

# BAKTERICIDNÍ ÚČINKY OXIDU TITANIČITÉHO

## BACTERICIDAL EFFECTS OF TITANIUM DIOXIDE

IDA HOLLEROVÁ, KAREL KOSAŘ, VÚPS, a. s., Lípová 15, 120 44 Praha 2 / *Research Institute of Brewing and Malting, PLC, Lípová 15, Praha 2*

ZDENĚK STRNAD, LASAK, spol. s r. o., / LASAK, Ltd., Laboratory of Glass and Ceramics, Papírenská 25, 160 00 Praha 6

PAVEL PECH, C&D, spol. s r. o., Musílkova 8, 150 00 Praha 5 / C&D, Ltd., Musílkova 8, 150 00 Praha 5

**Klíčová slova:** oxid titaničitý, dezinfekce, fotokatalýza, baktericidní účinky

**Keywords:** titanium dioxide, disinfection, photo-catalysis, bactericidal effect

### 1 ÚVOD

Některá špatně přístupná místa v potravinářských provozech mohou mnohdy způsobit masivní kontaminaci na celém úseku výroby, přičemž vyhledávání ohniska kontaminace a jeho likvidace si vyžaduje nemalého úsilí a odborných znalostí.

Novou revoluční dezinfekční metodou se jeví možnost povrchové aplikace ochranného filmu s obsahem krystalického  $\text{TiO}_2$ , který funguje jako fotokatalyzátor a při ozáření světlem o vlnových délkách odpovídajících viditelnému spektru emituje do okolí volné hydroxylové radikály. Jejich bakteriostatický a baktericidní účinek dezinfikuje povrchy a okolní prostředí bez použití jiných chemických agens.

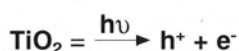
Ultrajemný  $\text{TiO}_2$  je znám jako fotokatalyzátor, který se svou vysokou antibakteriální schopností jeví jako ekonomičtější a ekologičtější alternativa k takovým užívaným prostředkům, jako je chlor, kyselina chlorná, UV záření nebo ozón.

$\text{TiO}_2$  je pevně vázán v nanoseném povrchovém filmu a do okolního prostředí se neuvolňuje. Při této metodě nepřichází v úvahu nebezpečí nedostatečné likvidace reziduí chemických látek použitých k sanitaci. Nedochází k přímému ozáření vlastního výrobku ani meziprojektu výroby UV zářením.  $\text{TiO}_2$  může být nanášen na rovné i drsné povrchy, s výhodou lze použít nanášení na povrchy balotín o velmi malém průměru.

### 2 PRINCIP METODY

Podstatou efektu je následující heterogenní fotokatalytická reakce:

Nejprve absorpcí fotonů částicemi polovodiče-fotokatalyzátoru vzniká dvojice nosičů nábojů:



přičemž:

$\text{e}^-$  je elektron ve vodivostním pásu

$\text{h}^+$  je „díra“ ve valenčním pásu, představuje volně pohyblivý náboj

$h\nu$  = energie fotonu dopadajícího záření

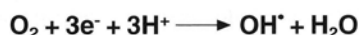
$h$  = Planckova konstanta ( $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Js)

$\nu$  = frekvence záření ( $\text{s}^{-1}$ )

Pozitivně nabitý díry svým vysokým oxidačním potenciálem umožňují oxidaci 1 elektronu molekuly vody za vzniku velmi oxidačního hydroxylového radikálu:



Rozpuštěný kyslík je akceptorem elektronů a jeho redukcí vznikají další volné hydroxylové radikály:



Reakcí vzniklých volných hydroxylových radikálů dochází k de-

### 1 INTRODUCTION

Some poorly accessible places in food industry plants can sometimes bring about a massive contamination of the whole production sector; localization of the contamination focus and its elimination usually required intensive effort and deep professional knowledge.

A novel revolutionary disinfection method is the possibility of surface application of a protective film containing  $\text{TiO}_2$ , which functions as a photocatalyst and, on illumination with visible light, emits into the environment free hydroxyl radicals. Owing to their bacteriostatic and bactericidal effect, these radicals disinfect surfaces and the environment without the need of using other chemical agents.

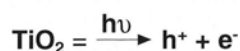
The use of the ultrafine  $\text{TiO}_2$  as a photocatalyst with a high antibacterial effect appears to be more economical and environmentally friendly than the application of chemicals such as chlorine, hypochlorous acid, UV light or ozone.

$\text{TiO}_2$  is firmly bound in the surface film coating and is not released into the environment. The method is free of the risk of insufficient liquidation of residual chemicals used for sanitation. Neither the final food products nor their intermediates are directly UV-irradiated.  $\text{TiO}_2$  can be applied on both rough and smooth surfaces, and a convenient modality of its use is its coating of very small glass beads.

### 2 PRINCIPLE OF THE METHOD

The antibacterial effect is based on the following heterogeneous photocatalytic reaction:

Particles of the semiconductor-photocatalyst first absorb photons to give rise to a pair of charge carriers:



where

$\text{e}^-$  is an electron in conduction band

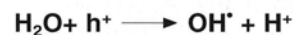
$\text{h}^+$  is a hole in the valence band representing in fact a freely mobile charge

$h\nu$  is the energy of a photon of the impinging radiation

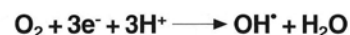
$h$  is the Planck constant ( $h = 6.626 \times 10^{-34}$  Js),

$\nu$  is the frequency of the radiation ( $\text{s}^{-1}$ )

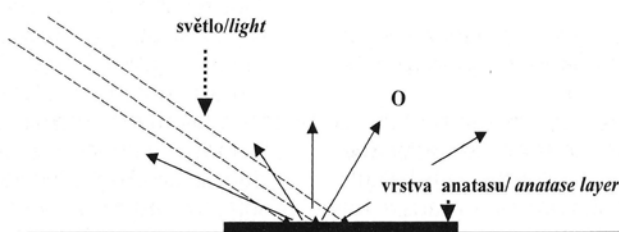
Owing to their high oxidation potential, positively charged holes promote a one-electron oxidation of a water molecule that gives rise to a highly reactive pro-oxidant, the hydroxyl radical:



Dissolved oxygen is an electron acceptor and its reduction yields again hydroxyl radicals:



The reaction of the hydroxyl radicals so generated with organic substances causes their de-



Obr. 1/ Fig. 1 Schéma heterogenní fotokatalytické reakce / Diagram of heterogenic photocatalytic reaction

gradaci molekul organických látek. Katalytické účinky využívající energii světla trvají omezenou dobu – působí pouze během osvětlení.

Velmi zjednodušeně by bylo možno celý průběh reakce znázornit schematickou kresbou na obr. 1.

### 3 PŘÍPRAVA NOSIČŮ FOTOKATALYTICKÝCH VRSTEV

Oxid titaničitý obecně krystalizuje ve třech polymorfních formách – jako brookit, anatas či rutil, případně ve směsi krystalických forem, přičemž nejvyšší fotoaktivitu vykazuje anatas. Zmíněné krystalické formy mohou být připravovány různými technologickými postupy ve formě prášků, povlaků na vhodných substrátech, či tenkých vrstev vzniklých povrchovou krystalizací skel.

V roce 2000 byl autorům článku udělen patent [1] na způsob sanitace a dezinfekce pevných povrchů pomocí bakteriostatického a baktericidního účinku oxidu titaničitého. Při jeho přihlášce bylo vycházeno z výsledků zkoušek prováděných s fotokatalyticky upravenými materiály české provenience vyvinutými firmou LASAK. Úprava povrchů byla provedena za podpory GA ČR v rámci projektu č. 106/00/1527.

K přípravě povlaků pevných nosičů tenkými anatasovými filmy bylo použito tzv. metody sol-gel [2, 3]. Jako prekurzor k přípravě titandioxidových materiálů byl použit tetraethyloxid, resp. tetraisopropyloxid titanu a vlastním výchozím médiem k potahování nosičů pak byl roztok kyseliny tetraisopropylesteru kyseliny tetrahydrogentitaničité (Merck) o koncentraci 0,06 mol/l.

Jako pevné nosiče byly zvoleny různé typy substrátů – mikroskopická podložní sklička, tabulové sklo, keramické dlaždice, křemenné trubice, skleněné balotiny různých průměrů atd. Tloušťka vrstvy povlaků byla regulována rychlostí pomalého a rovnoměrného tažení potahovaného skleněného substrátu z titanového roztoku připraveného přesně definovaným způsobem. Identifikace z hlediska obsahu anatasové fáze byla potvrzena difrakční RTG analýzou.

Biologická účinnost práškovitého  $\text{TiO}_2$ , podložních mikroskopických skel, balotin a keramických dlaždic povrchově ošetřených jeho vrstvou byla kontrolována v mikrobiologické laboratoři VÚPS, a.s.

### 4 POUŽITÉ KMENY A PŮDY

Jako testovací kmeny byly používány: kulturní kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* var. *uvarum* ssp. *carlsbergensis* č. 95 Sbírký pivovarských kvasinek VÚPS, a.s. a G-bakterie *Escherichia coli* DH 5. ze sbírký Laboratoře enzymových technologií MBÚ AV ČR. Při jednom testu byl rovněž s kladným výsledkem použit *Lactobacillus brevis* – identifikovaný izolát z piva [4]. Při dalších pokusech již nebyl využíván pro dlouhou dobu růstu.

Tyto mikroorganismy byly zvoleny ke zkouškám z hlediska potřeb nápojového, a především pivovarského průmyslu.

Kvasinky byly pěstovány na sladidovém agaru (Wort agar – Merck) s přídavkem tetracyklinu a *Escherichia coli* DH 5 $\alpha$  na Chromocult coliformen agaru (Merck). Kultivace izolátu *Lactobacillus brevis* byla provedena na MRS agaru s přídavkem actidionu a  $\beta$ -phenylethanolu [5].

Při všech testech byla současně prováděna kontrola za použití nosiče stejného typu bez povrchové úpravy titanem.

### 5 PRACOVNÍ POSTUP

Podle typu zkoušeného nosiče byl výsev prováděn stěrem (podložní sklička, dlaždice, trubičky z křemenného skla) nebo oplachem (balotiny, nepravidelné částice).

1 g balotin potažených vrstvou  $\text{TiO}_2$  byl vložen na 10 min do mikrobiální suspenze o známé koncentraci kontaminace, která byla připravena pomocí stupnice McFarlanda [6] a kontrolována výsevem na misky se selektivní pevnou agarovou půdou. Po této době byly balotiny vyjmuty ze suspenze a na Petriho misce byly po určenou dobu podrobeny osvětlení zářivkou ve sterilním laminárním boxu. Intenzita osvětlení byla

gradation. The catalytic effects driven by the light energy persist for only a limited time, viz. during the illumination.

The overall reaction sequence can be schematically depicted as follows (Fig. 1).

### 3 PREPARATION OF PHOTOCATALYTIC FILM CARRIERS

Titanium dioxide generally crystallizes in three polymorphic forms – as brookite, anatase or rutile, or in a mixture of these crystalline forms. Out of them, anatase displays the highest activity. Individual crystalline forms can be prepared by different technological procedures in the form of powders, coatings on suitable substrates or thin layers arising by surface crystallization of glasses.

In 2000, the authors of this paper obtained a patent [1] for the method of sanitation and disinfection of solid surfaces by means of the bacteriostatic and bactericidal effect of titanium dioxide. The patent application was based on the results of tests performed with photocatalytically modified materials of Czech provenance, developed in the LASAK Company. Preparing of anatase layers was supported by GA ČR.

The coating of solid carriers with thin anatase films was accomplished by the so-called sol-gel method [2, 3]. The precursor used for preparing titanium dioxide materials was titanium tetraethyl oxide or tetraisopropyl oxide, and the actual starting medium for the carrier coating was 0.06 molar solution of tetraisopropylester of orthotitanic acid (Merck).

The solid carriers included various types of materials – microscopic slides, sheet glass, ceramic tiles, silica tubes, glass beads of different diameters, etc. The thickness of the coating film was regulated by the speed of a slow and uniform drawing of the glass substrate to be coated through a titanium solution prepared by an exactly defined technology. The content of the anatase phase was confirmed by diffraction X-ray analysis.

The biological efficiency of powder  $\text{TiO}_2$ , microscopic slides, glass beads and ceramic tiles surface-coated with  $\text{TiO}_2$  layers was checked in the Laboratory for Microbiology, Research Institute of Brewing and Malting, PLC.

### 4 STRAINS AND MEDIA

The following test strains were used: culture yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *uvarum* ssp. *carlsbergensis*, no. 95 in the Collection of Brewing Yeasts of the RIBM and the G- bacterium *Escherichia coli* DH 5 from the collection of the Laboratory of Enzyme Technologies, Institute of Microbiology, Academy of Sciences of the Czech Republic. *Lactobacillus brevis* – an identified isolate from beer – was also successfully used in one test [4], but was not used in subsequent trials because of its slow growth.

These microorganisms were selected for the tests in view of the needs of the beverage and especially food industry. The yeast was cultured on wort agar (Merck) with an addition of tetracycline, *Escherichia coli* DH 5 $\alpha$  on Chromocult coliformen agar (Merck). The *Lactobacillus brevis* isolate was cultured on MRS agar supplemented with actidione and  $\beta$ -phenylethanol [5].

All tests were conducted with parallel controls including the use of the same carrier without the titanium surface film.

### 5 PROCEDURE

Depending on the type of the carrier, the inoculation was done by swabs (microscopic slides, tiles, silica tubes) or by immersion (glass beads, irregularly shaped particles).

An amount of 1 g glass beads coated with  $\text{TiO}_2$  layer was placed for 10 min into a microbial suspension with known contaminant cell concentration, which was prepared by the procedure according to McFarland [6] and checked by plating on a selective agar medium. After this interval the glass beads were taken out of the suspension, placed on a Petri dish and exposed for a given interval to an irradiation by an incandescent lamp in a sterile laminar box. The radiant flux density/ul-

4,1 W/cm<sup>2</sup>. Po uplynutí této doby byly převedeny do sterilního fyziologického roztoku, kterým byly opláchnuty mikroorganismy přeživší po osvitu. Po následné membránové filtraci byl filtr vložen na selektivní agarovou půdu, na níž byly po uplynutí 24 h odečteny počty buněčných kolonií, odpovídající jejich počtu. Kontroly se prováděly obdobně, pouze k nim byly použity balotiny nepotažené vrstvou TiO<sub>2</sub>.

V případě testování mikrobiologické účinnosti titanového povlaku u rovných povrchů bylo postupováno obdobně – nanesením kontaminující suspenze na povrch materiálu, následným osvitem a kontrolou počtu přeživších mikroorganismů metodou stěrů.

## 6 VÝSLEDKY A DISKUSE

Jako první probíhaly zkoušky účinnosti v časové závislosti – počet přeživších organismů v závislosti na době osvit (tab. 1).

V případě všech zkoušených mikroorganismů docházelo po 30 minutách osvit ke snížení výchozí kontaminace o 6 řádů, po hodinovém osvit pak byly všechny testované vzorky biologicky naprosto čisté. V případě izolátu *Lactobacillus brevis* s výchozí koncentrací 2.10<sup>5</sup>/1 ml byly výsledky obdobné.

V další fázi zkoušek byla porovnávána účinnost povrchového povlaku provedeného při různých vypalovacích teplotách v rozmezí od 300 do 800 °C (tab. 2). Při těchto zkouškách byla použita doba osvit 30 minut.

Při vypalovací teplotě nižší než 500 °C krystalizuje TiO<sub>2</sub> ve formě anatasu, při vyšších teplotách se metastabilní anatas mění na biologicky méně účinný rutil, jehož podíl pak v nanášené vrstvě vzrůstá. Tím je možno vysvětlit větší množství přeživších mikroorganismů při vrstvách připravených za vyšších vypalovacích teplot.

Zkoušky s různým zastoupením oxidu titaničitého byly prováděny přímo s krystalickým materiálem. Jejich výsledky vyjádřené v procentech jsou uvedeny v tab. 3.

Dalším důležitým činitelem pro sledování antibakteriálního účinku povrchové titanové vrstvy byla její síla, resp. tloušťka, závislá na době tažení při přípravě vrstvy. Ta byla zkoušena za použití bakterie *Escherichia coli* DH 5α a nosičem byla povrchově upravená mikroskopická podložní sklička. Výchozí bakteriální koncentrace se pohybovaly od 5 x 10<sup>5</sup> do 5 x 10<sup>6</sup> buněk/1 ml. Souhrnné výsledky testů jsou uvedeny v tab. 4.

Z uvedených výsledků je patrné, že vytvořené povlaky

luminance was 4.1 μW/cm<sup>2</sup>. After this irradiation they were transferred into a sterile physiological saline to wash off the microorganisms that have survived the irradiation. The resulting microbial suspension was membrane-filtered and the filter was placed on a selective agar medium. The numbers of colonies corresponding to the count of surviving microorganisms were determined after 24 hours. Controls were done analogously with glass beads without TiO<sub>2</sub> coating.

The tests of the microbicidal efficiency of titanium coating of smooth surfaces were performed in an analogous manner. The contaminating cell suspension was applied to the surface of the material, the surface-contaminated material was then illuminated and the number of surviving microorganisms was checked by means of swabs.

## 6 RESULTS AND DISCUSSION

The first test concerned the efficiency of the treatment, i.e. the counts of surviving microorganisms as a function of time of illumination (Table 1).

With all microorganisms under investigation, a 30-min illumination brought about a lowering of the initial concentration by six orders of magnitude while a 60-min illumination completely freed all samples of microbial contamination. The *Lactobacillus brevis* isolate with an initial cell concentration of 2 x 10<sup>5</sup>/1 ml gave similar results.

Another test run was devoted to comparing the efficiency of TiO<sub>2</sub> surface films formed at different baking temperatures in the range of 300 to 800 °C (Table 2). The illumination time was 30 min.

At baking temperatures below 500 °C, TiO<sub>2</sub> crystallizes in the form of anatase whereas at higher temperatures the metastable anatase is converted into the biologically less potent rutile, whose proportion in the film increases accordingly. This can explain the higher counts of surviving colony forming units found with TiO<sub>2</sub> films baked at higher temperatures.

Table 3 shows the results of efficiency tests performed with titanium dioxide containing different proportions of individual forms of TiO<sub>2</sub>. The tests were carried out with crystalline powder materials.

Another factor important for the antibacterial effect of the surface titanium dioxide film was its thickness, which depended on the time of drawing during its preparation. Its effect was monitored in tests performed with the bacterium *Escherichia coli* DH 5 and with TiO<sub>2</sub>-coated microscopic slides as carriers. The initial concentrations of the

Tab. 1/ Table 1 Balotiny (časová závislost)/Glass beads (colony forming units at different times of illumination)  
*Saccharomyces cerevisiae* var. *uvarum* ssp. *carlsbergensis* sbírkové č. 95/ collection no. 95

Osvit/ Illumination	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Počáteční koncentrace/ Initial concentration [buněk/1 ml]/ [cells/1 ml]
Šarže KTJ/ Batch [CFU]							
1	NP/ UA	500	0	0	0	0	5 x 10 <sup>6</sup>
2	NP/ UA	600	0	0	0	0	5 x 10 <sup>6</sup>
3	NP/ UA	800	1	1	0	0	5 x 10 <sup>6</sup>
4	NP/ UA	1800	0	0	0	0	5 x 10 <sup>6</sup>
5	24	0	2	0	0	0	5 x 10 <sup>6</sup>
Kontrola/Control	NP/ UA	–	–	–	–	NP/ UA	5 x 10 <sup>6</sup>
<i>Escherichia coli</i> DH 5α							
1	NP/ UA	600	4	5	1	0	2 x 10 <sup>6</sup>
2	NP/ UA	1000	21	6	4	0	2 x 10 <sup>6</sup>
Kontrola/Control	NP/ UA	–	–	–	–	NP/ UA	2 x 10 <sup>6</sup>

NP – nepočitatelné množství / UA – uncountable amount KTJ – kolonie tvořící jednotky/ CFU – colony forming units

Tab. 2/ Table 2 Vliv vypalovací teploty povlaku TiO<sub>2</sub> na baktericidní účinek vrstvy (mikroskopická podložní sklička) /Effect of baking temperature of TiO<sub>2</sub> films on the bactericidal effect of the surface coating (microscopic slides)

Vypalovací teplota/ Baking temperature [°C]	<i>S. cerevisiae</i> (30 min) [KTJ] / [CFU]	Počáteční koncentrace/ Initial concentration [buněk/1 ml] / [cells/1 ml]
300	1	5 x 10 <sup>6</sup>
350	0	5 x 10 <sup>6</sup>
400	3	5 x 10 <sup>6</sup>
450	2	5 x 10 <sup>6</sup>
500	4	5 x 10 <sup>6</sup>
800	6	5 x 10 <sup>6</sup>
Bez povlaku/Without TiO <sub>2</sub> film	NP / UA	5 x 10 <sup>6</sup>

NP – nepočitatelné množství / UA – uncountable amount KTJ – kolonie tvořící jednotky/ CFU – colony forming units

Tab. 3/ Table 3 Práškovitý krystalický preparát TiO<sub>2</sub> / Crystalline TiO<sub>2</sub> powder. *Saccharomyces cerevisiae* var. *uvarum* ssp. *carlsbergensis*

Zastoupení krystalických fází Proportion of crystalline forms	% účinnosti vztahované ke kontrolnímu vzorku / Percent efficiency relative to a control sample: po/after 20 min	po/after 30 min
Anatas / Anatase 100 %	88,4	99,6
Anatas / Anatase 50 % – rutil / rutile 50 %	78,4	80,8

mají značnou schopnost ničit mikroorganismy. Vrstvy tenčí než 0,04  $\mu\text{m}$  vykazovaly ve zvoleném časovém úseku nižší biologickou účinnost. Vrstva o síle 0,15  $\mu\text{m}$  již byla při mikroskopickém pozorování značně popraskaná v důsledku vysychání nanášeného gelu, při kterém dochází k velkému smrštění. Měla však stejnou účinnost jako vrstvy neporušené.

## 7 ZÁVĚR

Při porovnávání bakteriostatické a baktericidní účinnosti fotokatalyticky aktivních vrstev krystalického oxidu titaničitého byly sledovány parametry týkající se jejich působení obecně a odchylky v jejich účinku vlivem způsobu jejich přípravy. K testování byly vybráni zástupci mikroorganismů nežádoucích ve výrobcích nápojového průmyslu. Z výsledků lze usoudit, že

- v časové závislosti na působení doby osvětlení za 30 minut se sníží počet přeživších jednotlivců nejméně o 4 řády a do 60 minut dojde k totální destrukci všech přítomných jedinců,
- účinnost krystalické vrstvy oxidu titaničitého ve formě anatasy je vyšší nežli ve formě rutilu,
- síla vrstvy od 0,07 do 0,15  $\mu\text{m}$  má stejné antibakteriální účinky, při menší tloušťce vrstvy je třeba zvolit delší kontaktní dobu.

Obecně je baktericidní účinnost těchto povlaků přinejmenším srovnatelná s ostatními běžně používanými sanitačními a dezinfekčními prostředky a po počáteční vyšší investici významně minimalizuje další provozní náklady na dezinfekci provozních prostor.

## Literatura

- [1] HOLLEROVÁ, I. et al.: ČR patent č. 287 385
- [2] SAKKA, S., KAMIYA K.: J.Non Cryst. Solids **48**, 1981, s.31
- [3] STRNAD, Z.: Glass Ceramics Materials, Amsterdam, Elsevier 1986
- [4] HOLLEROVÁ, I., KUBIZNIAKOVÁ, P.: J. Inst. Brew. **6**, 2001
- [5] EBC Analytica Microbiologica II, EBC Microbiology Group, 1992
- [6] BALOWS, A., et al.: Manual of Clinical Microbiology, Fifth Edition American Society for Microbiology – Washington, 1991

*Zpracováno podle přednášky  
na XIX. Pivovarsko-sladařských dnech, říjen 2001, Brno  
Do redakce došlo 21.11.2001*

Tab. 4 / Table 4 Vliv tloušťky  $\text{TiO}_2$  vrstvy na její baktericidní účinek / Effect of the  $\text{TiO}_2$  film thickness on its antibacterial efficiency

Tloušťka vrstvy / Film thickness [ $\mu\text{m}$ ]	Rychlost tažení / Drawing speed [cm/min]	KTJ po 30 min. osvětlení / CFU after 30-min illumination
0,04	4	19
0,07	6	1
0,10	10	2
0,15	20	1
Kontrola / Control	0	NP / UA

NP – nepočitatelné množství / UA – uncountable amount KTJ – kolonie tvořící jednotky / CFU – colony forming units

bacteria were in the range of  $5 \times 10^5$  to  $5 \times 10^6$  / 1 ml. The results are shown in Table 4.

The results show that the surface films have a considerable ability to kill microorganisms. Films thinner than 0.04  $\mu\text{m}$  exhibited a lower biological activity after the given illumination time. Microscopic examination of the film with a thickness of 0.15  $\mu\text{m}$  showed its considerable cracking caused by the drying of

the applied gel accompanied by its substantial shrinkage. However, its efficiency was the same as that of intact films.

## 7 CONCLUSION

Bacteriostatic and bactericidal effects of photocatalytically active films of crystalline titanium dioxide were tested. The parameters studied concerned their general action and its changes caused by the method of preparation. The testing was conducted with representative microorganisms undesirable in the beverage industry. The results indicate that

- A 30-min illumination reduces the number of surviving microbial cells by at least 4 orders of magnitude whereas a 60-min illumination causes a complete destruction of all cells.
- The efficiency of the crystalline titanium dioxide film is higher when it is in the form of anatase than when it is in the form of rutile.
- A film thickness of 0.07 to 0.15  $\mu\text{m}$  has the same antibacterial effects, a smaller thickness requiring the use of a longer contact time.

In general, the bactericidal efficiency of these films is at least comparable with that of other commonly used sanitation and disinfection agents and the higher initial investment cost is offset by minimized operating expenses for disinfection of the plant premises.

## References

- [1] HOLLEROVÁ, I. et al.: CZ patent No. 287 385
- [2] SAKKA, S., KAMIYA K.: J.Non Cryst. Solids **48**, 1981, s.31
- [3] STRNAD, Z.: Glass Ceramics Materials, Amsterdam, Elsevier 1986
- [4] HOLLEROVÁ, I., KUBIZNIAKOVÁ, P.: J. Inst. Brew. **6**, 2001
- [5] EBC Analytica Microbiologica II, EBC Microbiology Group, 1992
- [6] BALOWS, A., et al.: Manual of Clinical Microbiology, Fifth Edition American Society for Microbiology – Washington, 1991

Hollerová, I. – Strnad, Z. – Pech, P. – Kosař, K.: Baktericidní účinky oxidu titaničitého. Kvasny Prum. **48**, 2002, č. 1, s. 5–9.

$\text{TiO}_2$  ve své krystalické formě funguje jako fotokatalyzátor a při ozáření světlem o vlnových délkách odpovídajících viditelnému spektru emituje do okolí volné radikály kyslíku. Jejich bakteriostatický a baktericidní účinek dezinfikuje povrchy a okolní prostředí bez použití jiných chemických agens. Povrchová aplikace ochranného filmu s jeho obsahem nabízí provedení prosté sanitace bez přísadků razantních dezinfekčních činidel. Také i některá špatně přístupná místa v potravinářských provozech, upravená tímto způsobem, lze udržet v biologické čistotě pouhým světlem zářivkových těles.

$\text{TiO}_2$  je pevně vázán v nanoseném povrchovém filmu a do okolního prostředí se neuvolňuje. Při jeho použití nepřichází v úvahu nebezpečí nedostatečné likvidace reziduí chemických látek použitých k sanitaci. Nedochází k přímému ozáření vlastního výrobku ani meziprojektu výroby UV zářením. Jeho účinnost je přinejmenším srovnatelná s ostatními běžně používanými sanitačními a dezinfekčními prostředky a po počáteční vyšší investici významně minimalizuje další provozní náklady na dezinfekci provozních prostor. Biologická účinnost takto ošetřených povrchů byla testována mikrobiologickou laboratorii VÚPS, a.s..

Hollerová, I. – Strnad, Z. – Pech, P. – Kosař, K.: Bactericidal Effects of Titanium Dioxide. Kvasny Prum. **48**, 2002, No. 1, s. 5–9.

Titanium dioxide in its crystalline form functions as photocatalyst. Surfaces of solids treated by titanium dioxide emit oxygen free radicals into their environment when illuminated by an appropriate wavelength of visible light. Their bacteriostatic and bactericidal effects disinfect the surfaces without the necessity to use any chemical agents. Surface application of the protective layer thus should ensure sanitation without the addition of disinfectants. Also any poorly accessible nooks and crannies in food processing machinery can be biologically cleaned by a mere illumination by an incandescent lamp if the surfaces are pretreated with titanium dioxide.

Titanium dioxide is firmly bound in the surface layer and is not released into the environment. Its use does not entail the risk of insufficient removal of residual amounts of sanitation agents. The products or intermediate products are not directly exposed to ultraviolet radiation. The efficiency of the treatment is comparable with that of conventional cleaning agents and disinfectants. The starting capital investment is higher, but it significantly minimizes the subsequent operating expenses of disinfection of the premises. The biological efficiency of surfaces with crystalline titanium dioxide was tested in the microbiological laboratory of the Research Institute of Brewing and Malting, PLC.