

Návrh desky vřetenového šoupátka z HP laminátu

Bc. Miroslav Falešník

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav FALEŠNÍK**
Osobní číslo: **T11623**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh desky vřetenového šoupátka z HP laminátu**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování literární rešerše v oblasti HP kompozitů
2. Příprava zkušebních těles pro mechanické zkoušky
3. Provedení experimentálních zkoušek pro provozní teploty
4. Zhotovení konstrukčního návrhu
5. Vyhodnocení výsledků z hlediska praktické aplikace

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Falešník Miroslav
Příjmení a jméno:

Výrobní inženýrství
Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá studiem mechanických vlastností HP laminátů s ohledem na vliv teploty a prostředí. Z experimentálních hodnot získaných ze zkoušky ohybem - modulu pružnosti a meze pevnosti vyhodnocuje nejvhodnější HP laminát pro nahrazení svařované desky vřetenového šoupátka z nerezové oceli. Dle pevnostní analýzy zpracované v programu Autodesk Inventor Professional – Simulation metodou konečných prvků práce popisuje výrobu desky z HP laminátu včetně praktické zkoušky těsnosti. Na základě experimentů prováděných v rámci diplomové práce je v závěru obsaženo vyhodnocení možnosti nahrazení ocelového plechu HP laminátem.

Klíčová slova: HP laminát, zkouška ohybem, teplota, metoda konečných prvků

ABSTRACT

Abstrakt ve světovém jazyce

This thesis deals with the study of mechanical properties of HP laminates with regard to the influence of temperature and environment. The experimental values obtained from the bending test – the modulus of elasticity and tensile strength evaluates the most suitable replacement for HP laminate plates welded penstock made from stainless steel. According to the stress analysis processed in Autodesk Inventor Professional – Simulation finite elements method describes the production of boards of HP laminate including a practical test for leakage. Based on experiments conducted in this thesis is the conclusion reached in the evaluation of options for substitution of stainless steel by HP laminate.

Keywords: HP laminate, bending test, temperature, finite elements method

Tímto bych rád poděkoval Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za vedení, odborné rady a obětavý přístup při vypracování mé diplomové práce, panu Ing. Ivo Haunerovi z firmy Jihomoravská armaturka spol. s r. o. za finanční podporu při hrazení HP laminátu, za poskytnutí vybavení dílny při výrobě desky z HP laminátu, za použití zkoušecího zařízení a také za celkovou vstřícnost a podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HP LAMINÁTY	12
2 ÚVOD DO STRUKTURY A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ VLÁKOVÝCH KOMPOZITŮ	15
2.1 STRUKTURA KOMPOZITŮ	16
2.1.1 Klasifikace kompozitů	16
2.2 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA.....	18
2.2.1 Skleněná vlákna	18
2.2.2 Aramidová vlákna	19
2.2.3 Uhlíková vlákna	20
2.2.4 Uhlíková vlákna	21
3 MATRICE - POJIVO	23
3.1 TERMOPLASTICKÉ LISOVACÍ HMOTY	24
3.2 REAKTIVNÍ PRYSKYŘICE.....	24
3.2.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)	25
3.2.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)	25
3.2.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)	26
3.2.4 Fenolické pryskyřice (PF-R).....	26
3.3 TERMOPLASTY	26
3.4 SPOJENÍ VLÁKNO – MATRICE	27
3.4.1 Textilní skleněná vlákna	27
3.4.2 Uhlíková vlákna	28
3.4.3 Přírodní vlákna	28
4 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	29
4.1 NĚKTERÉ TYPICKÉ VLASTNOSTI VYZTUŽENÝCH PLASTŮ	29
4.2 MECHANISMUS PORUŠOVÁNÍ.....	29
4.3 ZKOUŠKA JEDNOSMĚRNÝM TAHEM	30
4.4 ZKOUŠKA JEDNOSMĚRNÝM TLAKEM	33
4.5 RÁZOVÉ ZATÍŽENÍ	34
4.6 ROVINNÉ ZKOUŠKY SMYKEM	34
4.7 ZKOUŠKY JEDNOOSÝM OHYBEM.....	35
4.8 STATICKÉ DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY	36
4.9 PROVEDENÍ ZKOUŠEK.....	37
4.9.1 Výroba a příprava zkušebního tělesa	37
5 TEPELNÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ	38
5.1 TRVALÁ TEPELNÁ ODOLNOST.....	39
5.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ ZÁVISLÉ NA TEPLITĚ.....	41
5.3 TEPELNÉ STÁRNUTÍ	43
5.4 TEPLOTNÍ ZÁVISLOST MODULU PRUŽNOSTI	45
5.4.1 Amorfnní termoplastické polymery	45

5.4.2	Semikrystalické polymery.....	45
5.4.3	Sesítěné polymery	46
5.4.4	Teplota skleného přechodu	47
II PRAKTICKÁ ČÁST		48
6	STANOVENÍ CÍLE PRÁCE.....	49
6.1	ZKOUŠKA OHYBEM.....	49
6.2	MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ ZWICK 1456.....	49
6.3	ZKUŠEBNÍ TĚLESA	52
7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZE ZKOUŠKY OHYBEM	53
7.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY HP LAMINÁTŮ – TĚLESA NA VZDUCHU.....	53
7.1.1	Naměřené hodnoty HP laminátů, T= -20°C.....	53
7.1.2	Naměřené hodnoty HP laminátů, T= 20°C	57
7.1.3	Naměřené hodnoty HP laminátů, T= 60°C	60
7.2	NAMĚŘENÉ HODNOTY HP LAMINÁTŮ – TĚLESA PO 1500H VE VODĚ.....	64
7.2.1	Naměřené hodnoty HP laminátů – 1500h ve vodě, T = -20°C	64
7.2.2	Naměřené hodnoty HP laminátů – 1500h ve vodě, T = 20°C.....	67
7.2.3	Naměřené hodnoty HP laminátů – 1500h ve vodě, T = 60°C.....	71
7.3	VYHODNOCENÍ VLIVU TEPLoty A PROSTŘEDÍ NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI HP LAMINÁTŮ	75
7.3.1	Vyhodnocení vlivu teploty a prostředí na modlu pružnosti E při teplotě T = 60°C	76
7.4	VOLBA MATERIÁLU PRO VÝROBU DESKY ŠOUPÁTKA.....	78
7.5	PEVNOSTNÍ ANALÝZA.....	78
7.5.1	Pevnostní analýza – původní rozměry součástí	78
7.5.2	Výsledky pevnostní analýzy – Návrh č. 1, původní rozměry součástí	80
7.5.3	Návrh č. 2 - vystužení desky pomocí žeber	82
7.6	VÝROBA DESKY Z HP LAMINÁTU	85
7.6.1	Lepidlo PLEXUS MA 310.....	86
7.6.2	Lepení sestavy desky.....	87
7.7	MONTÁŽ A ZKOUŠKA TĚSNOSTI.....	88
ZÁVĚR		91
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		93
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		95
SEZNAM OBRÁZKŮ		98
SEZNAM TABULEK.....		100
SEZNAM GRAFŮ		102
SEZNAM PŘÍLOH.....		103

ÚVOD

Tato diplomová práce má za úkol prověřit možnost nahrazení svařované desky z nerezové oceli vřetenového šoupátka o velikosti průtoku 200x200mm s požadavkem na dodržení původní konstrukce vedení desky a rámu šoupátka.

Vpraktické části jsou popsány experimentální zkoušky vybraných materiálů od čtyř h výrobců HP laminátů – Abet (Itálie), Rixin (Čína), Fundermax (Rakousko) a Polyrey (Francie).

Zkušební vzorky jsou rozděleny na dvě poloviny, z nichž jedna byla ponořena na dobu 1500h ve vodě a druhá byla ponechána na vzduchu. Všechny vzorky byly postupně podrobeny zkoušce ohybem za teplot -20°C ; 20°C a 60°C . Vliv prostředí a teplot na mechanické vlastnosti je vyhodnocen pomocí grafů.

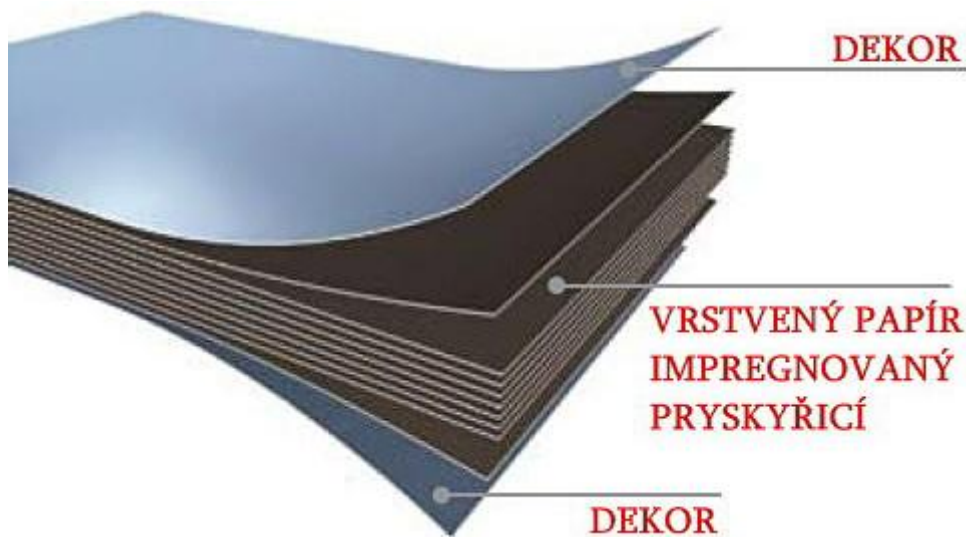
Z experimentálních výsledků je vybrán jeden materiál. Z hodnot materiálu je proveden pevnostní výpočet, dle kterého je vyrobena deska, která je prakticky vyzkoušena.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HP LAMINÁTY

Princip výroby většiny kompaktních desek vychází z technologie výroby laminátu, u nás známého spíše pod již lidovým označením umakart, která je známa již více jak 100 let.

[16]



Obr. 1 Struktura HP laminátu [15]

Kompaktní deska je principiálně silnější laminát. Jejich výroba pobíhá na základě evropské normy EN 438 v laminačních lisech pod vysokým tlakem a za velké teploty z přírodních vláken – jádrových papírů (asi 60% váhy) a syntetických pryskyřic. [16]

Kompaktní desky (HPL lamináty) pro vnitřní použití:

- Obložení stěn bazénů, aqvaparků, letištních hal
- Výplně zábradlí
- Interiérové dveře, dveře do vlhkých prostor
- WC kabiny, sprchové kabiny, převlékací kabiny
- Šatní skříně pro bazény, aqvaparky, fitness centra, školy, školky
- Umyvadlové desky
- Kuchyňské pracovní desky a zástěny
- Dětský nábytek
- Laboratorní nábytek
- Elektroprůmysl

Kompaktní desky (HPL lamináty) pro venkovní použití

- Předvěšené provětrávané fasády

- Podhledy
- Balkónové výplně
- Dělicí balkónové příčky
- Výplně zábradlí
- Dětské hřiště
- Skateboardové parky

U kompaktních desek pro vnitřní použití se dnes můžeme mimo standardní desky potkat i deskami, které mají různě barevné jádro, nebo je v jádru umístěno několik vrstev hliníkové fólie. Tato fólie při opracování hrany zvyšuje důraz na detail. Hrana pak působí jako hlavní prvek, například při použití u stolových desek. Ne nezajímavým údajem je více než dvojnásobný modul pružnosti oproti standardnímu provedení. [16]

S vlastností, že kompaktní desky je možné za určitých podmínek ohýbat, se již seznámilo mnoho architektů. Speciální kluzné papíry umožňují při následném zahřívání desky ohýbat pomocí tvarového lisu. Takto upravené kompaktní desky potom slouží jako základ pro výrobu originálního nábytku, bytových doplňků. [16]

Výrobu kompaktních desek v povrchu dle vašeho námětu umožňuje použití technologie digitálního tisku u desek, které jako součást povrchu používají dekorativní papír. Nahrazení tohoto dekorativního papíru papírem digitálně potištěným, umožňuje splnit rozličná přání. [16]

Samostatnou kapitolou jsou kompaktní desky se speciálním – rezistentním povrchem, sloužící jako pracovní desky pro laboratoře, nemocnice, lékárny, potravinářské provozy apod. Jejich povrch odolává zvýšeným koncentracím kyselin a louhů. [16]

Charakteristické vlastnosti, především nabízená široká barevná škála, trvalé použití ve vlhkém prostředí, mechanická odolnost, předurčuje použití kompaktních desek v běžném životě. Speciální nabídka tvoří kompaktní desky s „antifrašití“ úpravou. Tento speciální povrch se u některých výrobců již stal standardem v nabídce kompaktních desek pro venkovní použití. V poslední době se můžeme s tímto povrchem potkat i u desek pro interiérové použití a to především při použití ve veřejných prostorech. Vynikající čistitelnost bez narušení samotného povrchu desek je základním předpokladem pro použití například autobusových nebo vlakových nádraží, podchodů, pasáží. [16]

Z hlediska požárního zatřídění jsou kompaktní desky standardně zařazeny do skupiny D podle ČSN EN 13 501 – 1 Reakce na oheň. V případě lepšího zatřídění, například u desek

FunderMax kvality „F“ je to B – s1, d0, je nutné tyto výsledky podložit certifikátem o jejich dosažení. [16]

ZPRACOVÁNÍ A MONTÁŽ

Svou objemovou hmotností (cca metricconverter productid = „ 1500kd“ w:st=“On“ 1500kg(metricconverter)m³ se kompaktní desky pohybují na úrovni tvrdého, především tropického dřeva. Tomu odpovídá i použití nástrojů na jejich zpracování. Podle počtu opakování opracování kompaktních desek se rozhodujeme pro nástroje na jejich obrábění. Při větším počtu opakování jsou vhodné nástroje osazené diamantem, při nahodilém zpracování kompaktních desek je možné použít standardní nástroje osazené tvrdokovem. [15]

Formátování kompaktních desek je možné provádět i pomocí ručních kotoučových pil. Přesto doporučujeme použití kotoučových pil nebo nářezových center, která jsou osazená předřezem. [16]

Hrany upravujeme pomocí brusného papíru, elektrickým hoblíkem a v ideálním případě na CNS centrech. Při vlastní montáži je nutné brát na zřetel možnou změnu rozměrů vlivem přijímání a odevzdávání vlhkosti. To je nutné zohlednit především u mechanického uchycení desek vrtáním větších otvorů a při neviditelném uchycení použitím trvale flexibilních lepidel. [16]

HPL LAMINÁTY a ŽIVOTNÍ PROSTĚDÍ

Při dodržení výrobních postupů nedochází k poškozování životního prostředí. Samotné kompaktní desky neobsahují organické látky jako bróm, chlór, fluor apod. Desky rovněž neobsahují síru, Arbes, rtuť, nebo kadmium. [16]

Třísky vzniklé při zpracování (řezání, frézování) nejsou zdraví škodlivé a odklizení zbytků na řádných skládkách je bez problémů. [16]

2 ÚVOD DO STRUKTURY A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ VLÁKOVÝCH KOMPOZITŮ

Kompozitem je nazýván materiál, ve kterém jsou specifickým způsobem kombinovány dvě nebo více komponent a výrazně se lišících fyzikálních a chemických vlastnostech. Kompozity mohou být typu kov-kov, keramika-kov, keramika-polymer, keramika-keramika a polymer-polymer. [1]

Největšího průmyslového rozšíření dosáhly ve světě kompozity na bázi organický pryskyřic vyztužených různými typy keramických/anorganických vláken. Hlavním důvodem tohoto stavu je energetická nenáročnost jejich výroby ve srovnání s kovovými či keramickými kompozity a tradičními materiály (ocel, cement) a nízké teploty finálního zpracování (80-180 °C). Nejvýznamnější předností kompozitů s organickými matricemi je synergická kombinace snadné tvarovatelnosti nepevné pryskyřice s pevností a tuhostí vyztužujících vláken. Polymerní kompozity (FRC, GRP) nabízejí nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost při statickém i dynamickém namáhání a vynikající odolnost vůči působení korozivních prostředí. Při použití skleněných či organických výztuží mají FRC i vynikající izolační vlastnosti (tepelné, elektrické) a prakticky nulový útlum elektromagnetického záření v širokém intervalu frekvencí o kHz až po GHz.

GRP mají ve srovnání s jednotlivými komponentami, tj. skleněnými vlákny a pryskyřicí, podstatně odlišné unikátní vlastnosti. Nevyztužená pryskyřice má nízkou hustotu a je snadno zpracovatelná a má relativně dobrou stabilitu proti působení širokého spektra prostředí a chemikálií. Nevýhodami, které omezují či úplně vylučují jejich použití v konstrukčních aplikacích, je velmi nízký modul pružnosti (do 6 GPa), nízká pevnosti (100 MPa), křehkost (hnací síla trhliny G_c v intervalu 0,1-0,6 kJ/m²) a relativně malá creepová odolnost. Skleněná vlákna mají sice požadovanou tuhost a pevnost, jsou však velmi křehká a náchylná k poškození v některých agresivních prostředích. Je navíc velmi obtížné udržet je v požadovaném prostorovém uspořádání, zvláště pokud působí tlakové složky napětí. Jestliže však vyrobíme kompozitní materiál tím, že prostorově vhodně umístíme skleněná, uhlíková či organická vlákna (výztuž) v pryskyřici, která se potom nazývá pojivem neboli matricí, dostaneme novou entitu s vlastnostmi nedosažitelnými jednotlivými komponentami samotnými. GRP jsou lehké, pevné, tuhé, houževnaté, mají vysokou odolnost proti creepu a jsou snadno vyrobitelné ve velmi komplikovaných tvarech. [2]

2.1 Struktura kompozitů

2.1.1 Klasifikace kompozitů

V současnosti je na trhu dostupné relativně široké spektrum GRP materiálů. Lišících se pojivem (pryskyřicí), typem a charakterem výztuží (typ vláken, tkaniny, rohože, rouna) a mnohdy i způsobem výroby (laminace, tažení, navíjení, odstředivé lití, RTM, atd.). Z hlediska klasifikace matric existují dva základní typy polymerních pryskyřic – pojiv, a to termosety a termoplasty. **Termoplasty**, kterými jsou například polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylén (PE), polykarbonát (PC), polyetylén tereftalát (PET) a další, jsou tuhé látky, které měknou a tečou při zvýšení teploty. Po ochlazení opět přejdou do pevného skupenství. Charakteristickým strukturním znakem termoplastů jsou velmi dlouhé molekuly (makromolekuly) vytvořené opakováním stejných strukturních jednotek (několik tisíc až několik milionů). Z toho důvodu bývá tento typ makromolekul označován jako polymer. Jednotlivé makromolekuly nejsou vzájemně vázány chemickými vazbami. Jejich vzájemné interakce, které zaručují kohezní pevnost polymerního tělesa jsou většinou slabé, van der Waalsovské interakce, vodíkové můstky, atd.

Termosety, jakými jsou například epoxidy, nenasycené polyestery, melaminy či fenol formaldehyd, jsou obvykle dodávány ve formě viskózních tekutin s konzistencí řídkého medu tvořené relativně malými molekulami, které jsou vytvrzeny chemickou reakcí po dodání katalyzátoru a iniciátoru. Vytvrzení probíhá buď za pokojové teploty nebo za zvýšených teplot. Způsob, kterým vytvrzování probíhá do značné míry ovlivňuje vlastnosti výsledného termosetu. Jelikož při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými malými molekulami, vzniká místo dlouhých lineárních molekul, které jsou charakteristické pro termoplasty, třídimenzionální polymerní síť s různou hustotou. V ideálním případě je celý makroskopický výrobek jedinou makromolekulou. Tento fakt způsobuje, že vytvrzený termoset zůstává v tuhé fázi i po zahřátí, což zvyšuje jeho odolnost proti creepu a vysokým teplotám, i když to na druhé straně zvyšuje i jeho křehkost a omezuje recyklovatelnost.

Z důvodu jasného vymezení pojmů je rozumné rozdělit vláknové kompozitní materiály do tříd podle složitosti jejich struktury, užitečných vlastností a použité technologie. Jedním z nejčastěji používaných dělicích kritérií je délka a prostorové uspořádání vyztužujících vláken. Z tohoto hlediska je možno dělit vláknové kompozity na: [3]

- **Jednosměrné** (vlákna jsou orientována převážně v jednom směru):
 - a) Krátkovláknové (poměr délka/průměr je < 100)
 - b) Dlouhovláknové (délka/průměr je > 100 či kontinuální vlákna, t.j. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce) – prepregy (nevytvrzenou pryskyřicí preimpregnované vrstvy vláken ve tvaru tenkých pásů různé šíře), tažené profily (tyčovina)
- **Mnohosměrné** (vlákna jsou náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry)
 - a) Krátkovláknou (poměr délka/průměr je < 100)
 - b) Dlouhovláknou (délka/průměr je > 100 či kontinuální vlákna tj. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce) – prepregy (nevytvrzenou pryskyřicí neimpregnované vláknové rohože či tkaniny), lamináty (střídání vrstev jednosměrných kompozitů s různými vzájemnými orientacemi výztuže), lamináty s tkanou výztuží (střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna před prosycením pryskyřicí utkána běžnými nebo speciálními textilními technologiemi), lamináty s netkanou výztuží (střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna zpracována do rovin, aniž by byla tkána)
- **tažené profily** (komplikovanější tvary průřezu lineárních prvků s konstantním průřezem – profilů – s kombinací vyztužujících vláken a netkaných či tkaných rohoží, (desky, trubky, komplikované profily)

Dalšími kritérii pro klasifikaci kompozitů mohou být technologie jejich výroby či typ použité matrice. [3]

V tomto příspěvku se omezíme jen na dlouhovláknou kompozity a největší pozornost budeme věnovat taženým FRC profilům.

Průmyslově jsou vláknové kompozity (FRC) vytvářeny promyšleným prostorovým uspořádáním vyztužujících vláken spojených pryskyřičným pojivem. Úkolem pojiva je jedna chránit výztuž před mechanickým či chemickým poškozením, udržovat ji v požadovaném směru vůči namáhání a umožnit přesnost vnějších napětí do výztuže. Nositelem pevnosti a tuhosti FRC jsou vyztužující vlákna a pryskyřice k ní, zvláště u dlouhovláknových kompozitů, výrazněji nepřispívá. Principem vlastního vláknového vyztužení je skutečnost, že vyztužující vlákna, mající o jeden až dva řády vyšší pevnost a tuhost ve srovnání s pojivem, se při vnějším namáhání deformují méně než polymer. Dochází tak ke vzniku smykových sil na rozhraní vlákno/polymer, které v případě adheze mezi oběma komponentami umožňují přenos veškerého napětí z nepevné matrice do vláken. Ta jsou schopna, překročí-li

jejich délka jistou kritickou délku (obvykle minimálně 100 x průměr), nést veškerá napětí působící na kompozitní dílec, takže nepevné, ale neformovatelné pojivo je prakticky bez napětí. [4]

Jen pro ilustraci, typický modul pružnosti pojiva je 2 – 6 GPa, kdežto vlákna mají tuhosti 70 – 900 GPa a pevnost pryskyřice je běžně 50 – 150 MPa, kdežto vlákna mají pevnosti 1 – 8 GPa. [6]

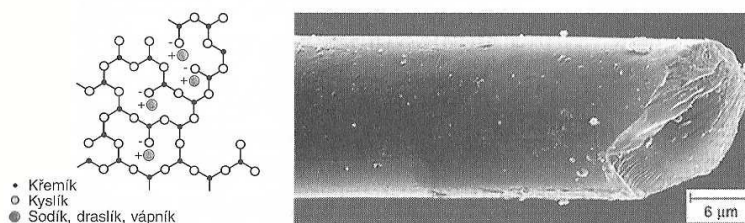
2.2 Vyztužující vlákna

Materiály ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu v kompozitních materiálech. Kompozitní – vlákny vyztužené – plasty se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, příp. tuhostí, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu – matrice. [7]

2.2.1 Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF – Glass Fiber) je společný název pro tenká vlákna (\varnothing 3,5 až 24 μm) s pravidelným kruhovým průřezem, tažená z roztavené skloviny a používaná pro textilní účely. [7]

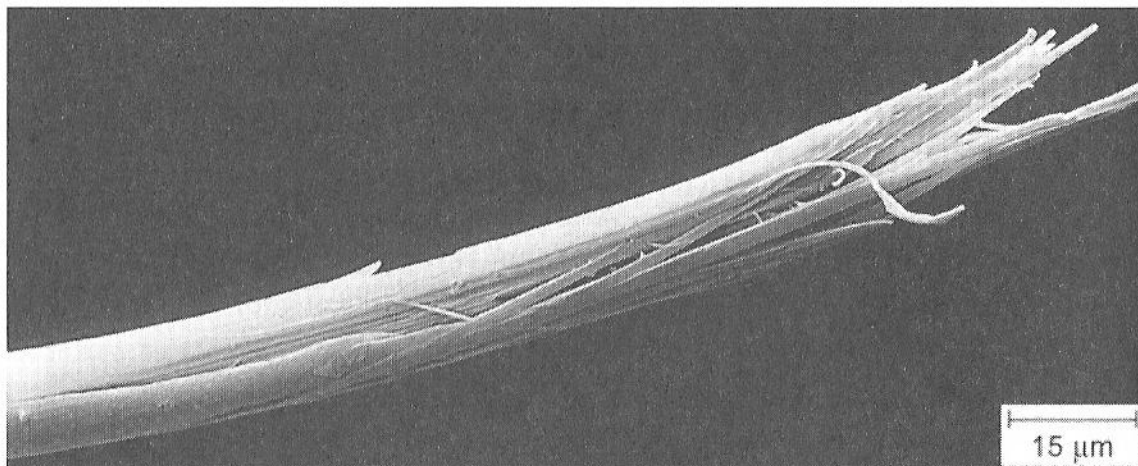
Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou prostupností pro záření, proto se označují jako E-vlákna (elektrická) a jejich sklovina jako E-sklovina. Je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standardní typ obsadil téměř 90% trhu. [7]



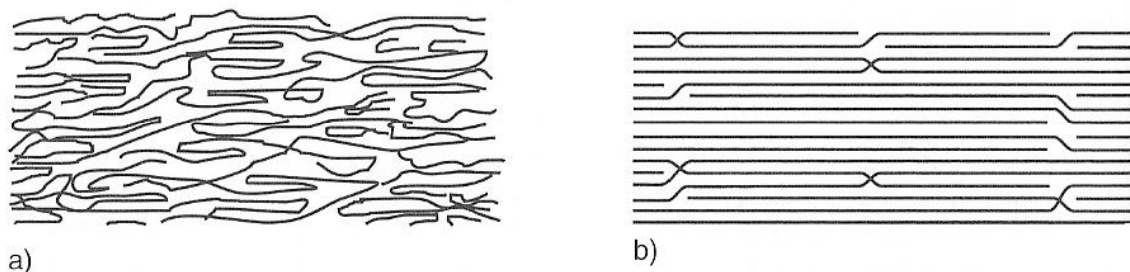
Obr. 2 Struktura skleněného vlákna (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [7]

2.2.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (AF – Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna; předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. [7]



Obr. 3 Řez aramidovým vláknem se silným roztřepením v místě lomu (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [7]



Obr. 4 Orientace řetězců [7]

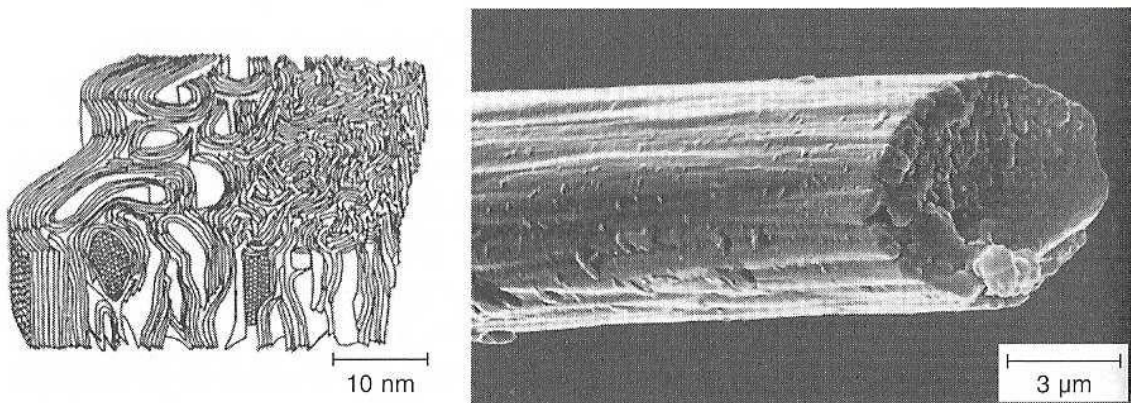
- a) Normální organická vlákna s řetězci se záhyby a kolísáním jejich orientace (krystalické a amorfní oblasti)
- b) Aramidové vlákno s dlouhými přímými úseky bez záhybů, orientovanými podél osy vlákna (struktura vysoce krystalická) [7]

Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi i termoplasty. V laminátu lze využít až 70% jejich skutečné pevnosti, při zvláště tažné matici dokonce ještě více. [11]

Aramidová vlákna mají vzhledem k vysoké orientaci molekul záporný součinitel teplotní délkové tepelné roztažnosti ve směru vláken, podobně jako vlákna uhlíková. Aramidová vlákna jsou citlivá na působení vody. [7]

2.2.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF – Carbon Fiber) jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafítizací, zlepšují se mechanické vlastnosti. Při teplotě na 1 800 °C je tvorba grafitové struktury ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu [7]



Obr. 5 Uhlíkové vlákno – mikrostruktura a snímek rastrovacím elektronovým mikroskopem
[7]

Výchozí surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- Celulóza – vyrobená vlákna však mají méně dokonalou strukturu, používají se převážně jako izolační materiál pro vysoké teploty;
- Polyakrylonitril (PAN) – používá se od r. 1980 stále častěji, vlákna z něj vyrobená jsou považována za standardní vlákna;
- Smola, ze které se nákladným způsobem připravují vlákna, jejichž konečná cena je vzhledem k nízké ceně výchozí suroviny příznivá. Tato vlákna mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a velice dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Jejich pevnost v tlaku je ve srovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řidší. Na trhu mají pouze malý podíl. Vět-

šina vláken s vysokým modulem pružnosti (HM) a vysoko pevností (HT) se používá pro speciální účely (ČSN EN ISO 13002-1-2).

Uhlíková vlákna se skládají z více než 90% uhlíku, < 7% dusíku, < 1% kyslíku a < 0,3 % vodíku. Mají průměr mezi 5 a 10 μm . [7]

2.2.4 Uhlíková vlákna

Pro vyztužování plastů jsou ze všech přírodních vláken vhodná pouze vlákna rostlinná, která mají jako základ celulózu. Mezi ně patří len, konopí, sisal, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Pozoruhodné jsou i pevnosti v tahu. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou tato přírodní rostlinná vlákna zajímavou surovinou pro lehké konstrukce. [11]

Jako přednosti je nutno uvést:

- Nízkou hustotu,
- Malou abrazivitu při mechanickém opracování,
- Výhodnou likvidaci spalováním.

Problémy působí:

- Závislost vlastností vláken na podmínkách jejich růstu,
- Citlivost na působení vlhkosti,
- Omezená možnost volby matrice vzhledem k nebezpečí rozkladu vláken při vysoké teplotě zpracování (odolnost do 200 °C),
- Nákladná předběžná úprava pro zlepšení vazby s matricí,
- Omezená délka vláken,
- Možnost změn vyvolaných biologickým napadením.

Mezi nejrozšířenější druhy přírodních vláken patří len (světová spotřeba 650 000 tun/rok) a juta (2 700 000 tun/rok). Vlastnosti vhodných přírodních a skleněných vláken jsou porovnány v Tab.1. [7]

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

Vlastnosti \ Vlákn	Sklo	Konopí	Len	Juta	Sisal
E -modul ($N \cdot mm^{-2}$)	75 000	70 000	30 000	55 000	20 000
Mez pevnosti v tahu ($N \cdot mm^{-2}$)	3 500	600	750	550	600
Tažnost (%)	4	1,6	2,0	2,0	2,0
Hustota ($g \cdot cm^{-3}$)	2,54	1,45	1,48	≈1,4	1,45

3 MATRICE - POJIVO

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Vzniklá surovina se označuje jako kompozit. [11]

Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, tj.:

- Přenos namáhání na vlákna,
- Převod namáhání z vlákna na vlákno,
- Zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku,
- Ochrana vláken před vlivy okolí.

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice-vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a případně i chemické vazby mezi vláknem a maticí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez bublin. [11]

U polymerních kompozitů se matrice dělí na termosety (reaktoplasty) a termoplasty. Původně se pro kompozity používaly pouze vyztužené nenasycené polyesterové (UP-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice. Tyto reaktivní pryskyřice tvoří i dnes většinu kompozitních aplikací. Mají tu přednost, že jsou ve výchozím stavu nízkomolekulární a většinou při normální teplotě v tekutém stavu. I v případě, že jsou zpracovány ve formě taveniny, je jejich viskozita nižší než viskozita taveniny termoplastu. Viskozita reaktivních licích pryskyřic se pohybuje při teplotě zpracování řádově ve stovkách mPa.s, zatímco u termoplastů dosahuje hodnot 10^3 až 10^5 mPa.s. [11]

Proto se termosety snadněji zpracovávají, snadněji smáčejí a lépe prosycují vláknem. Energetické nároky na prosycování vláken jsou ve srovnání s termoplasty nižší, protože zpracování probíhá při podstatně nižších teplotách. Zpracovatelské teploty termoplastů jsou mnohem vyšší a jsou omezeny teplotou rozkladu; jejich viskozita při zpracování je ve srovnání s termosety sto až tisícinásobná. Termosetické pryskyřice se vytvrzují přidáním katalyzátoru a urychlovače, případně dodáním energie (teplo, záření) – tak získá kompozit své konečné vlastnosti, Tyto trojrozměrně zasíťované materiály dosahují sice vysokých hodnot pevnosti a tuhosti (E – modul), ale jsou často křehké a jejich tažnost se pohybuje v řádech procent. Zlepšení houževnatosti lze docílit přidáním modifikačních přísad. Výhodou termoplastů oproti termosetům je právě jejich houževnatost. Jen minimum

termoplastových kompozitů dosahuje obdobných hodnot E – modulu, tepelné odolnosti a odolnosti chemickým vlivům jako termosety. Výhodou termoplastů je, že v průběhu jejich zpracování probíhá pouze roztavení a ztuhnutí matrice a nikoliv chemický proces, který by ovlivnil jakost výrobku nebo narušoval životní prostředí. Termoplast prosycuje vlákna v roztavené fázi, což je vzhledem k řádově vyšší viskozitě rozdíl od reaktivních pryskyřic zpracovávaných v kapalném stavu, přímo u výrobce, nýbrž v samostatném výrobním postupu – obdobně jako u prepregů. Termoplastické lisovací hmoty vyztužené krátkými vlákny o délce kolem 0,2 mm, vhodné pro sériovou výrobu vstřikováním jsou dnes běžně používaných a jejich podíl na trhu je daleko vyšší než podíl termosetů. Polypropylen, polyamid, polyester, polykarbonát a mnoho dalších termoplastů, vyztužených 50 a více procenty skleněných nebo uhlíkových vláken, patří mezi materiály pro velmi namáhané aplikace. Menší, ale stále rostoucí skupinu, tvoří termoplasty vyztužené rohoží nebo tkaninou, které se zpracovávají na velkoplošné dílce lisováním. Plasty vyztužené skleněnými vlákny dosahují – v závislosti na použitých složkách – hodnot mechanických vlastností ve velmi širokém rozsahu. [7]

3.1 Termoplastické lisovací hmoty

Jsou vyztužené krátkými vlákny o délce kolem 0,2 mm, vhodné pro sériovou výrobu vstřikováním, jsou dnes běžně používány a jejich podíl na trhu je daleko vyšší než podíl termosetů. Polypropylen, polyamid, polyester, polykarbonát a mnoho dalších termoplastů, vyztužených 50 a více procenty skleněných nebo uhlíkových vláken patří mezi materiály pro velmi namáhané aplikace. Menší, ale stále rostoucí skupinu tvoří termoplasty vyztužené rohoží nebo tkaninou, které se zpracovávají na velkoplošné dílce lisováním. Plasty vyztužené skleněnými vlákny dosahují – v závislosti na použitých složkách – hodnot mechanických vlastností ve velmi širokém rozsahu. [7]

3.2 Reaktivní pryskyřice

Reaktivní pryskyřice tvoří skupinu termosetů nejčastěji používanou při výrobě kompozitů. Jsou to kapalné nebo tavitelné pryskyřice, které se buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek – tvrdidel, tj. iniciátorů, katalyzátorů, urychlovačů, aldehydů (fenolů) apod. - vytvrzují polyadici nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek (ČSN 64 2001). Reaktivní pryskyřice nazýváme také licí, laminační, impregnační, prosycovací nebo zalévací (elektro) pryskyřice. [11]

Mezi nejdůležitější typy reaktivních pryskyřic patří:

- Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)
- Vinylesterové (VE-R) nebo fenakrylátové (PFA-R) pryskyřice
- Epoxidové pryskyřice (EP – R)
- Fenolické pryskyřice
- Metakrylátové pryskyřice (MA-R)
- Izokyanátové pryskyřice

Reaktivní pryskyřice se vytvrzují smícháním s tvrdidly. Mezi nejdůležitější tvrdidla patří iniciátory a urychlovače, ale také aldehydy (fenol). [7]

Tvrdidla jsou sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřic MA-R, UP-R, VE-R nebo FA-R, případně ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice epoxidových (EP-R) nebo izokyanátových pryskyřic. [7]

Urychlovače jsou látky, které přidány v malém množství urychlují síťovací reakci.

Směsi reaktivních pryskyřic s potřebnými tvrdidly (katalyzátor, urychlovač apod.) s plnivou nebo bez plniv, příp. obsahující rozpouštědlo, ale neobsahující vyztužující vlákna, jsou lisovací směsi. [7]

3.2.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky aktivních rozpouštědel, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšením teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a dochází k objemovému smrštění o 5 až 9 %.[7]

Vzhledem k nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké (resp. pružně regulovatelné) rychlosti vytvrzování a přiměřeně nízké ceně jsou UP-R v mnoha případech nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace. [7]

UP-R (ČSN EN ISO 3672-1, 2) jsou známy již od roku 1936 a v kompozitech se uplatňují nejvíce. Přes 70% výroby těchto pryskyřic je zpracováno ve formě kompozitů. [7]

3.2.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)

Vinylesterové pryskyřice (VE-R) se liší od nenasycených polyesterových pryskyřic (UP-R) tím, že zesíťování probíhá pomocí koncových metakrylátových skupin, kde jsou také esterové vazby. U VE-R na bázi bisfenolu A je příčinou vysoké houževnatosti, velmi dobré

odolnosti proti alkalickému prostředí, ale také – vzhledem ke dvojným vazbám – i nižší tvarové stálosti za tepla. Vinylesterové pryskyřice, vycházející ze základních složek fenolických pryskyřic, jsou podstatně reaktivnější a vzhledem ke kratším molekulovým řetězcům mají nižší viskozitu a vyšší stupeň zesílení. Jsou proto odolné vyšším teplotám, ale také relativně křehké. [7]

3.2.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)

Epoxidové pryskyřice (ČSN EN ISO 3673 1-2) jsou za normální teploty kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přidané pomocné látky, např. rozpouštědla.

Epoxidové pryskyřice patří mezi velmi hodnotné termosety s velice dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladu. Pouze 8% se zpracovává ve formě vyztužených kompozitů. Důležitými aplikačními oblastmi jsou zalévací hmoty pro elektroniku, výroba forem a nástrojů a různé povlaky, zejména pro práškové nanášení. [7]

3.2.4 Fenolické pryskyřice (PF-R)

Fenolické pryskyřice (ČSN EN ISO 10082) jsou reaktivní pryskyřice, které se vyrábějí kondenzací fenolů a 30 až 50% vodných roztoků aldehydů (zejména formaldehydu). [7]

3.3 Termoplasty

Pro vyztužení termoplastů jsou používána:

- Krátká vlákna ($\approx 0,2$ mm) – především pro vyztužení a zesílení matrice při vstřikování,
- Dlouhá vlákna (až do 25 mm)(LFT) – většinou se dávkuje z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy,
- Nekonečně dlouhá vlákna – např. u termoplastů vyztužených skleněnou rohoží (GMT), tkaninou nebo jednosměrnými pásy a používají na polotovary pro další zpracování.

Termoplasty se liší od termosetů zpracovatelskými i uživatelskými vlastnostmi, avšak vzhledem k velkému počtu různých materiálů jako matrice je jejich všeobecné porovnání velmi obtížné. [11]

Reaktivní pryskyřice (termosety) jsou v počátečním stavu nízkomolekulární, a proto za normální teploty nízkoviskózní, takže dobře smáčejí a prosycují vlákna výztuže. Musí se nejprve chemicky vytvrdit, aby dosáhly své konečné konzistence. [11]

Termoplasty jsou za normální teploty pevné látky a teprve po zahřátí na teplotu většinou nad 200 °C jsou dostatečně tekuté. Použití rozpouštědel pro snížení viskozity termoplastů je problematické, protože i po odstranění rozpouštědla zůstává u termoplastů snížená odolnost proti korozi při napětí. [11]

Zatímco se vyztužené termoplasty mohou zpracovávat a tvarovat pouze po zahřátí nad teplotou roztavení, převládá u reaktivních pryskyřic proces chemického vytvrzování, spojený s vývojem reakčního tepla. Vlastnosti matrice musí vyhovovat kritériím tvarovatelnosti a chemického vytvrzování.

Protože se zpracování reaktivních pryskyřic i termoplastů provádí obvykle při zvýšené teplotě, je nutné ukončit oba procesy chlazením. [7]

3.4 Spojení vlákno – matrice

Pro dosažení dobré adheze mezi vláknem a matricí je nutno provést předpravu vlákna, např. přidávkem apretury, což může částečně odporovat požadavkům textilního zpracování (sprádání, tkaní apod.). Aby se zamezilo hromadění mnoha po sobě následujících výrobních procesů, je nutno vybrat pro vlákno takovou lubrikaci, která vyhoví jak pro textilní zpracování, tak pro vyztužení plastu. Lubrikace obsahují vazebný prostředek, který tvoří pevnou vazbu mezi vláknem a matricí. Skutečný mechanismus reakce není dosud zcela objasněn. Mezi nejběžnější vazebné prostředky patří organosilany, zejména pro kombinaci skleněných vláken a polárních plastů, modifikované nepolární plasty (např. polyolefiny) slouží jako vazebný prostředek pro odpovídající druh matrice. Není nutno je nanášet přímo na vlákno, ale lze je použít pro formulování zpracovávaných směsí jiným způsobem. Dobrá adheze mezi vláknem a matricí zlepšuje mechanické a tepelné vlastnosti výrobků tak, že daleko překonávají vlastnosti výrobků z neupravených vláken. [7]

3.4.1 Textilní skleněná vlákna

Ve spojení s vlákny se u všech plastů uplatňují vedlejší kovalentní vazby. Proto je pevnost vzájemného spojení slabá. K jeho zlepšení se u kompozitů s reaktivní matricí používají povrchové úpravy vláken na bázi organosilanů, které se vyznačují dobrou adhezí jak k vláknům, tak i k matrici. [11]

γ - aminosilan, který se používá často jako apretura pro epoxidové pryskyřice, obsahuje koncové aminoskupiny, které snadno reagují s epoxidovými skupinami a působí jako přídatné tvrdidlo. [7]

3.4.2 Uhlíková vlákna

Povrch uhlíkových vláken obsahuje řadu reaktivních skupin, které umožňují spojení matrice s vlákny. Výztuže určené pro aplikaci s epoxidovými pryskyřicemi jsou povrchově upraveny lubrikací obsahující epoxidy, která současně usnadňuje přípravu textilního výrobku. Nově jsou vyvíjeny lubrikace určené pro vinylesterové a fenolické pryskyřice. Pro vyztužování termoplastů jsou používány polyuretanové lubrikace. [11]

Adhezi zlepšuje také oxidace. Vyšší povrchové napětí uhlíkových vláken zlepšuje adhezi zejména vlivem oxidace zvýšeného polárního podílu. Často používaný tzv. finiš pro epoxidovu pryskyřici je založen na oxidaci povrchu vláken a následné úpravě kyselými skupinami. [7]

3.4.3 Přírodní vlákna

Pro úpravu povrchu přírodních vláken, která se často používají pro vyztužení polypropylenu, se používá polypropylen modifikovaný anhydridem kyseliny maleinové (MSA).

Ke zlepšení adheze lze použít také úpravu plazmou. [7]

4 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

4.1 Některé typické vlastnosti vyztužených plastů

V porovnání s nevyztuženými plasty není závislost vlastností kompozitů na teplotě, době zatížení a podmínkách prostředí (vlhkost vzduchu agresivní média, UV záření) tak výrazná. Vliv na jejich chování při mechanickém namáhání má především vytvrzení matrice, rozložení plniva nebo vláken, orientace vláken, příp. jejich zakřivení a zvláště obsah vláken. Proto je třeba při vzájemném srovnávání vlastností nepominout velikost obsahu vláken. [11]

Při statických, stejně jako dynamických, zkouškách pevnosti kompozitů jsou to lokální poškození různého druhu, způsobující porušení nosných vláken, která předcházejí celkový lom materiálu. Zejména ve vrstvách, kde existuje nebezpečí vzniku mezivláknové poruchy, např. při zatížení tahem kolmo ke směru vláken nebo smykem pod úhlem 45° , mohou vzniknout trhliny, které se negativně projeví i u vrstev zatížených ve směru vláken. [11]

Z toho plyne, že vrstvy s orientací vláken 0° ke směru zatížení samy vykazují vyšší pevnosti než stejné vrstvy ve spojení s vrstvami s orientací výztuže 90° ke směru zatížení, ve kterých dochází k prvním poruchám. [11]

Při zatížení tlakem je v takovém případě snížena lokální schopnost podepření vláken matricí, a je tak umožněno jejich lokální vybočení. Při zatížení tahem vedou lokální přerozdělení napětí a vzniklá vrubová napětí ke koncentracím napětí a vrubovým účinkům v přilehlých vrstvách. Zvětšuje se upínací délka. Vlivem různého působení lokálních poškození a jejich dalšího nového vzniku jsou proto při dynamickém zatěžování míjivá namáhání příznivější než střídavá. [11]

Okrajové podmínky vlastní techniky provedení zkoušek často ovlivňují výsledek měření. V oblasti zavedení síly dochází k počátečním deformacím a k bránění v příčné kontrakci. To u vysokopevných a tuhých kompozitů s anizotropními vlastnostmi vyvolává zvýšenou úroveň trojrozměrné napjatosti v okolí upnutí zkušebních těles a může to výrazně ovlivnit výsledek zkoušky. [7]

4.2 Mechanismus porušování

U laminátů zatížených vícerym namáháním existuje větší nebezpečí vzniku mezivláknového poškození než u jednosměrně vyztužených vrstev při namáhání ve směru vláken. Vznik

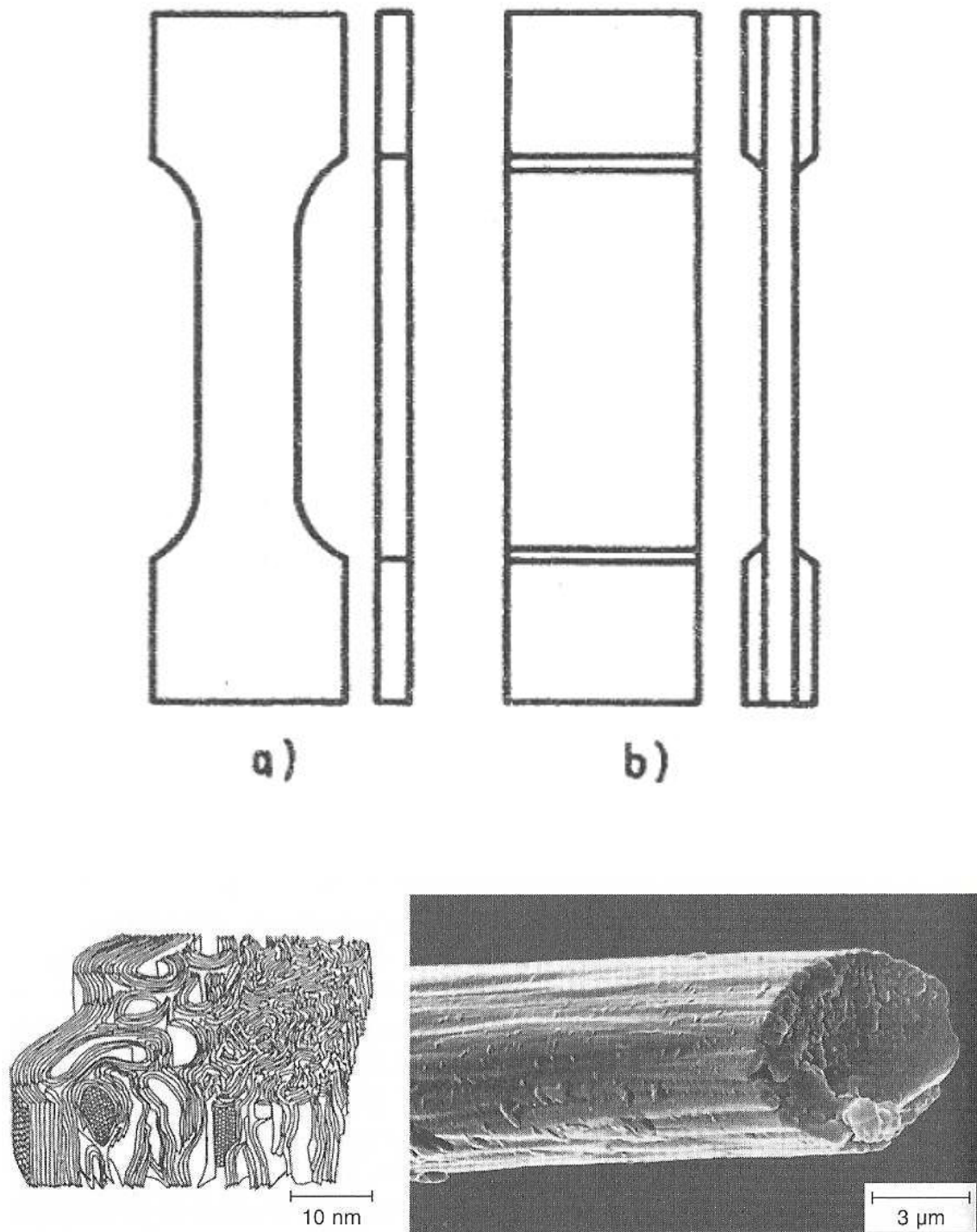
poškození než u jednosměrně vyztužených vrstev při namáhání ve směru vláken. Vznik poškození závisí na druhu zatížení. Nepravidelnosti v uspořádání vláken, vzduchové bubliny, nedostatky v adhezním spojení složek se projevují jako koncentrace protažení a napětí. Podle druhu zatížení lze očekávat vznik tvorby různých typů trhlin. [7]

V případě, že je tažnost samotné matrice vyšší než tažnost vláken lze její velikost snížit pod velikost tažnosti vláken přidáním plniv. [7]

Při rázovém namáhání závisí forma poškození na velikosti namáhání. Při nižší energii rázu vznikají trhliny v jednotlivých vrstvách. Počet příčných trhlin je u křehké matrice vyšší než u tažné. [7]

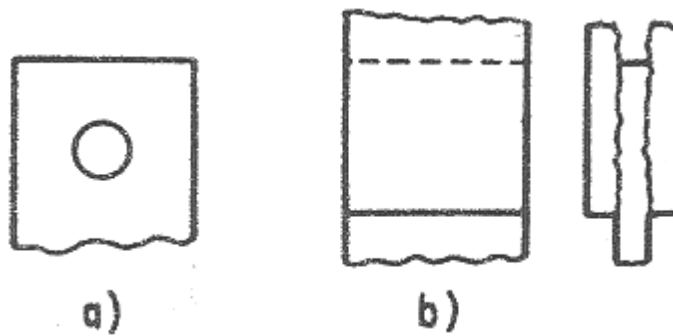
4.3 Zkouška jednosměrným tahem

Statická zkouška jednosměrným (osovým) tahem je pravděpodobně nejjednodušší a nejobvyklejší mechanická zkouška. Tato zkouška se používá k určení modulu pružnosti a pevnosti v tahu a Poissonova čísla materiálu. V případě kompozitních materiálů je tahová zkouška obvykle prováděna na plochých vzorcích. Nejčastěji užívaný tvar vzorků je normovaná plochá tyč (ve tvaru kosti) nebo vzorek s rovnými stranami a koncovým zesílením, jak ukazuje Obrázek . Osově zatížení je přenášeno na vzorek buď čepem nebo čelistmi, jak ukazuje Obrázek . [8]



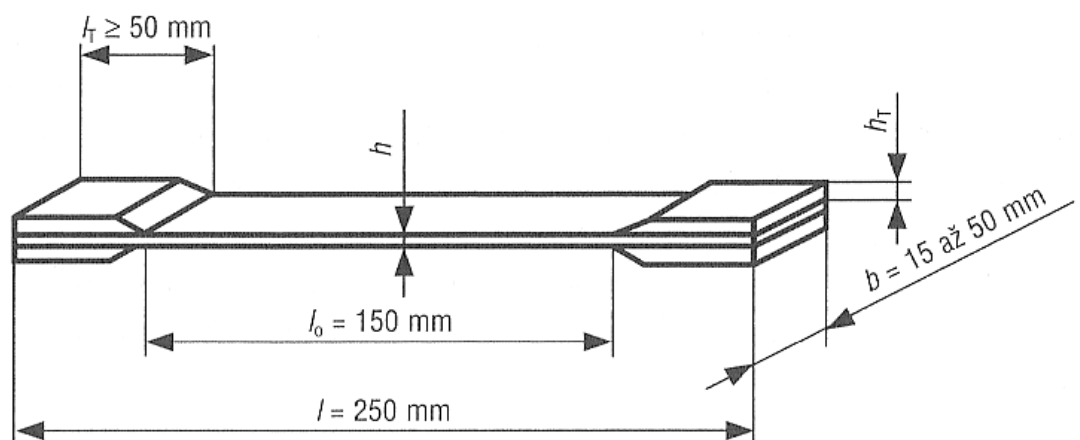
Obr. 6 Vzorky pro tahovou zkoušku:

- a) Plochá tyč normovaného tvaru (tvaru kosti)
- b) Plochá tyč s rovnými stranami a zesílenými konci [8]



Obr. 7 Koncové uchycení vzorků pro tahovou zkoušku: a) typ s čepem, b) typ s čelistmi [8]

Pro kompozity je navrženo mnoho tvarů a geometrií zkušebních těles v příslušných normách (např. ČSN EN ISO 527-1 až 5), zohledňujících stavbu kompozitu. U laminátů s výztuží ve formě tkaniny a jednosměrně vyztužených laminátů se pro zkoušky v tahu osvědčila prizmatická tělesa se zesílením v místě upnutí Obrázek [7]



Obr. 8 Příklad zkušebního tělesa pro zkoušku v tahu jednosměrně, izotropně i anizotropně vyztuženého plastového kompozitu dle doporučení ČSN EN ISO 527 [7]

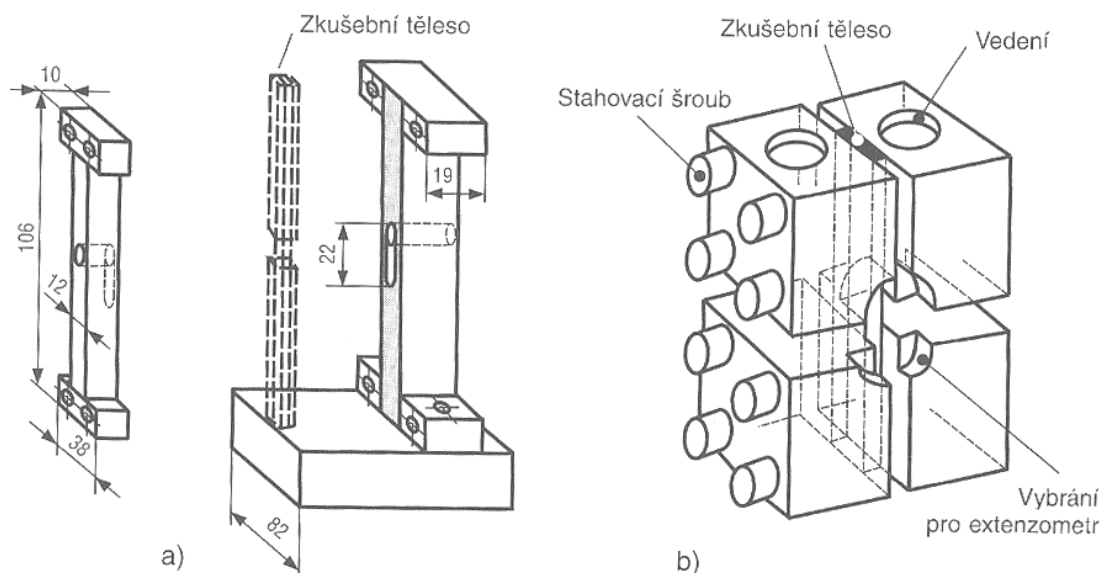
Materiál zesílení má mít modul pružnosti přibližně rovný modul zkušebního tělesa a zesílení má být na konci ve směru k měrné délce tělesa zkoseno, aby se snížil vliv koncentrace napětí. Síla působí na vzorek smykem přes vrstvu lepidla. Lom má nastat uvnitř měrné délky, minimálně 10 mm od konců zesílení. [7]

4.4 Zkouška jednosměrným tlakem

Z důvodu nebezpečí ztráty stability při určování pevnosti v tlaku jednosměrně vyztuženého laminátu musí být zkušební vzorek pečlivě navržen (ČSN EN ISO 604). Vhodná jsou pravoúhlá prizmata, válce nebo trubky, neboť zajišťují symetrické zatížení. [7]

Při dobré adhezi vlákno-matrice nastává lom vlivem smyku, při špatné adhezi vlivem delaminace. [7]

Aby se odstranilo rozvrstvení v kontaktní rovině se zatěžovacím zařízením, byly navrženy různé opěrné přípravky, sloužící také k vyloučení vybočení zkušebního tělesa obrázek. [7]



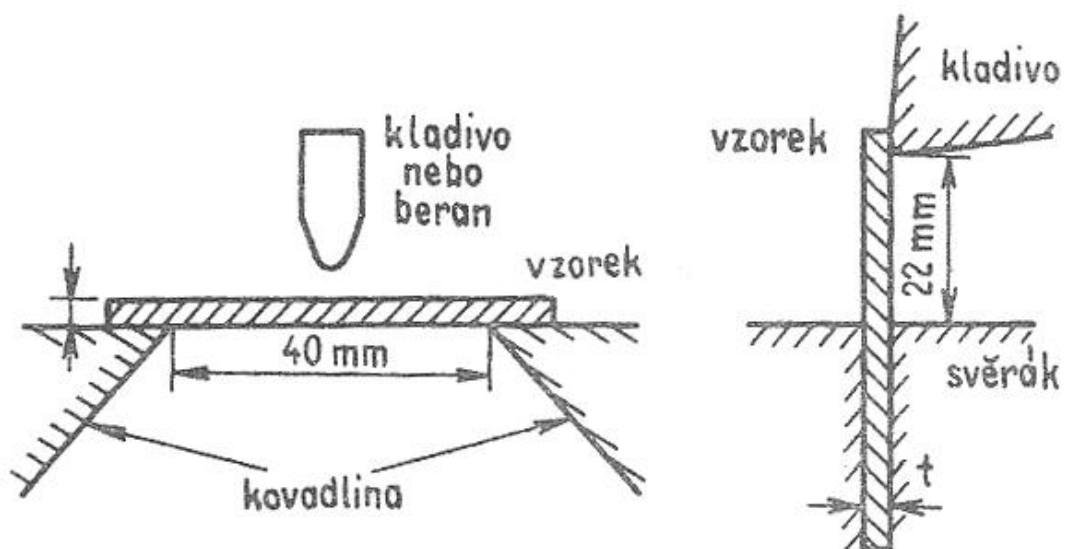
Obr. 9 Modifikované přípravky pro zkoušku pevnosti v tlaku s opěrným provedením a) přípravek vyvinutý v Boeing (podle ASTM D 695, DIN 65375), b) přípravek CLC (Combined Loadin - Compression podle ASTM D 6641) [7]

Při zatížení tlakem je obtížné v celém zkušebním tělese realizovat jednoznačně čistý stav napjatosti během celé zkoušky. Plochy sloužící k zavedení vnějšího zatížení musí být zcela rovné a rovnoběžné. Zeslabení tloušťky stěny vede k rozdílům v odolnosti vůči ztrátě stability. [7]

Zkušební tělesa pro zkoušku tlakem lze stabilizovat připevněním zesílení k jejich koncům. Tvar zesílení může významně ovlivnit výsledky zkoušek, zejména při zkouškách za zvýšených teplot. [7]

4.5 Rázové zatížení

Velmi častý způsob hodnocení rázových vlastností je určení houževnatosti materiálu měřením energie potřebné k přelomení vzorku určitého tvaru. Pro tento účel jsou užívány dobře známé rázové zkoušky Charpy a Izod, odvozené pro izotropní materiály. Uspořádání zkoušek jsou schematicky naznačena na obrázku 10. Při Charpyho zkoušce je vzorek prostě podepřen na obou koncích a přerážen kyvadlem uprostřed rozpětí. Ve zkoušce podle Izoda je zkušební vzorek vetknut na jednom konci jako konzola a přerážen kyvadlem na volném konci. Homogenní izotropní materiály se obvykle zkoušejí na vzorcích s vrubem na tažené straně. Vrub vyvolává vysokou koncentraci napětí a tím minimalizuje energii potřebnou pro vznik porušení. Celková změřená energie potřebná pro porušení je pak převážně energie pro rozvoj porušení. [8]



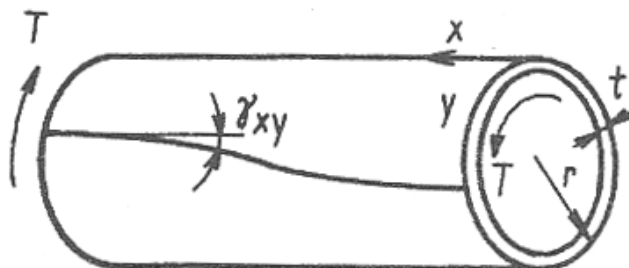
Obr. 10 Schematické uspořádání rázové zkoušky:

- a) Charpyho zkouška,
- b) Zkouška podle Izoda [8]

4.6 Rovinné zkoušky smykem

Zkoušky, ve kterých dochází ke smykovému zkosení pouze v rovině vzorku z kompozitního materiálu, jsou nazývány rovinné zkoušky smykem. Vlastnosti, které se určí touto zkouškou, jsou modul pružnosti ve smyku a pevnost ve smyku.

V těchto zkouškách je vzorek materiálu vystaven zatížení, které vyvolá stav napjatosti v čistém smyku, a měří se vznikající přetvoření. [8]



Obr. 11 Zkouška trubky krutem [8]

Nejsnadnější způsob, jak vyvodit stav čistého smyku, je namáhat tenkostěnnou kruhovou trubku kroucením kolem její osy, jak schematicky ukazuje obrázek 11. Tak vzniká rovnoměrný smyk na povrchu trubky. Vztah mezi kroutícím momentem T a smykovým napětím τ_{xy} je

$$\tau = \frac{T}{2\pi r^2 t}$$

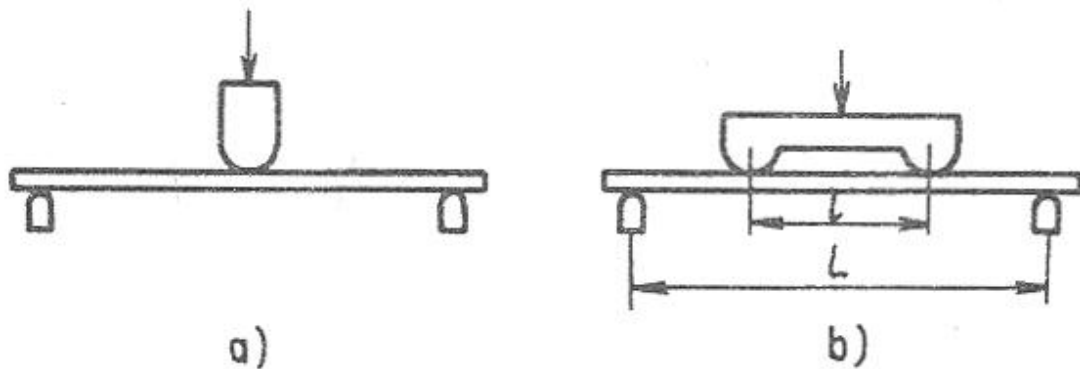
kde r je střední poloměr a t je tloušťka trubky [8]

Ke zvláštnostem kompozitních materiálů patří též závislost pevnosti ve smyku na směru zatížení. [7]

4.7 Zkoušky jednoosým ohybem

Nejběžnější ohybové zkoušky jsou tříbodová a čtyřbodová zkouška, jak je schematicky znázorněno na obrázku 12. Při těchto zkouškách se plochý vzorek podepře na dvou koncích a zatíží buď středovým břemenem (tříbodová zkouška) nebo dvěma symetricky umístěnými břemeny (čtyřbodová zkouška). Středové břemeno při tříbodovém ohybu vyvolá ohybový moment v nosníku, který se mění lineárně od nuly u podpor k maximální hodnotě uprostřed. Současně je vyvoláno rovnoměrně rozdělené interlaminární smykové napětí po celé délce vzorku. To může způsobit předčasné porušení vlivem nízké intralaminární smykové pevnosti kompozitů. Dvě symetrická břemena při čtyřbodovém ohybu vyvolají ohybové momenty lineárně rostoucí od nuly na podpoře k maximální hodnotě pod břemenem.

Ohybový moment mezi břemeny zůstává konstantní. V tomto případě nevzniká žádné smykové napětí mezi břemeny a tato část nosníku je tedy namáhána čistým ohybem. Interlaminární napětí jsou vyvolána pouze ve vnějších částech rozpětí, tj. mezi břemeny a podporami. Z hlediska stavu napětí je proto čtyřbodová ohybová zkouška vhodnější, kdežto tříbodová ohybová zkouška je snáze proveditelná.



Obr. 12 Zkouška jednoosým ohybem:

- a) Tříbodový ohyb,
- b) Čtyřbodový ohyb [8]

Pevnost v ohybu je teoretická hodnota napětí na povrchu vzorku při porušení. Vypočítá se z maximálního ohybového momentu za předpokladu přímkového pracovního diagramu až do lomu. Pro nosník obdélníkového průřezu je dána výrazem

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2}$$

Kde M je ohybový moment při porušení, určený z lomového zatížení a rozměrů vzorku, b je šířka vzorku a h je výška vzorku. [8]

4.8 Statické dlouhodobé zkoušky

Vyztužené plasty mají podstatně menší sklon ke krípu (zvětšování deformace při konstantním dlouhodobém zatížení) než nevyztužené. Nejdůležitějšími zkouškami při dlouhodobém namáhání jsou kríp ($\sigma = \text{konstantní}$) a relaxace ($\varepsilon = \text{konstantní}$). Provádějí se při konstantním zatížení za různých podmínek namáhání, např. při zatížení tahem, tlakem, ohybem a krutem, při jednoosém i vícerém namáhání, při kombinovaném zatížení, jakož i za působení teploty, zpracovatelských vlivů, podmínek okolního prostředí a v závislosti na

konstrukčních vlivech (vruby). Nejrozšířenější jsou však kríповé zkoušky při namáhání tahem (ČSN EN ISO 899-1). [7]

4.9 Provedení zkoušek

Kompozity se při každém použití nově navrhují a vyrábějí. Výsledky zkoušek na vzorcích jsou proto srovnatelné a použitelné na zhotovený díl pouze při dodržení shodných výrobních podmínek. Rozprostření pryskyřice, pečlivé promíchání složek a průběh vytvrzovací reakce ovlivňující u termosetických matric vytvrzení a jeho stupeň. Je nutné brát zřetel na dotvrzení, zvláště při měření s měnící se teplotou. Tlak při zpracování, teplota a čas se musí pečlivě kontrolovat. [11]

4.9.1 Výroba a příprava zkušební tělesa

Pro zkoušku materiálu se používají normalizované zkušební vzorky, které musí být vyrobeny předepsaným způsobem (ČSN EN ISO 295, ČSN ISO 293). Nejčastěji to jsou plochá zkušební tělesa vyříznutá z hladkých, pro tento účel vyrobených desek. Zkušební tělesa se musí vyřezávat v minimální vzdálenosti 20 mm od okrajů desky. [11]

Při výrobě vzorku se vzhledem k bezpodmínečně nutným hladkým řezům a nepoškození hran používají kotouče osazené diamantem, příp. frézy s nástavci z tvrdého kovu za současného použití chladicího prostředku (voda, olej k vrtání). [11]

Pro určité zkoušky (např. smyk nebo vícere namáhání) nejsou ploché vzorky vždy vhodné. Užívají se proto trubková nebo kroužková zkušební tělesa. [11]

Aby se dosáhlo srovnatelných výsledků měření, jsou zkušební vzorky před zkouškou kondicionovány, což znamená jejich uložení ve vzduchu při normou stanovené teplotě a relativní vlhkosti. Podle ČSN ISO 291 je toto normální prostředí $23 \pm 2^\circ\text{C}$ při $50 \pm 5\%$ relativní vlhkosti. [7]

5 TEPELNÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ

Tepelné vlastnosti polymerů jsou určovány především strukturou makromolekul. Rozhodujícím způsobem ovlivňuje tepelné vlastnosti poměr hlavních vazebných sil působících podél molekulárních řetězců k vedlejším vazebným silám, které působí mezi atomy sousedních molekul. [10]

Polymery s lineárními řetězci mají makromolekuly navzájem vázány vazbami, jejichž pevnosti se stoupající teplotou rychle klesá. U prostorově vázaných polymerů (patří sem především polykondenzáty) jsou makromolekuly vzájemně vázány vazbami, jejichž pevnosti se v širokém rozmezí teplot nemění. [10]

Velký význam má tvar jednotlivých makromolekul, jejich vzájemné uspořádání (amorfní nebo částečně krystalická struktura), pohyblivost molekul a molekulárních segmentů atd.

Proto z výsledků o chování plastů za tepla lze vyvozovat závěry o struktuře makromolekulární látky, o molekulové hmotnosti, o vlivu předchozího zpracování, znečištění apod.

Z hlediska zkušebnictví neexistuje žádná metoda, která by obecně hodnotila závislost mechanických vlastností na teplotě. Dosud vypracované metody jsou příliš jednostranné, to znamená, že zkouší sledovanou vlastnost po určité teplotě nebo po určité době tepelného namáhání při určité teplotě, určitém teplotním spádu apod.

Jednotlivé metody lze v podstatě rozdělit do tří skupin, které vyplývají především z dostupnosti zkušebního zařízení: [10]

1. Zkušební tělesa se temperují na zkušební teplotu dostatečně dlouho, pak se co nejrychleji upevní do měrného zařízení a odzkoušejí.
2. Zkušební tělesa se temperují upnutá již v přístroji a po určité době se zkouška provede.
3. Zkušební tělesa se umístí i se zkušebním přístrojem v termostatu a po vytemperování se odzkoušejí.

Při porovnání těchto tří metod je zřejmé, že první metoda je zatížena chybou chladnutí po teplotě. Třetího způsobu lze však zase použít jen tehdy, jestliže zkušební zařízení je malé a snese příslušnou teplotu.

Fyzikálně mechanické vlastnosti se zjistí při řadě teplot a vynesou se do grafů v závislosti na teplotě. Pro hodnocení tepelné odolnosti lze využít většiny fyzikálně mechanických nebo elektrických vlastností. [10]

5.1 Trvalá tepelná odolnost

Obecně lze říci, že s teplotou se mění všechny mechanické vlastnosti jak kovů, tak i plastů. U plastů však dochází k výrazným změnám jejich mechanických vlastností již při teplotách, při kterých jsou tyto změny u kovových materiálů prakticky neměřitelné. To souvisí kromě jiného i s tím, že teplotní oblast použití plastů leží zpravidla o několik desítek stupňů pod jejich teplotou skelného přechodu (příp. teplotou tání u krystalických polymerů), zatímco stejná teplotní oblast leží u kovových materiálů o několik set stupňů pod jejich teplotou tání. Přesto při srovnání lze nalézt značnou podobnost. Polymery (hlavně termoplasty) jsou však velmi náchylné k tečení při zvýšených teplotách. To vyvolává výraznou závislosti důležitých konstrukčních veličin, jako např. pevnost v tahu a modulu E na teplotě, takže znalost teplotních závislostí je podmínkou konstrukčního využití plastů. [10]

Při použití plastů pro konstrukční dílce nás bude zajímat vedle jiných vlastností, jako je chemická odolnost, stárnutí apod., také i rozsah teploty, při které bude změna strukturních vlastností tak malá, že nám neovlivní požadované mechanické hodnoty. Trvalá tepelná odolnost se nejlépe zjišťuje dlouhodobou krípkovou zkouškou tahu, ohybu nebo tlaku. Pracuje se obvykle při určitém napětí za různých teplot. Sestrojením takových křivek lze jistit napětí, za kterého nedochází za dané teploty k nežádoucím krípkovým jevům. Výsledky zkoušek mají pro praxi význam jen tehdy, jestliže zkoušené napětí odpovídá podmínkám namáhání v praxi. Takto prováděné zkoušky jsou poměrně časově náročné. [10]

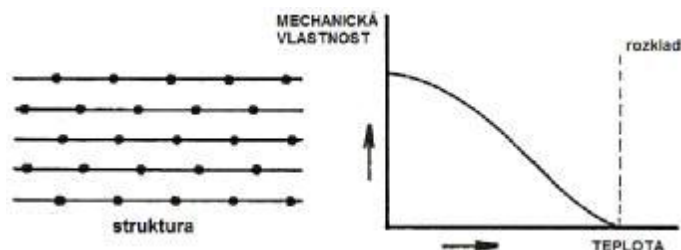
Podle DIN 7 705 se trvalá tepelná odolnost vyjadřuje teplotou, která způsobí pokles mechanických vlastností nejvýše o 10%. Zkouší se pevnost v ohybu a rázová houževnatost na zkušebních tělesech zahříváných 200 hodin při zvolené teplotě.

Tepelnou odolnosti materiálů je nutné tehdy zjišťovat, aby se zjistila míra délky přípustného tepelného namáhání z hlediska změn chemického složení materiálu během zpracování při zvýšené teplotě. Pro PVC a jeho kopolymery je normalizována konduktometrická metoda. Při této zkoušce se stanovuje doba, kdy začíná rychlý pokles elektrického odporu měřeného zkušebního vzorku při stálé teplotě. Zkušební vzorek se vloží mezi 2 elektrody vyhřáté obvykle na 180°C. Probíhající změna elektrického odporu se měří buď ohmmetrem v časových intervalech, nebo se zapisuje zapisovačem. Tepelná stabilita se stanoví tak, že úsekem křivky největšího poklesu elektrického odporu se vede směrnice, jejíž průsečík se směrnicí předchozího průběhu elektrického odporu udává časovou souřadnicí tepelnou stabilitu. [10]

Pro hrubou orientaci lze schematicky znázornit změnu mechanických vlastností v závislosti na teplotě u jednotlivých druhů polymerů oproti anorganickým materiálům asi takto:

Termoplasty

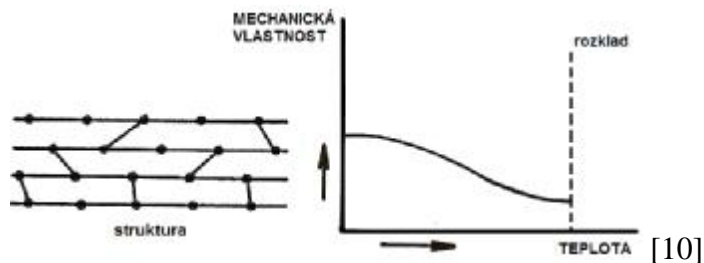
Lineární molekuly nezesíťované. Při zahřívání měknou, jsou vratně neformovatelné. Existuje výrazná závislost mechanických vlastností na teplotě.



Obr. 13 Závislost mechanických vlastností termoplastů na teplotě [10]

Elastomery

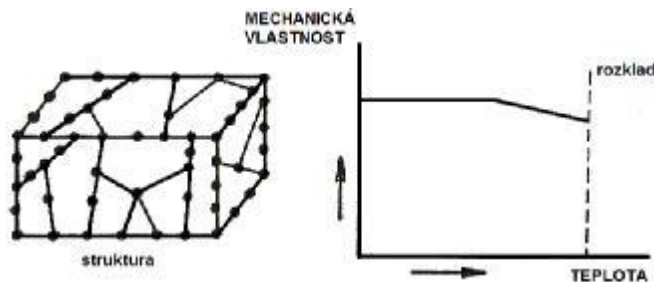
Lineární makromolekuly řídkce zesíťované. Snadno se deformují a po uvolnění deformujícího napětí se opět vracejí do původního tvaru a rozměrů. Jsou to obvykle kaučuky, kaučukovité látky a pryže.



Obr. 14 Závislost mechanických vlastností elastomerů na teplotě [10]

Reaktoplasty

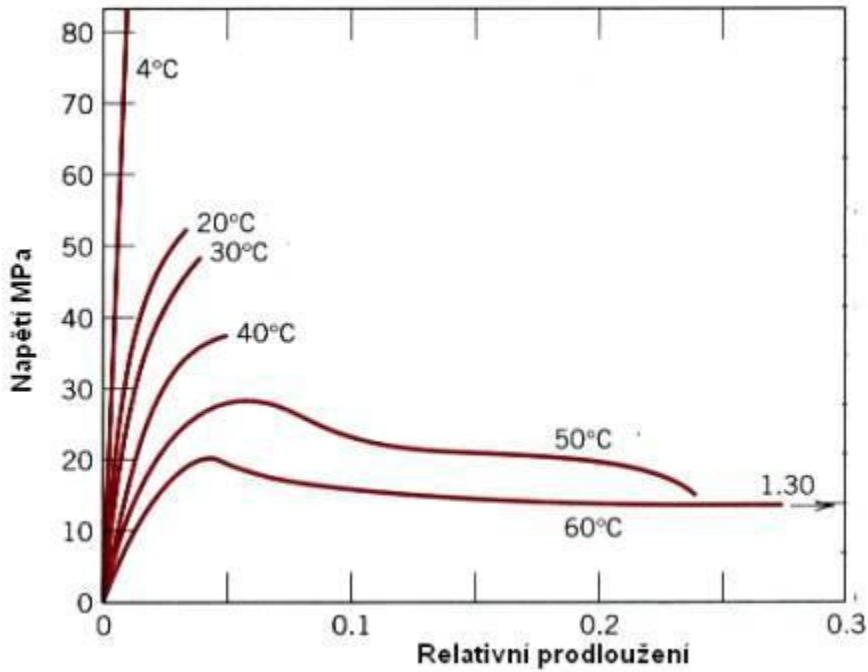
Prostorově zesíťované makromolekuly. Jsou nerozpustné a netavitelné. Nepatrná závislost mechanických vlastností na teplotě. [10]



Obr. 15 Závislost mechanických vlastností reaktoplastů na teplotě [10]

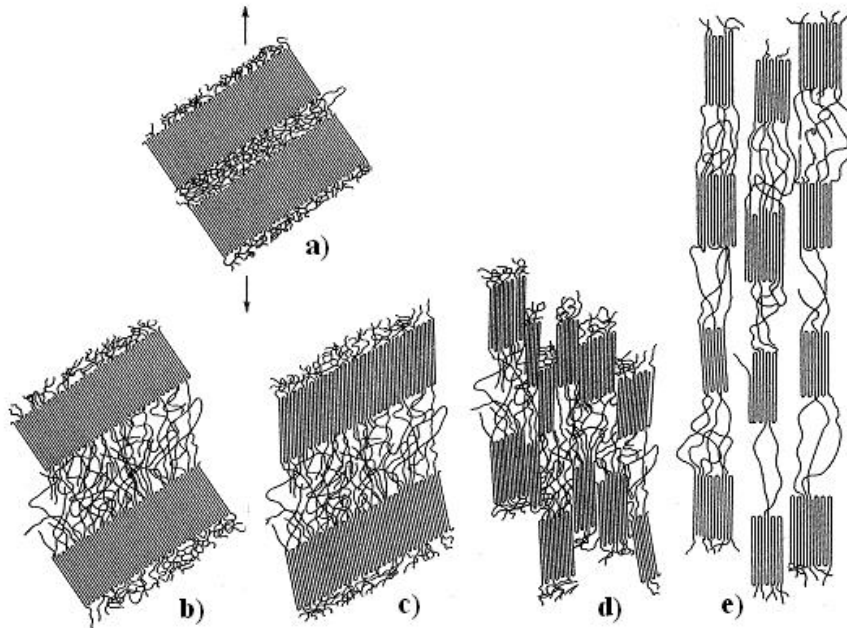
5.2 Mechanické vlastnosti polymerů závislé na teplotě

Mechanické vlastnosti polymerů jsou velmi rozdílné a silně závislé na teplotě. [10]



Obr. 16 Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů [10]

Mechanismus elastické a plastické deformace polymerů je názorně ukázán na obr. 17

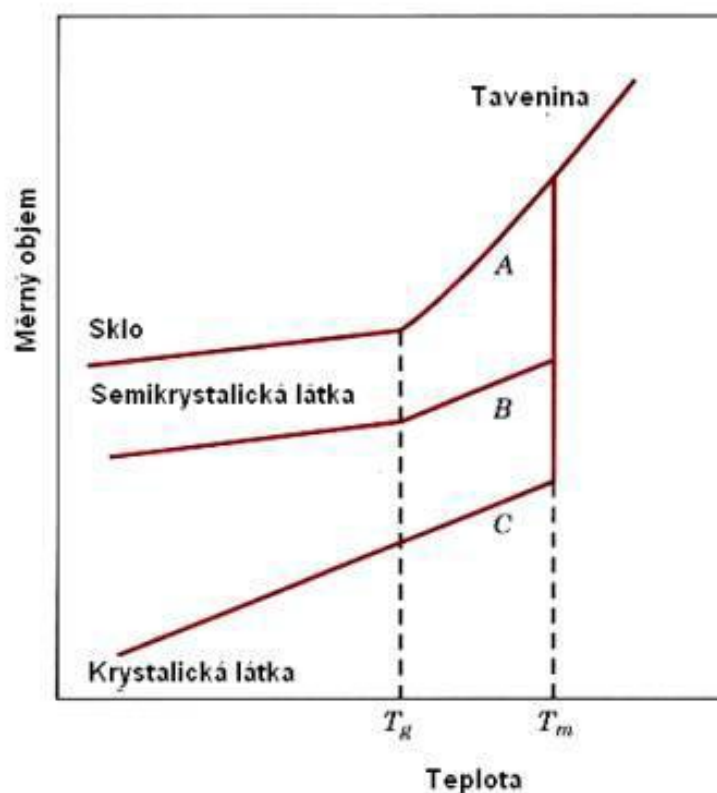


Obr. 17 Schematické znázornění změn účinkem tahového zatížení [10]

Na počátku deformace odpovídá struktura polymeru případu (a) na obr. č.17, tj. v oblasti mezi krystalickými oblastmi se nachází amorfni oblasti. V prvním stádiu deformace (elastická oblast (b)) dochází k malému prodloužení řetězců, které mezi sebou vážou krystalické oblasti. Během třetího stádia ((c) počátek plastické oblasti) dochází k naklánění lamelárních krystalických vrstev. Ve třetím stádiu (d) dochází již k separaci jednotlivých krystalických bloků. Na závěr deformace (e) pak dochází k orientaci krystalických segmentů a řetězců makromolekul v amorfni oblasti do směru působícího napětí. [10]

Sledujeme-li závislost měrného objemu (převrácená hodnota hustoty) na teplotě, dostaneme pro polymer graf, znázorněný na obr. 18. Podle druhu polymeru dodáváme tři typické křivky: křivku A pro zcela amorfni polymer, křivku B pro polymer semikrystalický a křivku C pro krystalický polymer. Kromě teploty tání v grafu vystupuje i teplota T_g , tzv. teplota skelného přechodu, při níž dochází k výrazným strukturním změnám – k přechodu od pevného k pružnému (kaučukovitému) stavu a tyto změny jsou doprovázeny i změnou makroskopických parametrů (tuhost, měrné teplo, koeficient tepelné roztažnosti).

Po fyzikální stránce si lze tuto změnu vysvětlit tak, že při nižších teplotách „zamrzlé“ makromolekuly začnou nad teplotou T_g konat rotační a translační pohyby. [10]

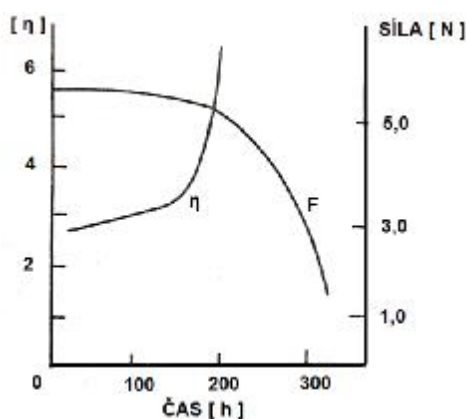


Obr. 18 Teplotní závislost měrného objemu polymerů a teplota skelného přechodu. [10]

5.3 Tepelné stárnutí

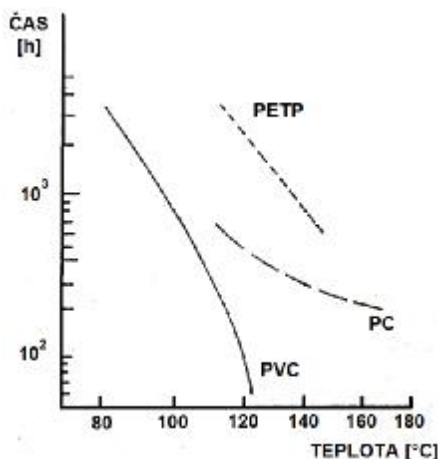
Při dlouhodobém vystavení polymerních materiálů účinkům teploty nad 60-70°C, obvykle ve vzdušném prostředí, dochází k tepelnému stárnutí. Při něm probíhají vedle chemických reakcí také fyzikální pochody. Z chemických pochodů může probíhat síťování, dochází k oxidaci, k odbourávání polymeru, u některých polymerů dochází k odštěpování substituentů. K fyzikálním pochodům patří změny nemolekulární struktury, mění se počet i velikost krystalů. Dochází ke smršťování a vznikají hmotové ztráty. [10]

Krátkodobý ohřev nevyvolává zpravidla hlubší změny ve vlastnostech polymeru, naproti tomu dlouhodobé tepelné namáhání může polymer ovlivnit do té míry, že dochází k trvalé změně vlastností. Krátkodobé zkoušky mají zpravidla pouze orientační charakter. Je známa řada polymerů, u nichž nedochází při krátkodobém ohřevu k patrným změnám jejich mechanických vlastností, avšak při pokračujícím ohřevu při téže teplotě dochází náhle k jejich značným změnám. Na obr. 19 jsou znázorněny změny limitního viskozitního čísla a síla potřebná na přetržení zkušebního tělíska v závislosti na čase. Po dobu asi 150 h se limitní viskozitní číslo ani síla podstatně nemění. Po této době však dochází v důsledku oxidačních změn a síťování ke zvýšení limitního viskozitního čísla, ale také k poklesu síly, potřebné k přetržení tělíska. [10]



Obr. 19 Změna limitního viskozitního čísla a síly potřebné k přetržení vzorku v závislosti na době stárnutí.

Při sledování změn v průběhu tepelného stárnutí se tyto změny posuzují ve dvou teplotních rozmezech, a to při 20 až 100°C a při 100 až 200°C. Na obr. 20 je znázorněna závislost mezi teplotou a dobou ohřevu, vztažená na pokles tažnosti o 35%.



Obr. 20 Pokles tažnosti o 35% v závislosti na čase a teplotě

Při tepelném stárnutí do 100°C může u některých polymerů dojít i ke zlepšení některých mechanických vlastností, jak k tomu např. u polyetyleny v důsledku vzestupu krystalinity dochází. Přetavením se však získá materiál s původními vlastnostmi, což svědčí o tom, že změna nastala působením zvýšené teploty. [10]

U polystyrénu si po 300 hodinovém tepelném stárnutí při 60°C nedochází k výrazným změnám viskozity ani mechanických vlastností. Tepelné namáhání při 100°C na vzduchu vyvolává žloutnutí polymeru. Tepelné stárnutí neměkčeného PVC při 100°C vede k poklesu mechanických vlastností. [10]

Při tepelném stárnutí měkčeného PVC je nutno uvažovat také ztráty změkčovadel, jejichž těkavost se při 100°C již dosti projevuje. Také další změny změkčovadel mohou ovlivnit mechanické vlastnosti výrobku. [10]

U polyamidů při 70°C nebyl pro 180 dnů zjištěn podstatný pokles tažnosti, v důsledku změn nemolekulární struktury může naopak dojít ke zlepšení mechanických vlastností.

Fenoplasty a aminoplasty jsou do 100°C stálé, nemění se u nich ani pevnost v ohybu, ani rázová houževnatost, průběh stárnutí je značně ovlivněn použitými plnivy. [10]

Účinek teplot v rozmezí 100 až 200°C způsobuje u většiny polymerů již výrazné změny v důsledku termooxidačního odbourávání. Pro polyetylén, polypropylén, polyamidy, polyuretany, nasycené i nenasycené polyestery, fenoplasty s organickými plnivy a také pro epoxidy leží hraniční teplota dlouhodobé použitelnosti pod 100°C. U polymethylmetakrylátu se optické ani mechanické vlastnosti při 130°C prakticky nemění. Polyamidy při 150°C po 100 h stárnutí ztrácejí pevnost v tahu až o 46% a rázová houževnatost klesá až o 70%.

Vlivem kyslíku výrobky hnědnou. U fenoplastů se hodnoty mechanických vlastností při 150°C po 25 až 50 hodinách ustalují na nižší hladině a tyto hodnoty se dlouhodobě nemění. [10]

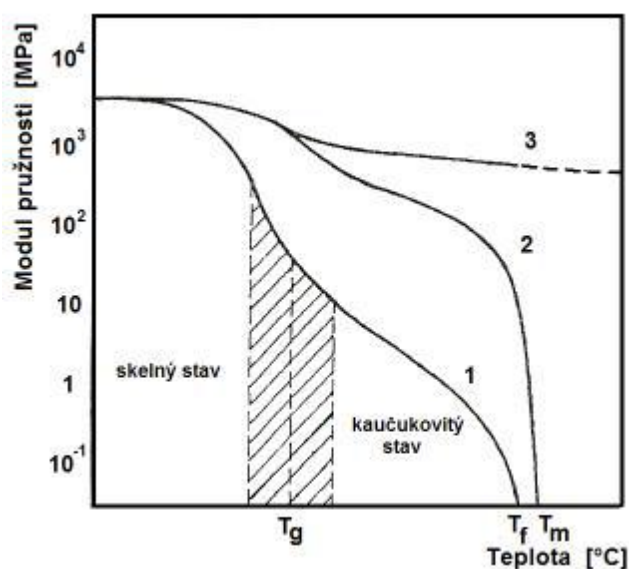
5.4 Teplotní závislost modulu pružnosti

5.4.1 Amorfni termoplastické polymery

S rostoucí teplotou se oslabují molekulární soudržné síly (van der Waalsovy) a modul pružnosti zpočátku mírně klesá. Pohyblivost řetězců v této teplotní oblasti je značně omezena, řetězce jsou v „zamrzlém“ stavu. Tato oblast se označuje jako sklovitý stav. Deformační a lomové chování polymerů se podobá chování anorganických skel. Při dalším zvyšování teploty prochází polymer přechodovým stavem, kdy modul pružnosti klesá asi o 4 řády a předchází ze sklovitého do kaučkovitého stavu. Teploty omezují praktické použití amorfni termoplastů leží při teplotách pod T_g , kdy se modul pružnosti začíná výrazněji zmenšovat. Pro kaučkovitý stav je charakteristické, že u polymeru je možno vyvodit působením malých sil velké deformace, přičemž podstatnou část celkových deformací tvoří deformace vratné. Při dalším zvyšování teploty polymer přechází z kaučkovitého stavu do stavu viskózního toku. Teplota tohoto přechodu se obvykle označuje jako teplota toku T_f , nad touto teplotou se polymery zpracovávají např. vstřikováním, vytlačováním, vyfukováním apod. [10]

5.4.2 Semikrystalické polymery

Jak bylo již uvedeno, semikrystalické polymery obsahují jednak krystalickou fázi, jednak amorfni fázi. Z tohoto důvodu se na křivce teplotní závislosti modulu pružnosti projevuje jak teplota skelného přechodu, tak teplota tání T_m krystalické fáze. Nad T_g jsou amorfni oblasti v kaučkovitém stavu, podobně jako u amorfni polymerů. Přetrvávající krystalové útvary však vyztužují kaučkovité amorfni oblasti a pokles modulu pružnosti v oblasti T_g je podstatně menší než u amorfni polymerů (pokles asi o 1 řád). Z toho důvodu se semikrystalické polymery mohou používat jako konstrukční materiály i nad teplotou skelného přechodu. Teplotou omezující jejich použití není teplota tání krystalické fáze, ale mezní teploty, ležící pod teplotou tání. Použití semikrystalických polymerů při vyšších teplotách je limitováno někdy příliš nízkým modulem pružnosti, a to zejména u polymerů s nízkou krystalinikou, jindy termooxidačními procesy, vedoucími ke zhoršení mechanických a fyzikálních vlastností. [10]



Obr. 21 Schématické průběhy závislosti modulu pružnosti polymerů na teplotě (1 – amorfní, 2- semikrystalické, 3- síťované) [10]

V praxi se tepelná odolnost plastů posuzuje např. zkouškou podle Vicata. Teplota měknutí podle Vicata je teplota, při níž hrot o standardním průřezu (1mm^2) pronikne za rovnoměrného růstu teploty do předepsané hloubky (1mm). Jinou, z praktického hlediska důležitou zkouškou, je měření teploty průhybu. Je to teplota, při které se dosáhne předepsané velikosti průhybu zkušebního tělesa za standardních podmínek zkoušky, tj. rozměrů tělesa, způsobu zatěžování a ohřevu. Tento údaj má význam zejména pro plastové výrobky v provozu stabilně mechanicky zatěžované za vyšších teplot.

5.4.3 Sesítěné polymery

Sesítěné polymery (reaktoplasty), u nichž jsou ulová místa prostorové sítě tvořena kovalentními vazbami, mají po dosažení teploty skleného přechodu modul pružnosti nižší oproti skelnému stavu o jeden, maximálně o dva řády. To závisí na stupni sesíťování a chemické struktuře síťujícího činidla. V kaučukovité oblasti není možno sesítěné polymery tavarovat podobným způsobem jako lineární amorfní polymery. Pro konstrukční účely se reaktoplasty používají ve skelném stavu. Vytvrzený reaktoplast nelze zvyšováním teploty nad T_g převést do stavu viskózního toku. Modul pružnosti je téměř konstantní až do teplot, kdy dochází k degračním procesům mechanismem porušování kovalentních vazeb. [10]

5.4.4 Teplota skleného přechodu

Z průběhu závislosti modulu pružnosti na teplotě vyplývá, že nejdůležitější fyzikální charakteristikou, rozhodující o teplotním rozsahu konstrukčního použití plastů, je teplota skelného přechodu T_g . Hodnota T_g bezprostředně souvisí se strukturou konstituční jednotky polymeru. Čím je tato struktura komplikovanější a tuhost makromolekul větší, tím je nesnadnější pohyblivost molekulárních segmentů a T_g se zvyšuje. Protože je T_g z fyzikálního hlediska mezní hranicí[10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

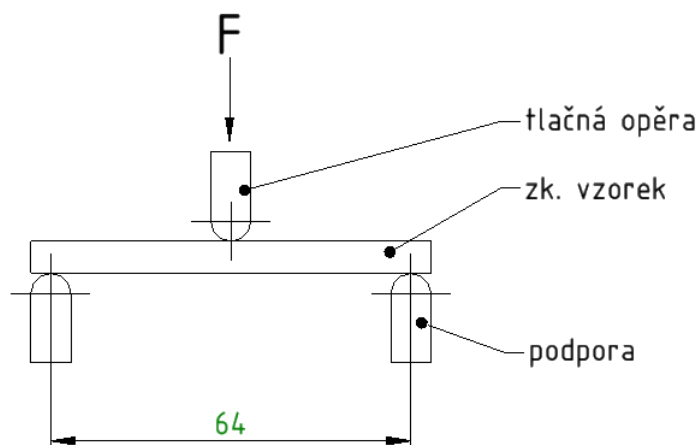
6 STANOVENÍ CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je z experimentálních poznatků získaných ze zkoušky ohybem jednotlivých materiálů, zkoušených za různých teplot, vybrat nejvhodnější materiál pro návrh desky vřetenového šoupátka, která by byla schopna nahradit stávající desku svařenou z nerezového plechu. Dle zjištěných materiálových charakteristik tedy navrhnout konstrukci desky z HP laminátu s ohledem na stávající konstrukci rámu vřetenového šoupátka. Dalším cílem je vyrobit navrženou desku a odzkoušet na zkoušecím zařízení těsnost šoupátka a poté vyhodnotit vhodnost nové konstrukce pro tuto aplikaci.

6.1 Zkouška ohybem

Materiálové charakteristiky byly získány ze zkoušky tříbodovým ohybem. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 978 s následujícími parametry:

- vzdálenost podpor byla nastavena na 64mm
- rychlost zkoušky: $v = 10\text{mm/min}$.
- zadané rozměry byly předem změřeny digitálním posuvným měřidlem



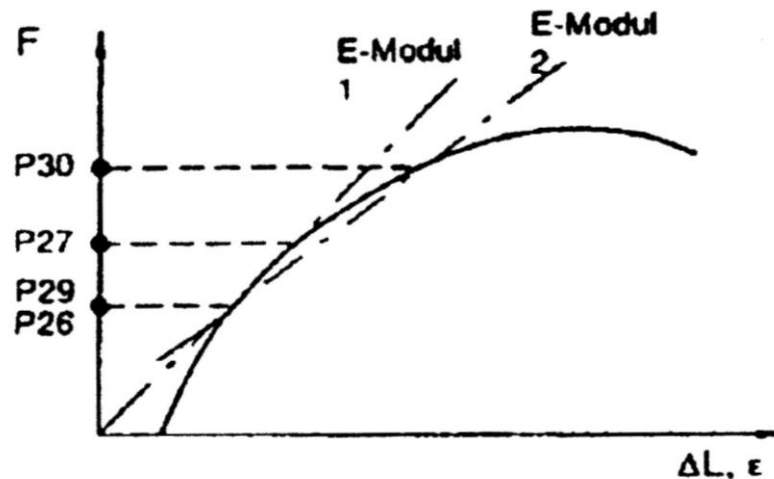
Obr. 22 Schéma zkoušky ohybem

6.2 Měřicí zařízení ZWICK 1456

Toto zařízení umožňuje zkoušku tahem, tlakem a ohybovou zkoušku. K ovládní stroje slouží osobní počítač, který je součástí tohoto zařízení. Stroj používá pro zpracování vý-

sledků software Test Xpert. Po provedení zkoušky za požadované teploty je k dispozici temperanční komora, která se dá lehce nainstalovat posunutím po kolejkách. [10]

Určení modulu pružnosti E je zřejmé z Obr. 22 [10]



Obr. 23 Určení modulu pružnosti [10]

Kde F ... síla

ΔL ... prodloužení (zkrácení)

P26 ... dolní limit určení E-modulu 1

P27 ... horní limit určení E-modulu 1

P29 ... dolní limit určení E-modulu 2

P30 ... horní limit určení E-modulu 2

ε ... poměrné prodloužení (poměrné zkrácení)

σ ... napětí

Těmito dvěma parametry (P26, P27 resp. P29, P30) je omezena oblast, z níž je určena hodnota modulu pružnosti E jako sečna procházející zvolenými body grafického záznamu průběhu zkoušky. [10]



Obr. 24 Zkušební stroj ZWICK 1456

Tab. 2 Technické parametry zkušebního stroje ZWICK ROELL 1456

ZWICK ROELL 1456		
Rozměry a hmotnost stroje		
strojová výška	1284	mm
celková výška	2012	mm
celková šířka	630	mm
šířka pracovního prostoru	420	mm
hmotnost	150	kg
Dynamika stroje		
maximální zkušební síla	20	kN
maximální rychlost posuvu příčnicku	750	mm.mm ⁻¹ ₁

6.3 Zkušební tělesa

Zkušební vzorky byly nařezány na potřebný rozměr z HP laminátu od čtyř světových výrobců. Jenalo se o výrobce Abet (Itálie), Rixin (Čína), Fundermax (Rakousko) a Polyrey (Francie). Tělesa pro zkoušení byly ve všech případech nařezány z kompaktních desek tloušťky $t = 4$ mm na šířku 20 mm a délku 75 mm ve zvoleném příčném (T) a podélném (L) směru.



Obr. 25 Zkušební tělesa pro zkoušku ohybem

Zkušební tělesa byly postupně zkoušeny za teplot -20°C , 20°C a 60°C . Při zkoušení za teploty -20°C bylo použito mrazáku, do kterého byly zkušební tělesa vloženy a po uplynutí doby potřebné k dostatečnému ochlazení vzorků byl vyjmut vždy jeden vzorek pro následné provedení zkoušky ohybem.

Pro zkoušení materiálů při teplotě 60°C bylo využito teplotní komory, kterou disponuje měřící zařízení ZWICK 1456.

Jelikož bude později vybraný materiál pro výrobu desky šoupátka vystaven vodě, byla polovina zkušebních vzorků ponořena na dobu 1500h do vody při teplotě 20°C . Při vyhodnocování výsledků budeme tedy sledovat případné rozdíly hodnot mechanických vlastností daných materiálů nevystavených vodě a hodnot materiálů, které byly ponořeny na 1500h do vody.

7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZE ZKOUŠKY OHYBEM

Youngův modul pružnosti

Konstantu úměrnosti mezi napětím a deformací nazýváme modulem pružnosti E a vztah Hookovým zákonem.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (4)$$

Modul E není u ideálně elastického tělesa závislý na velikosti použité deformace. Nezávisí ani na čase, to znamená, že deformace vyvolaná působením určitého napětí vznikne okamžitě a s časem se již nemění. [11]

Aritmetický průměr – je to součet vybraných hodnot podělený jejich počtem, který vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. [13]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Směrodatná odchyla – je kvadratický průměr odchylek hodnot znaku a jejich aritmetického průměru. [13]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

Nejistota měření – vychází se směrodatné odchylky dělené druhou odmocninou z počtu měření. [13]

$$\delta = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

7.1 Naměřené hodnoty HP laminátů – tělesa na vzduchu

7.1.1 Naměřené hodnoty HP laminátů, T= -20°C

Tab. 3 Výrobce ABET – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$

Abet - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	16300	237	1,55	3,90	20,07	78,09
s	6387,93	4,54	0,18	0,15	0,08	1,90
v	39,19	1,91	11,36	3,84	0,41	2,44
δ	2607,86	1,85	0,07	0,06	0,03	0,78

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 4 Výrobce REXIN – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$

Rexin - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13200	164	1,33	3,73	20,02	78,29
s	442,72	8,89	0,08	0,17	0,08	2,65
v	3,35	5,42	6,12	4,49	0,38	3,39
δ	180,74	3,63	0,03	0,07	0,03	1,08

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 5 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$

Fundermax - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	17100	213	1,32	4	20,12	78,52
s	339,12	15,02	0,12	0,08	0,12	1,77
v	1,98	7,05	8,88	2,00	0,58	2,25
δ	138,44	6,13	0,05	0,03	0,05	0,72

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 6 Výrobce POLYREY – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$

Polyrey - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13950	171	1,30	3,97	19,92	78,57
s	295,00	6,71	0,09	0,11	0,12	1,82
v	2,11	3,92	6,88	2,73	0,59	2,32
δ	120,43	2,74	0,04	0,04	0,05	0,74

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 7 Výrobce ABET – podélný směr L, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Abet - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	15500	188	1,35	3,97	20,10	78,54
s	2638,18	32,40	0,05	0,18	0,09	1,47
v	17,02	19,75	4,06	4,52	0,44	1,88
δ	1077,03	13,23	0,02	0,07	0,04	0,60

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 8 Výrobce REXIN – podélný směr L, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Rexin - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	15400	211	1,42	3,72	20,03	78,40
s	1036,66	9,48	0,08	0,18	0,10	1,31
v	6,73	5,78	5,31	4,95	0,52	1,68
δ	423,22	3,87	0,03	0,08	0,04	0,54

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 9 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, $T = -20^{\circ}\text{C}$

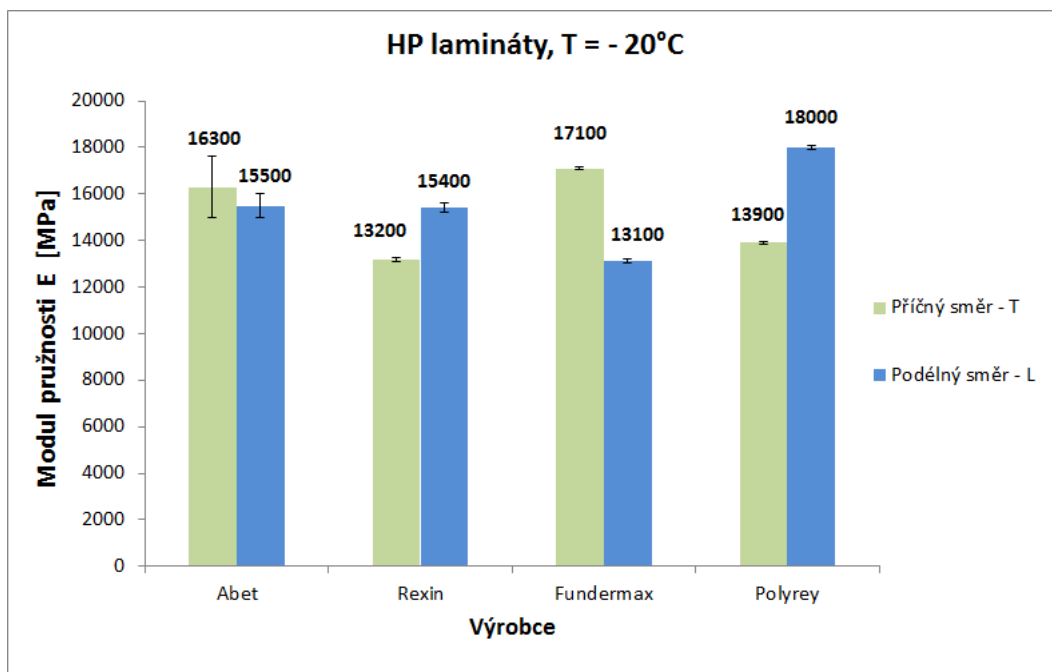
Fundermax - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13100	160	1,27	4,05	20,10	78,69
s	438,18	13,17	0,15	0,10	0,14	2,10
v	3,34	8,03	11,89	2,56	0,70	2,67
δ	178,89	5,38	0,06	0,04	0,06	0,86

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

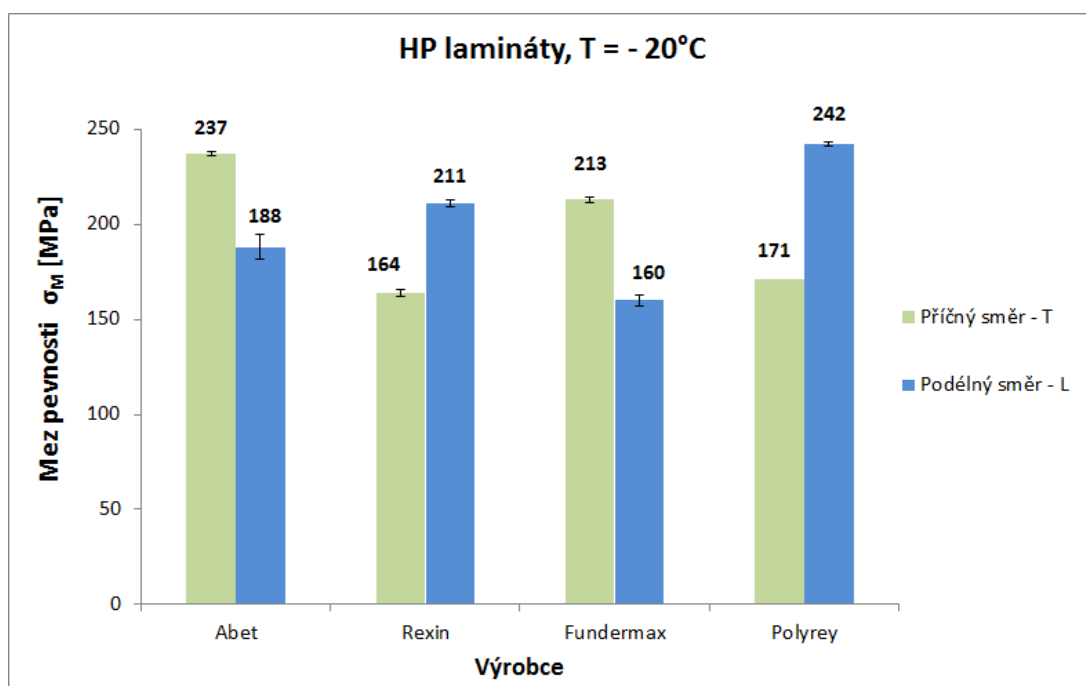
Tab. 10 Výrobce POLYREY – podélný směr L, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Polyrey - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	18000	242	1,50	3,98	19,85	78,47
s	361,48	5,89	0,00	0,11	0,10	1,60
v	2,01	2,43	0,00	2,76	0,53	2,04
δ	147,57	2,40	0,00	0,04	0,04	0,65

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Graf 1 Modul pružnosti E pro HP lamináty při teplotě $T = -20^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot modulu pružnosti E při teplotě -20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Fundermax. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

Graf 2 Mez pevnosti σ_M pro HP lamináty při teplotě $T = -20^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot meze pevnosti σ_M při teplotě -20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.1.2 Naměřené hodnoty HP laminátů, $T = 20^\circ\text{C}$

Tab. 11 Výrobce ABET – příčný směr T , $T = 20^\circ\text{C}$

Abet - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	16000	181	1,23	3,94	20,19	79,69
s	106,70	15,90	0,05	0,11	0,03	0,96
v	0,67	8,78	4,19	2,81	0,17	1,20
δ	43,56	6,49	0,02	0,05	0,01	0,39

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 12 Výrobce REXIN – příčný směr T , $T = 20^\circ\text{C}$

Rexin - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	10800	127	1,22	3,80	20,19	79,28
s	838,00	11,10	0,04	0,17	0,08	1,15
v	7,76	8,74	3,36	4,46	0,40	1,45
δ	342,11	4,53	0,02	0,07	0,03	0,47

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 13 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , $T = 20^\circ\text{C}$

Fundermax - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	14500	153	1,08	4,08	20,14	79,01
s	2780,00	24,60	0,10	0,11	0,11	1,20
v	19,17	16,08	9,08	2,68	0,55	1,52
δ	1134,93	10,04	0,04	0,04	0,05	0,49

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 14 Výrobce POLYREY – příčný směr T, T = 20°C

Polyrey - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	12100	142	1,24	4,08	19,62	78,44
s	680,00	3,99	0,05	0,16	0,12	2,21
v	5,62	2,81	4,42	3,97	0,60	2,82
δ	277,61	1,63	0,02	0,07	0,05	0,90

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 15 Výrobce ABET – podélný směr L, T = 20°C

Abet - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	12000	141	1,23	3,91	20,07	78,30
s	424,00	2,81	0,05	0,11	0,08	1,80
v	3,53	1,99	4,19	2,93	0,41	2,29
δ	173,10	1,15	0,02	0,05	0,03	0,73

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 16 Výrobce REXIN – podélný směr L, T = 20°C

Rexin - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	14000	173	1,30	3,73	20,11	78,51
s	310,00	10,90	0,09	0,16	0,09	1,20
v	2,21	6,30	6,88	4,28	0,46	1,53
δ	126,56	4,45	0,04	0,07	0,04	0,49

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 17 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, T = 20°C

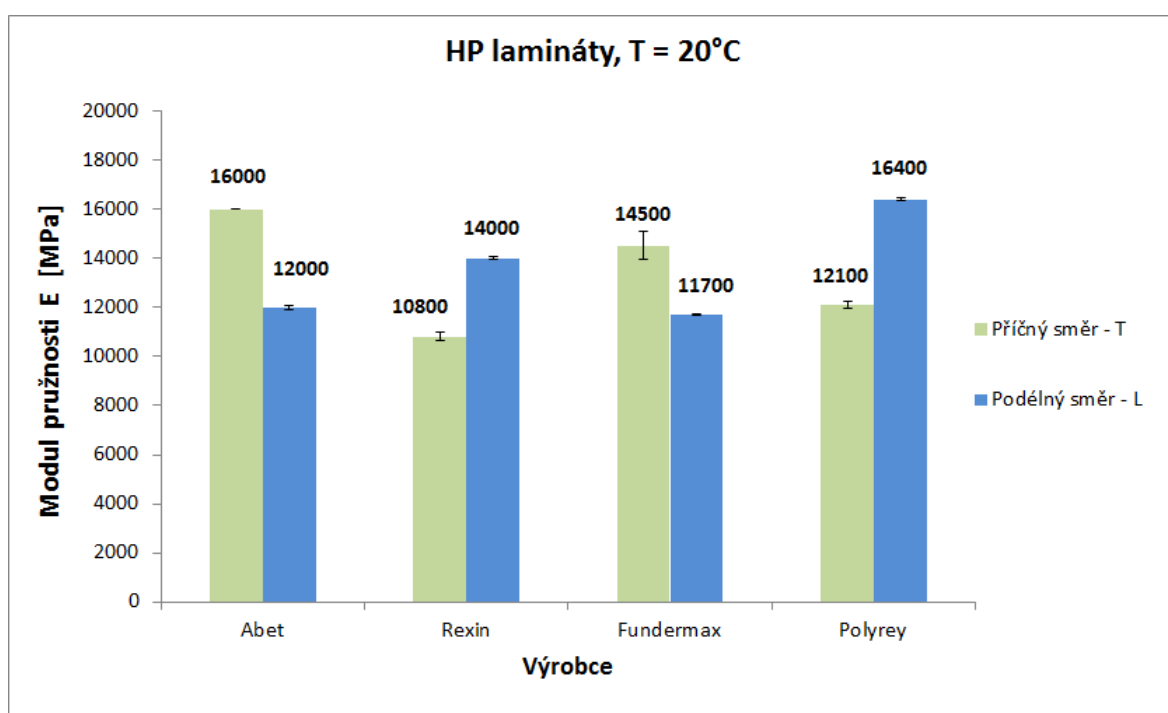
Fundermax - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	11700	125	1,07	4,03	20,07	79,09
s	101,00	4,19	0,05	0,06	0,08	1,80
v	0,86	3,35	4,84	1,58	0,41	2,27
δ	41,23	1,71	0,02	0,03	0,03	0,73

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

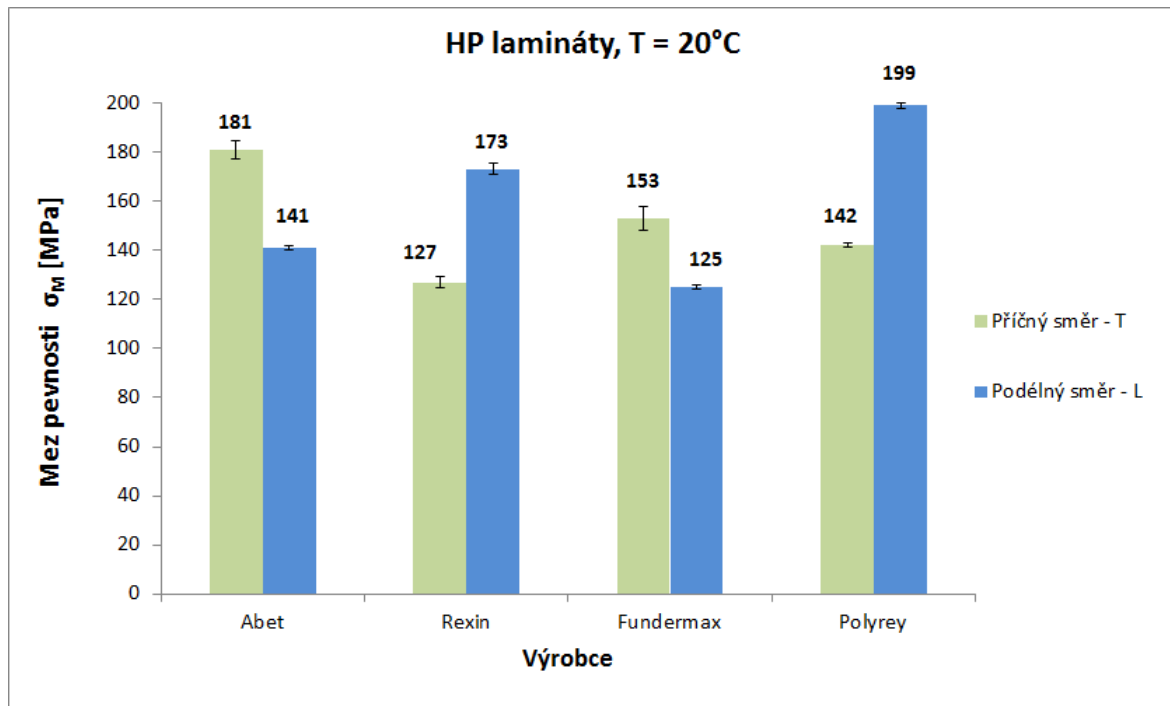
Tab. 18 Výrobce POLYREY – podélný směr L, $T = 20^{\circ}\text{C}$

Polyrey - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	16400	199	1,33	4,00	19,75	78,73
s	227,00	6,02	0,08	0,09	0,10	0,42
v	1,38	3,03	6,12	2,13	0,53	0,53
δ	92,67	2,46	0,03	0,03	0,04	0,17

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Graf 3 Modul pružnosti E pro HP lamináty při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$ 

Z naměřených hodnot modulu pružnosti E při teplotě 20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

Graf 4 Mez pevnosti σ_M pro HP lamináty při teplotě $T = 20^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot meze pevnosti σ_M při teplotě 20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.1.3 Naměřené hodnoty HP laminátů, $T = 60^\circ\text{C}$

Tab. 19 Výrobce ABET – příčný směr T, $T = 60^\circ\text{C}$

Abet - T	E	σ_M	ϵ_{fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13620	158	1,20	3,88	20,08	78,23
s	379,00	5,77	0,06	0,14	0,08	1,72
v	2,78	3,65	5,27	3,59	0,37	2,20
δ	154,73	2,36	0,03	0,06	0,03	0,70

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 20 Výrobce REXIN – příčný směr T , $T = 60^\circ\text{C}$

Rexin - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	10000	69,6	0,93	3,77	19,97	78,71
s	446,09	7,94	0,05	0,17	0,10	1,71
v	4,46	11,41	5,53	4,47	0,52	2,17
δ	182,12	3,24	0,02	0,07	0,04	0,70

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 21 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , $T = 60^\circ\text{C}$

Fundermax - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13600	119	1,07	4,05	20,08	79,70
s	285,77	16,81	0,15	0,09	0,08	2,25
v	2,10	14,13	14,11	2,34	0,37	2,82
δ	116,67	6,86	0,06	0,04	0,03	0,92

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 22 Výrobce POLYREY – příčný směr T , $T = 60^\circ\text{C}$

Polyrey - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	10200	112	1,23	4,00	19,70	79,53
s	164,32	5,24	0,08	0,07	0,09	1,62
v	1,61	4,68	6,62	1,82	0,45	2,03
δ	67,08	2,14	0,03	0,03	0,04	0,66

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 23 Výrobce ABET – podélný směr L , $T = 60^\circ\text{C}$

Abet - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	10100	127	1,23	3,95	20,10	79,62
s	132,92	4,22	0,05	0,07	0,09	1,01
v	1,32	3,32	4,19	1,77	0,44	1,27
δ	54,26	1,72	0,02	0,03	0,04	0,41

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 24 Výrobce REXIN – podélný směr L, $T = 60^{\circ}\text{C}$

Rexin - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	11700	121	1,38	3,97	20,00	79,28
s	1889,13	6,81	0,10	0,07	0,09	1,35
v	16,15	5,63	7,11	1,71	0,45	1,70
δ	771,23	2,78	0,04	0,03	0,04	0,55

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 25 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, $T = 60^{\circ}\text{C}$

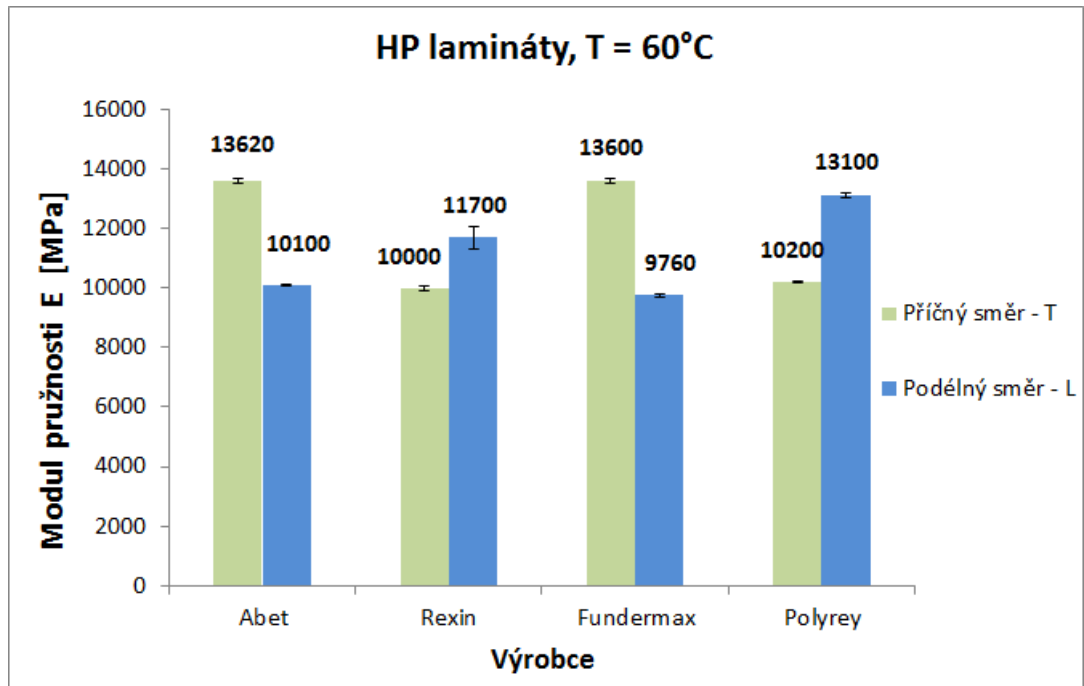
Fundermax - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	9760	92	1,10	4,02	20,08	78,47
s	244,95	6,09	0,09	0,08	0,08	1,75
v	2,51	6,62	8,13	1,92	0,37	2,23
δ	100,00	2,49	0,04	0,03	0,03	0,72

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

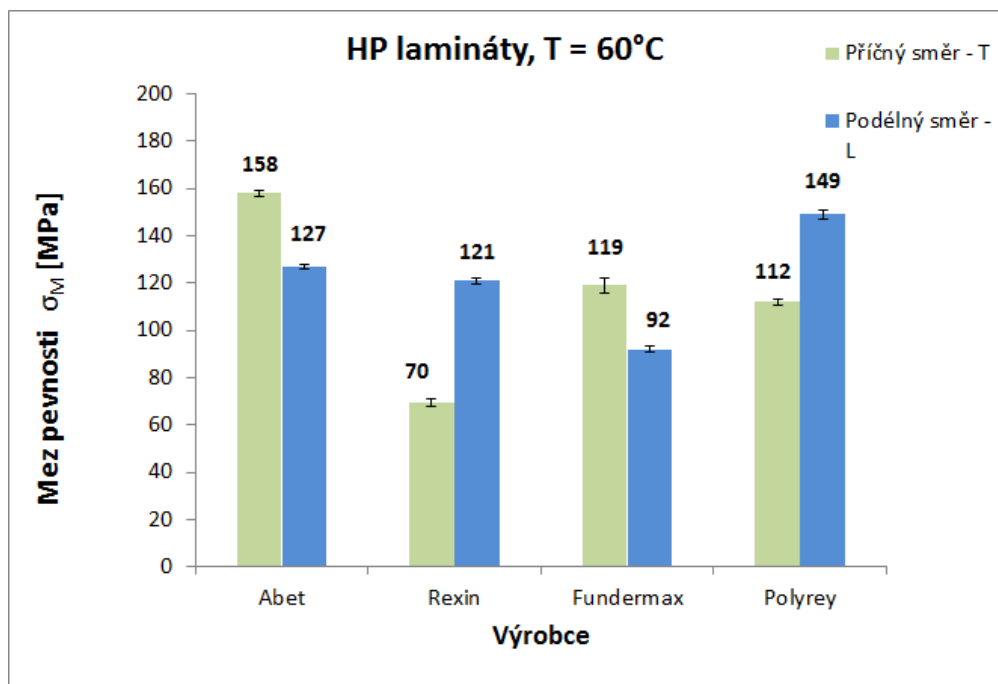
Tab. 26 Výrobce POLYREY – podélný směr L, $T = 60^{\circ}\text{C}$

Polyrey - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13100	149	1,38	3,97	19,80	78,14
s	384,71	8,87	0,08	0,10	0,21	2,28
v	2,94	5,95	5,44	2,59	1,06	2,92
δ	157,06	3,62	0,03	0,04	0,09	0,93

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Graf 5 Modul pružnosti E pro HP lamináty při teplotě $T = 60^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot modulu pružnosti E při teplotě 60°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

Graf 6 Mez pevnosti σ_M pro HP lamináty při teplotě $T = 60^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot meze pevnosti σ_M při teplotě 60°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.2 Naměřené hodnoty HP laminátů – tělesa po 1500h ve vodě

7.2.1 Naměřené hodnoty HP laminátů – 1500h ve vodě, T = -20°C

Tab. 27 Výrobce ABET – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = -20°C

Abet - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	15300	185	1,28	3,92	20,02	78,34
s	4076,15	48,36	0,16	0,11	0,08	1,62
v	26,64	26,14	12,48	2,78	0,38	2,07
δ	1664,08	19,74	0,07	0,04	0,03	0,66

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 28 Výrobce REXIN – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = -20°C

Rexin - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13800	140	1,03	3,77	20,07	78,32
s	200,00	4,07	0,05	0,16	0,08	1,40
v	1,45	2,91	5,00	4,15	0,41	1,79
δ	81,65	1,66	0,02	0,06	0,03	0,57

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 29 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = -20°C

Fundermax - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	17300	197	1,25	4,00	20,02	78,46
s	378,15	21,52	0,16	0,09	0,08	1,82
v	2,19	10,92	13,15	2,37	0,38	2,32
δ	154,38	8,79	0,07	0,04	0,03	0,74

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 30 Výrobce POLYREY – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Polyrey - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13800	161	1,25	4,02	19,82	78,01
s	318,85	10,42	0,10	0,14	0,12	1,33
v	2,31	6,47	8,39	3,58	0,59	1,70
δ	130,17	4,25	0,04	0,06	0,05	0,54

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 31 Výrobce ABET – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Abet - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	12600	169	1,38	3,88	20,08	78,38
s	1745,97	10,23	0,12	0,13	0,08	1,52
v	13,86	6,05	8,45	3,31	0,37	1,94
δ	712,79	4,18	0,05	0,05	0,03	0,62

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 32 Výrobce REXIN – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Rexin - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	15900	203	1,35	3,77	20,03	78,57
s	1082,59	17,28	0,10	0,16	0,10	2,93
v	6,81	8,51	7,77	4,23	0,52	3,73
δ	441,97	7,06	0,04	0,06	0,04	1,20

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 33 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$

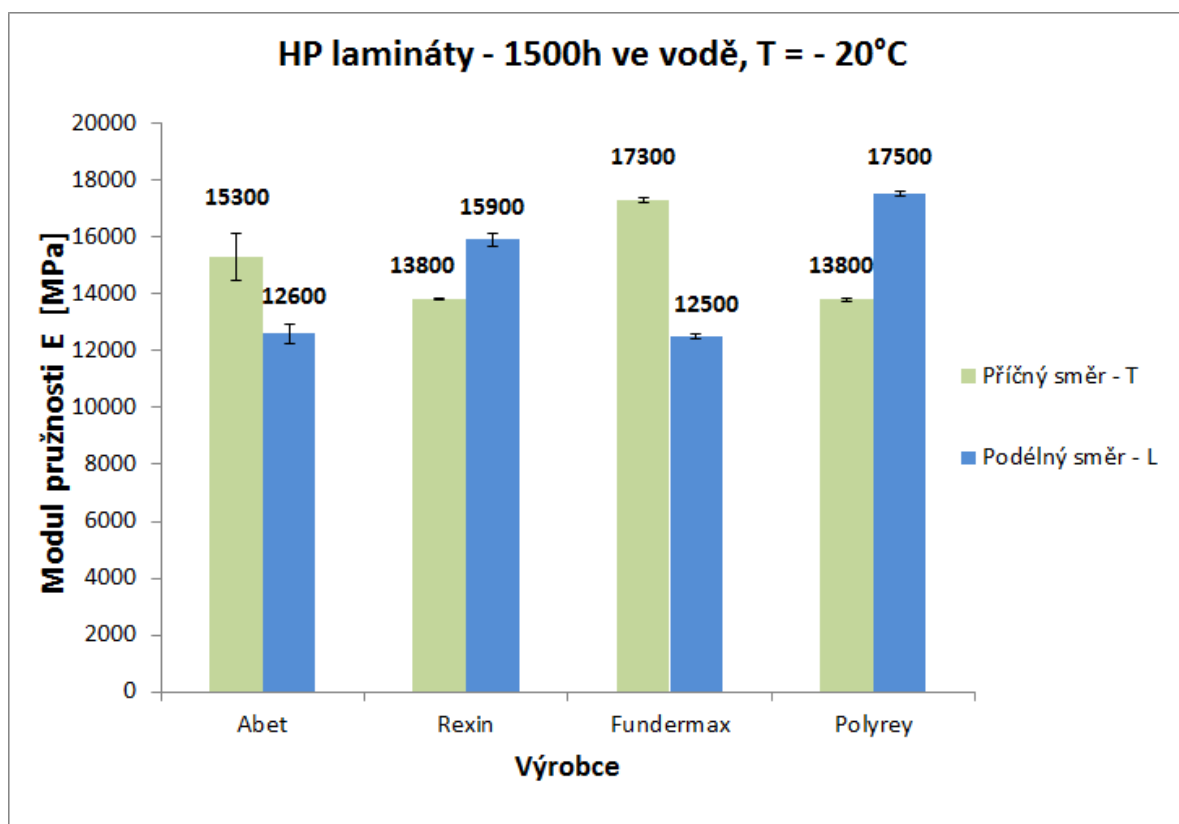
Fundermax - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	12500	163	1,38	3,97	20,08	80,13
s	404,97	5,28	0,08	0,08	0,08	1,63
v	3,24	3,24	5,44	2,00	0,37	2,04
δ	165,33	2,16	0,03	0,03	0,03	0,67

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

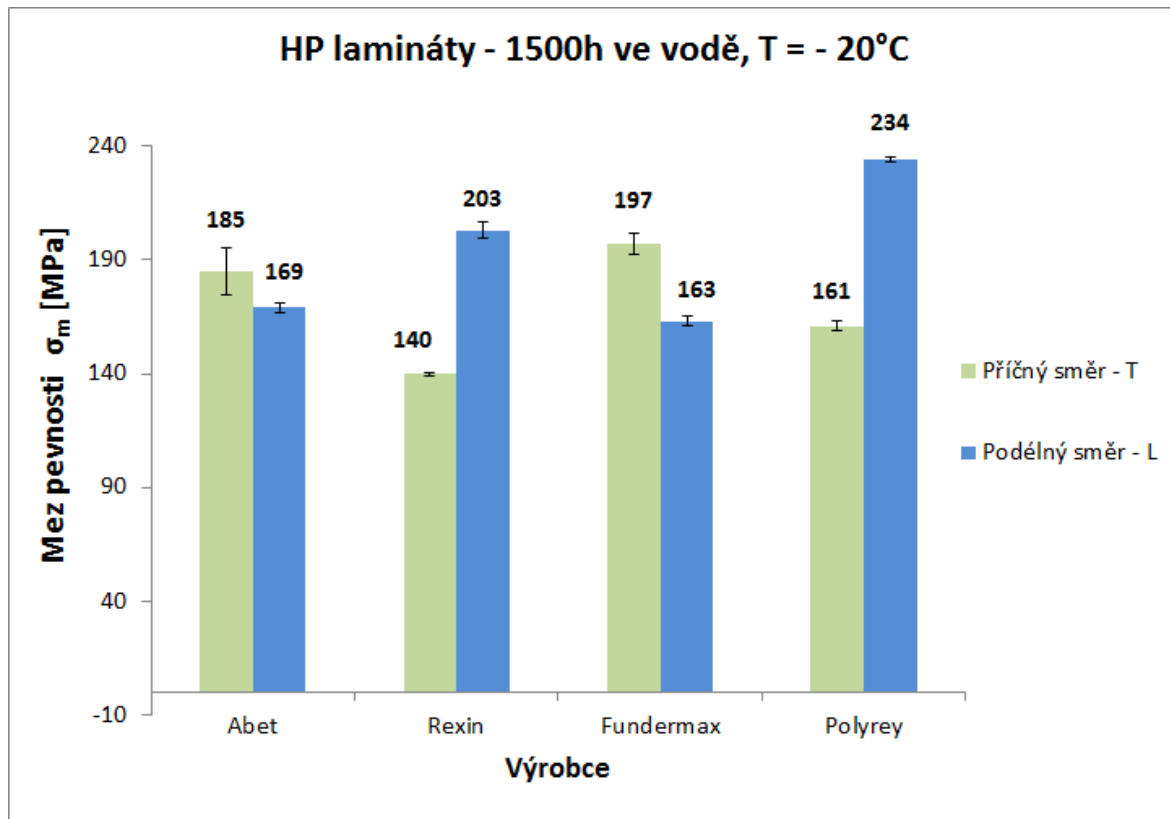
Tab. 34 Výrobce POLYREY – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$

Polyrey - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	17500	234	1,53	4,05	19,90	80,60
s	432,05	6,28	0,05	0,05	0,09	1,28
v	2,47	2,69	3,37	1,35	0,45	1,59
δ	176,38	2,57	0,02	0,02	0,04	0,52

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Graf 7 Modul pružnosti E pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = -20^{\circ}\text{C}$ 

Z naměřených hodnot zkušebních těl ponořených na 1500h ve vodě pro modul pružnosti E při teplotě -20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin i Polyrey a nejvyšší hodnoty materiál Fundermax. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

Graf 8 Mez pevnosti σ_M pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = -20^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot meze pevnosti σ_m při teplotě -20°C vyplývá, že v příčném směru

dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Fundermax.

V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.2.2 Naměřené hodnoty HP laminátů – 1500h ve vodě, $T = 20^\circ\text{C}$

Tab. 35 Výrobce ABET – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 20^\circ\text{C}$

Abet - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	16100	172	1,50	3,90	20,08	78,57
s	365,00	6,53	0,20	0,12	0,08	1,91
v	2,27	3,80	13,33	2,95	0,37	2,43
δ	149,01	2,67	0,08	0,05	0,03	0,78

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 36 Výrobce REXIN – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = 20°C

Rexin - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	11500	108	0,70	3,80	20,07	79,06
s	462,00	7,75	0,06	0,14	0,14	2,92
v	4,02	7,18	9,04	3,70	0,68	3,70
δ	188,61	3,16	0,03	0,06	0,06	1,19

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 37 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = 20°C

Fundermax - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	14800	154	0,93	4,02	20,03	78,99
s	281,00	16,80	0,05	0,07	0,05	1,59
v	1,90	10,91	5,53	1,65	0,26	2,01
δ	114,72	6,86	0,02	0,03	0,02	0,65

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 38 Výrobce POLYREY – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = 20°C

Polyrey - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	11900	143	1,20	4,02	19,83	79,11
s	138,00	5,20	0,06	0,12	0,10	1,71
v	1,16	3,64	5,27	2,86	0,52	2,16
δ	56,34	2,12	0,03	0,05	0,04	0,70

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 39 Výrobce ABET – podélný směr L, 1500h ve vodě, T = 20°C

Abet - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	11500	133	1,57	3,98	20,07	79,02
s	124,00	4,33	0,08	0,13	0,10	1,43
v	1,08	3,26	5,21	3,33	0,51	1,81
δ	50,62	1,77	0,03	0,05	0,04	0,58

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 40 Výrobce REXIN – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$

Rexin - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	10100	140	1,08	3,78	20,03	78,34
s	1880,00	6,54	0,12	0,15	0,08	1,75
v	18,61	4,67	10,79	3,94	0,41	2,24
δ	767,51	2,67	0,05	0,06	0,03	0,72

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 41 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$

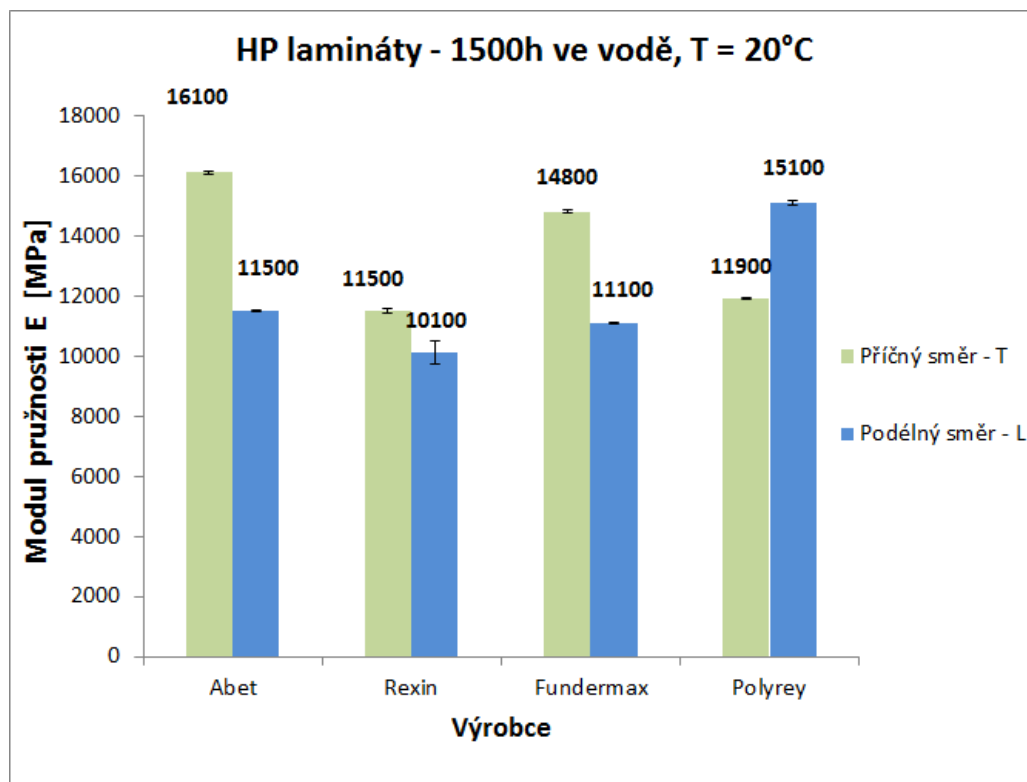
Fundermax - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	11100	120	1,07	4,03	20,07	78,47
s	222,00	6,14	0,05	0,11	0,08	1,64
v	2,00	5,12	4,84	2,75	0,41	2,09
δ	90,63	2,51	0,02	0,05	0,03	0,67

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

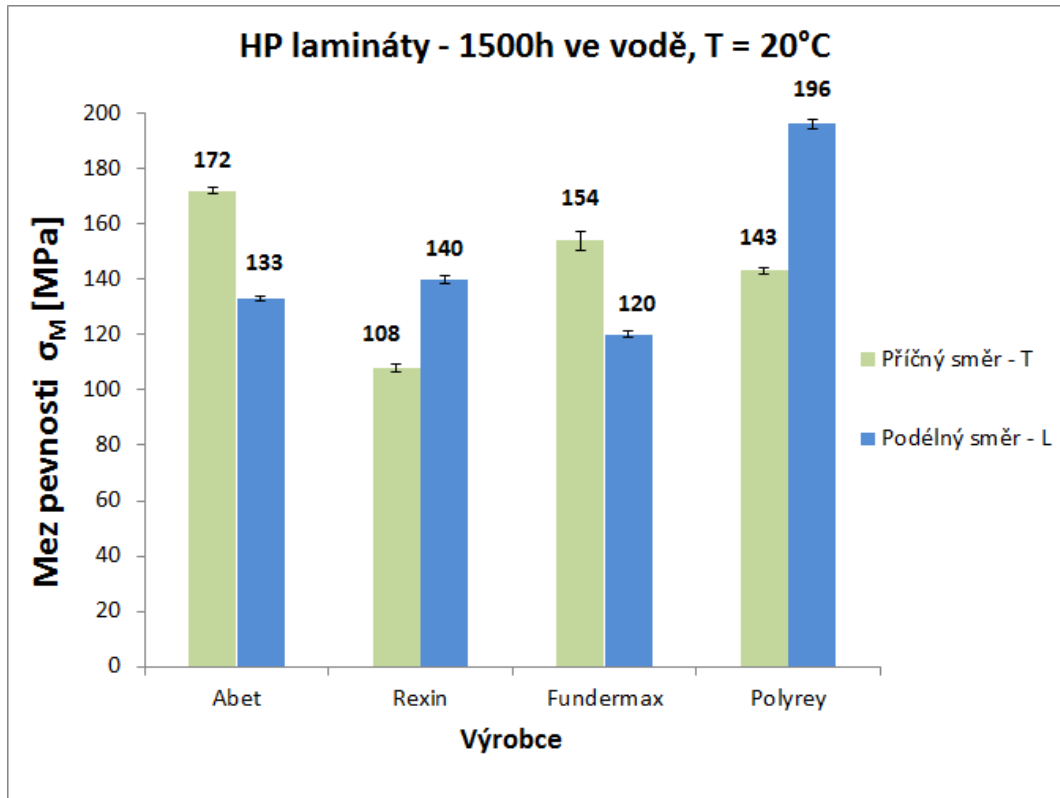
Tab. 42 Výrobce POLYREY – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$

Polyrey - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	15500	196	1,25	4,02	19,68	78,23
s	384,00	8,66	0,05	0,12	0,08	2,26
v	2,48	4,42	4,38	3,00	0,38	2,89
δ	156,77	3,54	0,02	0,05	0,03	0,92

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Graf 9 Modul pružnosti E pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 20^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot zkušebních těles ponořených na 1500h ve vodě pro modul pružnosti E při teplotě 20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

Graf 10 Mez pevnosti σ_M pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 20^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot zkušebních těles ponořených na 1500h ve vodě pro mez pevnosti σ_M při teplotě 20°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.2.3 Naměřené hodnoty HP laminátů – 1500h ve vodě, $T = 60^\circ\text{C}$

Tab. 43 Výrobce ABET – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 60^\circ\text{C}$

Abet - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13800	156	1,32	3,95	20,14	78,99
s	441,00	5,43	0,10	0,12	0,08	2,30
v	3,20	3,48	7,47	2,96	0,40	2,91
δ	180,04	2,22	0,04	0,05	0,03	0,94

Kde: s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – střední kvadratická chyba

Tab. 44 Výrobce REXIN – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = 60°C

Rexin - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	9300	85,9	0,92	3,80	20,05	78,95
s	620,00	4,51	0,04	0,14	0,10	1,75
v	6,67	5,25	4,45	3,71	0,52	2,22
δ	253,11	1,84	0,02	0,06	0,04	0,71

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 45 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = 60°C

Fundermax - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	13300	120	0,92	4,01	20,03	78,77
s	213,00	8,16	0,04	0,07	0,08	1,52
v	1,60	6,80	4,45	1,86	0,41	1,93
δ	86,96	3,33	0,02	0,03	0,03	0,62

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 46 Výrobce POLYREY – příčný směr T, 1500h ve vodě, T = 60°C

Polyrey - T	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	9440	117	1,43	4,00	19,90	78,90
s	553,00	5,93	0,21	0,12	0,11	2,00
v	5,86	5,07	14,41	2,89	0,55	2,54
δ	225,76	2,42	0,08	0,05	0,04	0,82

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 47 Výrobce ABET – podélný směr L, 1500h ve vodě, T = 60°C

Abet - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	9510	118	1,65	3,98	20,05	79,14
s	421,00	6,89	0,10	0,17	0,10	1,71
v	4,43	5,84	6,36	4,17	0,52	2,16
δ	171,87	2,81	0,04	0,07	0,04	0,70

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 48 Výrobce REXIN – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$

Rexin - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	12100	117	1,00	3,73	20,02	78,79
s	912,00	6,33	0,09	0,19	0,08	1,34
v	7,54	5,41	8,94	5,20	0,38	1,71
δ	372,32	2,58	0,04	0,08	0,03	0,55

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Tab. 49 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$

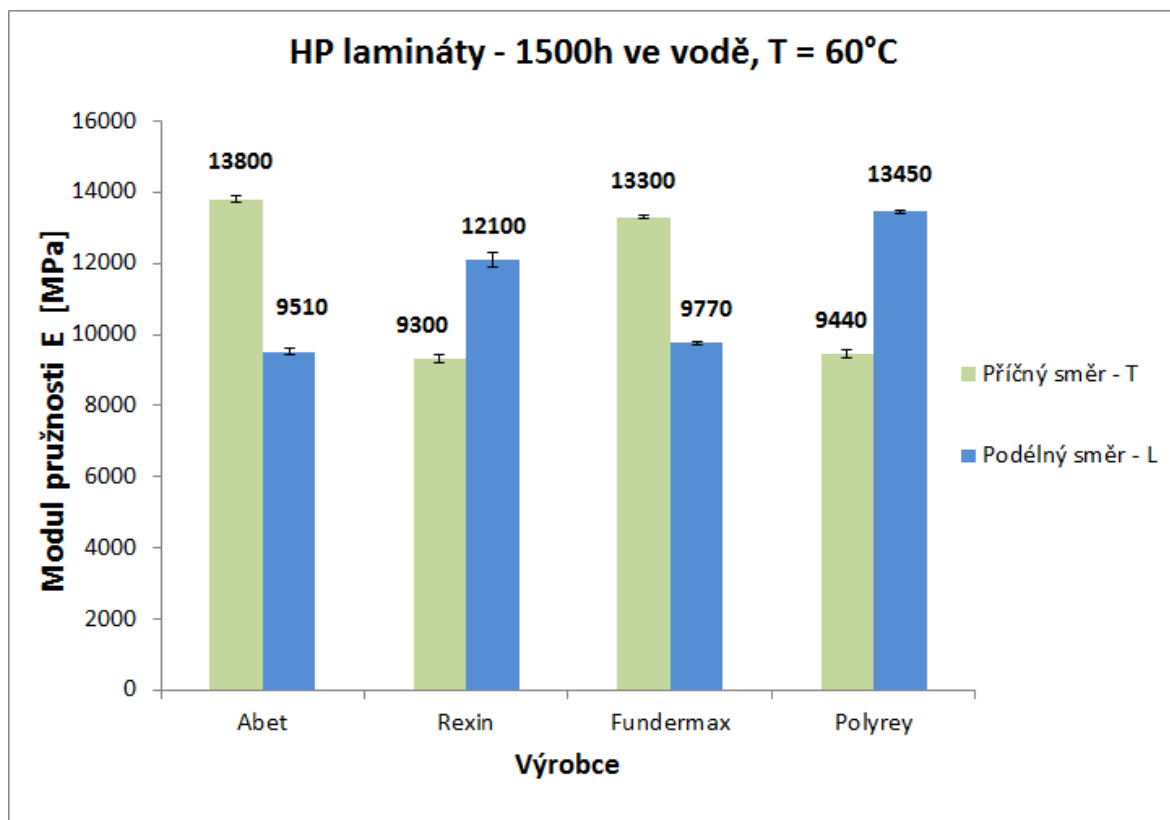
Fundermax - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}	9770	87,6	0,93	4,08	20,10	79,10
s	234,00	3,35	0,05	0,11	0,09	2,32
v	2,40	3,82	5,53	2,79	0,44	2,93
δ	95,53	1,37	0,02	0,05	0,04	0,95

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

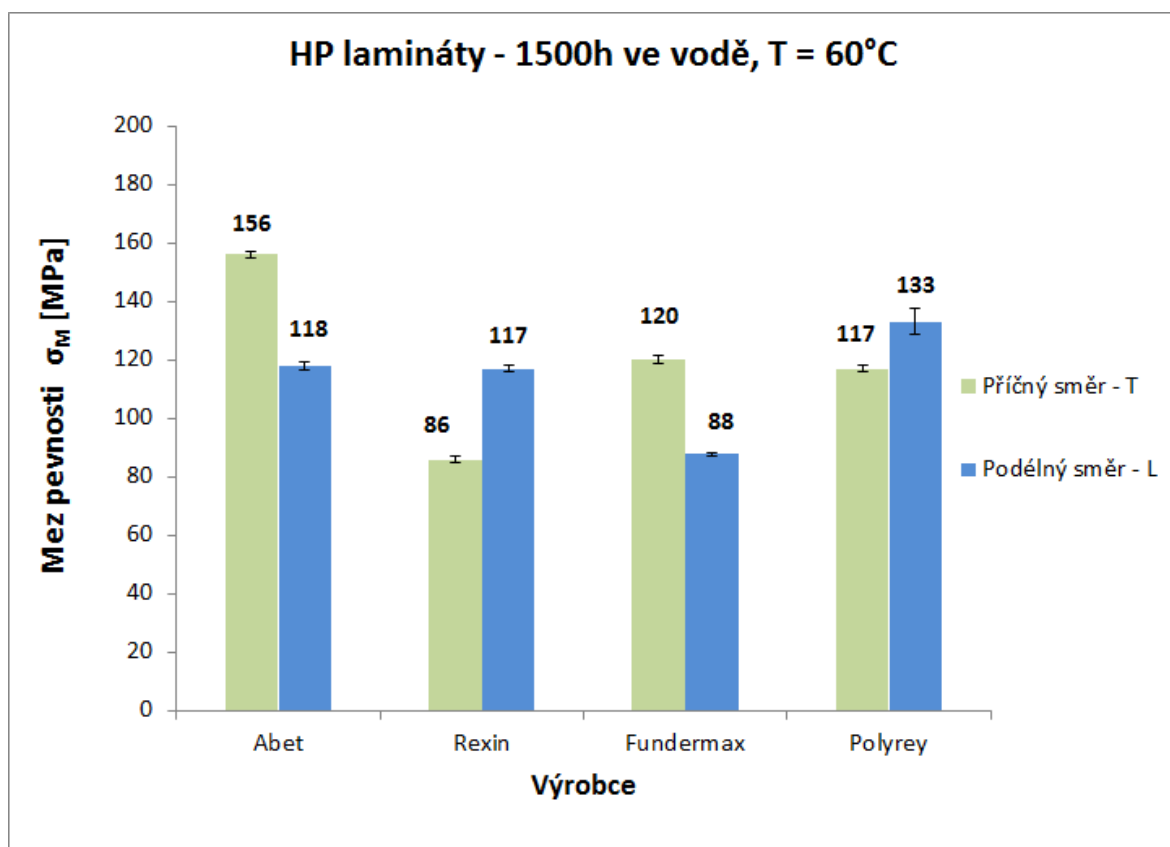
Tab. 50 Výrobce POLYREY – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$

Polyrey - L	E	σ_M	ϵ_{Fm}	a	b	S
n = 6	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[mm]	[mm]	[mm ²]
\bar{X}						
s	13450	133	1,03	4,03	19,90	78,23
v	181,00	22,20	0,20	0,12	0,13	0,82
δ	1,35	16,69	19,03	2,92	0,64	1,04
δ	73,89	9,06	0,08	0,05	0,05	0,33

Kde: \bar{X} – aritm. průměr, s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měř.

Graf 11 Modul pružnosti E pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 60^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot zkušebních těles ponořených na 1500h ve vodě pro modul pružnosti E při teplotě 60°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Abet nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

Graf 12 Mez pevnosti σ_M pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 60^\circ\text{C}$ 

Z naměřených hodnot zkušebních těles ponořených na 1500h ve vodě pro mez pevnosti σ_M při teplotě 60°C vyplývá, že v příčném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Rexin a nejvyšší hodnoty materiál Abet. V podélném směru dosáhl nejnižší hodnoty materiál Fundermax a nejvyšší hodnotu dosáhl materiál Polyrey. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.3 Vyhodnocení vlivu teploty a prostředí na mechanické vlastnosti HP laminátů

Z naměřených hodnot modulu pružnosti E a meze pevnosti σ_M je zřejmé, že nejnižších hodnot dosahují HP lamináty při teplotě 60°C . Mechanické vlastnosti zjištěné při této teplotě budou tedy z důvodu bezpečnosti použity jako materiálové charakteristiky pro pevnostní analýzu, které se budeme dále věnovat v praktické části.

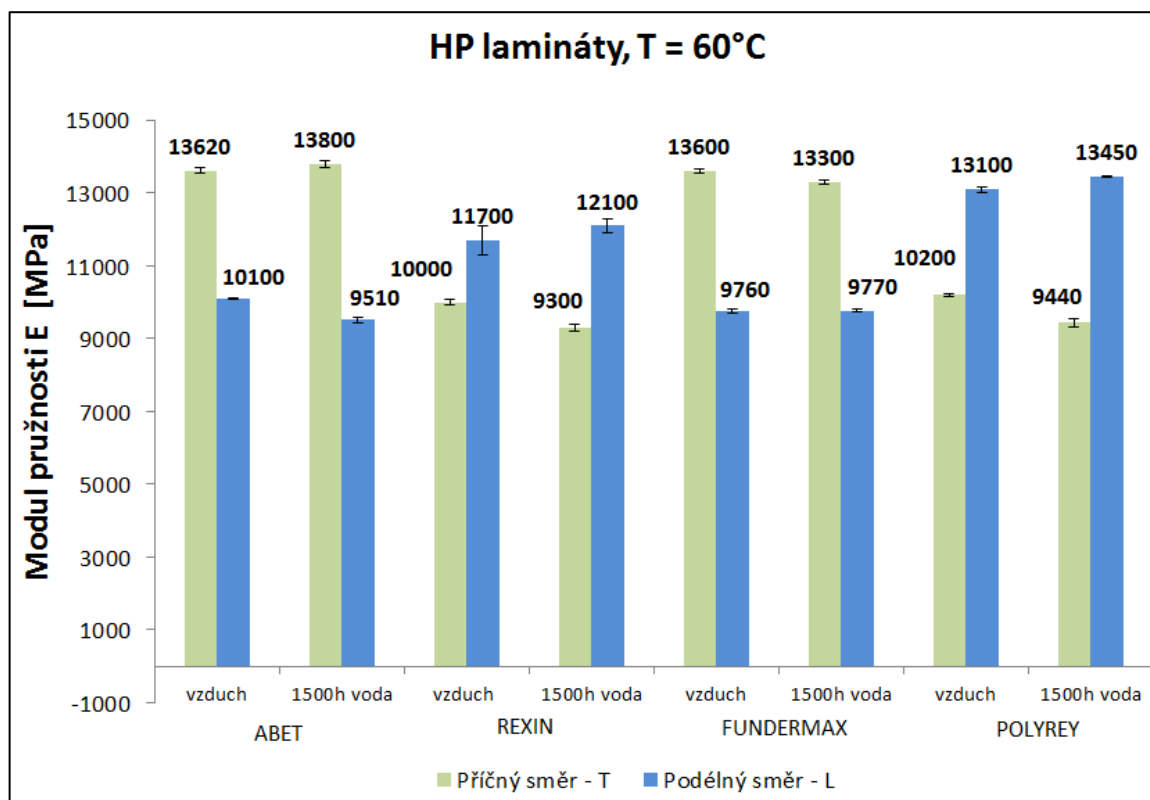
7.3.1 Vyhodnocení vlivu teploty a prostředí na modul pružnosti E při teplotě $T = 60^{\circ}\text{C}$

Tab. 51 Vliv prostředí na modul pružnosti E – podélný, příčný směr, $T = 60^{\circ}\text{C}$

Výrobce	Prostředí	příčný směr - T	s	v	δ	podélný směr - L	s	v	δ
		E [Mpa]				E [Mpa]			
ABET	vzduch	13620	379	2,78	154,73	10100	132,92	1,32	54,26
	1500h voda	13800	441	3,2	180,04	9510	421	4,43	171,87
REXIN	vzduch	10000	446,09	4,46	182,12	11700	1889,1	16,15	771,23
	1500h voda	9300	620	6,67	253,11	12100	912	7,54	372,32
FUNDERMAX	vzduch	13600	285,77	2,1	116,67	9760	244,95	2,51	100
	1500h voda	13300	213	1,6	87	9770	234	2,4	95,53
POLYREY	vzduch	10200	164,32	1,61	67,08	13100	384,71	2,94	157,06
	1500h voda	9440	553	5,86	225,76	13450	181	1,35	73,89

Kde: s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měření

Graf 13 Vliv prostředí na modul pružnosti E – podélný, příčný směr, $T = 60^{\circ}\text{C}$



Při srovnání zjištěných hodnot modulu pružnosti E pro vzorky nevystavené vodě a vzorky ponořené na 1500h do vody vyplývá z grafu, že hodnoty E materiálů vystavených vodě jsou nižší než hodnoty materiálu nevystaveného vlhkosti. Proto budeme v následující pevnostní analýze používat hodnoty vzorků po 1500h ve vodě. Také je zřejmé, že vzorky narezány v příčném směru dosahují vyšších hodnot než vzorky řezány v podélném směru. V grafu jsou znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

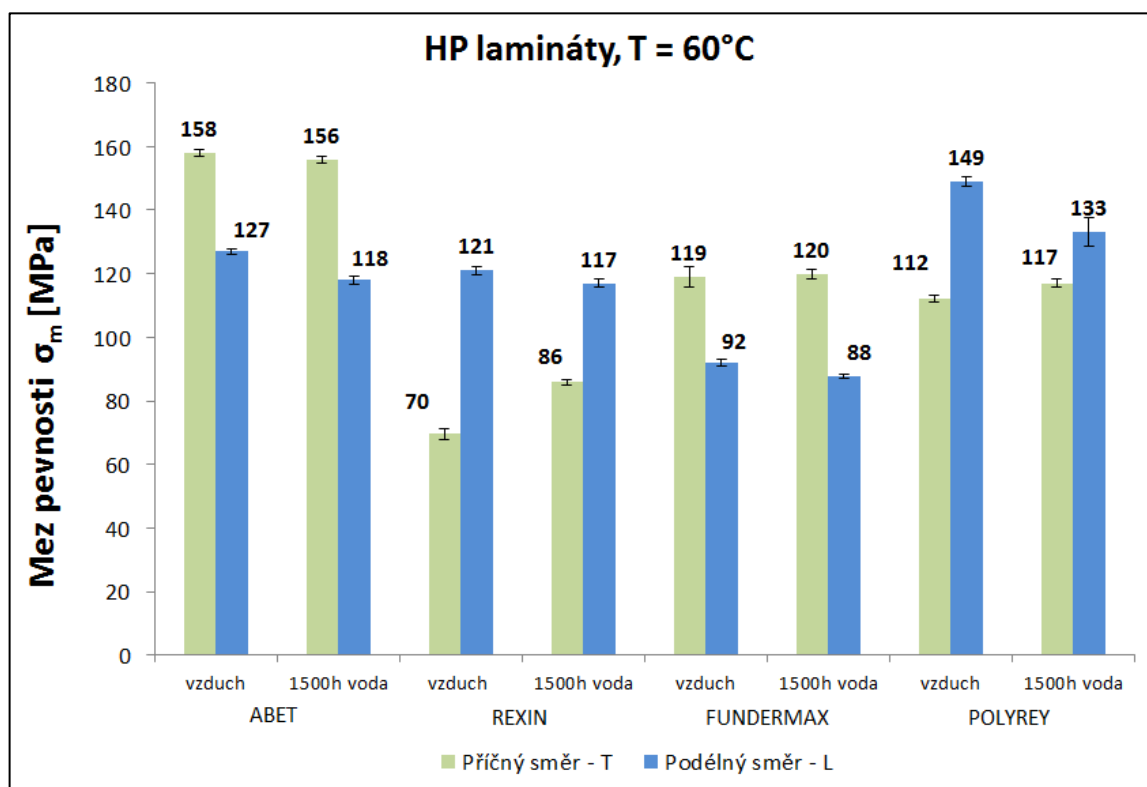
Nejlepšího výsledku dosáhl materiál italského výrobce ABET.

Tab. 52 Vliv prostředí na mez pevnosti σ_M – podélný, příčný směr, $T = 60^\circ\text{C}$

Kde: s – směrodatná odchylka, v – variační koef., δ – nejistota měření

Výrobce	Prostředí	příčný směr - T	s	v	δ	podélný směr - L	s	v	δ
		σ_M [Mpa]				σ_M [Mpa]			
ABET	vzduch	158	5,77	3,65	2,36	127	4,22	3,32	1,72
	1500h voda	156	5,43	3,48	2,22	118	6,89	5,84	2,81
REXIN	vzduch	70	7,94	11,41	3,24	121	6,81	5,63	2,78
	1500h voda	86	4,51	5,25	1,84	117	6,33	5,41	2,58
FUNDERMAX	vzduch	119	16,81	14,13	6,86	92	6,09	6,62	2,49
	1500h voda	120	8,16	6,8	3,33	87,6	3,35	3,82	1,37
POLYREY	vzduch	112	5,24	4,68	2,14	149	8,87	5,95	3,62
	1500h voda	117	5,93	5,07	2,42	133	22,2	16,69	9,06

Graf 14 Vliv prostředí na mez pevnosti σ_M – podélný, příčný směr, $T = 60^\circ\text{C}$



Při srovnání zjištěných hodnot meze pevnosti σ_M pro vzorky nevystavené vodě a vzorky ponořené na 1500h do vody vyplývá z grafu, že hodnoty σ_M materiálů vystavených vodě jsou převážně nižší než hodnoty materiálu nevystaveného vlhkosti. Proto budeme v následující pevnostní analýze pomocí metody konečných prvků používat hodnoty vzorků po 1500h ve vodě. Také je zřejmé, že vzorky nařezány v příčném směru dosahují vyšších

hodnot než vzorky řezány v podélném směru. V grafu jsou také znázorněny chybové úsečky odpovídající střední kvadratické chybě.

7.4 Volba materiálu pro výrobu desky šoupátka

Dle naměřených hodnot modulu pružnosti E a meze pevnosti σ_M s ohledem na hodnoty při zvýšené teplotě a změny mechanických vlastností při styku HP laminátu s vodou se jeví jako nejvhodnější materiál pro výrobu desky šoupátka materiál od italského výrobce Abet.

7.5 Pevnostní analýza

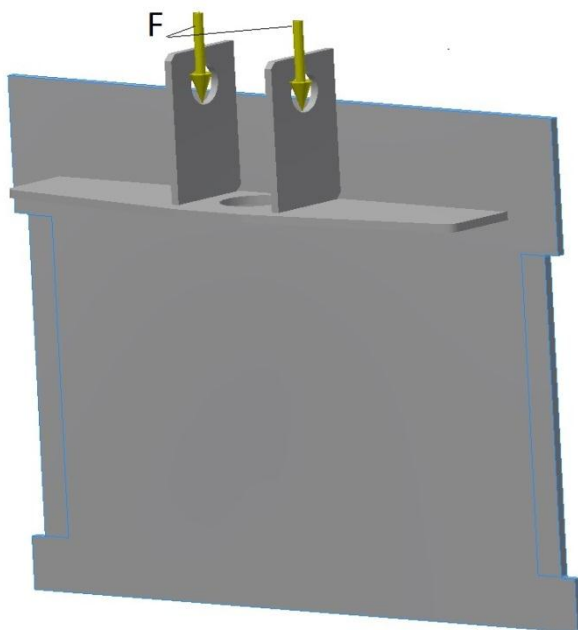
Dle materiálových charakteristik byla provedena pevnostní analýza pomocí metody konečných prvků v programu Autodesk Inventor Professional – Simulation.

7.5.1 Pevnostní analýza – původní rozměry součástí

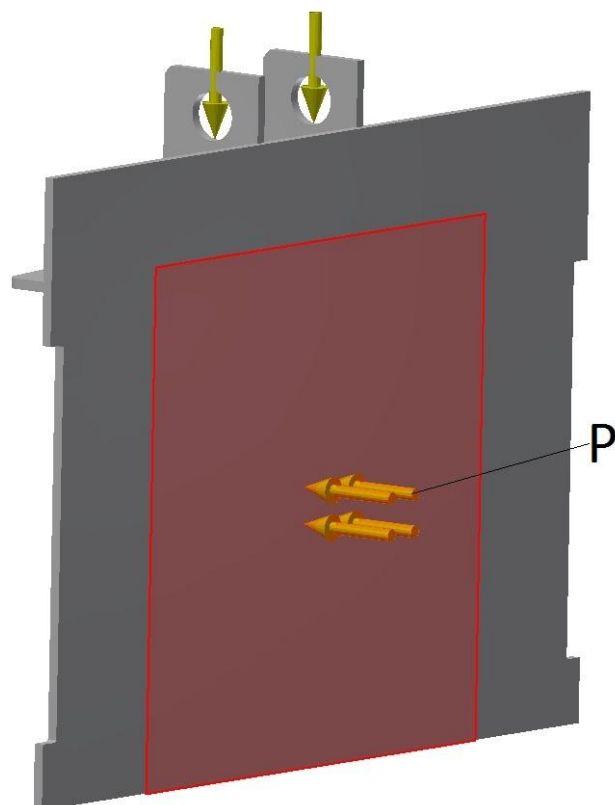
Jelikož jedním z požadavků pro novou konstrukci desky z HP laminátu je použití stávajících rozměrů součástí vyrobených z ocelového plechu, byl proveden pevnostní výpočet pro stávající rozměry plechové desky s mechanickými vlastnostmi HP laminátu. Deska šoupátka je zatěžována, jak axiální silou vyvozenou od vřetenové matice, tak tlakem kapaliny ze zadní strany desky. Velikost síly od vřetenové matice je $F = 6220\text{N}$ Obr. 26. Tlak kapaliny je $P = 0,06\text{ Mpa}$ Obr. 27. Místa kde se deska opírá o rám vřetenového šoupátka znázorňuje Obr. 28.

Tab. 53 Hodnoty materiálu ABET pro pevnostní analýzu

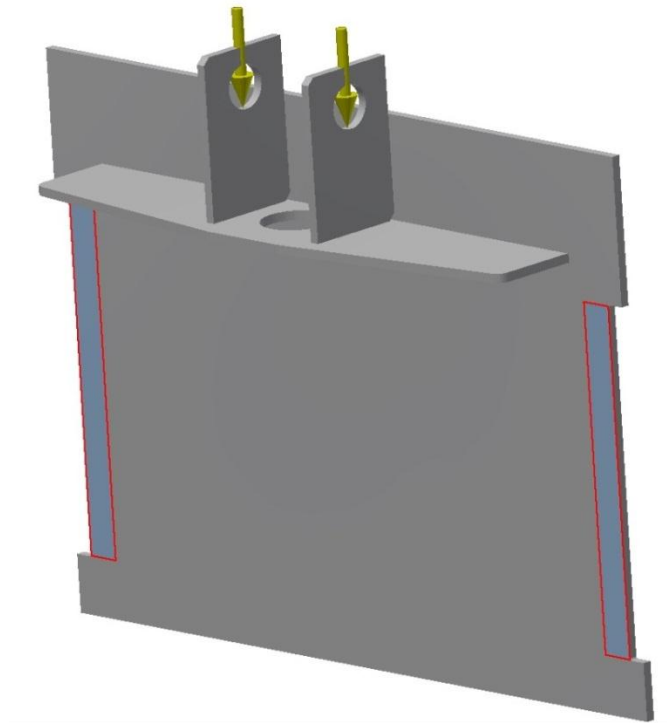
Youngův modul pružnosti E [Mpa]	Poissonova konstanta	Mez pevnosti σ_m [Mpa]
13800	0,40	156



Obr. 26 Zatěžující síla F – od vřetenové matice



Obr. 27 Působení tlaku P

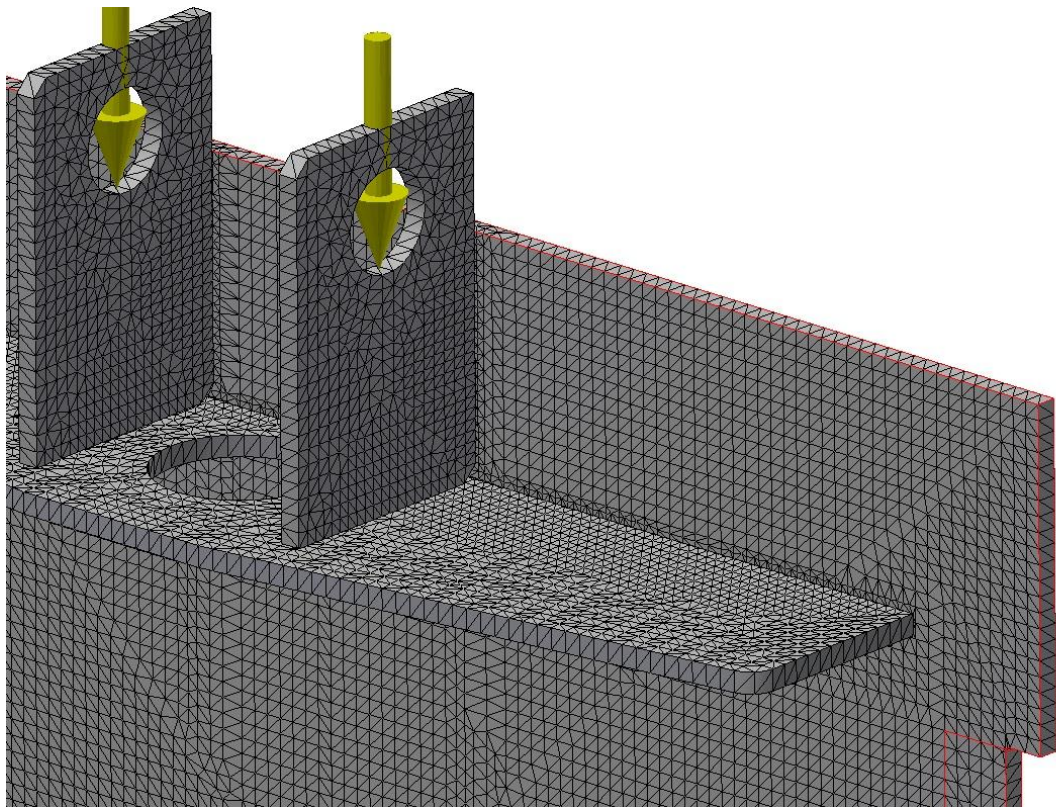


Obr. 28 Opěrná místa na desce – pevná vazba

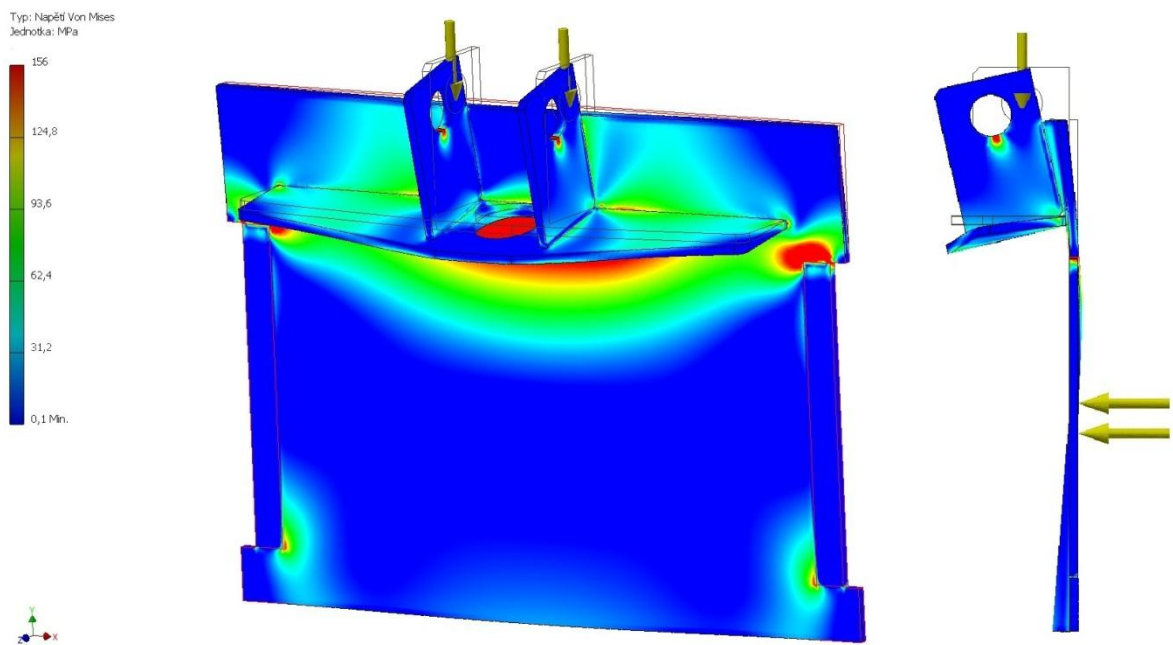
7.5.2 Výsledky pevnostní analýzy – Návrh č. 1, původní rozměry součástí

Při vyhodnocení této analýzy bylo zjištěno, že deska z HP laminátu Abet při dodržení původních rozměrů nevydrží zatížení. Z Obr. je patrné, že v místech označených červeně je napětí místy i vyšší než je hodnota meze pevnosti daného materiálu, v těchto místech by tedy došlo k porušení materiálu a návrh je tedy nevyhovující.

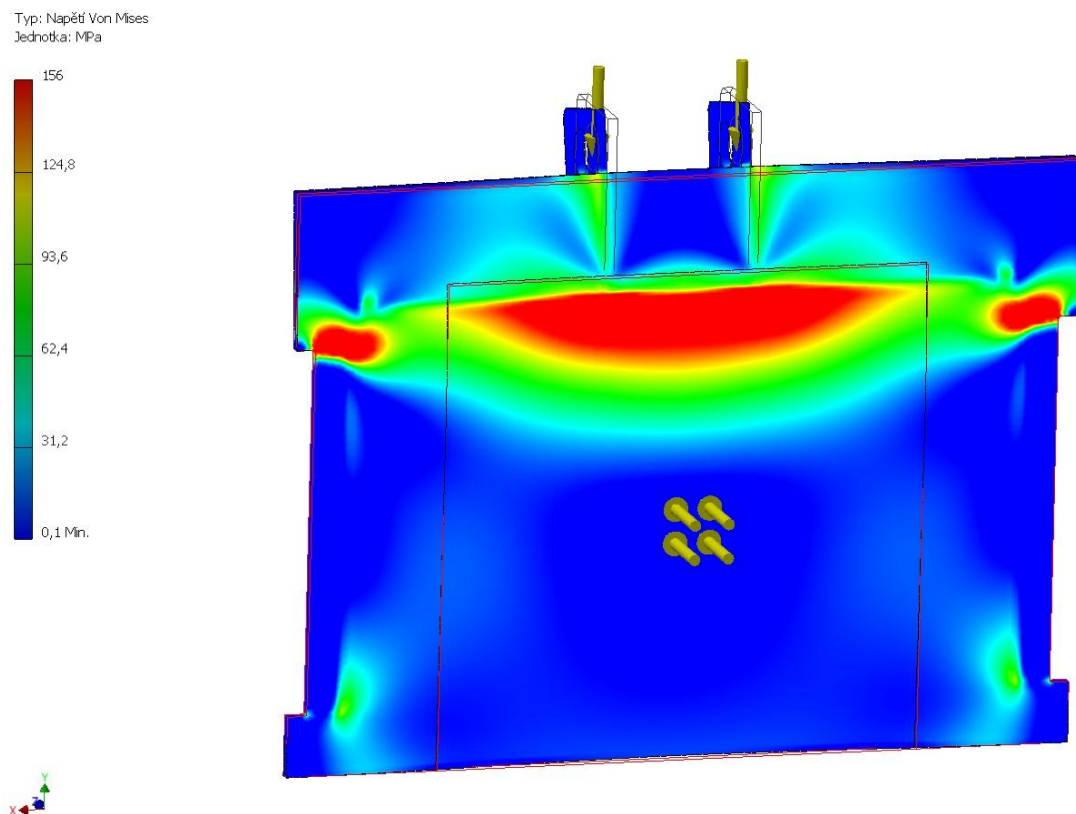
Pro co nejpřesnější výpočet je nutné zvolit optimální velikost elementů sítě. Hustotu sítě návrhu č. 1 znázorňuje Obr. 19.



Obr. 29 Hustota sítě návrhu č. 1



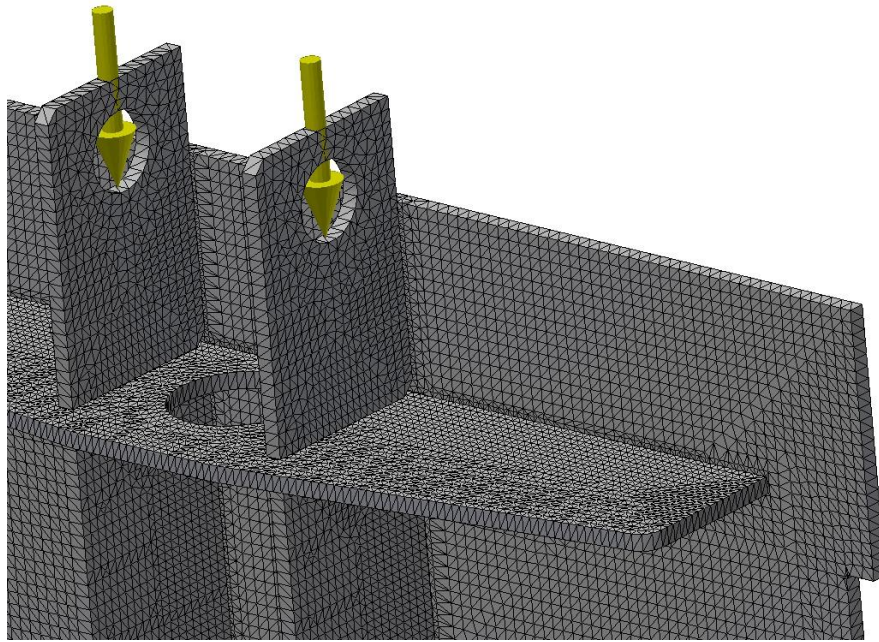
Obr. 30 Návrh č. 1 - Von Misesovo napětí – čelní + boční pohled



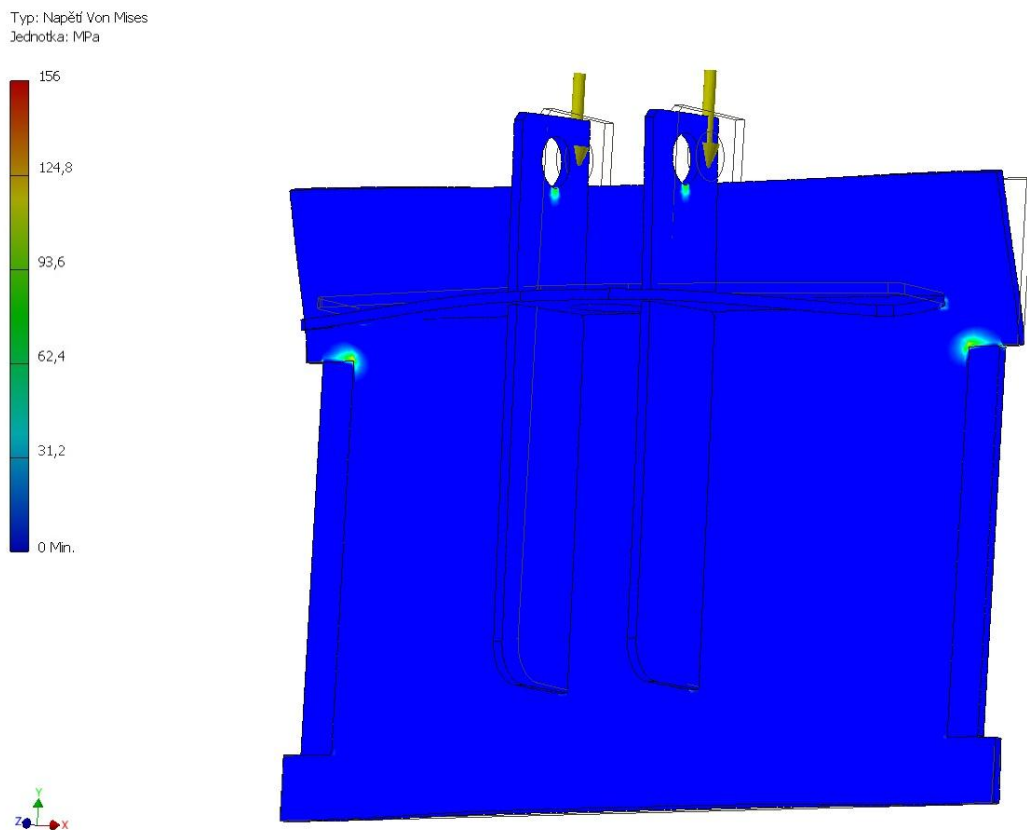
Obr. 31 Návrh č. 1 - Von Misesovo napětí – zadní pohled

7.5.3 Návrh č. 2 - vystužení desky pomocí žeber

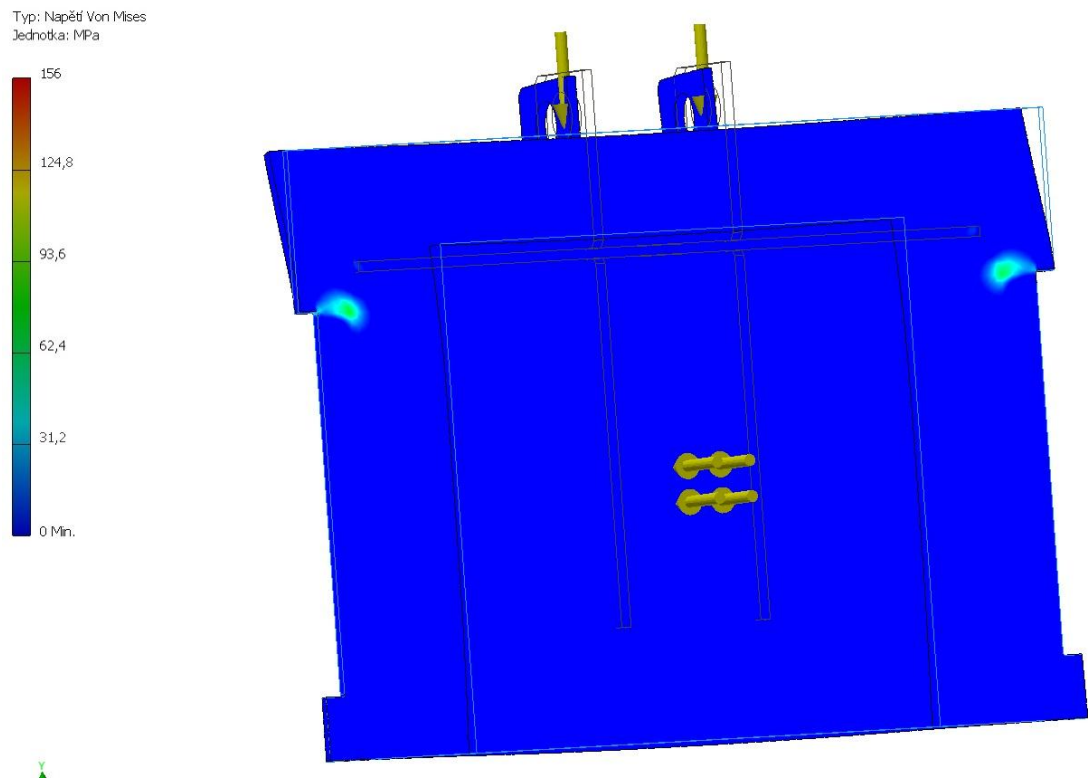
Pro vhodnější rozložení napětí bylo navrženo vystužení desky pomocí dvou jednoduchých žeber. Takto vystužená deska by měla lépe odolávat zatížení od axiální síly způsobené vřetenovou maticí a také působení tlaku kapaliny na zadní stranu desky. Vstupní hodnoty pevnostní analýzy byly zadány stejné jako u návrhu č. 1.



Obr. 32 Návrh č. 2 – Hustota sítě

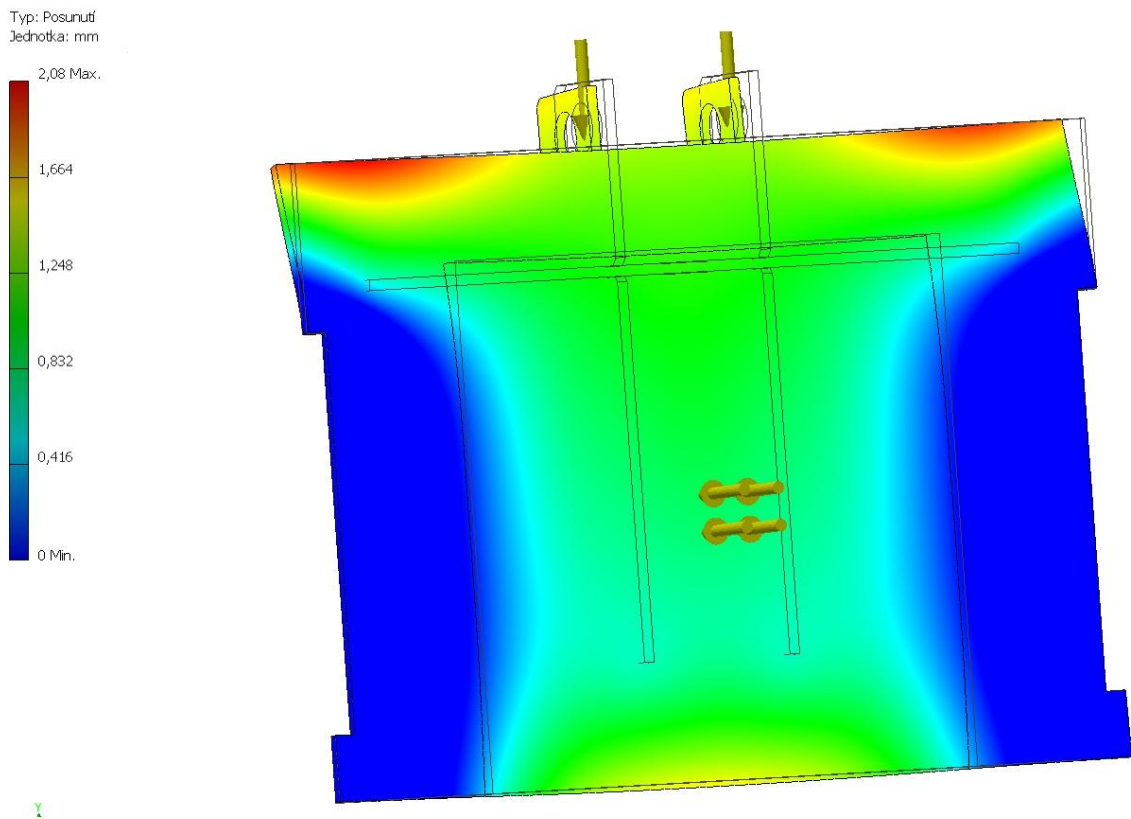


Obr. 33 Návrh č. 2 - Von Misesovo napětí – přední pohled



Obr. 34 Návrh č. 2 - Von Misesovo napětí – zadní pohled

Hodnoty celkových deformací znázorňují následující obrázky. Pro praktické využití jsou pro posouzení důležité hodnoty po obvodu vyznačené plochy zatížené tlakem. Dle praktických zkušeností je známo, že těsnění pužité u tohoto typu šoupátka zvládá vymežit deformaci do 4mm. Z obrázků vyplívá, že v požadované oblasti jsou deformace menší než 1,5mm tzn. návrh č. 2 je vyhovující.

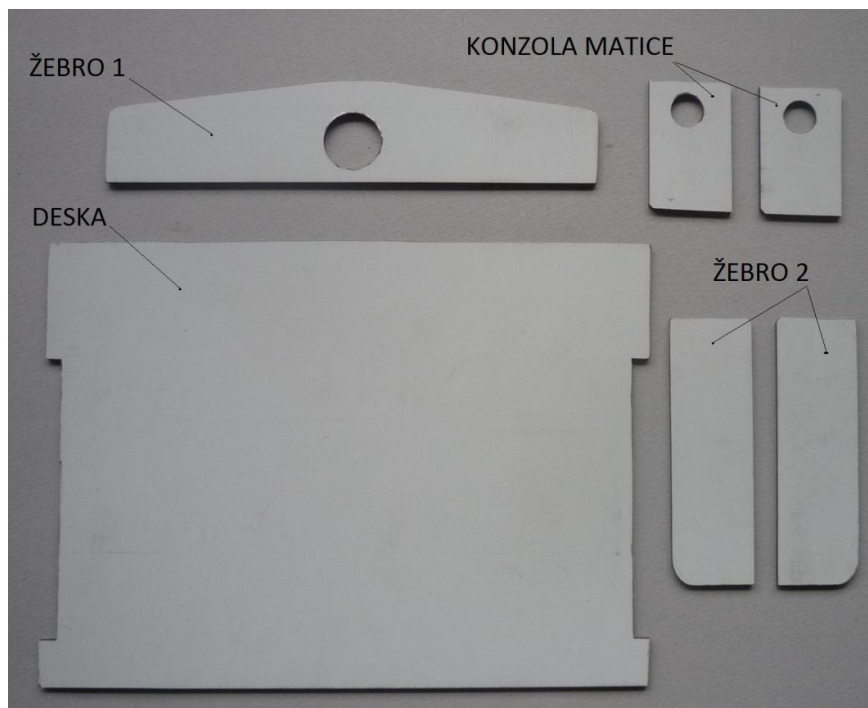


Obr. 35 Návrh č. 2 – Velikost deformace

Dle zjištěných hodnot Von Misesova napětí, které byly vždy menší než nastavená mez pevnosti a velikostí deformace můžeme dle návrhu č. 2 vyrobit zkušební desku, poté namontovat do rámu šoupátka a ověřit její funkci zkouškou těsnosti.

7.6 Výroba desky z HP laminátu

Dle přiložené výkresové dokumentace byly postupně vyřezány jednotlivé součásti sestavy – deska, konzola matice, žebro 1 a žebro 2. Při výrobě součástí byla použita přímočará pila, pro sražení hran byla použita ruční kotoučová bruska, díry v konzole matice a v žebro 1 byly vrtány na sloupové vrtačce.



Obr. 36 Vyrobené součásti z HP laminátu Abet

7.6.1 Lepidlo PLEXUS MA 310

Pro lepení sestavy bylo zvoleno lepidlo PLEXUS MA310, které by mělo splňovat požadavky pro tuto aplikaci.

Jedná se o dvousložkové methaakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovu a kompositů. V poměru 1:1 má dobu zpracování 15 – 18 minut a dosahuje 75% celkové pevnosti během 30 – 35 minut při pokojové teplotě.

MA 310 se zvláště hodí pro lepení termoplastických materiálů. Toto lepidlo kombinuje vysokou pevnost a tuhost se schopností přilnout k obtížně lepitelným materiálům. Plexus MA310 může být míchán jako nestékavý gel při použití standardního míchacího zařízení. Výhodou je použití bez nutnosti přípravy povrchu. [12]

Tab. 54 Fyzikální vlastnosti lepidla PLEXUS MA 310

Fyzikální vlastnosti		
vlastnosti	lepidlo	aktivátor
Viskozita, cP	40,000 - 60,000	40,000 - 60, 000
Barva	bělavá	žlutá
Hustota, g/cm ³	1,03	0,97
Směsný poměr objemový	1	1
Směsný poměr váhový	1	1

Mechanické vlastnosti (vytvrzené lepidlo)Tah (ASTM D638)

Pevnost, MPa	27,5 – 31
Modul, MPa	1034 – 1206,5
Deformace k selhání (%)	5 – 15

Překlátovaný smyk (ASTM D1002)

Kohezní pevnost, MPa	20,5 – 24
----------------------	-----------

Chemická odolnostVynikající odolnost proti:

- uhlovodíků
- kyselinám a zásadám (30-10 pH)
- solným roztokům

Citlivý na:

- polární rozpouštědla

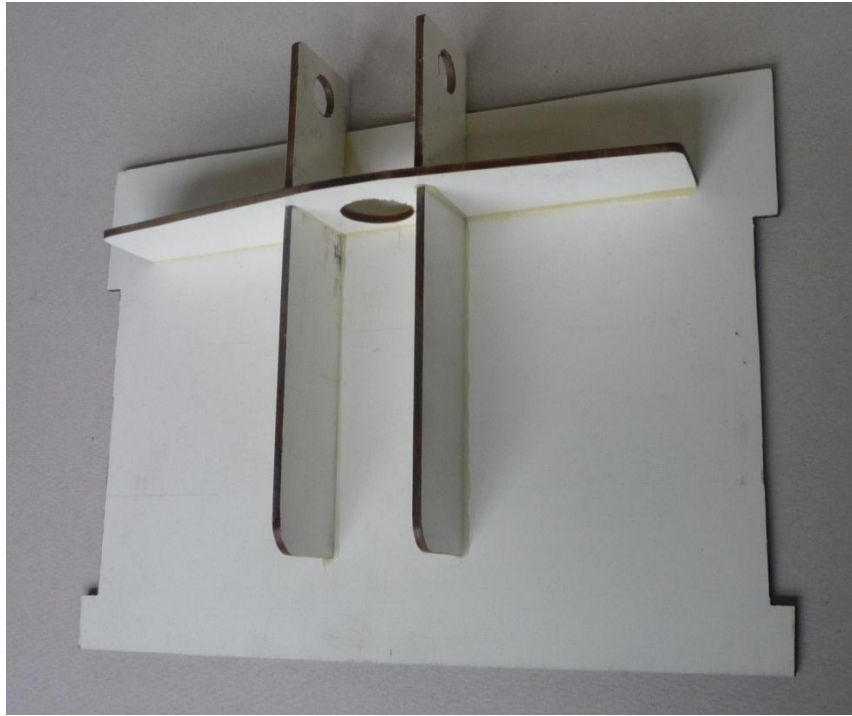
7.6.2 Lepení sestavy desky

Jelikož je zvolené lepidlo dvoukomponentní byla pro nanesení použita speciální vytlačovací pistole. Kartuše obsahující složky lepidla jsou vybaveny směšovací trubicí, která slouží pro dokonalé smíchání obou komponent lepidla.



Obr. 37 Vytlačovací pistole, směšovací trubice

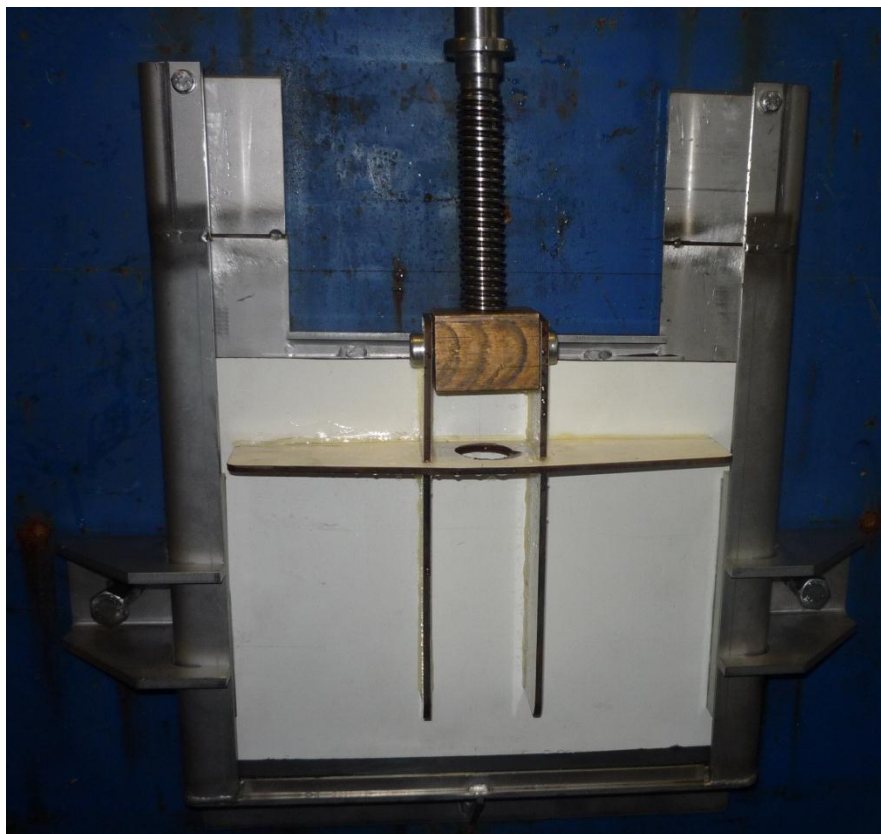
Pro dodržení kolmosti nalepených součástí byly použity úhelníky, které byly potřebnou dobu pro zatuhnutí lepidla zafixovány pomocí svorek.



Obr. 38 Hotová deska z HP laminátu

7.7 Montáž a zkouška těsnosti

Po dostatečném vytvrzení lepidla následovalo vložení desky z HP laminátu do rámu šoupátka. Pro zkoušení těsnosti bylo pužito zkušební zařízení firmy Jihomoravská armaturka spol. s r. o. vybavené kalibrovanými tlakoměry.

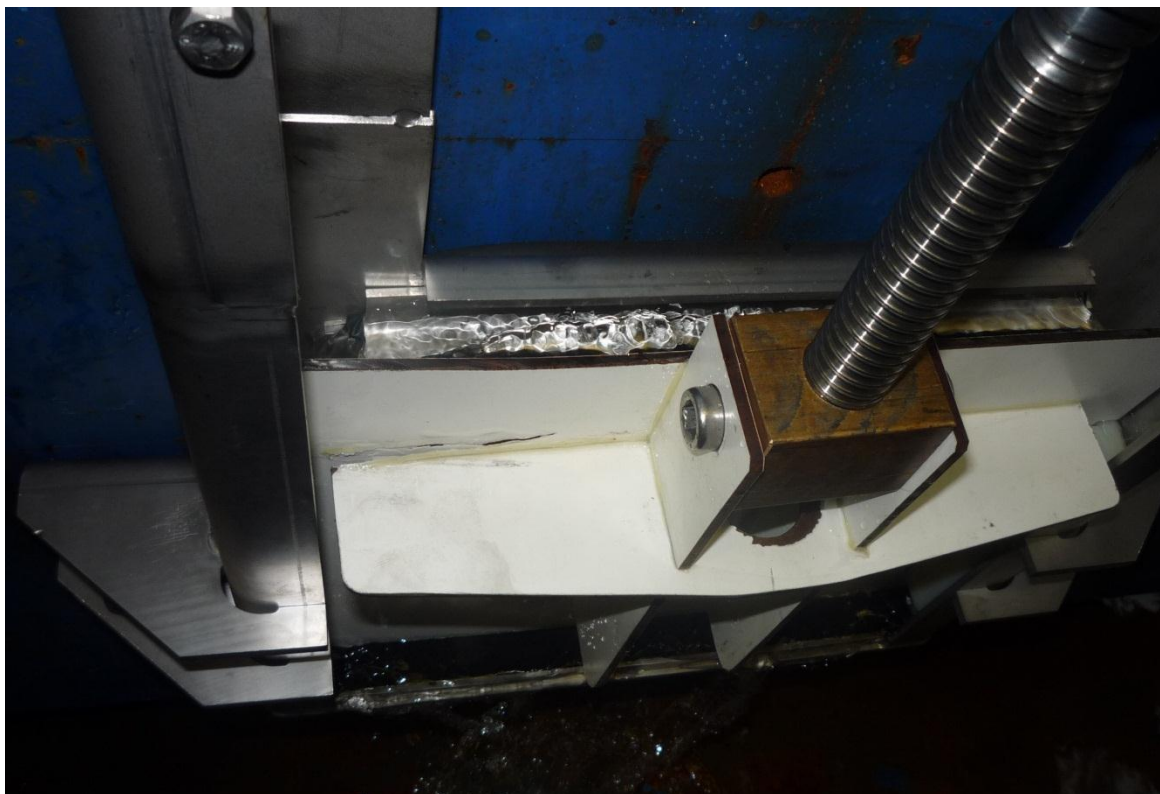


Obr. 39 Vřetenové šoupátko namontované na zkoušecím zařízení

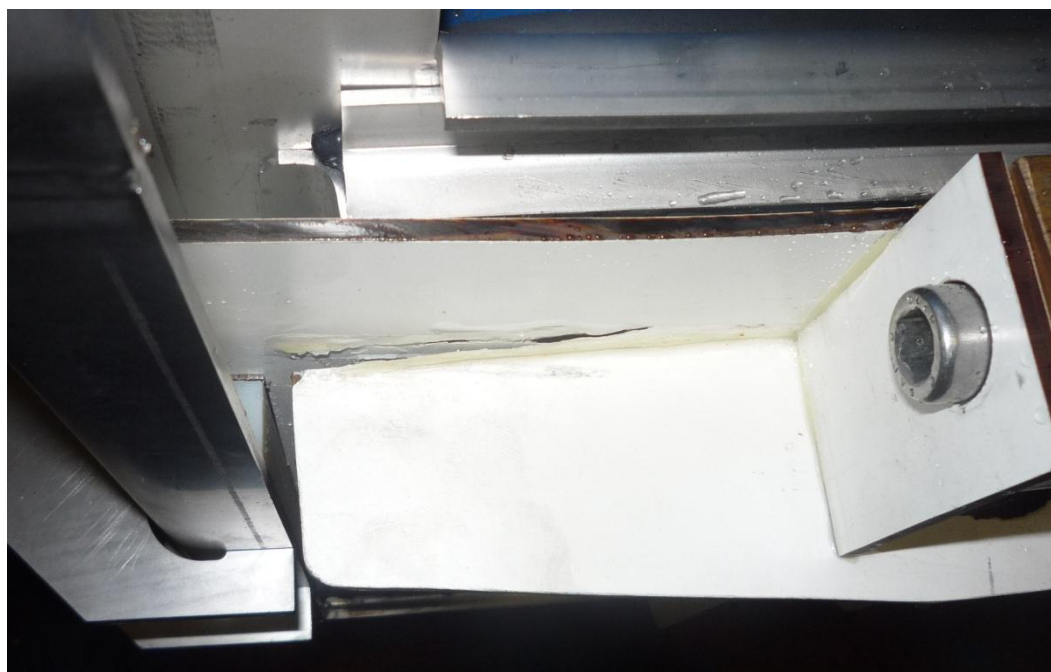
Vřetenové šoupátko osazené původní nerezovou deskou je konstruováno na tlak $P = 0,04\text{Mpa}$ a na utahovací moment 25Nm .

Z důvodu možnosti poškození lepených spojů bylo vřeteno šoupátka dotaženo momentem 15Nm . Po utažení vřetene následovalo tlakování na hodnotu $0,01\text{Mpa}$. Při této hodnotě nebyla po dobu 10 min zaznamenána žádná netěsnost. Dobu měření stanovuje norma ČSN00000. Krátce po zvýšení tlaku na hodnotu $0,02\text{Mpa}$ došlo k poškození lepeného spoje mezi deskou a žebrem 1 a s tím spojeným vznikem zančné netěsnosti.

. Po následném utažení vřetena momentem 25Nm došlo k oddělení nalepených součástí od desky šoupátka. Povolení lepených spojů mohlo mít za následek částečně oddělené žebro 1, s největší pravděpodobností by ale lepené spoje sestavy desky nevydržely namáhání silou vyvozenou utahovacím momentem vřetena o velikosti 6220N .



Obr. 40 Održené žebro od desky



Obr. 41 Detail lomu žebra od desky

ZÁVĚR

Při vyhonocení naměřených hodnot modulu pružnosti E a meze pevnosti σ_M bylo zjištěno, že zkušební tělesa, která byla ponořena na 1500h do vody doahovala ve většině případů nižších hodnot. Z hlediska vlivu teploty na výsledné hodnoty modulu pružnosti a meze pevnosti dosahovaly materiály nejvyšších hodnot při teplotě -20°C a nejnižších hodnot při teplotě 60°C .

Při porovnání naměřených hodnot v příčném a podélném směru řezu zkušebních těles převažovaly vyšší hodnoty v příčném směru pouze u materiálu Polyrey byly hodnoty modulu pružnosti a meze pevnosti vyšší v podélném směru než v příčném smeru řezu.

Vstupní hodnoty zadávané pro výpočet pevnostní analýzy byly použity výsledky zkušebních těles, které byly ponořeny na 1500h ve vodě a byly zkoušeny za teploty 60°C protože materiály za těchto podmínek vykazovaly nejnižší hodnoty modulu pružnosti a meze pevnosti.

Z výrobců HP laminátu dosáhl při podmínkách pro výpočet pevnostní ananlýzy nejlépe materiál Abet od italského výrobce, který byl také zvolen pro výrobu desky šoupátka.

Při výpočtu pevnostní analýzy byl provoden návrh číslo 1 , který měl totožné rozměry s díly ocelové desky. Při tomto návrhu bylo zjištěno, že tento není vyhovující z důvodů napětí přehračující významně mez pevnosti daného materiálu. Jako opatření pro lepší rozložení napětí byl vytvořen návrh číslo 2, ve kterém byly na desku přidány dvě žebra. Po vypočtení analýzy se tento návrh z hlediska napětí a velikosti deformace ukázal jako vhodný. Vstupní parametry obou návrhů – síla od vřetenové matice $F = 6220\text{N}$ (odpovídá ovládacímu momentu 25Nm), tlak na plochu desky $P = 0,06\text{Mpa}$ (koeficient bezpečnosti $k = 1,5$).

Při praktické zkoušce netěsnosti vřetenového špupátka bylo zjištěno, že deska slepená lepidlem Plexus MA310 je funkční puze do tlaku $P = 0,01\text{Mpa}$ oproti navrhované hodnotě $P = 0,06\text{Mpa}$ a to při utahovacím momentu o velikosti 15Nm tzn. síla od matice $F = 3735\text{N}$ protože při zvýšení hodnoty tlaku a utahení vřetene došlo k porušení lepených spojů.

Z výše popsaných výsledků vyplývá, že nelze dodržet požadavek na dodržení původní kosntrukce rámu šoupátka a vedení desky, protože při použití desky z HP laminátu tloušťky 4mm nelze lepit žebra a konzolu matice jelikož lepený spoj nevydrží požadované zatížení. Řešením by mohlo být použití desky z HP laminátu o větší tloušťce z upravenou kos-

ntrukcí uchycení vřetenové matice a žebra buď lepením odpovídajícím lepidlem nebo použitím např. šroubový spojů. Toto řešení by ale vyžadovalo konstrukční upravy jak na desce, tak na konstrukci rámu hradítka.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [5] ECKOLD G.: *Design and manufacture of Composite Structures*, McGraw-Hill, New York 1994.
- [6] Prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.
- [3] MATHEWS F.L., RAWLINGS R.D.: *Composite Materials: Engineering and Science*, Chapman&Hall, London, 1993
- [7] MALLICK P.K., Newman S. : *Composite Materials Technology: Processes and Properties*, Carl Hanser Publ., Mnichov, 1990.
- [8] ASKELAND D.R.: *The Science and Engineering of Materials*, 2nd Edition, Chapman&Hall, London, 1984.
- [6] BROUTMAN L.D., Agarwal B.D.: *Analysis and Performance of Fibrous Composites*, J. Wiley, New York, 1981.
- [7] GOTTFRIED, W. Ehrenstein. *Polymerní kompozitní materiály*. 1. Praha 5 : NAKLADATELSTVÍ SCIENTIA, spol. s.r.o., 2009. 352 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [8] BHAGWAN, D. Agarwal; LAWRENCE, J. Broutman. *Vláknové kompozity*. Praha 1 : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1987. 296 s.
- [9] FRISCHHERZ, Adolf; SKOP, Paul; KNOUREK, Jirí. *Technologie zpracování kovu 1 : Základní poznatky*. Praha 2004 : SNTL Praha, 2004. 268 s. ISBN 80-902655-5-3.
- [10] VACULÍK, Jan. *Vlastnosti radiačně síťovaných polymerů* [s.l.], 2010. 126 s. Diplomová práce. UTB - Zlín.
- [11] ŠÍŠKA, Petr. *Mechanické chování HP kompozitu* [s.l.], 2010. 69 s. Bakalářská práce. UTB - Zlín.
- [12] HOLCMANOVÁ, Miroslava. *Porovnání lepených spojů se šroubovými*. [s.l.], 2009. 79 s. Bakalářská práce. UTB - Zlín.
- [13] ZWICK PC SOFTWARE, *manual*, 1992
- [14] WIKIPEDIE.: Otevřená encyklopedie: [online]. [cit. 2013-02-17]. Dostupný z [www: <http://cs.wikipedia.org>](http://cs.wikipedia.org)

-
- [15] *KAPLAN PRAHA ,struktura HP laminátu* [online]. [cit. 2013-02-28]. Dostupný z www.
<http://www.kaplanpraha.cz/nabidka/kompaktne-desky.htm>
- [16] *JAFHOLZ.CZ ,HPL lamináty - charakteristika* [online]. [cit. 2013-02-28]. Dostupný z www.
<http://www.jafholz.cz/nabidka/kompaktni-desky-hpl-laminaty/charakteristika/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FRC	Polymerní kompozit.
GPR	Polymerní kompozit.
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal.
Gc	Hnací síla trhliny.
PS	Polystyrem.
PP	Polypropylen.
PE	Polyetylén
PC	Polykarbonát.
PET	Polyetylén tereftalát.
GF	Glass Fiber
μm	Mikrometr.
Ø	průměr.
AF	Aramid Fiber (aramidová vlákna)
CF	Carbon Fiber (uhlíková vlákna).
PAN	Polyakrylonitril.
HM	Uhlíková vlákna s vysokým modulem pružnosti
HT	Standardní typ uhlíkových vláken
UP-R	Nenasycené polyesterové pryskyřice.
EP-R	Nenasycené epoxidové pryskyřice

VE-R	Vinylesterové pryskyřice.
PFA-R	Fenakrylátové pryskyřice.
MA-R	Metakrylátové pryskyřice
MSA	Anhydrid kyseliny maleinové.
UV	Ultrafialové záření.
T _g	Teplota skelného přechodu
PVC	Polyvinylchlorid.
T _f	Teplota toku.
T _m	Teplota tání
GMT	Skleněná rohož.
LFT	Termoplast vyztužený dlouhými skleněnými vlákny.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Struktura HP laminátu	12
<i>Obr. 2</i> Struktura skleněného vlákna (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem)	18
<i>Obr. 3</i> Řez aramidovým vláknem se silným roztřepením v místě lomu (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem)	19
<i>Obr. 4</i> Orientace řetězců	19
<i>Obr. 5</i> Uhlíkové vlákno – mikrostruktura a snímek rastrovacím elektronovým mikroskopem	20
<i>Obr. 6</i> Vzorky pro tahovou zkoušku:	31
<i>Obr. 7</i> Koncové uchycení vzorků pro tahovou zkoušku: a) typ s čepem, b) typ s čelistmi	32
<i>Obr. 8</i> Příklad zkušebního tělesa pro zkoušku v tahu jednosměrně, izotropně i anizotropně vyztuženého plastového kompozitu dle doporučení ČSN EN ISO 527	32
<i>Obr. 9</i> Modifikované přípravky pro zkoušku pevnosti v tlaku s opěrným provedením a) přípravek vyvinutý v Boeing (podle ASTM D 695, DIN 65375), b) přípravek CLC (Combined – Loadin – Compression podle ASTM D 6641) [7]	33
<i>Obr. 10</i> Schematické uspořádání rázové zkoušky:	34
<i>Obr. 11</i> Zkouška trubky krutem	35
<i>Obr. 12</i> Zkouška jednoosým ohybem:	36
<i>Obr. 13</i> Závislost mechanických vlastností termoplastů na teplotě.....	40
<i>Obr. 14</i> Závislost mechanických vlastností elastomerů na teplotě.....	40
<i>Obr. 15</i> Závislost mechanických vlastností reaktoplastů na teplotě.....	40
<i>Obr. 16</i> Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů.....	41
<i>Obr. 17</i> Schematické znázornění změn účinkem tahového zatížení	41
<i>Obr. 18</i> Teplotní závislost měrného objemu polymerů a teplota skelného přechodu.	42
<i>Obr. 19</i> Změna limitního viskozitního čísla a síly potřebné k přetržení vzorku v závislosti na době stárnutí.	43
<i>Obr. 20</i> Pokles tažnosti o 35% v závislosti na čase a teplotě.....	44
<i>Obr. 21</i> Schématické průběhy závislosti modulu pružnosti polymerů na teplotě (1 – amorfni, 2- semikrystalické, 3- síťované)	46
<i>Obr. 22</i> Schéma zkoušky ohybem.....	49

<i>Obr. 23</i> Určení modulu pružnosti [10]	50
<i>Obr. 24</i> Zkušební stroj ZWICK 1456	51
<i>Obr. 25</i> Zkušební tělesa pro zkoušku ohybem.....	52
<i>Obr. 26</i> Zatěžující síla F – od vřetenové matice	79
<i>Obr. 27</i> Působení tlaku P	79
<i>Obr. 28</i> Opěrná místa na desce – pevná vazba	80
<i>Obr. 29</i> Hustota sítě návrhu č. 1	81
<i>Obr. 30</i> Návrh č. 1 - Von Misesovo napětí – čelní + boční pohled	81
<i>Obr. 31</i> Návrh č. 1 - Von Misesovo napětí – zadní pohled.....	82
<i>Obr. 32</i> Návrh č. 2 – Hustota sítě	83
<i>Obr. 33</i> Návrh č. 2 - Von Misesovo napětí – přední pohled	83
<i>Obr. 34</i> Návrh č. 2 - Von Misesovo napětí – zadní pohled.....	84
<i>Obr. 35</i> Návrh č. 2 – Velikost deformace	85
<i>Obr. 36</i> Vyrobené součásti z HP laminátu Abet	86
<i>Obr. 37</i> Vytlačovací pistole, směšovací trubice.....	87
<i>Obr. 38</i> Hotová deska z HP laminátu	88
<i>Obr. 39</i> Vřetenové šoupátko namontované na zkoušecím zařízení.....	89
<i>Obr. 40</i> Odtržené žebro od desky.....	90
<i>Obr. 41</i> Detail lomu žebra od desky	90

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken [4].....	22
Tab. 2 Technické parametry zkušebního stroje ZWICK ROELL 1456	51
Tab. 3 Výrobce ABET – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$	54
Tab. 4 Výrobce REXIN – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$	54
Tab. 5 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$	54
Tab. 6 Výrobce POLYREY – příčný směr T , $T = -20^{\circ}\text{C}$	54
Tab. 7 Výrobce ABET – podélný směr L , $T = -20^{\circ}\text{C}$	54
Tab. 8 Výrobce REXIN – podélný směr L , $T = -20^{\circ}\text{C}$	55
Tab. 9 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L , $T = -20^{\circ}\text{C}$	55
Tab. 10 Výrobce POLYREY – podélný směr L , $T = -20^{\circ}\text{C}$	55
Tab. 11 Výrobce ABET – příčný směr T , $T = 20^{\circ}\text{C}$	57
Tab. 12 Výrobce REXIN – příčný směr T , $T = 20^{\circ}\text{C}$	57
Tab. 13 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , $T = 20^{\circ}\text{C}$	57
Tab. 14 Výrobce POLYREY – příčný směr T , $T = 20^{\circ}\text{C}$	58
Tab. 15 Výrobce ABET – podélný směr L , $T = 20^{\circ}\text{C}$	58
Tab. 16 Výrobce REXIN – podélný směr L , $T = 20^{\circ}\text{C}$	58
Tab. 17 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L , $T = 20^{\circ}\text{C}$	58
Tab. 18 Výrobce POLYREY – podélný směr L , $T = 20^{\circ}\text{C}$	58
Tab. 19 Výrobce ABET – příčný směr T , $T = 60^{\circ}\text{C}$	60
Tab. 20 Výrobce REXIN – příčný směr T , $T = 60^{\circ}\text{C}$	60
Tab. 21 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , $T = 60^{\circ}\text{C}$	61
Tab. 22 Výrobce POLYREY – příčný směr T , $T = 60^{\circ}\text{C}$	61
Tab. 23 Výrobce ABET – podélný směr L , $T = 60^{\circ}\text{C}$	61
Tab. 24 Výrobce REXIN – podélný směr L , $T = 60^{\circ}\text{C}$	62
Tab. 25 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L , $T = 60^{\circ}\text{C}$	62
Tab. 26 Výrobce POLYREY – podélný směr L , $T = 60^{\circ}\text{C}$	62
Tab. 27 Výrobce ABET – příčný směr T , 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	64
Tab. 28 Výrobce REXIN – příčný směr T , 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	64
Tab. 29 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T , 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	64
Tab. 30 Výrobce POLYREY – příčný směr T , 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	64
Tab. 31 Výrobce ABET – podélný směr L , 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	65
Tab. 32 Výrobce REXIN – podélný směr L , 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	65

Tab. 33 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	65
Tab. 34 Výrobce POLYREY – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = -20^{\circ}\text{C}$	65
Tab. 35 Výrobce ABET – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	67
Tab. 36 Výrobce REXIN – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	67
Tab. 37 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	68
Tab. 38 Výrobce POLYREY – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	68
Tab. 39 Výrobce ABET – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	68
Tab. 40 Výrobce REXIN – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	68
Tab. 41 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	69
Tab. 42 Výrobce POLYREY – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 20^{\circ}\text{C}$	69
Tab. 43 Výrobce ABET – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	71
Tab. 44 Výrobce REXIN – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	72
Tab. 45 Výrobce FUNDERMAX – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	72
Tab. 46 Výrobce POLYREY – příčný směr T, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	72
Tab. 47 Výrobce ABET – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	72
Tab. 48 Výrobce REXIN – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	72
Tab. 49 Výrobce FUNDERMAX – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	73
Tab. 50 Výrobce POLYREY – podélný směr L, 1500h ve vodě, $T = 60^{\circ}\text{C}$	73
Tab. 51 Vliv prostředí na modul pružnosti E – podélný, příčný směr, $T = 60^{\circ}\text{C}$	76
Tab. 52 Vliv prostředí na mez pevnosti σ_m – podélný, příčný směr, $T = 60^{\circ}\text{C}$	77
Tab. 53 Hodnoty materiálu ABET pro pevnostní analýzu	78
Tab. 54 Fyzikální vlastnosti lepidla PLEXUS MA 310.....	86

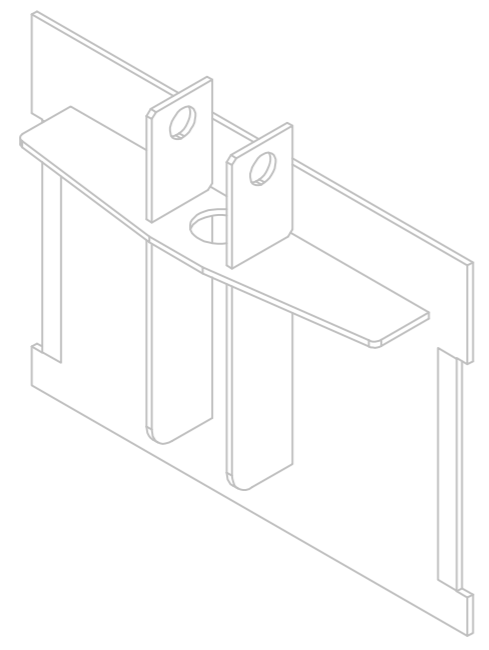
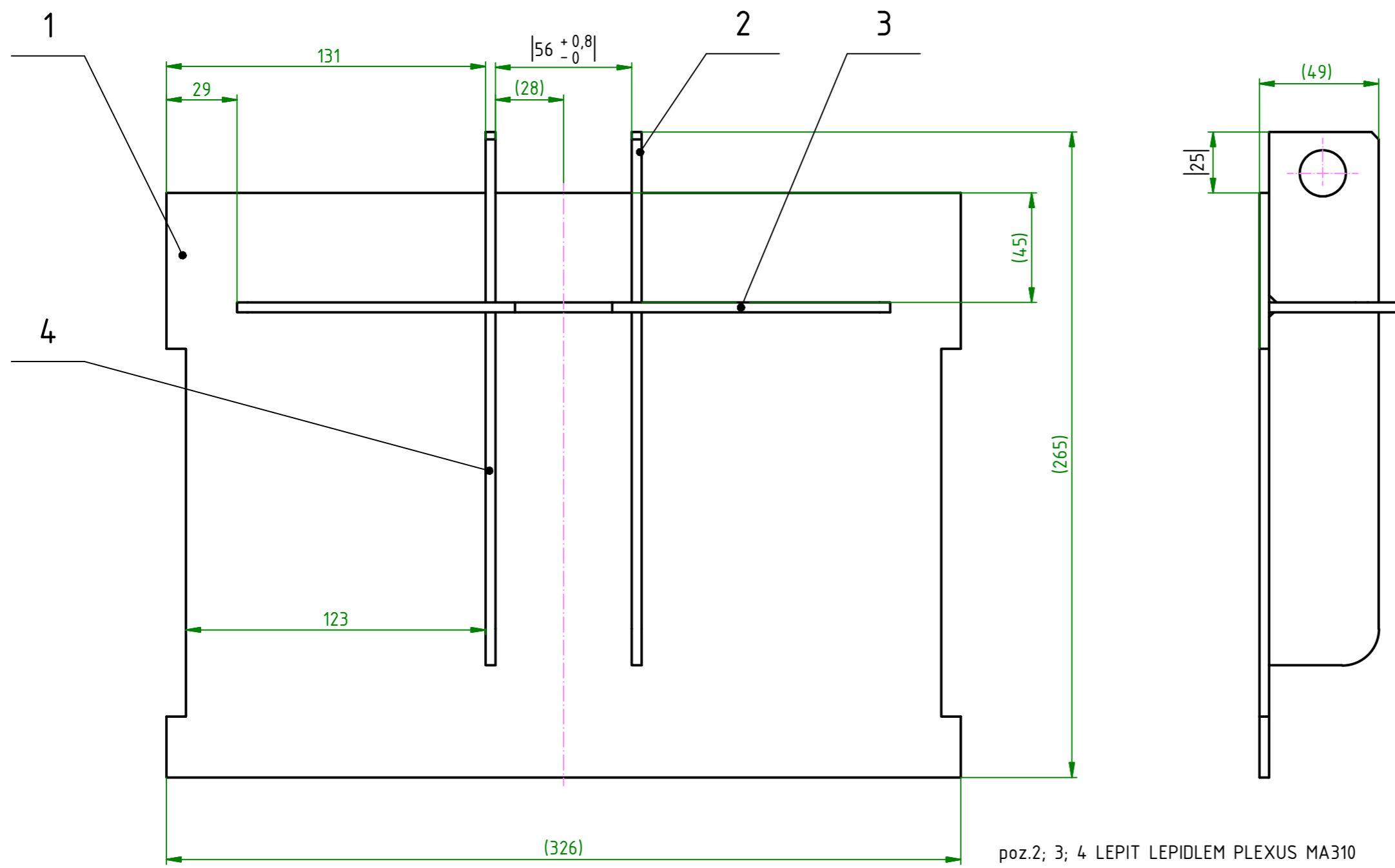
SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Modul pružnosti E pro HP lamináty při teplotě $T = -20^{\circ}\text{C}$	55
Graf 2 Mez pevnosti σ_m pro HP lamináty při teplotě $T = -20^{\circ}\text{C}$	56
Graf 3 Modul pružnosti E pro HP lamináty při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$	59
Graf 4 Mez pevnosti σ_m pro HP lamináty při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$	60
Graf 3 Modul pružnosti E pro HP lamináty při teplotě $T = 60^{\circ}\text{C}$	62
Graf 6 Mez pevnosti σ_m pro HP lamináty při teplotě $T = 60^{\circ}\text{C}$	63
Graf 7 Modul pružnosti E pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = -20^{\circ}\text{C}$	66
Graf 8 Mez pevnosti σ_m pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = -20^{\circ}\text{C}$	67
Graf 9 Modul pružnosti E pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$	70
Graf 10 Mez pevnosti σ_m pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$	71
Graf 11 Modul pružnosti E pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 60^{\circ}\text{C}$	73
Graf 12 Mez pevnosti σ_m pro HP lamináty – 1500h ve vodě, při teplotě $T = 60^{\circ}\text{C}$	75
Graf 13 Vliv prostředí na modul pružnosti E – podélný, příčný směr, $T = 60^{\circ}\text{C}$	76
Graf 14 Vliv prostředí na mez pevnosti σ_m – podélný, příčný směr, $T = 60^{\circ}\text{C}$	77

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace.

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY



poz.2; 3; 4 LEPIT LEPIDLEM PLEXUS MA310

| KONEČNÁ KONTROLA

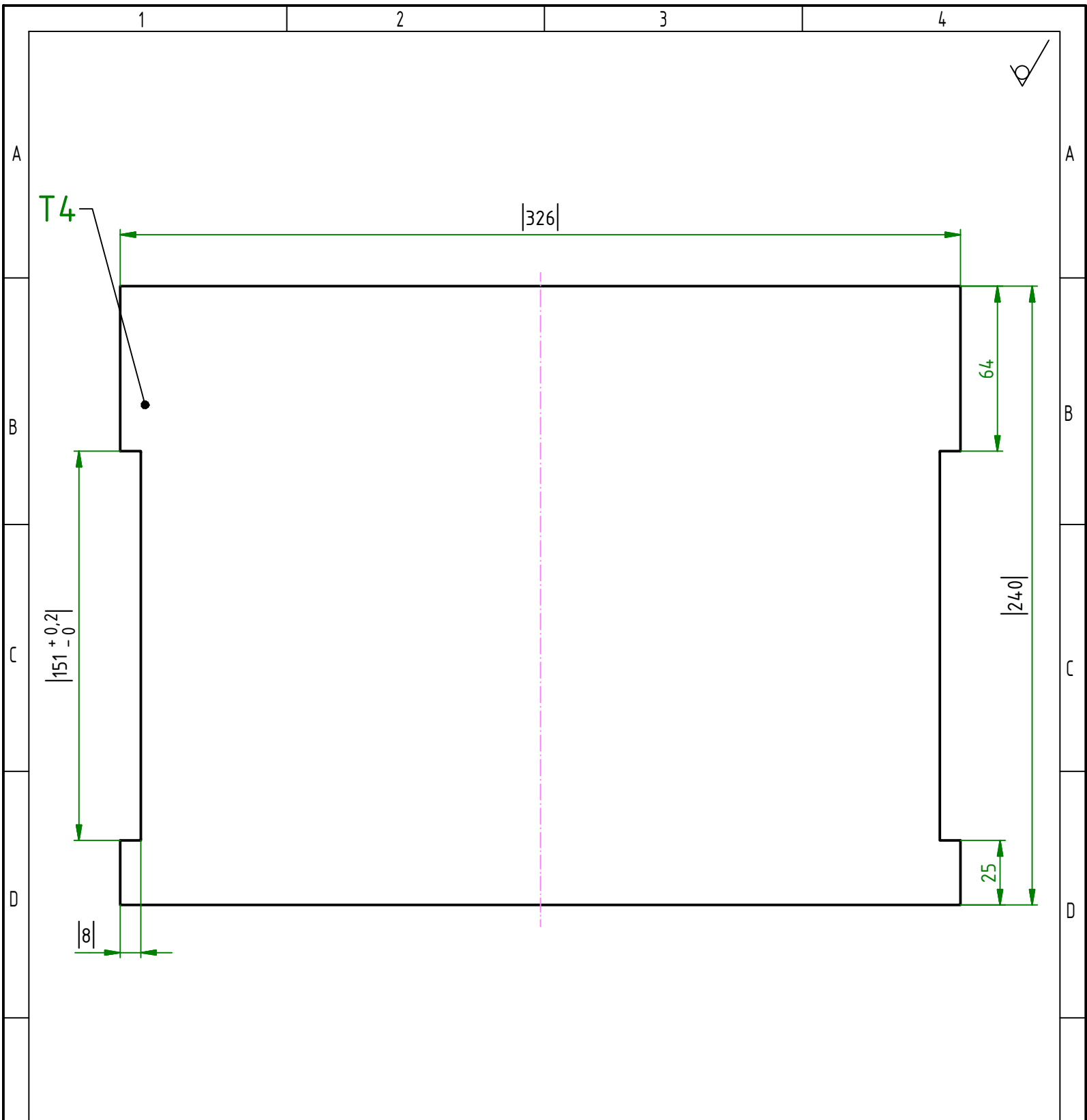
NETOLEROVANÉ ROZMĚRY DLE ČSN ISO 2768-cL, SVARY: ISO 4063-135/ISO 13920-C

Počet kusů	Název - rozměr	Polotovary	Konečný materiál	Výchozí	Hmotnost	Kat. mat.	Číslo výkresu	Poz.
2	ŽEBRO - 2		HP LAMINÁT		0,015 kg	Q	4HA 1280-192HPL	4
1	ŽEBRO - 1		HP LAMINÁT		0,027 kg	Q	4HA 1280-191HPL	3
2	KONZOLA MATICE		HP LAMINÁT		0,089 kg	Q	4HA 1216-024HPL	2
1	DESKA		HP LAMINÁT		0,170 kg	Q	4HA 2275-149HPL	1

Poznámka: Celková čistá hmotnost v kg 0,4

Měřítko	Kreslil Falešník	ÚHT	Změna
1:2	Kontroloval	OMG	
	Datum 7.5.2013	Schválil	

UTB	Skupina HPL- 200x200	Překresleno dne	Podpis
	Název SESTAVA	Číslo výkresu	3HA3763-005HPL

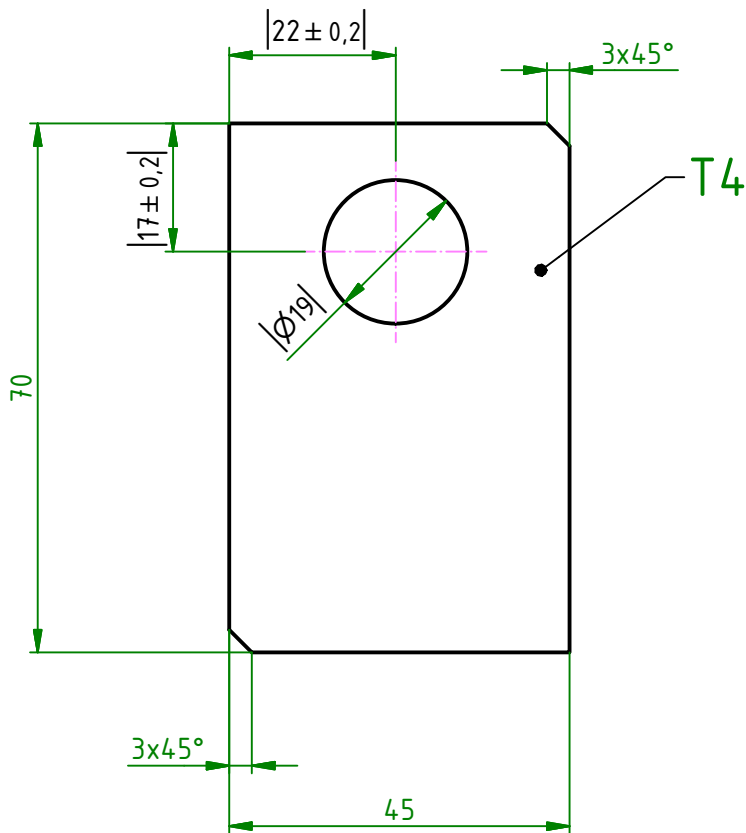


NETOLEROVANÉ ROZMĚRY DLE ČSN ISO 2768-mK
KONEČNÁ KONTROLA

1	DESKA		HP LAMINÁT		0,170 kg	Q	4HA 2275-149HPL	1
Počet kusů	Název - rozměr	Polotovar	Konečný materiál	Výchozí	Hmotnost	Kat. mat.	Číslo výkresu	Poz.

Poznámka				Celková čistá hmotnost v kg				
Měřítko 1:2	Kreslil	Falešník	ÚHT	Změna				
	Kontroloval		OMG					
	Datum	7.5.2013	Schválil					

UTB	Skupina	HPL- 200x200		Překresleno dne	Podpis
	Název	DESKA		Číslo výkresu	4HA 2275-149HPL



NETOLEROVANÉ ROZMĚRY DLE ČSN ISO 2768-mK
 KONEČNÁ KONTROLA

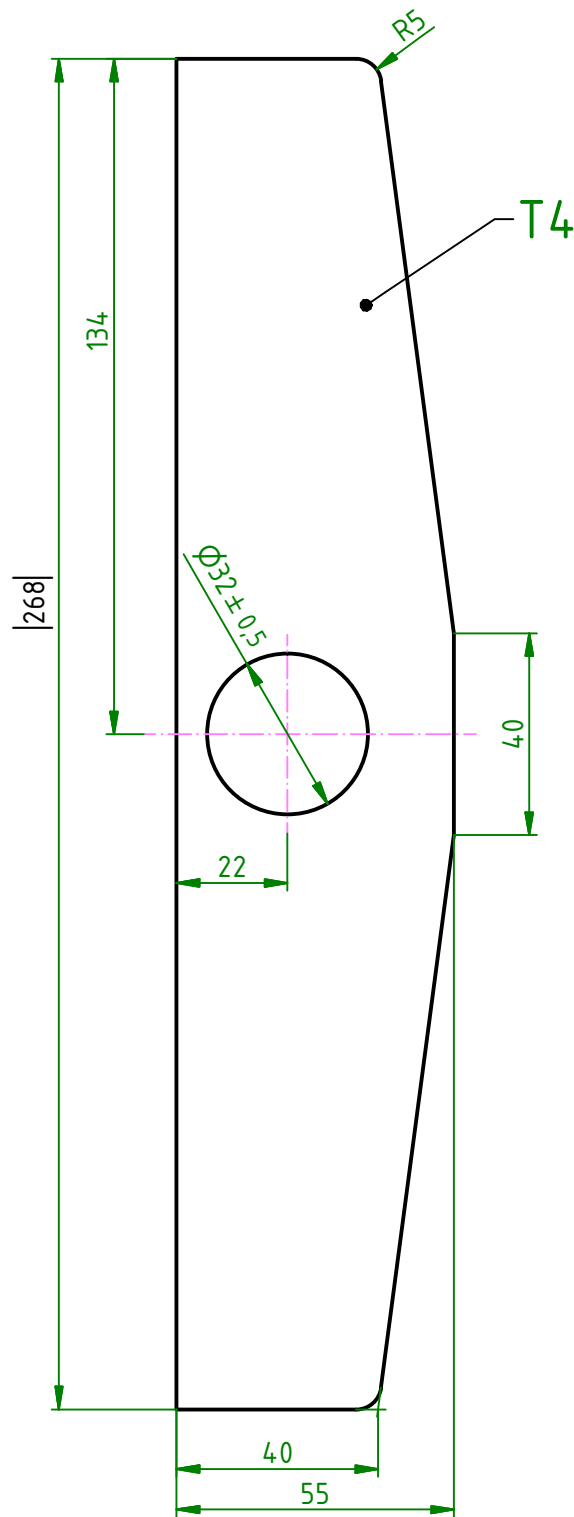
1	KONZOLA MATICE		HP-LAMINÁT		0,1 kg	Q	4HA 1216-024HPL	1
---	----------------	--	------------	--	--------	---	--------------------	---

Počet kusů	Název - rozměr	Polotovar	Konečný materiál	Výchozí	Hmotnost	Kat. mat.	Číslo výkresu	Poz.
------------	----------------	-----------	------------------	---------	----------	-----------	---------------	------

Poznámka: Celková čistá hmotnost v kg

Měřítka 1:1	Kreslil Falešník	ÚHT	Změna
	Kontroloval	OMG	
	Datum 2.5.2011	Schválil	

UTB	Skupina HPL- 200x200	Překresleno dne	Podpis
	Název KONZOLA MATICE	Číslo výkresu	4HA 1216-024HPL



NETOLEROVANÉ ROZMĚRY DLE ČSN ISO 2768-mK
KONEČNÁ KONTROLA

1	ŽEBRO - 1		HP LAMINÁT		0,027 kg	Q	4HA 1280-191HPL	1
Počet kusů	Název - rozměr	Polotovar	Konečný materiál	Výchozí	Hmotnost	Kat. mat.	Číslo výkresu	Poz.

Poznámka			Celková čistá hmotnost v kg					
Měřítko	Kreslil Falešník	ÚHT	Změna					
2:3	Kontroloval	OMG						
	Datum 10.4.2012	Schválil						

UTB	Skupina	HPL- 200x200	Překresleno dne	Podpis
	Název	ŽEBRO - 1	Číslo výkresu	4HA 1280-191HPL

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

F

2x45°

T4

145

45

R15

NETOLEROVANÉ ROZMĚRY DLE ČSN ISO 2768-mK

KONEČNÁ KONTROLA

1	ŽEBRO - 2		HP LAMINÁT		0,1 kg	4HA 1280-192HPL	1
---	-----------	--	------------	--	--------	--------------------	---

Počet kusů	Název - rozměr	Polotovar	Konečný materiál	Výchozí	Hmotnost	Kat. mat.	Číslo výkresu	Poz.
------------	----------------	-----------	------------------	---------	----------	-----------	---------------	------

Poznámka					Celková čistá hmotnost v kg			
----------	--	--	--	--	-----------------------------	--	--	--

Měřítko 1:1	Kreslil Falešník	ÚHT	Změna					
	Kontroloval	OMG						
	Datum 7.5.2013	Schválil						

UTB	Skupina HPL-200x200	Překresleno dne	Podpis
	Název ŽEBRO - 2	Číslo výkresu	4HA 1280-192HPL

1

2

3

4

PŘÍLOHA 2

Kompletní naměřené hodnoty ze zkoušky ohybem

Nr	E{lo mod}		F at 0.2% plastic deformation				F{lo max}		dL at F{lo max}		F{lo Break}	
	MPa	dL at break	W to F{lo max}	W to break	W to break	%	a{lo 0}	b{lo 0}	S{lo 0}	%	Nmm	
	Nmm		MPa	mm	mm	mm^2			MPa			
1.30	16400	174	188	1,3	-	-	709,29	-	3,96	20,18	79,9128	
1.32	16700		-		184	1,2	184	1,2	660,46	660,46	3,99	20,2
	80,598											
1.33	16700	166	185	1,2	-	-	652,33	-	4	20,18	80,72	
1.34	16600	165	184	1,2	-	-	650,4	-	3,9	20,15	78,585	
1.35	16600	181	194	1,3	-	-	749,22	-	3,9	20,25	78,975	
1.36	16500	174	189	1,2	-	-	706	-	3,9	20,18	78,702	
11.1	9530		-		108	1,2	108	1,2	362,52	362,52	3,8	20,1
	76,38											
11.2	11400		-		133	1,2	133	1,2	458,33	458,33	3,8	20,2
	76,76											
11.3	10400		-		129	1,3	129	1,3	494,57	494,57	3,9	20,18
	78,702											
11.4	10900		-		132	1,2	132	1,2	458,33	458,33	3,8	20,3
	77,14											
11.5	11500		-		134	1,2	134	1,2	453,96	453,96	3,75	20,25
	75,9375											
11.6	11500		-		135	1,2	135	1,2	465,64	465,64	3,75	20,1
	75,375											
12.1	15100	116	147	1	-	-	414,14	-	4,05	20,1	81,405	
12.2	15500	131	157	1	-	-	482,59	-	4,1	20	82	
12.3	15900	130	158	1	-	-	472,56	-	4,15	20,25	84,0375	
12.4	15400	151	176	1,2	-	-	607,49	-	4	20,1	80,4	
12.5	8250	74,3	113	1,1	-	-	351,05	-	4,1	20,1	82,41	

12.6	15700	163	185	1,2	-	-	680,97	-	4,05	20,3	82,215
13.1	11600 81,9		-		145	1,3	145	1,3	593,77	593,77	4,2 19,5
13.2	11200 82,32		-		136	1,3	136	1,3	531,3	531,3	4,2 19,6
13.3	12600	122	140	1,2	-	-	473,66	-	4,1	19,8	81,18
13.4	12700	124	141	1,2	-	-	483,76	-	3,9	19,7	76,83
13.5	12500 80,36		-		146	1,2	146	1,2	534,7	534,7	4,1 19,6
13.6	- 4	- 19,5	- 78		-	-	-	-	-	-	-
14.1	11800 77		-		144	1,3	142	1,3	556,28	568,64	3,85 20
14.2	12200 78		-		136	1,2	134	1,2	468,49	474,19	3,9 20
14.3	12100 80,8		-		142	1,2	142	1,2	513,43	513,43	4 20,2
14.4	12400 76,38		-		142	1,2	140	1,2	512,41	524,34	3,8 20,1
14.5	12300 78		-		139	1,2	136	1,2	486,72	495,72	3,9 20
14.7	12300 80,4		-		141	1,3	141	1,3	546,05	546,05	4 20,1
16.1	13800 74,74		-		168	1,3	168	1,3	591,48	591,48	3,7 20,2
16.2	14000 74		-		162	1,2	162	1,2	532,89	532,89	3,7 20
16.3	14300 74,555		-		191	1,4	191	1,4	762,23	762,23	3,7 20,15
16.4	14500 74		-		163	1,2	163	1,2	529,69	529,69	3,7 20
16.5	13800 76,38		-		179	1,4	173	1,4	706,37	711,8	3,8 20,1

20.2	9190 78,39	-		87,4	0,9	87,4	0,9	228,49	228,49	3,9	20,1
20.3	8220	63,5	78,9	1	-	-	212,3	-	3,8	20	76
20.4	9070	64,7	83,4	0,9	-	-	203,59	-	3,9	19,9	77,61
20.5	9810	72,5	90,3	0,9	-	-	229,1	-	3,7	20,1	74,37
20.6	9810	71,8	90,8	0,9	-	-	227,05	-	3,7	20	74
21.1	13400	101	113	0,9	-	-	320,52	-	3,9	20	78
21.2	13000	99,8	123	0,9	-	-	320,06	-	4	20	80
21.3	13400	100	120	0,9	-	-	313,03	-	4,1	20,1	82,41
21.4	13200	102	116	0,9	-	-	338,03	-	4,05	20,1	81,405
21.5	13100	103	115	0,9	-	-	339,75	-	4	20,1	80,4
21.6	13500	110	135	1	-	-	397,97	-	4	19,9	79,6
22.1	9290 82	-		114	1,4	114	1,4	520,47	524,47	4,1	20
22.2	8970	116	118	1,5	116	1,6	612,03	650,35	4,1	20	82
22.3	8810	114	120	1,7	119	1,7	677,44	682,99	3,9	20	78
22.4	9420	121	127	1,6	-	-	670,64	-	4	19,8	79,2
22.5	10200 79,2	-		116	1,2	116	1,2	440,72	440,72	4	19,8
22.6	9940 77,22	-		109	1,2	108	1,2	394,72	411,45	3,9	19,8
23.1	10100	96,3	108	1,5	106	1,5	549,73	565,7	3,9	20,1	78,39
23.2	9400	93,6	111	1,7	108	1,7	629,86	646,33	4	20	80
23.3	9960	112	125	1,6	125	1,7	680,62	699,13	3,9	19,9	77,61
23.4	9370	109	121	1,7	120	1,7	705,4	721,41	4	20,2	80,8
23.5	9070	116	119	1,6	118	1,6	635,36	648,67	4,1	20,1	82,41
23.6	9150	111	124	1,8	123	1,8	757,58	776,91	4	20	80
24.1	12800 76	-		113	0,9	111	0,9	275,63	278,85	3,8	20

24.2	13000	94,8	116	0,9	-	-	292,18	-	3,7	19,9	73,63	
24.3	12400		-		127	1,1	127	1,1	372,62	372,62	3,65	20
	73											
24.4	12400		-		123	1	123	1	345,91	345,91	3,8	20,1
	76,38											
24.5	11200		-		111	1	111	1	311,62	311,62	3,7	20
	74											
24.6	10700		-		114	1,1	114	1,1	340,01	340,01	3,7	20,1
	74,37											
25.1	9780	78,3	93,7	0,9	-	-	251,65	-	3,9	20,2	78,78	
25.2	9600	73	86,9	0,9	-	-	250,24	-	4,2	20,2	84,84	
25.3	9400	74	88	1	-	-	267,24	-	4,2	20,1	84,42	
25.4	9870	78,2	88,2	1	-	-	273,18	-	4,1	20	82	
25.5	9990	72,9	84,7	0,9	-	-	242,73	-	4	20,1	80,4	
25.6	9980	70,6	84,5	0,9	21,7	1,9	232,92	404,57	4,1	20	82	
26.1	13600		-		107	0,8	106	0,9	275,57	280,19	4	19,9
	79,6											
26.2	13200		-		104	0,8	102	0,9	267,05	276,06	4	19,8
	79,2											
26.3	13600	142	152	1,2	-	-	582,15	-	4,1	19,8	81,18	
26.4	13600	117	135	1	-	-	417,67	-	4	20	80	
26.5	13400	135	150	1,2	-	-	552,13	-	4,1	19,8	81,18	
26.6	13300	138	151	1,2	-	-	529,51	-	4	20,1	80,4	
27.1	3270	5,6	233	1,9	233	1,9	1011,36		1011,36		3,8	20
	76											
27.2	18300	232	234	1,5	-	-	1045,78		-	3,9	20,1	78,39
27.3	19500	228	233	1,4	-	-	964,08		-	3,8	20	76
27.4	18500	239	242	1,5	242	1,5	1129,96		1129,96		4	20
	80											
27.5	19200	241	243	1,5	-	-	1075,42		-	4	20,1	80,4
27.6	18900	237	238	1,5	-	-	1051,31		-	3,9	20,2	78,78

28.1	13000 77,385	-			166	1,3	166	1,3	621,14	621,14	3,85	20,1
28.2	12700 74	-			160	1,4	160	1,4	611,32	611,32	3,7	20
28.3	13300 78	-			169	1,4	169	1,4	645,99	645,99	3,9	20
28.4	12800 74,37	-			149	1,2	149	1,2	513,03	513,03	3,7	20,1
28.5	13800 72	-			175	1,4	175	1,4	673,82	673,82	3,6	20
28.6	13600 71,64	-			166	1,3	166	1,3	577,81	577,81	3,6	19,9
29.1	17000 78	-			203	1,3	203	1,3	760,37	760,37	3,9	20
29.2	16700 82,41	-			220	1,4	220	1,4	952,07	952,07	4,1	20,1
29.3	17500 81,2	-			226	1,4	226	1,4	951,92	951,92	4	20,3
29.4	17400 80,4	-			217	1,3	217	1,3	875,08	875,08	4	20,1
29.5	17000	163	188	1,1	-	-	636	-	3,9	20,2	78,78	
29.6	16700 82	-			226	1,4	226	1,4	988,07	988,07	4,1	20
30.1	14100 77,61	-			175	1,3	175	1,3	699,18	699,18	3,9	19,9
30.2	13800 79,2	-			179	1,4	179	1,4	755,21	755,21	4	19,8
30.3	13600 78	-			165	1,3	165	1,3	621,76	621,76	3,9	20
30.4	13700 79,2	-			176	1,4	176	1,4	729,56	729,56	4	19,8
30.5	14300 82,41	-			167	1,2	167	1,2	617,47	617,47	4,1	20,1

30.6	14200 77,61	-	162	1,2	162	1,2	578,84	578,84	3,9	19,9
31.1	14000 80	-	171	1,3	171	1,3	668,47	668,47	4	20
31.2	13900 78,39	-	169	1,3	169	1,3	676,77	676,77	3,9	20,1
31.3	13600 78,78	-	161	1,3	161	1,3	613,89	613,89	3,9	20,2
31.4	13700 80,8	-	170	1,4	167	1,4	695,75	701,16	4	20,2
31.5	19000 78,39	-	233	1,4	233	1,4	984,17	984,17	3,9	20,1
31.6	18800 82	-	227	1,4	227	1,4	952,52	952,52	4,1	20
32.1	15200 75,62	-	199	1,4	199	1,4	778,05	778,05	3,8	19,9
32.2	15500 74	-	205	1,4	205	1,4	818,84	818,84	3,7	20
32.3	16000 72,36	-	224	1,5	224	1,5	964,07	964,07	3,6	20,1
32.4	13500 74	-	207	1,4	207	1,4	812,98	812,98	3,7	20
32.5	16400 74,74	-	209	1,3	209	1,3	774,53	774,53	3,7	20,2
32.6	16000 76	-	220	1,5	220	1,5	906,58	906,58	3,8	20
33.1	12900 83,58	-	164	1,3	164	1,3	636,7	636,7	4,2	19,9
33.2	12300 83,23	-	163	1,4	163	1,4	661,54	661,54	4,1	20,3
33.3	13300 82,41	-	173	1,4	173	1,4	696,8	696,8	4,1	20,1
33.4	13300 80,8	-	161	1,2	158	1,3	592,3	599,42	4	20,2

33.5	13500	-			167	1,3	160	1,3	628,76	635,98	3,9	20
	78											
33.6	13300	-			135	1	135	1	401,87	401,87	4	20,1
	80,4											
34.1	17900	-			241	1,5	241	1,5	1090,06			1090,06
	4	19,8	79,2									
34.2	18300	-			248	1,5	248	1,5	1159,21			1159,21
	4	19,7	78,8									
34.3	18400	-			243	1,5	243	1,5	1091,24			1091,24
	3,9	19,8	77,22									
34.4	17800	-			243	1,5	243	1,5	1137,12			1137,12
	3,9	19,9	77,61									
34.5	18000	-			248	1,5	248	1,5	1170,57			1170,57
	4	20	80									
34.6	17400	-			232	1,5	232	1,5	1036,31			1036,31
	4,1	19,9	81,59									
35.1	15300	163	163	1,3	-	-	654,06	-	4	20,2		80,8
35.2	116	-			161	1,6	-	-	689,78	-	3,8	20,1
	76,38											
35.3	14300	155	156	1,3	-	-	640,92	-	3,9	20		78
35.4	51,5	0,977	149	1,6	-	-	581,88	-	3,9	20		78
35.5	44,2	1,11	156	1,8	-	-	635,19	-	4	20,1		80,4
35.6	14500	158	164	1,4	-	-	765,98	-	3,8	20,1		76,38
36.1	9760	57,5	70,8	0,8	-	-	156,17	-	3,8	20,1		76,38
36.2	9970	52,4	71,1	0,7	44,1	1,1	134,28	240,85	3,7	19,9		73,63
36.3	10100	55,3	74,5	0,7	51,5	1,4	146,37	306,81	3,7	20		74
36.4	10100	50,2	68,8	0,7	-	-	125,5	-	3,9	20,3		79,17
36.5	10100	45,3	64,6	0,6	-	-	110,09	-	3,7	20		74
36.6	10100	48,4	67,7	0,7	-	-	120,44	-	4	20,1		80,4
37.1	13800	101	123	0,9	-	-	334,57	-	3,9	20		78
37.2	13400	96,3	120	0,9	-	-	321,12	-	4	20,1		80,4

37.3	14000	108	129	1	-	-	368,14	-	4,1	20	82	
37.4	13800	103	113	0,9	-	-	335,67	-	4	20	80	
37.5	13100	101	114	0,9	-	-	338,61	-	4,1	20,1	82,41	
37.6	13400	105	116	1	-	-	353,89	-	4	20	80	
38.1	10400 76,83		-		107	1,1	105	1,1	369,9	379,16	3,9	19,7
38.2	10100 79,2		-		114	1,2	113	1,3	440,61	449,41	4	19,8
38.3	10300	102	110	1,2	-	-	402,98	-	4,1	19,9	81,59	
38.4	10300 79,2		-		113	1,2	113	1,2	420,31	420,31	4	19,8
38.5	10000 80		-		117	1,3	117	1,3	460,66	460,66	4	20
38.6	10200 81,18		-		112	1,2	112	1,2	412,77	412,77	4,1	19,8
39.1	10000	117	125	1,5	125	1,6	624,05	629,32	4	20	80	
39.2	10300	118	131	1,6	130	1,6	701,39	705,57	4	20,1	80,4	
39.3	9960	119	128	1,6	128	1,6	668,16	673,55	3,9	20,1	78,39	
39.4	10200	116	123	1,5	123	1,5	600,16	605,35	3,9	20,2	78,78	
39.5	9900	118	124	1,5	118	1,5	603,76	611,71	4,1	20,1	82,41	
39.6	10000	117	130	1,7	129	1,7	699,06	714,14	4	19,9	79,6	
40.1	11800 76,38		-		118	1	118	1	339,27	339,27	3,8	20,1
40.2	11700	93,6	112	1	-	-	302,46	-	3,7	19,9	73,63	
40.3	10900 76		-		132	1,3	132	1,3	475,6	475,6	3,8	20
40.4	10700 76,38		-		116	1,1	116	1,1	355,43	355,43	3,8	20,1
40.5	12600 74		-		124	1	124	1	350,29	350,29	3,7	20

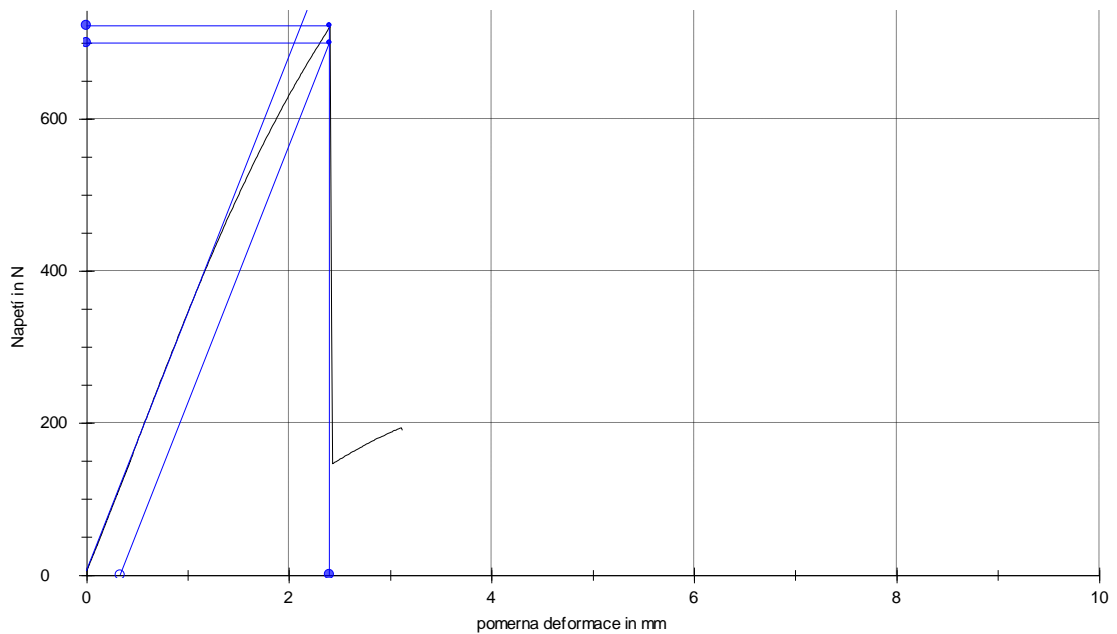
50.4	15800 78,8	-			205	1,5	205	1,5	909,4	909,4	4	19,7
50.5	15200 77,22	-			199	1,4	199	1,4	851,46	851,46	3,9	19,8
50.6	14900 76,44	-			182	1,3	182	1,3	717,08	717,08	3,9	19,6
51.1	16800	179	197	1,3	-	-	736,92	-	4	20	80	
51.2	17400	207	211	1,4	-	-	892,32	-	3,9	19,9	77,61	
51.3	8640 80,4	-			128	1,2	128	1,2	389,33	389,33	4	20,1
51.4	11900 78	-			121	1	121	1	353,24	353,24	3,9	20
51.5	18600	220	227	1,4	-	-	945,94	-	3,8	20	76	
51.6	18400	225	227	1,4	227	1,4	996,95	996,95	3,9	20,1	78,39	
52.1	14100 76	-			144	1	144	1	404,59	404,59	3,8	20
52.2	13900 74,37	-			140	1	140	1	383,37	383,37	3,7	20,1
52.3	13700 78	-			145	1,1	145	1,1	412,42	412,42	3,9	20
52.4	13600 74,74	-			136	1	136	1	366,73	366,73	3,7	20,2
52.5	13900 76	-			135	1	133	1	346,11	350,03	3,8	20
52.6	13600 74,37	-			141	1,1	141	1,1	403,13	403,13	3,7	20,1
53.1	17400 78	-			184	1,1	184	1,1	608,46	608,46	3,9	20
53.2	17800 79,6	-			221	1,4	221	1,4	946,54	946,54	4	19,9
53.3	17400 82,41	-			216	1,4	216	1,4	918,18	918,18	4,1	20,1

53.4	17200 82	-			212	1,4	212	1,4	912,94	912,94	4,1	20
53.5	17000 80	-			181	1,1	181	1,1	618,73	618,73	4	20
53.6	16700 78,39	-			170	1,1	170	1,1	538,58	538,58	3,9	20,1
54.1	13400 81,18	-			152	1,2	152	1,2	551,34	551,34	4,1	19,8
54.2	13500 80,77	-			159	1,3	157	1,3	603,44	610,27	4,1	19,7
54.3	14100 78,8	-			162	1,2	162	1,2	600,78	600,78	4	19,7
54.4	13800 79,2	-			148	1,1	148	1,1	484,18	484,18	4	19,8
54.5	14200 77,61	-			173	1,3	173	1,3	680,59	680,59	3,9	19,9
54.6	13700 80	-			173	1,4	173	1,4	705,18	705,18	4	20
55.1	13500 76,38	-			165	1,3	165	1,3	640,3	640,3	3,8	20,1
55.2	13000 78,78	-			167	1,4	167	1,4	695,37	695,37	3,9	20,2
55.3	13400 80,4	-			161	1,3	161	1,3	604,53	604,53	4	20,1
55.4	13600 78	-			163	1,3	163	1,3	625,9	625,9	3,9	20
55.5	9050 76,38	-			189	1,6	189	1,6	822,82	822,82	3,8	20,1
55.6	12800	155	167	1,4	-	-	694,3	-	3,9	20	78	
56.1	14800 72,72	-			178	1,2	178	1,2	607,06	607,06	3,6	20,2
56.2	14500 74	-			194	1,4	194	1,4	773,26	773,26	3,7	20

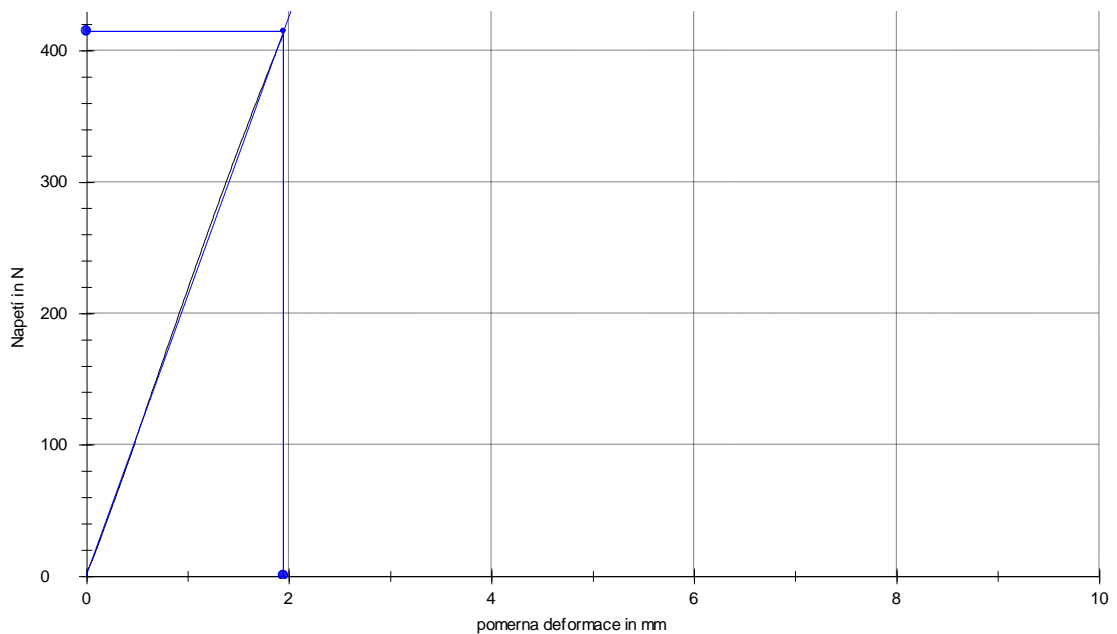
PŘÍLOHA 3.

Závislost napětí na poměrné deformaci:

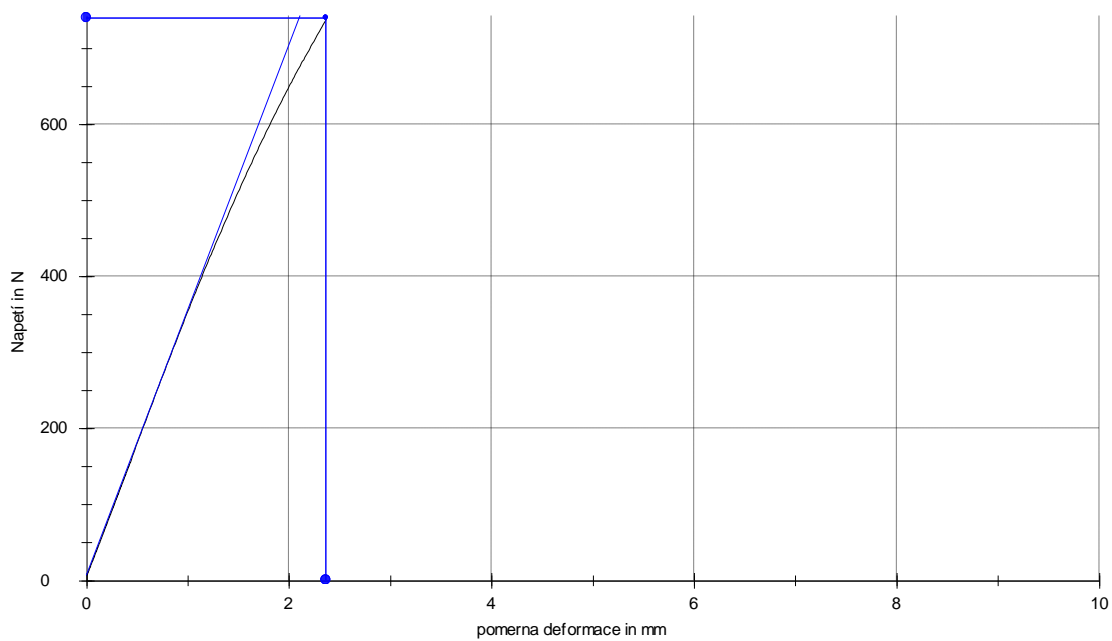
Graf 1 ABET, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$



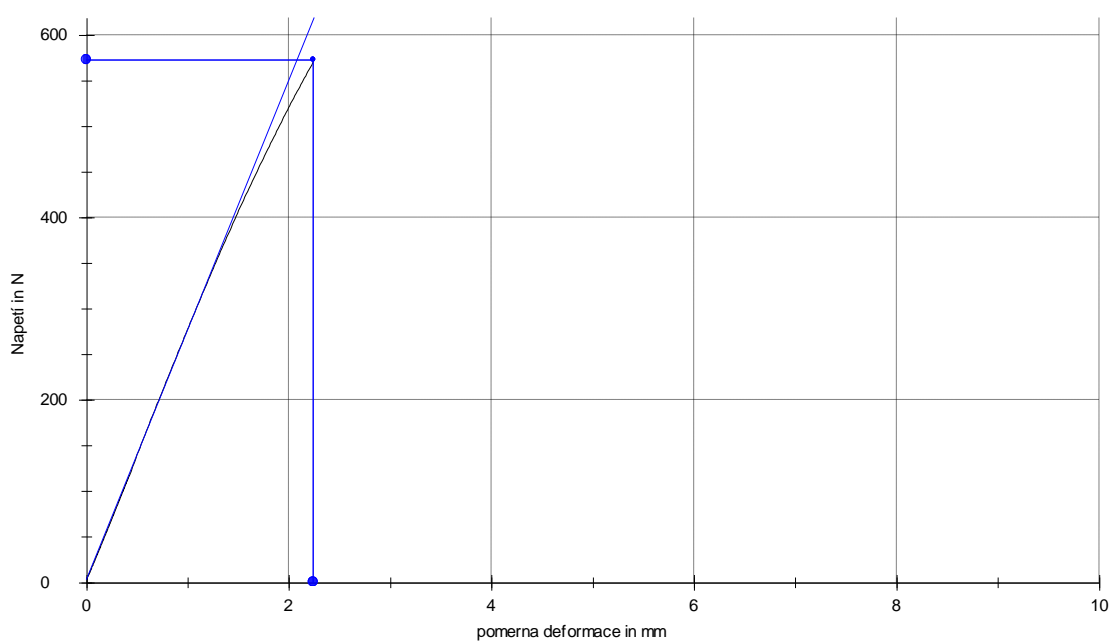
Graf 2 REXIN, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$



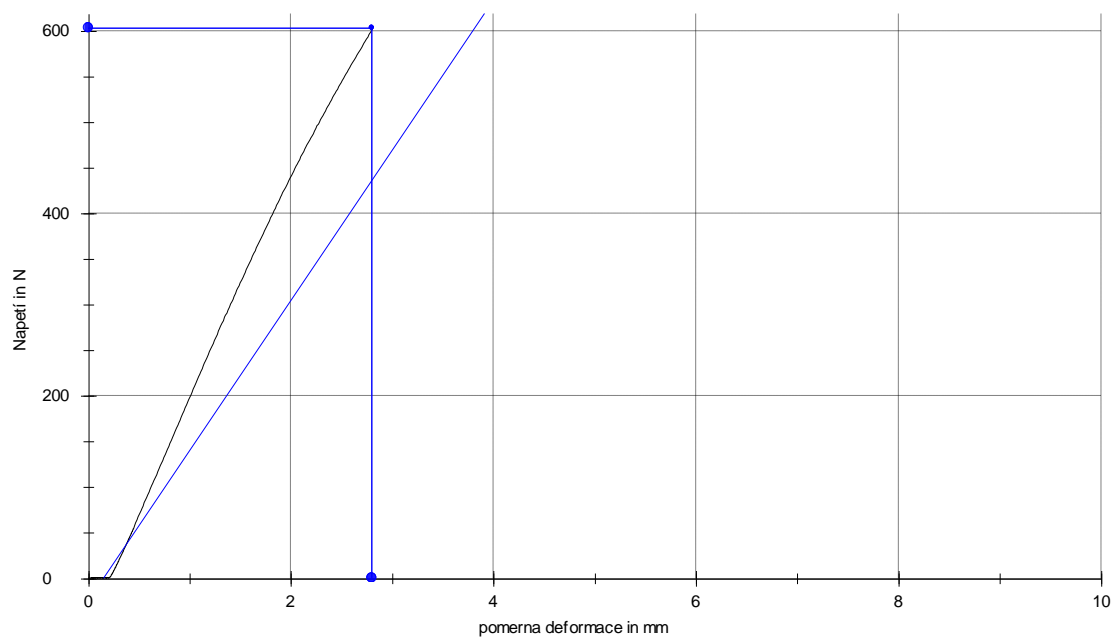
Graf 3 *FUNDERMAX*, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



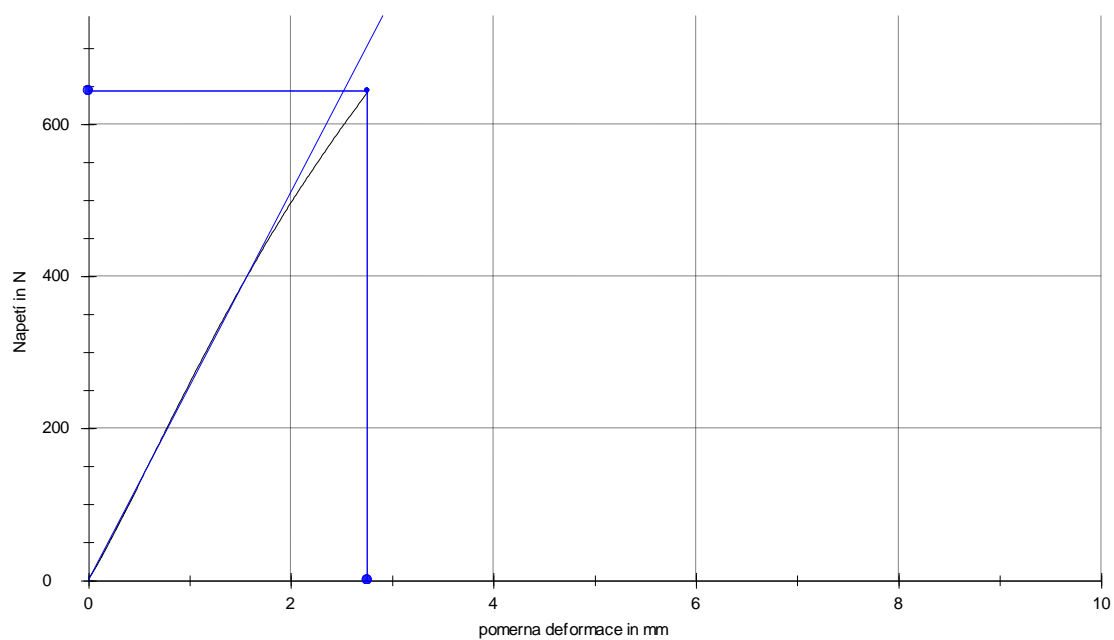
Graf 4 *POLYREY*, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



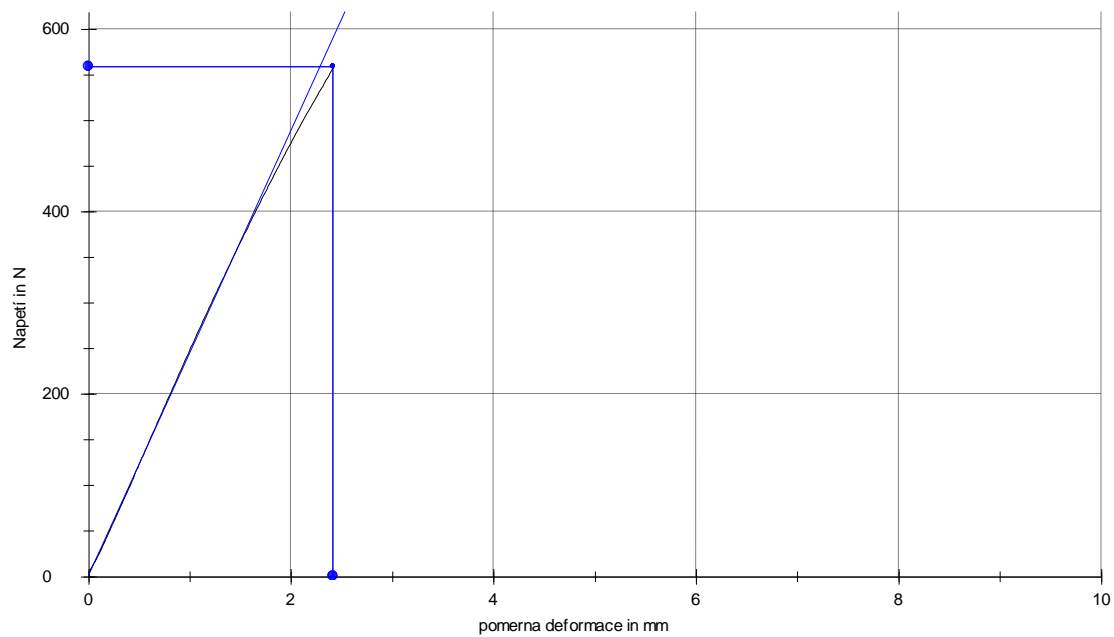
Graf 5 ABET, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



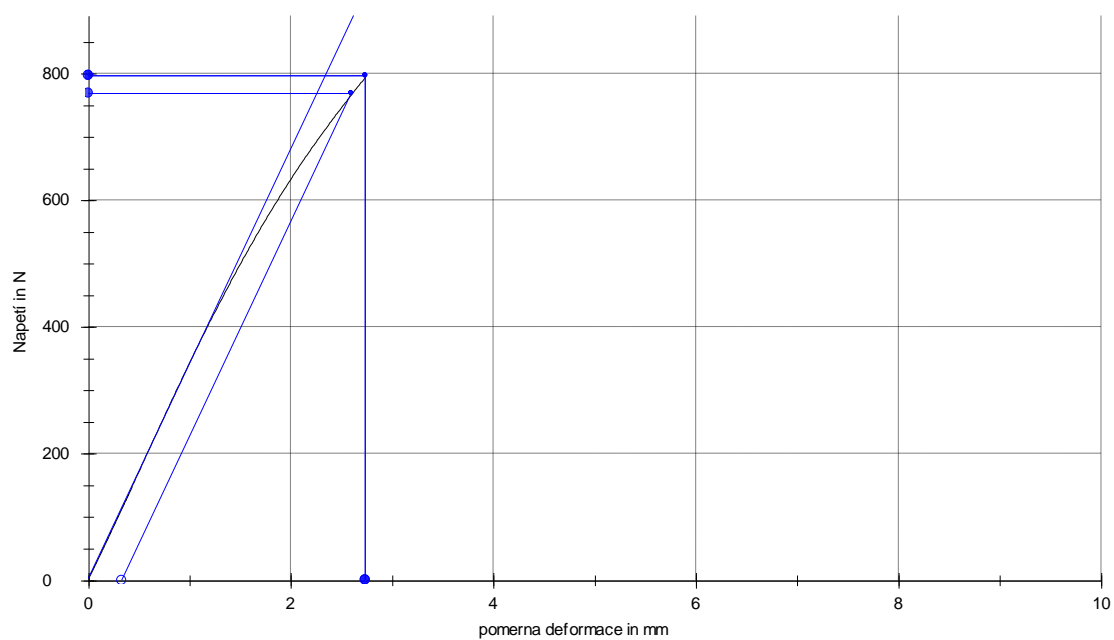
Graf 6 REXIN, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



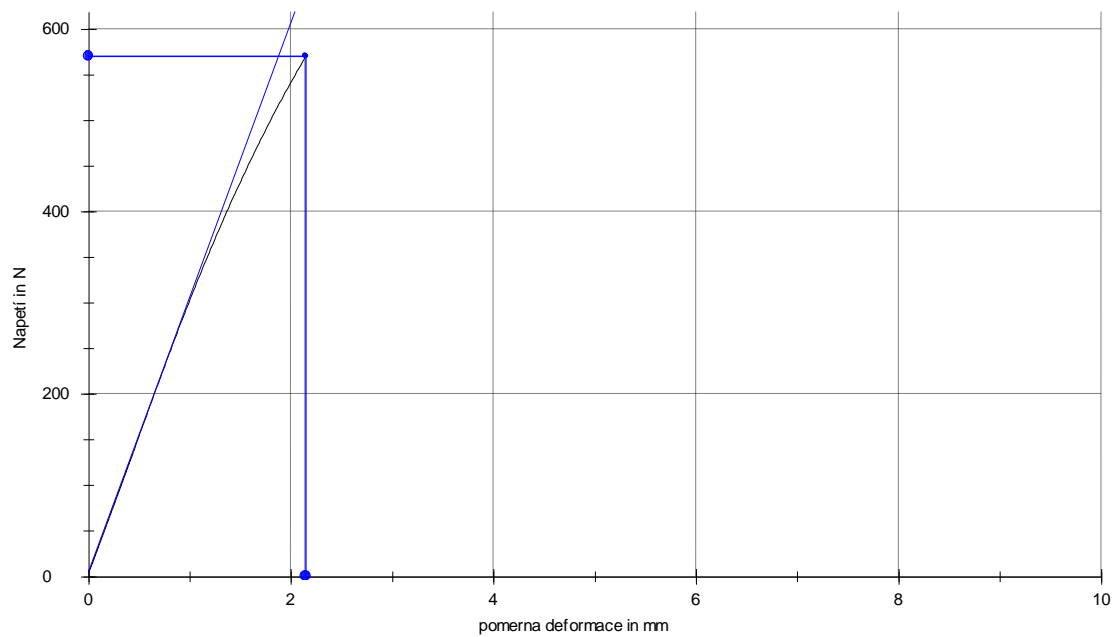
Graf 7 FUNDERMAX, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



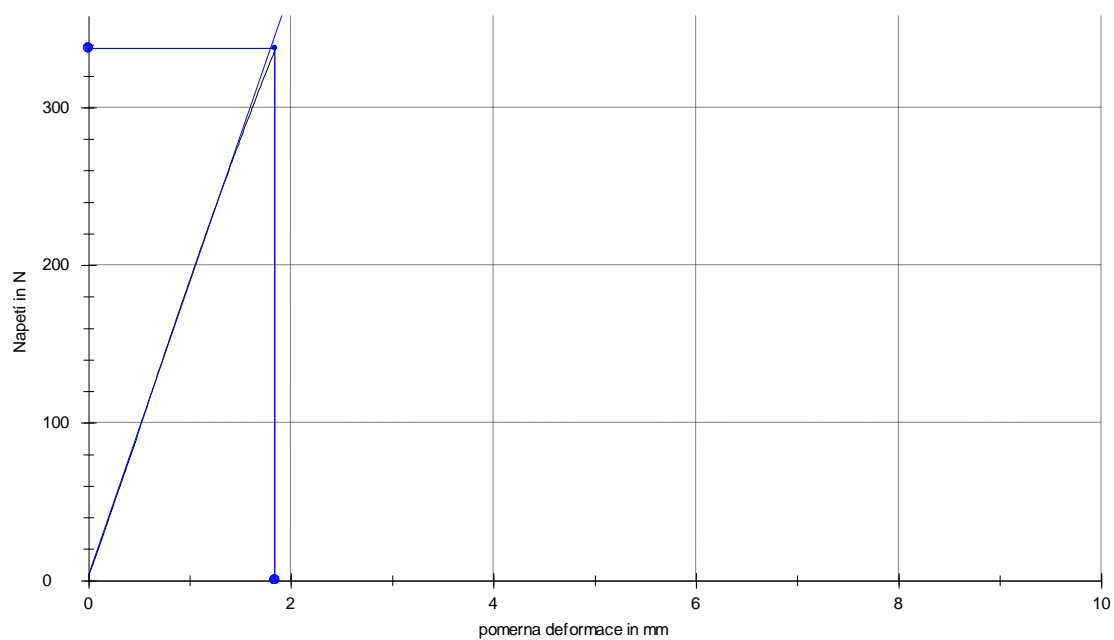
Graf 8 POLYREY, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



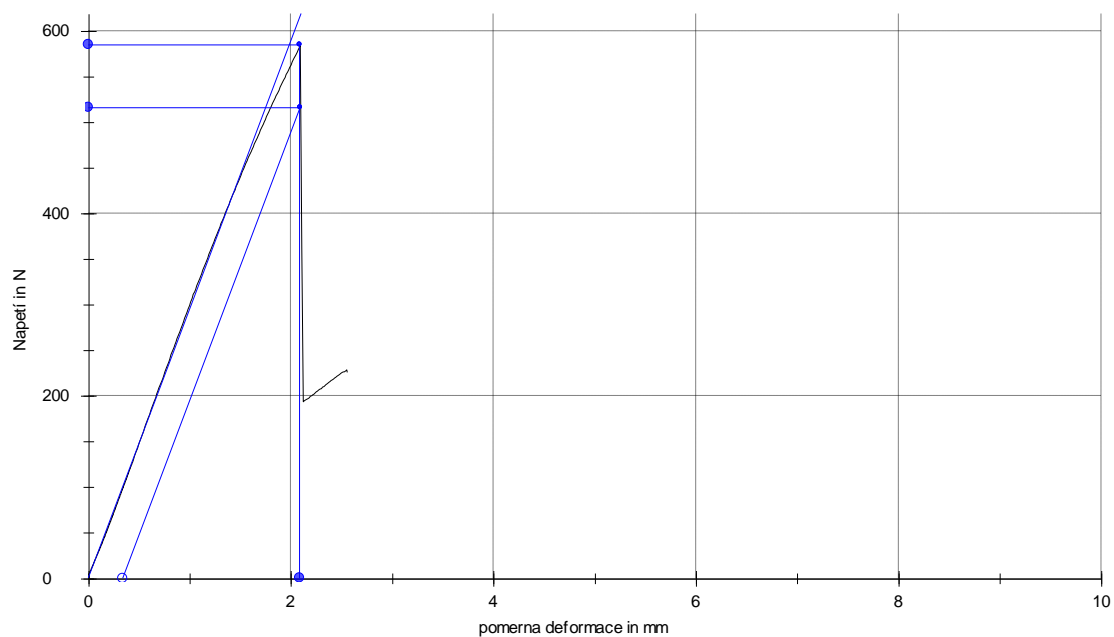
Graf 9 ABET, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$



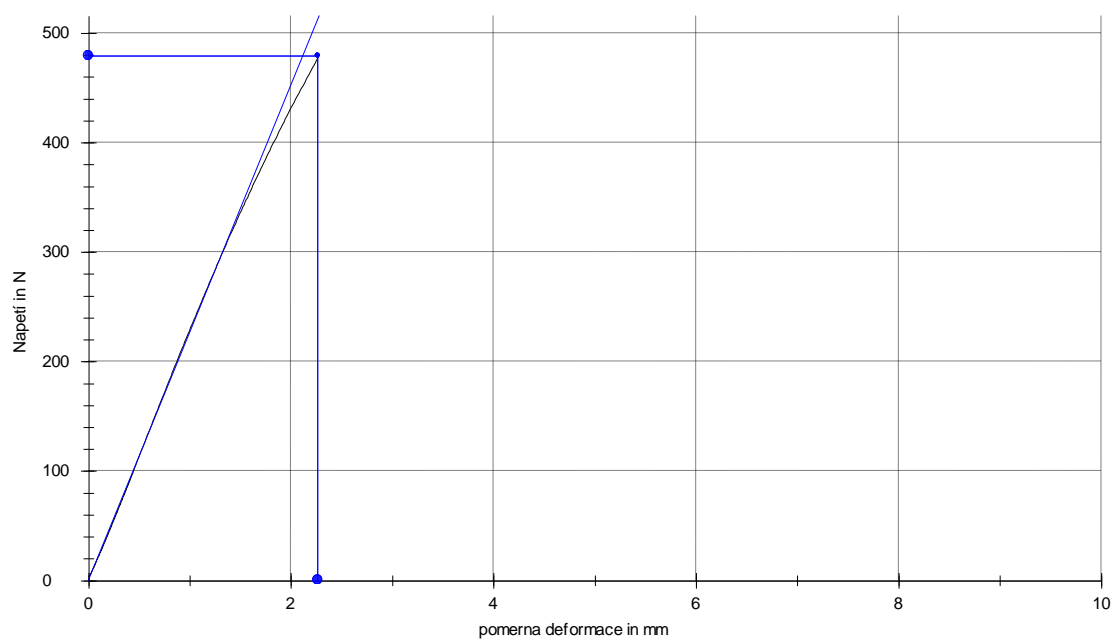
Graf 10 REXIN, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$



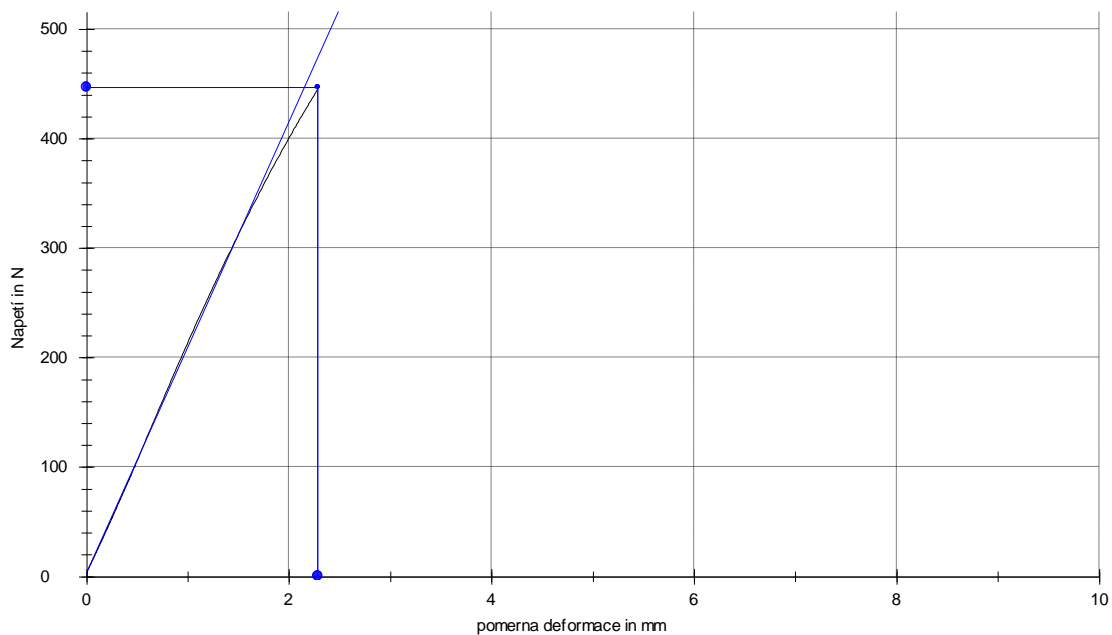
Graf 11 *FUNDERMAX*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



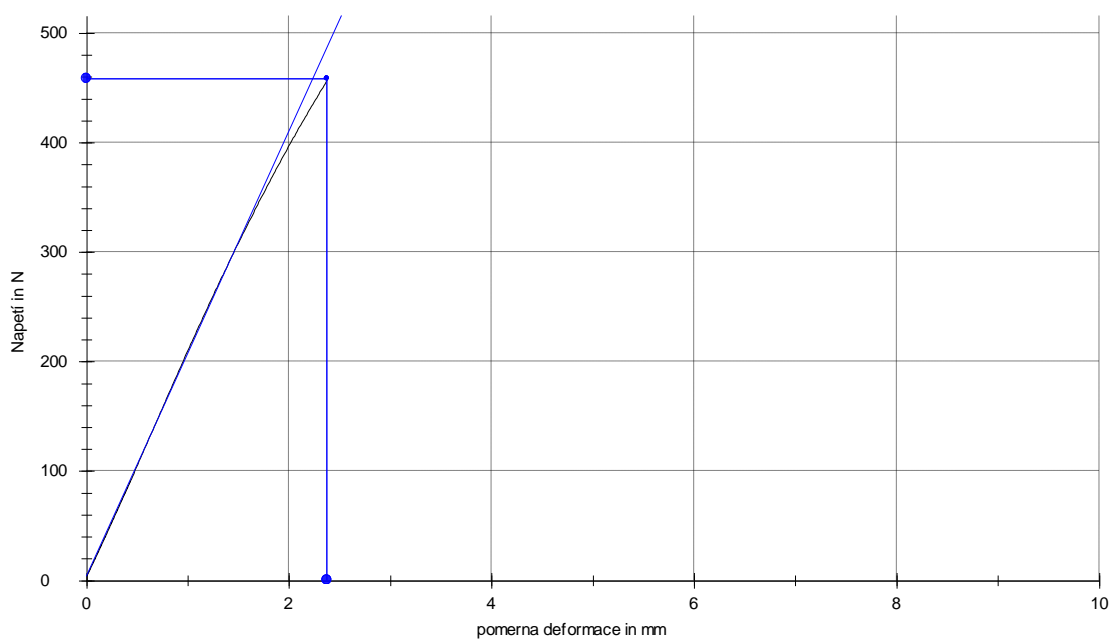
Graf 12 *POLYREY*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



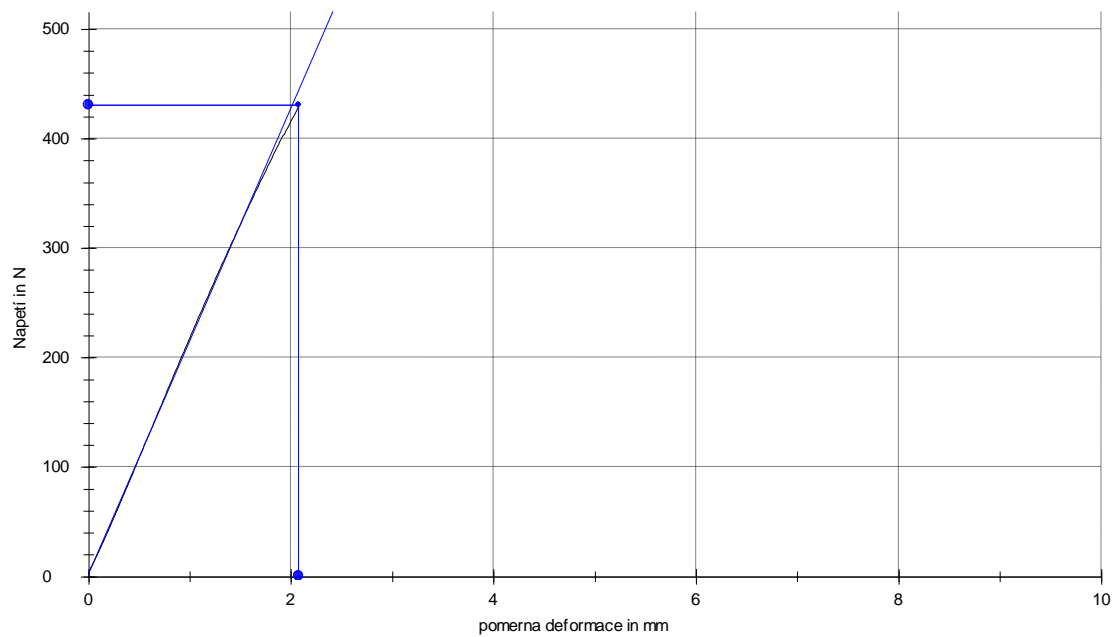
Graf 13 ABET, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



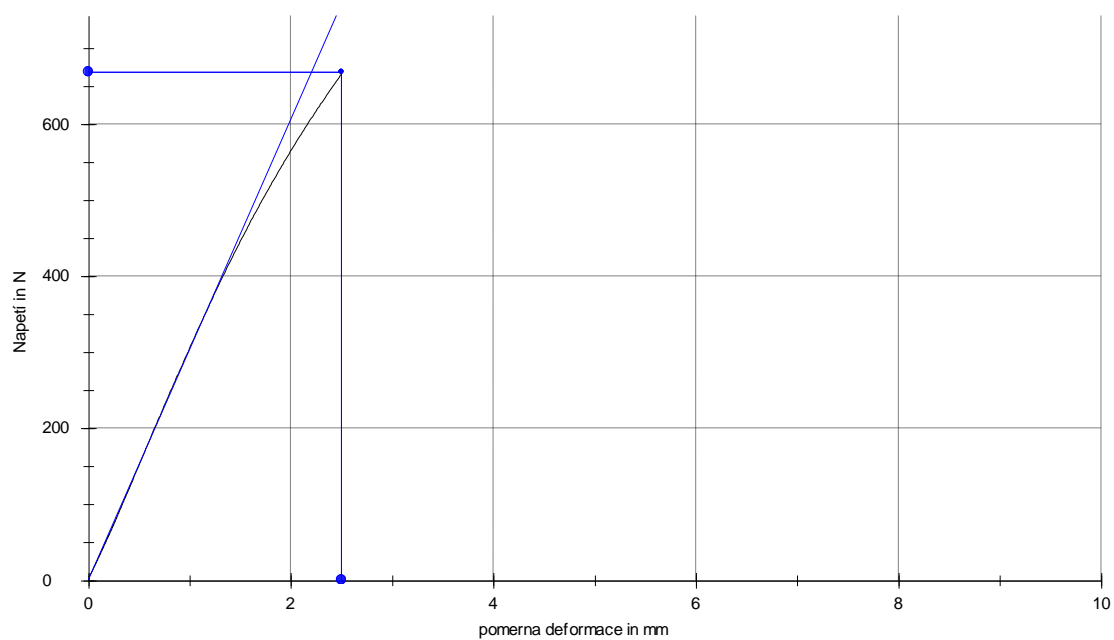
Graf 14 REXIN, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



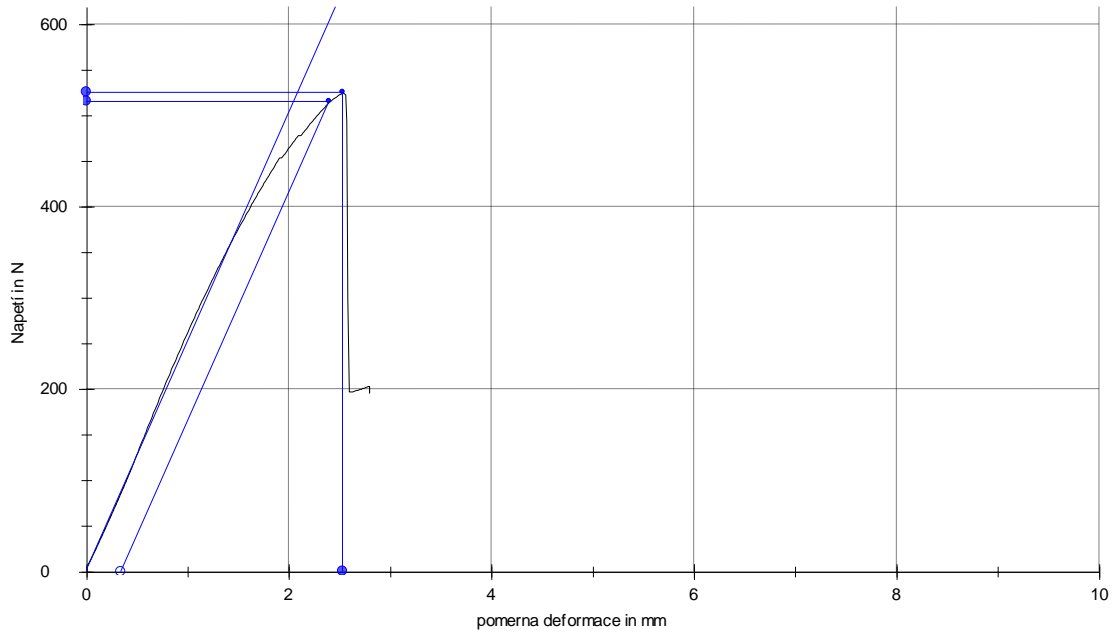
Graf 15 *FUNDERMAX*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - *L*, počet měření $n = 6$



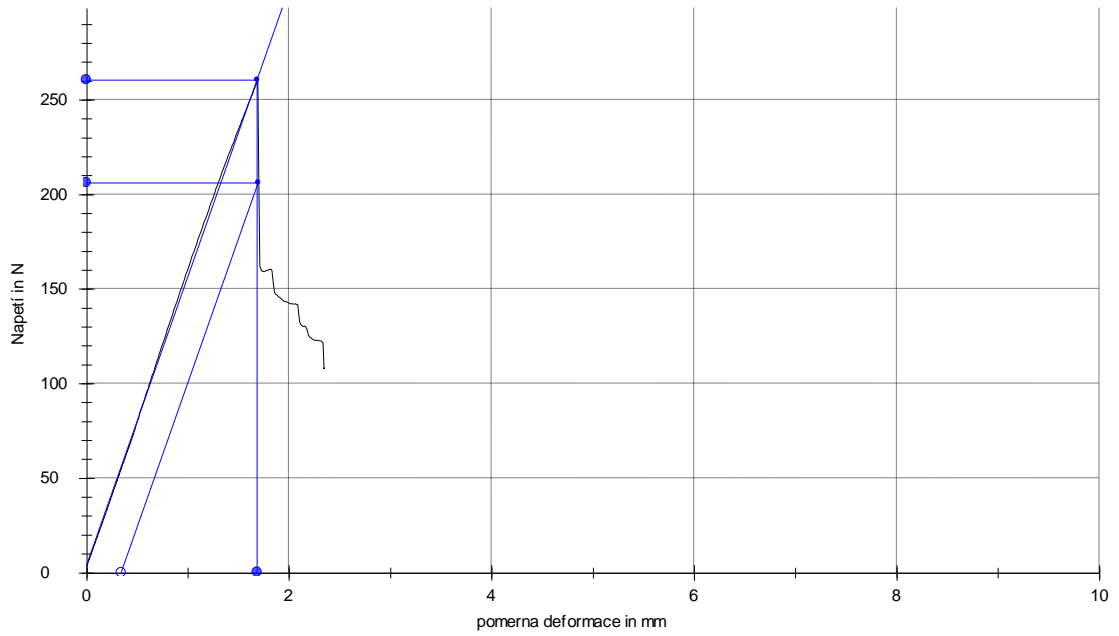
Graf 16 *POLYREY*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - *L*, počet měření $n = 6$



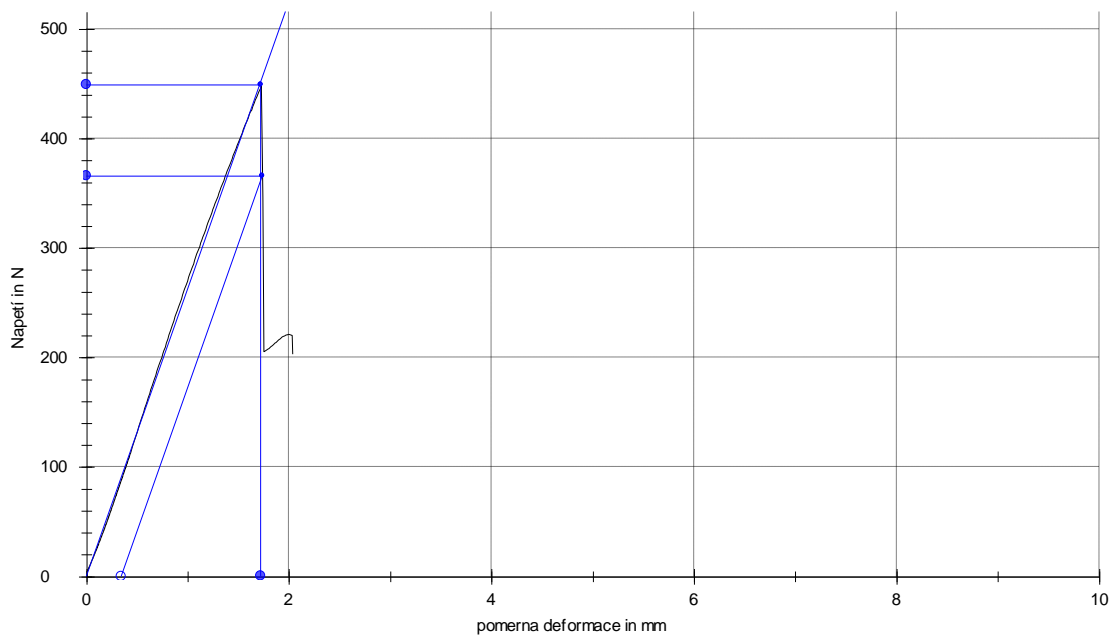
Graf 17 ABET, $T = 60^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



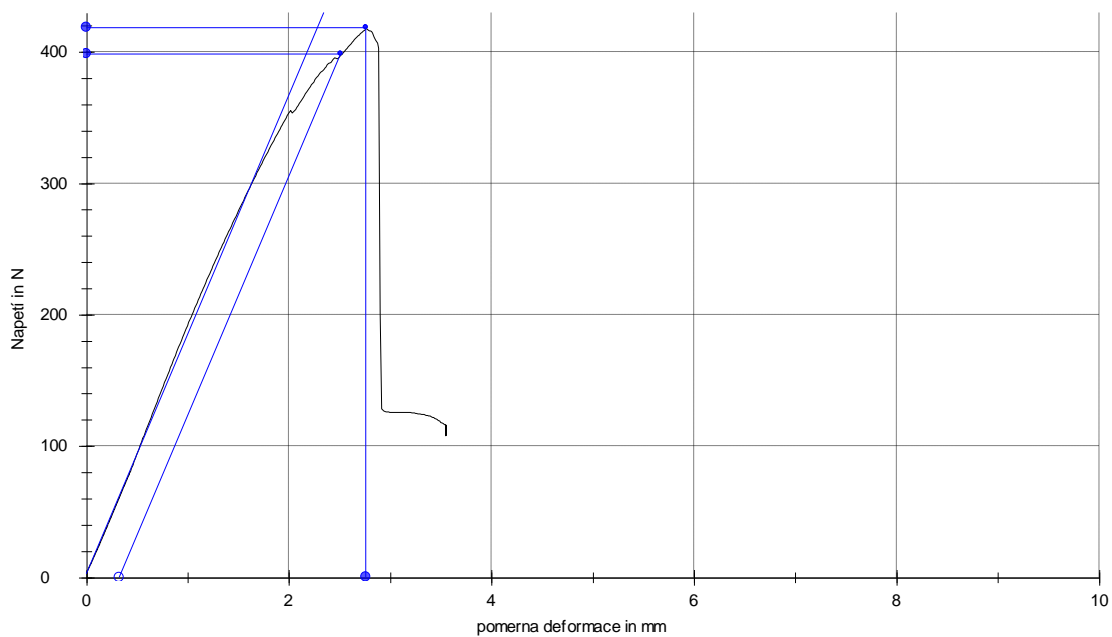
Graf 18 REXIN, $T = 60^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



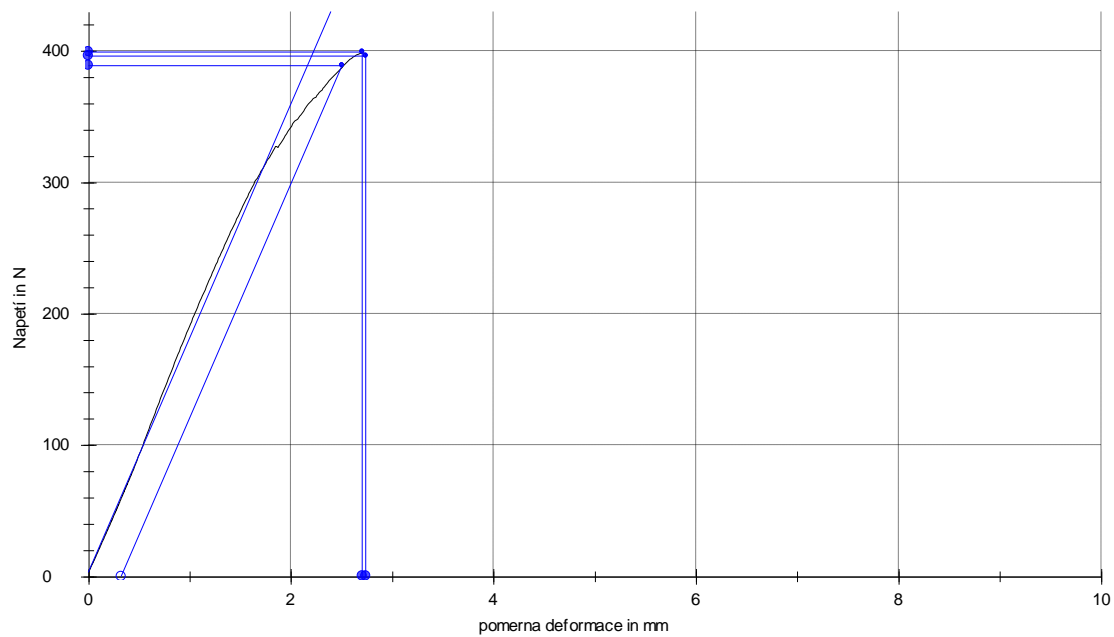
Graf 19 FUNDERMAX, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



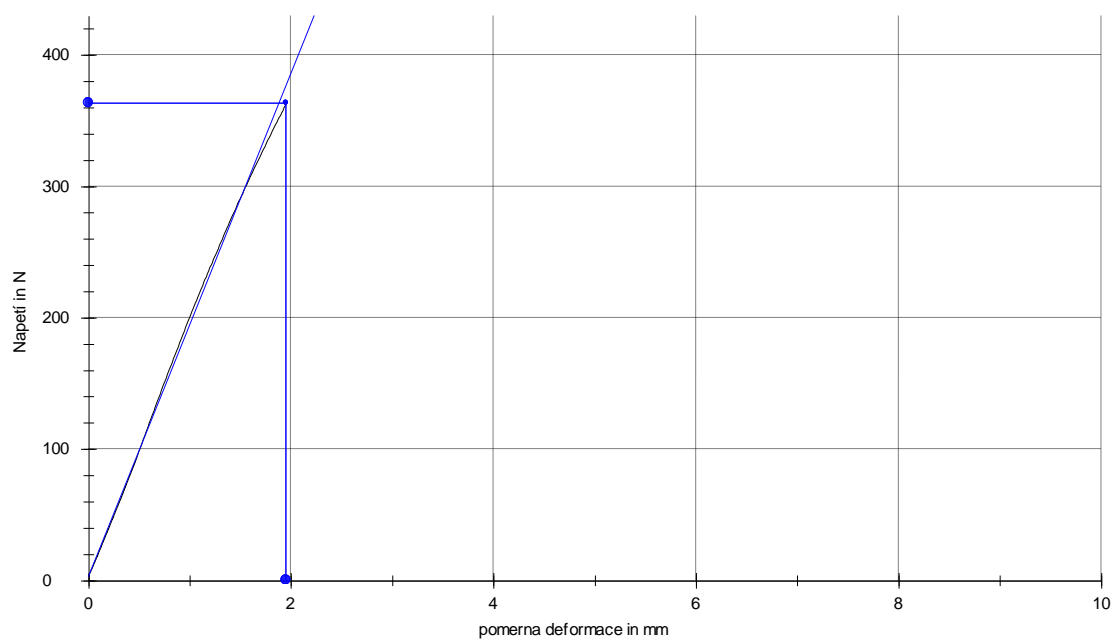
Graf 20 POLYREY, $T = 60^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$



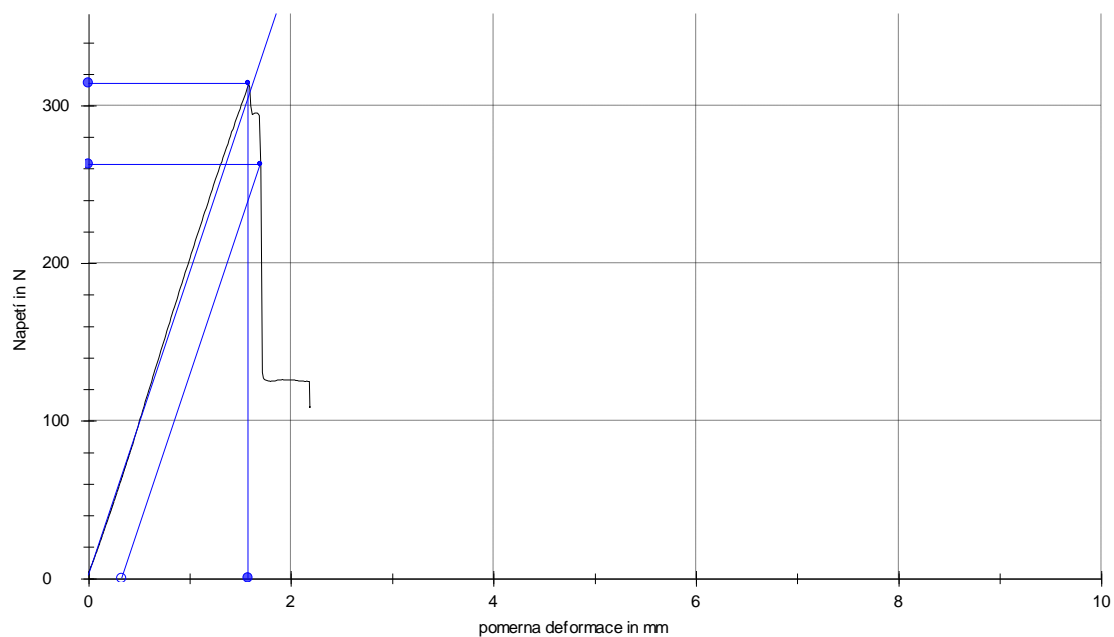
Graf 21 ABET, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



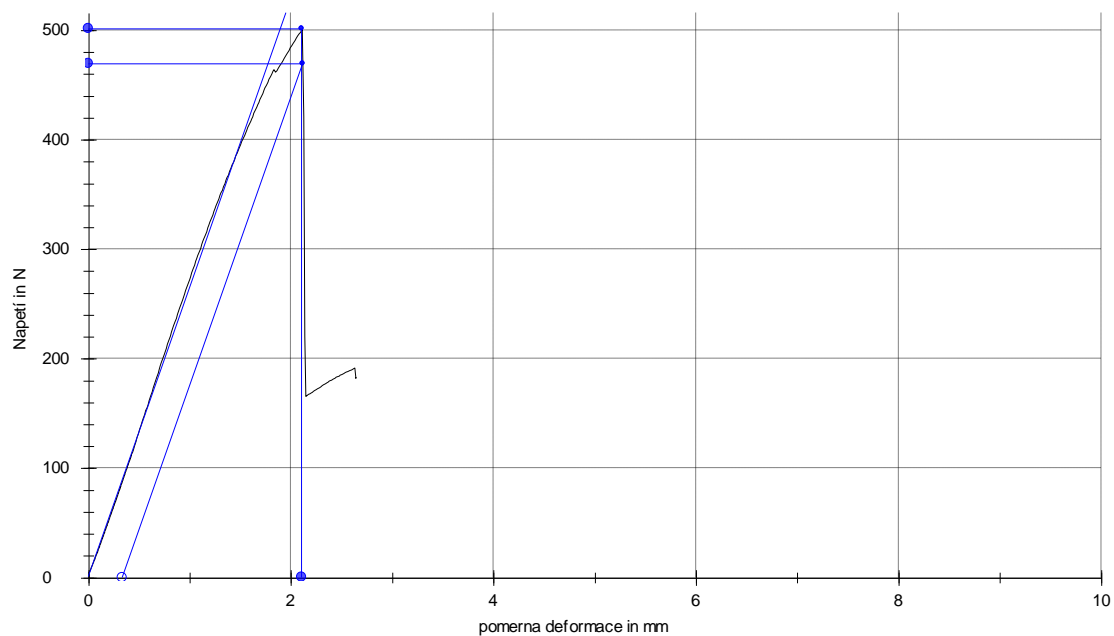
Graf 22 REXIN, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



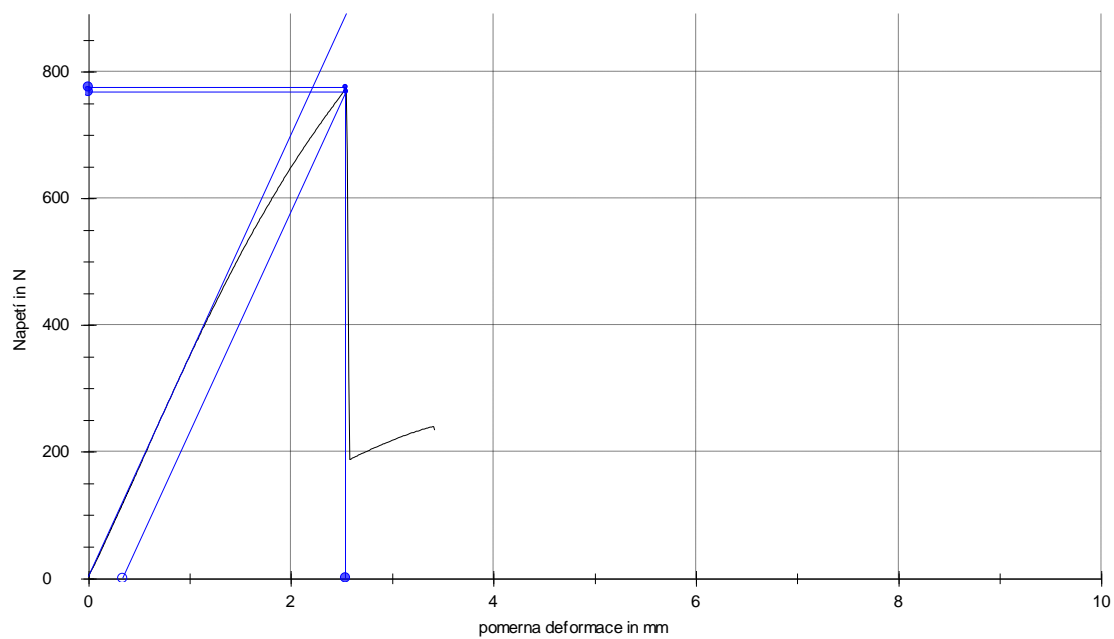
Graf 23 FUNDERMAX, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



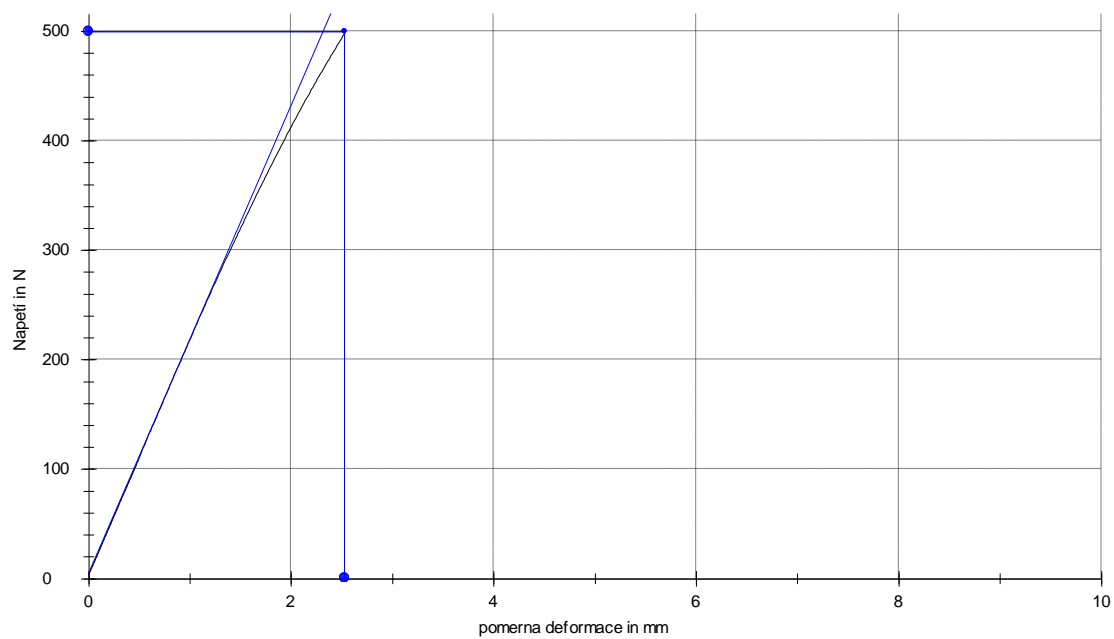
Graf 24 POLYREY, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$



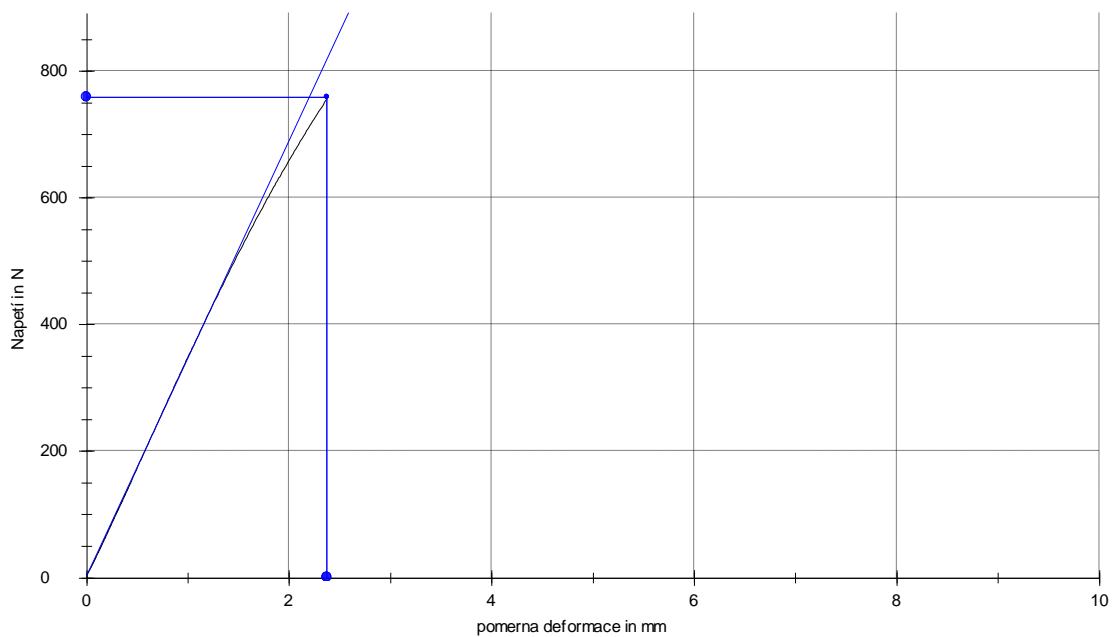
Graf 25 ABET, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



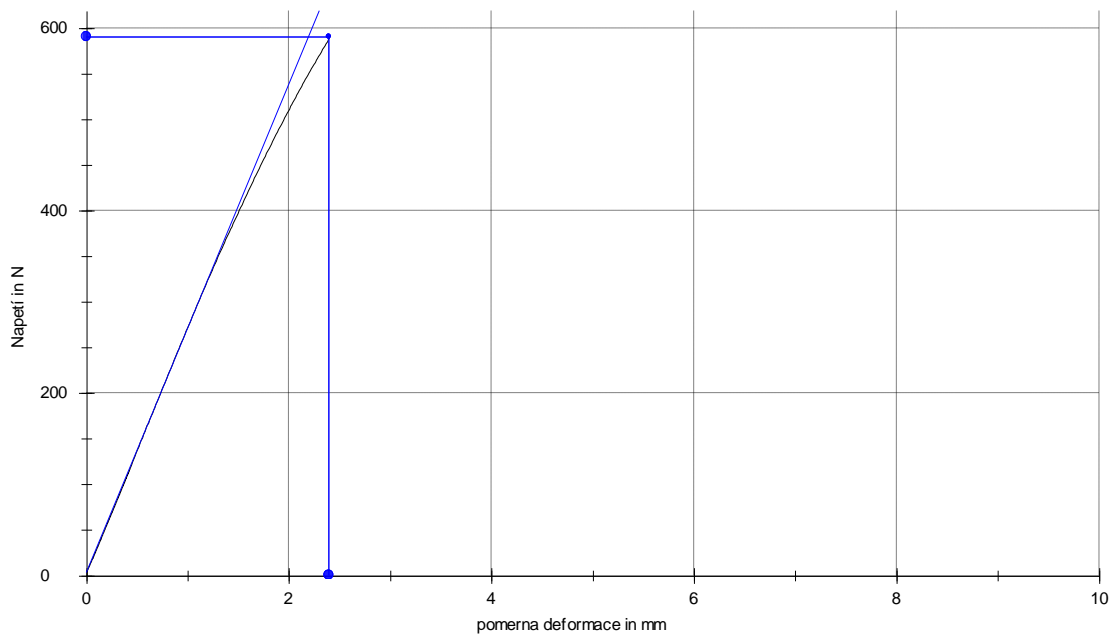
Graf 26 REXIN, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



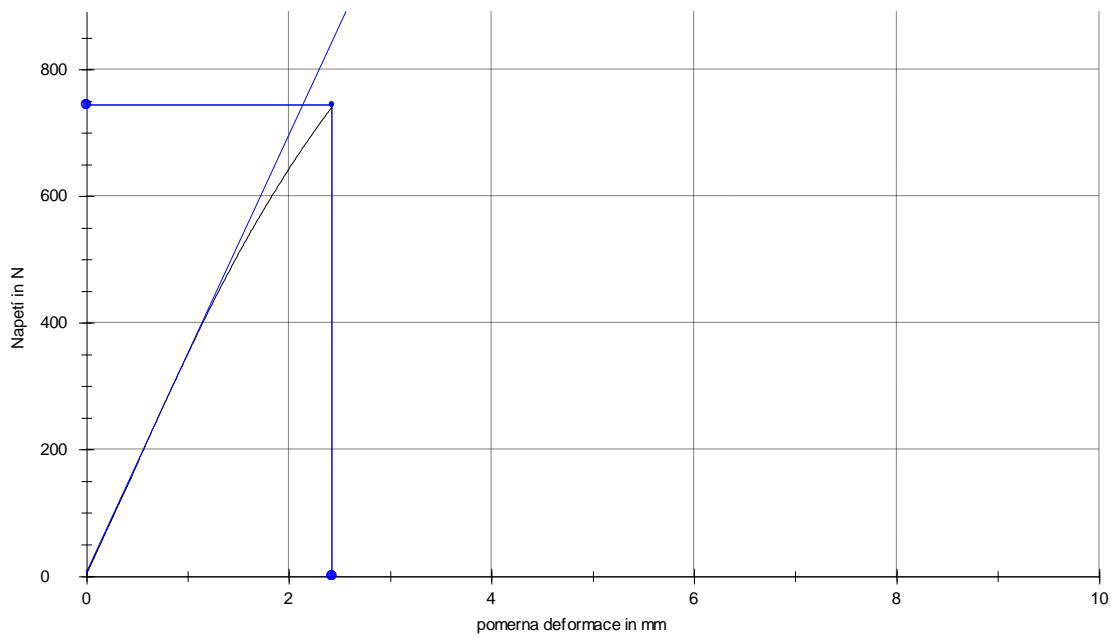
Graf 27 FUNDERMAX, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



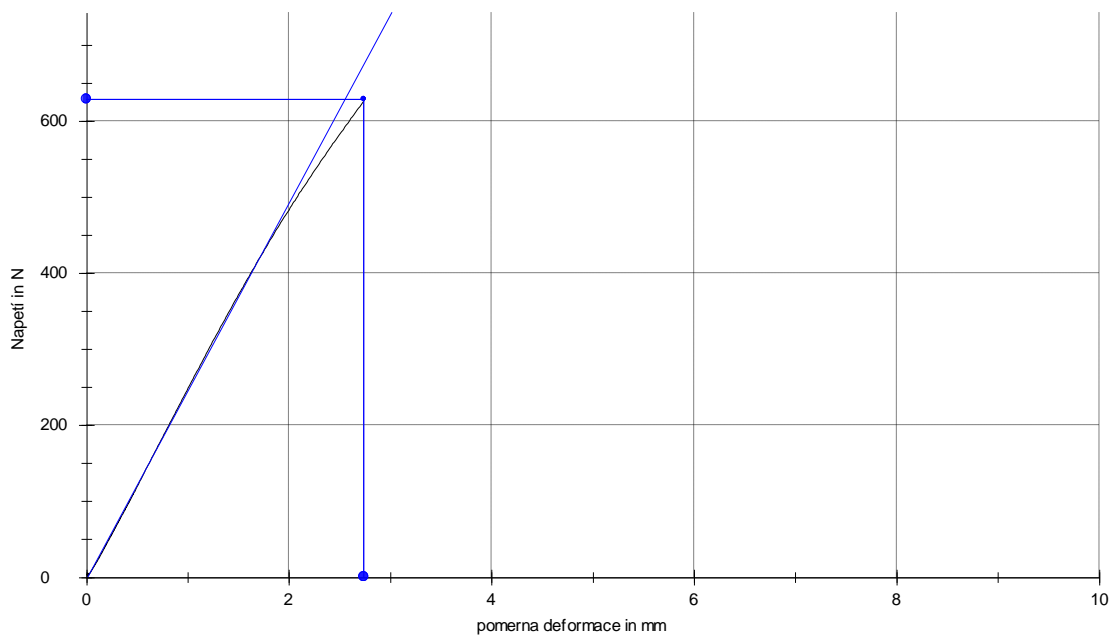
Graf 28 POLYREY, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



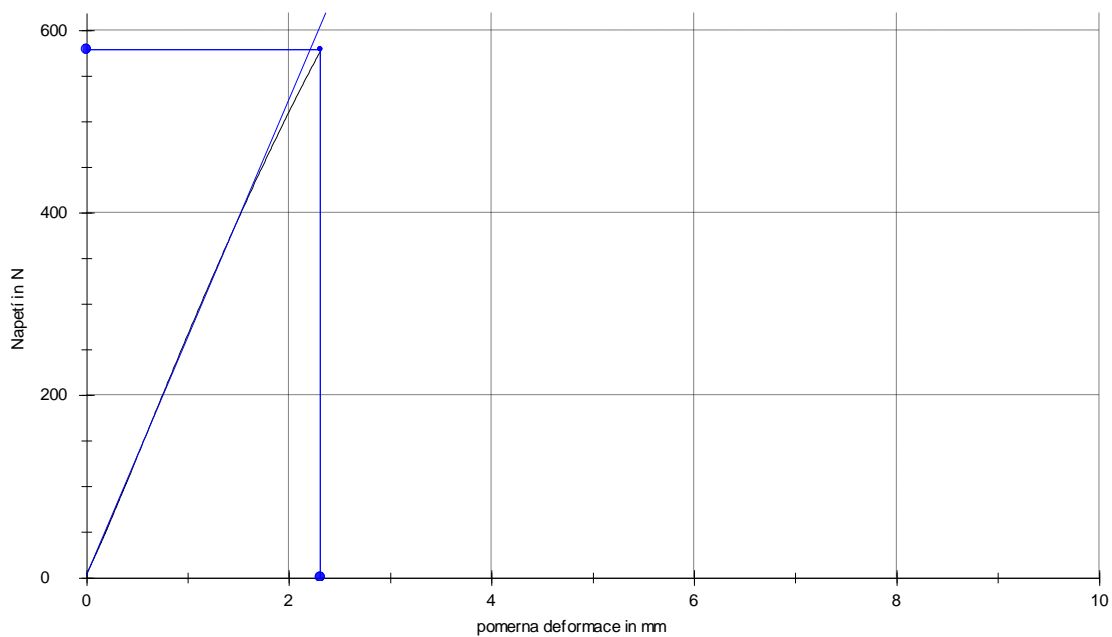
Graf 29 ABET, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



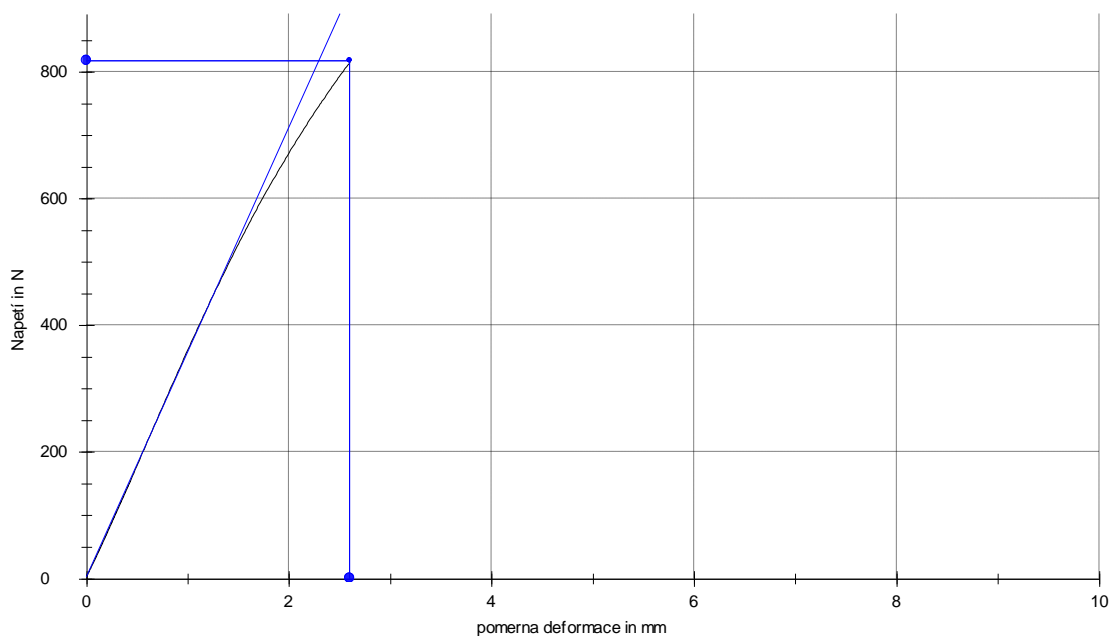
Graf 30 REXIN, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



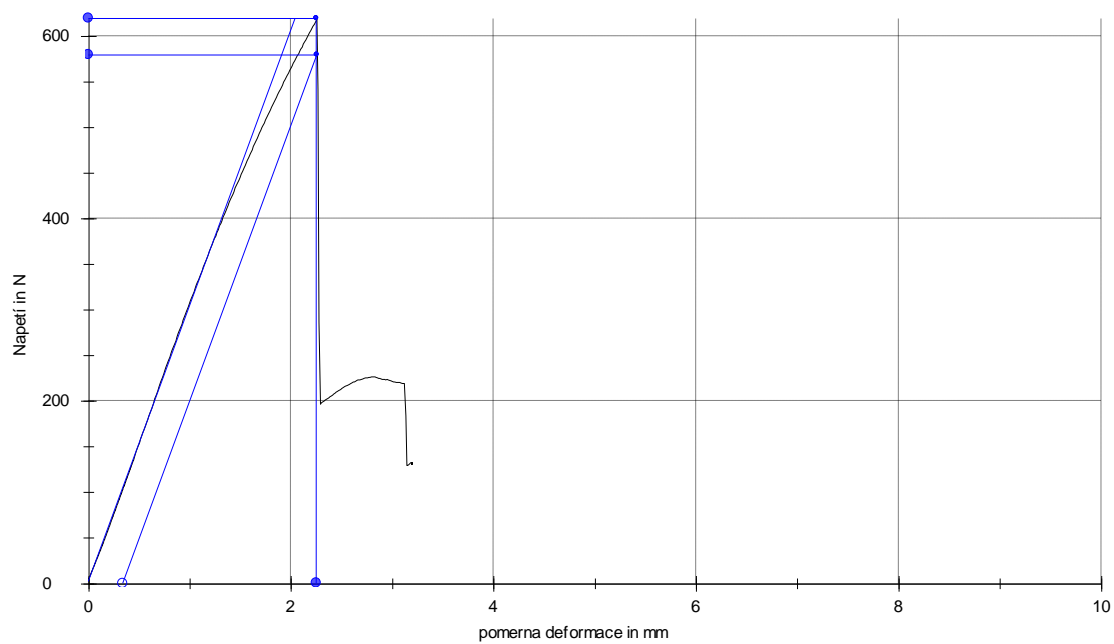
Graf 31 *FUNDERMAX*, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



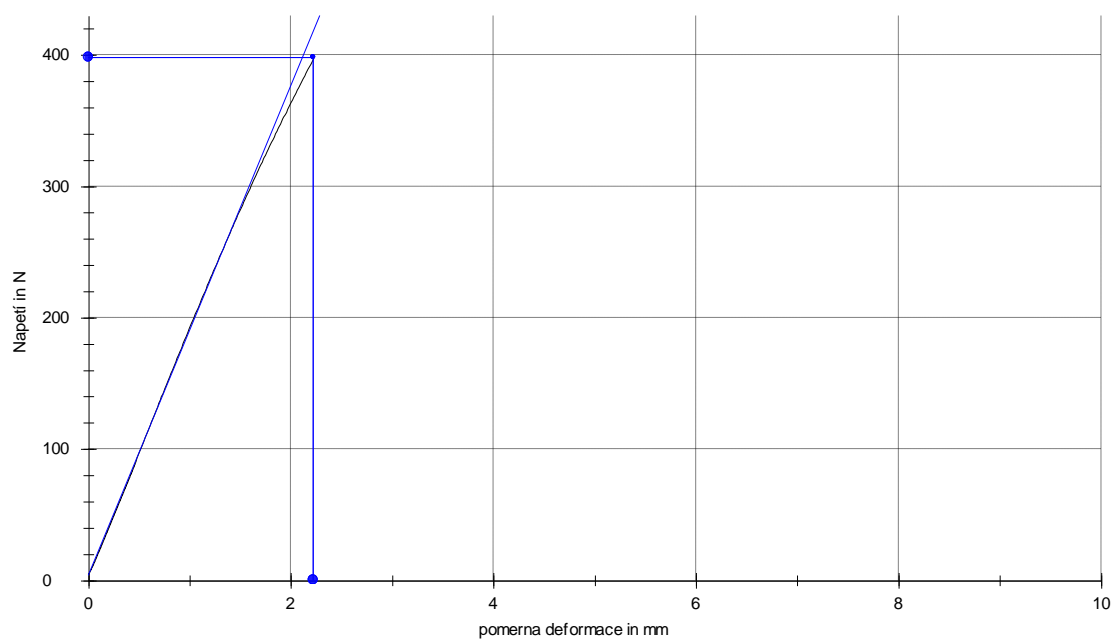
Graf 32 *POLYREY*, $T = -20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



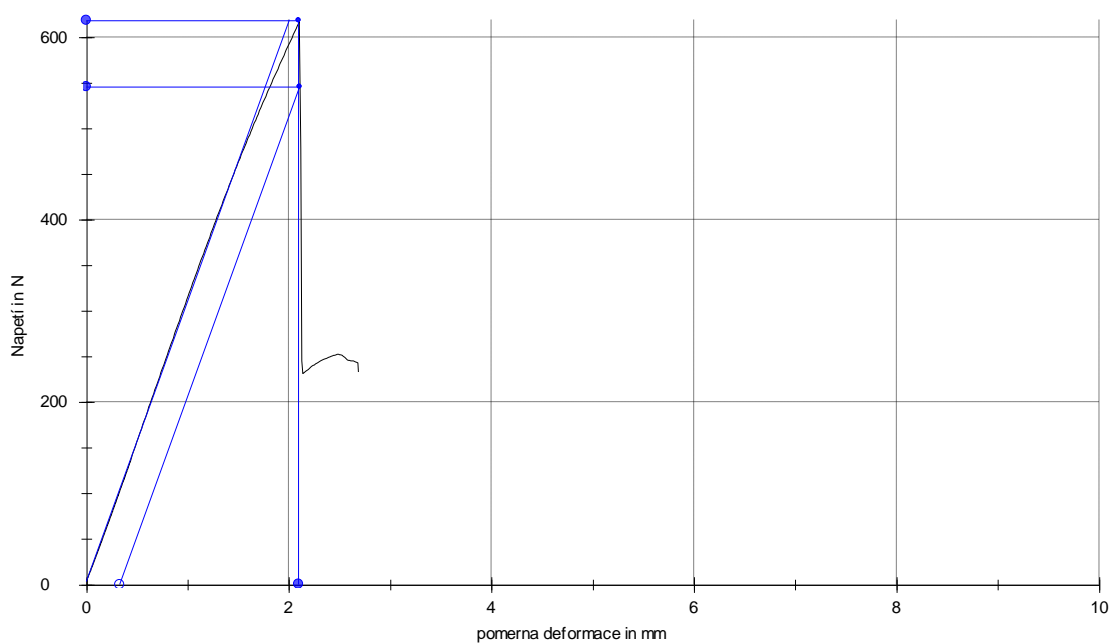
Graf 33 ABET, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



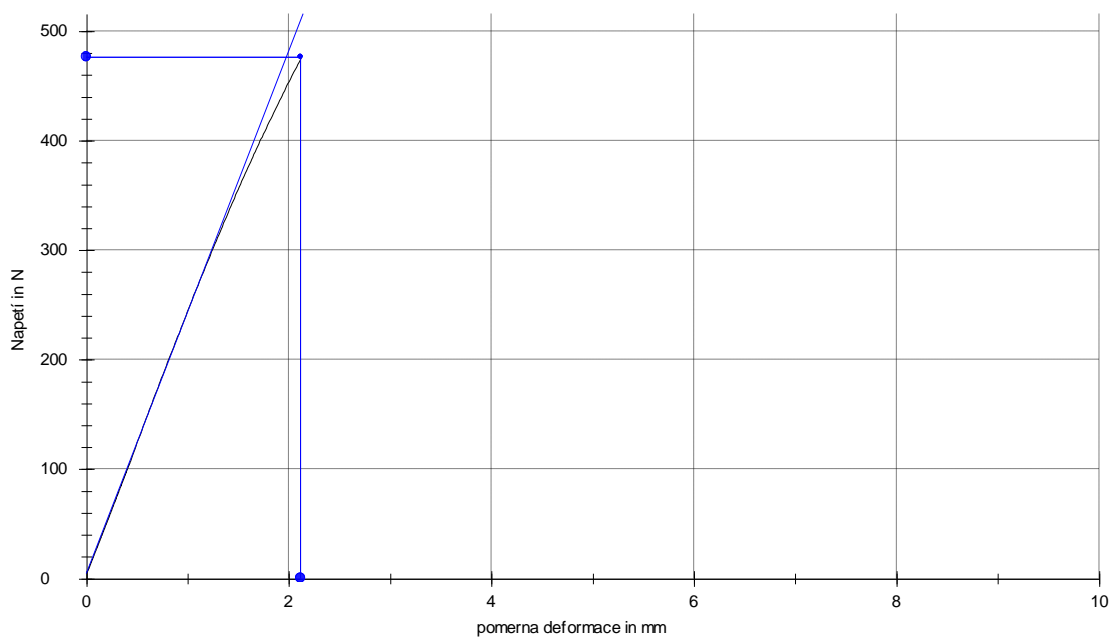
Graf 34 REXIN, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



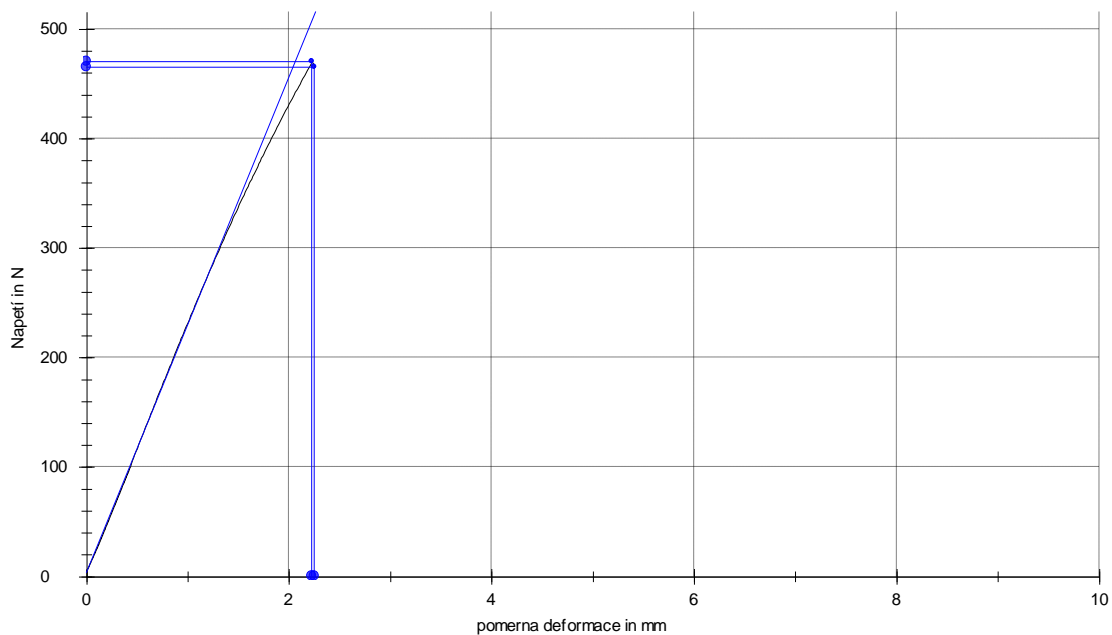
Graf 35 *FUNDERMAX*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$, 1500h voda



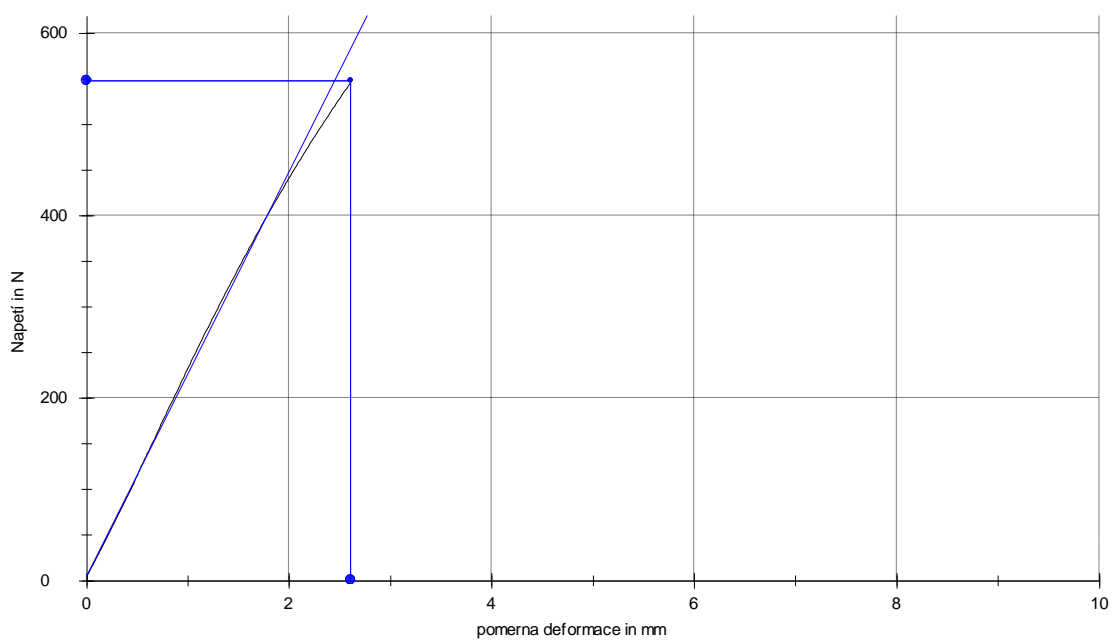
Graf 36 *POLYREY*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$, 1500h voda



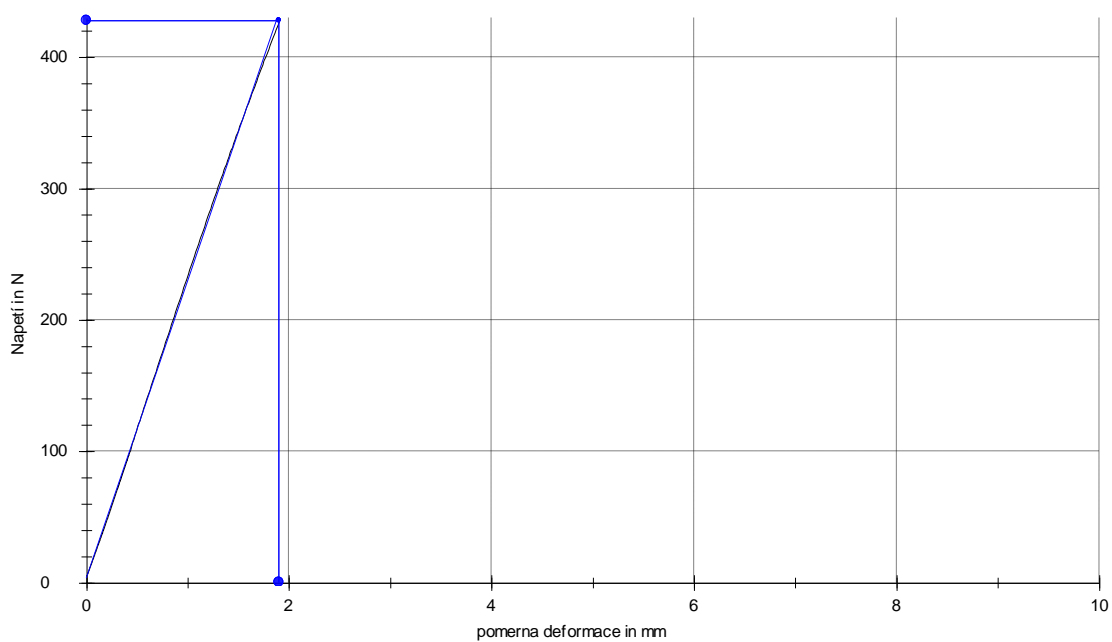
Graf 37 ABET, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



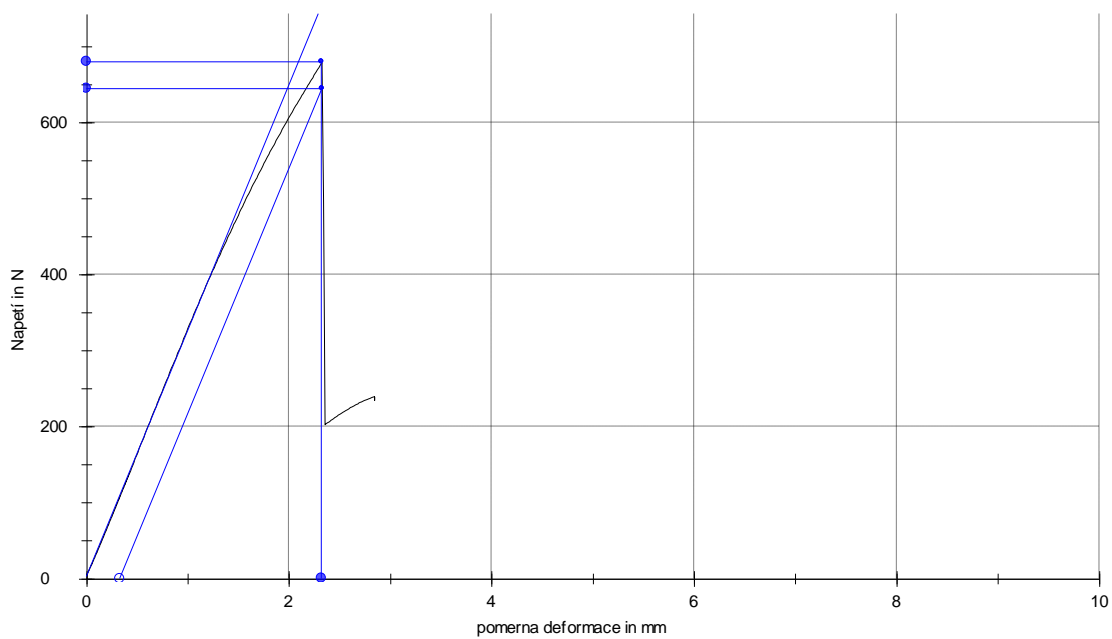
Graf 38 REXIN, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



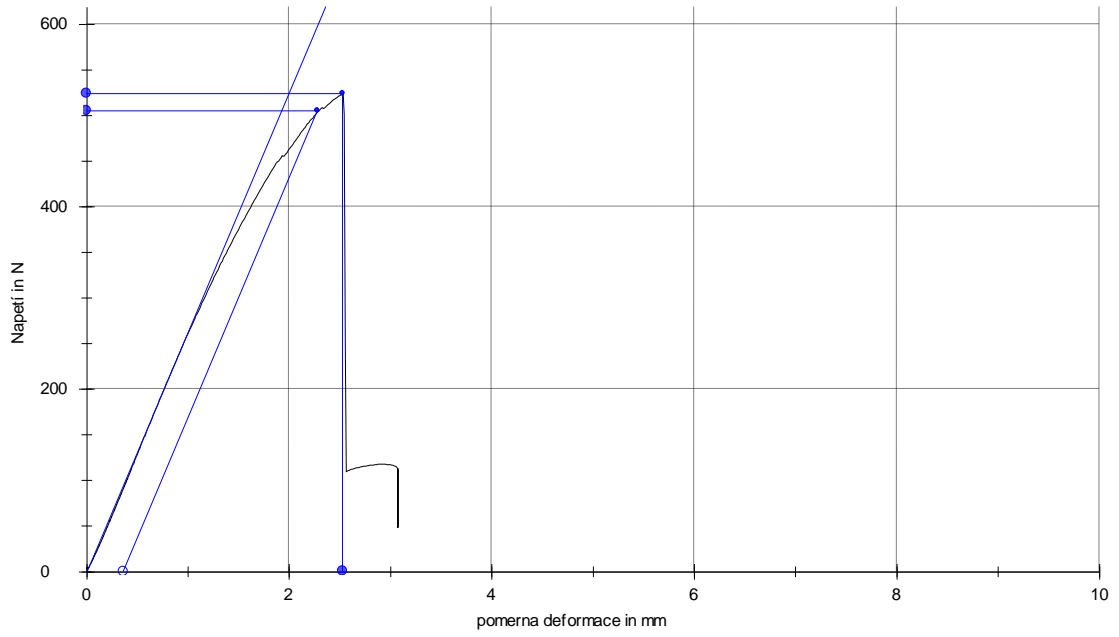
Graf 39 *FUNDERMAX*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - *L*, počet měření $n = 6$, 1500h voda



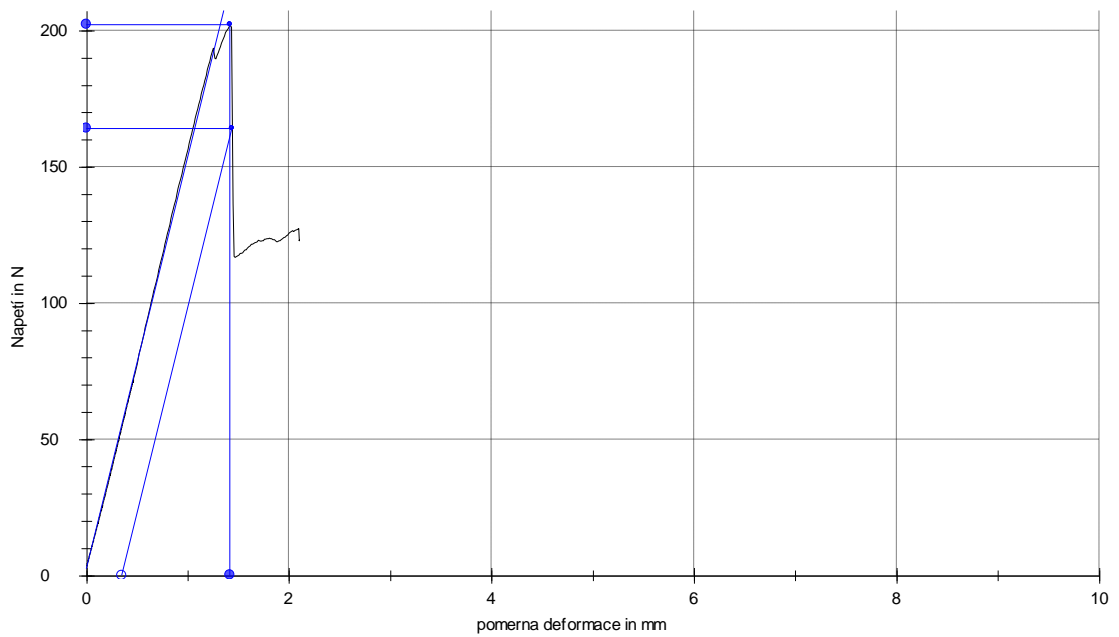
Graf 40 *POLYREY*, $T = 20^{\circ}\text{C}$, podélný směr - *L*, počet měření $n = 6$, 1500h voda



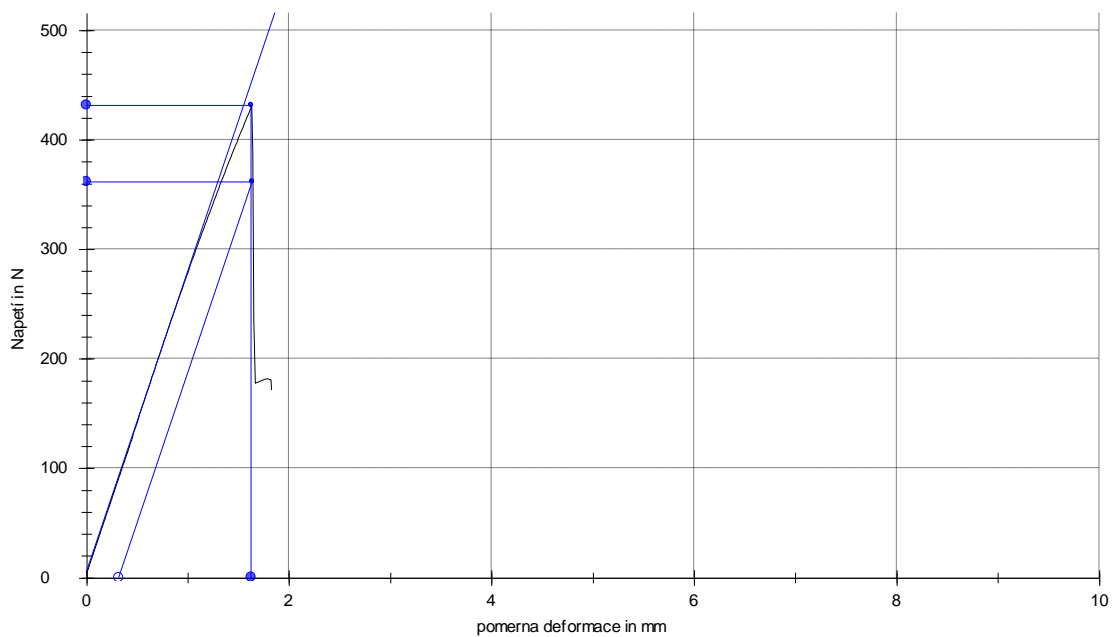
Graf 41 ABET, $T = 60^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



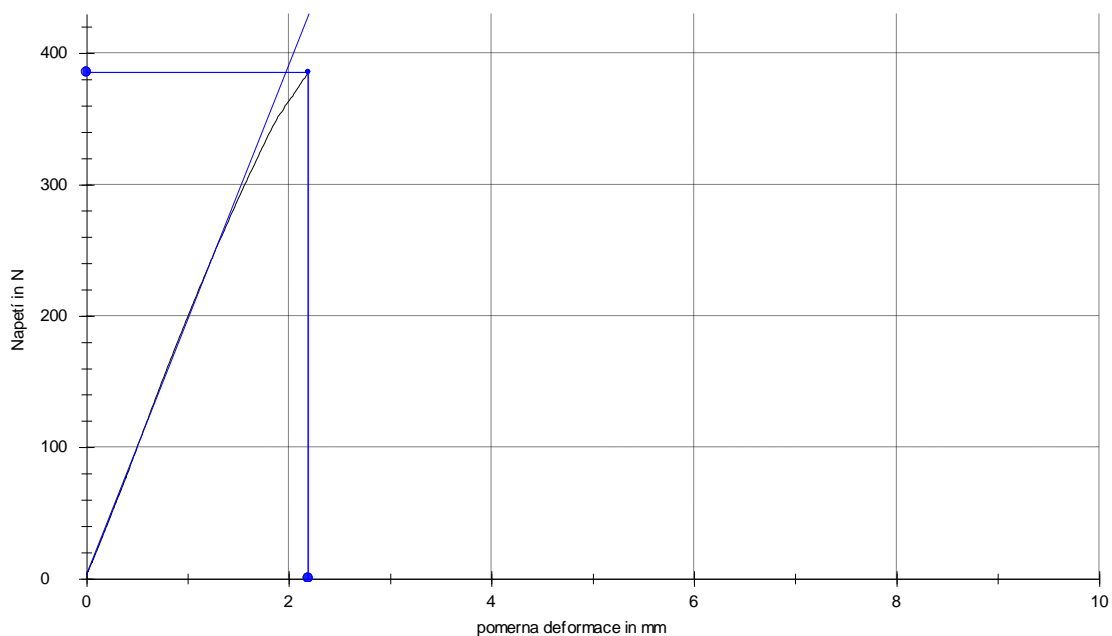
Graf 42 REXIN, $T = 60^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T, počet měření $n = 6$, 1500h voda



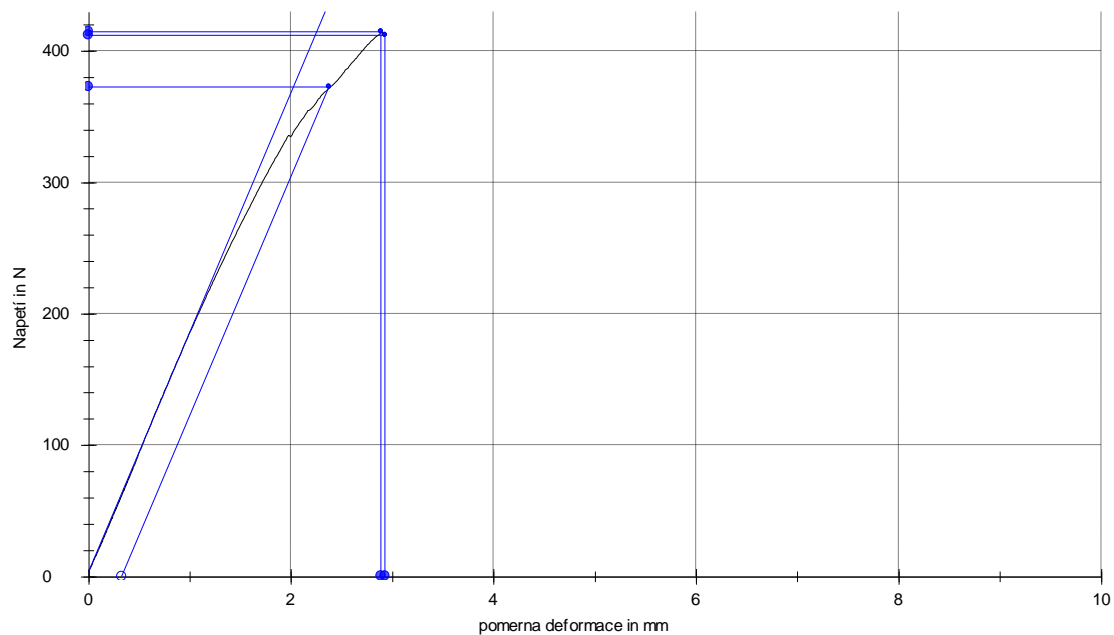
Graf 43 *FUNDERMAX*, $T = -20^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$, 1500h voda



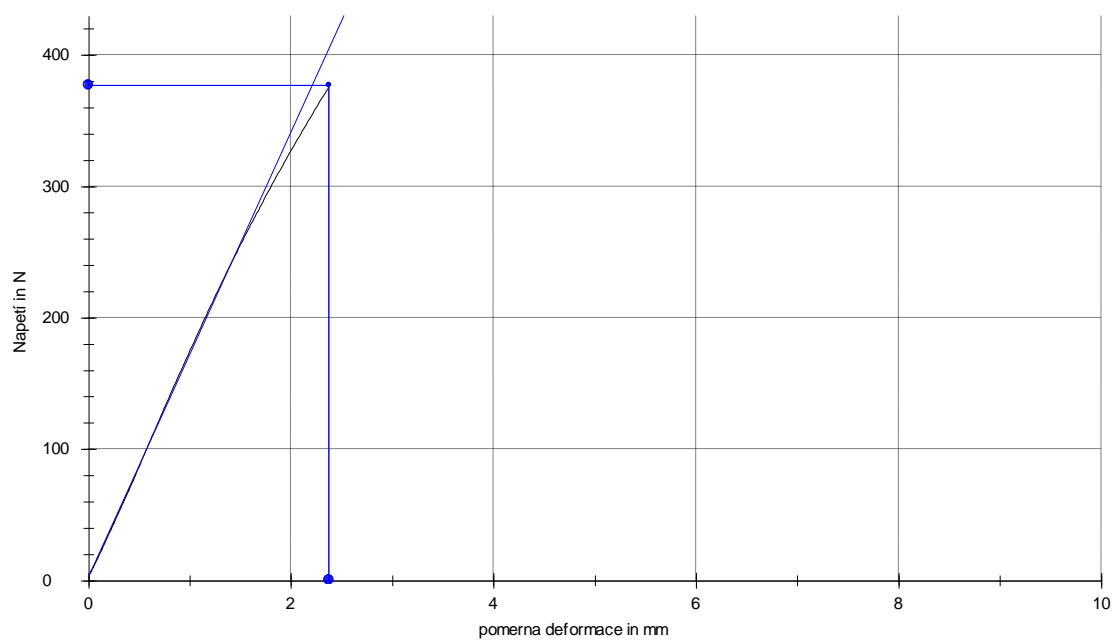
Graf 44 *POLYREY*, $T = 60^{\circ}\text{C}$, příčný směr - T , počet měření $n = 6$, 1500h voda



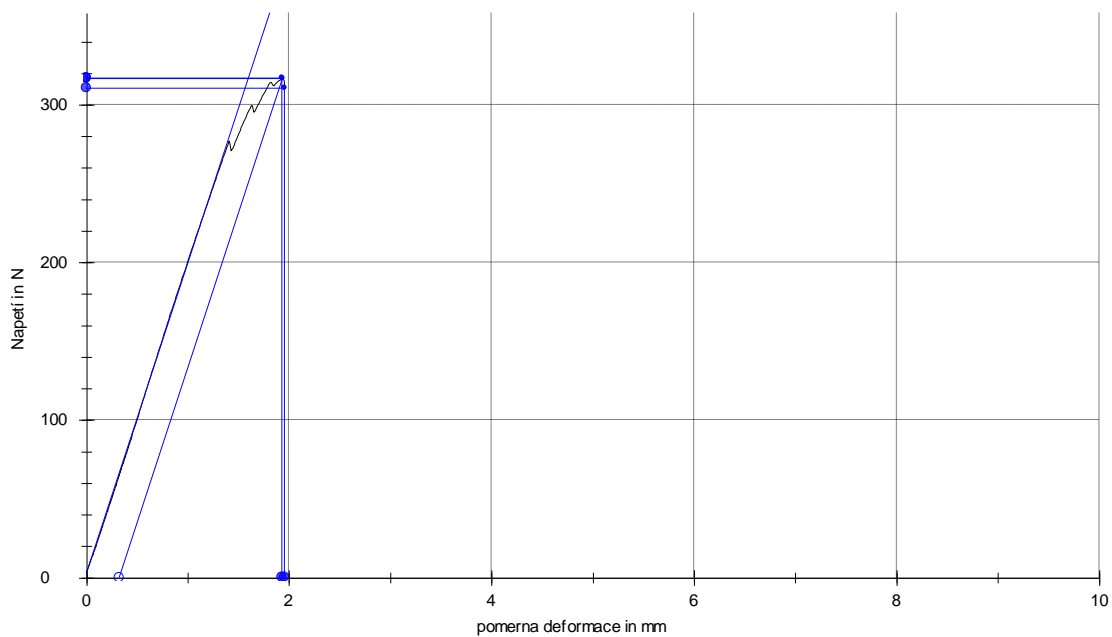
Graf 45 ABET, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



Graf 46 REXIN, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - L, počet měření $n = 6$, 1500h voda



Graf 47 *FUNDERMAX*, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - *L*, počet měření $n = 6$, 1500h voda



Graf 48 *POLYREY*, $T = 60^{\circ}\text{C}$, podélný směr - *L*, počet měření $n = 6$, 1500h voda

