

# Νέα Υλικά και Βιώσιμη Ανάπτυξη

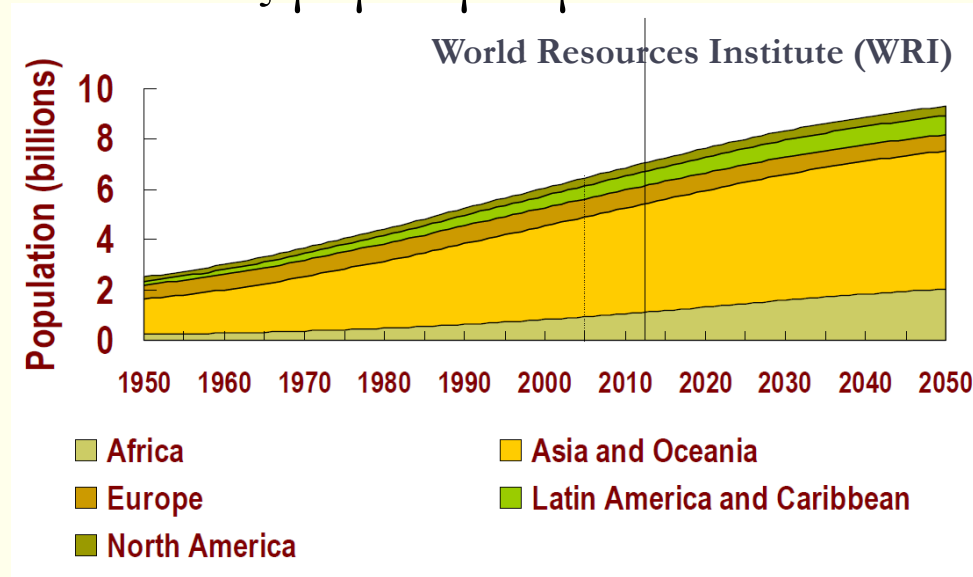
Δρ Ουρανία Τσιούλου

# Παγκόσμια Ζητήματα:

➤ Ενέργεια και Κλιματική Αλλαγή



➤ Αύξηση πληθυσμού



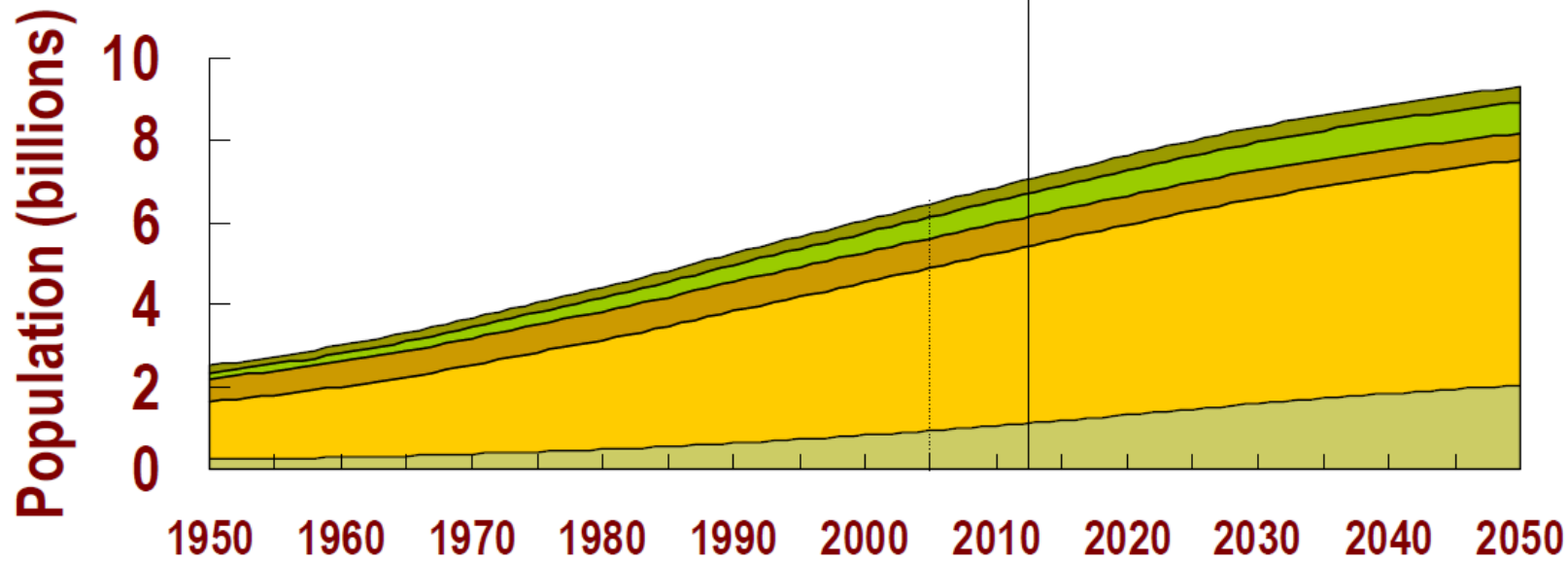
## Η ανάγκη για Βιώσιμη Ανάπτυξη

“ανάπτυξη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες»

*Brundtland (1987) – ‘Our Common Future’ World Commission on Environment*

# Παγκόσμια Θέματα

➤ Ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται



- Africa
- Asia and Oceania
- Europe
- Latin America and Caribbean
- North America

World Resources Institute (WRI)

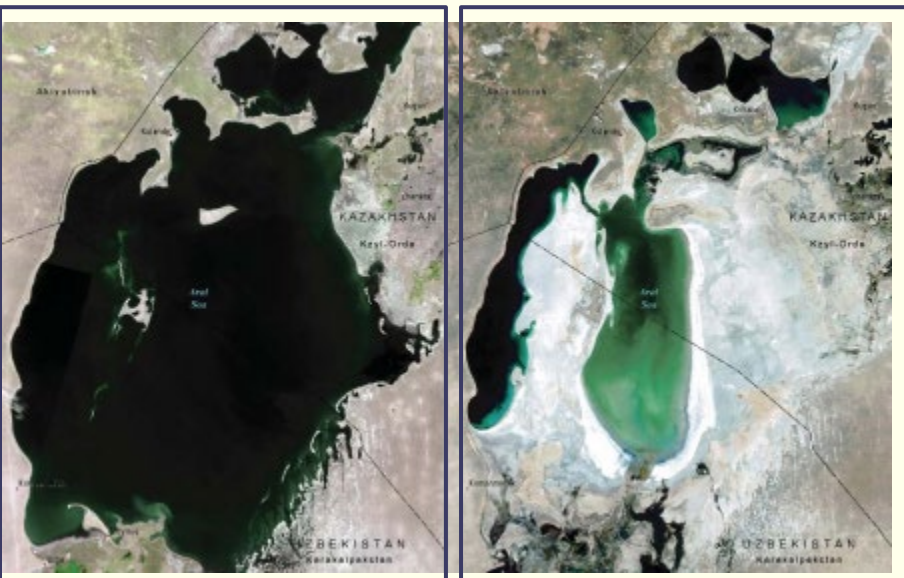
# Παγκόσμια Θέματα

➤ Διαθέσιμο νερό

Οι πόροι μειώνονται δραματικά

**1973**

**2004**



Ozbekistan

UNDP, UNEP, World Bank and WRI 2000

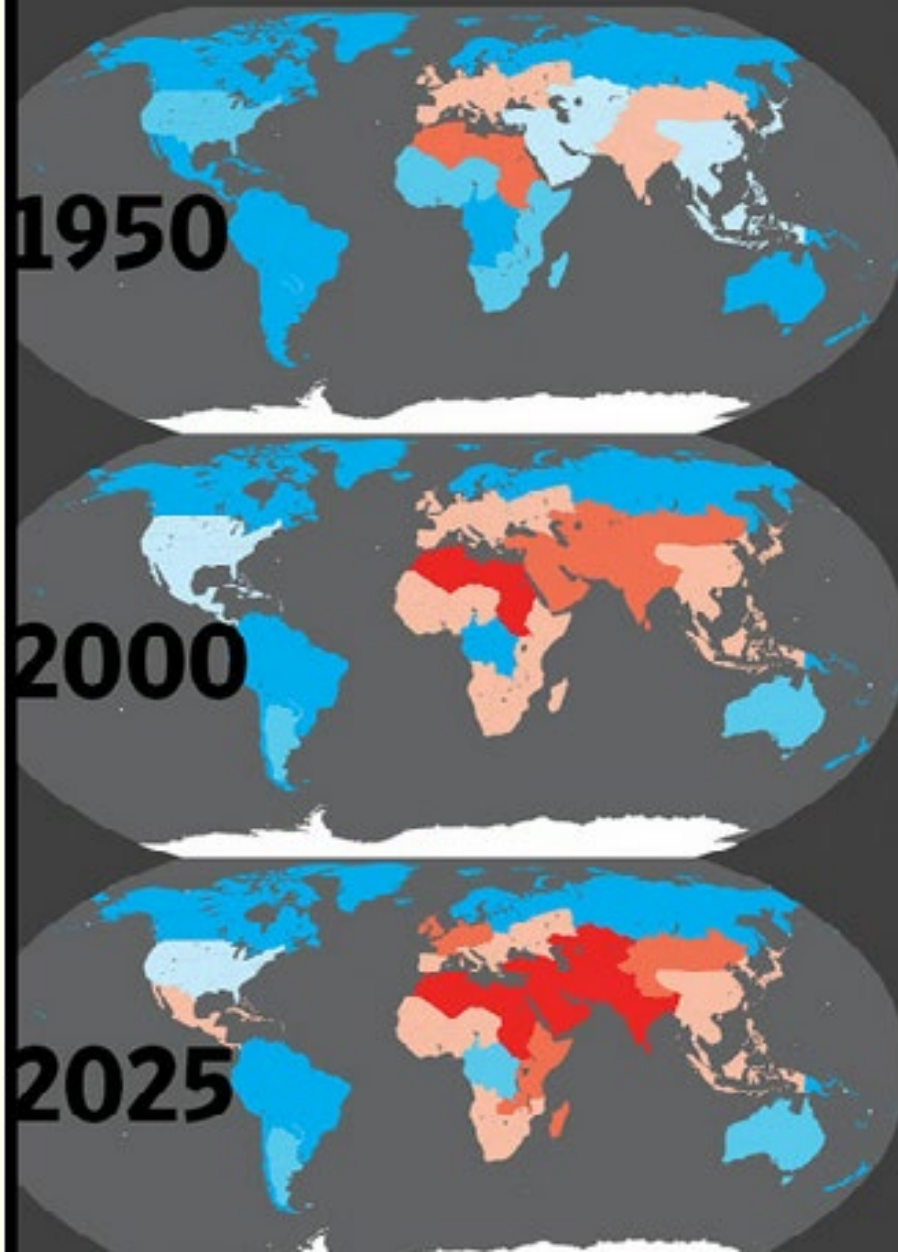
Διαθέσιμο  
Πόροι Νερού

- CATASTROPHICALLY LOW
- VERT LOW
- LOW
- AVERAGE
- HIGH
- VERY HIGH

1950

2000

2025

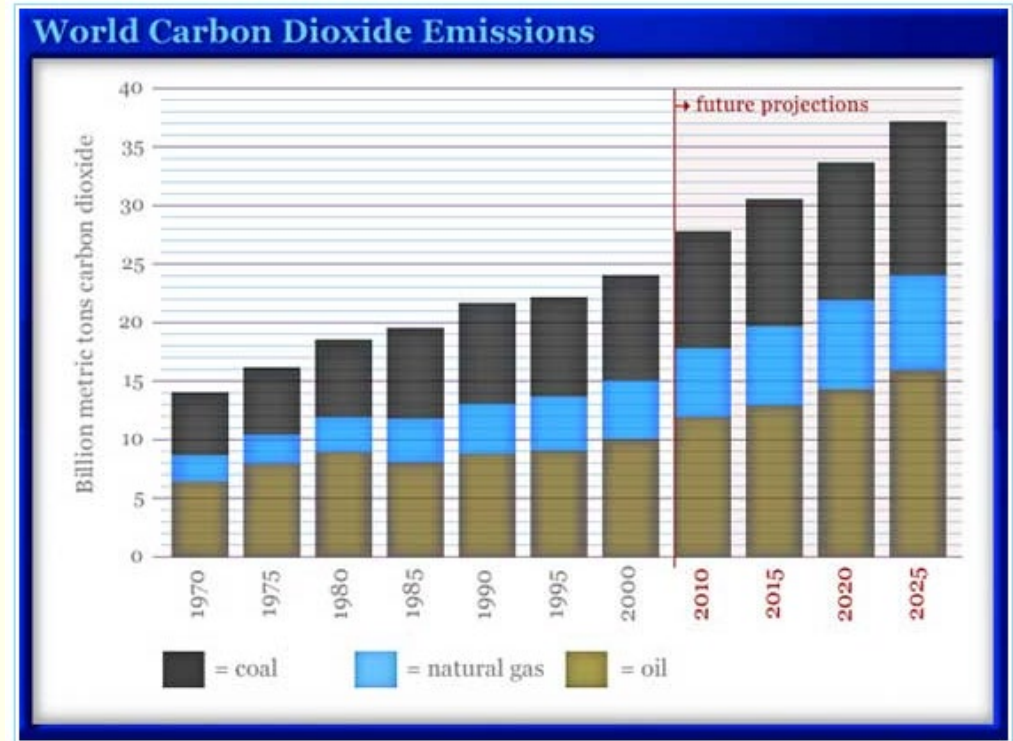


# Παγκόσμια Θέματα

➤ Εμπομπές CO<sub>2</sub> - το μεγαλύτερο άλμα που έχει καταγραφεί ποτέ



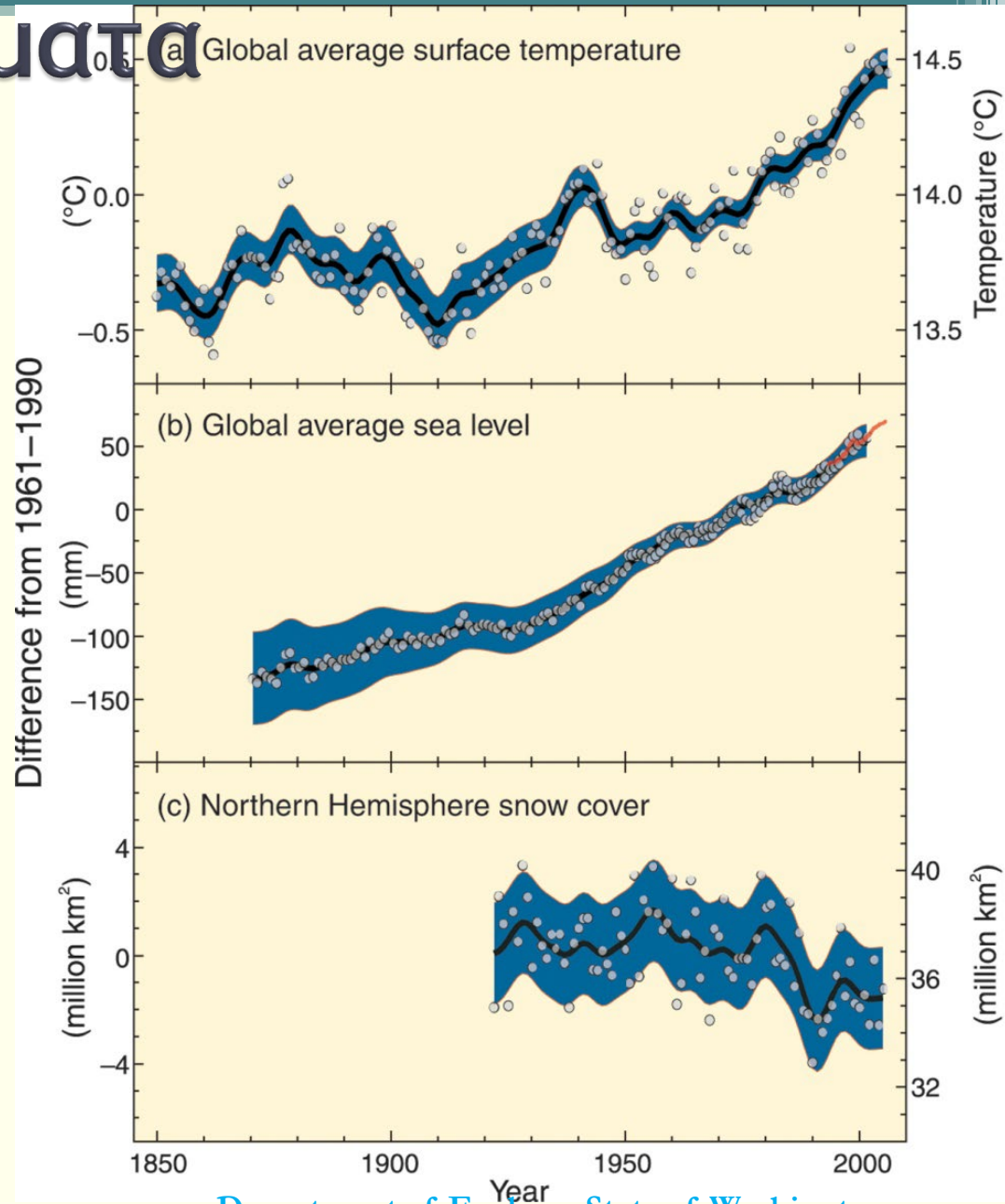
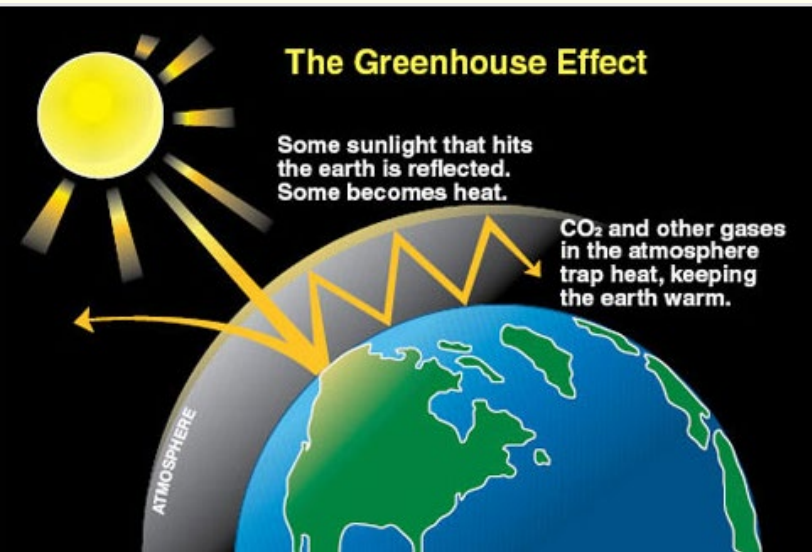
<http://www.climateshifts.org>



<http://www.planetseed.com/node/15230>

# Παγκόσμια Θέματα

## ➤ Κλίμα



# Βιώσιμη ανάπτυξη:

- Ελαχιστοποιήστε την κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- ελαχιστοποιούν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
- Διατηρήστε την ανθρώπινη ικανοποίηση.

## The 3 R's (Reuse-Reduce-Recycle)

ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ – ΜΕΙΩΣΗ – ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

ΕΠΑΝΑΧΡ  
ΗΣΙΜΟΠΟΙ  
ΗΣΗ

Στην κατασκευή

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ :**

Ενίσχυση και επισκευή υφιστάμενων κατασκευών

ΜΕΙΩΣΗ

**ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ:**

Μείωση αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ



# ΒΙΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ

# Βιώσιμα υλικά

## ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα είναι το πιο διαδεδομένο δομικό υλικό παγκοσμίως  
Η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση κυμαίνεται μεταξύ 21 και 31  
δισεκατομμυρίων τόνων!!

### Περιβαλλοντική επίπτωση :

- Παραγωγή σκυροδέματος
- Μεταφορά

# Τσιμέντο



# Τσιμέντο

Η παραγωγή τσιμέντου είναι υπεύθυνη για **5%** των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub>



Photograph: Christopher Thomond - <http://www.guardian.co.uk>

## Κύρια υποκατάστατα τσιμέντου

- Ιπτάμενη τέφρα
- Αλεσμένη κοκκοποιημένη σκυρία υψικαμίνου και Silica Fume, Metakaolin κ.λπ.

# Ιπτάμενη τέφρα

Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένα υποπροϊόν από την καύση άνθρακα, από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα

Αιχμαλωτίστηκε από την κορυφή των καπνοδόχων με εξοπλισμό ελέγχου της ρύπανσης



<http://www.theconstructionindex.co.uk>

- Επί του παρόντος συνήθης πρακτική: **15-20 %** υποκατάστατο τσιμέντου
- Σκυρόδεμα υψηλής ιπτάμενης τέφρας- **40%**



<http://www.projectsmonitor.com/>

## Οφέλη

- Αυξημένη εργασιμότητα
- Υψηλότερη τελική αντοχή
- Λιγότερη συστολή ξήρανσης

## Μειονεκτήματα

- Μεγαλύτεροι χρόνοι σταθεροποίησης (μπορεί να μην πληροί τις απαιτήσεις αντοχής 28 ημερών)

# Αλεσμένη κοκκοποιημένη σκυρρία υψικαμίνου (GGBS)

Λαμβάνεται με απόσβεση σκυρρίας τηγμένου σιδήρου (υποπροϊόν της παραγωγής σιδήρου και χάλυβα)

- Μπορεί να αντικαταστήσει έως και **70-80%** τσιμέντου σε ορισμένα μείγματα

[http://www.youtube.com/watch?v=GE7yyu\\_MiZQ](http://www.youtube.com/watch?v=GE7yyu_MiZQ)  
**VIDEO**



## Οφέλη

- Αυξημένη αντοχή λόγω βελτιωμένου δεσμού αδρανών
- Αυξημένη εργασιμότητα

# Αδρανή



<http://en.wikipedia.org/>



<http://www.agg-net.com/>

# Αδρανή

Τα χονδρόκοκκα και λεπτά αδρανή στο σκυρόδεμα αποτελούν **60-75%** του όγκου του σκυροδέματος



<http://en.wikipedia.org/>

Σκόνη κατά τη λειτουργία του:

Εξόρυξη και ανατινάξεις,  
Λατομικές οδούς,  
Φόρτωση και εκφόρτωση,  
Σύνθλιψη

Απελευθερώνει σωματίδια στον αέρα που μπορεί να προκαλέσουν

Ερεθισμοί των ματιών και του αναπνευστικού συστήματος στον άνθρωπο

Διάβρωση του εδάφους,  
Ρύπανση του αέρα και των υδάτων

## Η μεγαλύτερη περιβαλλοντική ρύπανση από αδρανή

# Φυσικά υποκατάστατα αδρανών

- Ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος
- Ανακυκλωμένο γυαλί
- Θρυμματισμένα τούβλα
- Ανακυκλωμένο Πλαστικό

# Αδρανή ανακυκλωμένου σκυροδέματος

VIDEO

<https://www.youtube.com/watch?v=Yb5D5iXYXsE>

Τα αδρανή ανακυκλωμένου σκυροδέματος μπορούν να ληφθούν από κατεδάφιση κατασκευών σκυροδέματος



Μπορεί να αντικαταστήσει:

χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή

Concrete Crusher



## Οφέλη

- Καλή εργασιμότητα και ανθεκτικότητα

## Μειονεκτήματα

- Απορροφά περισσότερο νερό στο
- Το Μέτρο Ελαστικότητα μπορεί να είναι χαμηλότερο

# Ανακυκλωμένο γυαλί

<https://www.youtube.com/watch?v=EuPDPGc7mks>

VIDEO

Γυάλινες φιάλες μετά την κατανάλωση

- Μπορεί να αντικαταστήσει και χονδρόκοκκα και λεπτά αδρανή



CDE - <http://www.cdeglobal.com/projects/category/57/glass-recycling>

## Μειονεκτήματα

- Μια αντίδραση κατά την ανάμιξη με τσιμέντο δημιουργεί ένα πήκτωμα που διογκώνεται παρουσία υγρασίας προκαλώντας ρωγμές στο σκυρόδεμα

## Οφέλη

- Σχεδόν μηδενική απορρόφηση νερού – βελτιώνει την ανθεκτικότητα



Concrete Ideas - <http://www.concreteideas.com/>

# Ανακυκλωμένα Απορρίμματα Πλαστικού

Σχετικά νέο – δεν χρησιμοποιείται ευρέως

- Μπορεί να αντικαταστήσει και τα δύο χονδρόκοκκα και λεπτά αδρανή



## Οφέλη

- Ελαφριές κατασκευές
- Αυξημένη παραμόρφωση χωρίς αστοχία

## Μειονεκτήματα

- Χαμηλότερη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη

# Θρυμματισμένα τούβλα

VIDEO

<https://www.youtube.com/watch?v=D5i8ptlILjo>

Μπορεί να αντικαταστήσει τα χονδρόκοικα αδρανή



## Οφέλη

- Ελαφρύ έως μεσαίου βάρους σκυρόδεμα



TIROGAVERD <http://www.tirogaverd.com>

## Μειονεκτήματα

- Μειώνει τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
- Μειωμένη εργασιμότητα

# Ασφαλτικά οδοστρώματ α



<http://pavingatlanta.com/>

# Ασφαλτικά οδοστρώματα

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια

## 1. Εξόρυξη πρώτων υλών

### 1.1 Άσφαλτος

Η γεώτρηση και η εξόρυξη αργού πετρελαίου μπορεί να παράγει τοξικά και μη τοξικά υποπροϊόντα που μολύνουν τα νερά, τα ιζήματα και τον αέρα



### 1.2 Αδρανή

Η μεγαλύτερη περιβαλλοντική ρύπανση από αδρανή υλικά εμφανίζεται κατά την απόκτηση υλικών

<http://www.highwaysmaintenance.com/>

## 2. Παραγωγή, μεταφορά και τοποθέτηση ασφαλτομίγματος

Η άσφαλτος θερμού μίγματος απαιτεί υψηλή θερμοκρασία κατά την ανάμιξη στο εργοστάσιο, καθώς μεταφέρεται στο εργοτάξιο και κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης



Intrans - <http://www.intrans.iastate.edu/asphalt/>

- Απαιτεί ενέργεια
- Απελευθερώνει εκπομπές και αναθυμιάσεις

# Στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ασφαλτόστρωσης:

## ➤ Χαμηλώστε τις θερμοκρασίες ανάμειξης

Άσφαλτος θερμού μίγματος (~160°C) Θερμό μίγμα Άσφαλτος (με χρήση πρόσθετων για την αύξηση της εργασιμότητας της ασφάλτου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες:  
μείωση 50 έως 100°C σε θερμοκρασίες μίγματος

## ➤ Χρησιμοποιήστε λιγότερη ποσότητα ασφάλτου

## ➤ Χρησιμοποιήστε ανακυκλωμένα αδρανή

## ➤ Παρατείνετε τη διάρκεια ζωής των ασφαλτικών οδοστρωμάτων

# Χάλυβας και σίδηρος



<http://pratikshashipping.com>

# Παραγωγή χάλυβα και σιδήρου

## ➤ CO<sub>2</sub> Εκπομπές

Οι CO<sub>2</sub> που οφείλονται στην παραγωγή σιδήρου και χάλυβα είναι **ελαφρώς μεγαλύτερες** από εκείνες της παραγωγής τσιμέντου

## ➤ Τοξικές εκλύσεις

## ➤ Στερεά απόβλητα Slag dust etc.

## ➤ Κατανάλωση νερού

Για την ψύξη εξοπλισμού, κλιβάνων, χάλυβα κ.λπ.



# Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση χάλυβα

- Ο χάλυβας είναι ένα από τα πιο ανακυκλωμένα υλικά



Στον κατασκευαστικό κλάδο εκτιμήθηκε ότι ήταν 88% συνολικά με

Ποσοστό 97% για δομικές δοκούς και πλάκες

και

Συντελεστής 65% για ράβδους οπλισμού  
σκυροδέματος και άλλα προϊόντα

Η χρήση σκραπ χάλυβα για την παραγωγή χάλυβα είναι λιγότερο δαπανηρή από την εξόρυξη μεταλλεύματος και την επεξεργασία του για την παραγωγή χάλυβα

# Παλιά ελαστικά



<http://www.ecomena.org/methods-for-tire-recycling/>

# Ανακυκλωμένα ελαστικά σε δομικά υλικά

Κύρια συστατικά των σιραπ ελαστικών:

## ➤ Φυσικό καουτσούκ

Προφίλ θυρών και παραθύρων, δάπεδα ,  
ασφαλτόστρωση κ.λπ.

## ➤ Συνθετικό καουτσούκ

Τσιμούχες, επενδύσεις δαπέδων κ.λπ.

## ➤ Αιθάλη

Πιθανή χρήση σε ασφαλτικά οδοστρώματα ως συνδετικό ασφάλτου

## ➤ Χάλυβας

Πιθανή χρήση σε χαλύβδινες ίνες



[http://www.wastemanagementlondon.co.uk/commercial\\_collections.htm](http://www.wastemanagementlondon.co.uk/commercial_collections.htm)

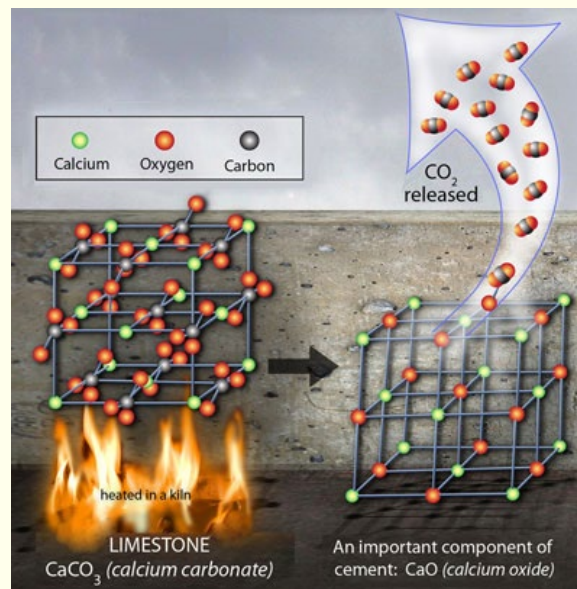
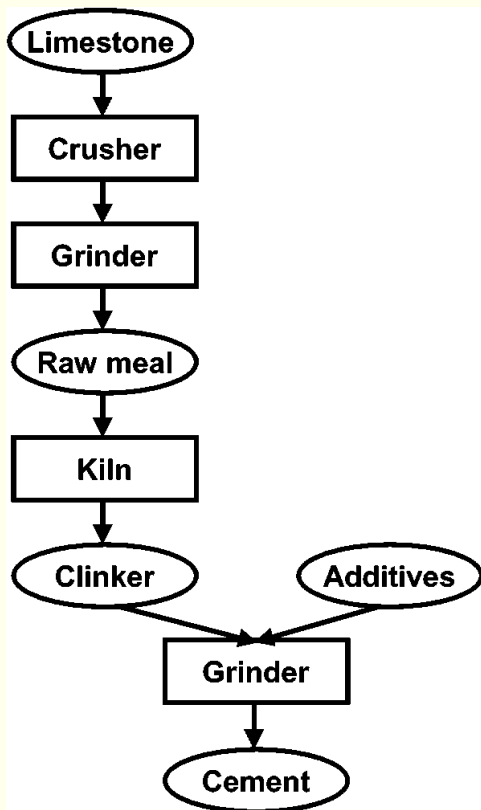
# ΒΙΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

# Γεωπολυμερές σκυρόδεμα χωρίς τσιμέντο

## Σκυρόδεμα χωρίς τσιμέντο

Γιατί να αντικαταστήσετε το τσιμέντο Portland;

Το τσιμέντο παίζει ζωτικό ρόλο στην καθημερινότητά μας, αλλά...



Zina Deretsky, National Science Foundation

• 0,8 τόνοι CO<sub>2</sub> / 1 τόνοι τσιμέντου

• Παραγωγή στο Ηνωμένο Βασίλειο (2009) 8 εκατομμύρια τόνοι τσιμέντου

-British Cement Assosiation

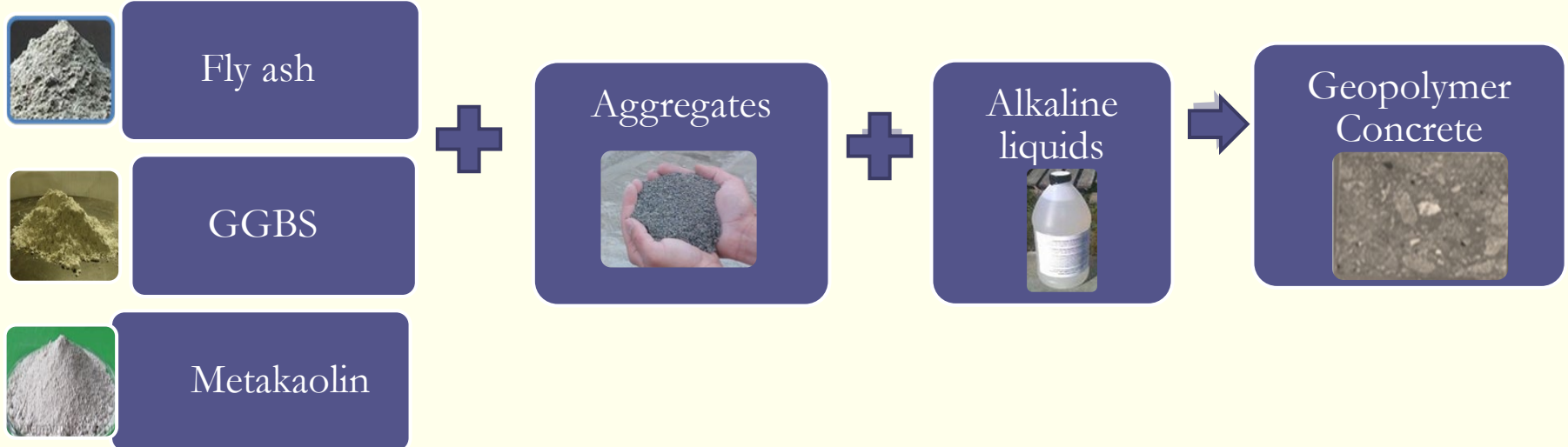
-Faludi (2004) Concrete : A burning issue. World Changing. [www.worldchanging.com](http://www.worldchanging.com)

# Γεωπολυμερές σκυρόδεμα χωρίς τσιμέντο

Πηγές αργιλοπυριτικών

- Ιπτάμενη τέφρα-σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα
- Σκωρία- παραγωγή σιδήρου
- Πηλός - Καολίνης

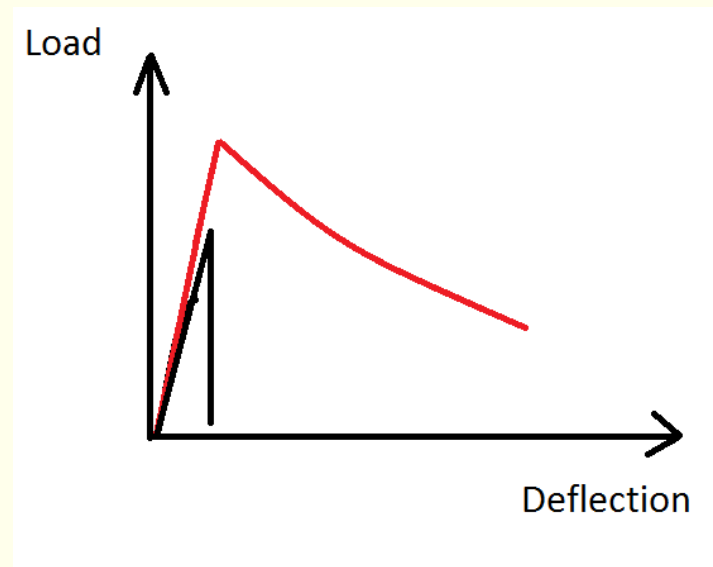
Συνδυασμός NaOH / KOH  
and Na / K silicate



# Γεωπολυμερές σκυρόδεμα χωρίς ίνες χάλυβα

- Υψηλή αντοχή σε θλίψη 50-100 MPa
- (Υψηλότερο από το κανονικό σκυρόδεμα)
- Η υψηλή θερμοκρασία σιλήρυνσης βελτιώνει την αντοχή
- Υψηλή πρώιμη αντοχή

Η προσθήκη ινών βελτιώνει τη συμπεριφορά μετά την αιχμή και μειώνει τη συρρίκνωση



# Γεωπολυμερές σκυρόδεμα χωρίς τσιμέντο

Aramid fibres



Polypropylene fibres

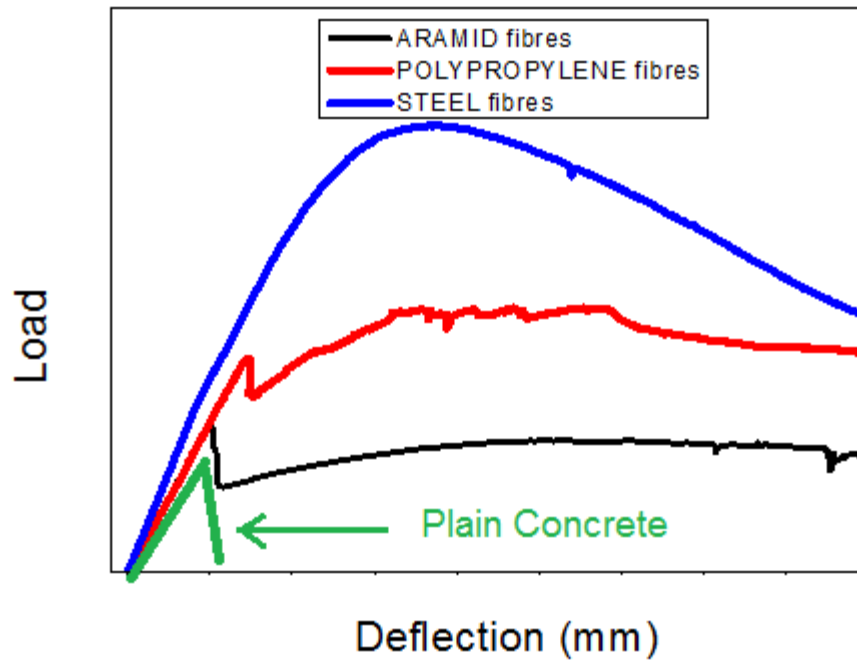


**ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ**

Steel fibres



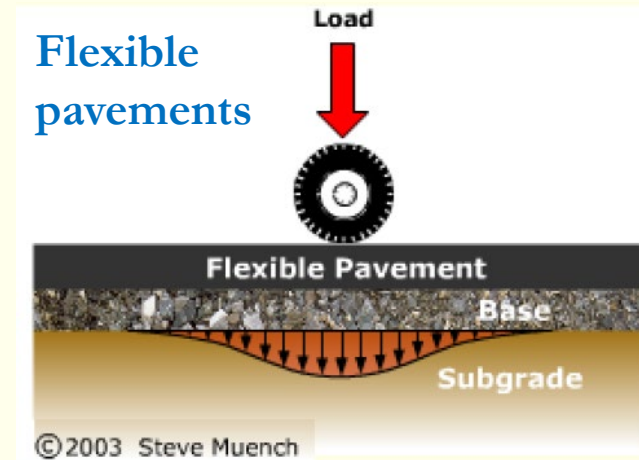
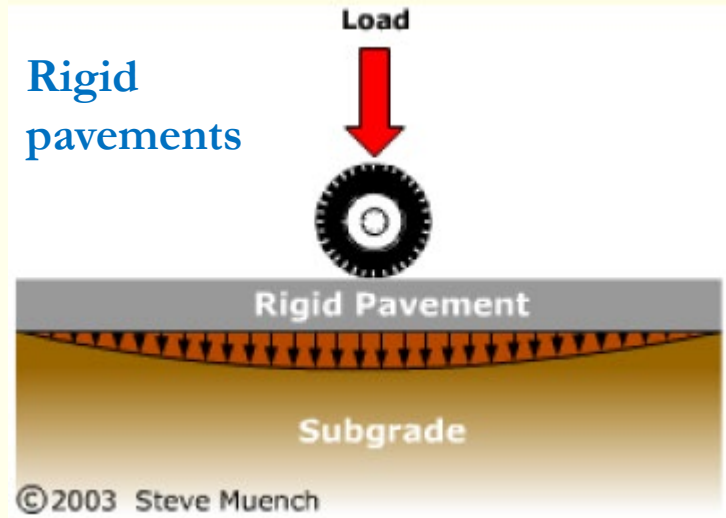
ΑΝΤΟΧΗ &  
ΠΛΑΣΤΙΜΟ  
ΤΗΤΑ





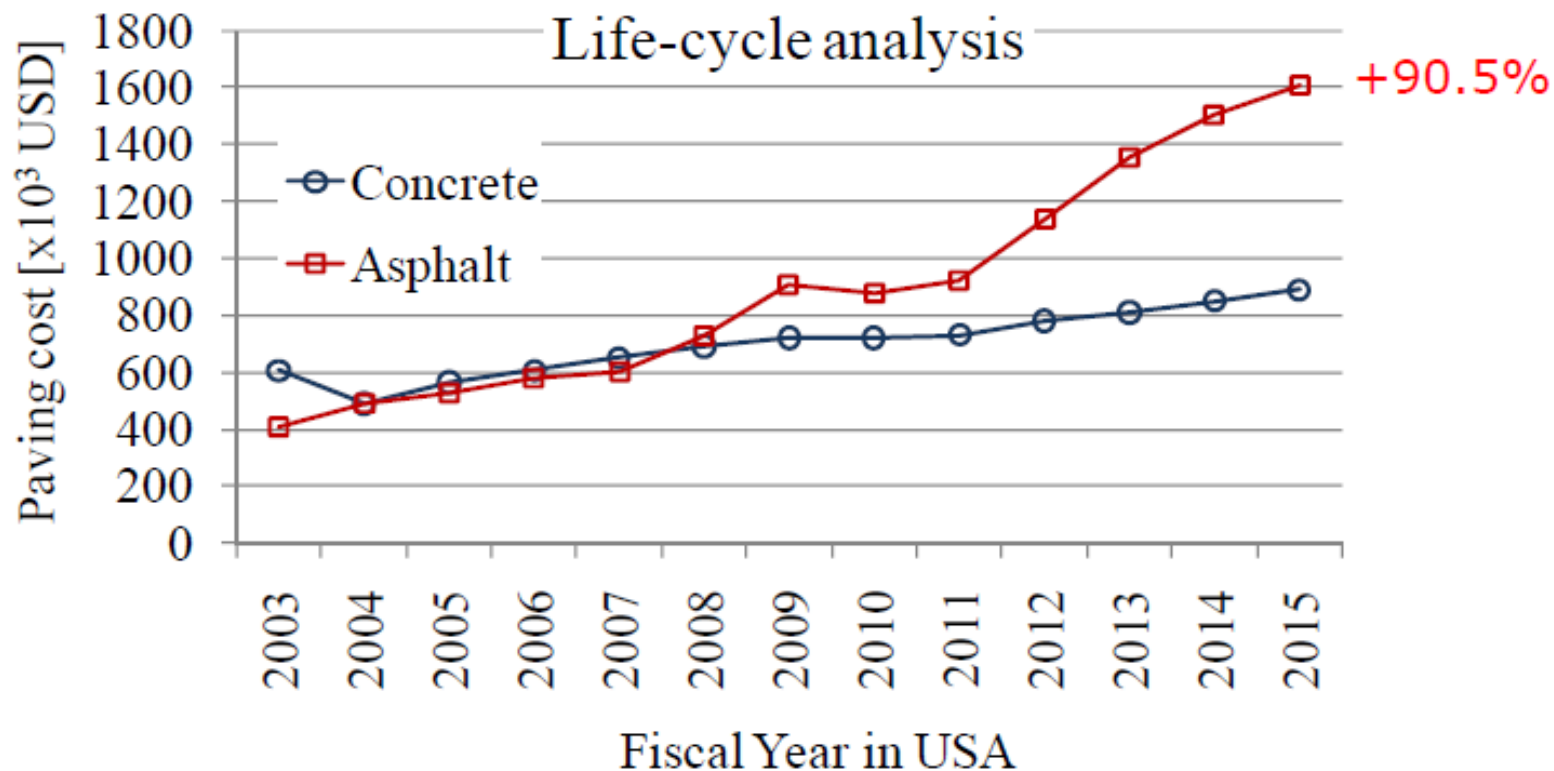
# «ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ- ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ»





- Τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα παρέχει επιλογές για ενίσχυση, υφή, χρώμα
- Αυτές οι ευκαιρίες επιτρέπουν την παραγωγή σκυροδέματος υψηλής αντοχής μακράς διάρκειας και αρχιτεκτονικά όμορφου
- Τα οδοστρώματα από σκυρόδεμα ξεπερνούν κατά μέσο όρο τα ασφαλτικά οδοστρώματα κατά 10-15 χρόνια πριν χρειαστεί αποκατάσταση

# Το σκυρόδεμα κοστίζει λιγότερο μακροπρόθεσμα



- <http://www.concreteisbetter.com/vs.html>

CONCRETE PAVING ASSOCIATION OF MINNESOTA

- Sullivan, E. (2009) 'Update: paving, new realities.' Flash Report, Breaking Analysis of the Economy Construction and Cement Industries PCA: Washington DC

- Graeff A., Lynsdale C., Neocleous K. and Pilakoutas K. (2010). Permeability Behaviour of Recycled SFRC and Its implications in the Durability of Rigid Pavements. 11th International conference on Concrete Roads – The answer to New Challenges, Seville Spain, 13-15 October 2010, Vol. D, pp 65 (abstract), CD proceedings

## Το σκυρόδεμα διαρκεί περισσότερο με λιγότερη ανάγκη συντήρησης και επισκευής

- Δεν σχηματίζονται αυλάκια για να γεμίσουν με νερό και να προκαλέσουν ατυχήματα σε υγρό καιρό. Λιγότερες διακοπές κυκλοφορίας για επισκευή και συντήρηση.



<http://www.asphaltwa.com/2010/09/18/rutting/>



<http://www.highwaysmagazine.co.uk/>

- Χωρίς λακκούβες - έτσι τα οδοστρώματα σκυροδέματος παραμένουν πιο ομαλά περισσότερο.

- Λιγότερο ευαίσθητο στις αλλαγές θερμοκρασίας

<http://www.concreteisbetter.com/vs.html>

CONCRETE PAVING ASSOCIATION OF MINNESOTA

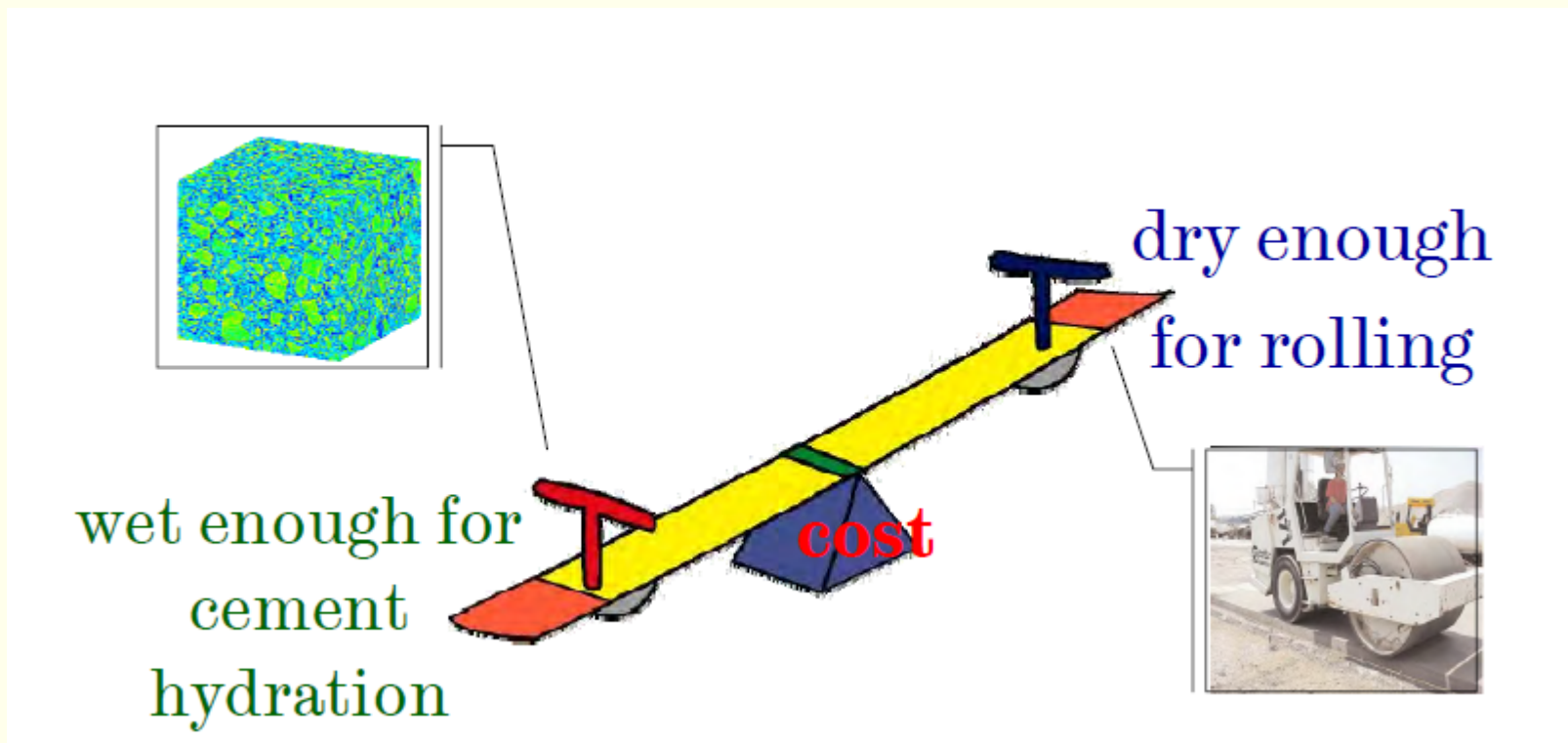
# Οδοστρώματα από συμπιεσμένο σκυρόδεμα με κυλίνδρους ενισχυμένο με ίνες (RCC)

Τι είναι το συμπιεσμένο σκυρόδεμα με κυλίνδρους (RCC);

Ένα σχετικά άκαμπτο μείγμα αδρανών, τσιμεντου και νερού που συμπιέζεται με δονητικούς κυλίνδρους και σκληραίνει σε σκυρόδεμα

- Δεν απαιτείται ξυλότυπος
- Η επαρκής συμπύκνωση είναι κρίσιμη

# Οδοστρώματα RCC: Αναλογία υλικών



# Συμπιεσμένο σκυρόδεμα RCC με κυλίνδρους

➤ **Συνδετικά (π.χ. OPC, PFA)**

12-16% κατά μάζα

➤ **Αδρανή (λεπτό  $\leq 5\text{mm}$ , χονδρόκοικια  $\leq 20\text{mm}$ )**

75~80% κατά μάζα

➤ **Νερό 4.5~6% κατά μάζα Νερό/τσιμέντο = 0,3~0,45**

➤ **Πρόσμιχτα (e.g. Μείωση νερού, επιβράδυνση)**

# Συμπιεσμένο σκυρόδεμα με κυλίνδρους RCC + Χαλύβδινες ίνες

## Recycled Steel Fibres



Περισσότεροι από 500 000 τόνοι ινών χάλυβα υψηλής ποιότητας

θα μπορούσε να ανακτάται ετησίως στην ΕΕ, από ελαστικά μετά την χρήση τους

### Οφέλη για οδικές εφαρμογές:

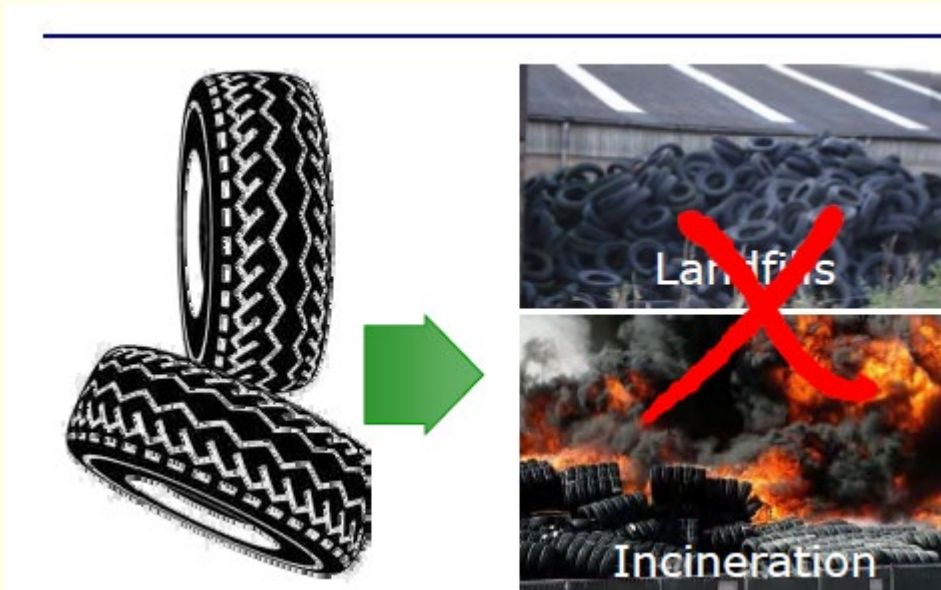
- μείωση του κόστους κατασκευής κατά 10-20%,
- μείωση του χρόνου κατασκευής κατά τουλάχιστον 15%
- μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές
- Κατασκευές κατά 40%
- ελάχιστη συντήρηση

-Pilakoutas K., Neocleous K. and Tlemat H. (2004), "Reuse of Steel Fibres as Concrete Reinforcement", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Engineering Sustainability 157, Issue ES3, September 2004, 131-138.

-Neocleous K., Recycling of tyre steel in concrete products & applications, Panel 8 session "Funded projects", 16<sup>th</sup> annual ETRA conference on tyre recycling, Brussels, 25-27 March 2009

## Ανακυκλωμένες ίνες χάλυβα

- Καλή απόδοση
- Περιβαλλοντικά οφέλη



# Fibre-reinforced roller compacted concrete-Transport pavements

Dry concrete mixes can be placed with an asphalt paver and compacted by vibratory rollers

Placing of dry mix in truck



Placing of dry mix in asphalt pavement



Placing and initial compaction of dry mix



Roller compaction of pavement



# Οδοστρώματα RCC ενισχυμένα με ίνες χάλυβα

- Βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες
- Παρατείνετε τη διάρκεια ζωής των πεζοδρομίων
- Χρησιμοποιήστε υλικά μετά την κατανάλωση
- Ελαχιστοποιήστε την κατανάλωση ενέργειας
- Μειώστε το κόστος και τον χρόνο κατασκευής