

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra textilní chemie



Študijný obor: 3106T 011 Chemická technologie textilní

Vývoj nových testů fotoaktivity pro textilní substráty

Development of photoactivity new tests for textile substrates

Bc. Miroslava ŠPALDOVÁ

KTC – 637

Vedúci diplomovej práce: Ing. Bc. Jarmila Studničková, Ph.D.

Konzultanti diplomovej práce: Doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Ing. Bc. Andrea Chládová

Rozsah práce a príloh:

Počet strán: 97

Počet obrázkov: 34

Počet grafov: 30

Počet tabuliek: 30

Počet príloh: 3

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že predložená diplomová práca je pôvodná a spracovala som ju samostatne. Prehlasujem, že citácia použitých prameňov je úplná, že som v práci neporušila autorské práva (v zmysle zákona č. 121/2000 Zb. o práve autorskom a o právach súvisiacich s právom autorským).

Súhlasím s umiestnením diplomovej práce v Univerzitetnej knižnici TUL.

Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. o práve autorskom, hlavne § 60 (školské dielo).

Beriem na vedomie, že TUL má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití mojej diplomovej práce a prehlasujem, že **s ú h l a s í m** s prípadným použitím mojej diplomovej práce (predaj, zapožičanie apod.).

Som si vedomá toho, že použiť moju diplomovú prácu, či poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem iba so súhlasom TUL, ktorá má právo odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, vynaložených univerzitou na vytvorenie diela (až do ich skutočnej výšky).

V Liberci, 17. mája 2010

.....

Podpis

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa rada poďakovala Ing. Bc. Jarmile Studničkovej, Ph.D., vedúcej mojej diplomovej práce za cenné rady, pripomienky, ochotu a trpezlivosť pri vytváraní tejto diplomovej práce. Súčasne by som sa chcela poďakovať Doc. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D., a Ing. Bc. Andrey Chládovej, konzultantom diplomovej práce.

Moje poďakovanie patrí aj Ing. Jane Müllerovej, Ph.D., a Ing. Jane Grabmüllerovej za technickú pomoc pri vytváraní experimentálnej časti tejto práce.

V neposlednom rade sa chcem poďakovať svojej rodine, ktorá mi umožnila štúdium na vysokej škole, materiálne a psychicky ma podporovala, bez nej by táto práca nevznikla.

ANOTÁCIA

Táto diplomová práca sa zaoberá testovaním fotokatalytickej aktivity oxidu titaničitého ako vo vodných roztokoch organických látok, tak aj na textilnom nosiči.

V teoretickej časti je obecné popísaná fotokatalýza, jej využitie, vlastnosti a použitie oxidu titaničitého a metóda, ktorou bola fotokatalytická aktivita skúmaná.

V experimentálnej časti sú popísané použité metodika merania, prístrojové zariadenie, použité chemikálie a testovaný textilný materiál. Fotokatalytický účinok je testovaný na roztokoch organických látok (kyseliny askorbovej, sacharózy, D – glukózy, formaldehydu a oranže II), zároveň je sledovaný pokles množstva kyslíka v testovanom roztoku, ku ktorému dochádza v priebehu fotokatalytického testu pri pôsobení UV žiarenia.

Nadväzujúca časť experimentu sa zameriava na skúmanie fotokatalytického účinku na vzorkách textilného materiálu. Experimenty sú prevedené na sklenenej tkanine. Testovanie prebieha v roztoku kyseliny askorbovej.

Metodika testovania fotokatalýzy navrhovaná v diplomovej práci sa podľa získaných výsledkov javí pozitívne a je vhodná k ďalšiemu rozšíreniu v podobe nadväzujúcich diplomových alebo dizertačných prácí.

Kľúčové slová

Fotokatalýza, Oxid titaničitý, UV žiarenie, Organické látky, Kyslíkový snímač

ANNOTATION

This diploma work deals with titanium dioxide photocatalytic activity testing both in water solution of organic compounds and on textile carrier.

In theoretical part is generally described photocatalysis and its utilization, properties and using of titanium dioxide and method by which was examine photocatalytic activity.

Experimental part describes used measurement methodology, instrumentation, used chemicals and tested textile material. Photocatalytic effect was tested on organic compounds solutions (ascorbic acid, sucrose, D-glucose, formaldehyde and orange II). At the same time was observed oxygen decrease in tested solution to which happen during photocatalytic test under UV radiation.

Continuous experimental part focused on photocatalytic effect research by samples from textile material. Experiments were carried out on glass cloth. Testing was done in ascorbic acid solution.

Suggest methodology for testing photocatalysis is according results in diploma positive and is suitable for further investigation in the frame of consequential diplomas or thesis.

Key words

Photocatalysis, Titanium dioxide, UV radiation, Organic substances, Oxygen sensor

OBSAH

1	ÚVOD.....	- 12 -
2	FOTOKATALÝZA	- 13 -
2.1	Elektromagnetické žiarenie.....	- 13 -
2.2	Svetlo	- 14 -
3	VYUŽITIE FOTOKATALÝZY.....	- 15 -
3.1	Samočistiace, samosterilizujúce materiály odolné voči špine, škvrnám a baktériam.....	- 15 -
3.2	Fotokatalytické čistenie vzduchu – dezodorácia a odstránenie znečistenia	- 18 -
3.3	Fotokatalytické čistenie vody	- 19 -
3.4	Protizahmlievajúci, samočistiaci účinok - superhydrofilnosť	- 21 -
3.5	Fotokatalytický antibakteriálny efekt	- 22 -
3.6	Fotokatalytické liečenie rakoviny	- 23 -
4	TITÁN.....	- 25 -
4.1	Výroba titánu	- 26 -
4.2	Zlúčeniny titánu	- 26 -
5	OXID TITANIČITÝ.....	- 27 -
5.1	Výroba oxidu titaničitého	- 29 -
5.2	Hlavné technické vlastnosti pigmentu oxidu titaničitého	- 29 -
5.3	Komerčná dostupnosť oxidu titaničitého.....	- 30 -
5.4	Oxid titaničitý ako fotokatalyzátor	- 31 -
5.5	Fotokatalytické reakcie na povrchu oxidu titaničitého	- 33 -
5.6	Použitie oxidu titaničitého	- 34 -
6	METÓDY NANÁŠANIA OXIDU TITANIČITÉHO.....	- 35 -
6.1	Sól – gél proces.....	- 35 -
6.1.1	Mechanizmus sól – gél procesu	- 36 -
6.1.2	Suroviny pre metódu sól – gél	- 37 -
6.1.2.1	Alkoxidy	- 37 -
6.1.2.2	Stabilizované soli.....	- 38 -
6.1.2.3	Soli a komplexné zlúčeniny kovov	- 38 -
6.1.2.4	Rozpúšťadlá a ostatné chemikálie	- 39 -
6.2	Kyslíková sonda.....	- 40 -
6.2.1	Meranie	- 41 -
6.3	Clarkovo čidlo.....	- 43 -
7	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	- 44 -
7.1	Použité zariadenia	- 44 -
7.1.1	Ultrazvukový homogenyzátor.....	- 44 -
7.1.2	UV lampa	- 44 -
7.1.3	Magnetické miešadlo	- 45 -
7.1.4	Analytické váhy	- 45 -
7.1.5	Kyslíkový snímač – Oximeter	- 46 -
7.1.6	Výveva membránová	- 46 -
7.1.7	Klocovacie zariadenie Fulár – Mathis typu HVF_E04.....	- 47 -
7.1.8	Elektronická pec typu 018LP - S	- 48 -

7.2	Používané chemikálie	48 -
7.2.1	Degussa P25.....	48 -
7.2.2	Egacidová oranž.....	49 -
7.2.2.1	Diazotácia	50 -
7.2.2.2	Kopulácia	50 -
7.2.3	Kyselina askorbová.....	52 -
7.2.4	Sacharóza	53 -
7.2.5	Formaldehyd	54 -
7.2.5	D – glukóza	55 -
7.2.6	Fólia	56 -
7.3	IČ spektrum.....	57 -
7.3.1	Teoretická podstata IČ spektier	57 -
7.3.2	Kvalitatívna analýza	57 -
7.4	Princíp merania fotokatalýzy	59 -
7.4.1	Testovanie fotokatalytickej aktivity na roztokoch organických látok	60 -
7.5	Použitie textílie s obsahom oxidu titaničitého ako nosiča	60 -
7.5.1	Sklenené vlákna	60 -
7.5.1.1	Príprava vzorky.....	62 -
	Princíp merania	63 -
8	VYHODNOTENIA.....	65 -
8.1	Vyhodnotenie výsledkov merania fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku organických látok.....	65 -
8.2	Vyhodnotenie výsledkov merania fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku kyseliny askorbovej za prítomnosti vzorky tkaniny skleneného vlákna.....	83 -
8.3	Závislosť rozpustnosti kyslíka na teplote počas priebehu fotokatalytického deja.....	88 -
8.4	Závislosť množstva kyslíka pri ožiarovaní UV lampou 254 nm a 366 nm počas fotokatalytického deja.....	91 -
9	ZÁVER	93 -
10	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	95 -

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Al	Hliník
ATC	Automatická teplotná kompenzácia
B	Bór
eV	Elektrónvolt
MD	Pozdĺžny smer
Na	Sodík
nm	Nanometer
P	Fosfor
P – 25	Typ fotokatalytického oxidu titaničitého
ppm	Parts per million (častice na 1 milión)
μm	Mikrometer
resp.	respektívne
Si	Kremík
TD	Priečny smer
Ti	Titán
tzv.	takzvané
UV	Ultrafialové žiarenie
VIS	Viditeľné svetlo
Zr	Zirkónium

ZOZNAM PRÍLOH

- | | |
|-----------|--|
| Príloha 1 | Meranie fotokatalytického účinku na roztokoch organických látok |
| Príloha 2 | Meranie fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku kyseliny askorbovej za prítomnosti vzorky tkaniny skleneného vlákna |
| Príloha 3 | Snímky vzoriek sklenených tkanín s nánosom sól – gélu a oxidu titaničitého premeriavaných na rastrovacom elektrónovom mikroskope |

Tieto prílohy sú v elektronickej podobe na priloženom CD.

1 ÚVOD

Fotokatalýza je pomerne novo sa objavujúca metóda, ktorá sa stáva známym pojmom a využitie fotokatalytického javu je pre dnešný priemysel stále atraktívnejšie. Fotokatalýza umožňuje spracovanie vody alebo vzduchu, obsahujúcich súčasne organické, biologické i anorganické škodliviny. Technika bola úspešne aplikovaná na čistenie vzduchu, napr. zničenie prchavých organických zlúčenín v plynnej fáze. V prípade čistenia vody ponúka fotokatalýza niekoľko výhod, ako napr. použitie kyslíka ako jediného oxidantu, schopnosť pre súčasné oxidačné a redukčné reakcie, nízku cenu a využitie solárneho žiarenia. Avšak fotokatalýza je stále v štádiu výskumu, pretože k účinnej aplikácii zostáva vyriešiť niekoľko dôležitých problémov.

Nie sú žiadne pochybnosti o tom, že oxid titaničitý je doposiaľ najviac využívaný materiál pre fotokatalytické účely, vzhľadom na jeho unikátne optické a elektrické vlastnosti, chemickú stabilitu a nízku cenu.

Problematikou fotokatalytických degradačných reakcií je ich relatívne nízka rýchlosť, ktorá závisí na koncentrácii odbúravanej látky. Čím je koncentrácia tejto látky nižšia, tým nižšia je aj rýchlosť reakcie. Preto je snaha tento účinok ešte zvýšiť prostredníctvom rôznych adsorbentov, ktoré nevykazujú fotoaktivitu.

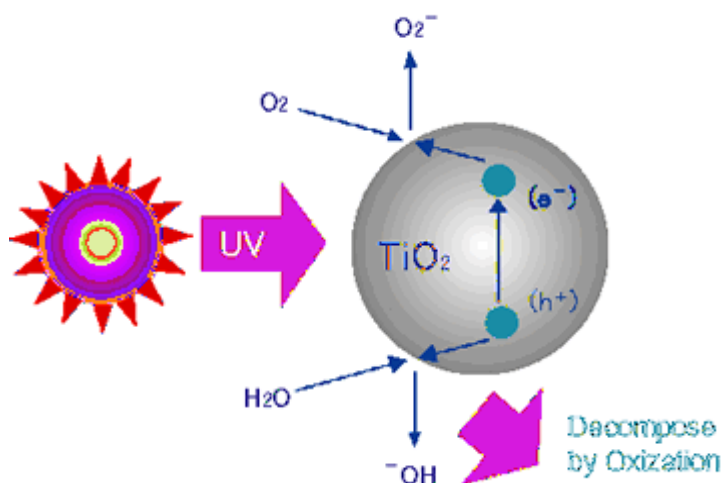
Odbor titánovej fotokatalýzy je ešte perspektívnejší, pretože intenzívne prispieva k zlepšeniu životného prostredia. Môže tak výrazne zlepšiť životné podmienky každého človeka, pretože bez veľkých nárokov odstraňuje špinu a zápach, čistí vodu, ničí baktérie aj bunky rakoviny a dokonca odbúrava aj dioxíny.

Fotokatalytický jav sa čoraz viac objavuje aj v textilnom priemysle. Dodnes je známe ekologické čistenie odpadovej vody od toxických látok a organických farbív, dezodoračných a samočistiacich textílií. Aj napriek tomu, že sú už v textilnom priemysle známe niektoré výrobky, ktoré využívajú fotokatalytický účinok, nie sú známe metódy na analýzu fotoaktivity týchto textílií. Táto problematika je stále aktuálna a na viacerých výskumných pracoviskách prebieha výskum zameraný na vývoj testovaných metodík určených pre analýzu fotoaktívnych textilných materiálov.

2 FOTOKATALÝZA

Fotochémia je náuka o chemických reakciách a premenách, vyvolaných pôsobením elektro – magnetického žiarenia. Heterogénne fotokatalytické systémy sa skladajú z fotokatalyzátorov, tvorených polovodičovými časticami, ktoré sú v tesnom kontakte s kvapalným alebo plynným médiom. Katalyzátor má polovodivé vlastnosti a absorpciou žiarenia vznikajú v jeho elektrónovej štruktúre excitované stavy, ktoré sú schopné zahájiť ďalšie procesy, ako sú redoxné reakcie a molekulové transformácie, ktoré by boli za bežných podmienok nezrealizovateľné.

Fotokatalýza môže byť definovaná ako zrýchlenie fotochemickej reakcie tým, že prítomný fotokatalyzátor znižuje aktivačnú energiu, čím umožňuje priebeh reakcie a významne ju urýchľuje, [1].



Obrázok 2-1: Fotokatalýza – vznik páru elektrón-diera, [13]

2.1 Elektromagnetické žiarenie

Elektromagnetické žiarenie je charakterizované vlnovou dĺžkou λ , jeho frekvenciou ν a rýchlosťou c . Vzťah medzi týmito veličinami môžeme vyjadriť

$$\text{rovnicou} \quad c = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

kde $c = 2,999.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ je rýchlosť svetla vo vákuu, λ a ν môžu dosahovať široké rozmedzie hodnôt. Vo fotochémií sa najčastejšie využíva oblasť žiarenia v rozsahu 100 – 1000 nm, ale pre fotoiniciáciu katalyzátorov sa najviac používa blízka UV oblasť, čo odpovedá vlnovým dĺžkám v rozmedzí 260 – 400 nm.

V kvantovom modeli je lúč svetla reprezentovaný ako prúd fotónov. Fotón nemá žiadnu hmotnosť, má ale energiu E , závislú na frekvencii žiarenia ν a Planckovej konštante h ($h = 6,626.10^{-34} \text{ J.s}$)

$$E = h \cdot \nu \quad (2)$$

Z rovníc (1) a (2) vyplýva, že energia fotónu je v rámci používanej oblasti žiarenia medzi $1,99.10^{-18} - 1,99.10^{-19} \text{ J}$. Interakcia svetla s molekulovým systémom je prakticky interakciou medzi jedným fotónom a jednou molekulou. Obecne je možné túto reakciu zapísať



kde A je molekula v základnom stave, $h \cdot \nu$ je energia absorbovaného fotónu, A^* je molekula v excitovanom stave.

Podľa reakcie, excitovaná molekula je molekula A s energiou vyššou o $h \cdot \nu$. Práve táto energia a dané vlastnosti častice vedú molekulu k účasti na fotochemickom procese, [2][3][4].

2.2 Svetlo

Je elektromagnetické žiarenie, ktoré je vďaka svojej vlnovej dĺžke viditeľné okom, alebo všeobecnejšie elektromagnetické vlnenie od infračerveného po ultrafialové. Tri základné vlastnosti svetla (a elektromagnetického vlnenia vôbec) sú *svietivosť* (amplitúda), *farba* (frekvencia) a *polarizácia* (uhol vlnenia). Kvôli dualite častice a vlnenia má svetlo vlastnosti ako vlnenia, tak aj častice.

Viditeľné svetlo je časť elektromagnetického spektra s frekvenciou $7,5.10^{14} \text{ Hz}$ – $3,8.10^{14} \text{ Hz}$, kde rýchlosť (c), frekvencia (ν), a vlnová dĺžka (λ) zachovávajú vzťah

$$c = \lambda \cdot \nu$$

a rýchlosť svetla vo vákuu c_0 je konštanta. Vlnová dĺžka viditeľného svetla vo vákuu je teda 380 nm (fialová zložka) až 780 nm (červená zložka), ako to už bolo spomenuté.

Presnejšie povedané tento rozsah je viditeľným svetlom pre človeka. Rozsah vnímaných vlnových dĺžok je daný predovšetkým tým, že v oblasti viditeľného svetla je maximum elektromagnetického žiarenia zo slnka dopadajúceho na zemský povrch, to znamená, že v tomto rozsahu je najlepšie vidieť, [5].

Svetlo je potrebné k životu takisto ako aj vzduch a voda. Sme schopní vidieť, pretože naše oči majú mechanizmus citlivý na svetlo. Bez svetla by nemohol existovať svet tak, ako ho poznáme. Viditeľné svetlo tvoria farby: červená, oranžová, žltá, zelená, modrá, indigová a fialová. Viditeľné svetlo je len malou časťou celého svetelného spektra. Viditeľné spektrum sa nachádza v oblasti približne od 380 do 780 nm. Pri dopade svetla na povrch látky je časť energie pohltaná atómami na povrchu látky a dôjde k jeho zahriatiu. Pri fotokatalýze je práve táto energia využitá. Pri fotokatalytických procesoch sa používa namiesto viditeľného žiarenia ultrafialové žiarenie (UV), jeho energia je vyššia a vlnová dĺžka kratšia ako 400 nm. UV žiarenie je súčasťou slnečného spektra, nachádza sa ho tam len malé množstvo. Účinne môžeme UV žiarenie využiť pomocou látok s fotokatalytickými vlastnosťami, napr. častice oxidu titaničitého, [5][6].

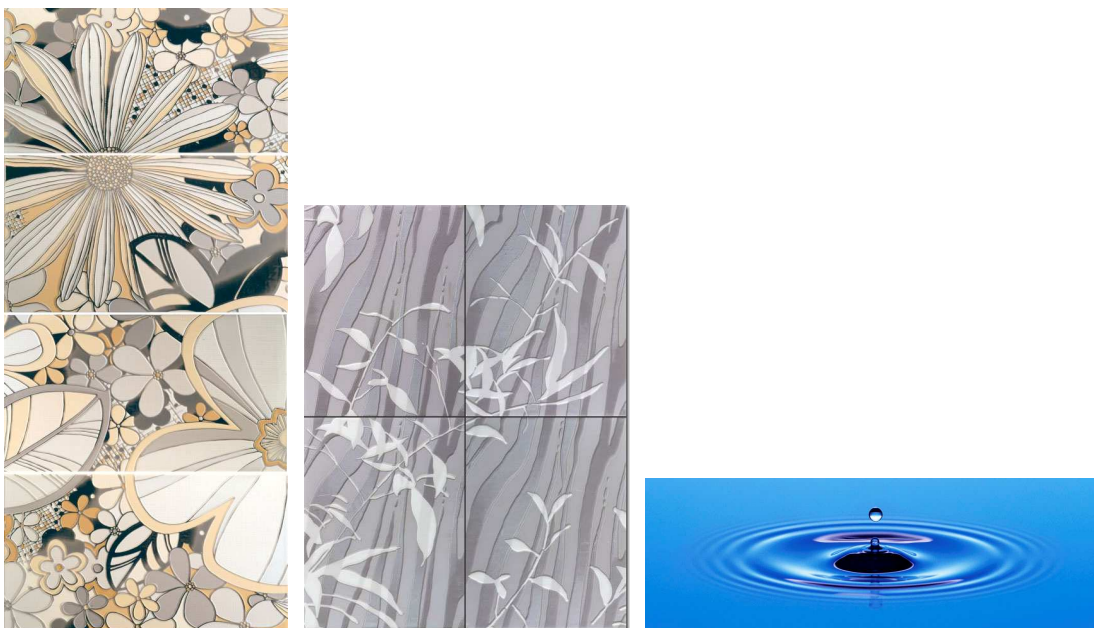
3 VYUŽITIE FOTOKATALÝZY

3.1 Samočistiace, samosterilizujúce materiály odolné voči špine, škvrnám a baktériam

Pri testovaní obkladačiek s fotokatalytickým účinkom bola sledovaná aj miera zašpinenia. Po inštalácii týchto obkladačiek na steny a podlahy boli výsledky prekvapujúce. Vykazovali nielen antimikrobiálne efekty, ale boli odolné voči špine a zašpineniu. Tieto a bežné obkladačky boli inštalované na podlahe verejnej umyvárky

v šachovnicovom usporiadaní. Počas používania bola podlaha jednoducho utieraná vodou. Po siedmich mesiacoch používania miestnosti bol vidieť značný rozdiel medzi obidvoma typmi obkladačiek. K povrchu bežných obkladačiek prilnuli špina a mydlo. Mastné kyseliny z mydla reagovali s vápnikom a horčíkom, prítomným v tvrdej vode, a tým sa špina stala chemicky viazanou na obkladačky. Fotokatalytické antimikrobiálne obkladačky rozložili rozličné mikróby a počas doby používania nedovolili, aby mydlový film alebo špina prilnuli k povrchu obkladačiek. Film na týchto obkladačkách bol priebežne odstraňovaný umývaním, [6].

Keramické obkladové a dlažbové prvky RAKO HYDROTECT® s antibakteriálnymi a samočistiacimi účinkami boli oficiálne predstavené na stánku RAKO a.s., na tohtoročnom mezinárodnom stavebnom veľtrhu IBF 2001 v Brne. Táto revolučná novinka výrazne prispela k zlepšeniu úžitkových vlastností stavebnej keramiky. Keramické obklady s aktívnou povrchovou vrstvou na báze oxidu titaničitého predstavujú novú generáciu obkladačiek a dlaždíc. Úspešne sa zaraďujú medzi moderné výrobky s mimoriadnymi vlastnosťami a s uplatnením predovšetkým tam, kde sú kladené maximálne požiadavky na hygienu a jednoduchú údržbu stien, podlah alebo fasád. Keramický povlak s vrstvou oxidu titaničitého vo forme kryštálov minerálu anatasu vykazuje pozoruhodné efekty, ktoré vychádzajú z fotokatalytických vlastností oxidu titaničitého. Jedná sa predovšetkým o oxidačné a antibakteriálne účinky a superhydrofilitu povrchu. Aktívny povrch je schopný likvidovať aj mikroorganizmy, zabráňuje rastu rias, pliesní a choroboplodných zárodkov. Superhydrofilný povrch v tomto prípade znamená, že sú na ňom molekuly vody viazané omnoho silnejšie, ako iné látky. Na znečistenom povrchu takého materiálu voda preniká pod nečistoty, a tie potom môžu byť prúdom vody alebo dažďom ľahko umyté. Vrstva HYDROTECT je veľmi tenká (cca 1 mm), priehľadná, a preto nemení vzhľad výrobku. Proces jeho nanášania je patentovaný, [7].



Obrázok 2-2: Ukážka obkladačiek fi : Rako Hydrotect, [7]

Pri fotokatalytickej úprave keramických obkladačiek nebola vyžadovaná priehľadnosť povrchovej vrstvy oxidu titaničitého. Fotokatalytická úprava skla sa ukázala omnoho zložitejšia z dôvodu zachovania priehľadnosti skla a súčasnej fotokatalytickej aktivity. Po vytvorení tenkého filmu oxidu titaničitého na podložke z kremenného skla bolo získané priehľadné sklo, vykazujúce vysokú fotokatalytickú aktivitu, spôsobenú vysokou čistotou kremenného nosiča.

V prípade tenkého filmu oxidu titaničitého vytvoreného na bežnom sodnovápenatom skle bol fotokatalytický účinok minimálny. V oboch prípadoch bol priehľadný tenký film získaný tepelným rozkladom organických zlúčenín obsahujúcich titán, kedy teplota tepelného spracovania presahuje 400 °C. V prípade sodnovápenatého skla dochádza pri tejto teplote k jeho mäkknutiu a k zvýšeniu difúzie sodných iónov zo skla do vrstvy oxidu titaničitého. Následnou reakciou dochádza k vzniku zlúčeniny Na–Ti–O, ktorá je fotokatalyticky neaktívna. K odstráneniu tohto problému je potrebné zabrániť difúzii sodných iónov do povrchovej vrstvy oxidu titaničitého. To dosiahneme nanosením tenkej medzivrstvy oxidu kremeničitého, ktorá zabraňuje difúzii iónov sodíka.

To bol začiatok vývoja priehľadnej sklenenej dosky inak nazývanej „samočistiace sklo“, pretože špina a nečistota sa z jeho povrchu veľmi ľahko odstraňuje. Získaním fotokatalytickej vrstvy na obyčajnom skle značne rozšírila možný počet aplikácií fotokatalytickej technológie. Jedna z najvýznamnejších aplikácií spadá do oblasti

osvetľovania. Kryty osvetlenia sú ideálne pre použitie fotokatalyzátora, pretože je tu k dispozícii silný zdroj svetla.

Vedľa skla a keramiky prebieha výzkum a vývoj možného využitia fotokatalytických vlastností aj pri ďalších typoch stavebného materiálu. Jedným z nich je plastová fólia (tarpaulin). Buduje sa stále viac budov domového typu s plastovými strechami. Napríklad v tokajskom dome je potrebné, aby materiál bol priesvitný tak, aby vnútro budovy mohlo byť osvetľované slnečným svetlom. Materiál musí byť pevný a trvanlivý. Konvenčná tarpaulinová látka má však sklon ľahko sa zašpiniť sadzami, prachom, jemným pieskom a inými časticami poletujúcimi v atmosfére. Je takmer nemožné umyť takýto dom, pretože je podopieraný pretlakom vzduchu. Na povrch tarpaulinu bola nanosená živica a do nej bol premiestnený oxid titaničitý. Takto pripravený materiál bol nechaný spolu s bežnými plastovými fóliami vonku na mieste pri hlavnom diaľničnom ťahu. Po troch mesiacoch boli materiály vyrovnané. Rozdiel bol zrejmý.

Ďalšou významnou oblasťou využitia je automobilový priemysel, využitie tohto efektu pri karosériach automobilov. Priemyselnými pracovníkmi boli takmer vyriešené problémy spojené s vývojom fotokatalytických farieb. Po zvládnutí vývoja fotokatalytických farieb bolo možné dodať samočistiace vlastnosti takmer všetkým materiálom, [6].

3.2 Fotokatalytické čistenie vzduchu – dezodorácia a odstránenie znečistenia

Jednou z najvýraznejších vlastností fotokatalyzátora oxidu titaničitého je jeho silný rozkladný účinok, ktorého podstatou je oxidačný proces. Deštrukčný účinok oxidu titaničitého oxiduje silnejšie ako účinok chlóru, peroxida vodíka alebo ozónu, teda silných oxidantov, obvykle používaných pri čistení vody. Oxid titaničitý je navyše schopný pri ožiarovaní UV svetlom rozložiť takmer všetky organické zlúčeniny, a to aj tie, ktoré sú zložené z uhlíka, vodíka a kyslíka. Je to preto, lebo energia, ktorú poskytuje fotokatalytická reakcia, je „kvantovaná“. To znamená, že energia každého fotónu je rovnaká a nezávisí na intenzite svetla.

V priebehu výzkumu bol testovaný fotokatalytický účinok papiera obsahujúceho oxid titaničitý. Papier bol špeciálne upravený, častice oxidu titaničitého boli najprv agregované a po agregácii boli pridané do papierového koša. Vďaka takému spracovaniu nedochádzalo k porušeniu vodíkových väzieb a nedošlo tak k zníženiu pevnosti papiera. Pri skúškach s cigaretovým dehtom tento papier najprv zožltol viac než bežný papier, následne získal svoju pôvodnú bielosť. Papier najprv cigaretový deht pohltil a potom ho rozložil. Filtračný papier obsahujúci oxid titaničitý sa používa v niektorých čističkách vzduchu. Bolo zistené, že čističky vzduchu tohto typu sú schopné odstraňovať oxidy dusíka. Pri hustej doprave, kde je koncentrácia oxidov dusíka vysoká, môžu šoféri trpieť bolesťami hlavy alebo môžu ochorieť, pretože výfukové plyny sa dostávajú dovnútra ich automobilov. Tento problém by mohol byť vyriešený fotokatalytickými filtrami oxidu titaničitého, inštalovanými vo vozidle. V súčasnej dobe je na trhu niekoľko typov čističiek vzduchu. Tie pracujú na rôznych princípoch, napr. na princípe vodných filtrov, atď. Jednou z nich sú čističky vzduchu využívajúce fotokatalytický princíp v spojení so špeciálnou ultrafialovou lampou. Tento typ čističiek efektívne ničí toxické látky, vírusy aj baktérie nachádzajúce sa vo vzduchu. Proces čistenia prebieha v prítomnosti katalyzátora, napr. oxid titaničitý pod vplyvom ultrafialového žiarenia vyžarovaného ultrafialovou lampou.

V priebehu výzkumu vedci dospeli k záveru, že najvhodnejšie aplikácie pre využitie fotokatalytického účinku sú tie, ktoré zahŕňujú odstraňovanie látok prítomných v nízkych koncentráciách. Rozsah koncentrácií znečisťujúcich látok vo vzduchu, ktoré môžu byť účinne odstránené, je to od 0,01 ppm do 10 ppm. Najnižšia koncentrácia sa dosahuje v normálnej životnej atmosfére, najvyššia sa dosahuje v diaľničných tuneloch. Na konci automobilového výfuku je koncentrácia znečisťujúcich látok vyššia ako 100 ppm, [6].

3.3 Fotokatalytické čistenie vody

Prvá medzinárodná konferencia o čistení vody a vzduchu s využitím fotokatalyzátora oxidu titaničitého sa konala v roku 1992 v Kanade. Úprava vody je rozdelená do rôznych skupín, ako úprava pitnej vody, dažďovej vody, priemyselnej

odpadovej vody, hospodárskej odpadovej vody, vody v plaveckých bazénoch a v skladovacích nádržiach. Široká rozmanitosť spôsobov, ktorými užívame vodu, ukazuje, ako sme na ňu v dennom živote závislí.

Na základe požiadavok jednej elektrárenskej spoločnosti bola skúmaná možnosť odstránenia zelených rias z priehradných nádrží. Chceli v nich udržiavať čiru a čistú vodu. Bolo prevedených niekoľko skúšok, pri ktorých sa nechali riasy voľne pohybovať vo vode, v ktorej bol umiestnený nosič s fotokatalyzátorom oxidu titaničitého. Keď bol film vystavený svetlu, bol pozorovaný smrtiaci efekt baktérií. Riasy, ktoré sa aktívne pohybovali, boli pri dotyku s filmom oxidu titaničitého náhle znehybnené. Účinok bol okamžite zrejмый. Zásadným zistením bolo, že úprava vody vo veľkých rybníkoch je nad schopnosti oxidu titaničitého a dostupného svetla. Hlavným dôvodom je to, že voda má snahu absorbovať UV svetlo v hĺbke väčšej než niekoľko málo centimetrov pod hladinou. Čistenie v praxi môžeme využívať napríklad u malých jazier na golfových ihriskách. Výsledky boli zhrnuté, a došlo k záveru, že oxid titaničitý bude pravdepodobne najvhodnejší pre úplné vyčistenie slabého znečistenia než ku spracovaniu veľkého množstva silne znečistenej odpadovej vody.

V ďalších štúdiách bol jemný prášok fotokatalyzátora prítomný vo vode vo forme suspenzie. Potom, čo sa oxid titaničitý pridal k upravovanej vode, môže byť táto voda čistená ožiarovaným svetlom. Prášok oxidu titaničitého však zostáva vo vode i vtedy, ak svoju prácu vykonal. Potom sa musí použiť filtrácia alebo nejaká iná operácia, ktorá oxid titaničitý odstráni, čo je nielen obtiažné, ale aj drahé. K vyriešeniu tohto problému bolo vyskúšaných niekoľko nápadov na uchytenie prášku fotokatalyzátora na iných materiáloch. Na Texaskej univerzite bol vyvinutý fotokatalyzátor, ktorý pláva na vode vďaka nanieseniu oxidu titaničitého na duté sklenené guľičky (o priemere približne 0,1 mm). Za použitia guľičiek plávajúcich fotokatalyzátorov bolo prevedených niekoľko pokusov. Do hodinových sklíčok, kde bolo kvapnuté rovnaké množstvo ropy a vody, boli umiestnené sklenené guľičky s uchyteným práškom fotokatalyzátora. Následne bol sledovaný rozklad ropy. Boli porovnávané hodinové skla, ktoré boli a neboli vystavené UV svetlu a následne rôzne doby ožiarovania. Tento experiment bol prevedený za účelom zlikvidovať ropu, ktorá vytiekla do oceánu po nehode tankera. Očakáva sa, že za slnečného svetla prebieha rozklad vrstvy ropy rozliatej na hladine oceánu za použitia sklenených guľičiek potiahnutých vrstvou oxidu titaničitého rýchlosťou 0,02 – 0,03 cm za mesiac. Táto metóda nie je sama o sebe schopná zlikvidovať veľký objem ropy

behom krátkej doby. Naopak táto metóda môže byť vhodná ako čistiaci postup, ktorý nasleduje potom, ako sa ostatnými metódami odstráni väčšia časť rozliatej ropy. Tenký film ropy, ktorý ešte stále zostáva na hladine, by mohol byť rozložený, a tým by sa more vrátilo do pôvodného stavu. Fotokatalyzátorom potiahnuté guľičky sa potom vyperú na brehu a zmiešajú sa s pieskom. Tieto metódy boli testované v rybníku s morskými rakmi, ktoré sú veľmi citlivé na svoje životné prostredie a bolo dokázané, že fotokatalytická reakcia neovplyvňuje nepriaznivo ekosystém vody. S vývojom fotokatalytických guľičiek nasledoval vývoj rôznych strojov a zariadení pre čistenie vody. Doposiaľ ale nebola naštudovaná dlhodobá stabilita navrhovaných systémov. Napr. na mezinárodnej konferencii vystavovala jedna spoločnosť prototyp malého systému na fotokatalytickú úpravu vody. Toto zariadenie obsahovalo UV lampu v strede a katalyzátor s uchyteným oxidom titaničitým bol umiestnený okolo lampy, takže cirkulujúca voda by mohla byť upravovaná. Tento typ zariadenia bol určený pre priemyselné závody, pretože potrebovali čistiť odpadovú vodu vypúšťanú z jednotlivých prevádzok, [6].

3.4 Protizahmlievajúci, samočistiaci účinok - superhydrofilnosť

Pokiaľ na povrch materiálu nanesieme tenký film oxidu titaničitého, ktorý ešte zosilníme prídavkom vhodného aditiva, potom povrch takto získaného filmu môže vykazovať až nulovú hodnotu odpudivosti k vode, tzv. superhydrofilnosť. Zahmlenie povrchu zrkadiel a skiel je dôsledkom kondenzácie malých vodných kvapiek na ich povrchu. Na superhydrofilnom povlaku sa žiadne kvapky netvoria. Namiesto toho sa na povrchu vytvorí jednoliaty film, ktorý zabraňuje zahmleniu. Až do súčasnosti bol vždy využívaný opačný prístup. Aby sa dali vodné kvapôčky jednoducho odstrániť, tak napr. skla automobilov odpudzovali vodu. Aby táto metóda fungovala, je potrebné, aby vodné kvapky boli odľuknuté zo skla vetrom alebo zotrasené vibráciami. Inak kvapôčky zostávajú a povrch sa stáva nepriehľadným. Aplikáciou prístupu založeného na superhydrofilnosti nie je k odstráneniu zahmlenia potrebné prispenie ani vetra ani vibrácie. Superhydrofilné a normálne zrkadlo bolo vystavené parám a výsledky boli porovnané. Normálne zrkadlo sa rýchlo zahmlelo, zrkadlo potiahnuté superhydrofilným

fotokatalyzátorom si udržalo svoju priehľadnosť. Akonáhle príde vlhký vzduch do styku s chladným sklom, vytvárajú sa malé kvapôčky vody a sklo sa zahmlí. Avšak na skle potiahnutom oxidom titaničitým vytvára voda súvislú tenkú vrstvu, takže nevznikne žiadne zahmlenie. Fotokatalytická technológia a superhydrofilnosť si nutne vyžaduje isté množstvo dopadajúceho svetla. Je potreba brať ohľad na túto skutočnosť, predovšetkým v prípade využívania fotokatalytického účinku v interiéri, kde nemusí byť dostupné dostatočné množstvo svetla, [6].

3.5 Fotokatalytický antibakteriálny efekt

Keď vystavíme oxid titaničitý svetlu, tak začne na jeho povrchu prebiehať intenzívny proces, ktorý môže viesť k rozkladu a deštrukcii cudzích látok. Látky, ktoré môžu byť rozložené, sú napr. tabákový decht a ropné produkty. Zoznam organizmov, ktoré môžu byť zničené, zahŕňa baktérie, vírusy a pliesne. Aby k rozkladu látok vôbec mohlo dôjsť, musí byť rozkladaná látka v priamom styku s oxidom titaničitým, svetlo musí byť využité katalytickým spôsobom oxidu titaničitého a povrch musí byť osvietený. Kúpeľne, operačné sály, kuchyne, to sú miesta, kde sú veľmi dôrazne kladené nároky na sterilitu prostredia. Tieto miesta nie sú však priamym pôvodcom baktérií. Baktérie prichádzajú z vonku, hľadajú prostredie vhodné pre rozmnožovanie, kde sa následne usídli, a ich počet potom rastie exponenciálne. Prítomnosť baktérií je nežiadúca na operačnej sále, kde môžu tieto baktérie infikovať pacienta, ktorý podstupuje operáciu. Je známe, že po každej operácii sa celá operačná sála dezinfikuje dezinfekčným prostriedkom. Nikdy však nedosiahneme toho, že sa počet baktérií zníži na nulu, pretože baktérie vnikajú dovnútra aj po dezinfekčnom prostriedku. Po inštalácii fotokatalytických dlaždíc v testovanej operačnej sále bolo s potešením zistené, že počet baktérií na povrchu stien klesol na nulu. Tiež bolo zistené, že počet baktérií vo vzduchu tiež výrazne klesol. Na testovanie boli použité glazúrované dlaždice. Na každú dlaždicu bola nastriekaná suspenzia obsahujúca jemný oxid titaničitý. Potom bola dlaždica zahriata na 800 °C a viac, čím došlo k vytvoreniu vrstvy oxidu titaničitého a hrúbke radu mikrometrov. Vrstva oxidu titaničitého je natavená na povrch dlaždice a spojená s ňou tak pevne, že nemôže byť zoškrabaná, čo zaručuje, že si odolná vrstva

uchováva svoje pôvodné vlastnosti po dobu cca 10 rokov. Fotokatalytická reakcia prebieha len za prítomnosti svetla. Dlaždice na podlahe, umiestnené pod stolom, kam svetlo nedopadá, nebudú plniť svoju funkciu. Tento problém bol riešený prídavkom pozitívne nabitých iónov striebra alebo medi. Tieto kovy sú dlho používané ako antimikrobiálne činidlá. Roztok soli jedného z týchto kovov sa nastriekal na povrch dlaždice potiahnutej oxidom titaničitým. Potom, čo bol povrch ožiarený UV svetlom, sú katióny kovu fotokatalyticky premenené na ultrajemné častice kovu, ktoré sú pevne uchytené na povrchu. Táto metóda má mnoho výhod oproti tradičnej metóde, pri ktorej sa zmieša práškové kovové striebro alebo meď s glazúrou a vypáli sa na dlaždicu alebo na porcelán. Väčšina častíc kovu je potom obsadená v objeme glazúry. Len ich malá časť je obsadená na povrchu. Častice prítomné v objeme glazúry nevykazujú antibakteriálny účinok. Pri použití fotokatalytickej metódy vykazujú dlaždice silnú antibakteriálnu aktivitu, alebo antibakteriálne častice kovu vytvárajú povrchovú vrstvu o vysokej hustote. Navyše tieto dlaždice sú extrémne trvanlivé a udržiavajú si svoju efektívnosť trvale. Vo verejných sprchovacích kútoch často zostáva špina a mydlová pena, ktorá je tvorená organickými zlúčeninami, zahrňujúcimi kyseliny a bielkoviny. Obvykle sa na nich začnú rozmnožovať baktérie a pliesne. Po testovaní bolo zistené, že fotokatalytické dlaždice bránia rastu pliesní, a navyše tieto dlaždice ukazovali dezodoračné efekty.

Všetky tieto výsledky ukazujú, že fotokatalytické dlaždice majú nielen antibakteriálne vlastnosti, ale majú tiež schopnosť likvidovať vírusy, pliesne a riasy. Fotokatalytické dlaždice sú multifunkčné, [6].

3.6 Fotokatalytické liečenie rakoviny

Rakovina je jednou z najnaliehavejších oblastí lekárskeho výskumu a liečenia na konci 20. storočia. Aj keď boli vyvinuté rôzne chirurgické, imunologické, termoterapeutické a chemoterapeutické postupy, ktoré prispievajú k lekárskej starostlivosti o pacienta, zostáva rakovina od roku 1980 hlavnou príčinou úmrtí Japoncov. Obecne môže byť rakovina charakterizovaná neusporiadaným, neobmedzeným rozrastaním buniek v živých tkaninách.

V našej koži a v ostatných orgánoch prebieha delenie buniek a ich rozmnožovanie behom telesného rastu alebo uzdravovaním po úraze. Delenie buniek je riadené zložitým mechanizmom, takže nadmerné rozrastanie sa neobjaví, keď telo funguje normálne. Rakovinové bunky však stratili tento kontrolný mechanizmus a pokračujú stále v rozrastaní, a tým ničia funkcie živého tela a často spôsobia smrť. V súvislosti s antibakteriálnym účinkom fotokatalyzátora, ktorý spôsobuje rozklad baktérií a vírusov, bol diskutovaný rozklad rakovinových buniek. Výzkum bol prevádzaný v spolupráci s urológmi na lekárskej fakulte v Jokohame. V priebehu testovania bolo použité farbivo citlivé na svetlo- derivát hematoporfyrinu, ktorý vykazuje afinitu pre rakovinové bunky a laserový lúč. Najprv došlo k nanieseniu tenkého filmu oxidu titaničitého na sklenenú dosku. Na túto sklenenú dosku boli umiestnené rakovinové bunky a potom bola vzorka ožiarená. Bezprostredne po jej vystavení svetlu bola vzorka odfarbená, aby bolo možné vidieť rakovinové bunky, ktoré prežili. Výsledok bol potešujúci, ožiarené bunky boli usmrtené. Účinok svetla je pre bunky nenahraditeľným. Táto terapia s laserovými lúčmi si obvykle vyžaduje, aby sa pacient zdržiaval po lekárskom zákroku niekoľko dní v tme. Nasledovalo vyskúšanie pokusov na zvieratách. Výzkum bol prevádzaný na myšiach. Pod kožu myší boli implantované rakovinové bunky, aby sa vytvorili rakovinové nádory. Keď nádor dorástol do veľkosti 0,5 cm, bol vstriednutý roztok obsahujúci jemné častice oxidu titaničitého. Po dvoch alebo troch dňoch bola narezaná koža, aby bol nádor ožiarený. Toto zabránilo rastu nádora. Po ďalších trinástich dňoch bolo ošetrenie opakované a následne bol sledovaný pokles rastu veľkosti nádora. Táto technika však nebola účinná pre zastavenie rakoviny, keďže prekročila určitú medzu. Aby sa táto metóda mohla ľahko využívať, bolo vyvinuté nové zariadenie, ktoré umožňuje prístup do rôznych častí ľudského tela. Zariadenie, zostrojené modifikáciou endoskopu umožňuje, aby bola rakovina vystavená svetlu potom, čo bol do nádoru pridaný prášok oxidu titaničitého. Pretože sa fotokatalytická reakcia objaví na miestach, ktoré sú osvetlené, je možné zaútočiť na samotné rakovinové bunky, keď máme techniku na osvetlenie. Sú farbivá, ktoré sa zoskupujú v rakovinových bunkách, a preto bolo navrhnuté, aby sme uchytli farbivo na povrch oxidu titaničitého tak, aby sa oxid titaničitý dostal predovšetkým do rakovinových buniek. Následne mohol byť použitý nový endoskop k dodávaniu svetla potrebného k usmrteniu buniek. Aj keď si tento nástroj vyžaduje mnoho ďalších zdokonalení, zdá sa pravdepodobné, že by mohol byť použitý na rôzne typy rakovín.

Obečne platí, že rakoviny orgánov, ktoré môžu byť ožiarené za použitia endoskopu, môžu byť tiež subjektom liečenia rakoviny. Sú to zažívacie orgány ako žalúdok a hrubé črevo, respiračné orgány ako močový mechúr a močová trubica, reprodukčné orgány ako maternica a jej hrdlo a samozrejme koža.

Oxid titaničitý, aj keď bol používaný mnoho rokov v potravinárstve a v kozmetike ako biely pigment, sa ukázal ako veľmi bezpečná látka. Výsledky pokusov so zvieratmi ukázali, že lúče blízke ultrafialovým o vlnovej dĺžke 300 – 400 nm, ktoré sa používajú pri fotokatalytických reakciách, sú pre tento účel vhodné.

4 TITÁN

Titán je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý ma značku Ti a protónové číslo 22. Je to ľahký, pevný, lesklý, prechodný kov oceľového vzhľadu, odolný voči korózií (aj v morskej vode, v kyselinách, resp. v prítomnosti chlóru). V prírode sa titán vyskytuje len v podobe zlúčenín, najrozšírenejšími minerálmi sú rutil a ilmenit. Veľké zásoby týchto zlúčenín sa nachádzajú v Austrálii, Škandinávii, Kanade alebo na Ukrajine. Titán sa používa ako zložka pevných a ľahkých zliatin (so železom, hliníkom, vanádom, molybdénom a mnohými ďalšími prvkami), ktoré majú široké uplatnenie v mnohých odvetiach priemyslu (v kozmonautike, vojenstve, strojárstve, chemickom priemysle, v medicíne, atď.) Je siedmym najrozšírenejším kovom na zemskom povrchu.



Obrázok 4-1: Práškový titán

Tabuľka 4-1: Základné chemické a fyzikálne vlastnosti titánu, [8]

atómové číslo	22
atómová hmotnosť	47,867 g.mol ⁻¹
elektronová konfigurácia	[Ar] 3d ² 4s ²
skupenstvo	pevné
teplota topenia	1941 K (1667.85 °C)
teplota varu	3560 K (3286.85 °C)
elektronegativita (Pauling)	1,54
hustota	4,506 kg·dm ⁻³
tvrdosť	6,0

4.1 Výroba titánu

Dnes sa pri priemyselnej výrobe titánu používa predovšetkým tzv. *Krollov proces*. Pritom sa najprv pyrolýzou ilmenitu alebo rutilu s uhlíkom a chlorom získava chlorid titaničitý TiCl₄. Po prečistení sa jeho pary redukujú horčíkom v inertnej argónovej atmosfére pri teplote okolo 800 °C.



Titán vzniknutý touto reakciou je tuhá, pórovitá látka, ktorá sa po odstránení chloridu horečnatého a nezreagovaného horčíku ďalej čistí, [8].

4.2 Zlúčeniny titánu

V zlúčeninách sa titán vyskytuje v mocenstve Ti⁺³ a Ti⁺⁴, z ktorých len zlúčeniny štvormocného titánu sú neobmedzene stále.

- Chlorid titaničitý TiCl₄ je bezfarebná kvapalina s bodom varu 137 °C. Je základným medziproduktom pri príprave čistého titánu *Krollovým procesom*. Pri kontakte s atmosférickou vlhkosťou dochádza k jeho postupnej *hydrolýze* podľa rovnice



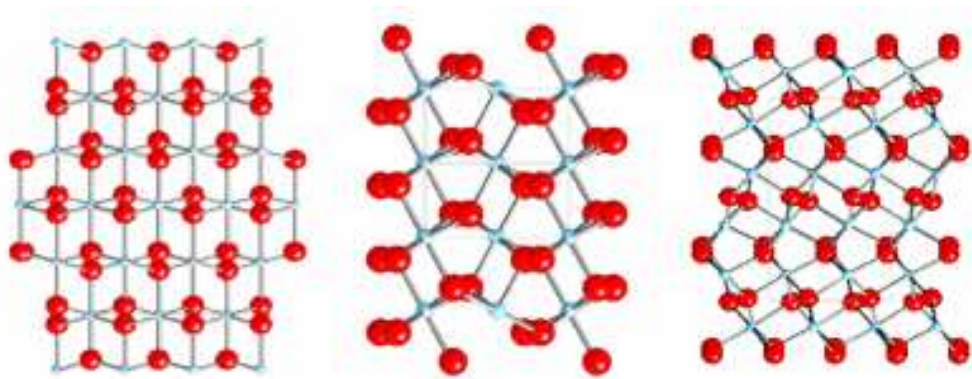
Vznikajúci oxid titaničitý vytvára intenzívny biely dym, ktorý nie je prakticky toxický. Uvedený jav nachádza využitie v *pyrotechnike* pri výrobe zadýmovacích granátov, pri vytváraní umelej hmly (napr. pri natáčaní filmov) alebo pri leteckých show.

- Chlorid titánitý TiCl_3 slúži ako katalyzátor (Ziegler-Natta. NP v roku 1963) pri polymerizácii nenasýtených uhl'ovodíkov.
- Nitrid titánu TiN_2 patrí k najtvrdším známym látkam a prevyšuje svojou tvrdosťou i korund, 9. prvok z 10-stupňovej *Mohsovej stupnice tvrdosti*. Používa sa v brúsnych materiáloch, ale i na povrchovú úpravu titánových nástrojov – nitridovanie, pri ktorom je na povrchu nástroja určeného na extrémne fyzické namáhanie vytvorená tenká ochranná vrstva TiN_2 . Najdôležitejšou zlúčeninou je oxid titaničitý, [8].

5 OXID TITANIČITÝ

Oxid titaničitý je jedným z najčastejšie používaných polovodičov pre heterogénnu fotokatalýzu. Využíva sa hlavne pre svoju vysokú fotokatalytickú aktivitu, nízku cenu, vysokú účinnosť a kvantový výťažok, chemickú stabilitu, kompatibilitu s rôznymi substrátmi a reakčným prostredím. Medzi ďalšie jeho výhody patria vhodné elektrické a optické vlastnosti, biologická a chemická odolnosť, vysoká odolnosť proti fotoindukovanej korózii a tiež netoxicity, [9].

Oxid titaničitý existuje v troch kryštalografických formách: anatas, rutil a brookit (Obr. 4). Ale iba anatas (3,23 eV, 384 nm) a rutil (3,02 eV, 411 nm) sú fotokatalyticky aktívne, z toho anatas viac. V posledných rokoch sa oxid titaničitý produkovaný v Nemecku firmou Degussa s označením Aeroxide P25 stal štandardom pre fotoreaktivitu v oblasti aplikácie, hoci oxid titaničitý produkovaný firmou Sachtleben (SRN) a Kimera (Fínsko) vykazujú porovnateľnú fotoaktivitu. Aeroxide P25 je zmes anatasu a rutilu v pomere 70:30 s merným povrchom (BET) $55 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a veľkosťou častíc okolo 30 nm, [10].



Obrázok 5-1: Kryštalické modifikácie TiO_2 v poradí anatás, rutil a brookit, [10]

Tabuľka 5-1: Vlastnosti anatasu, rutilu a brookitu

Forma	Index lomu	Hustota	Rozpustnosť	Sústava
Anatas	2,4880	3,9g/cm ³	v kys. nerozpustný	štvorcová
Rutil	2,903	2,3-2,4g/cm ³	-	štvorcová
Brookit	-	4,1g/cm ³	nerozpustný	kosoštvorcová



Obrázok 5-2: Ukážka anatasu, rutilu a brookitu

5.1 Výroba oxidu titaničitého

Surová ruda obsahujúca 90 % oxidu titaničitého je pri použití chloridovej metódy redukovaná uhlíkom pri 950 °C a následne oxidovaná chlóróm na kvapalný chlorid titaničitý TiCl_4 . Chlorid titaničitý sa následne prečistí destiláciou a pri 1000 – 1400 °C je pomocou kyslíka premenený na oxid titaničitý.

Siranová metóda je vhodná pre rudy s nižším obsahom titánu a rudy znečistené železom. Ako zdroj titánu je používaný ilmenit. Ilmenit sa lúhuje v koncentrovanej kyseline sírovej za vzniku síranu železitého $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a oxidu síranu titaničitého TiOSO_4 . Síran železitý je zredukovaný železnými hoblinami na síran železnatý FeSO_4 ktorý je po zahutení ochladený a odfiltrovaný. Jemnné vylúčené kryštálky sú premyté a potom kalcinované pri 800 – 900 °C, [11].

5.2 Hlavné technické vlastnosti pigmentu oxidu titaničitého

Jasnosť a odtieň farby: Výborné optické vlastnosti pigmentov titánovej bielo by sú postavené na fakte, že to sú bezfarebné, čisté biele substancie (jemný prášok), ich index lomu je oproti iným bezfarebným substanciam vrátane diamantu, podstatne lepší (výborný). Následkom toho majú kryštály titánovej bielo by extrémne vysoký rozptyl svetla. Sú schopné odraziť naspäť takmer každé viditeľné svetlo akejkoľvek vlnovej dĺžky, ktorá ich zasiahne. Najlepšie optické vlastnosti sú získané takými kryštálmi titánovej bielo by, ktoré sú skutočne tej správnej veľkosti, extrémnej čistoty a perfektnej štruktúry.

Kryvosť: jednou z funkcií náteru, je zakryť podklad, ktorý má byť zakrytý napr. nejasnosť alebo odchýlka farby. Často potrebujeme niečo ako neprehliadnosť/nepresvitnosť, ktorá je potrebná pri papieri, alebo pri tenkej vrstve plastu, inými slovami – maximálna nepriepustnosť svetla k zakrytiu obsahu plastových tašiek a možnosť tlače po oboch stranách nízko – gramážového papiera bez zatienenia textu.

Krycia sila je hlavná vlastnosť pigmentov titánovej bieloby a zakladá sa na vysokom indexe lomu svetla – 2,7 pre rutil a 2,55 pre anatas.

Optimalizovaná veľkosť kryštálov, závisí na kapacite koncentrácie pigmentov v danej aplikácii. Je to asi 220 – 230 nm pre náterové úrovne, asi 170 – 180 nm pre aplikácie s nižšou kapacitou koncentrácie pigmentu, ako je výroba plastov a papiera.

Optimalizovaná veľkosť častíc, ktorá závisí na danej aplikácii, napr. typická, priemerná veľkosť častíc pre viacúčelovú náterovú úroveň je cca 250 – 300 nm a pre špeciálne matné odtiene cca 350 – 400 nm.

Ostatné optické vlastnosti, ako je redukcia odtieňa farby a lesklosť náteru vyplývajú z kryvosti.

Redukcia odtieňa: je to optická schopnosť pigmentu zjasniť čiernu alebo farebnú zmes. Čím jasnejšia zmes, tým lepšia je redukcia odtieňu oxidu titaničitého. Podtón znamená odtieň/farba ako napr. šedá farba alebo pojivo obsahujúce čiernu a bielu farbu. Je veľmi úzko spojený s veľkosťou častíc pigmentu oxidu titaničitého. Čím menšia veľkosť častíc, tým modрейší je podtón, a čím väčšie sú častice, tým žltší je podtón.

Lesk: lesk náteru súvisí s intenzitou svetla, ktoré cítime pri odraze dopadajúceho svetla z jeho povrchu. Čím intenzívnejšie je odrazové svetlo, tým lesklejší je náter. Ostrosť formovaného obrazu je tiež spätá s leskom. Povrchová nerovnosť náteru – jedna z funkcií častíc pigmentu, ovplyvňuje mieru lesku. Čím väčšie sú častice pigmentu TiO_2 , tým nižší je lesk vrchného náteru, [12].

5.3 Komerčná dostupnosť oxidu titaničitého

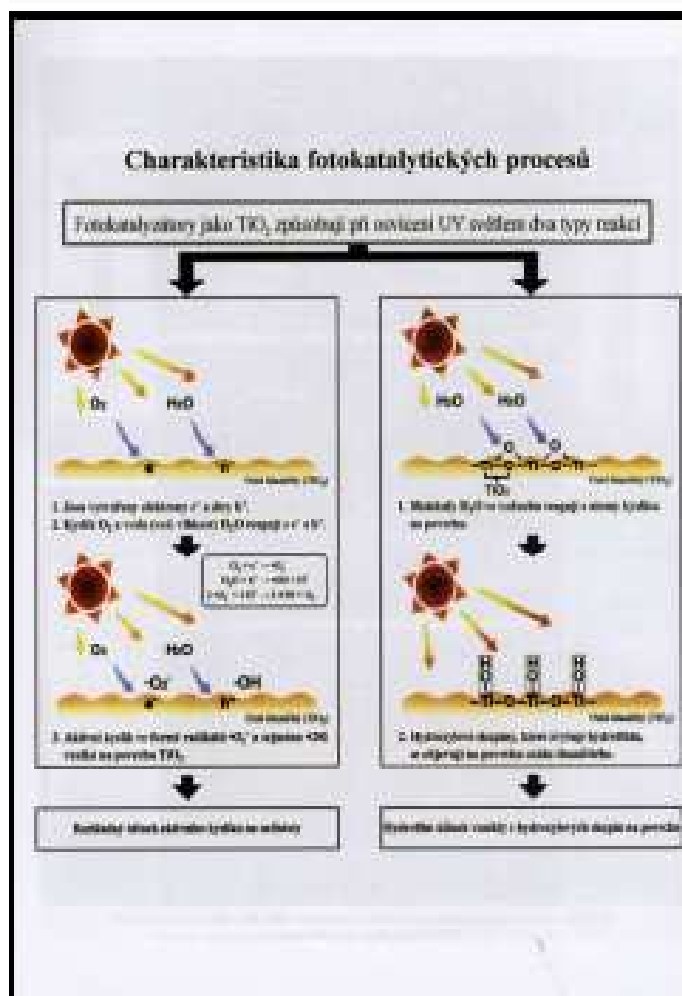
Jedným z najpoužívanějších komerčných typov fotokatalytického oxidu titaničitého sa stal P – 25, ktorý je vyrábaný firmou Nippon Aerosil v licencií nemeckej spoločnosti Degussa. P – 25, vyrábaný takzvaným aerosil procesom, je zmesou 70 % ananasu a 30 % rutilu. Podľa súčasných dostupných informácií komerčné výrobky práškového oxidu titaničitého, vyvinutého k použitiu ako fotokatalyzátor, majú tieto názvy: ST od firmy Ishihara Sangyo Kaisho, Ltd., PC od firmy Titan Kogyo a SSP séria od firmy Sakai Chemical Industries, [13].

5.4 Oxid titaničitý ako fotokatalyzátor

Vhodne upravený oxid titaničitý pôsobí v prítomnosti UV žiarenia ako fotokatalyzátor. Pokiaľ je oxid titaničitý nadopovaný atómami dusíka funguje ako katalyzátor už v prítomnosti viditeľného žiarenia. Vďaka svojmu vysokému redoxnému potenciálu oxiduje v excitovanom stave vodu za vzniku hydroxylových radikálov. Je tiež schopný priamej oxidácie organických látok. Z tohoto dôvodu je pridávaný do náterov, cementov, okenných skiel, glazúr dlaždičiek, dokonca aj textilných vlákien a iných materiálov. Tieto materiály majú dezinfekčné a samočistiace schopnosti. Je tiež používaný v niektorých solárnych článkoch. Nanokryštalický oxid titaničitý je označovaný ako nádejný materiál pre výrobu elektrickej energie. Jeho fotokatalytické vlastnosti ho predurčujú ako materiál, schopný čistiť vzduch od zápachu a škodlivín, ako sú roztekajúce sa organické látky a oxidy dusíka. Zvykne sa používať aj ako lambda sonda v motoroch automobilov. V medicíne umožňuje zrastenie kostí s implantátmi, ako sú napr. umelé kĺby a zuby, [14].

Čo sa týka veľkosti častíc, menšie častice sú lepšími fotokatalyzátormi vďaka ich veľkému aktívnemu povrchu vzhľadom k objemu. A preto pre častice menšie ako 10 μm , kvôli ich veľkému aktívnemu povrchu, sa použiteľná energia fotónov limituje pre ich použitie. Preto je potreba nájsť kompromis medzi šírkou zakázaného pásu častice a jej veľkosťou. Oxid titaničitý má veľkosť aktívneho povrchu $50 \pm 15 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ a častice o priemere 21 μm . Je však známe, že častice oxidu titaničitého tvoria agregáty o polomere približne 0,1 μm . Fotokatalyzátory ako oxid titaničitý vykazujú aj prekvapivé antibakteriálne a dezodorizačné účinky. Pri použití tejto technológie môžeme zabrániť zahmleniu čelných skiel a spätných zrkadiel automobilov vodnou parou. Existujú dva hlavné faktory nutné pre čistenie svetlom. Vedľa kyslíčnika titaničitého, je to predovšetkým ultrafialové svetlo, ktoré sa vyskytuje vo vlnových dĺžkach kratších než 400 nm. V kombinácii s oxidom titaničitým môže mať UV veľké využitie. Oxid titaničitý je polovodič a je chemicky aktivovaný svetelnou energiou. Dlhú dobu bola táto fotoaktivita považovaná za problém, ktorý je treba kontrolovať, pokiaľ bol v tejto substancii používaný biely pigment alebo činidlo absorbujúce UV svetlo. Tento efekt dáva vznik dobre známemu javu – *zkrídovateniu farby*, pri ktorom sa organické zložky farby rozkladajú v dôsledku fotokatalytického účinku.

Na druhej strane umožňuje oxid titaničitý ako fotokatalyzátor, aby táto fotoaktivita hrala pozitívnu rolu, [15].



Obrázok 5-3: Priebeh fotokatalýzy s oxidom titaničitým, [6]

Ultrazvukové ožiarovanie (sonochemical destruction) vodných roztokov generuje hydroxylové radikály zvyšujúce oxidačné deštrukčné možnosti. Na povrchu špeciálne pripravenej fyzikálno – chemickej formy oxidu titaničitého dochádza k rozkladu materiálu podľa našej voľby, napr. nečistoty, zápachajúce chemikálie, toxické plyny vrátane kyslíčnika dusíka, zvyšky po horení, baktérie apod. Najväčší povrch vykazuje výrazné hydrofilné (zmáčacie) vlastnosti, napr. v praxi to znamená, že znečistený povrch môžeme ľahko umyť vodou a na povrchu sa netvoria vodné kvapky. Nečistoty z oxidu titaničitého fotokatalyticky ošetrenej steny budovy sú rozložené alebo zmyté

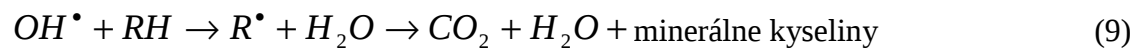
dažd'om, a navyše dochádza ku zníženiu koncentrácie toxických plynov (budovy pri cestách). Alebo aj pri najprudšom daždi je spätné zrkadlo stále funkčné, pretože voda na ňom vytvorí tenkú priehľadnú vrstvu, [15].



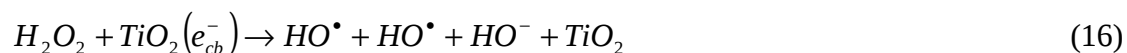
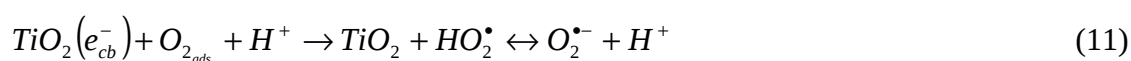
Obrázok 5-4: Spätné zrkadlo so superhydrofilnou úpravou TiO₂, ktoré zostáva stále jasné i za dažďa, [6]

5.5 Fotokatalytické reakcie na povrchu oxidu titaničitého

Mechanizmus fotokatalytickej redukcie rozpustených kovových iónov ešte stále nie je úplne jasný, ale redoxný proces je vždy popisovaný nasledovne: kovové ióny sú redukované zachytením fotoexcitovaného elektrónu z vodivostného pásu a voda alebo iné organické látky sú oxidované dierami z valenčného pásu. Odohráva sa nasledovný redoxný cyklus:



kde M reprezentuje kovový ión. V prítomnosti organickej látky RH sú fotogenerované diery (6) spotrebované reakciami (8) a (9) pre udržanie neutrality systému. Ak sa v systéme nenachádza organická látka, voda sa oxiduje v rovnici (10) a v tomto bode je fotokatalytická redukcia kovového ióna limitovaná pomalou rýchlosťou oxidácie vody. V súčasnej dobe prebieha diskusia o oxidačnej ceste, ktorá by mohla byť uskutočnená priamym atakom diery alebo sprostredkovaná $\bullet OH$ radikálmi v ich voľnej alebo absorbovanej forme. Oxidačný proces vedie v mnohých prípadoch ku kompletnej mineralizácii organického substrátu na CO_2 a H_2O . Kyslík môže byť transformovaný na superoxidový anión radikál, čo môže viesť k dodatočnej tvorbe $HO-2O\bullet$, [16]:



5.6 Použitie oxidu titaničitého

Oxid titaničitý sa doposiaľ používal pre praktické použitie v podobe amorfného prášku, nazývaného ako titánová bieloba. Tento biely pigment je mimoriadne stály, zdravotne nezávadný s vysokou krycou schopnosťou a patrí preto medzi najkvalitnejšie dostupné pigmenty. Praktické použitie nachádza v sklárskom a keramickom priemysle a taktiež pri výrobe farbív.

Vďaka svojmu vysokému indexu lomu, UV rezistencii a stálosti sa oxid titaničitý používa ako prísada do opalovacích krémov. Môžeme ho využiť pri výrobe vysoko kvalitného papiera, ďalej ako plnivo pri výrobe plastových hmôt. Niektorí výrobcovia ho pridávajú do zubných past. Účinne odstraňuje povlak zo zubnej skloviny. Ďalej sa využíva aj v potravinárskom priemysle pri bielení mlieka, alebo je veľmi vhodný ako povrch riadu a iných kuchynských predmetov a doplnkov. Využíva sa aj pri výrobe

sanitárnych predmetov napr. luxusných vaní a sprchovacích kútov. Ich výhodou je, že sa na nich nevytvárajú pliesne, organické nánosy, ktoré sú dnes hlavným reklamným ťahákom výrobcov čistiacich prostriedkov. Samočistiaca schopnosť je ideálna pre rôzne filtre. Okrem týchto všetkých praktických použití si však aj vďaka svojim optickým vlastnostiam začína nachádzať uplatnenie v šperkárstve a v ozdobnej keramike. Jeho vysoká odrážavosť, jas a farebná stálosť ho predurčujú tiež ako vhodný materiál pre použitie vo forme tenkých povlakov v špeciálnej optike ako sú napr. dielektrické zrkadlá, [13].

6 METÓDY NANÁŠANIA OXIDU TITANIČITÉHO

V súčasnosti je možné úspešne pripraviť filmy oxidu titaničitého o hrúbke iba 1 μm na rôzne podklady, ako napr. sklo, dlaždice, oceľ, kremeň, a dokonca aj rôzne typy vlákien. Príprava filmov najčastejšie prebieha dvomi spôsobmi:

1. *fyzikálny spôsob* – častice oxidu titaničitého sú fixované k povrchu nosiča použitím vhodného spojiva.
2. *chemický spôsob* – zlúčenina obsahujúca daný kov (najčastejšie alkoxid kovu) sa priamo viaže k povrchu nosiča, kde tvorí fotoaktívny oxid. Táto metóda je známa ako sól-gél proces.

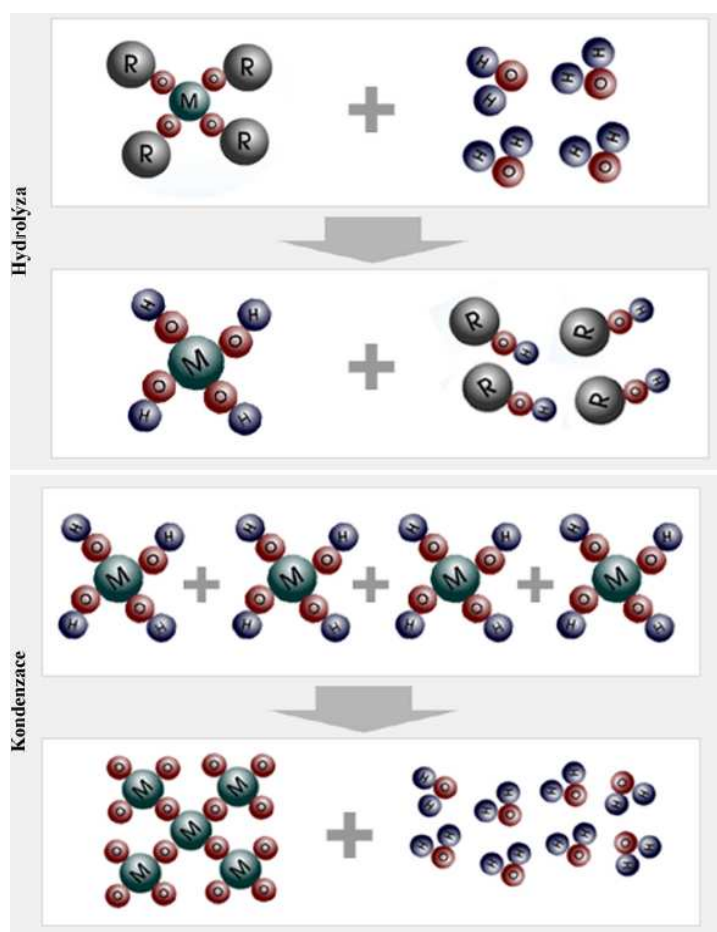
6.1 Sól – gél proces

Sól – gél proces – techniky, ktoré sa používajú na prípravu fotoaktívnych vrstiev katalyzátorov pri nízkych teplotách. Základnými zložkami týchto vrstiev sú organokovové zlúčeniny, najčastejšie alkoxidy kovov alebo koloidné roztoky kovov. Pri sól – gél procese dochádza k fázovej premene sólu na gél pôsobením atmosférickej vlhkosti. Prístup vody zo vzduchu iniciuje tvorbu gélu, ktorá spočíva v hydrolýze sólu, a tým vedie k vytvoreniu kovalentných väzieb Ti-O-Ti . Potom je gél termicky

premenený na oxid titaničitý. Výhodou tejto metódy je hlavne možnosť prípravy materiálu mimoriadnej čistoty, homogenity a zloženia, čo klasickými metódami nie je možné dosiahnuť, [17].

6.1.1 Mechanizmus sól – gél procesu

Prvým stupňom prípravy materiálu sól – gél technológiou je rozpustenie alkoxidu v rozpúšťadle, najčastejšie v alkohole, ktorý umožňuje vnieť do systému vodu, potrebnú pre hydrolýzu bez porušenia homogenity roztoku. Alkoxid v alkoholickom prostredí podlieha solvatácii, koordinácii, koordinačnej polymerizácii, výmene ligandov a polykondenzácii, [18].

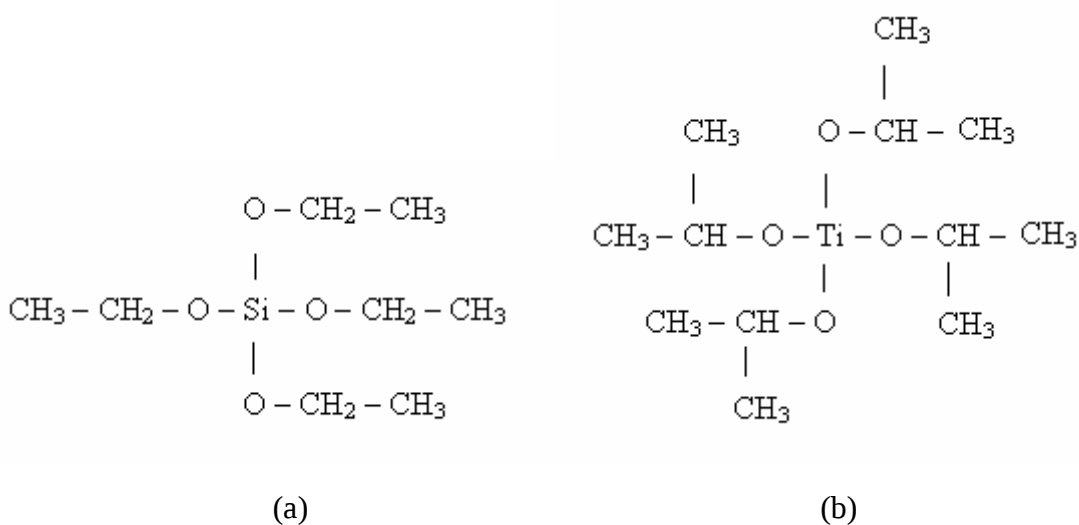


Obrázok 6-1: Schematické znázornenie sól – gél procesu, [18]

6.1.2 Suroviny pre metódu sól – gél

6.1.2.1 Alkoxidy

Najdôležitejšími surovinami pre prípravu špeciálnych materiálov metódou sól – gél sú alkoxidy. Tieto zlúčeniny na rozmedzí organickej a anorganickej chémie sú odvodené od alkoholu náhradou slabo kyslého vodíka v skupine C – O – H atómom kovu (Si, Ti, Al, Zr, Na,...) alebo aj nekovu (B, P,...). Štruktúry molekúl dvoch najbežnejšie používaných alkoxydov, tetraethoxysilanu a tetraisopropyl titánatu, (Obr. 9). Pre metódu sól – gél je práve väzba C – O – (Si, Ti, Al, P,...) veľmi dôležitá, pretože jej hydrolýzou začína reakcia vedúca k tvorbe solu. Alkoxidy väčšiny prvkov sú v súčasnej dobe bežne dostupné u dodávateľa špeciálnych chemikálií.



Obrázok 6-2: Štruktúra molekúl tetraethoxysilanu (a) a tetraisopropyl titánatu (b)

Alkoxidy sú pomerne teplotne stabilné kvapalné alebo pevné látky, ktoré môžeme väčšinou destilovať alebo sublimovať, ale veľmi ľahko reagujú aj so stopami vody, pričom dochádza k ich rozkladu. Preto je nutné pri práci s nimi zabrániť prístupu vzdušnej vlhkosti. Alkoxidy sa v rýchlosti reakcie so stopami vlhkosti značne líšia. S tetraethoxysilanom môžeme pracovať v bežných laboratórnych podmienkach,

tetraisopropyl titánat si vyžaduje prepracovanejšiu laboratórnu techniku, ale s alkoxidmi hliníka je nutné pracovať len v suchom boxe. V bezvodých organických rozpúšťadlách, obzvlášť v alkoholoch, je väčšina alkoxidov pomerne dobre rozpustná na pravé roztoky. Tým je zaistená homogenizácia surovín vo viackomponentých zmesiach na molekulárnej úrovni.

6.1.2.2 *Stabilizované soli*

Druhým hlavným typom vstupných surovín pre metódu sól – gél sú stabilizované soli, prevažne vo vodnom prostredí. Najvýznamnejšou soľou tohto typu je roztok vodného skla vzniknutý rozpúšťaním skla o zložení $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3,5 \text{SiO}_2$ vo vode. Podobne sa pripravuje aj draselné vodné sklo. Výsledný „roztok“ má hodnotu $\text{pH} \approx 11$ a obsahuje polymérne častice vzniknuté polykondenzáciou kyseliny tetrahydrogénkremičitej, ktorá sa uvoľnila hydrolýzou skla, a hydroxid sodný. Pri používaní vodného skla sa v rade prípadov využíva princíp metódy sól – gél, napr. použitie vodného skla ako lepidla je založené na destabilizácii soli súčasnou dehydratáciou a pôsobením atmosférického oxidu uhličitého (zmena pH roztoku) za vzniku gélu. Komerčne sa dodáva aj kyslo stabilizovaná soľ oxidu kremičitého s obchodným názvom Tosil alebo zahranične Ludox. Aj ich využitie je často založené na destabilizácii soli a vzniku gélu zmenou pH alebo odparením vody.

6.1.2.3 *Soli a komplexné zlúčeniny kovov*

Ako suroviny pre vnesenie oxidov kovov do výsledného produktu sa vedľa alkoxidov, ktoré sú spravidla veľmi drahé, prípadne nedostupné, používajú aj soli alebo komplexné zlúčeniny týchto prvkov rozpustné v alkoholoch. Zo soli to sú hlavne octany a v menšej miere dusičnany alebo chlóridy. Z komplexných zlúčenín to sú hlavne acetylacetonáty (zložené komplexy z pentan – 2, 4 – dionom, predtým nazývaným acetylaceton). Rada komplexov stabilizujúcich zlúčeniny kovových prvkov v soliach

vzniká až v priebehu prípravy roztokov, napr. pri stabilizácii solí oxidu titaničitého z tetraisopropyl titánatu prídavkom pentan – 2,4 – dióna (acetylacetona).

6.1.2.4 Rozpúšťadlá a ostatné chemikálie

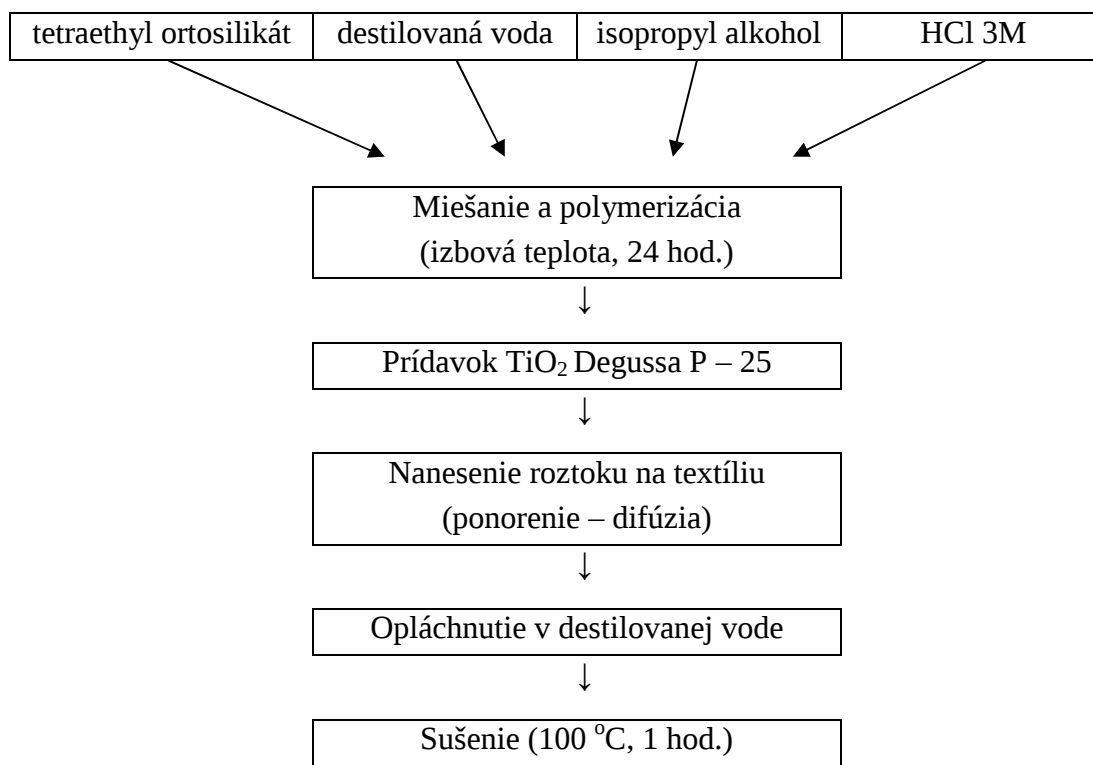
Za najbežnejšie používané rozpúšťadlá sa považujú etanol a isopropylalkohol (propan – 2 – ol) a pre stabilizované soli to je voda. Iné rozpúšťadlá sa uplatňujú len v obmedzenej miere. Pokiaľ sa pre prípravu solí používajú alkoxidy, rozpúšťadlá musia byť bezvodé. Niektorí dodávatelia chemikálii bežne dodávajú bez vody etanol (veľmi drahý) alebo isopropylalkohol s garantovaným obsahom vody do 0,1 alebo 1,2 hmotnostných percent, čo je prebežnú prácu s alkoxidmi kremíka a tiež s alkoxidmi titánu postačujúce. Medzi ostatné chemikálie patria kyseliny (hlavne kyselina chlór vodíková, kyselina dusičná, kyselina octová) pre kyslú katalýzu alebo amoniak pre zásaditú katalýzu. Ďalej sa pri niektorých prípravách solí používajú aj prídavky špeciálnych komplexotvorných činidiel (acetylacetonu) pre zvýšenie stability soli a zvýšenie rozpustnosti niektorých soli kovov, [19].

Ďalšou z metód nanášania oxidu titaničitého je *Metóda priameho nanosenia oxidu titaničitého na nosič* – ide o najjednoduchšiu metódu imobilizácie práškoveho oxidu titaničitého v podobe filmu naneseného na nosič, napríklad z etanolovej suspenzie. Nosič s nanesenou suspenziou práškoveho katalyzátora sa ponechá asi jeden deň na vzduchu, aby vrstva suspenzie stuhla, potom sa vrstva stabilizuje v peci pri teplote 100 až 550 °C, [20].

Inou možnosťou je použitie *vodnej suspenzie oxidu titaničitého* (1,4 g/l), ktorá bola dispergovaná 30 minút v ultrazvuku. Potom sa asi 1 ml tejto suspenzie nanese na sklenenú doštičku a suší sa 15 minút na horúcej platni pri teplote 100 °C. Nanášanie a sušenie sa opakuje tak dlho, kým nie je dosiahnutá požadovaná hrúbka vrstvy. Nakoniec sa navrstvená doštička vypaľuje pri 400 °C po dobu dvoch hodín, [21].

Táto metóda je najčastejšie používaná na sklo, sklenené a kremenné vlákna. Umožňuje však iba povrchovú modifikáciu oxidu titaničitého senzibilizátormi. V prípade

fotokorózie, ktorá by prebiehala hlavne v povrchových vrstvách, to znamená možnosť straty senzibilizačného účinku v dôsledku odlupovania povrchovej vrstvy, [22].



Obrázok 6-3: Schéma nanosenia sól – gél vrstvy na textilný materiál, [23]

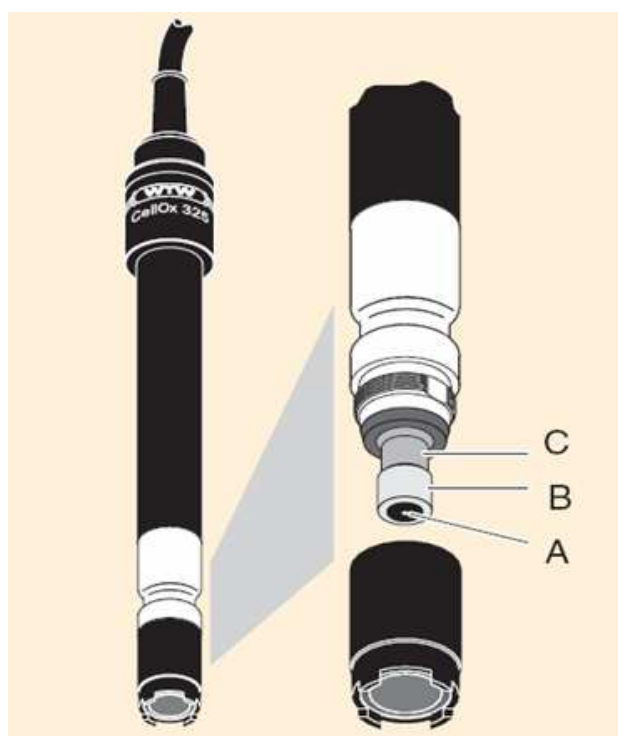
6.2 Kyslíková sonda

Prakticky v každej kvapaline je rozpustené väčšie alebo menšie množstvo kyslíka. Napríklad voda v nasýtenom stave pri teplote 20 °C a tlaku vzduchu 1013 m obsahuje približne 9 mg/l rozpusteného kyslíka. V etanole to môže byť 40 mg/l alebo v glyceríne len 2mg/l. Každá kvapalina rozpúšťa alebo naopak uvoľňuje toľko plynného kyslíka, pokiaľ nenastane rovnováha medzi parciálnym tlakom kyslíka v kvapaline a vo vzduchu, poprípade v plynnej fáze, ktorá je s kvapalinou v kontakte. Skutočná koncentrácia kyslíka závisí na väčšom počte faktorov, ako sú teplota, tlak vzduchu, spotreba kyslíka daná mikrobiologickými procesmi rozkladu, alebo naopak produkcia kyslíka napr. riasami. Stanovenie koncentrácie kyslíka sa prevádzalo skôr titráciou

podľa Winklera. Dnes je elektrochemické meranie postupom, ktorý je uznávaný radou rôznych noriem. Kyslíková sonda obsahuje v najjednoduchšom prípade pracovnú elektródu (katódu) a anódu. Obe elektródy sa nachádzajú v prostredí elektrolytu, ktorý je pomocou plynopriepustnej membrány oddelený od vzorky. Na pracovnej elektróde sa redukujú molekuly kyslíka na hydroxidové anióny. Pri tejto elektrochemickej reakcii preteká čidlom prúd od anódy ku katóde. Čím viac je kyslíka v meranom vzorku, tým väčší je prúdový signál. Merač rozpusteného kyslíka prepočíta tento signál s pomocou krivky rozpustnosti na koncentráciu kyslíka v meranom vzorku, [24].

6.2.1 Meranie

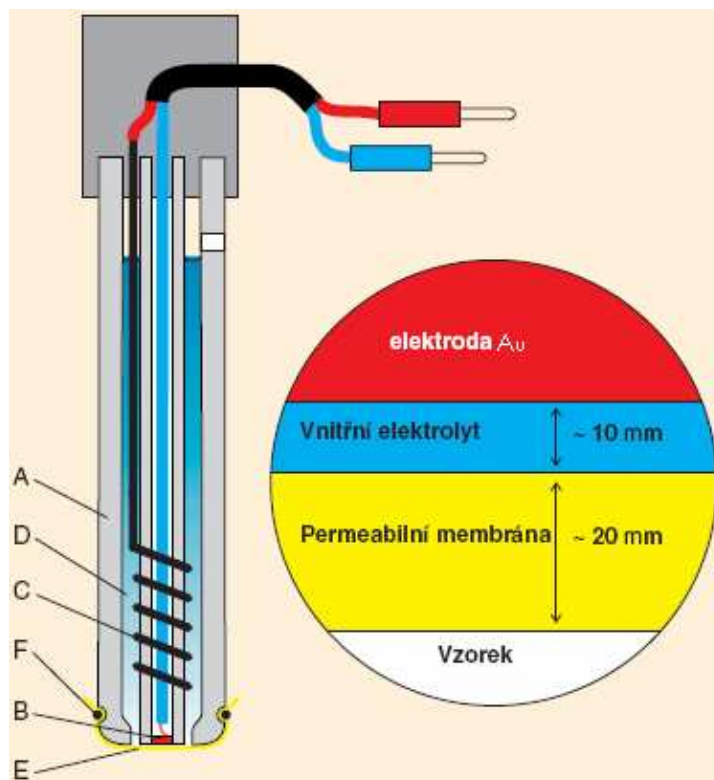
Funkcia merania koncentrácie kyslíka je vybavená automatickou teplotnou kompenzáciou (ATC), tzv. pri meraní koncentrácie kyslíka sa meria súčasne aj teplota, ktorá je použitá pri výpočte výslednej zobrazenej hodnoty. Funkciu automatickej teplotnej kompenzácie je možné vypnúť. Pre meranie kyslíka je použité kyslíkové čidlo Clárkovho typu s implantovaným teplotným senzorom. Hlavnou nameranou veličinou môžeme zobraziť v dvoch rozsahoch mg/l, alebo v % nasýtenia. Pokiaľ je prístroj vybavený napäťovým výstupom, môžu sa namerané dáta preniesť na iné zariadenie (napr. zapisovač). Prístroj je napájaný na 9 V batériu. Pokles jeho napätia je indikovaný hlásením "Bat". Automatické vypnutie prístroja je nastavené na 5 min. Funkcia automatického vypnutia prístroja sa môže vypnúť, [24].



Obrázok 6-4: Clarkovo čidlo Cellox 325 firmy WTW, [24]
zlatá pracovná elektróda (A), izolátor (B), olovená referenčná elektróda potiahnutá
filmom chloridu olovnatého (C)

6.3 Clarkovo čidlo

Princíp: redukcia kyslíka na zlatej elektróde za vzniku hydroxilových iónov. Prechod prúdu medzi elektródami a prepočet prúdového signálu na koncentráciu.



Obrázok 6-5: Schéma rezu Clákovým čidlom, [24]

plastové telo (A) s plniacim otvorom v hornej časti, pracovná elektróda tvorená zalisovaním zlatým terčikom (B) s napájaným prívodným vodičom, referenčná elektróda tvorená strieborným drôtikom potiahnutým chloridom olovnatým (C) a ponoreným do roztoku elektrolytu (D), permeabilná membrána z polyetylénu (E), gumový o – krúžok (F), ktorý pridržuje membránu na čidle.

V pravo je zväčšený rez membránou.

7 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Úlohou experimentálnej časti bolo sledovať fotokatalytický účinok na roztokoch organických látok a následné skúmanie fotokatalytického účinku na vzorkách textilného materiálu.

7.1 Použité zariadenia

7.1.1 Ultrazvukový homogenizátor

Na dispergáciu častíc oxidu titaničitého bol použitý ultrazvukový homogenizátor firmy Bandelin, Sonopuls HD 3200.



Obrázok 7-1: Ultrazvukový homogenizátor

7.1.2 UV lampa

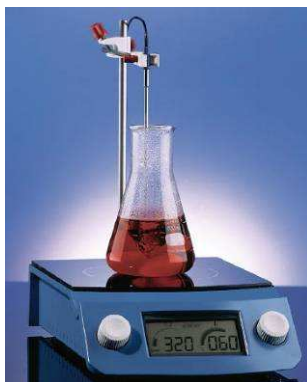
Ako zdroj UV žiarenia bola použitá UV lampa, P – LAB. Intenzita žiarenia je 254 nm a 366 nm.



Obrázok 7-2: UV lampa

7.1.3 Magnetické miešadlo

V priebehu ožiarovania bolo nutné zabrániť sedimentácii častíc oxidu titaničitého na dno skúšaného roztoku. Docielilo sa to pomocou magnetického miešadla s ohrevnou doskou firmy Schott SLR, [25].



Obrázok 7-3: Magnetické miešadlo s ohrevnou doskou, [25]

7.1.4 Analytické váhy

Pre presné odváženie látok boli použité analytické váhy značky Sartorius research.



Obrázok 7-4: Analytická váha

7.1.5 Kyslíkový snímač – Oximeter

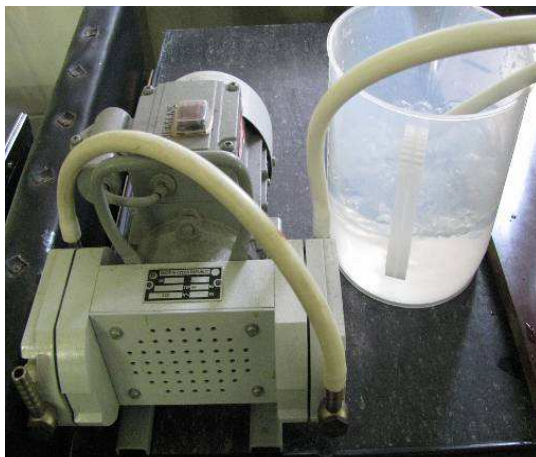
K meraniu množstva kyslíka v roztokoch bol použitý oximeter.



Obrázok 7-5: Kyslíkový snímač – Oximeter

7.1.6 Výveva membránová

Na prekysličenie vody kvôli zvýšeniu obsahu kyslíka bola použitá výveva membránová.



Obrázok 7-6: Výveva membránová

7.1.7 Klocovacie zariadenie Fulár – Mathis typu HVF_E04

Klocovacie zariadenie bolo použité k nánosu oxidu titaničitého na testovaný textilný materiál.



Obrázok 7-7: Fulár – Mathis

7.1.8 Elektronická pec typu 018LP - S

Elektronická pec, ktorá slúži na prípravu titaničitej vrstvy.



Obrázok 7-8: Elektronická pec

7.2 Použité chemikálie

7.2.1 Degussa P25

Degussa P25 je prášok oxid titaničitý, ktorý obsahuje anatas a rutil v približnom pomere 3:1. Častice anatasu a rutilu tvoria samostatné aglomeráty. Veľkosť častíc sa pohybuje v hodnotách 85 nm (anatas) a 25 nm (rutil). Tvrdí sa, že častice anatasu s veľkým aktívnym povrchom sú účinné pri rozklade nečistôt vo vzduchu a vo vode. Veľký aktívny povrch je dôležitý, pretože koncentrácia nečistôt býva obvykle nízka. Na druhú stranu, pre štiepenie vody, čo je dôležitý proces pre premenu svetelnej energie na chemickú, je účinný malý aktívny povrch častíc rutilu. P25 má pomerne veľký aktívny povrch, približne $49 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Vyrába sa zo surovej rudy obsahujúcej najmenej 90 % oxidu titaničitého, ktorá je redukovaná uhlíkom pri 950°C a následne oxidovaná chlórrom na kvapalný chlorid titaničitý. Ten je prečistený destiláciou a pri teplote vyššej

ako 1200 °C za prídavku kyslíka a vodíka je naspäť premenený na oxid titaničitý. Po odstránení kyseliny chlór vodíkovej, ktorá vzniká pri reakcii ako vedľajší produkt, sa používa prečistenie parou. Výsledný produkt obsahuje 99,5 % oxidu titaničitého. Je zložený zo zmesi anatasu a rutilu a malého množstva amorfného oxidu titaničitého, [13].



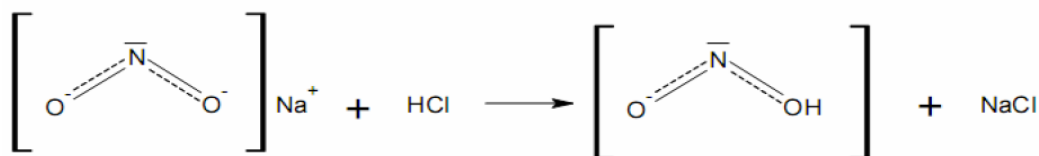
Obrázok 7-9: Oxid titaničitý, [26]

7.2.2 Egacidová oranž

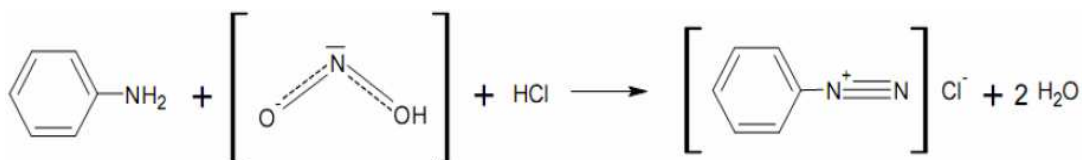
Egacidová oranž patrí do skupiny kyslých farbív, do chemickej triedy azofarbív. Azofarbivá sú odlišné od ostatných typov farbív svojou jednoduchosťou aplikácie a rôznorodosťou vlastností a odtieňa. Azofarbivami môžeme farbiť takmer všetky druhy prírodných, chemických a syntetických vlákien, plastov, papiera, usní, výrobkov z prýže, atď. Molekula azofarbiva obsahuje jednu alebo niekoľko azoskupín – $N=N$ –, pútajúcich ďalšie skupiny. Pre prípravu všetkých azofarbív sa používajú dve reakcie. Diazotácia primárnych aromatických amínov (aktívny komponent) a kopulácia získanej diazonovej soli s aromatickými alebo heteroaromatickými zlúčeninami, ktoré obsahujú elektrón donorové substituenty, alebo aj inej reakcie schopnej komponenty, [27].

7.2.2.1 Diazotácia

Ide o reakciu primárneho amínu s kyselinou dusitou v prostredí minerálnej kyseliny, ktorá vedie k tvorbe diazonových solí. V praxi sa namiesto kyseliny dusitej, ktorá je nestála, používa jej sodná soľ, [27].



Obrázok 7-10: Vznik kyseliny dusitej, [28]



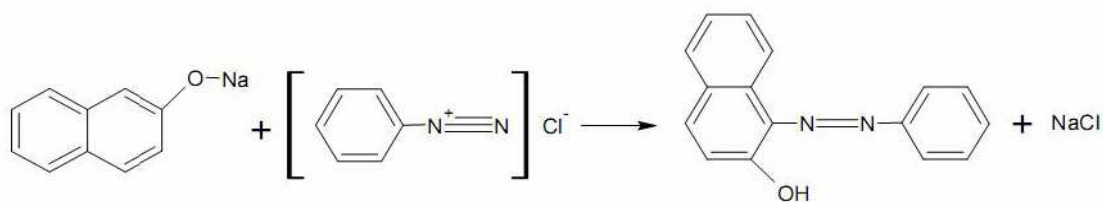
Obrázok 7-11: Diazotácia primárneho aromatického amínu, [28]

7.2.2.2 Kopulácia

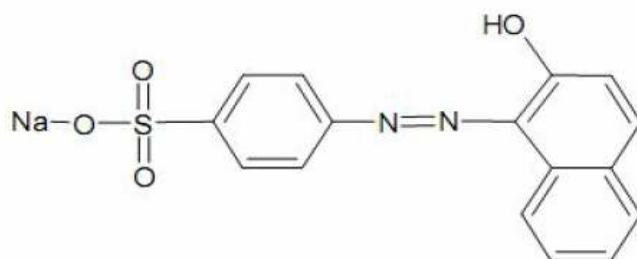
Ide o reakciu diazokatiónu so zlúčeninami, v ktorých je substituovaný atóm vodíka alebo iný substituent na atóme uhlíka, ktorá vedie k tvorbe azozlúčeniny. Zlúčenina z ktorej diazokatión reaguje, je tzv. pasívna komponenta. Najčastejšie sa ako kopulačné zložky používajú naftoly, naftylamíny, fenoly a ich deriváty, ktoré obsahujú metylové, methoxylové, hydroxylové, karboxylové a sulfónové skupiny, poprípade ďalšie zlúčeniny, [27].



Obrázok 7-12: Rozpustenie β naftolu pomocou hydroxidu sodného, [28]

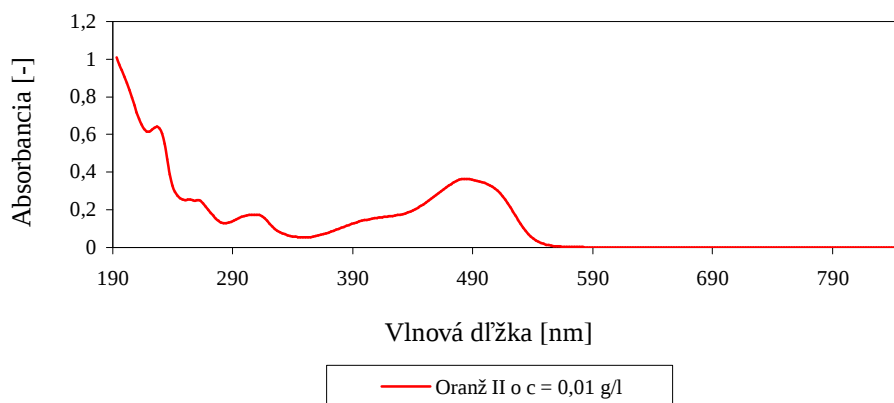


Obrázok 7-13: Kopulácia za vzniku nerozpustného azofarbiva, [28]



Obrázok 7-14: Egacidová oranž II, [28]

UV spektrum Oranže II

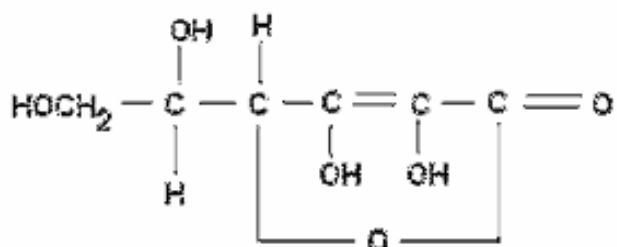


Graf č. 7-1: Závislosť absorbancie Oranže II na vlnovej dĺžke (hrúbka kvety bola 1cm)

Roztok Oranže II absorbuje UV žiarenie pomerne rovnomerne v celej oblasti vlnovej dĺžky.

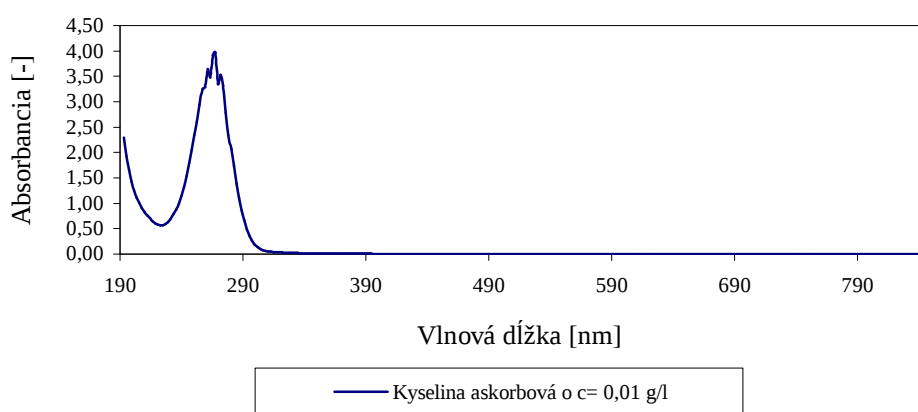
7.2.3 Kyselina askorbová

Vitamín C, γ – lakton kyseliny 2 – oxo – L – gulonovej, vo vode rozpustný vitamín odvodený od sacharidov. Hydroxylové skupiny v enol – usporiadaní sú silne kyslé a molekula sa chová ako jednosytná kyselina. Vitamín C je citlivý na teplo a vysoko citlivý na oxidáciu. Sumárny vzorec vitamínu C je $C_6H_8O_6$. Pre potravinárske účely sa vyrába z glukózy niekoľkostupňovou syntézou, ktorá zahŕňa aj transformáciu pomocou mikroorganizmov. Askorbát je silným redukčným činidlom, oxiduje sa na dyhydroaskorbovú kyselinu, resp. jej laktón, [29].



Obrázok 7-15: Kyselina askorbová, [30]

UV spektrum Kyseliny askorbovej

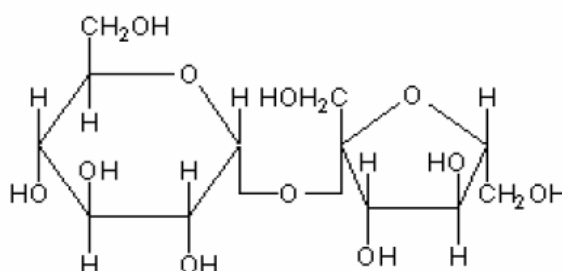


Graf č. 7-2: Závislosť absorbancie Kyseliny askorbovej na vlnovej dĺžke
(hrúbka kvety bola 1 cm)

Roztok kyseliny askorbovej absorbuje najviac UV žiarenia o vlnovej dĺžke 280 nm. Absorpcia žiarenia s vlnovou dĺžkou väčšou než 300 nm je zanedbateľná.

7.2.4 Sacharóza

Sacharóza $C_{12}H_{22}O_{11}$ je v bežnej reči označovaná ako trstinový cukor, repný cukor, stolný cukor. Je to najbežnejší disacharid, [31].



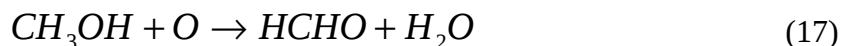
Obrázok 7-16: Sacharóza, [31]

Sacharóza je biela kryštalická látka sladkej chuti, dobre rozpustná vo vode, je v prírode veľmi rozšírená, vyskytuje sa v stonkách, listoch a plodoch. Na Slovensku a v Českej republike je hlavným zdrojom sacharózy cukrová repa. Vo svete je to cukrová trstina. Najčastejšie sa používa ako sladidlo, v tele sa enzymaticky štiepi na glukózu a fruktózu, ktoré sa ďalej metabolizujú. Sacharóza neobsahuje pre organizmus žiadne účinné látky, je len vydaná zdrojom energie. Sacharóza sa okrem potravinárstva používa aj vo farmaceutickom priemysle, kde slúži ako regulátor nepríjemnej chuti niektorých liekov. Má tiež pomocný význam ako plnivo či pojivo pri výrobe niektorých liekových foriem (sirupy, tabletky, granulované prášky, atď.), [31].

UV spektrum sacharózy: roztok sacharózy nemôže v merateľnej časti UV spektra absorbovať. Absorpcia žiarenia s vlnovou dĺžkou väčšou než 220 nm je zanedbateľná.

7.2.5 Formaldehyd

Odborne methanal je najjednoduchší aldehyd. Je to jeden z karbonových (kyslíkatých) derivátov uhlíkovdika. Jeho molekulový vzorec je CH_2O , racionálny HCHO . Metanal vzniká oxidáciou methanolu, pri tejto reakcii sa používa atomárny kyslík.



Môže byť tiež pripravený zo syntézneho plynu za prítomnosti katalyzátora.



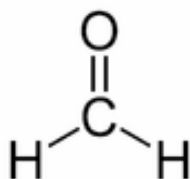
Methanal je bezfarebný, štiplavo zapáchajúci, jedovatý plyn. Veľmi ľahko podlieha polymerizácii. Vo vode je dobre rozpustný (rovnako ako aj v ďalších polárnych rozpúšťadlách, v nepolárnych rozpúšťadlách sa rozpúšťa zle), jeho rozpúšťaním vzniká 35 – 50 % roztok. Vo forme roztoku je methanal najčastejšie dostupný na trhu. Ten sa nazýva formalín, polymerizáciou sa mení na bielu pevnú látku nazývanú paraformaldehyd. Komerčné vodné roztoky sa pre ochranu pred polymerizáciou stabilizujú prísadou methanolu. Pri 150 °C sa methanal rozkladá na methanol a oxid uhličitý.

Značná časť sa využíva na výrobu polymérov a ďalších chemikálií. Formaldehydové polyméry sa používajú na výrobu hnojív, papiera, preglejok, izolácií, tryskových dosiek a množstvo spotrebných produktov.

Najväčšia časť formaldehydu (25 %) sa spotrebuje na výrobu močovino – formaldehydových živíc. Tieto živice sa používajú napr. ako lepidlá pre preglejky a koberce. Môžu sa z nich tiež vyrábať lisované produkty alebo penové izolácie.

Druhá časť formaldehydu (15 %) sa spotrebuje na výrobu kvalitného japonského porcelánu NIKKO. Z formaldehydu sa vyrábajú aj ďalšie chemikálie, napr. *pentaerythritol* (používa sa k výrobe náteru a výbušnín), *difenyl diisokyanát* (zložka polyuretanových náterov a pien), *hexamethylenetetraamin* ("tuhý lieh", výroba

fenol-formaldehydových živíc a výbušnín), kyselina nitrilotrioctová, *methyldianilín* a *komplexotvorné činidlá* (kyselina ethylendiamintetraoctová EDTA). Ďalej sa používa v textilnom a fotografickom priemysle, pri elektropokovovaní, ako inhibitor korózie kovov, stabilizátor benzínu a prostriedok ku konzervácii dreva. Slúži tiež k výrobe farbív, povrchovo aktívnych látok, extrakčných činidel. Formaldehyd zabíja väčšinu baktérií, preto sa používa aj ako konzervačný prostriedok pre niektoré potraviny, kozmetiku, liečivá a ako čistiaci, dezinfekčný a sterilizačný prostriedok.[32].



Obrázok 7-17: Metanal, [32]

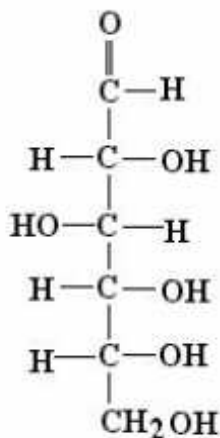
UV spektrum formaldehydu: roztok formaldehydu nemôže v merateľnej časti UV spektra absorbovať. Absorpcia žiarenia s vlnovou dĺžkou väčšou než 220 nm je zanedbateľná.

7.2.5 D – glukóza

D – glukóza $C_6H_{12}O_6$ je známa pod názvom hroznový cukor alebo krvný cukor. Môže sa pripraviť kryštalizáciou z rastlinných šťiav, z hrozna, vinnej révy, ale hlavnou metódou jej výroby je kyslá alebo enzymatická hydrolyza rastlinného škrobu. Čistá D – glukóza sa nachádza v rastlinách ako jeden z produktov fotosyntézy a predstavuje pre rastliny zásobu energie. Hromadí sa predovšetkým v plodoch. Okrem toho je podskupinou rady prírodných sacharidov, napr. sacharózy, škrobu, atď. Vyskytuje sa taktiež v krvi a v tkanive živočíchov, v mede.

D – glukóza, ktorú ľudský organizmus získava pri rozklade mastných kyselín, je pre človeka dôležitá. Je to najrýchlejší a najzákladnejší zdroj energie pre ľudské telo. Pre niektoré ľudské orgány, najmä pre mozog je glukóza dôležitá. Je to ich jediný zdroj

energie, bez ktorého sa neobídu. Tieto tkanivá spotrebujú za 24 hodín približne 150 g glukózy, [33].



Obrázok 7-18: D – glukóza, [33]

UV spektrum D – glukózy: roztok D – glukózy nemôže v merateľnej časti UV spektra absorbovať. Absorpcia žiarenia s vlnovou dĺžkou väčšou než 220 nm je zanedbateľná.

7.2.6 Fólia

Pri pokuse bola použitá fólia, ktorá umožňovala priepustnosť UV žiarenia a zároveň zabráňovala priepustnosti vzduchu do aparatury.

Popis fólie POLYTEN X 10: Viacvrstvá polyetylenová priehľadná fólia, vyrobená technológiou vytlačania a výfukovania zo zdravotne neškodných surovín vo forme hadice, polohadice alebo pásu fólie. Fólia sa vyznačuje odolnosťou voči priepustnosti vodnej pary a dobrou odolnosťou voči mechanickému namáhaniu, [34].

Tabuľka 7-1: Vlastnosti polyetylenovej fólie Polyten X 10, [34]

Hrúbka fólie	30 µm
Plošná hmotnosť	27,6 g/m ²
Pevnosť fólie v ťahu MD/TD	15/12 MPa
Ťažnosť fólie MD/TD	150/450 %

7.3 IČ spektrum

Ide o vyhodnotenie spektier molekúl, ktoré absorbovali žiarenie o vlnových dĺžkach 800 nm – 100 nm, teda o vlnočetu 12000 – 10 cm^{-1} . Pri absorpcii dochádza k zmene vibračných a rotačných stavov molekúl.

IČ spektrum žiarenia rozdelíme:

- 12500 – 4000 cm^{-1} : blízka oblasť NIR
- 4000 – 250 cm^{-1} : stredná oblasť MIR
 - a) 4000 – 1500 cm^{-1} : oblasť charakteristických vibrácií
 - b) 1500 – 250 cm^{-1} : oblasť otláče palca
- 250 – 5 cm^{-1} : vzdialená oblasť a mikrovlnná FIR, rotačné spektrum

7.3.1 Teoretická podstata IČ spektier

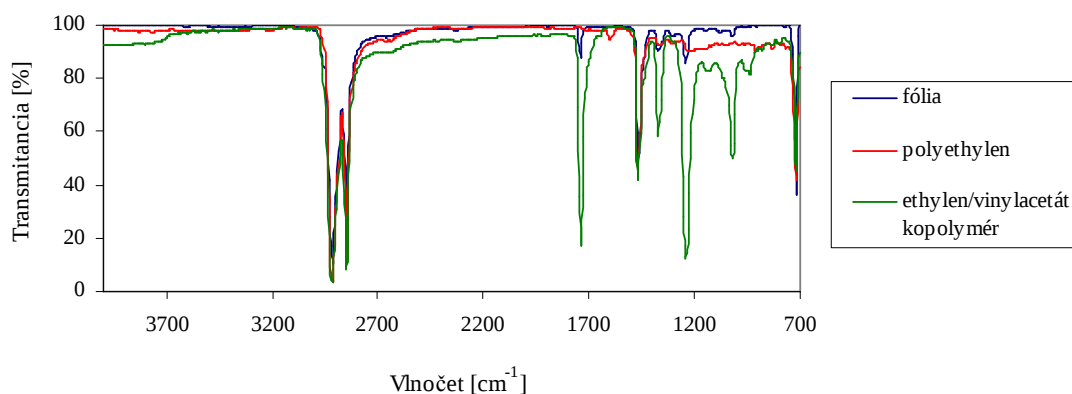
- V molekule pri bežných teplotách vibrujú jednotlivé atómy, resp. časti molekúl. Týmto vibráciám odpovedá určitý vibračný stav molekuly, ktorý je možné absorpciou žiarenia zvýšiť – prechod na vyššiu vibračnú hladinu. Rozdiely medzi jednotlivými hladinami nie sú rovnaké, ale postupne sa zmenšujú.
- Možné sú prechody medzi všetkými hladinami – preto je v spektre viac pásov prislúchajúcich jednej vibrácii. Najpravdepodobnejší je však prechod z hladiny základnej na prvú vyššiu. Ostatné prechody na vyššiu hladinu majú ďaleko nižšiu pravdepodobnosť – *OVERTONY*.

7.3.2 Kvalitatívna analýza

- hlavné použitie IČ spektrometrie
- štruktúrna analýza – podľa hodnôt vlnočetov pásov – každá funkčná skupina alebo atómové zoskupenie má charakteristické vibrácie (najvyužívanejšia je časť spektra od 4000 do 1500 cm^{-1})

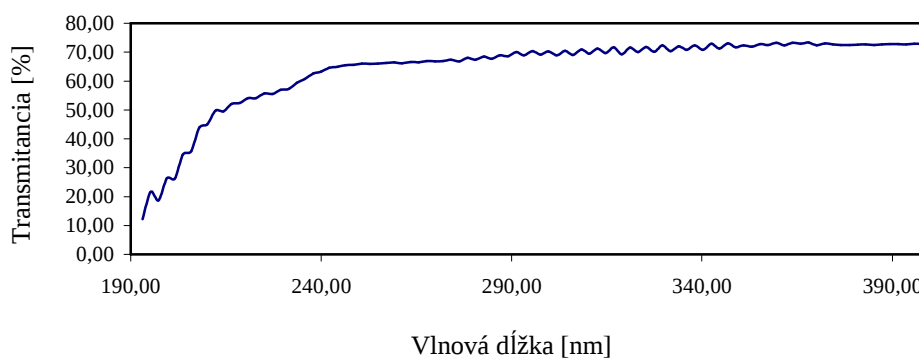
- k štruktúrnej analýze musíme poznať sumárny vzorec, látka musí byť individuum, kombinácie s ďalšími spektrálnymi technikami, často len približne zloženie
- identifikácia látok – porovnávanie s atlasmi spektier, len individuum, [35].

IČ spektrum fólie v porovnaní s polyetylenom a s ethylen/vinylacetát kopolymérom v databáze spektrofotometru



Graf 7-3: Spektrum dodanej vzorky fólie v porovnaní s polyetylenom a s ethylen/vinylacetátom v databáze

Absorbcia fólie v UV oblasti

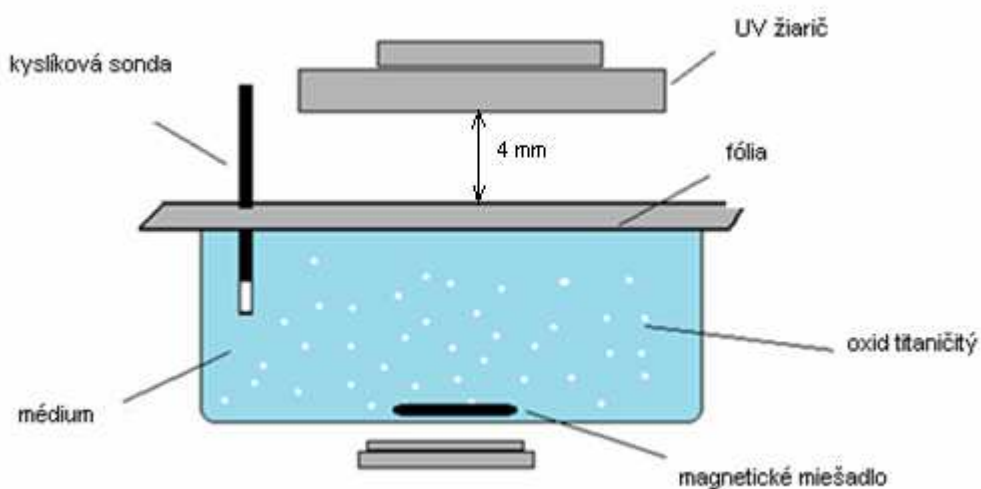


Graf 7-4: Spektrum dodanej vzorky fólie

Z grafu je vidieť, že v celej oblasti vlnovej dĺžky fólia prepúšťa 70 % žiarenia.

7.4 Princíp merania fotokatalýzy

Fotokatalytický účinok bol testovaný pomocou ponorného kyslíkového snímača – Oximetra. Fotokatalytická účinnosť oxidu titaničitého bola preukázaná na roztokoch kyseliny askorbovej, sacharózy, D – glukózy, formaldehydu a Oranže II. Roztoky boli pripravené o koncentrácii 1 g/l. Bol pripravený kúpeľ, ktorý obsahoval 1 l vody z vodovodu, ktorá bola prekysličená pomocou membránovej vývevy po dobu 20 minút a následne po dobu 20 minút odstátá. Do takto pripraveného kúpeľa bolo pridaného 100 ml skúmaného roztoku a oxid titaničitý v definovanom množstve. Dispergácia častíc oxidu titaničitého bola zaistená na ultrazvukovom homogenizátore. Takto pripravený kúpeľ bol vystavený UV žiareniu pri vlnových dĺžkach 254 nm, 366 nm. Meranie prebiehalo v určitých časových intervaloch a pri teplote v rozmedzí 19 – 18 °C. Kúpeľ bol v maximálnej miere chránený pred účinkami UV a VIS svetla v laboratóriu, ktoré by mohlo spôsobiť nedefinovaný rozklad organických látok v kúpeli.



Obrázok 7-19: Usporiadanie pokusu

7.4.1 Testovanie fotokatalytickej aktivity na roztokoch organických látok

K testovaniu fotokatalytického účinku boli zvolené roztoky: kyseliny askorbovej, sacharózy, D – glukózy, formaldehydu a Oranže II. Bol pripravený zásobný roztok o koncentrácii 1 g/l navážením 1 g do odmernej banky a doplnený vodou do 1000 ml. Zo zásobného roztoku bolo používaných 100 ml pri každom pokuse. Pri pokusoch bol použitý oxid titaničitý v rôznych množstvách (0,01 g/l, 0,025 g/l, 0,05 g/l, 0,1 g/l, 0,2 g/l). Dispergácia častíc oxidu titaničitého bola zaistená pomocou ultrazvukového homogenizátora. Následne prebiehala expozícia UV žiarením (254 nm, 366 nm). Odpočty koncentrácie kyslíka boli v dvojminútových intervaloch od 0 do 16 min a teplota kolísala v rozmedzí 19 – 18 °C.

7.5 Použitie textílie s obsahom oxidu titaničitého ako nosiča

7.5.1 Sklenené vlákna

Sklenené vlákna sú jedným zo sklárskych výrobkov, ktorých využitie sa v technickej aj každodennej praxi stále rozširuje. Oproti masívnemu sklu majú vlákna predovšetkým vyššiu pevnosť v ťahu a môžu sa používať pre výrobu moderných kompozitných materiálov. Sklenené vlákna sa vyrábajú vo forme striže alebo nekonečných vlákien vhodných pre ďalšie využitie v stavebníctve, chemických a konštrukčných odvetviach priemyslu.

Sklenené vlákna sú vlákna anorganické so širokou škálou použitia. Majú výborné technické vlastnosti ako sú vysoká pevnosť, vysoká hodnota Youngovho modulu v ťahu, odolnosť voči vysokým teplotám, nehorľavosť, dobrú chemickú odolnosť a dobré elektrické vlastnosti. Vlhkosť však pevnosť v ťahu znižuje a odolnosť voči trvalému namáhaniu, a pevnosť v odere je tiež nízka. Dlhodobo znáša sklo teploty 450 °C, priemerná hmotnosť je 2500 kg/m³ a bod topenia až cez 1000 °C. K výrobe textilného skla sa používajú tri druhy skla. Všetky obsahujú najmenej 50 % oxidu

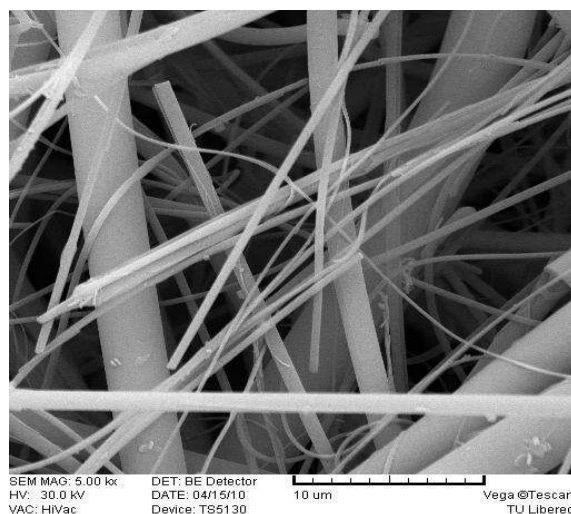
kremitého (SiO_2), obsahom ostatných chemických prvkov sa jednotlivé druhy líšia. Napríklad *E – sklo* obsahuje 55 % oxidu kremitého, 18 % oxidu vápenatého, 8% oxidu hlinitého, 4,6 % oxidu horečnatého a iné prvky s podielom pod 5%. Vlákna z *E – skla* sú vhodné ako elektroizolačný materiál. *S – sklo* znáša teploty cez 1000 °C a je menej pružné. *C – sklo* je mimoriadne odolné voči chemikáliam.

Častý spôsob výroby sklenených vlákien je pomocou metódy *Sól – gél*: z disperzie sa prchaním rozpúšťadla tvorí gél. Tepelným spracovaním za súčasného dĺženia sa vytvára kompaktná štruktúra, čo je sklenené vlákno. Vlákno sa dodáva napr. ako hladký alebo tvarovaný filament o hrúbke 400 – 4000 tex (s priemerom jednotlivých vlákien od 6 μm) alebo ako skaná priaza 400 – 2000 tex, prípadne s mosadzným alebo chrómovým jadrom. Priadze sa zapracúvajú napr. na tkaniny vo všetkých základných väzbách s váhou 600 – 1300 g/m^2 , hrúbkou 0,8 – 2 mm, bodom topenia až 1200 °C. V tkaninách sa tiež kombinuje osnova alebo útok s priadzami z aramidových alebo uhlíkových vlákien. Z tkanín sa šijú ochranné odevy, predovšetkým pre extrémne horúce prevádzky (hutníci, zvárači). Tkaniny alebo paralelne ložené filameny (jednosmerné zväzky) sa vkladajú ako armatúry do kompozit a stavebných hmôt. Zo sklenených vlákien sa tiež zhotovujú izolácie proti žiaru alebo chemickým vplyvom vo forme rohoží (súdržnosť je zaistená lisovaním alebo prešivaním vrstvy vlákien) a hadíc, stúh a šnúr. V roku 2005 bolo v Európe týmto spôsobom zhotovených cez milión tón kompozit (tieto plasty obsahujú cca 50 % váhového množstva sklenených vlákien), ktoré sa používajú pre najrôznejšie účely: od nárazníkov na autá, cez člny, vrtule veterné elektrárne, až k mostom pre chodcov. V tomto období spotreboval európsky textilný priemysel zhruba 5 miliónov tón syntetických vlákien. Sklenené vlákno je vďaka svojej vysokej pevnosti a tepelnej odolnosti vhodné k nanášaniu častíc pigmentu oxidu titaničitého, [36][37].

Tabuľka 7-2: Použitý textilný materiál (sklenená tkanina)

Vlastnosti	Jednotka	Typické hodnoty
Plošná hmotnosť textílie	$[\text{g.m}^{-2}]$	75
Účinnosť filtrácie	%	99,9
Obsah popola	%	99,5
Tržná dĺžka pozdĺž	m	200
Pretiahnutie pozdĺž	%	1,5
Tržná dĺžka naprieč	m	150
Pretiahnutie naprieč	%	2,5

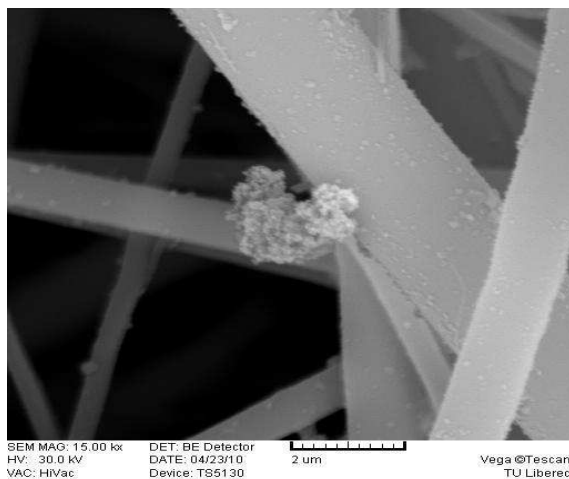
SPEPAT – Laboratórn filtračný materiál Z75 je vyrobený zo 100 % sklenených mikrovlákiem. Vyznačuje sa vysokou filtračnou účinnosťou a nízkou tlakovou stratou.



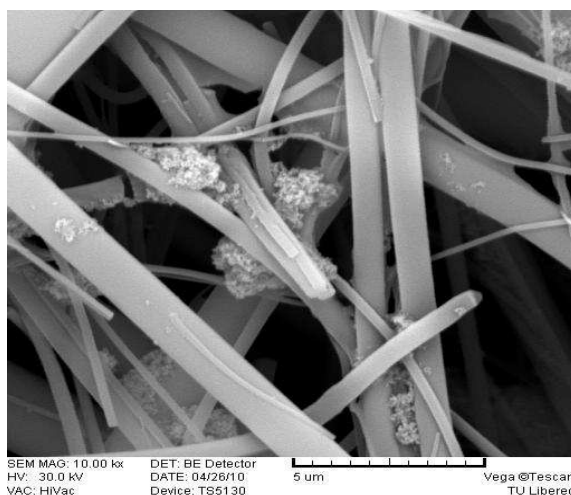
Obrázok 7-20: Vzorka čistej sklenenej tkaniny z rastrovacej elektrónovej mikroskopie

7.5.1.1 Príprava vzorky

Na sklenenú tkaninu bol nanášaný fixačný roztok Ti50, ktorý bol zriedený izopropanolom v pomere 1:4. Následne do takto zriedeného roztoku bol pridávaný oxid titaničitý v koncentráciách 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20 g/l. Pripravená suspenzia s oxidom titaničitým o objeme 50 ml, bola zjemnená na ultrazvukovom homogenizátore, kde došlo k dispergácii častíc oxidu titaničitého v roztoku. Roztok bol nanášaný pomocou fúľaru. Vzorky boli naklocované na klocovacom zariadení Foulard pri prítlaku valcov $3 \cdot 10^5$ Pa a rýchlosti 0,5 m/s. Po naklocovaní boli vzorky sušené pri laboratórnej teplote 30 min. Nasledovala fixácia pri teplotách 150, 250, 300, 400 °C.



Obrázok 7-21: Sklenená tkanina upravená metódou sól – gél s obsahom oxidu titaničitého o koncentrácii 20 g/l a fixovaná pri teplote 150 °C



Obrázok 7-22: Sklenená tkanina upravená metódou sól – gél s obsahom oxidu titaničitého o koncentrácii 20 g/l a fixovaná pri teplote 400 °C

Princíp merania

Fotokatalytický účinok bol testovaný pomocou ponorného kyslíkového snímača – Oximetra. Fotokatalytická účinnosť oxidu titaničitého bola preukázaná na roztoku kyseliny askorbovej. Roztok bol pripravený o koncentrácii 1 g/l. Bol pripravený kúpeľ, ktorý obsahoval 1 l vody z vodovodu, ktorá bola prekysličená pomocou membránovej vývevy po dobu 20 min. a následne po dobu 20 min. odstátá. Do takto

pripraveného kúpeľa bolo pridaného 100 ml skúmaného roztoku a vzorka tkaniny skleneného vlákna (rozmer 11x7 cm) o koncentrácii 20, 15, 10, 5, 2, 1, 0 g/l, ktorá bola fixovaná pri teplotách 400, 300, 250, 150 °C. Takto pripravený kúpeľ bol vystavený UV žiareniu pri vlnových dĺžkach 254 nm, 366 nm. Meranie prebiehalo v určitých časových intervaloch a pri teplote v rozmedzí 19 – 18 °C. Kúpeľ bol v maximálnej miere chránený pred účinkami UV a VIS svetla v laboratóriu, ktoré by mohlo spôsobiť nedefinovaný rozklad oxidu titaničitého v kúpeli.

8 VYHODNOTENIA

8.1 Vyhodnotenie výsledkov merania fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku organických látok

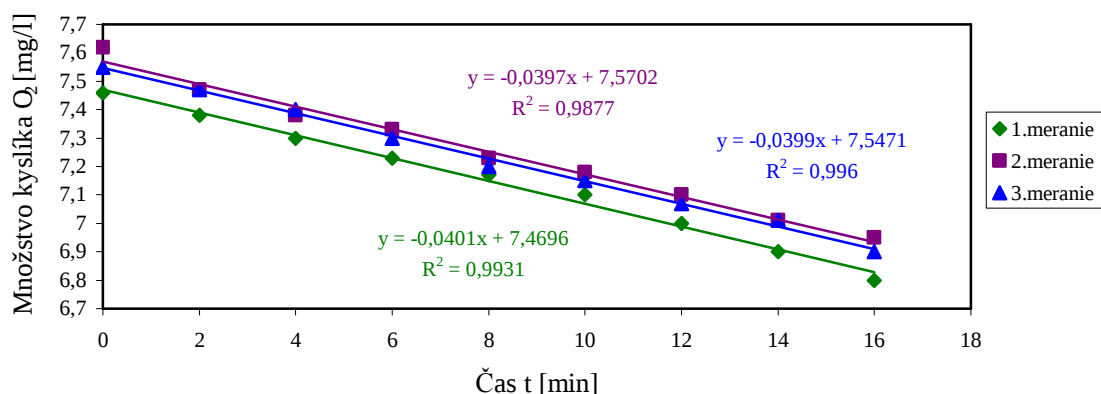
Fotokatalytický účinok oxidu titaničitého bol testovaný na roztokoch kyseliny askorbovej, sacharózy, D – glukózy, formaldehydu a Oranže II za pomoci ponorného kyslíkového snímača – Oximetra.

Všetky merania boli prevádzané 3-krát a následne bol vypočítaný priemer (viď. tab. 8-1).

Tabuľka 8-1: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,2 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,46	7,62	7,55	7,54
2	7,38	7,47	7,47	7,44
4	7,30	7,38	7,40	7,36
6	7,23	7,33	7,30	7,29
8	7,17	7,23	7,2	7,2
10	7,10	7,18	7,15	7,14
12	7,00	7,10	7,07	7,06
14	6,90	7,01	7,01	6,97
16	6,80	6,95	6,90	6,88

Kyselina askorbová o $c = 1 \text{ g/l} + 0,2 \text{ g/l TiO}_2$



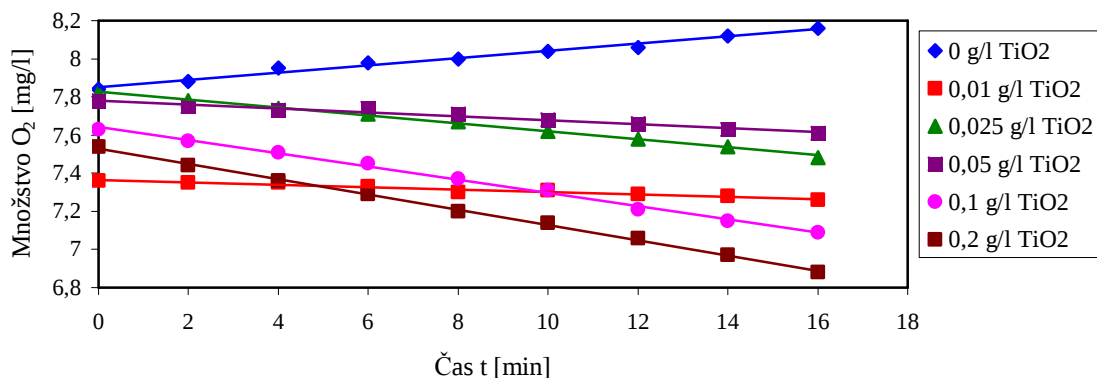
Graf 8-1: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Z poklesu množstva kyslíka je zrejmé že v priebehu merania dochádzalo k fotokatalytickému javu. Bolo zistené že experimentálnu závislosť poklesu obsahu kyslíka na čase môžeme aproximovať priamovou závislosťou (viď. graf 8-1).

Tabuľka 8-2: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} +$ množstvá TiO_2

Množstvo TiO_2 [g/l]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	7,84	7,88	7,95	7,98	8,00	8,04	8,06	8,12	8,16
0,01	7,36	7,35	7,35	7,33	7,30	7,31	7,29	7,28	7,26
0,025	7,82	7,78	7,74	7,71	7,67	7,62	7,58	7,54	7,48
0,05	7,78	7,75	7,73	7,74	7,71	7,68	7,66	7,63	7,61
0,1	7,63	7,57	7,51	7,45	7,37	7,31	7,21	7,15	7,09
0,2	7,54	7,44	7,36	7,29	7,20	7,14	7,06	6,97	6,88

Kyselina askorbová 1 g/l + TiO₂



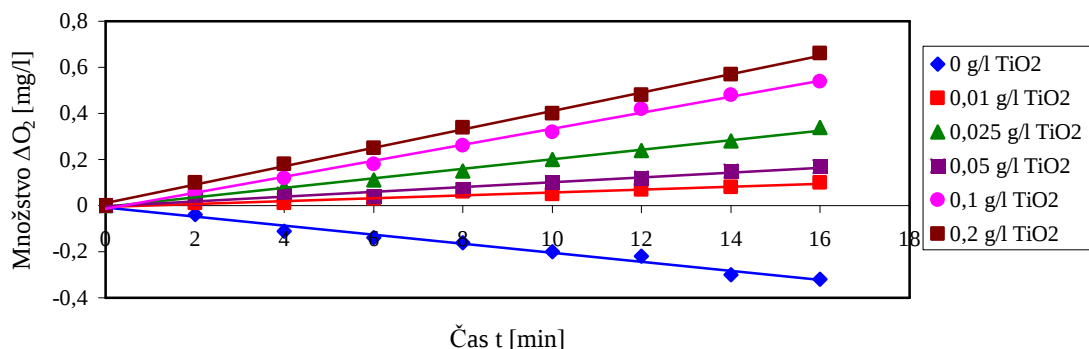
Graf 8-2: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rozdielnych množstvách oxidu titaničitého

Okamžité množstvo kyslíka závisí ako na dobe ožiarovania, tak aj na množstve pridaného oxidu titaničitého. Je vidieť, že funguje priamkový model pre celú škálu experimentálnych hodnôt. Počiatočné množstvo kyslíka je rozdielne. Nepodarilo sa dosiahnuť celkom rovnaké počiatočné koncentrácie kyslíka v sústave. Bolo zistené, že tieto relatívne malé zmeny počiatočnej koncentrácie kyslíka nemenia výrazne rýchlosť poklesu obsahu kyslíka v sústave pri ožiarovaní (viď. tab. 8-2 a graf 8-2).

Tabuľka 8-3: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1$ g/l + množstvá TiO₂

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Množstvo kyslíka ΔO ₂ [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	0,00	-0,04	-0,11	-0,14	-0,16	-0,2	-0,22	-0,3	-0,32
0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,06	0,05	0,07	0,08	0,1
0,025	0,00	0,04	0,08	0,11	0,15	0,2	0,24	0,28	0,34
0,05	0,00	0,03	0,05	0,04	0,07	0,1	0,12	0,15	0,17
0,1	0,00	0,06	0,12	0,18	0,26	0,32	0,42	0,48	0,54
0,2	0,00	0,1	0,18	0,25	0,34	0,40	0,48	0,57	0,66

Kyselina askorbová 1 g/l + TiO₂

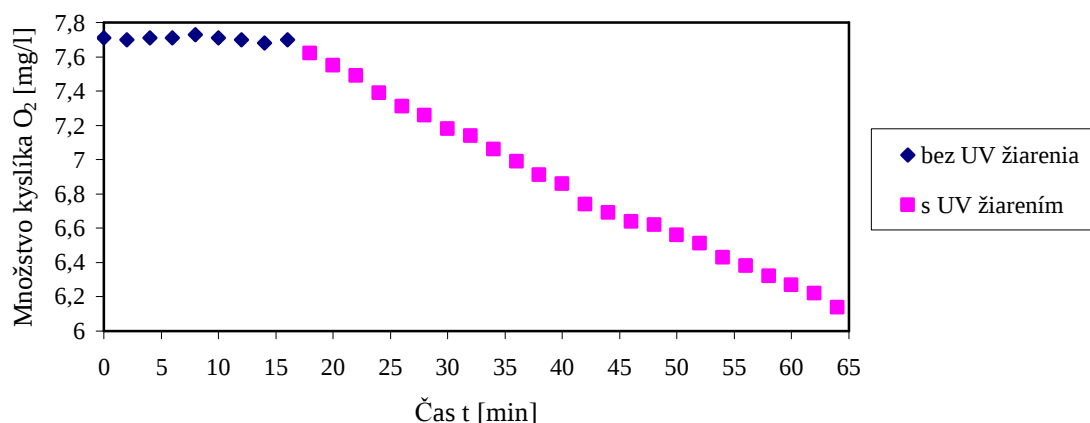


Graf 8-3: Závislosť rozdielu množstva kyslíka na dobu merania fotokatalytického účinku pri rôznych množstvách TiO₂

Bola sledovaná relatívna zmena obsahu kyslíka v sústave. Bez prítomnosti oxidu titaničitého dochádza k nárastu obsahu kyslíka v sústave. Tento nárast je relatívne pomalý a je pravdepodobne spôsobený rozkladom vody pôsobením UV žiarenia. Pri rôznych množstvách oxidu titaničitého je vidieť že funguje priamkový model (viď. tab. 8-3 a graf 8-3).

Tabuľka 8-4: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]							
Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]	
0	7,71	18	7,62	34	7,06	50	6,56
2	7,70	20	7,55	36	6,99	52	6,51
4	7,71	22	7,49	38	6,91	54	6,43
6	7,71	24	7,39	40	6,86	56	6,38
8	7,73	26	7,31	42	6,74	58	6,32
10	7,71	28	7,26	44	6,69	60	6,27
12	7,70	30	7,18	46	6,64	62	6,22
14	7,68	32	7,14	48	6,62	64	6,14
16	7,70		-		-		-

Kyselina askorbová 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂

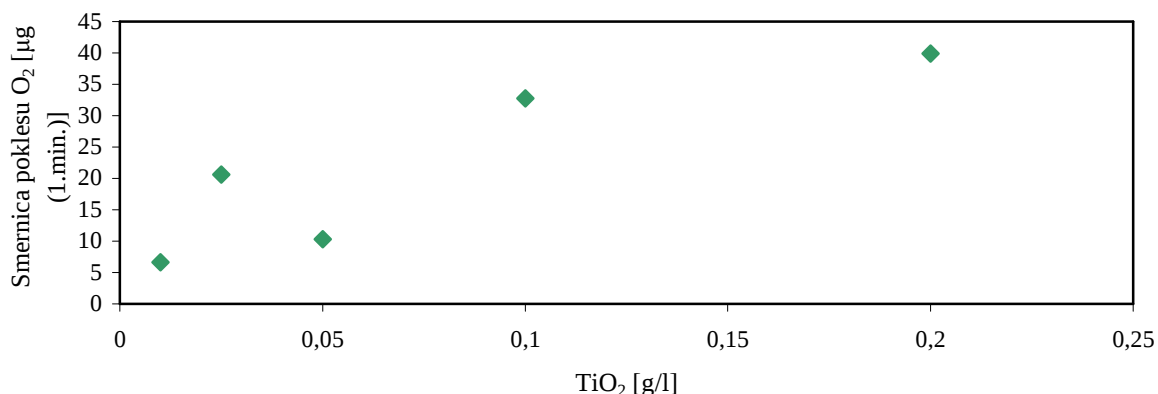
Graf 8-4: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku bez UV žiarenia a s UV žiarením

Experimentálne bol štandardne testovaný pokles obsahu kyslíka v sústave po dobu 16 min (s intervalom odpočtu obsahu kyslíka 2 min.). Ukážkovo bol prevedený aj experiment s dlhou dobou ožiarovania pre overenie linearity poklesu obsahu kyslíka pri použití kyseliny askorbovej. Linearita bola prekázaná aj pri ožiarovaní po dobu 48 min. V tomto experimente bolo sledované tiež, či dochádza ku zmene obsahu množstva kyslíka v sústave bez ožiarovania. Tu bolo zistené, že obsah množstva kyslíka je konštantný (viď. tab. 8-4 a graf 8-4).

Tabuľka 8-5: Fotokatalytická aktivita vzorkou

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Smernica poklesu O ₂ v µg (1.min.)			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0,01	5,4	5,2	9,3	6,63
0,025	22,6	18,9	20,4	20,63
0,05	5,6	11,5	13,8	10,3
0,1	26,0	38,9	33,3	32,73
0,2	35,7	42,4	41,6	39,9

Smernica poklesu O₂ v závislosti na množstve TiO₂

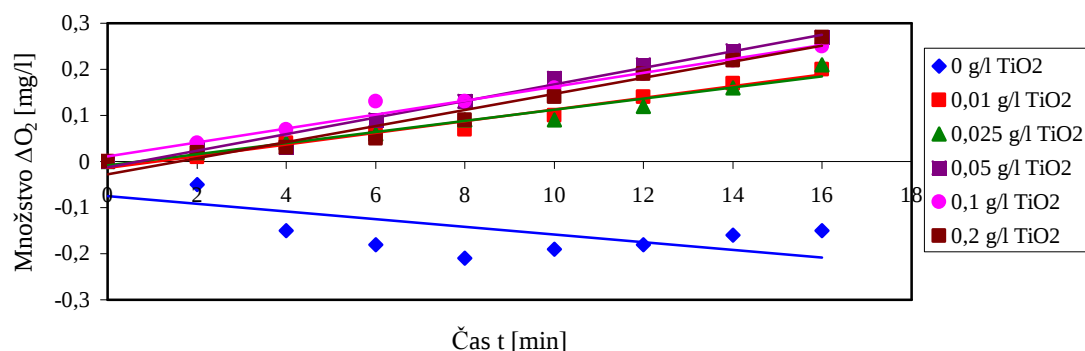


Graf 8-5: Množstvo mikrogramov kyslíka na liter kúpeľa odstránený z roztoku za minútu testovanou vzorkou ako funkciou obsahu TiO₂ v sústave (kyselina askorbová)

Množstvo kyslíka v sústave klesalo úmerne s obsahom oxidu titaničitého v sústave. Výšší obsah oxidu titaničitého viedol k rýchlejšiemu poklesu obsahu kyslíka v sústave. Pre lepšiu priehľadnosť výsledkov sú v tab. 8-5 a grafe 8-5 uvedené smernice poklesu množstva kyslíka v sústave v µg (1 min.).

Tabuľka 8-6: Sacharóza o koncentrácii $c = 1$ g/l + množstvá TiO₂

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Množstvo kyslíka ΔO ₂ [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	0,00	-0,05	-0,15	-0,18	-0,21	-0,19	-0,18	-0,16	-0,15
0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	0,07	0,1	0,14	0,17	0,2
0,025	0,00	0,02	0,04	0,06	0,09	0,09	0,12	0,16	0,21
0,05	0,00	0,03	0,03	0,09	0,13	0,18	0,21	0,24	0,27
0,1	0,00	0,04	0,07	0,13	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25
0,2	0,00	0,02	0,03	0,05	0,09	0,14	0,19	0,22	0,27

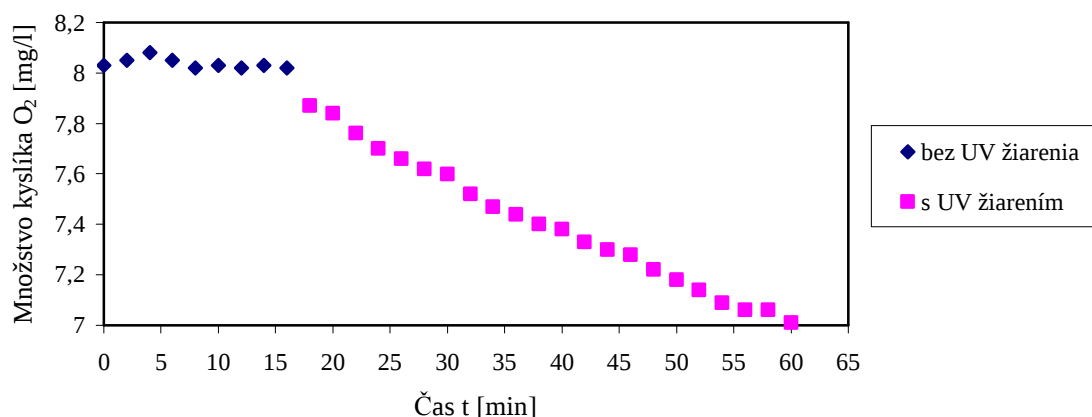
Sacharóza 1 g/l + TiO₂

Graf 8-6: Závislosť rozdielu množstva kyslíka na dobu merania fotokatalytického účinku pri rôznych množstvách TiO₂

Bola zaznamenaná zmena obsahu množstva kyslíka v sústave obsahujúcej sacharózu o koncentrácii 1g/l pri ožiarovaní UV lampu za štandardných podmienok. Z grafu je vidieť že pri rôznych množstvách oxidu titaničitého funguje priamkový model. Bez prítomnosti oxidu titaničitého dochádza k nárastu obsahu kyslíka v sústave. Tento nárast je relatívne pomalý a je pravdepodobne spôsobený rozkladom vody pôsobením UV žiarenia (vid'. tab. 8-6 a graf 8-6).

Tabuľka 8-7: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]							
Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]	
0	8,03	18	7,87	34	7,47	50	7,18
2	8,05	20	7,84	36	7,44	52	7,14
4	8,08	22	7,76	38	7,40	54	7,09
6	8,05	24	7,70	40	7,38	56	7,06
8	8,02	26	7,66	42	7,33	58	7,06
10	8,03	28	7,62	44	7,30	60	7,01
12	8,02	30	7,60	46	7,28	62	6,96
14	8,03	32	7,52	48	7,22	64	6,93
16	8,02		-		-		-

Sacharóza 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂

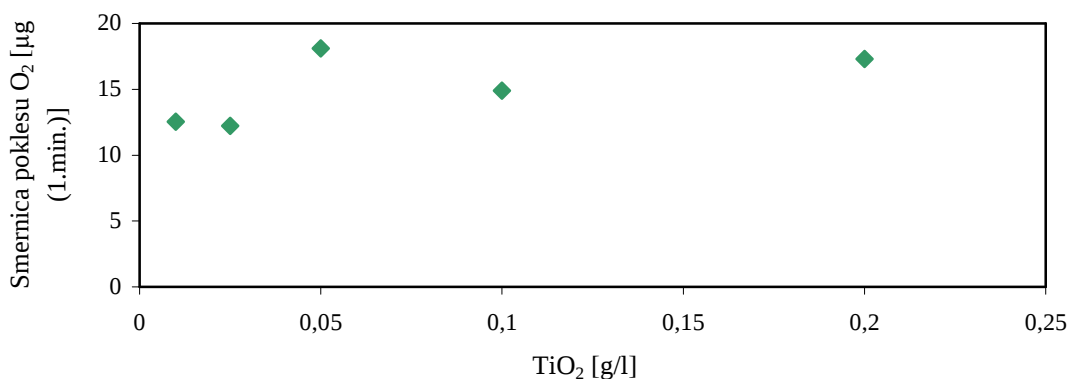
Graf 8-7: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku bez UV žiarenia a s UV žiarením

Opäť bol prevedený dlhodobý experiment pre overenie linearitu poklesu obsahu kyslíka pri použití sacharózy. Linearita bola preukázaná aj pri ožiarovaní po dobu 48 min. V tomto experimente bolo sledované tiež, či dochádza ku zmene obsahu množstva kyslíka v sústave bez ožiarovania. Tu bolo zistené, že obsah množstva kyslíka je konštantný (vid'. tab. 8-7 a graf 8-7).

Tabuľka 8-8: Fotokatalytická aktivita vzorkou

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Smernica poklesu O ₂ v µg (1 min.)			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0,01	12,9	12,9	11,8	12,53
0,025	13,6	13,1	10	12,23
0,05	20,7	15,8	17,8	18,1
0,1	12,7	17,6	14,4	14,9
0,2	14,2	17,8	19,9	17,3

Smernica poklesu O₂ v závislosti na množstve TiO₂

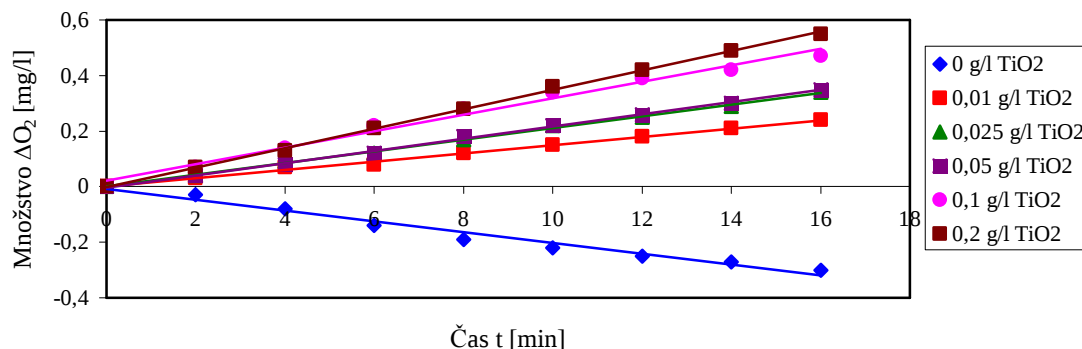


Graf 8-8: Množstvo mikrogramov kyslíka na liter kúpeľa odstránený z roztoku za minútu testovanou vzorkou ako funkciou obsahu TiO₂ v sústave (sacharóza)

Z poklesu množstva kyslíka je zrejmé, že v priebehu merania dochádzalo k fotokatalytickému účinku. Čím väčšie množstvo oxidu titaničitého bolo pridané do kúpeľa, tým výraznejší bol rozklad kyslíka v sústave. Pre lepšiu priehľadnosť výsledkov sú v tabuľke 8-8 a grafe 8-8 uvedené smernice poklesu množstva kyslíka v sústave v µg (1.min.)

Tabuľka 8-9: D – Glukóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO₂

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Množstvo kyslíka ΔO ₂ [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	0,00	-0,03	-0,08	-0,14	-0,19	-0,22	-0,25	-0,27	-0,30
0,01	0,00	0,03	0,07	0,08	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24
0,025	0,00	0,04	0,09	0,12	0,17	0,22	0,25	0,29	0,34
0,05	0,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,22	0,26	0,30	0,35
0,1	0,00	0,07	0,14	0,22	0,28	0,34	0,39	0,42	0,47
0,2	0,00	0,07	0,13	0,21	0,28	0,36	0,42	0,49	0,55

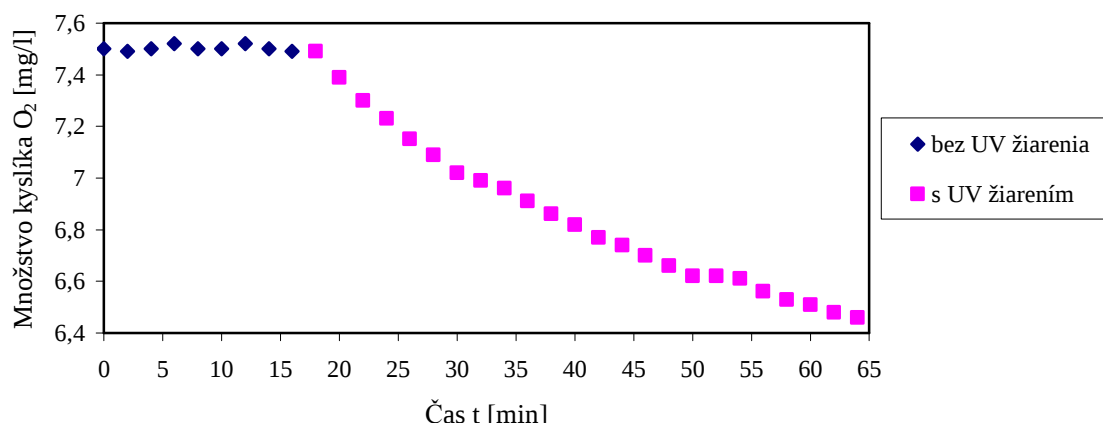
D - Glukóza 1 g/l + TiO₂

Graf 8-9: Závislosť rozdielu množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rôznych množstvách TiO₂

V tomto prípade opäť funguje priamkový model. Rozdiel množstva kyslíka je závislý ako na dobe ožiarovania, tak aj na množstve pridaného oxidu titaničitého. Bola zaznamenaná zmena obsahu množstva kyslíka v sústave obsahujúcej D-glukózu o koncentrácii 1g/l pri ožiarovaní UV lampu za štandardných podmienok. Z grafu je vidieť že pri rôznych množstvách oxidu titaničitého funguje priamkový model. Bez prítomnosti oxidu titaničitého dochádza k nárastu obsahu kyslíka v sústave. Tento nárast je relatívne pomalý a je pravdepodobne spôsobený rozkladom vody pôsobením UV žiarenia (vid'. tab. 8-9 a graf 8-9).

Tabuľka 8-10: D – Glukóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]							
Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]	
0	7,50	18	7,49	34	6,96	50	6,62
2	7,49	20	7,39	36	6,91	52	6,62
4	7,50	22	7,30	38	6,86	54	6,61
6	7,52	24	7,23	40	6,82	56	6,56
8	7,50	26	7,15	42	6,77	58	6,53
10	7,50	28	7,09	44	6,74	60	6,51
12	7,52	30	7,02	46	6,70	62	6,48
14	7,50	32	6,99	48	6,66	64	6,46
16	7,49		-		-		-

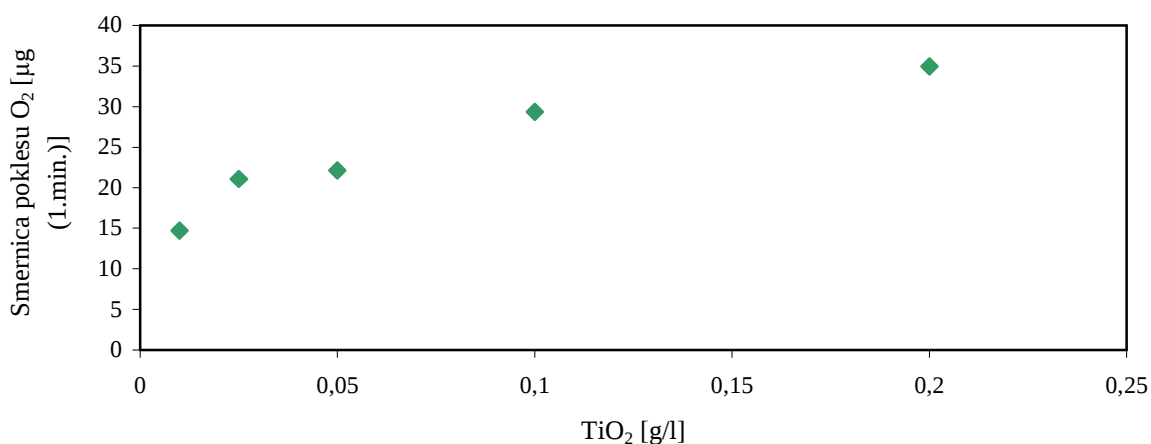
D Glukóza 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂

Graf 8-10: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku bez UV žiarenia a s UV žiarením

Experimentálne bol štandardne testovaný pokles obsahu kyslíka v sústave obsahujúcej D-glukózu po dobu 16 min. (s intervalom odpočtu obsahu kyslíka 2 min.). Bol prevedený aj experiment s dlhou dobou ožiarovania pre overenie linearitu poklesu obsahu kyslíka pri použití D-glukózy. Linearita bola preukázaná aj pri ožiarovaní po dobu 48 min. Aj v tomto experimente bolo sledované tiež, či dochádza ku zmene obsahu množstva kyslíka v sústave bez ožiarovania. Bolo zistené, že obsah množstva kyslíka je konštantný (vid'. tab. 8-10a graf 8-10).

Tabuľka 8-11: Fotokatalytická aktivita vzorku

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Smernica poklesu O ₂ v µg (1.min.)			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0,01	15,6	13,7	14,8	14,7
0,025	20,8	22,2	20,3	21,1
0,05	24,1	21	21,3	22,13
0,1	30,3	27,3	30,5	29,36
0,2	36,7	33,2	35,0	34,96

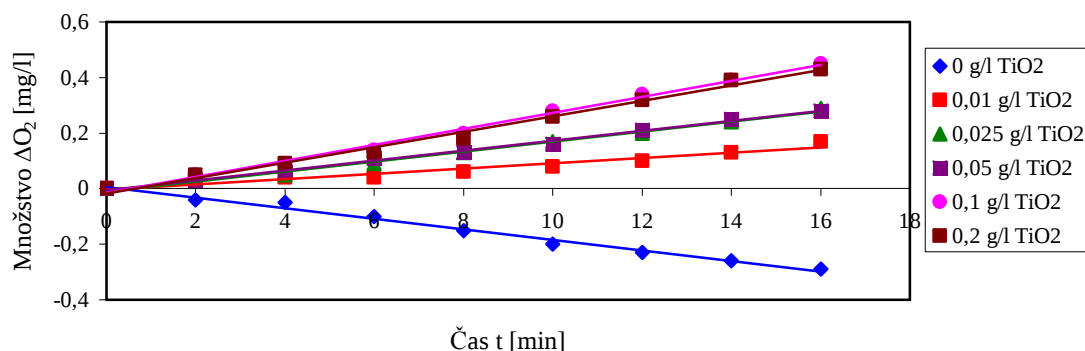
Smernica poklesu O₂ v závislosti na množstve TiO₂

Graf 8-11: Množstvo mikrogramov kyslíka na liter kúpeľa odstránený z roztoku za minútu testovanou vzorkou ako funkciou obsahu TiO₂ v sústave (D-glukóza)

Z poklesu množstva kyslíka je zrejmé, že v priebehu merania dochádzalo k fotokatalytickému účinku. Čím väčšie množstvo oxidu titaničitého bolo pridané do kúpeľa, tým výraznejšia bola rozpustnosť kyslíka. Pre lepšiu prehľadnosť výsledkov sú v tab. 8-11 a grafe 8-11 uvedené smernice poklesu množstva kyslíka v sústave v µg (1 min).

Tabuľka 8-12: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO₂

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Množstvo kyslíka ΔO_2 [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	0,00	-0,04	-0,05	-0,1	-0,15	-0,20	-0,23	-0,26	-0,29
0,01	0,00	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08	0,1	0,13	0,17
0,025	0,00	0,03	0,05	0,09	0,13	0,17	0,20	0,24	0,29
0,05	0,00	0,03	0,06	0,11	0,13	0,16	0,21	0,25	0,28
0,1	0,00	0,05	0,09	0,14	0,20	0,28	0,34	0,39	0,45
0,2	0,00	0,05	0,09	0,13	0,18	0,26	0,32	0,39	0,43

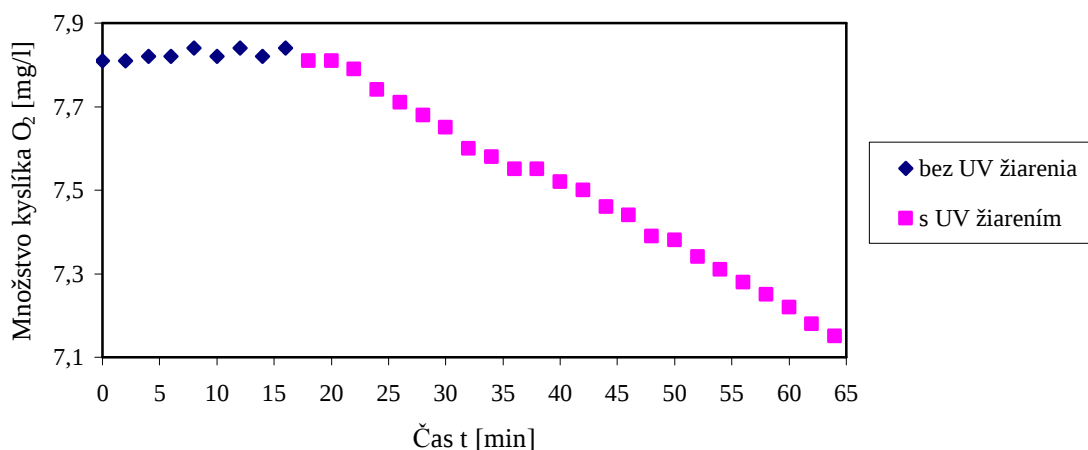
Formaldehyd 1 g/l + TiO₂

Graf 8-12: Závislosť rozdielu množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rôznych množstvách TiO₂

Aj v tomto prípade funguje priamkový model. Rozdiel množstva kyslíka je závislý ako na dobe ožiarovania, tak aj na množstve pridaného oxidu titaničitého. Výsledky sú podobné ako pri predchádzajúcich meraniach roztokov kyseliny askorbovej, sacharózy a D-glukózy. Výsledky z tohto merania (viď. tab. 8-12 a graf 8-12).

Tabuľka 8-13: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]							
Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]	
0	7,81	18	7,81	34	7,58	50	7,38
2	7,81	20	7,81	36	7,55	52	7,34
4	7,82	22	7,79	38	7,55	54	7,31
6	7,82	24	7,74	40	7,52	56	7,28
8	7,84	26	7,71	42	7,50	58	7,25
10	7,82	28	7,68	44	7,46	60	7,22
12	7,84	30	7,65	46	7,44	62	7,18
14	7,82	32	7,60	48	7,39	64	7,15
16	7,84		-		-		-

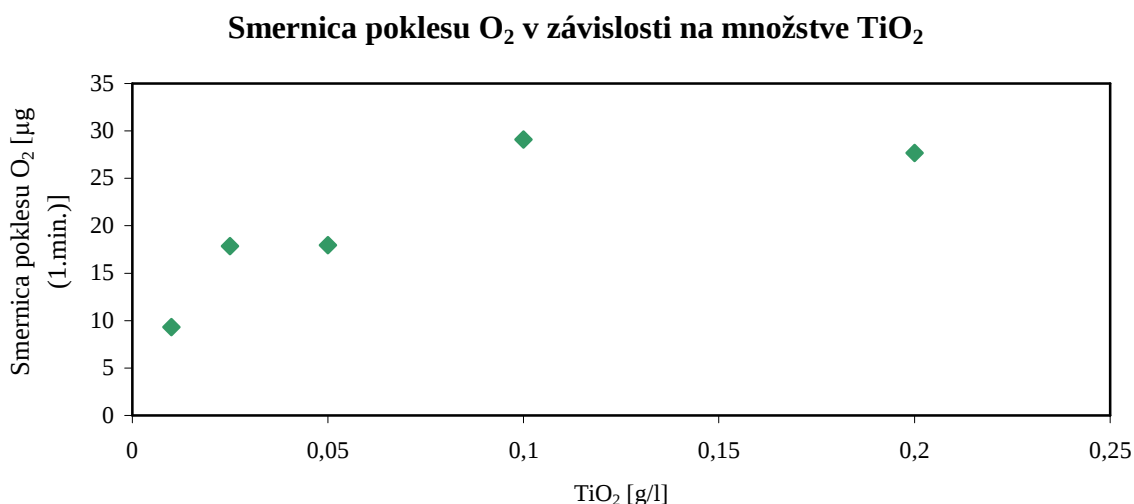
Formaldehyd 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂

Graf 8-13: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku bez UV žiarenia a s UV žiarením

Koncentrácia kyslíka sa nám bez UV žiarenia nemenila, hodnoty množstva kyslíka boli takmer konštantné a s UV žiarením množstvo kyslíka klesalo až do dlhšej doby 64 min. (viď. tab. 8-13 a graf 8-13).

Tabuľka 8-14: Fotokatalytická aktivita vzorky

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Smernica poklesu O ₂ v µg (1.min.)			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0,01	7,7	10,2	10	9,3
0,025	15,3	23	15,3	17,86
0,05	19,3	23	11,6	17,96
0,1	28,4	31	27,9	29,1
0,2	28,9	26,2	27,9	27,66

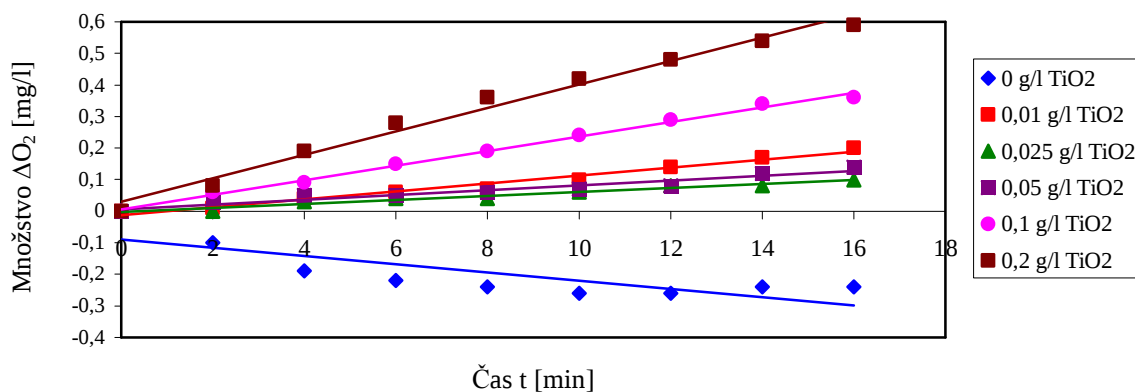


Graf 8-14: Množstvo mikrogramov kyslíka na liter kúpeľa odstránený z roztoku za minútu testovanou vzorkou ako funkciou obsahu TiO₂ v sústave (formaldehyd)

Z poklesu množstva kyslíka je zrejmé, že v priebehu merania dochádzalo k fotokatalytickému účinku. Čím väčšie množstvo oxidu titaničitého bolo pridané do kúpeľa, tým výraznejší bol rozklad kyslíka v sústave (viď. tab.8-14 a graf 8-14).

Tabuľka 8-15: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO₂

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Množstvo kyslíka ΔO ₂ [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	0,00	-0,1	-0,19	-0,22	-0,24	-0,26	-0,26	-0,24	-0,24
0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	0,07	0,1	0,14	0,17	0,2
0,025	0,00	0,00	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08	0,08	0,1
0,05	0,00	0,03	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,12	0,14
0,1	0,00	0,06	0,09	0,15	0,19	0,24	0,29	0,34	0,36
0,2	0,00	0,08	0,19	0,28	0,36	0,42	0,48	0,54	0,59

Oranž II 1 g/l + TiO₂

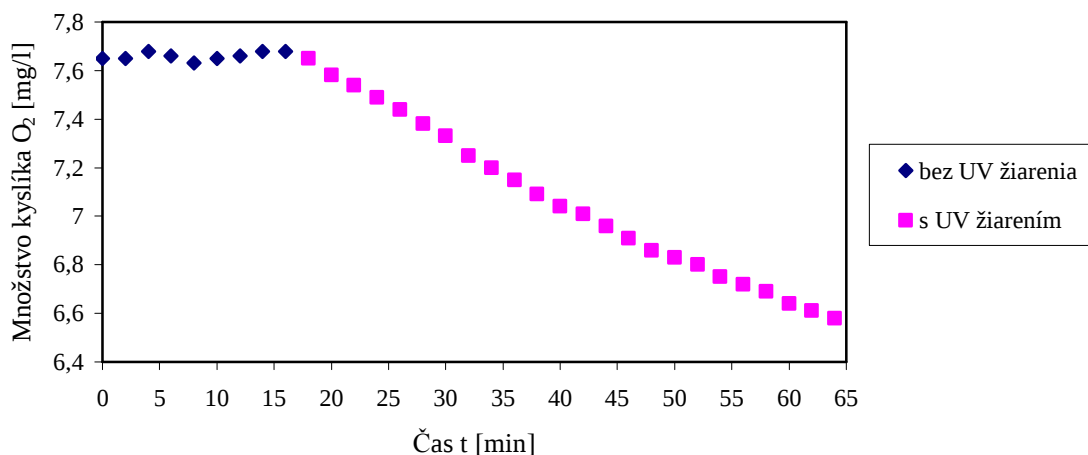
Graf 8-15: Závislosť rozdielu množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rôznych množstvách TiO₂

Vidieť že funguje priamkový model. Rozdiel množstva kyslíka je závislý ako na dobe ožiarovania, tak aj na množstve pridaného oxidu titaničitého. Výsledky sú podobné ako pri predchádzajúcich meraniach roztokov kyseliny askorbovej, sacharózy a D-glukózy. Výsledky z tohto merania (viď. tab. 8-15 a graf 8-15).

Tabuľka 8-16: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]							
Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]		Čas [min]	
0	7,65	18	7,65	34	7,20	50	6,83
2	7,65	20	7,58	36	7,15	52	6,80
4	7,68	22	7,54	38	7,09	54	6,75
6	7,66	24	7,49	40	7,04	56	6,72
8	7,63	26	7,44	42	7,01	58	6,69
10	7,65	28	7,38	44	6,96	60	6,64
12	7,66	30	7,33	46	6,91	62	6,61
14	7,68	32	7,25	48	6,86	64	6,58
16	7,68		-		-		-

Oranž II 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂

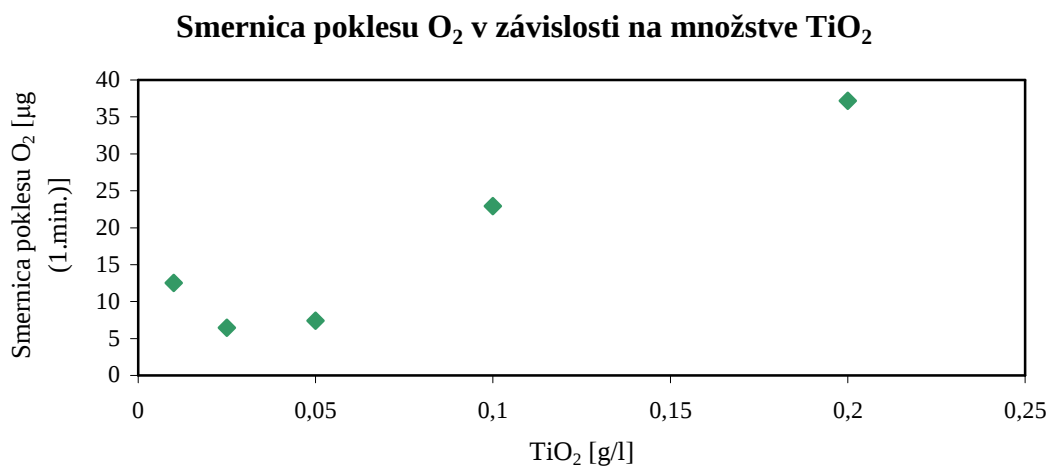


Graf 8-16: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku bez UV žiarenia a s UV žiarením

Koncentrácia kyslíka sa nám bez UV žiarenia nemenila, hodnoty množstva kyslíka boli takmer konštantné a s UV žiarením množstvo kyslíka klesalo až do dlhšej doby 64 min. (viď. tab. 8-16 a graf 8-16).

Tabuľka 8-17: Fotokatalytická aktivita vzorku

Množstvo TiO ₂ [g/l]	Smernica poklesu O ₂ v µg (1.min.)			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0,01	12,9	12,9	11,8	12,53
0,025	6,5	3,7	9,2	6,46
0,05	7,8	7,4	7,1	7,43
0,1	17,2	27,7	23,9	22,93
0,2	34,2	35,1	42,3	37,2



Graf 8-17: Množstvo mikrogramov kyslíka na liter kúpeľa odstránený z roztoku za minútu testovanou vzorkou ako funkciou obsahu TiO₂ v sústave (oranž II)

Z poklesu množstva kyslíka je zrejmé, že v priebehu merania dochádzalo k fotokatalytickému účinku. Čím väčšie množstvo oxidu titaničitého bolo pridané do kúpeľa, tým výraznejšia bola rozpustnosť kyslíka (vid'. tab. 8-17 a graf 8-17).¹

¹ pozn.: ďalšie výsledky merania fotokatalytického účinku mali podobný priebeh a sú uvedené v prílohách

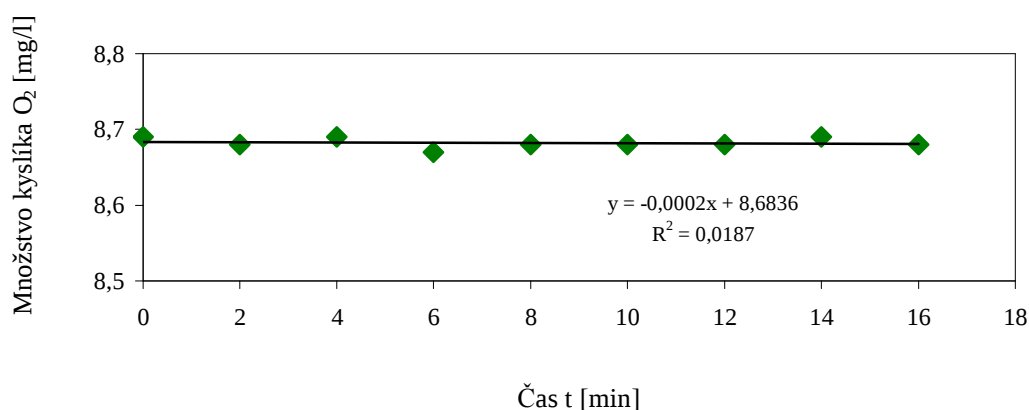
8.2 Vyhodnotenie výsledkov merania fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku kyseliny askorbovej za prítomnosti vzorky tkaniny skleneného vlákna

Fotokatalytický účinok oxidu titaničitého bol testovaný na roztoku kyseliny askorbovej za prítomnosti vzorky tkaniny skleneného vlákna za pomoci ponorného kyslíkového snímača – Oximetra.

Tabuľka 8-18: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 0\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $150\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,69
2	8,68
4	8,69
6	8,67
8	8,68
10	8,68
12	8,68
14	8,69
16	8,68

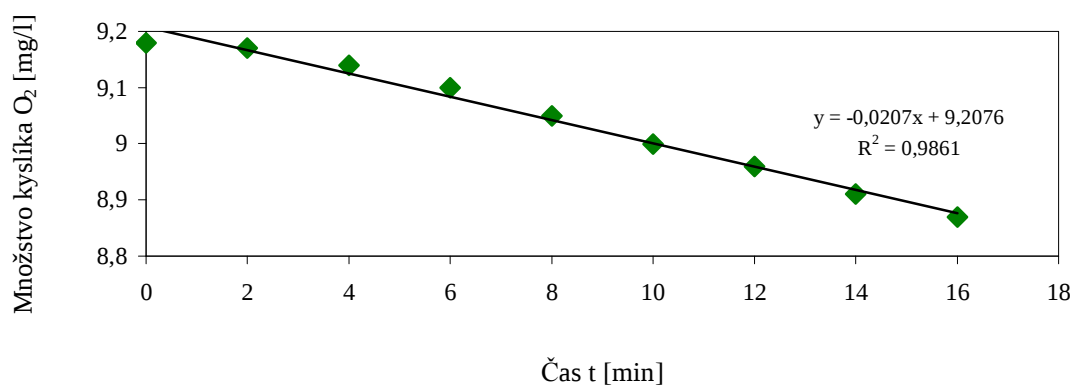
Kyselina askorbová $1\text{ g/l} + 0\text{ g/l TiO}_2$ pri $150\text{ }^\circ\text{C}$



Graf 8-18: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 8-19: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 15\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $150\text{ }^\circ\text{C}$

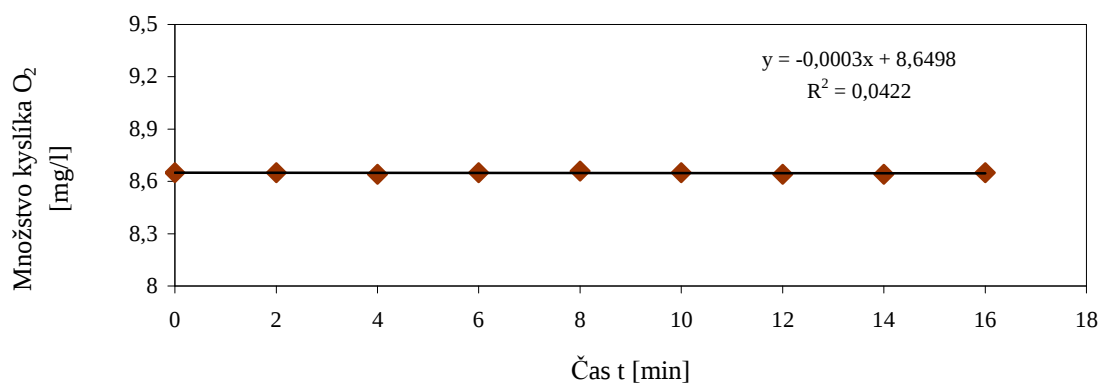
Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	9,18
2	9,17
4	9,14
6	9,10
8	9,05
10	9,00
12	8,96
14	8,91
16	8,87

Kyselina askorbová 1 g/l + 15 g/l TiO₂ pri 150 °C

Graf 8-19: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 8-20: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 0\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $400\text{ }^\circ\text{C}$

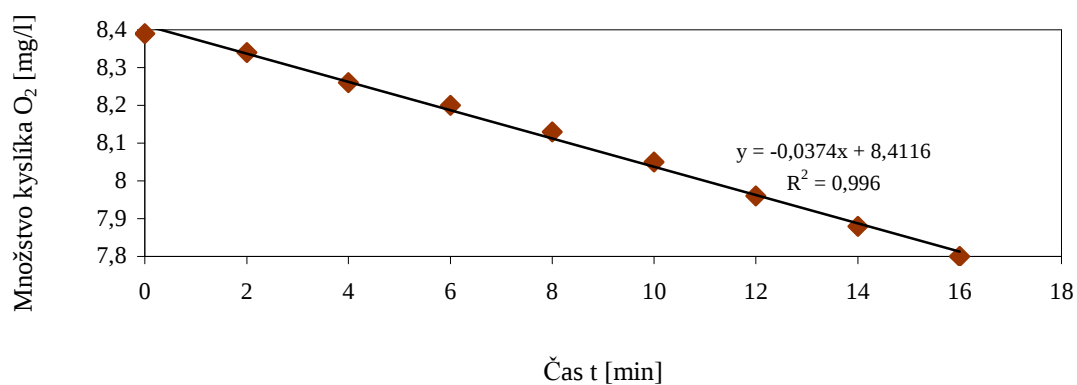
Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,65
2	8,65
4	8,64
6	8,65
8	8,66
10	8,65
12	8,64
14	8,64
16	8,65

Kyselina askorbová 1 g/l + 0 g/l TiO₂ pri 400 °C

Graf 8-20: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 8-21: Kyselina askorbová o c = 1g/l +15 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 400 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,39
2	8,34
4	8,26
6	8,2
8	8,13
10	8,05
12	7,96
14	7,88
16	7,8

Kyselina askorbová 1 g/l + 15 g/l TiO₂ pri 400 °C

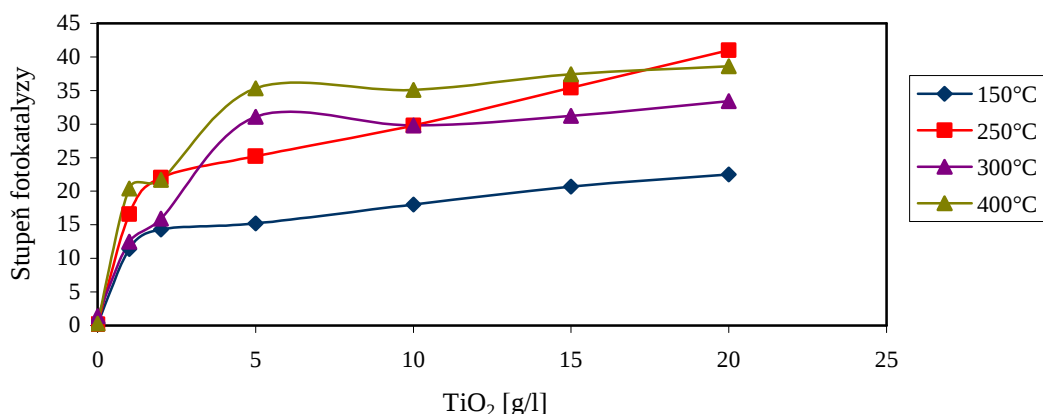
Graf 8-21: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Z poklesu množstva kyslíka je zrejmé že v priebehu merania dochádzalo k fotokatalytickému javu. Bolo zistené, že experimentálnu závislosť poklesu obsahu kyslíka na čase môžeme aproximovať priamovou závislosťou. Čím väčšie množstvo oxidu titaničitého bolo nafxované na vzorke sklenenej tkaniny, tým výraznejší bol rozklad kyslíka v sústave (viď. tab. 8-19 a 8-21 a graf 8-19 a 8-21). Naopak pri vzorkách tkanín bez fixovaného oxidu titaničitého bolo množstvo kyslíka v sústave konštantné (viď. tab. 8-18 a 8-20 a graf 8-18 a 8-20).

Tabuľka 8-22: Fotokatalytická aktivita vzoriek

Množstvo TiO_2 [g/l]	Stupeň fotokatalýzy			
	150°C	250°C	300°C	400°C
0	0,2	0,2	1,4	0,3
1	11,4	16,6	12,5	20,4
2	14,3	22	15,9	21,7
5	15,2	25,2	31,1	35,3
10	18	29,8	29,8	35,1
15	20,7	35,4	31,2	37,4
20	22,5	41	33,4	38,6

Závislosť stupňa fotokatalýzy na množstve oxidu titaničitého



Graf 8-22: Závislosť stupňa fotokatalýzy na množstve oxidu titaničitého pri rôznych teplotách fixácie

Všetky textilné materiály obsahujúce častice oxidu titaničitého vykazovali fotoaktivitu. Vzorky obsahujúce oxid titaničitý len v podobe vrstvy neboli fotoaktívne.

S rastúcim množstvom častíc oxidu titaničitého vo vrstve (resp. v textílii) narastá aj fotoaktivita. Pri vyšších koncentráciach častíc oxidu titaničitého je nárast tejto fotokativity relatívne nižší.

Teplota fixácie vrstvy výrazne ovplyvňuje výslednú fotoaktivitu materiálu. Príliš nízka teplota fixácie nepostačuje k spevneniu vrstvy, a s tým pravdepodobne súvisí nízka fotoaktivita takto fixovanej vrstvy. Vyššie teploty fixácie (300°C a 400°C) vykazujú približne rovnakú fotoaktivitu – za týchto podmienok je vrstva už zbavená organických zložiek, čiastočne zhutnená a dostatočne stabilizovaná.²

² pozn.: ďalšie výsledky merania fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku kyseliny askorbovej za prítomnosti vzorky tkaniny skleneného vlákna mali podobný priebeh a sú uvedené v prílohách

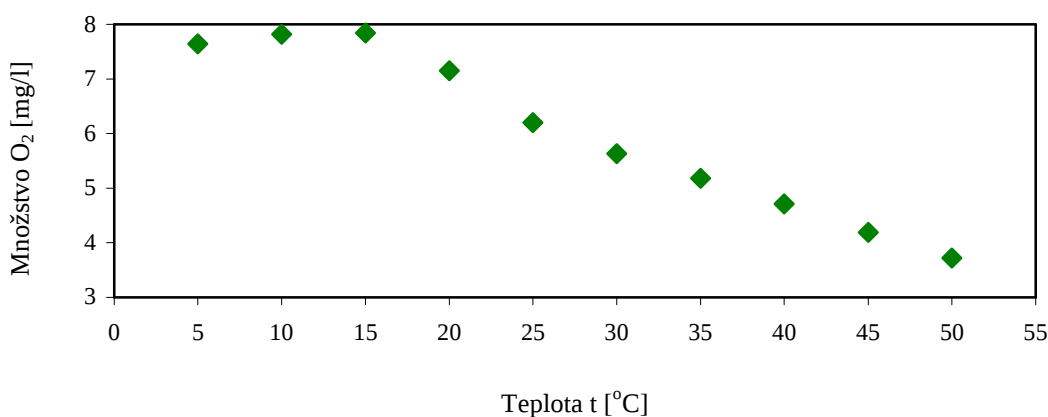
8.3 Závislosť rozpustnosti kyslíka na teplote počas priebehu fotokatalytického deja

Bol prevedený experiment pre zistenie rozpustnosti množstva kyslíka vo vode pri rôznych teplotách. Prebublávanie bolo štandardné, teplota bola riadená pomocou termostatu.

Tabuľka 8-23: Množstvo kyslíka závislé na teplote

Teplota t [°C]	Množstvo O ₂ [mg/l]
5	7,64
10	7,82
15	7,84
20	7,15
25	6,2
30	5,63
35	5,18
40	4,71
45	4,19
50	3,72

Závislosť množstva kyslíka O₂ na teplote vo vodnom roztoku

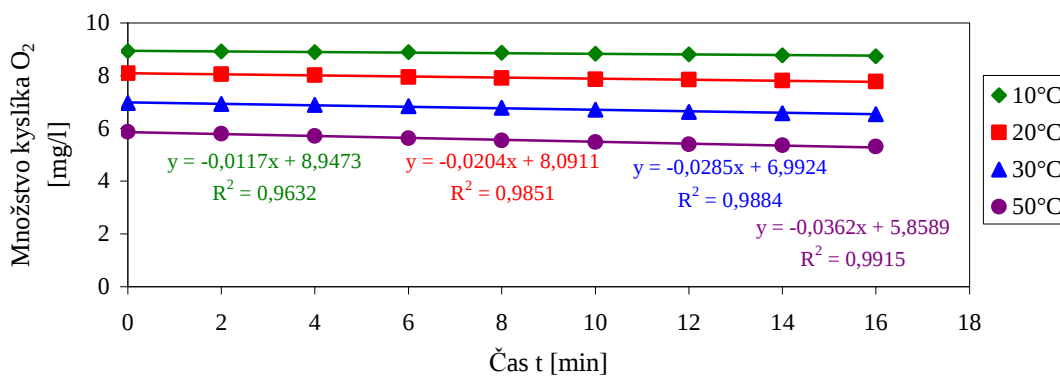


Graf 7-23: Závislosť množstva kyslíka na teplote v prekysličenej vode

V intervale 10 až 20 °C je rozpustnosť kyslíka takmer konštantná, za vyššej teploty sa prejavuje lineárny pokles rozpustnosti množstva kyslíka s rastúcou teplotou (viď. tab. 8-23 a graf 8-23).

Tabuľka 8-24: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

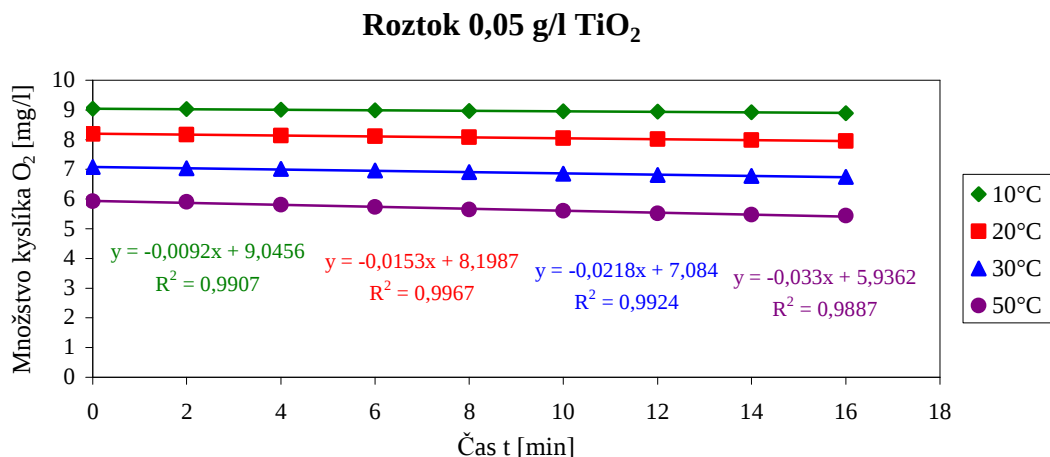
Čas t [min]	Množstvo O ₂ [mg/l]			
	10 °C	20 °C	30 °C	50 °C
0	8,93	8,10	6,97	5,87
2	8,92	8,06	6,93	5,80
4	8,90	8,02	6,89	5,72
6	8,89	7,95	6,84	5,63
8	8,87	7,91	6,79	5,55
10	8,84	7,87	6,71	5,48
12	8,81	7,85	6,63	5,40
14	8,78	7,81	6,58	5,36
16	8,74	7,78	6,54	5,31

Kyselina askorbová o $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$ 

Graf 8-24: Závislosť rozpustnosti množstva kyslíka na teplote počas fotokatalytického deja

Tabuľka 8-25: Roztok o $c = 0,05 \text{ g/l TiO}_2$ bez kyseliny askorbovej

Čas t [min]	Množstvo O ₂ [mg/l]			
	10 °C	20 °C	30 °C	50 °C
0	9,04	8,19	7,08	5,93
2	9,03	8,17	7,04	5,90
4	9,01	8,14	7,01	5,81
6	8,99	8,11	6,96	5,73
8	8,97	8,08	6,91	5,65
10	8,96	8,05	6,85	5,60
12	8,94	8,02	6,81	5,52
14	8,92	7,98	6,78	5,47
16	8,89	7,95	6,75	5,44



Graf 8-25: Závislosť rozpustnosti množstva kyslíka na teplote počas fotokatalytického deja

Bola experimentálne sledovaná aj aktivita fotokatalýzy pri rôznych teplotách. Vo všetkých prípadoch bol pokles obsahu množstva kyslíka v závislosti na čase aproximovateľný priamkou. Raz bol prevedený experiment s kyselinou askorbovou (vid'. tab. 8-24 a graf 8-24) a raz bez kyseliny askorbovej (vid'. tab. 8-25 a graf 8-25). V obidvoch prípadoch bol porovnávaný pokles množstva kyslíka v závislosti na čase. Prítomnosť kyseliny askorbovej je zárukou reprodukovateľnosti. V experimente bez kyseliny askorbovej dochádzalo k oxidácii prítomných organických látok (nečisôt), ale ich využitie pre sledovanie fotokatalýzy je diskutabilné. Ich prítomnosť a reprodukovateľnosť nie je zaistená. S teplotou účinnosť fotokatalýzy (resp. rýchlosť poklesu množstva kyslíka v sústave) výrazne rástla. Experimentálne je teda potrebné sledovať fotokatalýzu pre testačné účely pri konštantnej teplote. V praxi by bolo vhodné pracovať za vyššej teploty, kedy je fotoaktivita výraznejšia.

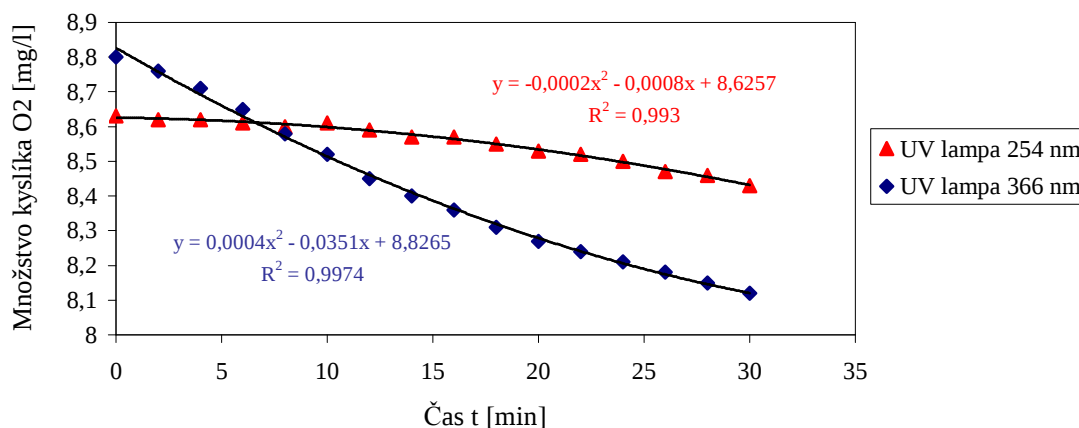
8.4 Závislosť množstva kyslíka pri ožiarovaní UV lampou 254 nm a 366 nm počas fotokatalytického deja

Bol prevedený štandardný experiment merania fotokatalýzy s kyselinou askorbovou a oxidom titaničitým, v ktorom bol systém ožiarovaný dvomi zdrojmi súčasne. Bol overený vplyv jednotlivých zdrojov UV lampy.

Tabuľka 8-26: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l] pri ožiarovaní UV lampou 254 nm	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l] pri ožiarovaní UV lampou 366 nm
0	8,63	8,8
2	8,62	8,76
4	8,62	8,71
6	8,61	8,65
8	8,60	8,58
10	8,61	8,52
12	8,59	8,45
14	8,57	8,4
16	8,57	8,36
18	8,55	8,31
20	8,53	8,27
22	8,52	8,24
24	8,50	8,21
26	8,47	8,18
28	8,46	8,15
30	8,43	8,12

Kyselina askorbová o c = 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂



Graf 8-26: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri ožiarovaní UV lampou 254 nm a 366 nm

Bolo zistené že väčší význam má zdroj UV lampy s výkonom 366 nm, pretože UV žiarenie s 254 nm sa absorbuje v systéme príliš rýchlo (viď. absorbcia spektra kyseliny askorbovej graf 7-2).

9 ZÁVER

Úlohou tejto diplomovej práce bol vývoj novej metódy pre testovanie fotokatalytického účinku. Testovanie bolo prevádzané na roztokoch organických látok (kyseliny askorbovej, sacharózy, D-glukózy, formaldehydu a oranže II) a tiež na textilnom nosiči.

Metóda testovania na roztokoch organických látok bola sústredená na pokles množstva kyslíka v testovanom roztoku, ku ktorému dochádza v priebehu fotokatalytického testu pri pôsobení UV žiarenia. Ďalším kritériom pri všetkých testoch bolo sledovanie vplyvu doby pôsobenia UV žiarenia a vplyv teploty. Merania boli prevádzané pomocou ponorného kyslíkového snímača Oximetra.

Na základe dosiahnutých výsledkov sme zistili, že pri vybraných roztokoch organických látok bol preukázaný fotokatalytický účinok oxidu titaničitého. V roztoku kyseliny askorbovej dochádzalo k výraznému rozkladu kyslíka vo vodnom kúpeli vplyvom UV žiarenia, teploty a množstva oxidu titaničitého za určitú dobu ožiarovania. Bolo zistené, že experimentálnu závislosť poklesu obsahu kyslíka na čase môžeme aproximovať priamkovou závislosťou. Množstvo kyslíka v sústave klesalo úmerne s obsahom oxidu titaničitého v sústave. Vyšší obsah oxidu titaničitého viedol k rýchlejšiemu poklesu obsahu kyslíka v sústave. Bez prítomnosti oxidu titaničitého dochádza k nárastu obsahu kyslíka v sústave. Tento nárast je relatívne pomalý a je pravdepodobne spôsobený rozkladom vody pôsobením UV žiarenia. Experimenty boli prevádzané v teplotnom intervale 19 – 18 °C. Kyselina askorbová sa javila ako vhodná organická látka pre testovanie fotokatalýzy. Roztok oranže II vykazoval tiež výhodnú fotokatalytickú účinnosť. Rozklad množstva kyslíka bol v určitej miere menší, ale vhodný pre testovanie fotokatalytickej aktivity. Roztoky sacharózy, D-glukózy a formaldehydu vykazovali menší pokles rozkladu kyslíka v sústave. Metodika testovania fotokatalýzy na roztokoch organických látok sa prejavovala pozitívne.

Fotokatalytický účinok oxidu titaničitého bol zároveň testovaný na vzorkách sklenenej tkaniny v prítomnosti roztoku kyseliny askorbovej. Vzorky tkanín boli upravené nanosením sól – gél vrstvy a množstvom oxidu titaničitého o rôznych koncentráciách. Následne boli vzorky sušené pri laboratórnych teplotách po dobu 30 minút a fixované pri rôznych teplotách. Všetky textilné materiály obsahujúce častice

oxidu titaničitého vykazovali fotoaktivitu. Vzorky obsahujúce oxid titaničitý len v podobe vrstvy neboli fotoaktívne.

S rastúcim množstvom častíc oxidu titaničitého vo vrstve (resp. v textílii) narastá aj fotoaktivita. Pri vyšších koncentráciách častíc oxidu titaničitého je nárast tejto fotoaktivity relatívne nižší. Teplota fixácie vrstvy výrazne ovplyvňuje výslednú fotoaktivitu materiálu. Príliš nízka teplota fixácie nepostačuje k spevneniu vrstvy a s tým pravdepodobne súvisí nízka fotoaktivita takto fixovanej vrstvy. Vyššie teploty fixácie (300 °C a 400 °C) vykazujú približne rovnakú fotoaktivitu – za týchto podmienok je vrstva už zbavená organických zložiek, čiastočne zhutnená a dostatočne stabilizovaná.

Fotokatalýza je moderna a perspektívna metóda. Fotokatalytické reakcie majú veľkú budúcnosť vďaka ich vysokej účinnosti a jednoduchej dostupnosti potrebnej energie. Ich najväčší prínos by mohol byť v ekológii, pri čistení vody či vzduchu, ale aj vo všetkých oblastiach ľudského života. Výskum už pokročil a vďaka nadopovaniu oxidu titaničitého atómami dusíka môžeme k fotokatalytickým reakciám využiť aj viditeľnú oblasť svetelného žiarenia ako zdroja energie. Široké využitie fotokatalytických reakcií by mohlo ľuďom priniesť kvalitnejší život na Zemi.

10 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] SERPONE, N., PELIZZETTI, E.: *Photocatalysis, fundamentals and applications*, A Wiley – Interscience publication, 1989
- [2] FOSTER, N.S., NOBLE, R.D., KOVAL, C.A.: *Reversible photoreductive deposition and oxidative dissolution of copper ions in titanium dioxide aqueous suspensions*, Environ. Sci. Technol., 1993
- [3] LITTER, M.I.: *Heterogeneous photocatalysis. Transition metal ions in photocatalytic systems*, Applied Catalysis B: Environmental, 1999
- [4] YONEYAMA, H., TORIMOTO, T.: *Titanium dioxide/adsorbent hybrid photocatalysts for photo-destruction of organic substances of diluted concentrations*, Catalysis Today, 2000
- [5] voľne k stiahnutiu na http://sk.wikipedia.org/wiki/Svetlo#Vidite.C4.BEn.C3.A9_svetlo [cit. 2010-01-07]
- [6] FUJISHIMA, A., HASHIMOTO, K., WATANABE, T.: *TiO₂ fotokatalýza základy a aplikace*, Silikátový svaz, 2002
- [7] voľne k stiahnutiu na <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/rako-as-predstavila-novoutechnologiihydrotekt/> [cit. 2010-01-07]
- [8] voľne k stiahnutiu na <http://sk.wikipedia.org/wiki/Tit%C3%A1n> [cit. 2010-01-09]
- [9] RAJESHWAR, K., CHENTHAMARAKSHAN, S.R., GOERINGER, S., DJUKIC, M.: *Titania-based heterogeneous photocatalysis. Materials, mechanistic issues and implications for environmental remediation.*, Pure Appl. Chem, 2001
- [10] HOFFMAN, M.R., MARTIN, S.T., CHOI, W., BAHNEMANN, D.W.: *Environmental applications of semiconductor photocatalysis*, Chemical Reviews, 1995
- [11] CORNU, C. J. G.: *Photocatalysis under periodic illumination*, California Institute of Technology Pasadena, California, 2002
- [12] voľne k stiahnutiu na <http://www.koltex.cz/titanc2.htm> [cit. 2010-01-12]

- [13] KUNCOVÁ, R.: *Vývoj robustních testů na měření fotokatalýzy*, Diplomová práce TUL, Liberec, 2009
- [14] vol'ne k stiahnutiu na
http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_titani%C4%8Dit%C3%BD [cit. 2010-01-12]
- [15] MILITKÁ, J.: *Fotokatalytická aktivita textilií s obsahem oxidu titaničitého*, Bakalárska práca TUL, Liberec, 2007
- [16] CHEN, D., RAY, A.K.: *Removal of toxic metal ions from wastewater by semiconductor photocatalysis*, Chemical Engineering Science, 2001
- [17] BRUS, J., KOTLÍK, P.: *Sol – gel polykondenzace alkoxyasilanu, struktura a vlastnosti siloxanových materiálu*, Chemické listy, 1998
- [18] HIDAKA, H., ZHAO, J.: *Photodegradation of surfactants catalyzed by a TiO₂ semiconductor*, Colloid and Surface, 1992
- [19] EXNAR, P.: *Metoda sol – gel*, TUL, Liberec, 2006, ISBN 80-7372-063-9
- [20] ČEPPAN, M., MIKULA, M., FIALA, R., BREZOVÁ, V., PANÁK, J.: *A study of photoelectrochemical deposition of organic layers on sol – gel TiO₂ surfaces*, Chem. Paper, 1997
- [21] HILMI, A., LUONG, J.H.T., NGUYEN, A.L.: *Utilization of TiO₂ deposited on glass plates for removal of metals from aqueous wastes*, Chemosphere, 1999
- [22] VESELÝ, M., BEZDĚKOVÁ, K., ŠVAMBERKOVÁ, H., LAPČÍK, L.: *Fotokatalytický proces a speciální fotoreaktory*, Meeting on Chemistry and Life, 2000
- [23] MEJÍA, M.I., MARÍN, J.M., RESTREPO, G., RIOS, L.A., PULGARÍN, C., KIWI, J.: *Preparation, testing and performance of a TiO₂/polyester photocatalyst for the degradation of gaseous methanol*, Applied Catalysis B: Environmental 94 (2010), 166-172
- [24] KRONĎÁK, M.: *Clarkovo čidlo*, Automatizace, ročník 50, číslo 7-8, červenec – srpen 2007
- [25] vol'ne k stiahnutiu na
http://www.fisherww.sk/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=4530&category_id=112&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=26&vmcchk=1 [cit. 2010-01-13]
- [26] vol'ne k stiahnutiu na
http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_titani%C4%8Dit%C3%BD [cit. 2010-01-13]

- [27] KLIKORKA, J., HÁJEK, B., VOTINSKÝ, J.: *Obecná a anorganická chemie*, Praha:ALFA, 1989
- [28] voľne k stiahnutiu na <http://www.export-japan.com/marketing/titernal/tio2.html> [cit. 2010-01-13]
- [29] voľne k stiahnutiu na http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=kyselina_askorbova [cit. 2010-01-14]
- [30] voľne k stiahnutiu na <http://www.eurochem.cz/?MN=Datab%E1ze+EUROCHEM&ProdID=00024A06D80C5A860002EC05> [cit. 2010-01-29]
- [31] voľne k stiahnutiu na <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sachar%C3%B3za> [cit. 2010-01-29]
- [32] voľne k stiahnutiu na <http://cs.wikipedia.org/wiki/Formaldehyd> [cit. 2010-02-02]
- [33] voľne k stiahnutiu na <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gluk%C3%B3za> [cit. 2010-02-03]
- [34] Podnik Chemosvit a.s., so sídlom vo Svite, Slovensko
- [35] voľne k stiahnutiu na <http://www.fp.vslib.cz/kch/texty/Analytika/> [cit. 2010-03-30]
- [36] MILITKÝ, J.: *Textilní vlákna: Klasická a speciální*, Liberec, 2002, ISBN 80-7083-644-X
- [37] GRÉGR, J.: *Skleněná vlákna: historie a současnost*, Czechdesign.cz, voľne k stiahnutiu na <http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=34&lang=1> [cit. 2010-03-30]

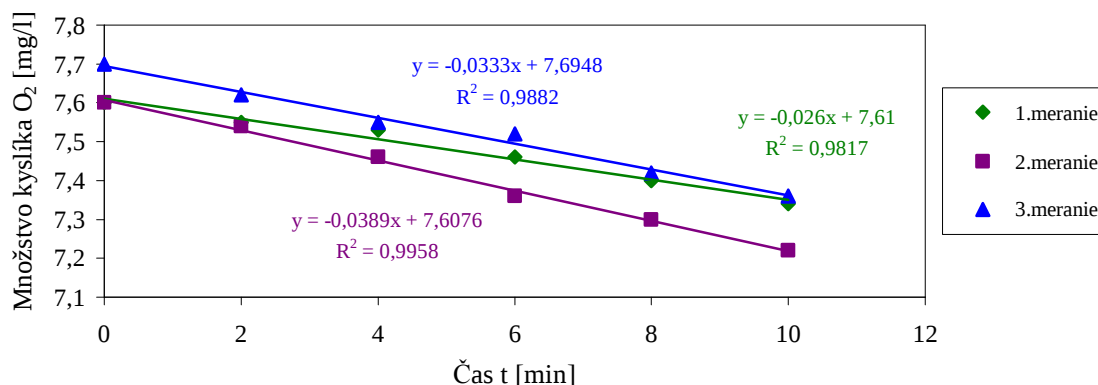
Príloha 1

Meranie fotokatalytického účinku na roztokoch organických látok

Tabuľka 1-1: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,60	7,60	7,70	7,63
2	7,55	7,54	7,62	7,57
4	7,53	7,46	7,55	7,51
6	7,46	7,36	7,52	7,45
8	7,40	7,30	7,42	7,37
10	7,34	7,22	7,36	7,31
12	7,25	7,12	7,26	7,21
14	7,18	7,06	7,20	7,15
16	7,10	7,02	7,14	7,09

Kyselina askorbová o $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

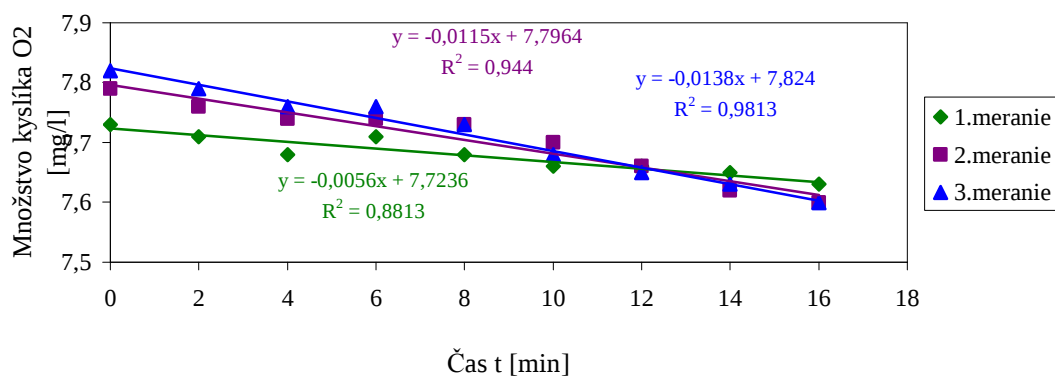


Graf 1-1: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-2: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,73	7,79	7,82	7,78
2	7,71	7,76	7,79	7,75
4	7,68	7,74	7,76	7,73
6	7,71	7,74	7,76	7,74
8	7,68	7,73	7,73	7,71
10	7,66	7,70	7,68	7,68
12	7,66	7,66	7,65	7,66
14	7,65	7,62	7,63	7,63
16	7,63	7,60	7,60	7,61

Kyselina askorbová o c = 1 g/l + 0,05 g/l TiO₂

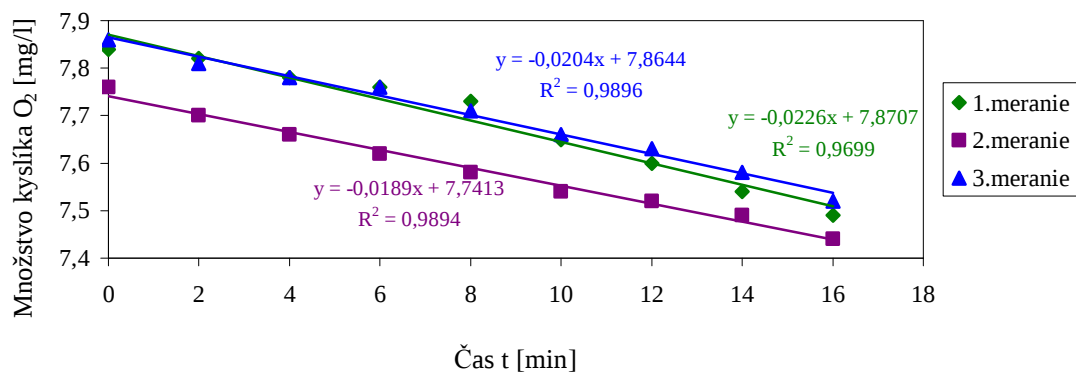


Graf 1-2: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-3: Kyselina askorbová o koncentrácii c = 1 g/l + 0,025 g/l TiO₂

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	Aritmetický priemer
0	7,84	7,76	7,86	7,82
2	7,82	7,70	7,81	7,78
4	7,78	7,66	7,78	7,74
6	7,76	7,62	7,76	7,71
8	7,73	7,58	7,71	7,67
10	7,65	7,54	7,66	7,62
12	7,60	7,52	7,63	7,58
14	7,54	7,49	7,58	7,54
16	7,49	7,44	7,52	7,48

Kyselina askorbová o c = 1 g/l + 0,025 g/l TiO₂

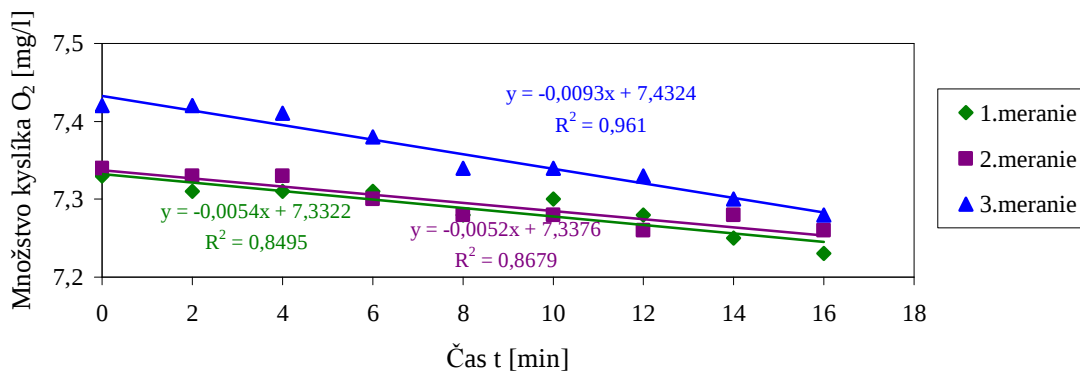


Graf 1-3: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-4: Kyselina askorbová o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,33	7,34	7,42	7,36
2	7,31	7,33	7,42	7,35
4	7,31	7,33	7,41	7,35
6	7,31	7,30	7,38	7,33
8	7,28	7,28	7,34	7,3
10	7,30	7,28	7,34	7,31
12	7,28	7,26	7,33	7,29
14	7,25	7,28	7,30	7,28
16	7,23	7,26	7,28	7,26

Kyselina askorbová o $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

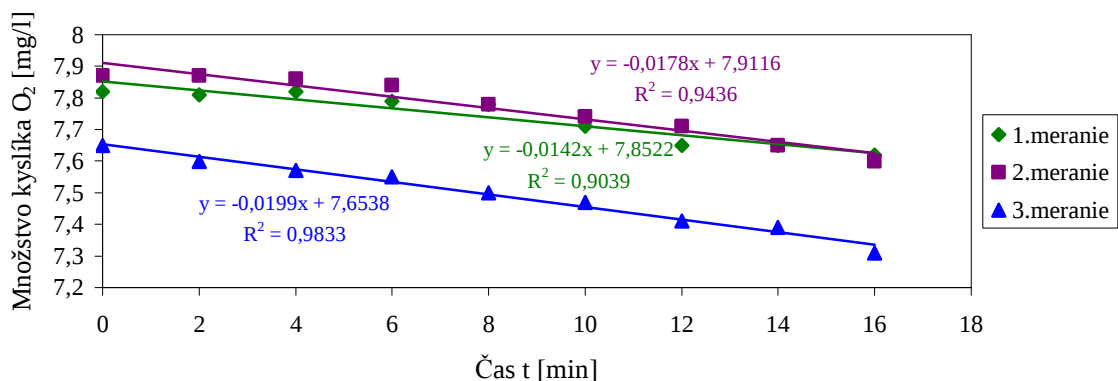


Graf 1-4: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-5: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,2 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,82	7,87	7,65	7,78
2	7,81	7,87	7,60	7,76
4	7,82	7,86	7,57	7,75
6	7,79	7,84	7,55	7,73
8	7,78	7,78	7,50	7,69
10	7,71	7,74	7,47	7,64
12	7,65	7,71	7,41	7,59
14	7,65	7,65	7,39	7,56
16	7,62	7,60	7,31	7,51

Sacharóza o $c = 1 \text{ g/l} + 0,2 \text{ g/l TiO}_2$

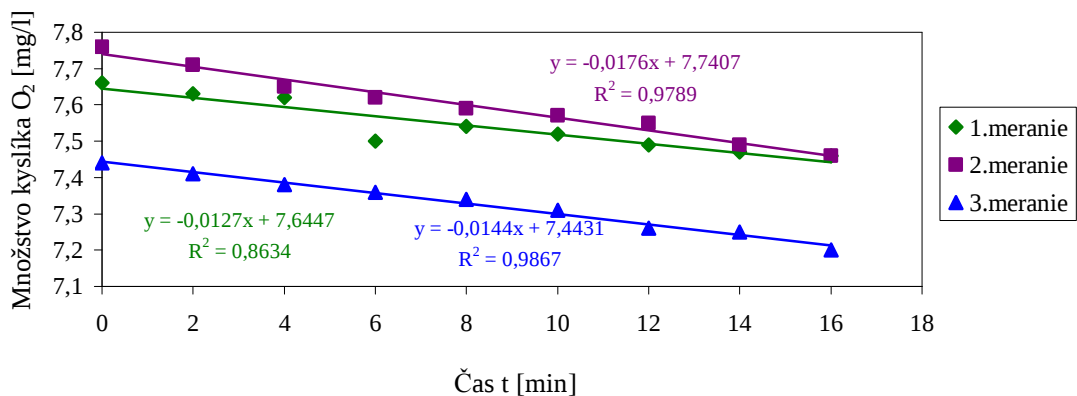


Graf 1-5: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-6: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,66	7,76	7,44	7,62
2	7,63	7,71	7,41	7,58
4	7,62	7,65	7,38	7,55
6	7,50	7,62	7,36	7,49
8	7,54	7,59	7,34	7,49
10	7,52	7,57	7,31	7,46
12	7,49	7,55	7,26	7,43
14	7,47	7,49	7,25	7,4
16	7,46	7,46	7,20	7,37

Sacharóza o $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

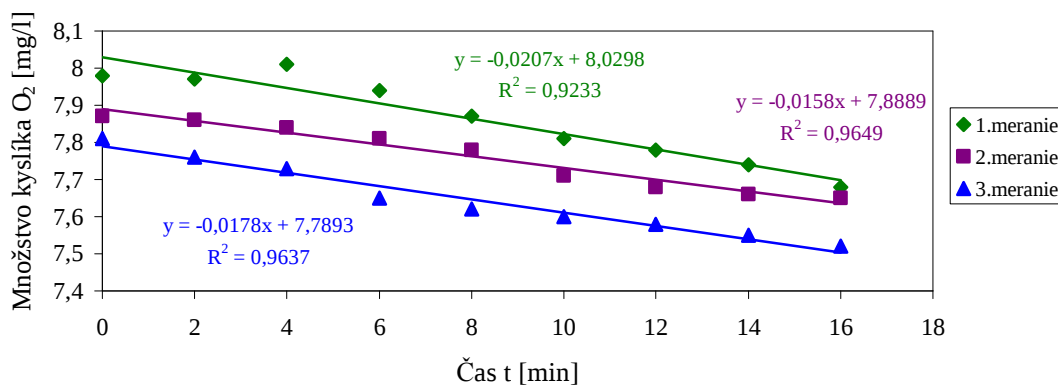


Graf 1-6: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-7: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,98	7,87	7,81	7,89
2	7,97	7,86	7,76	7,86
4	8,01	7,84	7,73	7,86
6	7,94	7,81	7,65	7,8
8	7,87	7,78	7,62	7,76
10	7,81	7,71	7,60	7,71
12	7,78	7,68	7,58	7,68
14	7,74	7,66	7,55	7,65
16	7,68	7,65	7,52	7,62

Sacharóza o $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

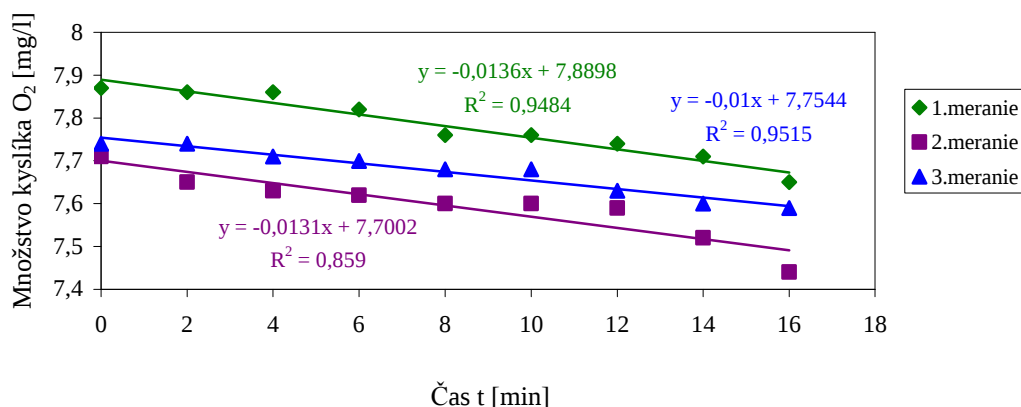


Graf 1-7: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-8: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,025 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,87	7,71	7,74	7,77
2	7,86	7,65	7,74	7,75
4	7,86	7,63	7,71	7,73
6	7,82	7,62	7,70	7,71
8	7,76	7,60	7,68	7,68
10	7,76	7,60	7,68	7,68
12	7,74	7,59	7,63	7,65
14	7,71	7,52	7,60	7,61
16	7,65	7,44	7,59	7,56

Sacharóza o $c = 1 \text{ g/l} + 0,025 \text{ g/l TiO}_2$

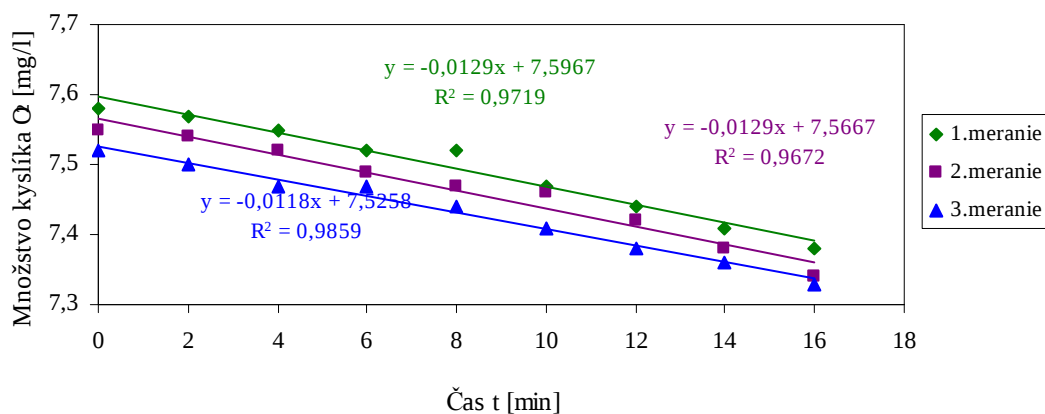


Graf 1-8: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-9: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,58	7,55	7,52	7,55
2	7,57	7,54	7,50	7,54
4	7,55	7,52	7,47	7,51
6	7,52	7,49	7,47	7,49
8	7,52	7,47	7,44	7,48
10	7,47	7,46	7,41	7,45
12	7,44	7,42	7,38	7,41
14	7,41	7,38	7,36	7,38
16	7,38	7,34	7,33	7,35

Sacharóza o $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

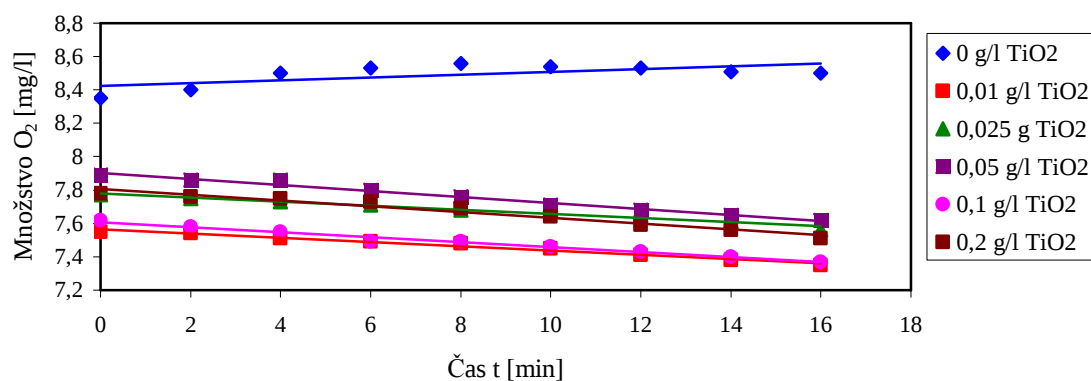


Graf 1-9: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-10: Sacharóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO_2

Množstvo TiO_2 [g/l]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	8,35	8,40	8,50	8,53	8,56	8,54	8,53	8,51	8,50
0,01	7,55	7,54	7,51	7,49	7,48	7,45	7,41	7,38	7,35
0,025	7,77	7,75	7,73	7,71	7,68	7,68	7,65	7,61	7,56
0,05	7,89	7,86	7,86	7,80	7,76	7,71	7,68	7,65	7,62
0,1	7,62	7,58	7,55	7,49	7,49	7,46	7,43	7,40	7,37
0,2	7,78	7,76	7,75	7,73	7,69	7,64	7,59	7,56	7,51

Sacharóza 1 g/l + TiO_2

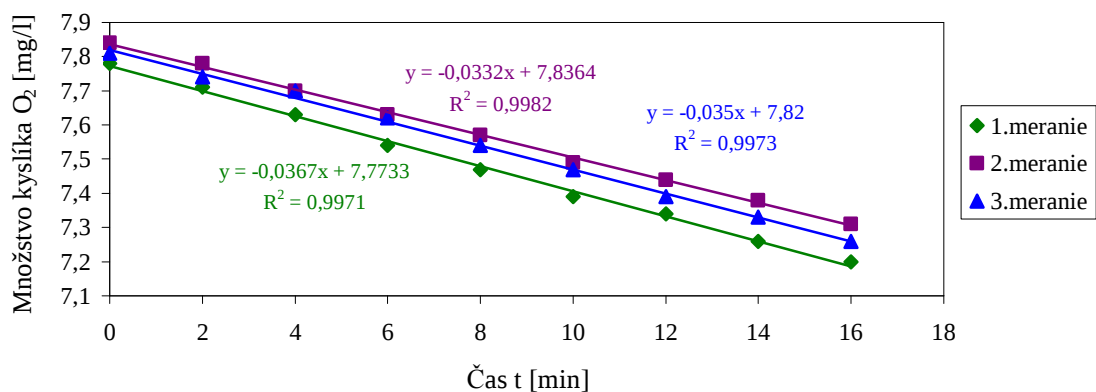


Graf 1-10: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rozdielnych množstvách oxidu titaničitého

Tabuľka 1-11: D – Glukóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + 0,2 g/l TiO_2

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,78	7,84	7,81	7,81
2	7,71	7,78	7,74	7,74
4	7,63	7,70	7,70	7,68
6	7,54	7,63	7,62	7,6
8	7,47	7,57	7,54	7,53
10	7,39	7,49	7,47	7,45
12	7,34	7,44	7,39	7,39
14	7,26	7,38	7,33	7,32
16	7,20	7,31	7,26	7,26

D - glukóza o c = 1 g/l + 0,2 g/l TiO₂

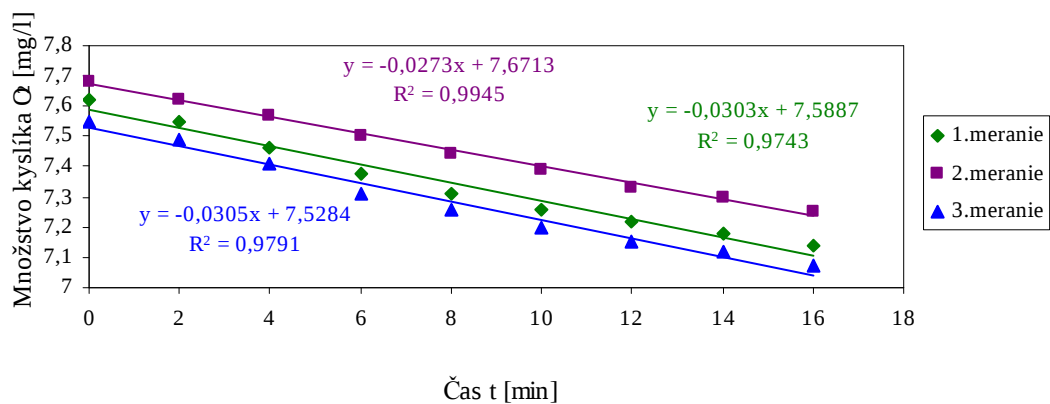


Graf 1-11: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-12: D – Glukóza o koncentrácii c = 1 g/l + 0,1 g/l TiO₂

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,62	7,68	7,55	7,62
2	7,55	7,62	7,49	7,55
4	7,46	7,57	7,41	7,48
6	7,38	7,50	7,31	7,4
8	7,31	7,44	7,26	7,34
10	7,26	7,39	7,20	7,28
12	7,22	7,33	7,15	7,23
14	7,18	7,30	7,12	7,2
16	7,14	7,25	7,07	7,15

D - glukóza o c = 1 g/l + 0,1 g/l TiO₂

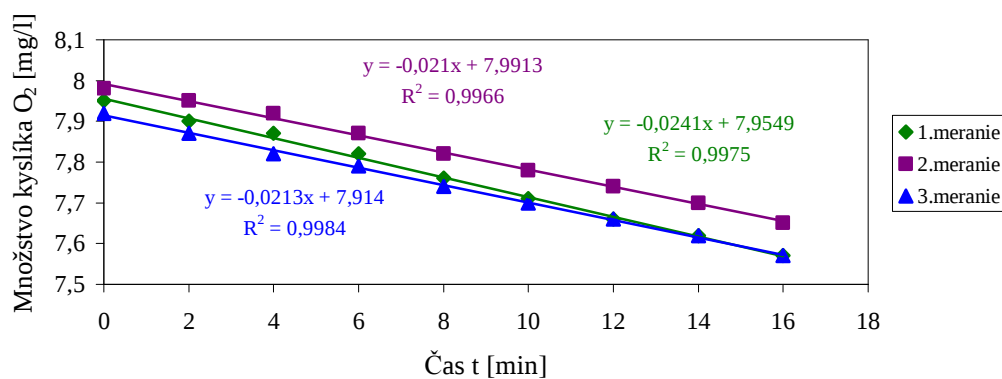


Graf 1-12: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-13: D – Glukóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,95	7,98	7,92	7,95
2	7,90	7,95	7,87	7,91
4	7,87	7,92	7,82	7,87
6	7,82	7,87	7,79	7,83
8	7,76	7,82	7,74	7,77
10	7,71	7,78	7,70	7,73
12	7,66	7,74	7,66	7,69
14	7,62	7,70	7,62	7,65
16	7,57	7,65	7,57	7,6

D - glukóza o $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

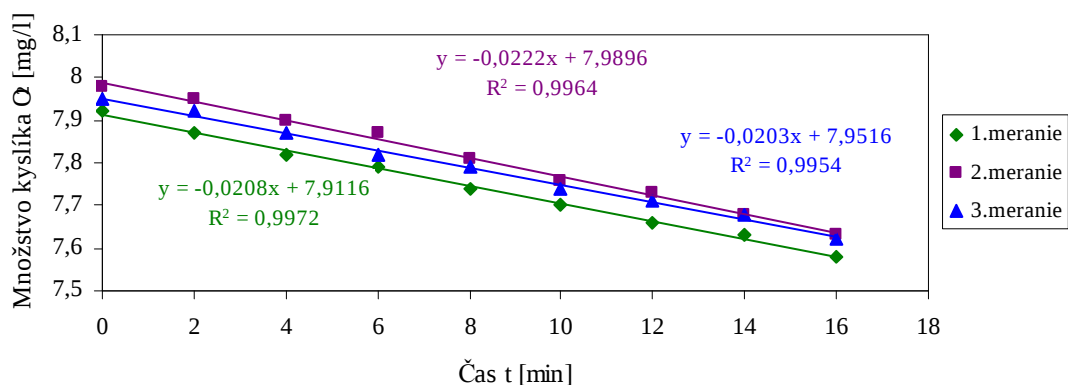


Graf 1-13: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-14: D – Glukóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,025 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,92	7,98	7,95	7,95
2	7,87	7,95	7,92	7,91
4	7,82	7,90	7,87	7,86
6	7,79	7,87	7,82	7,83
8	7,74	7,81	7,79	7,78
10	7,70	7,76	7,74	7,73
12	7,66	7,73	7,71	7,7
14	7,63	7,68	7,68	7,66
16	7,58	7,63	7,62	7,61

D - glukóza o c = 1 g/l + 0,025 g/l TiO₂

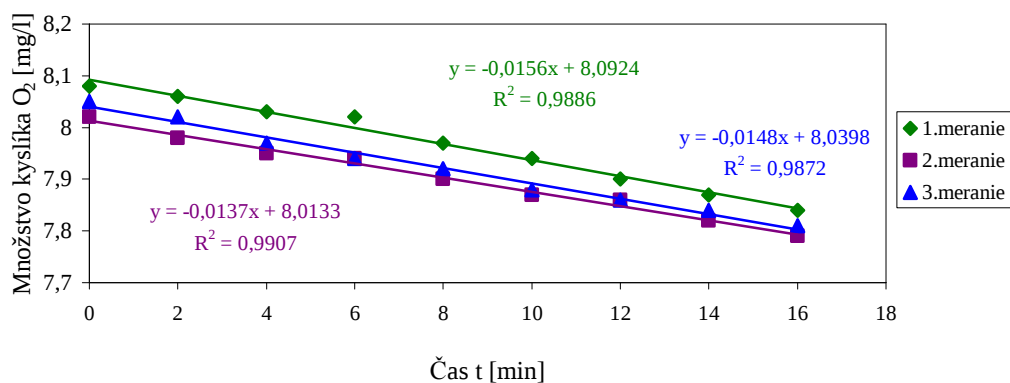


Graf 1-14: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-15: D – Glukóza o koncentrácii c = 1 g/l + 0,01 g/l TiO₂

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	8,08	8,02	8,05	8,05
2	8,06	7,98	8,02	8,02
4	8,03	7,95	7,97	7,98
6	8,02	7,94	7,94	7,97
8	7,97	7,90	7,92	7,93
10	7,94	7,87	7,88	7,9
12	7,90	7,86	7,86	7,87
14	7,87	7,82	7,84	7,84
16	7,84	7,79	7,81	7,81

D - glukóza o c = 1 g/l + 0,01 g/l TiO₂

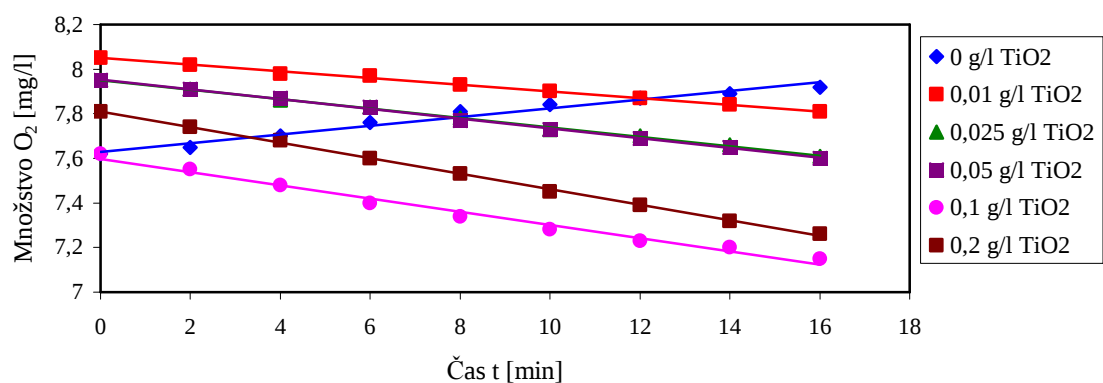


Graf 1-15: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-16: D – Glukóza o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO_2

Množstvo TiO_2 [g/l]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	7,62	7,65	7,70	7,76	7,81	7,84	7,87	7,89	7,92
0,01	8,05	8,02	7,98	7,97	7,93	7,90	7,87	7,84	7,81
0,025	7,95	7,91	7,86	7,83	7,78	7,73	7,70	7,66	7,61
0,05	7,95	7,91	7,87	7,83	7,77	7,73	7,69	7,65	7,60
0,1	7,62	7,55	7,48	7,40	7,34	7,28	7,23	7,20	7,15
0,2	7,81	7,74	7,68	7,60	7,53	7,45	7,39	7,32	7,26

D - Glukóza 1 g/l + TiO_2

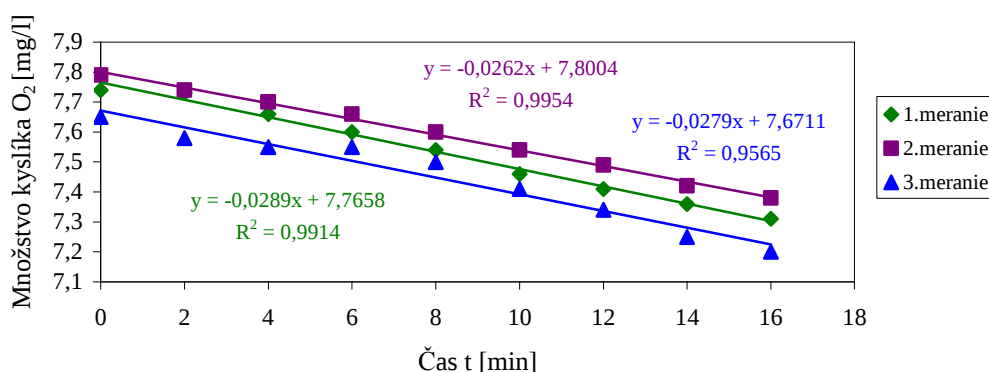


Graf 1-16: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rozdielnych množstvách oxidu titaničitého

Tabuľka 1-17: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + 0,2 g/l TiO_2

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,74	7,79	7,65	7,73
2	7,73	7,74	7,58	7,68
4	7,66	7,70	7,55	7,64
6	7,60	7,66	7,55	7,6
8	7,54	7,60	7,50	7,55
10	7,46	7,54	7,41	7,47
12	7,41	7,49	7,34	7,41
14	7,36	7,42	7,25	7,34
16	7,31	7,38	7,20	7,3

Formaldehyd o $c = 1 \text{ g/l} + 0,2 \text{ g/l TiO}_2$

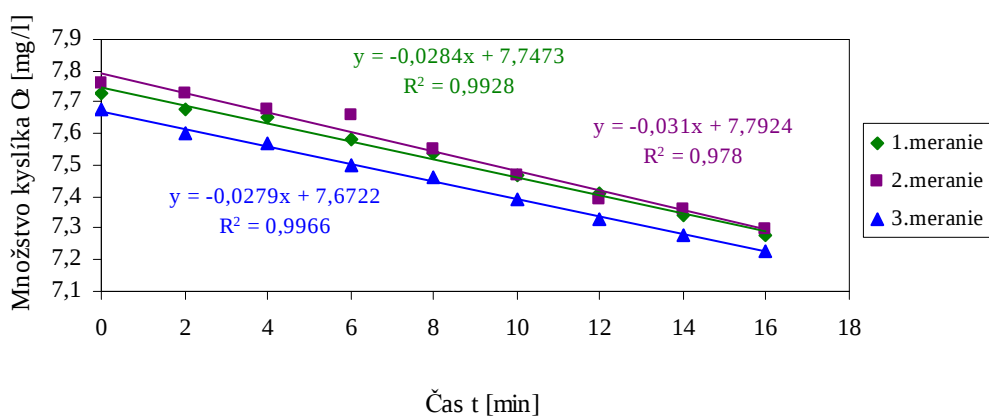


Graf 1-17: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-18: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,73	7,76	7,68	7,72
2	7,68	7,73	7,60	7,67
4	7,65	7,68	7,57	7,63
6	7,58	7,66	7,50	7,58
8	7,54	7,55	7,46	7,52
10	7,47	7,47	7,39	7,44
12	7,41	7,39	7,33	7,38
14	7,34	7,36	7,28	7,33
16	7,28	7,30	7,23	7,27

Formaldehyd o $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

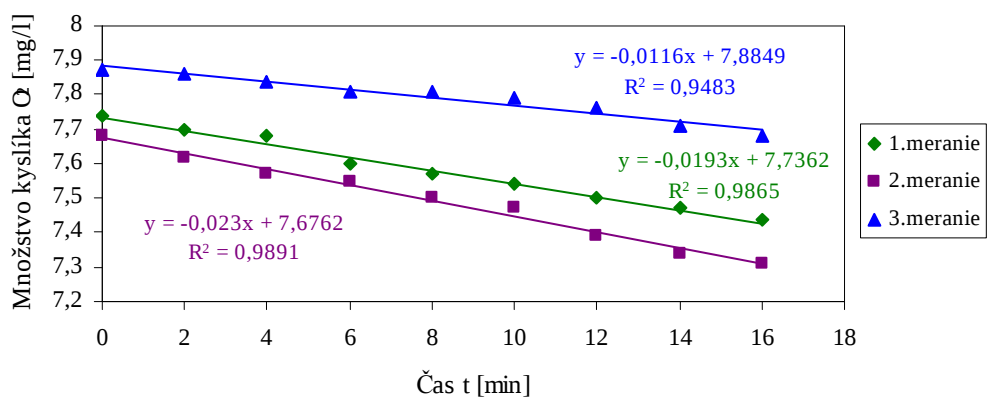


Graf 1-18: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-19: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,74	7,68	7,87	7,76
2	7,70	7,62	7,86	7,73
4	7,68	7,57	7,84	7,7
6	7,60	7,55	7,81	7,65
8	7,57	7,50	7,81	7,63
10	7,54	7,47	7,79	7,6
12	7,50	7,39	7,76	7,55
14	7,47	7,34	7,71	7,51
16	7,44	7,31	7,68	7,48

Formaldehyd o $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

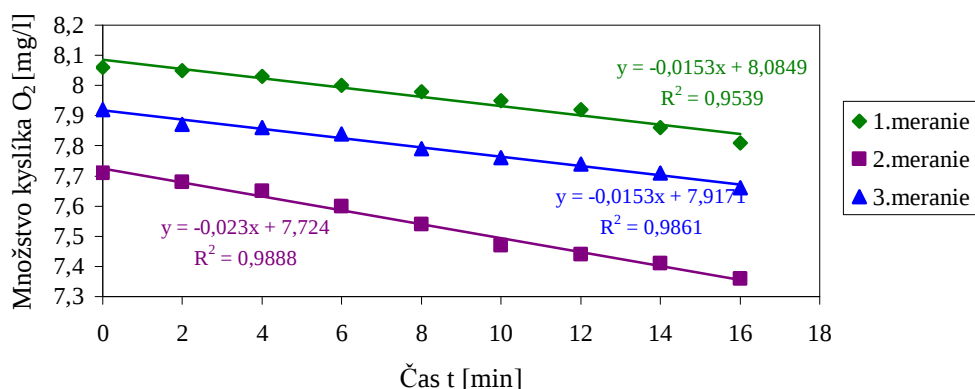


Graf 1-19: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-20: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,025 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	8,06	7,71	7,92	7,9
2	8,05	7,68	7,87	7,87
4	8,03	7,65	7,86	7,85
6	8,00	7,60	7,84	7,81
8	7,98	7,54	7,79	7,77
10	7,95	7,47	7,76	7,73
12	7,92	7,44	7,74	7,7
14	7,86	7,41	7,71	7,66
16	7,81	7,36	7,66	7,61

Formaldehyd o $c = 1 \text{ g/l} + 0,025 \text{ g/l TiO}_2$

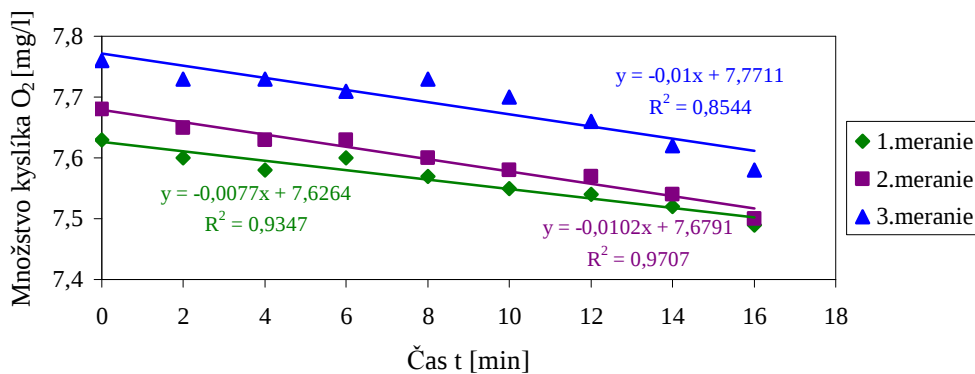


Graf 1-20: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-21: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,63	7,68	7,76	7,69
2	7,60	7,65	7,73	7,66
4	7,58	7,63	7,73	7,65
6	7,60	7,63	7,71	7,65
8	7,57	7,60	7,73	7,63
10	7,55	7,58	7,70	7,61
12	7,54	7,57	7,66	7,59
14	7,52	7,54	7,62	7,56
16	7,49	7,50	7,58	7,52

Formaldehyd o $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

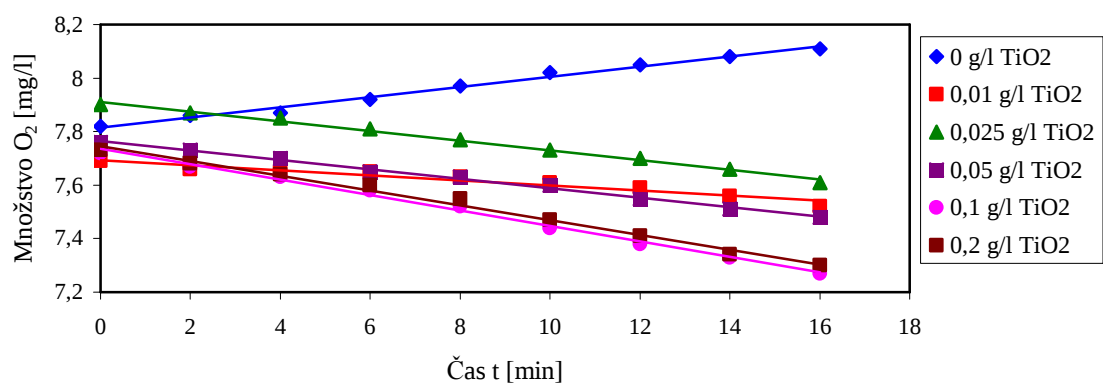


Graf 1-21: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-22: Formaldehyd o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO_2

Množstvo TiO_2 [g/l]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	7,82	7,86	7,87	7,92	7,97	8,02	8,05	8,08	8,11
0,01	7,69	7,66	7,65	7,65	7,63	7,61	7,59	7,56	7,52
0,025	7,90	7,87	7,85	7,81	7,77	7,73	7,70	7,66	7,61
0,05	7,76	7,73	7,70	7,65	7,63	7,60	7,55	7,51	7,48
0,1	7,72	7,67	7,63	7,58	7,52	7,44	7,38	7,33	7,27
0,2	7,73	7,68	7,64	7,60	7,55	7,47	7,41	7,34	7,30

Formaldehyd 1 g/l + TiO_2

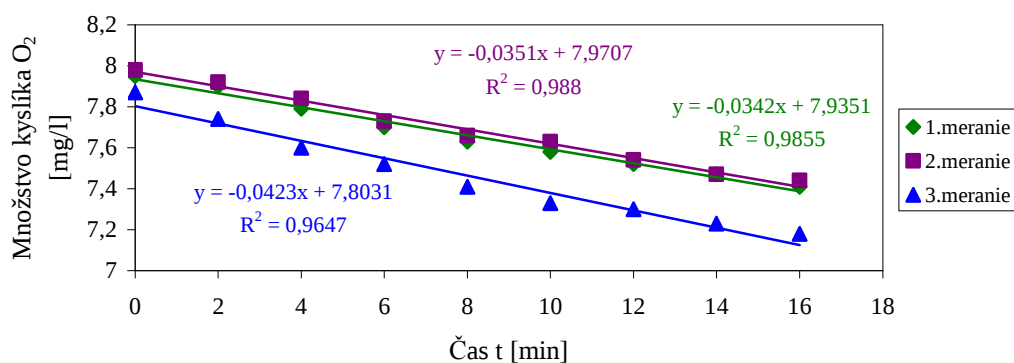


Graf 1-22: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rozdielnych množstvách oxidu titaničitého

Tabuľka 1-23: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + 0,2 g/l TiO_2

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,95	7,98	7,87	7,93
2	7,90	7,92	7,74	7,85
4	7,79	7,84	7,60	7,74
6	7,70	7,73	7,52	7,65
8	7,63	7,66	7,41	7,57
10	7,58	7,63	7,33	7,51
12	7,52	7,54	7,30	7,45
14	7,47	7,47	7,23	7,39
16	7,41	7,44	7,18	7,34

Oranž II o $c = 1 \text{ g/l} + 0,2 \text{ g/l TiO}_2$

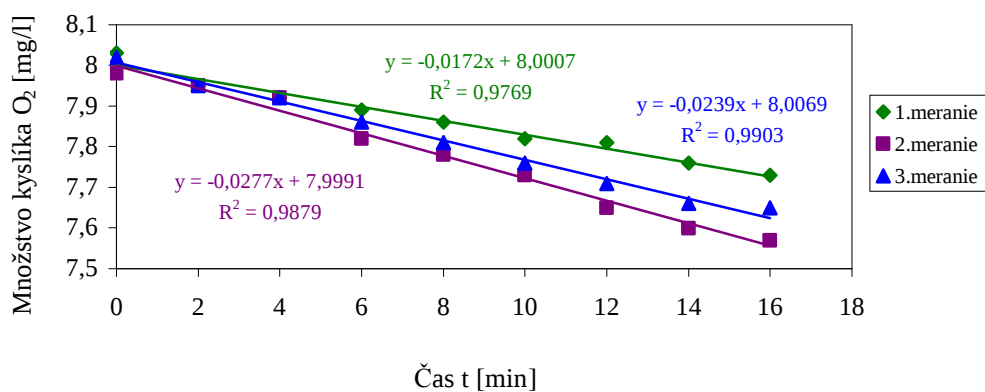


Graf 1-23: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-24: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	8,03	7,98	8,02	8,01
2	7,95	7,95	7,95	7,95
4	7,92	7,92	7,92	7,92
6	7,89	7,82	7,86	7,86
8	7,86	7,78	7,81	7,82
10	7,82	7,73	7,76	7,77
12	7,81	7,65	7,71	7,72
14	7,76	7,60	7,66	7,67
16	7,73	7,57	7,65	7,65

Oranž II o $c = 1 \text{ g/l} + 0,1 \text{ g/l TiO}_2$

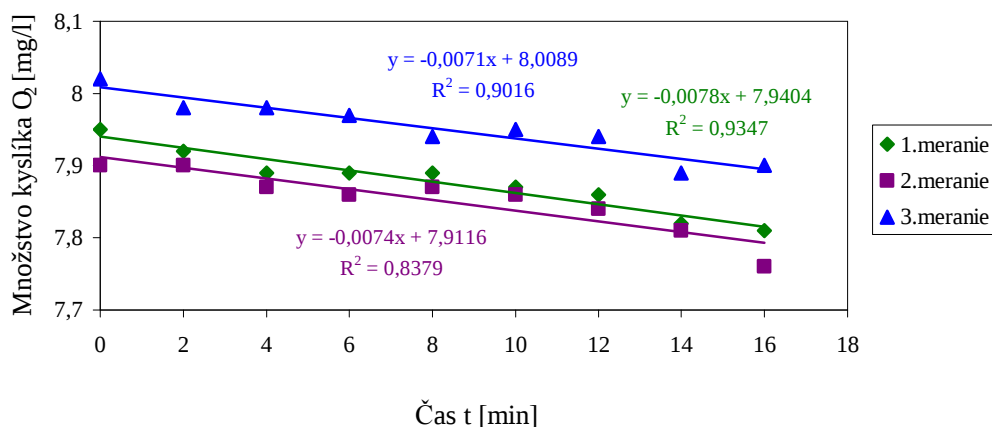


Graf 1-24: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-25: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,95	7,90	8,02	7,96
2	7,92	7,90	7,98	7,93
4	7,89	7,87	7,98	7,91
6	7,89	7,86	7,97	7,91
8	7,89	7,87	7,94	7,9
10	7,87	7,86	7,95	7,89
12	7,86	7,84	7,94	7,88
14	7,82	7,81	7,89	7,84
16	7,81	7,76	7,90	7,82

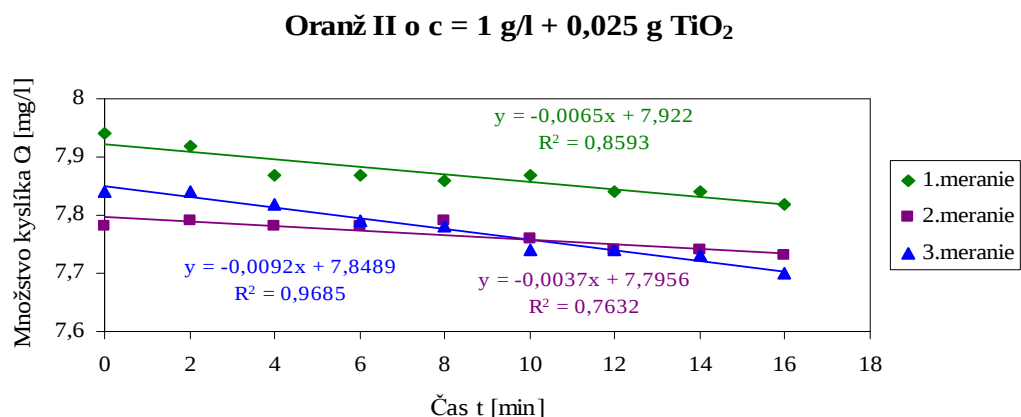
Oranž II o $c = 1 \text{ g/l} + 0,05 \text{ g/l TiO}_2$



Graf 1-25: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-26: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,025 \text{ g/l TiO}_2$

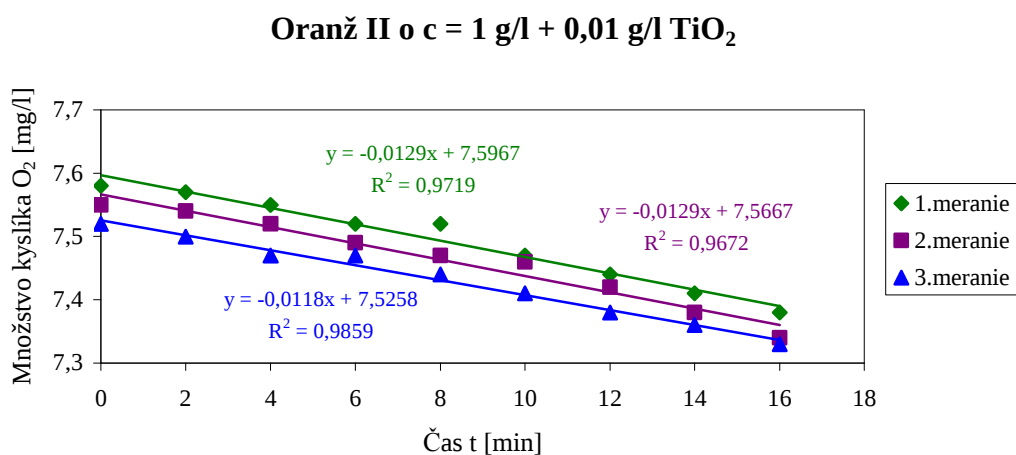
Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,94	7,78	7,84	7,85
2	7,92	7,79	7,84	7,85
4	7,87	7,78	7,82	7,82
6	7,87	7,78	7,79	7,81
8	7,86	7,79	7,78	7,81
10	7,87	7,76	7,74	7,79
12	7,84	7,74	7,74	7,77
14	7,84	7,74	7,73	7,77
16	7,82	7,73	7,70	7,75



Graf 1-26: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-27: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l} + 0,01 \text{ g/l TiO}_2$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]			
	1.meranie	2.meranie	3.meranie	Aritmetický priemer
0	7,58	7,55	7,52	7,55
2	7,57	7,54	7,5	7,54
4	7,55	7,52	7,47	7,51
6	7,52	7,49	7,47	7,49
8	7,52	7,47	7,44	7,48
10	7,47	7,46	7,41	7,45
12	7,44	7,42	7,38	7,41
14	7,41	7,38	7,36	7,38
16	7,38	7,34	7,33	7,35

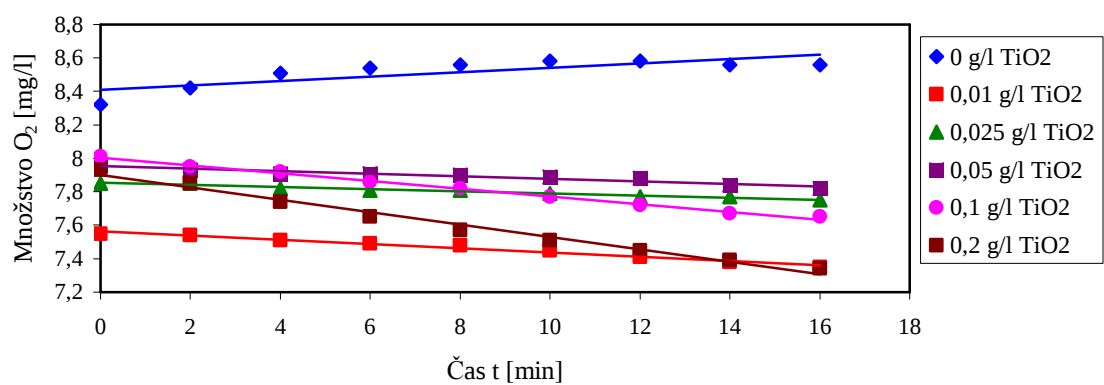


Graf 1-27: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku

Tabuľka 1-28: Oranž II o koncentrácii $c = 1 \text{ g/l}$ + množstvá TiO_2

Množstvo TiO_2 [g/l]	Množstvo kyslíka O_2 [mg/l]								
	0 min.	2 min.	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.
0	8,32	8,42	8,51	8,54	8,56	8,58	8,58	8,56	8,56
0,01	7,55	7,54	7,51	7,49	7,48	7,45	7,41	7,38	7,35
0,025	7,85	7,85	7,82	7,81	7,81	7,79	7,77	7,77	7,75
0,05	7,96	7,93	7,91	7,91	7,90	7,89	7,88	7,84	7,82
0,1	8,01	7,95	7,92	7,86	7,82	7,77	7,72	7,67	7,65
0,2	7,93	7,85	7,74	7,65	7,57	7,51	7,45	7,39	7,34

Oranž II 1 g/l + TiO_2



Graf 1-28: Závislosť množstva kyslíka na dobe merania fotokatalytického účinku pri rozdielnych množstvách oxidu titaničitého

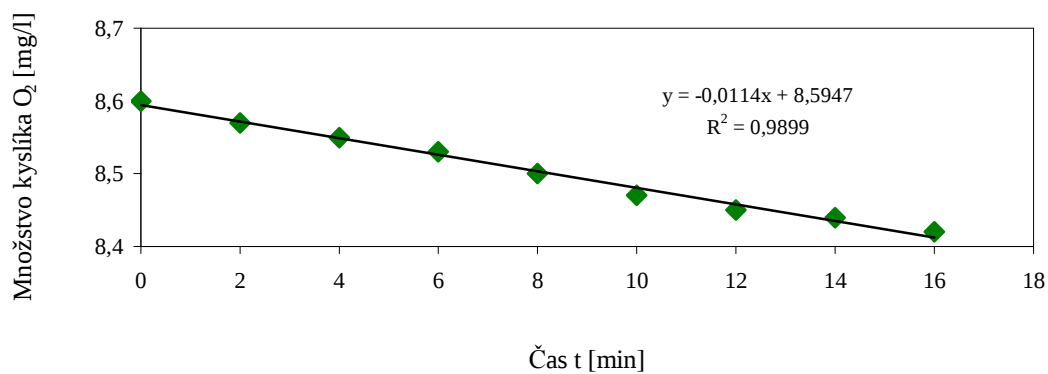
Príloha 2

**Meranie fotokatalytického účinku oxidu titaničitého na roztoku
kyseliny askorbovej za prítomnosti vzorky tkaniny skleneného vlákna**

Tabuľka 2-1: Kyselina askorbová o $c = 1\text{g/l} + 1\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $150\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,60
2	8,57
4	8,55
6	8,53
8	8,50
10	8,47
12	8,45
14	8,44
16	8,42

Kyselina askorbová $1\text{ g/l} + 1\text{ g/l TiO}_2$ pri $150\text{ }^\circ\text{C}$

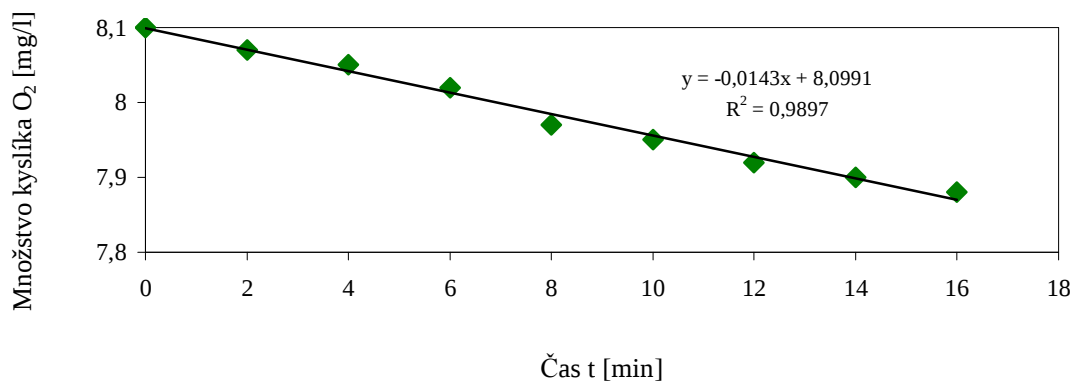


Graf 2-1: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-2: Kyselina askorbová o $c = 1\text{g/l} + 2\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $150\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,10
2	8,07
4	8,05
6	8,02
8	7,97
10	7,95
12	7,92
14	7,90
16	7,88

Kyselina askorbová 1 g/l + 2 g/l TiO₂ pri 150 °C

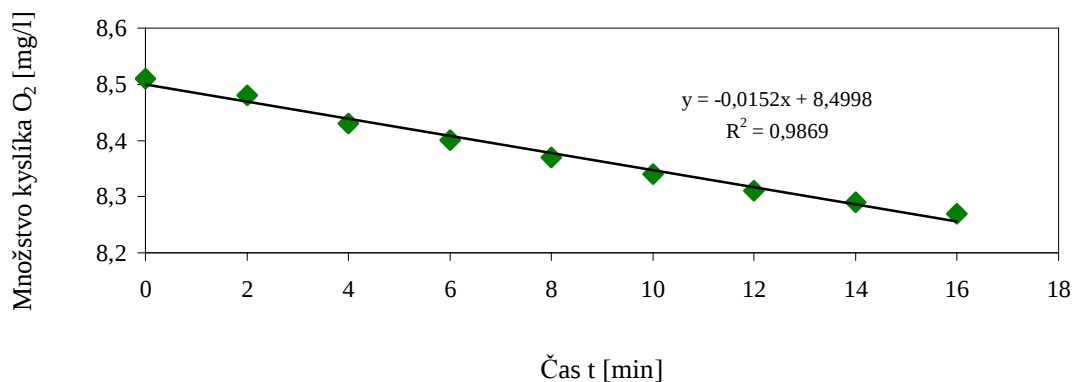


Graf 2-2: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-3: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 5\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie 150 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,51
2	8,48
4	8,43
6	8,4
8	8,37
10	8,34
12	8,31
14	8,29
16	8,27

Kyselina askorbová 1 g/l + 5 g/l TiO₂ pri 150 °C

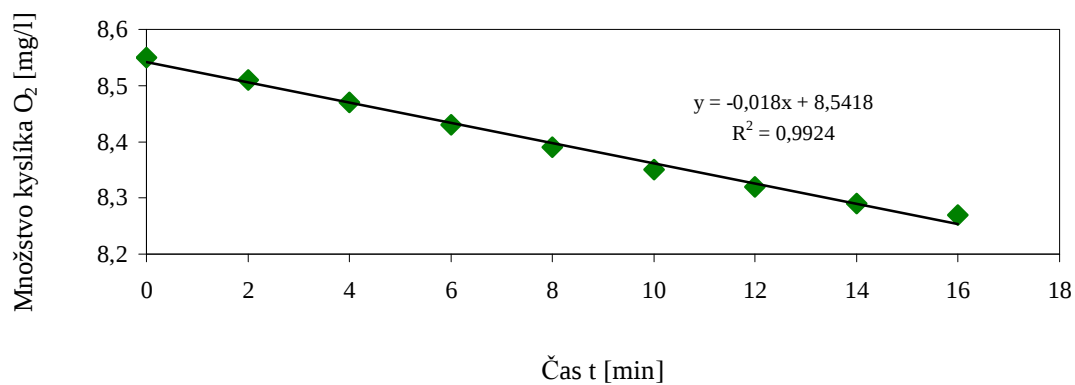


Graf 2-3: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-4: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 10\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $150\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,55
2	8,51
4	8,47
6	8,43
8	8,39
10	8,35
12	8,32
14	8,29
16	8,27

Kyselina askorbová 1 g/l + 10 g/l TiO₂ pri 150 °C

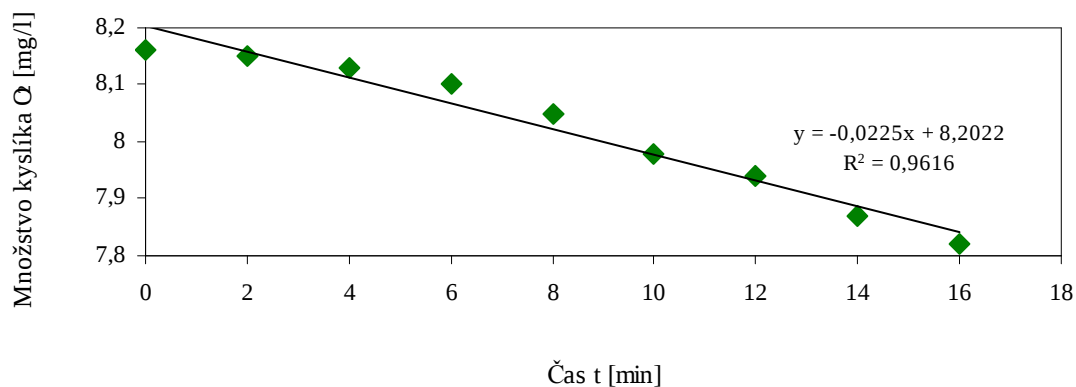


Graf 2-4: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-5: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 20\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $150\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,16
2	8,15
4	8,13
6	8,10
8	8,05
10	7,98
12	7,94
14	7,87
16	7,82

Kyselina askorbová 1 g/l + 20 g/l TiO₂ pri 150 °C

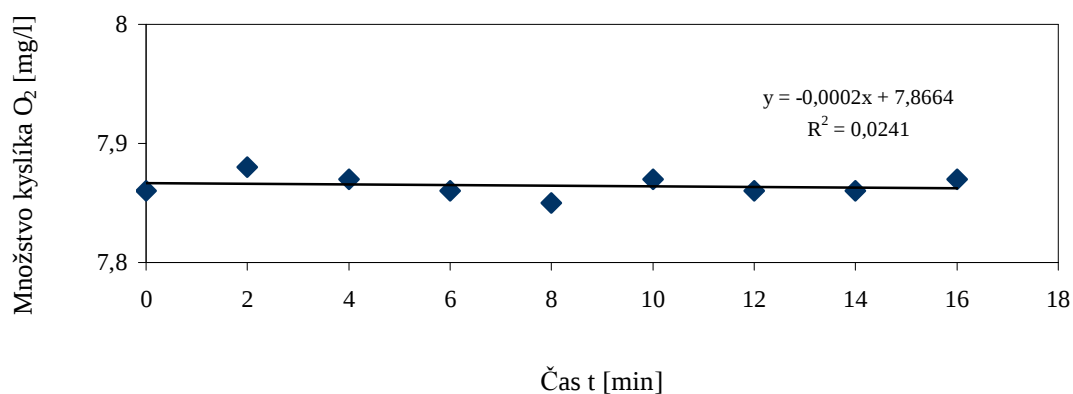


Graf 2-5: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-6: Kyselina askorbová o c = 1g/l + 0 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 250 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,86
2	7,88
4	7,87
6	7,86
8	7,85
10	7,87
12	7,86
14	7,86
16	7,87

Kyselina askorbová 1 g/l + 0 g/l TiO₂ pri 250 °C

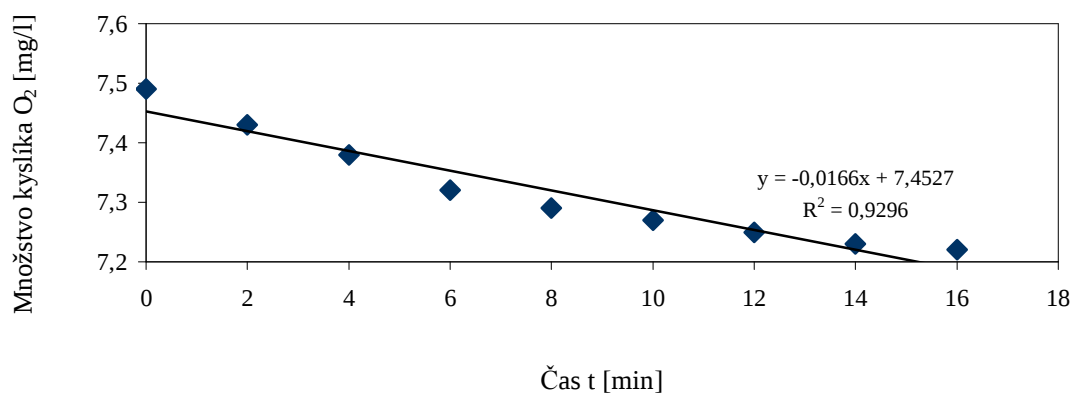


Graf 2-6: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-7: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 1\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $250\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,49
2	7,43
4	7,38
6	7,32
8	7,29
10	7,27
12	7,25
14	7,23
16	7,22

Kyselina askorbová 1 g/l + 1 g/l TiO₂ pri 250 °C

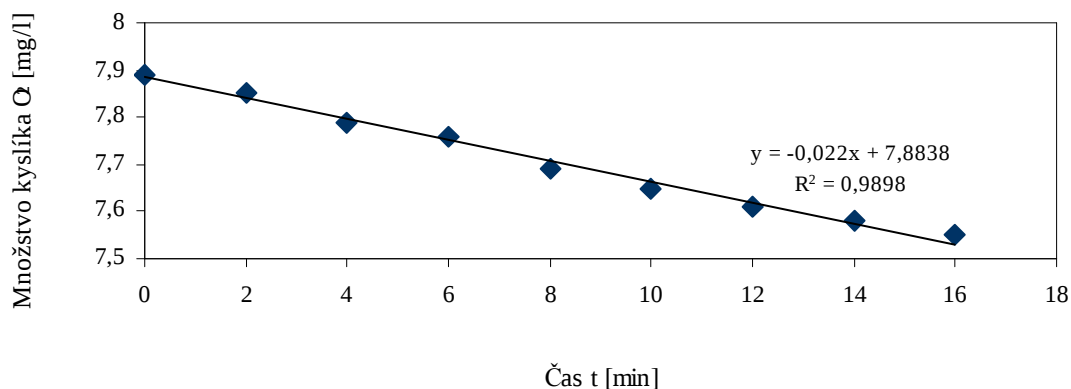


Graf 2-7: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-8: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 2\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $250\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,89
2	7,85
4	7,79
6	7,76
8	7,69
10	7,65
12	7,61
14	7,58
16	7,55

Kyselina askorbová 1 g/l + 2 g/l TiO₂ pri 250 °C

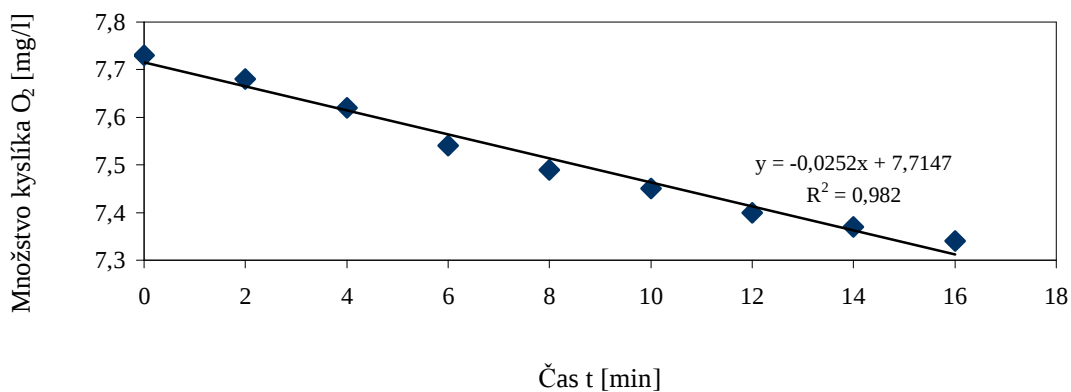


Graf 2-8: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-9: Kyselina askorbová o $c = 1\text{g/l} + 5\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie 250 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,73
2	7,68
4	7,62
6	7,54
8	7,49
10	7,45
12	7,4
14	7,37
16	7,34

Kyselina askorbová 1 g/l + 5 g/l TiO₂ pri 250 °C

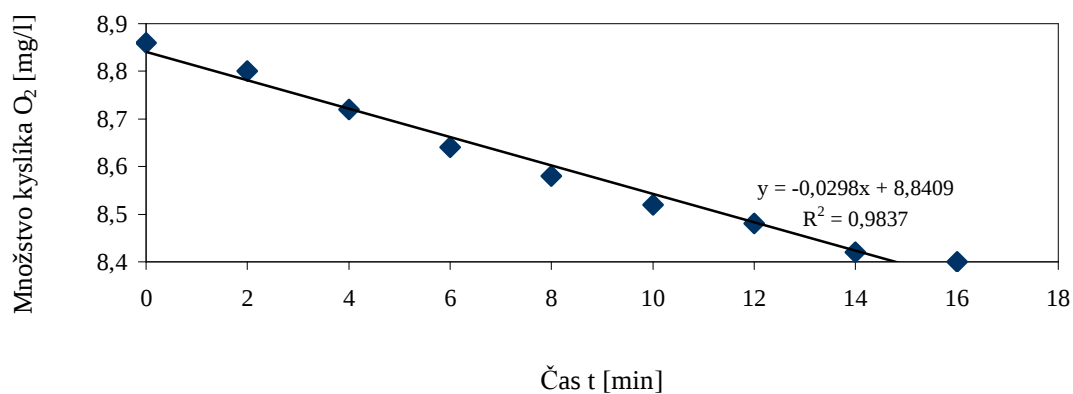


Graf 2-9: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-10: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 10\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $250\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,86
2	8,8
4	8,72
6	8,64
8	8,58
10	8,52
12	8,48
14	8,42
16	8,4

Kyselina askorbová 1 g/l + 10 g/l TiO₂ pri 250 °C

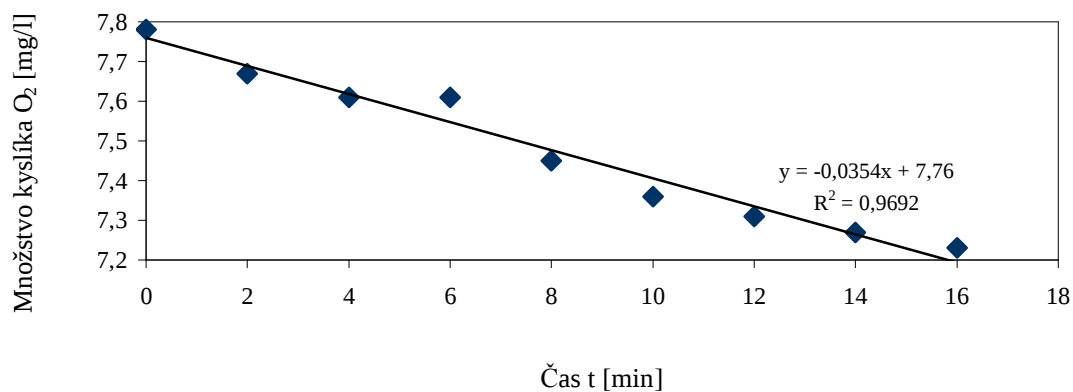


Graf 2-10: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-11: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 15\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $250\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,78
2	7,67
4	7,61
6	7,61
8	7,45
10	7,36
12	7,31
14	7,27
16	7,23

Kyselina askorbová 1 g/l + 15 g/l TiO₂ pri 250 °C

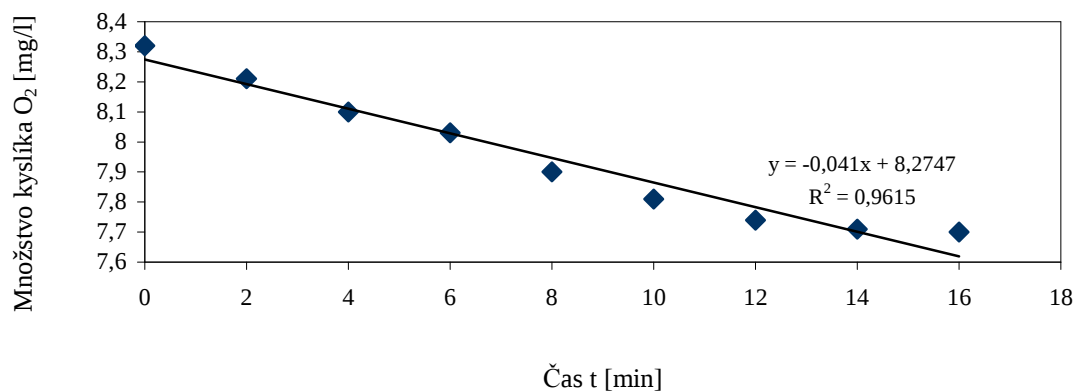


Graf 2-11: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-12: Kyselina askorbová o c = 1g/l + 20 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 250 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,32
2	8,21
4	8,1
6	8,03
8	7,9
10	7,81
12	7,74
14	7,71
16	7,7

Kyselina askorbová 1 g/l + 20 g/l TiO₂ pri 250 °C

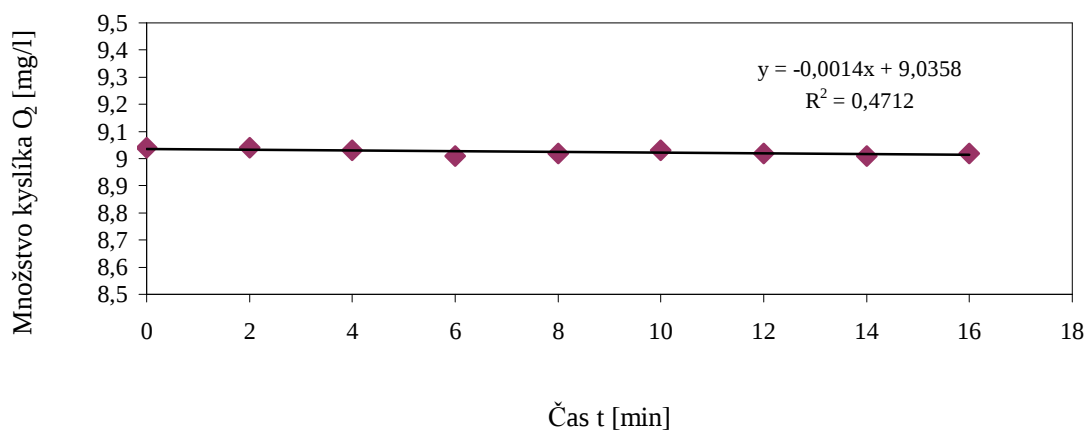


Graf 2-12: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-13: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 0\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $300\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	9,04
2	9,04
4	9,03
6	9,01
8	9,02
10	9,03
12	9,02
14	9,01
16	9,02

Kyselina askorbová 1 g/l + 0 g/l TiO₂ pri 300 °C

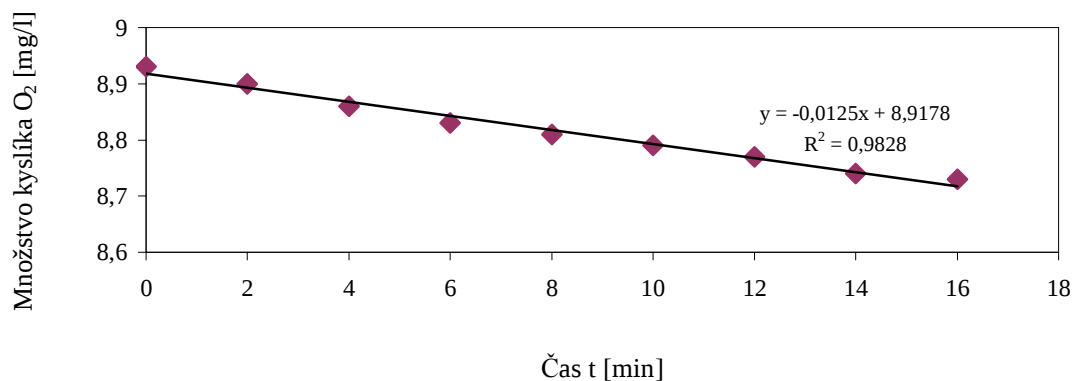


Graf 2-13: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-14: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 1\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $300\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,93
2	8,9
4	8,86
6	8,83
8	8,81
10	8,79
12	8,77
14	8,74
16	8,73

Kyselina askorbová 1 g/l + 1 g/l TiO₂ pri 300 °C

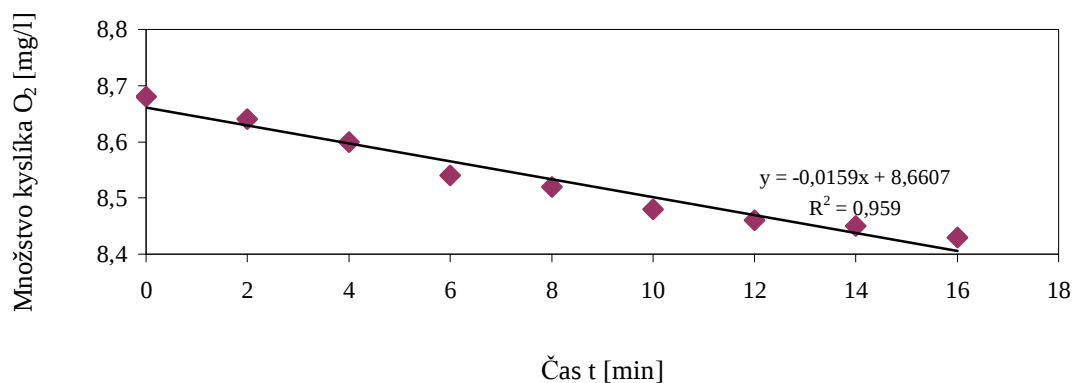


Graf 2-14: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-15: Kyselina askorbová o c = 1g/l + 2 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 300 °C

ČAS T [MIN]	MNOŽSTVO KYSLÍKA O ₂ [MG/L]
0	8,68
2	8,64
4	8,6
6	8,54
8	8,52
10	8,48
12	8,46
14	8,45
16	8,43

Kyselina askorbová 1 g/l + 2 g/l TiO₂ pri 300 °C

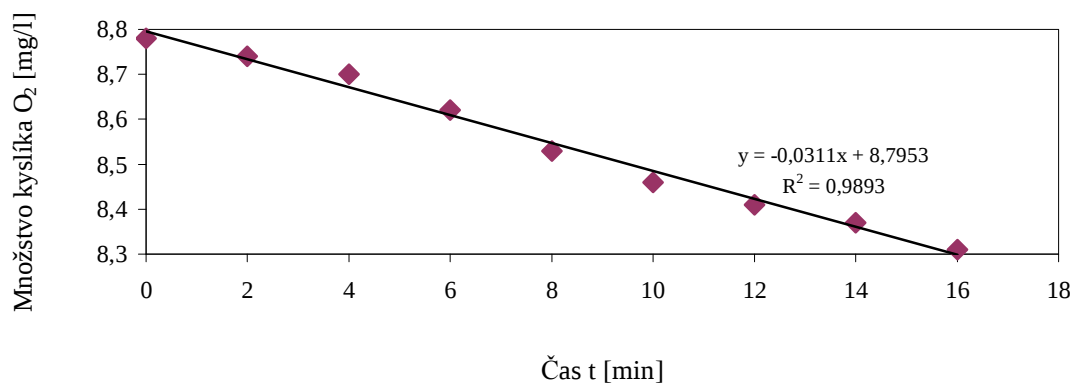


Graf 2-15: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-16: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 5\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $300\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,78
2	8,74
4	8,7
6	8,62
8	8,53
10	8,46
12	8,41
14	8,37
16	8,31

Kyselina askorbová $1\text{ g/l} + 5\text{ g/l TiO}_2$ pri $300\text{ }^\circ\text{C}$

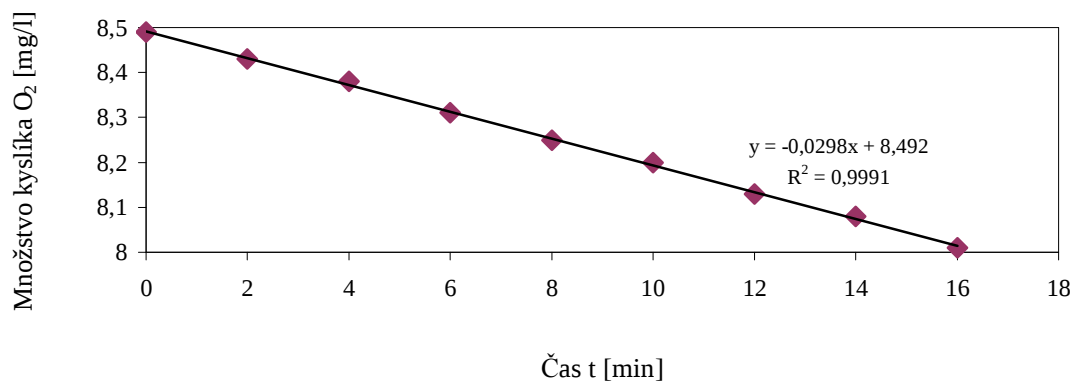


Graf 2-16: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-17: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 10\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $300\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,49
2	8,43
4	8,38
6	8,31
8	8,25
10	8,2
12	8,13
14	8,08
16	8,01

Kyselina askorbová 1 g/l + 10 g/l TiO₂ pri 300 °C

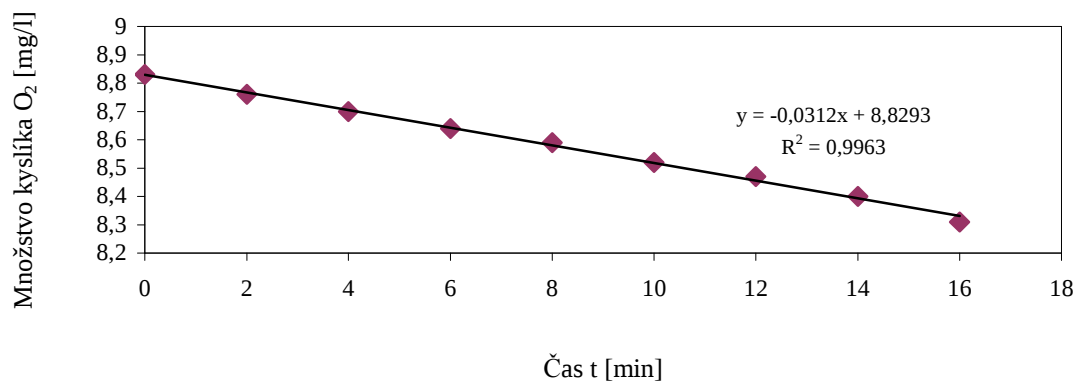


Graf 2-17: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-18: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l}$ + 15 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 300 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,83
2	8,76
4	8,7
6	8,64
8	8,59
10	8,52
12	8,47
14	8,4
16	8,31

Kyselina askorbová 1 g/l + 15 g/l TiO₂ pri 300 °C

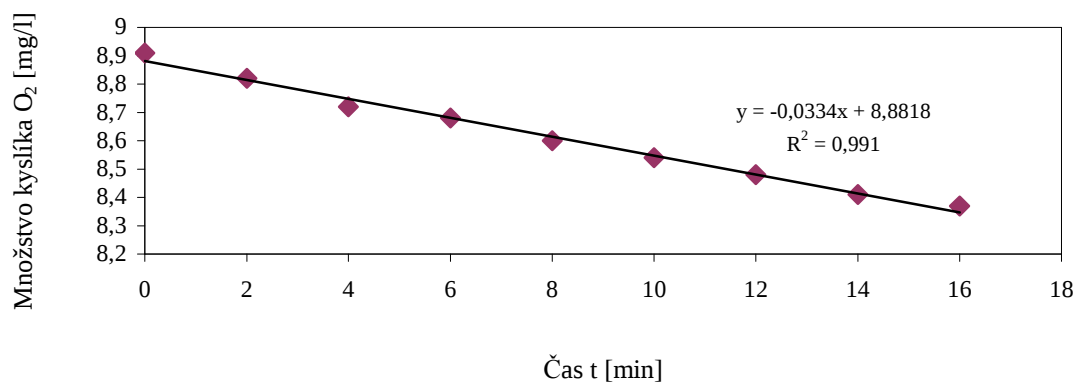


Graf 2-18: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-19: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 20\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $300\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,91
2	8,82
4	8,72
6	8,68
8	8,6
10	8,54
12	8,48
14	8,41
16	8,37

Kyselina askorbová 1 g/l + 20 g/l TiO₂ pri 300 °C

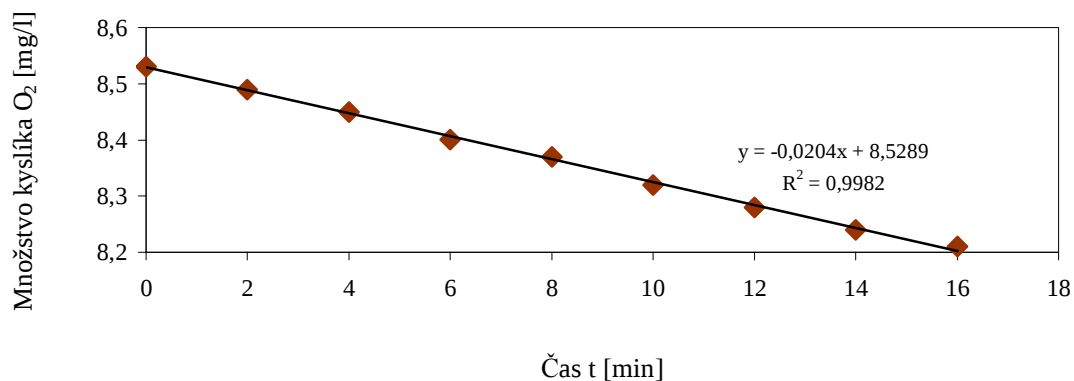


Graf 2-19: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-20: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 1\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $400\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	8,53
2	8,49
4	8,45
6	8,4
8	8,37
10	8,32
12	8,28
14	8,24
16	8,21

Kyselina askorbová 1 g/l + 1 g/l TiO₂ pri 400 °C

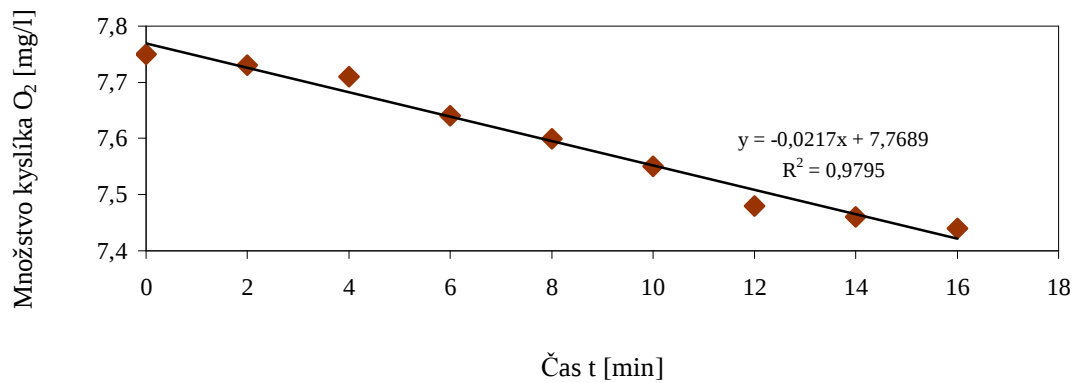


Graf 2-20: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-21: Kyselina askorbová o c = 1g/l + 2 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 400 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,75
2	7,73
4	7,71
6	7,64
8	7,6
10	7,55
12	7,48
14	7,46
16	7,44

Kyselina askorbová 1 g/l + 2 g/l TiO₂ pri 400 °C

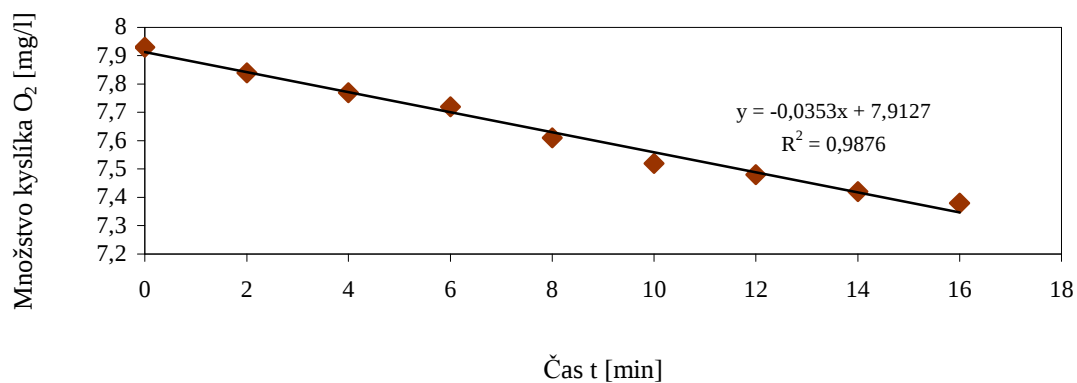


Graf 2-21: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-23: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 5\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $400\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,93
2	7,84
4	7,77
6	7,72
8	7,61
10	7,52
12	7,48
14	7,42
16	7,38

Kyselina askorbová $1\text{ g/l} + 5\text{ g/l TiO}_2$ pri $400\text{ }^\circ\text{C}$

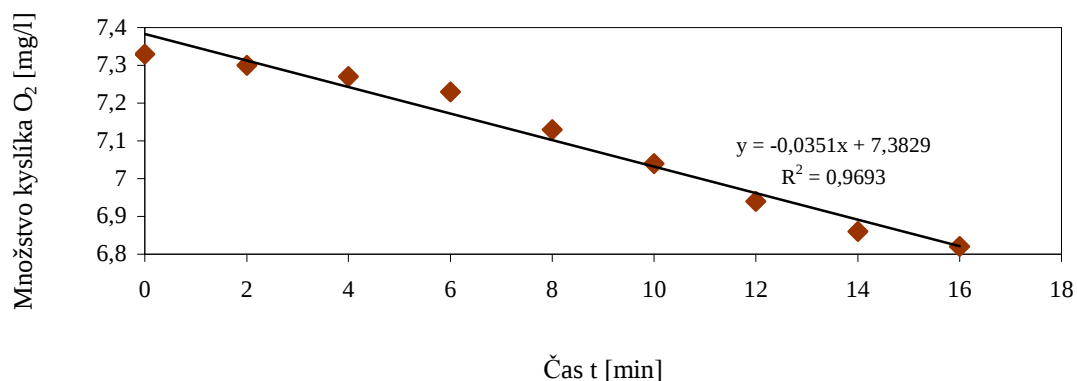


Graf 2-23: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-24: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l} + 10\text{ g/l TiO}_2$ pri teplote fixácie $400\text{ }^\circ\text{C}$

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,33
2	7,3
4	7,27
6	7,23
8	7,13
10	7,04
12	6,94
14	6,86
16	6,82

Kyselina askorbová 1 g/l + 10 g/l TiO₂ pri 400 °C

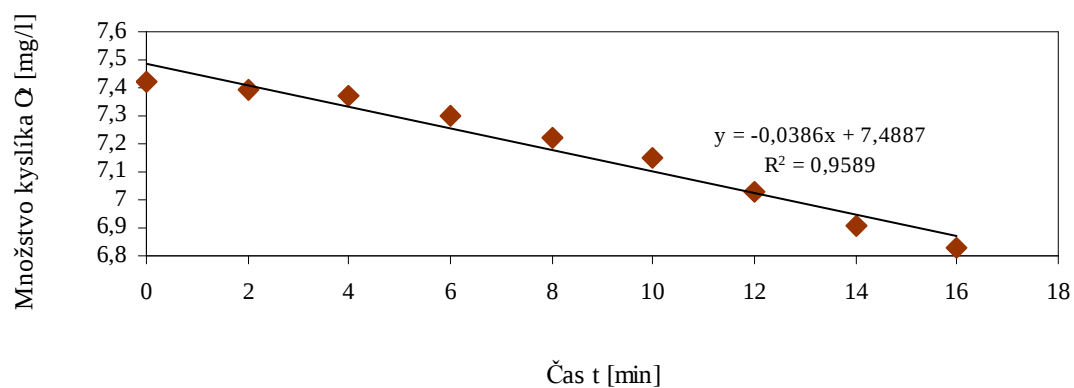


Graf 2-24: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Tabuľka 2-25: Kyselina askorbová o $c = 1\text{ g/l}$ + 20 g/l TiO₂ pri teplote fixácie 400 °C

Čas t [min]	Množstvo kyslíka O ₂ [mg/l]
0	7,42
2	7,39
4	7,37
6	7,3
8	7,22
10	7,15
12	7,03
14	6,91
16	6,83

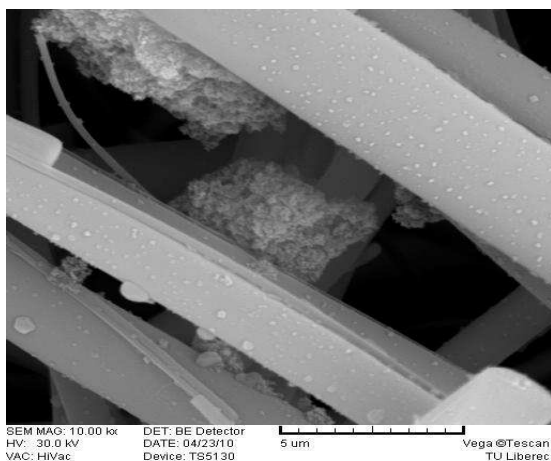
Kyselina askorbová 1 g/l + 20 g/l TiO₂ pri 400 °C



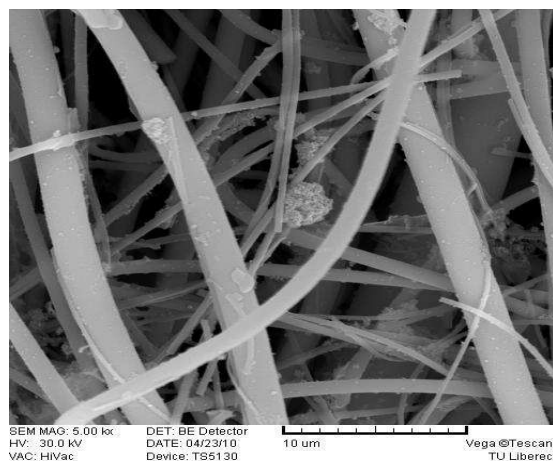
Graf 2-25: Závislosť množstva kyslíka na dobe fotokatalytického účinku

Príloha 3

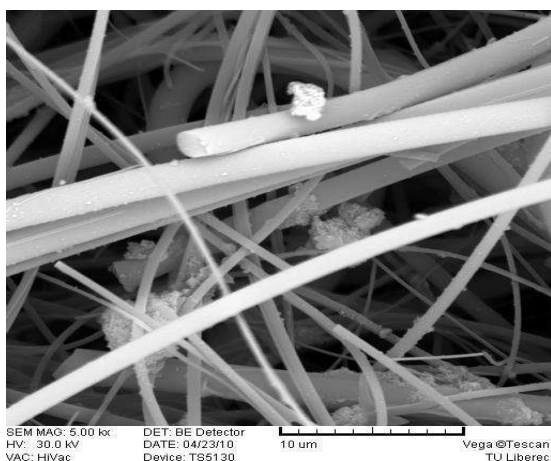
**Snímky vzoriek sklenených tkanín s nánosom sól – gélu a oxidu
titaničitého premeriavaných na rastrovacom elektrónovom
mikroskope**



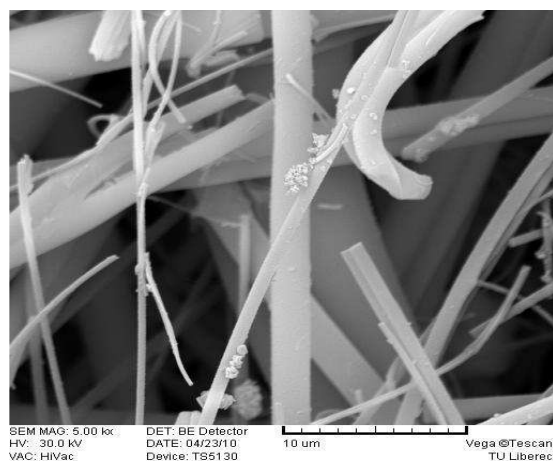
Obr.č. 1: $c = 15$ g/l fixovaná pri 150 °C



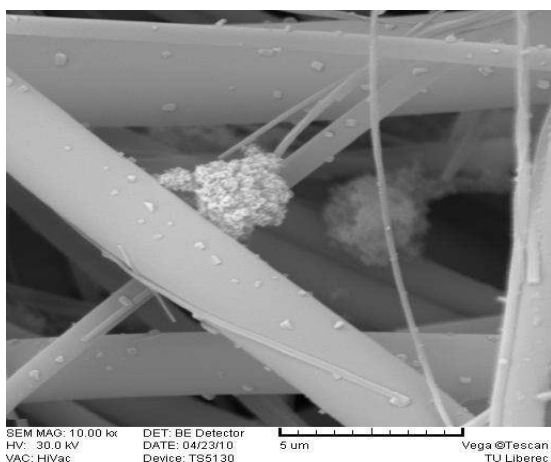
Obr.č. 2: $c = 20$ g/l fixovaná pri 150 °C



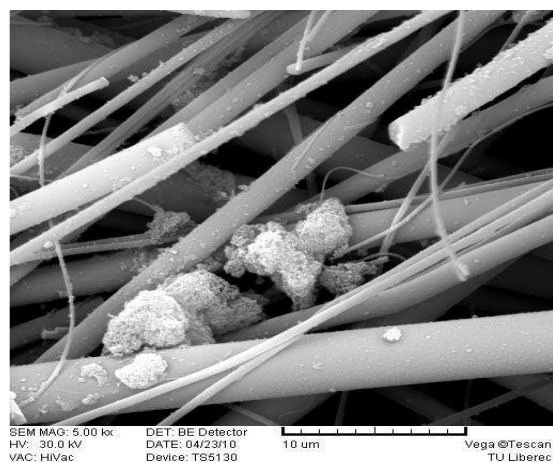
Obr.č. 3: $c = 15$ g/l fixovaná pri 250 °C



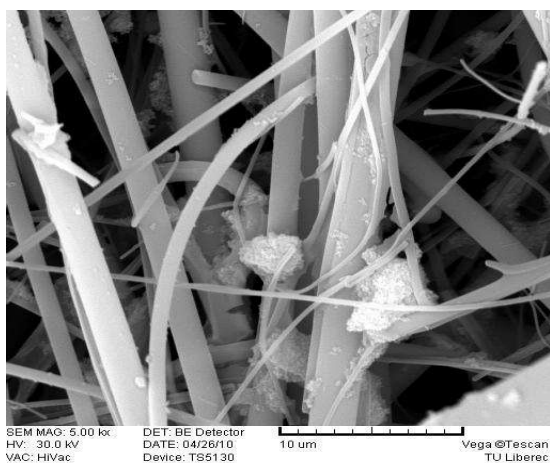
Obr.č. 4: $c = 20$ g/l fixovaná pri 250 °C



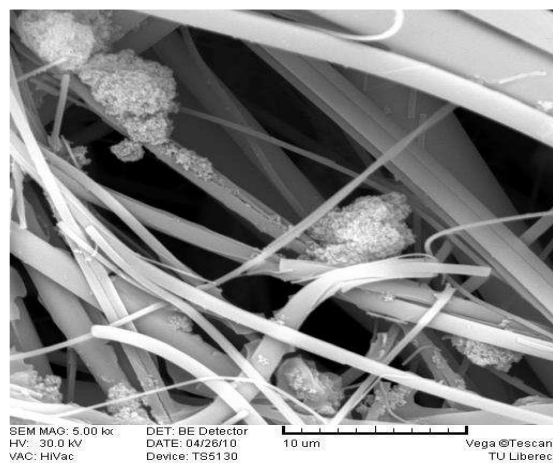
Obr.č. 5: $c = 15$ g/l fixovaná pri 350 °C



Obr.č. 6: $c = 20$ g/l fixovaná pri 350 °C



Obr.č. 7: $c = 15$ g/l fixovaná pri 400 °C



Obr.č. 8: $c = 20$ g/l fixovaná pri 400 °C