

**Използване на индустриални отпадъци  
като суровини за нови строителни  
материали –  
част от дейността на Център за  
Компетентност  
„Чисти технологии за устойчива  
околна среда – води, отпадъци, енергия  
за кръгова икономика”**

*Александър Караманов – ИФХ, БАН*

*<http://www.lab.akaramanov.com>*



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ ФОНД ЗА  
РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ



# ЧИСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА УСТОЙЧИВА ОКОЛНА СРЕДА – ВОДИ, ЕНЕРГИЯ, ОТПАДЪЦИ ЗА КРЪГОВА ИКОНОМИКА



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ ФОНД ЗА  
РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ



## Партньори

- **Водещ партньор:** Софийски университет "Св.Климент Охридски",
- **Партньори по проекта са:**
  - Университет по архитектура, строителство и геодезия;
  - Лесотехнически университет;
  - Университет "Професор д-р Асен Златаров" - Бургас;
- **Институт по физикохимия;**
  - Институт по органична химия с център по фитохимия-София;
  - Институт по микробиология;
  - Фондация "Клийнтех България".
- **Асоциирани партньори по проекта са:**
  - **Столична община;**
    - „Софийска вода” АД;
    - Интерпласт БГ- ЕООД;
    - Енергийна Агенция Пловдив;
  - **Университет – Модена- Италия (ICG).**



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ ФОНД ЗА  
РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ



МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

# Цел

**Clean&Circle** има за цел да се създаде ефективно функционираща инфраструктура в областта на:

- 1/ Контрол, пречистване и управление на води;
- 2/ **Обработка, рециклиране, оползотворяване и обезвреждане на твърди отпадъци;**
- 3/ Реализация на енергийно и ресурсно ефективна икономика чрез получаване на възобновяеми и алтернативни източници на енергия, материали и ресурси;
- 4/ **Стимулиране на иновациите в технологиите за устойчива околна среда и кръгова икономика;**
- 5/ Развитие и реализация на предприемачеството на младите специалисти в горепосочените направления.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ ФОНД ЗА  
РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ



## Работен пакет 3.

### Твърди отпадъци – Идентификация, мониторинг и иновативни методи за контрол и охарактеризиране

- Дейност 13. Химична и физикохимична характеристика на различни видове твърди отпадъци (**пепели от ТЕЦ, от RDF, промишлени отпадъци**, строителни отпадъци, биоразградими отпадъци)
- Дейност 15. Разработване на иновативни технологии за ефективно оползотворяване на конкретните твърди отпадъци. Охарактеризиране на **лабораторните образци за приложимост на новите продукти**
- Дейност 16. Определяне на основните технологични параметри за получаване на **пилотни прототипи на нови материали**
- Дейност 18. Разработване и получаване на **нови строителни материали**



## Утвърден бюджет

| Партньор                                     | Относителен<br>дъл от<br>общия<br>бюджет | Обща сума -<br>финален бюджет<br>2018 г. |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Партньор 1: Софийски<br>университет          | 0,53                                     | <b>12 573 446,66</b>                     |
| Партньор 2: УАСГ                             | 0,09                                     | <b>2 155 290,37</b>                      |
| Партньор 3:<br>Лесотехнически<br>университет | 0,03                                     | <b>708 277,88</b>                        |
| Партньор 4: Бургаски<br>университет          | 0,06                                     | <b>1 321 778,23</b>                      |
| <b>Партньор 5: ИФХ<br/>БАН</b>               | <b>0,13</b>                              | <b>3 143 793,33</b>                      |
| Партньор 6: ИОХЦФ БАН                        | 0,08                                     | <b>1 933 945,78</b>                      |
| Партньор 7: ИМ БАН                           | 0,05                                     | <b>1 235 098,18</b>                      |
| Партньор 8: Фондация<br>Клийнтех България    | 0,03                                     | <b>596 295,43</b>                        |
| <b>Обща сума:</b>                            | <b>1,00</b>                              | <b>23 667 925,86</b>                     |

|                                                                                                                                                                       |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Институт по физикохимия на БАН (ИФХ)</b><br><b>Лаборатория за охарактеризиране на твърди неорганични отпадъци и синтез на керамични и стъклокерамични материли</b> |                         |
| <i><b>Нови Лабораторни съоръжения</b></i>                                                                                                                             |                         |
| XRF анализатор за прецизно определяне на химичен състав в твърдо и течено състояние с пробоподготовка и „мапинг“                                                      | <b>757 000</b>          |
| Анализатор за определяне размера на частици, включващ модул за водни проби                                                                                            | <b>194 000</b>          |
| <i><b>Пилотни установки</b></i>                                                                                                                                       |                         |
| Мултифункционална тунелна печ за керамични производства (с вкл. помощни съоръжения)                                                                                   | <b>1 296 000</b>        |
| <i><b>Модернизация и поддръжка на съществуващо оборудване</b></i>                                                                                                     |                         |
| XRD, SEM, CT, HTOD, DTA и др.                                                                                                                                         | <b>535 000</b>          |
| <b>ОБЩО за проекта 14 448 000</b>                                                                                                                                     | <b>за ИФХ</b>           |
|                                                                                                                                                                       | <b>2 782 000 (19 %)</b> |

## Основен работен колектив



Емилия Караманова



Стела Атанасова



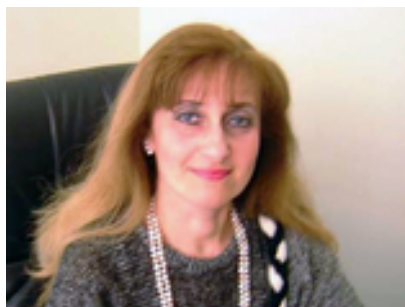
Драгомир Тачев



Георги Авдеев



Александър Караманов



Луиза Барбиери



Кристина Леонели

Waste statistics - Statistics Explained - Mozilla Firefox

Файл Редактиране Изглед История Отметки Инструменти Помощ

Waste statistics - Statistics Explained +

epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\_explained/index.php/Waste\_statistics

Начални насоки на Fi... ☐ ABV поща ☐ ИФХ ☐ WEB of know

European Commission  
eurostat

Search

Waste statistics

**Mining &  
quarrying  
(Section B)**

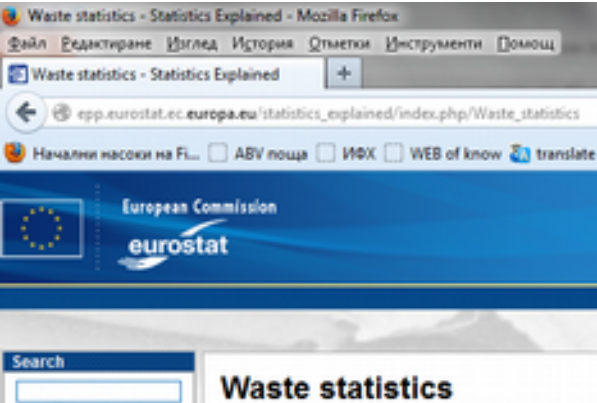
671 780

671 750

1 701

150 214

|                | Waste from economic activities and households |                     | Agriculture, forestry & fishing (Section A) | Mining & quarrying (Section B) | Manufacturing (Section C) | Energy (Section D) | Construction demolition (Section F) | (Sections E and G to U) | is      |
|----------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------|
|                | Total                                         | of which, hazardous |                                             |                                |                           |                    |                                     |                         |         |
| EU-28          | 2 505 400                                     | 101 370             | 39 440                                      | 671 780                        | 275 580                   | 86 040             | 859 740                             | 354 230                 | 218 590 |
| EU-27          | 2 502 240                                     | 101 300             | 39 420                                      | 671 750                        | 274 950                   | 85 930             | 859 730                             | 351 870                 | 218 590 |
| Belgium        | 62 537                                        | 4 479               | 231                                         | 1 701                          | 14 543                    | 1 210              | 18 165                              | 22 008                  | 4 679   |
| Bulgaria       | 167 203                                       | 13 542              | 618                                         | 150 214                        | 3 306                     | 8 032              | 79                                  | 2 557                   | 2 396   |
| Czech Republic | 23 758                                        | 1 363               | 114                                         | 115                            | 4 202                     | 1 540              | 9 354                               | 5 099                   | 3 334   |
| Denmark        | 20 965                                        | 1 784               | 201                                         | 41                             | 1 919                     | 517                | 3 176                               | 12 676                  | 2 436   |
| Germany        | 363 545                                       | 19 931              | 256                                         | 24 493                         | 48 981                    | 9 087              | 190 990                             | 53 426                  | 36 312  |
| Estonia        | 19 000                                        | 8 962               | 110                                         | 6 453                          | 3 716                     | 6 534              | 436                                 | 1 320                   | 430     |
| Ireland        | 19 808                                        | 1 972               | 101                                         | 2 196                          | 3 259                     | 334                | 1 610                               | 10 578                  | 1 730   |
| Greece         | 70 433                                        | 292                 | 5                                           | 44 793                         | 4 941                     | 11 029             | 2 086                               | 2 381                   | 5 198   |
| Spain          | 137 519                                       | 2 991               | 5 817                                       | 31 732                         | 16 480                    | 2 339              | 37 947                              | 20 006                  | 23 198  |
| France         | 355 081                                       | 11 538              | 1 682                                       | 1 053                          | 20 382                    | 993                | 260 226                             | 41 439                  | 29 307  |
| Croatia        | 3 158                                         | 73                  | 14                                          | 29                             | 634                       | 108                | 8                                   | 2 365                   | 0       |
| Italy          | 158 628                                       | 8 543               | 311                                         | 706                            | 35 928                    | 2 660              | 59 340                              | 27 204                  | 32 479  |
| Cyprus         | 2 373                                         | 37                  | 129                                         | 382                            | 132                       | 3                  | 1 068                               | 198                     | 461     |
| Latvia         | 1 498                                         | 68                  | 68                                          | 1                              | 375                       | 25                 | 22                                  | 314                     | 694     |
| Lithuania      | 5 583                                         | 110                 | 456                                         | 7                              | 2 653                     | 68                 | 357                                 | 782                     | 1 261   |
| Luxembourg     | 10 440                                        | 379                 | 3                                           | 18                             | 498                       | 2                  | 8 731                               | 803                     | 385     |
| Hungary        | 15 735                                        | 541                 | 488                                         | 87                             | 3 134                     | 2 718              | 3 072                               | 3 372                   | 2 865   |
| Malta          | 1 288                                         | 17                  | 3                                           | 0                              | 9                         | 1                  | 989                                 | 149                     | 138     |
| Netherlands    | 119 255                                       | 4 421               | 3 948                                       | 184                            | 14 094                    | 1 156              | 78 064                              | 12 737                  | 9 072   |
| Austria        | 34 883                                        | 1 473               | 550                                         | 269                            | 2 958                     | 453                | 9 010                               | 17 019                  | 4 623   |
| Poland         | 159 458                                       | 1 492               | 1 543                                       | 61 547                         | 28 618                    | 20 291             | 20 818                              | 17 751                  | 8 890   |
| Portugal       | 38 347                                        | 1 625               | 193                                         | 1 206                          | 9 766                     | 456                | 11 071                              | 10 193                  | 5 464   |



## Waste generation (kg per inhabitant)



## „Другата“ България



# *Основни методи за използване на неорганични индустриални отпадъци*

- Производство на цимент
- Добавка в бетони
- Геополимери
- Керамики
- Стъкло-керамики

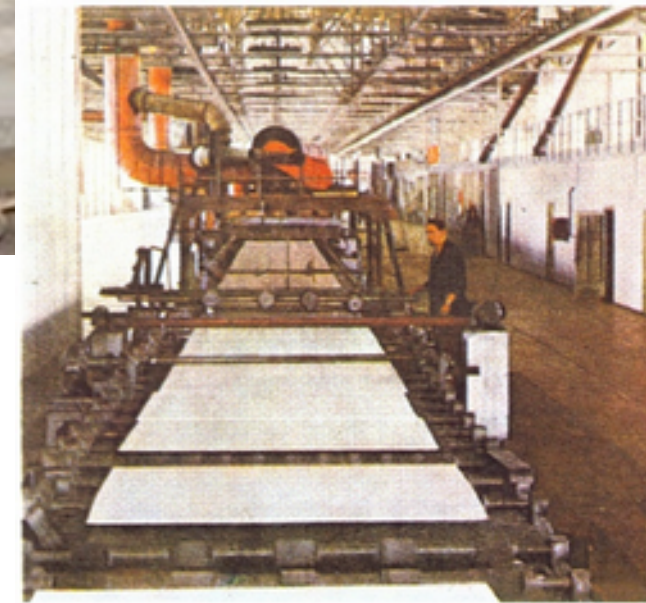
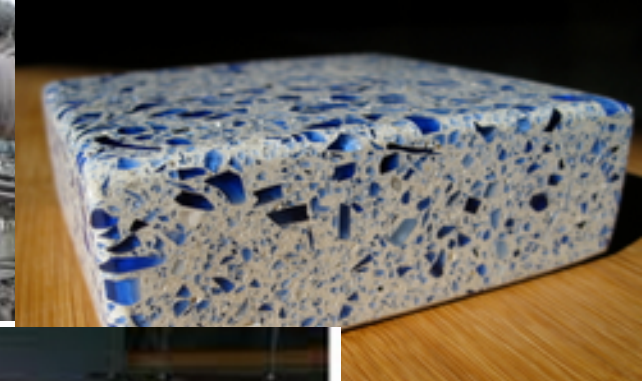


Fig. 4-8 The end of a crystallization, continuous roll furnace for production of Slag

# **Необходима основна информация за неорганичните индустриални отпадъци**

- **Химичен състав (XRF, SEM-EDS)**
- **Фазов състав (XRD)**
- **Структура (SEM, TEM, CXRT)**
- **Разтворимост и токсичност (XRF)**
- **Гранулометричен състав (LSD, CXRT)**
- **Термично поведение (DTA-TG, HSM)**
- **Други**

# “JAROSITE RECYCLING”

*BRE2-CT94-1018 project*

*~ 2 000 000 euro*

**1995-2000**

**Pelino, Rinkon,  
Karamanov and Romero**



*Jarosite and Pb-furnace slag deposal*

*Granite sawing mud deposal*



# ***Pilot Vitrification Plant - Iglesias (Sardinia, 1999 - 2002)***



**Витрификацията** се счита за най-надеждния метод за имобилизиране на радиоактивни и **опасни** (hazardous) отпадъци. При получаването на крайния стъкловиден продукт опасните елементи се свързват химически и структурно в новополучената аморфна решетка.

Витрификацията е **икономически целесъобразна** когато получените продукти имат пазарна стойност. Перспективно е получените стъкла да се използват за производство на строителни стъкло-керамични и/или керамични материали.

Използване на **неинертни** отпадъци в керамични материали също води до успешно имобилизиране и до получаване на изделия с добра химическата устойчивост.

Цените за депониране на битови и промишлени отпадъци през следващите 10 години ще се увеличат многократно и ще се **изравнят или надминат** тези на типичните суровини за керамичната индустрия.

# **Използване на индустриални отпадъци за производство на стъкло-керамики**

- ШлагСиталл 1958, Китайгороски, Автостекло, Константиновка, Донбас, СССР, линия за автоматично валцуване”, 500 000 м<sup>2</sup>/г. 1966
- Silceram (1960, Rawlings R. - Imperial college – London)
- Slagceram (1971, Davies M. - British Steel Corporation)
- Използване на индустриални отпадъци в петрургията

## **Основни предимства**

- **хомогенна структура и отлични механични свойства**
- **имобилизация на опасни отпадъци (витрификация)**

## **Основни недостатъци**

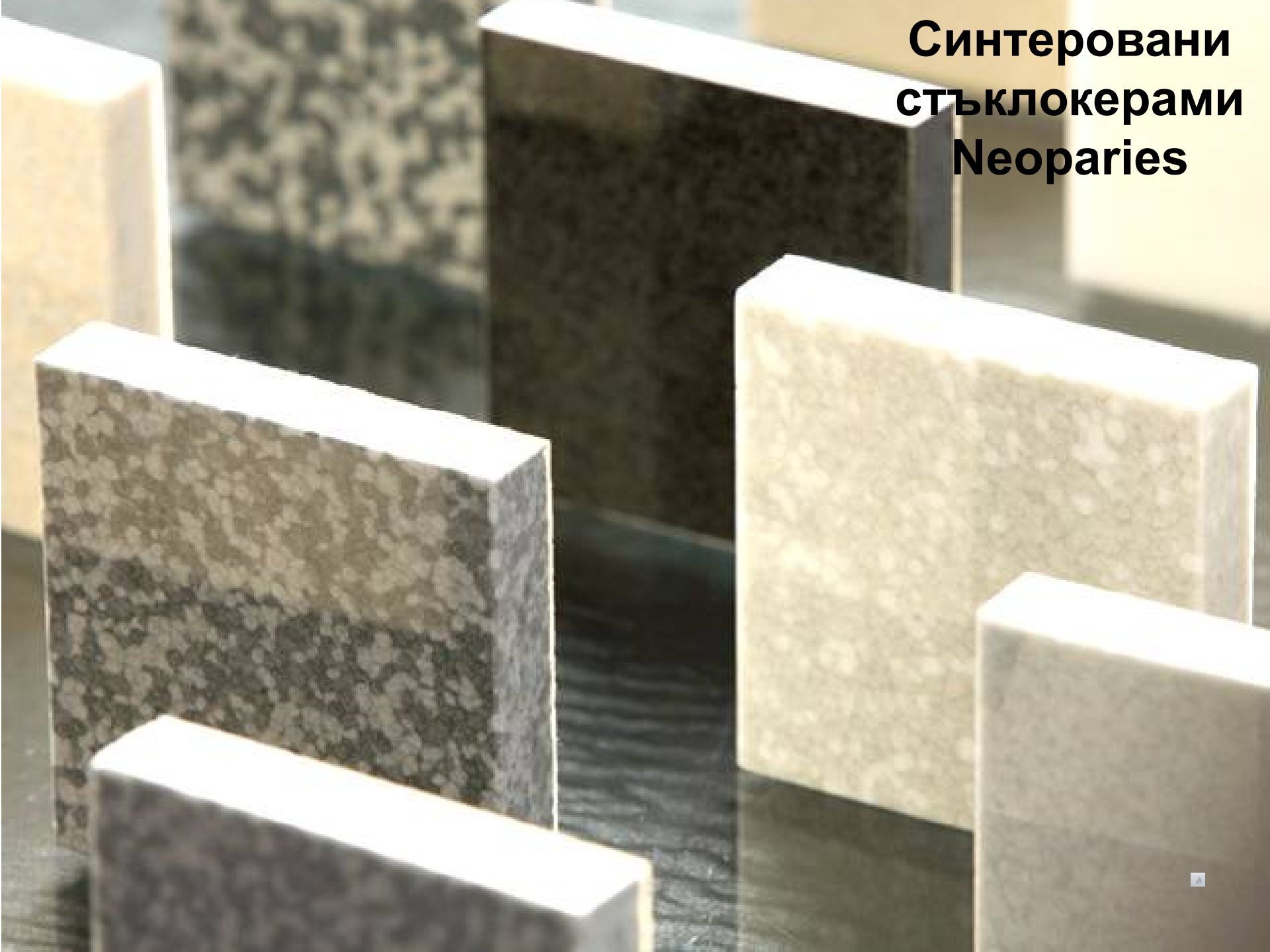
- **Необходимост от големи инвестиции**
- **Относително висока себестойност**

# Богати на железни оксиди стъклокерамични материали с обемна кристализация



| Механични свойства                                      | Стъклокерамика FeNi<br>(ИФХ 2015-2018) | Slagsitalls          |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| Плътност (g/cm <sup>3</sup> )                           | 3.16 ± 0.01                            | 2.6 - 2.8            |
| Коефициент на термично разширение (10 <sup>-7</sup> /C) | 70.8± 0.1                              | 60 - 95              |
| Якост на огъване (MPa)                                  | 120 ± 8                                | 90 - 130             |
| Якост на натиск (MPa)                                   | 250 ± 17                               | 250 - 500            |
| Модул на Юнг (GPa)                                      | 40 ± 2                                 | 60 - 90              |
| Твърдост (GPa)                                          | 9.0 ± 0.2                              | 6 - 8                |
| Устойчивост на счупване (MPa·m <sup>1/2</sup> )         | 1.6 ± 0.1                              | 1.2 – 1.5            |
| Температура на топене (°C)                              | 1 350 - 1 400                          | 1 500 - 1 550        |
| Стъпало за зародишообразуване                           | 0.5-1h при 650 °C                      | 1-2 h при 750-800°C  |
| Стъпало за кристален растеж                             | 0.5-1 h при 750-760 °C                 | 2-3 h при 850-950 °C |

# Синтеровани стъклокерами Neoparies



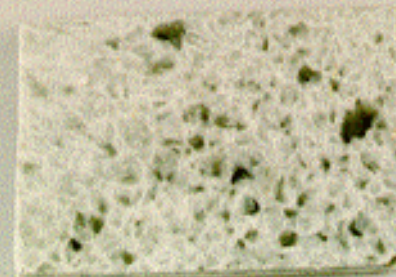
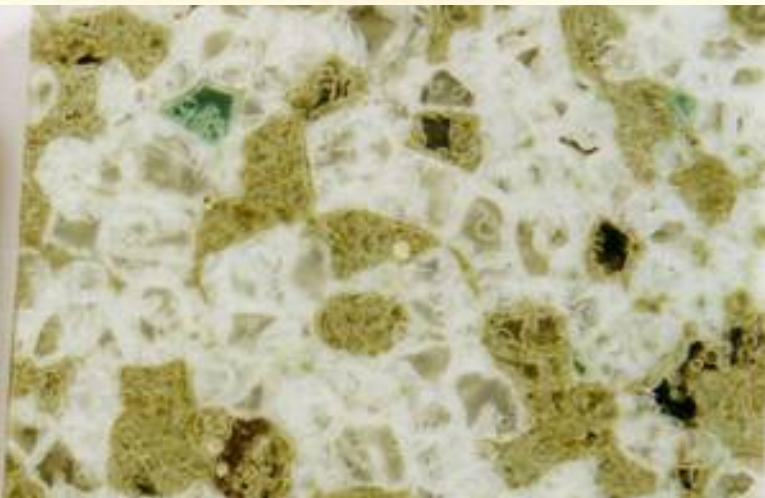
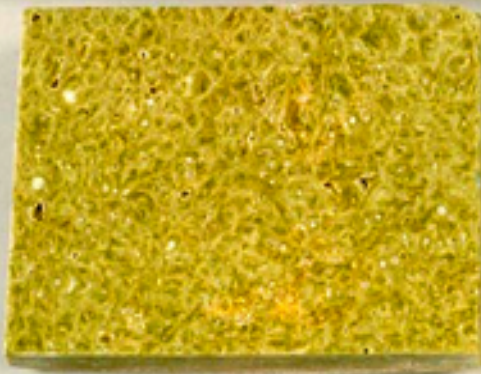
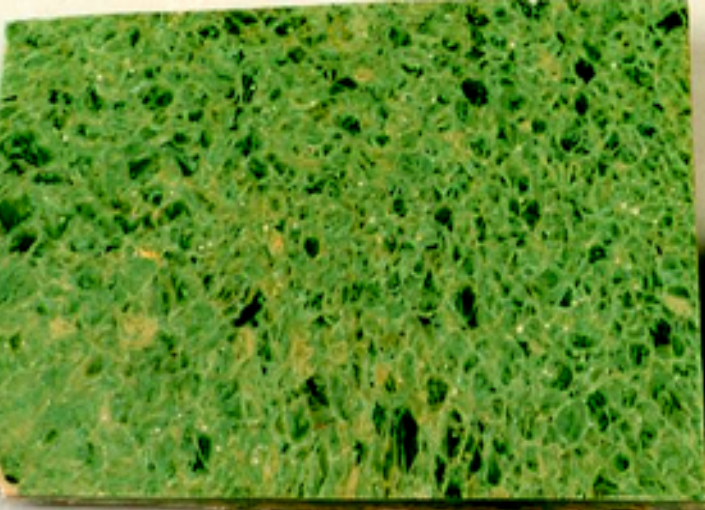
# Neoparies



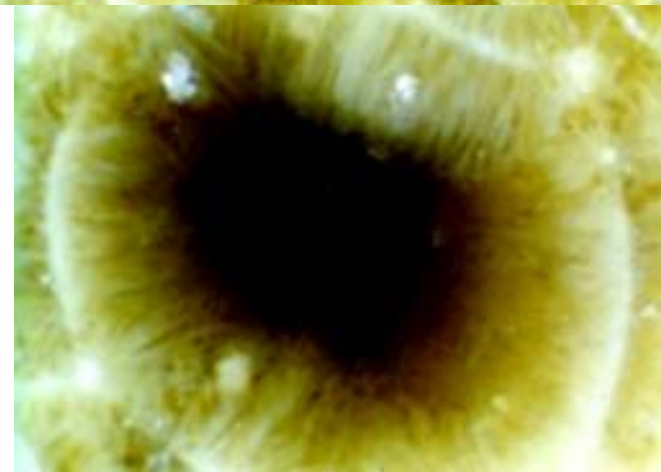
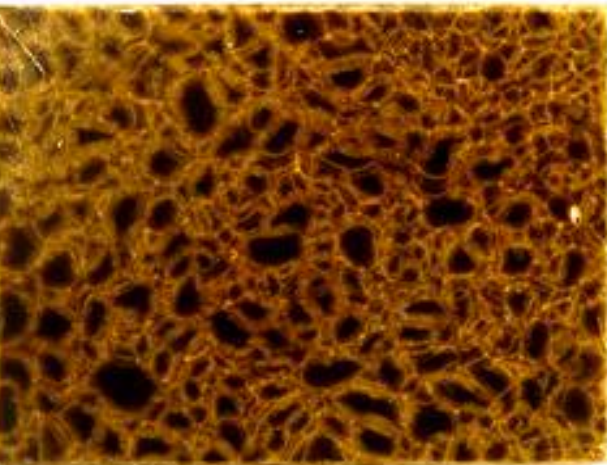
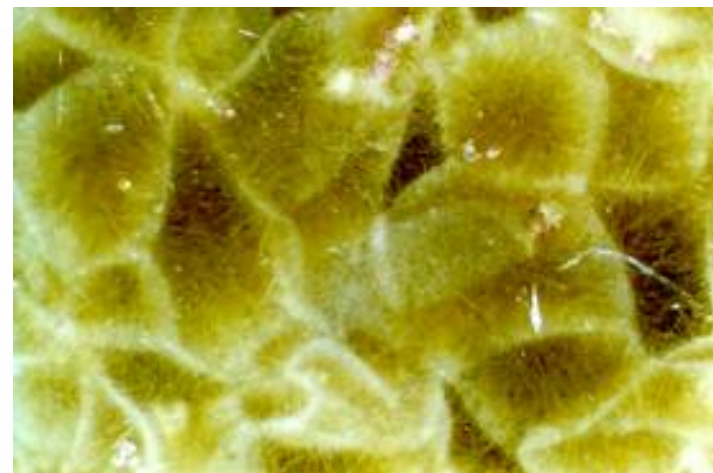
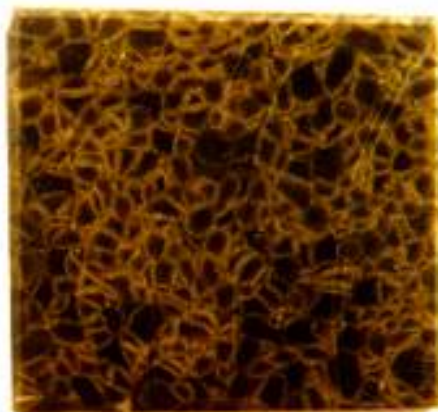
**Диопсидна  
мраморо-подобна  
стъклокерамика**

**ИФХ – БАН**

**Патент на годината  
за 1994**



# Синтерована стъклокерамика от MSWA



1 cm

***TCLP резултати на някои от изучаваните опасни отпадъци (W)  
и получените стъкла (G)***

***(mg/l)***

| Elements | Jar   |        | Flo   |         | EAFD |        | Applied Limits |
|----------|-------|--------|-------|---------|------|--------|----------------|
|          | W     | G      | W     | G       | W    | G      |                |
| Ni       |       |        |       |         | 23.1 | <0.005 | 2              |
| Pb       | 67.0  | 0.062  | 7.2   | < 0.001 | 0.02 | <0.001 | 0.2            |
| Cu       | 1.6   | <0.005 | 94.9  | 0.008   | 0.42 | <0.005 | 0.1            |
| Zn       | 132.4 | 0.024  | 114.4 | 0.098   | 5.3  | 0.16   | 0.5            |

## Свойства на стъклокерамики J-40, G-60 и Neoparies (N) и на гранити (G)

|                                                                     | J-40 | G-60 | N   | G       |
|---------------------------------------------------------------------|------|------|-----|---------|
| Плътност<br>(g/cm <sup>3</sup> )                                    | 2.82 | 2.65 | 2.7 | 2.6-2.8 |
| Якост на огъване<br>(MPa)                                           | 75   | 50   | 55  | 12-15   |
| Модул на еластичност<br>(GPa)                                       | 65   | 86   | 88  | 43-61   |
| Твърдост по Моос                                                    | 5.5  | 6.0  | 6.5 | 4-6.5   |
| Линейно термично разширение<br>(*10 <sup>-7</sup> K <sup>-1</sup> ) | 68   | 78   | 62  | 70-150  |

# Оценка на инвестиция и себестойност на линия за гранито- подобна синтерована стъклокерамика

- годишен обем от **100 000 м<sup>2</sup>** и **80 души работен персонал**
- подобна линия би дала възможност за използване на **6-8 t** опасен отпадък за ден.

| <b>Инвестиции</b>      | <b>*1000 €</b> |
|------------------------|----------------|
| Стъкларска пещ         | 900            |
| Тунелна пещ            | 1 500          |
| Полираща линия         | 1 400          |
| Отделение за шихта     | 500            |
| Сграден фонд           | 800            |
| Инфраструктура         | 900            |
| Други                  | 500            |
| <b>Общи инвестиции</b> | <b>6 500</b>   |

| <b>Годишни разходи</b> | <b>*1000 €</b> |
|------------------------|----------------|
| Суровини               | <b>200</b>     |
| Електроенергия         | 300            |
| Пропан-бутан           | 400            |
| Работни заплати        | 800            |
| Амортизации            | 500            |
| Поддръжка              | 400            |
| Рязане и полиране      | 300            |
| Пакетиране             | 100            |
| <b>Общи разходи</b>    | <b>3 000</b>   |
| <b>€/m<sup>2</sup></b> | <b>30</b>      |

# Синтеровани пено стъкло-керамики, ИФХ - от 2015

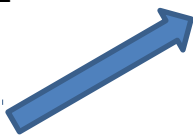
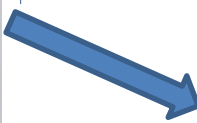
70 % металургична шлака



30 % индустриален пясък и  $\text{CaF}_2$



Топене  
1 ч при 1350-1400 °C

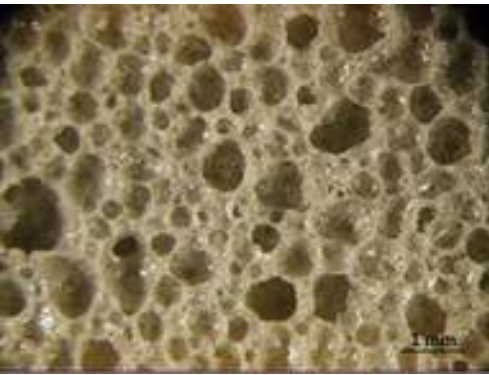


Фритоване и смилане



изпенване

Синтерован



# Производство на керамики от индустриални отпадъци

- Канибализация на керамични трошки – още от Неолита
- Използване на пепел от изгаряне на въглища в производство на тухли – Англия XVIII в.
- Minton , R. H. , The use of furnace slag as grog in architectural terra cotta bodies , J. Am. Ceram. Soc. , 1 ( 1918 ), 185 – 200 ( 20% процента металургична шлака в производство на теракота).

## Предимства:

- Ниска цена и много големи обеми на производства.

## Недостатъци:

- Нехомогенна структура, повишена порьозност и понижени механични свойства.

**ПРОМИШЛЕНИ ОТПАДЪЦИ КАТО АЛТЕРНАТИВНИ ТОПИТЕЛИ В  
КЕРАМИЧНАТА ИНДУСТРИЯ**

**Традиционална  
керамика**

**Пластични  
суровини**

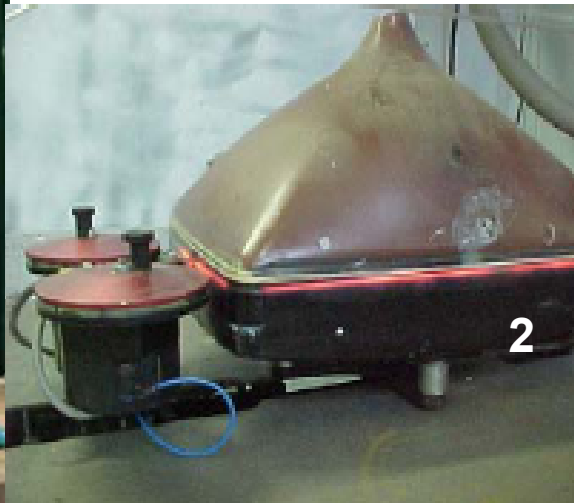
**(глини)**

**Инертни**

**ов пясък)**

Частична замяна (**10-15 %**) на  
топителите със (CRT стъкло, стъклени  
трошки, вулканични скали и др. )

## Нови облицовъчни керамики с добавка на CRT стъкла



# **Цени на основните суровини и на шихта за производство на грес порцелан (2005)**

(производствена линия с капацитет от 3 000 000 м<sup>2</sup> (80 000 тона) /година)

| <b>суровини</b>                | <b>Цена<br/>(евро/тон)</b> | <b>C-35/0</b>    | <b>C-0/15</b>                   | <b>C-14/8</b>                   |
|--------------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>пясък</b>                   | <b>16</b>                  | <b>4.1</b>       | <b>7.6</b>                      | <b>6.4</b>                      |
| <b>глини</b>                   | <b>11</b>                  | <b>4.4</b>       | <b>4.4</b>                      | <b>4.4</b>                      |
| <b>натриев<br/>фелдшпат</b>    | <b>31</b>                  | <b>10.4</b>      | <b>-</b>                        | <b>4.2</b>                      |
| <b>CRT<br/>стъкло</b>          | <b>12</b>                  | <b>-</b>         | <b>1.9</b>                      | <b>0.9</b>                      |
| <b>шихта<br/>(евро/тон)</b>    |                            | <b>18.9</b>      | <b>13.9</b>                     | <b>15.9</b>                     |
| <b>шихта<br/>(евро/година)</b> |                            | <b>1 512 000</b> | <b>1 112 000<br/>(-400 000)</b> | <b>1 272 000<br/>(-240 000)</b> |

# Нови керамични материали с подобрени експлоатационни свойства, получени при използване на висок процент промишлени отпадъци

Най-добър иновативен проект за 2017  
(награда на БТПП и БАН)  
май 2018



# Нови строителни керамични материали



**30-40 %  
пластични  
материали**

**60-70 %  
шлаки, пепели и други  
индустриални отпадъци**

Тази иновационна идея би имала мултиплициран положителен ефект върху опазването на околната среда:

- **вторичната употреба на големи количества индустриални отпадъци**
- **значително намаляване на използването на природни ресурси**
- **подобряване на експлоатационните характеристики на изделията**
- **намаляване на цената на шихтата за 1 м<sup>2</sup> облицовъчна керамика с 0.5 - 1 евро**



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



Journal of the European Ceramic Society 31 (2011) 989–998



[www.elsevier.com/locate/jourceram](http://www.elsevier.com/locate/jourceram)



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SciVerse ScienceDirect

Journal of the European Ceramic Society 32 (2012) 2843–2852



[www.elsevier.com/locate/jourceram](http://www.elsevier.com/locate/jourceram)

## Original Article

### Ceramics from blast furnace slag, kaolin and quartz

Emilia Karamanova, Georgi Avdeev, Alexander Karamanov \*

*Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str. Block 11, 1113 Sofia, Bulgaria*

### Post-treated incinerator bottom ash as alternative raw material for ceramic manufacturing

L.M. Schabbach <sup>a</sup>, F. Andreola <sup>a,\*</sup>, L. Barbieri <sup>a</sup>, I. Lancellotti <sup>a</sup>, E. Karamanova <sup>b</sup>,  
B. Rangelov <sup>b</sup>, A. Karamanov <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Materials and Environmental Engineering, University of Modena and Reggio Emilia, Via Vignolesse 905, 41100 Modena, Italy

<sup>b</sup> Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, G. Bonchev Str. Block 11, 1113 Sofia, Bulgaria

## Свойства на получени в ИФХ образци

| Образец  | Плътност<br>(г/см <sup>3</sup> ) | Порьозност<br>(%) | Водо-<br>поглъщаемост<br>(%) | Свиваемост<br>при<br>изпичане<br>(%) | Аморфна<br>фаза<br>(%) | Якост на<br>огъване<br>(МПа) |
|----------|----------------------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Теракота | 2.1-2.3                          | 10-16             | 0.5-4                        | 4-6                                  | 55-65                  | 30-40                        |
| S-70     | 2.2-2.3                          | 18-20             | 0-1                          | 5-6                                  | 40-45                  | 55-60                        |
| CFK-60   | 2-2.1                            | 14-18             | 0.5-2                        | 4-5                                  | 35-40                  | 60-65                        |



ELSEVIER

Contents lists available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

# Journal of the European Ceramic Society

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jeurceramsoc](http://www.elsevier.com/locate/jeurceramsoc)



## New ceramic materials from MSWI bottom ash obtained by an innovative microwave-assisted sintering process

R. Taurino<sup>a,\*</sup>, A. Karamanov<sup>b,\*</sup>, R. Rosa<sup>a</sup>, E. Karamanova<sup>b</sup>, L. Barbieri<sup>a</sup>,  
S. Atanasova-Vladimirova<sup>b</sup>, G. Avdeev<sup>b</sup>, C. Leonelli<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Engineering "Enzo Ferrari", University of Modena and Reggio Emilia, Via Vivarelli 10, 41125, Modena, Italy

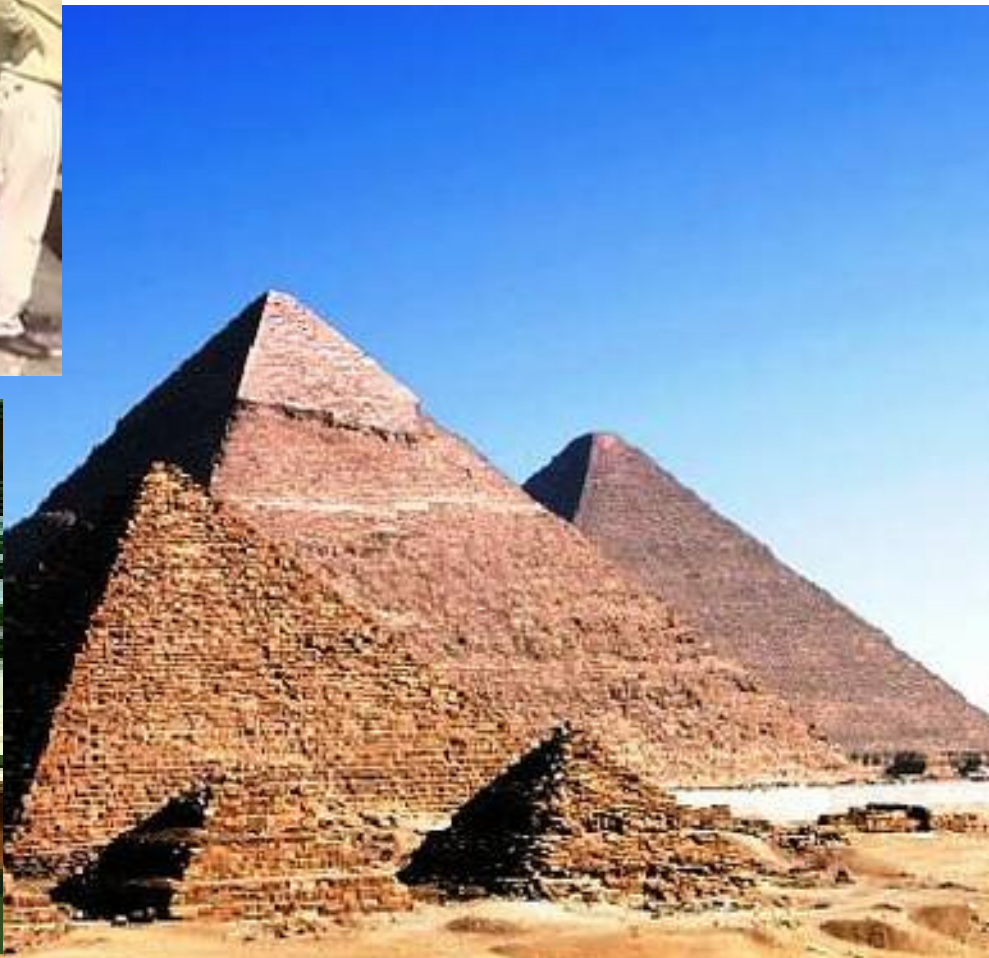
<sup>b</sup> Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., bl.11, 1113 Sofia, Bulgaria

**Свойства на образци с 55% MSWA, изпичани за 10 мин на 1000 °C в електрическа пещ (C-T) и на 900 °C в микровълнова пещ (C-MW)**

| Образец   | Плътност<br>(г/см <sup>3</sup> )<br>(±0.1) | Порьозност<br>(±1 %) | Водо-<br>поглъщаемост<br>(±0.5 %) | Свиваемост<br>при изпичане<br>(±1 %) | Якост на<br>натиск<br>(±5 MPa) |
|-----------|--------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Норматива | >2.0                                       | >40                  | >15                               | <5                                   | >20                            |
| C-T       | 1.86                                       | 32                   | 12                                | 4                                    | 55                             |
| C-MW      | 1.89                                       | 31                   | 8                                 | 3                                    | 60                             |

# Геополимери

проф. Джоузеф Давидович



Brisbane West Wellcamp Airport



One of the 33 precast slag/fly ash-based geopolymer concrete floor parts.



Queensland's University  
GCI building with 3  
suspended floors made  
from structural  
geopolymer concrete



***Благодаря за вниманието***

