

A

**ИСПИТИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ  
НАНОЧЕСТИЦА ОКСИДА МЕТАЛА У  
МАТЕРИЈАЛИМА УГРАЂЕНИМ У СРЕДСТВА  
ЛИЧНЕ НХБ ЗАШТИТЕ**

, 2016

UNIVERSITY OF DEFENCE

MILITARY ACADEMY

fieljko B. Seni

**POSSIBILITIES OF METAL OXIDES  
NANOPARTICLES APPLICATION THE  
MATERIALS INCORPORATED IN CBRN  
PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT**

dissertation

Belgrade, 2016

## **ЗАХВАЛНОСТ**

*Ова докторска дисертација резултат је истраживачког рада на пољу нуклеарне, хемијске и биолошке (НХБ) заштите тела. Докторска дисертација је урађена на Војној академији Универзитета одбране у Београду.*

*Испитивања за потребе ове дисертације реализована су у оквиру истраживачког пројекта Војнотехничког института Министарства одбране под називом: „Истраживања из области хемијске и нуклеарне заштите“ и истраживачког пројекта финансираног од Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТРп 34034 „Примена наноматеријала у унапређењу средстава респираторне и перкутане заштите у условима еколошког дисбаланса изазваног радиоактивном, хемијском и биолошком контаминацијом“.*

*Посебну захвалност дuguјем следећим лицима:*

- ментору, потпуковнику ванредном професору др Радовану Каркалићу, на правилном и усмереном вођењу, несебичној помоћи и подршици током рада на докторској дисертацији, указивању на суштинске циљеве истраживања и великим ентузијазму у приступу научноистраживачком раду;
- др Маји Виторовић-Тодоровић, на изузетној стручности и помоћи који су у великој мери олакшали израду ове докторске дисертације;
- др Љубици Радовић, помоћи при раду на докторској дисертацији и експерименталној обради резултата испитивања;
- свим колегама који су ми на било који начин помогли у изради ове дисертације, посебно колегама из Одељења за хемијску и нуклеарну заштиту из састава ВТИ.

*Београд, септембар 2016.*

*Aymor*

**Комисија за оцену и одбрану  
докторске дисертације:**

**Ментор:**

,  
a ,

---

**Чланови комисије:**

,  
,

---

- ,  
,

---

,  
,

---

,  
,

---

# ИСПИТИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ НАНОЧЕСТИЦА ОКСИДА МЕТАЛА У МАТЕРИЈАЛИМА УГРАЂЕНИМ У СРЕДСТВА ЛИЧНЕ НХБ ЗАШТИТЕ

## Извод

TiO<sub>2</sub>, **1a-5a** **16-56.** M

TiO<sub>2</sub>, ( )

, (16 60 ° ),

(

- )

,

.

,

,

TiO<sub>2</sub>, , 95 ° .

3

,

.

VX- ,

( **2a**). VX-

AChE,

VX-

**2a**

VX- ,

VX- ,

UV- ).

( **1a**),

( 6701/05),

2- -

**1a**,

,

**1a**

TiO<sub>2</sub>,

**1a**    **2a:**

95° ,

TiO<sub>2</sub>

**1a**

- 2

- Saratoga<sup>TM</sup> , Helsa-Werke.

( 6701/05),

( 6704/04)

( 4260/04).

( **1a** -

Saratoga<sup>TM</sup> )

- 00

- 2.

,

TiO<sub>2</sub>

,

TiO<sub>2</sub>

2- ,

,

,

TiO<sub>2</sub>

**Кључне речи:** бојни отрови, заштитна одећа, наночестице  $TiO_2$ , фотокаталитичка активност, самодеконтамирајући текстилни материјал.

# **POSSIBILITIES OF METAL OXIDES NANOPARTICLES APPLICATION THE MATERIALS INCORPORATED IN CBRN PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT**

Lieutenant colonel  
fieljko B. Senic, M.Sc.

## **Abstract**

This doctoral thesis aims to investigate the possibilities for metal oxide nanoparticles use in the materials incorporated in personal nuclear, chemical and biological (NBC) equipment. The always present possibilities for accidents at nuclear and chemical plants, an increasing number of terrorist activities, as well as the need for utilization of more ecologically preferable materials and the need for the reduction of soldiers burden, resulted in the need to explore and design more efficient, environmetal-friendly, biodegradable, multifunctional protective materials.

In the theoretical part of the thesis, the properties of body protective equipment currently used by armed forces, made of insulating rubber materials and filtrational activated charcoal materials are given. Then, the photocatalytic properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and methods of their synthesis (sol-gel and hydrothermal methods) are briefly described. The methods for textile materials modifications with TiO<sub>2</sub> nanoparticles (dip-pad-dry methods, covalent linking with bi- or polyfunctional linkers and layer-by-layer deposition method) are described. The brief literary review of self-decontaminating nano-TiO<sub>2</sub>-modified textiles and methods for their testing is given.

In the frame of our work, we investigated two different methods for TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesis, the method of their deposition to standard military textile (cotton-polyester, 50%) and the different types of post-treatment. Different combinations of two main synthetic routes, with variation in reaction conditions (regarding precursor's concentration and heating time) and different procedures of textile post-treatment gave 10 different textile samples modified by nano-TiO<sub>2</sub> designated as **1a-5a** and **1b-5b**. The second synthetic method, namely, hydrolysis of titanium-tetraisopropoxide (TIP) in acidic aqueous medium, with heating of the reaction mixture (16h at 60°C) proved to be superior over the first method of synthesis (according to the results of methyl-orange degradation) which is carried out in

isopropanol as solvent, with a minimum quantity of water, at room temperature and in the presence of triethylamine as a stabilizer obtained sol.

Based on the results obtained for photocatalytic degradation efficiency and their comparative analysis conducted for all ten textile samples, it is assumed that in the case of the first synthetic procedure, the full crystallization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles has not been completed, and that it is even not completed during the treatment of textile samples at 95 ° . It is likely that treatment of textile samples for 3 hours in boiling water eventually causes the crystallization of nanoparticles, because in this case, the photocatalytic activity significantly improves.

The ability of VX photodegradation, is investigated for the textile sample treated with the sol obtained according to the second synthetic procedure (sample **2a**). Detection of VX by enzymatic reaction based on the inhibition of AChE, enabled us to monitor the residual toxicity of the solution. The photocatalytic degradation efficiency of VX for the sample **2a** was significantly lower compared to the results obtained for the degradation of . Although this result is mainly due to initial reaction conditions related to the relatively low concentration of VX, it is likely that the efficacy of degradation can be improved by optimizing other reaction parameters (variation in relative quantities of catalyst and VX and variation in UV-light intensity). Textile sample treated with the sol obtained by the first synthetic procedure (sample **1a**), was tested by the standard military method used for testing materials embedded in the military protective equipment. Somewhat lower concentration 2- - was detected through the sample **1a**, comparing with the control, not treated textile sample. However, the decrease in the concentration of 2- - detected through the sample **1a** is relatively modest as compared to the control sample not treated with TiO<sub>2</sub> nanoparticles. This proves the low adsorptive power of nano-TiO<sub>2</sub> treated samples as compared with contemporary thin-layered activated charcoal materials.

We have also investigated the effects of the nano-TiO<sub>2</sub> treatment on the physical and mechanical properties of two textile samples **1a** and **2a**: tearing strength, tensile strength and elongation, and air permeability. The results showed that the treated textile sample had significantly lower values of tearing and tensile strength comparing to the values obtained for untreated textile material. Therefore, the treatment of the textile

samples in acidic environment and subsequent thermal treatment at 95 °C significantly degrades mechanical properties of textiles. On the other hand, the deposition of TiO<sub>2</sub> nanoparticles did not significantly affect the air permeability of both (**1a** and **2a**) textile samples.

Regarding the possibilites of self-decontaminating textiles incorporation in the protective equipment we investigated functional properties of two-layerd material compising the sample **1a** ó as the outer layer of filtrational protective suit and inner layer - Saratoga™ material obtained from Helsa-Werke manufacturer. We determined protection time against sulfur mustard drop challenge (vapour detection) in dynamic conditions (according to SORS 6701/05 standard), burning time and the temperature on the back side of the sample upon burning napalm mixture challenge (according to SORS 6704/04 standard) and as well as burning time upon simulated thermal energy of nuclear explosion (according to SORS 4260/04 standard). The results showed that the two-layered permeable material (sample **1a** - the outer layer and inner layer - Saratoga™ material) had relatively similar functional properties to those observed for Serbian armed forces permeable suits OFZ-M00 i OFZ-M2.

In conclusion, the results obtained in the frame of this thesis show that a modification of the standard military textiles by TiO<sub>2</sub> nanoparticles produces textile substrates with moderate self-decontaminatings properties under certain experimental conditions, but for incorporation of such materials in contemporary body protective equipment, few problems have to be solved. It is necessary to modifie experimental conditions for TiO<sub>2</sub> nanoparticles deposition in such a way that there is a minimal degradation in the mechanical properties of the treated textiles. Experiments carried out in permeation cell with 2- , as a model compound, showed that adsorption component of the nano-TiO<sub>2</sub> treated textile is not strong enough to retain the toxic compounds mass flux through the sample. Therefore, it is assumed that these self-decontaminating textile substrates should be combined with materials of exceptionally good adsorption properties, such as thinlayered activated-carbon materials. In addition, it is necessary to shift the absorption area of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in the visible spectrum, in order to enable the process of photodegradation could to place under natural sunlight. The results obtained showed that it is significantly valuable to continue the research in

the field of self-decontaminating protective equipment development and gave valuable guidelines for the future scientific work.

**Key words:** *chemical warfare, protective equipment, nanoparticles of TiO<sub>2</sub>, photocatalytic activity, self-decontaminating material.*

## **СКРАЋЕНИЦЕ**

APR	( <i>Air-Purifying Respirator</i> )
BSE	- ( <i>Back Scatter Electrons</i> )
EPA	( <i>Environmental Protection Agency</i> )
FTIR	( <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> )
IR	( <i>Infrared</i> )
PES	a
SE	( <i>Secondary Electrons</i> )
SEM	( <i>Scanning Electron Microscope</i> )
S M	( <i>Scanning Tunneling Microscope</i> )
TEM	( <i>Transmission Electron Microscopy</i> )
TGA	( <i>Thermogravimetric analysis</i> )
UPF	( <i>Ultraviolet Protection Factor</i> )

/

M e

(*Metal Oxides Nanoparticles*)

/

, , ,

/



## САДРЖАЈ

<b>I УВОД .....</b>	<b>1</b>
<b>II ТЕОРИЈСКИ ДЕО .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. СРЕДСТВА ЗА ЗАШТИТУ ТЕЛА ОД ВИСОКОТОКСИЧНИХ СУПСТАНЦИ .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.1. СРЕДСТВА ЗА ЗАШТИТУ ТЕЛА ИЗОЛИРАЈУЋЕГ ТИПА .....</b>	<b>7</b>
1.1.1.1. ....	7
1.1.1.2. ....	8
1.1.1.3. ....	11
1.1.1.4. ....	13
<b>1.1.2. СРЕДСТВА ЗА ЗАШТИТУ ТЕЛА ФИЛТРИРАЈУЋЕГ ТИПА .....</b>	<b>15</b>
1.1.2.1. ....	16
1.1.2.1.1. ....	16
1.1.2.1.2. ....	17
1.1.2.2. ....	22
1.1.2.3. ....	24
1.1.2.4. ....	27
<b>1.2. МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ НАНОТЕХНОЛОГИЈА У ТЕКСТИЛНОЈ ИНДУСТРИЈИ .....</b>	<b>29</b>
1.2.1. - ....	29
1.2.2. ....	32
1.2.3. TiO <sub>2</sub> .....	35
1.2.3.1. ....	35
1.2.3.2. TiO <sub>2</sub> .....	40
1.2.4. - ....	43
1.2.5. ....	46
<b>1.3. ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА НАНО-МОДИФИКОВАНИХ ТЕКСТИЛНИХ СУПСТРАТА .....</b>	<b>51</b>
1.3.1. ....	51
1.3.2. - ....	58

<b>1.4. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>59</b>
1.4.1. ....	59
1.4.2. ....	63
1.4.3. ....	65
<b>III ЕКСПЕРИМЕТАЛНИ ДЕО .....</b>	<b>69</b>
<b>2.1. СИНТЕЗА НАНОЧЕСТИЦА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА И ЊИХОВА ДЕПОЗИЦИЈА НА ТЕКСТИЛНИ СУПСТРАТ.....</b>	<b>69</b>
2.1.1. ....	69
2.1.2. - ....	69
<b>2.2. ИСПИТИВАЊЕ ФОТОКАТАЛИТИЧКИХ СВОЈСТАВА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>71</b>
<b>2.3. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА СКЕНИРАУЋОМ ЕЛЕКТРОНСКОМ МИКРОСКОПИЈОМ .....</b>	<b>72</b>
2.3.1. ....	72
2.3.2. ....	74
<b>2.4. МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ТЕКСТИЛНИХ УЗОРАКА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>75</b>
<b>2.5. ИСПИТИВАЊЕ ФУНКЦИОНАЛНО-БЕЗБЕДНОСНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>76</b>
2.5.1. ....	76
2.5.2. - ....	80
2.5.3. ....	85
<b>IV РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА .....</b>	<b>90</b>
<b>3.1. СИНТЕЗА НАНОЧЕСТИЦА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>90</b>

<b>3.2. ИСПИТИВАЊЕ ФОТОКАТАЛИТИЧКЕ АКТИВНОСТИ СТАНДАРДНОГ ВОЈНОГ ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНОГ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>91</b>
<b>3.3. ФОТОКАТАЛИТИЧКО РАЗЛАГАЊЕ VX-А .....</b>	<b>95</b>
<b>3.4. ДЕГРАДАЦИЈА СИМУЛАНТА S-ИПЕРИТА,.....</b>	<b>97</b>
<b>2-ХЛОРЕТИЛЕТИЛСУЛФИДА (CEES) .....</b>	<b>97</b>
<b>3.5. ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ТЕКСТИЛНИХ УЗОРАКА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>99</b>
<b>3.6. ФУНКЦИОНАЛНО-БЕЗБЕДНОСНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>100</b>
<b>3.6.1.</b>	<b>100</b>
<b>3.6.2.</b>	<b>102</b>
<b>3.6.3.</b>	<b>104</b>
<b>3.7. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА .....</b>	<b>104</b>
<b>V ЗАКЉУЧАК .....</b>	<b>111</b>
<b>VI ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>114</b>
<b>БИОГРАФИЈА АУТОРА .....</b>	<b>124</b>

## I УВОД

, , ,  
, , , ( .  
, , , 1984. ).

,  
y 1994. - ( ) 7  
280 , 1995. 12 ,  
5000 , ,  
,

[1].

,  
,

: , , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

, , , , ,

,  
-

,  
(        ) ,  
(        )  
š                      ö.

,  
(        ) .  
*de novo*  
[6].

1-100 m,

,

,

,

,

,

,

(        ) (        ) S-  
).  
(  
)

,

(        )

, . . . (layer by layer).

- . . . , 20  
( . . . ).

. . . (Cornell University)

,  
,

Nomex,  
*N*-

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> ( ) ( ) . . . ,  
TiO<sub>2</sub>

[7].

TiO<sub>2</sub>, :  
/ , UV ,

### **хипотеза**

**истраживања:**

TiO<sub>2</sub>

;

TiO<sub>2</sub>

о

TiO<sub>2</sub>

**Општи циљ докторске дисертације**

( TiO<sub>2</sub>,

) ѕ ö

,

, **посебни циљеви докторске дисертације:**

TiO<sub>2</sub>

;

TiO<sub>2</sub>

;

TiO<sub>2</sub>,

;

TiO<sub>2</sub>

(

),

;

TiO<sub>2</sub>,

TiO<sub>2</sub>

( , , )

TiO<sub>2</sub>.

( , , ) .

- ( , ), ( ).

, TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>,

## II ТЕОРИЈСКИ ДЕО

### 1.1. СРЕДСТВА ЗА ЗАШТИТУ ТЕЛА ОД ВИСОКОТОКСИЧНИХ СУПСТАНЦИ

#### 1.1.1. СРЕДСТВА ЗА ЗАШТИТУ ТЕЛА ИЗОЛИРАЈУЋЕГ ТИПА

##### *1.1.1.1. Нивои заштите према међународним стандардима*

(... EPA - U.S.

*Environmental Protection Agency).*

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

,

ЕПА [8],

( 1.).



Ниво А



Ниво В



Ниво С



Ниво Д

Слика 1.

OCHA EPA

B C .

$$D = \left( \dots, \frac{d}{dx}, \dots, \frac{d^k}{dx^k} \right).$$

#### **1.1.1.2. Врсте изолирајућих материјала и механизам заштите**

[1]:

)  
)  
,  
,

100 μm, 100 g/m<sup>2</sup> – 150 g/m<sup>2</sup> [1].

, , . , ,

, , , ,

a . , ,

,

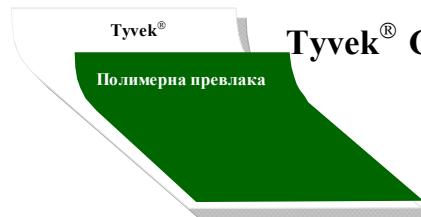
[1].

"Du Pont" *Tychem*<sup>®</sup> F -

*Tyvek*<sup>®</sup> F *Tychem*<sup>®</sup> C ( 2.)  
( *Tyvek*<sup>®</sup> )  
*Tychem*<sup>®</sup> C ,  
*Tychem*<sup>®</sup> F ( 3.).

*Tychem*<sup>®</sup> F ( 4.)

,  
, *Tychem*<sup>®</sup> F ,  
(115 g/m<sup>2</sup>)  
,  
( ) – Š - ö,  
[1].



Слика 2. *Tychem® C*



Слика 3. *Tychem® F*

/ , .



Слика 4. *Tychem® F*

( ) . . . . .

, ѕ / ö  
,

#### **1.1.1.3. Употреба изолирајућих заштитних средстава**

( ), ,  
( ), -

, .  
,

, .  
,

, .  
,

, .  
[9-11].

, , , , , .<sup>1</sup>.

( . ).

, .  
,

, .  
,

њ ѕ - ö ( ).

, .  
,

( . ).

---

<sup>1</sup>У правилима АБХ службе Војске Србије користе се следећа терминологика одређења и скраћенице: комбинезон заштитни (КЗ), ограч заштитни (ОЗ), рукавице заштитне (РЗ), чизме заштитне (Чз) и чарапе заштитне (Чз).

).

PAPR

( )

*Tychem® F*

,

,

,

,

,

,

,

,

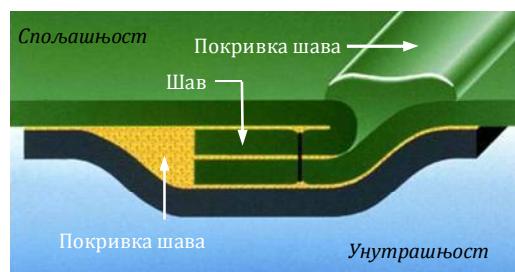
,

"MSA-Auer"

( 5. 6.).



**Слика 5.**  
Vautex SL



**Слика 6.**  
MS Auer

**1.1.1.4. Карактеристике заштитног комбинезона у опреми Војске Србије**

3,

5

5 ( - 5) ( 7.)



**Слика 7.**

5

5

:

;

-  $36 \pm 1^{\circ}\text{C}$  150 min,

105 min;

-  $67 \text{ J/cm}^2$  3,51 s

,

;

-

10 s,

;

-

,

-30  $^{\circ}\text{C}$  + 50  $^{\circ}\text{C}$ ;

- 3 kg

-

( , ).

( 1.).

**Табела 1.**

2

<b>Спољашња температура</b>	<b>Дозвољено време рада у заштитном положају</b>
+30 °C	15 20 min
+25 °C	+30 °C 30 min
+20 °C	+25 °C 40 50 min
+15 °C	20 °C 1,5 2 h
	+ 15 °C 3 4 h

30 °C 15 20 min,

<sup>2</sup>Правило употребе јединица АБХО.

#### **1.1.2. СРЕДСТВА ЗА ЗАШТИТУ ТЕЛА ФИЛТРИРАЈУЋЕГ ТИПА**

, Š Ö

- ,

2

,

[12-15].

1

[12,16].

(PES),

8

( , , , ).

(

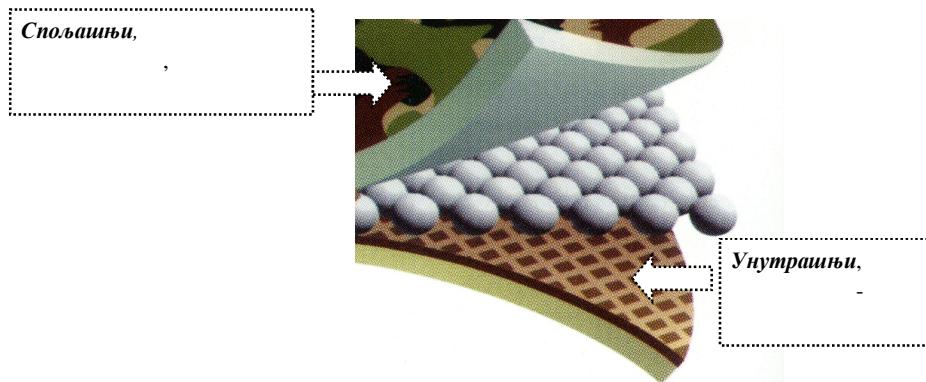
),

S

ö.

### 1.1.2.1. Филтросорциони материјали уграђени у ОФЗ

( 8.).



Слика 8.

#### 1.1.2.1.1. Карактеристике спољашњег слоја

*Nomex-a,* [12].  
/ ( , .),  
*Gore-Tex®*, ,  
( 200 g/m<sup>2</sup>),

*1.1.2.1.2. Карактеристике унутрашњег слоја*

(        )

(        ).

(        )

[12]:

(        9.).



**Слика 9.**

,  
,

$60 \text{ g/m}^2$ .

( $200 \text{ g/m}^2$ ).

[17].

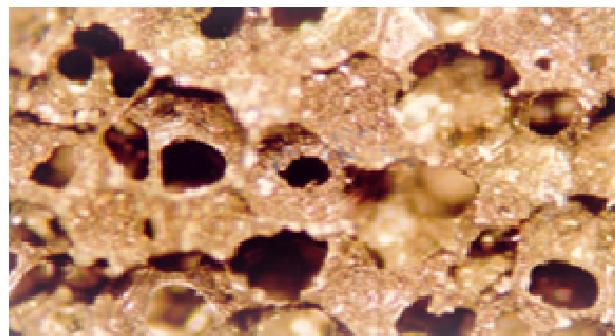
, jer je ,

( )

$\text{CO}_2$ ,

( 10.). PUP

[12,17].



Слика 10.

$120 \text{ g/m}^2$        $200 \text{ g/m}^2$ .

[17]:

0,15 mm      1 mm,  
 $150 \text{ g/m}^2$



(... know-how)

[16].

shot meltö,

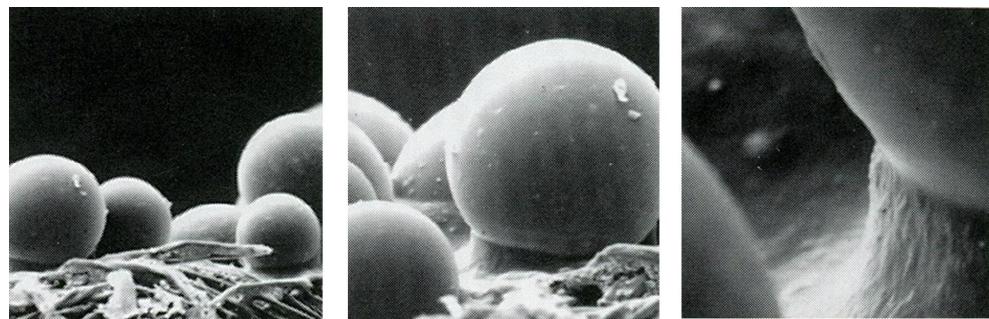
[17,18].

11.



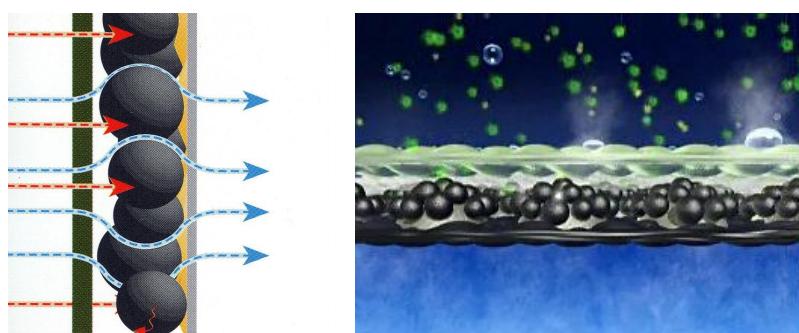
**Слика 11.**

(... 12.).



Слика 12.

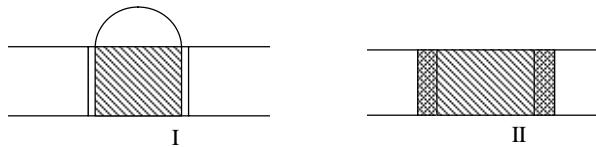
#### 1.1.2.2. Защититна и пермеабилна својства филтрирајућих материјала



Слика 13.

( 14.).

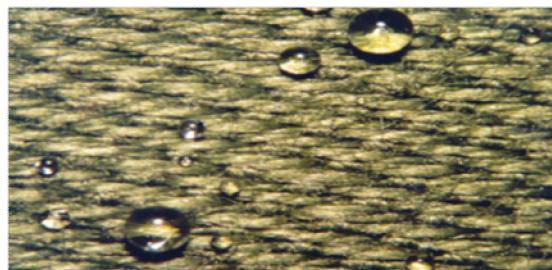
[1,12].



**Слика 14.**

( ),

( 15.).



**Слика 15.**

,  
,

,  
,

,  
,

,  
,

,  
,

,  
,

,  
,

,  
,

, [1,12].

1 mm,

2,5 mm,

,

[1].

#### ***1.1.2.3. Развој и употреба ОФЗ у страним оружаним снагама***

[17]

NATO  
North Atlantic Treaty Organization

[18]



### Слика 16.

1995/1996. ,

<sup>3</sup> ( . . OPCW - *Organisation for the Prohibition of the Chemical Weapons*).

20

[12,17].

,  
, , : , , ,  
, , , , , ,  
[17]. Blücher

,  
(SARATOGA<sup>TM</sup> ),

,  
[17].

/

,  
PUP  
[19].

Paul Boyé.

1,7 kg,  
6 h  
21

[20].

( )

#### **1.1.2.4. Употреба ОФЗ у Војсци Србије**

90- /  
- 1, .

( )  
( ) - 1  
6 h

š - ö.  
,  
, ( ).  
,  
- 1, 90-

- 2 - 2PUP [12,16],

( ) ( )  
( ) , ( ).  
, 45

15 ,

šTrayalö .

, - 00 (

17.), š ö [12,16].

2005.

, ( ) ( )



Слика 17.

- , - 00  
- 00 ( )  
( - 00) :  
- ( )  
( );  
- , , , , ;  
- / S- 6 h;  
- 30 min;  
- 10 s;  
- 67 /cm<sup>2</sup> 3,51 s  
, ;  
- 40 % ;  
- 90;  
- 100 Pa 40  
m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> min;  
- -30 °C +50 °C;  
- 3 kg;  
- 5 ,  
30 ;  
-

,  
30 min.  
( ).

## **1.2. МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ НАНОТЕХНОЛОГИЈА У ТЕКСТИЛНОЈ ИНДУСТРИЈИ**

### **1.2.1. Нанотехнологије - општа разматрања**

## Нанотехнологија

,  
нанотехнологија,

10<sup>-9</sup> " " ( ), . Š ö 100 nm,

"There is plenty of room at the bottom", 29.12.1959.  
,

1971. Norio  
Taniguchi- ( ).

1981. (STM)

G. Binnig H. Rohrer 1986. STM

, AFM (Atomic Force Microscopy)

, 1985. . (STM AFM)

- [22].

: - , - , , - , - ,

: , , , , , , ,

, , , , , , ,

[22].

: - , - , - , - , - ,

- - - ( )

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

- - - , - - - , - - - , - - - , - - - ,

,

,

,

,

-

/

[23-26].

- epidemije/pandemije nastale prirodnim putem ili upotrebom biolo-kih agenasa u ratnim ili terorističkim dejstvima.

-

,

( )

-

,

-

,

-

,

-

,

-

,

-

,

-

,

[22].

### **1.2.2. Начини примене нанотехнологија у развоју текстила**

3

(Mahltig et al., 2005).

XX

(Mahltig Textor, 2008).

,

,

UV

(, , , ) [27].

- , 2002.  
38,5 % [12,28,29].  
2050. 130.000.000 t. 2002.  
,
- : 21.000.000 t, 5.900.000 t,  
3.900.000 t, a 2.700.000 t.
- ,
- :
- (Viloft excel) 30 % ;  
- Danufil deep dye,  
,
- , , 34 %  
37 %  
- Modal Sun UV .  
,
- , Š ö .  
š ö , ,  
,
- : ,  
,
- , [30].  
60 % 40 %  
,
- , Dynel .  
[12,30].  
(70 %)  
(30 %) .  
[12,30,31]

,  
,

,  
,

[21].

,

Nano-Tex

Schoeller

Textiles AG

: NANO-CARE<sup>TM</sup>

( 18), NANO-PEL<sup>TM</sup>

, NANO-DRY<sup>TM</sup>

NANO-FRESH<sup>TM</sup>,

( )

[29,30].



**Слика 18. NANO-CARE<sup>TM</sup>**

,  
,

,  
,

,  
,

2 [27].

Таблица 2.

Ефекат на текстилном материјалу	Врста наночестице
UV	ZnO, TiO <sub>2</sub> ZnO, TiO <sub>2</sub> , Ag, Au, Cu,
	TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> <sup>’</sup>
	Ag, Au, SiO <sub>2</sub> ,

### 1.2.3. Фотокатализа и њена примена на наночестице $TiO_2$

#### *1.2.3.1. Основни појмови о фотокатализи и општи механизми реакција у фотокаталитичким процесима*

[32].

[32].

[33]:

, [32]:

UV, , , ,

: UV ,

( UV

), [32].

(1.),

,  
 ,  
 ( ) .  
 ( ) , 1. [34].

$RX + h \rightarrow RX^*$	(1.)
$RX^* \rightarrow (R^{\dot{E}} \dots \dot{E}X) \rightarrow R^{\dot{E}} + \dot{E}X$	(2.)
$(R^{\dot{E}} \dots \dot{E}X) \rightarrow RX$	(3.)
$RX^* \rightarrow (R^+ \dots X^-) \rightarrow R^+ + X^-$	(4.)
$RX^* + O_2 \rightarrow RX^{+\dot{E}} + O_2^{-\dot{E}}$	(5.)
$RX^* + ^3O_2 \rightarrow RX + ^1O_2$	(6.)

### Шема 1.

(1.).

2.) ,  
 ,  
 ,  
 /  
 (R<sup>dot{E}</sup>)  
 , R<sup>dot{E}</sup> O<sub>2</sub><sup>dot{E}</sup> , R<sup>dot{E}</sup> O<sup>dot{E}</sup> [34].

(1. 3.),

, [34].

( - , 1. 4.)

[34].

- ( 1. 5. 6.)  
,

, , - ( ) ( 1. 5.) ( 1.  
6.) [34].

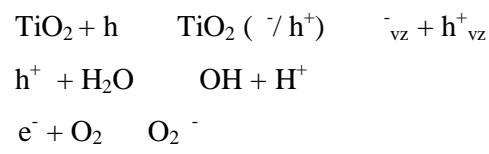
, , ,  
,

, , ,  
,

- ( ) -  
( ) [35].

(VZ) (PZ),  
(ZZ) [35].  
(h ),  
(E<sub>zz</sub>), (e<sup>-</sup><sub>vz</sub> )  
,

(h<sup>+</sup><sub>vz</sub> ), 2. [35].

**Шема 2.**

[35].

( )

( ) [35].

 $\text{TiO}_2, \text{WO}_3,$  $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{CeO}_2, \text{CdS}, \text{ZnO}, \text{ZnS},$  $\text{ZnO}$  $\text{TiO}_2,$  $\text{Zn(OH)}_2$  $\text{TiO}_2$ 

[35].

TiO<sub>2</sub>

UV-A [35].

š  
o)

ō)

० (

ó)

० (

ō)

(

).

[35].

[35].

### 1.2.3.2. Механизам фотокаталитичког процеса на $TiO_2$

( ) TiO<sub>2</sub>:

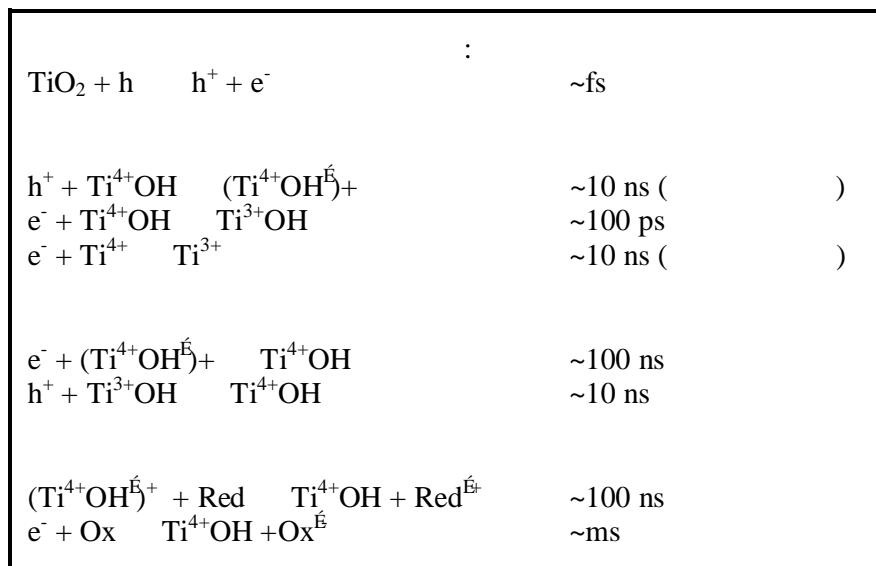
$$\text{TiO}_6^{2-}$$

,

TiO<sub>2</sub>,

: TiO<sub>2</sub> (B), TiO<sub>2</sub>-R, TiO<sub>2</sub>-H, TiO<sub>2</sub>-II – TiO<sub>2</sub>-III [36].





Шема 3.

 $\text{TiO}_2$ 

( , ). , , ( )

[38]

(DMMP)

 $\text{TiO}_2$ .

P-, ,

[39].

[40]

(CEES)

- $\text{TiO}_2$ .

CEES-

- $\text{TiO}_2$

- $\text{TiO}_2$

#### **1.2.4. Методе синтезе наночестица титанијум-диоксида**

$\text{TiO}_2$

[41],

[42],

[43, 44],

[45],

[46],

[47]

[48],

[49],

[50]

[51].

$\text{TiO}_2$

$\text{TiO}_2$

( 100 ° )

$\text{TiO}_2$

$\text{TiO}_2$ 

[52]

(IV)

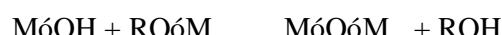
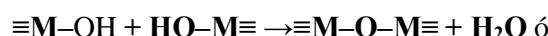
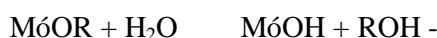
(TIP)

( 4.)

 $i(\text{H})_4$ 

TIP-

i- - i,

 $\text{TiO}_2$  $\text{TiO}_2$ **Шема 4.** $\text{TiO}_2$  $\text{TiO}_2$ 

400 °

 $\text{TiO}_2$ 

100 °

[53-56].

[53],  
8 nm, 60-70 ° , 90 ° ,

[54] [55]  
50 nm 40-50 ° .  
TiO<sub>2</sub> 100 °

TiO<sub>2</sub> pH 11

( ),

( 150 ° ),

(

)

TiO<sub>2</sub>

### 1.2.5. Методе депозије наночестица на текстилне супстрате

[57].

[58].



UV

RF, MW

$\text{TiO}_2$

cure)

(dip-pad-dry-

$\text{TiO}_2$



10

20

20

10

[59, 60].



$\text{iO}_2\text{-TiO}_2$

( )

TiO<sub>2</sub> iO<sub>2</sub> [61]. ,  
iO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>,  
TiO<sub>2</sub> iO<sub>2</sub> (Ludox S -30) .  
100 ° .  
(HR )

iO<sub>2</sub> [62].

.  
TiO<sub>2</sub>.  
,  
( ), ,  
TiO<sub>2</sub>.  
,  
, : 1,2,3-,  
1,2,3,4- .  
(6 %, w/w),  
NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (4% w/w).  
(3 ) 80-90 ° ,  
2 (115 ° < < 210 ° ).

R-IC [63].

TiO<sub>2</sub> ,

[64].  
( )  
,  
, [63,65]  
o TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> [66-70], 50% , [71]. , . TiO<sub>2</sub>, [72], , 1,4- -D- -L- , TiO<sub>2</sub>. , , UV [73]. TiO<sub>2</sub> TiO<sub>2</sub>, [74]. , ö , , , ( ). , , , [75, 76] TiO<sub>2</sub>, (W<sub>3</sub>) (50%) - - - ) , , , , [77] , , .

(RF)

(W)

UV

; , .

, , , , 1-20 nm [78].

6C

6

,

RF

(<sup>1</sup><sub>2</sub>, -, -, +), (C-, C=, -  
-C=, -C H, -C H).

[79].

RF MW

MW

5-45 s,

30

UV

50

[80].

RF, MW

UV

TiO<sub>2</sub>

,

6C 6

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>

, ,

[81].

(LTP)

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>. , LTP [78].

TiO<sub>2</sub>.  
(óC - ó - ) TiO<sub>2</sub>

[82] ,  
(Savinase) (Lipex) ,

[83-85]. ,  
,  
[86].

,  
TiO<sub>2</sub>.  
TiO<sub>2</sub>, -TiO<sub>2</sub>  
,  
SEM  
1 nm.  
TiO<sub>2</sub>, SEM

,  
TiO<sub>2</sub>,

### **1.3. ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА НАНО-МОДИФИКОВАНИХ ТЕКСТИЛНИХ СУПСТРАТА**

#### *1.3.1. Самодеконтамирајућа својства*

TiO<sub>2</sub>.

UV-

TiO<sub>2</sub>

UV-

TiO<sub>2</sub>

( )

[87,88].

[89,90],  
UV-  
[91,92].

420 nm  
IR UV  
[93].

TiO<sub>2</sub>  
: , [94]. ,

,  
[95], [61], [58,80,96] [97],  
[58,60,80,87,97,98] [58]

,  
UV-  
(<sub>max</sub>=664 nm, <sub>664</sub>= $7,4 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ). ,

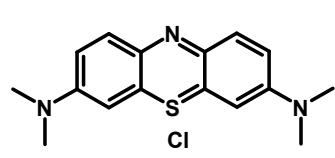
,  
,  
[99].  
: Direct Green 6 [95] Dark Green BN, Dark Green 6 [100],  
o [101] Acid Blue 113 [82], Reactive Orange  
72 [95], Reactive Orange V-2G, Acid Orange [102] - [103]  
Rodamin B ( 19.).

: [99], [94] , - - [98]

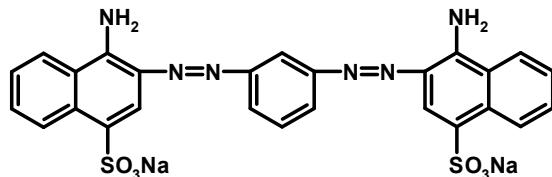
[104].

,

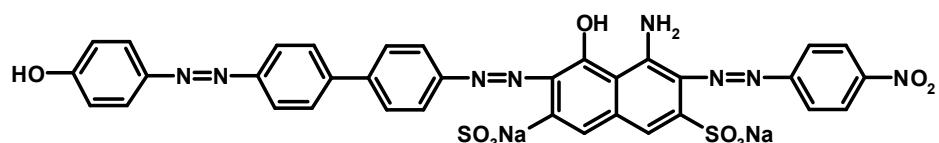
[105].



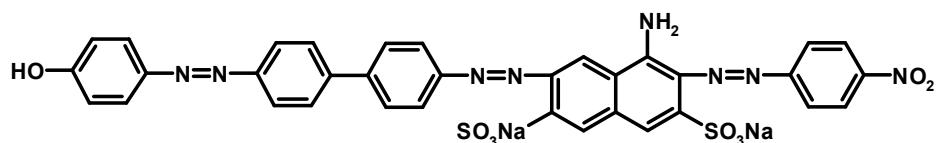
Metilensko plavo



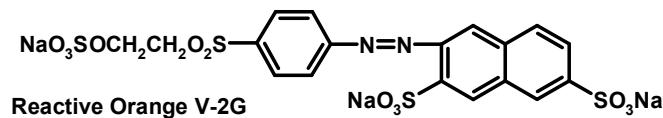
Kongo crveno



Dark Green BN



Dark Green 6



Reactive Orange V-2G

NaO<sub>3</sub>S

NaO<sub>3</sub>S



Reactive Orange 72

Слика 19.

TiO<sub>2</sub>

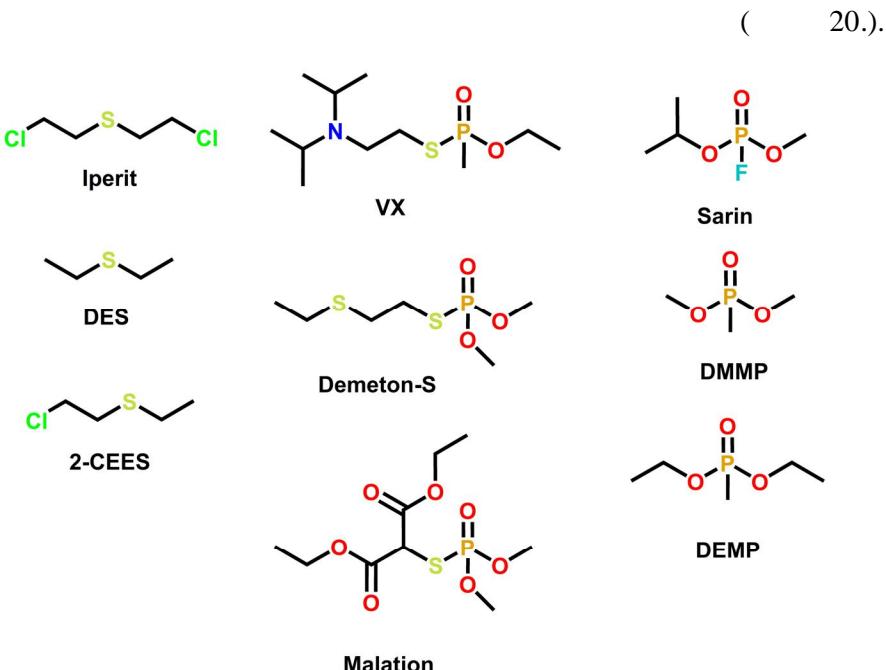
[75,76]

 $\text{W}_3\text{-TiO}_2$ 

S- (2,2'-

).

, ,



Слика 20.

(DES) [75,106] 2-

(CEES)

S-

.

-2-

-, -

(), - ),

VX ( - -(2-

)

),

[107].

(DMMP) [38,75,76]

(DEMP) [39],

DMMP-

DEMP-

 $\text{TiO}_2$

. [39]

a

TiO<sub>2</sub>

[97,98,103,104,108,109].

š ö

[97,98,105].

CO<sub>2</sub>

[80].

[104]

TiO<sub>2</sub>

(2,5 L)

. UV

[77]

CEES-

CEES-

CEES-

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>

*Escherichia coli*

[74,82,110,98,111] *Klebsiela pneumoniae* [59]

*Staphilococcus aureus* [60,110,97,108,111-113],

[114]

[103].

[82,98,112,113]

[60,96,103,108]

[110,103,111,114].

TiO<sub>2</sub> [113,115].

UV-  
,

UV

UV-

(UPV)

[59,74,115,116,110,87,108,113,117]. UPF

/ AS/NZS 4399:1996,  
UPF UV  
:

(UPF 15-24), (UPF 25-39) (UPF 40-49).  
UPF 15,  
UV [116, 87]. UPF-

TiO<sub>2</sub>.

( .

)

, , ,

,

TiO<sub>2</sub>

,

o

TiO<sub>2</sub> ( , , )

).  $\text{TiO}_2$ , ,  
/ .

$\text{TiO}_2$

$\text{TiO}_2$ ,

[118].

$\text{TiO}_2$ ,  
, ,  
 $\text{IP-}(\text{TiO}_2)$ ,  
, 60 °, 16  
 $\text{TiO}_2$ ,  
,  
 $\text{TiO}_2$ , 10 , ,  
,

### *1.3.2. Деградација физичко-механичких својстава*

$\text{TiO}_2$   
[58,118,95],  
[58,118,116,110,87] [58]  
[58,118,116,87].

TiO<sub>2</sub>

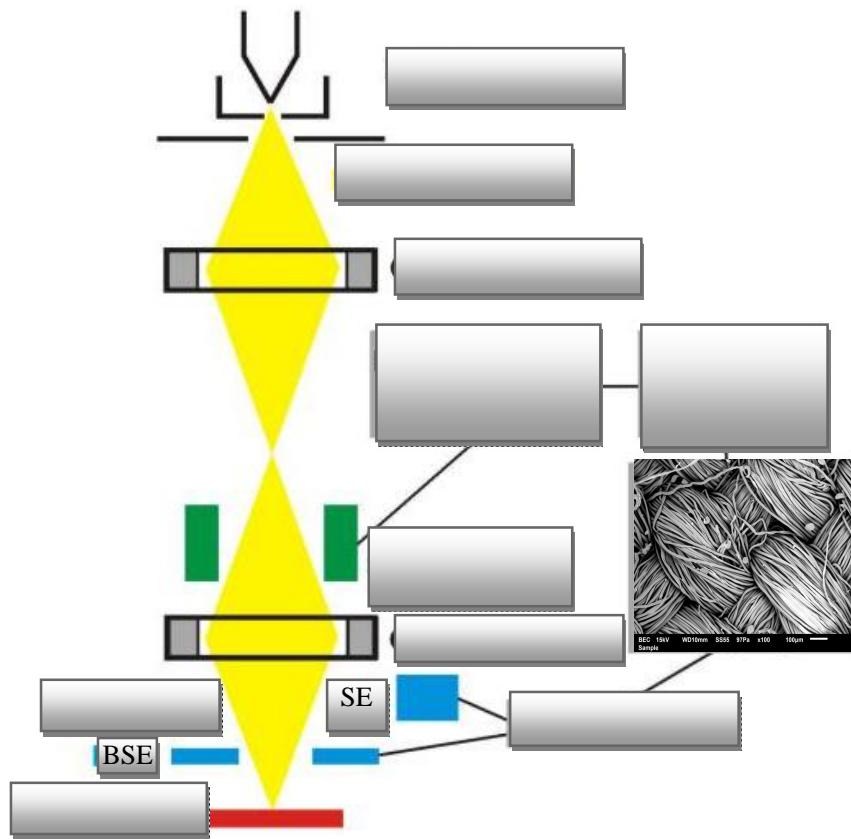
[116].

## **1.4. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА**

#### **1.4.1. Скенирајућа електронска микроскопија**

SEM-

,  
(        )  
(        21.).



Слика 21.

SEM-a

Electron). BSE

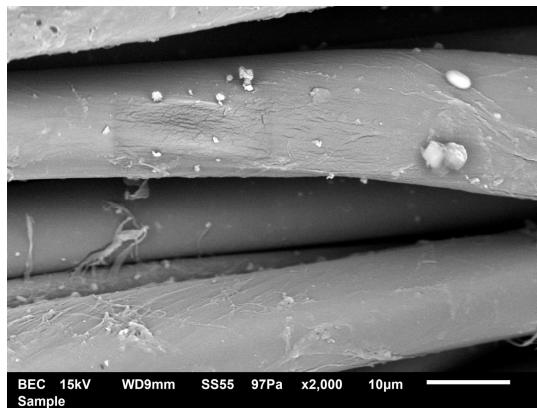
BSE (engl. Back Scatter

BSE (engl. Back Scatter Electron)

. BSE

. BSE

( 22.).



Слика 22.

$\text{TiO}_2$

SE (engl. Secondary Electrons).

SE

SEM-a

x y

, SEM

š ö,

X-



#### **1.4.2. Инфрацрвена спектроскопија**

j  
FTIR ( )  
( 24.)



**Слика 24. FTIR**

IC

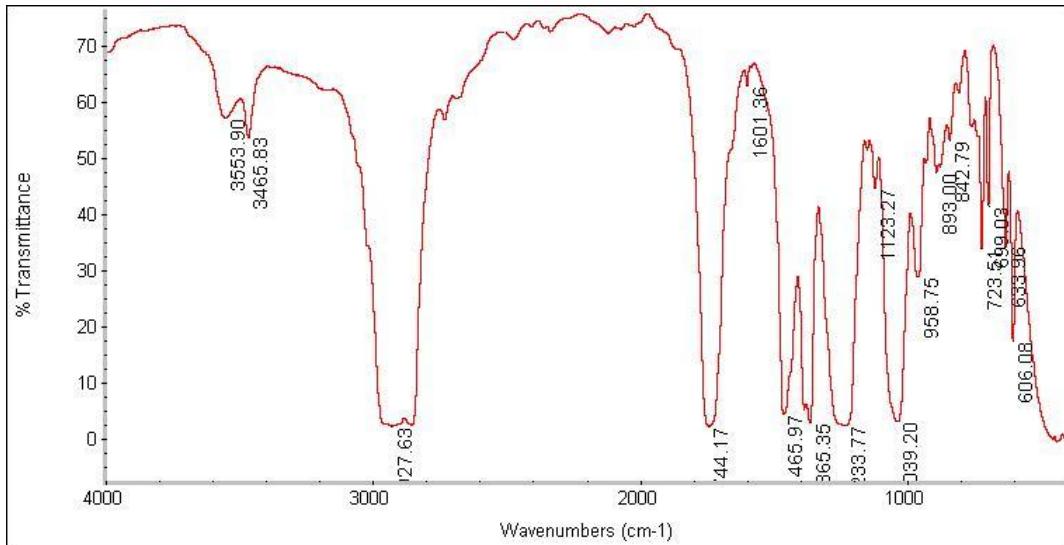
IC ( 25.)

δ

ö

( )

:



Слика 25. IR

( ).

a

IC

( )

~1 1000 m.

a

IC

,

,

, IC ( ).  
IC , FTIR,  
,  
IC TiO<sub>2</sub>  
( )  
TiO<sub>2</sub>.  
,  
( ) ,  
TiO<sub>2</sub>. ,  
, : 1,2,3-  
, 1,2,3,4- .  
R-IC [63].

**1.4.3. Термогравиметријска анализа**

( )  
,

( )  
,

( 26.)

,

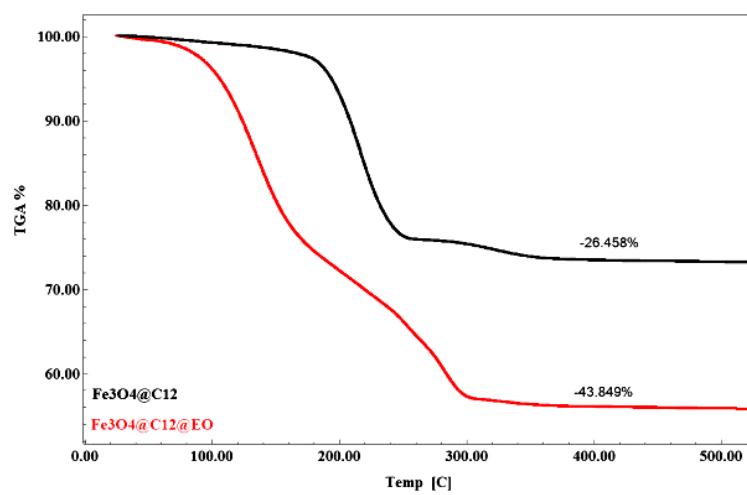


Слика 26.

Q500

:(  
( ) ,  
( ),  
( ).  
( 27.),

( ) ,  
( ).



Слика 27.

: ( ) ; ( )  
; ( ) ; ( )  
; ( ) ( )  
5 50 mg,

20 ° /min,  
100 ° ,  
10 ° /min.  
( )



300 ° ,

300-370 ° .

370 °



TiO<sub>2</sub> (- )  
TiO<sub>2</sub>.

,

### III ЕКСПЕРИМЕТАЛНИ ДЕО

#### 2.1. СИНТЕЗА НАНОЧЕСТИЦА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА И ЊИХОВА ДЕПОЗИЦИЈА НА ТЕКСТИЛНИ СУПСТРАТ

##### 2.1.1. Коришћене хемикалије и текстилни супстрати

Aldrich. , , Sigma, Fluka  
, VX, . ,  
( ) .  
,  
( ) / , 50%.  
(2 g/l) 30 ,  
  
(2 g/l). ,  
.

##### 2.1.2. Поступак синтезе наночестица титанијум-диоксида и њихова депозиција на текстилни супстрат

TiO<sub>2</sub>:  
50 ml ,  
o IP (0,02 mol) ,  
(0,01 mol) 2-3  
  
3 ml , 0,72 ml  
50 ml o .  
30 .  
TiO<sub>2</sub> 10 .  
TiO<sub>2</sub> ,  
5 × 5 cm, 1 .

70 ° . . . . .  
5  
TiO<sub>2</sub>.  
š 1aö.  
1a,  
, 100 ° , 3 ,  
TiO<sub>2</sub> .  
TiO<sub>2</sub> :  
250 ml, ,  
100 ml  
, 1 ml 10 ml  
TIP (0,04 mol)  
TIP-  
. . . . .  
60-70 ° , 16 . . . .  
(5 × 5 cm) TiO<sub>2</sub> 1  
, 70 ° .  
š 2aö. š 26ö  
2a, , , 100 ° ,  
3 , , TiO<sub>2</sub>  
. . . . .  
TIP-  
. . . . .  
3a 36  
. . . . .  
TIP- ( 0,04 mol)  
36 ,  
16. 4a 46 , , ,  
, TIP- ( 0,04  
mol), 60 ° 4 . . . .  
3 , 46  
5a 56,  
, TIP- ( 0,02  
mol)  
56 ,  
3 , [119-122].

## 2.2. ИСПИТИВАЊЕ ФОТОКАТАЛИТИЧКИХ СВОЈСТАВА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА

TiO<sub>2</sub>

- ( ) UV  
[119-122].

,  
2,5 ml , 10 mg/l.  
1 × 2 cm.

,  
/ .

,  
UV 254 366 nm 4 cm  
UV (Minuvic, Desaga, Heidelberg, Germany)

,  
o (465 nm).

Perkin Elmer Lambda 17

:

$$\text{MeO \%} = 100 \cdot \frac{A_t}{A_0}$$

t t UV , 0

VX-

VX- . ,

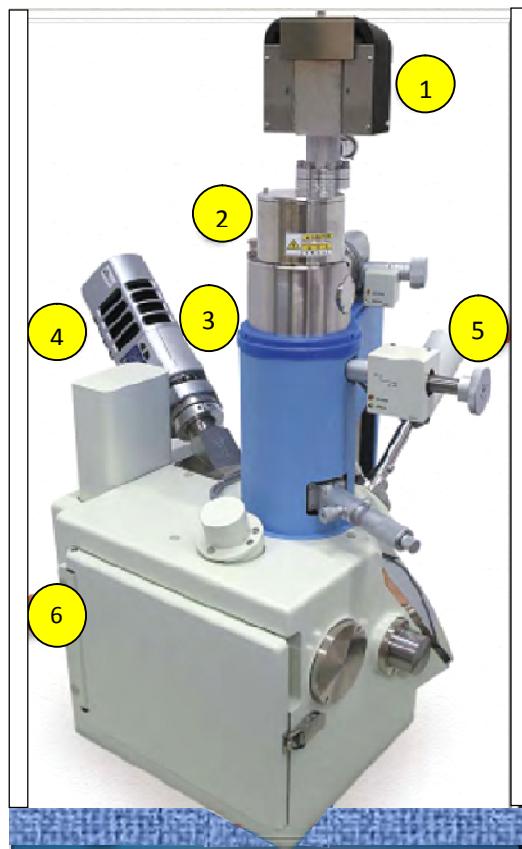
,  
2 ml VX- (0,1 mg/l) UV  
[118-121].  
VX- [123],  
(AChE). VX-  
  
103  
  
- (0,1 M, pH 7,2), AChE (0,02 U/ml) 5,5'-  
-(2-) ), (DTNB, 0,34 mM). AChE  
[103]. 15  
VX- 25 ° - (1 mM)  
412 nm 2 .  
, VX- UV .  
.

### **2.3. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА СКЕНИРАЈУЋОМ ЕЛЕКТРОНСКОМ МИКРОСКОПИЈОМ**

#### ***2.3.1. Опрема и прибор***

TiO<sub>2</sub>  
JEOL JSM-6610LV. EDS ( : X-Max Large Area  
Analytical Silicon)  
(SEM)  
300.000×,  
, ( )  
LaB<sub>6</sub>. (SE)  
(BSE),  
(EDS), (CL).

SEM JEOL JSM-6610LV ( 28.) :  
- : W , LaB<sub>6</sub>; 0,3-30 kV,  
- : + ( ); ( LaB<sub>6</sub>);  
(10-270 Pa),  
- : SE ; BSE ; CL ; EDS  
( : X-Max Large Area Analytical Silicon; Drift connected with INCAEnergy 350 Microanalysis System); Z × 5; ~ 0,1 .%,  
126 eV,  
- : 5- (X, Y, Z, T - , R - );  
: 20 cm ( ), 8 cm ( ), 1 kg  
( ); .



- :  
1. , 2. , 3. ,  
4. EDS , 5. CL , 6.

**Слика 28. SEM JEOL JSM-6610LV**

(Au)  
(Au) (C), Quorum Q15OR ES ( 29.).



**Слика 29.**

Quorum Q15OR ES

### **2.3.2. Поступак карактеризације**

( 30.):

- 0: ( ) , 50%;;
- 1: ( , , );
- 2: ( , , );



**Слика 30.**

(Au).

10 – 15 keV.

#### **2.4. МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ТЕКСТИЛНИХ УЗОРАКА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА**

$\text{TiO}_2$

008 Digital Elmendorf

(SDL ATLAS Textile Testing Solutions),

N ISO 13937-1:2000.

Tinius Olsen H1KS,

EN ISO 13934-1.

AIR TRONIC 3240A, Mesdan,

EN ISO 9237.

200 Pa,

## **2.5. ИСПИТИВАЊЕ ФУНКЦИОНАЛНО-БЕЗБЕДНОСНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕШИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА**

#### **2.5.1. Защита од капи високотоксичних супстанции**

[124] S-  
( , ) , S-  
( ) , S-  
, S- ( )  
) S- .  
1a  
,  
- 2 - Saratoga™ ,  
Helsa-Werke ( : ) .

### 2.5.1.1.

(	)	.		S-
		:		
)	2,2'-	(S-	)	94 %;
)	,	p.	..;	
)	-	,	p.	..;
)	,	p.	..;	
)	,	p.	..;	
)		(	)	50 %
)	-	,	,	;
)	.			
		:		

) - : - 0,1  
mol/dm<sup>3</sup>;

) :  
0,85 %;

) ь: 250 cm<sup>3</sup>  
- . 1000 cm<sup>3</sup> 750 cm<sup>3</sup>  
( 750 cm<sup>3</sup> , 5 g  
). 1000 cm<sup>3</sup> 250 cm<sup>3</sup>.  
;

) S- : 50 mL,  
, 0,05 mL S-  
. ( 25 mL 0,025 mL S-  
). 1,27 mg S-  
.

:

) , 15 µm 20 µm;

) ;

) .

:

(

):

) ( 1) 10 L/min, (1 .);

) ( 2) 3 L/min, (1 .);

) VIS ( ) ( 31. 32.);

) 100 C 1 C.



Слика 31.



Слика 32.

:

- ) ;
- ) 0,2 L/min, (1 .);
- ) 600 L/h, (1 .);
- ) ( 4 .);
- ) , (4 .);
- ) , (2 .);
- ) 25 mL, (10 .);
- ) : 2 µL – 5 µL (2 .), 1 mL (2 .), 2 mL (2 .);
- ) 0,2 s.

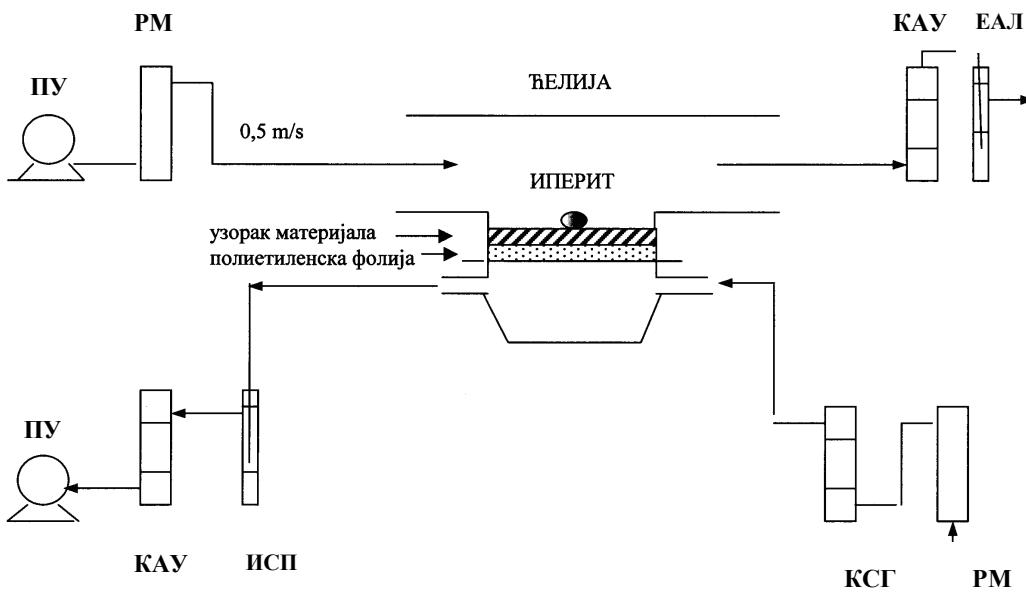
#### 2.5.1.2.

:

- ) 0,5 m/s;
- ) 6 L/h;
- ) .

#### 2.5.1.3.

S- ,  
( 33.).



Слика 33.

S- ,

S- ,

S- .

S-

,

1,5  $\text{m}^2$ ,

S- 1  $\mu\text{L}$

(9 $\pm$ 1)  $\text{g/m}^2$ .

( 1)

( 1),

0,5 m/s.

,

,

6 L/h

( 2)

( 2).

S-, , 4 mL  
, .  
S-  
, , S-  
4 mL. 2 mL.  
, 2 mL  
2 mL,  
2 mL, 2 mL  
2 ml, 80 20 min.  
( )  
, , S-  
, 470 nm  
S- ,  
S-  
4 mL, S-  
S-  
4 mL S-  
.

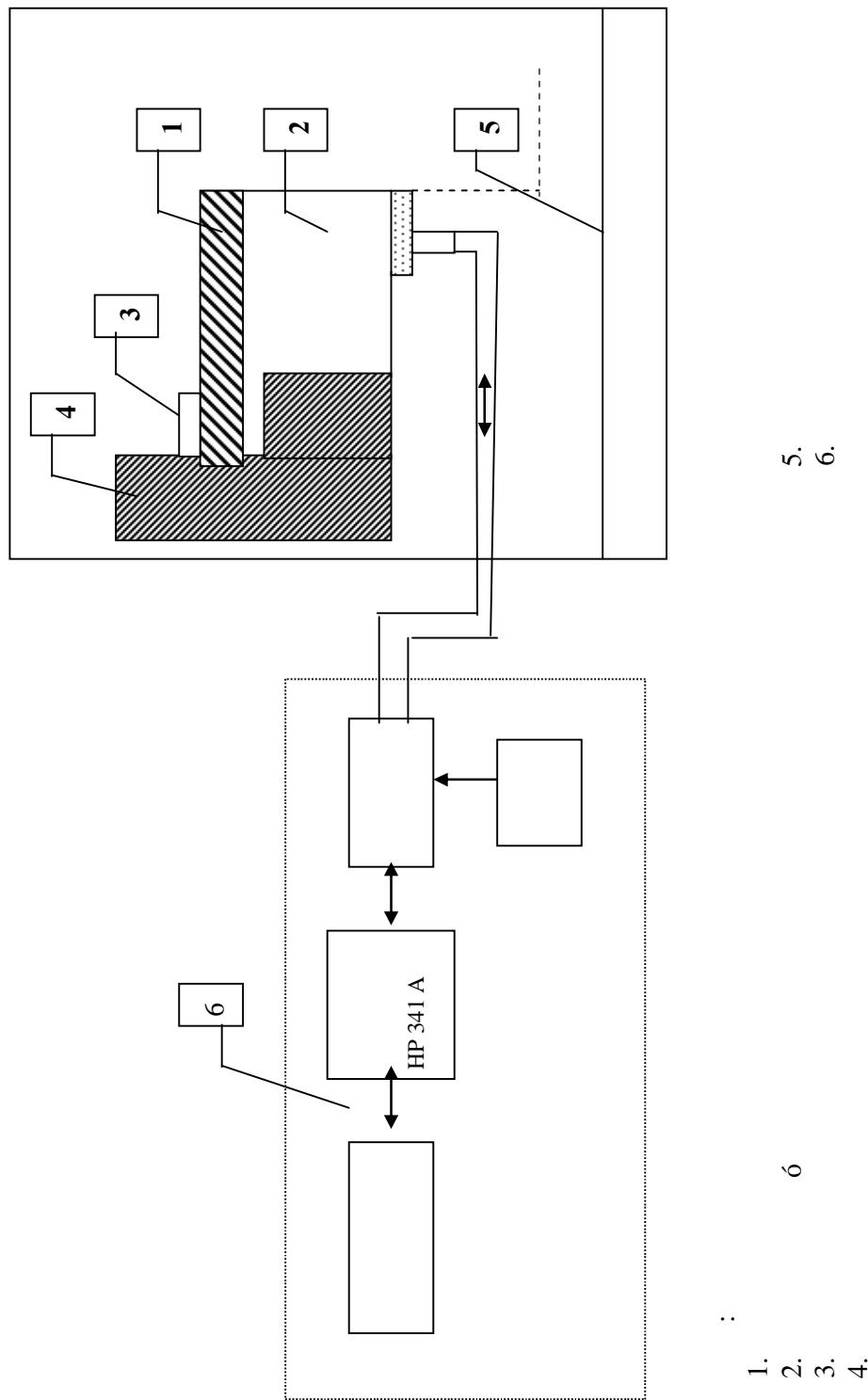
### **2.5.2. Защитата од горуѓе напалм-смешие**

[125]

34. :

É ,  
É ,  
É ,  
É ,  
É ,

É ,  
É ,  
É ,  
É .



- :  
• : 0 - 100  $^{\circ}$   
• ( ) : 200  $^{\circ}$   
• : 0,5  $^{\circ}$   
• : 1 %  
• : 2 s  
• ( ) 7.

3

- •  
•  
•

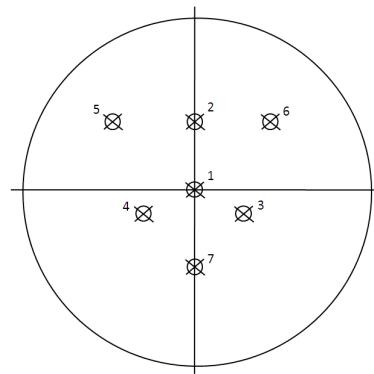
### a) Време прогоревања узорка материјала

2 cm<sup>3</sup>,  
,

• .

### б) Мерење температуре

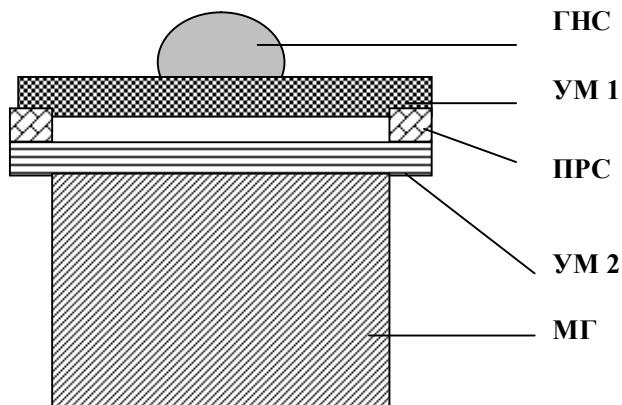
,  
2 cm<sup>3</sup> ( ).  
( 35.)



Слика 35.

,  
.  
,  
:  
,

),  
( 36.) [126-127].



:  
1 - ; 1; - ; 2 - ; 2

Слика 36.

$$2 \text{ cm}^3$$

200 s (

0 300 s,

)

7

I, II III , , ,

**в) Визуелна оцена понашања материјала**

, ( ),  
( ).  
( , , ).

**2.5.3. Защитата од термалног импулса нуклеарне експлозије**

[128]

- ,
- ,
- ,
- ,

- ( 37. 38.) :
- ,
  - ,
  - ,
  - .

- ,
  - ,
  - ,
  - .
- ( ),

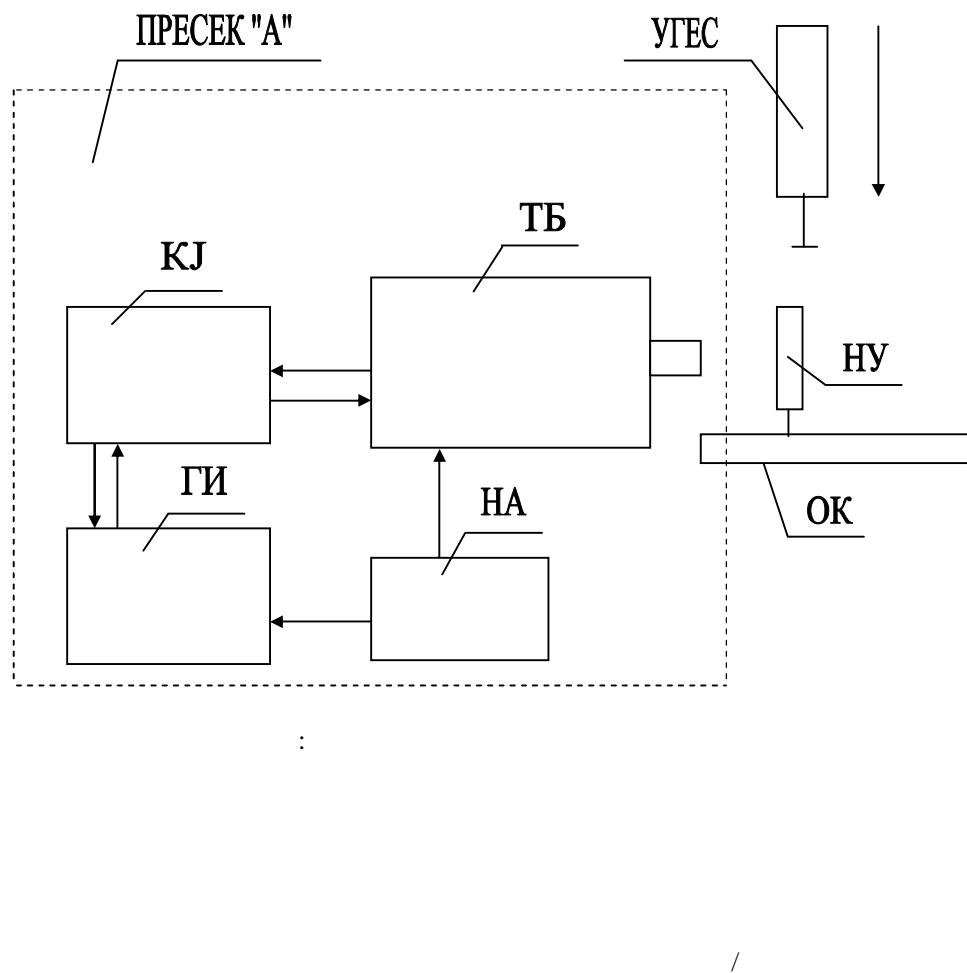


**Слика 37.**



**Слика 38.**

,  
,  
(10 kt, 30 kt, 100 kt, 300 kt      1000 kt),  
(      39.).

**Слика 39.**

,  $\text{J/cm}^2$ ,  
 $\text{W/cm}^2$  ( 3.).

**Табела 3.**

Снага НЕ (kt)	Време трајања импулса НЕ (s)	Максимална густина енергије ТИНЕ ( $\text{J/cm}^2$ )	Максимална густина снаге ТИНЕ ( $\text{W/cm}^2$ )
10	2,0	140	68
30	3,5	200	57
100	6,4	300	47
300	11,1	430	40
1000	20,2	650	32

/  
J/cm<sup>2</sup>,  
W/cm<sup>2</sup>,  
/ . /  
,

/  
1  
J/cm<sup>2</sup> 650 J/cm<sup>2</sup>, 0,1 J/cm<sup>2</sup> 30 W/cm<sup>2</sup>  
100 W/cm<sup>2</sup> 0,1 W/cm<sup>2</sup>.

/

( ),

,

,

## **Прибор**

### **Поступак**

, 39.,  
:  
•  
• ,  
• /  
, ( )  
, /  
,

- 22,6 mm ,
- ,
- .
- .

## IV РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### 3.1. СИНТЕЗА НАНОЧЕСТИЦА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>

( ) ,

, ( )

TiO<sub>2</sub>.

[118]

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>

,

,

60 ° ( 40.).

,



**Слика 40.**

**3.2. ИСПИТИВАЊЕ ФОТОКАТАЛИТИЧКЕ АКТИВНОСТИ  
СТАНДАРДНОГ ВОЈНОГ ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНОГ  
НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА**

TiO<sub>2</sub>.

41. 42. ,

TiO<sub>2</sub>

UV

UV

TiO<sub>2</sub>

-

[129-132]

о , , :

$$r = -dC/dt = k_r \theta = \frac{k_r K C}{(1 + K C)}$$

kr, , K

, C

,

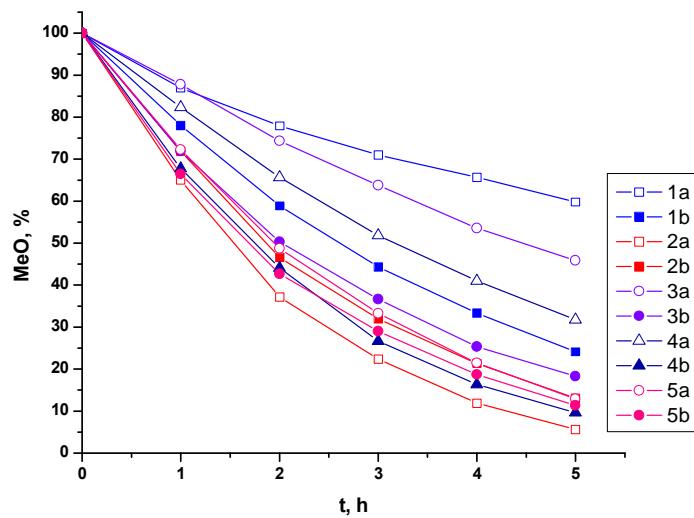
:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = k_r K t = k_{app} t$$

C<sub>0</sub> (

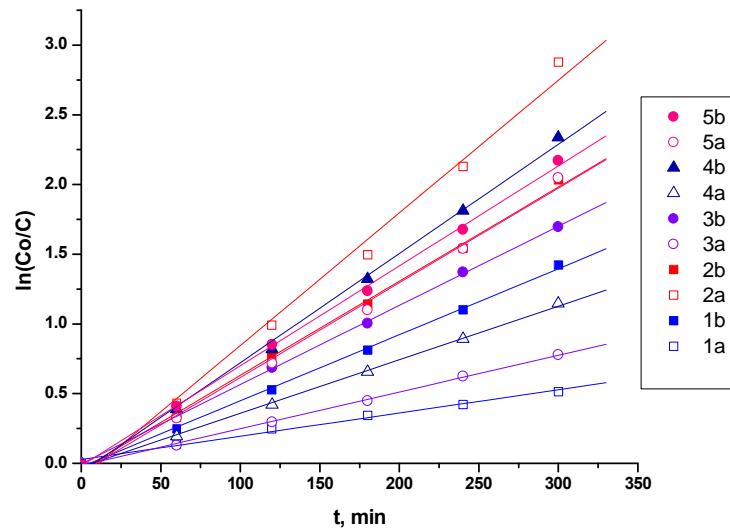
), k<sub>app</sub>

.



**Слика 41.**

UV  
( / 50%) TiO<sub>2</sub>



**Слика 42.**

UV  
( / 50%) TiO<sub>2</sub>

lnC/C<sub>0</sub> UV

TiO<sub>2</sub> 42.

,  $k_{app}$ ,  
 $k_{app}$ ,  $TiO_2$ ,  
, 4.,

Табела 4.

kapp

 $TiO_2$ .

Узорак	раствараč	рел. количина TIP	T (°C), време (h)	посттретман	$k_{app}$
1a	iPrOH	0,5	r.t.		1,67
1b	iPrOH	0,5	r.t.		4,74
2a	H <sub>2</sub> O	1	60, 16		9,52
2b	H <sub>2</sub> O	1	60, 16		6,76
3a	iPrOH	1	r.t.		2,63
3b	iPrOH	1	r.t.		5,68
4a	iPrOH	1	60, 4		3,84
4b	iPrOH	1	60, 4		7,84
5a	H <sub>2</sub> O	0,5	60, 16		6,79
5b	H <sub>2</sub> O	0,5	60, 16		7,17

1a,

, 16, 1a,

3

 $TiO_2$ 

(1a 16)

95 °, 3 [118]

 $TiO_2$  TIP-

,

 $TiO_2$ .

TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>

**2a 26**  
**1a 16.**, o ,  
**2a**

TIP-, 60 ° ,  
16 . ,  
TiO<sub>2</sub>,  
,

, , 26,  
TiO<sub>2</sub>,  
**2a** 26.  
**3a 36** 1a 16.,  
TIP ,  
TIP-  
60 °  
TiO<sub>2</sub>.  
**4a 46.** 4a 46. ,  
(  
4.),  
**2a 26.**  
**46**  
**5a 56**  
**2a 26.**,  
TIP- ,  
TiO<sub>2</sub>,  
,

**2a 26.** 26 56,

TiO<sub>2</sub>,

,

TiO<sub>2</sub>

,

TiO<sub>2</sub>.

### **3.3. ФОТОКАТАЛИТИЧКО РАЗЛАГАЊЕ VX-а**

2a

VX-

VX-

UV-

( )

1

VX-

43

1

2a

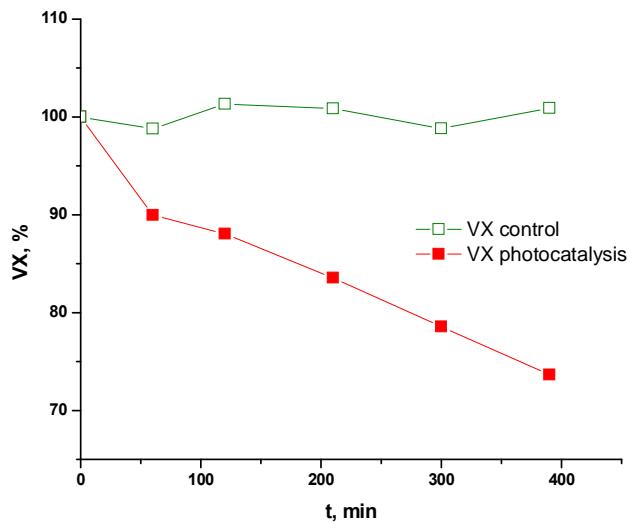
vx-

VX-

VX-

,

VX-



Слика 43.

VX-

2a

UV

(OP)

AChE,

OP

VX-,

(P=S),

( P= )

AChE [133,134].

, VX

VX- .

, S-

S-2-( )

[135]. ,

VX-,  
e a a .  
s ö.

AChE

AChE, ( ) .

, .

VX-

AChE, VX- .

, .

UV , 70% VX- .

VX- ( ), .

, .

### **3.4. ДЕГРАДАЦИЈА СИМУЛАНТА S-ИПЕРИТА, 2-ХЛОРЕТИЛЕТИЛСУЛФИДА (CEES)**

, .

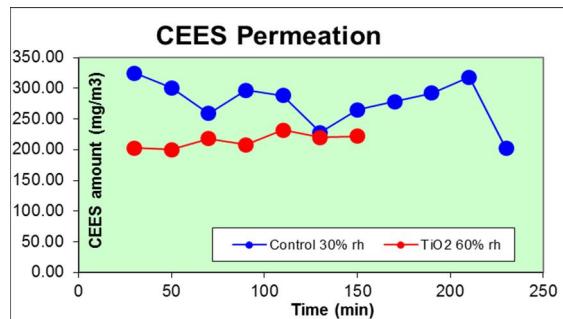
, .

, .

, .

(10 ml/s) 2- - , Tenax 30

44.



### Слика 44.

2-

1a

44.,

2-

1a,

2-

1a

TiO<sub>2</sub>.

0

2-

2-

TiO<sub>2</sub> [120-121].

### 3.5. ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ТЕКСТИЛНИХ УЗОРАКА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА

1a 2a 5.  
 1a,  
 95 ° , 2a  
 TiO<sub>2</sub> [121]

Табела 5.

TiO<sub>2</sub>

Узорак	Сила цепања [N]	Сила кидања [N]	Прекидно издужење [%]	Пропустљивост ваздуха [L/min]
нетретиран	49,21	1494,60	21,36	33,7
1a	35,97	804,60	17,27	
	27,07	890,70	28,60	30,1
2a	19,99	715,30	24,03	
	37,18	1015,60	24,21	39,5
	25,31	780,21	21,17	

### 3.6. ФУНКЦИОНАЛНО-БЕЗБЕДНОСНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА

#### 3.6.1. Защитата од капи високотоксични материја

6.-10.,

45. 46.

,

,

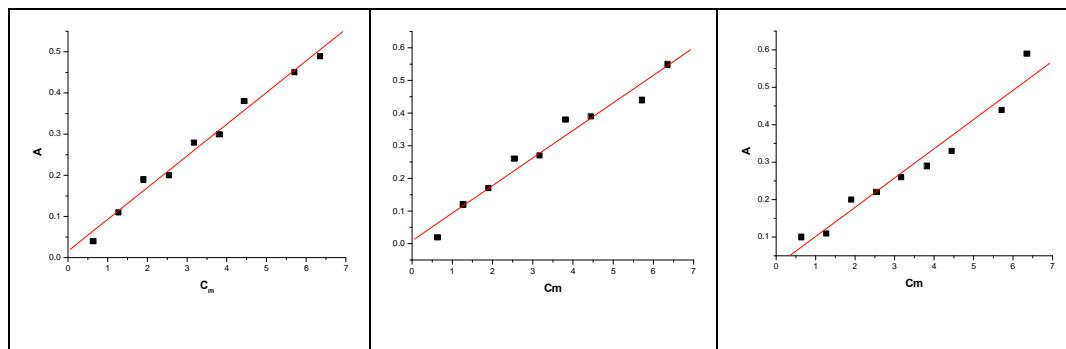
,

,

(R&gt;0,99).

Табела 6.

P.бр	V аликовата [mL]	C <sub>m</sub> [ $\mu\text{g/mL}$ ] у 4 Ml	A(1)	A(2)	A(3)
1	0,2	0,63	0,04	0,02	0,10
2	0,4	1,27	0,11	0,12	0,11
3	0,6	1,90	0,19	0,17	0,20
4	0,8	2,54	0,20	0,26	0,22
5	1,0	3,17	0,28	0,27	0,26
6	1,2	3,81	0,30	0,38	0,29
7	1,4	4,44	0,38	0,39	0,33
8	1,8	5,71	0,45	0,44	0,44
9	2,0	6,35	0,49	0,55	0,59



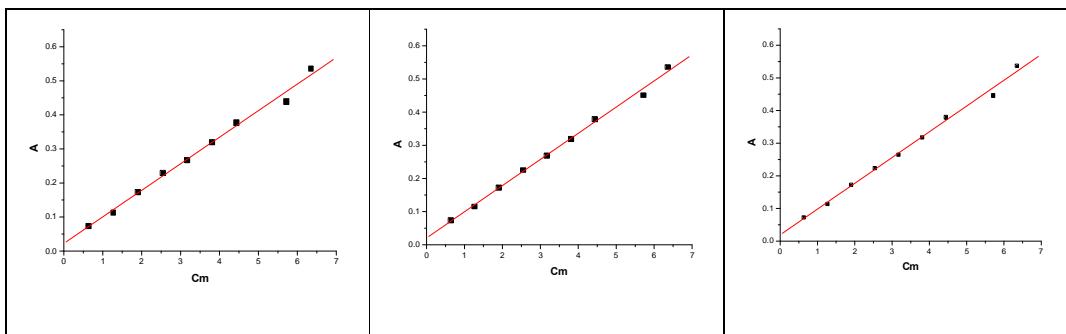
Слика 45.

**Табела 7.**

P. бр.	R	Gr. Det [ $\mu\text{g/mL}$ ]
1	0,992	0,98
2	0,981	1,08
3	0,973	1,09
Cр. Вред.	$0,982 \pm 0,010$	$1,05 \pm 0,07$

**Табела 8.**

P.бр	V аликовата [mL]	$C_m [\mu\text{g/mL}]$ y 4 mL	A(1)	A(2)	A(3)
1	0,2	0,63	0,073	0,074	0,072
2	0,4	1,27	0,113	0,115	0,114
3	0,6	1,90	0,174	0,172	0,172
4	0,8	2,54	0,229	0,225	0,224
5	1,0	3,17	0,267	0,268	0,265
6	1,2	3,81	0,320	0,319	0,318
7	1,4	4,44	0,377	0,379	0,379
8	1,8	5,71	0,439	0,451	0,446
9	2,0	6,35	0,536	0,536	0,537

**Слика 46.****Табела 9.**

P. бр.	R	Gr. Det [ $\mu\text{g/mL}$ ]
1	0,996	0,35
2	0,998	0,37
3	0,997	0,39
Cр. Вред.	$0,997 \pm 0,001$	$0,37 \pm 0,02$

10.

5.

**Табела 10.**

t [h]	A(1)	A(2)	A(3)	A <sub>sr</sub>	c [ $\mu\text{g/mL}$ ]
<b>16</b>	0,062	0,065	0,067	0,065	< 0,63
<b>17</b>	0,065	0,064	0,059	0,063	< 0,63
<b>18</b>	0,063	0,059	0,061	0,061	< 0,63

S- , 8 g/m<sup>2</sup> 10 g/m<sup>2</sup>,  
24

S- 4  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ .

S- 4  $\mu\text{g}/\text{m}^2$

24 h. S-

16 18 h,

0,59 0,65.

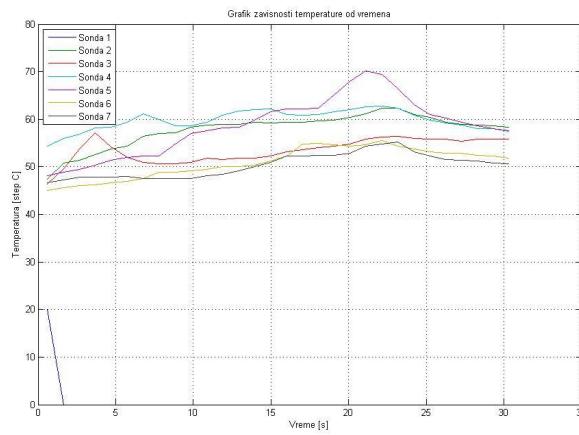
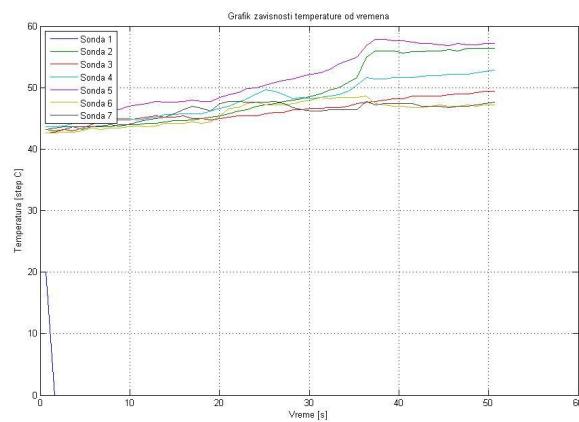
### **3.6.2. Защитата од горуће напалм-смеши**

15 s.

- 1: 16 s,
- 2: 17 s,
- 3: 17 s.

, , .

( 47.).



**Слика 47.**

### **3.6.3. Защитата од термалног импулса нуклеарне експозије**

— 30 kt, 60 J/cm<sup>2</sup>, 1 s,  
— 30 kt, 60 J/cm<sup>2</sup>, 1 s.  
— 30 kt, 60 J/cm<sup>2</sup>, 1,5 s, 2,0 s,

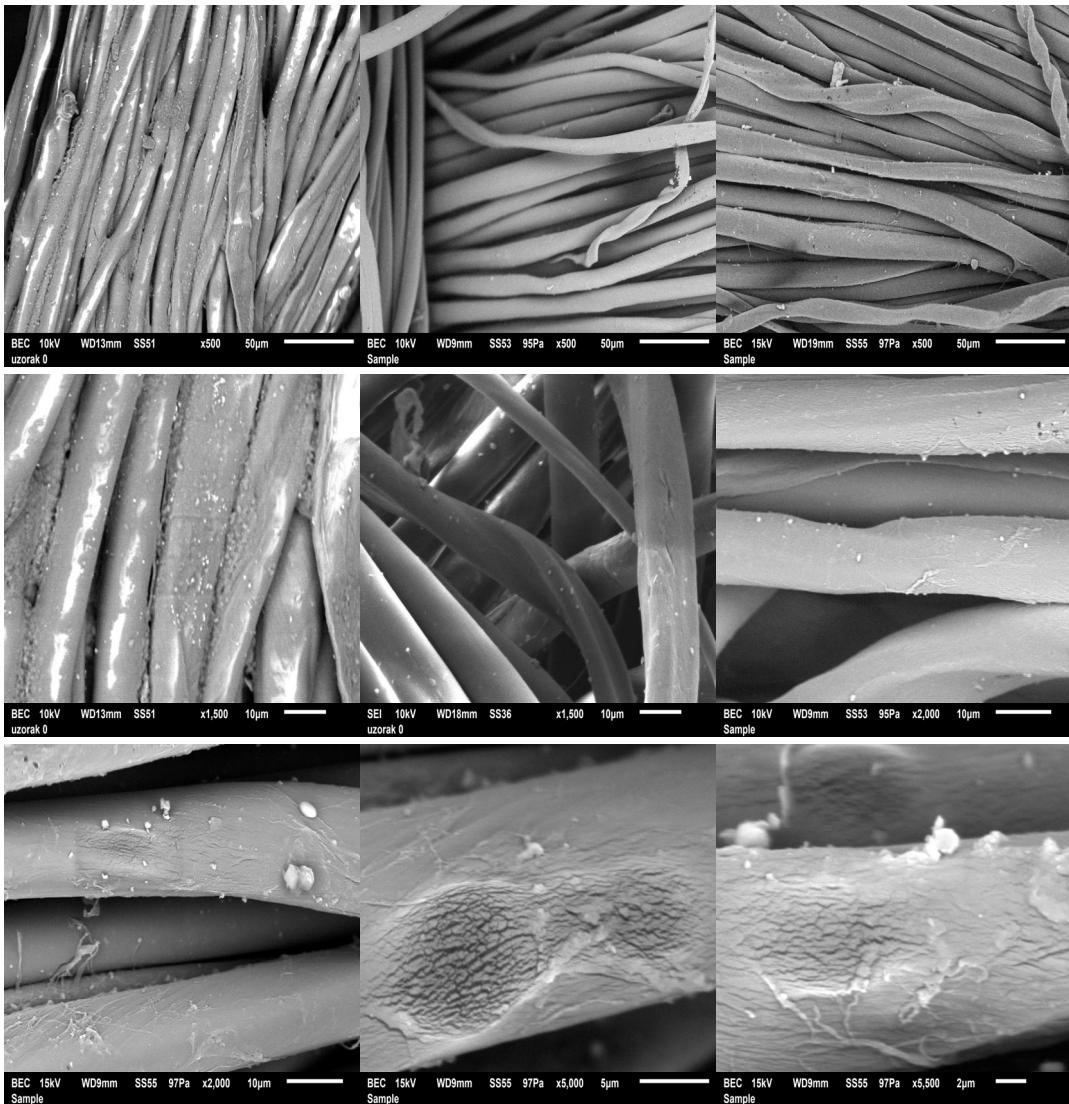
## **3.7. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ТЕКСТИЛА МОДИФИКОВАНИХ НАНОЧЕСТИЦАМА ТИТАНИЈУМ-ДИОКСИДА**

( 2.1.2.) SEM 48.  
SEM ( 0  
( 1 2, 49. 50.).  
49.

TiO<sub>2</sub> ( 1)  
2

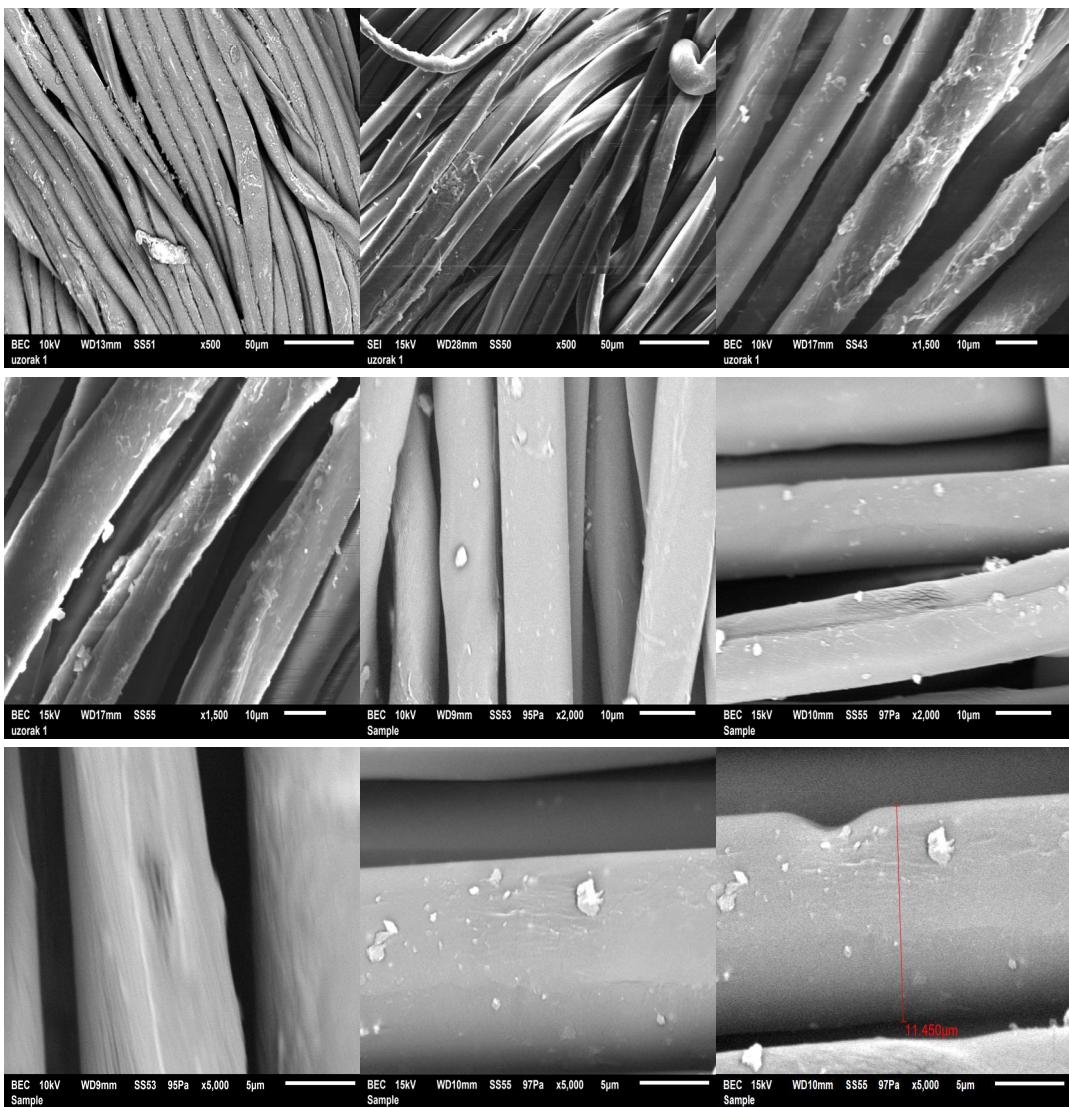
,  $\times 500$   $\times 5000$ ,

49. 50.



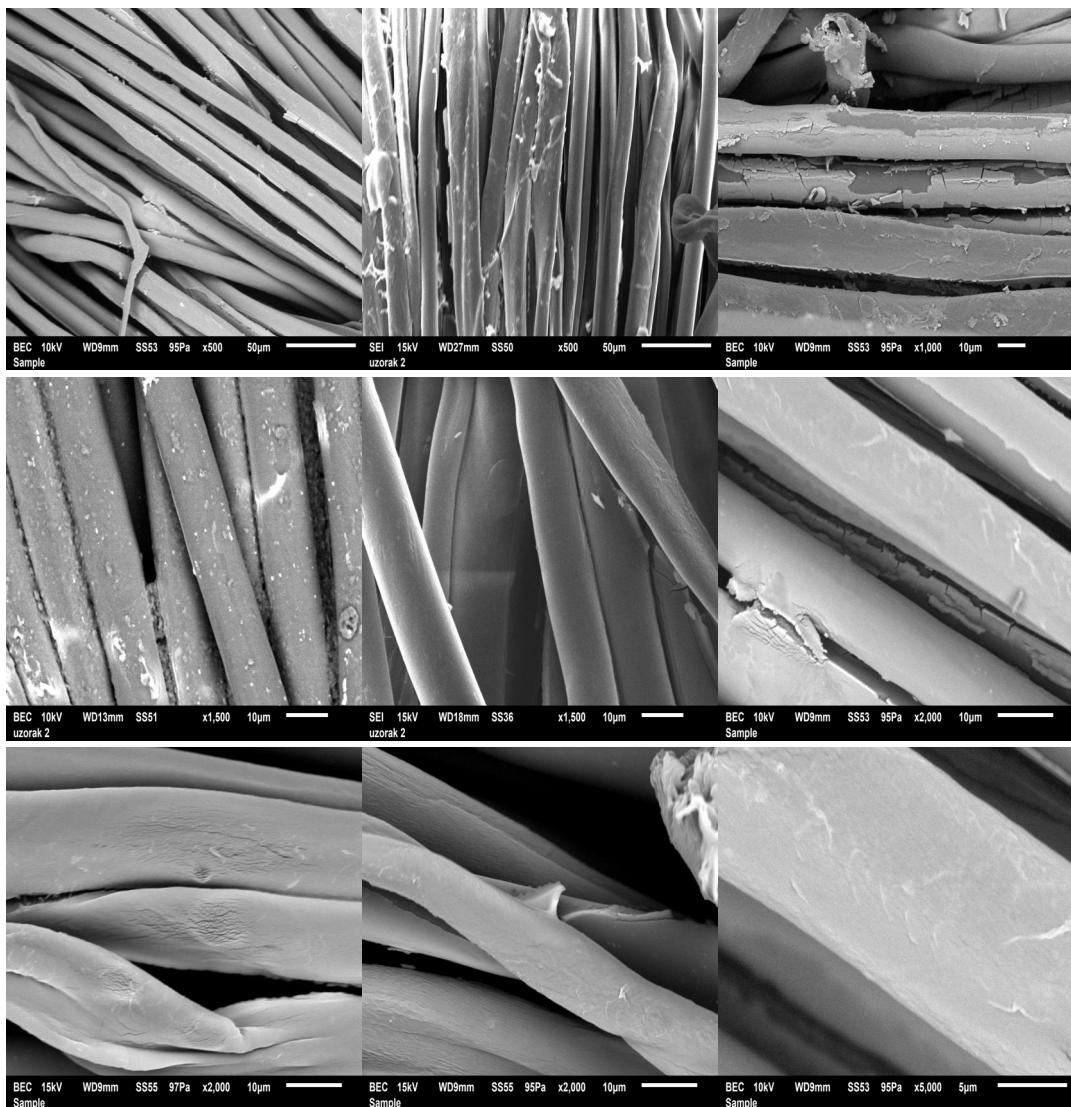
**Слика 48. SEM**

0



**Слика 49. SEM**

1



**Слика 50. SEM**

2

TiO<sub>2</sub>  
EDS

52. 53.

2,2 9,7 keV  
EDS

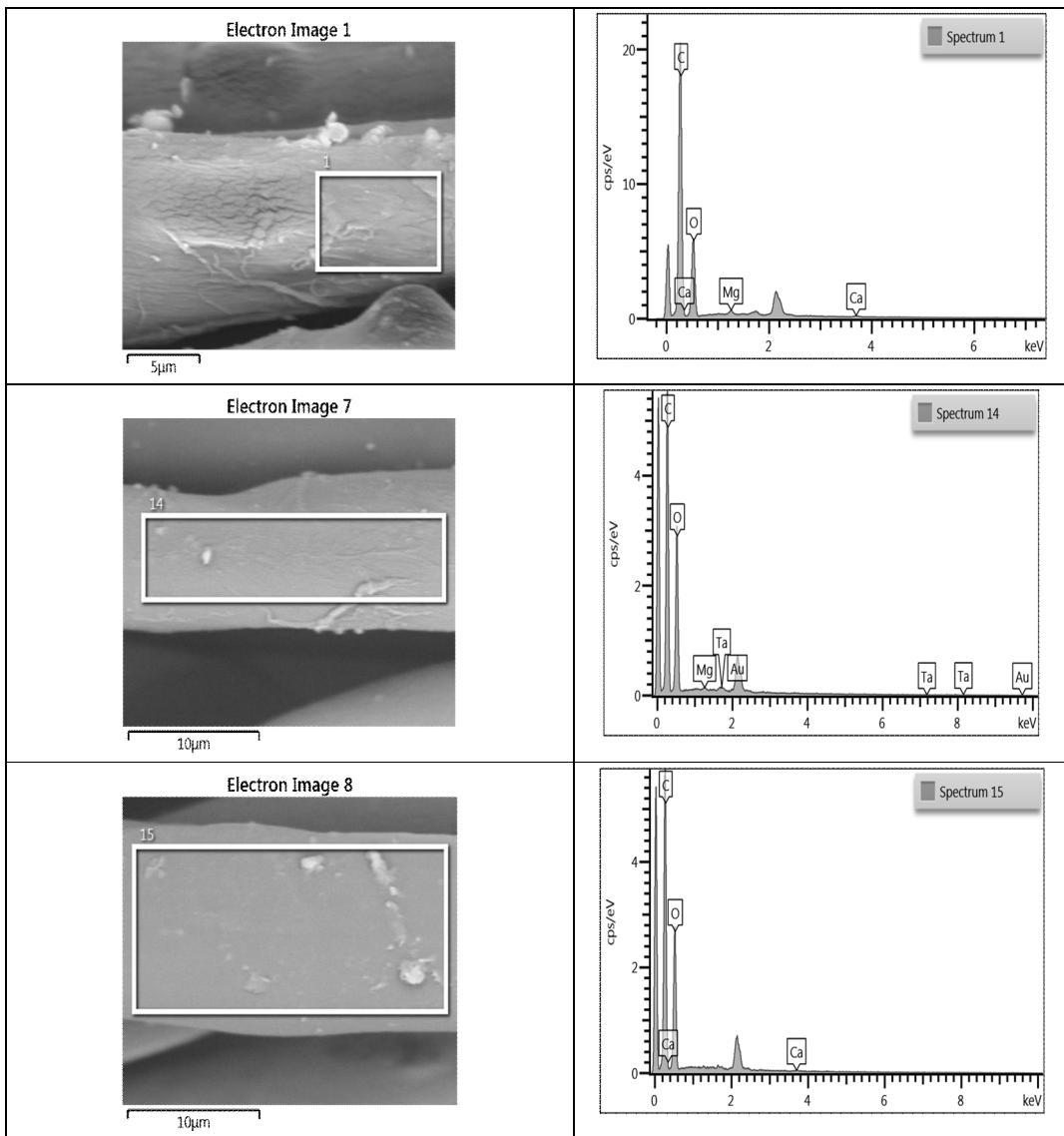
1 2

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>.

51. 53.  
EDS

0, 1    2,  
0, 1    2.



Слика 51. EDS

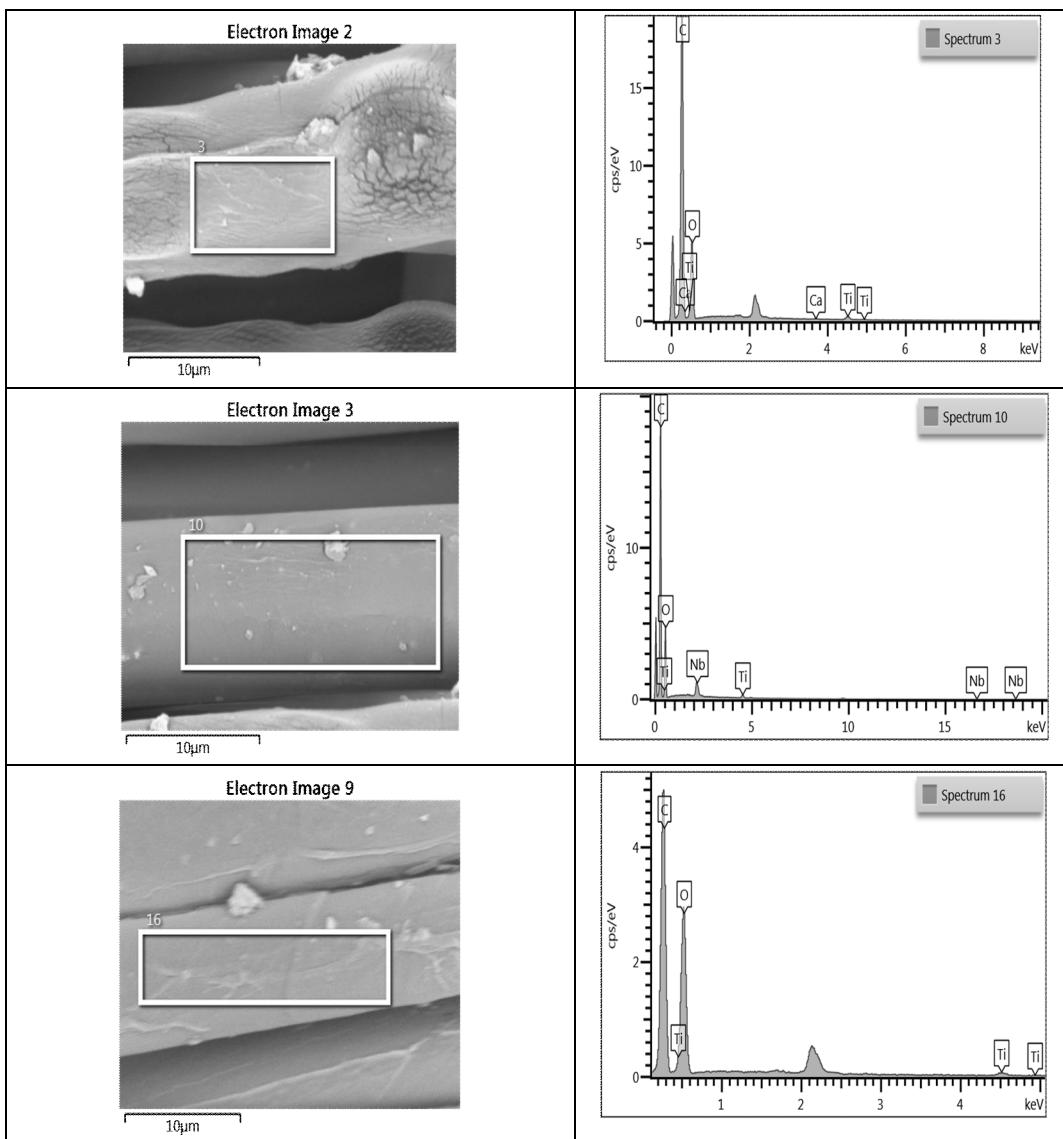
0

Табела 11.

0

51

Спектар	C (Wt%)	O (Wt%)
1	67,66	31,81
14	61,22	37,77
15	62,74	36,94
<b>Средња вредност</b>	<b>63,87</b>	<b>35,51</b>



Слика 52. EDS

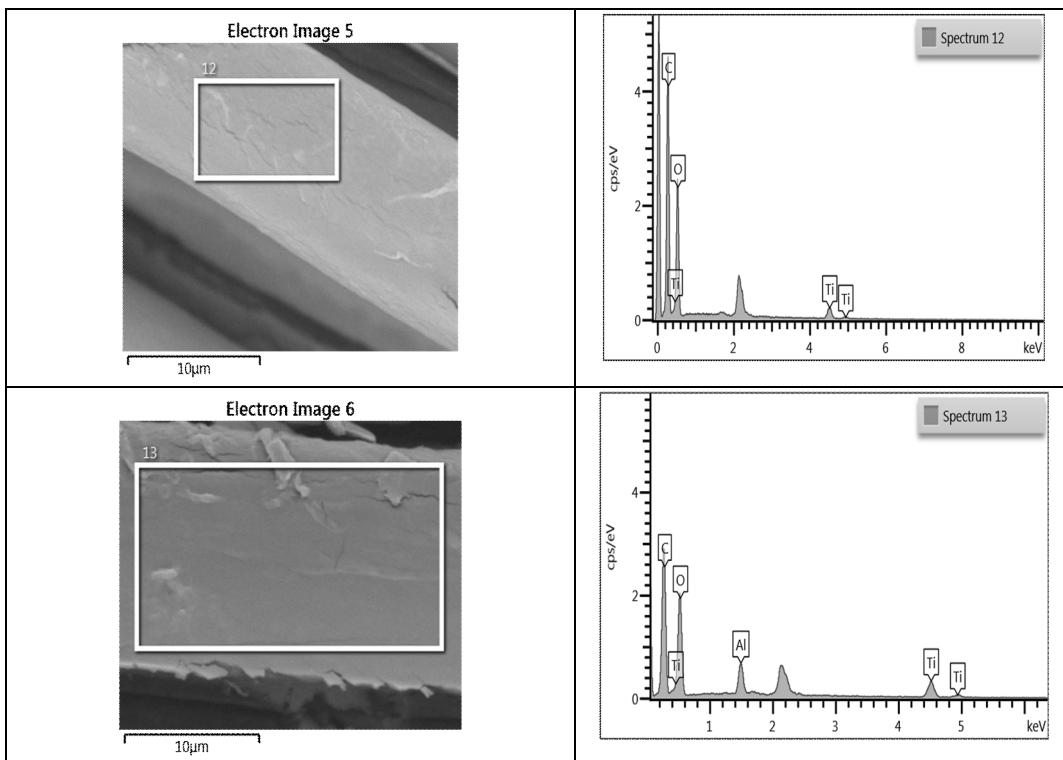
1

Табела 12.

1

52

Спектар	C (Wt%)	O (Wt%)	Ti (Wt%)
3	70,09	28,88	0,95
10	69,85	29,06	1,03
16	58,18	39,58	2,24
<b>Средња вредност</b>	<b>66,04</b>	<b>32,51</b>	<b>1,41</b>



Слика 53. EDS

2

Табела 13.

2

53.

Спектар	C (Wt%)	O (Wt%)	Ti (Wt%)
3	54,96	35,93	9,12
10	45,60	34,55	15,66
<b>Средња вредност</b>	<b>50,28</b>	<b>35,24</b>	<b>12,39</b>

В ЗАКЉУЧАК

1,3 4 2 5.  
4. VX- 2a.

VX-**2a**

1a

2- - **1a.**  
2- - **1a**

2- -

1a.

TiO<sub>2</sub>.

5.

TiO<sub>2</sub>

6.

TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>,

2-

7.

( 1a - Saratoga<sup>TM</sup>

Helsa-Werke);

( **1a** -

- Saratoga<sup>TM</sup> )

- 00 - 2.

## VI ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. . . . . , 2009.
  - [2] . . . . . , 2nd Scientific expert conference on defensive technologies, 2007, 1(2), IX-25.
  - [3] . . . . . , Interaction of personal protective equipment and thermoregulation, 2nd Scientific expert conference on defensive technologies, 2007, 1(2), IX-28
  - [4] . . . . . , . . . . . , 3. - , 2009, , 2009.
  - [5] . . . . . , 2 00, , 2. 2007.
  - [6] D. Li, Y. Xia, Electrospinning of nanofiber: Reinventing the wheel?, 2004, Adv. Mater., 16, 1151-1170.
  - [7] K. Schilling, B. Bradford, C. Castelli, E. Dofour, J. F. Nash, W. Pape, S. Schule, I. Tooley, J. Van den Bosch, F. Schelauf, Human safety review of nano titanium dioxide and zink oxide, Photochem. Photobiol. Sci., 9, 2010, 495-509.
  - [8] A.A. Fatah, R.D. Arcilesi, A.K. Judd, L.E. O'Connor, C.H. Lattin, Guide for the Selection of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Decontamination Equipment for Emergency First Responders, 2007; 2: 14-18.
  - [9] . . . . . , Effect of a phase change material personal body cooling system on physiological comfort during heat stress wearing CBRN protective suit, Proceedings of the 4th International Conference on Defensive Technologies, pp. 579-582, , 2011.
  - [10] . . . . . , . . . . . , Testing of the functional garments with microencapsulated phase change material in simulated high temperature conditions, OnLine-First (00):64-64, DOI:10.2298/HEMIND150716064J, 2015.
  - [11] . . . . . , . . . . . , The influence of the passive evaporative cooling vest on a chemical industry workers and physiological strain level in hot conditions, , Vol. 69 (6) str. 5876594, 2015.
  - [12] . . . . . , . . . . . , 2013.
  - [13] . . . . . , . . . . . , Application of permeable materials for CBRN protective equipment, , Vol. 56, br. 2, 239-242, ISSN: 0351-9465, 2015.



- [30] World Directory of Manufactured Fiber Producers. Fiber Economics Bureau, Fiber Organon, 2002.

[31] . , 4. , , 1990.

[32] . , , , , 2010.

[33] . , , , , , : , , , , , :

[34] . , , / TiO2  
, , , , , 2014.

[35] . , , , (IV)- , , , 2013.

[36] Q. Wang, Z.H. Wen, J.H. Li, A hybrid supercapacitor fabricated with carbon nanotube cathode and TiO<sub>2</sub>-B nanowire anode, *Adv. Funct. Mater.*, 2006, 16, 2141-2146.

[37] T. Berger, M. Sterrer, O. Diwald, E. Knoezinger, D. Panayotov, T. L. Tompson, J. R. Yates, Light-induced charge separation in anatase TiO<sub>2</sub> particles, *J. Phys. Chem B*, 2005, 109, 6061-6068.

[38] T.N. Obee, S. Satyapal, Photocatalytic decomposition of DMMP on titania, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 1998, 118, 45-51.

[39] K.E. O'Shea, (1997), Photocatalytic decomposition of organophosphates in irradiated TiO<sub>2</sub> suspensions, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 107, 221-226.

[40] A.V. Vorontsov, C. Lion, E.N. Savinov, P.G. Smirniotis, Pathways photocatalytic gas phase destruction of HD stimulant 2-chloro ethyl sulphide, *J. Catalysis*, 2003, 220, 414-423.

[41] X. Chen, S.S. Mao, Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications and applications, *Chem. Rev.*, 2007, 107, 2891-2959.

[42] M. Niederberger, M.H. Bartl, G.D. Stucky, Benzyl alcohol and titanium tetrachloride: a versatile reaction system for the non-aqueous and low-temperature preparation of crystalline and luminescent titania nanoparticles, *Chem. Mater.* 14, 2002, 4364.

[43] M. Andresson, L. Oesterlund, S. Ljungstroem, A. Palmquist, Preparation of nanosize anatase and rutile TiO<sub>2</sub> by hydrothermal treatment of microemulsions and their activity for photocatalytic wet oxidation of phenol, *J. Phys. Chem. B*, 2002, 106 10674.

[44] X.L. Li, Q. Peng, J.X. Yi, X. Wang, Y.D. Li, Near disperse TiO<sub>2</sub> nanoparticles and nanorods, *Chem.-Eur. J.*, 2006, 12, 2383.

[45] S.S. Hong, M.S. Lee, S.S. Park, G.D. Lee, Synthesis of nanosized TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> particles in the microemulsion and their photocatalytic activity on the decomposition og p-nitrophenol, *Catal. Today*, 87, 2003, 99.

- [46] J. M. Wu, Low temperature preparation of titania nanorods through direct oxidation of titanium with hydrogen peroxide, *J. Cryst. Growth*, 269, 2004, 347-355.
- [47] S. Seifred, M. Winterer, H. Hahn, Nanocrystalline titania films and particles by chemical vapor synthesis, *Chem. Vap. Deposition*, 6, 2000, 239-244.
- [48] J.M. WU, H.C. Shih, W.T. Wu, Electron field emission from single crystalline TiO<sub>2</sub> nanowires prepared by thermal evaporation, *Chem. Phys. Lett.*, 2005, 413, 490-494.
- [49] Y. Lei, L.D. Zhang, J.C. Fan, Fabrication, characterization and Raman study of TiO<sub>2</sub> nanowires arrays prepared by anodic oxidative hydrolysis of TiCl<sub>3</sub>, *Chem. Phys. Lett.*, 2001, 338, 231-236.
- [50] M.D. Blesic, Z.V. Saponjic, J.M. Nedeljkovic, D.P. Uskokovic, TiO<sub>2</sub> films prepared by ultrasonic spray pyrolysis of nanosize precursor, *Mater. Lett.*, 2002, 54, 298.
- [51] A.B. Corradi, F. Bondioli, B. Focher, A.M. Ferrari, C. Grippo, E. Marriani, C. Villa, *J. Am. Ceram. Soc.* 88, 2005, 2639.
- [52] C. Andersson, A.J. Bard, An improved photocatalyst of TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> prepared by a sol-gel synthesis, *J. Phys.*, 99, 1995, 9882-9885.
- [53] S. Watson, D. Beydon, J. Scott, R. Amal, Preparation of nanosized crystalline TiO<sub>2</sub> particles at low temperature for photocatalysis, *J. Nanoparticle Res.*, 6, 2004, 193-207.
- [54] M. Gopal, W.J. Moberly Chan, L.C. De Jonghe, Room temperature synthesis of crystalline metal oxides, *J. Mater. Sci.* 32, 1997, 6001-6008.
- [55] Z. Tang, J. Zhang, Z. Cheng, Z. Zhang, Synthesis of nanosized rutile TiO<sub>2</sub> powder at low temperature, *Mater. Chem. Phys.*, 2002, 77, 314-317.
- [56] S. Yin, R. Li, Q. He, T. Sato, Low temperature synthesis of nanosize rutile titania crystal in liquid media, *Materials Chemistry and Physics*, 75, 2002, 76-80.
- [57] S. Gowri, L. Almeida, T. Amorim, N. Carneiro, A.P. Souto and M.F. Esteves, Polymer Nanocomposites for Multifunctional Finishing of Textiles – a Review, *Textile Research Journal*, 0, 2010, 1617.
- [58] K. Qi, X. Wang, J.H. Xin, Photocatalytic self-cleaning textiles based on nanocrystalline titanium dioxide, *Textile Research Journal*, 81(1), 2011, 1016110.
- [59] W.A. Daoud, J.H. Xin, Low temperature sol-gel processed photocatalytic titania coating, *J Sol-Gel Sci. Techn.*, 29, 2004, 25629.
- [60] Daoud W. A., Xin J. H. and Zhang Y. H., Surface functionalization of cellulose fibers with titanium dioxide nanoparticles and their combined bactericidal activities, *Surf Sci.*, 599, 2005, 69675.
- [61] N. Veronovski, M. Sfiligoj-Smole, J.L. Viota, Characterization of TiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>6SiO<sub>2</sub> Coated Cellulose Textiles, *Textile Research Journal*, 80(1), 2010, 55662.
- [62] T. Yuranova, R. Mosteo, J. Bandara, D. Laub, J. Kiwi, Self-cleaning cotton textiles surfaces modified by photoactive SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> coating, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 244, 2006, 1606167.

- [63] A. Steinbüchel, S. Fahnestock, R. Biopolymers Vol. 8: Polyamides and Complex Proteinaceous Material II, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim, Germany, 2003.
- [64] A.A. Okeil, Citric Acid Crosslinking of Cellulose Using TiO<sub>2</sub> Catalyst by Pad-Dry-Cure Method, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 47, 2008, 1746-179.
- [65] M. Lewin, E.M. Pearce, Handbook of Fiber Chemistry; Marcel Dekker: New York, 1998.
- [66] K.T. Meilert, D. Laub, J. Kiwi, Photocatalytic Self-cleaning of Modified Cotton Textiles by TiO<sub>2</sub> Clusters Attached by Chemical Spacers, J. Mol. Cat. A: Chem., 237, 2005, 1016-108.
- [67] C.J. Brinker, G.W. Schere, Sol-Gel Science: the Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing, Academic Press: Boston, 1990.
- [68] M.R. Dhananjeyan, E. Mielczarski, K.R. Thampi, Ph. Buffat, M. Bensimon, A. Kulik, J. Mielczarski, Photodynamics and surface characterization of TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> photocatalyst immobilized on modified polyethylene films, J. Phys. Chem. B, 105, 2001, 12046-12055.
- [69] J.C. Yu, L. Zhang, J. Yu, Rapid synthesis of mesoporous TiO<sub>2</sub> with high photocatalytic activity by ultrasound induced agglomeration, New J. Chem., 26, 2002, 416-420.
- [70] R. Campostrini, M. Ischia, L.J. Palmisano, Pyrolysis study of sol-gel derived TiO<sub>2</sub> powders: Part IV. TiO<sub>2</sub>-anatase prepared by hydrolysing titanium(IV) isopropoxide without chelating agents, Therm. Anal. Calorim., 75, 2004, 25-34.
- [71] P. Taddei, P. Monti, G. Freddi, T. Arai, M. Tsukada, Binding of Co(II) and Cu(II) cations to chemically modified wool fibres: an IR investigation, J. Mol. Struct., 650, 2003, 105-113.
- [72] M.A. Da Silva, A.C.K. Bierhalz, T.G. Kieckbusch, Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca<sup>2+</sup> ions: Effect of the plasticizer concentration, Carbohydrate Polymers, 77, 2009, 736-742.
- [73] M. Goren-ek, V. Buko-ek, Zinc and alginate for multipurpose textiles. Acta Chimica Slovenica, 53, 2006, 223-228.
- [74] D. Mihailović, Z. Čaponjic, M. Radetić, T. Radetić, P. Jovanović, J. Nedeljković, M. Radetić, Functionalization of polyester fabrics with alginates and TiO<sub>2</sub> nanoparticles, Carbohydrate Polymers, 79, 2010, 526-532.
- [75] M. Grandcolas, A. Louvet, N. Keller, V. Keller, Layer-by-Layer Deposited Titanate-Based Nanotubes for Solar Photocatalytic Removal of Chemical Warfare Agents from Textiles, Angew. Chem. Int. Ed., 48, 2009, 161-164.
- [76] M. Grandcolas, L. Sinault, F. Mosset, A. Louvet, N. Keller, V. Keller, Self-decontaminating layer-by-layer functionalized textiles based on WO<sub>3</sub>-modified titanate nanotubes. Application to the solar photocatalytic removal of chemical warfare agents, Applied Catalysis A: General, 391, Issues 162, , 455-467.
- [77] K.C. Krogman, N.S. Zacharia, D.M. Grillo, P.T. Hammond, Photocatalytic Layer-

- by-Layer Coatings for Degradation of Acutely Toxic Agents, *Chem. Mater.*, 20, 2008, 1924-1930.
- [78] A. Kinloch, *Adhesion and Adhesives*, Chapman and Hall, New York, 1987.
- [79] C.M. Chan, T.M. Ko, H. Hiroaka, Polymer surface modifications by plasmas and photons, *Surf. Sci. Rep.* 24, 1996, 1654.
- [80] A. Bozzi, T. Yuranova, J. Kiwi, Self-cleaning of wool-polyamide and polyester textiles by TiO<sub>2</sub>-rutile modification under daylight irradiation at ambient temperature, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 172, 2005, 27634.
- [81] F. Friedrich, P. Rohrer, W. Saur, Th. Gross, A. Lippitz, W. Unger, Improvement in Polymer Adhesivity by Low and Normal Pressure Plasma Surface Modification, *Surf. Coat. Technol.*, 59, 1993, 371-378.
- [82] M. Montazer, S. Seifollahzadeh, Enhanced Self-cleaning Antibacterial and UV Protection Properties of Nano TiO<sub>2</sub> Treated Textile through Enzymatic Pretreatment, *Photochemistry and Photobiology*, 87, 2011, 877-883.
- [83] Y. Lohsieh, L.A. Cra, Enzymatic hydrolysis to improve wetting and absorbency of polyester fabric, *Text. Res. J.*, 68, 1998, 311-319.
- [84] H.R. Kim, W.S. Song, Lipase treatment of polyester fabrics, *J. Fibers Polym.*, 7, 2006, 339-343.
- [85] J. Shen, M. Rushforth, A. Cavaco-Paulo, G. Guebitz, H. Lenting, Development and industrialization of enzymatic shrink-resist process based on modified proteases for wool machine washability, *J. Enzyme Microb. Technol.*, 40, 2007, 1656-1661.
- [86] K. Schumacher, E. Heine, H. Hocker, Extremozymes for improving wool properties, *J. Biotechnol.*, 89, 2001, 281-288.
- [87] S. Uur, M. Sar, A.H. Akta, The fabrication of nanocomposite thin films with TiO<sub>2</sub> nanoparticles by the layer-by-layer deposition method for multifunctional cotton fabrics, *Nanotechnology*, 21, 2010, 325603.
- [88] M. Addamo, V. Augugliaro, A. Di Paola, E. García-López, V. Loddo, G. Marci, L. Palmisano, Photocatalytic thin films of TiO<sub>2</sub> formed by a sol-gel process using titanium tetraisopropoxide as the precursor, *Thin Solid Films*, 516, 2008, 3802-3807.
- [89] V. Augugliaro, V. Loddo, M. Pagliaro, G. Palmisano, L. Palmisano, Clean by Light Irradiation: Practical Applications of Supported TiO<sub>2</sub>, Published by The Royal Society of Chemistry, 2010.
- [90] J.L. Coutts, L.H. Levine, J.T. Richards, D.W. Mazyck, The effect of photon source on heterogeneous photocatalytic oxidation of ethanol by a silica-titania composite, *J. Photochem. Photobiol A: Chem.*, 225, 2011, 58-64.
- [91] J.Y. Kim, C. Park, J. Yoon, Developing a Testing Method for Antimicrobial Efficacy on TiO<sub>2</sub> Photocatalytic Products, *Environ. Eng. Res.*, 13, 2008, 136-140.
- [92] K. Doushita, T. Kawahara, Evaluation of Photocatalytic Activity by Dye Decomposition, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, 22, 2001, 91-98.

- [93] P. Górska, A. Zaleska, A. Suska, J. Hupka, Photocatalytic activity and surface properties of carbon-doped titanium-dioxide, *Physicochem. Prob. Min. Process.*, 43, 2009, 21630.
- [94] E. S. Lon ar, M. M. Radeka, S. B. Petrovi , A. S. Skapin, O. Lj. Rudi , J. G. Ranogajec, Determination of the photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> coatings on clay roofing tile substrates methylene blue as model pollutant, *Acta period. Technol.*, 40, 2009, 125-133.
- [95] L. Karimi, M. Mirjalili, M. E. Yazdanshenas, A. Nazar, (2010), Effect of Nano TiO<sub>2</sub> on Self-cleaning Property of Cross-linking Cotton Fabric with Succinic Acid Under UV Irradiation, *Photochem. Photobiol.*, 86, 103061037.
- [96] K. Qi, J.H. Xin, W.A. Daoud, Functionalizing Polyester Fiber with a Self-Cleaning Property Using Anatase TiO<sub>2</sub> and Low-Temperature Plasma Treatment, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 4, 2007, 554-563.
- [97] D. Mihailovi , Z. Taponji , R. Molina, N. Pua , P. Jovan i , J. Nedeljkovi , M. Radeti , Improved Properties of Oxygen and Argon RF Plasma-Activated Polyester Fabrics Loaded With TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, *ACS Appl. Mater. Inter.*, 2, 2010, 1700-1706.
- [98] R. Rahal, T. Pigot, D. Foix, S. Lacombe, Photocatalytic efficiency and self-cleaning properties under visible light of cotton fabrics coated with sensitized TiO<sub>2</sub>, *Appl. Catal. B: Environ.*, 104, 2011, 3616372.
- [99] X. Yan, T. Ohno, K. Nishijima, R. Abe, B. Ohtani, Is methylene blue an appropriate substrate for a photocatalytic activity test? A study with visible-light responsive titania, *Chem. Phys. Lett.*, 429, 2011, 606-610.
- [100] M. Mirjalili, L. Karimi, Photocatalytic Degradation of Synthesized Colorant Stains on Cotton Fabric Coated with Nano TiO<sub>2</sub>, *J. Fib. Bioeng. Inform.*, 3, 2011.
- [101] J. Sun, Yong-kui Wang, Rui-xia Sun, Shu-ying Dong, Photodegradation of azo dye Congo red from aqueous solution by the WO<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>/activated carbon (AC) photocatalyst under the UV irradiation, *Mater. Chem. Phys.*, 115, 2009, 3036308.
- [102] H. Böttcher, B. Mahltig, J. Sarsour, T. Stegmaier, Qualitative investigations of the photocatalytic dye destruction by TiO<sub>2</sub>-coated polyester fabrics, *J Sol-Gel Sci Technol*, 55, 2010, 1776185.
- [103] D. Wu, M. Long, J. Zhou, W. Cai, X. Zhu, C. Chen, Y. Wu, Synthesis and characterization of self-cleaning cotton fabrics modified by TiO<sub>2</sub> through a facile approach, *Surf. Coat. Technol.*, 203, 2009, 372863733.
- [104] Y. Dong, Z. Bai, L. Zhang, R. Liu, T. Zhu, Finishing of Cotton Fabrics with Aqueous Nano-Titanium Dioxide Dispersion and the Decomposition of Gaseous Ammonia by Ultraviolet Irradiation, *J. Appl. Pol. Sci.*, 99, 2006, 2866291.
- [105] A. Ritter, F. A. Reifler, E. Michel, Quick Screening Method for the Photocatalytic Activity of Textile Fibers and Fabrics, *Tex. Res. J.*, 80, 2010, 6046610
- [106] A.V. Vorontsov, E.V. Savinov, L. Davydov, P.G. Smirniotis, Photocatalytic destruction of gaseous diethylsulfide over TiO<sub>2</sub>, *Appl. Catal. B: Environ.*, 32, 2001, 11624.





- [135] A.V. Vorontsov, Yi-Chuan Chen, P.G. Smirniotis, Photocatalytic oxidation of VX simulant 2-(butylamino)ethanethiol, Journal of Hazardous Materials B113, 2004, 89.

**БИОГРАФИЈА АУТОРА**



30.04.1970.

1985.

, „ ö,

1989.

1989. , a

, 01.04.1993.

,

1994. ,

, 1995. ,

, 2002. : š

ö. 23.08.2003.

2010.

š ö,

3.

(BChE); M2;

4; 2

š9. ö

, 34034 њ

, њ .

,

:

Defense Threat Reduction Agency,  
International Counterproliferation Program, USA (2007. .).

њ њ (2008. .).  
2014.

, ,