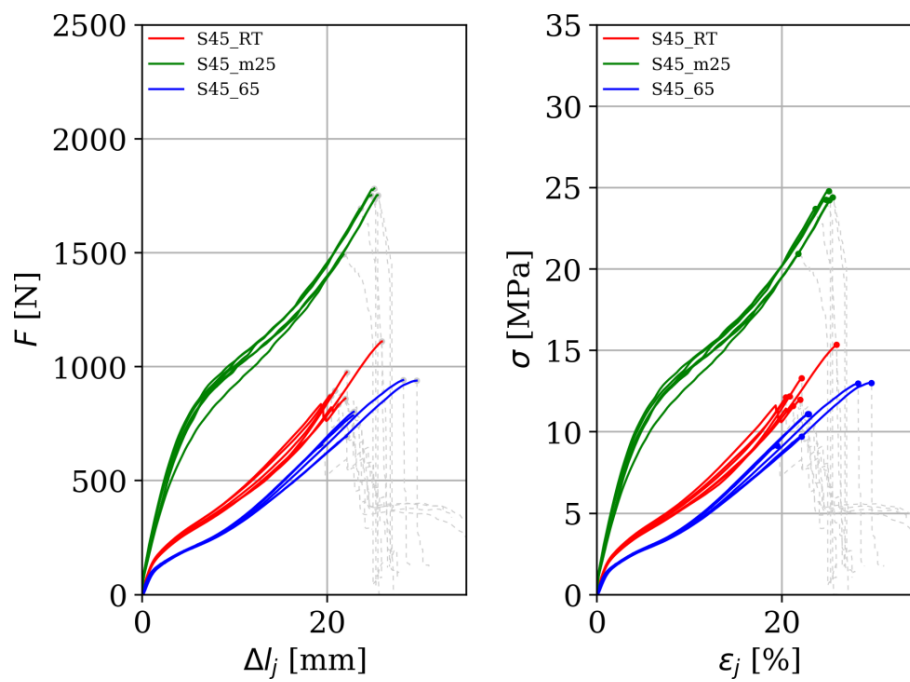
Graf 1: Smluvní diagramy – vzorky bez trhliny



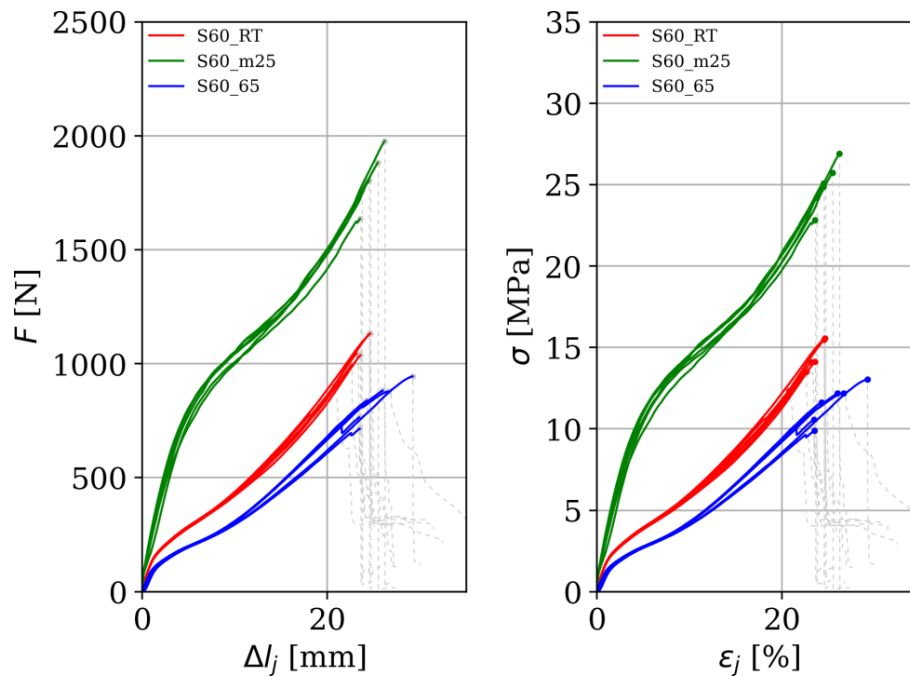
Graf 2: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem  $0^\circ$



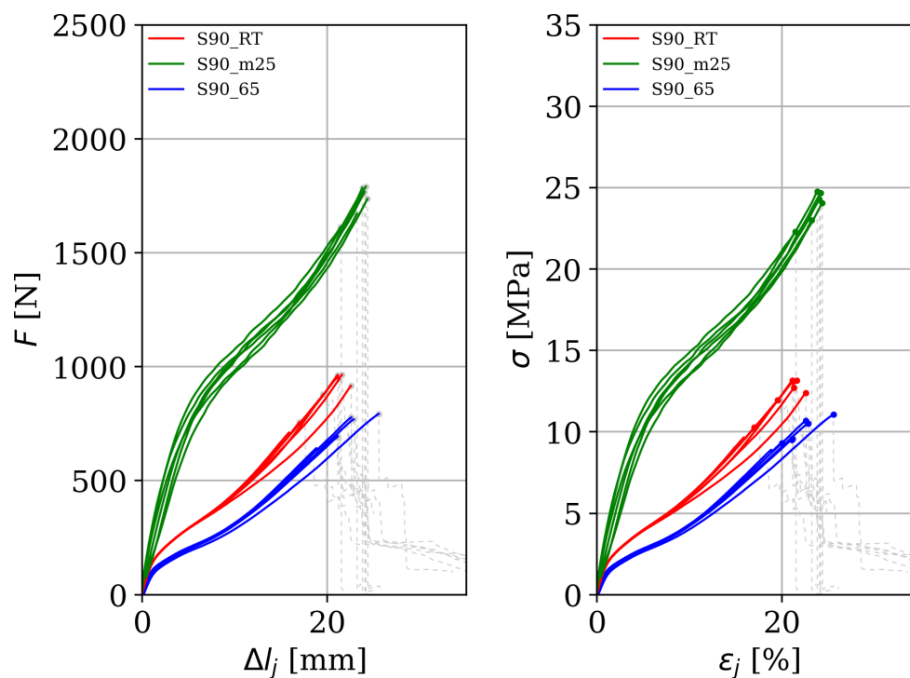
Graf 3: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem 30°



Graf 4: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem 45°

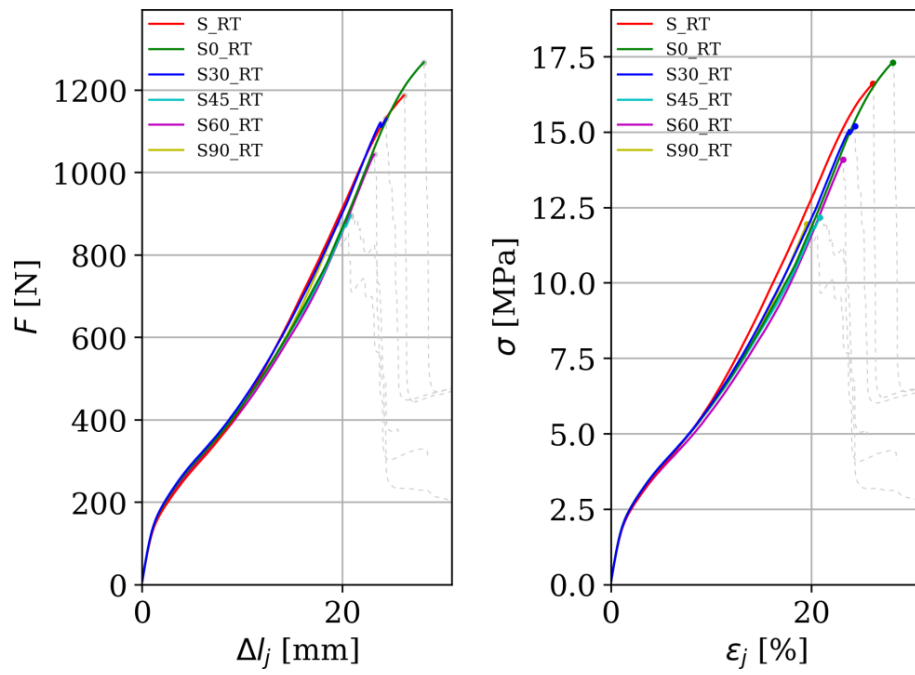


Graf 5: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem 60°

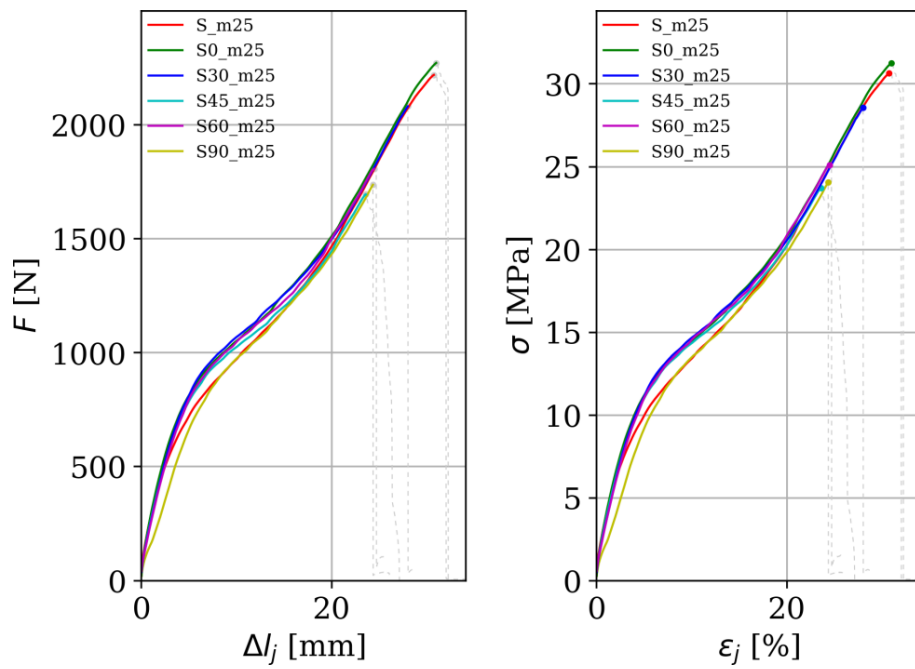


Graf 6: Smluvní diagramy - vzorky s trhlinou pod úhlem 90°

Z grafu 1 je možné vyčíst, že vzorky bez trhliny zkoumané při normální teplotě vykazují podélnou tahovou sílu > 1000 N a splňují tak deklarovanou hodnotu tahové síly udávanou v technickém listu výrobcem. Vliv druhu trhliny na pevnost vzorků při zkoumaných teplotách je možno vidět na grafu 7 - 9. Střední hodnoty pevnosti zkoumaných vzorků v závislosti na druhu trhliny jsou uvedeny v tabulce 5.

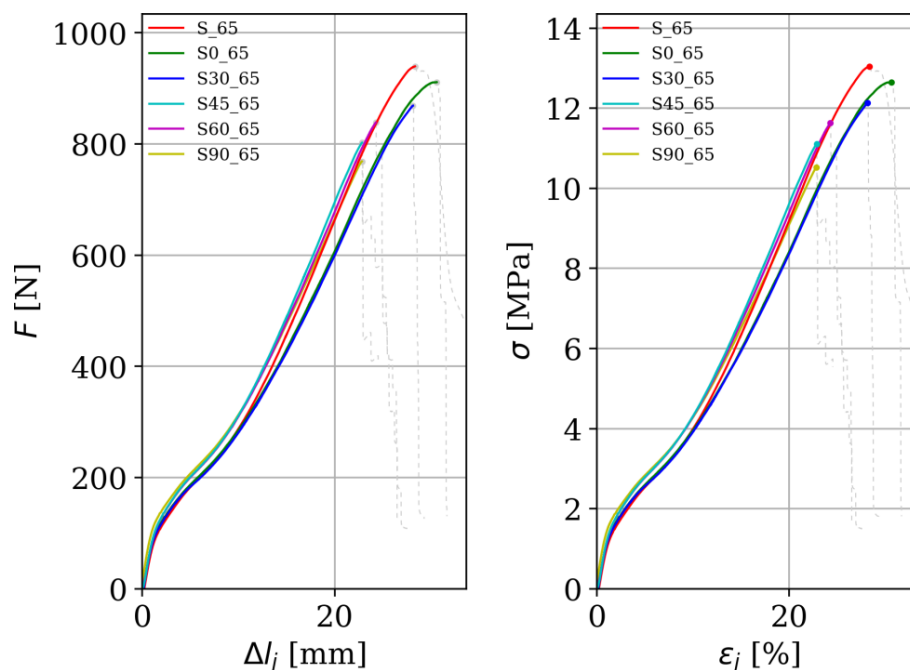


Graf 7: Smluvní diagramy pro sadu S\_RT



Graf 8: Smluvní diagramy pro sadu M\_25





Graf 9: Smluvní diagramy pro sadu S\_65

Tabulka 5: Vliv druhu trhliny na pevnost vzorků

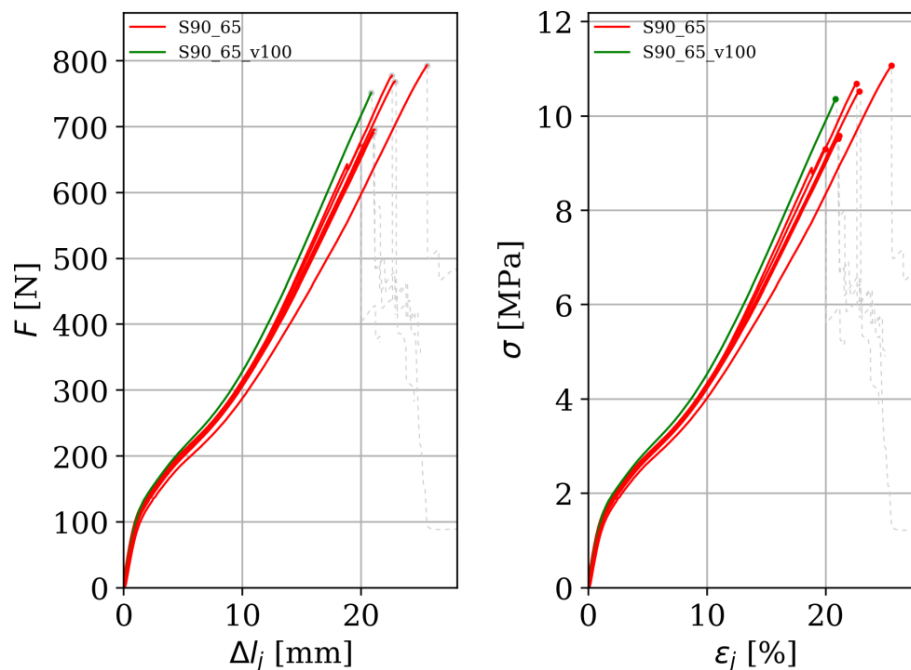
vzorek/ střední hodnota únosnosti při teplotě	RT	65
	F [N]	F[N]
S_	1233.4	942.8
S_0	1262.7	921.1
S_30	1110.3	868.8
S_45	925.1	803.4
S_60	1040.3	837.1
S_90	904.0	732.8

Z tabulky 5 je možné vyčíst, že nejvyšší, ale také srovnatelnou pevnost v tahu vykazovaly vzorky bez trhliny a vzorky s trhlinou pod úhlem  $0^\circ$ . Podélná trhlina tedy nemá vliv na výslednou pevnost. Nejnižší pevnost naopak vykazovaly vzorky s trhlinou pod úhly  $45^\circ$  a  $90^\circ$ . Při pokojové teplotě pevnost vzorků s těmito trhlinami vykazuje dokonce o 1/4 nižší pevnost, než je tomu u vzorků bez trhliny nebo s trhlinou pod úhlem  $0^\circ$ . Maximální síly a maximální napětí jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulkách 35-52 v příloze B této diplomové práce.

Poznámka: V případě sady S\_0\_M25 je pevnost vzorků dokonce vyšší, než udává příložená tabulka naměřených hodnot, neboť všech šest testovacích vzorků vykazuje porušení v čelistech stroje.

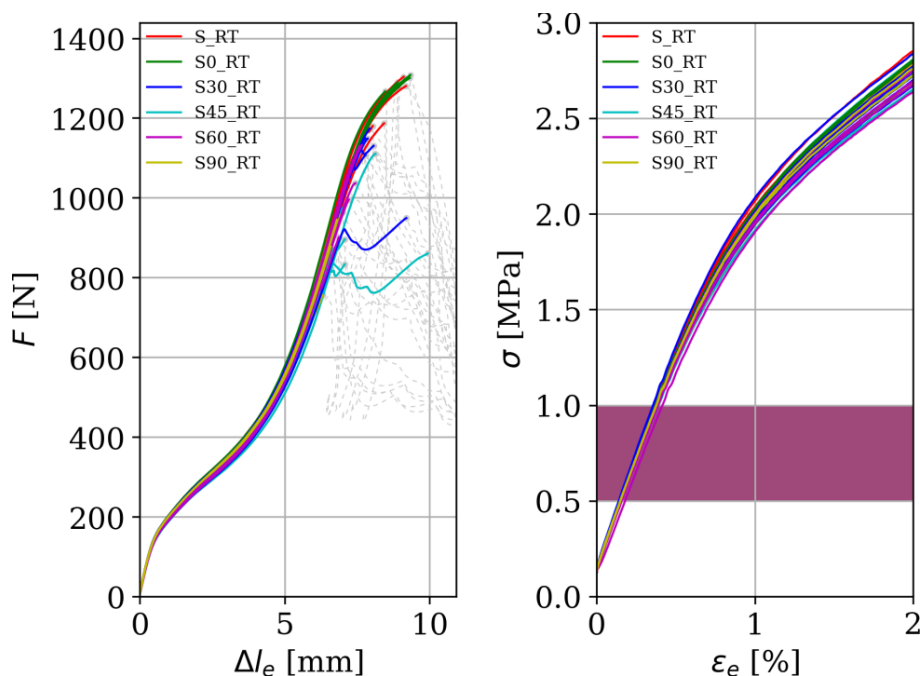
Z grafu 10 je možné vyčíst, že vliv rychlosti zatěžování na průběh deformace vzorku je minimální. Zeleně vyznačená křivka znázorňuje zatěžování vzorku desetinasobně vyšší rychlostí zatěžování  $v = 100$  mm/s. Fotodokumentace vzorků tvoří přílohu D této diplomové práce (obrázek 46 – 58).





Graf 10: Vliv rychlosti zatěžování na průběh deformace

Modul pružnosti byl vyhodnocován v počáteční lineární oblasti, což odpovídá intervalu napětí 0,5 – 1 MPa (barevně zvýrazněná oblast – graf 11) pro vzorkovací sadu S\_RT (zde bylo posunutí měřeno extenzometrem). Modul pružnosti je pro všechny úhly trhlin přibližně stejný ( $E = 0,22$  GPa) a jeho přesné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 53–58 přílohy C této diplomové práce.



Graf 11: Modul pružnosti E pro vzorky S\_RT

## 12 METODA SBRA

### Metoda SBRA (Simulation-based Reliability Assessment)

Jedná se o pravděpodobnostní metodu umožňující přímé určení pravděpodobnosti poruchy sledované konstrukce.

Metoda se opírá o poznatky mezních stavů, využívá simulační techniky, reprezentuje vstupní náhodné proměnné veličiny ohraničené histogramy a aplikuje přímou metodu Monte Carlo při analýze spolehlivostní funkce.

Konstrukce je spolehlivá, pokud platí nerovnost:

$$P_{f(i)} < P_{d(i)},$$

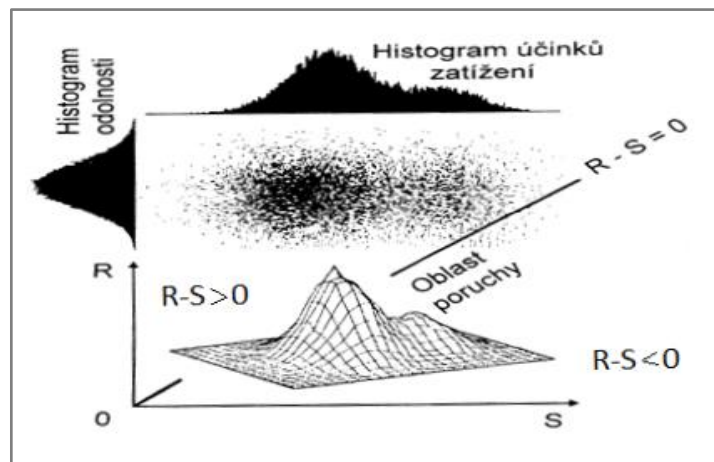
kde  $P_{f(i)}$  je pravděpodobnost vzniku poruchy a  $P_d$  je návrhová (výpočtová) pravděpodobnost stanovená normativně.

Pravděpodobnost vzniku poruchy  $P_{f(i)}$  je určena z funkce spolehlivosti (FS), např.:

$$FS = f(R - S) \text{ nebo } P_{f(i)} = R_{(i)} - S_{(i)}$$

$$P_{f(i)} = N_{porucha(i)} / N_{celkem(i)} \text{ nebo } P_{f(i)} = N_{f(i)} / N_{t(i)}$$

Na obrázku 45 je vidět schéma principu posouzení metodou SBRA, kdy na svislou osu jsou zaznamenávány hodnoty odolnosti, na osu vodorovnou účinky zatížení.



Obrázek 45: Schéma principu posouzení spolehlivosti metodou SBRA [25]

Jednotlivé body reprezentují náhodné realizace funkce spolehlivosti FS. Schéma je rozděleno přímkou „ $R - S = 0$ “ na 2 oblasti, oblast realizací vyhovujících návrhovým kritériím, pro kterou platí:  $R - S > 0$  a oblast poruchy, kdy platí  $R - S < 0$ . Pravděpodobnost poruchy je možno také určit podílem počtu realizací funkce z poruchové oblasti a celkového počtu realizací funkce spolehlivosti.

## 12.1 SIMULACE V METODĚ SBRA

Simulací je nazýván pokus neboli experiment, který není prováděn na reálné konstrukci, ale na jejím modelu. Experiment na skutečné konstrukci by byl příliš finančně či časově náročný nebo by mohlo dojít k porušení konstrukce samotné. Se simulací souvisí pojmy náhodná proměnná, teorie pravděpodobnosti či statistika.

Náhodná proměnná odpovídá jevu, události či veličině, u které není známa příčina její proměnlivosti a není možno ji tedy předvídat.

Teorie pravděpodobnosti zajišťuje pravidla pro práci s náhodnými proměnnými. Ze známých pravděpodobnostních charakteristik systému je dle této teorie možno stanovit pravděpodobnostní charakteristiky jiných souvisejících náhodných proměnných.

Statistika se užívá při pozorování jistého jevu, při práci s daty či při rozhodovacích procesech.

Při využití klasické simulační metody Monte Carlo přesnost určení pravděpodobnosti poruchy roste s počtem jejích simulačních cyklů. I při požadavku velmi malé pravděpodobnosti poruchy konstrukce je zapotřebí značného počtu simulací. Při využití této metody je klíčový optimální počet simulací pro zajištění dostatečné přesnosti odhadu pravděpodobnosti poruchy (věrohodnost výpočtu), ale také jeho efektivnosti.

### Přímá metoda Monte Carlo

V metodě SBRA se využívá simulační techniky Monte Carlo, kdy jsou náhodné proměnné vyjadřovány pomocí funkce pravděpodobnosti jako ohraničené useknuté histogramy. Pro zjištění hodnoty výsledné proměnné s požadovanou pravděpodobností či pro určení pravděpodobnosti výskytu určité proměnné je nutné provést určitý počet simulačních kroků. Těchto simulačních kroků bývá relativně velký počet.

Metoda Monte Carlo se opírá o náhodný výběr z funkce pravděpodobnosti a o Zákon velkých čísel, na jehož základě průměrná hodnota jednotlivých výběrů konverguje k hodnotě očekávané. Počet simulačních kroků se blíží k nekonečnu.

### Proces posuzování metodou SBRA

Proces je založen na filozofii mezních stavů, čemuž se dá rozumět jako určitá kritická situace, kdy návrhová proměnná přestává vyhovovat návrhovému kritériu. Do této kritické situace se může optimálně navržená konstrukce dostat s předem stanovenou pravděpodobností po celou dobu své předpokládané životnosti. Rozeznáváme 2 druhy mezních stavů. První mezní stav klade důraz na únosnost, bezpečnost a trvanlivost, druhý mezní stav na použitelnost konstrukce.

Návrhová životnost konstrukce reprezentuje časové období, ve kterém jsou splněna návrhová kritéria, a nedojde tedy k překročení reálných mezních stavů. Návrhová životnost je definována v tabulce 6.

Tabulka 6: Návrhová životnost [25]

Kategorie návrhové životnosti	Typ konstrukce (stavby)	Předpokládaná návrhová životnost $T_d$ [rok]
1	Dočasné konstrukce	10
2	Vyměnitelné části konstrukcí	10 – 25
3	Zemědělské stavby a podobné konstrukce	15 – 30
4	Konstrukce budov a jiné běžné konstrukce	50
5	Mostní a jiné inženýrské stavby	100

Norma ČSN EN 1990 zohledňuje úrovně spolehlivosti konstrukcí definováním tří základních tříd důsledků (consequences class), třídy CC1, CC2 a CC3 (tabulka 7) a k nim souvisejících tříd spolehlivosti (reliability class) RC1, RC2 a RC3 (tabulka 8). Úroveň spolehlivosti je vyjádřena přes hodnotu  $P_{fd}$ , resp. index spolehlivosti  $\beta_d$  ( $\beta_d < \beta$ ) pro referenční roky 1–50 let. [25]

Tabulka 7: Kategorizace tříd následků dle EN 1990 [25]

Třída následků	Charakteristika	Druhy budov a konstrukcí
CC1	<b>Malé následky</b> , ztráty na lidských životech, malé nebo <b>zanedbatelné</b> sociální a ekonomické a environmentální následky	Zemědělské stavby
CC2	<b>Střední následky</b> , ztráty na lidských životech, <b>značné</b> sociální a ekonomické a environmentální následky	Obytné a administrativní stavby
CC3	<b>Velké následky</b> , ztráty na lidských životech, <b>velmi vysoké</b> sociální a ekonomické a environmentální následky	Tribuny stadionů a koncertní sály

Tabulka 8: Návrhové hodnoty indexu spolehlivosti a pravděpodobnosti poruchy [25]

Třída spolehlivosti	Mezní stavy únosnosti			Mezní stavy použitelnosti		
	$\beta_d$		$P_{fd}$	$\beta_d$		$P_{fd}$
	1 rok	50 roků		1 rok	50 roků	
RC 3 (velké důsledky )	5,2	4,3	$8,4 \cdot 10^{-6}$			
<b>RC 2</b> (střední důsledky)	<b>4,7</b>	<b>3,8</b>	<b><math>7,2 \cdot 10^{-5}</math></b>	2,5	1,5	$6,7 \cdot 10^{-2}$
RC 1 (malé důsledky )	4,2	3,3	$4,8 \cdot 10^{-4}$			

## 12.2 POSUDEK SPOLEHLIVOSTI METODOU SBRA

Výsledky z experimentálního měření byly porovnány s výsledky vypočtenými pravděpodobnostní metodou SBRA. Porovnávány byly střední hodnoty vzorků druhu S\_RT a S\_90\_RT. Tahové síly vypočítané pravděpodobnostní metodou jsou označeny SRTS, pevnosti SRTP, modul pružnosti ES a všechny tyto hodnoty jsou vypsány v tabulkách 9-14. Podrobné výpočty včetně histogramů v programu Anthill pro obě sady je znázorněn na obrázcích 59-64 v příloze E.

Tabulka 9: Porovnání výsledků tahových sil vzorků S\_RT

Tahová síla zjištěná experimentálně[N]		Metoda SBRA		
		SRTS1	SRTS2	SRTS3
<b>1233,40</b>	MIN	1171,35	1171,35	1171,73
	STŘED	<b>1233,00</b>	<b>1233,00</b>	<b>1233,40</b>
	MAX	1294,65	1294,65	1295,07

Tabulka 10: Porovnání výsledků pevnosti vzorků S\_RT

Pevnost zjištěná experimentálně[MPa]		Metoda SBRA		
		SRTP1	SRTP2	SRTP3
<b>17,10</b>	MIN	16,30	16,26	16,42
	STŘED	<b>17,12</b>	<b>17,54</b>	<b>17,10</b>
	MAX	17,94	18,83	17,78

Tabulka 11: Porovnání výsledků modulu pružnosti vzorků S\_RT

Modul pružnosti zjištěn experimentálně [GPa]		Metoda SBRA
		ES
<b>0,2255</b>	MIN	0,2255
	STŘED	<b>0,2277</b>
	MAX	0,2300

Tabulka 12: Porovnání výsledků tahových sil vzorků S\_90\_RT

Tahová síla zjištěná experimentálně[N]		Metoda SBRA		
		SRTS1	SRTS2	SRTS3
<b>904,00</b>	MIN	858,17	858,17	858,80
	STŘED	<b>903,34</b>	<b>903,34</b>	<b>904,00</b>
	MAX	948,50	948,50	949,20

Tabulka 13: Porovnání výsledků pevnosti vzorků S\_90\_RT

Pevnost zjištěná experimentálně[MPa]		Metoda SBRA		
		SRTP1	SRTP2	SRTP3
<b>12,27</b>	MIN	11,71	11,69	11,78
	STŘED	<b>12,30</b>	<b>12,61</b>	<b>12,27</b>
	MAX	12,89	13,53	12,76

Tabulka 14: Porovnání výsledků modulu pružnosti vzorků S\_90\_RT

Modul pružnosti zjištěn experimentálně [GPa]		Metoda SBRA
		ES
<b>0,2206</b>	MIN	0,2206
	STŘED	<b>0,2228</b>
	MAX	0,2251

Ze srovnání obou metod výpočtu vyplývá, že hodnoty zjištěné experimentální metodou odpovídají hodnotám vypočítaným pravděpodobnostní metodou.

Pokud je známá hodnota tahové síly pro jednotlivé vzorky a průřez vzorku kolmý na působící sílu, je možno vypočítat napětí při namáhání v tahu dle vzorce výše, tedy

$$\sigma_{(i)} = \frac{F_{(i)}}{S_{(i)}} \text{ [Pa]},$$

$i = 1,2,3,4,5,6.$

Napětí pravděpodobnostní metodou je vypočítáno

$$n_{(i)} = \frac{F_{(i)} * F_{var}}{S_{(i)} * A_{var}} \text{ [Pa]},$$

$i = 1,2,3,4,5,6.$

Z porovnání hodnot napětí vypočítaných ručně a metodou SBRA je zřejmé, že  $\sigma \approx n$ , přesné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 15-16.

Tabulka 15: Porovnání výsledků normálového napětí vzorků S\_RT

Vzorek/ zkoumaná veličina	Síla F	Průřez S	Napětí $\sigma$	Napětí n (metoda SBRA)
	[N]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]
S_RT_01	1180	71,22	<b>16,57</b>	<b>16,57</b>
S_RT_02	1187	71,47	<b>16,61</b>	<b>16,61</b>
S_RT_03	1169	71,67	<b>16,31</b>	<b>16,31</b>
S_RT_04	1278	73,21	<b>17,46</b>	<b>17,46</b>
S_RT_05	1280	72,67	<b>17,61</b>	<b>17,62</b>
S_RT_06	1304	72,41	<b>18,01</b>	<b>18,01</b>
střední hodnota [N]	1233,4	72,11	<b>17,10</b>	<b>17,10</b>

Tabulka 16: Porovnání výsledků normálového napětí vzorků S\_90\_RT

Vzorek/ zkoumaná veličina	Síla F	Průřez S	Napětí $\sigma$	Napětí n (metoda SBRA)
	[N]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]
S_90_RT_01	964	71,22	<b>13,53</b>	<b>13,54</b>
S_90_RT_02	963	71,47	<b>13,47</b>	<b>13,48</b>
S_90_RT_03	756	71,67	<b>10,55</b>	<b>10,55</b>
S_90_RT_04	945	73,21	<b>12,91</b>	<b>12,91</b>
S_90_RT_05	877	72,67	<b>12,07</b>	<b>12,07</b>
S_90_RT_06	915	72,41	<b>12,64</b>	<b>12,64</b>
střední hodnota [N]	904,0	72,11	<b>12,54</b>	<b>12,53</b>

### 13 OVĚŘENÍ HYPOTÉZY

Experimentem byla potvrzena hypotéza o vlivu teploty a trhlin na pevnost a únosnost fóliových vzorků. Překvapením však bylo, že vystavením vzorků extrémně nízkým teplotám se jejich sledované materiálové charakteristiky naopak zlepšují.



## 14 ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce byla věnována seznámení se s povlakovými krytinami, jejich podrobnému členění, zařídění do základních skupin dle materiálu a z hlediska jejich konstrukce a posouzení jejich vhodnosti či nevhodnosti použití do konstrukčních systémů střešních souvrství. Přibližovala technologii provádění jednotlivých druhů povlakových hydroizolací a upozorňovala na různé druhy vad a poruch.

Experimentální část práce se zaměřovala na testování pevnosti v tahu vzorků z hydroizolačních fólií DEKPLAN 76 S vyrobené z měkčeného PVC (PVC-P) a syntetické střešní hydroizolační fólie MAPEPLAN T M z pružného polyolefinu TPO/FPO o tloušťkách 1,5 mm vyztužených polyesterovou tkaninou. Již při prvních zkouškách se bohužel ukázalo, že fólie typu MAPEPLAN T M z pružného polyolefinu nebude pro experiment vhodná, neboť již při testování za pokojových teplot se při trhlině jakéhokoli druhu fólie poškozovala v upínacích čelistech trhacího zařízení. Vzorky z této fólie byly ze zkoumání vyřazeny a experiment byl zaměřen na testování fólie DEKPLAN 76 S z měkčeného PVC.

Pro provedení experimentu bylo připraveno celkem 108 zkušebních vzorků obsahující 3 sady po 36 vzorcích. Nejprve byly zkoumány vzorky bez trhliny při pokojové teplotě (22 °C), kdy byl splněn jeden z hlavních cílů diplomové práce a bylo tedy ověřeno, že pevnost fólie v tahu splňuje deklarovanou hodnotu udávanou v technickém listu výrobcem. Poté byl experiment zaměřen na zkoumání materiálových charakteristik vzorků bez trhlin a s různě orientovanými trhlinami pod úhly 0°, 30°, 45°, 60° a 90°. U předem vychlazených vzorků v prostředí s teplotou -25 °C bylo zjištěno, že nastává křehký lom a sledované parametry (únosnost a pevnost) se bez ohledu na výskyt trhliny s klesající teplotou zlepšují. Při testování vzorků za vysokých teplot +65 °C se naopak ukázalo, že hodnoty únosnosti a pevnosti s rostoucí teplotou klesají. Z experimentu dále vyplývá, že by bylo vhodné fóliové hydroizolace v konstrukčních systémech střešních souvrství zakrýt ochrannou vrstvou (např. geotextilie + kačírek) pro zvýšení trvanlivosti výrobku.

Při věnování se chování vzorků s různě orientovanými trhlinami bylo zjištěno, že nejvyšší, ale také srovnatelnou pevnost v tahu vykazovaly vzorky bez trhliny a vzorky s trhlinou pod úhlem 0°, podélná trhlina tedy nemá vliv na výslednou pevnost. Nejnižší pevnost naopak vykazovaly vzorky s trhlinou pod úhly 45° a 90°. Bylo zjištěno, že při pokojové teplotě vzorky s těmito druhy trhlin vykazují dokonce o 1/4 nižší pevnost, než je tomu u vzorků bez trhliny nebo s trhlinou pod úhlem 0°.

V neposlední řadě byl zkoumán vliv rychlosti zatěžování na chování fóliového vzorku. Ukázalo se, že změna rychlosti zatěžování nemá na chování vzorku nijak zásadní vliv.

Hodnoty zjištěné experimentální metodou byly dále v této práci porovnány s výpočtem pravděpodobnostní metodou SBRA v programu Anthill. Z porovnání

vyplývá, že hodnoty sledovaných parametrů zjištěné experimentální metodou odpovídají hodnotám vypočteným metodou pravděpodobnosti. Rozdíl výsledků z obou metod nepřekročil 3 %.

Diplomová práce byla zaměřena na zkoumání materiálových charakteristik zkušebních vzorků při zkoušce tahem, během experimentálního měření bylo také uvažováno, jak by se zkušební vzorky chovaly při cyklickém zatěžování, což by mohlo vést k rozšíření této diplomové práce.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INTERNETOVÝCH ODKAZŮ

- [1] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka ŠILLAROVÁ. *Ploché střechy*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-71-2.
- [2] Modifikovaný asfaltový pás Elastodek 40 Special Dekor černý (role/7,5m2) - MGL eshop.cz. Prodej stavebního materiálu - poradenství - vlastní prodejny [online]. Copyright © MGL eshop.cz, všechna práva vyhrazena [cit. 13. 08. 2020]. Dostupné z: <https://www.mgleshop.cz/asfaltove-pasy/modifikovany-asfaltovy-pas-elastodek-40-special-dekor-cerny--role-7-5m2/>
- [3] Druhy asfaltů pro asfaltové pásy. VýrobkyProStavbu.cz | Materiály pro vaši stavbu [online]. Dostupné z: <https://www.vyrobkyprostavbu.cz/asfaltove-pasy-ii-druhy-asfaltu-oxidovane-modifikovane/>
- [4] Stavba online. Stavba online.cz – s námi poslavíte levněji [online]. Dostupné z: <http://www.stavbaonline.cz/modifikovane-asfaltove-pasy/>
- [5] IPA: Asfaltové pásy na střechu i do spodní stavby - Dřevostavitel.cz. Dřevostavby a bydlení | nezávislý portál Dřevostavitel [online]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/ipa-asfaltove-pasy>
- [6] Střešní krytiny - katalog střešních krytin a střešních materiálů | Krytiny-střechy.cz [online]. Dostupné z: [https://www.krytiny-strechy.cz/technicke\\_info-k-navrhovani-strech/ploche-strechy/21042-plniva-a-nosne-vlozky-asfaltovych-pasu-a.html#.X0plBsgzbIU](https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/ploche-strechy/21042-plniva-a-nosne-vlozky-asfaltovych-pasu-a.html#.X0plBsgzbIU)
- [7] Nosná vložka asfaltových pásů | Coleman.cz - materiály pro střechy a fasády. Coleman S.I. - střechy, fasády, izolace [online]. Dostupné z: <http://www.coleman.cz/nosna-vlozka-asfaltovych-pasu/>
- [8] Asfaltové pásy III: Nosná vložka asfaltových pásů | VýrobkyProStavbu.cz. VýrobkyProStavbu.cz | Materiály pro vaši stavbu [online]. Dostupné z: <https://www.vyrobkyprostavbu.cz/asfaltove-pasy-iii-nosna-vlozka-asfaltovych-pasu/>
- [9] HANZALOVÁ, Lenka a Šárka Šilarová. *Konstrukce pozemních staveb 40*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02604-3.
- [10] EVALON-Solar: Flachdachabdichtung und Photovoltaik. Baulinks - Bauportal / Baumagazin zum Planen, Bauen, Betreiben von Bauwerken im Hoch- und Tiefbau [online]. Copyright © 1997 [cit. 05. 09. 2020]. Dostupné z: <https://www.baulinks.de/webplugin/2004/1242.php4>
- [11] Elastomery a termoplastické elastomery. VýrobkyProStavbu.cz | Materiály pro vaši stavbu [online]. Dostupné z: <https://www.vyrobkyprostavbu.cz/hydroizolacni-folie-iii-elastomery-a-termoplasticke-elastomery/>

- [12] Asfaltové pásy | Chatař Chalupář. Chatař Chalupář [online]. Copyright © Časopisy pro volný čas s.r.o., Táborská 5 [cit. 06. 09. 2020]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/asfaltove-pasy/>
- [13] Dělení a funkce hydroizolačních fólií. VýrobkyProStavbu.cz | Materiály pro vaši stavbu [online]. Dostupné z: <https://www.vyrobkyprostavbu.cz/hydroizolacni-folie-i-deleni-hydroizolacnich-folii/>
- [14] CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA. Ploché střechy: Praktický průvodce. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-6635-5.
- [15] E-book hydroizolace: Průvodce materiály pro hydroizolaci plochých střech [online]. Coleman si [cit. 13. 09. 2020]. Dostupné z: <http://www.coleman.cz/jak-vybrat-hydroizolaci-spravne/#STAHNOUT>
- [16] Icopal Vedag CZ [online]. Copyright © [cit. 13. 09. 2020]. Dostupné z: [http://www.icopal.cz/~media/IcopalCZ/ke%20stazeni/OTP%20nataviteln%C3%A9%20p%C3%A1sy\\_8\\_2019.pdf](http://www.icopal.cz/~media/IcopalCZ/ke%20stazeni/OTP%20nataviteln%C3%A9%20p%C3%A1sy_8_2019.pdf)
- [17] Bitumax. [online]. Copyright © [cit. 13. 09. 2020]. Dostupné z: [http://medialib.netface.cz/.bitumax.cz/w/w/w/soubory/pdf/bitumax\\_technologie\\_pokladky.pdf](http://medialib.netface.cz/.bitumax.cz/w/w/w/soubory/pdf/bitumax_technologie_pokladky.pdf)
- [18] Mechanické kotvení dvouvstevných střešních asfaltových hydroizolací | Svaz výrobců asfaltových pásů. Svaz výrobců asfaltových pásů | Svaz výrobců asfaltových pásů [online]. Copyright © 2020 [cit. 13. 09. 2020]. Dostupné z: <https://svaz-ap.cz/content/mechanicke-kotven%C3%AD-dvouvstevnych-stresnich-asfaltovych-hydroizolaci>
- [19] SELFTENE Teraso - samolepící asfaltový izolační pás pro exteriéry. Wirplast - střešní doplňky, izolační systémy [online]. Dostupné z: <https://www.wirplast.cz/SELFTENE-TERASO-samolepici-izolacni-pas-pro-primou-pokladku-dlazby-d246.htm>
- [20] Montážní návody | Stavebniny DEK. Stavebniny DEK [online]. Copyright © 2020 DEK a.s. [cit. 20. 09. 2020]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/obsah/technicka-podpora/montazni-navody>
- [21] NOVOTNÝ, Marek. Hydroizolace plochých střech: poruchy střešních pláštěů. Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-5002-6.
- [22] Asfaltový pás BITUBITAGIT zelená 3,5mm DEHTOCHEMA střešní šindel | VirtualTrade.cz. Úvod | VirtualTrade.cz [online]. Copyright © Copyright 2017 Virtual Trade [cit. 30. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.virtualtrade.cz/20888-asfaltovy-pas-bitubitagit-zelena-3-5mm-dehtochema-stresni-sindel.html>
- [23] Ing. Ziegler, T. Střechy s povlakovou hydroizolační vrstvou. (přednáška) Plzeň FAV, 7. 12. 2018

[24] Hydroizolační fólie z PVC-P DEKPLAN 76 k mechanickému kotvení 1,5 mm, šíře 1,6 m | Stavebniny DEK. Stavebniny DEK [online]. Copyright © 2020 DEK a.s. [cit. 12. 12. 2020]. Dostupné z: [https://www.dek.cz/produkty/detail/1015102080-dekplan-76-kotveny-1-5mm-s-1-60m-seda-24m2?tab\\_id=popis](https://www.dek.cz/produkty/detail/1015102080-dekplan-76-kotveny-1-5mm-s-1-60m-seda-24m2?tab_id=popis)

[25] Ing. Petr Kessler, Ph. D. Disertační práce. Posuzování spolehlivosti konstrukcí simulační technikou. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd. Katedra mechaniky. Plzeň 2018

ČSN EN 12310-2 (727636) Hydroizolační pásy a fólie – Stanovení odolnosti proti protrhávání – Část 2: Plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech, 2019

## POUŽITÝ SOFTWARE

Microsoft Office Word 2010

Microsoft Office Excel 2010

TestXpert II.

AutoCAD 2016

Anthill

## PŘÍLOHOVÁ ČÁST

### PŘÍLOHA A: GEOMETRICKÉ PARAMETRY SKUPIN VZORKŮ

Tabulka 17: Geometrické parametry vzorků S\_RT

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>S_RT_01</b>	1.43	1.43	1.44	1.43	49.72
<b>S_RT_02</b>	1.46	1.44	1.45	1.45	49.29
<b>S_RT_03</b>	1.43	1.44	1.44	1.44	49.77
<b>S_RT_04</b>	1.45	1.45	1.47	1.46	50.23
<b>S_RT_05</b>	1.46	1.46	1.47	1.46	49.69
<b>S_RT_06</b>	1.46	1.44	1.45	1.45	49.94

Tabulka 18: Geometrické parametry vzorků S\_0\_RT

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	Tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>S_0_RT_01</b>	1.46	1.49	1.47	1.47	50.12
<b>S_0_RT_02</b>	1.46	1.47	1.47	1.47	49.90
<b>S_0_RT_03</b>	1.45	1.47	1.47	1.46	50.17
<b>S_0_RT_04</b>	1.45	1.46	1.47	1.46	49.96
<b>S_0_RT_05</b>	1.46	1.45	1.45	1.45	49.86
<b>S_0_RT_06</b>	1.46	1.49	1.49	1.48	50.01

Tabulka 19: Geometrické parametry vzorků S\_30\_RT

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>S_30_RT_01</b>	1.48	1.49	1.50	1.49	49.92
<b>S_30_RT_02</b>	1.45	1.46	1.48	1.46	49.95
<b>S_30_RT_03</b>	1.49	1.49	1.49	1.49	49.94
<b>S_30_RT_04</b>	1.49	1.49	1.49	1.49	50.17
<b>S_30_RT_05</b>	1.45	1.44	1.46	1.45	49.51
<b>S_30_RT_06</b>	1.44	1.45	1.46	1.45	49.45

Tabulka 20: Geometrické parametry vzorků S\_45\_RT

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>S_45_RT_01</b>	1.45	1.48	1.49	1.47	49.80
<b>S_45_RT_02</b>	1.45	1.45	1.46	1.45	49.51
<b>S_45_RT_03</b>	1.45	1.45	1.46	1.45	49.48
<b>S_45_RT_04</b>	1.45	1.45	1.44	1.45	49.73
<b>S_45_RT_05</b>	1.46	1.48	1.49	1.48	49.84
<b>S_45_RT_06</b>	1.44	1.45	1.45	1.45	50.02

Tabulka 21: Geometrické parametry vzorků S\_60\_RT

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>S_60_RT_01</b>	1.49	1.48	1.49	1.49	49.82
<b>S_60_RT_02</b>	1.46	1.47	1.47	1.47	50.06
<b>S_60_RT_03</b>	1.45	1.48	1.46	1.46	49.90
<b>S_60_RT_04</b>	1.44	1.46	1.47	1.46	49.93
<b>S_60_RT_05</b>	1.46	1.45	1.47	1.46	50.08
<b>S_60_RT_06</b>	1.45	1.49	1.49	1.48	49.92

Tabulka 22: Geometrické parametry vzorků S\_90\_RT

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>S_90_RT_01</b>	1.46	1.46	1.47	1.46	50.08
<b>S_90_RT_02</b>	1.46	1.47	1.45	1.46	50.16
<b>S_90_RT_03</b>	1.47	1.47	1.48	1.47	50.02
<b>S_90_RT_04</b>	1.48	1.49	1.49	1.49	50.05
<b>S_90_RT_05</b>	1.46	1.48	1.47	1.47	49.96
<b>S_90_RT_06</b>	1.47	1.49	1.49	1.48	49.85



Tabulka 23: Geometrické parametry vzorků S\_M25

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_m25_01	1.45	1.47	1.47	1.46	49.68
S_m25_02	1.45	1.49	1.45	1.46	49.93
S_m25_03	1.45	1.46	1.49	1.47	49.76
S_m25_04	1.45	1.46	1.45	1.45	50.02
S_m25_05	1.45	1.45	1.45	1.45	49.77
S_m25_06	1.44	1.45	1.46	1.45	49.94

Tabulka 24: Geometrické parametry vzorků S\_0\_M25

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_0_m25_01	1.46	1.46	1.46	1.46	49.99
S_0_m25_02	1.45	1.45	1.46	1.45	50.02
S_0_m25_03	1.44	1.45	1.45	1.45	49.90
S_0_m25_04	1.45	1.45	1.46	1.45	49.98
S_0_m25_05	1.46	1.45	1.45	1.45	50.03
S_0_m25_06	1.46	1.46	1.45	1.46	50.01

Tabulka 25: Geometrické parametry vzorků S\_30\_M25

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_30_m25_01	1.44	1.45	1.46	1.45	50.17
S_30_m25_02	1.44	1.45	1.45	1.45	49.82
S_30_m25_03	1.44	1.44	1.44	1.44	49.71
S_30_m25_04	1.45	1.44	1.45	1.45	49.76
S_30_m25_05	1.46	1.45	1.45	1.45	50.12
S_30_m25_06	1.46	1.46	1.46	1.46	50.11

Tabulka 26: Geometrické parametry vzorků S\_45\_M25

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_45_m25_01	1.43	1.44	1.43	1.43	50.06
S_45_m25_02	1.44	1.44	1.44	1.44	49.77
S_45_m25_03	1.44	1.44	1.43	1.44	49.74
S_45_m25_04	1.45	1.44	1.44	1.44	49.82
S_45_m25_05	1.44	1.45	1.45	1.45	49.92
S_45_m25_06	1.44	1.44	1.44	1.44	49.53

Tabulka 27: Geometrické parametry vzorků S\_60\_M25

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_60_m25_01	1.42	1.43	1.44	1.43	50.12
S_60_m25_02	1.44	1.45	1.44	1.44	50.41
S_60_m25_03	1.45	1.45	1.45	1.45	49.99
S_60_m25_04	1.46	1.46	1.46	1.46	50.22
S_60_m25_05	1.45	1.46	1.44	1.45	50.44
S_60_m25_06	1.45	1.45	1.43	1.44	49.95

Tabulka 28: Geometrické parametry vzorků S\_90\_M25

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_90_m25_01	1.44	1.44	1.44	1.44	50.46
S_90_m25_02	1.43	1.43	1.42	1.43	50.49
S_90_m25_03	1.46	1.46	1.45	1.46	49.50
S_90_m25_04	1.45	1.45	1.45	1.45	50.19
S_90_m25_05	1.44	1.45	1.46	1.45	50.17
S_90_m25_06	1.44	1.45	1.45	1.45	50.08

Tabulka 29: Geometrické parametry vzorků S\_65

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_65_01	1.44	1.44	1.44	1.44	50.00
S_65_02	1.44	1.45	1.44	1.44	49.81
S_65_03	1.44	1.44	1.45	1.44	49.90
S_65_04	1.44	1.45	1.45	1.45	49.63
S_65_05	1.45	1.45	1.45	1.45	49.81
S_65_06	1.44	1.45	1.45	1.45	49.95

Tabulka 30: Geometrické parametry vzorků S\_0\_65

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_0_65_01	1.44	1.45	1.45	1.45	50.17
S_0_65_02	1.44	1.45	1.44	1.44	49.91
S_0_65_03	1.44	1.45	1.44	1.44	49.98
S_0_65_04	1.43	1.45	1.45	1.44	49.90
S_0_65_05	1.44	1.45	1.45	1.45	50.57
S_0_65_06	1.45	1.46	1.45	1.45	49.55

Tabulka 31: Geometrické parametry vzorků S\_30\_65

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_30_65_01	1.46	1.45	1.45	1.45	50.17
S_30_65_02	1.46	1.46	1.44	1.45	49.76
S_30_65_03	1.43	1.44	1.44	1.44	49.86
S_30_65_04	1.46	1.46	1.45	1.46	49.96
S_30_65_05	1.45	1.46	1.46	1.46	49.76
S_30_65_06	1.46	1.47	1.46	1.46	50.01

Tabulka 32: Geometrické parametry vzorků S\_45\_65

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_45_65_01	1.45	1.45	1.45	1.45	50.00
S_45_65_02	1.44	1.45	1.45	1.45	49.85
S_45_65_03	1.43	1.44	1.45	1.44	49.75
S_45_65_04	1.43	1.44	1.44	1.44	49.67
S_45_65_05	1.43	1.44	1.44	1.44	49.25
S_45_65_06	1.44	1.45	1.45	1.45	49.93

Tabulka 33: Geometrické parametry vzorků S\_60\_65

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_60_65_01	1.43	1.44	1.44	1.44	50.29
S_60_65_02	1.45	1.44	1.45	1.45	49.95
S_60_65_03	1.44	1.45	1.45	1.45	49.82
S_60_65_04	1.45	1.44	1.44	1.44	50.17
S_60_65_05	1.45	1.46	1.44	1.45	49.93
S_60_65_06	1.45	1.45	1.45	1.45	49.67

Tabulka 34: Geometrické parametry vzorků S\_90\_65

vzorek/ rozměr	tloušťka h1	tloušťka h2	tloušťka h3	tloušťka $\bar{h}$	šířka b
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S_90_65_01	1.45	1.46	1.45	1.45	50.08
S_90_65_02	1.46	1.45	1.45	1.45	49.71
S_90_65_03	1.43	1.45	1.46	1.45	50.15
S_90_65_04	1.43	1.45	1.46	1.45	49.51
S_90_65_05	1.43	1.45	1.44	1.44	50.36
S_90_65_06	1.45	1.45	1.45	1.45	50.38

## PŘÍLOHA B: ÚNOSNOST A PEVNOST SKUPIN VZORKŮ

Tabulka 35: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_RT

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_RT_01	1180	16.6
S_RT_02	1187	16.6
S_RT_03	1169	16.4
S_RT_04	1278	17.5
S_RT_05	1280	17.6
S_RT_06	1304	18.0
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1233.4</b>	<b>17.10</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>55.2</b>	<b>0.62</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>4.5</b>	<b>3.63</b>

Tabulka 36: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_M25

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_m25_01	2225	30.6
S_m25_02	2236	30.6
S_m25_03	2244	30.8
S_m25_04	2199	30.3
S_m25_05	2162	30.0
S_m25_06	2218	30.6
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>2214.5</b>	<b>30.47</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>27.4</b>	<b>0.28</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>1.3</b>	<b>0.91</b>

Tabulka 37: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_65

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_65_01	930	12.9
S_65_02	978	13.6
S_65_03	939	13.0
S_65_04	958	13.3
S_65_05	875	12.1
S_65_06	975	13.5
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>942.8</b>	<b>13.09</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>34.8</b>	<b>0.50</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>3.7</b>	<b>3.79</b>

Tabulka 38: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_0\_RT

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_0_RT_01	1308	17.7
S_0_RT_02	1267	17.3
S_0_RT_03	1290	17.6
S_0_RT_04	1286	17.6
S_0_RT_05	1301	18.0
S_0_RT_06	1121	15.2
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1262.7</b>	<b>17.23</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>64.4</b>	<b>0.95</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>5.1</b>	<b>5.50</b>

Tabulka 39: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_0\_M25

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_0_m25_01	2303	31.9
S_0_m25_02	2324	32.0
S_0_m25_03	2222	30.8
S_0_m25_04	2271	31.3
S_0_m25_05	2235	30.8
S_0_m25_06	2184	30.0
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>2257.2</b>	<b>31.12</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>48.1</b>	<b>0.71</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>2.2</b>	<b>2.26</b>

Tabulka 40: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_0\_65

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_0_65_01	955	13.2
S_0_65_02	910	12.6
S_0_65_03	872	12.1
S_0_65_04	970	13.5
S_0_65_05	954	13.0
S_0_65_06	863	12.0
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>921.1</b>	<b>12.73</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>41.8</b>	<b>0.55</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>4.6</b>	<b>4.29</b>

Tabulka 41: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_30\_RT

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_30_RT_01	1130	15.2
S_30_RT_02	1149	15.7
S_30_RT_03	1174	15.8
S_30_RT_04	1148	15.4
S_30_RT_05	949	13.2
S_30_RT_06	1107	15.5
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1110.3</b>	<b>15.13</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>74.7</b>	<b>0.88</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>6.8</b>	<b>5.77</b>

Tabulka 42: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_30\_M25

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_30_m25_01	2135	29.3
S_30_m25_02	1960	27.2
S_30_m25_03	2004	28.0
S_30_m25_04	2122	29.5
S_30_m25_05	2080	28.6
S_30_m25_06	2088	28.5
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>2065.4</b>	<b>28.53</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>62.9</b>	<b>0.78</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>3.1</b>	<b>2.73</b>

Tabulka 43: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_30\_65

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_30_65_01	887	12.2
S_30_65_02	851	11.8
S_30_65_03	868	12.1
S_30_65_04	854	11.7
S_30_65_05	864	11.9
S_30_65_06	886	12.1
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>868.8</b>	<b>11.98</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>14.1</b>	<b>0.18</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>1.7</b>	<b>1.45</b>

Tabulka 44: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_45\_RT

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_45_RT_01	976	13.3
S_45_RT_02	872	12.1
S_45_RT_03	833	11.6
S_45_RT_04	860	12.0
S_45_RT_05	896	12.2
S_45_RT_06	1110	15.3
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>925.1</b>	<b>12.75</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>94.3</b>	<b>1.28</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>10.2</b>	<b>9.99</b>

Tabulka 45: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_45\_M25

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_45_m25_01	1752	24.4
S_45_m25_02	1735	24.2
S_45_m25_03	1694	23.7
S_45_m25_04	1782	24.8
S_45_m25_05	1752	24.3
S_45_m25_06	1493	20.9
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1701.8</b>	<b>23.72</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>97.0</b>	<b>1.29</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>5.7</b>	<b>5.43</b>

Tabulka 46: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_45\_65

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_45_65_01	941	13.0
S_45_65_02	938	13.0
S_45_65_03	657	9.2
S_45_65_04	694	9.7
S_45_65_05	786	11.1
S_45_65_06	802	11.1
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>803.4</b>	<b>11.19</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>108.9</b>	<b>1.47</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>13.6</b>	<b>13.06</b>



Tabulka 47: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_60\_RT

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_60_RT_01	1043	14.1
S_60_RT_02	1037	14.1
S_60_RT_03	901	12.3
S_60_RT_04	1132	15.6
S_60_RT_05	1130	15.5
S_60_RT_06	995	13.5
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1040.3</b>	<b>14.18</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>79.6</b>	<b>1.12</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>7.7</b>	<b>7.84</b>

Tabulka 48: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_60\_M25

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_60_m25_01	1635	22.8
S_60_m25_02	1760	24.2
S_60_m25_03	1802	24.9
S_60_m25_04	1976	26.9
S_60_m25_05	1881	25.7
S_60_m25_06	1806	25.1
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1810.6</b>	<b>24.93</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>104.9</b>	<b>1.27</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>5.8</b>	<b>5.06</b>

Tabulka 49: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_60\_65

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_60_65_01	714	9.9
S_60_65_02	764	10.6
S_60_65_03	838	11.6
S_60_65_04	944	13.0
S_60_65_05	882	12.2
S_60_65_06	878	12.2
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>837.1</b>	<b>11.59</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>77.0</b>	<b>1.07</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>9.2</b>	<b>9.15</b>

Tabulka 50: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_90\_RT

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_90_RT_01	964	13.2
S_90_RT_02	963	13.2
S_90_RT_03	756	10.3
S_90_RT_04	945	12.7
S_90_RT_05	877	12.0
S_90_RT_06	915	12.4
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>904.0</b>	<b>12.27</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>72.5</b>	<b>1.00</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>8.1</b>	<b>8.08</b>

Tabulka 51: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_90\_M25

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_90_m25_01	1790	24.7
S_90_m25_02	1785	24.8
S_90_m25_03	1736	24.1
S_90_m25_04	1766	24.3
S_90_m25_05	1670	23.0
S_90_m25_06	1614	22.3
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>1727.3</b>	<b>23.85</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>64.5</b>	<b>0.91</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>3.8</b>	<b>3.78</b>

Tabulka 52: Maximální síly a maximální napětí vzorků S\_90\_65

vzorek/ zkoumaná veličina	únosnost	pevnost
	[N]	[MPa]
S_90_65_01	777	10.7
S_90_65_02	671	9.3
S_90_65_03	695	9.6
S_90_65_04	793	11.1
S_90_65_05	690	9.5
S_90_65_06	768	10.5
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>732.8</b>	<b>10.11</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>48.1</b>	<b>0.68</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>6.6</b>	<b>6.64</b>

PŘÍLOHA C: HODNOTY MODULU PRUŽNOSTI PRO SADU S\_RT

Tabulka 53: Modul pružnosti pro vzorky bez trhliny

vzorek/ rozměr	modul pružnosti
	[GPa]
S_RT_01	0.231
S_RT_02	0.215
S_RT_03	0.228
S_RT_04	0.224
S_RT_05	0.226
S_RT_06	0.229
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>0.2255</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>0.0052</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>2.27</b>

Tabulka 54: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 0°

vzorek/ rozměr	modul pružnosti
	[GPa]
S_0_RT_01	0.221
S_0_RT_02	0.224
S_0_RT_03	0.224
S_0_RT_04	0.226
S_0_RT_05	0.226
S_0_RT_06	0.214
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>0.2225</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>0.0041</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>1.81</b>

Tabulka 55: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 30°

vzorek/ rozměr	modul pružnosti
	[GPa]
S_30_RT_01	0.219
S_30_RT_02	0.222
S_30_RT_03	0.219
S_30_RT_04	0.217
S_30_RT_05	0.216
S_30_RT_06	0.231
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>0.2206</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>0.0049</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>2.21</b>

Tabulka 56: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 45°

vzorek/ rozměr	modul pružnosti
	[GPa]
S_45_RT_01	0.224
S_45_RT_02	0.217
S_45_RT_03	0.213
S_45_RT_04	0.224
S_45_RT_05	0.220
S_45_RT_06	0.213
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>0.2187</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>0.0047</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>2.13</b>

Tabulka 57: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 60°

vzorek/ rozměr	modul pružnosti
	[GPa]
S_60_RT_01	0.215
S_60_RT_02	0.216
S_60_RT_03	0.212
S_60_RT_04	0.222
S_60_RT_05	0.222
S_60_RT_06	0.217
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>0.2174</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>0.0037</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>1.66</b>

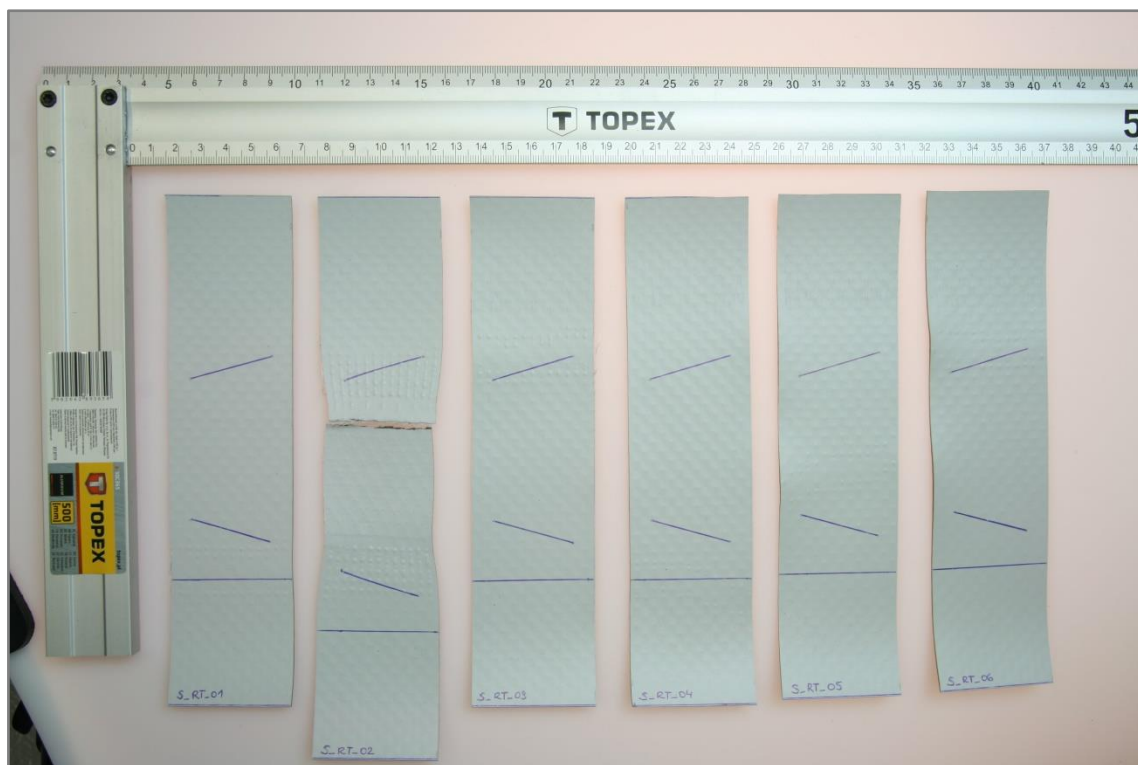
Tabulka 58: Modul pružnosti pro vzorky s trhlinou pod úhlem 90°

vzorek/ rozměr	modul pružnosti
	[GPa]
S_90_RT_01	0.222
S_90_RT_02	0.222
S_90_RT_03	0.217
S_90_RT_04	0.219
S_90_RT_05	0.220
S_90_RT_06	0.224
<b>střední hodnota [N]</b>	<b>0.2206</b>
<b>směrodatná odchylka [N]</b>	<b>0.0023</b>
<b>variační koeficient [%]</b>	<b>4.20</b>

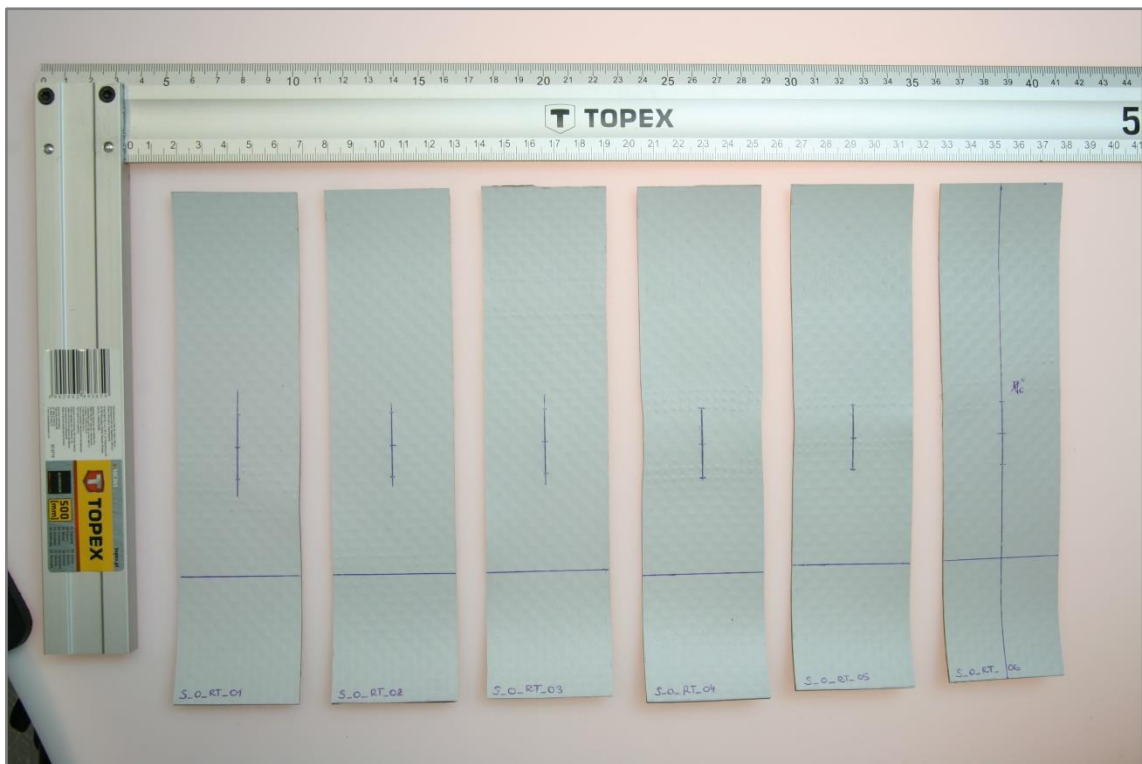
## PŘÍLOHA D: FOTODOKUMENTACE VZORKŮ



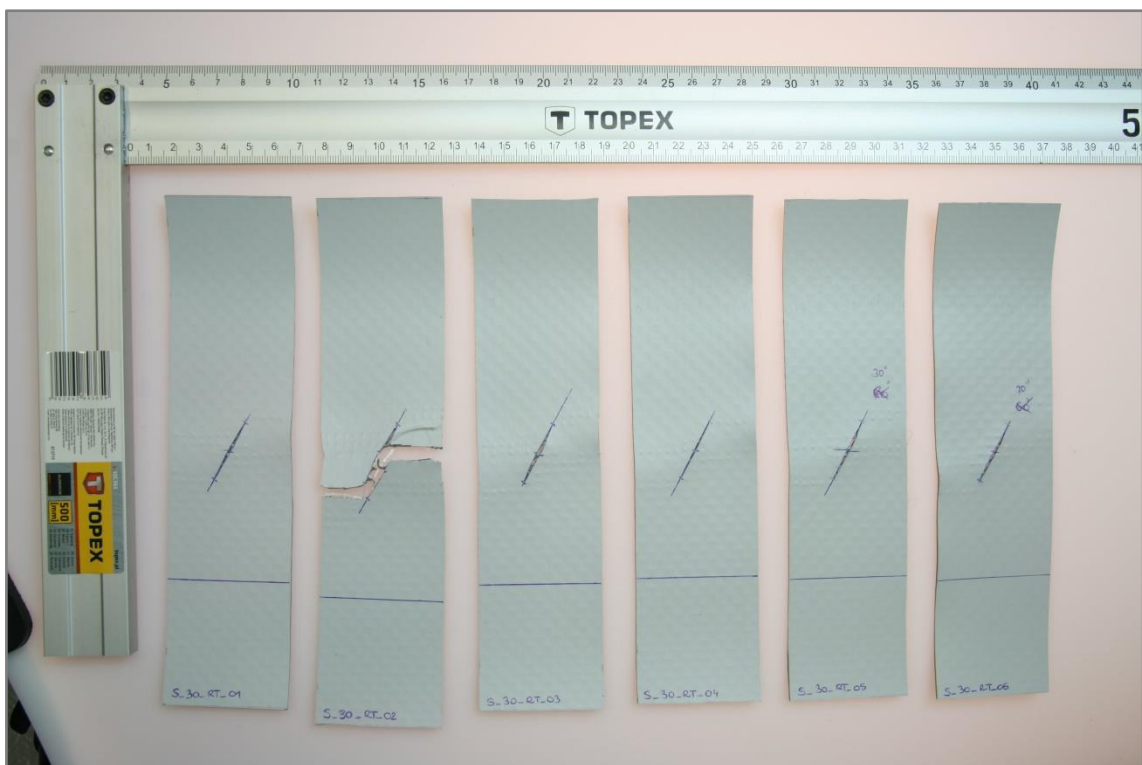
Obrázek 46: Vzorky před vykonáním tahové zkoušky



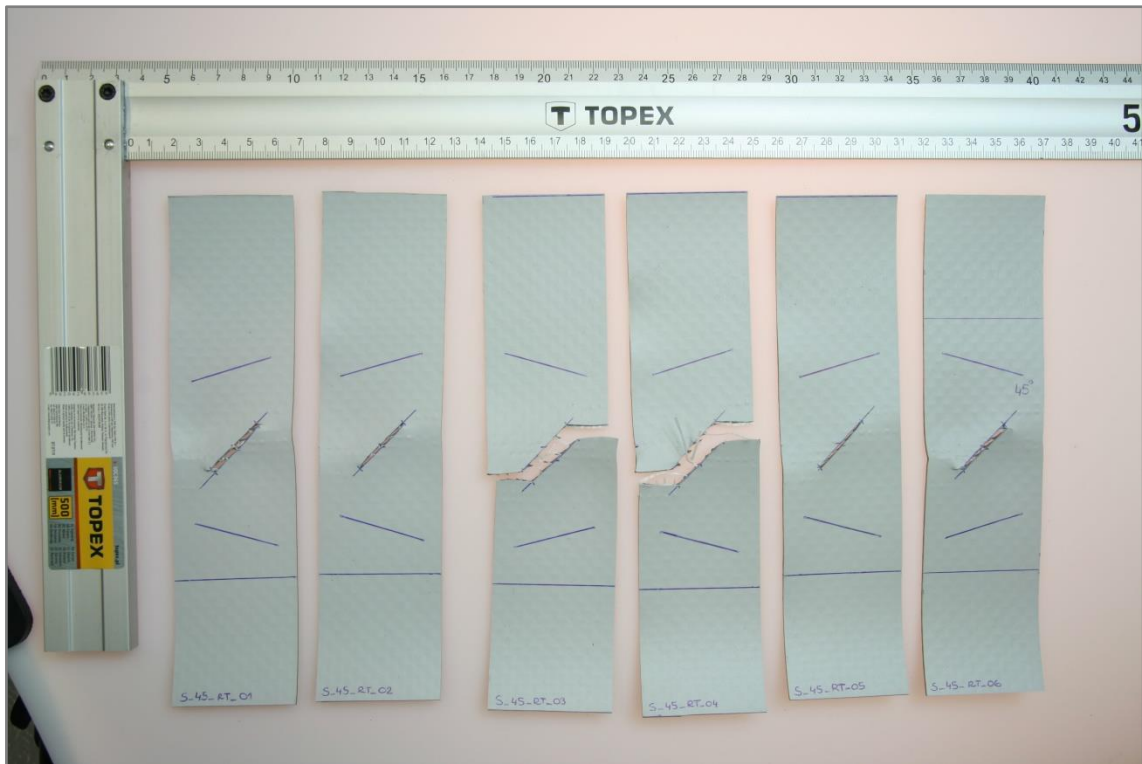
Obrázek 47: Vzorky S\_RT po vykonání tahové zkoušky



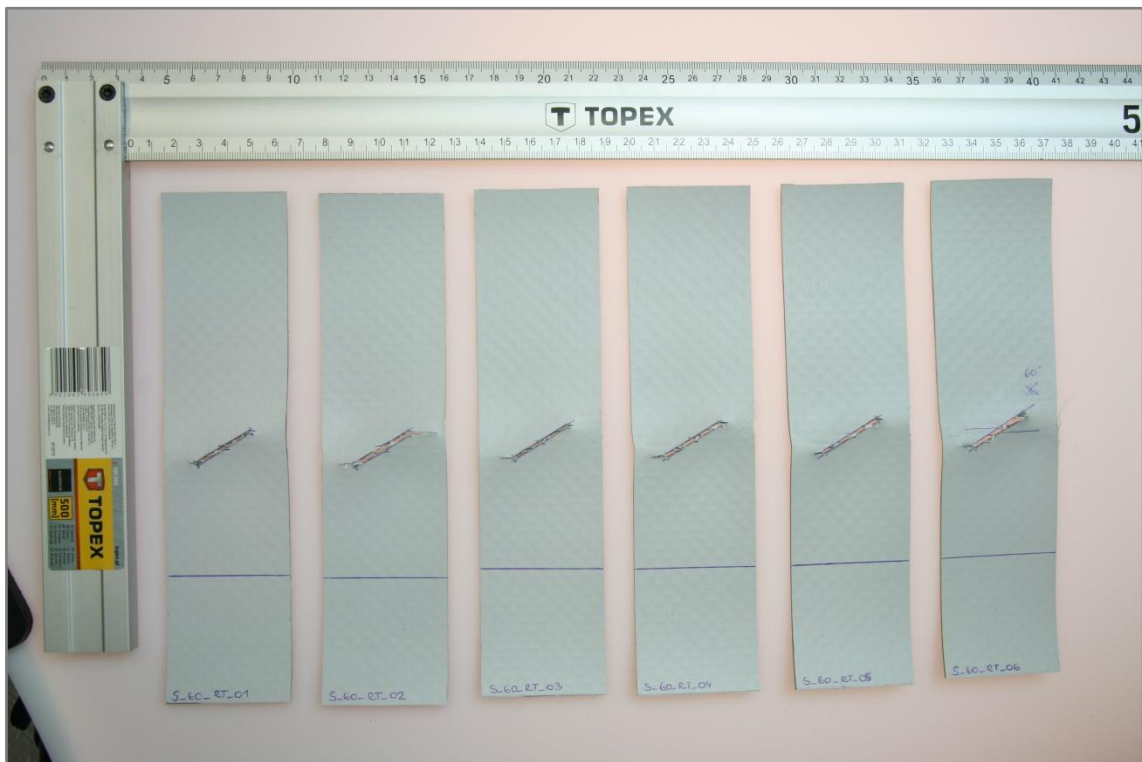
Obrázek 48: Vzorky S\_0\_RT po vykonání tahové zkoušky



Obrázek 49: Vzorky S\_30\_RT po vykonání tahové zkoušky



Obrázek 50: Vzorky S\_45\_RT po vykonání tahové zkoušky

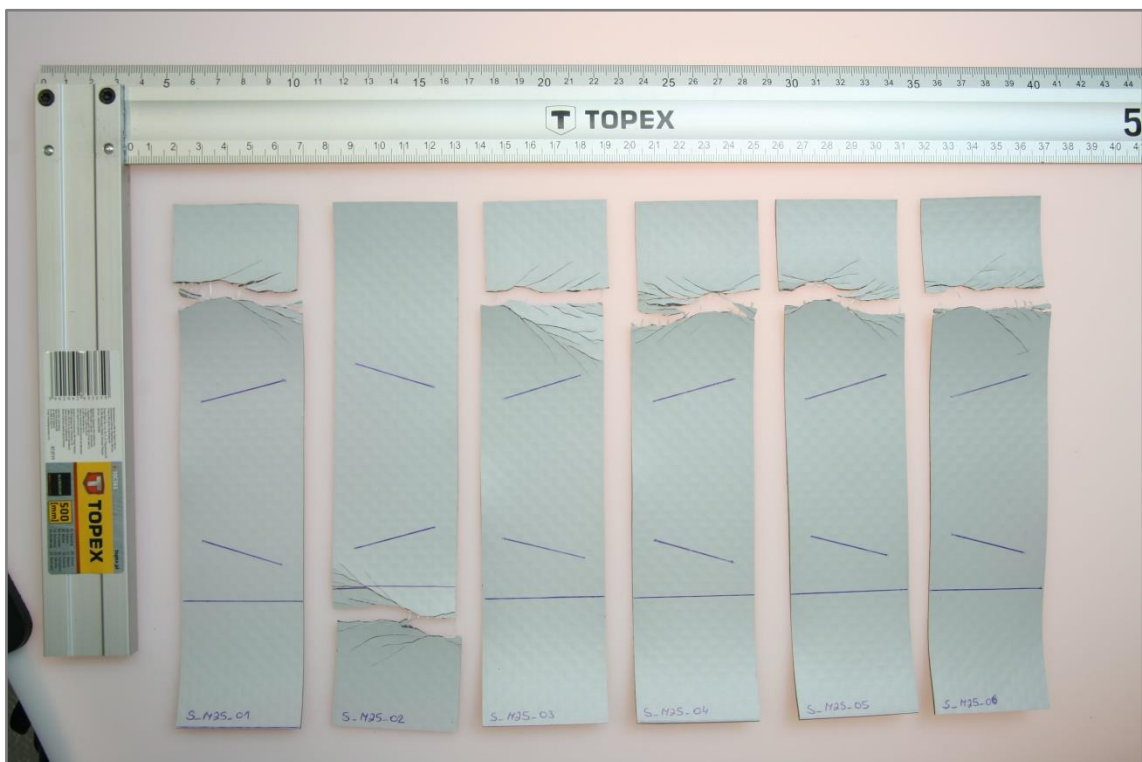


Obrázek 51: Vzorky S\_60\_RT po vykonání tahové zkoušky



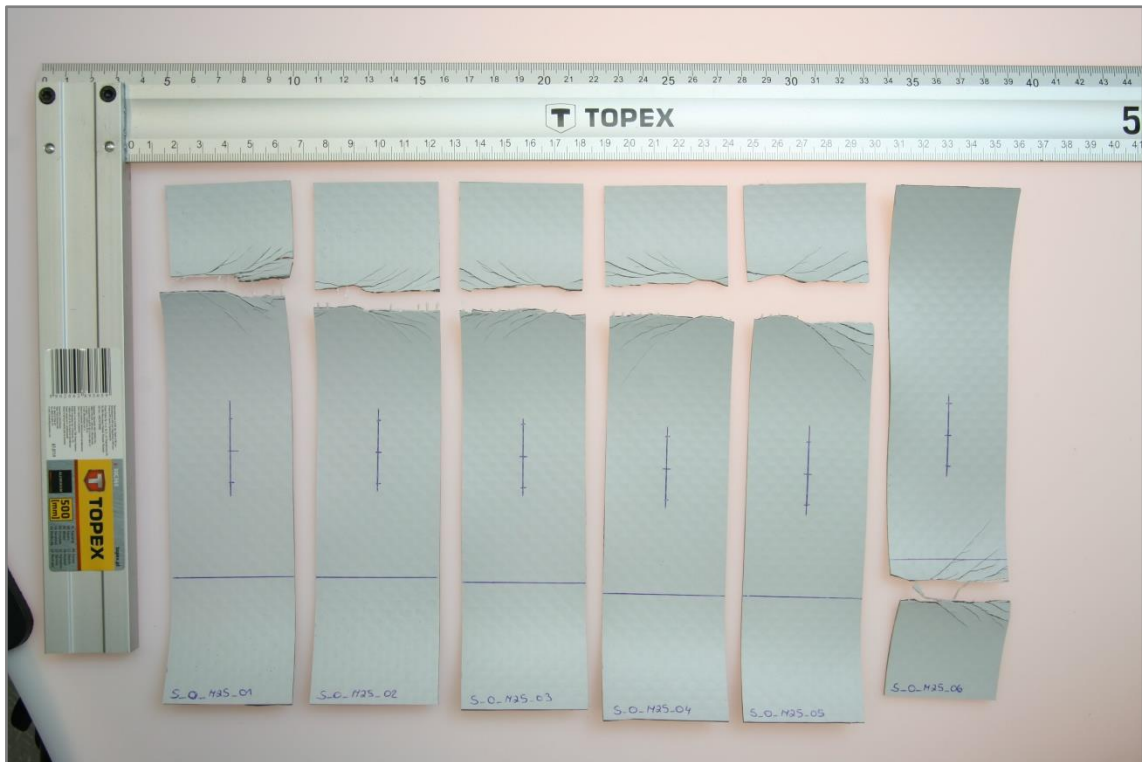


Obrázek 52: Vzorky S\_90\_RT po vykonání tahové zkoušky



Obrázek 53: Vzorky S\_M25 po vykonání tahové zkoušky





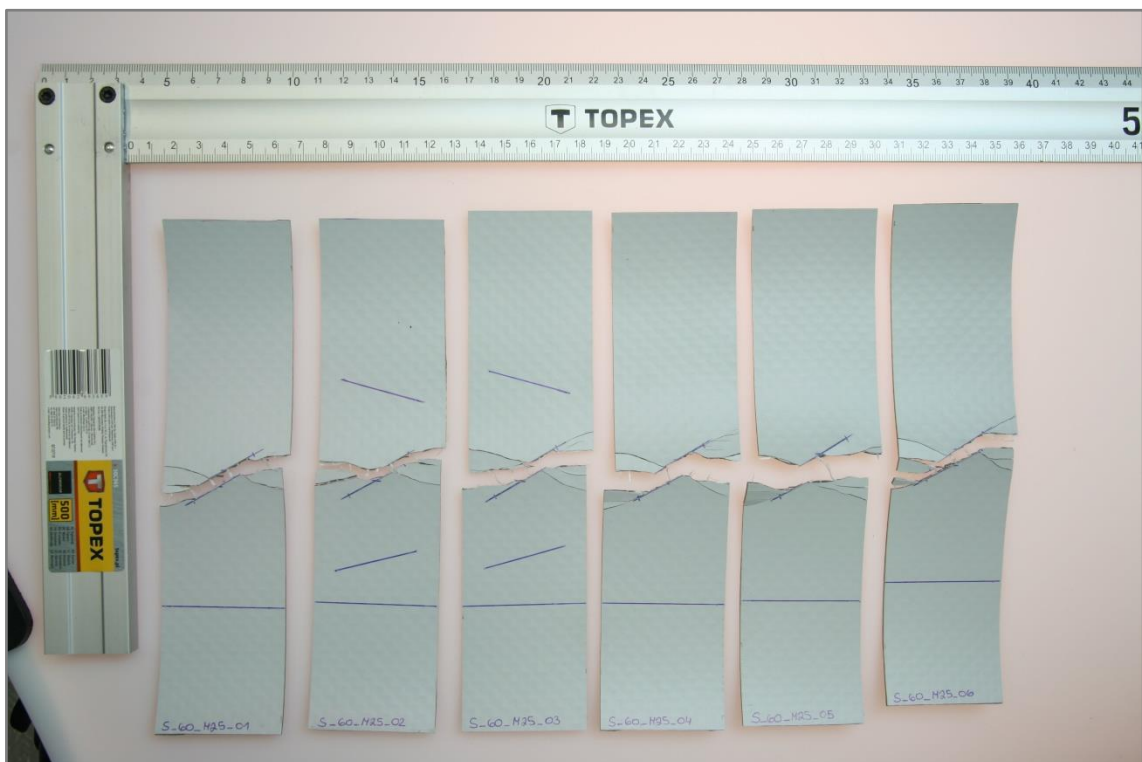
Obrázek 54: Vzorčky S\_0\_M25 po vykonání tahové zkoušky



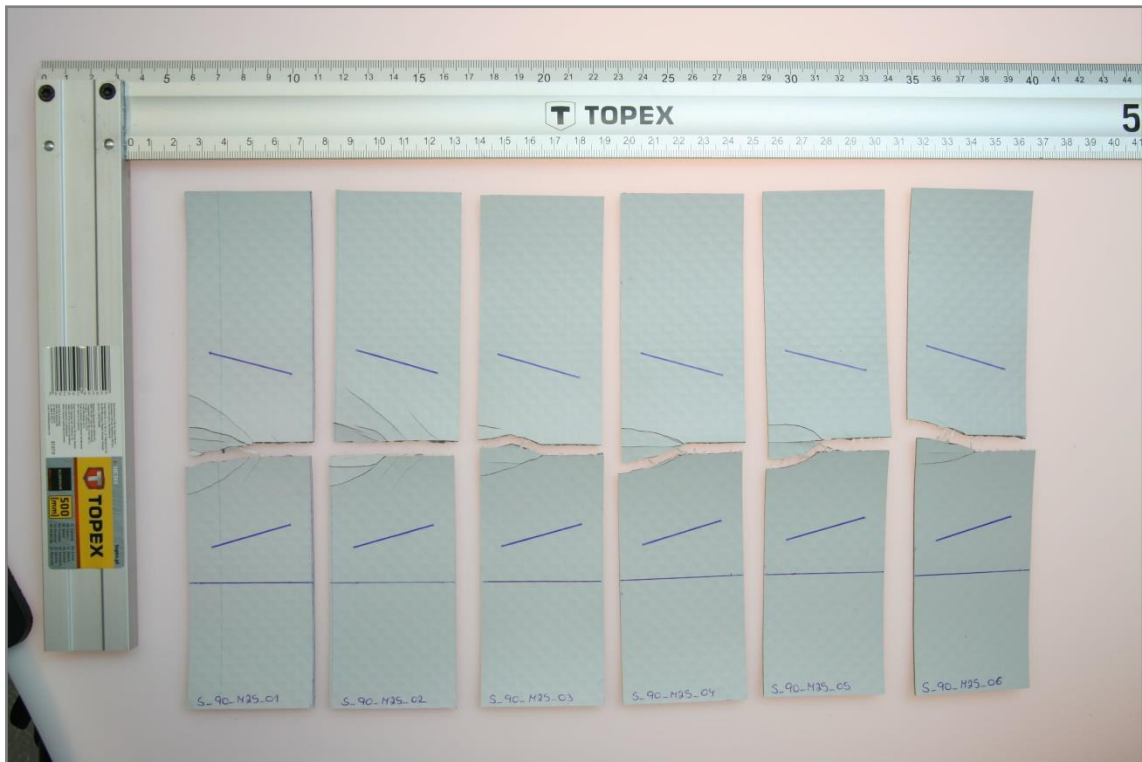
Obrázek 55: Vzorčky S\_30\_M25 po vykonání tahové zkoušky



Obrázek 56: Vzorčky S\_45\_M25 po vykonání tahové zkoušky

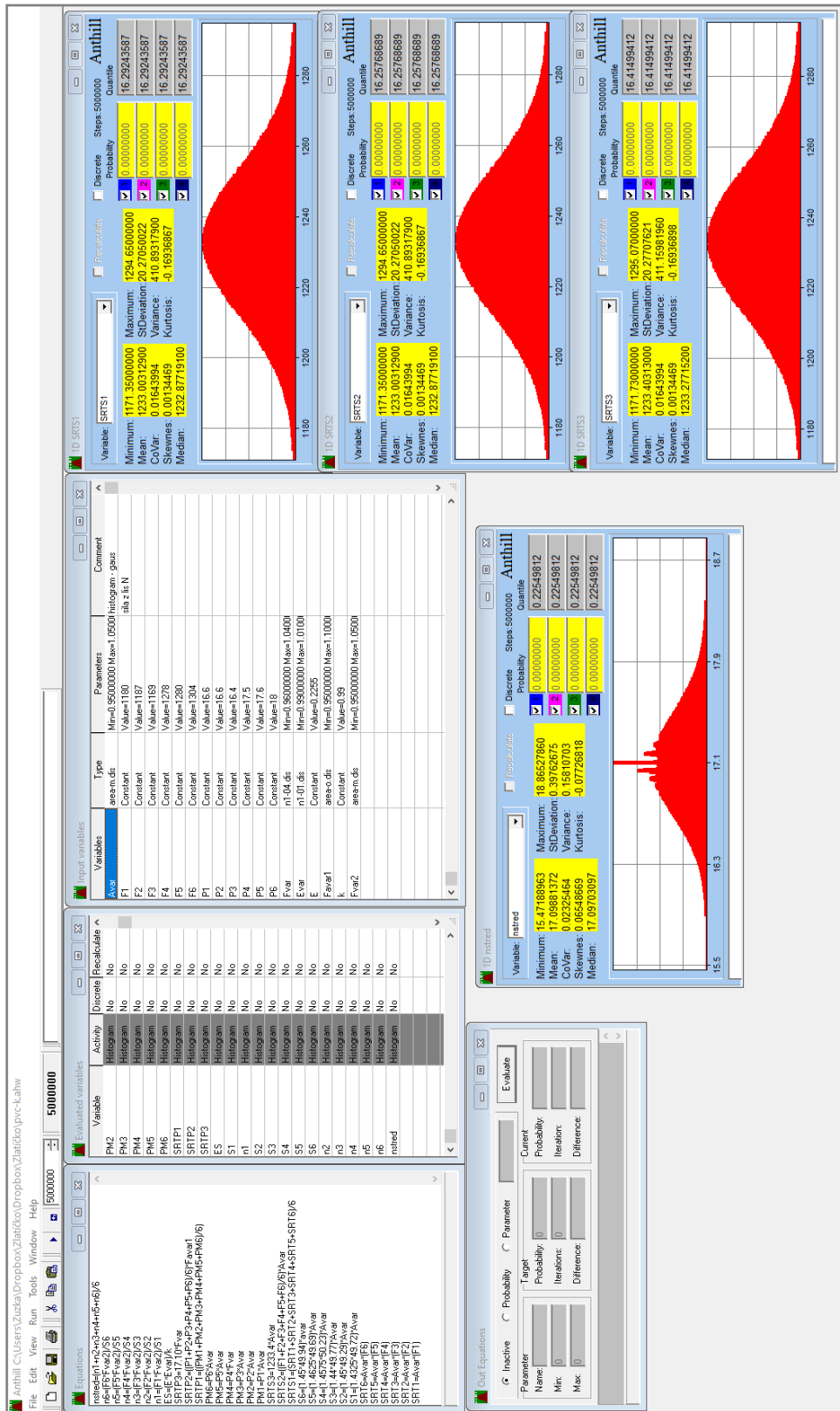


Obrázek 57: Vzorčky S\_60\_M25 po vykonání tahové zkoušky

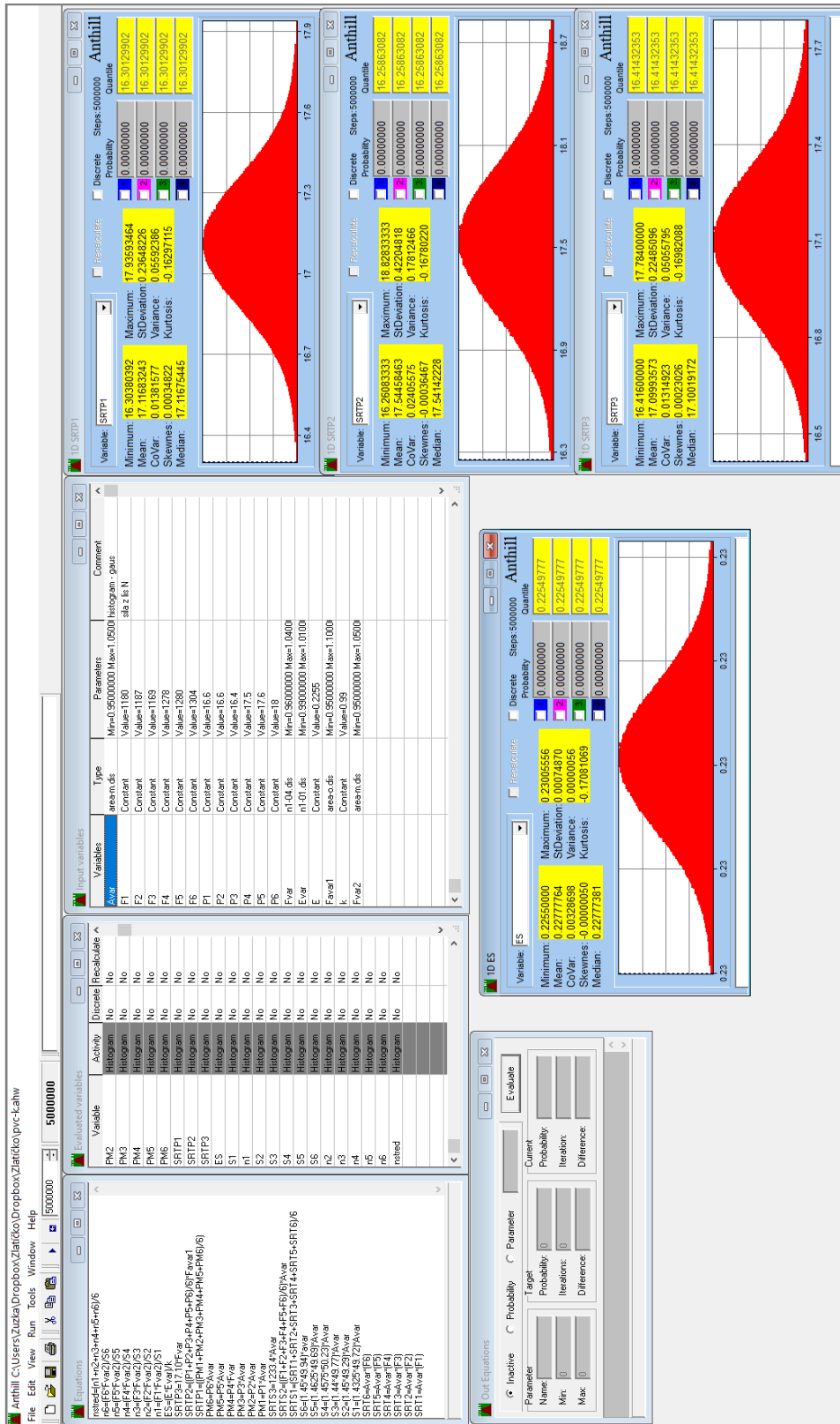


Obrázek 58: Vzorky S\_90\_M25 po vykonání tahové zkoušky

# PŘÍLOHA E: PODROBNÝ VÝPOČET METODOU SBRA

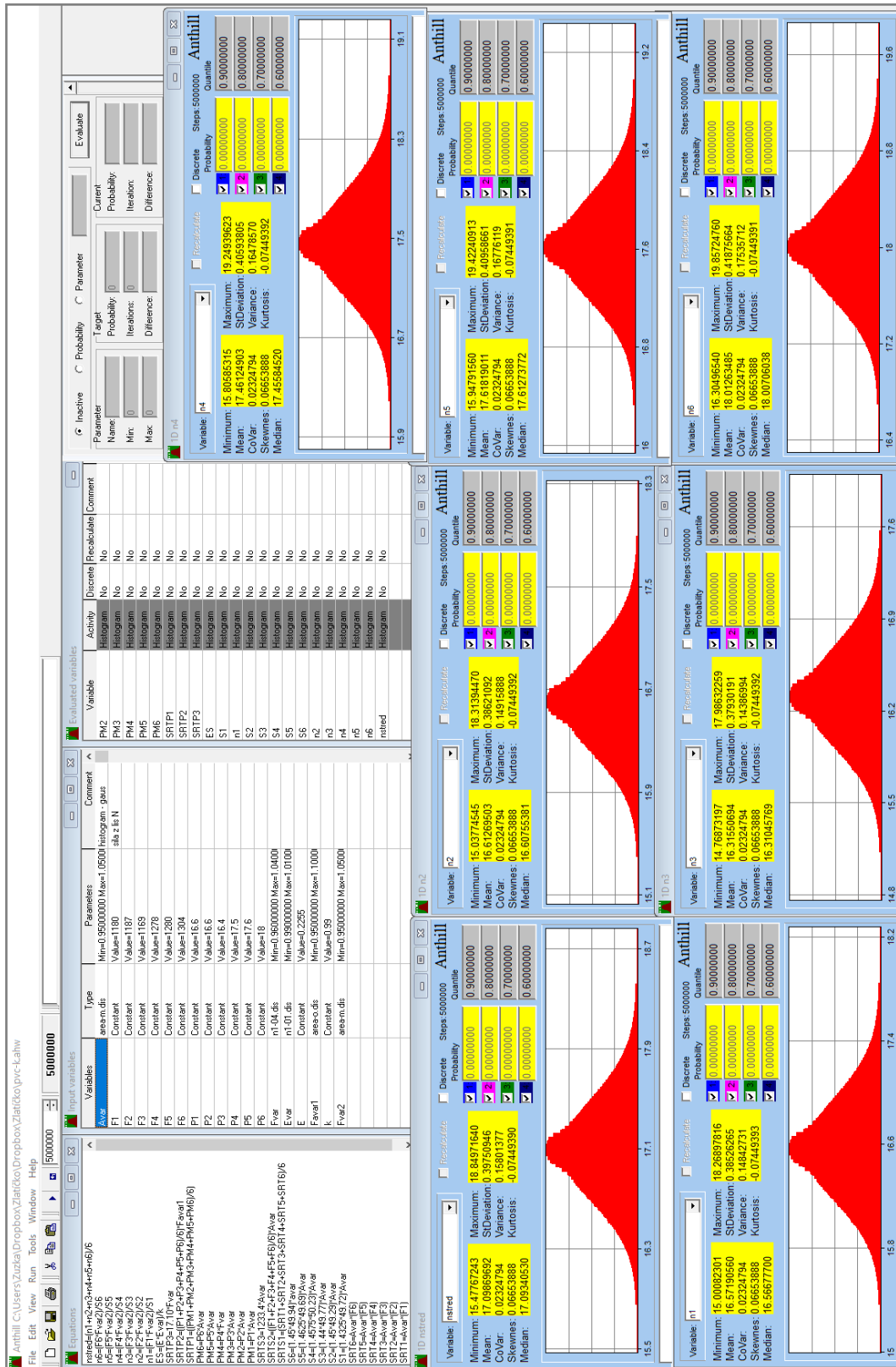


Obrazek 59: Výpočet únosnosti vzorků S<sub>RT</sub>

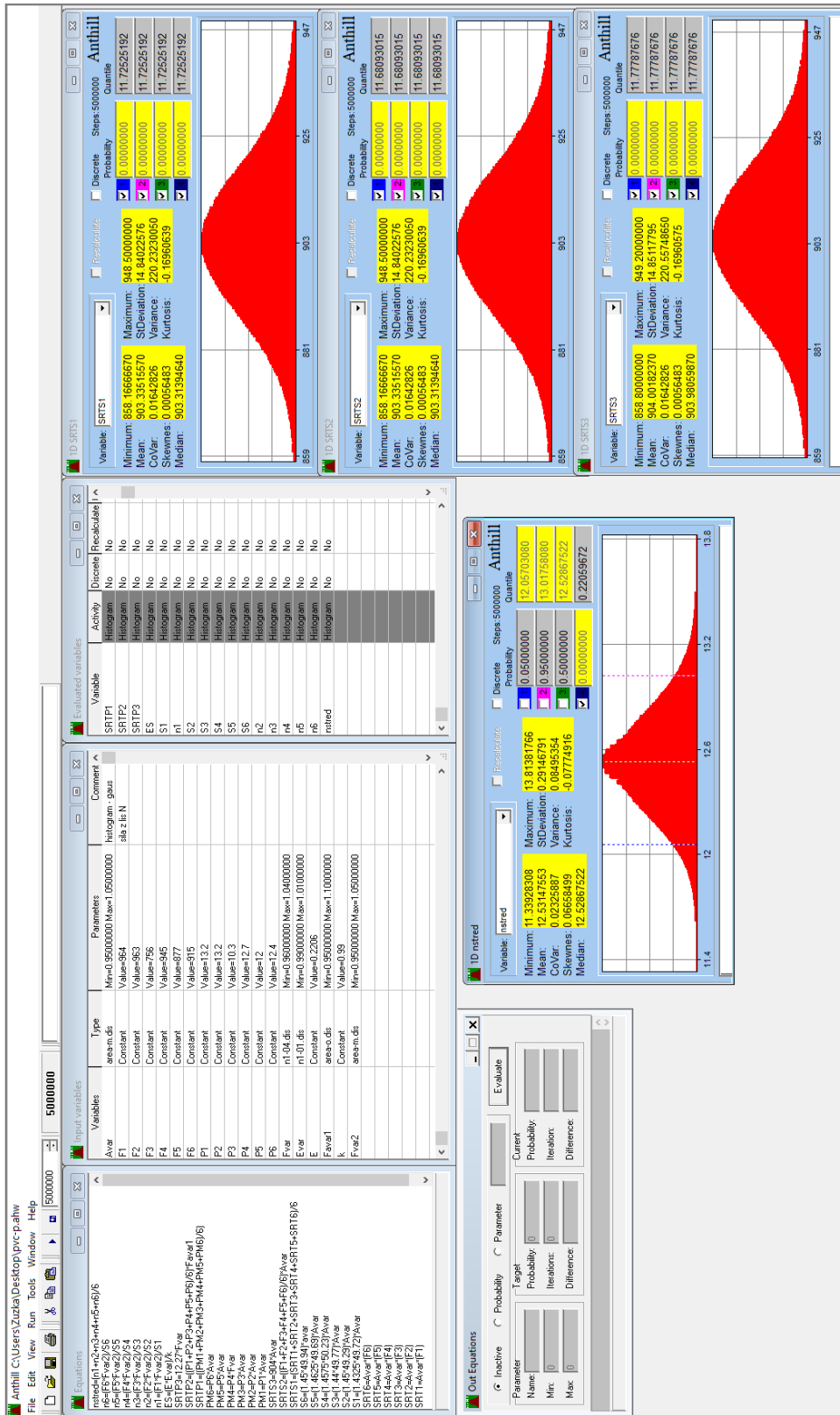


Obrázek 60: Výpočet pevnosti a modulu pružnosti vzorků S\_RT





Obrázek 61: Výpočet napětí vzorků  $S_{RT}$

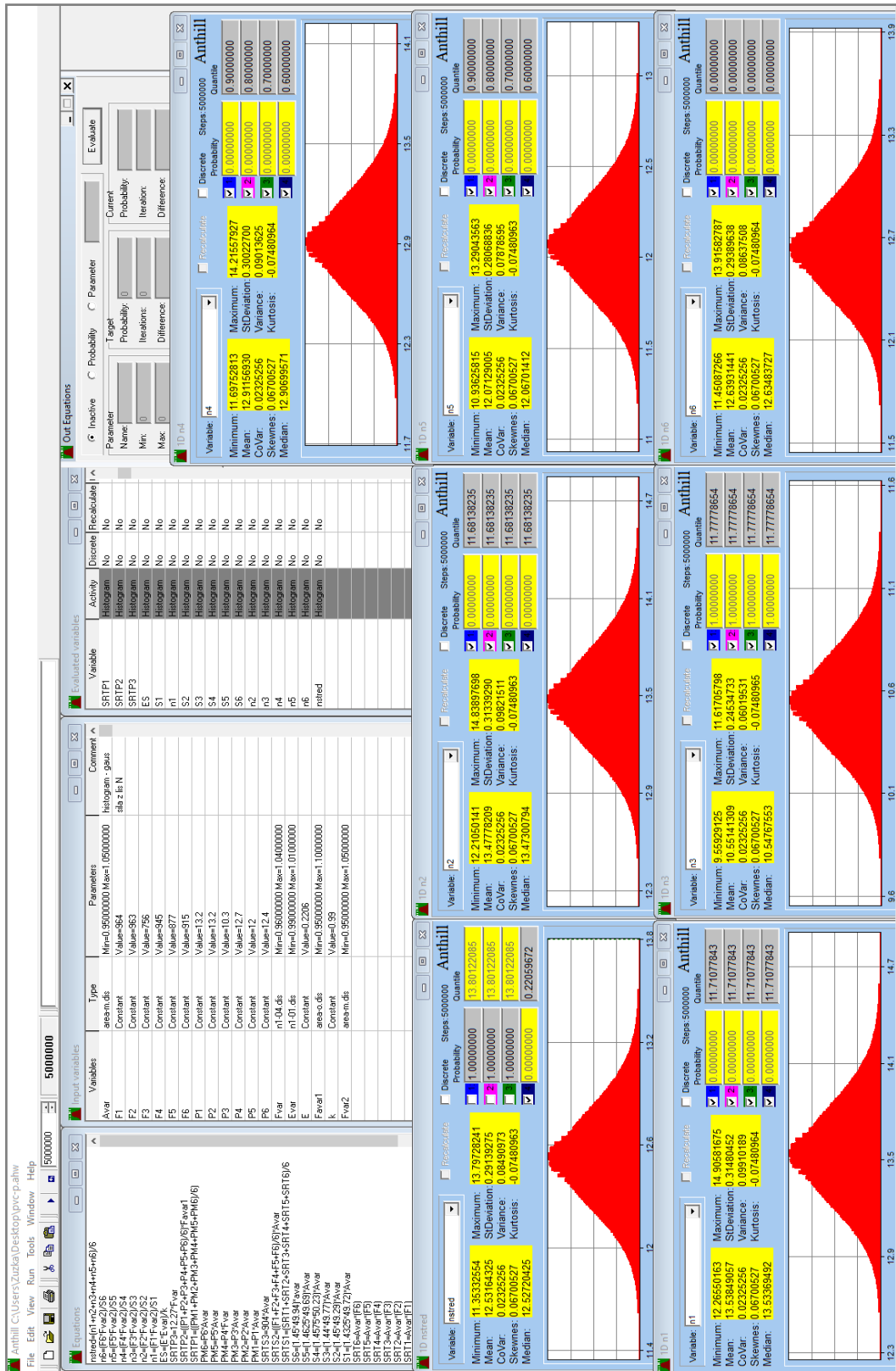


Obrázek 62: Výpočet únosnosti vzorků S\_90\_RT



Obrázek 63: Výpočet pevnosti a modulu pružnosti vzorků S\_90\_RT





Obrázek 64: Výpočet napětí vzorků S\_90\_RT