

# **Materiály používané při výrobě desek skateboardů a jejich vlastnosti**

Tomáš Matušinec

---

Bakalářská práce  
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**Akademický rok: 2020/2021**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)**

**Jméno a příjmení: Tomáš Matušinec**  
**Osobní číslo: T18204**  
**Studijní program: B3909 Procesní inženýrství**  
**Studijní obor: Technologická zařízení**  
**Forma studia: Prezenční**  
**Téma práce: Materiály používané při výrobě desek skateboardů a jejich vlastnosti**

### **Zásady pro vypracování**

Úkolem této bakalářské práce bude praktické testování vlastností desek skateboardů. V teoretické části budou detailně popsány skateboards, jejich vlastnosti a způsoby zatěžování. V praktické části budou desky testovány na mechanické vlastnosti. Výsledky poskytnou informace o mechanických vlastnostech a životnosti jednotlivých konstrukčních řešení desek.

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

**Seznam doporučené literatury:**

HOADLEY, Bruce R. Understanding wood: Craftsman's guide to wood technology. Newtown: Tauton Press, 2000. ISBN 1-5615-358-8  
LIU, Haoyu et al. Skateboard deck materials selection. IOP Conf. Ser.: Earth Environ, 2018. Doi :10.1088/1755-1315/128/1/012170

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Jaška**  
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

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

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

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

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
Podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá hodnocením mechanického chování komerčně dostupných skateboardových desek, lišících se od sebe značkou a cenou. V teoretické části jsou uvedeny mechanické zkoušky kompozitních materiálů. Dále jsou popsány materiály a technologie používané při výrobě desek skateboardů. Jedná se zejména o dřevěné překližky, kompozitní materiály a lepidla. Experimentální část je zaměřena na testování mechanických vlastností skateboardových desek od různých výrobců. Na připravených zkušebních vzorcích byly provedeny dva typy mechanických zkoušek. Zkouška statickým tříbodovým ohybem, pomocí které se zjišťoval Youngův modul pružnosti a pevnost v ohybu. Druhým experimentem byla zkouška rázové houževnatosti. Výsledky mechanických zkoušek byly porovnávány se subjektivním hodnocením skateboardovými jezdci. Bylo zjištěno, že mechanické vlastnosti desek se od sebe neliší v takové míře, aby byl opodstatněn cenový rozdíl desek.

Klíčová slova: mechanické zkoušky, ohyb, kompozitní materiály, dřevěné překližky, skateboard

## **ABSTRACT**

The Bachelor thesis is focused on measurement of mechanical properties of skateboard boards, which were purchased in various price categories. The determined mechanical properties are further compared with the sensory evaluation of a group of skateboard riders.

The theoretical part presents mechanical tests of composite materials. The materials and technologies used in the production of skateboard boards are also described. These are mainly wood plywood, composite materials and adhesives.

The experimental part is focused on testing the mechanical properties of skateboard boards from various manufacturers. Two types of mechanical tests were performed on the prepared test specimen. Static three-point flexural test to determine the Young's modulus of elasticity and flexural strength. The second experiment was a flexural impact test. Using this test, the absorbed impact energy and derived toughness of skateboard boards were determined. The results of mechanical tests were compared with sensory evaluation by

skateboard riders. It was processed that the mechanical properties of the boards do not differ from each other to a further extent in order to justify the price difference of the boards.

Keywords: mechanical tests, flexure, composite materials, wood plywood, skateboard

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Davidovi Jaškovi, za odborné vedení, vstřícný přístup a velkou trpělivost. Nemalý dík rovněž patří panu děkanovi, prof. Ing. Romanovi Čermákovi, Ph.D, za cenné rady a připomínky. Děkuji také prof. RNDr. Petrovi Ponižilovi, Ph.D, za pomoc se zpracováním statistických dat. Poděkování také patří mé rodině a přátelům za podporu v době celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

<b>OBSAH .....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I.....</b>	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 ZÁKLADNÍ MECHANICKÉ VLASTNOSTI .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY STATICKÉ .....</b>	<b>13</b>
1.2.1 TAH/TLAK .....	13
1.2.2 OHYB .....	20
1.2.3 SMYK/STRÍH .....	25
1.2.4 KRUT.....	29
<b>1.3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY DYNAMICKE .....</b>	<b>31</b>
1.3.1 ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU .....	34
1.3.2 ZKOUŠKY OPĚTOVNÝM NAMÁHÁNÍM .....	36
<b>2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ SKATEBOARDŮ .....</b>	<b>42</b>
<b>2.1 DŘEVO.....</b>	<b>46</b>
2.1.1 KANADSKÝ JAVOR.....	49
2.1.2 BAMBUS .....	49
2.1.3 BŘÍZA .....	49
<b>2.2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY .....</b>	<b>50</b>
2.2.1 TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PRO VÝROBU DESEK .....	52
2.2.2 TYPY VYZTUŽUJÍCÍCH VLÁKEN.....	53
2.2.3 TYPY MATRIC .....	56
<b>2.3 LEPIDLA .....</b>	<b>57</b>
2.3.1 LEPIDLA KAPALNÁ .....	58
2.3.2 LEPIDLA PEVNÁ .....	58
2.3.3 LEPIDLA DISPERZNÍ .....	59
2.3.4 EPOXIDOVÁ LEPIDLA .....	60
2.3.5 POLYURETANOVÁ LEPIDLA .....	60
<b>II.....</b>	<b>61</b>
<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>61</b>
<b>3 CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>62</b>
<b>4 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ.....</b>	<b>64</b>

<b>5</b>	<b>PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....</b>	<b>69</b>
<b>6.1</b>	<b>ZKOUŠKA STATICKÝM TŘÍBODOVÝM OHYBEM.....</b>	<b>69</b>
<b>6.2</b>	<b>ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>STATISTIKA,SHLUKOVÁ ANALÝZA DAT, INTERVALY SPOLEHLIVOSTI.....</b>	<b>73</b>
<b>7.1</b>	<b>SHLUKOVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>74</b>
<b>7.2</b>	<b>NEJISTOTY MĚŘENÍ.....</b>	<b>74</b>
<b>7.3</b>	<b>INTERVALY SPOLEHLIVOSTI .....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>77</b>
<b>8.1</b>	<b>SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ NAPŘÍČ RŮZNÝMI VÝROBCI.....</b>	<b>77</b>
8.1.1	Modul pružnosti E.....	80
8.1.2	Pevnost .....	80
8.1.3	Houževnatost.....	80
<b>8.2</b>	<b>SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ MEZI NOVÝMI A POUŽITÝMI DESKAMI .....</b>	<b>81</b>
8.2.1	Enuff.....	82
8.2.2	Girl .....	84
8.2.3	Powel Peralta.....	85
8.2.4	Primitive.....	87
8.2.5	Creature .....	88
<b>9</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>90</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>98</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>101</b>



## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá hodnocením a porovnáním skateboardových desek od pěti různých výrobců. Zakoupené skateboardové desky byly různé cenové kategorie. Cílem práce je zjistit, zda ceny desek odpovídají jejich kvalitě, nebo se značná část ceny promítá do jiných aspektů, jako je například popularita, nebo značka desky. Kvalita byla hodnocena zejména provedenými mechanickými zkouškami, pomocí kterých byly zjištěny mechanické vlastnosti skateboardových desek, jako tuhost, pevnost a houževnatost

V teoretické části práce jsou uvedeny jednotlivé mechanické zkoušky. Dále jsou podrobněji popsány materiály používané k výrobě skateboardových desek. Jedná se zejména o různé typy dřeva, ale také kompozitní materiály a jejich kombinace se dřevem. Nedílnou součástí výroby skateboardových desek jsou lepidla. Lepidla totiž zajišťují spojení jednotlivých vrstev překližky. Praktická část je zaměřena především na praktické provedení mechanických zkoušek včetně přípravy zkušebních vzorků. Skateboardové desky byly rozřezány na jednotlivé zkušební vzorky, které byly následně podrobeny mechanickému testování a to dvěma typy zkoušek. Statickým tříbodovým ohybem na univerzálním zkušebním stroji. Pomocí této zkoušky byly zjištěny materiálové vlastnosti jako Youngův modul pružnosti či pevnost v ohybu. Dále byla provedena zkouška rázem v ohybu, kde byla zjištěna absorbovaná nárazová energie, ze které se následně odvodila houževnatost skateboardové desky. Dále bylo provedeno subjektivní hodnocení desek. Jednotlivé desky byly hodnoceny skupinkou pěti jezdců, kteří hodnotili celkové zpracování desek a jejich vlastnosti a chování při jízdě. Výsledky mechanických zkoušek byly porovnávány se subjektivním hodnocením a bylo posuzováno, zda spolu výsledky jednotlivých částí hodnocení korelují.

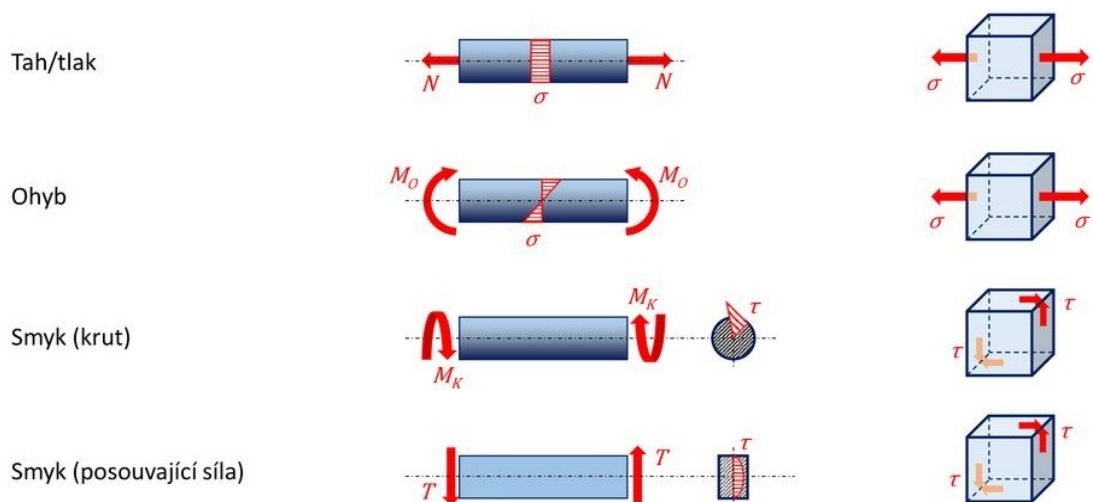
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ.

V této kapitole budou představeny základní vlastnosti technických materiálů a jejich zkoušení.

## 1.1 Základní mechanické vlastnosti

Materiály jsou při používání různě namáhány a to tahem, tlakem, krutem, stříhem, nebo ohybem. Tato namáhání mohou působit jednotlivě nebo v různých kombinacích. Materiál tedy může být vystaven tzv. složenému namáhání. Například může být namáhán současně tahem, ohybem a krutem. Aby materiál odolával těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti jako je pevnost, elasticitu, tvrdost, tvárnost aj.[1]



Obr. 1 Základní druhy namáhání[2]

Pevnost – odpor materiálu proti deformaci a porušení při působení vnějších sil

Tvrdost – odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa

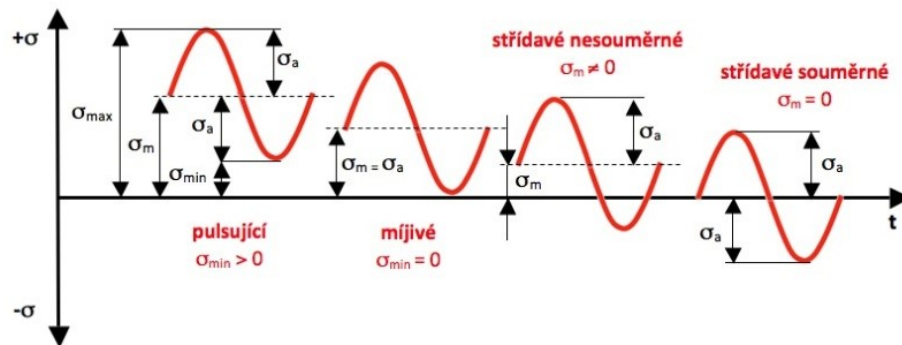
Pružnost – schopnost materiálu vykazovat před jeho porušením plastickou deformaci

Houževnatost – schopnost materiálu odolávat bez porušení velkým napětím, udává jeho odolnost proti křehkému lomu

Únava materiálu – projevuje se při cyklickém namáhání. Při tomto namáhání často dochází k náhlému porušení součásti, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu

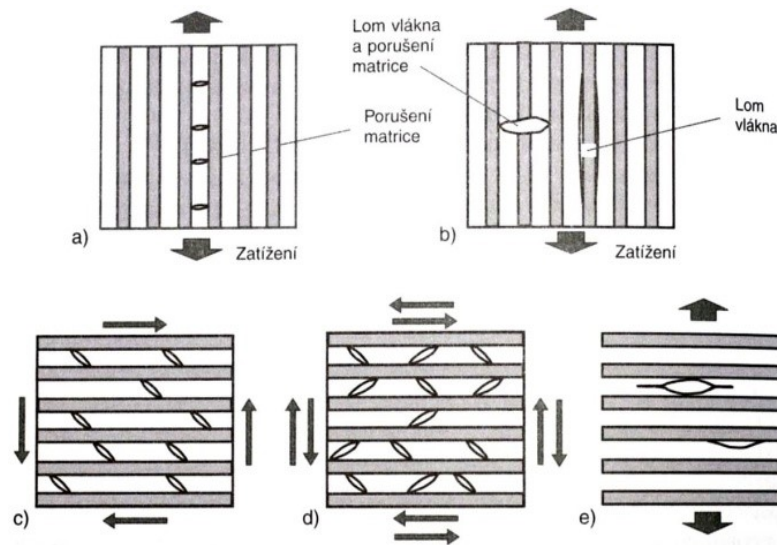
Viskoelastická (tečení a relaxace) – tečení materiálu (creep) se projevuje nárůstem plastické deformace v závislosti na teplotě, případně velikostí napětí. Relaxace určuje dobu potřebnou ke snížení vnitřní napjatosti materiálu.[1]

Zkoušení materiálů umožňuje poznat informace o vlastnostech, které jsou nutné pro účelné použití v provozu. Z hlediska zkoušení materiálů se rozeznávají metody přímé, při kterých se zkouší přímo vyrobená součást a metody nepřímé kdy se zkouší vzorky připravené ze zkoušeného materiálu. Z hlediska působící síly lze rozeznávat zkoušky statické, kdy zatěžující síla začíná působit od nulové hodnoty a pozvolna se zvětšuje a dynamické zkoušky rázové nebo cyklické kdy síla působí na zkoušený materiál velice rychle.[1]



Obr. 2 Časové průběhy dynamického namáhání[2]

Závislost mechanických vlastností vyztužených polymerních materiálů na teplotě, době zatížení a podmínkách prostředí není tak výrazná jako u nevyztužených polymerů. Ovlivňuje je zejména vytvrzení matrice, rozložení a orientace vláken a obsah vláken. Porušení a únavové procesy u kompozitů jsou mnohem složitější než u homogenních materiálů. U kompozitních materiálů dochází k prvním mezivlákněným poruchám kolmo na směr vláken a zatížení. Tyto poruchy oslabují nosnost ve směru vláken a poté následuje celkový lom materiálu. Při lokálním poškození vláken kompozitu při namáhání tahem se v materiálu koncentrují napětí a dochází ke vzniku vrubů. Při namáhání tlakem zase dochází ke snadnějšímu vybočení vláken.[3]



Obr. 3 Vznik trhlin v matrici kompozitu[3]

Při dynamickém namáhání je proto příznivější zatížení mívavé než střídavé. Při rázovém namáhání závisí na velikosti energie iniciující delaminaci kompozitu. Kompozitní materiály se při každém konkrétním použití nově navrhují a vyrábějí. Výsledky zkoušek lze srovnávat pouze za dodržení shodných podmínek výroby. Tím se myslí teplota, tlak čas, promíchání složek, rozprostření pryskyřice, stupeň vytvrzení atd.[4]

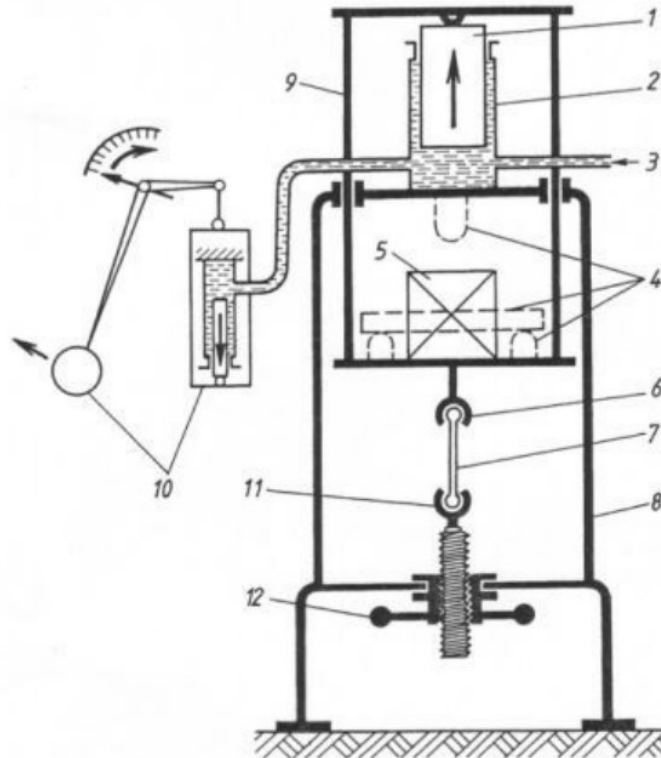
## 1.2 Mechanické zkoušky statické

Při statických mechanických zkouškách se napětí zvětšuje pozvolna v průběhu několika vteřin až minut. Při dlouhodobých zkouškách napětí působí v řádech dnů, až roků. Při působení vnější síly vzniká v materiálu napětí. Je rozeznáváno napětí normálové, působící v ose tělesa (značíme  $\sigma$ ) a napětí tečné, působící kolmo na osu tělesa (značíme  $\tau$ ).[1][6]

### 1.2.1 Tah/tlak

Zkouška tahem je jedna z nejrozšířenějších statických zkoušek. Pomocí této zkoušky lze získat některé základní vlastnosti materiálu, jako je pevnost v tahu, tažnost, poměrné prodloužení a kontrakci. Většinou se neprovádí přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebním tělísku, které mají normalizovaný tvar a jsou vyrobeny z daného materiálu, který bude zkoušen.[1][7]

Zkouška tahem se provádí na speciálních trhacích strojích, viz obr.4. Tyto stroje umožňují zaznamenání průběhu celkového prodloužení  $\Delta L$  v závislosti na zatěžující síle  $F$  nebo poměrného prodloužení  $\varepsilon$  v závislosti na napětí  $\sigma$ . [1][7]



Obr. 4 Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušení tahem, tlakem a ohybem [1]

1 – píst, 2 – tlakový válec, 3 – tlakový olej, 4 – zkušební tyč a přípravky pro zkoušku v ohybu, 5 – zkušební těleso pro zkoušku v tlaku, 6 – horní upínací hlava, 7 – zkušební tyč pro zkoušku tahem, 8 – pevný rám, 9 – pohyblivý rám spojený s pístem, 10 – měřicí zařízení, 11 – dolní upínací hlava, 12 – stavěcí zařízení

Tahovou zkouškou se zjišťují mechanické vlastnosti jako pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení.

**Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu)  $R_m$** - je dána podílem největší zatěžující síly  $F_m$ , která působí na zkušební tělísko a kterou zkušební tělísko dokáže snést bez porušení, vztažená k počátečnímu průřezu tělíska  $S_0$ . Z toho plyne:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \left[ \frac{N}{mm^2} \right] = [MPa] \quad (1)$$

**Poměrné prodloužení  $\varepsilon$**  - je dáno podílem celkového prodloužení zkušebního tělíska při přetržení  $\Delta L$ , které lze vypočítat rozdílem konečné délky tělíska  $L_u$  a počáteční délky  $L_0$  vztažené k počáteční délce tělíska  $L_0$ . Z toho plyne:

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_u - L_0 \\ \varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \left[ \frac{mm}{mm} \right] = [-]\end{aligned}\quad (2)$$

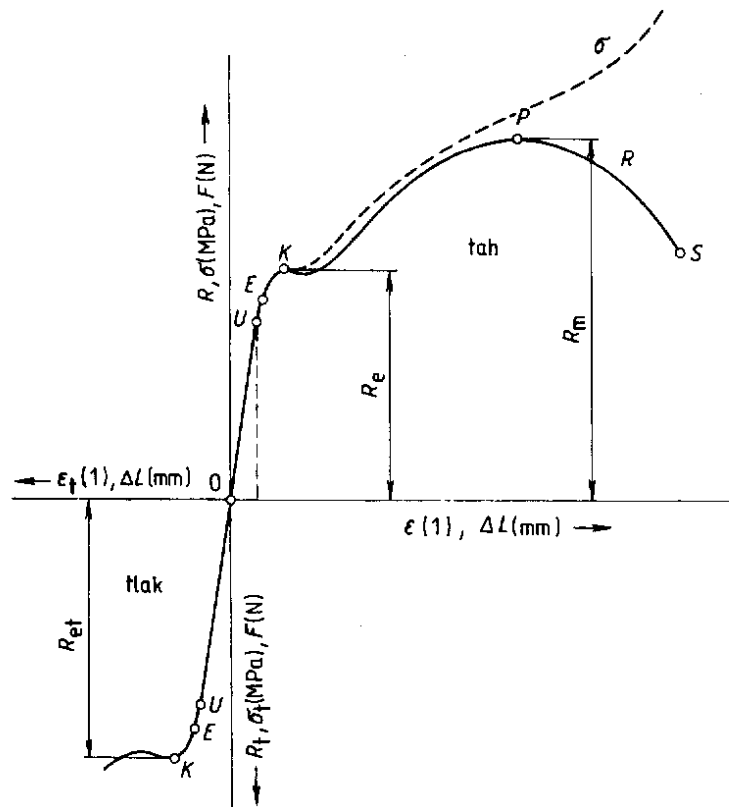
**Tažnost  $A$**  - je dána vztahem pro výpočet poměrného prodloužení vynásobené 100, tedy vyjádření v procentech. Z toho plyne:

$$A = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \left[ \frac{mm}{mm} \right] = [\%]\quad (3)$$

**Zúžení (kontrakce)  $Z$**  - je dána poměrem rozdílu počáteční plochy zkušebního tělíska  $S_0$  a zúžené koncové plochy  $S_u$ , vztažené opět k počáteční ploše a vynásobené 100, tedy vyjádřené v procentech. Z toho plyne:

$$Z = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \left[ \frac{mm^2}{mm^2} \right] = [\%]\quad (4)$$

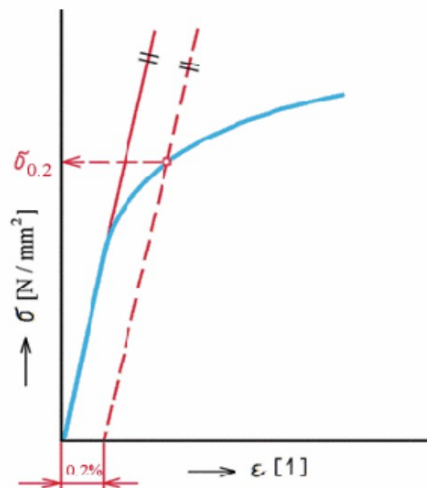
Průběh napětí  $\sigma$  v závislosti na poměrném prodloužení  $\varepsilon$  nebo působící síly  $F$  na celkovém prodloužení  $\Delta L$  je zaznamenáván buď mechanicky na milimetrový papír (u starších strojů) nebo elektronicky pomocí čidel umístěných na stroji do paměti počítače, který následně vyhodnocuje parametry (u novějších strojů). Výsledkem tahové zkoušky je tzv. pracovní diagram, který je znázorněn na obr. 5. Z pracovního diagramu lze vyčíst elastické chování materiálu, zda jde o materiál houževnatý nebo křehký.[1][6][7]



Obr. 5 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem měkké nelegované oceli [1]

Z diagramu lze vyčíst několik důležitých informací. Do bodu U, který se nazývá mez úměrnosti, je průběh napětí přímo úměrný prodloužení materiálu. Tento průběh lze znázornit přímkou a nazývá se Hookův zákon. Z bodu U do bodu E již není deformace přímo úměrná (neplatí Hookův zákon), ale materiál se do tohoto bodu chová stále elasticky. Proto se tento bod nazývá mez pružnosti (elasticity) a materiál se po odlehčení zatěžující síly vrací zpět do původního stavu bez známek trvalé deformace. Po překročení meze pružnosti v materiálu nastávají trvalé deformace (materiál se nevrátí do původní polohy). Bod K se označuje jako pevnost v kluzu (také mez kluzu v tahu)  $R_e$ . Po překročení tohoto bodu se začíná materiál výrazně deformovat, přičemž se zatěžující síla nezvyšuje nebo nastává deformace, která je doprovázená poklesem zatěžující síly. Toto chování je typické pro materiály, které jsou houževnaté.[1] [5]





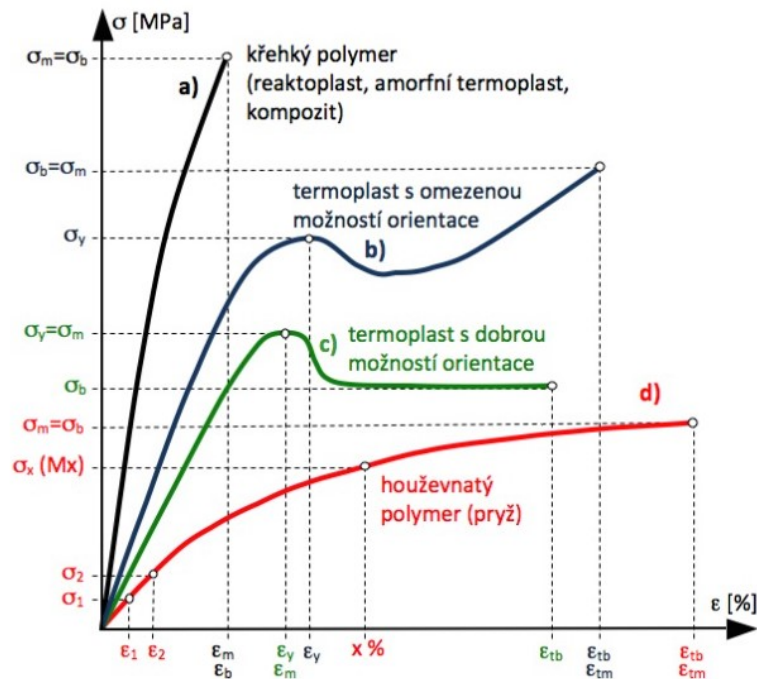
Obr. 6 Grafické stanovení  $R_{p0,2}$  z pracovního diagramu [1]

Křehké materiály, jako jsou litiny, tuto vlastnost nevykazují. Nenastává prodleva či snížení zatěžující síly, viz obr. 6. Z tohoto důvodu se zavádí tzv. smluvní mez kluzu. Určuje se z trvalé deformace materiálu pod zatížením  $R_p$ , která je dána vztahem např.:

$$R_p \cdot 0,2 = \frac{F_p \cdot 0,2}{S_0} [\text{MPa}] \quad (5)$$

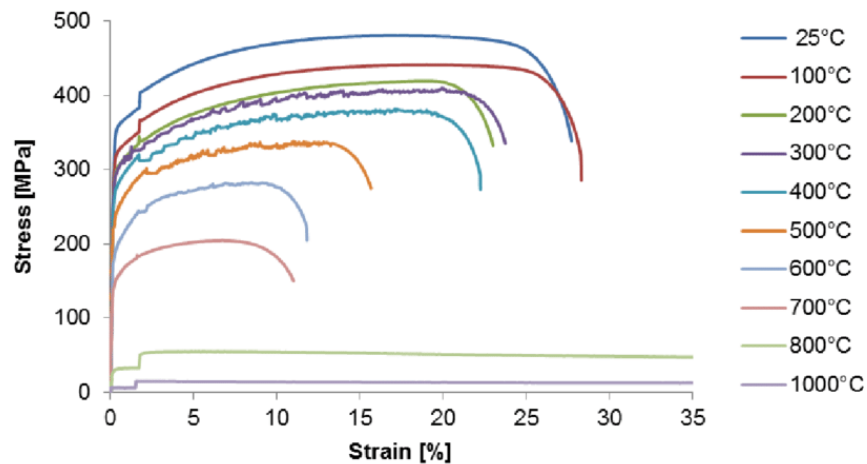
Bod P se nazývá mez pevnosti v tahu (také pevnost v tahu) a odpovídá největšímu napětí  $R_m$ . V bodu S je deformace již tak velká, že se materiál poruší a zkušební tělísko se přetrhne. Skutečnost, že se skutečný průřez zkušebního tělesa zmenšuje rychleji, než vzrůstá zatěžující síla, skutečné napětí v materiálu se dále zvětšuje, na rozdíl od průběhu ve smluvním diagramu (na obr. 5 znázorněno čárkovanou čarou).[1]

Jak již bylo napsáno výše, tvar pracovních diagramů se mění podle druhu zkoušeného materiálu, jak je uvedeno pro některé materiály na obr. 7.



Obr. 7 Pracovní diagram pro různé polymerní materiály[5]

Mechanické vlastnosti materiálů značně závisí na jejich teplotě a také době trvání zkoušky jak naznačuje obr. 8.[1]



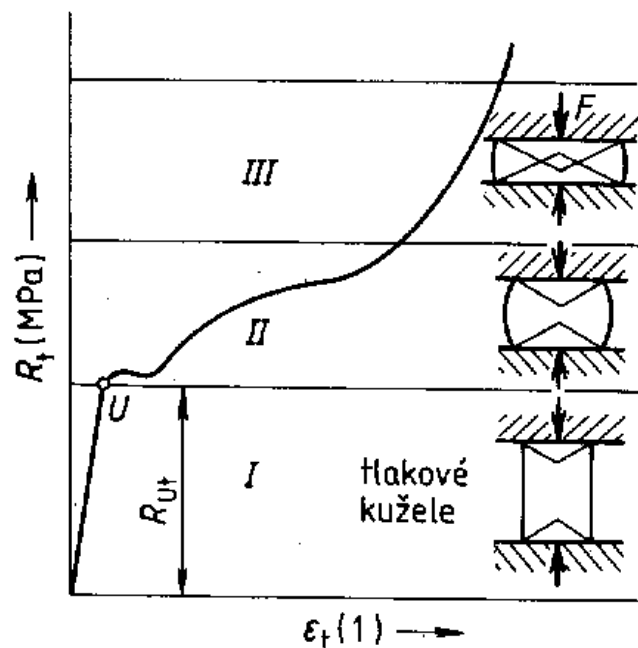
Obr. 8 Pracovní diagram při různých teplotách okolí[8]

Zvyšující se teplota polymeru se projeví větší deformací  $\epsilon$  i při nízkém napětí  $R$  a lineární část křivek, které vycházejí z počátku, se zkracuje. Je to dáno tím, že se snižuje pružnost, roste však tažnost a houževnatost polymeru.[1]

Zkouška tlakem je používána méně často. To proto, že u většiny materiálů je průběh zkoušky do hodnot meze úměrnosti a meze kluzu téměř totožný s tahovou zkouškou. Proto se zkouška používá spíše pro materiály, které nemají stejný průběh jako u tahové zkoušky nebo u součástí vyrobených z materiálů, které jsou při provozu

namáhané na tlak (např. valivá a kluzná ložiska, součásti strojů z litiny, keramické materiály, kompozitní a stavební materiály).[1][4][6]

Zkušební tělesa pro zkoušku tlakem jsou nejčastěji ve tvar válečku nebo krychle a mají stejně jako tělíska pro tahovou zkoušku normalizovaný tvar. Průběh tlakové zkoušky měkké oceli je uveden na obr. 9. Pracovní diagram je rozdělen do tří úseků. V prvním úseku zkoušky napětí roste strmě vzhůru bez výrazných deformací tělesa. Těleso odolává působícímu tlaku a vytváří se v něm tzv. tlakové kužele. V druhém úseku se materiál výrazněji deformuje i při menším zvyšování napětí a tlakové kužele se k sobě neustále přibližují. Těleso se vyboulí do stran a tvarem připomíná sud. V třetím úseku se tlakové kužele přiblíží natolik, že se protnou. Vzroste tím odpor proti další deformaci a napětí začne opět stoupat strměji téměř jako v prvním úseku.[1]



Obr. 9 Pracovní diagram zkoušky tlakem[1]

Toto chování s výraznou plastickou deformací a viditelnou mezí kluzu, můžeme pozorovat u oceli a jiných měkkých a tvárných materiálů (polymerní materiály, neželezné kovy apod.). U materiálů křehkých jako jsou litiny, které vykazují výrazně vyšší pevnost v tlaku na rozdíl od pevnosti v tahu, se plastická deformace téměř neobjeví a nastává tzv. křehký lom a následné rozdrčení zkušebního tělesa. U těchto materiálů je tedy nutné provést zkoušku tlakem i tahem.[1][9]

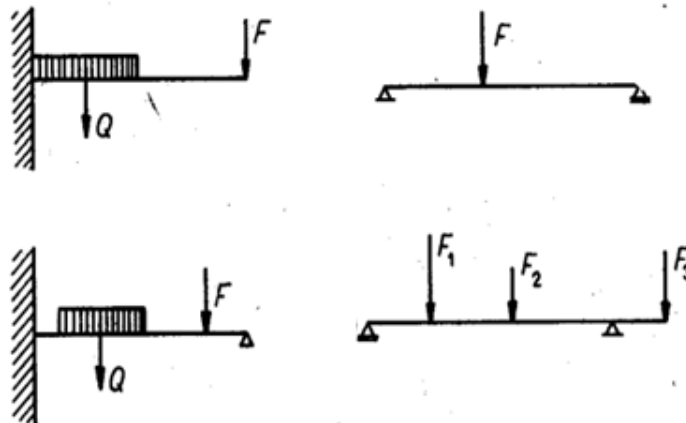
Stejně jako u tahové zkoušky, tak i u tlakové zkoušky lze sestavit pracovní diagram a z něj stanovit pevnost v tlaku  $R_{mt}$ , mez kluzu v tlaku  $R_{et}$ , prosté zkrácení  $\Delta L_t$ , poměrné zkrácení  $\varepsilon_t$  a poměrné rozšíření  $Z_t$ . Definice těchto hodnot jsou analogicky stejné jako u tahové zkoušky. Stejně tak lze obdobným způsobem stanovit smluvní mez kluzu v tlaku.[1]

Praktické zkoušení kompozitů je důležité, neboť teoreticky stanovené hodnoty nemusí být prokazatelné a hrozilo by selhání funkce dílce a možná katastrofa. Vyžaduje se přesné ověření teoreticky získaných dat týkajících se pevnosti a životnosti dílů z kompozitů. Dále je nutné brát v úvahu teplotu a agresivitu prostředí a další vlivy, působící na díl. Další rozdíly tahových zkoušek kovových materiálů a kompozitů jsou následující. Zkušební vzorky kompozitních materiálů se na koncích opatřují příložkami, které zabraňují sklouzávání čelistí ze vzorků a také minimalizují vznik trhlin v místě upnutí, jinak by získané výsledky byly neplatné. Určuje se také směr vláken uložených v kompozitu.[4]

### 1.2.2 Ohyb

Tělesa, která jsou namáhána ohybem, jsou nazývána nosníky. Tyto nosníky jsou uloženy buď na obou koncích (hovoříme o nosníku o dvou podporách) nebo vetknuty na jednom konci (hovoříme o nosníku vetknutém) a jsou zatíženy ohybovými momenty, spojitým zatížením nebo osamělými silami. Typickým příkladem těchto nosníků jsou různé trámy, konstrukce strojů, čepy, hřídele, nápravy a další. K zjištění druhu a velikosti napětí vznikající v nosníku je potřeba znát všechny vnější síly působící na nosník. Následně je potřeba nosník uvolnit, to znamená nahradit účinek vazby rámu na nosník příslušnými reakcemi sil nebo momentem. Při výpočtu reakcí vycházíme z podmínek statické rovnováhy soustavy sil:[1][6][9]

$$\sum F_{ix} = 0 \quad \sum F_{iy} = 0 \quad \sum M_i = 0 \quad (6)$$



Obr. 10 Obecný příklad uložení a zatížení nosníků[6]

Obecná výpočtová rovnice pro ohyb má následující tvar:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (7)$$

kde  $W_o$  je nazýván modul průřezu v ohybu a je dán vztahem:

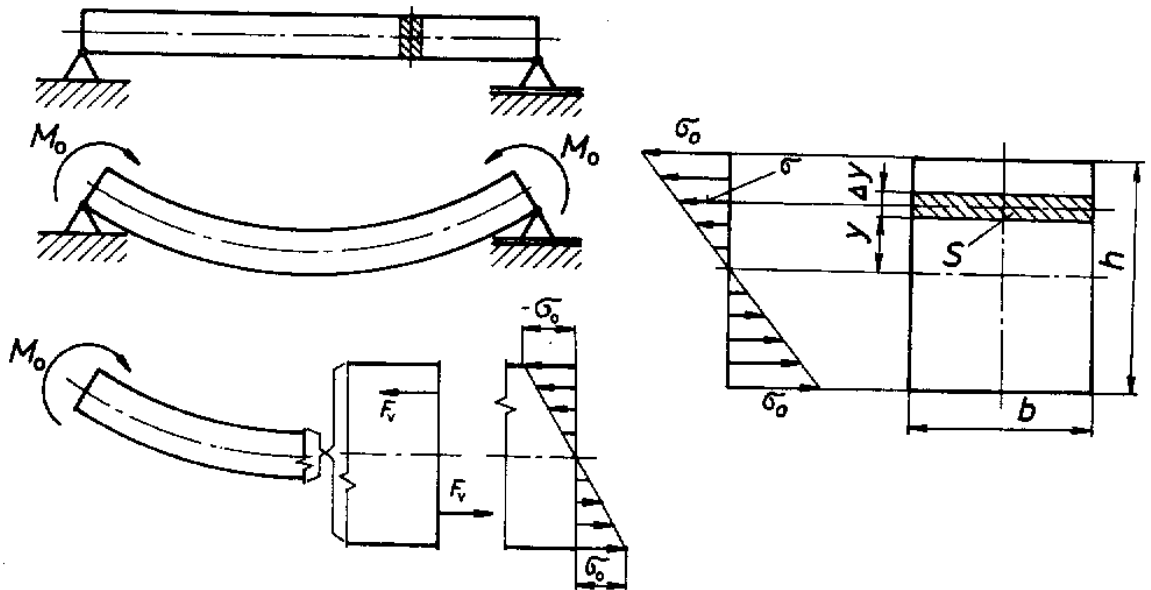
$$W_o = \frac{J}{e} [mm^3] \quad (8)$$

Matematická definice modulu průřezu v ohybu  $W_o$  je podíl kvadratického momentu průřezu  $J$  a vzdáleností krajního vlákna průřezu od neutrální (těžišťové) osy  $e$ . Vztahy pro výpočet  $J$  a  $W_o$  základních a nejčastěji se vyskytujících tvarů průřezů k hlavním osám lze dohledat ve strojnických tabulkách.[6][10]

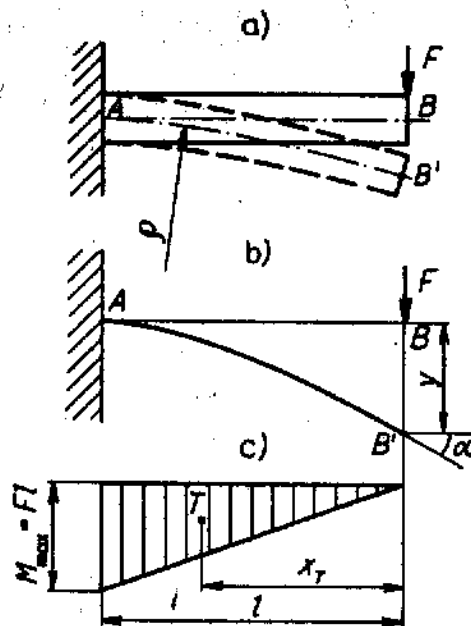
Velikost ohybového momentu v libovolném průřezu nosníku lze vypočítat jako algebraický součet momentů všech vnějších sil působících od průřezu vlevo nebo vpravo. Síly zatěžující nosník nejčastěji působí kolmo na jeho osu, tedy rovnoběžně s jeho průřezy. Způsobují tak namáhání průřezů nosníku i na smyk tzv. posouvající silou. Tuto posouvající sílu lze vypočítat jako algebraický součet všech vnějších sil vlevo nebo vpravo od daného průřezu. Vliv smyku se však při návrhu nosníku většinou zanedbává, jeho velikost je totiž malá. Průběh posouvajících sil se zjišťuje graficky. Platí pravidlo, že největší ohybový moment působí v tom průřezu, kde posouvající síla mění smysl (znaménko) nebo je nulová.[10]

Zatížením nosníku lze sledovat jeho deformaci, tj. prohnutí. Současně vzniká napětí (vnitřní síly), které působí proti směru působení zatěžující síly a brání porušení nosníku.

Z obr. 11 je také zřejmé, že vrchní vlákna jsou namáhána na tlak a spodní vlákna na tah. To znamená, že některá vlákna nosníku jsou natahována a jiná stlačována.[6]



Obr. 11 Průběh a rozložení napětí v průřezu nosníku[10]



Obr. 12 Deformace vetknutého nosníku zatíženého osamělou silou[6]

Vetknutý nosník zatížený osamělou silou (obr. 12) se účinkem ohybového momentu zdeformuje, tj. prohne. Jeho původně přímá podélná osa se zakříví do tvaru daného křivkou, které říkáme ohybová čára. Poloměr křivosti ohybové čáry v libovolném místě je dán vztahem:[10]

$$\rho = \frac{E \cdot J}{M_o} \quad (9)$$

Součin  $EJ$  se nazývá tuhost v ohybu. Na obr. 12 lze vidět zakreslení ohybové čáry zatíženého nosníku. Úhel  $\alpha$  nazýváme úhel sklonu ohybové čáry, hodnota  $y$  se nazývá průhyb nosníku. Pro výpočet úhlu  $\alpha$  platí vztah:[10]

$$\alpha = \frac{S_M}{E \cdot J} [rad] \quad (10)$$

kde  $S_M$  představuje plochu momentového obrazce. Momentový obrazec je grafickým znázorněním průběhu ohybových momentů působících na nosník.

Pro výpočet průhybu nosníku platí vztah:[6]

$$y = \frac{S_M \cdot x_T}{E \cdot J} [mm] \quad (11)$$

kde  $x_T$  je vzdálenost těžiště plochy momentového obrazce od osy probíhající koncem nosníku.

V případě nosníku na obr. 12 budou výpočty  $\alpha$  a  $y$  následující:

$$M_{o_{max}} = F \cdot l \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{S_M}{E \cdot J} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot l \cdot l}{E \cdot J} = \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot J} \quad (13)$$

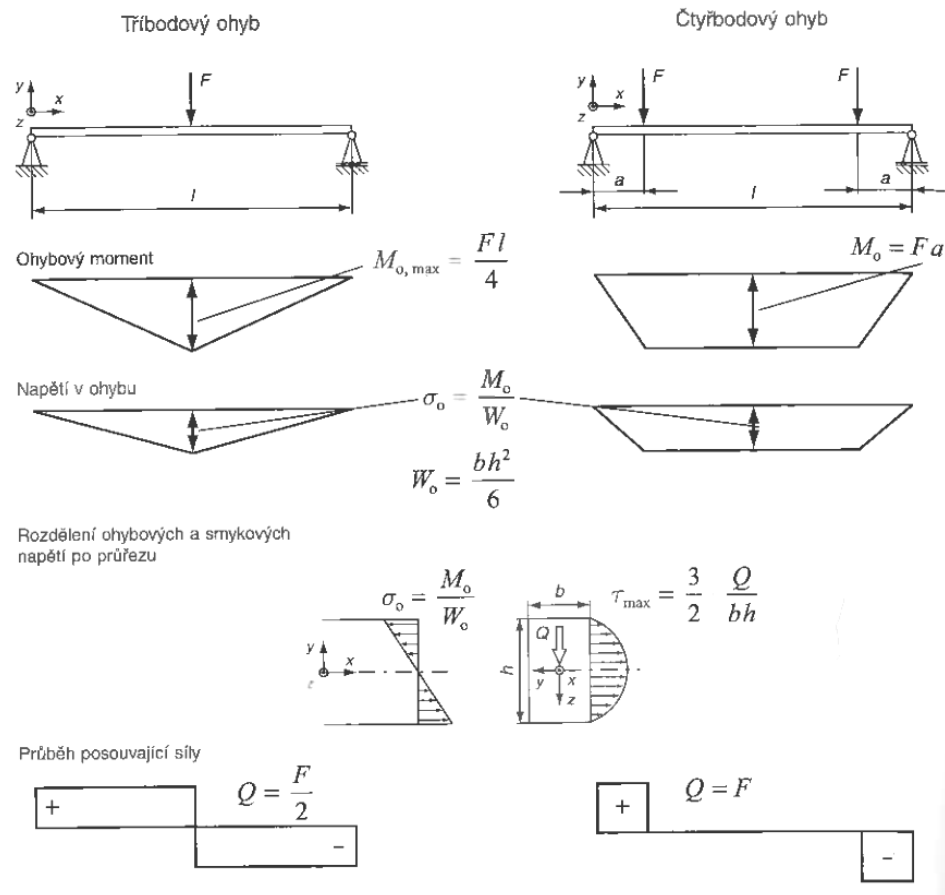
$$y = \frac{S_M \cdot x_T}{E \cdot J} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F \cdot l \cdot l}{E \cdot J} \cdot \frac{2}{3} \cdot l = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} \quad (14)$$

Zkouška ohybem se nejčastěji provádí na materiálech vykazujících křehké chování. U materiálů houževnatých nedojde k porušení zkušební vzorku ale pouze k jeho nevratné deformaci. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně od neutrální osy k povrchovým vláknům. To znamená, že napětí roste od nuly z neutrální osy k maximum v nejvzdálenějším vlákně. V průběhu zkoušky se zatěžující síla zvětšuje a roste tím i průhyb tělesa až do okamžiku zlomení nebo trvalé deformace. Napětí, při kterém se zkušební těleso zlomí je nazýváno pevnost v ohybu (mez pevnosti v ohybu)  $R_{mo}$ . Měřítkem deformačních schopností materiálu je maximální prohnutí  $y_m$  při zlomení.[1][10]

Zkouška se provádí nejčastěji třibodovým nebo čtyřbodovým ohybem. Schematické uspořádání zatížení a průběh zkoušky je na obrázku 13. Výhoda čtyřbodového ohybu spočívá v konstantním průběhu ohybového momentu  $M_o$  po celé délce rozteče uložení zkušební tělesa, čehož se využívá při stanovení modulu pružnosti. Zkouškou třibodového ohybu vzniká ve zkušebním tělese napětí s maximem ležícím pod zatěžující

silou tedy uprostřed vzorku. Maximální smykové napětí leží mezi vrstvami uprostřed tloušťky tělesa.[4] [10]

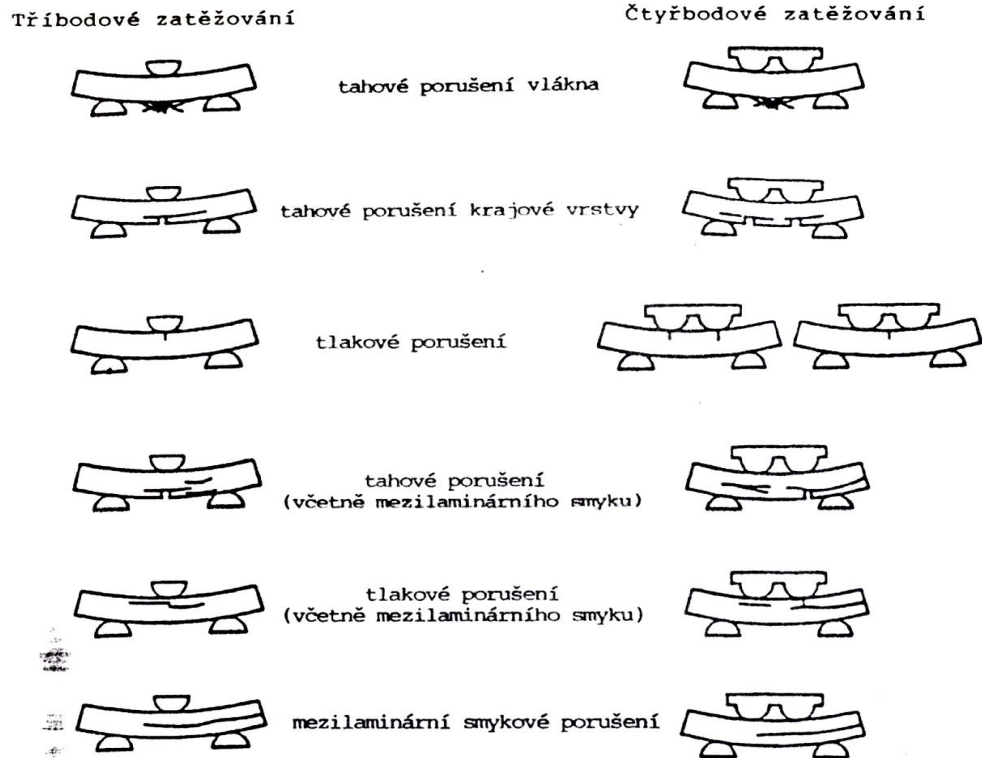
U kompozitních materiálů je důležité sledovat druh porušení tělesa. Zda jde o porušení nosníku zlomením vyvolaný tahovým či tlakovým namáháním. Měření kompozitních materiálů je potřeba měřit u dostatečně tenkých zkušebních těles. Stejně jako u zkoušky tahem/tlakem je nutné brát v úvahu směr natočení a uložení vláken ve zkušebním tělese.[4]



Obr. 13 Průběh ohybových momentů u tří a čtyřbodového ohybu[4]

Příklady možných typů porušení při ohybu jsou uvedeny na obr. 14.

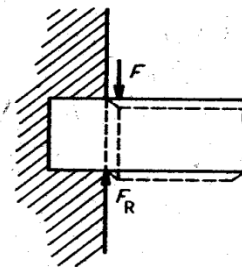




Obr. 14 Příklady porušení kompozitních materiálů při zkoušce ohybem[4]

### 1.2.3 Smyk/střih

Namáhání smykem vzniká tehdy, když výsledná síla působí v rovině průřezu a prochází jeho těžištěm. Proti vnější působící síle  $F$  působí reakční síla upevnění tělesa  $F_R$ . V důsledku působení obou sil se dva sousední průřezy vůči sobě nepatrně posouvají kolmo na osu součásti, jak ukazuje obr. 15. Výpočet smyku je používán tam, kde je vzdálenost obou sil malá a můžeme tím pádem zanedbat vliv ohybového momentu. Nejčastěji je tomu u součástí uložených lícovaně (čepy, kolíky, nýty).[6][10]



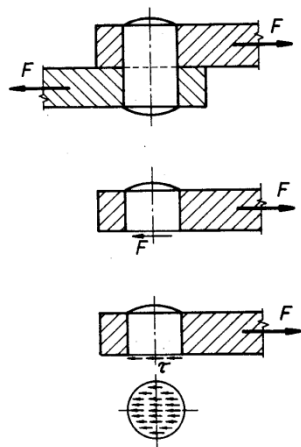
Obr. 15 Namáhání smykem[6]

Výpočet smykového napětí počítáme z rovnice:

$$\tau_s = \frac{F}{S} \quad (15)$$

kde  $S$  je celková plocha zatěžovaného průřezu

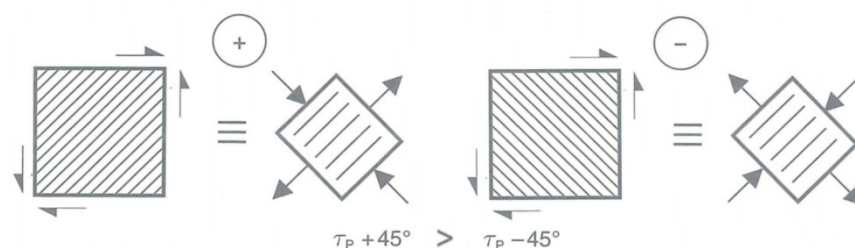
Abychom zjistili druh a velikost napětí, které působí v nebezpečném průřezu, oddělíme myšleným řezem jednu část a její účinek nahradíme účinkem vnitřní síly působící proti deformaci, jak lze pozorovat na obr. 16. Aby nastala rovnováha, musí vnitřní síla působit rovnoběžně se zatěžující silou v opačném směru. Smykové napětí tedy působí tečně k namáhanému průřezu. Dojde-li k překročení dovoleného napětí daného materiálem, nastává usmýknutí (nebo ustříhnutí) součásti. Toho využíváme u technologie stříhání, ale také například při ochraně dalších součástí při přenosu krouticího momentu a to ve formě střížné pojistné spojky.[10]



Obr. 16 Myšlený řez součásti při namáhání smykem[10]

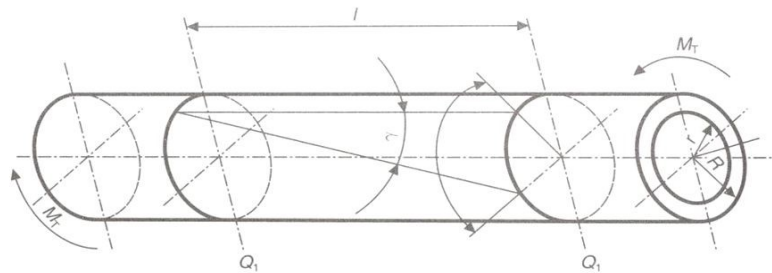
Pevnost ve stříhu (mez pevnosti ve stříhu)  $R_{ms}$  je největší smykové napětí, které potřebujeme k přestřížení zkušební tělesa. Tato zkouška není příliš běžná a využívá se například u dřeva, lepenky, slídy apod.

U kompozitních materiálů je zvláštností závislost pevnosti ve smyku na směr zatížení. Únosnost jednosměrně vyztuženého laminátu při namáhání na tah ve směru vláken je mnohonásobně vyšší než při zatížení kolmo na vlákna. Při namáhání tlakem je to naopak. Toto způsobuje závislost pevnosti kompozitu ve smyku na směr zatěžování. Na obr. 17 můžeme vidět vliv směru smykových napětí podle způsobu zatížení.[6][10]



Obr. 17 Vliv smykových napětí v závislosti na způsobu zatížení[4]

Pokud jednosměrný laminát zatěžíme smykovým napětím, které působí ve směru skloněném pod úhlem  $45^\circ$ , pak ve směrech rovnoběžném a příčném působí pouze normálová napětí. Když působí smyková napětí ve smyslu označeném +, hovoříme o příčném namáhání na tlak. Naopak při smyslu označeném – je napětí tahové. Z této skutečnosti plyne, že pevnost ve smyku je v druhém případě menší než v prvním. Realizace namáhání při prostém smyku je u kompozitních materiálů obtížné. Z tohoto pohledu jsou nejvhodnější zkušební tělesa ve tvaru trubky namáhané na krut, jak je znázorněno na obr. 18.[4]



Obr. 18 Deformace zkušební trubky při zkoušce krutem[4]

Pevnost ve smyku je v tomto případě dána vztahem:

$$\tau_P = \frac{2 \cdot M_T \cdot R_M}{\pi \cdot (R^4 - r^4)} \quad (16)$$

kde

$M_T$  je krouticí moment při porušení

$R_M$  je střední poloměr daný vztahem  $R_M = (R + r)/2$

Při stanovení velikosti modulu pružnosti ve smyku  $G_{xy}$ , musí platit podmínka, aby osa trubky ležela rovnoběžně se směrem jedné osy ortotropie materiálu. Známe-li krouticí moment  $M_T$ , který vyvolává zkroucení rovnající se úhlu  $\gamma$  mezi průřezy  $Q_1$  a  $Q_2$  souose umístěny a vzdáleny od sebe o hodnotu  $l$ , pak platí vztah:

$$G_{xy} = \frac{2 \cdot M_T \cdot l}{\pi \cdot (R^4 - r^4) \cdot \gamma} \quad (17)$$

kde

$l$  je axiální vzdálenost průřezů  $Q_1$  a  $Q_2$

$\gamma$  je úhel zkroucení

Na plochém zkušebním tělese z laminátu s orientací vrstev 45° lze ze zkoušky tahem stanovit modul pružnosti ve smyku  $G_{ILL}$  jednosměrně vyztužené vrstvy a to pomocí vztahu:

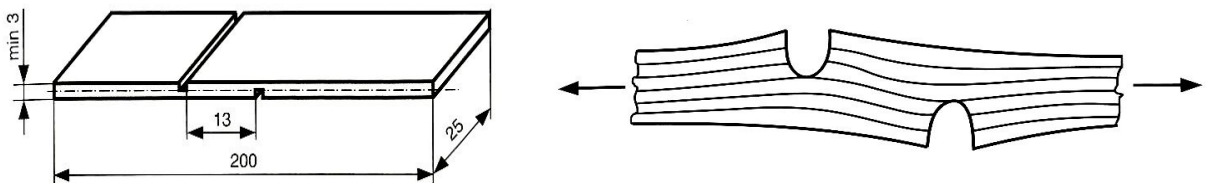
$$G_{ILL} = \frac{\sigma_x}{2 \cdot (\varepsilon_x - \varepsilon_y)} \quad (18)$$

kde

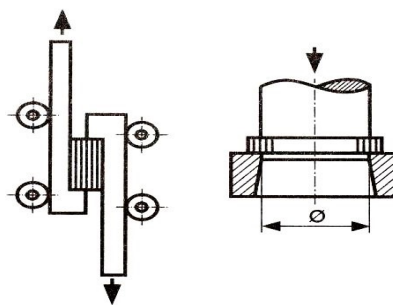
$\varepsilon_x(\varepsilon_y)$  je deformace v podélném (příčném) směru

$\sigma_x$  je napětí v podélném směru

Další charakteristikou, kterou se posuzuje kvalita kompozitních materiálů je interlaminární (mezivrstvá) pevnost ve smyku (ILS). Ke zkoušení se používají různá zkušební tělesa uvedena v obr. 19. Je to proto, aby se minimalizoval vliv ohybové tuhosti, kterou může být vyšetřovaná vlastnost silně ovlivněna.[4]

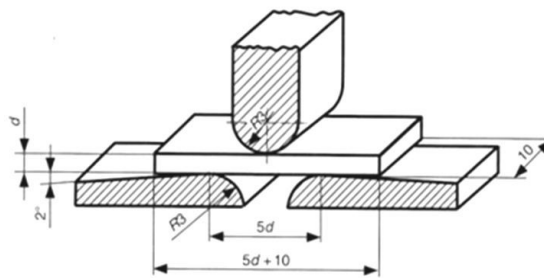


Obr. 19 Zkušební těleso a jeho ohybové přetvoření při zkoušce interlaminární pevnosti ve smyku dle normy ASTM D 2730- 70[4]



Obr. 20 Schéma zkoušky střihem u plochého a trubkového tělesa[4]

Interlaminární pevnost ve smyku ILS jednosměrně vyztužených laminátů nebo laminátových kompozitů mezi jejich vrstvami lze stanovit pomocí zkoušky na krátkém tříbodovém ohybu zvaném Short - Beam test (podle ČSN EN ISO 14130). Při této zkoušce vzniká lom vlivem maximálního smykového napětí  $\tau_{max}$ , které působí v neutrální rovině krátkého zkušebního tělesa.[4]

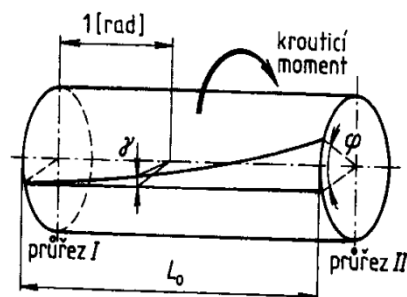


Obr. 21 Zkouška třibodovým ohybem pro stanovení interlaminární smykové pevnosti ILS[4]

Zkouška je vhodná ke kontrole kvality kompozitu. Pro zjištění konstrukčních vlastností jako ukazatele k dalším návrhům se příliš často nepoužívá. Proto se hovoří o tzv. zdánlivé interlaminární smykové pevnosti.[4]

#### 1.2.4 Krut

Namáháním na krut rozumíme zatížení součásti vnějším kroučícím momentem, který vyvolává deformaci součásti s následným vzájemným natočením průřezů I a II kolmých k ose této součásti, které jsou od sebe axiálně vzdáleny o délku  $L_0$ . Tyto průřezy se vůči sobě natočí o úhel  $\varphi$ , který se nazývá úhel zkroucení, přímka ležící na povrchu součásti se zdeformuje a vytvoří křivku, konkrétně tvoří část šroubovice se strmým stoupáním, která svírá s povrchovou přímkou úhel  $\gamma$ , zvaný zkos.[6][10]



Obr. 22 Úhel zkroucení a zkos při namáhání krutem[1]

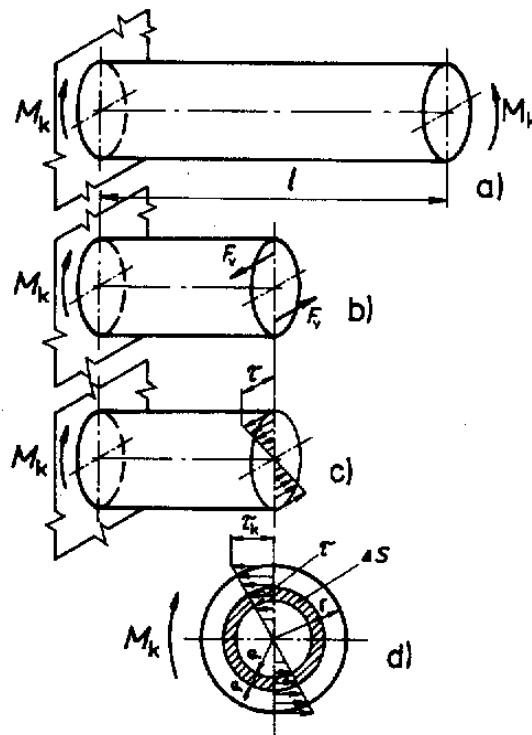
Zatěžující kroučící moment působí v rovině kolmé na osu součásti a namáhá tak každý průřez součásti stejně. Pokud se myšleným řezem oddělí část tělesa, potom musíme její účinek nahradit příslušnou reakcí (vnitřními silami). Aby nastala rovnováha mezi vnějším kroučícím momentem  $M_k$  a vnitřními silami, musí mít účinek vnitřních sil charakter momentu tzn. silové dvojce  $F_V$  a musí působit v rovině rovnoběžně s rovinou zatěžujícího momentu. Vnitřní síly působí tečně k danému průřezu a vyvolávají tak tečné napětí, které je dáno vztahem:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad (19)$$

kde

$W_k$  je modul průřezu v krutu

Při namáhání na krut není průřezová charakteristika dána obsahem plochy  $S$  jako u smyku. Je používána veličina složitější a to modul průřezu v krutu. Tato nezávisí pouze na velikosti plochy  $S$  namáhaného průřezu, ale je závislý také na tvaru a rozložení materiálu vzhledem k jeho osám průřezu.[6]



Obr. 23 Myšlený řez součásti a průběh krouticího momentu[10]

Jak vidíme z obr. 23 maximální krouticí moment  $M_{kmax}$  se nachází v nejkrajnějším vlákně průřezu. Tato vlákna jsou tedy namáhána nejvíce. Maximální krouticí moment vypočteme ze vztahu:

$$M_k = F \cdot r \quad (20)$$

kde

$r$  je vzdálenost krajního vlákna od neutrální osy, nazývá se rameno

Nejčastějším případem namáhání na krut je přenos otáček a zatěžování strojních součástí zvaných hřídele. Proto při výpočtu krouticího momentu často vycházíme ze zadaných otáček a přenášeného výkon, ze kterých můžeme vypočítat zatěžující krouticí moment daný vztahem: [1] [6] [10]

$$M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} [N \cdot m] \quad (21)$$

kde

P je výkon dosažený ve wattech

n jsou otáčky v  $s^{-1}$

Úhel zkroucení lze vypočítat ze vztahu

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_p} [rad] \quad (22)$$

kde

l je vzdálenost průřezů

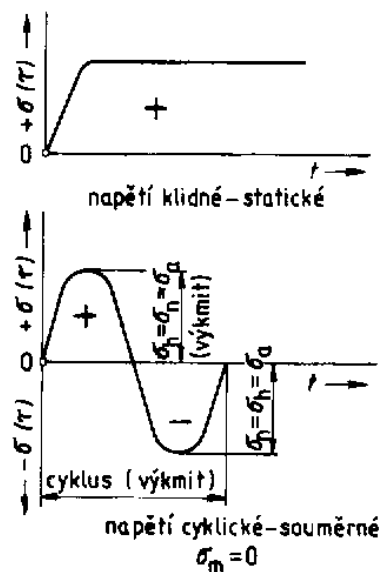
G je modul pružnosti ve smyku

$J_p$  je polární moment průřezu

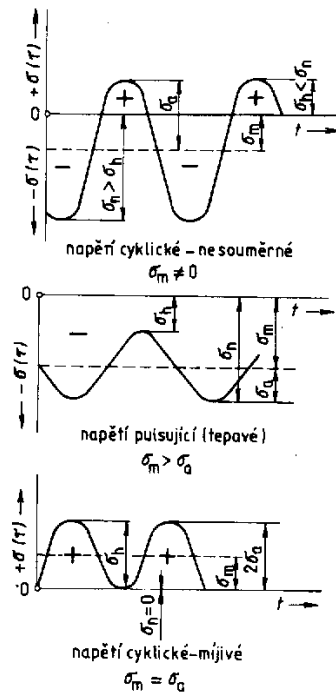
Součin  $G J_p$  se nazývá tuhost v kroucení[6]

### 1.3 Mechanické zkoušky dynamické

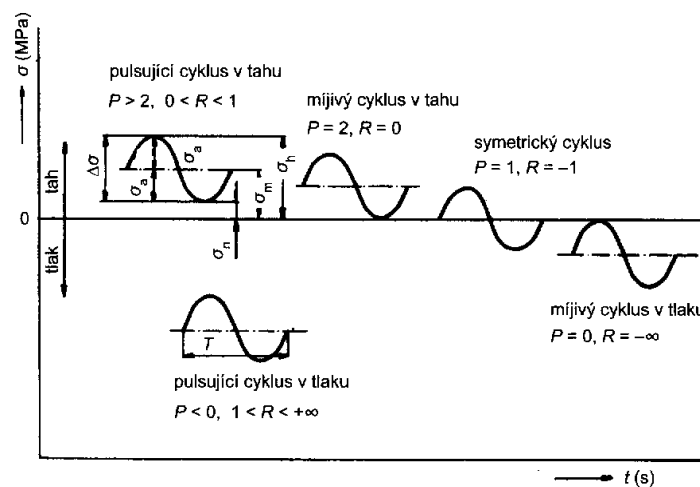
Výrobky používané v praxi jsou zřídka namáhány výhradně stálými nebo pozvolna a plynule se měnícími silami, které jsou charakteristické pro statické namáhání. Častěji se velikost a smysl namáhání prudce případně i opakovaně mění nebo roste skokem. Základní způsoby dynamického namáhání popisují obr. 25,26 a 27.[1][7]



Obr. 24 Různé druhy namáhání a jejich časový průběh[1]



Obr. 25 Různé druhy namáhání a jejich časový průběh[1]



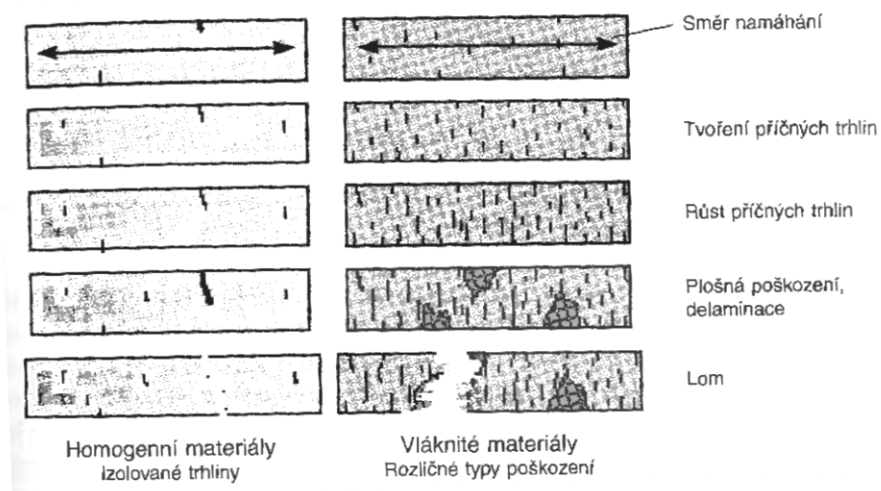
Obr. 26 Různé druhy namáhání a jejich časový průběh[7]

Součást se v tomto případě vystavuje působením velkého počtu těchto změn, nazývaných dynamické zatěžování. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nelze zjistit zkouškami statickými, ale dynamickými. Při dynamickém namáhání často dochází k náhlému porušení součásti, i přesto že zatěžující síla ještě zdaleka nedosáhla statické pevnosti namáhaného materiálu. Účelem dynamických zkoušek při rázovém a cyklickém namáhání, je stanovení vlastností materiálů při dynamickém namáhání.[1][9]

Kompozitní materiály, které jsou vyztuženy dlouhými vlákny, umožňují optimalizaci jejich struktury s ohledem na předpokládaný způsob a směr namáhání.



Naproti tomu důsledkem jejich mikro i makroskopicky heterogenní struktury existuje velká rozmanitost ve způsobu a průběhu porušování. Mezi mikro a makroskopické heterogenní struktury lze zařadit náhlé změny tuhosti na přechodu mezi maticí a vlákny a mezi jednotlivými vrstvami laminátu nebo směrově závislé mechanické charakteristiky. Většina mechanismů poškozování kompozitů se naopak u homogenních materiálů jako kovy a nevyztužené plasty vůbec nevyskytuje. Tato skutečnost činí konstruktérům, kteří jsou zvyklí pracovat s izotropními materiály problémy pochopit a správně interpretovat chování kompozitních materiálů při únavovém namáhání. U kovových materiálů namáhaných cyklickým zatížením je typickým znakem vytvoření lokálně působící a dále se šířící trhliny, její růst a kritickou velikost lze popsat aparátem lomové mechaniky. U kompozitů vyztužených dlouhými vlákny je poškozování při působení dynamického namáhání doprovázeno vznikem a rozvojem mnoha různých typů poruch ve velkém objemu zatěžovaného materiálu, jak lze vidět na obr. 27. Tyto poruchy však jednotlivě nemají takový význam jako trhlina vzniklá v kovových materiálech. U kompozitních materiálů může být růst trhliny zastaven sousední pevnější složkou materiálu.[3][4][7]



Obr. 27 Průběh poškozování homogenního a vláknitého materiálu[4]

Typy poškození vyskytujících se u kompozitů, které jsou vyztuženy vlákny, se často dělí do těchto skupin:

- Porušení soudržnosti matrice a vlákna
- Trhlina v maticí
- Lom vlákna
- Porušení soudržnosti mezi jednotlivými vrstvami (tzv. delaminace), nejčastěji u vrstvených materiálů při postupujícím procesu únavy

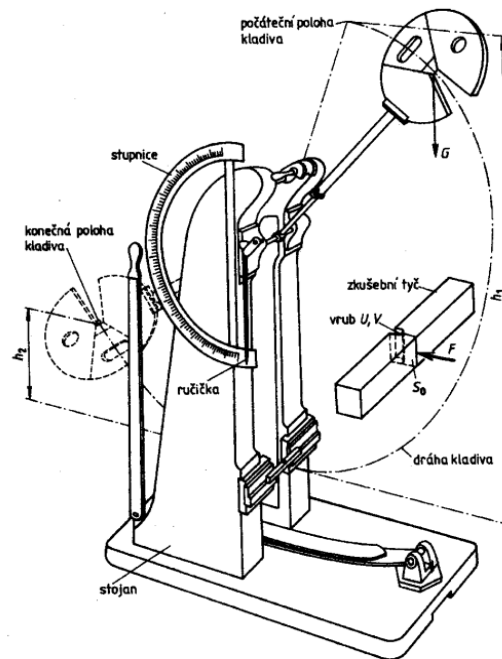
Rozsah a pořadí jednotlivých typů porušování je závislé na vlastnostech jednotlivých složek obsažených v kompozitu. Je to například tažnost matrice, obsah vláken jejich orientace, počet a pořadí vrstev a také směr a druh namáhání jako tah, tlak, smyk atd. Vznik a rozvoj porušování probíhá při společném působení ostatních typů poruch kompozitu. Z těchto důvodů je obtížné až nemožné stanovit a formulovat obecné zákonitosti procesu porušování a následného růstu poruch v kompozitních materiálech.[4][11]

### 1.3.1 Zkouška rázem v ohybu

Rázové zkoušky se používají k určení velikosti energie nebo práce potřebné k porušení zkušební tělesa ve tvaru tyče. Nejčastěji je zkušební vzorek zatížen jedním rázem. Při tomto zatížení se použije najednou dostatečné množství energie na porušení zkušební tělesa. Méně často se používá zkouška několika po sobě jdoucimi rázy, při kterých se jejich energie sčítá. Rázovými zkouškami lze stanovit i pevnost v tahu, tlaku, ohybu a krutu.[1]

Zkouška rázem v ohybu je ze všech typů rázových zkoušek nejpoužívanější. Je dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálu. Nejběžnější je zkouška vrubové houževnatosti. Tato zkouška se provádí na stroji zvaném Charpyho kyvadlové kladivo zobrazené na obr. 28. Těžké kladivo je uloženo otočně kolem osy, zvednuté do určité výchozí výšky, ze které se spouští. Uvolněním se gravitací kladivo začne pohybovat po kruhové dráze a padá do nejnižší polohy kde je umístěno zkušební těleso. Jediným rázem kladiva se těleso přerazí a kladivo se vykývne do konečné polohy, která je nižší než poloha na počátku. Je to proto, že se pro přeražení spotřebuje určitá práce. Tuto práci nazýváme spotřebovaná nárazová práce  $K$  a udává se v J (joulech). Tato práce je dána obecným vztahem:[1][6]

$$K = G \cdot (h_1 - h_2)[J] \quad (23)$$



Obr. 28 Náčres Charpyho kyvadlového kladiva v počáteční a koncové poloze[1]

U houževnatých materiálů nemusí vždy dojít k porušení zkušebního tělesa ale pouze k plastické deformaci materiálu. Z tohoto důvodu se vzorky opatřují vrubem a to buď ve tvaru U nebo V. Podíl spotřebované nárazové práce  $K$  a počátečního příčného průřezu v místě vrubu  $S_0$  se nazývá vrubová houževnatost označená  $KC$ , podle tvaru vytvořeného vrubu buď  $KCU$  nebo  $KCV$ :

$$KCU = \frac{KU}{S_0} \text{ nebo } KCV = \frac{KV}{S_0} [J \cdot cm^{-2}] \quad (24)$$

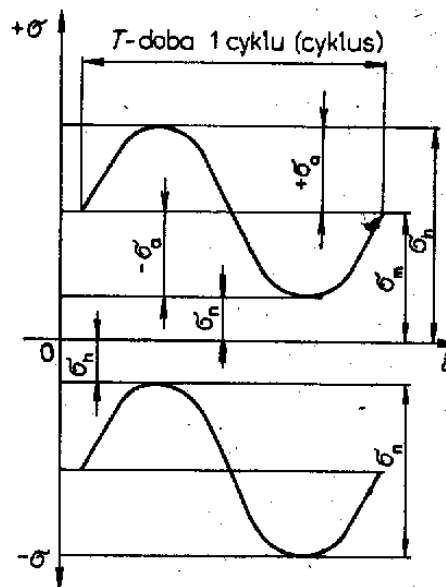
U plastů zkoušku rázem v ohybu provádíme na Charpyho kladivu podle normy ČSN EN ISO 179. Zkušební těleso je buď bez vrubu pro měření rázové houževnatosti u křehkých plastů, nebo jsou opatřeny vrubem pro měření vrubové houževnatosti u houževnatějších polymerních materiálů. V některých zemích je častější Izodova zkouška rázem v ohybu. Při této zkoušce se zkušební tyč opatřená vrubem upne jednostranně a je na ni spuštěno kladivo, které tyč přerazí, podobně jako u Charpyho zkoušce. Pro vysoce houževnaté polymerní materiály používáme i zkoušku rázem v tahu podle normy ČSN EN ISO 8256. Při zvyšující se teplotě se rázová a vrubová houževnatost materiálů zvyšuje. Tyto vlastnosti se také mění při modifikování plastů kopolymerací, přidáním příměsí, plniv apod., nebo vlivem technologických podmínek při zpracování a výrobě zkušebních těles. Zkoušku také provádíme za snížených teplot např. při  $-30^\circ C$ . [1][4]

Zkouška rázem v ohybu jako ukazatel houževnatosti dřeva je vhodná zejména pro součásti namáhané dynamicky. Obecně lze mezi houževnatá dřeva zařadit jasan, buk, dub nebo smrk. Zkouška rázem v ohybu se provádí dle normy ČSN 49 0117.[12]

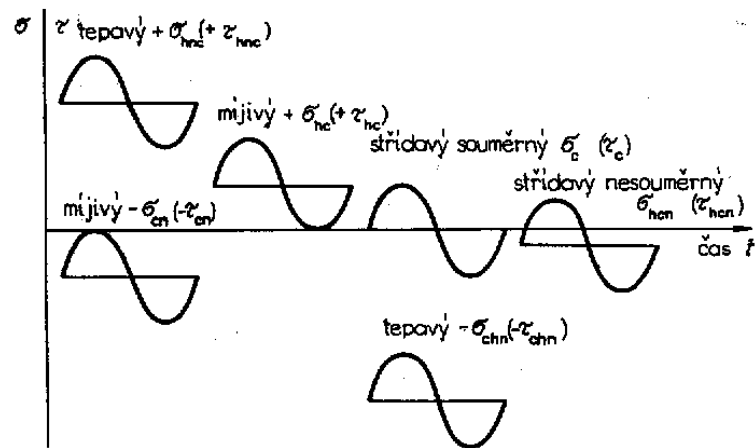
### 1.3.2 Zkoušky opětovným namáháním

Zkoušky opětovným namáháním nebo také zkoušky únavy materiálu. Tyto zkoušky dávají jiný pohled na chování materiálů. Při namáhání se v materiálu tvoří poruchy, a to i při značně menším napětí, než odpovídá statická pevnost materiálu. Tento jev se nazývá únava materiálu. Při testech materiálů byla zjištěna skutečnost, že nebezpečí vzniku lomu z únavy materiálu nastává až při překročení určité hranice, nazývána mez únavy  $\sigma_c$ . Lze jej definovat také jako největší výkmit napětí, který materiál může vydržet teoreticky nekonečný počet opakování (cyklů).[1][7]

Ke zjištění meze únavy se zkušební vzorek namáhá periodicky měnícím se napětím. Napětí kolísá mezi maximem a minimem kde  $\sigma_h, \tau_h$  se značí horní napětí a  $\sigma_n, \tau_n$  naopak dolní napětí. U tepavého průběhu namáhání lze zakreslit  $\sigma_m, \tau_m$ , které značí střední napětí a  $\sigma_a, \tau_a$  je výkmit napětí (amplituda). Cyklická napětí se označují indexem  $c$ , který se připisuje ke značce napětí  $\sigma_c, \tau_c$ . Přehled všech jednotlivých druhů cyklického namáhání a jejich značení je na obr. 29 a 30.[1] [9]



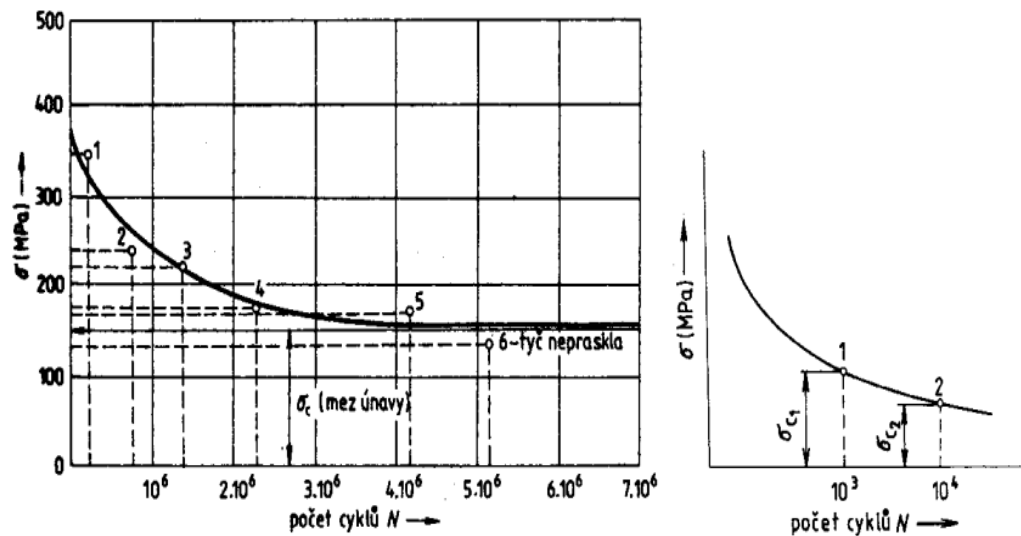
Obr. 29 Průběh jednoho cyklu tepavého napětí[6]



Obr. 30 Druhy cyklického namáhání [6]

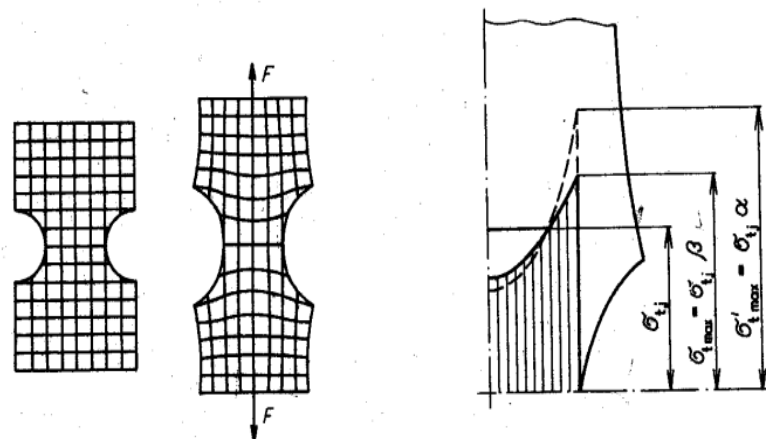
Jeden zatěžovací cyklus je průběh napětí za dobu jednoho kmitu a má nejčastěji tvar funkce sinus, avšak může mít i jiný tvar. Zjišťuje se počet cyklů  $n$ , které vedou k tvorbě a šíření lomu a následné porušení zkušební tělesa. Počet cyklů, při nichž zkušební těleso praskne, vzrůstá se snižujícím se zatěžujícím napětím. Zkušební tělesa se nejčastěji namáhají v kombinaci střídavý tah a tlak, střídavý ohybu, ohyb za rotace a střídavý krut. Při zjišťování meze únavy se však zkušební tyč nezatěžuje nekonečně dlouho, ale počet cyklů se omezuje. Zkoušku provádíme na speciálních strojích, které nám dovolují zkušební součásti namáhat cyklicky v daných kombinacích.[1][6]

Pro zkoušku se používá několika stejných zkušebních vzorků z daného materiálu. První vzorek je zatěžován napětím zvoleným těsně pod mezí kluzu až dokud tyč nepraskne a u následujících vzorků je velikost napětí snižováno. Tím se dosáhne vyššího počtu cyklů. Následně se body zakreslí do diagramu, ve kterém je na svislou osu vynášena velikost zatěžujícího napětí  $\sigma$  a na osu vodorovnou počet cyklů  $n$ . Body se poté proloží křivkou, která se nazývá Wöhlerova křivka a udává závislost mezi napětím a počtem cyklů. Tato Wöhlerova křivka se po určitém počtu cyklů blíží asymptoticky k napětí, které je mezí únavy  $\sigma_C$  a je tedy téměř rovnoběžná s vodorovnou osou. Vynese-li se asymptota jako rovnoběžka s vodorovnou osou, protne nám tato přímka svislou osu, kde ukazuje hodnotu meze únavy. Konstrukci Wöhlerovy křivky znázorňuje obr. 31.[1][7]



Obr. 31 Konstrukce a znázornění tvaru Wöhlerovy křivky[1]

Velký vliv na hodnoty meze únavy mají nejen vlastnosti materiálu ale i jakost povrchu. Mezi jakost povrchu řadíme drsnost, vruby či koroze a tyto mají významný vliv na hodnoty meze únavy, která se snižuje, je-li povrch příliš hrubý, nebo je napaden korozí. Mezi další vlivy, které snižují hodnoty meze únavy, řadíme náhlé změny tvaru tělesa. V průřezech, které jsou zeslabeny, vzniká napětí, které není rozloženo rovnoměrně, ale dochází ke zvýšení (koncentraci) napětí. Příklad koncentrace napětí v zeslabeném průřezu znázorňuje obr 32.[1] [6]

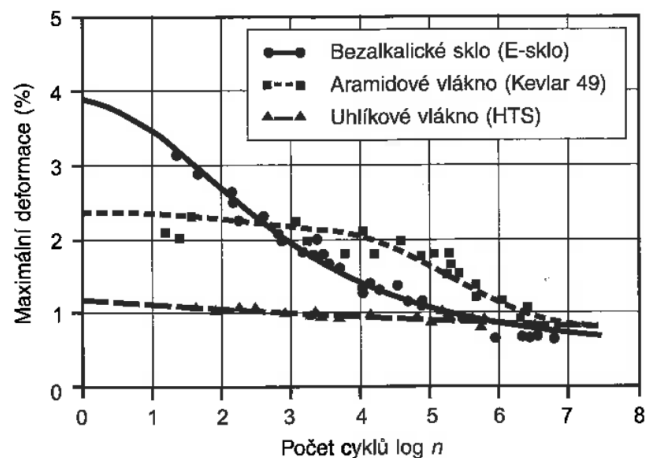


Obr. 32 Deformace a rozložení napětí v náhle zeslabeném průřezu [6]

Při určování procesu únavového poškození kompozitních materiálů se poruchy rozdělují na mikroskopické a makroskopické. Mikroskopické poruchy vznikají u jednoho či několika vláken jedné vrstvy, makroskopické jsou o velikosti nejméně jedné celé vrstvy. Proces porušování je kontinuální proces a začíná na mikroúrovni, následně s rostoucím počtem zatěžujících cyklů vznikají stále rostoucí oblasti poškození. Tato poškození se projevují snížením tuhosti kompozitního materiálu. Pokud rozsah poškození

v kompozitním materiálu dosáhne kritické hodnoty, klesne zbytková pevnost či tuhost pod úroveň zatěžujícího namáhání a dochází tak k lomu nebo ztrátě stability. Únavové vlastnosti vlákniny vyztužených kompozitních materiálů u zvoleného typu vrstvení laminátu silně závisí na použitých materiálech. Například epoxidové pryskyřice vykazují lepší únavové vlastnosti než pryskyřice polyesterové. Větší význam na únavové vlastnosti má však volba materiálu vyztužujících vláken. Uhlíková vlákna vykazují vyšší životnost než vlákna skleněná nebo aramidová.[3] [4]

Na obr. 33 je znázorněn průběh tažnosti v závislosti na počtu zatěžujících cyklů ortotropního laminátu vyztuženého skleněnými, uhlíkovými a aramidovými vlákny se stejnou epoxidovou pryskyřicí jako matricí.[4]



Obr. 33 Únavové vlastnosti kompozitů se stejnou epoxidovou pryskyřicí a různými druhy vláken [4]

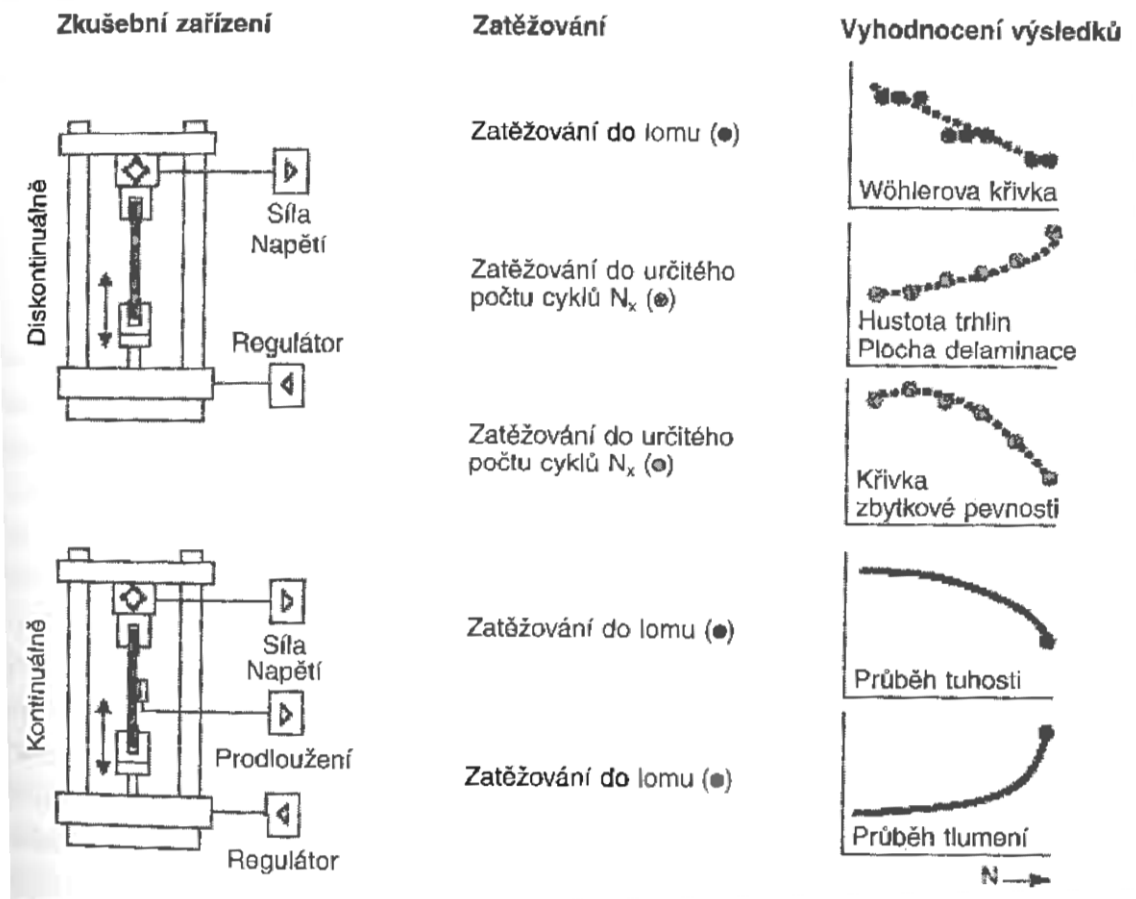
Zvláštností na obrázku je pokles tažnosti skleněnými vlákny vyztuženého kompozitu již po  $10^5$  cyklech na pouhých cca 25% své původní tažnosti při statickém namáhání tahem. Kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny vykazovaly ještě po  $10^7$  cyklech 75 až 80% statické tažnosti. Chování laminátů s uhlíkovými vlákny při dynamickém zatěžování je jejich velkou předností. Tažnost u kompozitů s aramidovými vlákny výrazně klesla až po  $10^5$  cyklech. Ovšem při  $10^7$  cyklech se tažnost snížila na 30% statické hodnoty.[4]

K popsání únavového chování existují tato kritéria:

- Lom nebo úplná porucha
- Pokles tuhosti a zbytková pevnost
- Způsob poškození a jeho průběh

Tato kritéria umožňují prohlubování poznatků o příčinách procesu únavového poškození. Vyžadují však větší rozsah zkoušek při nepřetržitém záznamu průběhu

závislosti napětí na deformaci s doplňujícími nedestruktivními zkouškami (ultrazvukem) a mikroskopickými analýzami stavu poškození. [4]



Obr. 34 Různé druhy charakterizování stavu únavového poškození kompozitních materiálů [4]

Metody vyšetřování dynamických vlastností kompozitů lze dělit na:

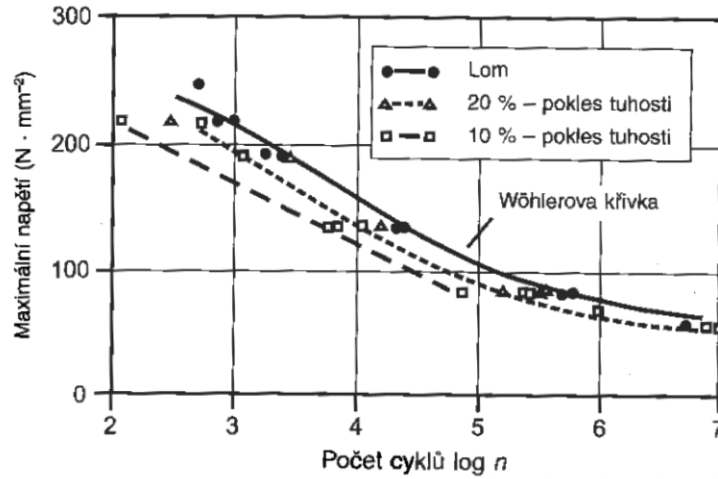
Kontinuální- kdy proces poškození je průběžně sledován a zaznamenáván

Diskontinuální- kdy zkušební těleso zatěžujeme buď až do lomu nebo do dosažení určitého počtu zatěžujících cyklů s následnou mikroskopickou analýzou nebo jinou nedestruktivní metodou zkoušení.[4]

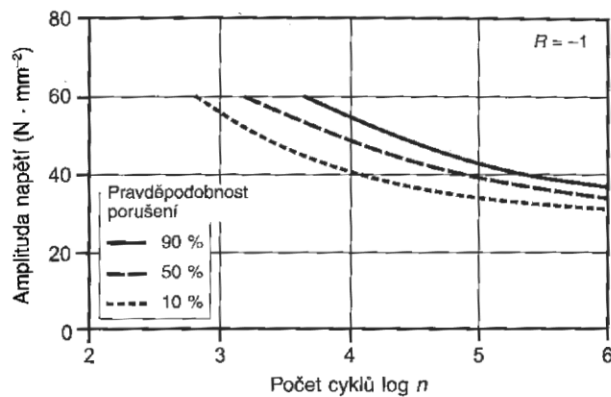
Wöhlerova křivka se pro kompozitní materiály nejčastěji používá k popisu jejich únavových vlastností. Kritérium únavy je úplné porušení zkoušejícího tělesa, tedy lom. Pro dynamicky zatížené součásti je zřetelný lom jako jediný projev únavy nedostatečný. Je to z toho důvodu, že většina vláknů vyztužených materiálů se s rostoucí dobou zatížení a postupnou únavou vykazují více či méně pokles tuhosti. Zvolíme-li jako kritérium únavy jistý pokles tuhosti (obvykle o 10 nebo 20%) a tyto body poté zaneseme do Wöhlerova diagramu, získáme další údaje o časovém průběhu únavy, jak je znázorněno na obr. 35. Pro



stanovení zbytkové pevnosti materiálu je zkušební těleso po určitém počtu zatěžujících cyklů podrobno statické zkoušce.[1][4]



Obr. 35 Pokles tuhosti jako kritérium únavy (laminát z epoxidové pryskyřice vyztužený uhlíkovými vlákny)[4]



Obr. 36 Pravděpodobnost porušení jako kritérium únavy polyesterového laminátu vyjádřené pomocí Wöhlerovy křivky [4]

## 2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ SKATEBOARDŮ

Skateboardy jsou desky opatřeny kolečky a slouží ke sportu, zvaném skateboarding. Skateboardy se skládají ze tří hlavních částí - deska, trucky a kolečka.[13]

Trucky jsou upevněny na desce a jsou na ně nasazena kolečka. Tvoří tak část mezi deskou a kolečky. Nejčastěji jsou vyrobeny ze slitiny hliníku a skládají se ze dvou částí. Horní část je pevně přišroubována na desku a nazývá se baseplate. Dolní část, která tvoří nosník s osami pro nasazení koleček se nazývá hanger. Horní část s dolní částí jsou spolu spojeny pomocí šroubu, kolem kterého se může hanger volně otáčet a dovoluje tak zatáčení skateboardu. Mezi horní a dolní částí je vloženo pouzdro z měkkého materiálu (pryž, polyuretan, apod.) které poskytuje tlumení a také upravuje vlastnosti zatáčení skateboardu. [13][14]

Kolečka se vyrábí nejčastěji z polyuretanu, v různých velikostech a tvrdostech podle použití a druhu skateboardingu. Zajišťují kontakt s povrchem a jejich otáčením se tak může skateboard snáze pohybovat. Kolečka jsou opatřena ložisky, která snižují tření mezi kolečkem a osou. Vyrábí se v tvrdostech měřených od Shore A 75 po Shore A 101.[14]

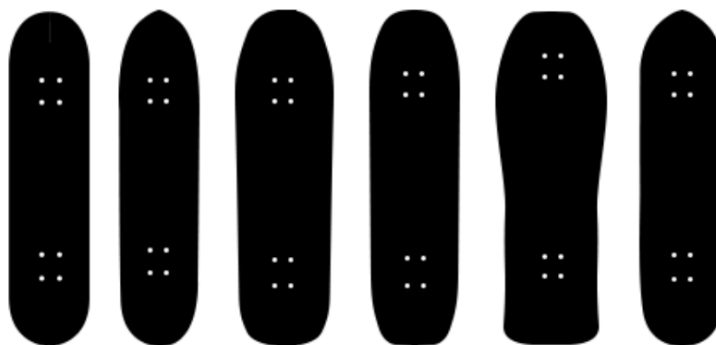
Desky mohou být vyrobeny v různých velikostech a s velkou variabilitou výběru materiálu. Nejčastěji používané materiály jsou dřevo, různé druhy plastů, kompozitní materiály nebo jejich kombinace. Desky mohou být buď z jednoho kusu materiálu (méně časté), nebo lepeny z několika tenkých vrstev, nejčastěji ze 7 až 11 vrstev. Počet vrstev je však značně variabilní a záleží na požadovaných výsledných vlastnostech desky. Na vrchní straně desky je nalepena páska tzv. griptape, která je svým povrchem podobná jemnému smirkovému papíru a zajišťuje lepší přilnavost boty ke skateboardu.[15][16]

Tvar skateboardu je velmi variabilní a závisí opět podle druhu skateboardingu. Rozeznáváme tyto druhy skateboardů:

**Skateboard** – patří k nejrozšířenějším a nejoblíbenějším typům prken. Charakteristický je tvar obdélníku se zaoblenými rohy z obou stran, tedy symetrii a s vysokou odolností. Osazen je menšími a tvrdšími kolečky, které zajišťují dobrou ovladatelnost. Jsou tedy určeny pro překonávání různých překážek a všechny možné triky ve skateparcích a U rampách.[15]

**Cruiser** – cruiser nebo také penny board. Jsou to spíše menší prkna, která se vyrábí nejčastěji z plastu kvůli nízké hmotnosti, ale mohou být také dřevěné. Přední část je zaoblena. Jejich tvar připomíná rybu. Nejčastěji jsou osazeny většími a měkkými kolečky pro snazší jízdu. Využívají se spíše jako dopravní prostředek, než prkna určená k trikování ve skateparcích. [15][16]

**Longboard** – jak již z názvu vyplývá, jedná se o prkna charakteristické dlouhou deskou, která může měřit až 1 metr. Bývá osazen širšími trucky s většími kolečky.[15][16]



*Obr. 37 Různé tvary desek skateboardů[17]*

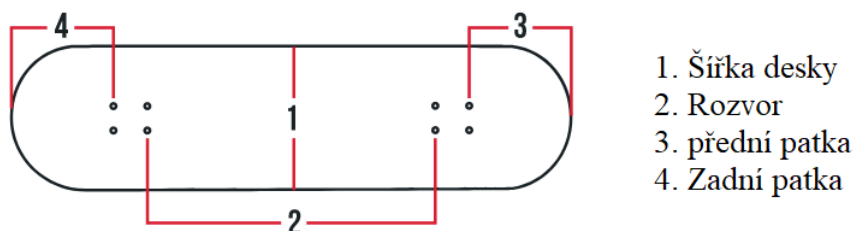
#### **Vlastnosti desek skateboardů**

Šířka desky skateboardu je velmi variabilní a se pohybuje nejčastěji od 7,5 do 8,5 “ (191 až 216 mm). Šířka prkna se volí podle velikosti nohy skateboardisty a také podle typu skateboardingu, ke kterému bude využíván. Délka desky je měřena od špičky přední (nose) po špičku zadní (tail) patky. Délka prkna se pohybuje ve velkém rozmezí od cca 22 po 40 “ (560 až 1000 mm) a je opět dána preferencí skateboardisty a použití.[14][17]

Rozvor je vzdálenost mezi vnitřními montážními otvory, pomocí kterých jsou upevněny trucky k desce. Tato vzdálenost tedy určuje, jak daleko od sebe budou přední a zadní kolečka. Velikost rozvoru ovlivňuje chování skateboardu. Přední část desky přesahující přes přední truck se nazývá přední patka (nose, kicknose), zadní část přesahující za zadní truck se nazývá zadní patka (tail, kicktail). V případě, že deska skateboardu končí zároveň s truckem, nazývá se no kick. Dále pak můžeme uvést tzv. double kick a single kick jak je znázorněno na obrázku 38. Takto upravené konce prken umožňují provádět různé triky.[17]



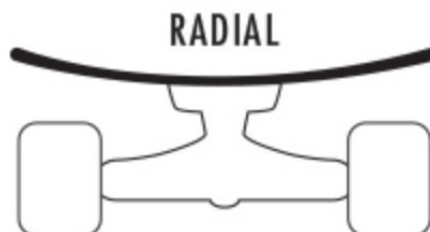
Obr. 38 Různé kombinace zahnutí patek skateboardů[17]



Obr. 39 Základní rozměry desky skateboardu[18]

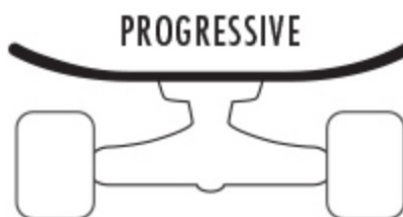
Zakřivení prkna neboli konkávnost lze pozorovat v příčném řezu prkna, tedy v jeho šířce. Můžeme je rozdělit na 7 druhů zakřivení:

**Radial concave** – zakřivení do tvaru U o stejném poloměru. Velikost poloměru se může měnit podle výrobce nebo použití prkna. Zajišťuje jistější postavení na prknu. Dříve byla používána u většiny skateboardových prken.[19]



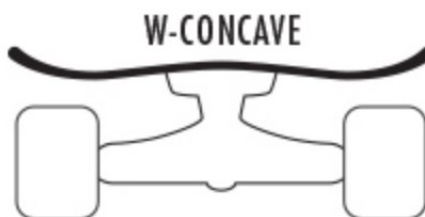
Obr. 40 Zakřivení radial concave[19]

**Progressive** – zakřivení je podobné jako u radial concave s tím rozdílem, že rádius zakřivení je proměnlivý a vytváří tak tvar části elipsy. Tato elipsa je v prostřední části plytká a při okraji se mění ve strmější. Zajišťuje bezpečnější postavení a pocit “uzamčení” nohy.[19]



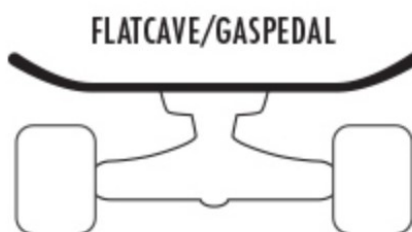
Obr. 41 Zakřivení progressive[19]

**W-concave** – symetricky tvarované zakřivení s vyvýšením na stranách i uprostřed a připomínající písmeno w. Tento typ zakřivení umožňuje rychle přenášet energii ze špičky na patu chodidla a tím rychleji měnit směr jízdy.[19]



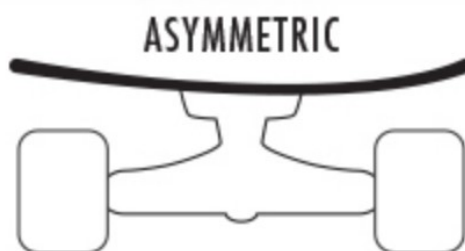
Obr. 42 Zakřivení W-concave [19]

**Flatcave** – zakřivení je podobné radial concave. Střed desky je rovný a okraj přechází do ostrého zakřivení. Postavení na rovné ploše přispívá ke klidnější jízdě. Ostře zakřivené okraje umožňují náhlé a rychlé přenesení energie z jednoho na druhý okraj.[19]



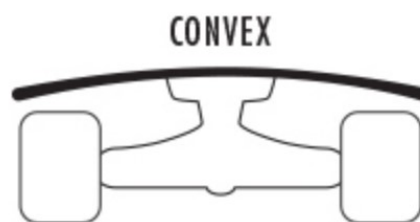
Obr. 43 Zakřivení flatcave [19]

**Asymmetric** – speciální zakřivení s asymetrickým tvarem. Umožňuje jezdcům mít větší sílu na patách při zatáčení.[19]



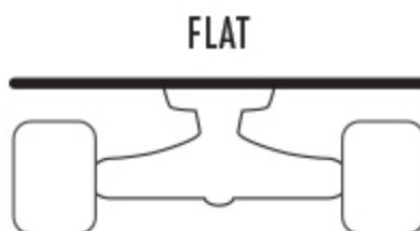
Obr. 44 Zakřivení asymmetric [19]

**Convex** – tvar desky je konvexní tzn. střed desky převyšuje nad okraji, které jsou tím pádem níže. Tento tvar je tedy opačný než konkávní zakřivení. Tento tvar desky upřednostňují někteří jezdci na slalom nebo sjezdy.[19]



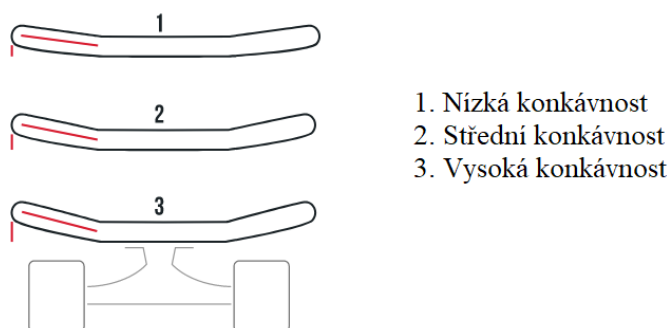
Obr. 45 Zakřivení convex[19]

**Flat** – deska je rovná bez žádného zakřivení. Poskytuje mnoho místa pro chodidla a tedy triky jako chůze po desce a jiné. [19]



Obr. 46 Zakřivení flat[19]

Nejpoužívanější zakřivení u skateboardových desek je konkávní, které se dělí na 3 kategorie: nízká, střední a vysoká. Tyto kategorie jsou rozděleny podle rozdílu výšky od nejvyššího k nejnižšímu místu na prkně. [18]



Obr. 47 Kategorie zakřivení podle strmosti křivky[19]

## 2.1 Dřevo

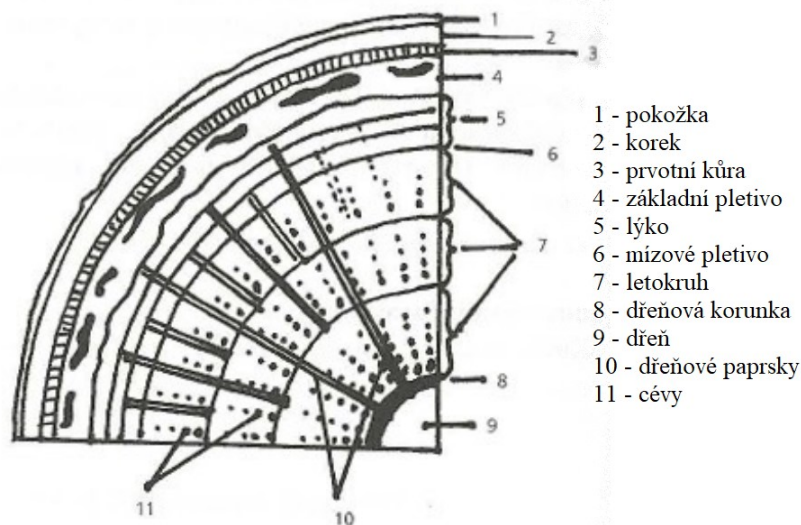
Dřevo je organický materiál, který tvoří základ stromů, keřů a dalších dřevin. Z chemického hlediska je dřevo složeno z celulózy, ligninu, hemicelulózy a dalších látek jako jsou terpeny, vosky, tuky, pryskyřice, třísloviny a další. Dřevo se skládá z celulózových vláken, která jsou vyplněna ligninem. Z tohoto důvodu je dřevo anizotropní materiál, tzn. v různých směrech vykazuje rozdílné mechanické vlastnosti. Na povrchu kmene stromu se nachází kůra, obklopující vrstvy uvnitř kmene. Vzhled kůry závisí na druhu stromu a také na jeho stáří. Mladší stromy mají kůru spíše tenkou a hladkou naopak

staré stromy mají kůru drsnou a hrubou. U stromů má kůra dvě základní části: borka a lýko.[20]

Borka je vnější odumřelá část kůry chránící dřevo proti mechanickému poškození a povětrnostním podmínkám. Lýko je vnitřní část kůry, která těsně přiléhá na kambium. Její základní funkce je vedení a ukládání látek vytvořených pomocí fotosyntézy v listech. Množství kůry se pohybuje kolem 6 až 25 % objemu stromu, závisí však na druhu a stáří stromu, její využití při zpracování je však minimální a spíše se spaluje. Pod vrstvou kůry se nachází tenká vrstva buněk, která se nazývá kambium. Tloušťka kambia je asi 30 až 60  $\mu\text{m}$ . Kambium zajišťuje růst kmene a ve stromu tvoří hraniční vrstvu mezi lýkem, které je z vnější strany a dřevem z vnitřní strany kambia.[20][21]

Za každé vegetační období přibude ve stromě zřetelně oddělená přírůstková vrstva dřeva, která se nazývá letokruh. Letokruhy jsou vždy tvořeny vrstvou jarního a letního dřeva. Rozdíl mezi jarní a letní vrstvou je ten, že jarní vrstva je řidší a světlejší oproti letní vrstvě. Podíl letní vrstvy je velmi závislý podle druhu stromu. U jehličnanů se pohybuje kolem 30 až 45%. U listnatých stromů činí asi 30 až 95 %. Velikost a stavba letokruhu je dána faktory, jako jsou např. růstové podmínky a stáří stromu. Šířka letokruhu se může pohybovat v širokém rozsahu od cca 1mm až přes 10mm na jeden letokruh. Hlavní část kmene nacházející se mezi kůrou a dření se nazývá dřevo a spolu s dřením tvoří asi 70 až 95% objemu kmene stromu. V příčném řezu se nejčastěji rozeznávají dvě barevné části a to jádro a běl. Běl je barevně světlejší a slouží k přívodu vody od kořenů k listům a ukládání zásobních látek. Jádro tvoří středovou část dřeva a má tmavší barvu než běl. [21]

Střed kmene tvoří dřeň, která je měkká a na začátku života stromu slouží k transportu vody. Má špatné mechanické vlastnosti a při vysychání dřeva vznikají nežádoucí trhliny, které se šíří od dřeně směrem ven.[20]



Obr. 48 Skladba dřeva na příčném řezu kmenem[20]

Jak je napsáno výše, základ dřeva je tvořen celulózou (cca 50 %), hemicelulózou (22 %) a ligninem (22 %). Zbytek tvoří zejména pryskyřice, tuky vosky, třísloviny barviva a minerální látky. Z hlediska chemických prvků je dřevo složeno hlavně z uhlíku (50 %) a kyslíku (43 %), v menší míře se nachází vodík (6 %), dusík (0,3 %), draslík, sodík, fosfor, vápník a další (0,7 %).[20][21]

Dřevo se nejčastěji dělí podle vlastností na měkké a tvrdé. Mechanické vlastnosti dřeva se liší nejen podle druhu dřeviny ale také v rámci jednoho druhu. Na vlastnosti dřeva mají totiž vliv růstové podmínky, tj. podnebí, typ půdy, hustota okolního porostu a další. Obecně však platí, že většina jehličnanů roste rychleji než listnaté stromy a ztoho důvodu je dřevo z jehličnanů měkkčí, méně trvanlivé a méně kvalitní. Mezi jehličnaté dřeviny se řadí například smrk, borovice, jedle, modřín. Mezi listnaté dřeviny zase buk, dub, bříza, javor, jasan.[21][22]

### Obecný popis výroby skateboardových desek

Skateboardové desky se nejčastěji vyrábějí z vrstev dýhy daného dřeva nebo kombinací různých dřev či jiných materiálů. Dřevo musí být vysušeno na optimální hodnotu vlhkosti (asi 7 až 11 %), příliš vysoká vlhkost dřeva není vhodná a může způsobovat vady při výrobě desky. Tyto vrstvy dýh jsou uloženy v různých směrech (po směru vláken či kolmo na vlákna) díky čemuž lze takto upravovat vlastnosti desky. Nejčastější počet vrstev je 7, 9 nebo 11. Záleží však na požadovaných vlastnostech desky a také na výrobní technologii jednotlivých výrobců. Tloušťka jednotlivých vrstev se pohybuje kolem 1,6 mm (1/16 ″). Povrch každé vrstvy dýhy je opatřen speciálním



lepidlem či pryskyřicí, naskládán na sebe v požadovaném sledu. Následně jsou stlačeny buď ve formě pomocí lisu, která vytvoří výsledný tvar desky, nebo s pomocí svěrek v přípravku vyrobeném ke zhotovení desky. Dýhy jsou tak pomocí lepidla nebo pryskyřice a působícího tlaku, teploty či vlhkosti spojeny ve skateboardovou desku, která je následně opracována (začištění, vyvrtání otvorů pro trucky, barevný, ochranný či napouštěcí nátěr). [13][15]

K výrobě skateboardových desek se nejčastěji využívají následující druhy dřevin či konstrukčních prvků ze dřeva:

### 2.1.1 Kanadský javor

Dřevo kanadského javoru je velmi oblíbeným materiálem pro výrobu skateboardových desek díky svým mechanickým vlastnostem. Kanadský javor poskytuje výbornou pevnost a pružnost. Deska odolává tvrdému zacházení při provádění triků a nemá tendenci k praskání a odštipování okrajů. Nevýhoda tohoto dřeva je jeho vyšší hustota, a tedy hmotnost, oproti jiným dřevům a také obtížná výroba, neboť při natření dýh lepidlem na vodní bázi vrstvy dřeva mění své rozměry, proto je obtížné dodržet přesné rozměry.[23][24]

### 2.1.2 Bambus

Bambus nespadá mezi stromy ale jako druh trav s dřevnatými stonky. Bambusový materiál vyniká dobrou pružností, je tak vhodný pro jízdu po nerovném povrchu. Další výhodou je jeho velmi nízká hmotnost. Jelikož se jedná o rychle rostoucí rostlinu, kterou lze již za 5 let od vysazení použít pro výrobu (na rozdíl od kanadského javoru, který lze zpracovat za cca 40 až 50 let od vysazení), tímto je dána nízká cena desek. Mezi nevýhody patří nižší výdrž a pevnost oproti deskám vyrobených z jiných dřev. Bambus se však používá v kombinaci například s kanadským javorem za účelem snížení hmotnosti a částečným zvýšením pružnosti desky.[24][25]

### 2.1.3 Bříza

Březové dřevo je velmi pružné ale také pevné, ovšem ne tak, jako dřevo kanadského javoru. Pro výrobu desek se používá vyšších počtů vrstev dýh, a to 9 až 11. Březové desky lze přizpůsobit různým stylům skateboardingu, neboť snesou jak jízdu po nerovném povrchu, tak i nárazy při provádění triků. Je to však vykoupeno nižší výdrží na

rozdíl od desek z kanadského javoru. Březové dřevo je však dostupnější, a tak i levnější než kanadský javor.[23] [25]

Mezi další dřevěné materiály používané pro výrobu skateboardových desek lze zařadit různé druhy překližek vyrobených nejčastěji z dřev jehličnanů nebo také bukové a jiné překližky.[26]

## 2.2 Kompozitní materiály

Jako kompozitní materiál označujeme materiál, který je složen ze dvou či více složek, z nichž každá plní svou specifickou funkci a dávají tak výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá samostatně žádná ze složek tvořící kompozitní materiál. Kompozitní materiály nejčastěji sestávají z nosné části, kterou nazýváme výztuž a z matrice, která plní spojující a vyplňující funkci a vytváří vnější tvar součásti. Vytuzující vlákna mohou být vyrobena nejčastěji z uhlíku, skla nebo aramidu. Jako matrice se používá buď termosetický (reaktoplastické pryskyřice) nebo termoplastický (obecné termoplasty) polymer. Jednotlivé složky jsou vybírány podle potřebných vlastností hotové součásti.[4] [27]

U vlákny vyztužených plastů se ve většině případů požaduje vyztužení ve směru namáhání součásti. Výsledkem je anizotropní materiál, tedy materiál vykazující v různých směrech rozdílné vlastnosti. To je rozdíl oproti kovům nebo nevyztuženým plastům. Většina vyztužených plastů je uspořádána a vyrobena vrstevnatě a nazývají se lamináty. Takový materiál má řadu výhod i nevýhod, které jsou rozhodující při jejich použití.[27][28]

Mezi výhody laminátů řadíme velkou pružnost při deformaci, vysokou pevnost a tuhost, kterou můžeme přizpůsobit danému směru a druhu zatěžování, značnou přizpůsobivost každému tvaru, odolnost proti dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení, nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti, odolnost proti stárnutí a korozi, nespočet možností kombinace matrice a vláken, možnost vyrobít součást přímo na daný druh a směr zatížení a zachování poměrně nízké hmotnosti.[4]

Mezi nevýhody laminátů řadíme nespočet možných kombinací materiálů a z toho pramenící neexistence standardního kompozitu, neobvyklé chování kompozitu s nemožností jednoduchého sečtení vlastností jednotlivých složek a dobrání se výsledných vlastností, specifické vlastnosti a zpracování kompozitu, obtížné nedestruktivní zkoušení součástí, nízká mez pevnosti v tahu při zatížení kolmo na ložená vlákna a s tím spojená

tvorba trhlin a oslabení spojení vlákna a matrice, možné katastrofální následky při selhání součásti z kompozitu, hůře zjištělná poškození.[4]

Oblasti použití vláknů vyztužených plastů lze rozdělit do tří kategorií:

- Spotřební zboží
- Průmyslové aplikace
- Výrobky pro speciální aplikace jako je kosmonautika, letectví, vojenské účely či sport

### **Obecné charakteristiky kompozitních materiálů**

Pevnost a tuhost kompozitu ve velké míře závisí na pevnosti a tuhosti použitého vlákna. Vlákna a jejich orientace výrazně ovlivňují další mechanické vlastnosti výsledného kompozitu. V důsledku odlišných vlastností vlákna a matrice vznikají ve struktuře místní složité stavy napjatosti. Vědní obor zkoumající tyto jevy a jejich analýzou se nazývá mikromechanika. Studium v této oblasti se zabývá zejména otázkami vazby mezi vláknem a matricí a chováním nejjednoduššího uspořádání vláken tedy jednosměrně vyztuženého základního prvku při určitém namáhání.[27] [28]

Z inženýrského hlediska je však zajímavější a důležitější znát souhrnné vlastnosti celku, tedy základního prvku. Tento je pak posuzován jako model pro další analýzu chování jeho jednotlivé vrstvy. [4]

V porovnání s kovovými materiály se kompozitní materiály vyznačují několika výhodami. Jsou vysoce pevné a tuhé při současné nízké měrné hmotnosti, dobře odolávají korozi, mají lepší dynamické vlastnosti (mez únavy), dobré tlumící vlastnosti a možnost vyrábět tvarově složité dílce jednorázově nebo je skládat z celkově menšího počtu dílů.[4]

Ve skateboardových deskách se používají nejčastěji skleněná, uhlíková a aramidová vlákna vyztužující vlákna. Tyto vlákna ve formě rohože či tkaniny jsou používány v kombinaci s dřevěnými překližkami a to různými způsoby k dosažení požadovaných vlastností desky skateboardu. Kombinace vyztužující tkaniny a překližek lze provést rozmanitými způsoby.[27]

### 2.2.1 Technologie používané pro výrobu desek

#### **Impact support**

Nalepení jedné vrstvy uhlíkové tkaniny ve tvaru disku na spodní část desky na místo, kde se připevňují trucky k desce. Zbytek desky je tvořen z 8 překližek lepených epoxidovou pryskyřicí. Tato technologie výroby se nazývá Impact support a zlepšuje tlumící schopnosti při dopadu a tím zvyšuje celkovou životnost desky. [18][30]

#### **Impact light**

Mezi další technologii řadíme Impact light, tato je podobná předešlé technologii Impact support s několika rozdíly. Deska je vyrobena z obvyklejších 7 vrstev překližky z kanadského javoru. Další rozdíl je ve vrchní části desky, ve které je vyřezáno odlehčení v celé délce desky, které je lemováno zbytkem dřevěné překližky a do kterého je vlepena vrstva z uhlíkových vláken. Toto řešení vyniká výbornou stabilitou a odolností proti namáhání se zachováním nízké hmotnosti desky.[18][30]

#### **Impact plus**

Impact plus je kombinací předchozích dvou technologií. Deska je vyrobena z 8 vrstev překližky kanadského javoru s diskem z uhlíkových vláken lepených pod trucky a také odlehčení s vlepenou uhlíkovou tkaninou jako u Impact light. Taková deska vyniká vyšší tuhostí a celkovou životností.[18][30]

#### **P2**

Technologie nazývaná P2 je svým způsobem podobná technologii Impact light, neboť využívá stejné odlehčení lemované tenkou vrstvou překližky s tím rozdílem, že odlehčení je vyplněné vlepenou vrstvou aramidových vyztužujících vláken. Deska je také slepena jen z 6 vrstev překližky. Takto vyrobené desky jsou vysoce tuhé a odolné proti náhlým nárazům. Deska je také velice tenká a lehká s vysokou životností.[18]

#### **Fibertech**

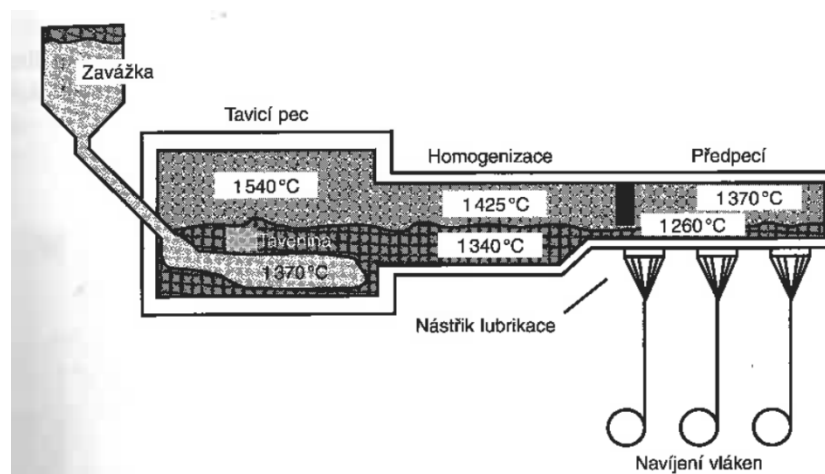
V technologii Fibertech je deska vyrobena ze 7 vrstev překližky a na vrchní straně nalepenou vrstvou ze skleněných vláken, která desce zaručuje vyšší odolnost a životnost.[18]

## 2.2.2 Typy vyztužujících vláken

### Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna označované GF z anglického glass fiber je společný název pro tenká vlákna s pravidelným kruhovým průřezem o rozměru cca 3,5 až 24 $\mu$ m v průměru, která se vyrábí tažením z roztavené skloviny a používaná pro textilní účely.[4][31]

Skleněná vlákna se vyrábí tažením z trysek. Ve sklářské peci, která je vyzděna žáruvzdornou keramikou, se při teplotě asi 1400 °C roztaví směs křemičitého písku ( $\text{SiO}_2$ ), vápence ( $\text{CaCO}_3$ ), kaolinu ( $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ), dolomitu ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), kyseliny borité ( $\text{B}(\text{OH})_3$ ) a kazivce ( $\text{CaF}_2$ ), několik dní se čirí a poté se vede v tekutém stavu pomocí kanálků předpecí do spřádacích trysek. Spřádací trysky jsou vyrobeny z platinové slitiny a jsou předehřáté na takovou teplotu, aby z jejich 200 až 4000 trysek, které jsou umístěny na spodní straně předpecí, pomalu vytékala sklovina, která rychle tuhne do tvaru vláken. Vystupující vlákna jsou asi 2 mm tlustá a teprve dloužením vysoce viskózních vláken na rychle rotujícím navíjecím zařízení vlákna dostávají požadovaný průměr (např. 10 nebo 14  $\mu$ m) a zároveň se prodlužují až na 40000 násobnou délku. Odtahová rychlost vláken může být až 50 m/s. Sdružením těchto elementárních vláken vzniká ohebné spřádací vlákno.[4]



Obr. 49 Výroba textilních skleněných vláken tažením z trysek [4]

### Aramidová vlákna

Aramidová vlákna označovaná AF z anglického aramid fiber jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vláken. Proto jsou tyto vlákna vysoce pevná a tuhá. Molekuly jsou navzájem spojeny pomocí vazeb vodíkových můstků. Aromatická jádra v řetězcích jsou nositeli vysoké

tuhosti. Teoretická pevnost je udávána kolem 200000 MPa ovšem dosud vyrobená vlákna, blížíci se svými vlastnostmi těmto hodnotám jsou vlákna na bázi aromatických polyamidů dosahující při průměru vlákna 12 $\mu$ m hodnot pevnosti v tahu 3600 MPa a hodnot modulu pružnosti v tahu E 125000 MPa. Aramidová vlákna lze zpracovávat do kompozitních materiálů se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi a termoplasty. V laminátu vyztuženém aramidovými vlákny lze využít až 70 % jejich skutečné pevnosti, při zvláště tažné matici i více.[4][31]

Aramidová vlákna se vyrábějí v různých typech, liší se mechanickými vlastnostmi, nejčastěji hodnotami modulu pružnosti v tahu a tažností vláken. Typy vláken s nízkým modulem pružnosti v tahu a vyšším protažením mohou pojmout podstatně vyšší deformační práci než vlákna s vyšším modulem pružnosti v tahu a nižší tažností. Měrná hmotnost je 1,45 g/cm<sup>3</sup> a je proto v porovnání s jinými vyztužujícími vlákny nízká což jsou společně s vysokou mezí pevnosti v tahu výborné vlastnosti.[4]

Vlákna jsou silně anizotropní, což znamená, že vlastnosti ve směru vláken se výrazně liší od vlastností kolmo na směr vlákna, např. hodnota modulu pružnosti v tahu měřená kolmo na vlákno je daleko nižší než hodnota měřená rovnoběžně s vláknem. Podobně je to i s pevností.[4]

### **Uhlíková vlákna**

Uhlíková vlákna označovaná jako CF z anglického carbon fiber jsou technicky používaná vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, avšak nízkou tažností. Výroba uhlíkového vlákna spočívá v tom, že se výchozí organické suroviny, které jsou ve vláknitém tvaru, nejprve karbonizují. To znamená, že se odštěpí téměř všechny prvky obsažené prvky v surovině až na uhlík. Se stoupající teplotou se zvyšuje stupeň grafitizace a tím se zlepšují také mechanické vlastnosti. Při teplotě nad 1800 °C je ukončena tvorba grafitové struktury, i přesto že vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu.[4][31]

Uhlíková vlákna se skládají z více než 90% uhlíku, dále pak z < 7 % dusíku, <1 % kyslíku a < 0,3 % vodíku. Mají kruhový průřez s průměrem asi 5 až 10  $\mu$ m. Modul pružnosti v tahu a pevnost se však mohou lišit ve velkém rozsahu. Závisí to na stupni orientace uhlíkových vrstev a na výskytu vadných míst vzniklých při výrobě. Teoreticky stanovené hodnoty modulu pružnosti v tahu dosahují až 10<sup>6</sup> MPa a pro pevnost až 10<sup>5</sup> MPa. Modul pružnosti v tahu měřený kolmo na vlákna však dosahuje pouze 4000 MPa kvůli

chybějícím kovalentním vazbám. Tato silná anizotropie se projevuje i na tepelné roztažnosti, která dosahuje ve směru osy vláken dokonce i mírně záporných hodnot.[4][27]

Průmyslová výroba uhlíkových vláken využívá hlavně dva výrobní procesy, a to technicky významnější postup využívající jako výchozí surovinu polyakrylonitril a ve druhém se vychází ze surovin bohatých na uhlík.[4]

Uhlíková vlákna mají velmi nízkou hustotu a vynikající korozní odolnost (neodolávají pouze silně oxidačnímu prostředí), dobrou elektrickou a tepelnou vodivost. Také dobrou snášenlivost s tělesnými tkáněmi takže jej lze použít jako implantáty ve zdravotnictví. Dobře jimi prochází záření a neodrážejí radarový paprsek. Vlákna odolávají dlouhodobému dynamickému namáhání, ovšem jsou velmi křehká a proto se snadno lámou.[4][31]

### Přírodní vlákna

Přírodní vlákna jako výztuže plastů jsou vhodná pouze rostlinná vlákna, obsahující jako základ celulózu. Mezi takové rostlinné vlákna spadají vlákna ze lnu, konopí, juty, ramie či bavlny. Jejich hlavní výhody jsou odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Vynikají také pevností v tahu, nízkou měrnou hmotností a výhodnou likvidací spalováním.[32]

Mezi nevýhody patří závislost vlastností na podmínkách růstu, citlivost na působení vlhkosti, nízká odolnost proti vysokým teplotám a s tím související omezená volba matrice, omezená délka vláken a také nebezpečí změn vyvolaných biologickému napadení vláken.[4][32]

*Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností skleněných a přírodních vláken [4]*

Vlastnosti	Vlákno	Sklo	Konopí	Len	Juta	Sisal
E-modul(N.mm <sup>-2</sup> )		75000	70000	30000	55000	20000
Mez pevnosti v tahu (N.mm <sup>-2</sup> )		3500	600	750	550	600
Tažnost (%)		4	1,6	2,0	2,0	2,0
Hustota (g.cm <sup>-3</sup> )		2,54	1,45	1,48	≈1,4	1,45

### 2.2.3 Typy matric

Matricí rozumíme materiál, kterým je prosycen systém vláken a komponent tak, že vznikne tvarově stálý výrobek označující se jako kompozit. Matrice tedy dává vláknům a celému systému geometrický tvar, přenáší namáhání na vlákna, zajišťuje polohu vláken a tvarovou stálost výrobku a chrání vlákna před vnějšími vlivy.[4][27]

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na rozhraní mezi vláknem a pojivem. Tato skutečnost je důležitá pro volbu vhodné kombinace matrice plnivo. Pro zvýšení fyzikální či chemické vazby mezi vláknem a matricí se na vlákna nanášejí prostředky, které zaručují lepší spojení s matricí. Matrice by měla mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, tak aby vlákna smáčela v celé ploše a bez bublin.[31]

U polymerních kompozitních materiálů se matrice dělí na termosety (reaktoplasty) a termoplasty. Dříve se pro výrobu kompozitních materiálů používali výhradně vyztužené nenasycené polyesterové (UP-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice. Tyto pryskyřice tvoří i v současnosti většinu kompozitních součástí. Mají totiž výhody, že jsou ve výchozím stavu nízkomolekulární a většinou i v tekutém stavu za normální teploty což usnadňuje používání i bez speciálních zařízení. I v případě zpracování ve formě taveniny je viskozita výrazně nižší, než je tomu u termoplastů.[4]

#### **Reaktivní pryskyřice**

Reaktivní pryskyřice je skupina termosetických polymerů, která je nejpoužívanější skupinou pryskyřic pro výrobu kompozitních materiálů. Tyto pryskyřice jsou buď kapalné nebo tavitelné a jejich vytvrzování se děje buď samostatně, nebo pomocí jiných složek jako jsou tvrdidla, katalyzátory, iniciátory urychlovače, aldehydy (fenoly) apod. Vytvrzují se polyadící nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek. Reaktivní pryskyřice jsou také nazývány licí, laminační, impregnační, prosycovací nebo zalévací (elektro) pryskyřice.[4]

Mezi nejpoužívanější typy reaktivních pryskyřic lze řadit:

Nenasycené polyesterové pryskyřice zkráceně UP-R.

Vinylesterové zkráceně VE-R nebo fenakrylátové FA-R pryskyřice

Epoxidové pryskyřice EP-R.

Fenolické pryskyřice



Metakrylátové pryskyřice MA-R.

Izokyanátové pryskyřice

Reaktivní pryskyřice se nejčastěji vytvrzují přimícháním tvrdidla. Mezi nejdůležitější tvrdidla patří iniciátory a urychlovače nebo aldehydy. Tyto tvrdidla jsou chemické sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřice. Urychlovače jsou látky, které se do pryskyřice přidávají v malém množství a slouží k urychlení síťovací reakce.[4][27]

## 2.3 Lepidla

Lepidla jsou látky sloužící k pevnému spojení dvou různých povrchů a tím vytvoření lepeného spoje. Lepidla jsou při lepení v kapalném stavu, čímž je zaručeno přilnutí obou povrchů k sobě. Pevnost lepeného spoje ovlivňuje několik parametrů. Mezi nimi jsou adheze lepidla k lepenému materiálu, dále koheze samotné hmoty lepidla, smáčivosti lepeného materiálu lepidlem a také na pevnosti lepeného materiálu.[33] [34]

### Adheze

Adheze nebo také přilnavost lepidla k lepenému materiálu je důležitý parametr při rozhodování vhodnosti použití lepidla. Pokud lepidlo není schopné dostatečně pevně přilnout k lepenému materiálu, lepený spoj nedrží a na rozhraní lepidlo a lepený materiál dochází k rozlepení. V tomto případě je koheze lepidla a pevnost lepeného materiálu vyšší než adheze.[34]

### Koheze

Koheze nebo také soudržnost je definována jako vnitřní pevnost vrstvy lepidla. Kohezní pevnost závisí na typu použitého lepidla a také na tepelném namáhání lepeného spoje. Epoxidová lepidla mají vysokou kohezi, naopak akrylátová mají kohezi nízkou. V případě kdy dojde k porušení spoje ve vrstvě lepidla je adheze lepidla a pevnost lepeného materiálu vyšší než koheze samotného lepidla.[33]

### Smáčivost

Smáčivost je vlastnost kapaliny schopné přilnout k povrchu pevné látky. Lze ji posuzovat pomocí kontaktního úhlu kapky na rozhraní kapalina-pevný povrch. Kontaktní úhel je definován jako kvantitativní vyjádření rozsahu smáčivosti pevných látek kapalinami.[35]



Obr. 50 Různé druhy kontaktního úhlu při posuzování smáčivosti[35]

## Základní rozdělení lepidel:

### 2.3.1 Lepidla kapalná

Reaktivní dvousložková lepidla – vytvrzování nastává chemickou reakcí dvou složek, mezi tyto lepidla řadíme epoxidová, polyuretany, močovinoformaldehydová, fenolformaldehydová aj.[33] [34]

Reaktivní jednosložková – vytvrzování nastává za pomoci vulkanizace při působení vzdušné vlhkosti, mezi tyto lepidla řadíme polyuretany, kyanoakrylátová či silikony.[33]

Rozpouštědlová – vytvrzování nastává odpařením rozpouštědla, mezi tyto lepidla řadíme kaučuková, polyuretanová, nitrocelulózová aj.[33]

Vodná roztoková – vytvrzování nastává odpařením vody, mezi tyto lepidla řadíme škrobová, dextrinová, kaseinová či deriváty celulózy.[34]

Vodná disperzní – vytvrzování probíhá odpařením vody a spojením mikročástic polymeru do souvislého filmu, mezi tyto lepidla řadíme akrylátová, polyvinylacetátová, styrenakrylátová aj.[33]

### 2.3.2 Lepidla pevná

Lepidla tavná – do tekutého a lepivého stavu se přivedou ohřevem a roztavením, následným ochlazením nastává vytvrzení, mezi tyto lepidla řadíme kopolymer etylenvinylacetátu, amorfni alfa polyolefiny, polyamidy, polyuretany či reaktivní polyolefiny.[33]

Redispergovatelné prášky – rozmícháním mikročástic polymeru ve vodě vznikne disperze, u které vytvrzování nastává při odpařování vody a spojením mikročástic polymeru do souvislého filmu, mezi tyto lepidla řadíme polyvinylacetátová nebo močovinoformaldehydová.[33]

## Lepidla používaná k lepení skateboardových desek

K lepení jednotlivých vrstev desky skateboardu lze použít různé druhy lepidel. Při výběru vhodného lepidla se dbá na několik faktorů, jako smáčivost povrchu desky lepidlem, adheze, koheze, odolnost proti vodě, použitá technologie či výsledná kvalita lepeného spoje. Podle dostupných informací se k lepení skateboardových desek nejčastěji používají lepidla disperzní na bázi polyvinylacetátu (PVAc) a dále epoxidové reaktivní a polyuretanová lepidla.[23]

### 2.3.3 Lepidla disperzní

Disperze je směs vody a v ní jemně rozptýlené mikročástice polymeru. Polymer samotný není ve vodě rozpuštěný, a proto je pomocí vhodných povrchově aktivních látek udržován v rozptýleném stavu, aby se neusazoval. Disperzní lepidla v kapalném stavu lze neomezeně mísit s vodou a tím je ředit. Naopak při odpaření vody z disperze vzniká souvislý film, který již nelze vodou rozpustit. Disperzní lepidla mají při poměrně nízké viskozitě (dobře tečou a takzvaně se netáhnou) vysoký obsah polymeru tzv. sušiny.[33]

Vytvrzování se děje při vypařování vody z disperze. Při vysychání nastává jev, který se nazývá koalescence. Koalescencí rozumíme vzájemné spojování (prolínání) částíček polymeru, které na sebe vzájemně tlačí velkými silami, které vznikají při vysychání vody. Částičky se nakonec spojí do souvislé vrstvy. Podmínkou koalescence a tedy spojení polymeru je aplikace lepidla za minimální filmotvorné teploty, pod touto teplotou se totiž částice polymeru nespojí, ale disperze i po odpaření vody zůstává bílá a drobí se. Ke snížení minimální filmotvorné teploty se do lepidel přidávají tzv. koalescenty, což jsou látky, které změkčují polymerní mikročástice a tím umožňují snazší prolnutí částic do souvislého filmu i při nižších teplotách aplikace. Dále se do lepidel přidávají změkčovadla, které také snižují minimální filmotvornou teplotu, ale jejich hlavní úlohou je, aby vzniklý film lepidla byl dostatečně měkký a ohebný, jinak by hrozilo jeho lámání a tím i ztráta pevnosti lepeného spoje.[33][34]

Disperzní lepidla na bázi PVAc jsou vhodná k lepení savých materiálů jako je dřevo, papír, textil, ale i některých plastů jako polystyren (PS) či polymethylmethakrylát (PMMA). Výhody PVAc lepidel jsou tvorba transparentní vrstvy s dobrou adhezí k polárním povrchům. Nevýhodami jsou omezená chemická a tepelná odolnost.[33]

### 2.3.4 Epoxidová lepidla

Epoxidová lepidla jsou vhodná k lepení mnoha materiálů, jako jsou kovy, sklo, porcelán, kámen, pryž či dřevo. K těmto materiálům lepidlo vyniká vysokou adhezí. Po vytvrzení lepidla zase vyniká vysokou kohezí a pevností. Vytvrzování se děje buď za zvýšené teploty, tlaku či přidáním tužidla do epoxidové pryskyřice. Při vytvrzovací reakci nastávají jen nepatrné objemové změny v lepidle, což vede k nižšímu vnitřnímu napětí v lepeném spoji. Taktéž při reakci nevznikají těkavé zplodiny. Výhody epoxidových lepidel jsou vysoká chemická a tepelná odolnost a pevnost ve smyku. Mezi nevýhody řadíme nedostatečnou pevnost v odlupování z hladkých povrchů, pomalé tuhnutí lepidla, nemožnost lepit termoplasty a také vysoká cena.[33] [34]

### 2.3.5 Polyuretanová lepidla

Polyuretany vznikají při chemické reakci vícesytných alkoholů (polyolů) s vícefunkčními izokyanáty. Vzniká tak hustá polymerní síť. Polyuretanová lepidla se vyrábějí jako jedno nebo dvousložková. U dvousložkových lepidel je potřeba před lepením smíchat dvě složky v daném poměru. Jednosložková lepidla jsou při výrobě a plnění připravena s nadbytkem izokyanátu, který se ponechává reagovat s polyolem. Nezreagované izokyanátové skupiny jsou citlivé na vodu, alkoholy, aminy, či kyseliny. Při působení vlhkosti se v lepidle začnou rozkládat tyto izokyanátové skupiny a v lepidle dojde k zesíťování a tím ke ztuhnutí a vytvrzení lepidla. Tato lepidla jsou vhodná k lepení savých i nesavých materiálů, tedy dřeva, minerálních vat, polystyrenu, plechů skel či betonu. Vytváří trvale pružný spoj, odolávají vodě a vlhkosti.[33] [34]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 CÍLE PRÁCE

Bakalářské práce se věnuje subjektivnímu hodnocení a objektivnímu měření mechanických vlastností skateboardových desek. Cílem práce je zjistit, zda jsou v deskách od různých výrobců rozdíly v mechanických vlastnostech. Zkoumané materiálové vlastnosti jsou zejména pevnost a tuhost, vyhodnocené po měření statickým tříbodovým ohybem a dále houževnatost, měřená dynamickým ohybem na Charpyho kyvadlovém kladivu. Dalším cílem je zjistit, jestli se změni vlastnosti desek, které byly v terénu používány skupinou vybraných jezdců po určitou dobu, oproti novým deskám. Tyto prakticky změřené hodnoty se nadále porovnávají se subjektivním hodnocením desek jezdců.

Mezi subjektivní hodnocení je zařazeno hodnocení jednotlivých desek z hlediska celkového zpracování, tvaru, vlastností při jízdě, subjektivního pocitu hmotnosti či zvuku, který deska vydává např. při dopadu (tzv. pop). Pop je u skateboardových desek ukazatelem jejich tuhosti. Při používání desek se pop může měnit a tím lze sledovat i změnu vlastností desek.

Praktická část se zabývá měřením fyzikálních a mechanických vlastností. Mezi tyto řadíme skutečnou hmotnost desek a rozměry jako délka, šířka a tloušťka. Mechanické vlastnosti desek jako pevnost, houževnatost či modul pružnosti jsou určovány na základě výsledků z měření provedených na stroji pro tříbodový ohyb a Charpyho kyvadlovém kladivu.

Aby bylo možné provést porovnání jednotlivých desek, a to jak z pohledu porovnání desek mezi výrobci, tak porovnání nových a použitých desek od jednoho výrobce, je potřeba provést statistickou analýzu měřených a sledovaných hodnot. Postup provedených statistických analýz je blíže popsán v další části této práce.

Desky byly zakoupeny v množství dvou kusů od pěti jednotlivých výrobců. Zakoupené desky byly vybrány ve stejných rozměrových kategoriích. Šířka desky byla v kategorii 8,25 “, tedy 21,0 cm. Všechny desky jsou slepeny ze sedmi vrstev dřevěné dýhy. Mění se však tloušťka jednotlivých vrstev. Někteří z výrobců použité dřevo a lepidlo neuvádějí, zřejmě z důvodu know-how společnosti. Dohromady tedy bylo k dispozici 10 kusů desek. Každá značka desky je jiné cenové kategorie v rozpětí 1090 Kč až 1790 Kč. Byly testovány desky těchto značek: Enuff, PowelPeralta, Creature, Girl a Primitive.

Tab. 2 Pořizovací ceny desek

VÝROBCE DESKY	POŘIZOVACÍ CENA (KČ)
ENUFF	1090
GIRL	1790
P. PERALTA	1390
PRIMITIVE	1590
CREATURE	1690

Pro jednodušší popis typu desky při testování a měření byla zavedena jejich nomenklatura. Ta se skládá z celkem 5 znaků. Začátečního písmene a následujícího čtyřmístného číselného označení.

Tab. 3 Nomenklatura desek

NOMENKLATURA DESEK	
<b>1.ZNAK</b>	<b>VÝROBCE DESKY</b>
A	ENUFF
B	GIRL
C	POWEL PERALTA
D	PRIMITIVE
E	CREATURE
<b>2.ZNAK</b>	<b>HMOTNOST DESKY</b>
1	VYŠŠÍ HMOTNOST
2	NIŽŠÍ HMOTNOST
<b>3. ZNAK</b>	<b>OZNAČENÍ MECHANICKÉ ZKOUŠKY</b>
1	ZKOUŠKA STATICKÉHO OHYBU
2	ZKOUŠKA DYNAMICKÉHO OHYBU
<b>4. A 5. ZNAK</b>	<b>POŘADOVÉ ČÍSLO ZKUŠEBNÍHO TĚLÍSKA</b>
01 AŽ 10	DVOUMÍSTNÝ ČÍSELNÝ KÓD ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

Výsledný tvar označení může vypadat například následovně: A2105. Z označení vyplývá, že se jedná o páté zkušební tělísko (05), určeno pro zkoušku statického 3. bodového ohybu (1), z desky výrobce ENUFF (A), s nižší hmotností ze série (2).

## 4 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Nejprve se zvažila hmotnost a změřila délka a na definovaných místech šířka a tloušťka. Výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4 Rozměry a hmotnosti jednotlivých desek

<b>ENUFF</b>	t(mm)	B(mm)	m(g)
A1	10,1 ± 0,2	209,8 ± 0,8	1224,8 ± 0,2
A2	9,8 ± 0,2	210,0 ± 1,1	1187,6 ± 0,2
<b>GIRL</b>	t(mm)	B(mm)	m(g)
B1	10,3 ± 0,2	207,4 ± 1,8	1327,6 ± 0,2
B2	10,0 ± 0,2	207,2 ± 1,2	1292,4 ± 0,2
<b>PERALTA</b>	t(mm)	B(mm)	m(g)
C1	10,1 ± 0,3	210,6 ± 0,5	1190,6 ± 0,2
C2	10,0 ± 0,2	211,0 ± 0,7	1144,0 ± 0,2
<b>PRIMITIVE</b>	t(mm)	B(mm)	m(g)
D1	10,00 ± 0,08	209,8 ± 0,5	1295,8 ± 0,2
D2	9,96 ± 0,08	210,0 ± 0,7	1226,6 ± 0,2
<b>CREATURE</b>	t(mm)	B(mm)	m(g)
E1	10,5 ± 0,2	209,2 ± 0,4	1230,8 ± 0,2
E2	10,0 ± 0,1	209,2 ± 0,4	1161,8 ± 0,2

Následně se jednotlivé desky seřadili podle hmotností na dvě sady a rozhodlo se jejich další testování.

Tab. 5 Hodnocení desek jezdcí

POŘADÍ	JEZDEC 1 (JAKUB)	JEZDEC 2 (ONDŘEJ)	JEZDEC 3 (JOSEF)	JEZDEC 4 (PETR)	JEZDEC 5 (DAVID)
1.	PRIMITIVE	CREATURE	PRIMITIVE	PRIMITIVE	PRIMITIVE
2.	GIRL	PRIMITIVE	CREATURE	CREATURE	GIRL
3.	CREATURE	ENUFF	ENUFF	ENUFF	CREATURE
4.	ENUFF	GIRL	GIRL	GIRL	ENUFF
5.	P.PERALTA	P.PERALTA	P.PERALTA	P.PERALTA	P.PERALTA

V tab. 5 je uvedeno hodnocení desek zkušebními jezdci, sestupně od nejlepší (1. v pořadí) k nejhorší. Nejlépe hodnocena je desky značky Primitive, která obsadila nejhůře 2 příčku v hodnocení. Jezdci chválili tvar a pop desky. Dále byla některými jezdci kladně hodnocena deska Creature. Stejně jako u desky Primitive byl chválen její pop, tvar a nízká váha. Třetí příčku z větší části obsadily desky značky Enuff. Někteří jezdci desku hodnotili kladně z hlediska popu, dále však byly hodnoceny jako průměrné. Ze záporného hodnocení jezdci konstatovali nevyhovující tvar a nevhodnost desky k provádění triků. U čtvrté příčky je z větší části zastoupena značka Girl, tu jezdci hodnotili spíše jako těžkou a



nevhodnou na triky. Zde se však názory na desku Girl rozdělují, neboť u dvou jezdců byla deska hodnocena kladně, s dobrým popem a tvarem a připodobněním k vlastnostem desky Primitive. Nejhůře hodnocená je jednoznačně deska značky Powel Peralta. U této desky jezdci vytýkali zejména naprosto nevyhovující pop, tvar a nevhodnost na triky.

Test naslepo probíhal následovně. Každý jezdec si vyzkoušel jízdu na jednotlivých deskách. Následně podle pocitu z jízdy a chování desek se pokoušeli určit, která deska je od kterého výrobce. Políčka jsou vyplněna buď zelenou barvou značící správný odhad. V případě červeně vyplněného políčka byl odhad jezdců chybný. Pořadí v tabulce odpovídá žebříčku hodnocení nezamaskovaných desek, viz tab. 5.

Tab. 6 Výsledky správných odhadů při testu prken naslepo

POŘADÍ	JEZDEC 1 (JAKUB)	JEZDEC 2 (ONDŘEJ)	JEZDEC 3 (JOSEF)	JEZDEC 4 (PETR)	JEZDEC 5 (DAVID)
1.	PRIMITIVE	CREATURE	PRIMITIVE	PRIMITIVE	PRIMITIVE
2.	GIRL	PRIMITIVE	CREATURE	CREATURE	GIRL
3.	CREATURE	ENUFF	ENUFF	ENUFF	CREATURE
4.	ENUFF	GIRL	GIRL	GIRL	ENUFF
5.	P.PERALTA	P.PERALTA	P.PERALTA	P.PERALTA	P.PERALTA

Z tab. 6 lze zjistit, že nejčastější chybný odhad či záměna nastávala u desek značky Girl a Primitive a to u tří jezdců. Zvláštností je porovnání této tabulky s hodnocením desek z předchozí tab. 5. U jezdců 2 a 3 je hodnocení desky Primitive na druhé respektive první příčce, tedy velmi kladné hodnocení. Naopak deska Girl je v pořadí obou jezdců na čtvrté příčce se spíše záporným hodnocením. Při testu naslepo však oba jezdci desky mezi sebou zaměnili. U jezdce 2 je tu navíc i chybný odhad desky Powel Peralta. Z toho lze předpokládat, že desky Girl a Primitive vykazují podobné vlastnosti při jízdě, či ve tvaru a popu. Hodnocení desek jezdci je zřejmě ovlivněno jejich subjektivním pocitem a představou, která značka bude lepší a naopak.

Následně byla sada lehčích desek podrobena testováním v terénu. Každá deska od jednotlivého výrobce (celkem 5 kusů) se zamaskovala barvou a byla předána jezdcům. Zamaskování značek a log se provedlo proto, aby jezdci testující desky nebyli ovlivněni při následném posuzování, která z desek je podle jejich uvážení nejlepší. Testování v terénu zahrnovalo zejména jízdu po ulicích (tzv. street), při které jezdci provádí nejrůznější triky. Jezdci si desky vzájemně vyměňovali a byli požádáni o zapisování si času stráveného na jednotlivých deskách. Tato sada desek byla v terénu do doby, než jezdci neodjezdili

stanovenou dobu na prknech nebo dokud neprasklo první prkno. Po prasknutí první desky se sečetl celkový čas, který deska strávila v terénu. Desky, které měly v tuto chvíli čas strávený v terénu již za hranicí času prasklé desky, se stáhly z terénu. Jezdcům se tedy ponechaly jen desky, na kterých bylo potřeba dojezdít stanovený čas, odpovídající času prasklé desky. Po stažení série z terénu byly z desek vyřezány zkušební tělesa určené k měření zkouškou na statický třibodový ohyb a na zkoušku rázem v ohybu. V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnocení desek jednotlivými jezdci.

*Tab. 7 Celkový čas jednotlivých desek A2 až E2 v terénu*

deska	T(min)	T(h,min)
A2	2190	36h30min
B2	1845	30h45min
C2	1970	32h50min
D2	1550	35h50min
E2	2070	34h30min

V tab. 7 vidíme časovou vytíženost jednotlivých desek. Ze sady, která byla jezdcům předána na testování v terénu, lze sledovat podobné časové vytížení desek. Toto časové rozložení bylo cílem testování v terénu.

## 5 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Skateboardové desky jsou z pohledu mechaniky nosníky o dvou podporách. Při používání jsou namáhány zejména na ohyb, a to jak statický, tak dynamický. Z tohoto důvodu se zvolilo testování desek těmito dvěma způsoby zkoušek.

### Příprava vzorků

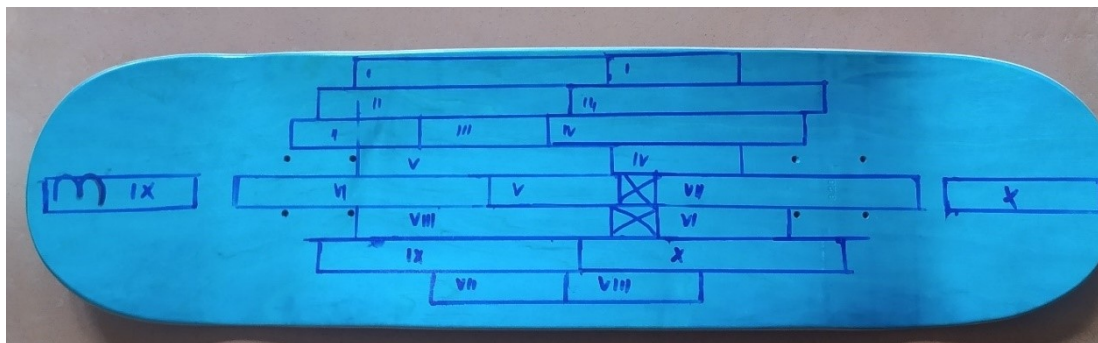
K měření byly určeny dvě sady desek. Desky s nejvyšší hmotností (A1 až E1), které nebyly dlouhodobě zatíženy jezdci v terénu, jedná se tedy o zcela nové desky. Dále byla zkoušena sada desek s nejnižší hmotností (A2 až E2), která byla předána jezdci k testování v terénu. Tato sada desek byla používána až do prasknutí první z desek a následně byla celá sada z terénu stažena. K dispozici bylo tedy celkem 10 kusů desek používaných po stejnou dobu v terénu.

Tyto desky bylo potřeba rozřezat na zkušební tělesa určená k měření zkouškou tříbodovým ohybem a zkouškou rázem v ohybu. Po předchozí konzultaci se rozhodlo o velikosti zkušebních těles, a to následujícím způsobem:

Tělesa určená pro měření na statický tříbodový ohyb se řezala na velikost 20 x 200 mm (b x L). Tloušťka tělesa byla dána výrobcem desky a pohybovala se kolem 10mm (viz. Kapitola 4 tab. 4). Rozměry průřezu tělesa se tedy pohybovaly kolem 20 x 10 mm, přesné rozměry průřezu se však uváděly při měření každého jednoho vzorku.

Tělesa určená pro měření zkoušky rázem v ohybu se řezala na rozměry 15 x 100 mm. Stejně jako v předchozím případě je tloušťka vzorku dána výrobcem desky a opět se pohybuje kolem 10mm. Rozměry průřezu tělesa jsou tedy kolem 15x10mm.

Z každé desky bylo potřeba nařezat celkem 20 kusů zkušebních těles. Řezání se provádělo na okružní pokosové pile Metabo KGS 305M s maximálním prořezem 305x105mm. Na desku se načrtl nářezový plán tak, aby jednotlivá tělesa byla optimálně rozmístěna po celé ploše desky, nikoli v jedné řadě a s ohledem na to, aby vzorky nebyly řezány ze zaoblených částí. V případě řezání vzorků z jedné řady se mohou vyskytnout chyby, které způsobí nevhodné výsledky z měření. Například vyskytne-li se vada v desce (nedostatečná či chybějící vrstva lepidla, nebo prasklina vrstvy) tato vadná oblast by se vyskytovala v několika vzorcích, určených pro měření jedné zkoušky. To by způsobilo zkreslení výsledků. Proto se zvolilo rozmístění vzorků z celé plochy desky. Tímto nářezovým plánem lze předejít chybným výsledkům z měření.



Obr. 51 Nářezový plán na desce A11 Emuff



Obr. 52 Řezání vzorků



Obr. 53 Připravené vzorky

## 6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

### 6.1 Zkouška statickým tříbodovým ohybem

Zkouška statickým tříbodovým ohybem se prováděla na univerzálním zkušebním stroji značky Zwick/Roell 1456 s maximální silou 25 kN. Tento stroj je určen ke zjišťování materiálových vlastností při statickém zatížení tahem, tlakem a ohybem. V našem případě byla zkušební tělíska zatěžována statickým tříbodovým ohybem. Vzdálenost podpěr se zvolila 160mm. Ke stroji byl připojen počítač, ve kterém byly nastaveny potřebné parametry zkoušky. Výsledky z měření se zaznamenávaly do připojeného počítače, z nějž byly následně vygenerovány data určená k dalšímu zpracování.

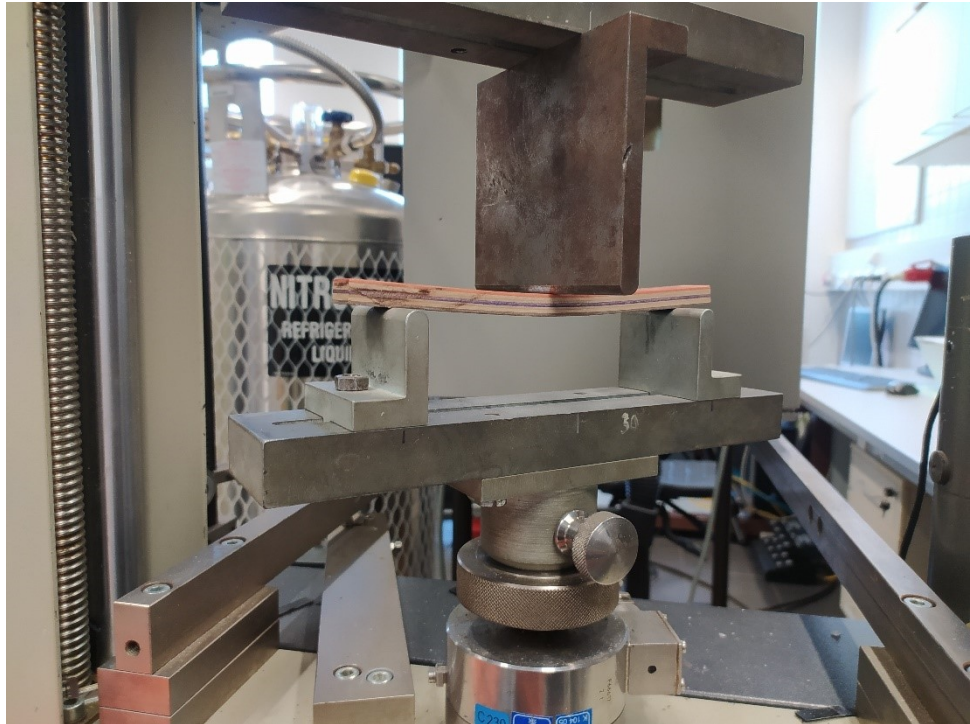


*Obr. 54 Celkový pohled na zkušební stroj*

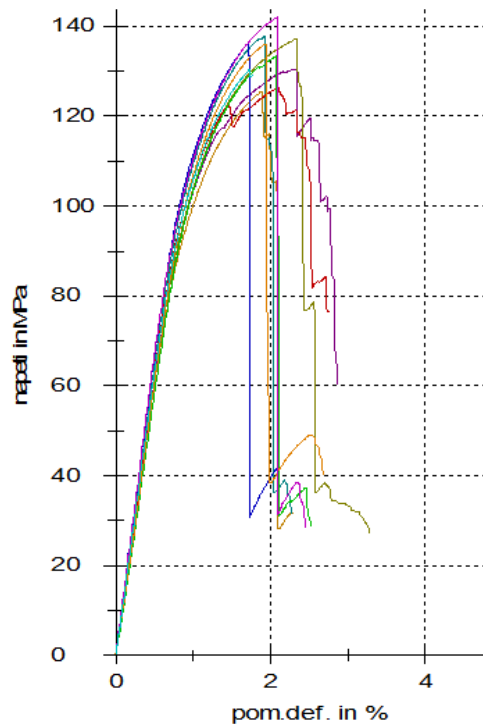
Zkouškou statickým tříbodovým ohybem lze zjistit mechanické materiálové vlastnosti. Z průběhu zkoušky v závislosti napětí na poměrné deformaci a průřezových charakteristik zkušební tělesa lze následně zjistit mechanické vlastnosti materiálu dané modulem pružnosti či pevností. Průběh zkoušky je následující. Do připojeného počítače bylo nutné zadat rozměry vzorku. Zkoušený vzorek je umístěn na přípravek k měření



třibodového ohybu, sestávající ze dvou podpor. Vzorek je potřeba umístit na střed a rovnoběžné s osou přípravku z důvodu správnosti měření. Přípravek je upevněn na spodním držáku stroje a z vrchní strany začne na vzorek působit zatěžující trn. Vzorek je tímto namáhán na ohyb. Zkouška končí po prasknutí vzorku. Výsledkem je graf závislosti poměrné deformace na napětí. Výsledek je uveden v obr. 56, zde konkrétně pro vzorky z desky A11.



*Obr. 55 Průběh zkoušky statického ohybu*

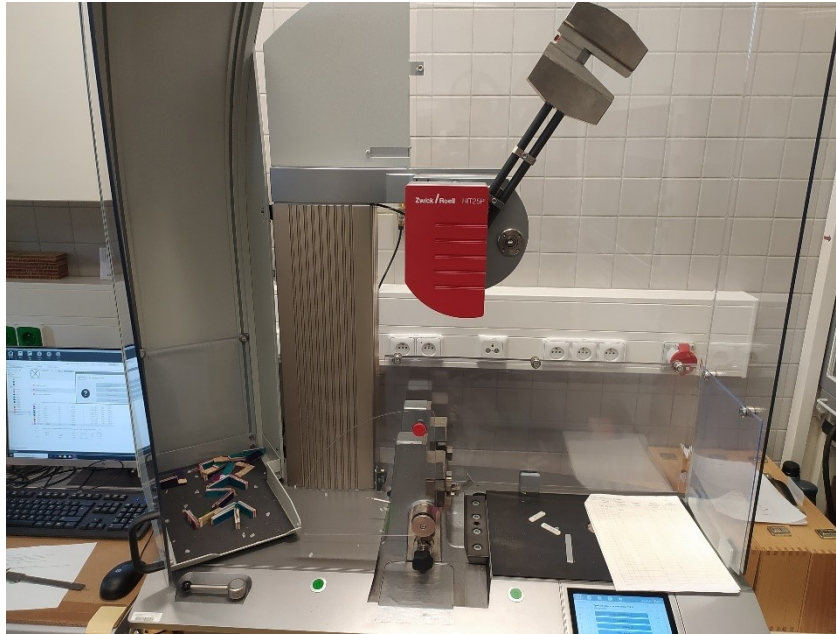


Obr. 56 Graf závislosti napětí na poměrné deformaci z měření desek A11

Zkouška probíhala ve dvou fázích, které se lišily rychlostí posuvu zatěžujícího trnu. V první fázi byl zjišťován modul pružnosti, který se měřil z poměrné deformace v intervalu 0,05 % až 0,25 %. Do konce této fáze byla rychlost zatěžujícího trnu 1mm/min. Druhá fáze začala po překročení intervalu 0,25 % poměrné deformace, kdy se zvýšila rychlost zatěžujícího trnu na 20mm/min a sledovalo se maximální napětí až do prasknutí vzorečku. Postup zkoušky je stejný pro všechny vzorečky.

## 6.2 Zkouška rázem v ohybu

Zkouška rázem v ohybu se prováděla na kyvadlovém kladivu značky Zwick/Roell HIT 25P. Energie kladiva je 25 J. Stroj je určen k provádění rázové ohybové zkoušky metodou Charpy, kdy je zjišťována absorbovaná nárazová energie potřebná k přelomení zkušebního tělesa. Z absorbované energie a průřezu zkoušeného tělesa lze odvodit houževnatost. V našem případě se vzorky měřily metodou Charpy a nebyly opatřeny vrubem. Vzdálenost podpor na stroji byla nastavena na 70mm. Výsledky z měření se zaznamenávaly do připojeného počítače, ze kterého byla následně vygenerována naměřená data stejně jako v případě statického ohybu.



*Obr. 57 Celkový pohled na měřicí stroj*

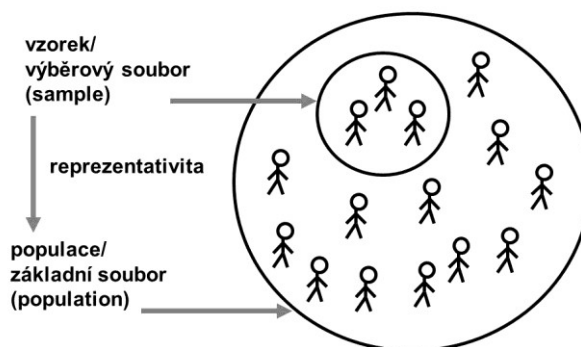
Do připojeného počítače bylo potřeba zadat rozměry měřeného vzorku. Ten se následně umístil na podpory ve stroji a spustilo se na něj kladivo umístěné ve výchozí poloze. Vzorek byl tímto přeražen a kladivo se vychýlilo do konečné polohy. Software počítače připojený ke stroji následně vyhodnotil zkoušku a provedl výpočet absorbované nárazové energie a houževnatost. Poté se kladivo opět umístilo do počáteční polohy. Takto se postupovalo u každého vzorku.



## 7 STATISTIKA, SHLUKOVÁ ANALÝZA DAT, INTERVALY SPOLEHLIVOSTI

Statistika je vědní obor zabývající se sběrem, organizací, analýzou a interpretací dat. Statistika slouží k získání informací o hromadných jevech a procesech, které se pomocí různých metod hodnocení snaží správně analyzovat a interpretovat. Snaží se tedy získat a podat informace o vlastnostech, povaze a zákonitostech vyskytujících se na pozorovaných datech. [36]

Statistika je důležitá zejména při získávání informací z velkých množin objektů. Tím je myšleno např. sledování výrobních procesů, či pozorování daného jevu. Nezřídka se stává, že nelze zkoumat a analyzovat všechny objekty souboru (např. výrobky v hromadné výrobě). Z tohoto důvodu je potřeba učinit omezení počtu zkoumaných prvků na tzv. výběr a na základě informací získaných z výběru lze učinit statistický odhad týkající se celého souboru. Tento odhad je však přibližný a může se od skutečnosti více či méně odlišovat. Proto hovoříme o různých hladinách pravděpodobnosti.[37]



Obr. 58 Rozdělení základního a výběrového souboru[38]

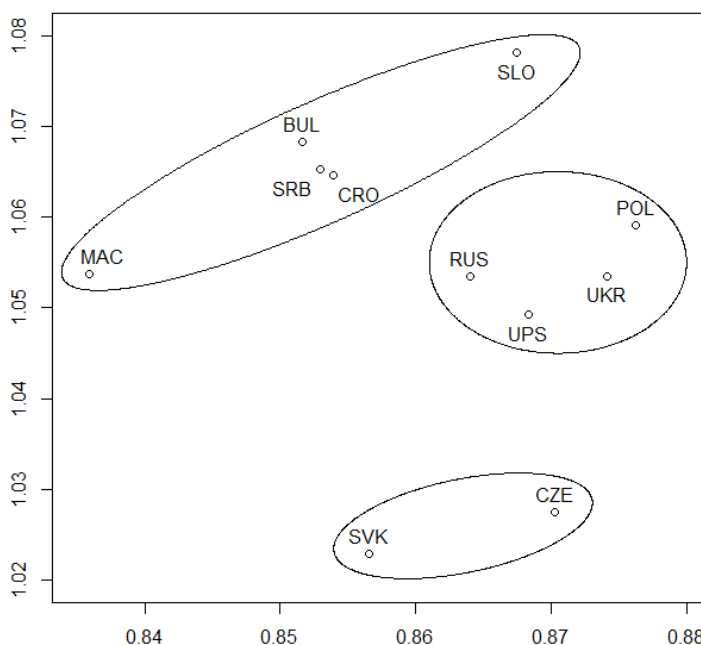
### Základní statistické charakteristiky:

- Aritmetický průměr
- Směrodatná odchylka
- Rozptyl
- Maximum
- Minimum
- Medián

Statistika hodnotí a zpracovává data podle statistického modelu. Statistický model je matematický model, pomocí kterého jsou popsány statistické předpoklady o vzniku dat ve sledovaném souboru. Statistický model je většinou idealizovaný proces vzniku dat. Z pohledu matematiky je definován jako vztah mezi jednou či více náhodnými proměnnými.[37]

## 7.1 Shluková analýza

Shluková analýza je vícerozměrná statistická metoda. Je určena ke klasifikaci objektů rozříděných do skupin tak aby prvky jedné skupiny byly podobnější než prvky jiné skupiny. Shlukovou analýzu je možné provádět na prvcích, prostřednictvím stejných znaků, které je možné či jsou vhodné k vzájemnému porovnávání. Shluková analýza má mnoho metod výpočtů a porovnání. Jednotlivé metody mají vlastní předpoklady k výpočtům a každá z metod je vhodná k jiným typům úloh. Porušením předpokladů a aplikací chybné metody můžeme dojít ke špatným a zavádějícím výsledkům. Identifikaci polohy shluků či vzdálenosti mezi různými shluky lze definovat závislost případně nezávislost zpracovávaných skupin.[39][40]



Obr. 59 Ukázka shlukové analýzy[41]

## 7.2 Nejistoty měření

Nejistoty měření přímo souvisejí s výsledkem měření. Vymezují totiž interval, ve kterém se může daná hodnota nacházet a jak může být vzdálená od pravé hodnoty. Pravá

hodnota je název pro skutečnou hodnotu, kterou však v praxi nemůžeme změřit. K pravé hodnotě se můžeme pouze přiblížit a tuto přibližnou hodnotu nazýváme konvenčně pravou hodnotou. Nejistoty měření nastávají z několika důvodů, např. nedokonalé měřidlo, chyby obsluhy (měřitele), vlivy prostředí (vlhkost, otřesy, apod.). Nejistoty měření rozdělujeme na nejistotu typu A, nejistotu typu B a nejistotu typu C.[42]

Nejistota typu A je výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru. Vypočítá se jako směrodatná odchylka podělená odmocninou z počtu měření

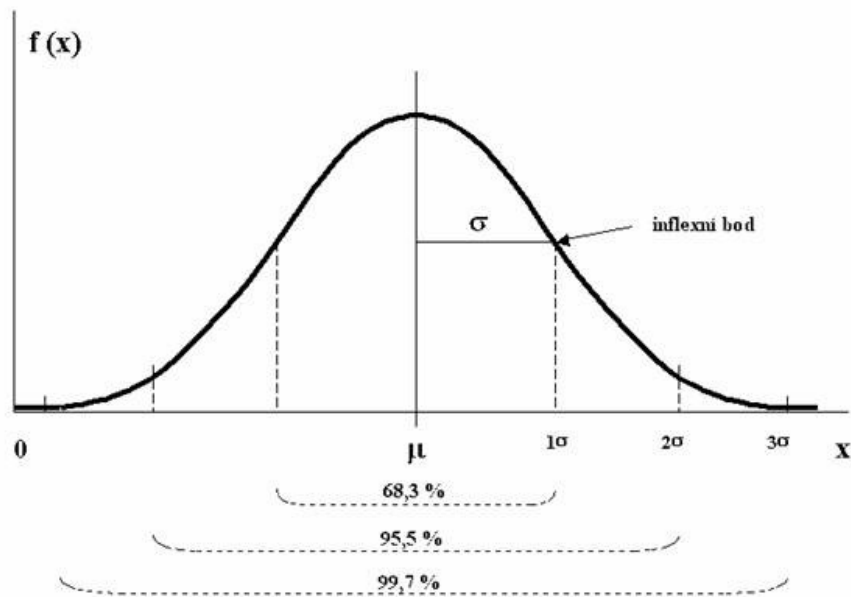
Nejistota typu B je způsobena známými a odhadnutelnými vlivy, nejčastěji nedokonalostí měřidla, většinou je udávána výrobcem měřidla.

Nejistota typu C zahrnuje obě předchozí nejistoty v jednu, nazývaná kombinovaná standardní nejistota. Bere do úvahy jak chyby náhodné, tak chyby systematické.

### 7.3 Intervaly spolehlivosti

Interval spolehlivosti je statistický nástroj, který je určen k intervalovému odhadu neznámého parametru. Tato metoda odhadu je založena zejména na Gaussovu normálním rozdělení spojitě náhodné veličiny. Ke stanovení intervalu spolehlivosti je potřeba zvolit hladinu spolehlivosti. Nejčastěji používaná hladina spolehlivosti je 90, 95 nebo 99 %. Spolehlivost definuje, s jakou pravděpodobností daný interval pokrývá skutečnou hodnotu, tedy s jakou pravděpodobností se prvek souboru nachází v daném intervalu hodnot.[43]

V našem případě se prováděla statistická analýza na hladině spolehlivosti 95 %. Abychom byly schopni vypočítat tuto hodnotu, je nutné vynásobit nejistotu typu A číslem 2,68. Tím lze dojít k výsledku potřebného k provádění další statistické analýzy, tedy získání intervalu, ve kterém se bude nacházet 95 % průměrných hodnot. Tato úprava je důležitá z hlediska přesnosti zejména u shlukové analýzy, protože se do celkového intervalu zahrnuje 95 % všech hodnot.



Obr. 60 Gaussovo normální rozdělení[44]

### Zápis hodnot v následujících kapitolách

V následujících kapitolách jsou použity zde popsané nástroje a metody statistické analýzy. Proto je důležité připomenout, že v tabulkách a textu jsou hodnoty zapsány s nejistotou typu A. Zde se tedy pracuje s intervalem hodnot 68,3 %. Naopak v uvedených grafech jsou hodnoty zapsány s intervaly spolehlivosti na hladině spolehlivosti 95 %. Je to z důvodu správné interpretace získaných výsledků při provádění statistické analýzy.

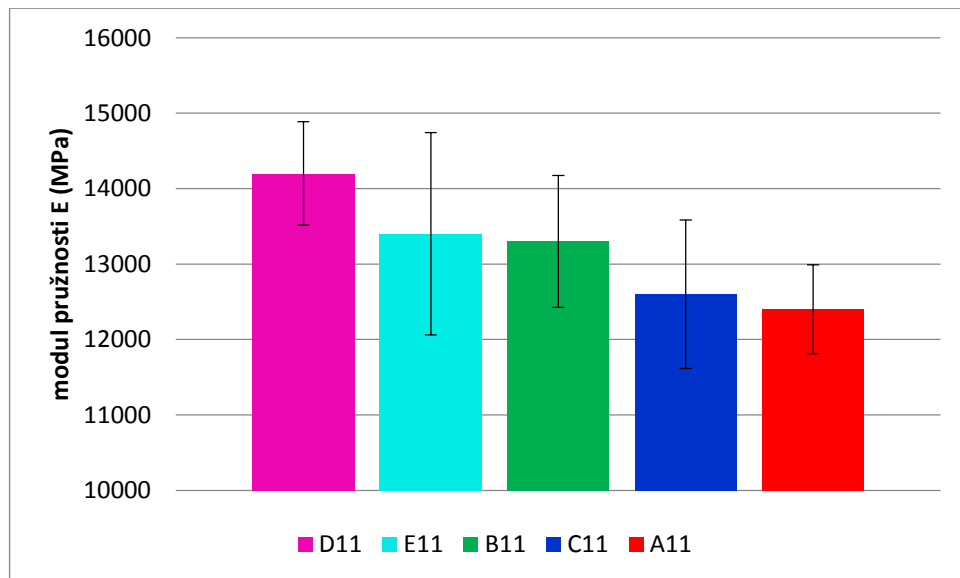
## 8 VÝSLEDKY A DISKUZE

Tabulka č. 8 obsahuje data naměřených hodnot v konečném zápisu. Naměřená data jsou modul pružnosti, pevnost v ohybu a rázová houževnatost.

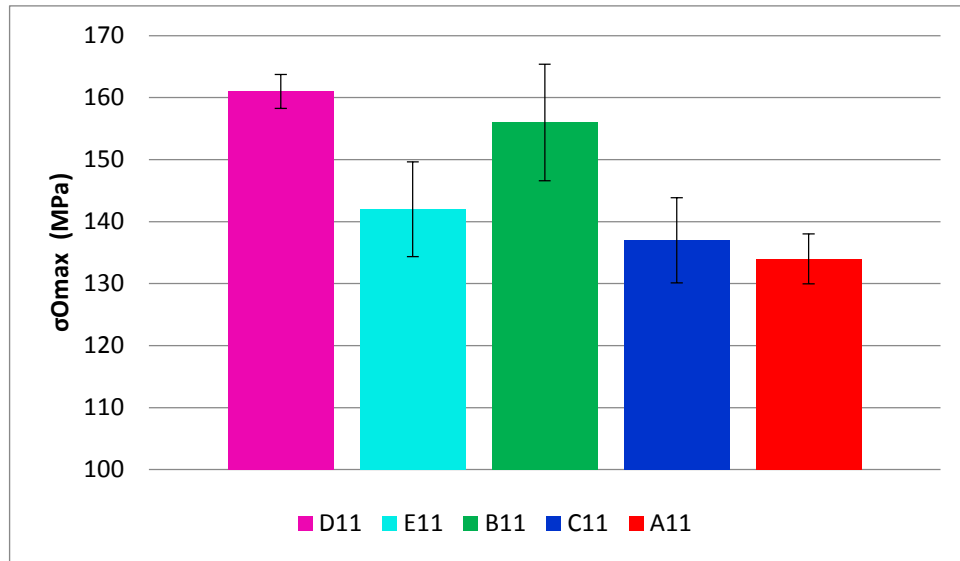
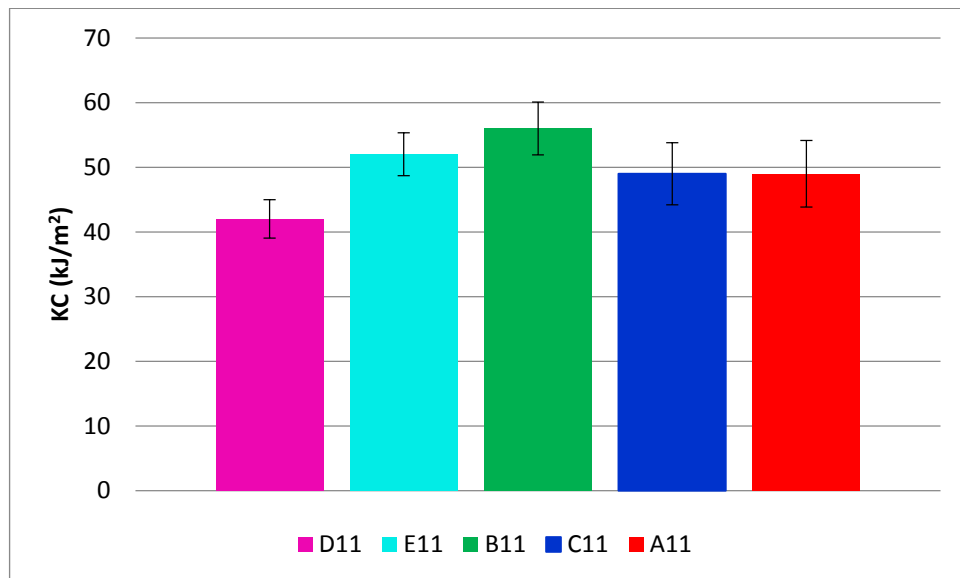
Tab. 8 Výsledky z měření desek

		E(MPa)	$\sigma_{Omax}$ (MPa)	KC(kJ/m <sup>2</sup> )	
ENUFF	A11	12400 ± 200	134 ± 2	A12	49 ± 2
	A31	12300 ± 300	125 ± 1	A22	39 ± 2
GIRL	B11	13000 ± 300	156 ± 4	B12	56 ± 3
	B31	13600 ± 300	146 ± 6	B22	43 ± 2
PERALTA	C11	12600 ± 400	137 ± 3	C12	49 ± 2
	C31	12500 ± 200	125 ± 2	C22	53 ± 3
PRIMITIVE	D11	14200 ± 300	161 ± 1	D12	42 ± 1
	D31	13000 ± 200	141 ± 2	D22	39 ± 1
CREATURE	E11	13400 ± 500	142 ± 3	E12	52 ± 1
	E31	11200 ± 300	112 ± 2	E22	39 ± 2

### 8.1 Srovnání vlastností napříč různými výrobci



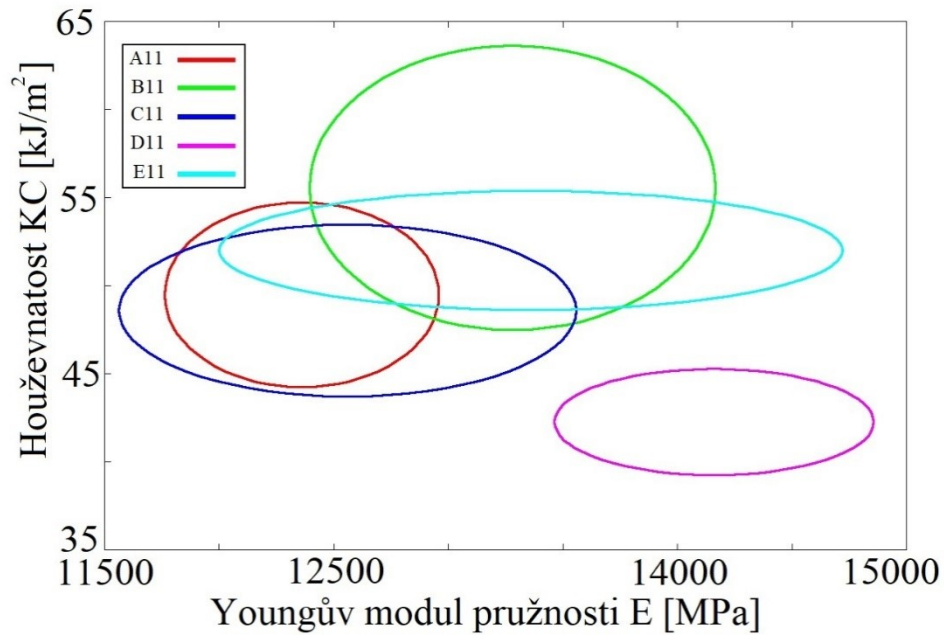
Obr. 61 Youngův modul pružnosti E desek A11 až E11

Obr. 62 Pevnost v ohybu  $\sigma_{Omax}$  desek A11 až E11

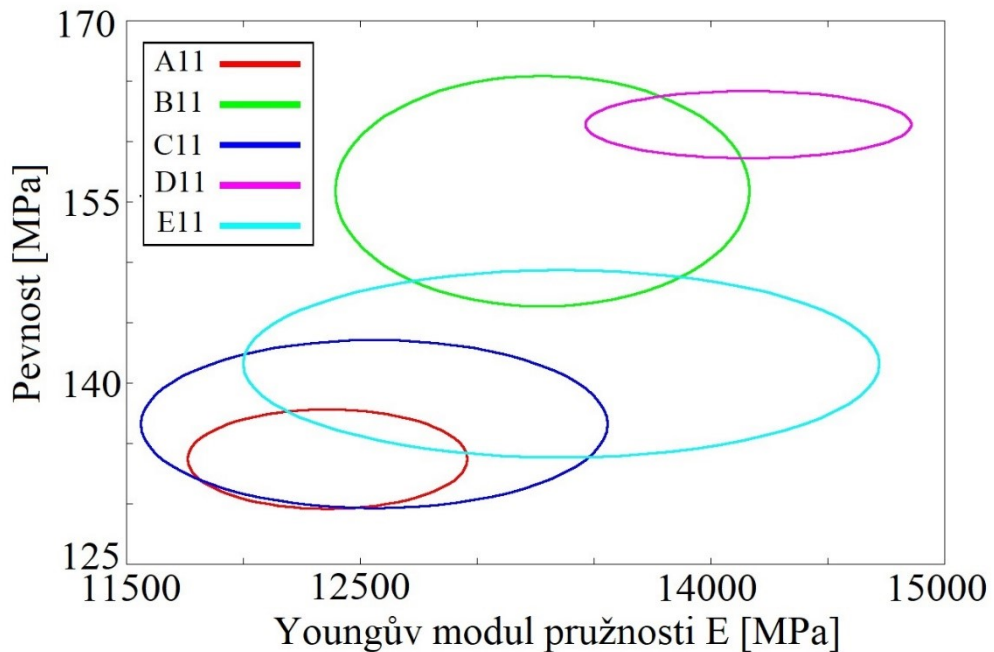
Obr. 63 Houževnatost KC desek A11 až E11

Desky byly v grafech seřazeny dle obr. 61 od desky s nejvyšším naměřeným modulem pružnosti E po desku s nejnižší hodnotou modulu pružnosti E. Podle tohoto seřazení byly následně sestrojeny ostatní grafy. Deska značky Primitive (D11) vykazuje nejvyšší hodnoty modulu pružnosti  $E = 14200 \pm 300$  MPa a pevnosti  $\sigma = 161 \pm 1$  MPa, za to nejnižší houževnatosti  $KC = 42 \pm 1$  MPa. Desky Enuff (A11) a Powel Peralta (C11) vykazují podobné výsledky u všech tří sledovaných parametrů. Je naměřen nejnižší modul pružnosti  $E = 12400 \pm 200$  MPa, respektive  $E = 12600 \pm 400$  MPa, i nejnižší pevnost  $\sigma = 134 \pm 2$  MPa, respektive  $\sigma = 137 \pm 3$  MPa. Naměřené hodnoty se od sebe v jistých případech liší velmi málo. Aby bylo možné dokázat, zda existují rozdíly ve vlastnostech

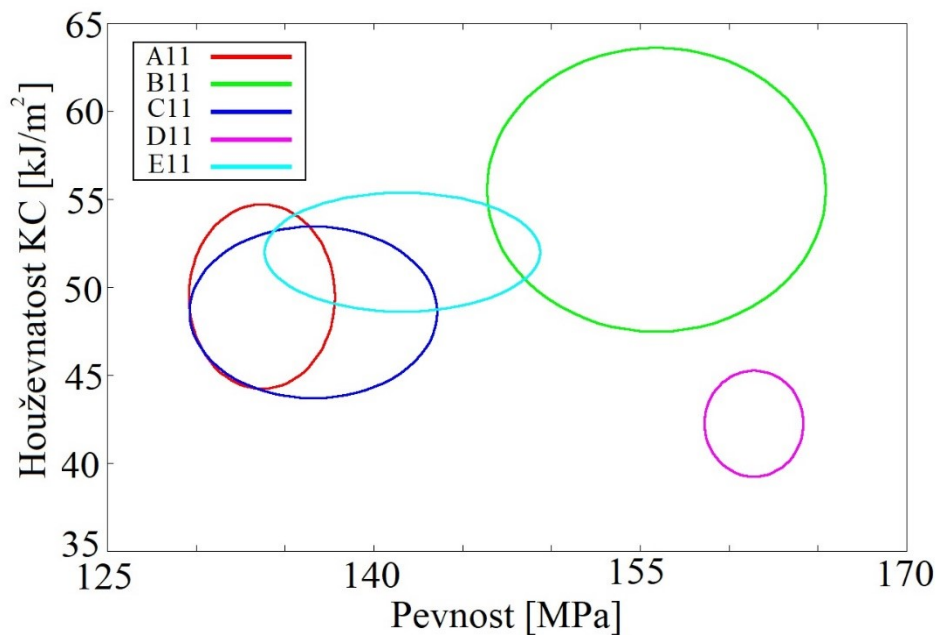
jednotlivých značek desek, musí být vlastnosti porovnány pomocí statistické metody intervalů spolehlivosti a pomocí shlukové analýzy.



Obr. 64 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek A11 až E11



Obr. 65 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek A11 až E11



Obr. 66 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek A11 až E11

### 8.1.1 Modul pružnosti E

Ačkoliv jsou moduly pružnosti v obr. 61 seřazeny od nejvyšší hodnoty po nejnižší, s ohledem na intervaly spolehlivosti lze vyvodit, že deska značky Primitive (D11) má vyšší modul pružnosti E, než deska Enuff (A11). Toto lze vypočítat i z obrázků 64 a 65, kde by se na ose x neprotly pouze elipsa růžová (D11) a elipsa červená (A11).

### 8.1.2 Pevnost

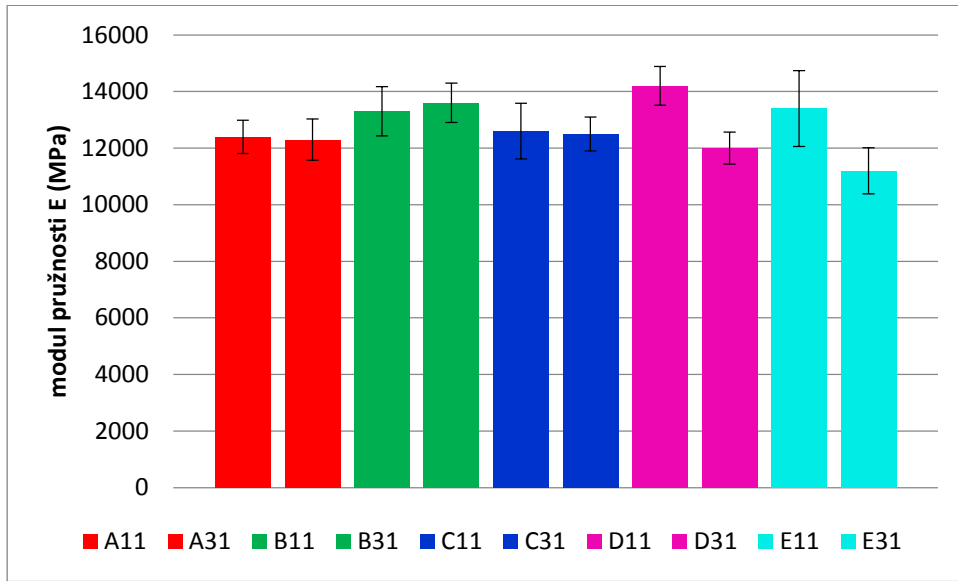
Větší pevnost je pozorována u desky Primitive (D11), a to při porovnání s deskami Enuff (A11), PowelPeralta (C11) a Creature (E11). Při srovnání s deskou Girl (B11) jsou rozdíly statisticky nevýznamné. Měření také ukázalo, že pevnost desek Primitive a Girl je vyšší, než pevnost desek Enuff a PowelPeralta.

### 8.1.3 Houževnatost

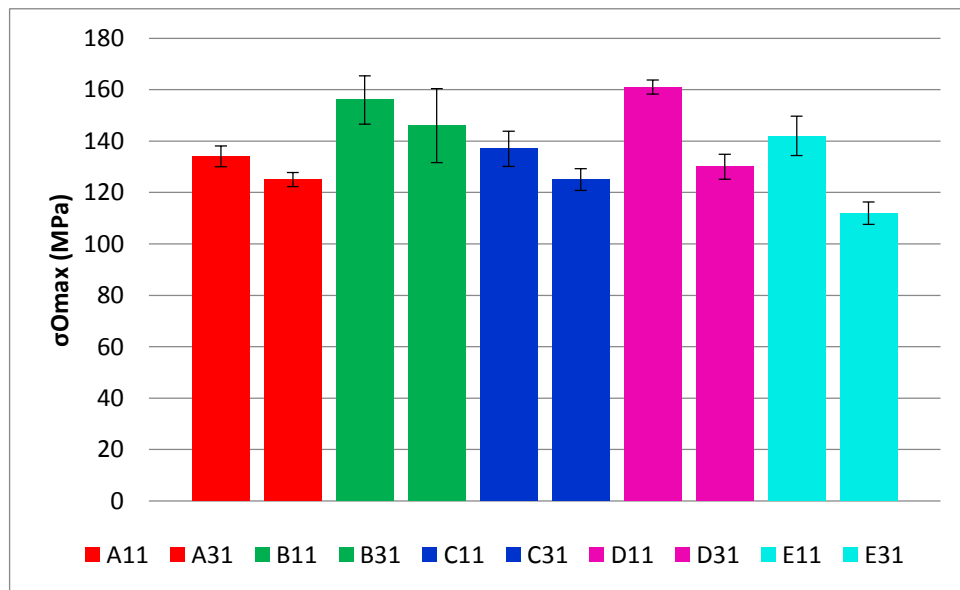
Houževnatost desek Creature a Girl je vyšší, než houževnatost desky Primitive. Srovnání s ostatními deskami jsou statisticky nevýznamná.



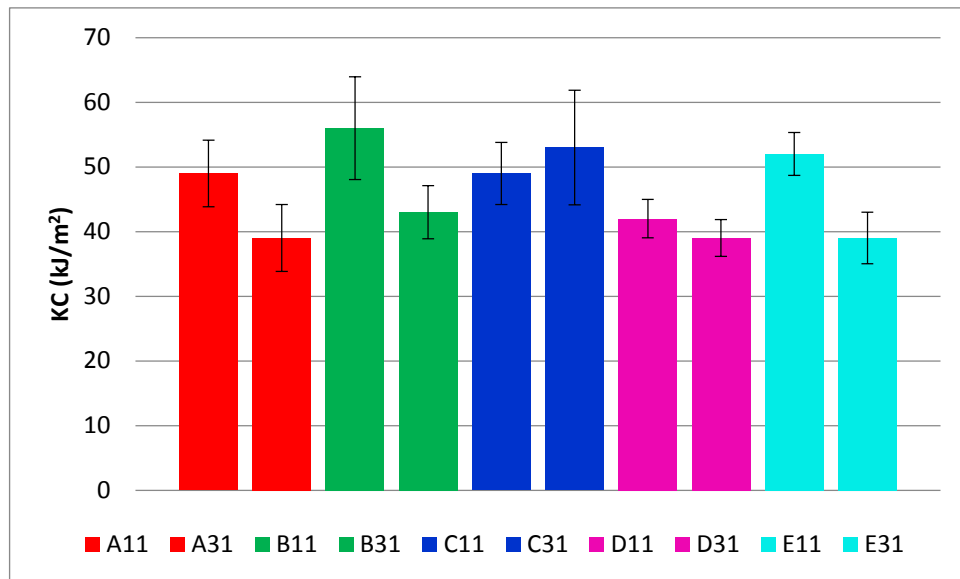
## 8.2 Srovnání vlastností mezi novými a použitými deskami



Obr. 67 Porovnání modulu pružnosti E u všech desek

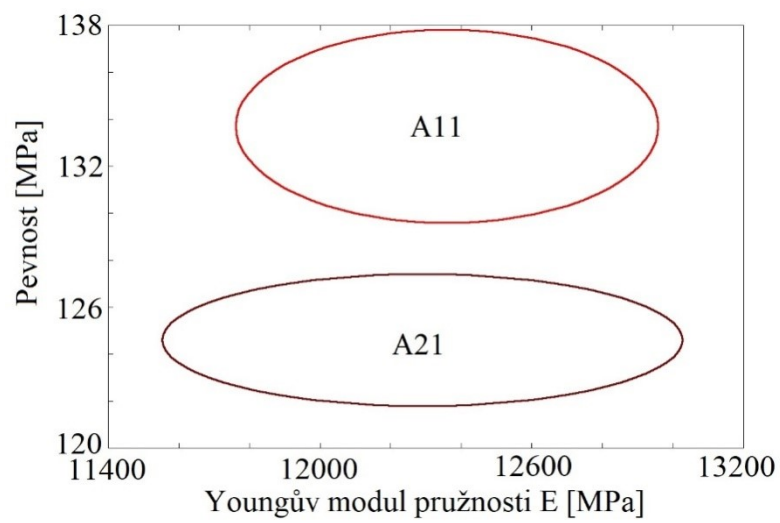


Obr. 68 Porovnání pevnosti  $\sigma_{Omax}$  u všech desek

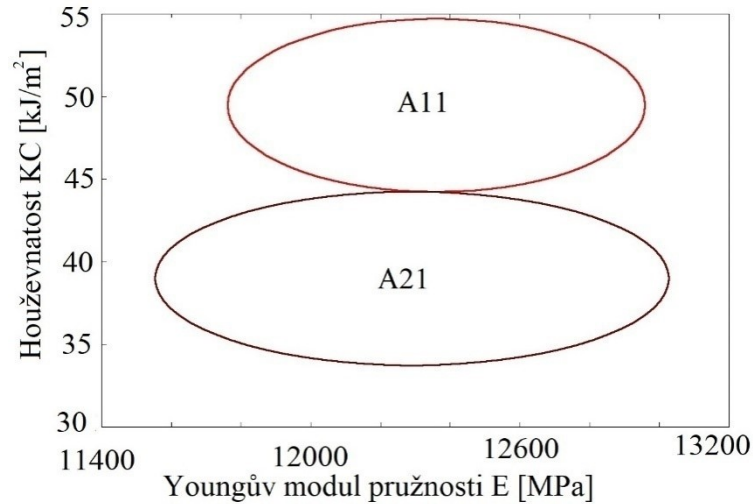


Obr. 69 Porovnání houževnatosti KC u všech desek

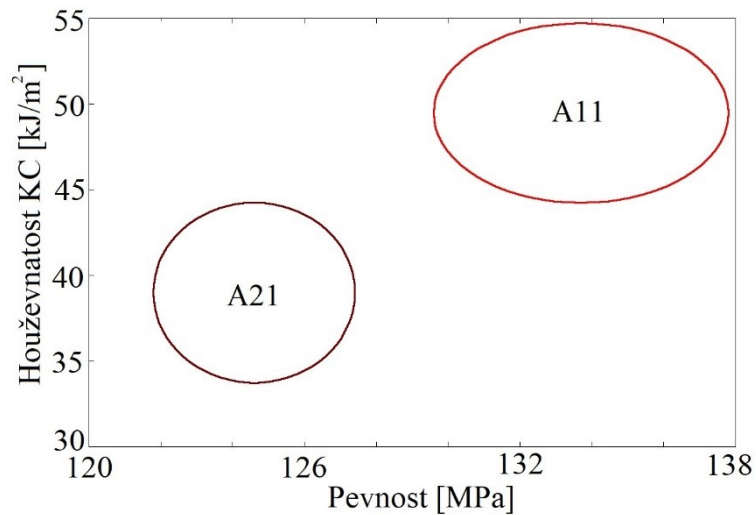
### 8.2.1 Euff



Obr. 70 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek A11 a A21



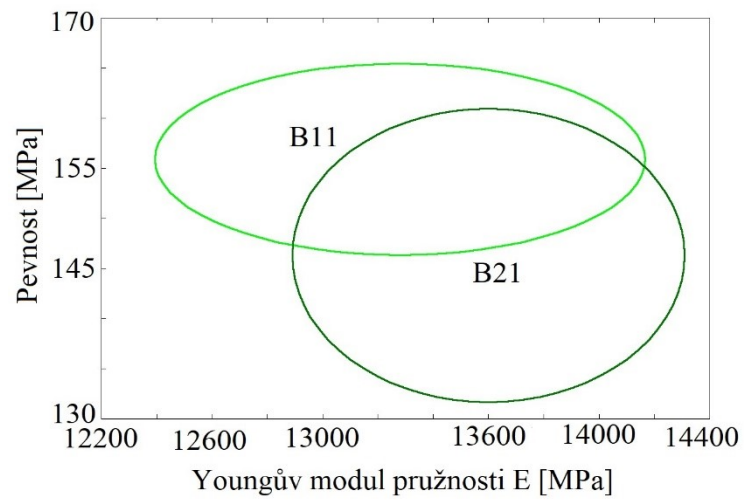
Obr. 71 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek A11 a A21



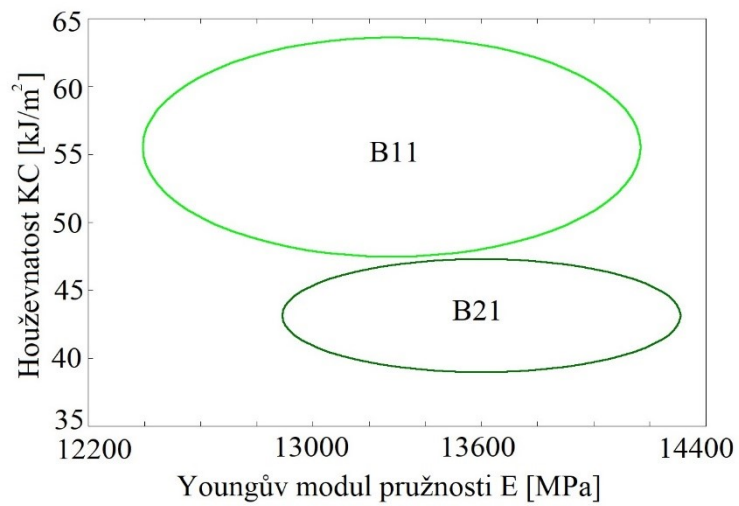
Obr. 72 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek A11 a A21

Pevnost i houževnatost se u desky Enuff při použití v terénu po čase prokazatelně snížila. Naměřená pevnost klesla ze  $\sigma = 134 \pm 2$  MPa na  $\sigma = 125 \pm 1$  MPa, houževnatost se snížila ze  $KC = 49 \pm 2$  kJ/m<sup>2</sup> na  $KC = 39 \pm 2$  kJ/m<sup>2</sup>. Modul pružnosti E, na kterém závisí tuhost materiálu, se nezměnil.

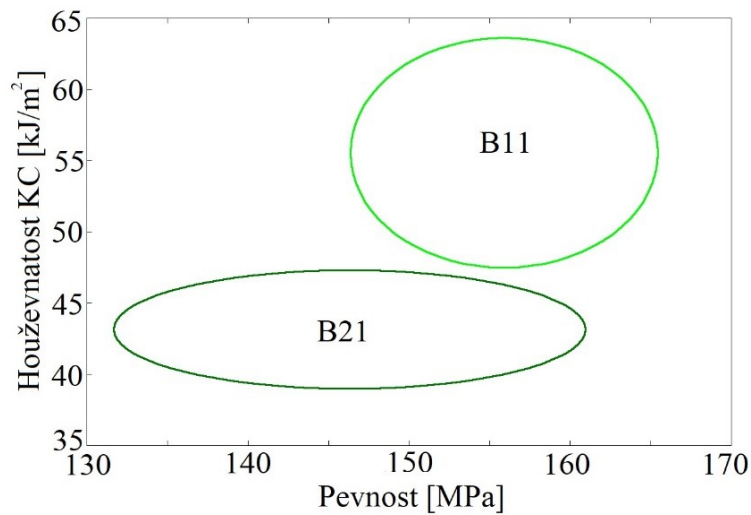
## 8.2.2 Grl



Obr. 73 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek B11 a B21



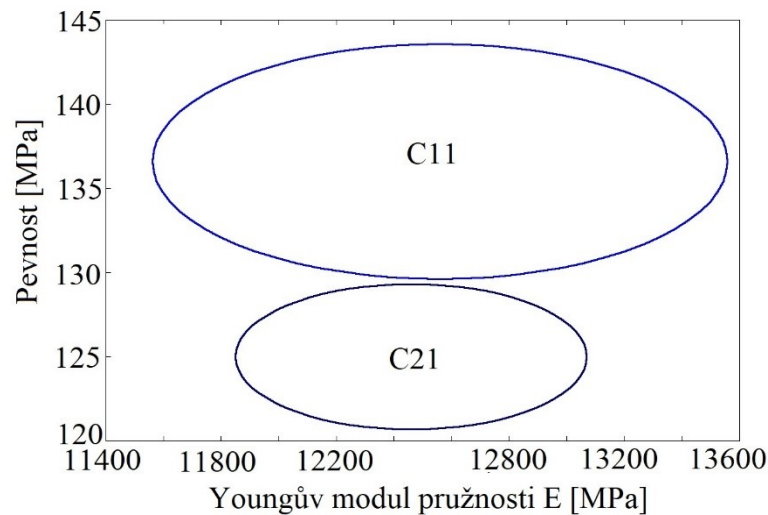
Obr. 74 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek B11 a B21



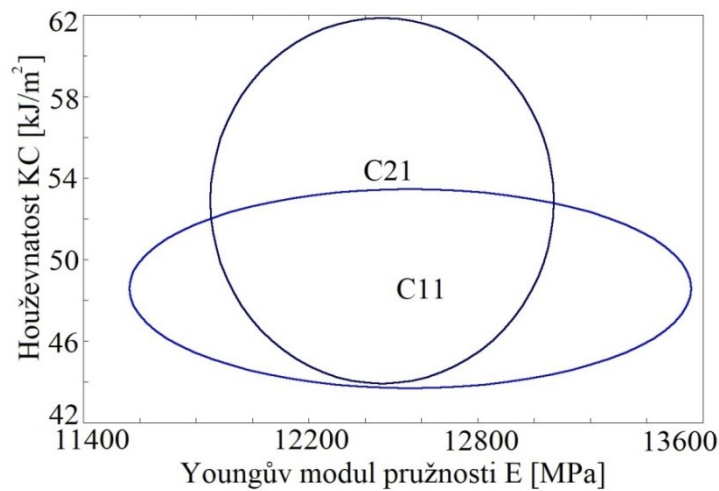
Obr. 75 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek B11 a B21

Na rozdíl od desky Primitive, kde byl pozorován pokles pevnosti houževnatosti, u desky Girl je pozorován pouze pokles houževnatosti, a to z hodnoty  $KC = 56 \pm 2 \text{ kJ/m}^2$  na  $KC = 43 \pm 2 \text{ kJ/m}^2$ . Naměřené hodnoty pevnosti jsou u nové desky  $\sigma = 156 \pm 4 \text{ MPa}$ , u použité desky  $\sigma = 146 \pm 6 \text{ MPa}$ . Rozdíl je však s ohledem na interval spolehlivosti statisticky nevýznamný. Modul pružnosti  $E$  se nezměnil.

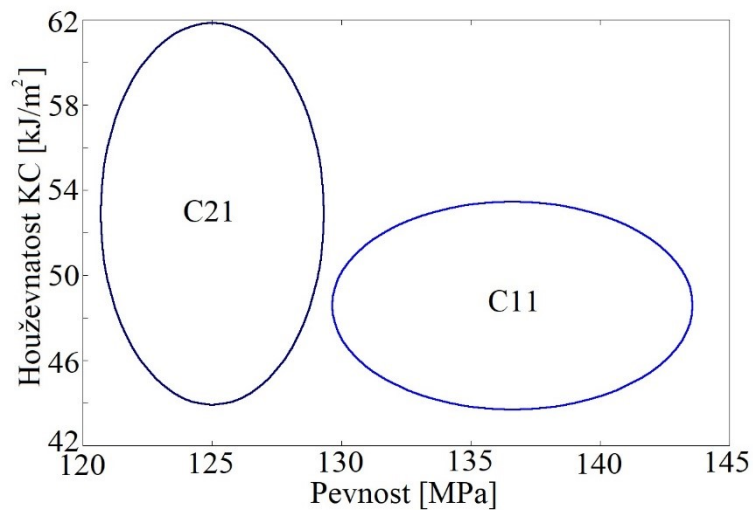
### 8.2.3 Powel Peralta



Obr. 76 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek C11 a C21



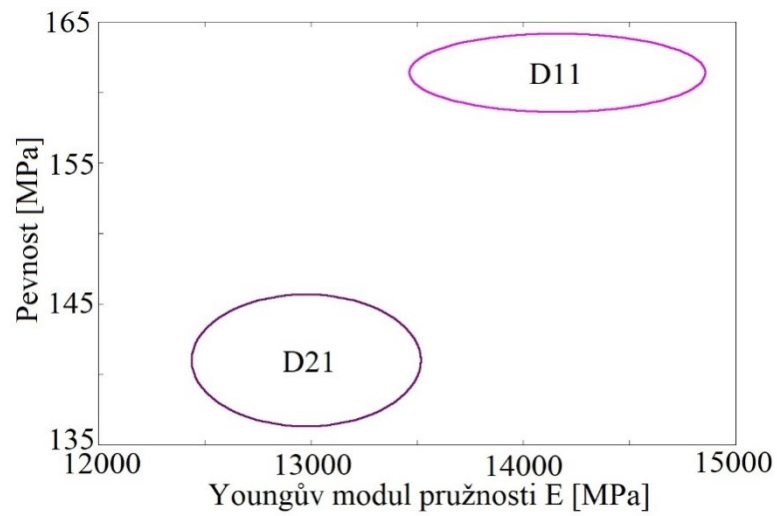
Obr. 77 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek C11 a C21



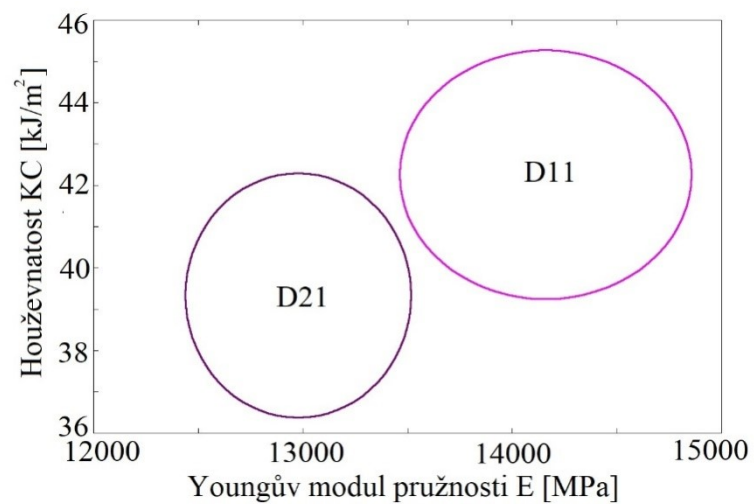
Obr. 78 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek C11 a C21

V případě desky značky Powel Peralta se ze tří sledovaných parametrů výrazněji změnila pouze pevnost, která klesla z  $\sigma = 137 \pm 3$  MPa na  $\sigma = 125 \pm 2$  MPa. Modul pružnosti E, ani houževnatost, se výrazně nezměnili, což lze také pozorovat v grafickém znázornění na obr. 77.

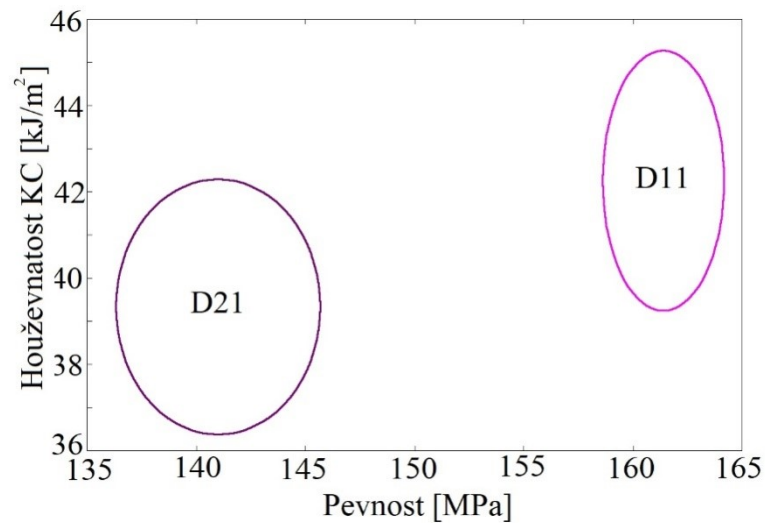
## 8.2.4 Primitive



Obr. 79 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek D11 a D21



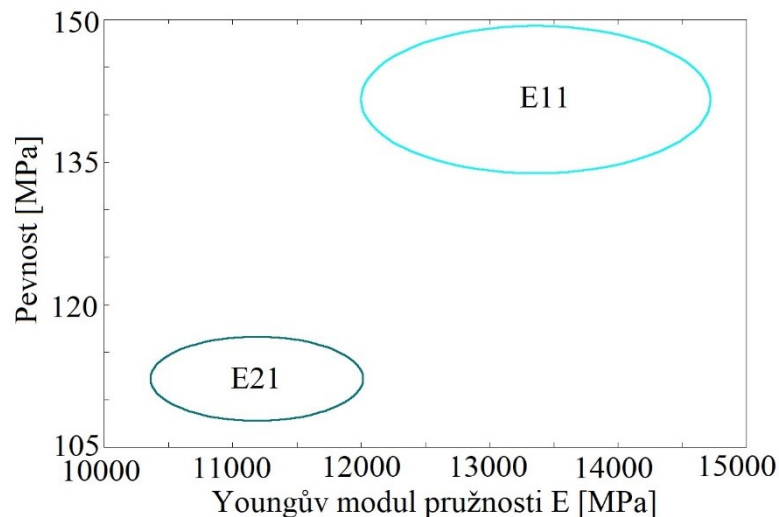
Obr. 80 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek D11 a D21



Obr. 81 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek D11 a D21

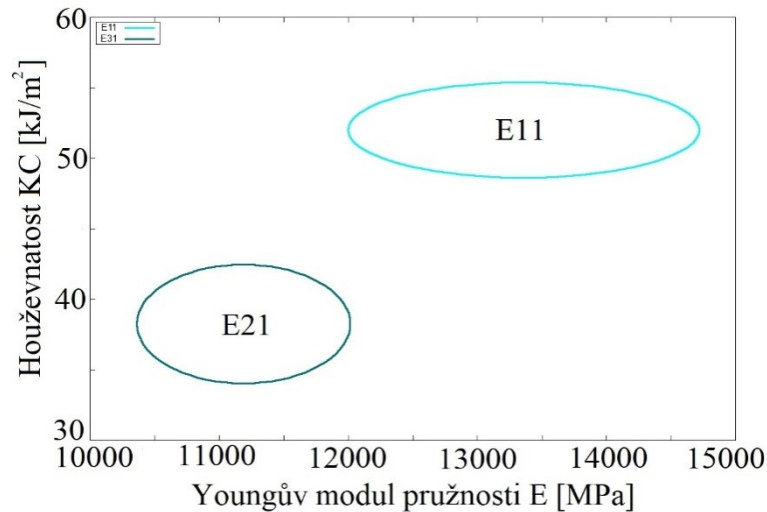
U opotřeбенé desky značky Primitive je oproti nové desce naměřen výrazný pokles pevnosti, z hodnoty  $\sigma = 161 \pm 1$  MPa na  $\sigma = 130 \pm 2$  MPa, což je pokles o více než 19 %. Poprvé je také sledován statisticky významný rozdíl v naměřených modulech pružnosti E. Ten se snížil z  $E = 14200 \pm 300$  MPa u nové desky na  $E = 12000 \pm 300$  MPa u desky namáhané v terénu. Houževnatost desek se nezměnila.

### 8.2.5 Creature

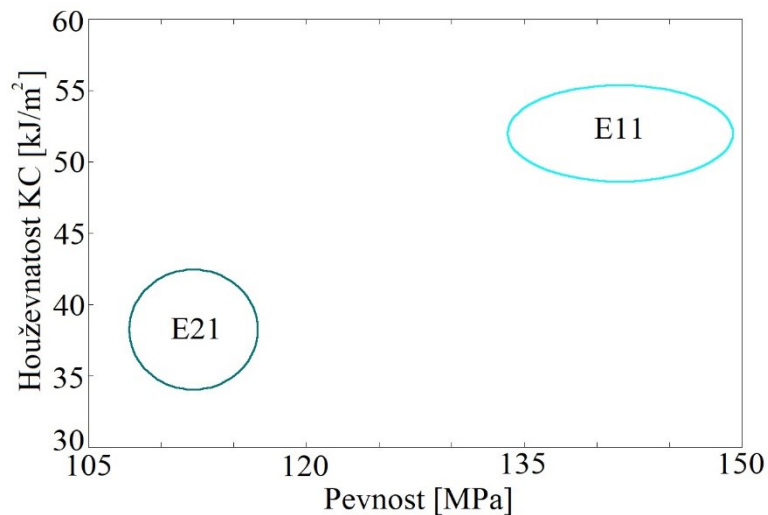


Obr. 82 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek E11 a E21





Obr. 83 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek E11 a E21



Obr. 84 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek E11 a E21

Podobně, jako u desky Primitive, i u desky Creature poklesla pevnost výrazně, a to 21 %. Změnili se také další dva sledované parametry. Modul pružnosti E se snížil z hodnoty  $E = 13400 \pm 500$  MPa u nové desky na  $E = 11200 \pm 300$  MPa u použité desky a houževnatost poklesla z  $KC = 52 \pm 1$  kJ/m<sup>2</sup> na  $KC = 39 \pm 2$  kJ/m<sup>2</sup>.

## 9 DISKUZE

Z naměřených hodnot mechanických vlastností nových desek pěti různých značek nelze jednoznačně sestavit žebříček desek od nejlepší po nejhorší. S ohledem na statistické vyhodnocení intervalů spolehlivosti lze ale vyvodit několik závěrů. Modul pružnosti  $E$  je u desky Primitive větší, než u desky Enuff. Pevnost desek Primitive a Girl je vyšší, než pevnost desek Enuff a Powel Peralta. Houževnatost desek Creature a Girl je vyšší, než houževnatost desky Primitive.

Zkušební jezdci se většinou shodli na tom, že deska značky Primitive je nejlepší, za to deska značky Powel Peralta je nejhorší. Na vyšších příčkách se častěji objevila také deska značky Creature. Nejspíš největším překvapením byla pro jezdce deska Girl, kterou při hodnocení umístili na nižší příčky. Ve slepém testu ji však hodnotili mnohem kladněji. Slepý test byl proveden právě proto, aby jezdci hodnotili desky pouze na základě pocitu z jejich chování a eliminovaly se negativní vlivy, jako například oblíbenost některé ze značek. Tato hodnocení korelují s reálně naměřenými daty, ačkoliv z hlediska statistiky to je v některých případech velmi těžké dokázat.

V souvislosti s tím je v zájmu jezdců vědět, zda jsou pořizovací ceny desek odpovídající. Nabízí se srovnání nejdražší desky Girl (1790 Kč) s nejlevnější deskou Enuff (1090 Kč). Výsledky modulu pružnosti  $E$  a houževnatosti  $KC$  neprokázaly statisticky dostatečně významné rozdíly, aby bylo možné určit, která z desek dosahuje lepších hodnot. Při tak značných cenových rozdílech mezi jednotlivými značkami se očekávalo, že toto bude promítnuto i do rozdílů v mechanických vlastnostech desek. To se však nepotvrdilo.

Je nutno podotknout, že veškeré mechanické vlastnosti byly měřeny na připravených vzorcích, na kterých se měřili vlastnosti materiálů, ze kterých byly překližky vyrobeny. Na tuhost, pevnost a houževnatost desky jako celku však bude mít vliv i jeho tvar. Tvarový faktor nebyl při měření vlastností zohledněn. Zkušební jezdci však tvar desky vnímají velmi dobře a také proto ho zohlednili při subjektivním hodnocení.

Nejvýznamnějšími rozdíly v opotřebení mezi novými a použitými deskami jsou pozorovány u desek Creature a Primitive, kde je zaznamenán největší pokles pevnosti a to o 21 %, respektive 19 %. U těchto dvou značek je také, jako u jediných statisticky dokázaných pokles v modulu pružnosti  $E$ . Houževnatost se snižuje u desek Girl, Creature a Enuff.

## ZÁVĚR

V bakalářské práci byly mechanicky testovány a subjektivně hodnoceny skateboardové desky, které byly pořízeny v cenové kategorii od 1090 do 1790 Kč. Subjektivní hodnocení provedla skupinka pěti jezdců u celkem pěti desek, které jezdci testovaly v terénu. Mechanické zkoušky byly provedeny na zcela nových deskách a dále i na deskách používaných jezdci. Cílem bylo zjistit, jak se změni mechanické vlastnosti prken používaných v terénu oproti novým a jestli cenové rozpětí desek odpovídá tomu, zda jsou desky kvalitativně rozdílné, což by se mělo projevit v odlišných mechanických vlastnostech. Subjektivní hodnocení se porovnávalo s výsledky z mechanických zkoušek a zjišťovalo se, zda spolu výsledky a hodnocení korelují.

Mechanické zkoušky sestávaly ze statického tříbodového ohybu, kde byly zjištěny mechanické vlastnosti desek, jako je modul pružnosti a pevnost v ohybu. Dále byly desky zkoušeny dynamickým ohybem, tedy zkouškou rázem v ohybu metodou Charpy. Z nárazové energie vztažená na plochu byla stanovena houževnatost.

Byla provedena statistická analýza naměřených dat. Zejména byla využita shluková analýza a metoda intervalů spolehlivosti. Touto analýzou bylo zjištěno, které desky jsou si v mechanických vlastnostech podobné, a které nikoliv. Tato analýza sloužila jako nástroj k tomu, aby se mohlo rozhodnout, zda se od sebe naměřené data lišila, nebo naopak zda byly rozdíly statisticky nevýznamné. Základním předpokladem bylo, že vyšší cena bude odpovídat vyšší kvalitě, tedy že povede k lepším výsledkům mechanických vlastností. Z provedené statistické analýzy dat však nelze tento předpoklad potvrdit, neboť zkoumané materiálové vlastnosti skateboardových desek ve většině případů nevykazovaly statisticky významnou diferenci výsledků, jaká by se očekávala z cenových rozdílů desek. Výsledky zkoušek vykazují minimální rozdíly mechanických vlastností jednotlivých desek, které neodpovídají tak velkému rozpětí cen. Z těchto výsledků vyplývá, že investice do dražších desek je v zásadě neúměrná jejich kvalitě a tedy neopodstatněná.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 9788086960265.
- [2] KOMBINOVANÉ NAMÁHÁNÍ - SlidePlayer.cz Inc. [cit. 21.05.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/14996517/>
- [3] Mechanické vlastnosti polymerů – dynamické únavové namáhání. [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/10.html>
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 9788086960296.
- [5] Mechanické vlastnosti polymerů – statické namáhání. [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/09.html>
- [6] SKÁLA, Vladimír a Vladimír STEJSKAL. *Mechanika pro SPŠ nestrojnické*. 3. opr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [7] BUMBÁLEK, Leoš. *Kontrola a měření: pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 9788073330729.
- [8] Stress-strain curves at different temperatures for steel 4509-2. Scientific Diagram. *ResearchGate Find and share research* [online]. [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Stress-strain-curves-at-different-temperatures-for-steel-4509-2\\_fig11\\_236341600](https://www.researchgate.net/figure/Stress-strain-curves-at-different-temperatures-for-steel-4509-2_fig11_236341600)
- [9] BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory*. 6., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN 80-85920-58-1.
- [10] MIČKAL, Karel. *Technická mechanika I: pro střední odborná učiliště a střední odborné školy*. 4., nezměn. vyd. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 9788073330637.
- [11] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 8071832448.
- [12] VŠB, Zkoušení stavebních materiálů a výrobků - Dřevo. [online]. GraFiKh design [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: [https://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo\\_zkouseni](https://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zkouseni)

- [13] Skateboard *How Products Are Made* [online]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-6/Skateboard.html>
- [14] Jak vybrat skateboardový hardware? - *Snowboardel.cz Extrémní sporty jsou naším životem* [online]. 2021, Snowboardel. Všechna práva vyhrazena. [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: <https://snowboardel.cz/poradna/jak-vybrat-nejvhodnejsi-skate/>
- [15] *Skateboards & Skateboard Decks at Warehouse Skateboards* [online]. Warehouse Skateboards [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: <https://www.warehouse skateboards.com/help/Skateboard-Decks-Buying-Guide>
- [16] Skateboard, longboard, pennyboard. Jaké jsou rozdíly? - inSPORTline. *inSPORTline - největší výrobce a prodejce fitness v ČR* [online]. [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: <https://www.insportline.cz/radce/118-skateboard-longboard-pennyboard-jake-jsou-rozdily->
- [17] CHOOSING YOUR FIRST SKATEBOARD DECK [online]. [cit. 15.05.2021] Dostupné z: <https://shop.ccs.com/skateboard-buyers-guide/skateboard-decks>
- [18] Everything about Skateboard Decks - Wiki skatedeluxe Blog. [online]. skatedeluxe Blog [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: <https://www.skatedeluxe.com/blog/en/wiki/skateboarding/skateboard-wiki/decks/>
- [19] Skateboard concave shapes. *Access denied* [online] [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: <https://optcool.com/pages/skateboard-concave-shapes>
- [20] DŘEVO [online]. [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni%20hmoty/Prednaska\\_drevo.pdf](http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni%20hmoty/Prednaska_drevo.pdf)
- [21] JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. *Dřevo a jeho obrábění*. Praha: Grada, 2010. Průvodce truhláře. ISBN 978-80-247-2961-9.
- [22] *Jihočeský kraj - Odbor životního prostředí, zemědělství a lesnictví* [online]. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: [https://zp.kraj-jihocesky.cz/files/f615/files/projekty\\_nove/katalog\\_rostlin.pdf](https://zp.kraj-jihocesky.cz/files/f615/files/projekty_nove/katalog_rostlin.pdf)

- [23] The Nitty Gritty Materials Ministry of Wood, Skateboard Builder Directory. *Ministry of Wood, Skateboard Builder Directory List of board builders and tutorials compiled by Roarokit Skateboard Company* [online]. Dostupné z: <https://ministryofwood.com/the-nitty-gritty-materials/>
- [24] Best wood for longboard-will help you to know about your longboard quality. *Your Trusted Skateboard guide-skateshouse.com* [online]. Dostupné z: <https://www.skateshouse.com/best-wood-for-longboard/>
- [25] Best Wood for Skateboard Deck Source: <https://republicofskaters.com/best-wood-for-skateboard-deck>[online]. Dostupné z: <https://republicofskaters.com/best-wood-for-skateboard-deck/>
- [26] Vertically Laminated Longboards Explained. *Longboards by Lush Longboards UK Since 1999* [online]. Dostupné z: <https://lushlongboards.com/workshops/horizontally-vs-vertically-laminated-longboards/>
- [27] *O KATEDŘE KMT TU Liberec* [online]. [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf)
- [28] Structural laminated wood reinforced with composite materials - CORE Reader. *CORE – Aggregating the world’s open access research papers* [online]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/reader/30303990>
- [29] Skateboard Deck Materials. *StoreYourBoard - Racks, Bags, and Accs. for Bikes, Kayaks, Skis, SUPs, Surfboards, and more* [online]. Dostupné z: <https://www.storeyourboard.com/skateboard-deck-materials.html>
- [30] Almost skateboards 2021 impact. [online]. Dostupné z: <https://almostskateboards.com/impact>
- [31] LONG, A. C ., ed. *Design and Manufacture of Textile Composites*. North America by CRC Press LLC, 6000 Broken Sound Parkway, NW, Suite 300, Boca Raton FL 33487, USA: Woodhead Publishing, 30th July 2005n. 1. ISBN 9781855737440.
- [32] *CORE – Aggregating the world’s open access research papers* [online].[cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30278962.pdf>

- [33] ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ [online]. [cit. 15.05.2021]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie\\_lepeni%20%20LEAR.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20%20LEAR.pdf)
- [34] M.Osten : Prace s lepidly a tmely – SNTL – Nakladatelství technické literatury , Praha, Bratislava 1975
- [35] Smáčivost, vlastnost kapaliny přilnout k povrchu [online].[cit. 15.05.2021]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labchcht-001/n150013-b6.pdf>
- [36] Statistika R. Biskup [online]. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <http://www2.ef.jcu.cz/~birom/stat/prednasky/08.pdf>
- [37] Statistický model – Wikipedie. [online]. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Statistick%C3%BD\\_model](https://cs.wikipedia.org/wiki/Statistick%C3%BD_model)
- [38] principy kvantitativního přístupu - ppt stáhnout. *SlidePlayer* - *Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace* [online]. SlidePlayer.cz Inc. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3414826/>
- [39] Pokročilé metody analýzy dat v neurovědách -. SlidePlayer.cz Inc. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/13739987/>
- [40] Shluková analýza [online].[cit. 19.05.2021]. Dostupné z: [http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/recognition/zapis\\_prednasky/zapis\\_02/13/shlukovani.pdf](http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/recognition/zapis_prednasky/zapis_02/13/shlukovani.pdf)
- [41] SHLUKOVÁ ANALÝZA Nový encyklopedický slovník češtiny. *Nový encyklopedický slovník češtiny* [online]. Masarykova univerzita, Brno 2012 [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <https://www.czechency.org/slovník/SHLUKOV%C3%81%20ANAL%C3%9DZA>
- [42] *Portál moderní fyziky* [online]. [cit. 20.05.2021]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf>
- [43] *Matematická sekce Matematicko-fyzikální fakulta Univerzita Karlova* [online]. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: [https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~turcic/Konfidencni\\_intervaly.pdfz](https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~turcic/Konfidencni_intervaly.pdfz); <https://www.czechency.org/slovník/SHLUKOV%C3%81%20ANAL%C3%9DZA>
- [44] GAUSSOVO NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ [online]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/stat/FVHE/Teorie/Predn2/rozdeleni.htm>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	Tažnost
AF	Aramidová vlákna
CF	Uhlíková vlákna
e	Vzdálenost od neutrální osy
E	Youngův modul pružnosti v tahu
EP-R	Epoxidová pryskyřice
F	Síla
FA-R	Fenakrylátová pryskyřice
G	Modul pružnosti ve smyku
GF	Skleněná vlákna
J	Kvadratický modul průřezu
K	Nárazová energie
KC	Vrubová houževnatost
l	Vzdálenost
$L_{0,u}$	Délka počáteční, konečná
MA-R	Metakrylátová pryskyřice
$M_o$	Ohybový moment
n	Otáčky
P	Výkon
PAN	Polyakrylonitril
PMMA	Polymethylmethakrylát
PVAc	Polyvinylacetát
$R,r$	Poloměr
$R_{m,ms,p}$	Mez pevnosti v tahu,tlaku, stříhu
S	Plocha



---

UP-R	Polyesterová pryskyřice
VE-R	Vynilesterová pryskyřice
$W_o$	Modul průřezu v ohybu
$x_T$	Vzdálenost těžiště
$y$	Průhyb
$Z$	Zúžení
$\alpha$	Úhel sklonu ohybové čáry
$\gamma$	Zkos
$\Delta L$	Absolutní prodloužení
$\varepsilon$	Poměrné deformace
$\rho$	Poloměr křivosti ohybové čáry
$\sigma_{t,o}$	Normálové napětí v tahu, tlaku, ohybu
$\tau_s$	Tečné napětí ve střihu
$\varphi$	Úhel zkroucení

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Základní druhy namáhání[2] .....	11
<i>Obr. 2</i> Časové průběhy dynamického namáhání[2] .....	12
<i>Obr. 3</i> Vznik trhlin v matrici kompozitu[3] .....	13
<i>Obr. 4</i> Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušení tahem, tlakem a ohybem [1] .....	14
<i>Obr. 5</i> Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem měkké nelegované oceli [1] .....	16
<i>Obr. 6</i> Grafické stanovení $R_{p0,2}$ z pracovního diagramu [1] .....	17
<i>Obr. 7</i> Pracovní diagram pro různé polymerní materiály[5] .....	18
<i>Obr. 8</i> Pracovní diagram při různých teplotách okolí[8] .....	18
<i>Obr. 9</i> Pracovní diagram zkoušky tlakem[1] .....	19
<i>Obr. 10</i> Obecný příklad uložení a zatížení nosníků[6] .....	21
<i>Obr. 11</i> Průběh a rozložení napětí v průřezu nosníku[10] .....	22
<i>Obr. 12</i> Deformace vetknutého nosníku zatíženého osamělou silou[6] .....	22
<i>Obr. 13</i> Průběh ohybových momentů u tří a čtyřbodového ohybu[4] .....	24
<i>Obr. 14</i> Příklady porušení kompozitních materiálů při zkoušce ohybem[4] .....	25
<i>Obr. 15</i> Namáhání smykem[6] .....	25
<i>Obr. 16</i> Myšlený řez součástí při namáhání smykem[10] .....	26
<i>Obr. 17</i> Vliv smykových napětí v závislosti na způsobu zatížení[4] .....	26
<i>Obr. 18</i> Deformace zkušební trubky při zkoušce krutem[4] .....	27
<i>Obr. 19</i> Zkušební těleso a jeho ohybové přetvoření při zkoušce interlaminární pevnosti ve smyku dle normy ASTM D 2730- 70[4] .....	28
<i>Obr. 20</i> Schéma zkoušky stříhem u plochého a trubkového tělesa[4] .....	28
<i>Obr. 21</i> Zkouška třibodovým ohybem pro stanovení interlaminární smykové pevnosti ILS[4] .....	29
<i>Obr. 22</i> Úhel zkroucení a zkos při namáhání krutem[1] .....	29
<i>Obr. 23</i> Myšlený řez součástí a průběh krouticího momentu[10] .....	30
<i>Obr. 24</i> Různé druhy namáhání a jejich časový průběh[1] .....	31
<i>Obr. 25</i> Různé druhy namáhání a jejich časový průběh[1] .....	32
<i>Obr. 26</i> Různé druhy namáhání a jejich časový průběh[7] .....	32
<i>Obr. 27</i> Průběh poškozování homogenního a vláknitého materiálu[4] .....	33
<i>Obr. 28</i> Nákras Charpyho kyvadlového kladiva v počáteční a koncové poloze[1] .....	35
<i>Obr. 29</i> Průběh jednoho cyklu tepavého napětí[6] .....	36
<i>Obr. 30</i> Druhy cyklického namáhání [6] .....	37
<i>Obr. 31</i> Konstrukce a znázornění tvaru Wöhlerovy křivky[1] .....	38
<i>Obr. 32</i> Deformace a rozložení napětí v náhle zeslabeném průřezu [6] .....	38

Obr. 33 Únavové vlastnosti kompozitů se stejnou epoxidovou pryskyřicí a různými druhy vláken [4] .....	39
Obr. 34 Různé druhy charakterizování stavu únavového poškození kompozitních materiálů [4] .....	40
Obr. 35 Pokles tuhosti jako kritérium únavy (laminát z epoxidové pryskyřice vyztužený uhlíkovými vlákny)[4] .....	41
Obr. 36 Pravděpodobnost porušení jako kritérium únavy polyesterového laminátu vyjádřené pomocí Wöhlerovy křivky [4] .....	41
Obr. 37 Různé tvary desek skateboardů[17] .....	43
Obr. 38 Různé kombinace zahnutí patek skateboardů[17] .....	44
Obr. 39 Základní rozměry desky skateboardu[18] .....	44
Obr. 40 Zakřivení radial concave[19] .....	44
Obr. 41 Zakřivení progressive[19] .....	44
Obr. 42 Zakřivení W-concave [19] .....	45
Obr. 43 Zakřivení flatcave[19] .....	45
Obr. 44 Zakřivení asymetric[19] .....	45
Obr. 45 Zakřivení convex[19] .....	46
Obr. 46 Zakřivení flat[19] .....	46
Obr. 47 Kategorie zakřivení podle strmosti křivky[19] .....	46
Obr. 48 Skladba dřeva na příčném řezu kmenem[20] .....	48
Obr. 49 Výroba textilních skleněných vláken tažením z trysek [4] .....	53
Obr. 50 Různé druhy kontaktního úhlu při posuzování smáčivosti[35] .....	58
Obr. 51 Nářezový plán na desce A11 E-nuff .....	68
Obr. 52 Řezání vzorků .....	68
Obr. 53 Připravené vzorky .....	68
Obr. 54 Celkový pohled na zkušební stroj .....	69
Obr. 55 Průběh zkoušky statického ohybu .....	70
Obr. 56 Graf závislosti napětí na poměrné deformaci z měření desek A11 .....	71
Obr. 57 Celkový pohled na měřicí stroj .....	72
Obr. 58 Rozdělení základního a výběrového souboru[38] .....	73
Obr. 59 Ukázka shlukové analýzy[41] .....	74
Obr. 60 Gaussovo normální rozdělení[44] .....	76
Obr. 61 Youngův modul pružnosti E desek A11 až E11 .....	77
Obr. 62 Pevnost v ohybu $\sigma_{Omax}$ desek A11 až E11 .....	78
Obr. 63 Houževnatost KC desek A11 až E11 .....	78
Obr. 64 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek A11 až E11 .....	79

<i>Obr. 65 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek A11 až E11 .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 66 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek A11 až E11 .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 67 Porovnání modulu pružnosti E u všech desek .....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 68 Porovnání pevnosti <math>\sigma_{Omax}</math> u všech desek.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 69 Porovnání houževnatosti KC u všech desek .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 70 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek A11 a A21 .....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 71 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek A11 a A21 .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 72 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek A11 a A21 .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 73 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek B11 a B21 .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 74 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek B11 a B21 .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 75 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek B11 a B21 .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 76 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek C11 a C21 .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 77 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek C11 a C21 .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 78 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek C11 a C21 .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 79 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek D11 a D21 .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 80 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek D11 a D21 .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 81 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek D11 a D21 .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 82 Shluková analýza modulu pružnosti a pevnosti desek E11 a E21 .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 83 Shluková analýza modulu pružnosti a houževnatosti desek E11 a E21 .....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 84 Shluková analýza pevnosti a houževnatosti desek E11 a E21 .....</i>	<i>89</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností skleněných a přírodních vláken [4]</i> .....	55
<i>Tab. 2 Pořizovací ceny desek</i> .....	63
<i>Tab. 3 Nomenklatura desek</i> .....	63
<i>Tab. 4 Rozměry a hmotnosti jednotlivých desek</i> .....	64
<i>Tab. 5 Hodnocení desek jezdcí</i> .....	64
<i>Tab. 6 Výsledky správných odhadů při testu prken naslepo</i> .....	65
<i>Tab. 7 Celkový čas jednotlivých desek A2 až E2 v terénu</i> .....	66
<i>Tab. 8 Výsledky z měření desek</i> .....	77