

Ανακύκλωση του γυαλιού μέσω χύτευσης: μια νέα, βιώσιμη, αρχιτεκτονική έκφραση του γυαλιού

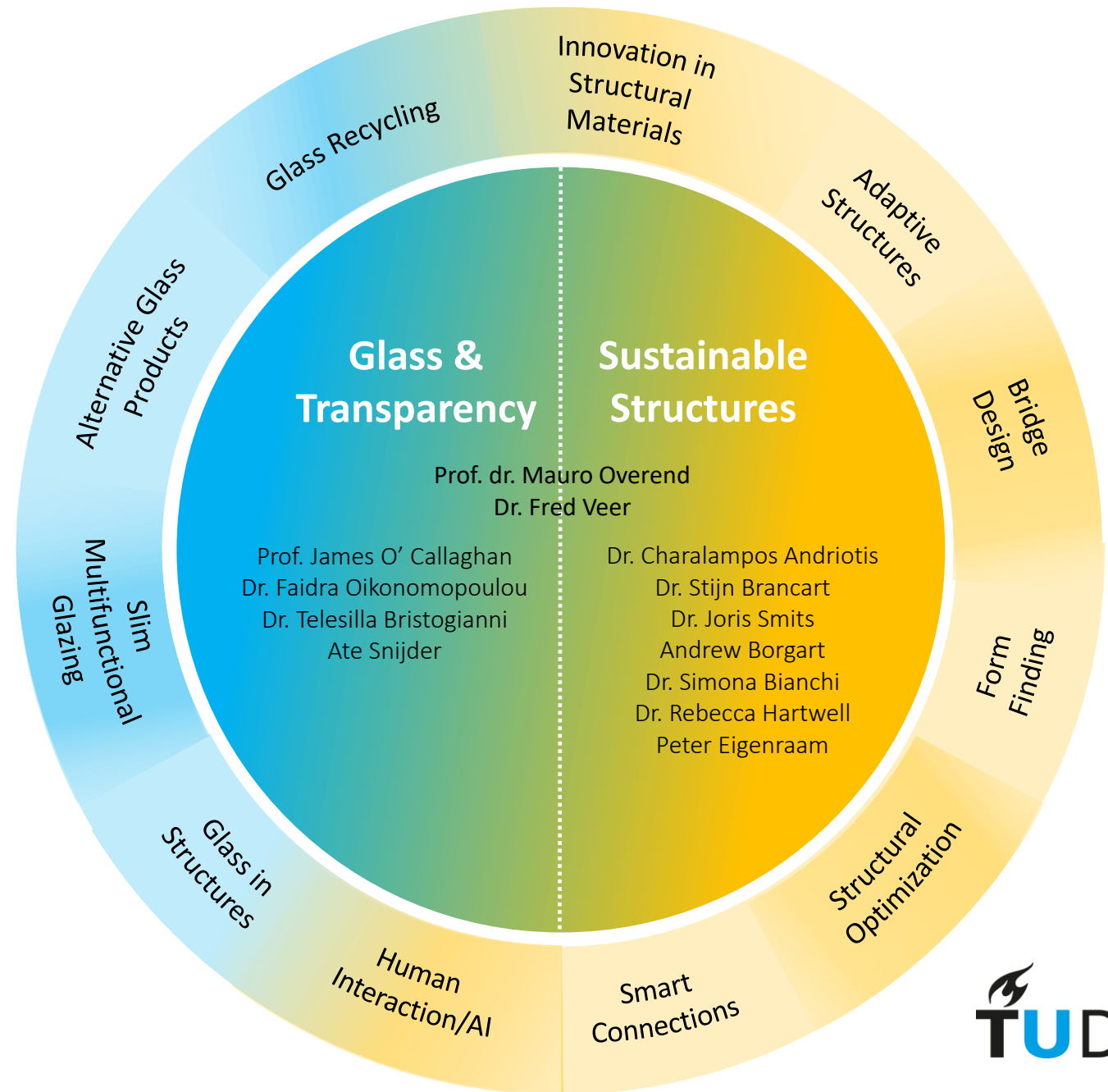
Δρ. Φαίδρα Οικονομοπούλου

Επίκουρη καθηγήτρια, μέλος της ερευνητικής ομάδας Restruct Group,
Αρχιτεκτονική Σχολή, Πανεπιστήμιο Ντελφτ (TU Delft) - Ολλανδία



Ερευνητική Ομάδα

ReStruct



Research Group website:
<https://www.restructgroup-tudelft.nl/>





Glass Sandwich Floor για την έκθεση GlasTec 2018



Glass Ziptruss στην έκθεση Dutch Design Week 2021 - Εικόνα: Ate Snijder

Χυτό Γυαλί





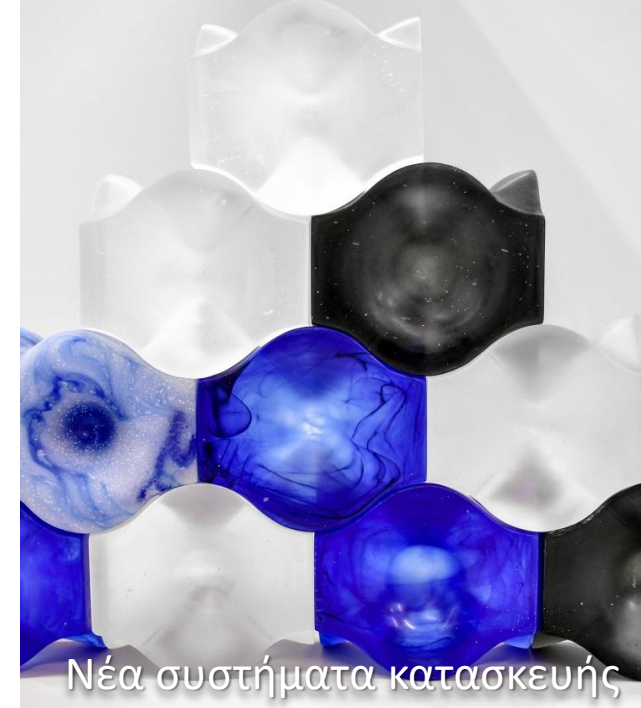
Μηχανικές ιδιότητες



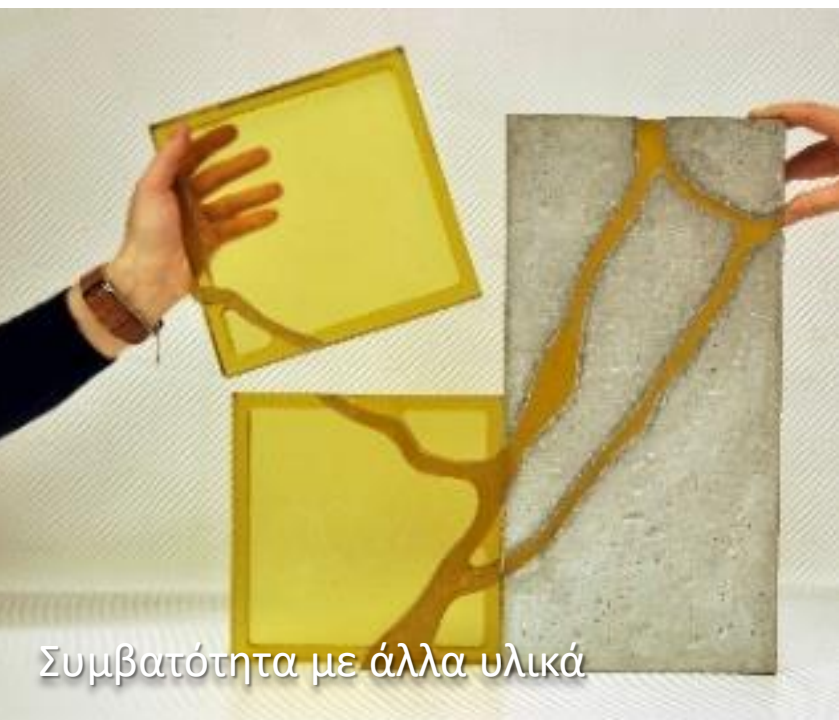
Νέα δομικά στοιχεία



Τρόποι παρασκευής



Νέα συστήματα κατασκευής



Συμβατότητα με άλλα υλικά



Πεδία εφαρμογής



R&D σε πραγματικές κατασκευές



Δρ. Φαίδρα Οικονομοπούλου
Επίκουρη Καθηγήτρια
Γυάλινες Κατασκευές,
Χυτό Γυαλί, Ανακύκλωση Γυαλιού

Δρ. Τελέσιλλα Μπριστογιάννη
Επίκουρη Καθηγήτρια
Χυτό Γυαλί, Ανακύκλωση Γυαλιού,
Οπτική μικροσκοπία, φρακτογραφία

Crystal Houses

Amsterdam, The Netherlands

2016

Credits

Design: MVRDV, Gietermans & van Dijk
Scientific Research: TU Delft Glass Group
Structural Design: ABT b.v.
Glass Bricks: Poesia
Developer: Ashdene-Leeuwenstein b.v.
Construction: Wessels Zeist b.v.

Βραβεία

Talent met Toekomst
Nederlandse Bouwprijs 2017

ONNE FONTCINE
Outstanding Innovation Award 2016
by the Society of Façade Engineers (UK)

Glass Innovation Award 2016
by Bouwend Nederland

Glass Vault

London, United Kingdom

2020

Credits

Design: **SOM + Princeton University**
Robotic Assembly: **Princeton University**
c.r.e.A.te lab + form finding lab
Consultancy on glass block structure: **TU Delft**
Robotic arms: **Global Robots**

Βραβεία

Architect Magazine's 2021 R+D Award

2021 Structural Award Nomination
in the Structural Artistry category
by the Institution of Structural Engineers
(istructe)

Qaammat Pavilion

Sarfannguit, Greenland

2021

Credits

Design: **Konstantin Arkitekter**
Scientific Research: **TU Delft Glass Group**
Glue sponsorship: **Dow Silicones Belgium SRL**
(**V. Hayez, B. Akin**)
Glass Bricks: **Wonderglass**
Developed for **UNESCO**

Βραβεία

2021 Popular Choice Winner
of the Architizer A+Awards
in the Pavilion Category

Mirage

Cupertino, California - USA

2023

Credits

Artwork design: **Katie Paterson, Zeller & Moyer**

Scientific Research: **TU Delft Glass Group**

Engineering: **Eckersley O' Callaghan**

Glass Studio: **John Lewis Glass**

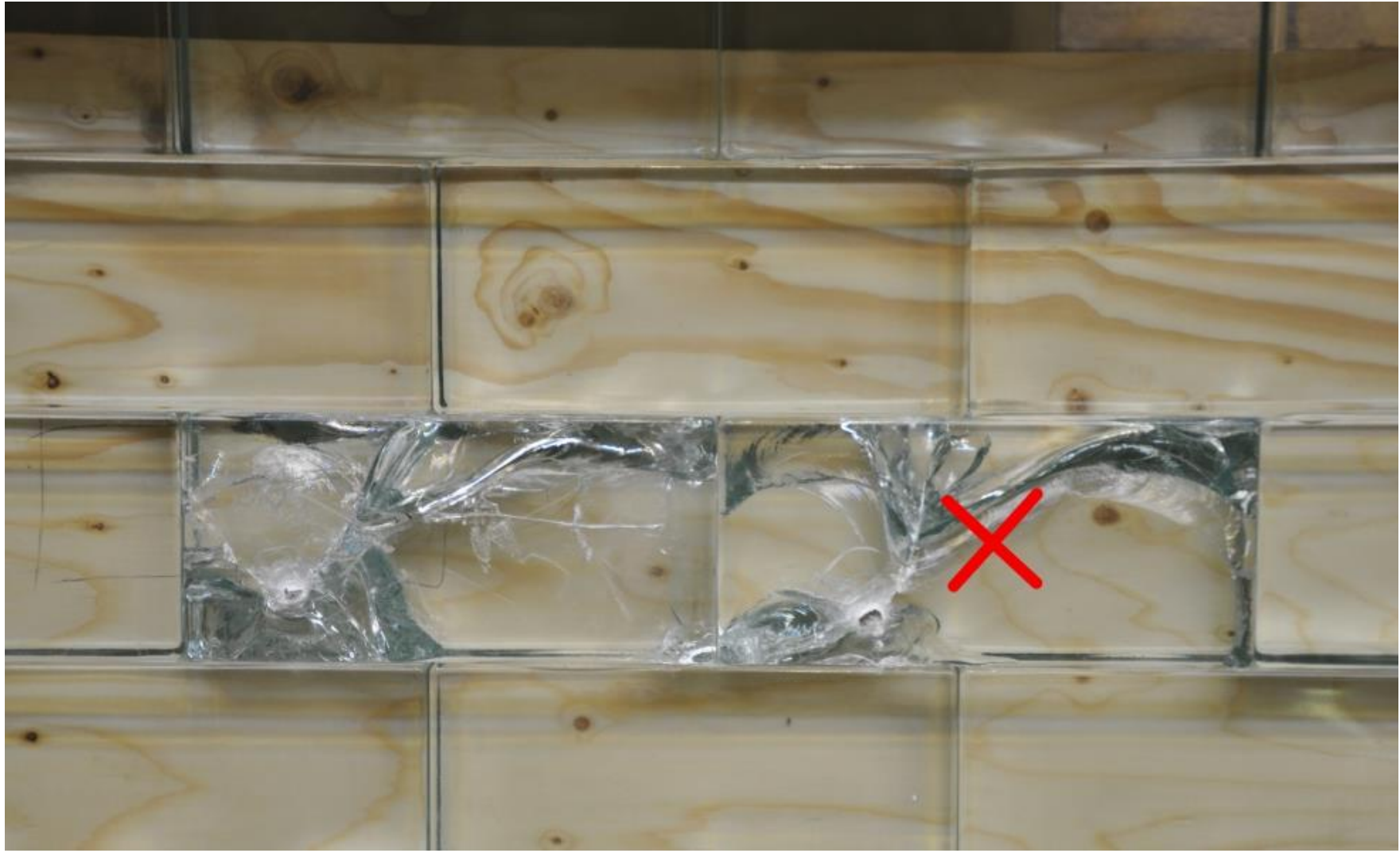
Sand mixing: **East Bay Batch & Color**

Developed for **Apple**

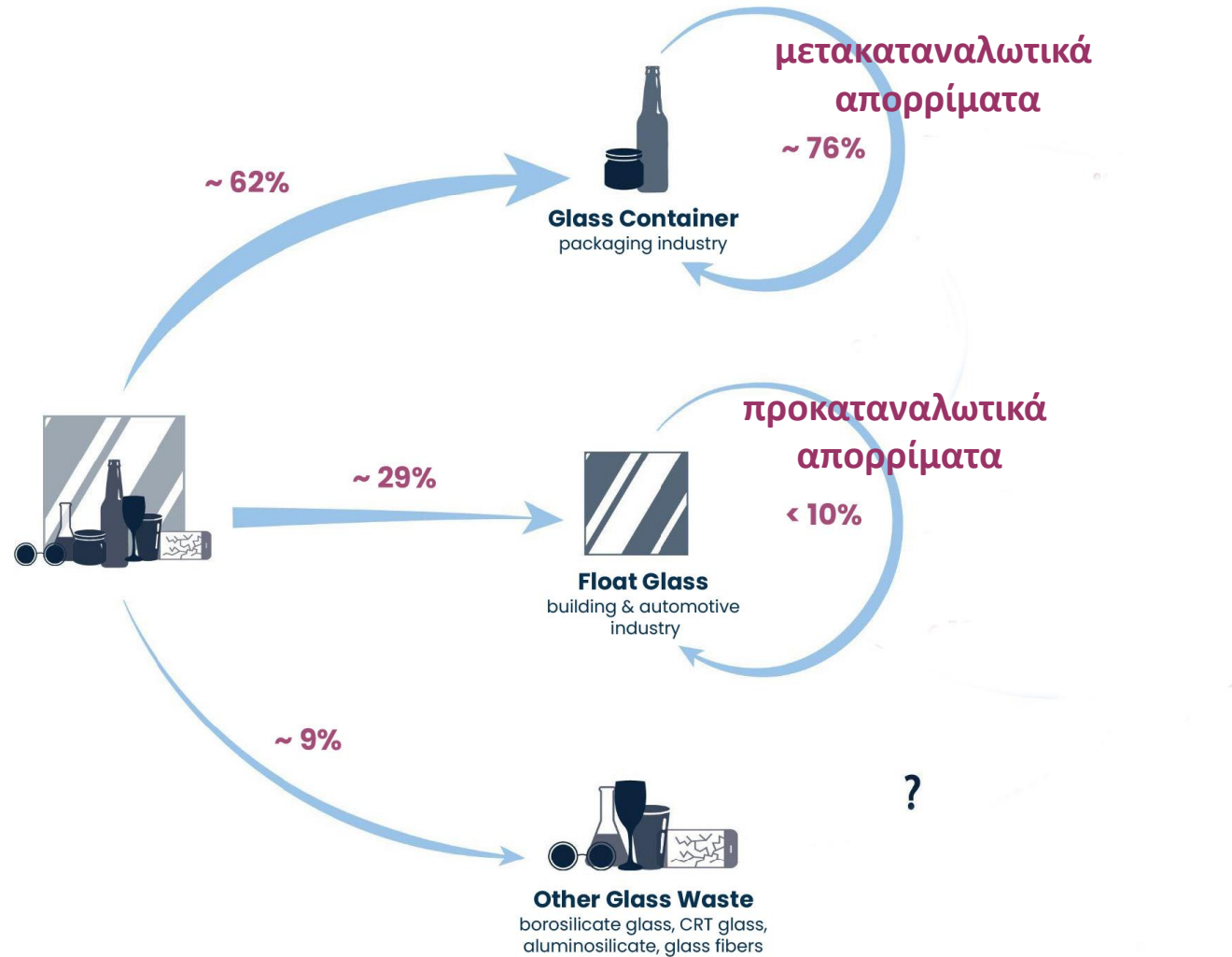






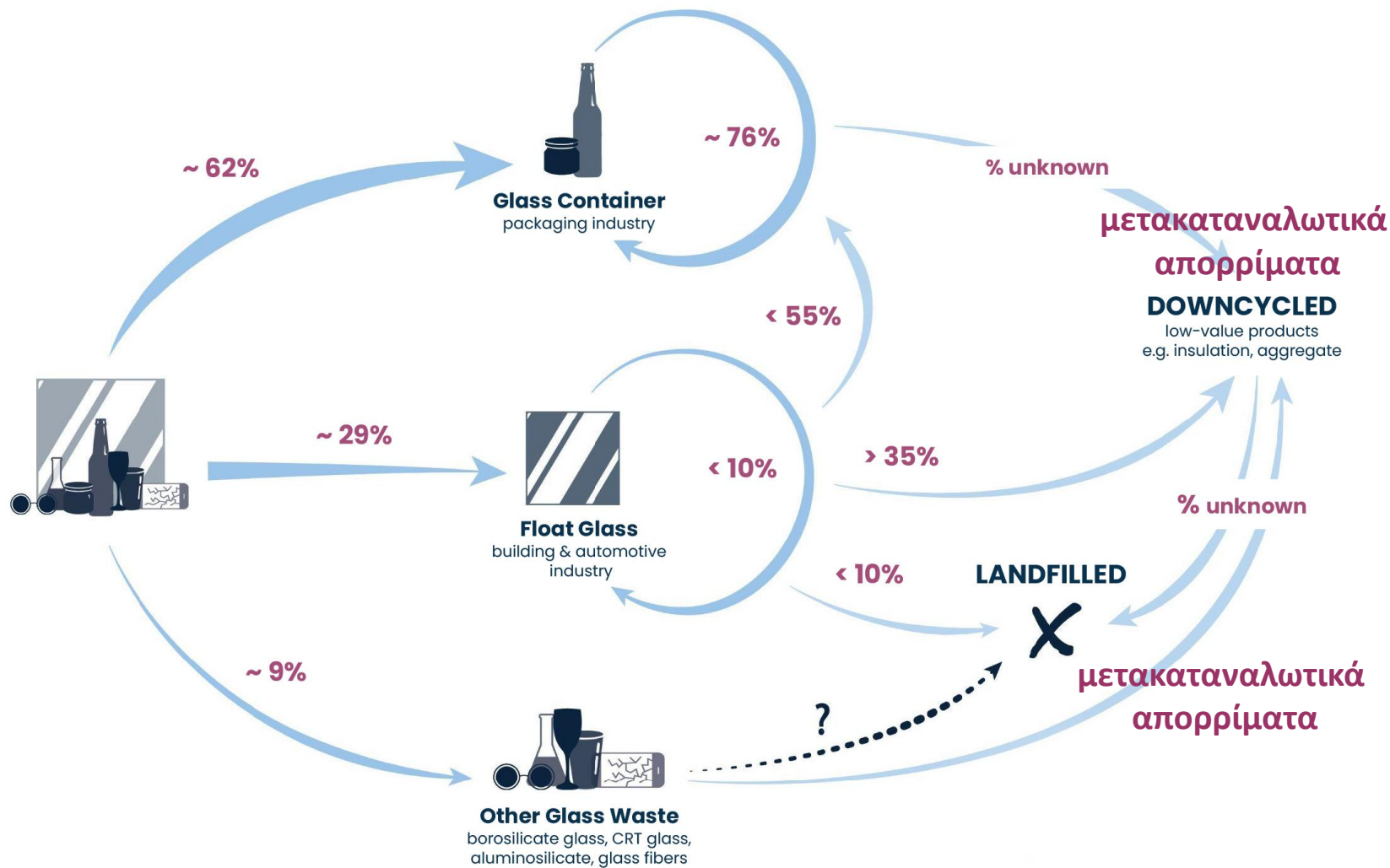


Παραγωγή και ανακύκλωση γυαλιού στην Ευρώπη - EU28 (2017)



**Ανακύκλωση
σε κλειστό κύκλο**

Παραγωγή και ανακύκλωση γυαλιού στην Ευρώπη - EU28 (2017)



% γυάλινων απορριμάτων που δε συλλέγονται;

% ανακύκλωσης γυαλιού παγκοσμίως;

Κατασκευή





Κατασκευή

- Μολύνση από επιστρώσεις (coatings), κεραμική εκτύπωση (frit), χρώμα, μεμβράνες lamination (PVB, SGP), κεραμικά
- Δύσκολη αποσυναρμολόγηση



Οθόνες κινητών



Οθόνες κινητών

- Αργιλοπυριτικό γυαλί (aluminosilicate glass)
- Μολύνσεις από επιστρώσεις, κόλλες, ηλεκτρονικά στοιχεία
- Δύσκολη αποσυναρμολόγηση



Υαλοπίνακες Αυτοκινήτων



Υαλοπίνακες Αυτοκινήτων

- Μολύνσεις από επιστρώσεις, μεμβάνες lamination, χρώμα, κεραμική εκτύπωση (frit), κόλλες, ίχνη από μέταλλα
- Διαφορετική χημική σύσταση γυαλιού

Το ότι το γυαλί είναι 100%
ανακυκλώσιμο είναι ένας...



LET'S BE CLEAR

NOT ALL GLASS CAN GO IN YOUR RECYCLING

When it comes to glass, only glass bottles and jars should go in your local recycling program.

Check with your municipality for information about your local glass recycling programs.



Department of
Environmental
Conservation



#RecycleRightNY

New York State Recycling Glass Flyer

Φυλλάδιο ενημέρωσης για την ανάκυκλωσιμότητα κοινών προϊόντων γυαλιού από την πολιτεία της Νέας Υόρκης

Τεχνικά εμπόδια

Ασυμβατότητα σύστασης διαφορετικών γυαλιών

Δύσκολη αφαίρεση επιστρώσεων και άλλων επιμολυντών

Δύσκολη αποσυναρμολόγηση

Μη επιθυμητός χρωματισμός του γυαλιού

Εμπόδια σχετικά με την αλυσίδα εφοδιασμού

Έλλειψη εγκαταστάσεων συλλογής και επεξεργασίας γυαλιού εκτός των μπουκαλιών

Κόστος μεταφοράς και διαχείρισης των απορριμάτων γυαλιού


Έλλειψη σχετικής νομοθεσίας

Έλλειψη ενδιαφέροντος από την βιομηχανία/αγορά

A blue truck is shown from a side-rear perspective, with its bed raised and dumping a large volume of broken glass into a massive pile. The truck has a white logo on its side that reads "ΚΑΡΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ" and "KARIA REGION". The background features a large industrial building with yellow corrugated metal siding. The scene is set outdoors on a paved area.

Η ανακύκλωση γυάλινων προϊόντων σε κλειστό κύκλο θα πάρει χρόνο

Υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις?



Ανακύκλωση/επαναχρησιμοποίηση
των γυάλινων απορριμάτων
μέσω χύτευσης



2D



3D

**Αλλάζοντας την προσέγγιση μας
όσον αφορά τη επιμόλυνση του γυαλιού**

Ανακύκλωση «όπως είναι»

1000μm







VS



Νέα τελικά προϊόντα





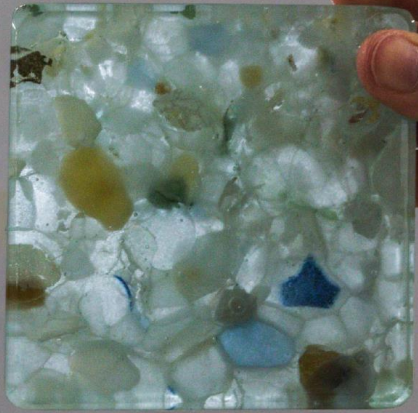
HERMES

GINNE FONTAINE

MONCLER

Design: MVRDV
Scientific Research: TU Delft Glass Group

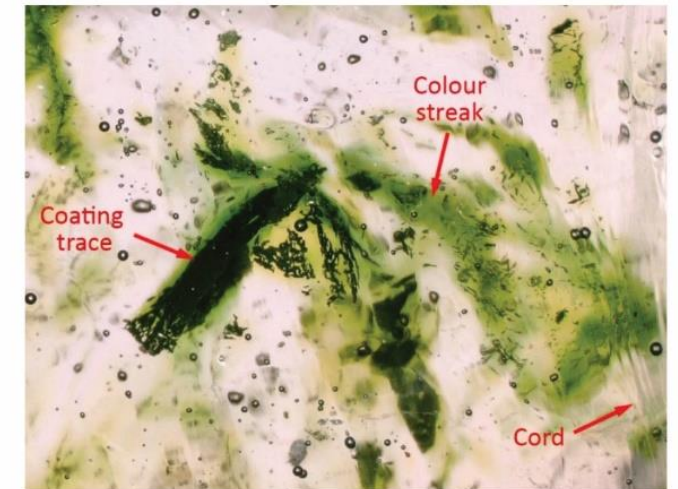




Πρόταση χρήσης ανακυκλωμένου γυαλιού για την πρόσοψη του καταστήματος Apple στο Μακάο
MSc Thesis Ισιδώρα Ματσκίδου (TU Delft)

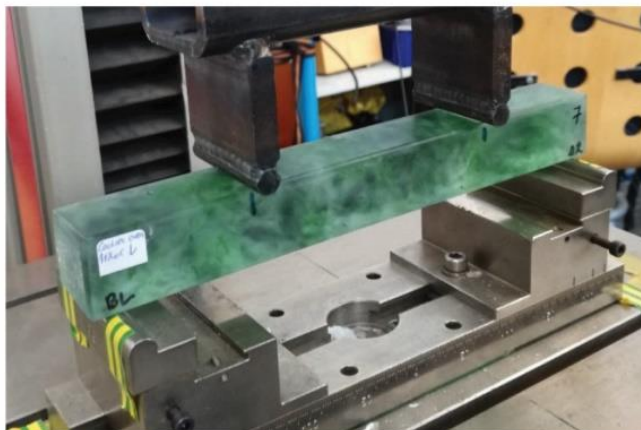
Glass up-casting: Μεθοδολογία

<i>Alkali-aluminosilicate</i>	
Compound name	Content [wt%]
SiO ₂	63.062
Al ₂ O ₃	12.958



1. Χαρακτηρισμός σύστασης γυαλιού 2. Πειράματα τήξης & ανόπτησης

3. Ανάλυση ελαττωμάτων

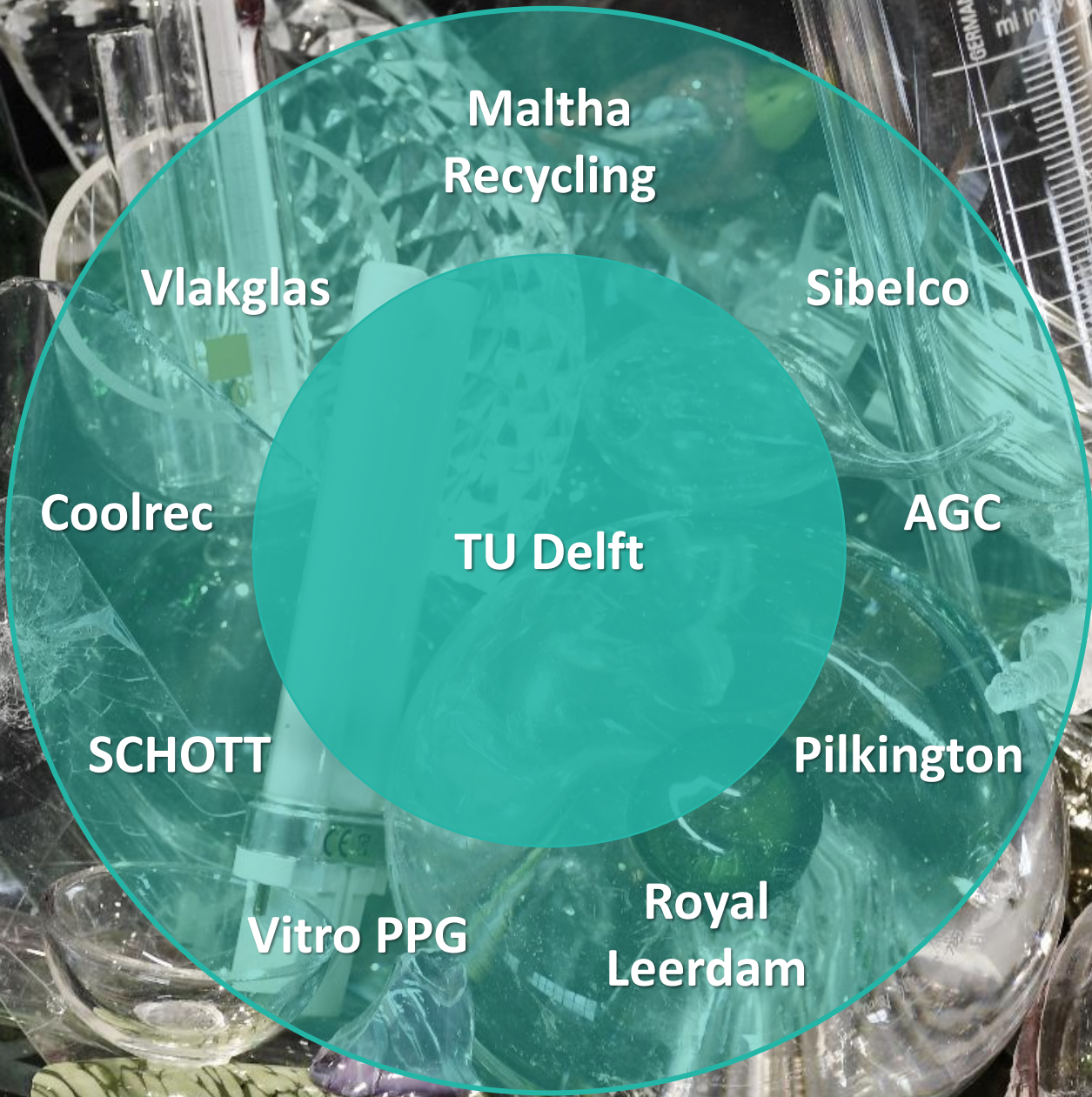


4. Πειράματα μηχανικής αντοχής

5. Ανάλυση ρωγμών

6. Σχεδιασμός νέων προϊόντων

Συμβολή υλικών



Vlakglas

Maltha
Recycling

Sibelco

Coolrec

TU Delft

AGC

SCHOTT

Pilkington

Vitro PPG

Royal
Leerdam

Σύσταση γυάλινων απορριμάτων

Γυάλινα απορρίματα

προκαταναλωτικά

μετακαταναλωτικά

Float glass

Other glass types

Float glass

Other glass types

**Soda lime
silica**

- Standard float (pure)
- Coated float (soft, hard, dichroic, mirror)
- Fritted float
- Wired glass

**Boro-
silicate**

- Soda-borosilicate (pure)
- C-fiber (pure)

**Alumino-
silicate**

- Alkali-aluminosilicate (pure)
- Lithium boroaluminosilicate, coated

**Lead/barium
silicate**

- Coloured crystalware
- CRT screen (pure)

**Soda lime
silica**

- Float Combo
- Float Metal
- Oven Doors
- Refrigerator
- Automotive

**Lead/barium
Boro-
silicate**

- Borosilicate mix
- Microwave
- E-fiber
- CRT funnel & screen

Γυάλινα απορρίματα

προκαταναλωτικά

μετακαταναλωτικά

Float glass

Other glass types

Float glass

Other glass types

Soda lime
silica

- Standard float (pure)
- Coated float (soft, hard, decorative, etc.)
- Fritted float
- Wired glass

Προβλεπόμενη χημική σύσταση
Μεμονομένα, εγγενή ελαττώματα

Boro-
silicate
Alumino-
silicate
Lead/barium
silicate

- Soda-borosilicate (pure)
- C-fiber (pure)
- Alkali-aluminosilicate (pure)
- Alkali-aluminosilicate, boroaluminosilicate, coated
- Coloured crystalware
- CRT screen (pure)

Soda lime
silica

- Float Combo
- Oven Doors
- Refrigerator
- Automotive

Μείγμα διαφορετικών συνταγών
Εγγενή ελαττώματα & ελαττώματα από εξωτερικούς παράγοντες επιμόλυνσης

Boro-
silicate
Lead/barium
silicate

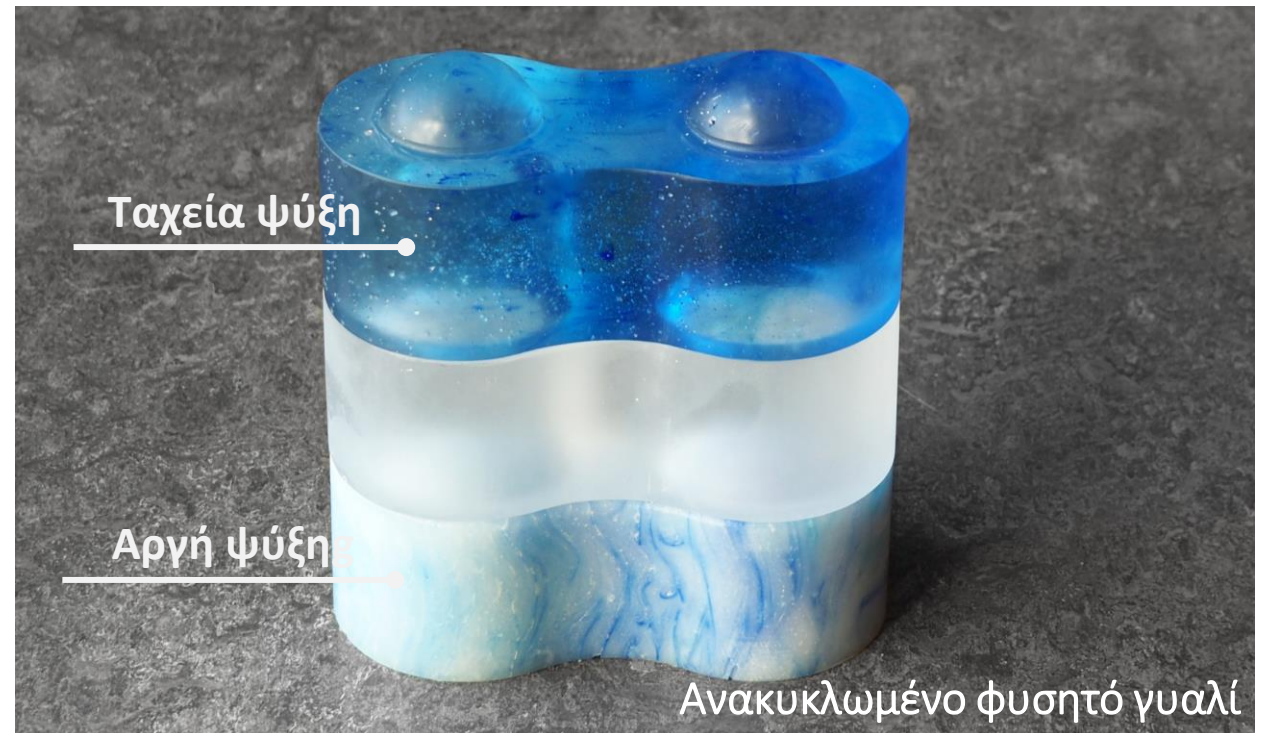
- Borosilicate mix
- E-fiber
- CRT funnel & screen

Kiln casting



Παράμετροι

- Σχήμα, μέγεθος & τοποθέτηση υαλοθραυσμάτων (cullet)
- Θερμοκρασίες τήξης (820°-1120°C)/υψηλό ιξώδες
- Πρόγραμμα “ψησίματος» - Firing schedule





64

6

8

393.112
+

7

10

11

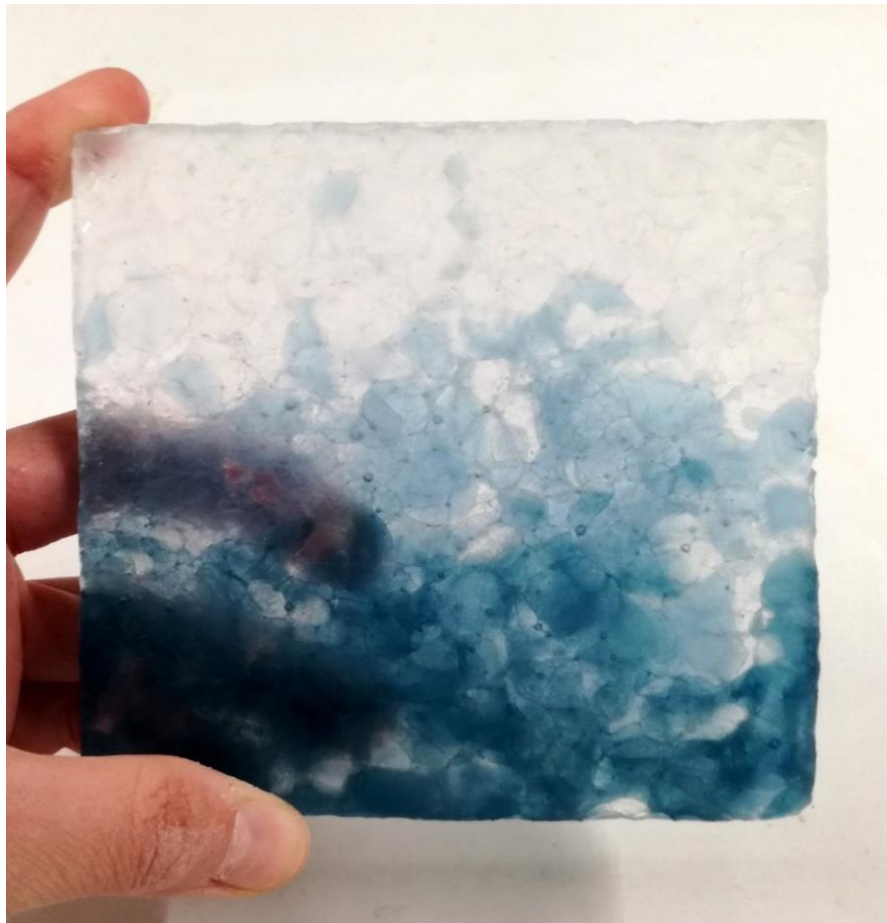
12

13

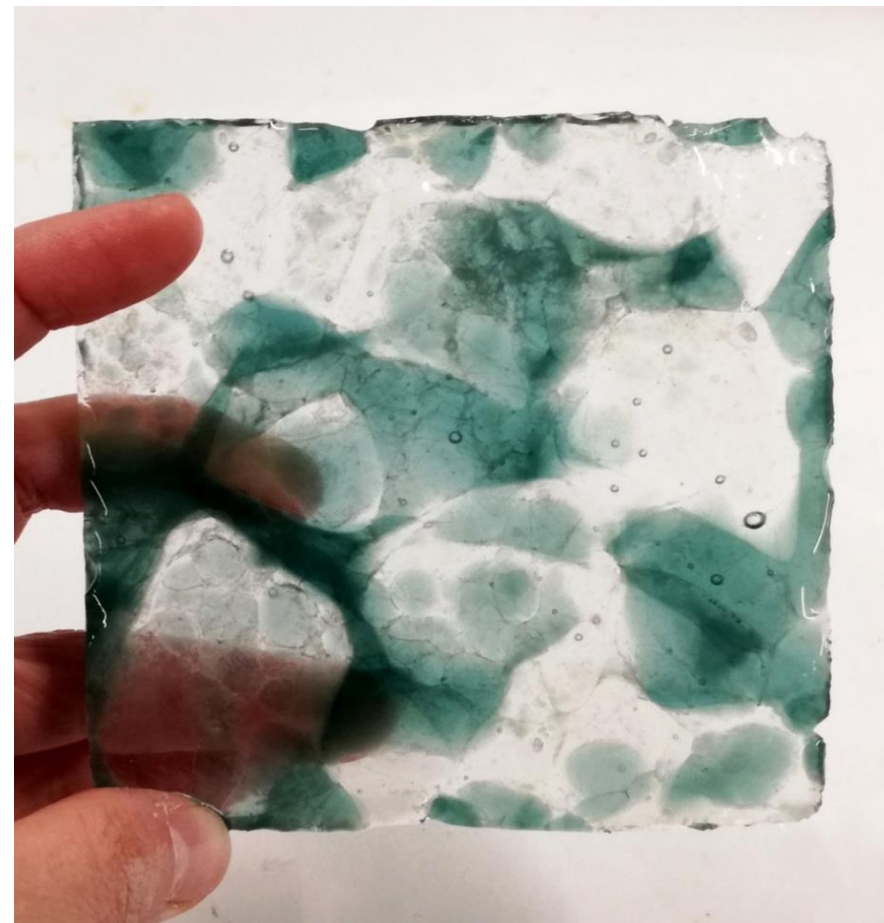
14



Φυμέ float γυαλί



800°C

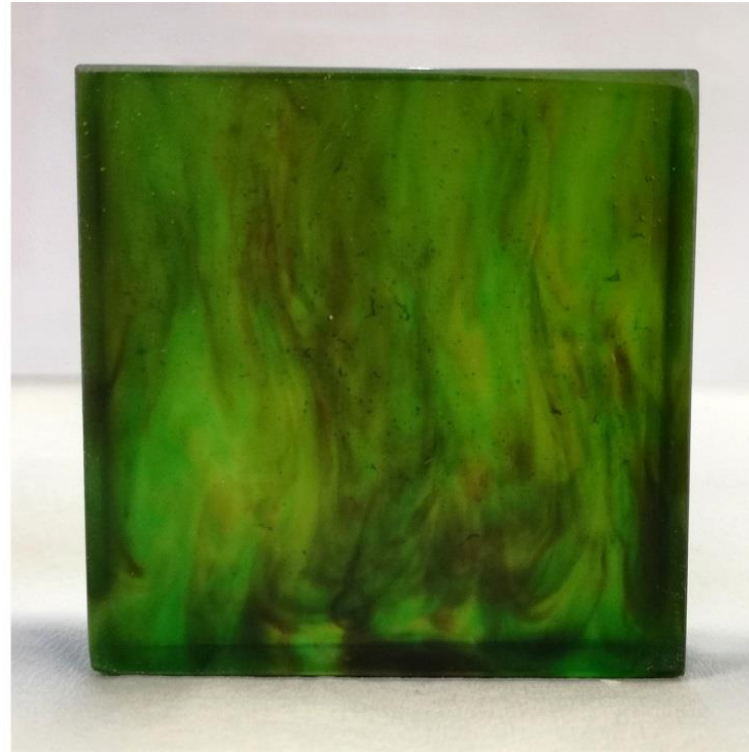


800°C

Υαλοπίνακες και μπουκάλια



Παρμπρίζ αυτοκινήτων
συλλεγμένα από την Maltha
Recycling



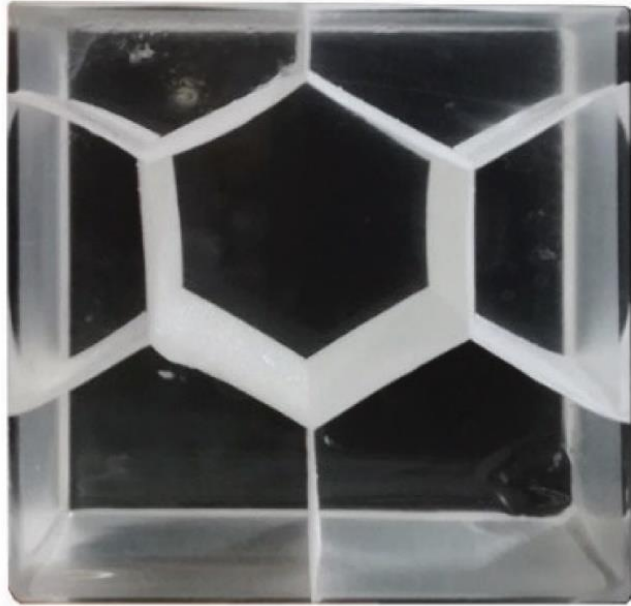
Μείγμα από διάφορα πράσινα
μπουκάλια συλλεγμένα από την
Sibelco



Πόρτες οικιακών φούρνων
συλλεγμένες από την Coolrec

Borosilicate (Pyrex)

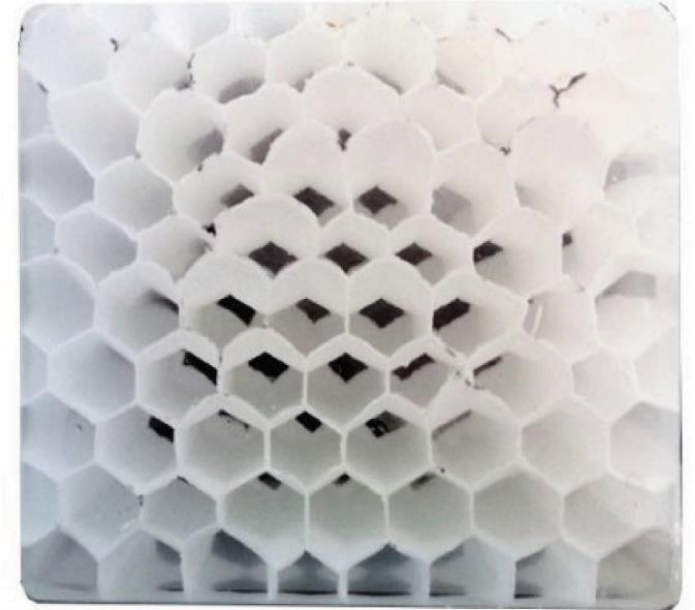
Υψηλό ιξώδες, αυξημένο ποσοστό φυσαλίδων



970°C
24mm rods



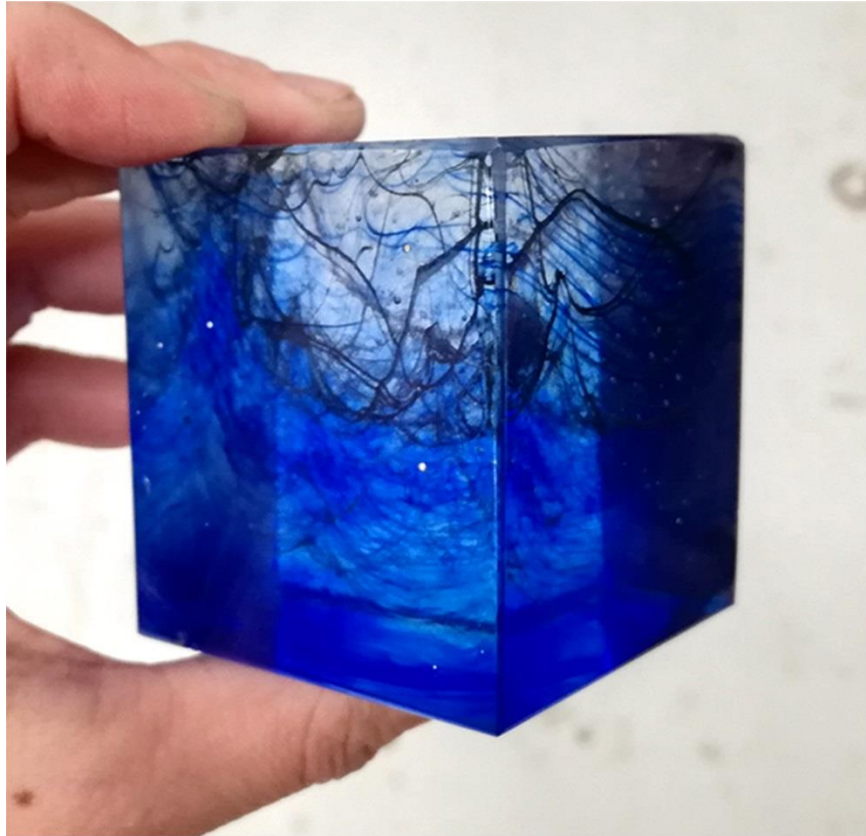
1120°C
24mm rods



970°C
6 mm rods

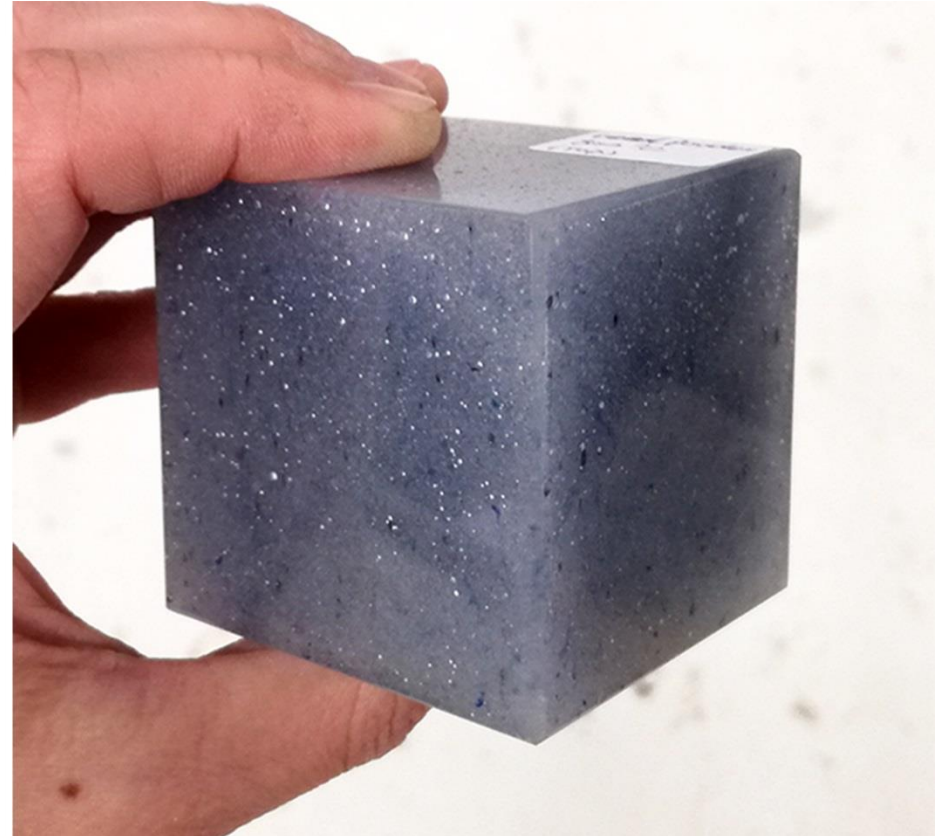
Κρύσταλλο (lead glass)

Χαμηλό σημείο τήξης, χαμηλή αντοχή



870°C

Χυτό δοκίμιο από υαλοθραύσματα



800°C

Χυτό δοκίμιο από κονιορτοποιημένο γυαλί

Aluminosilicate (π.χ. οθόνες κινητών)

Πιο δύσκολο στη χύτευση, τάση κρυσταλλοποίησης, επιστρώσεις



1.120°C rapid cooling

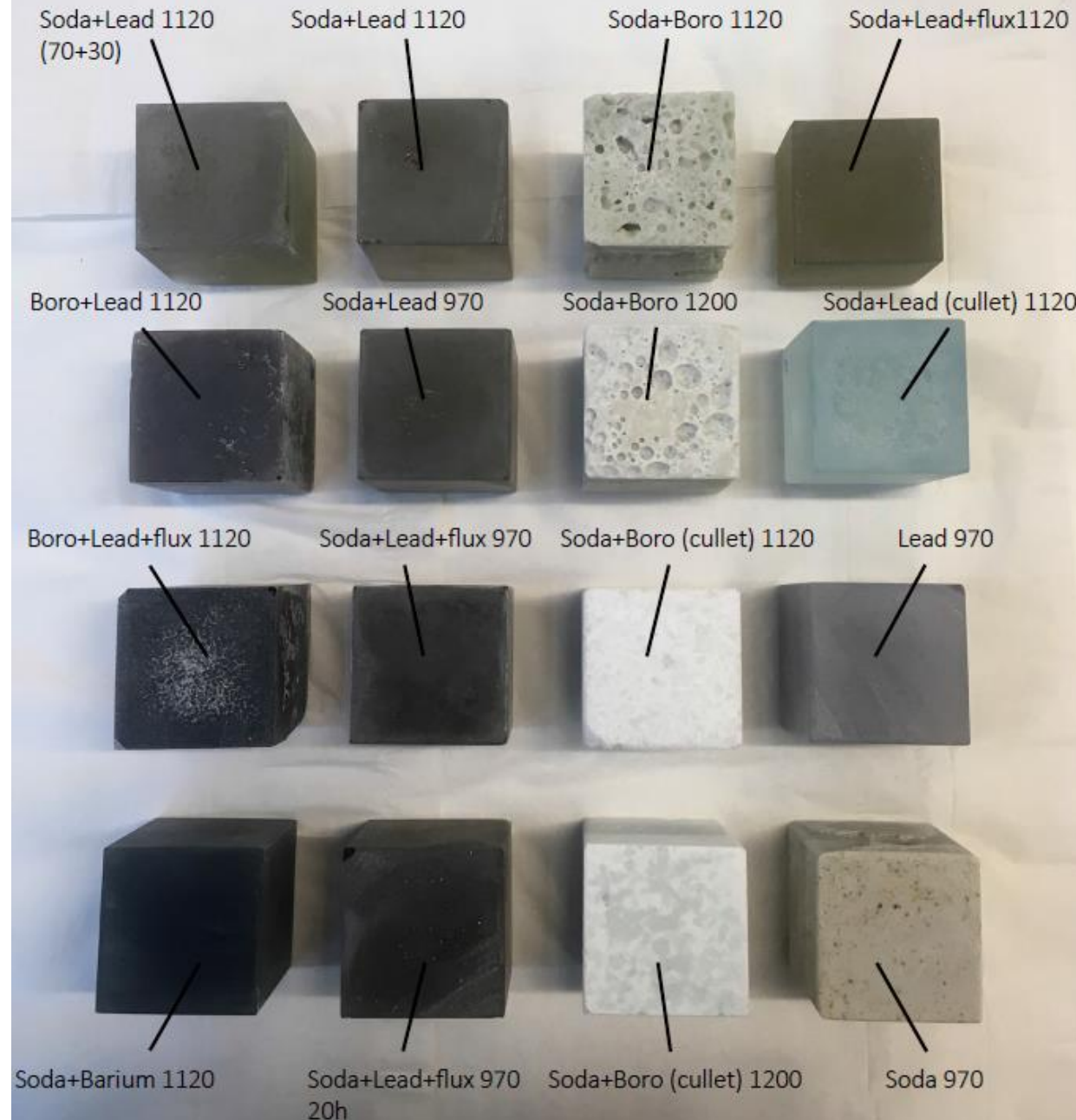


1.250°C rapid cooling

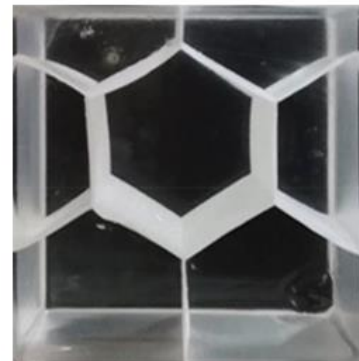
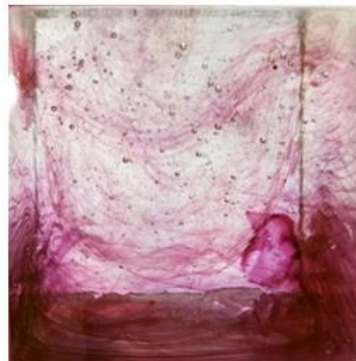
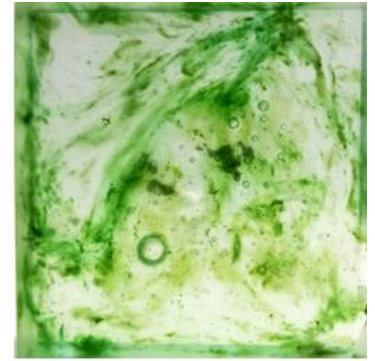
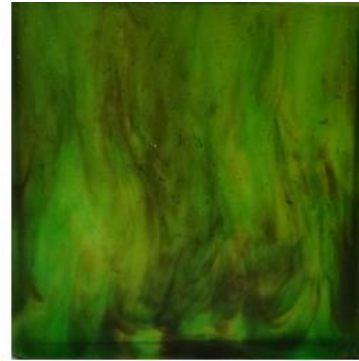
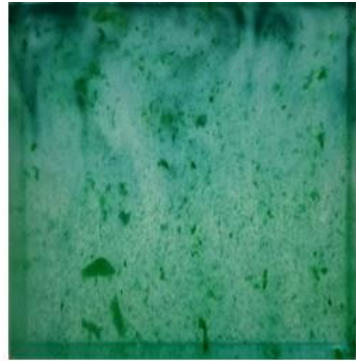
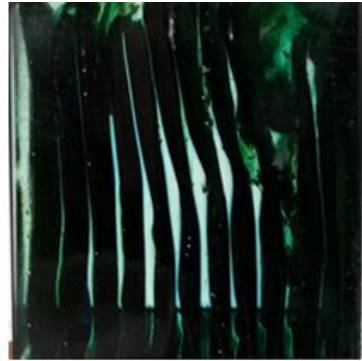
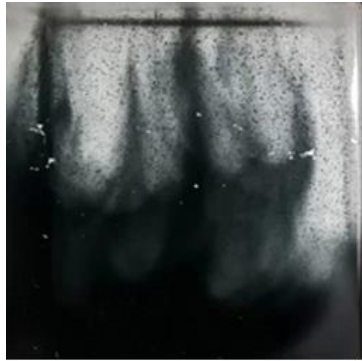


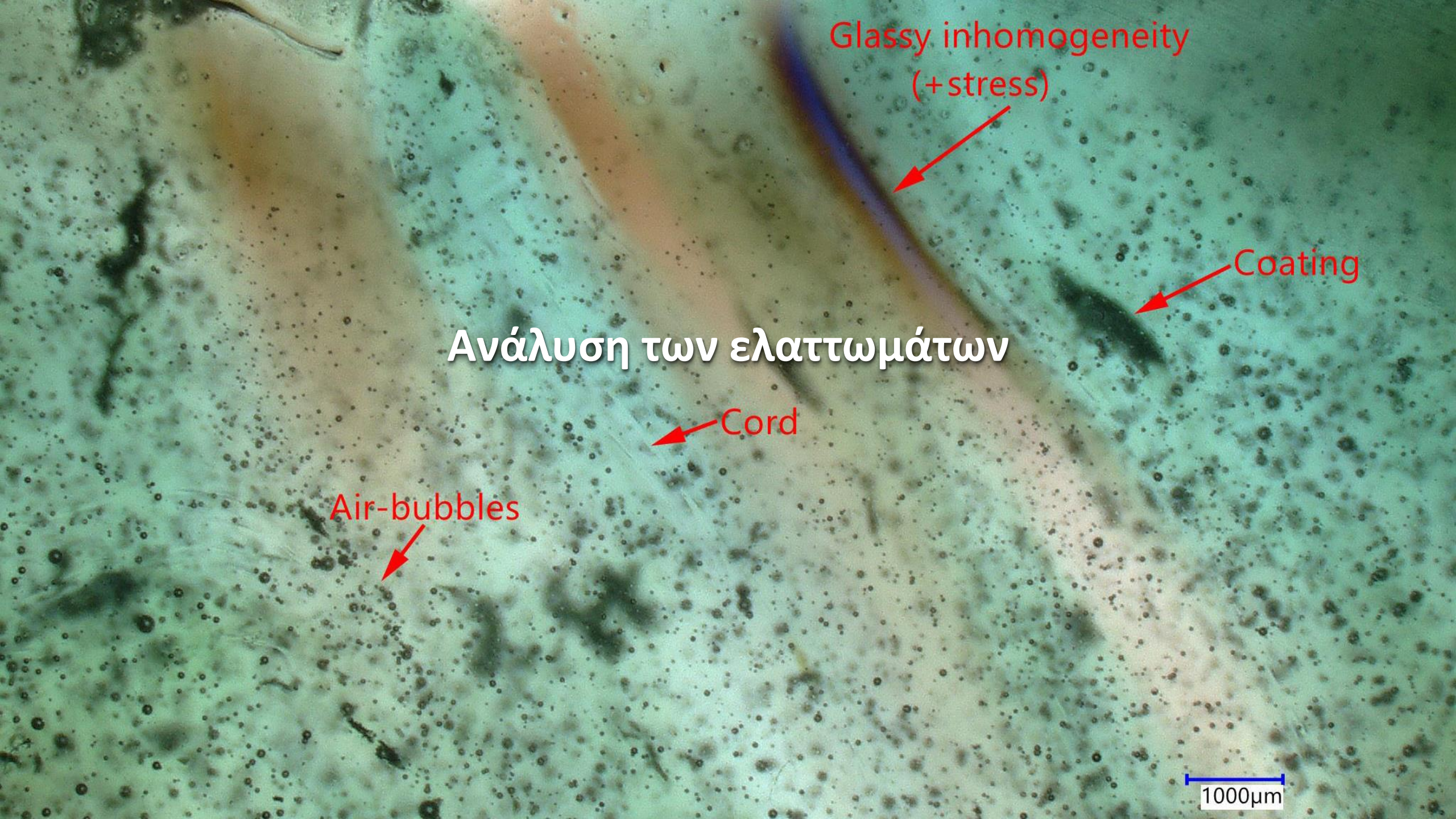
1.500°C rapid cooling

Ανάμιξη γυαλιών με διαφορετική χημική σύσταση



Γυάλινα στοιχεία με διάφορες ιδιότητες





Glassy inhomogeneity
(+stress)

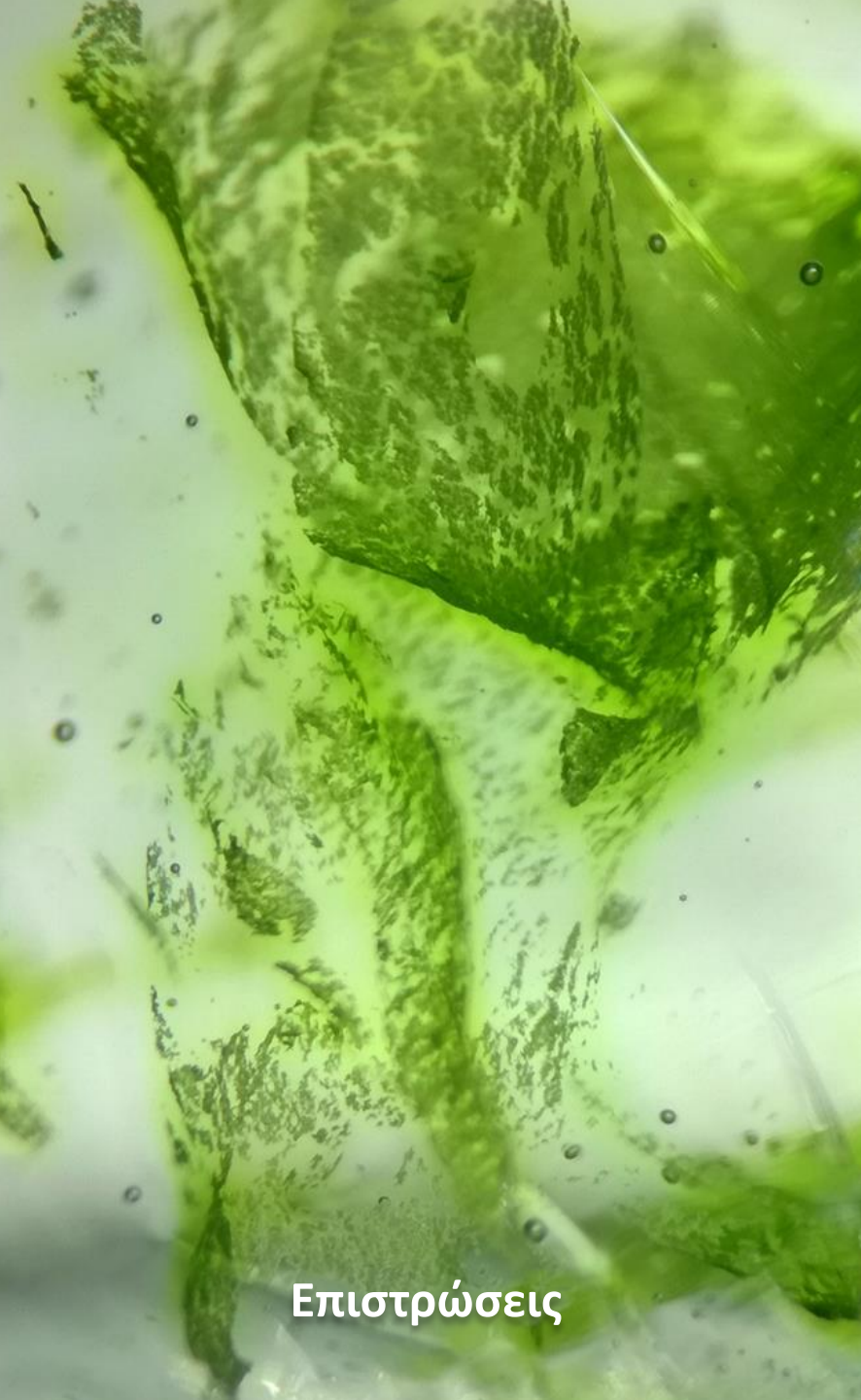
Coating

Ανάλυση των ελαττωμάτων

Cord

Air-bubbles

1000μm



Επιστρώσεις



Κρίσιμα ή μη?

Πέτρες/ κεραμικά



Μεταλλικά στοιχεία

Καταστροφικά?



Μηχανικές Ιδιότητες



Έλεγχος κάμψης 4 σημείων

Surface component 1
Displacement (Y)

+1.356

B

A

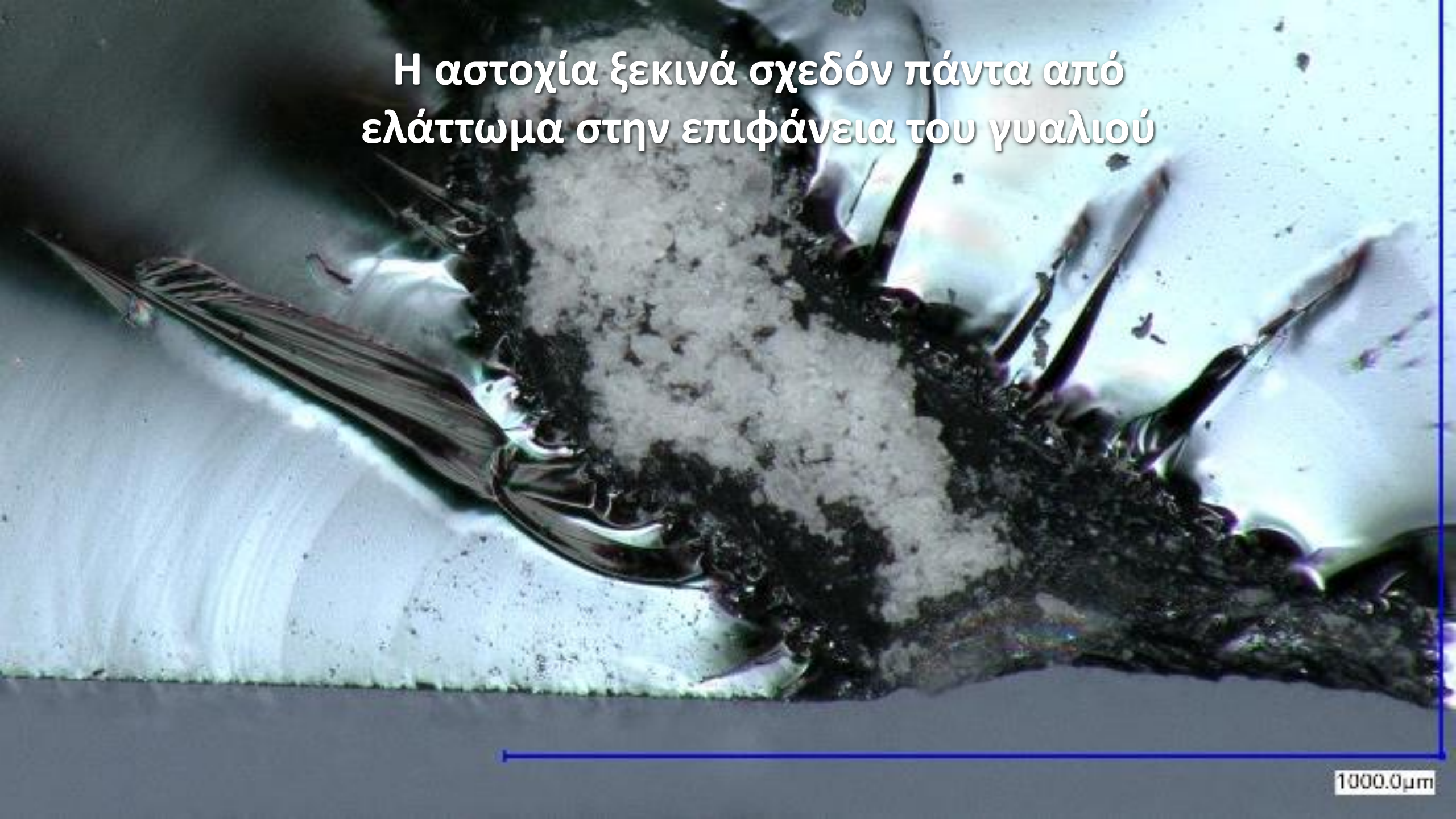
+1.081

+1.355

C

- 30*30*240mm beams, 100-200mm rollers span
- 20*30*350mm beams, 140-280mm rollers span

Η αστοχία ξεκινά σχεδόν πάντα από
ελάττωμα στην επιφάνεια του γυαλιού

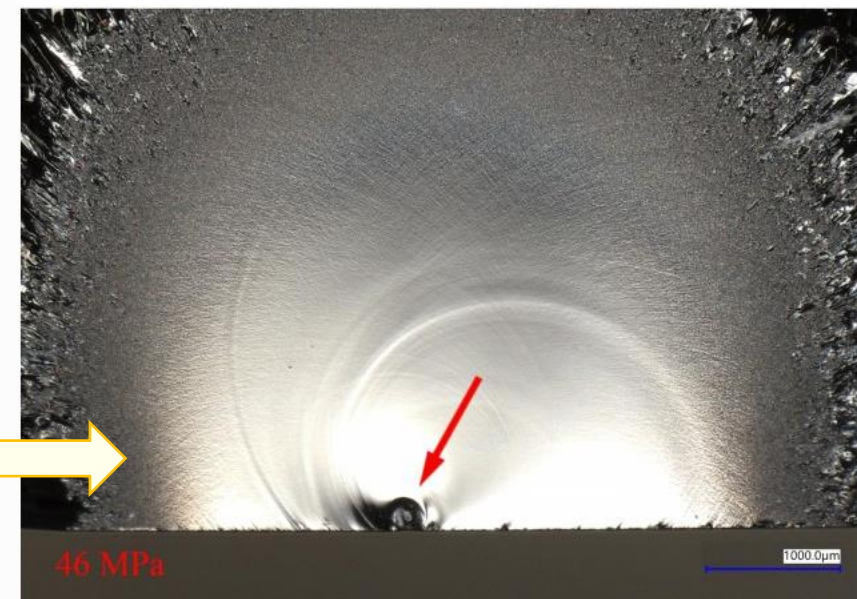
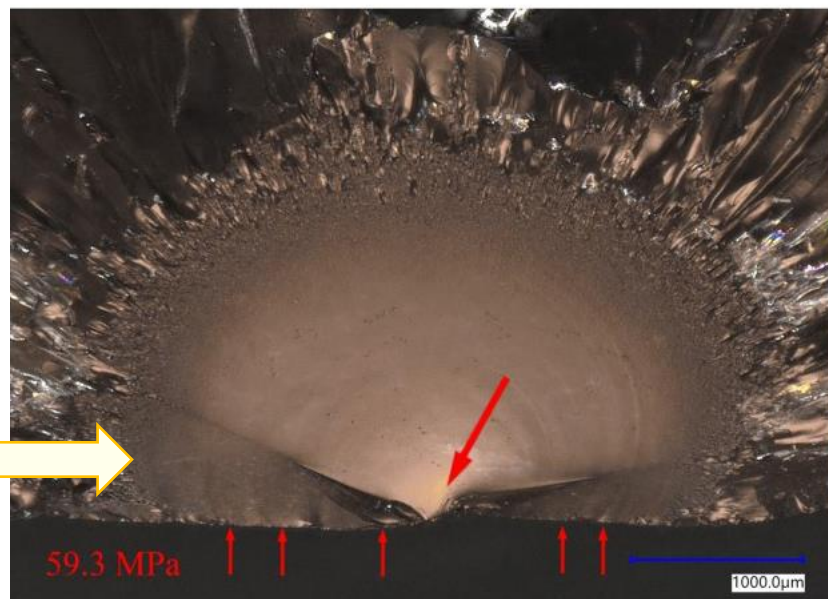


1000.0μm

Κρίσιμα ελαττώματα

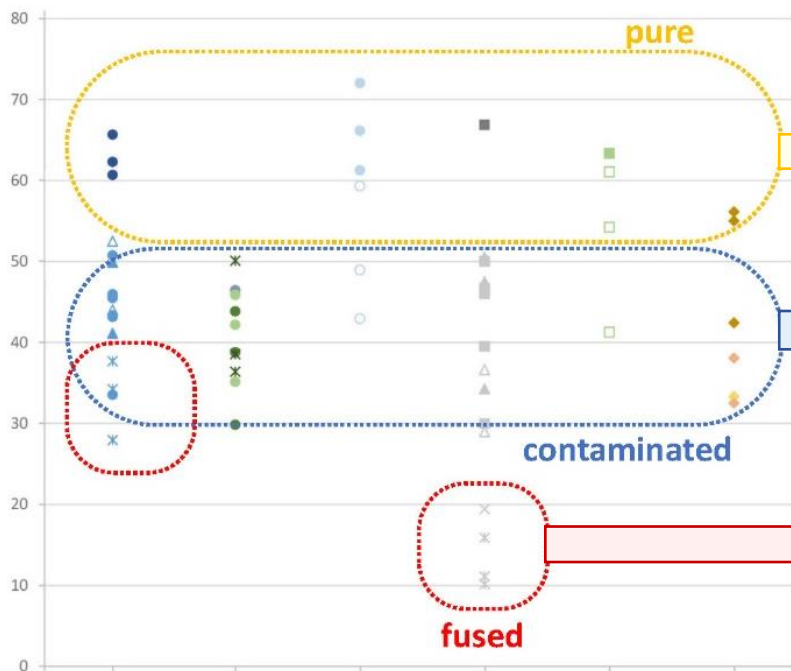
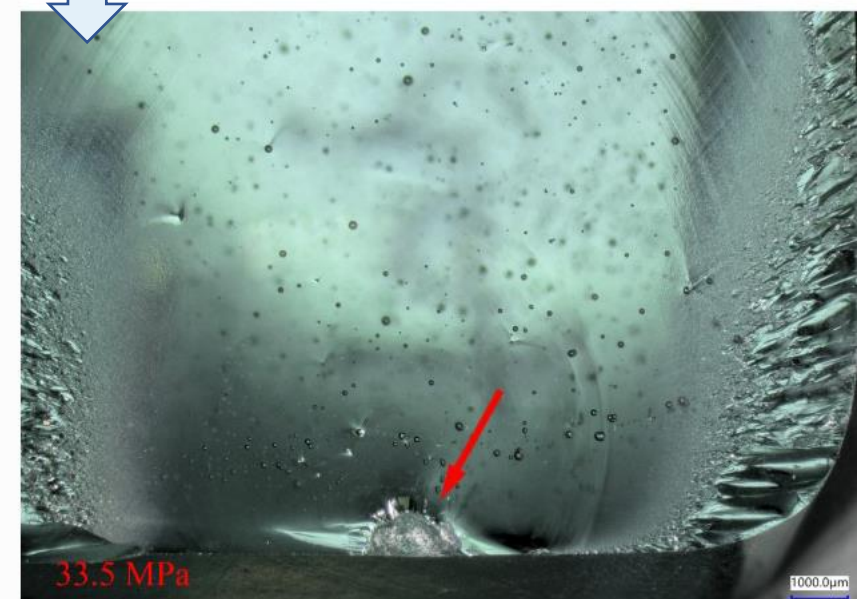
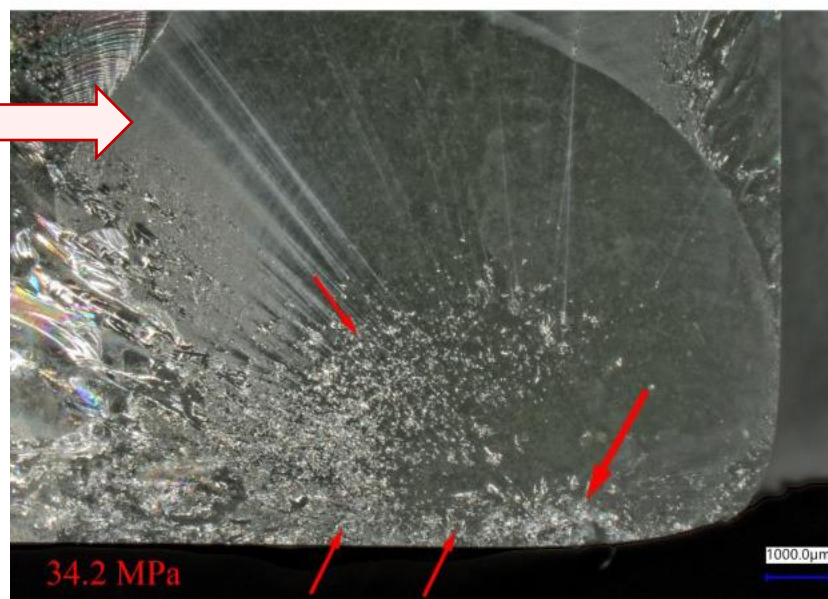
Machining damage

Surface bubble



Crystalline interface

Stone



Flexural strength (MPa)

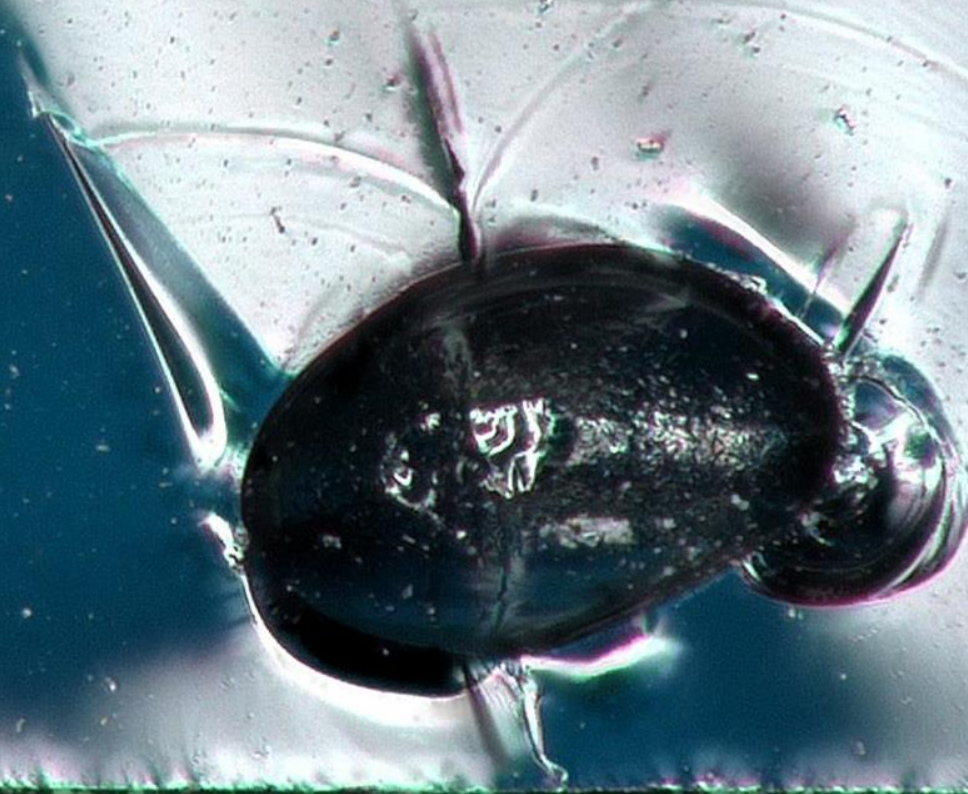
59.3 MPa

46 MPa

34.2 MPa

33.5 MPa

Τα εσωτερικά ελαττώματα σχεδόν ποτέ δεν είναι η πηγή της αστοχίας



Επιρροή των παραμέτρων χύτευσης (θερμοκρασία) και της τοποθεσίας των ελαττωμάτων στη τελική αντοχή (κάμψης)

Borosilicate (Duran)

SLS (Float)

30-50
MPa



1120°C



34-51
MPa

24-37
MPa



1070°C

10-15
MPa



970°C



27-37
MPa



41-50
MPa

Ποιότητα διάφορων γυάλινων απορριμάτων που ανακυκλώθηκαν μέσω χύτευσης «όπως είναι»

Ακατάλληλη	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
Float combo*	Lead silicate	Float, dark frit	C-glass
Float metal*	CRT screen & funnel	Refrigerator glass	Float (standard, tinted, coated, light frits)
Borosilicate mix (automated)*	E-fibers	Oven Doors	Ba/Sr silicate (CRT screen)
Microwave*	Wired glass		
	Automotive glass*		Borosilicate (pure, mix/manual)

* Λόγω της παρουσίας εξωτερικών παραγόντων επιμόλυνσης (πχ. υαλοκεραμικά). Η αφαίρεση αυτών των κρίσιμων επιμολυντών αυτόματα αυξάνει την αντοχή του ανακυκλωμένου γυαλιού

Κρισιμότητα των διάφορων τύπων ελαττωμάτων



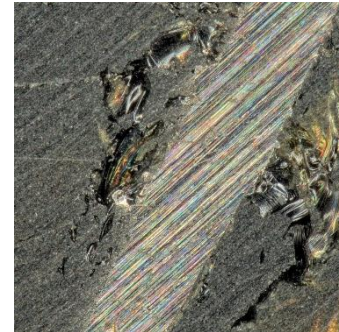
υαλοκεραμικά
(glass ceramics)



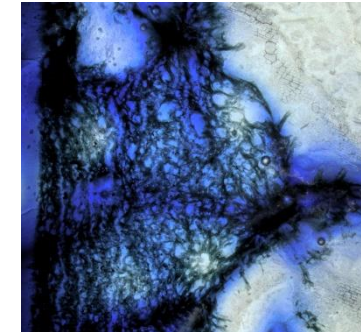
ασυμβατότητα
συνταγών
(διαφορετικό γυαλί)



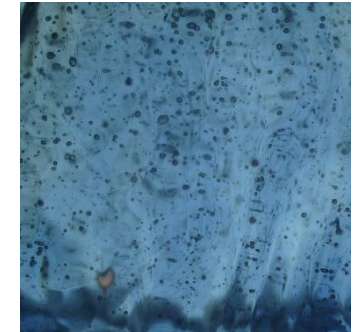
λίθοι



μεταλλικά
στοιχεία



σκούρα κεραμική
εκτύπωση/ frit
(με Cr_2O_3)



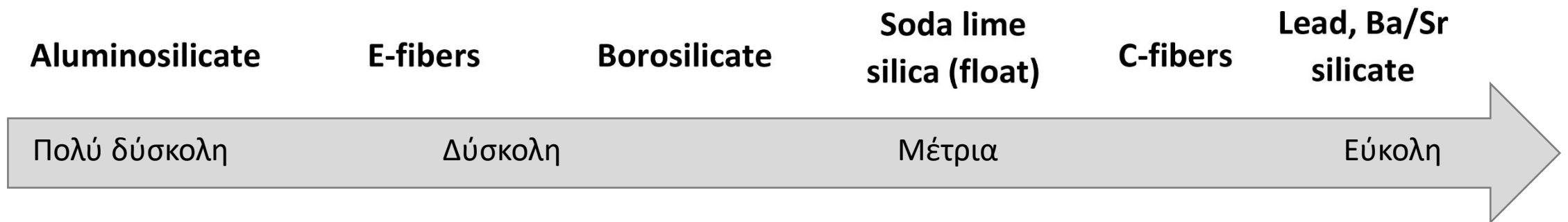
επιστρώσεις,
άλλες κεραμικές
εκτυπώσεις

Καταστροφικά

Εξασθένηση της αντοχής

Ανεκτά

Ανακυκλωσιμότητα βάσει της χημικής σύστασης



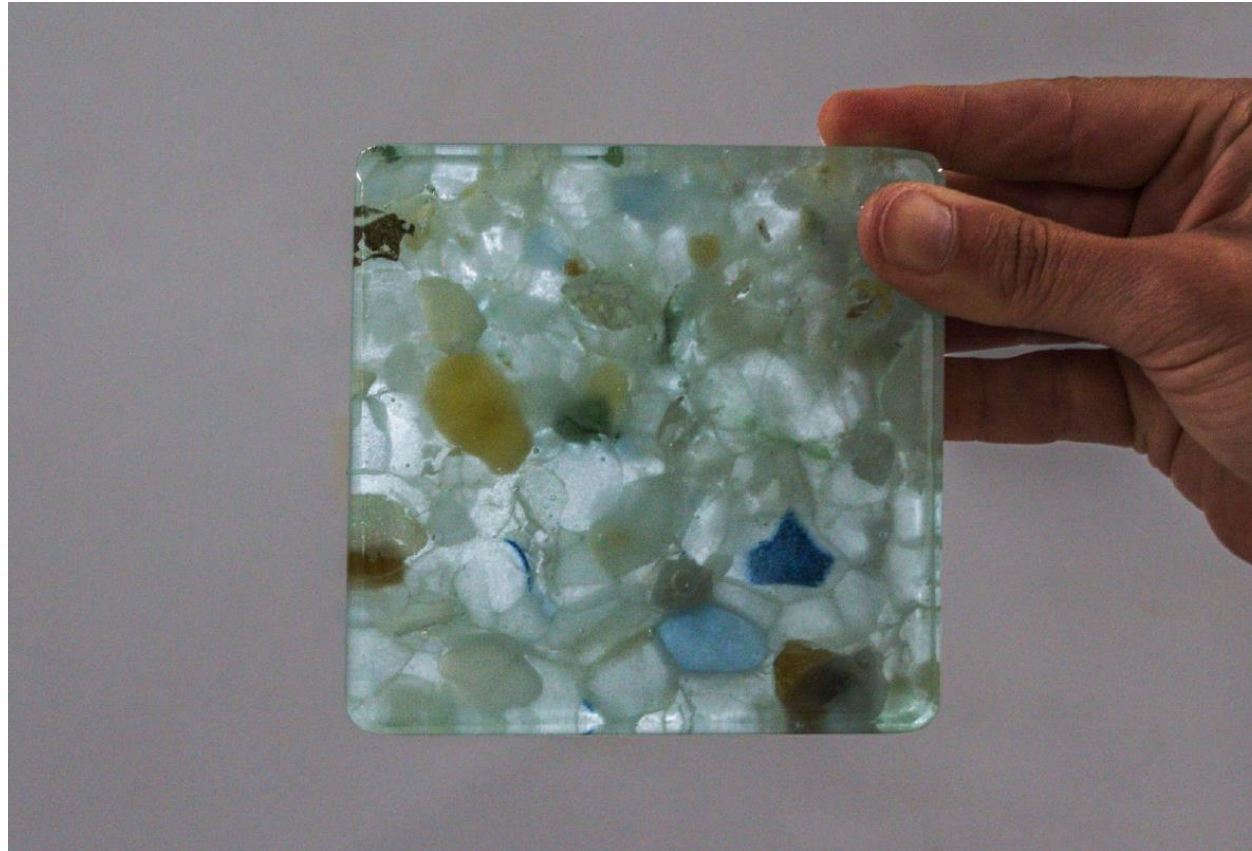


Τα ελαττώματα στο εσωτερικό του
γυαλιού δεν είναι κρίσιμα

1000μm

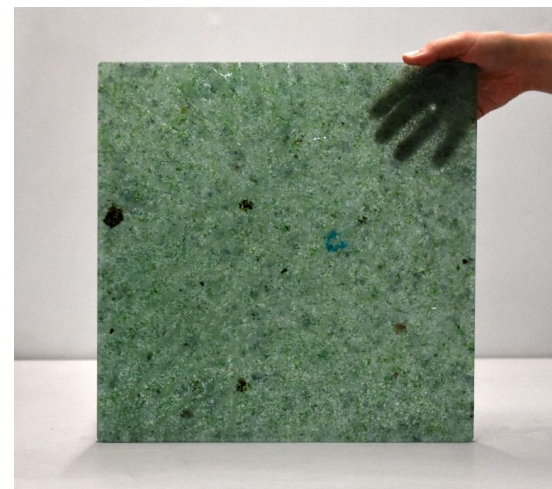


Σύμμικτα γυαλιά



Γυαλί υψηλότερης ποιότητας
Γυαλί χαμηλότερης ποιότητας
Γυαλί υψηλότερης ποιότητας

Επόμενα βήματα



Καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων και της ποιότητας των ανακυκλώμενων χυτών γυαλιών



CRT Television screens



Enamelled float glass



Car windshields



Crystal artware



Window glass



Borosilicate rods



Delft University of Technology > Open technology laureate for 'UPCAST GLASS: Upcycling waste glass by casting'

[Back to BK news](#)

Open technology laureate for 'UPCAST GLASS: Upcycling waste glass by casting'

NEWS - 07 APRIL 2023 - [COMMUNICATION BK](#)

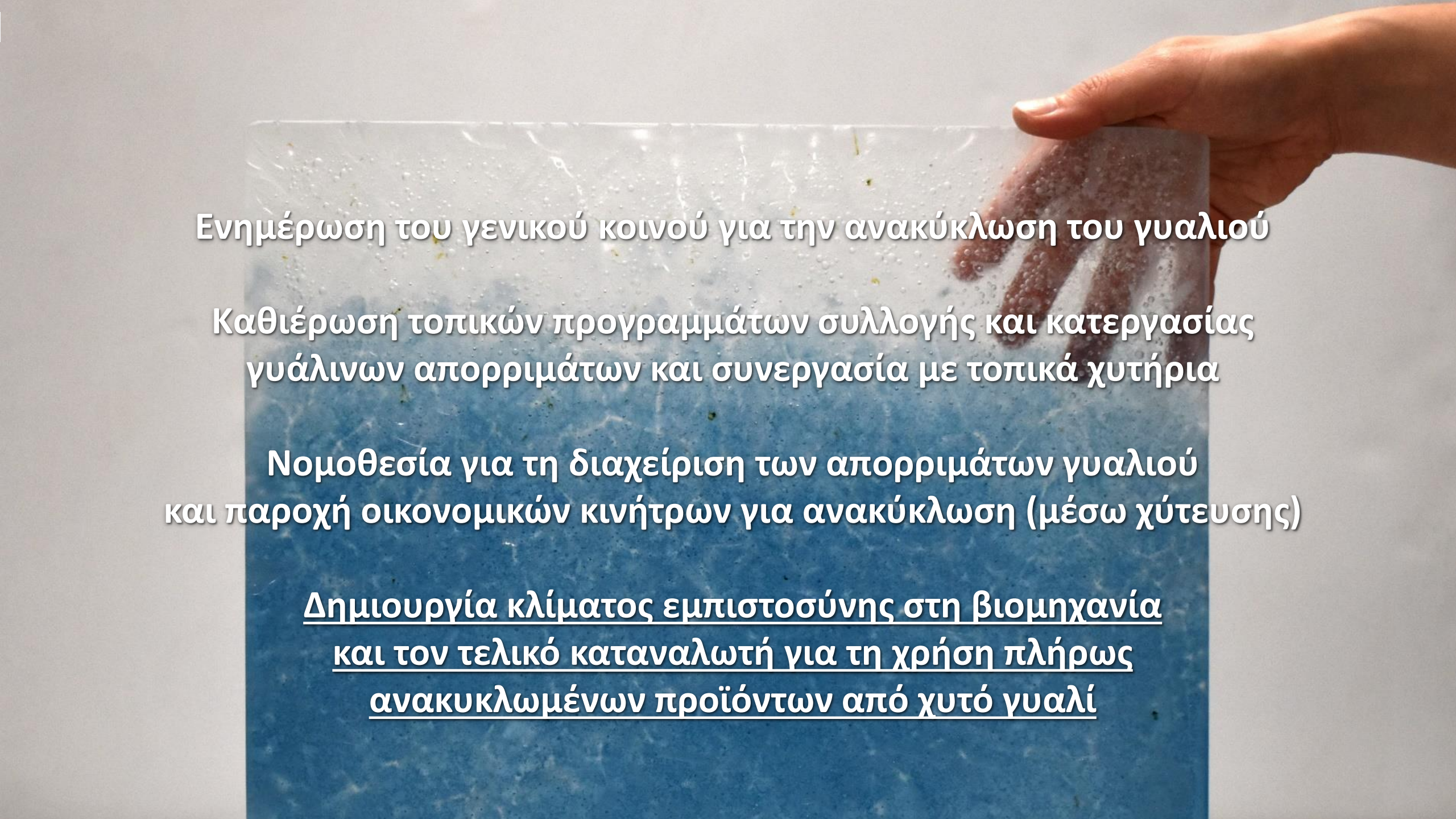
Glass recycling provides opportunities for recovering materials and reducing production energy demand, but most non-container glass is currently down-cycled or landfilled at end-of-life, because glass production processes cannot accommodate the contamination and compositional variations of waste glass streams.

The research project UPCAST GLASS addresses this by exploring a novel casting process for recycled glass that accommodates recipe variations and contaminants from a broad range of waste glass streams, by developing new methods for assessing the influence of defects in the engineered recycled glass components and by providing a database of material properties and design guidelines for recycling waste glass into high-value products. To achieve these goals, the research team will conduct systematic prototyping, material characterization and mechanical testing at the TU Delft laboratory facilities of BK and CiTG, and will work closely with key recycling organizations, glass manufacturers and engineering offices.

The [Open Technology Programme](#) is open to excellent research aimed at the possible implementation of the results. The programme offers companies and other organisations an easily accessible way of becoming involved in scientific research that leads to usable knowledge.

The board of NWO Domain Applied and Engineering Sciences awards funding to seven research projects through the Open Technology Programme. One of the projects is UPCAST GLASS: Upcycling waste glass by casting,



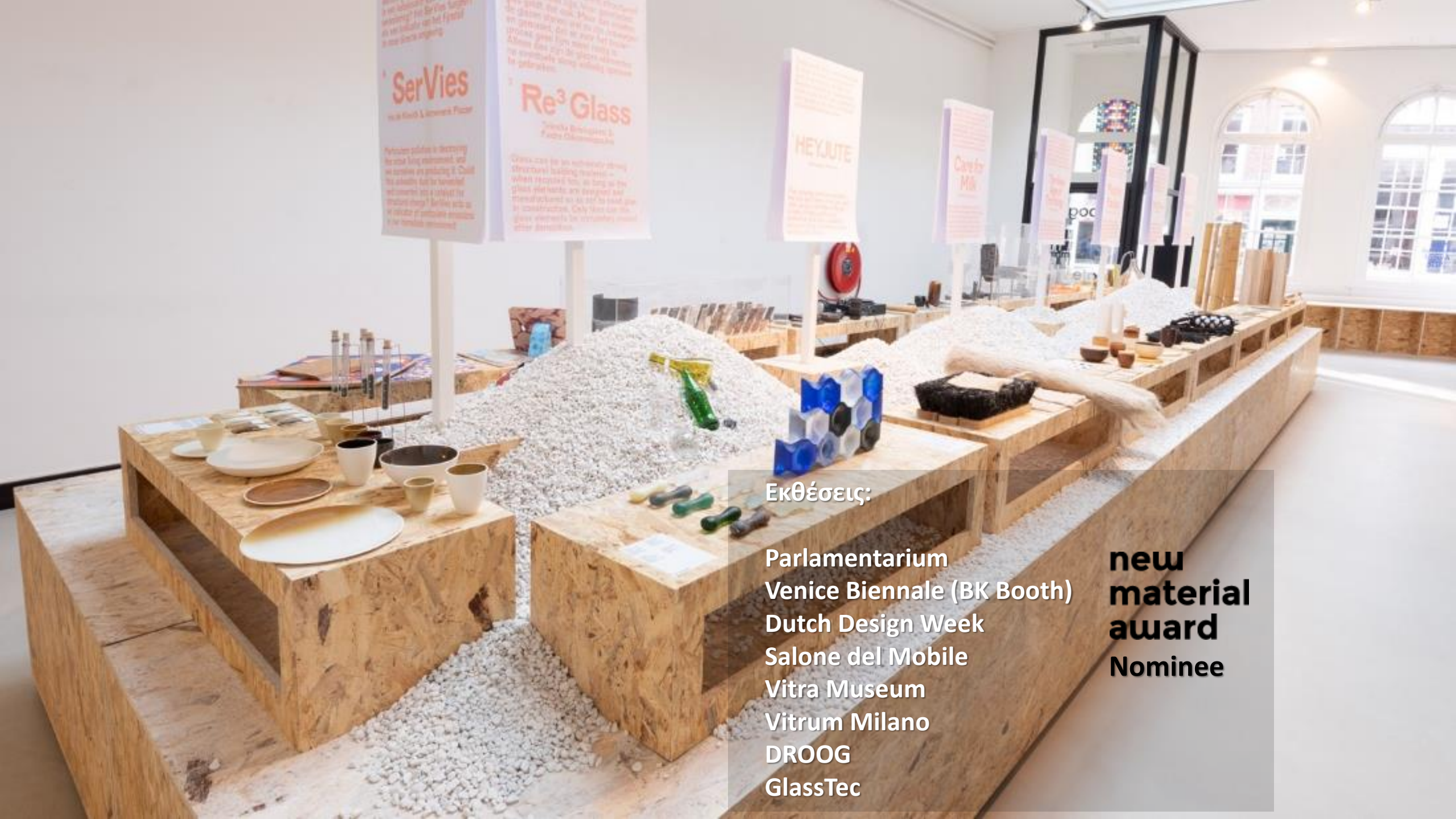


Ενημέρωση του γενικού κοινού για την ανακύκλωση του γυαλιού

Καθιέρωση τοπικών προγραμμάτων συλλογής και κατεργασίας γυάλινων απορριμάτων και συνεργασία με τοπικά χυτήρια

Νομοθεσία για τη διαχείριση των απορριμάτων γυαλιού και παροχή οικονομικών κινήτρων για ανακύκλωση (μέσω χύτευσης)

Δημιουργία κλίματος εμπιστοσύνης στη βιομηχανία και τον τελικό καταναλωτή για τη χρήση πλήρως ανακυκλωμένων προϊόντων από χυτό γυαλί



SerVies
in de Noord & Amsterdam Floor

Perfection is always a moving target. As we continue to produce & craft the objects that we love, we continue to evolve. SerVies is a collection of products that are designed to be used in a variety of ways.

Re³ Glass
Venice Biennale & Dutch Design Week

Glass can be an extremely strong structural building material – when recycled. This is why in the glass industry, we design and manufacture in a way that can be re-used. Only then can the glass elements be recycled into other products.

HEYJUTE

Carefor Milk

Εκθέσεις:

- Parlamentarium
- Venice Biennale (BK Booth)
- Dutch Design Week
- Salone del Mobile
- Vitra Museum
- Vitrum Milano
- DROOG
- GlassTec

new material award
Nominee

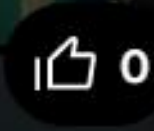
Parlamentarium

κέντρο επισκεπτών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (Βρυξέλλες)



Paolo • Jul 2022

Palermo, Italy • 1000 contributions



La visita si può prenotare tranquillamente sul loro sito internet ed è completamente gratuita. All'ingresso



Ευχαριστώ πολύ!