

# Příprava vybraných kompozitů s nanočásticemi patřících do rodiny grafenu

📅 28.08.2018

## PREPARATION OF SELECTED COMPOSITES WITH NANOPARTICLES BELONGING TO THE GRAPHENE FAMILY

Petra Roupcová<sup>a</sup>, Kristína Matušincová<sup>b</sup>, Karolína Kovalčíková<sup>b</sup>

Jaroslav Hölzel<sup>c</sup>, Karel Burjánec<sup>c</sup>, Karel Klouda<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> VŠB- TU Ostrava, [petra.roupcova@vsb.cz](mailto:petra.roupcova@vsb.cz); [karel.klouda@vsb.cz](mailto:karel.klouda@vsb.cz)

<sup>b</sup> Technická univerzita Žilina, [matusincova.kristina@gmail.com](mailto:matusincova.kristina@gmail.com); [kovalcikova.karolina@gmail.com](mailto:kovalcikova.karolina@gmail.com)

<sup>c</sup> Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. [holzel@vubp-praha.cz](mailto:holzel@vubp-praha.cz); [burjanek@vubp-praha.cz](mailto:burjanek@vubp-praha.cz); [klouda@vubp-praha.cz](mailto:klouda@vubp-praha.cz)

kompozitní sloučeniny

grafen oxid

biochar

polydimethylsiloxan

pružnost

modelování

Přijat k publikování 9. 5. 2018

### Abstrakt

V příspěvku je popsána příprava kompozitních sloučenin polydimethylsiloxanu (PDMS) s C-sloučeninami (grafen oxid, redukovaný grafen oxid - rGO, více vrstevnaté trubičky - MWCNT, biochar). Kompozity byly podrobeny tepelnému rozkladu (analýza TGA a DSC). Detailně je popsán průběh rozkladu kompozitu PDMS - biochar (1% -18%) v závislosti na obsahu biocharu a byl rovněž analyzován jeho koncentrační vliv. Vliv koncentrace biocharu byl rovněž testován při měření vodivosti kompozitu a jeho ovlivnění vůči modulu pružnosti při statickém měření pevnosti v tahu. Měření mechanických vlastností byla realizována u kompozitu biochar-grafen oxid a v nanovlákních polymeru polyvinyl butyralu (PVB) v porovnání s nanovláknem bez přidaného kompozitu. Přidaný kompozit snížil hodnotu modulu pružnosti nanovláken.

**Klíčová slova:** kompozitní sloučeniny, grafen oxid, biochar, polydimethylsiloxan, modul pružnosti.

### Abstract

The paper describes the preparation of composite compounds of polydimethylsiloxane (PDMS) with C-compounds

(potassium oxide, reduced graphene oxide - rGO, multilayer carbon nanotubes - MWCNT, biochar). The composites were subjected to thermal decomposition (TGA and DSC analysis). The decomposition of PDMS-biochar composite (1% - 18%) was described in meticulous details in relation to biochar content and its concentration influence was further analyzed. The influence of biochar concentration was also tested in the measurement of the conductivity of the composite and its influence on the modulus of elasticity in static tensile measurement. The measurement of mechanical properties was performed on the composite of biochar-graphene oxide and in the nanofibers of the polymers of polyvinyl butyral compared to nanofibers without added composite. The added composite has lowered the value of the elastic modulus of the nanofibers.

**Keywords:** composite compounds, graphene oxide, biochar, polydimethylsiloxane, modulus of elasticity.

## Úvod

Mezi tzv. rodinu grafenu, jak se často tyto sloučeniny v literatuře nazývají, je řazen grafen, grafen oxid (GO), redukovaný grafen oxid (rGO), fullereny a multi a single uhlíkaté nanotrubičky (MWCNT, SWCNT). Dále se do této skupiny řadí určitý typ biocharu, který byl připraven pyrolýzou biomasy společností BIOUHEL.CZ s.r.o. (Zlín). V jeho struktuře byly identifikovány funkční skupiny charakteristické pro rGO (C=O, -COOH, -C-O-C, -OH) a mřížkové uspořádání uhlíku se sumárním vzorcem  $C_{14-15}O$ .

Fulleren  $C_{60}$  a MWCNT byly komerčně zakoupeny. GO byl připraven oxidací grafitu, viz experimentální část a rGO byl z něho následně připraven redukcí pomoci kyseliny askorbové, rovněž viz experimentální část.

GO byl získán ve vodní suspenzi, což umožnilo jeho nanášení buď roztěrem, nástřikem, anebo vysušením suspenze na pevný prášek. Ten byl redukován kyselinou askorbovou a následně se z něj připravil rGO. Tyto látky byly výchozím nanokompozitem.

Polymerní nanokompozity na grafenové bázi lze připravit nekovalentní disperzní metodou a to mícháním v roztoku, tavenině, či v některých specifických případech, u kterých lze připravit dle typu polymerní matrice i kompozity s kovalentní vazbou mezi polymerní maticí a plnidlem, což bývá zpravidla u GO [1]. U nekovalentních kompozitů zajišťují interakce mezi plnidlem na bázi grafenu a polymerní maticí [2]:

- Van der Waalsovy síly;
- hydrofobní - hydrofilní interakce;
- $\pi$ - $\pi$  interakce;
- vodíkové vazby;
- Coulombické síly mezi polymerem a plnidlem.

Fáze mezi polymerovými maticemi a samotným plnidlem mohou být separovány, interkalovány, či vzájemně exfoliovány. Kromě úpravy vlastního druhu polymeru, který sám o sobě ovlivňuje právě chování kompozitu, dále závisí na množství a typu grafenové matrice. Všechny výše uvedené skutečnosti následně ovlivňují vlastnosti kompozitu a to [3]:

- mechanické;
- tepelnou stabilitu;
- tepelnou vodivost;
- elektrickou vodivost;
- bariérové schopnosti [4];
- odolnost plynu;
- rozměrovou stabilitu.

Modifikované polymery, lze využít oproti mateřskému polymeru v řadě aplikací, jako jsou [2]:

- ❖ senzory plynů ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), organických látek (např. acetylen, aceton, LPG) a vlhkosti;
- ❖ plynové bariéry (membrány) [4];
- ❖ fotovoltaické aplikace a sluneční články;
- ❖ retardéry hoření [5];
- ❖ implantáty;
- ❖ segment v zařízeních, kde se žádoucí změna mechanických vlastností (např. meze pružnosti).

Jako plnivo kompozitu do polymerní matice byly v našem případě použity uhlíkaté sloučeniny jako grafen oxid (GO), biochar, redukovaný grafen oxid (rGO), fulleren ( $\text{C}_{60}$ ), multiuhlíkaté trubičky MWCNT. Kompozity byly připraveny klasickým způsobem přípravy t.j. polymerace *in situ*, kdy byl před polymerací zajištěn přímý kontakt monomeru s kompozitem před vlastní polymerací. Další dílčí experimenty, popsané v tomto příspěvku, lze nazvat jako povrchové nanosení C- nanomateriálů na povrch polydimethylsiloxanu. Byl aplikován přímý kontakt GO a rGO ve formě fólie a prášku, biocharu na elastomer s následnou polymerací při teplotě 80-90 °C. Ve spolupráci s TU-Liberec byl zaveden GO a biochar do oligomeru vinylbutyralu, který byl následně zvlákněn pomocí technologie „electrospinning“.

## Materiál a metody

- ❖ a) *chemikálie a přístroje*
  - ❖ silikonový elastomer sylgard 184 Dow Corning;
  - ❖ tvrdilo (tužidlo) Dow Corning;
  - ❖ polydimethylsiloxan, Michigan, USA Dowcoring Comporation Michigan (PDMS);
  - ❖ polyvinilbutyral (PVB), Sigma - Aldrich;
  - ❖ biochar- produkt pyrolýzy biomasy [6];
  - ❖ grafen oxid -připravený oxidací grafitu [7];
  - ❖ redukovaný grafen oxid (rGO) - připravený redukcí grafenu pomocí kyseliny askorbové [8];
  - ❖ fulleren  $\text{C}_{60}$  - dodávka od SES Research, Houston, USA (čistota 99,5 %);
  - ❖ více vrstevnaté nanotrubičky (MWCNT)- dodávka od Joint Research Centre, Institute of Health and Consumer Protection, Via. E. Fermi 2749, I-21027 Ispra (VA) Italy;
- ❖ b) *použité přístroje*
  - ❖ Mikroskop Twist Digital Microscope Learning Resource, Inc. USA;
  - ❖ Skenovací elektronový mikroskop FEI QUANTA 650 FEG (FEI USA);
  - ❖ TGA a DSC Metter Toledo;
  - ❖ Trhací zařízení FPZ 10/1;
  - ❖ Měření proudu (odporu) KEITHLEY 6517 ELECTROMETER/HIGH RESISTANCE SYST;

## Postup přípravy:

a) Do kádinky 50 ml se vloží sylgard 184 a přidá se kompozitní materiál. Vzájemné váhové poměry kompozitů udává Tabulka I. Směs se intenzivně míchá střídavě se sonikací při 40 °C po dobu 30 minut. Následně se po kapkách přidá tužidlo (10 hm % k navážce sylgardu 184) a tato směs se nadále intenzivně míchá 2-3 min. Poté se rozlije např. na sklíčka v Petriho misce na pečící papír, do skleněných zkumavek nebo na nanotextílie z PCI apod., viz Obr. 1, která se následně vysuší při 80-90 °C po dobu 2-3 hod, aby došlo k zpolymerování.

b) Připravená směs sylgardu 184 s tužidlem se vyleje na biochar prášek, fólii, GO, fólii rGO (vysušená suspenze rGO v Pr-OH). Následně se směs vloží do sušárny na 80-90 °C po dobu 2-3 hod ke zpolymerování. Ke kvalitě povlaku na PDMS lze mít řadu výhrad. Fólie praskaly při ohybu PDMS, prášek se uvolňoval z povrchu polymeru, pouze rGO dlouhodobě

sonikován s PrOH, následně opatrně vysušen do fólie a přelit PDMS a dál ponechán vytuhnout na 80 – 90 °C. Tento povlak si zachoval celistvost na PDMS a byl dále testován.

c) Elektrospínováním (30kV napětí zvlákňovací, -10kV napětí sběrné, 27% suspenze GO a biocharu) byla pro naše využití připravena na pracovišti TU Liberec nanovlákná (nanotextílie) polyvynyl butyralu s obsahem GO a biocharu ve vláknech.

<b>Kompozit</b>	<b>Obsah kompozitního materiálu v hm %</b>	<b>Poznámka k morfologii [1]</b>
BIOCHAR(a)	1,1	Produkt ideálně homogenní, viz Obr. 2
BIOCHAR(b)	3,1	-//-
BIOCHAR(c)	5,0	-//-
BIOCHAR (d)	18,00	-//-
GRAFEN OXID [I]	2,3	V produktu lze identifikovat tmavé částice, viz Obr. 3
GRAFEN OXID [II]	4,5	-//-
GRAFEN OXID [III]	9,4	Produkt homogenní
Fulleren C <sub>60</sub>	1,8	V produktu viditelné částice, viz Obr. 4
MWCNT	0,4	Ideálně homogenní částečně patrné vlákno, viz Obr. 5
rGO	3,0	V produktu lze identifikovat tmavé částice
-	0,0	slepý pokus (viz Obr. 6)

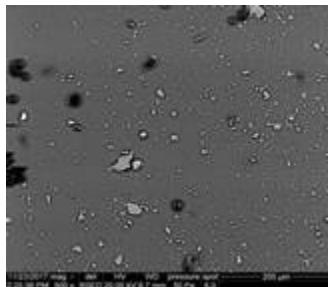
**Tabulka I: Typ kompozitu a jeho obsah v produktu**



**Obr. 1: Různé tvarové varianty připravených kompozitů**



**Obr. 2: Kompozit-Biochar (3,1)%**



**Obr.3: PDMS-GO (500x) 2,3%**



**Obr. 4: Kompozit fulleren ( $C_{60}$ )**



**Obr. 5: Kompozit MWCNT**



**Obr. 6: PDMS**

## Výsledky a diskuze

U dvou typů kompozitních materiálů a to PDMS/Biochar a PDMS/GO byla při tepelném rozkladu sledována závislost teplotních a hmotnostních parametrů na obsahu plnidla. Vyšší obsah biocharu (a-c) způsobil zvýšení hmotnostního úbytku, nárůst teploty počátku a konce rozkladu kompozitu. Toto výstižně vyjadřuje graf na obr. 7 a to i v porovnání s křivkami rozkladu samotného PDMS. Při skokovém nárůstu obsahu biocharu na 18 % kompozitu, došlo ke zvýšení hmotnostního úbytku při rozkladu. Rovněž došlo k posunu hodnoty teploty na konci rozkladu o 150 °C ve srovnání se samotným PDMS a o 105 °C oproti kompozitnímu materiálu s obsahem biocharu 1,1 % (viz Obr. 7-8). Tepelné rozklady kompozitu s biocharem měly exotermní průběh. U kompozitu PDMS/Biochar (a-c) byly tři teplotní intervaly s maximálními váhovými úbytky a to: 370-390 °C, 470-480 °C, 590-630 °C. Kompozit (d) s 18% biocharu dosáhl dvou maximálních váhových úbytků při 470°C (52 hm %) a při teplotě 707°C (14 %).

U samotného PDMS je maximální úbytek hmotnosti 31 % v teplotním intervalu 440-650°C.

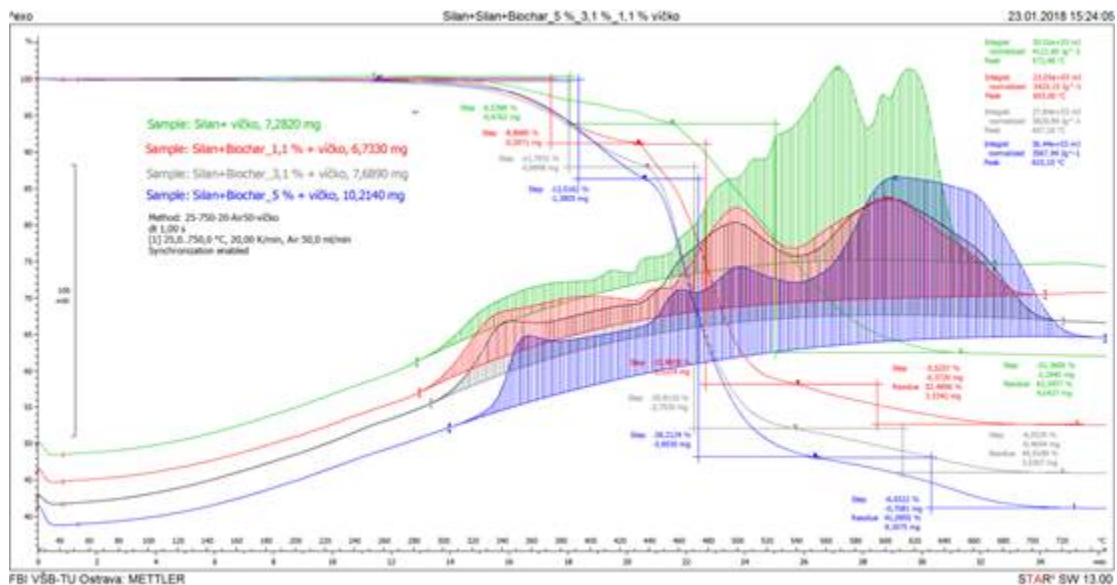
Výsledky teplotních rozkladů kompozitu s GO byly pravděpodobně ovlivněny nehomogenitou kompozitu a vlivem koncentračního zastoupení GO (viz Obr. 9-11). Graf rozkladu (Obr. 10) kompozitu s obsahem 4,5 % GO má samostatně identifikovatelné exoefekty s maximy při 40,8 °C, 574 °C a 678 °C a hmotnostní úbytek celkového rozkladu je o 18 hm

% vyšší než u kompozitu s dvojnásobným obsahem GO, kde je v grafu identifikována maximální hodnota při 612°C (viz Obr. 11). Snížením obsahu kyslíku u rGO mírně ovlivnil tepelný průběh rozkladu v porovnání s kompozitem původního GO s obdobným obsahem 2,3 % (viz Obr. 12). Tepelné zbarvení exotermického rozkladu je obdobné (viz Tab. 2).

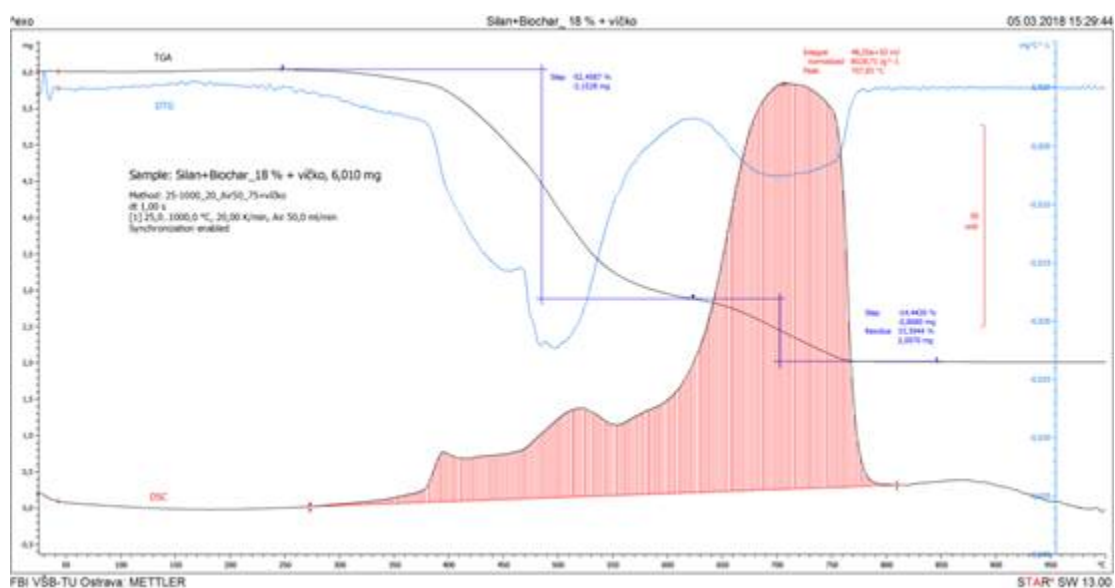
Porovnáním grafu rozkladu kompozitu s C<sub>60</sub> a MWCNT (Obr. 13-14) zjistíme, že počátek rozkladu, váhový úbytek a zbarvení exotermické reakce jsou obdobné. Markantnější rozdíl je v ukončení rozkladu, který je u kompozitu s fulerem oproti kompozitu s MWCNT vyšší o 100 °C.

Kompozit	Obsah kompozitu (hm %)	$\Sigma\Delta H$ (J/g)	Hmotnostní úbytek (hm %)	Počátek rozkladu (° C)	Konec rozkladu (° C)
BIOCHAR(a)	1,1	3420	47,5	280	705
BIOCHAR (b)	3,1	3620	54,1	290	720
BIOCHAR(c)	5,0	3568	58,9	305	740
BIOCHAR(d)	18,0	6074	66,6	230	
GO (i)	2,3	4063	45	210	800
GO (ii)	4,5	9716	49	100	750
GO (iii)	9,4	6074	39	230	740
rGO	3,0	3978	41	250	740
C <sub>60</sub>	1,8	3818	44	260	750
MWCNT	0,4	3599	44	250	650
PDMS	-	3487	50	250	650
PDMS	-	4121	37,6	280	650

**Tabulka II: Termická analýza kompozitu PDMS**

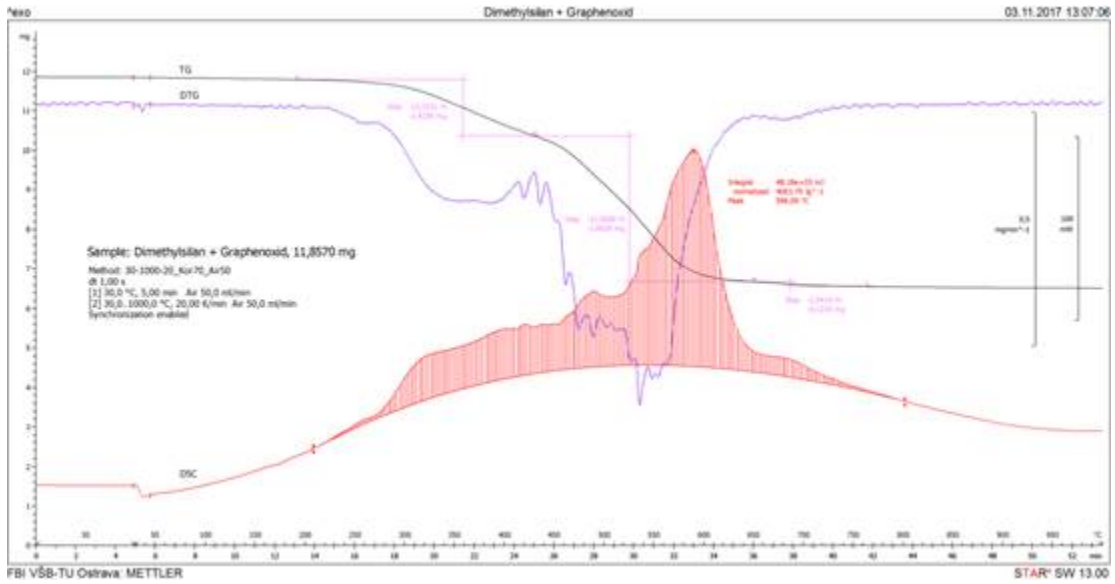


Obr. 7: PDMS - Biochary (a-c)

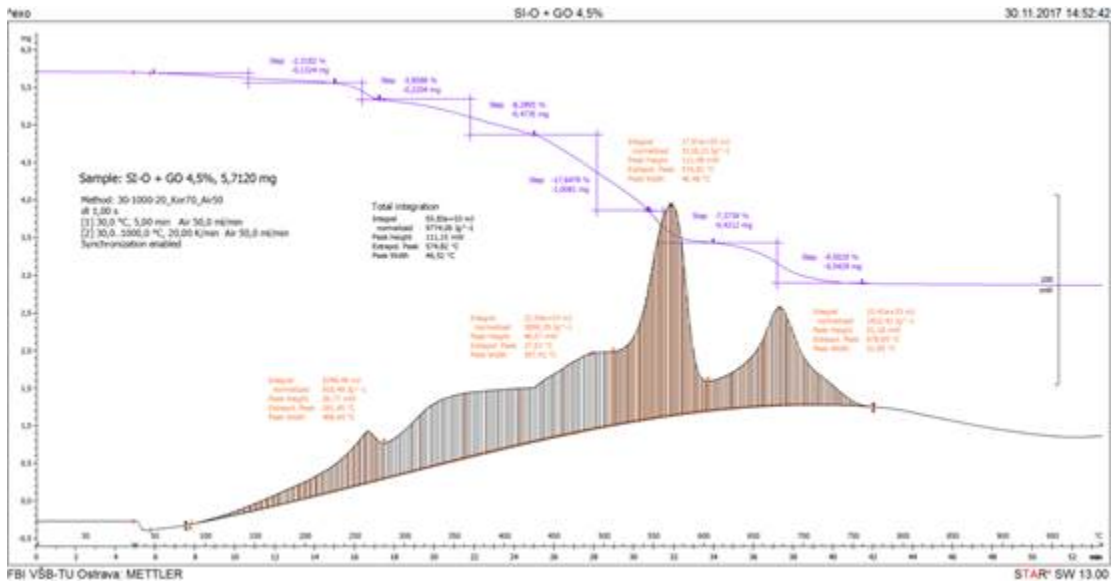


Obr. 8: PDMS - Biochar (d,18%)

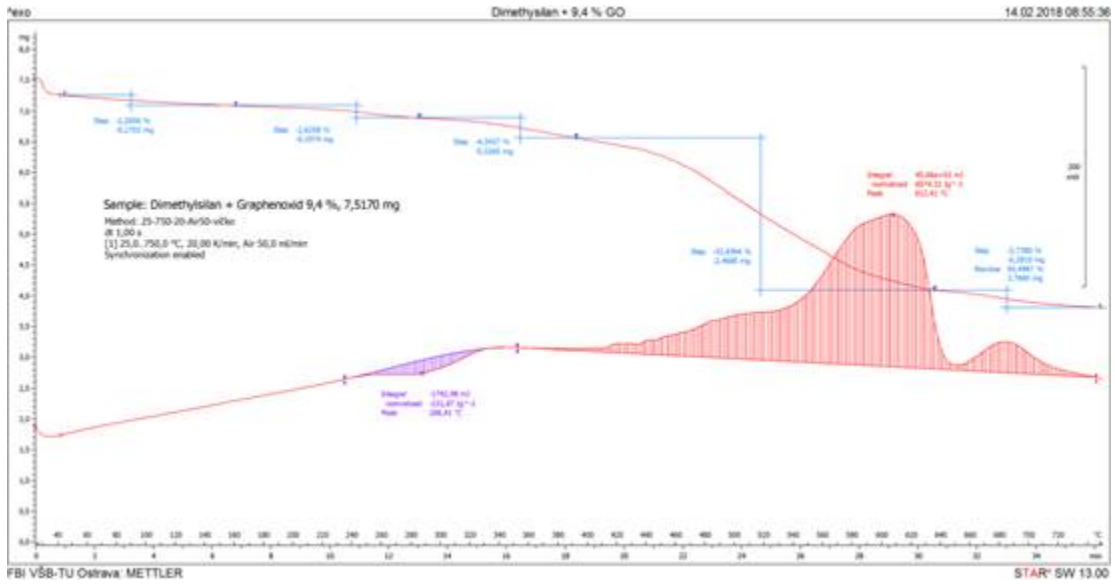




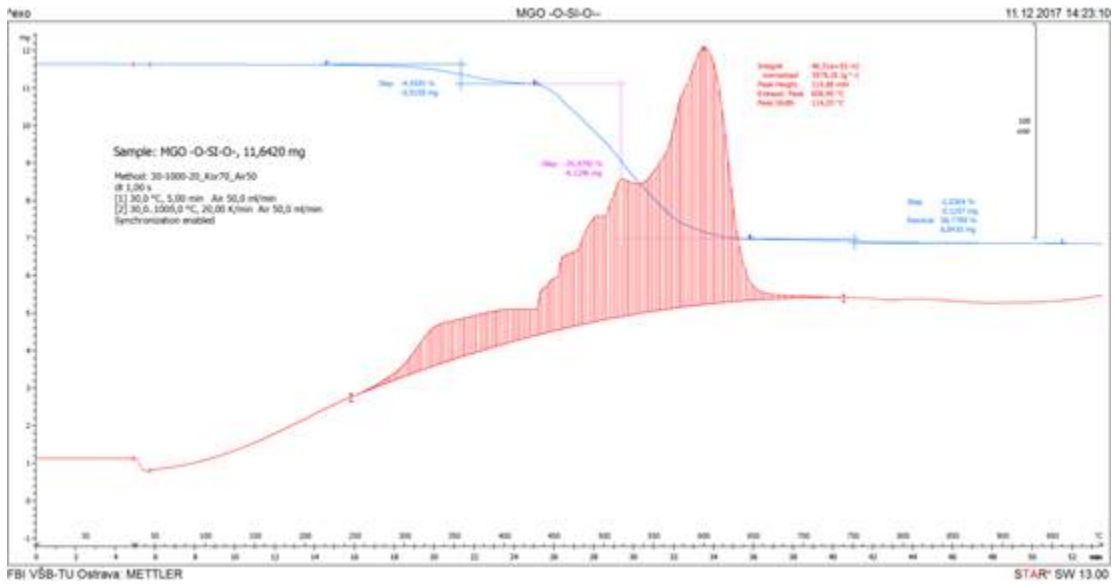
Obr. 9: PDMS - Grafen oxid (i)



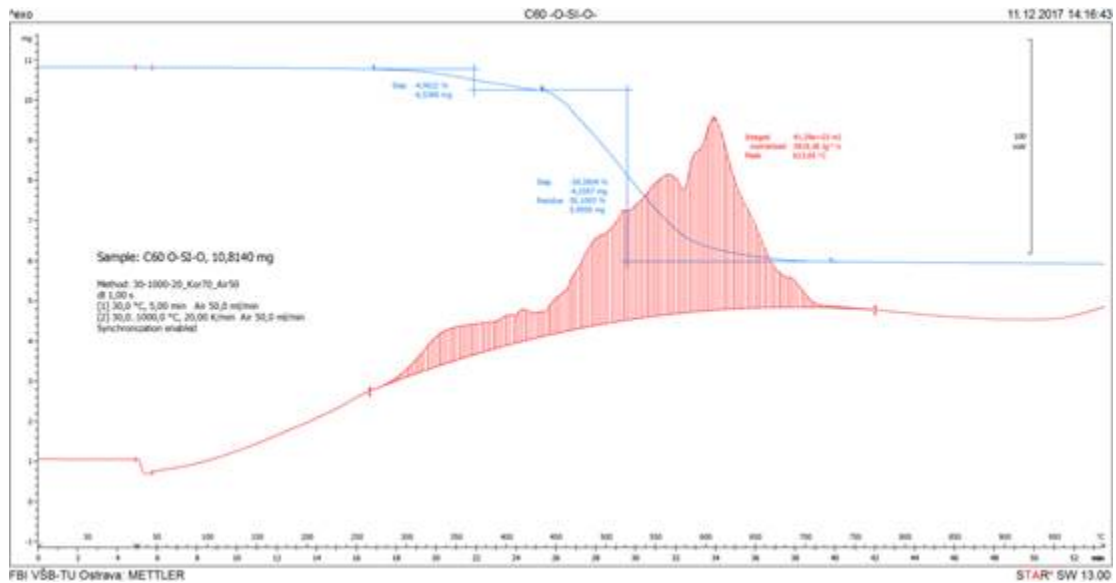
Obr. 10: PDMS - Grafen oxid (ii)



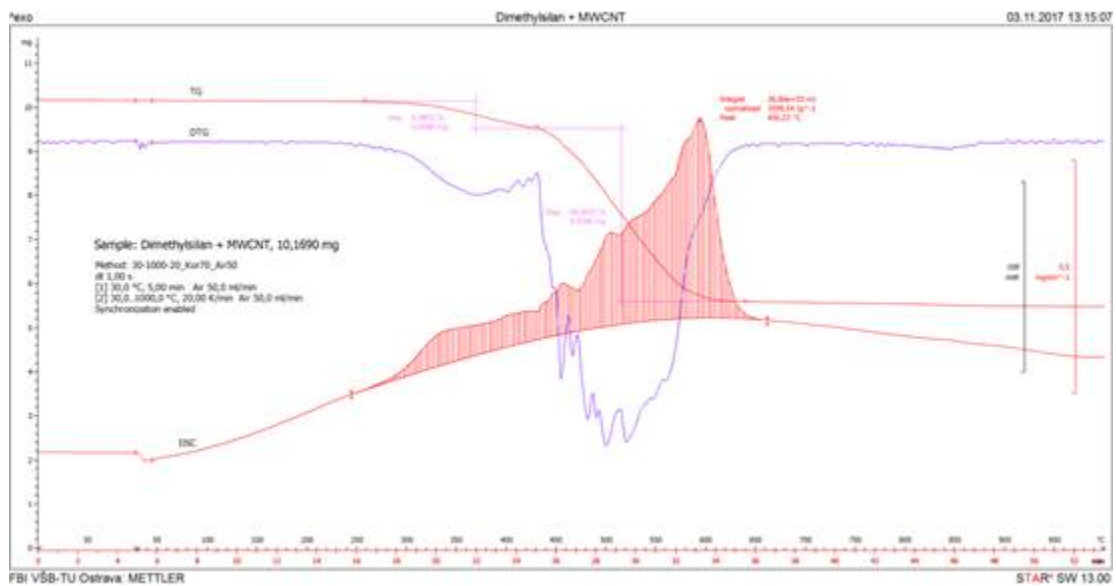
Obr. 11: PDMS - GO (iii)



Obr. 12: PDMS - rGO



Obr. 13: PDMS - Fuleren C<sub>60</sub>



Obr. 14: PDMS - MWCNT



5	579	5	17	5	23	5	27	5	32	0,05	1
10	377	10	35	10	46	10	54	10	68	0,1	1
15	312	15	53	15	72	15	79	15	98	0,2	1
25	234	25	75	25	122	25	134	25	167	0,4	1
35	186	35	136	35	175	35	205	35	248	0,6	1
45	152	45	171	45	231	45	258	45	317	0,8	1
55	131	55	214	55	275	55	320	55	366	1	1
70	108	70	297	70	343	70	402	70	498	1,2	
80	95	80	324	80	411	80	474	80	525		
100	79	100	415	100	515	100	580	100	697		
120	67	120	518	120	642	120	742	120	790		
140	58	140	633	140	731	140	857	140	917		

**Tabulka III: Měření odporu u testovaných kompozitů**

Vysvětlivky k Tabulce III:

N29 - Kompozit PDMS - MWCNT (0,4)

N015 - Kompozit PDMS - Biochar (1%)

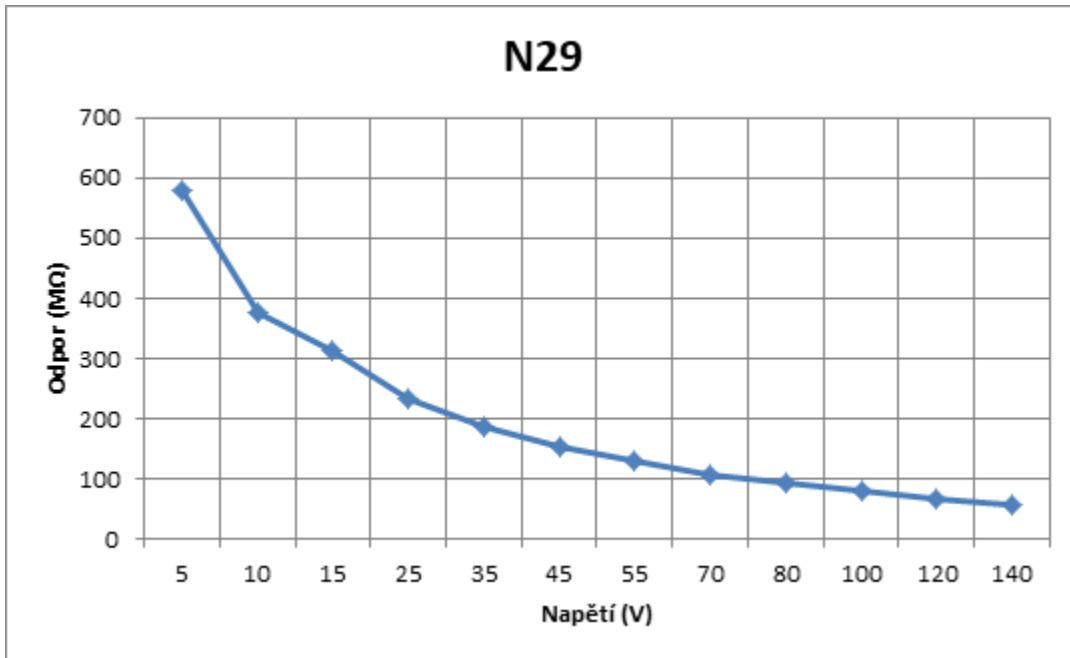
N020 - Kompozit PDMS - Biochar (5%)

N023A - Kompozit PDMS - Biochar, průřez vzorku 12 mm<sup>2</sup> (18%)

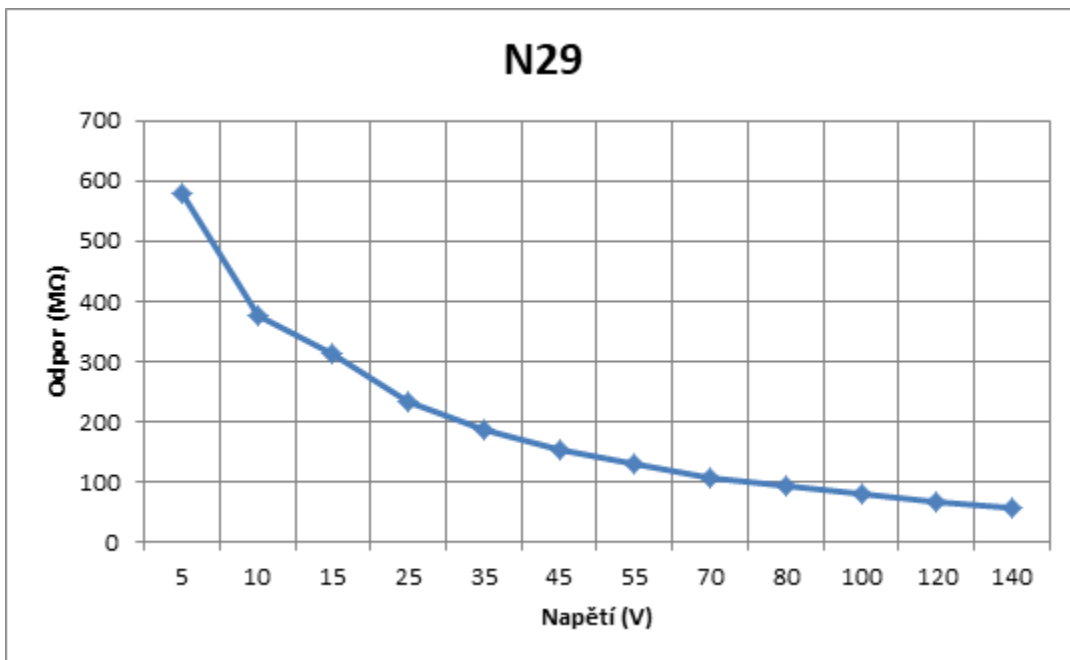
N023B - Kompozit PDMS - Biochar, průřez vzorku 45 mm<sup>2</sup> (18%)

N017 - rGO nanosen na PDMS

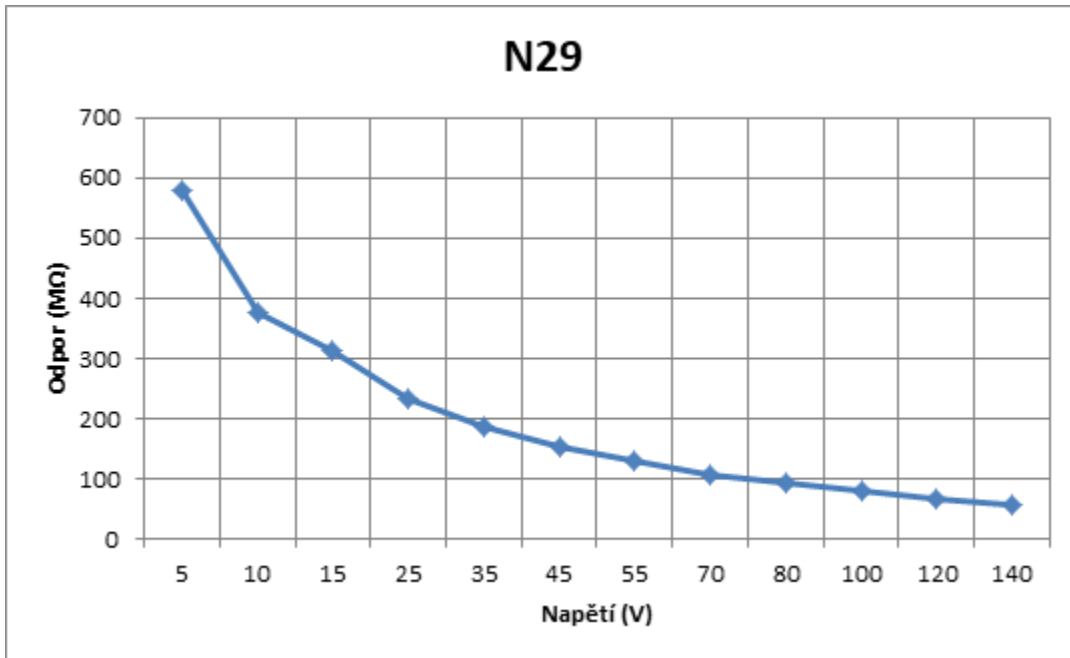
N033 - PDMS



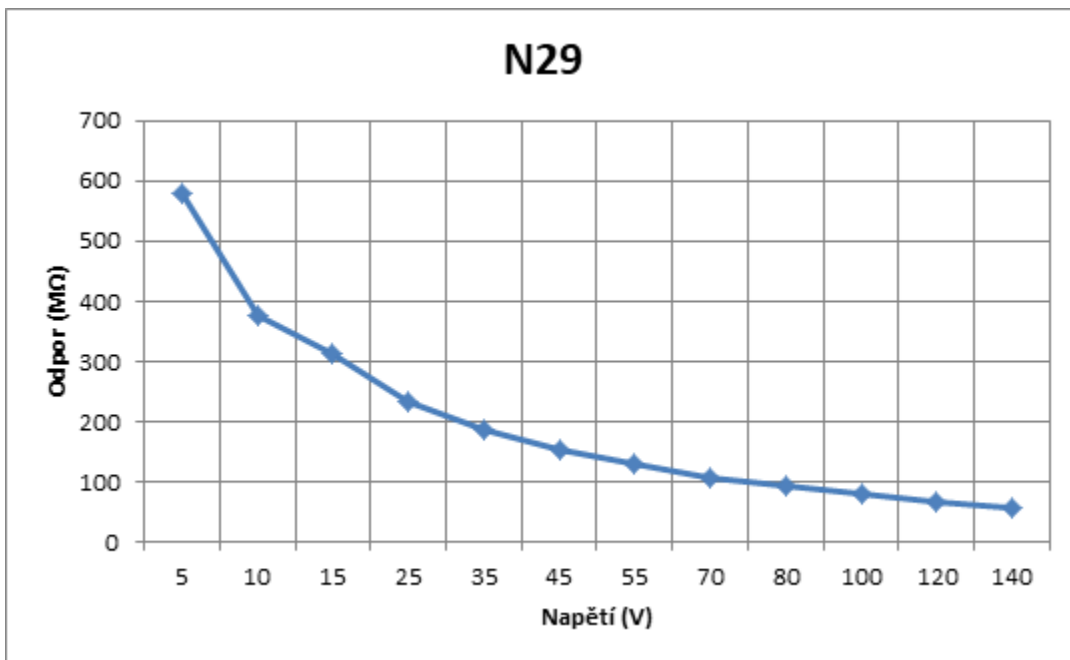
**Obrázek 16: Závislost odporu kompozitu s MWCNT (0,4 %) na vloženém napětí**



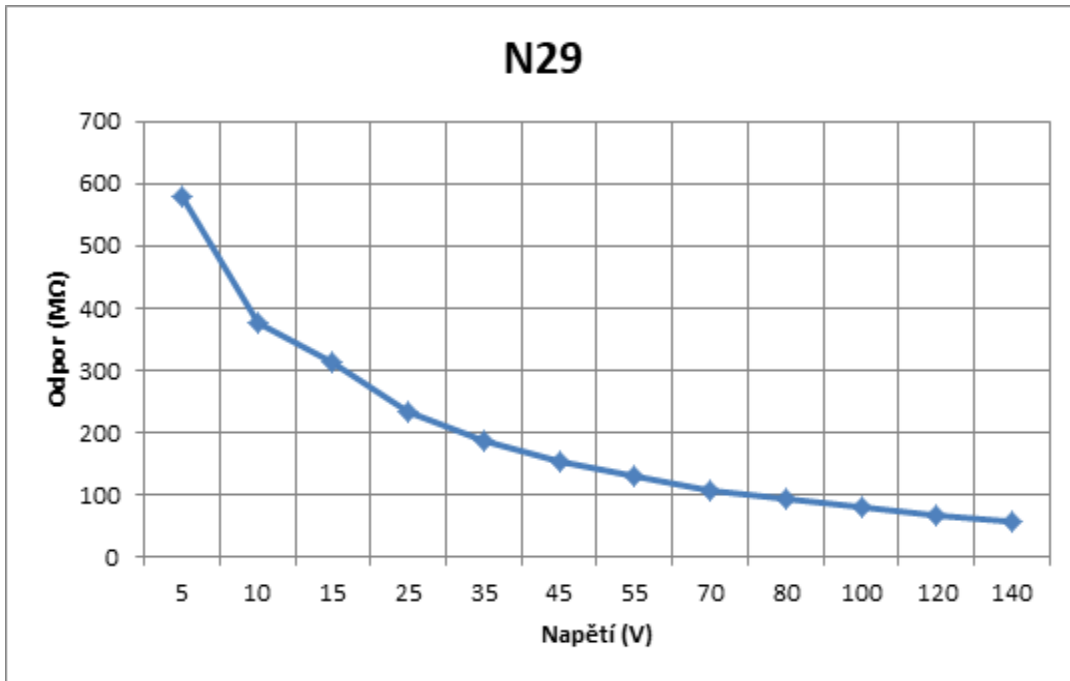
**Obrázek 17: Závislost odporu kompozitu s biočarem (1 %) na vloženém napětí**



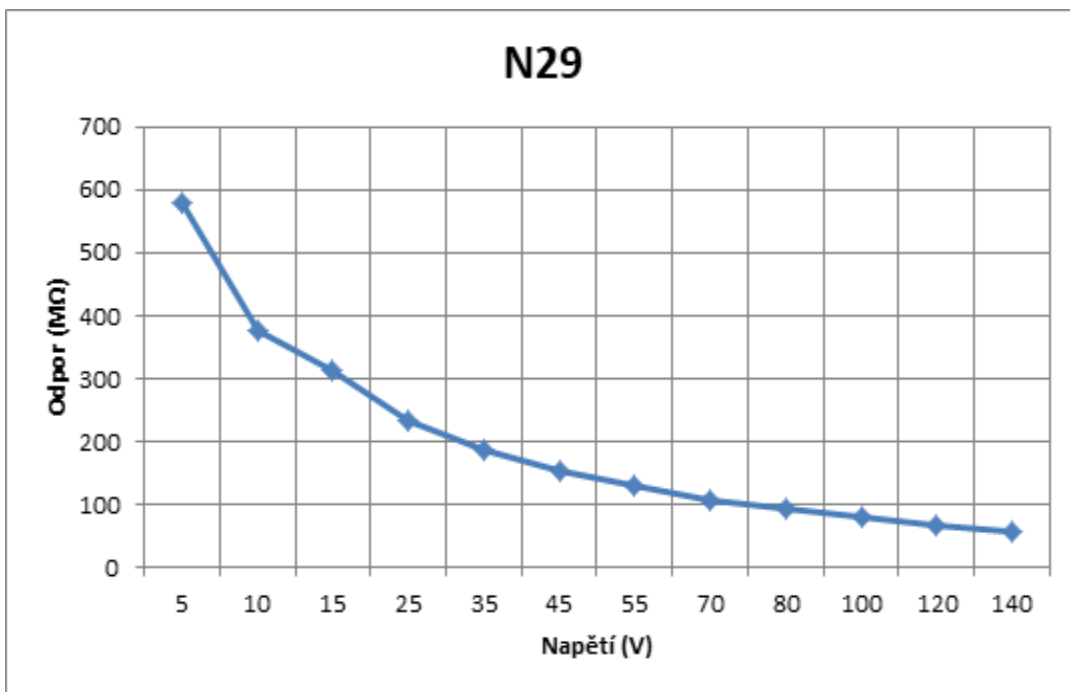
**Obrázek 18: Závislost odporu kompozitu s biocharem (9 %) na vloženém napětí**



**Obrázek 19: Závislost odporu kompozitu s biocharem, průřez vzorku 12mm<sup>2</sup> (18 %) na vloženém napětí**

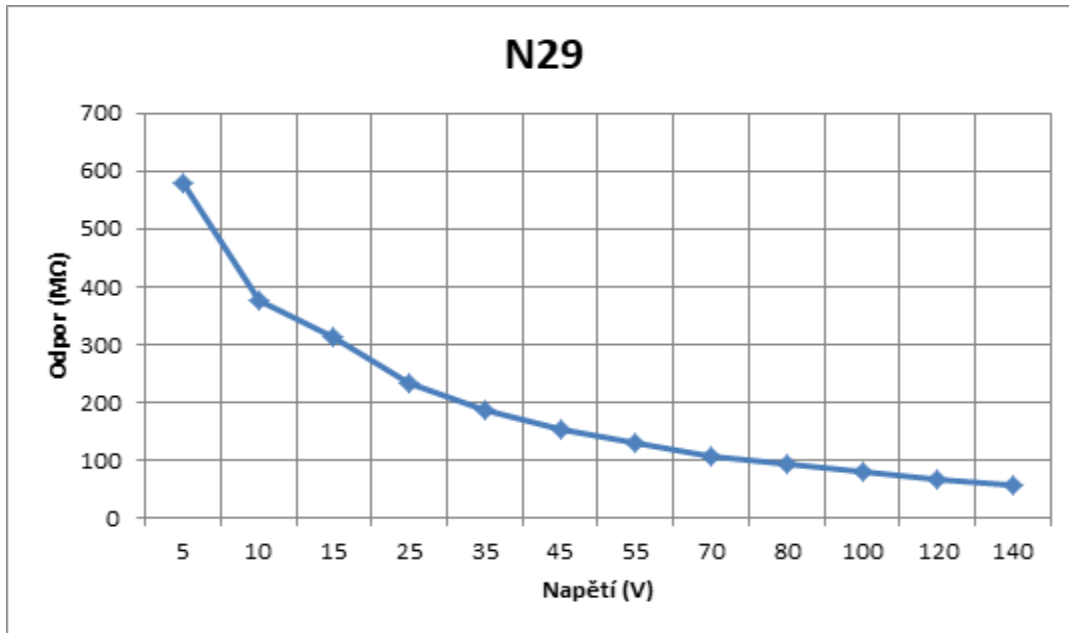


Obrázek 20: Závislost odporu kompozitu s biocharem, průřez vzorku 45mm<sup>2</sup> (18 %) na vloženém napětí



Obrázek 21: Závislost odporu kompozitu s rGO nanesen na PDMS na vloženém napětí





Obrázek 22: Závislost odporu na čistém PDMS

### Měření mechanických vlastností kompozitů, modul pružnosti



Obrázek 23: Trhací zkoušky kompozitu PDMS - biochar (5%) a nanovláknem PVB

Vzorky kompozitu PDMS a vzorky nanotextilií PVB bez kompozitu a s kompozitem biochar a Go byly podrobeny stacionárním trhacím zkouškám v tahu (Obr. 23). Výsledkem těchto zkoušek bylo změřeni síly přetržení, deformace (vzorec1

), dále bylo spočítáno napětí v tahu (vzorec2) a následně modul pružnosti v tahu (Younguv modul), viz Tab. IV - V. Hodnoty modulu pružnosti jsou uvedeny pod tabulkou a statisticky průkazná je hodnota modulu u kompozitu s 18% biocharu. U kompozitu nanotextilií PVB lze konstatovat, že nejnižší modul pružnosti byl změřen u PVB-

GO a je nižší než u biocharu a u samotné nanotextílie PVB, u které modul má hodnotu  $4,877 \pm 0,4$  MPa. Jako bonus jsou uvedeny v této kapitole i SEM snímky nanovláken s PVB a jejich modifikace s rodinou grafenu, viz Obr. 24 a-d.

Č. vzorku	Popis	Rozměr vzorku - šířka x délka x tl. (mm)			Plocha průřezu (mm <sup>2</sup> )	Délka (mm)			Síla přetržení (N)	Deformace	Napětí (MPa)
		šířka	délka	tloušťka		S	l <sub>0</sub>	l			
N014	100% PDMS	10	12	0,6	6	12	26	14	2,8	1,17	0,47
	100% PDMS	10	22	0,6	6	22	50	28	1,6	1,27	0,27
N015	PDMS - BIOCHAR (1% a)	10	32	0,6	6	32	62	30	10	0,94	1,67
	PDMS - BIOCHAR (1% a)	10	33	0,6	6	33	49	16	6	0,48	1
N016	PDMS - BIOCHAR (5% c)	10	41	0,6	6	41	56	15	16	0,37	2,67
	PDMS - BIOCHAR (5% c)	10	43	0,6	6	43	80	37	22	0,86	3,67
N023A	PDMS-BIOCHAR (18% d)	15	60	0,8	12	40	63,3	23	8	0,58	0,67
	PDMS-BIOCHAR (18% d)	15	60	0,8	12	40	62,1	22	8	0,55	0,67
N023B	PDMS-BIOCHAR (18% d)	3	60	3,6	10,8	40	52,3	12	1,6	0,31	0,15
	PDMS-BIOCHAR (18% d)	3	60	3,6	10,8	40	70,8	31	8	0,77	0,74

PDMS- BIOCHAR (18% d)	15	60	3	45	40	74,6	35	44	0,87	0,98	1,13
N029	PDMS - MWCNT	15	40	0,32	4,8	40	75,6	36	26,4	0,90	5,5

**Tabulka IV: Měření mechanických vlastnosti kompozitu PDMS - s Biocharem a s MWCNT**

Vysvětlivky k Tabulce IV:

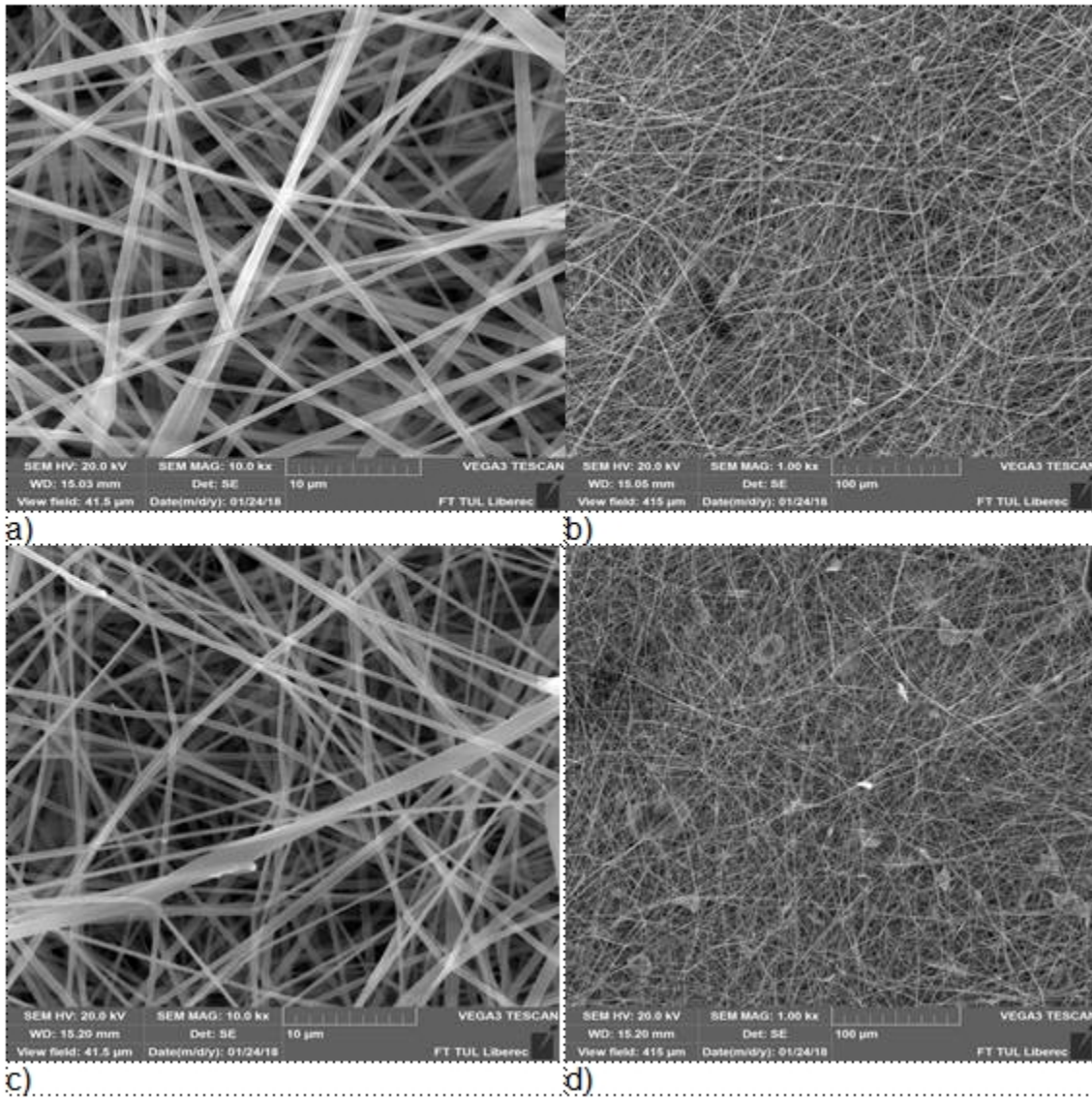
E =PDMS 0,305 MPa

E = PDMS - MWCNT = 6,18MPa

E = PDMS - 1% BIOCHAR = 1,92 MPa

E= PDMS - 5% BIOCHAR = 5,77 MPa

E = PDMS - 18% BIOCHAR = 1,11 +- 0,12 MPa - směrodatná odchylka (hodnota 0,48 vyloučena Q test, Deanuv - dixonuv test)



Obrázek 24: a) nanovlákná PVB s biocharem, b) nanovlákná PVB s biocharem, c) nanovlákná PVB s GO, d) Nanovlákná PVB s GO

Č. vzorku	Popis	Rozměr vzorku - šířka x délka x tl. (mm)			Plocha průřezu (mm <sup>2</sup> )	Délka v (mm)			Síla přetržení (N)	Deformace	Napětí (MPa)
		šířka	délka	tloušťka	S	l <sub>0</sub>	l	Δ l	F <sub>n</sub>	ε	σ
N 022A	Nanovlákná PVB	15	40	0,1	1,5	40	63,4	23,4	4	0,59	2,67
N 022B	Nanovlákná PVB	15	40	0,1	1,5	40	67,2	27,2	5,5	0,68	3,67
N 022C	Nanovlákná PVB	15	40	0,1	1,5	40	61,7	21,7	4,0	0,54	2,67

N 022D	Nanovlákn PVB	15	60	0,1	1,5	40	63	23	4	0,58	2,67
N 022E	Nanovlákn PVB	15	60	0,1	1,5	40	75,3	35,3	4	0,88	2,67
N 024A	Nanovlákn PVB s Biochar	15	40	0,1	1,5	40	76,8	36,8	5,6	0,92	3,73
N 024B	Nanovlákn PVB s Biochar	15	40	0,1	1,5	40	74,0	34,0	5,0	0,85	3,33
N 024C	Nanovlákn PVB s Biochar	15	40	0,1	1,5	40	72,7	32,7	5,0	0,82	3,33
N 024D	Nanovlákn PVB s Biochar	15	60	0,1	1,5	40	67,2	27,2	4	0,68	2,67
N 024E	Nanovlákn PVB s Biochar	15	60	0,1	1,5	40	69,7	29,7	4	0,74	2,67
N025A	Nanovlákn PVB s GO	15	40	0,2	3	40	69,6	29,6	5,4	0,74	1,80
N 025B	Nanovlákn PVB s GO	15	40	0,2	3	40	68,7	28,7	4,4	0,72	1,47
N 025C	Nanovlákn PVB s GO	15	40	0,2	3	40	70,5	30,5	5,5	0,76	1,83
N 025D	Nanovlákn PVB s GO	15	60	0,2	3	40	64,2	24,2	3,6	0,61	1,20
N 025E	Nanovlákn PVB s GO	15	60	0,2	3	40	75,4	35,4	4	0,89	1,33

**Tabulka V: Měření mechanických vlastností nanovláken PVB, bez a s kompozitem biochar a GO**

E = PVB vyloučena hodnota 3,02;

E = 4,877 +- 0,4 MPa

Sr = 8,2%

E = PVB - BIOCHAR vyloučena hodnota 3,59;

E = 3,99 +- 0,077 MPa

Sr = 1,9%

E = PVB - GO vyloučena hodnota 1,51;

E = 2,18+- 0,39 MPa

Sr = 18%

## Závěr

U připravených kompozitů se podrobněji testovala závislost průběhu tepelného rozkladu na obsahu kompozitu. Primárně jsme se zaměřili na kompozity PDMS - biochar (1% - 18%), kde byly prokázány při TGA a DSC analýze závislost teplotních a hmotnostních parametrů na obsahu plnidla, v našem případě biocharu. Tepelné rozklady všech testovaných C - sloučenin měly exotermický průběh. Vliv na výsledek teplotních rozkladů u kompozitu PDMS - GO byly pravděpodobně ovlivněny nehomogenitou kompozitu. Homogenní kompozit připravený disperzní metodou byl získán hlavně u biocharu a MWCNT jako plnidla. Měřením elektrického odporu (vodivosti) u kompozitu PDMS - biochar došlo k prokázání nárůstu odporu se zvyšujícím se obsahem biocharu a také závislosti odporu na vloženém napětí. Je to opačná situace oproti kompozitu s MWCNT, kdy roste vodivost a klesá odpor se zvyšujícím se napětím. U kompozitů, kdy jsou GO s biocharem zabudovány přímo v nanovláknách PVB, byla testována stabilita těchto nanovláken v tahu (pomocí modulu pružnosti). Kompozit PVB - GO měl výrazně nižší modul pružnosti oproti nanovláknům čistého PVB.

## Použitá literatura

- [1] GALPAYA, D. ...[et al.]. Recent advances in fabrication and characterization of graphene - polymer nanocomposites. *Graphene*. 2012, pp. 30-49.
- [2] KESONG, H. ...[et al.]. Graphene - polymer nanocomposites for structural and functional applications. *Progress in Polymer Science*. 2014, pp. 1934-1972.
- [3] KIM, H.; BDALA, A.A.; MACOSKO, CH.W. Graphene/Polymer Nanocomposites. *Macromolecules*. 2010, pp. 6515-6530.
- [4] YOO, B.M. ...[et al.]. Graphene and Graphene Oxide and Their Uses in Barrier Polymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 2014, pp. 1-23.
- [5] HIGGINBOTHAM, A.L. ...[et al.]. Graphite Oxide Flame: Retardant Polymer Nanocomposites. *ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES*. 2009, pp. 2256-2261.
- [6] GEMBALOVA, L. ...[et al.]. Biochar: ecological product and its application in environmental protection. In: *Proceedings of the 15th international conference Civil Protection 2016*. 2016. S. 24-31.
- [7] HUMER, W.S.; OFFEMAN, R.E. Preparation of graphitic Oxide. *J. Am. chem. Soc.* 1958, vol. 80, pp 1339.
- [8] FERNÁNDEZ-MERINO, M.J. ...[et al.]. Vitamin C is an Ideal Substitute for Hydrazine in the Reduction of Graphene Oxide Suspensions. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2010, pp. 6426-6432.
- [9] VÄISÄNEN, T.; DAS, O.; TOMPPA, L. A review on new bio-based constituents for natural fiber - polymer composites. *Journal of Cleaner Production*. 2017, pp. 582-596.
- [10] NAN, N. ...[et al.]. The effect of bio-carbon addition on the electrical, mechanical, and thermal properties of polyvinyl alcohol/biochar composites. *J.Compos Mater*. 2015, vol. 50, pp. 9.
- [11] SHAH, A.U.R.; PRABHAKAR, M.N.; SONG, J. Current Advances in the Fire Retardancy of Natural Fiber and Bio-Based Composites.: a Review. *International journal of precision engineering and manufacturing - green technology*. 2017, pp. 247-262.
- [12] IKRAM, S.; DAS, O.; BHATTACHARYYA, D. A parametric study of mechanical and flammability properties of biochar reinforced polypropylene composites. *Compos Part A - Appl. Sci*. 2016, vol. 1, pp. 177-188.
- [13] CHEN, M. ...[et al.]. Highly conductive and stretchable polymer composites based on graphene/MWCNT network. *ChemComm*.

### Vzorová citace

ROUPCOVÁ, Petra ...[et al.]. Příprava vybraných kompozitů s nanočásticemi patřících do rodiny grafenu. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online]. 2018, roč. 11, č. 2. Dostupný z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/priprava-vybranych-kompozitu-s-nanocasticemi-patricich-do-rodiny-grafenu>. ISSN 1803-3687.

[1] Ideální homogenní materiál se získal zejména pro kompozitní materiály s biočarem a MWCNT, ale přesto byly určité vlásečnice stále patrné. U ostatních kompozitů jsou pod mikroskopem k rozpoznání jemné části kompozitů (500x zvětšení).

---

Autor článku:

[Ing. Petra Roupcová, Ph.D.](#)

[Kristína Matušincová](#)

[Karolína Kovalčíková](#)

[Ing. Jaroslav Hölzel](#)

[Ing. Karel Burjáněk](#)

[doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., M.B.A.](#)