

# Mikroorganizmy



# Biokorozja



# International Bio-Consulting, Germany, 2010

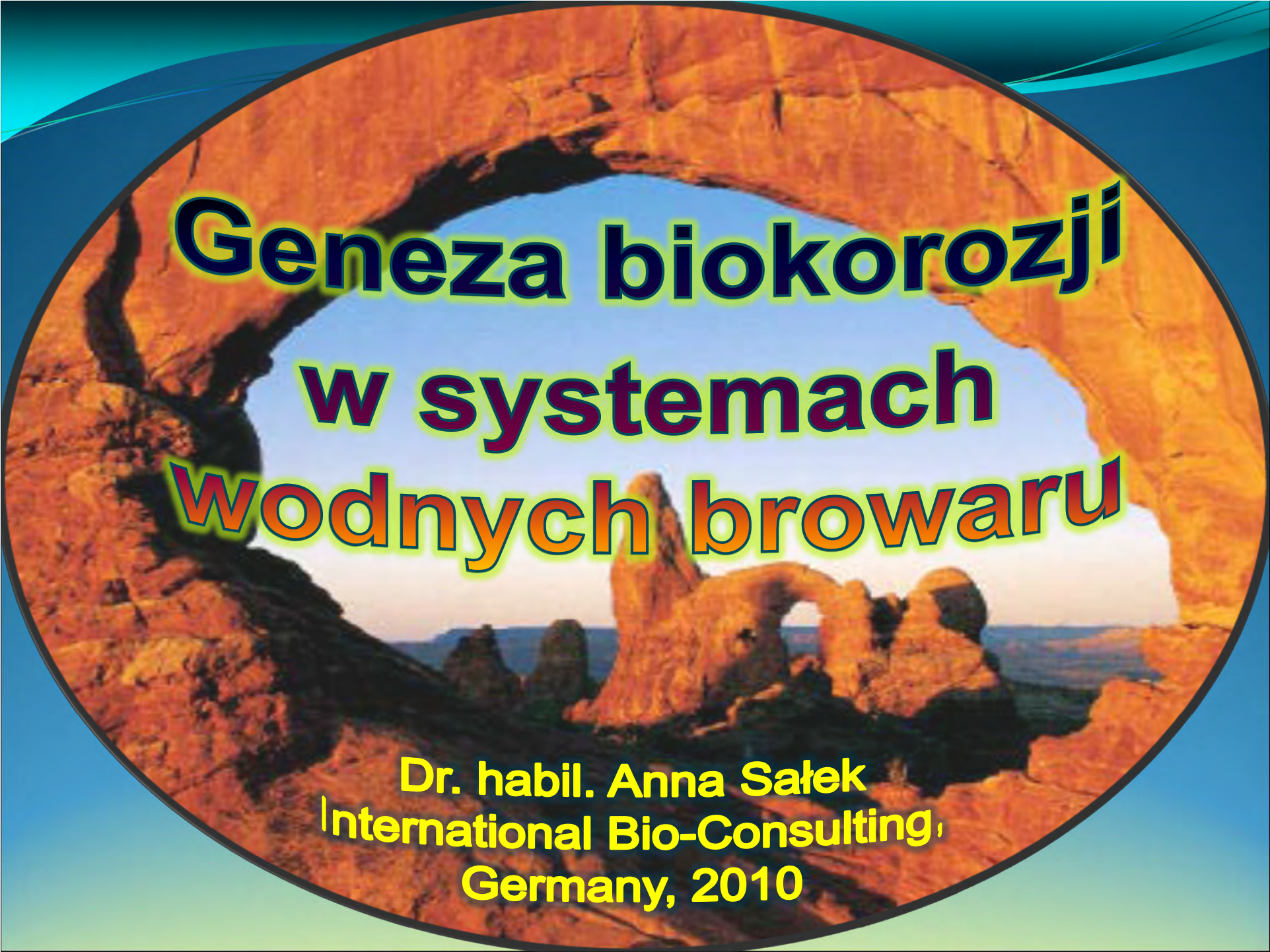




# Mikrobiologicznie Indukowana Korozja

## MIC

- ❖ Biodeterioracja
- ❖ Biologiczna korozja
  - ❖ Biokorozja
  - ❖ (Bio)fouling

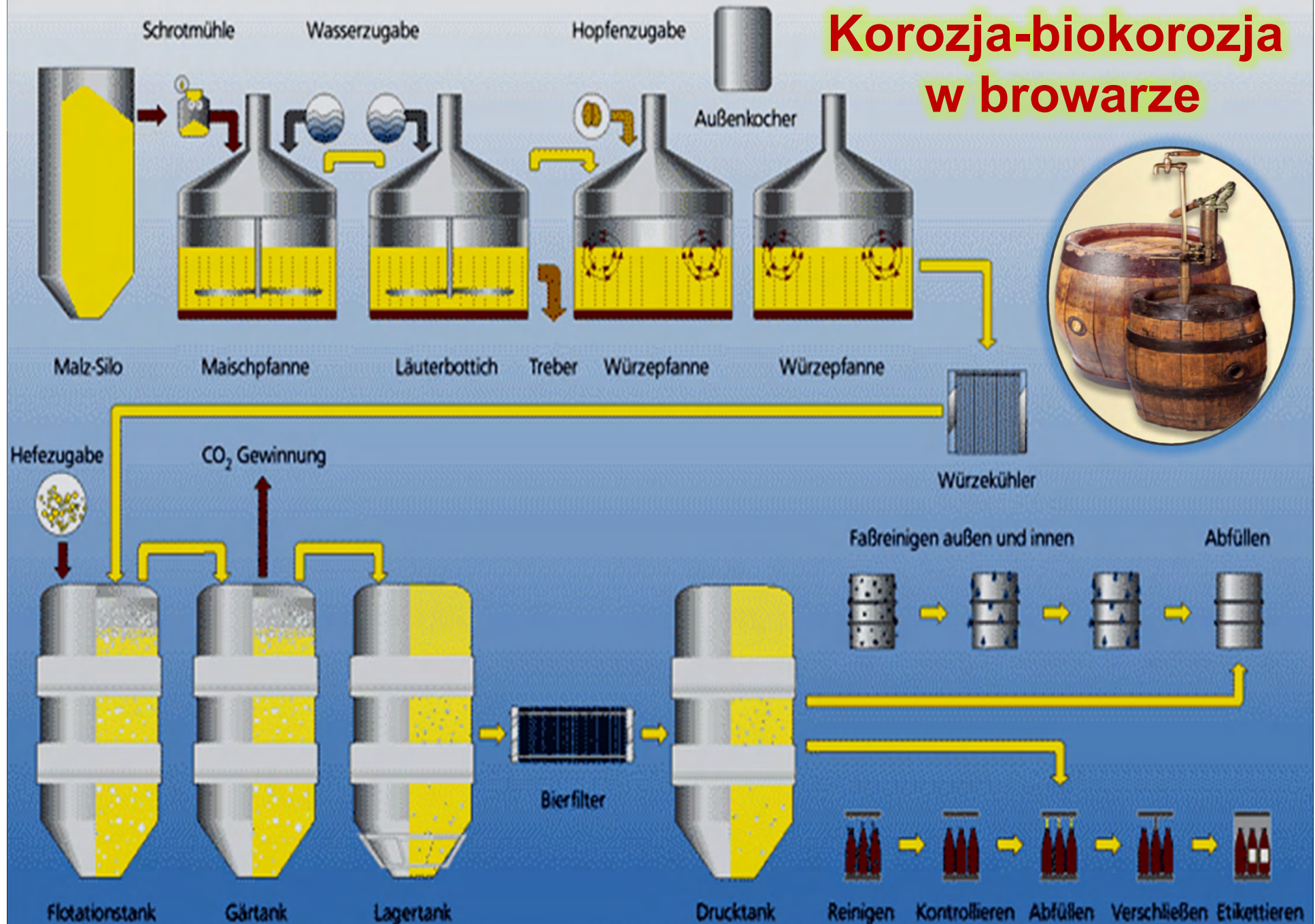


# **Geneza biokorozji w systemach wodnych browaru**

**Dr. habil. Anna Sałek  
International Bio-Consulting,  
Germany, 2010**



# Korozja-biokorozja w browarze





# **Korozja abiotyczna**

**Przyczyną korozji są:**

**- czynniki fizyczne:**

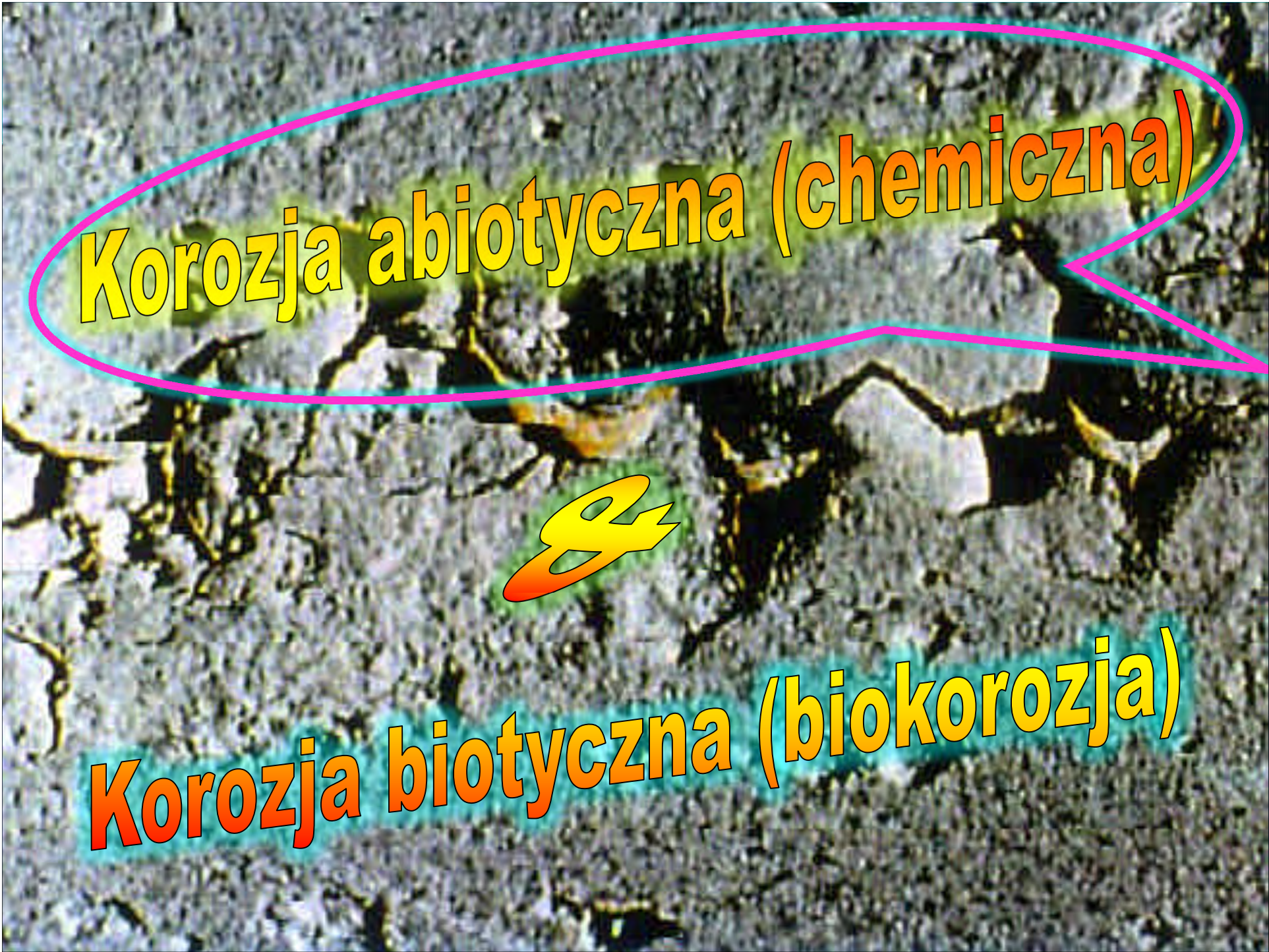
**wilgotność, natlenienie  $O_2$ , t;**

**- czynniki chemiczne:**

**elektrolity,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , jony Me, pH**

**podłoża i jego skład;**





**Korozja abiotyczna (chemiczna)**

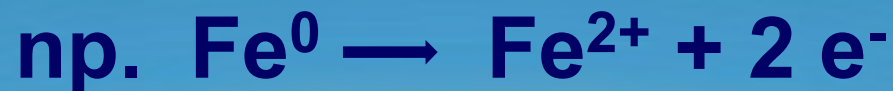


**Korozja biotyczna (biokorozja)**



# Korozja abiotyczna (tlenowa)

Utlenianie metalu i jego ubytek  
z powierzchni materiału ma miejsce  
po stronie anody:



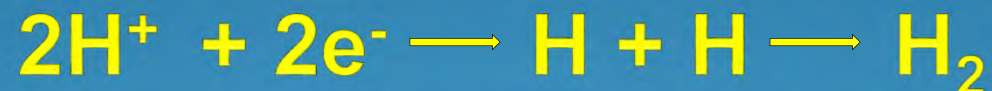
(reakcja anodowa)



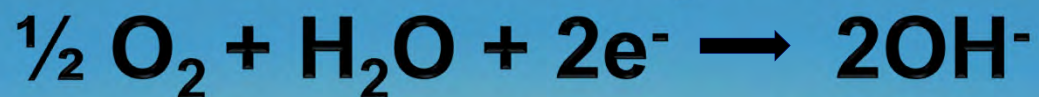
# Korozja abiotyczna (tlenowa)

Podczas natleniania środowiska wodnego elektrony są akceptowane przez protony w trakcie reakcji katodowej

przy wartościach kwasowych pH:



Przy pH neutralnym lub zasadowym tlen bierze udział w reakcjach na katodzie :

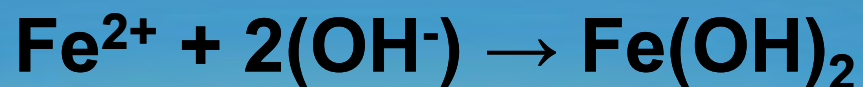
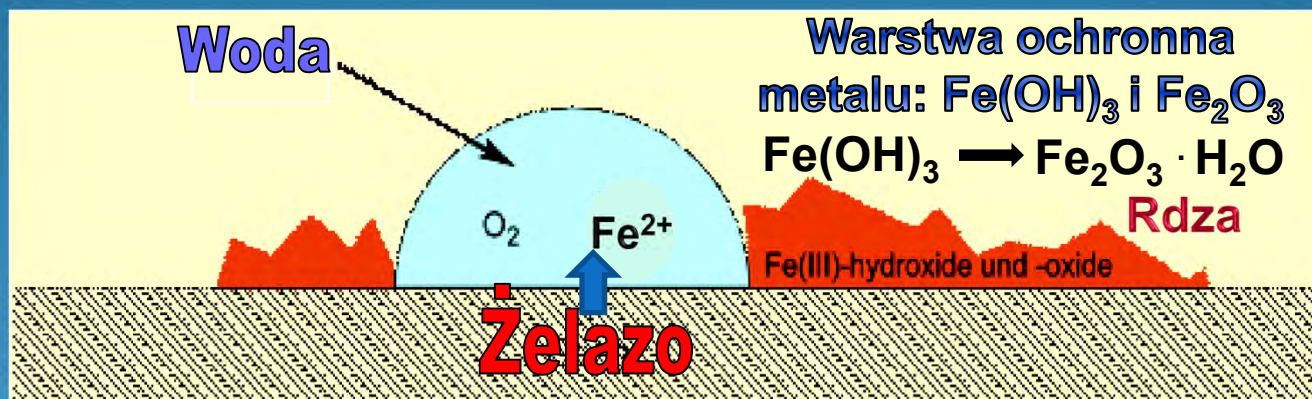


oraz przy tworzeniu tlenków metali:





# Korozja abiotyczna (tlenowa)





# **Korozja abiotyczna metali**

**Najpopularniejsze w browarnictwie**

**metale to:**

**miedź i stal.**

**Metale te w środowisku wilgotnym  
wywołują korozję galwaniczną.**



# Korozja abiotyczna metali

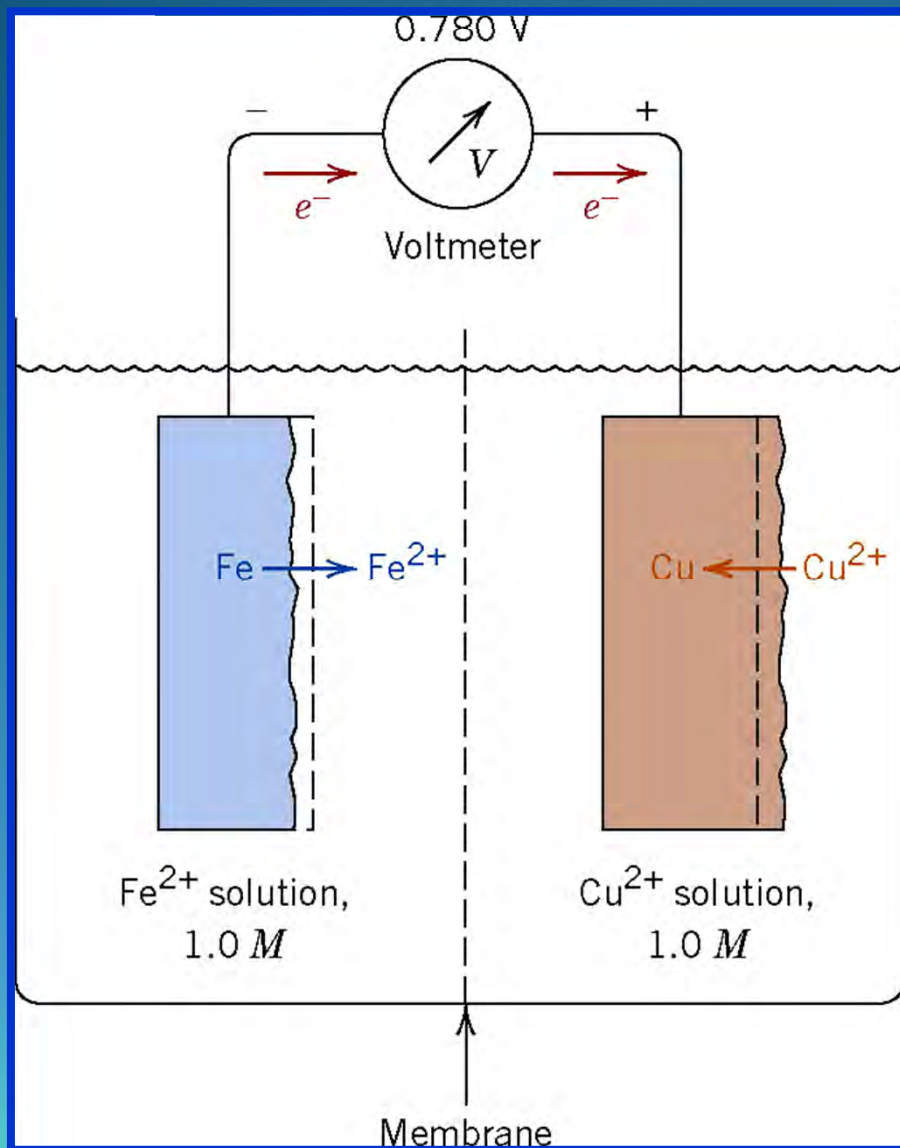
Piwo jest znakomitym elektrolitem.

Jeśli urządzenia ze stali kontaktują się z  
miedzią, **stal** koroduje.

Jeśli natomiast miedź z urządzeń  
browarniczych ma kontakt ze stalą,  
wówczas **miedź** koroduje.



# Reakcje elektrochemiczne



**Potencjał elektrochemiczny pomiędzy metalami w elektrolicie powoduje przepływ elektronów i powstawanie jonów.**

# Korozja abiotyczna w browarze

**Piwo ma silne właściwości korozyjne.**

Kontakt metalu z piwem nie powinien wywoływać powstawania obcych zapachów.

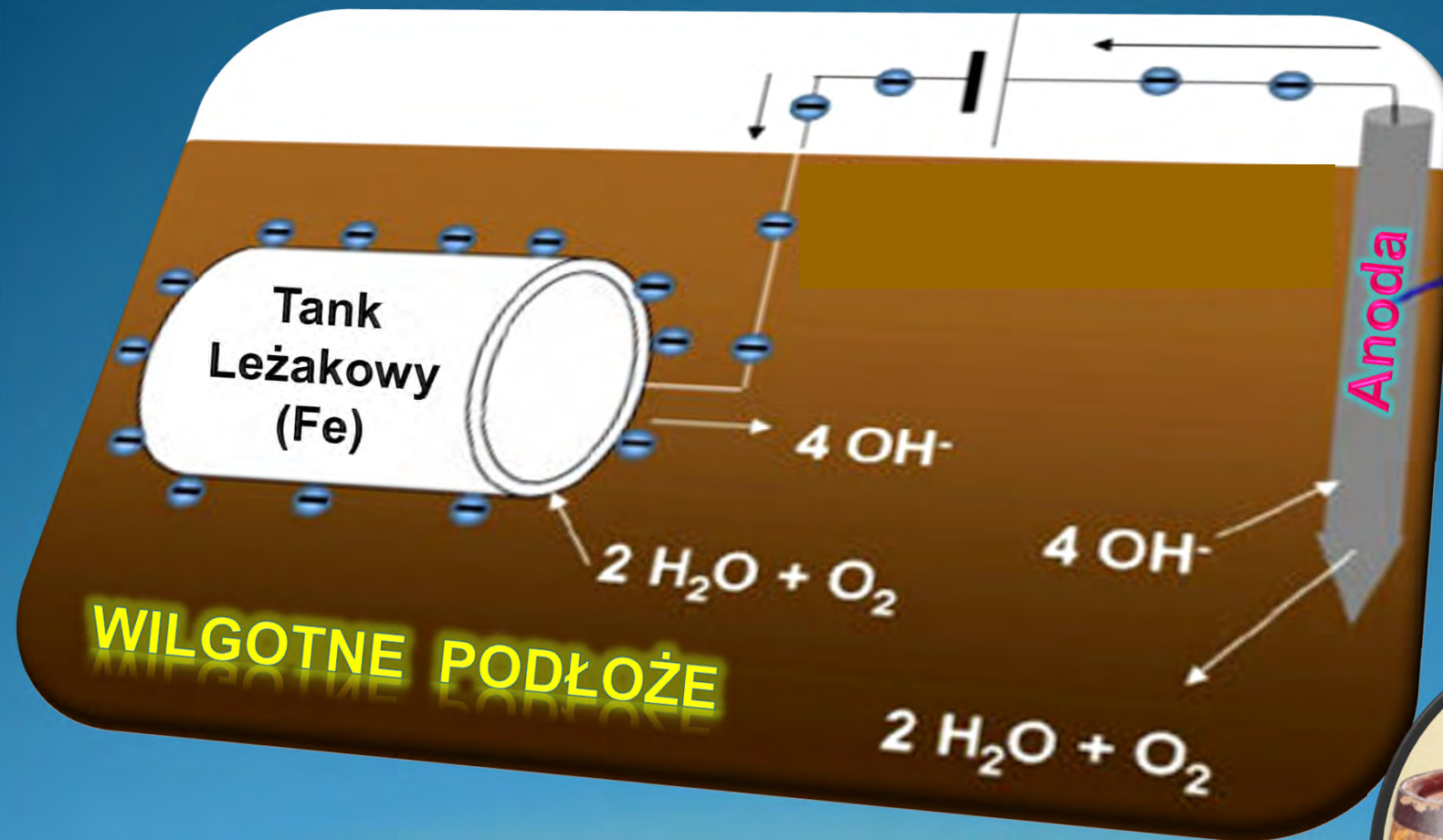
Stąd najczęściej jest stosowana stal nierdzewna kwasooporna, która nie zmienia cech organoleptycznych piwa.

"Stalowe piwo?"





# Korozja galwaniczna fermentora



# **Biokorozja w instalacjach browaru**

**Korozja tanków w browarnictwie  
spowodowana jest właściwościami  
acidofilnymi piwa oraz obecnością  
w nim mikroorganizmów,  
indukujących biofilm i „biofouling”, które  
wywołują biokorozję (MIC).**





**Korozja abiotyczna (chemiczna)**



**Korozja biotyczna (biokorozja)  
w browarze**

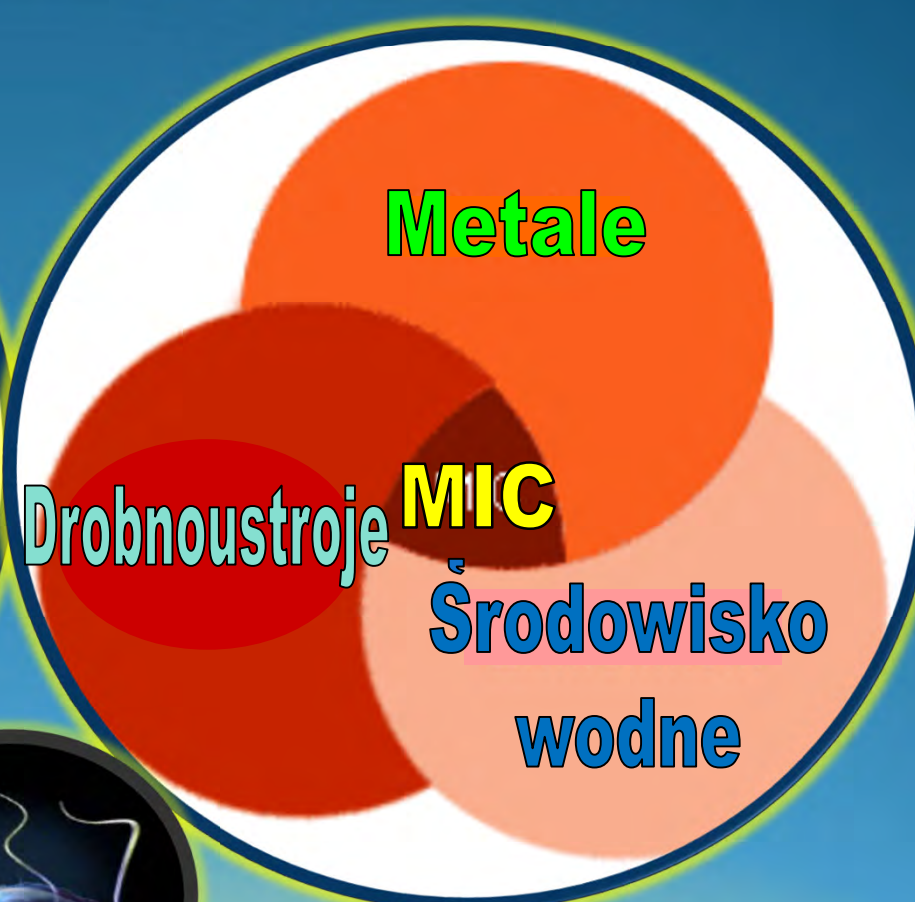


# **Definicja biokorozji**

**Biokorozja, mikrobiologiczna korozja,  
lub mikrobiologicznie indukowana korozja,  
to proces elektrochemiczny,  
w którym mikroorganizmy inicjują,  
ułatwiają i przyspieszają reakcje korozji,  
bez zmiany ich elektrochemicznej natury**



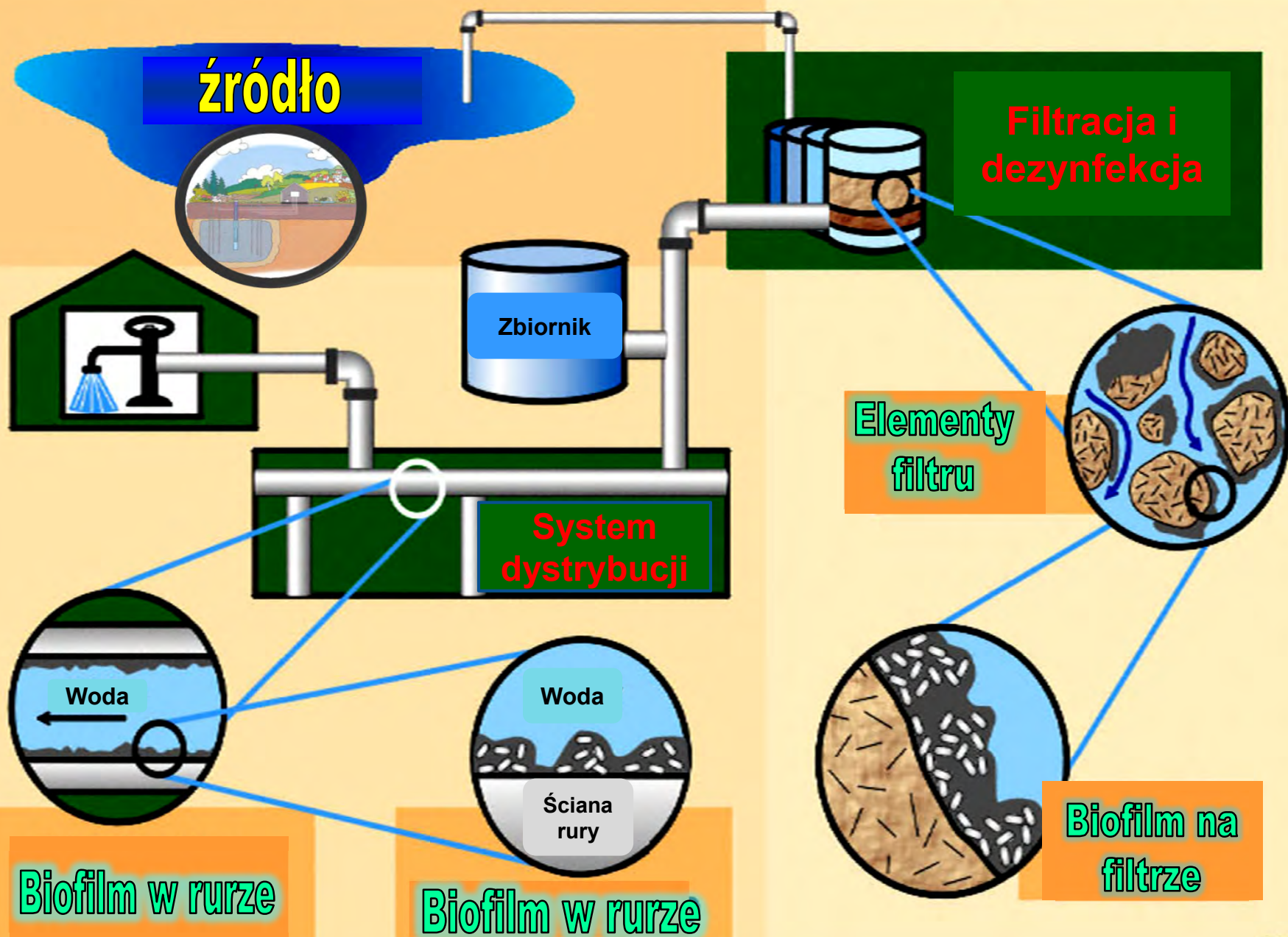
# Korozja biotyczna w systemach wodnych browaru



# Mikroorganizmy mikrobiologicznie indukowanej korozji wywołują:

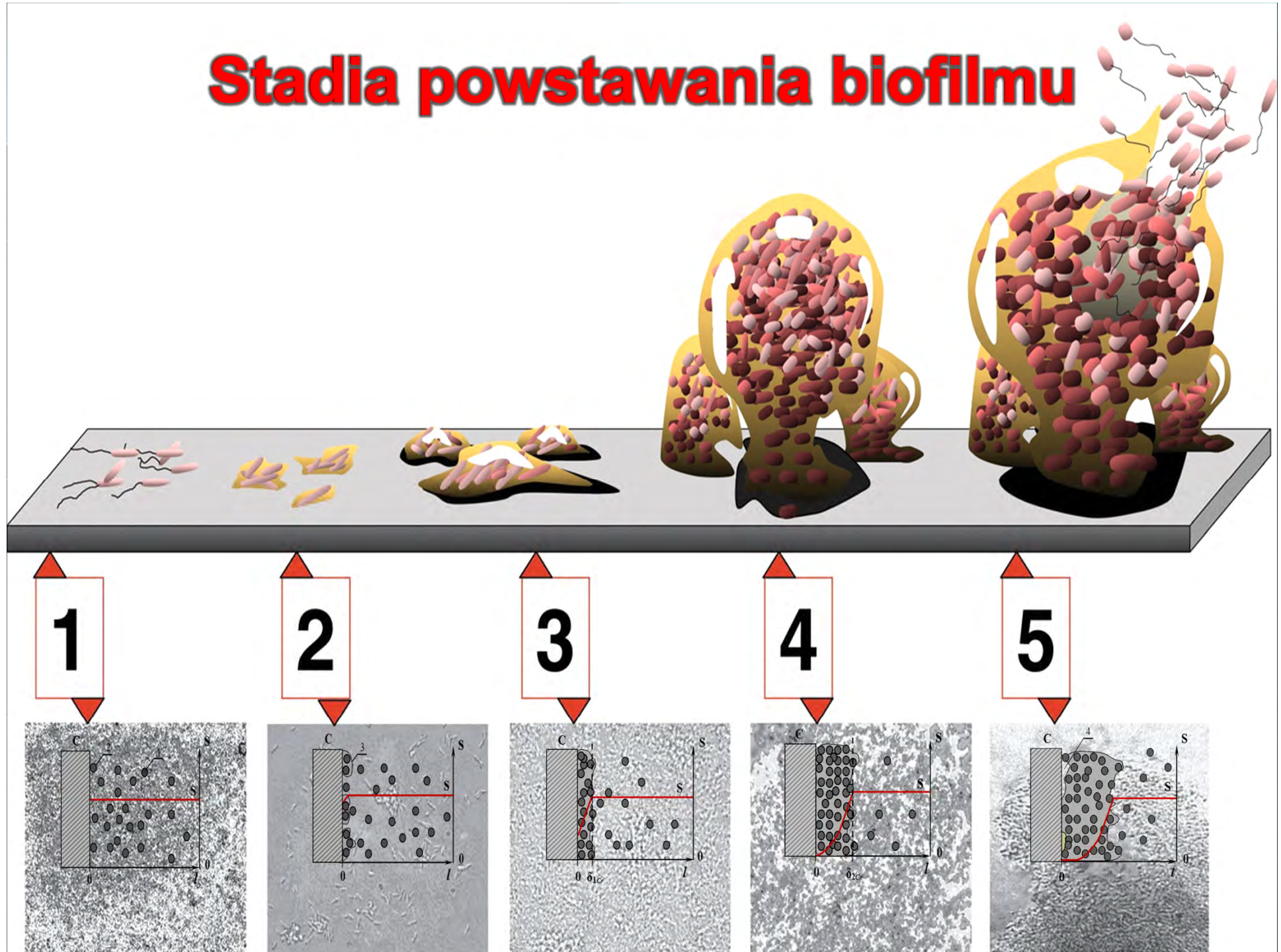
- ❖ Sekrecję agresywnych kwasów nieorganicznych.
- ❖ Sekrecję agresywnych kwasów organicznych.
- ❖ Produkcję  $H_2S$  (aerobowo lub anaerobowo).
- ❖ Tworzenie biofilmu, zawierającego komórki mikroorganizmów produkujące śluz. EPS.





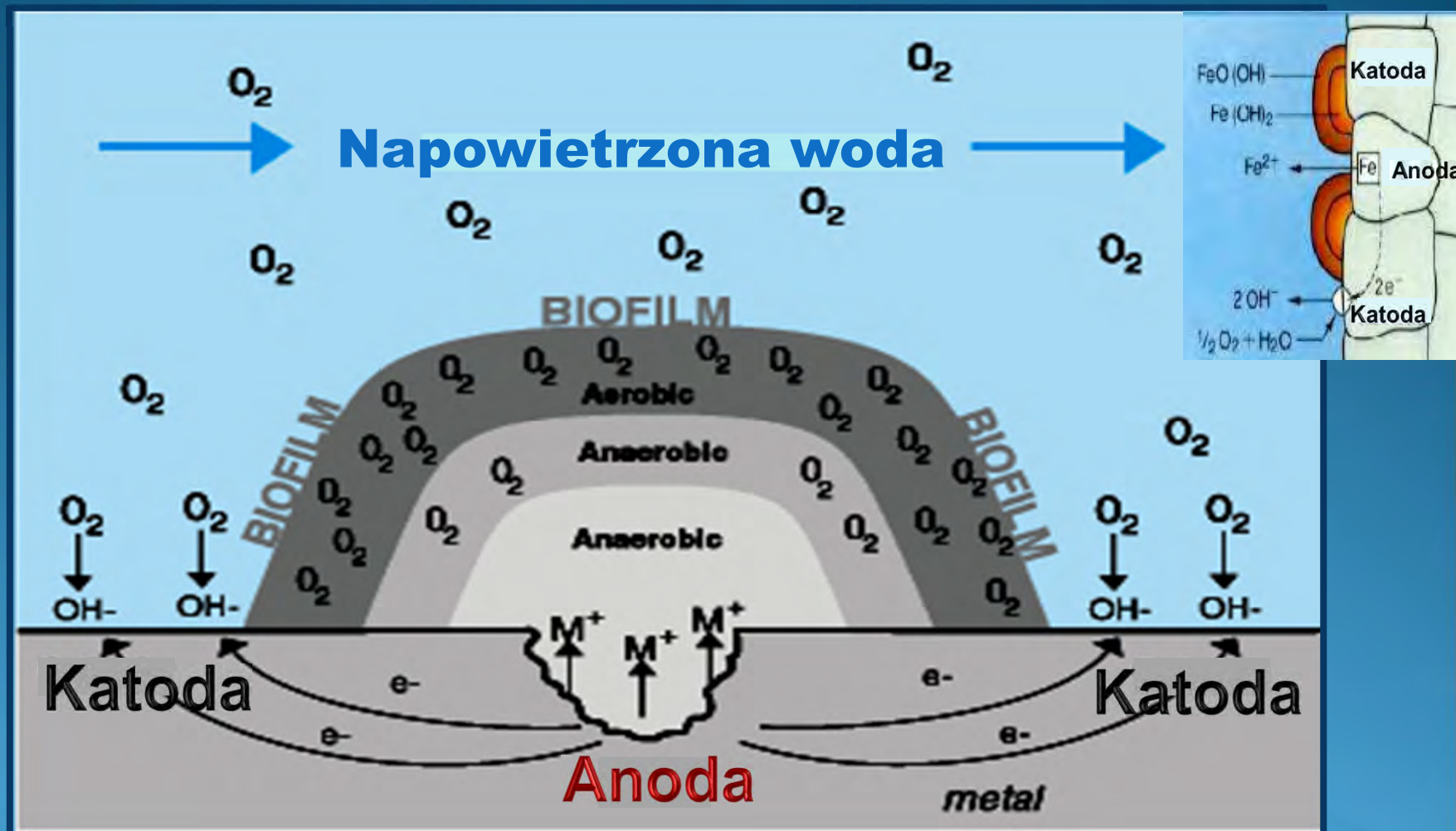
BS01499

# Stadia powstawania biofilmu

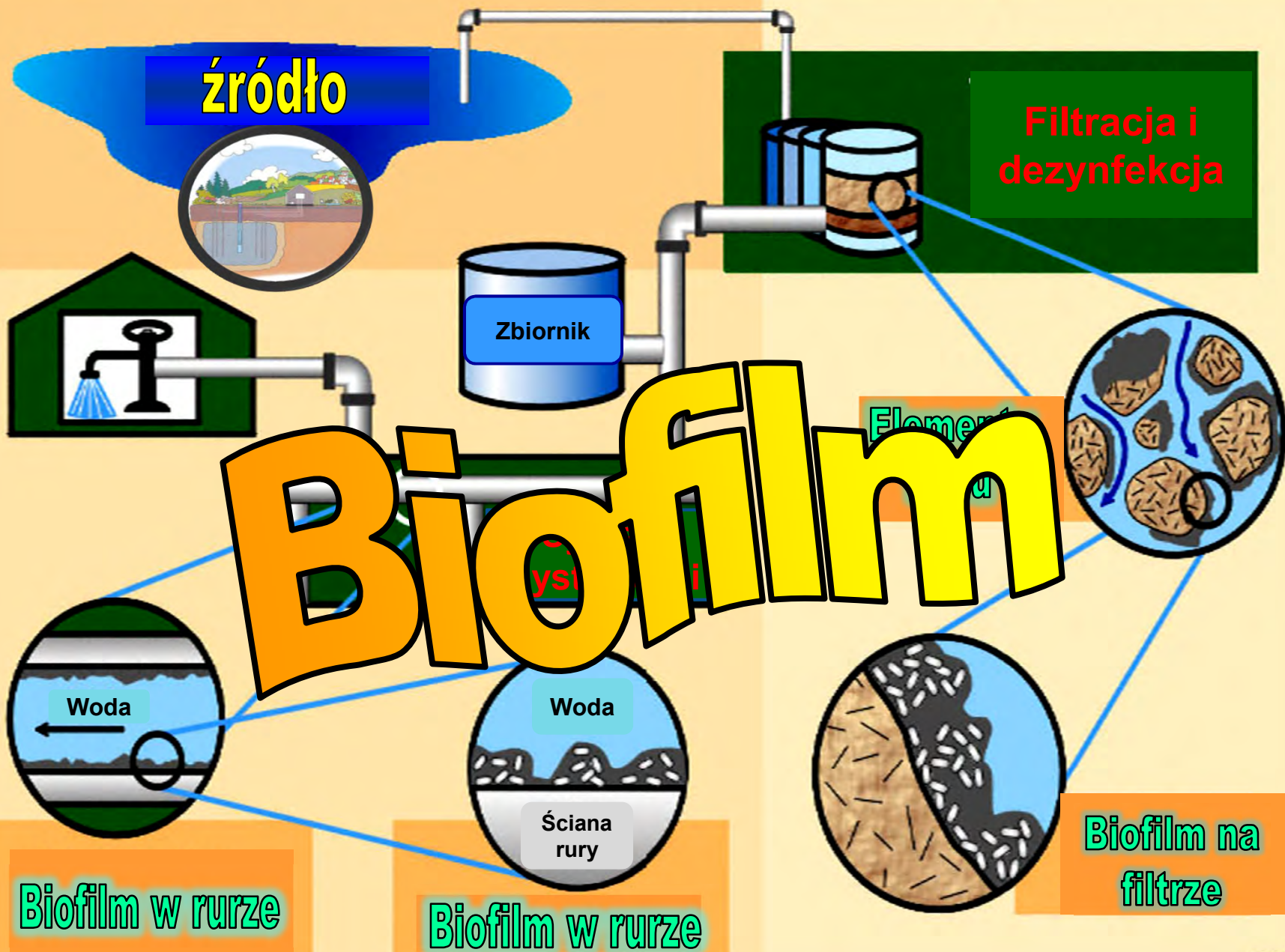




# Biofilm – kolonizacja przez bakterie



Kolonizacja biofilmu: wewnątrz przez bakterie anaerobowe, a na zewnątrz przez bakterie tlenowe (aerobowe), których wzrost ulega inhibicji wewnątrz biofilmu z tytułu braku tlenu (Borenstein 1994).



BS01499





**Biofilm – kolonizacja przez bakterie**

**Pseudomonas**



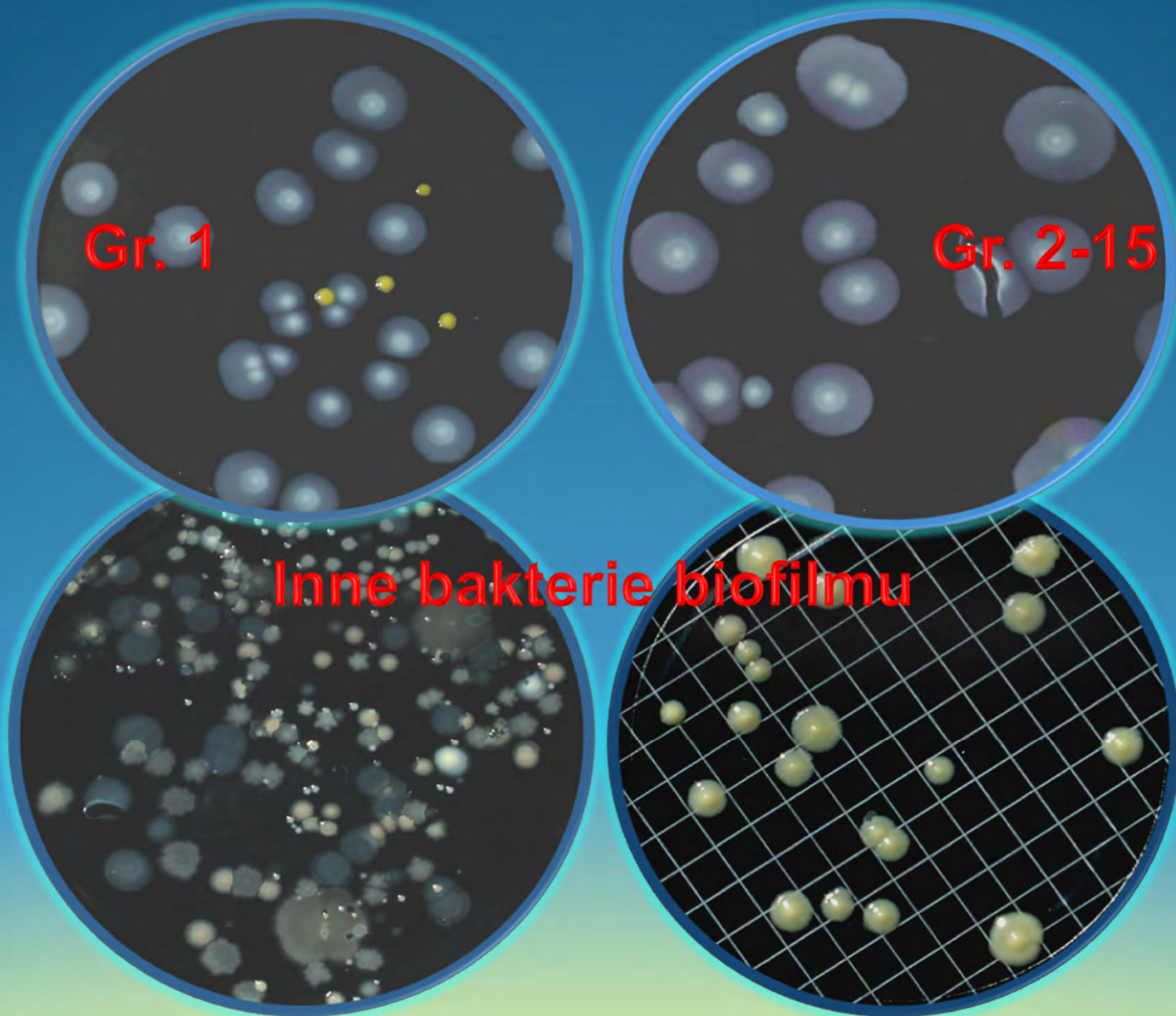


# Biofilm – kolonizacja przez Legionella

Gr. 1

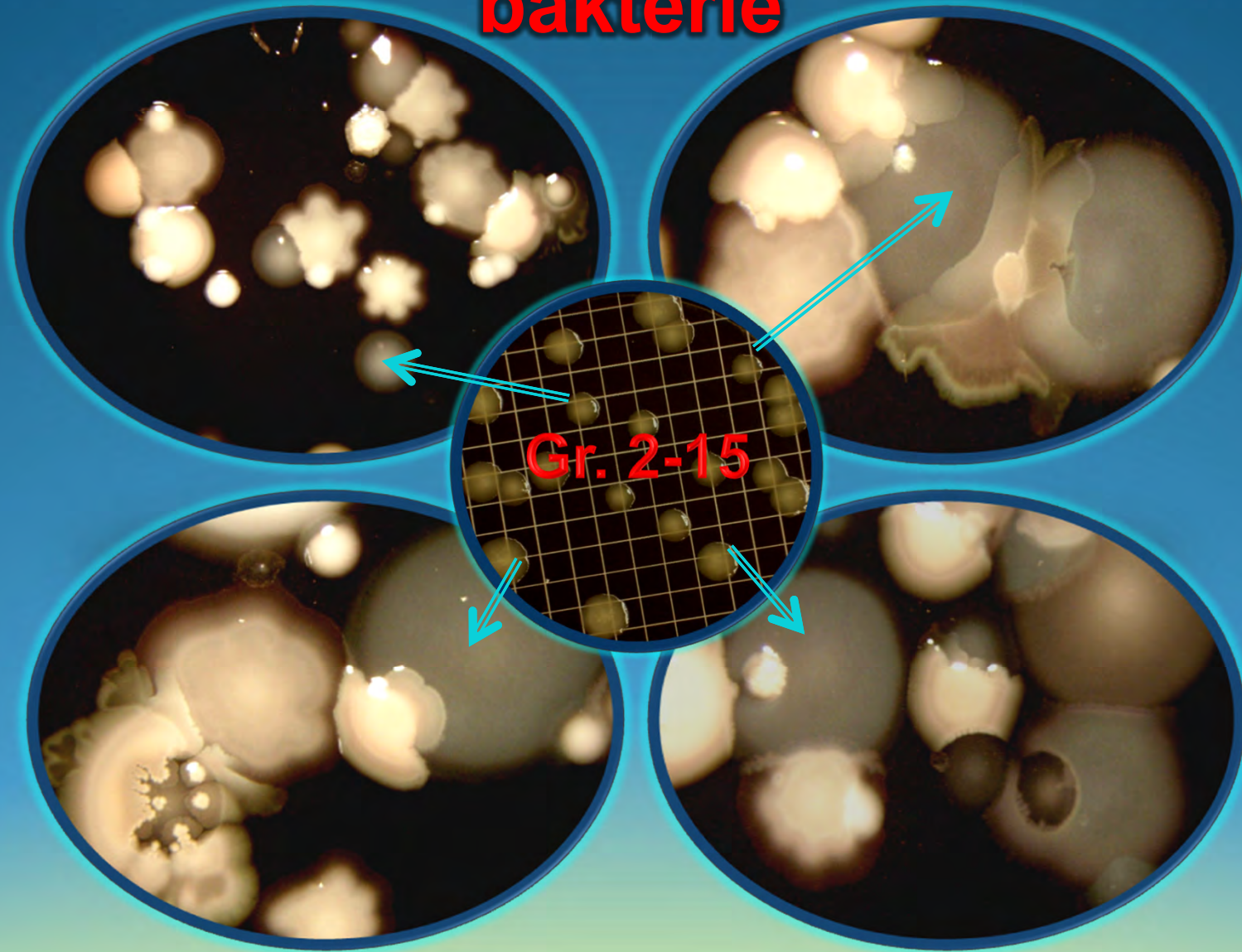
Gr. 2-15

Inne bakterie biofilmu



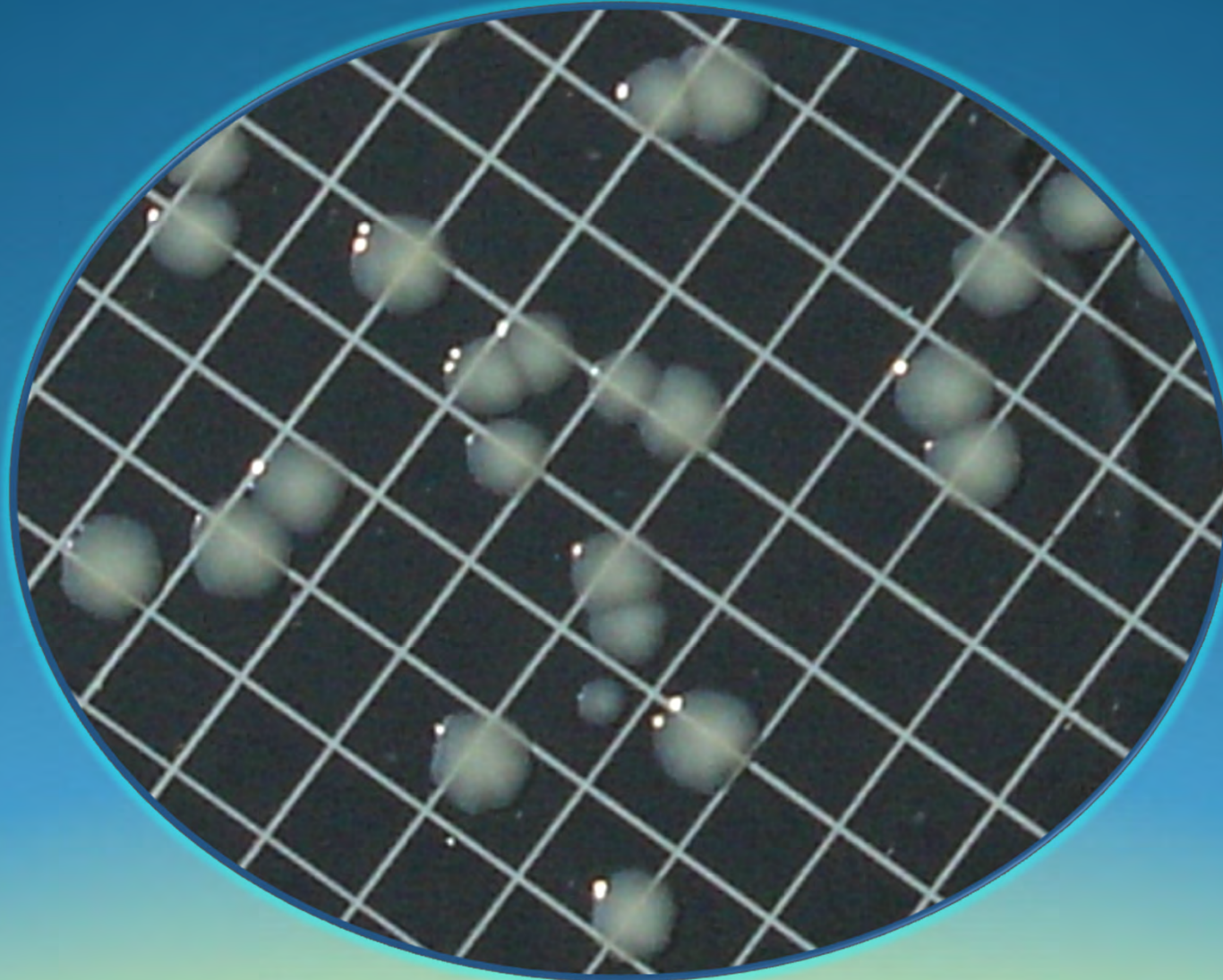


# Bakterie biofilmu: *Legionella* i inne bakterie





# Legionella pneumophila gr. 2 - 15



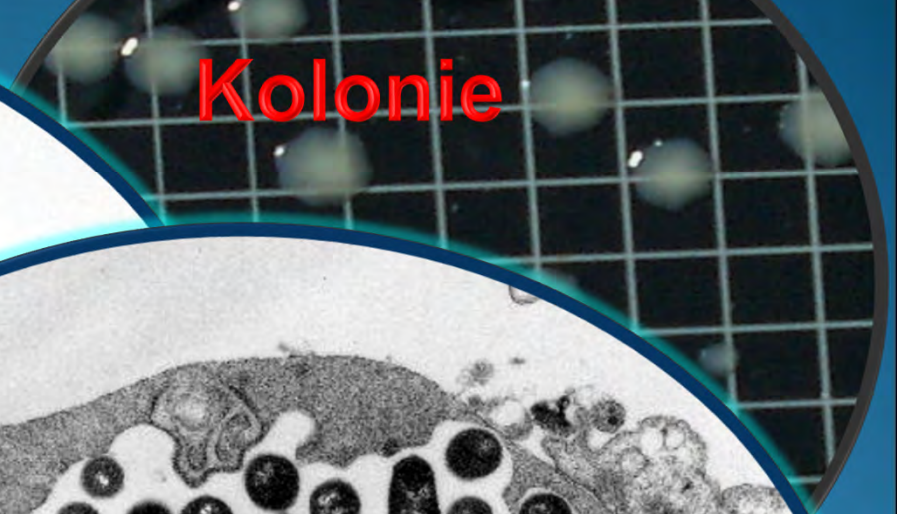


# Biofilm – kolonizacja przez Legionella

Komórki



Kolonie



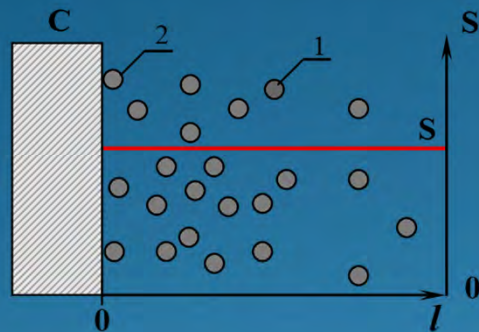
Wnętrze komórki



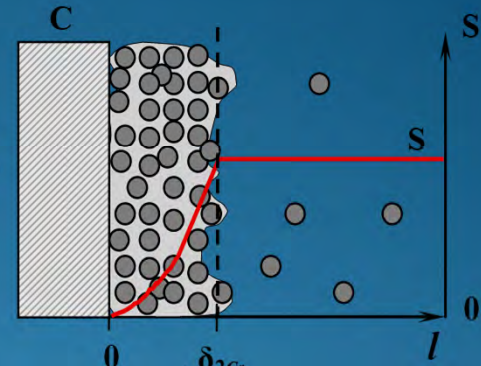


# Stadia powstawania biofilmu

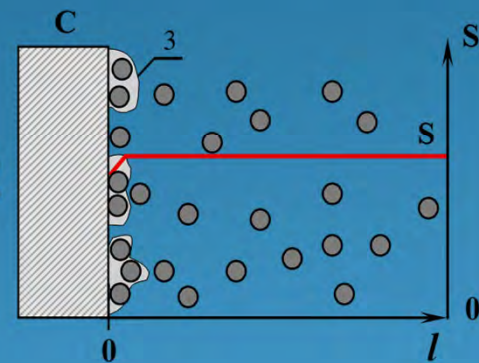
Stadium 1



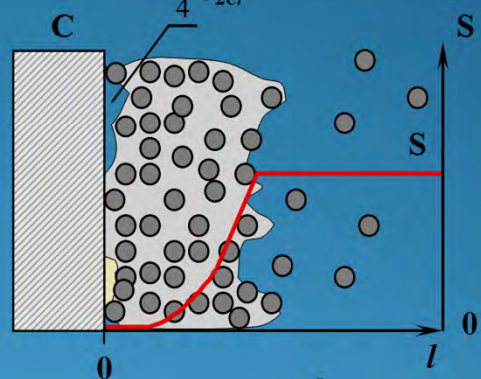
Stadium 4



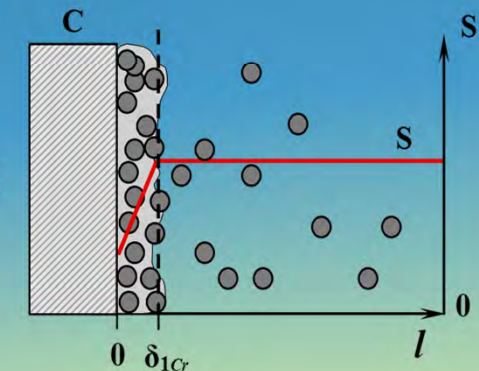
Stadium 2



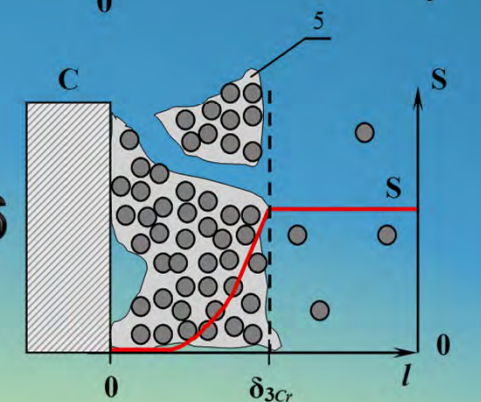
Stadium 5



Stadium 3



Stadium 6





# Stadia powstawania biofilmu

**Stadium 1.** **Adaptacja komórek do powierzchni nośnika:** C – powierzchnia nośnika; S – substrat; l – odległość do powierzchni nośnika; 1- pływające komórki (zawiesina komórek); 2 – adhezja komórek.

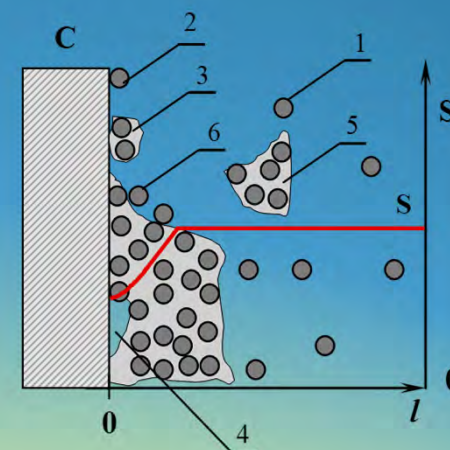
**Stadium 2.** **Formowanie się komórek w postaci „monolayer”:** 3 – exopolisaccharyd powodujący stałą adhezję komórek na nośniku.

**Stadium 3.** **Formowanie struktury biofilmu.** Pierwsza krytyczna grubość biofilmu -  $\delta_{1Cr}$

**Stadium 4.** **Stąły wzrost biofilmu.** Druga krytyczna grubość biofilmu -  $\delta_{2Cr}$

# Stadia powstawania biofilmu

- Stadium 5.** Niekontrolowany i niestabilny wzrost biofilmu. Formowanie się „cavities” (dziur). 4 – „cavities” (dziury).
- Stadium 6.** Destrukcja biofilmu. Trzecia krytyczna grubość biofilmu -  $\delta_{3Cr}$   
5 – odrywanie się pewnych partii biofilmu.
- Stadium 7.** Reformowanie się biofilmu na nowo. Odrywanie się kawałków biofilmu.





# Energia, elektrony i źródła tlenu

- Fototrofy

światło

- Chemotrofy

związki chemiczne

- Litotrofy

nieorganiczne związki

- Organotrofy

organiczne związki

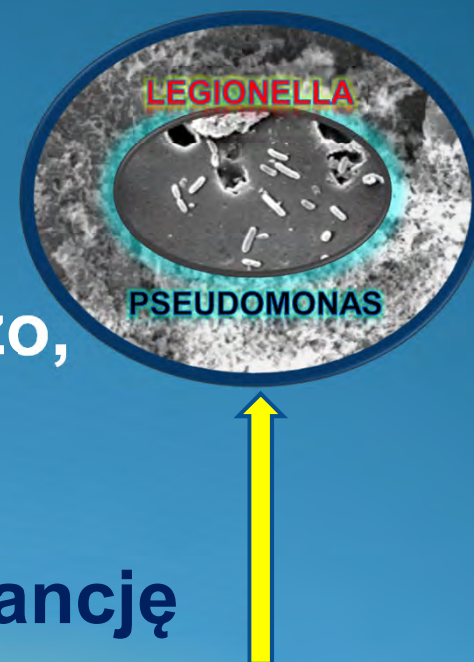
- Autotrofy

wiązanie CO<sub>2</sub>

# Biokorozja

Biokorozję wywołują bakterie:

- redukujące siarczany,
- utleniające siarkę,
- utleniające, bądź redukujące żelazo,
- wydzielające kwasy organiczne,
- wydzielające poza komórkę substancję polimeryczną, zw. egzopolisacharydem, EPS





# Podział bakterii

## 1.- Fototrofy beztlenowe:

a - siarkowe, purpurowe: *Chromatium*, *Ectothiorhodospira*,

b - niesiarkowe, purpurowe: *Rhodospirillum*, *Rhodomicrobium*

## 2.- Chemolitotrofy:

a - nitryfikujące: *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*

b - utleniające siarkę: ***Thiobacillus***, *Beggiatoa*, *Thioploca*

c - utleniające żelazo: ***Leptothrix***, ***Gallionella***

d - utleniające wodór

e - utleniające metan

## 3.- Chemoorganotrofy:

a - tlenowce: ***Pseudomonas***, utleniające kwas octowy,

N-wiążące: *Azotobacter*, *Photobacteria*

b - beztlenowce: reduktory siarki, ***Desulfovibrio spp.***

c - fakultatywne tlenowce: bakterie jelitowe, *E. coli*

d - fermentujące: *Zymomonas*

e - patogeny: *Neisseria*, *Campylobacter*, *Salmonella*

*Vibrios*, *Spirilla*, *Prostecate bacteria*, *Myxobacteria*

# **Bakterie zaangażowane w tlenową biokorozję**





**Korozja spowodowana przez**  
**tlenowe bakterie**  
**żelazowe i manganowe**

# Chemolitotrofy

a - nitryfikujące: *Nitrosococcus*,  
*Nitrobacter*

b - utleniające siarkę *Thiobacillus*:  
*Acidithiobacillus thiooxidans*

c - utleniające żelazo: *Leptothrix*,  
*Gallionella*, *Thiobacillus*

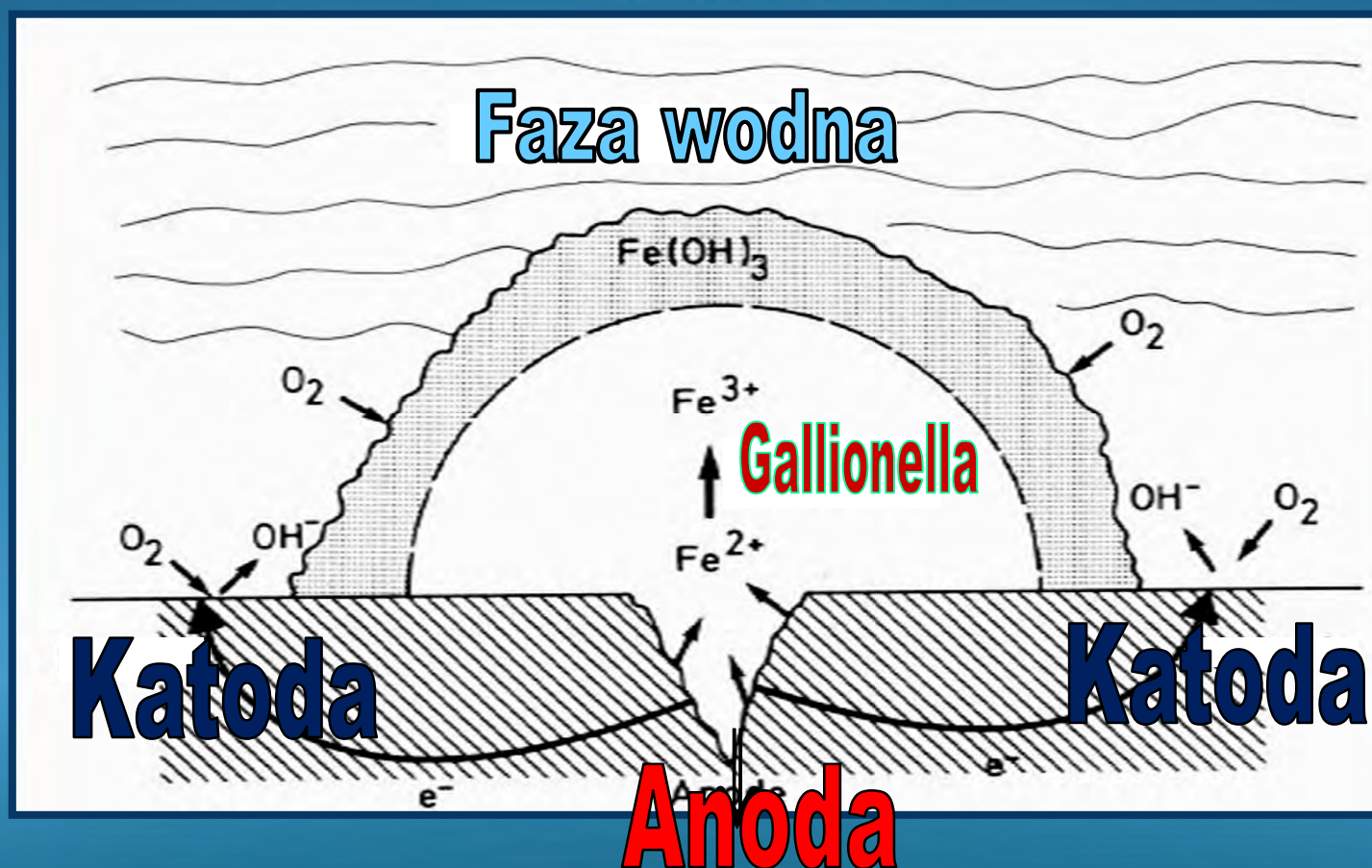
d - utleniające wodór

e - utleniające metan



# Biokorozja materiałów metalowych

## Korozja wywoływana przez bakterie tlenowe



## Bakterie żelazowe z biofilmu

To bakterie, np. *Gallionella* i *Leptothrix*  
utleniające rozpuszczalne związki żelaza,

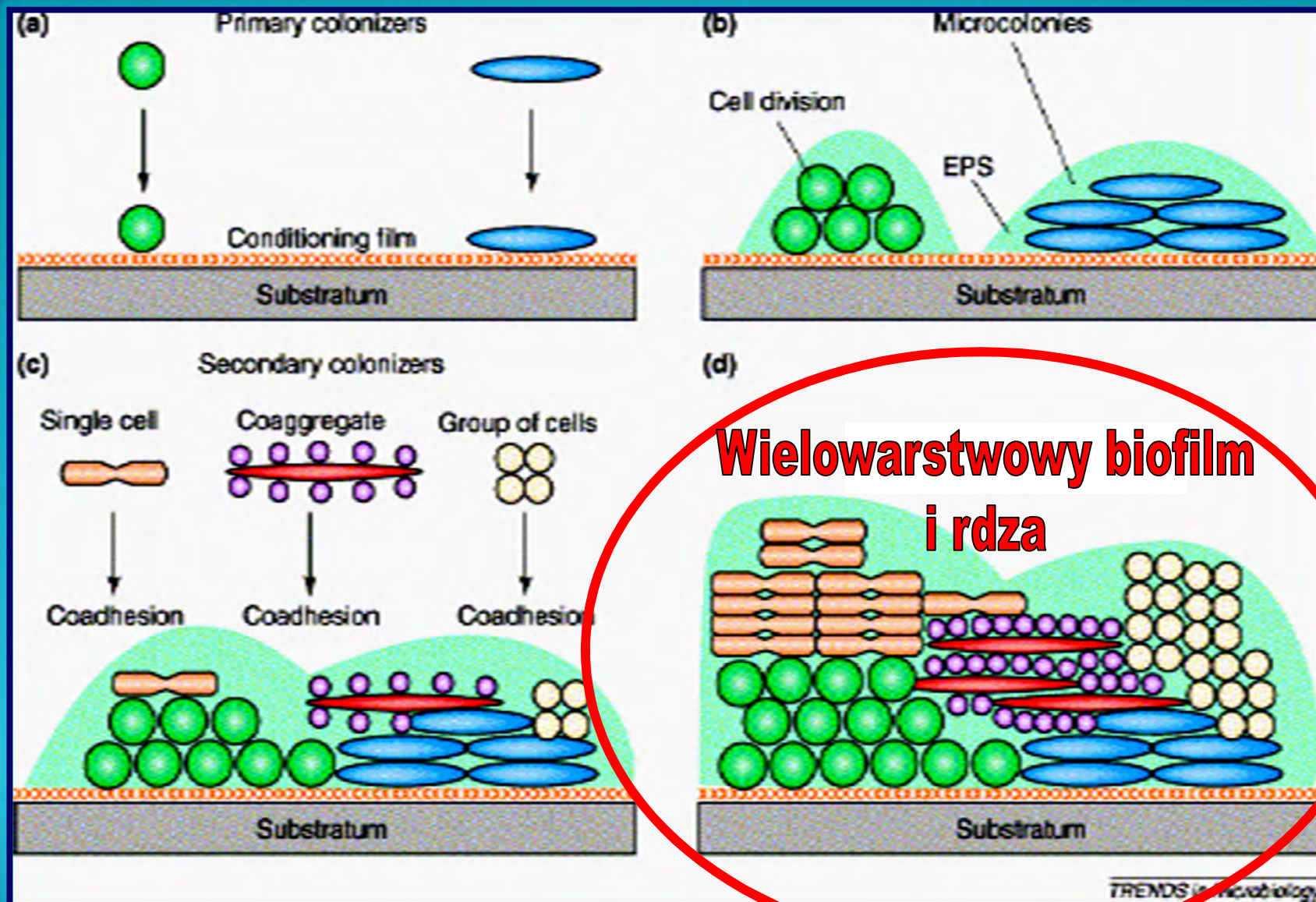
$\text{Fe}^{2+}$  do  $\text{Fe}^{3+}$ , przy pH 7,4,

wytrącające przy tym osad  $\text{Fe}(\text{OH})_3$

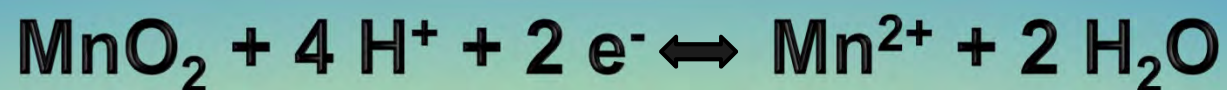
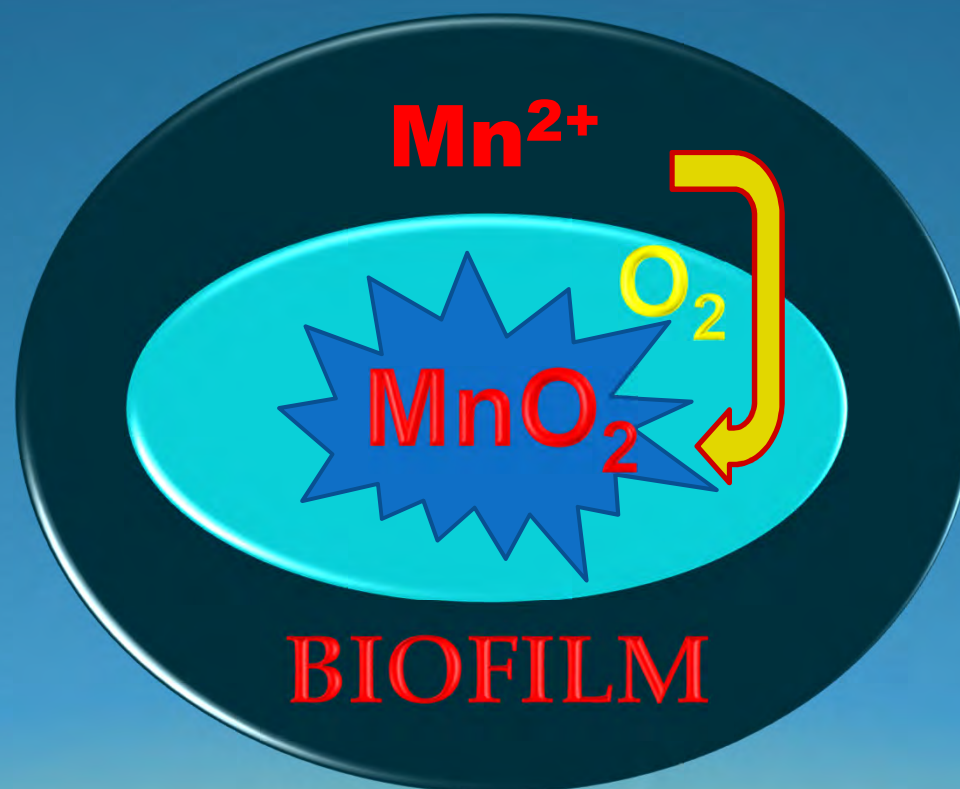
i wytwarzające w kwaśnym środowisku  
„guzki”, będące indykátorem biokorozji



# Stadia powstawania biofilmu

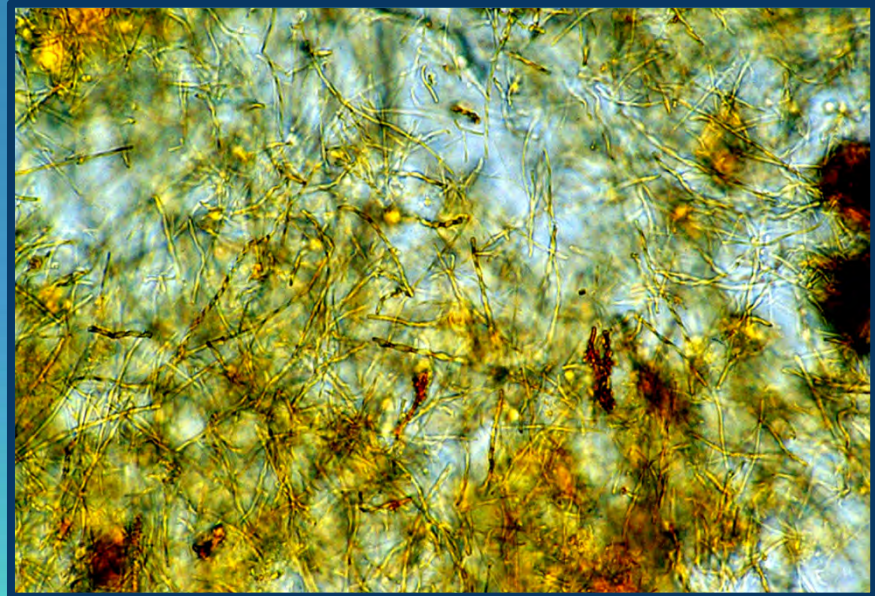
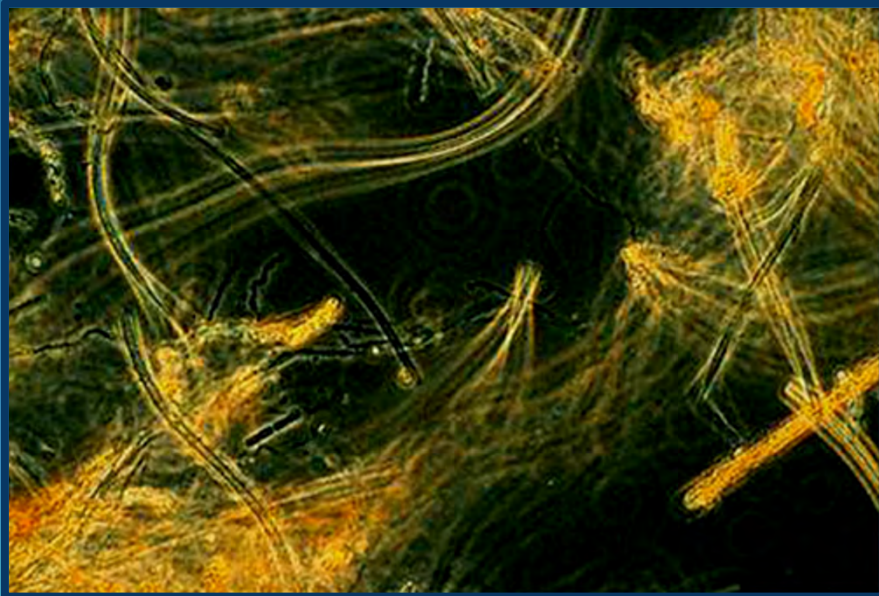
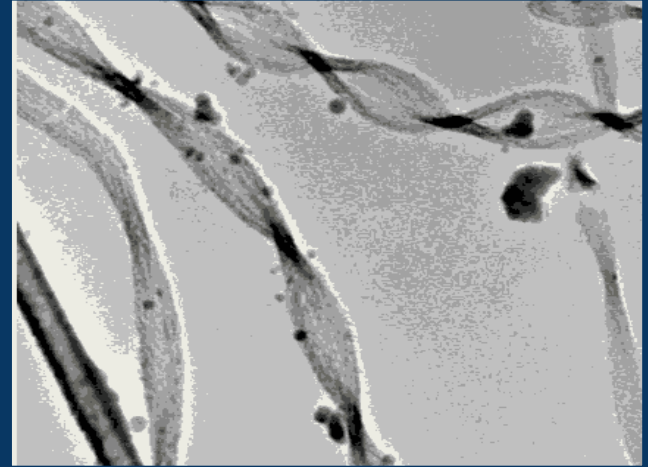
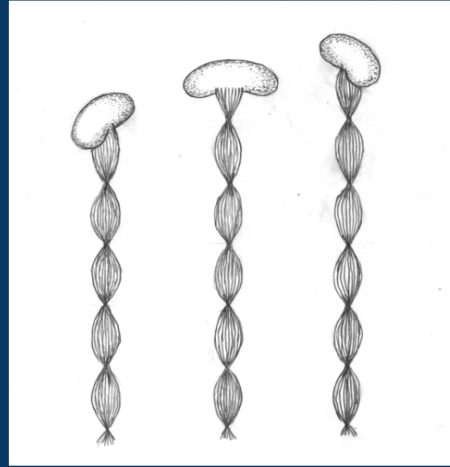
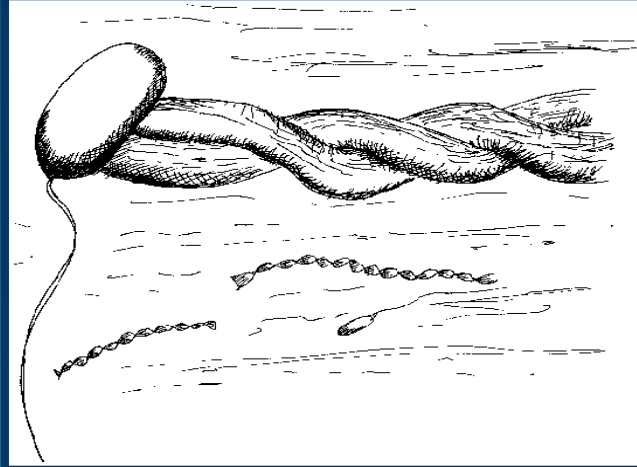


# Utlenianie manganu przez bakterie żelazowe *Gallionella* i *Thiobacillus*



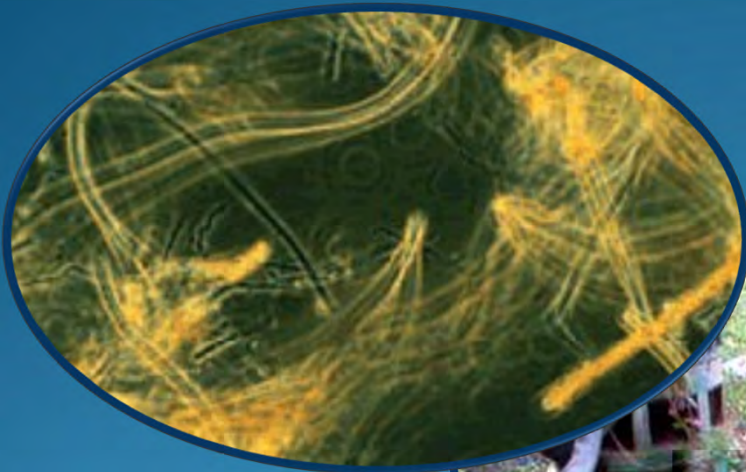


# *Gallionella ferruginea*

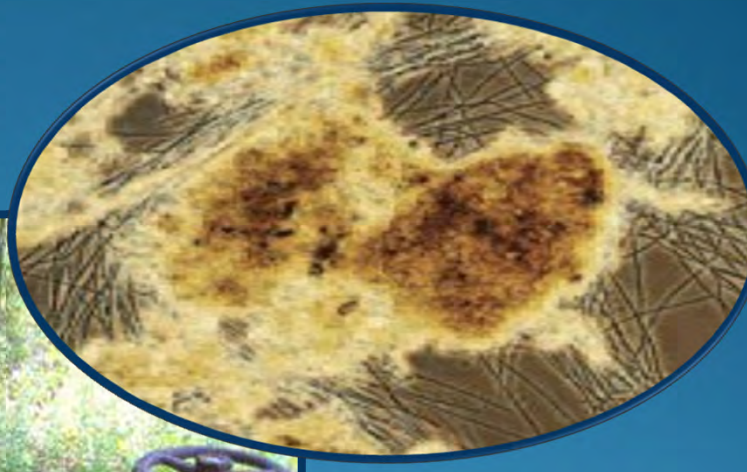




# Bakterie żelazowe w praktyce



**Gallionella**



**Leptothrix**





# ***Gallionella* w skorodowanym rurociągu**

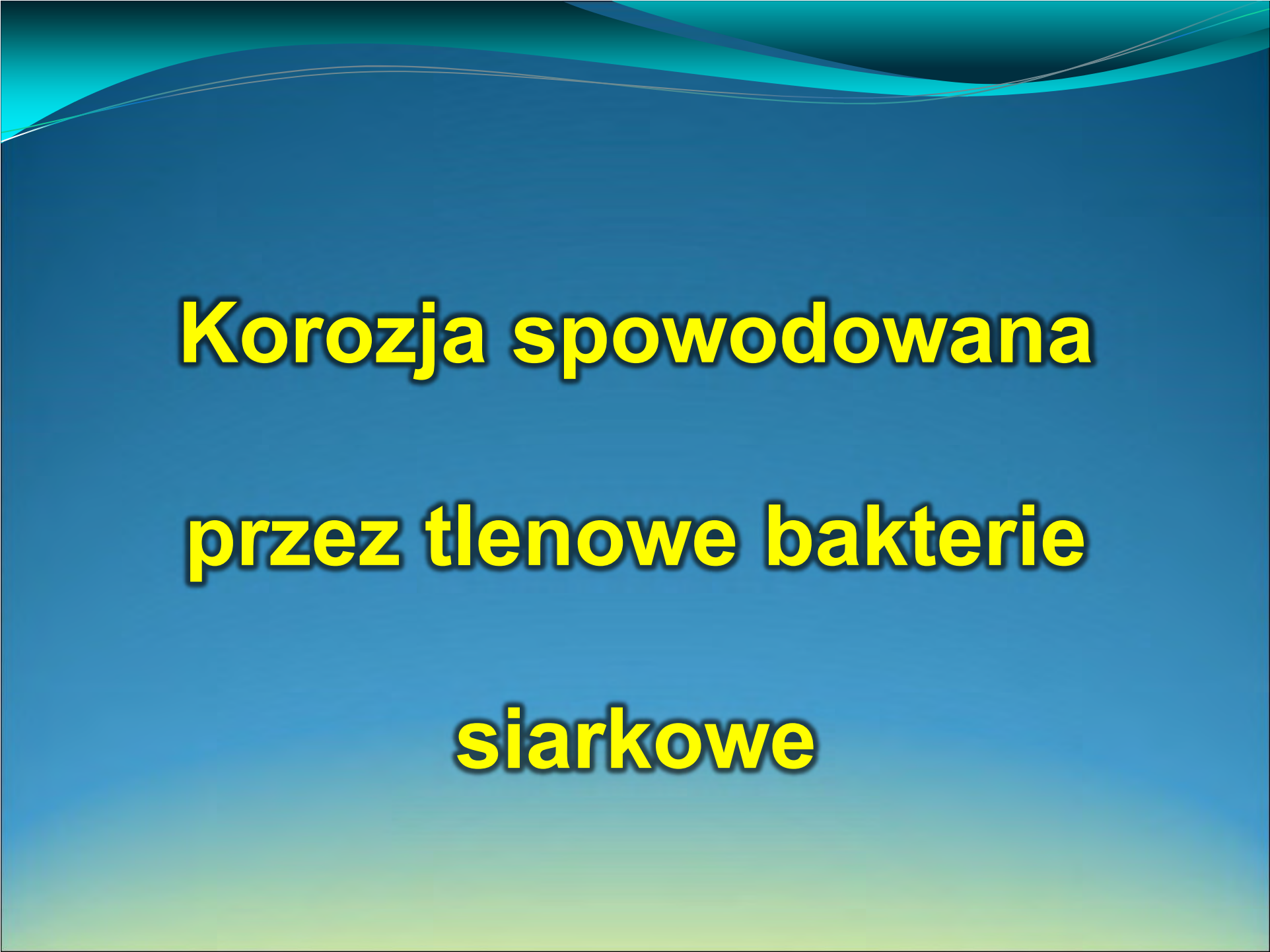




# Korozja biotyczna aluminium







# **Korozja spowodowana przez tlenowe bakterie siarkowe**

# Chemolitotrofy

a - nitryfikujące: *Nitrosococcus*,  
*Nitrobacter*

b - utleniające siarkę: *Thiobacillus*,  
*Acidithiobacillus thiooxidans*

c - utleniające żelazo: *Leptothrix*,  
*Gallionella*, *Sphaerotilus*,  
*Thiobacillus*

d - utleniające wodór

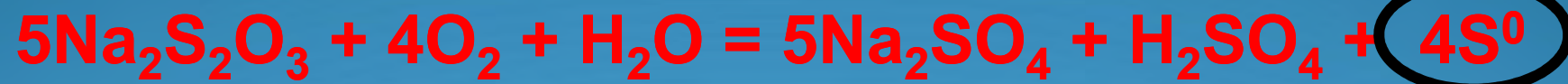
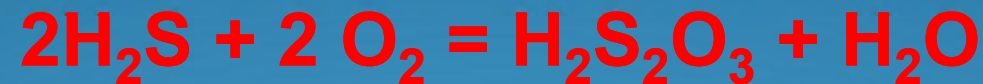
e - utleniające metan



# Utlenianie związków siarki i żelaza przez bakterie *Thiobacillus*

## *Acidithiobacillus thiooxidans*

Utleniają związki siarki:



## *Thiobacillus ferrooxidans*

Utleniają rozpuszczalne związki żelaza:



# Utlenianie związków żelaza i siarki przez bakterie *Thiobacillus* sp.

*Thiobacillus thiooxidans*,

*Thiobacillus intermedius*

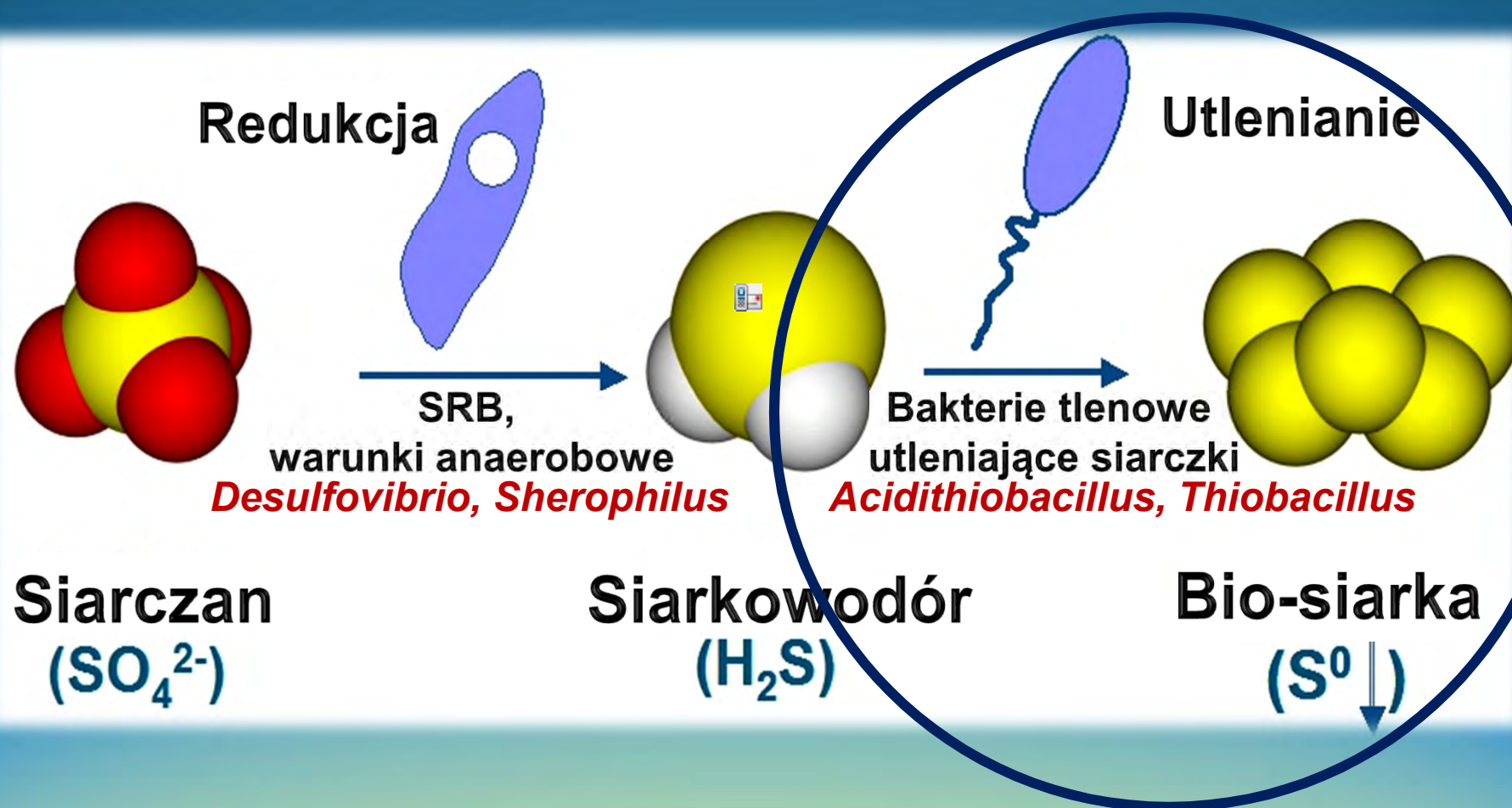
utleniające zredukowane związki siarki:



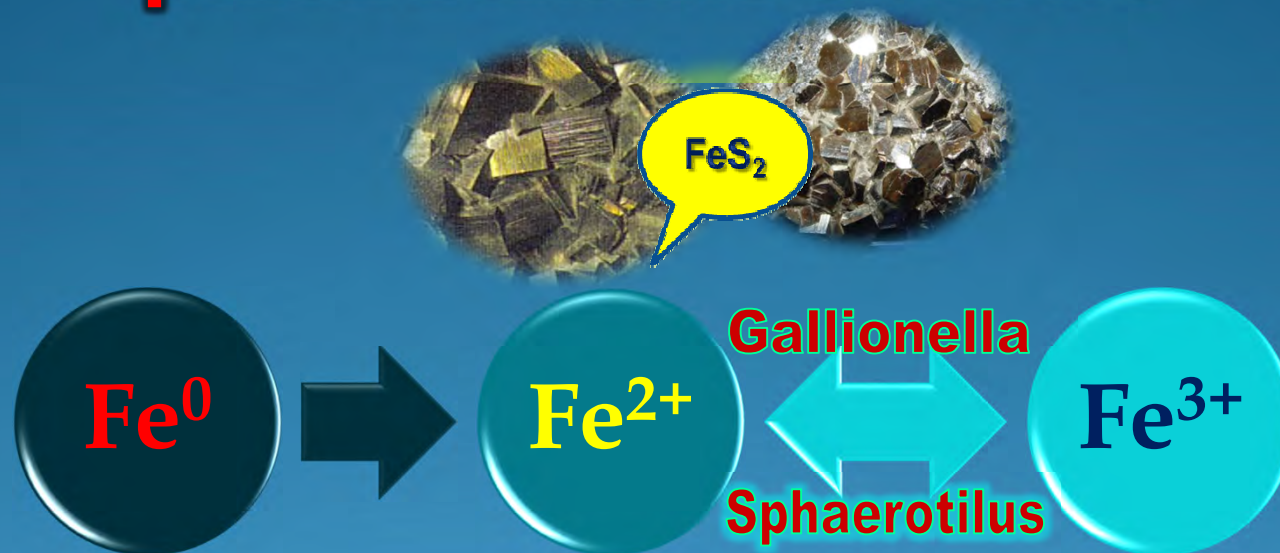
do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  przy pH 2-5,



# Bakterie redukujące siarczany i bakterie utleniające siarczki



# Utlenianie związków żelaza i siarki przez bakterie tlenowe



Proces elektrochemiczny  
+ biogeniczny  $\text{H}_2\text{S}$  i  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Biooksydacja (tlenowa)  
Bioresdukcja (beztlenowa)

Gallionella lub Thiobacillus ferrooxidans utleniają siarczki żelaza



Rola bakterii żelazowych w utlenianiu pirytu



# Proteobakterie

## 1.- Fototrofy beztlenowe:

- a - siarkowe, purpurowe: *Chromatium*, *Ectothiorhodospira*,
- b - niesiarkowe, purpurowe: *Rhodospirillum*, *Rhodomicrobium*

## 2.- Chemolitotrofy:

- a - nitryfikujące: *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*
- b - utleniające siarkę: *Thiobacillus*, *Beggiatoa*, *Thioploca*
- c - utleniające żelazo: *Leptothrix*, *Gallionella*, *Thiobacillus*
- d - utleniające wodór
- e - utleniające metan

## 3.- Chemoorganotrofy:

- a - tlenowce: *Pseudomonas*, wytwarzające śluz, utleniające  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ; N-wiążące: *Azotobacter*, *Photobacteria*
- b - beztlenowce: reduktory siarki, *Desulfovibrio* spp.
- c - fakultatywne tlenowce: bakterie jelitowe, *E. coli*
- d - fermentujące: *Zymomonas*
- e - patogeny: *Neisseria*, *Campylobacter*, *Salmonella*  
*Vibrios*, *Spirilla*, *Prostecate bacteria*, *Myxobacteria*

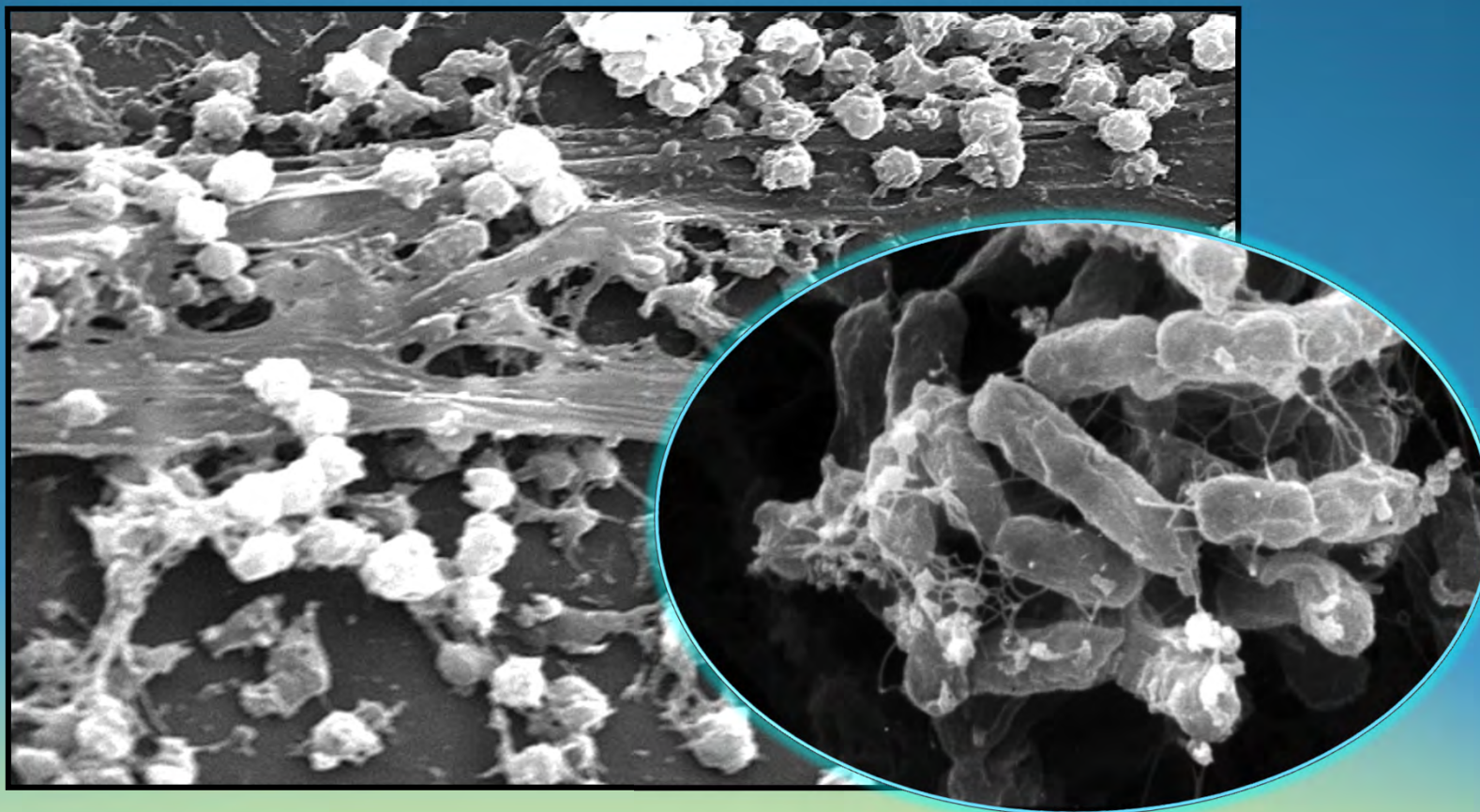
# Chemoorganotrofy

- a - tlenowce: *Pseudomonas*, wytwarzające śluz; mikroaerofile, zużywające resztki  $O_2$ .  
N-wiążące: *Azotobacter*, *Photobacteria*;
- b - beztlenowce: reduktory siarki, np. *Desulfovibrio* species;
- c - fakultatywne tlenowce: bakterie jelitowe, *E. coli* ;
- d - fermentujące: *Zymomonas*;
- e - patogeny: *Neisseria*, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Vibrios*, *Spirilla*, *Prostecate* bakterie, *Myxobacteria*.



# Chemoorganotrofy

Tlenowce: *Pseudomonas*, wytwarzające śluz i zużywające resztki  $O_2$  w biofilmie



# **Bakterie zaangażowane w beztlenową biokorozję**

**Bakterie redukujące związki  
siarki i żelaza**



# Chemoorganotrofy

- a - tlenowce: *Pseudomonas*, wytwarzające śluz i podnoszące stężenie  $O_2$ , N-wiążące: *Azotobacter*, *Photobacteria*;
- b - beztlenowce: reduktory siarki, siarczany, np. *Desulfovibrio* sp.;
- c - fakultatywne tlenowce: bakterie jelitowe, *E. coli* ;
- d - fermentujące: *Zymomonas*;
- e - patogeny: *Neisseria*, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Vibrios*, *Spirilla*, *Prostecate* bakterie, *Myxobacteria*.

# Bakterie beztlenowe z biofilmu indukujące MIC

To bakterie redukujące siarczany  
(SRB, *sulfate reducing bacteria*), np.

*Desulfovibrio vulgaris*,

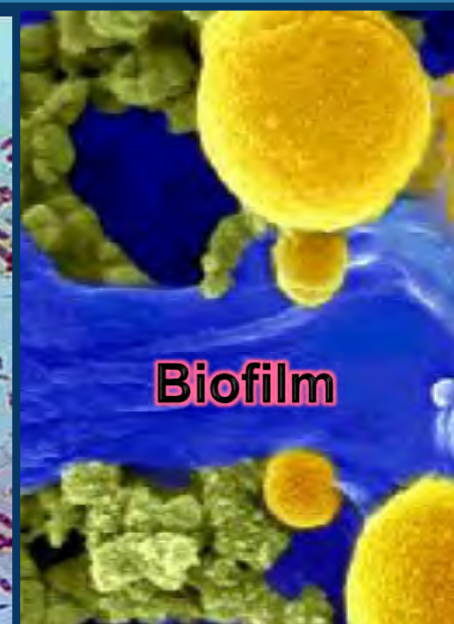
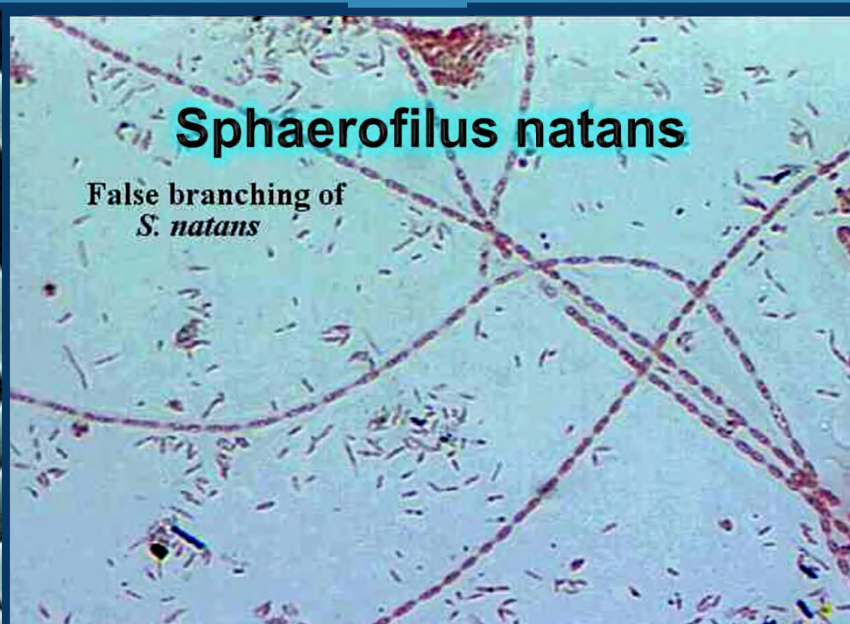
*Desulfovibrio desulfuricans*,

*Desulfotomaculum spp.*,

produkujące siarkowodór i siarczki z  
siarczanów oraz z tiosiarczanów przy pH 7,0

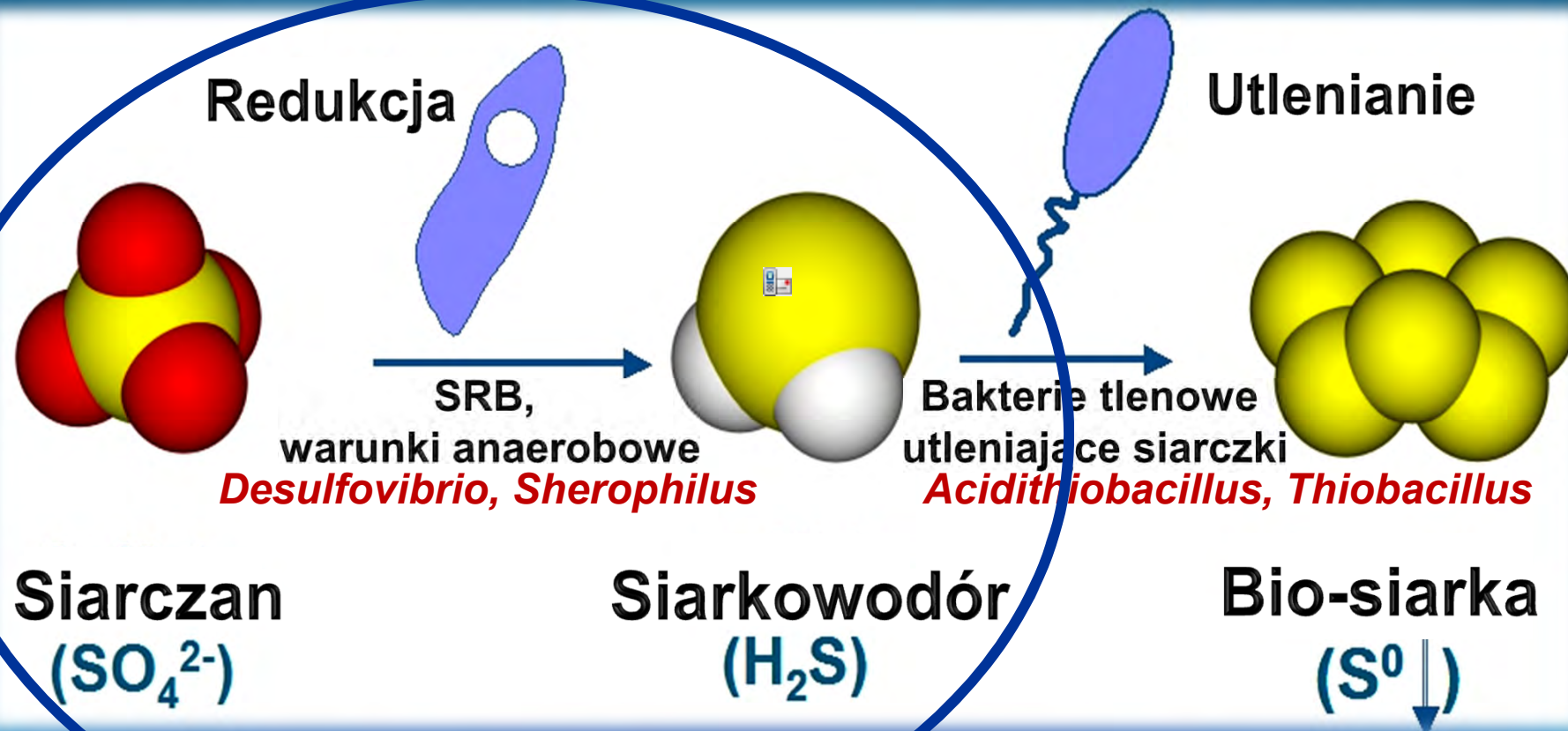


# Bakterie redukujące siarczany

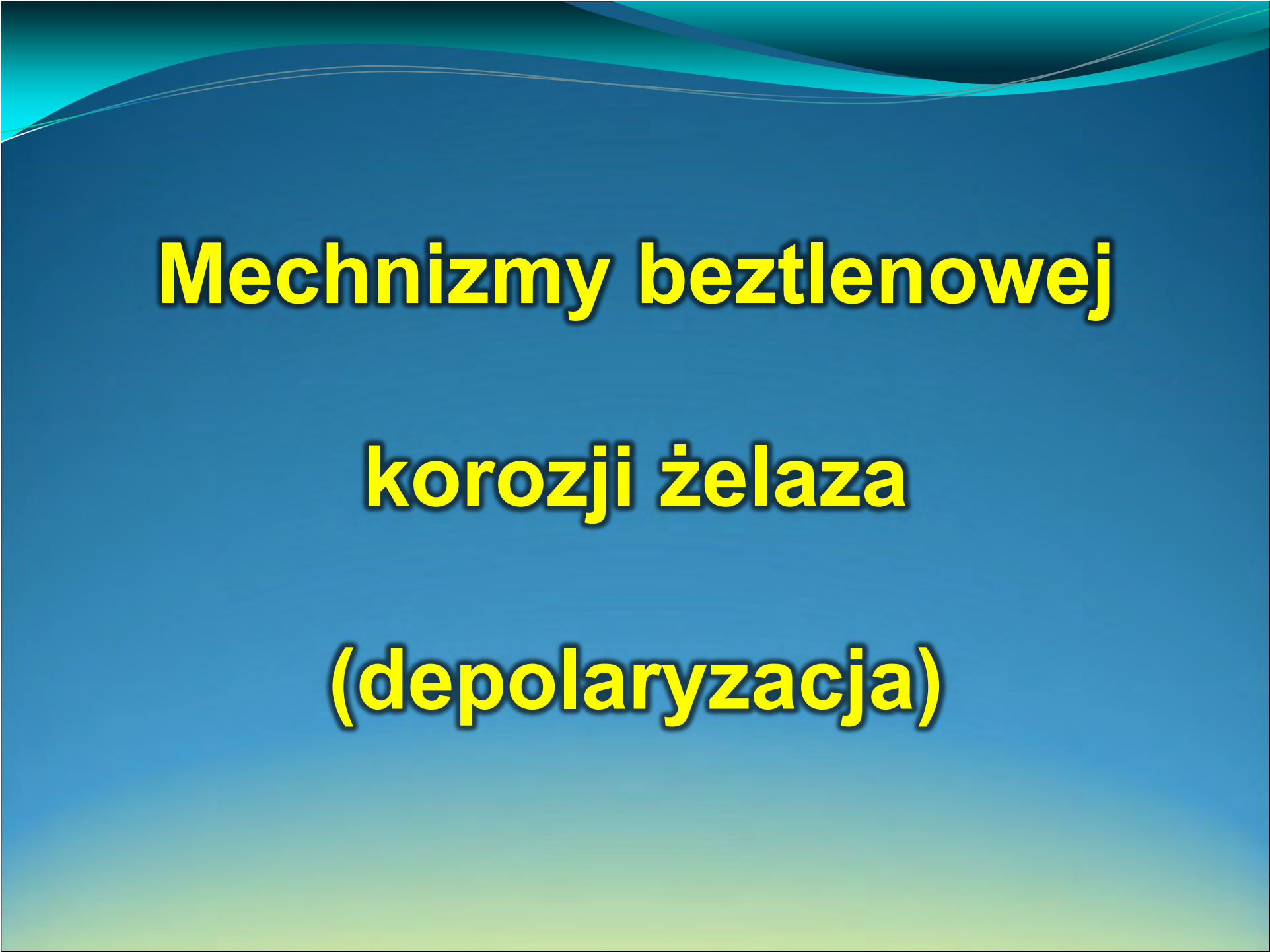




# Bakterie redukujące siarczany i bakterie utleniające siarczki







# **Mechnizmy beztlenowej korozji żelaza (depolaryzacja)**

# Depolaryzacja katodowa i anodowa

Jednym z najważniejszych procesów mikrobiologicznie indukowanej korozji (MIC) jest depolaryzacja katody przeprowadzana przez bakterie redukujące siarczany (SRB), *Desulfovibrio* sp., wykorzystujące wodór w reakcji enzymatycznej hydrogenazy:





# **Depolaryzacja katodowa i anodowa**

**Aktywność hydrogenazy to dobry  
wskaźnik oceny możliwości  
powstawania biokorozji.**

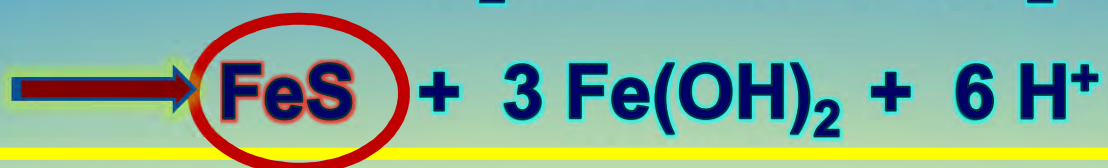
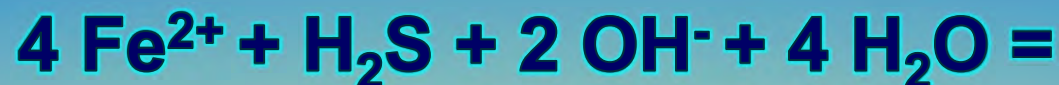
# Mechanizmy depolaryzacji w beztlenowej biokorozji

- Redukcja siarczanu do  $\text{H}_2\text{S}$  na katodzie:



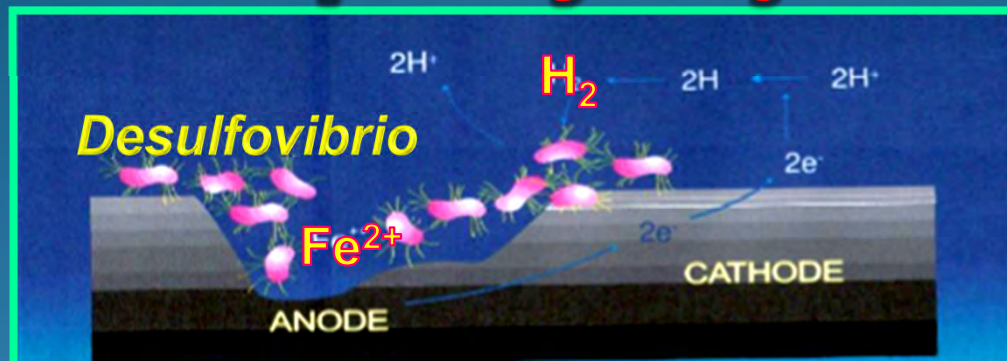
Przyspieszenie procesów biokorozji obserwuje się w przypadku obecności żelaza, bakterii SRB oraz w wyniku indukowania zmiennych warunków tlenowych i beztlenowych.

- Wytrącanie żelaza na anodzie:

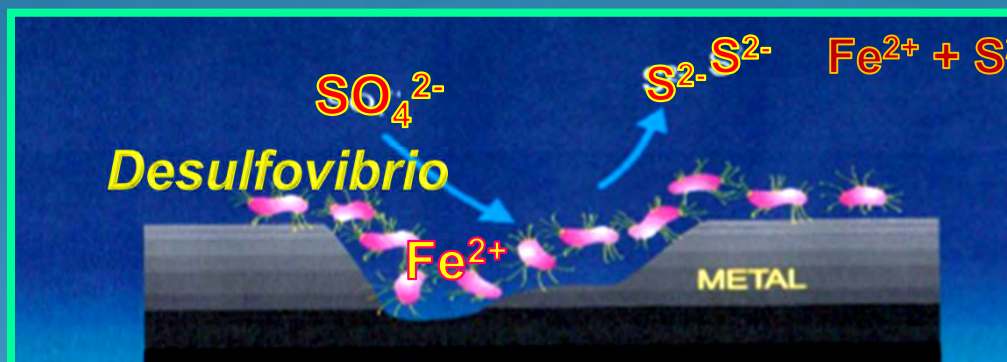




# Bakterie redukujące siarczany i depolaryzacja katody



Stadium 1



Stadium 2



Stadium 3

# Depolaryzacja katodowa i anodowa

Jony żelazowe,  $\text{Fe}^{3+}$ , jako nierozpuszczalne,  
w postaci soli pełnią rolę ochronną  
przed dalszą korozją chemiczną.

Sole żelazawe,  $\text{Fe}^{2+}$ , są przeważnie rozpuszczalne.

Redukcja jonów  $\text{Fe}^{3+}$  w solach żelazowych  
do jonów  $\text{Fe}^{2+}$  w solach żelazawych przez bakterie

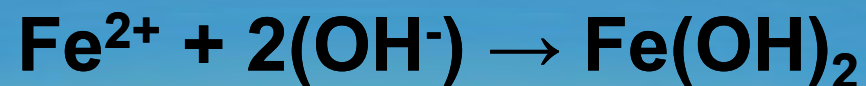
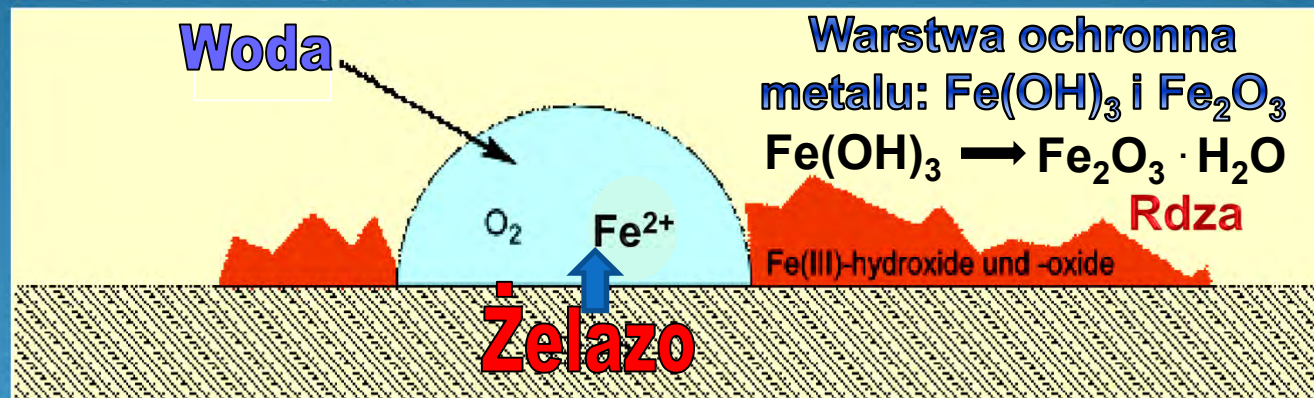
- *Desulfovibrio thermophilus* -

likwiduje warstwę ochronną, np. rdzy ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).



# Redukcja warstwy ochronnej wodorotlenku żelaza i rdzy

Redukcja przez bakterie *Desulfovibrio*



# **Depolaryzacja katodowa i anodowa**

**Kombinacja depolaryzacji  
anodowej i katodowej  
(abiotycznej i biotycznej)**

**określa zakres i stopień korozji  
przemysłowych systemów wodnych.**



# **Mikrobiologicznie indukowana korozja, MIC**

**Mikroorganizmy SRB, występujące w  
biofilmach w następstwie kultur  
„pionierskich”, wywołują procesy  
elektrochemiczne, tworząc  
„inkrustacje”, „guzki”, „muldy”,  
a w dalszej kolejności  
wżery / mikroogniwa**

# MIC w galwanizowanej rurze







Mikroogniwa

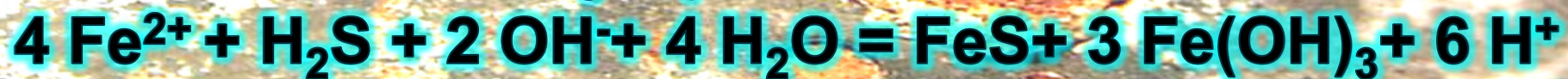
Mikroogniwa

Mikroogniwa

- Redukcja siarczanu:

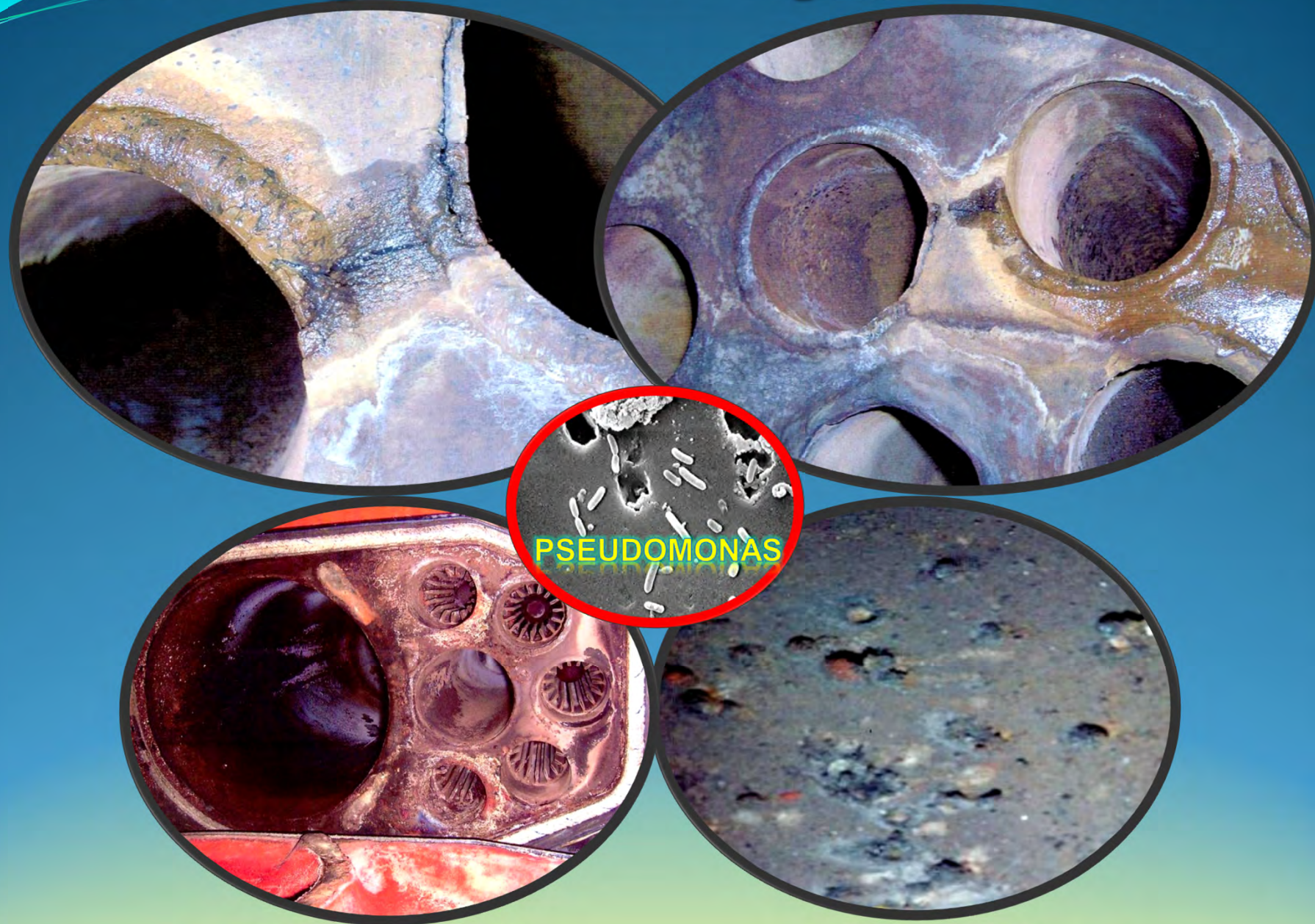


- Wytrącanie żelaza:





# MIC na galwanizowanych metalach





# MIC w galwanizowanej rurze



Mikroogniwa

Mikroogniwa



Mikroogniwa





# Biokorozja

W systemie ciepłej wody





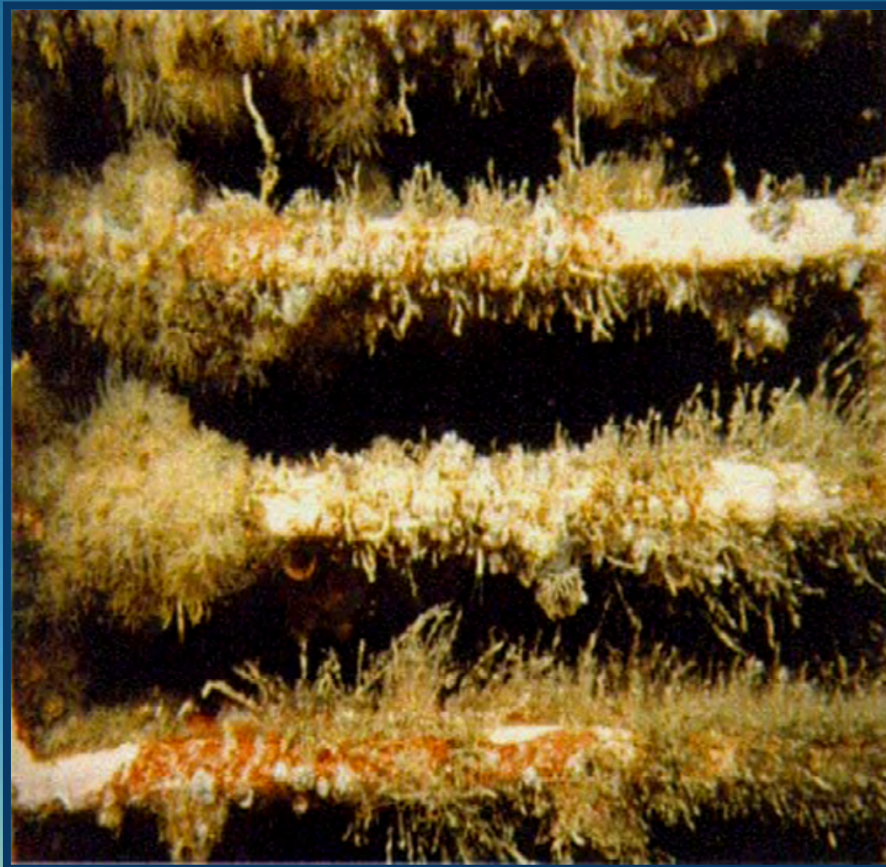
# Biokorozja



„Bio-fouling” wywołany przez bakterie żelazowe



# Biokorozja



Chroniczny „bio-fouling” wywoływany przez bakterie żelazowe



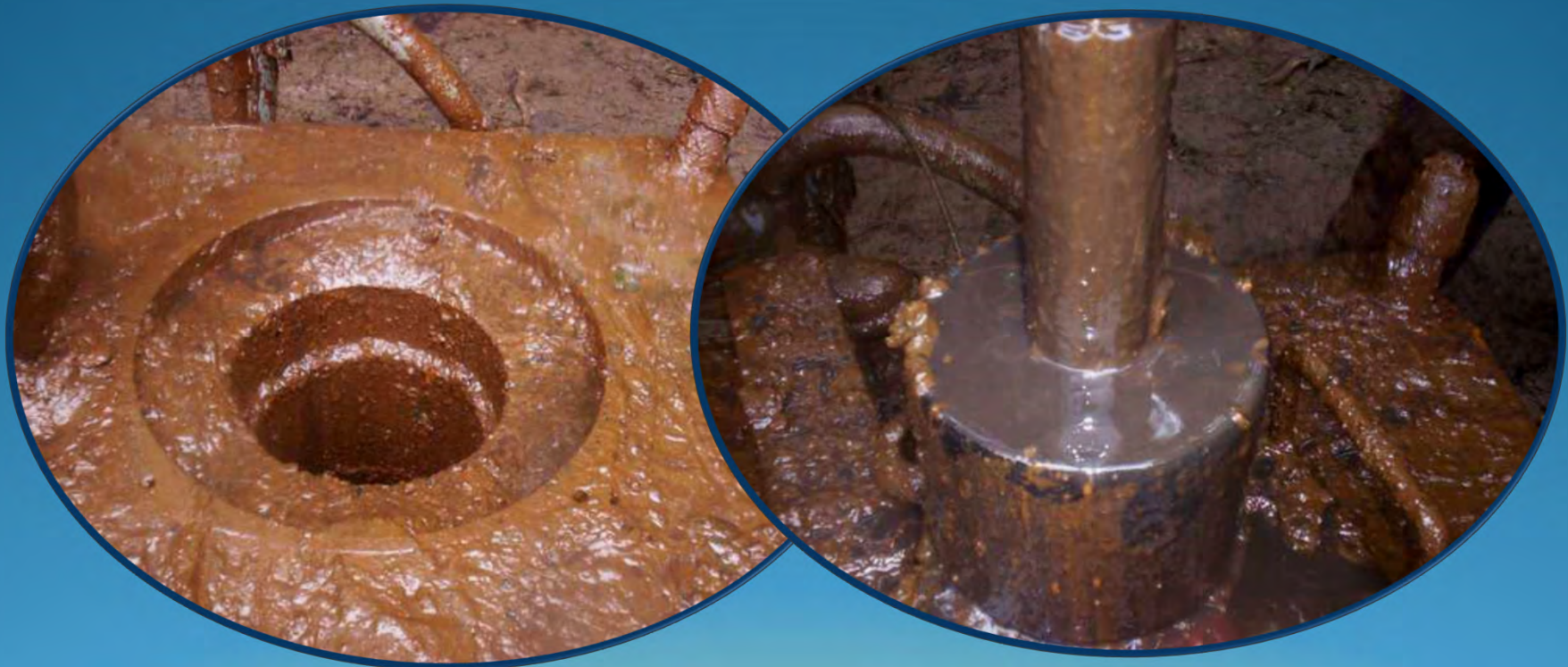
# Biokorozja



Chroniczny „bio-fouling” wywoływany przez bakterie żelazowe



# Biokorozja



Chroniczny „bio-fouling” wywoływany przez bakterie żelazowe



# Biokorozja



**Cylindry ze stali pokryte biofilmem**

# Biokorozja



„Bio-fouling” wywołany przez bakterie żelazowe





# Biokorozja

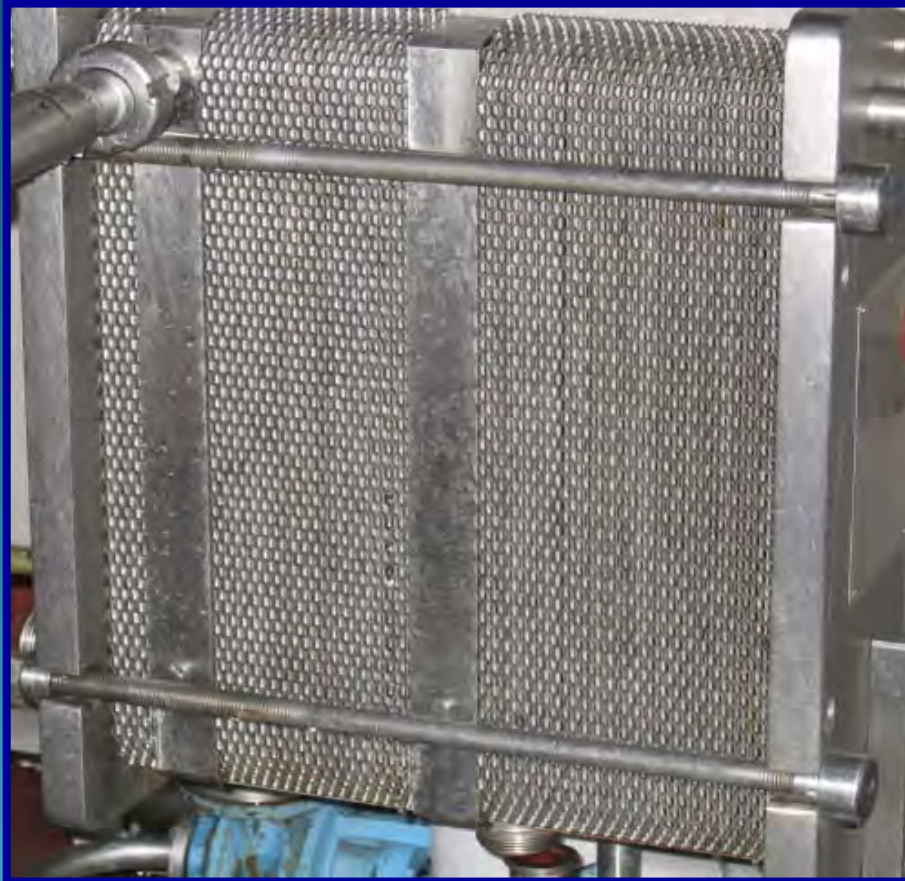


Gallionella

W rurze z ciepłą wodą



# Biokorozja



**Biofilm na płytach pasteryzatora**



# Biokorozja

## AKTUALNE BADANIA NT. GENEZY BIOKOROZJI:

- ▶ Immunofluorescencyjne metody poszukiwania mikroorganizmów wywołujących biokorozję;
- ▶ Pomiar aktywności życiowej mikroorganizmów przy użyciu mikrokalorymetrii, MS, MALDI;
- ▶ Biochemiczna i genetyczna charakterystyka mikroorganizmów: ATP, analiza DNA techniką fluorometryczną oraz analiza genów 16S rRNA.

# Biokorozja

## AKTUALNE BADANIA NT. GENEZY BIOKOROZJI:

- ▶ Budowa urządzeń do badań naukowych nad mechanizmem biokorozji i kinetyką powstawania biofilmu *in real time*: laminar-flow, capillary-tubes;
- ▶ Monitorowanie biofilmu: preparaty barwione i mikroskopia (DIC, CLSM, AFM), non-destructive;
- ▶ Opracowanie procesu zapobiegania i usuwania efektów biokorozji (np. biocydy).



# **Monitoring i diagnostyka biofilmu**

## **Bakterie:**

- **Barwienie DNA za pomocą DAPI lub SYBR,**
  - **Fluorescencyjna technika FISH,**
  - **Badanie enzymów hydrolitycznych,**
  - **Badanie oddychania: sondy jonowe,**
- **Fluorescencyjne sondy genowe, magnetic beads**
- **Wykrywanie bakterii na filtrach membranowych,  
przy użyciu barwienia komórek martwych  
(efekt działania biocydów) i żywych,**

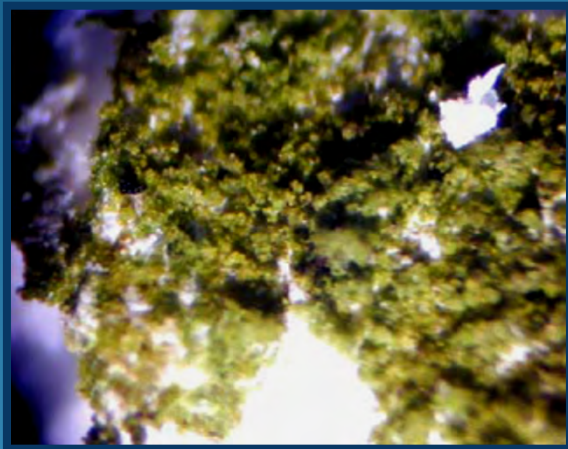
# Sposoby wykrywania bakterii wywołujących biokorozję

- IRB-BART i SRB-BART Testy,
- BacTrac system i API-Test,
- Wizualna identyfikacja rodzajów bakterii pod mikroskopem.





# Biofilm / „Biofouling” / Biokorozja w przemysłowych systemach wodnych



a.



b.



c.

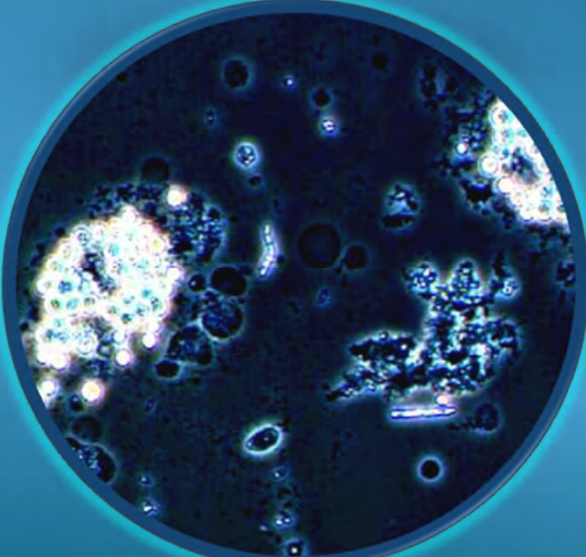
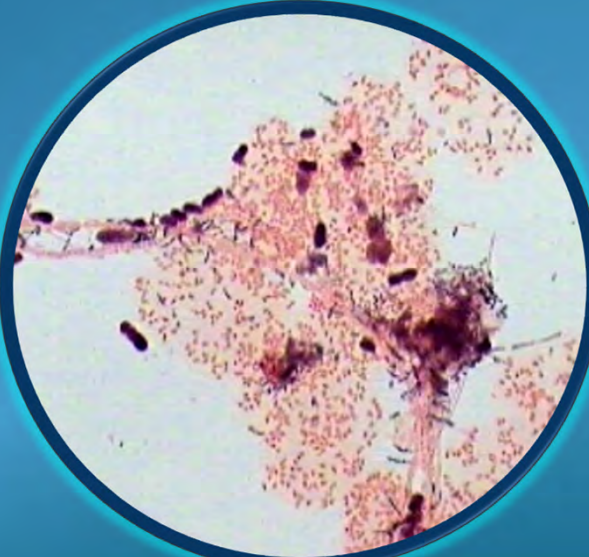
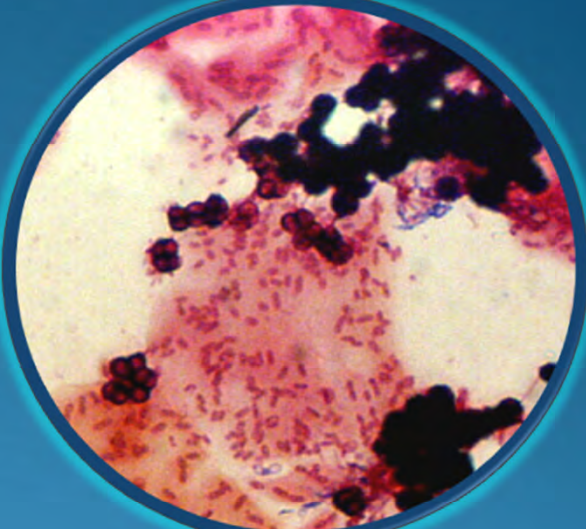
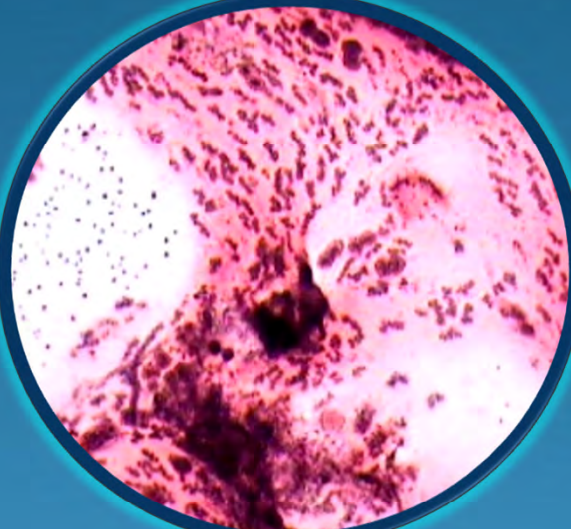
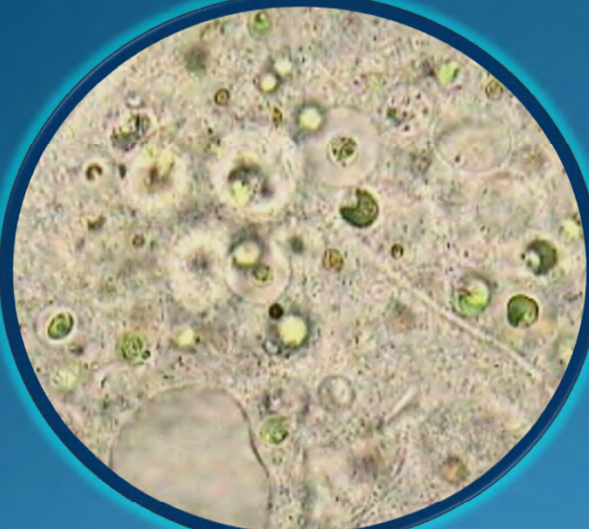
a - stereomikroskop,  
b - mikroskop transmisyjny lub AFM  
c - mikroskop świetlny + fluorescencja

# **Mikroorganizmy tworzące „biofouling”**

**Bakterie, pleśnie i glony tworzą  
grubą warstwę biofilmu  
zw. biofouling,  
będącym przedostatnim  
etapem biokorozji**



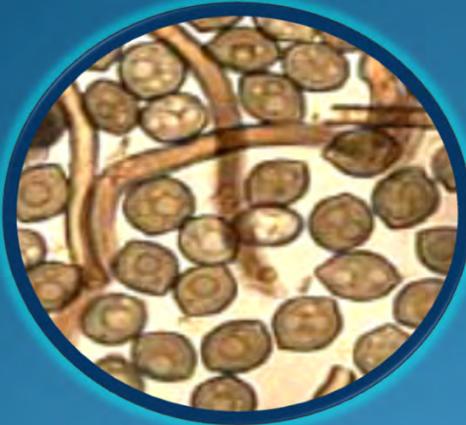
# Bakterie tworzące „biofouling”



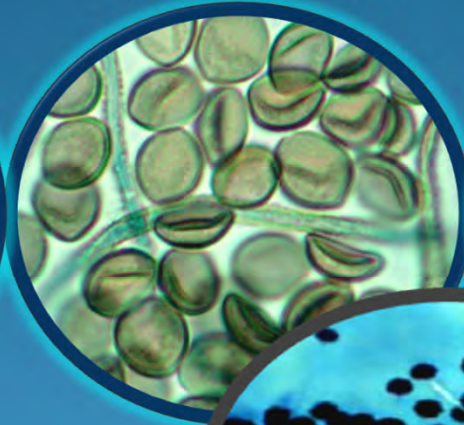


# Pleśnie wchodzące w skład „biofouling”

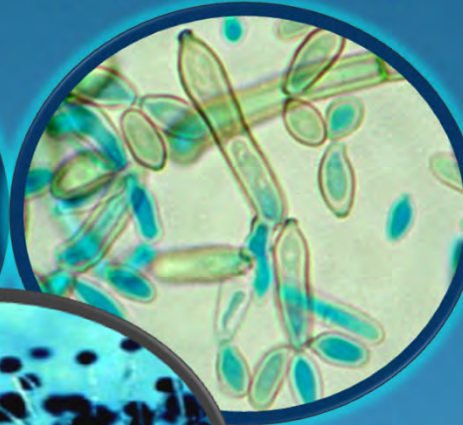
Eurotium



Chaetomium



Cladosporium



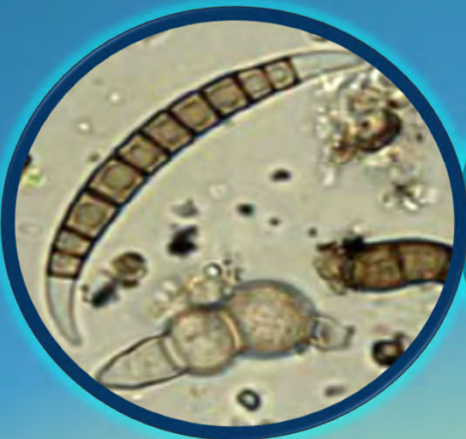
Acremonium



Rhizopus



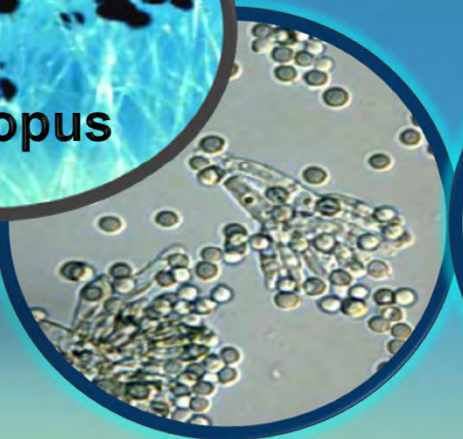
Fusarium



Curvularia



Penicillium



Alternaria



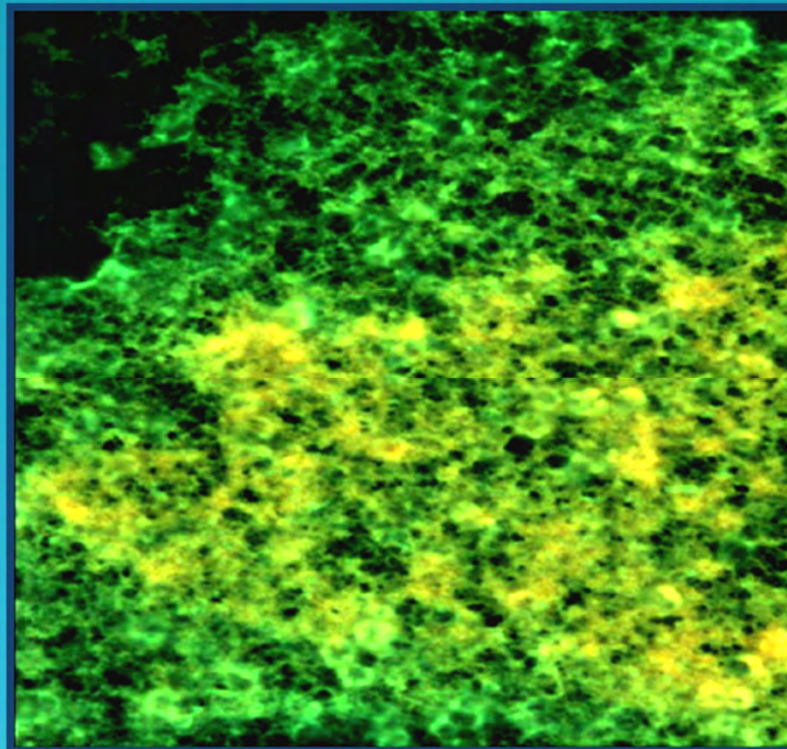
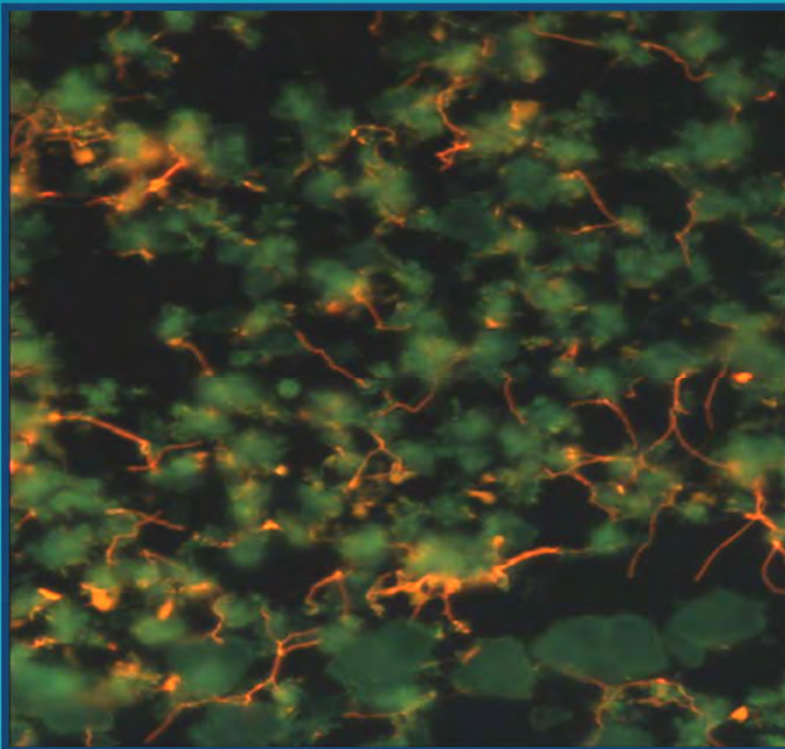


# Bakterie tworzące „biofouling”



„Bio-fouling” wywoływany przez bakterie żelazowe  
i bakterie redukujące siarczany

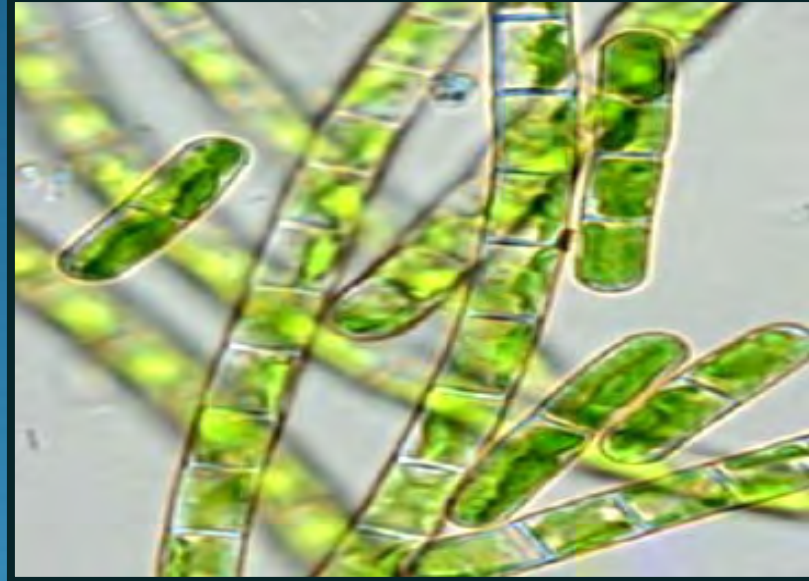
# Bakterie tworzące „biofouling”



„Bio-fouling” bakterie odporne na środki czyszczące

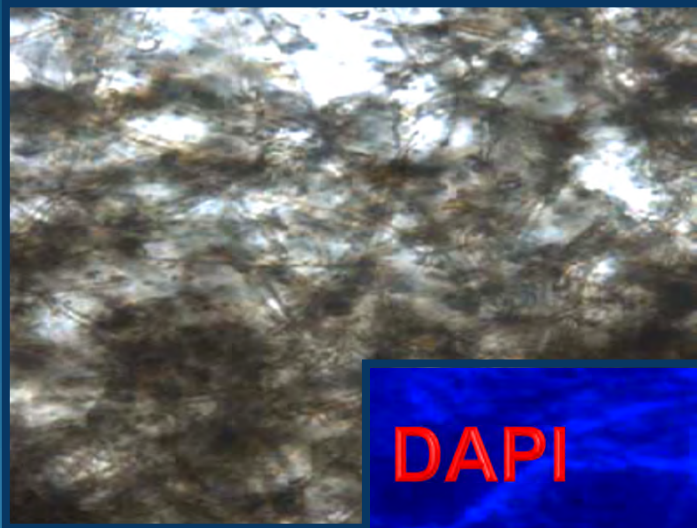


# Glony wchodzące w skład „biofouling”

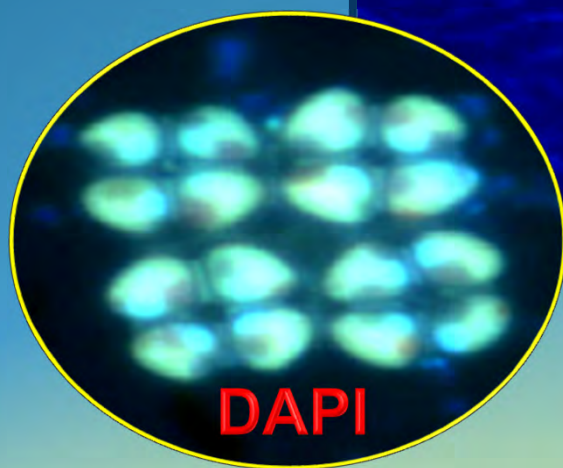
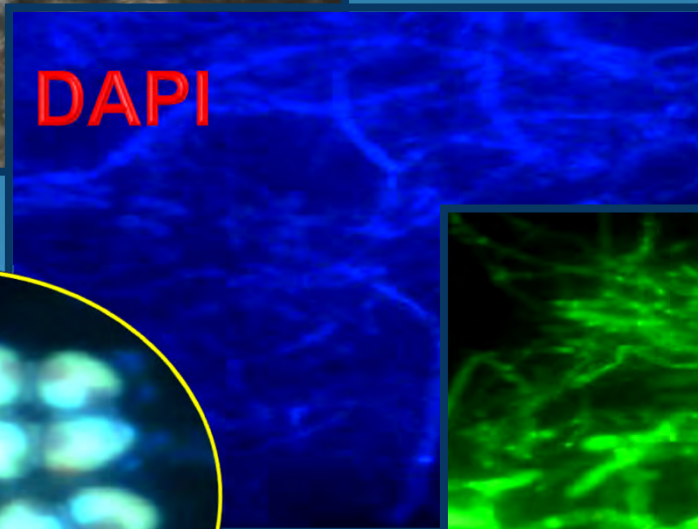




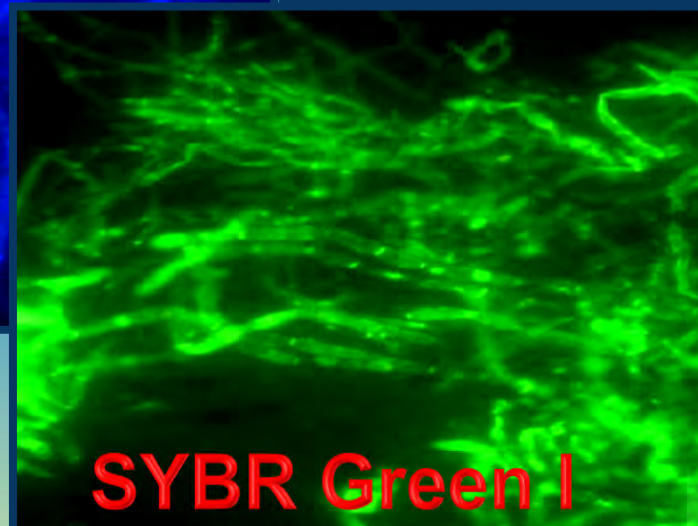
# Monitoring i diagnostyka bakterii



DAPI



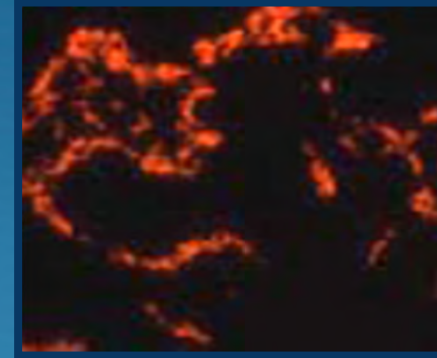
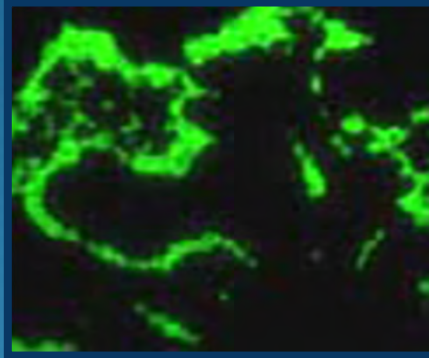
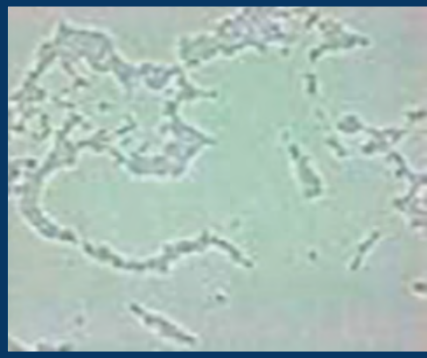
DAPI



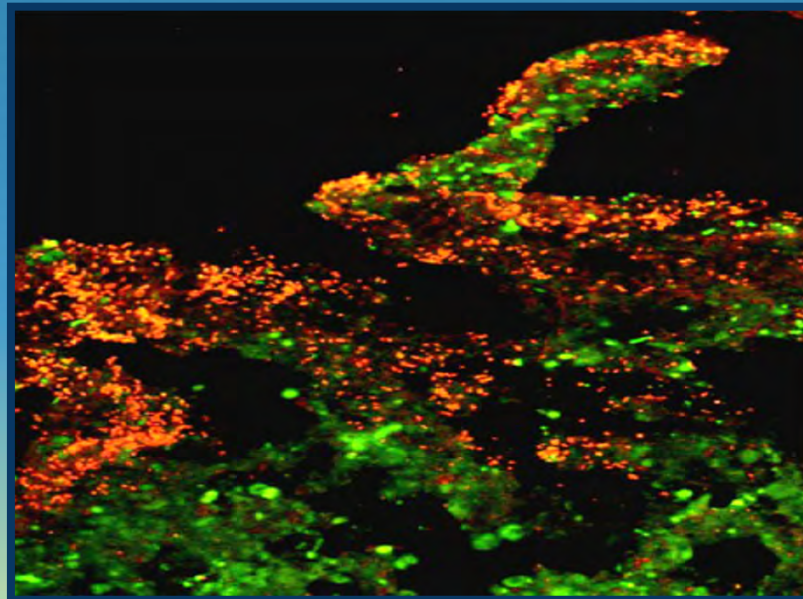
SYBR Green I



# Fluorescencyjna diagnostyka bakterii

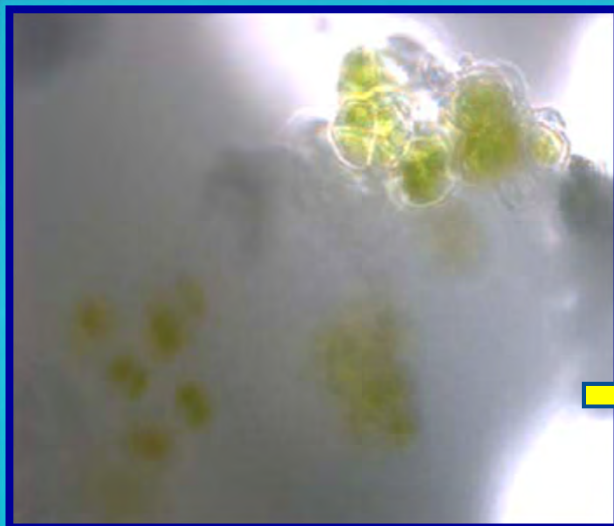
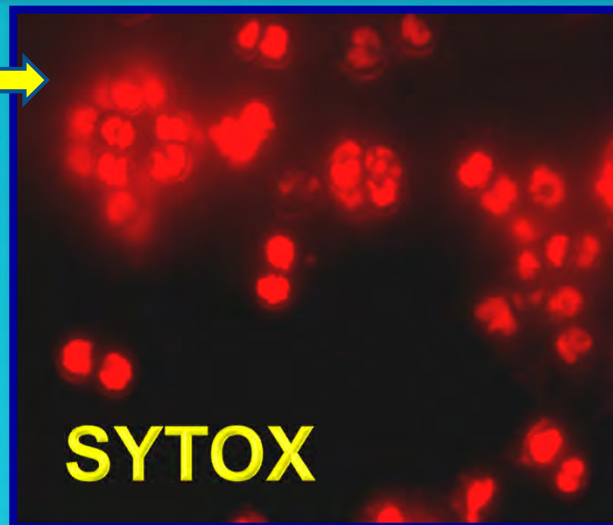
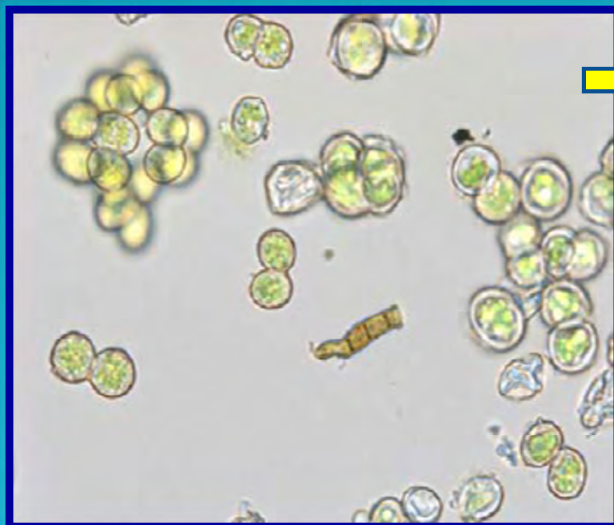


*Legionella* spp. LEG705    *L. pneumophila* LEGPNE1



Vermicon, ITO et al., 2004

# Fluorescencyjna diagnostyka glonów



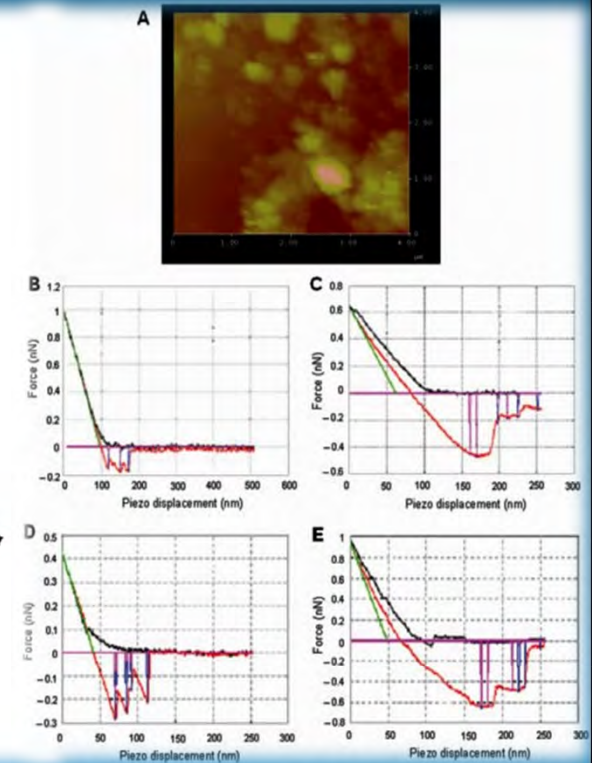
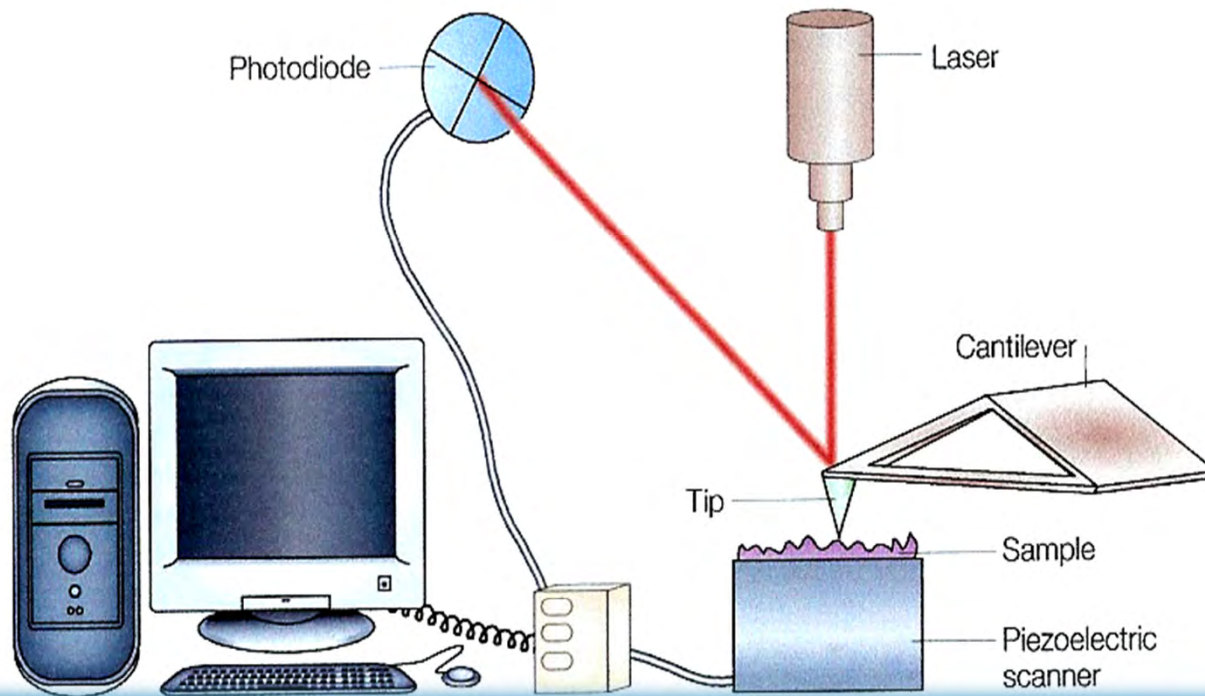


# Atom - Force - Microscopy

Identyfikacja bakterii w biofilmie



# Atom – Force - Microscopy



## Image Analysis of Biofilm: real-time



# Kevin – Probe – Force - Microscopy

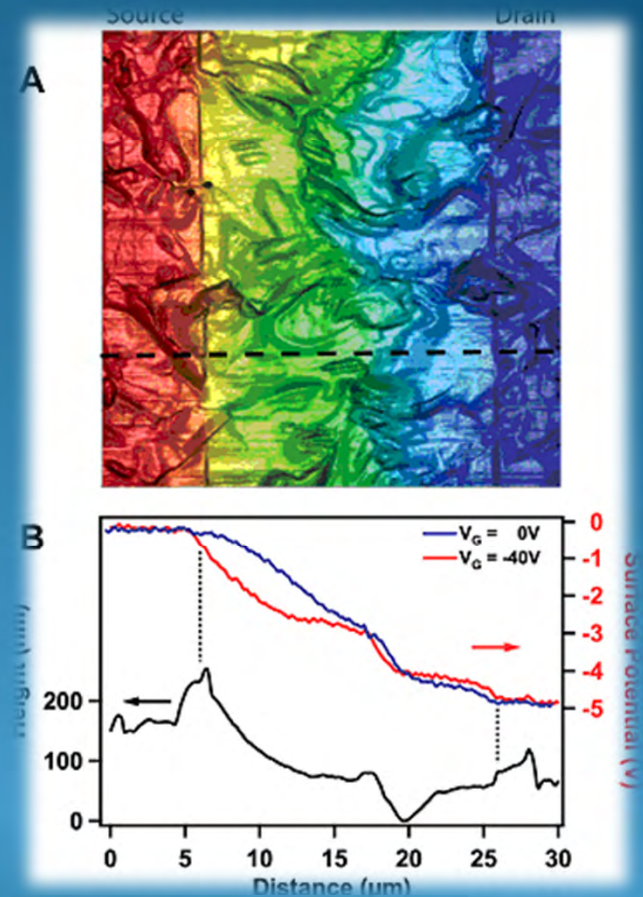
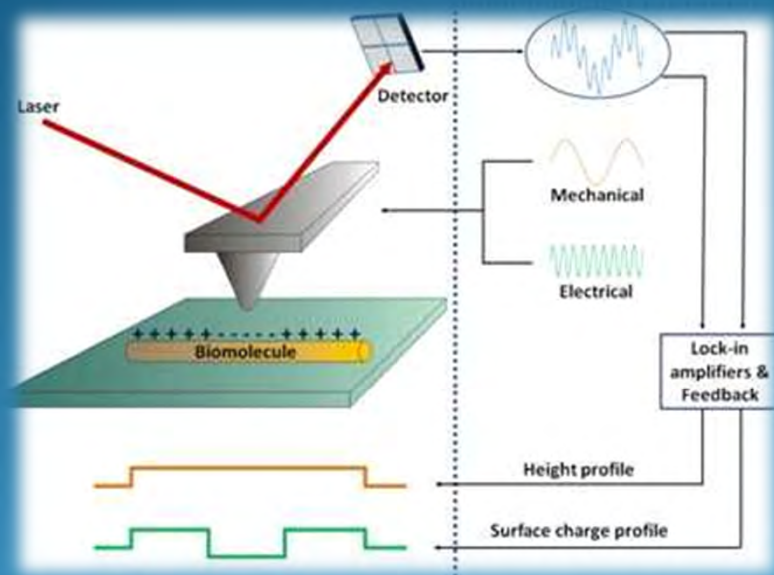


Image Analysis of Biofilm:  
real-time

# **Podsumowanie**

**Zagadnienie biokorozji zaczyna odgrywać coraz bardziej znaczącą rolę. Z powodu zmian klimatycznych, nowoczesnych sposobów budowy i nowych materiałów – mikroorganizmy adaptują się do coraz to innych „substratów”.**

**Ponadto powstałe biofilmy zmieniają właściwości materiałów, tak, że dotychczas odporne materiały ulegają uszkodzeniom.**



# **Podsumowanie**

**Biokorozja powoduje straty wówczas,  
gdy zostanie przekroczona pewna grubość  
mikrobiologicznego osadu (biofilmu).**

**Biofilm jest następnie zastąpiony przez „biofouling”,  
co w konsekwencji prowadzi do nieodwracalnych  
zmian w materiale budulcowym.**

# Podsumowanie

Pożądana jest obserwacja i detekcja  
początkowych stadiów tworzenia się  
biofilmu w formie *in situ*

oraz wykorzystywanie w tym procesie

substratów





# **Podsumowanie**

**Mikroorganizmy z biofilmu wywołują  
również korozję w polimerach w  
warunkach tlenowych i beztlenowych,  
indukując tym samym proces**

**„biokorozji”**

# Straty

**Szacuje się, że w Niemczech roczne  
straty spowodowane korozją  
wynoszą ok. 6 Mrd. €,  
przy czym 10 - 20 % strat  
jest pochodzenia  
mikrobiologicznego.**



A close-up photograph of a hand holding a knife, poised to cut into a metal surface. The background is a soft, out-of-focus blue. Overlaid on the image are four text elements: 'Biokorozja ?' in large red letters with a blue glow, 'MIC ?' in black letters with a blue glow, 'SRB ?' in red 3D-style letters, and 'Biofilm?' in blue 3D-style letters.

# Biokorozja ?

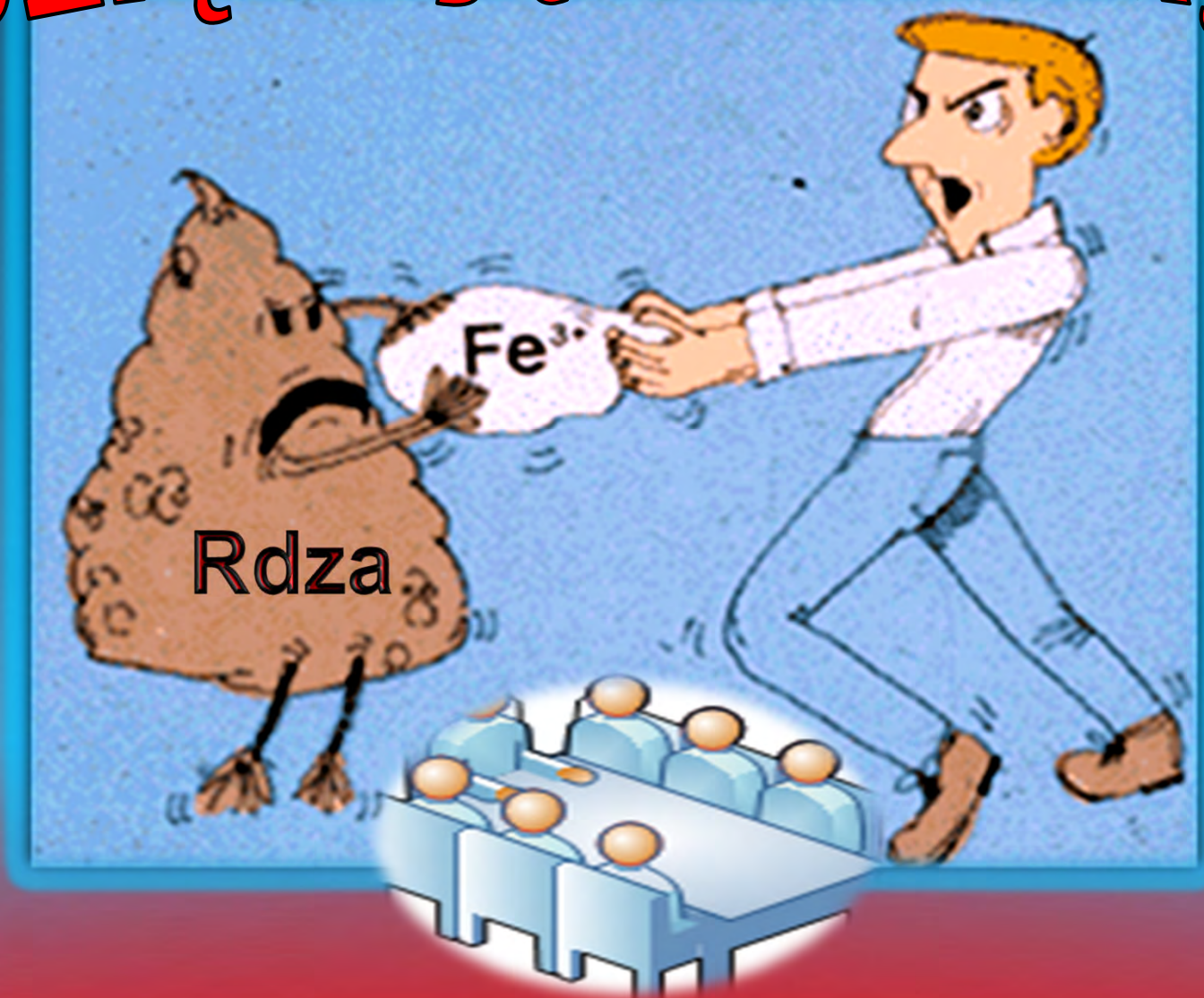
MIC ?

SRB ?

Biofilm?



**Dziękuję za uwagę**





BACK

Popatrz na tę  
ogromną i wstrętną  
populację w  
pięknym biofilmie,  
na dole ...



**Bugs in Black**



# Wybór niektórych mikroorganizmów indukujących korozję

| Mikroorganizmy                        | Zakres pH | Zakres temp. °C | Stosunek do tlenu | Korodujący metal     | Procesy metaboliczne                                                                                     |
|---------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Desulfovibrio</i>                  | 4 - 5     | 10 - 40         | Anaerob           | Stal, Fe, Al, Zn, Cu | Redukcja siarczanów do siarczków i H <sub>2</sub> S                                                      |
| <i>Desulfomonas</i>                   | 6 - 8     | 10 - 40         | Anaerob           | Stal, Fe             | Redukcja siarczanów do siarczków i H <sub>2</sub> S                                                      |
| <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>  | 0,5 - 8   | 10 - 40         | Aerob             | Stal, Fe, Cu         | Utlenianie siarki i siarczków do H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                          |
| <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> | 1 - 7     | 10 - 40         | Aerob             | Stal, Fe             | Utlenianie jonów Fe <sup>2+</sup> do jonów Fe <sup>3+</sup>                                              |
| <i>Gallionella</i>                    | 7 - 10    | 20 - 40         | Aerob             | Stal, Fe             | Utlenianie jonów Fe <sup>2+</sup> do jonów Fe <sup>3+</sup> i jonów Mn <sup>2+</sup> do Mn <sup>4+</sup> |
| <i>Leptothrix</i>                     | 6,5 - 9   | 10 - 35         | Aerob             | Stal, Fe             | Utlenianie jonów Fe <sup>2+</sup> do jonów Fe <sup>3+</sup> i jonów Mn <sup>2+</sup> do Mn <sup>4+</sup> |
| <i>Sphaerotilus</i>                   | 7 - 10    | 20 - 40         | Aerob             | Stal, Fe             | Utlenianie jonów Fe <sup>2+</sup> do jonów Fe <sup>3+</sup> i jonów Mn <sup>2+</sup> do Mn <sup>4+</sup> |
| <i>Sphaerotilus</i>                   | -         | -               | -                 | Al                   | -                                                                                                        |
| <i>Pseudomonas sp.</i>                | 4 - 9     | 20 - 40         | Aerob             | Stal, Fe             | Redukcja Fe <sup>3+</sup> do Fe <sup>2+</sup> przez niektóre szczepy                                     |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i>         | 4 - 8     | 20 - 40         | Aerob             | Al                   | -                                                                                                        |



# Mikroorganizmy zaangażowane w redukcję siarczanów, metabolizm wodoru i korozję żelaza oraz innych metali

| Grupa bakterii                                         | Przykład mikroorganizmów                                                                                                           | Mechanizm korozji                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Utleniacze siarki lub siarczków                        | <i>Thiobacillus thiooxidans</i><br><i>Th. concretivorus</i>                                                                        | Produkcja kwasu siarkowego, utlenianie jonów żelaza $Fe^{2+}$ do jonów $Fe^{3+}$ ;                                                                                           |
| Bakterie żelazowe,<br>Bakterie włókniste (filamentous) | <i>Gallionella</i><br><i>Sphaerotilus</i> , <i>Crenothrix</i> ,<br><i>Leptothrix</i> , <i>Clonothrix</i><br><i>Pedomicrobium</i> , | Utlenianie jonów $Fe^{2+}$ do $Fe^{3+}$ , uczestniczących w tworzeniu pęcherzy wodorotlenku żelaza na powierzchni metalu;<br>Utlenianie $Mn^{2+}$ do $Mn^{4+}$ (w $MnO_2$ ); |
| Bakterie manganowe                                     | <i>Metagenium</i> , <i>Leptothrix</i>                                                                                              | Katodowa depolaryzacja;                                                                                                                                                      |
| Bakterie zużywające wodór                              | <i>Desulfovibrio</i> spp.                                                                                                          | Katodowa depolaryzacja;                                                                                                                                                      |
| Bakterie produkujące wodór i redukujące siarczany      | <i>Clostridium</i> redukujące siarczany                                                                                            | Katodowa depolaryzacja;                                                                                                                                                      |
| Termofilne bakterie                                    | <i>Desulfovibrio thermophilus</i>                                                                                                  | Redukcja jonów $Fe^{3+}$ do rozpuszczalnych związków $Fe^{2+}$ ;                                                                                                             |
| Bakterie tworzące biofilm                              | <i>Pseudomonas</i> spp.                                                                                                            | Tworzenie biofilmu lub szlamu, zużywanie tlenu.                                                                                                                              |

# Typowe bakterie siarkowe zużywające wodór

| Gatunki                             | Źródło węgla                   | Akceptor elektronów |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| <i>Desulfovibrio sapovorans</i>     | Kwasy tłuszczowe               | Siarczan            |
| <i>Desulfobulbus propionicus</i>    | Propionian                     | Siarczan, azotan    |
| <i>Desulfotomaculum acetoxidans</i> | Octan                          | Siarczan            |
| <i>Desulfuromonas acetoxidans</i>   | Octan                          | Elementarna         |
| <i>Desulfobacter postgatei</i>      | Octan                          | Siarka              |
| <i>Desulfosarcina viribilis</i>     | Octan                          | Siarczan            |
| <i>Desulfonema magnum</i>           | C organiczny i CO <sub>2</sub> | Siarczan            |
|                                     | Węgiel organiczny              | Siarczan            |