

## Χρήση της απορριφθείσας παιπάλης ασφαλτικού συγκροτήματος ως πληρωτική κονία για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα – Εφαρμογή στην Εγνατία οδό

Σπυράγγελος Λυκούδης  
Προϊστάμενος Εργαστηρίου Π.Υ.Θ. Εγνατίας Οδού Α.Ε.

*Λέξεις κλειδιά:* Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, Πρόσθετα, Πληρωτικές κονίες, Σακόφιλτρα, Ασφαλτικό Σκυρόδεμα, Οικολογικό Σκυρόδεμα, Self Compacting Concrete, Filler, Asphalt Concrete, Baghouse Fines, Green Concrete

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα θεωρείται η μεγαλύτερη πρόοδος στην επιστήμη της τεχνολογίας του Σκυροδέματος, τις 3 τελευταίες δεκαετίες. Αυτοσυμπυκνούμενο είναι το Σκυρόδεμα εκείνο που μπορεί να πληρώσει οποιοδήποτε ξυλότυπο-μεταλλότυπο και να αποκτήσει ικανή συμπύκνωση αποκλειστικά και μόνο μέσω της βαρύτητας και της ρεολογικής του συμπεριφοράς.

Ένα από τα απαραίτητα συστατικά για την παραγωγή Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος, είναι ο μεγάλος αριθμός λεπτών συστατικών, σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Τα λεπτά συστατικά μπορεί να μην είναι κατ' ανάγκη τσιμέντο. Πολλές πληρωτικές κονίες είναι διαθέσιμες (παιπάλη πετρωμάτων, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνων, μαρμαρόσκονη κ.τ.λ.), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος.

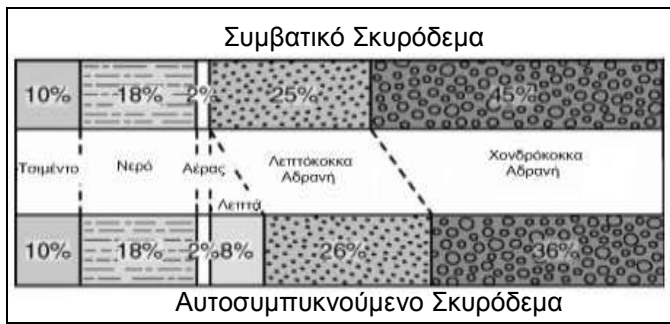
Στην παρούσα εργασία, διερευνάται η χρήση παιπάλης η οποία απορρίπτεται από τα σακόφιλτρα του Ασφαλτικού Παρασκευαστηρίου. Ταυτόχρονα το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα αποκτά Οικολογική διάσταση, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί σαν συστατικό του ένα παραπροϊόν της βιομηχανίας, που κάτω από άλλες συνθήκες δεν θα είχε χρήση.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή του Οικολογικού Σκυροδέματος (Green Concrete), θεωρείται η αιχμή στην έρευνα της τεχνολογίας σκυροδέματος. Σαν γενικός ορισμός μπορεί να τεθεί «κάθε τύπος σκυροδέματος που συνάδει με την ορθή περιβαλλοντική διαχείριση», ήτοι με πρακτικές που οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας, στην παραγωγή λιγότερων ρύπων, στην χρησιμοποίηση ανακυκλωμένων αδρανών και στην χρησιμοποίηση παραπροϊόντων της βιομηχανίας. Ως οικολογικά σκυροδέματα μπορούν να χαρακτηρισθούν οι ακόλουθες κατηγορίες σκυροδεμάτων:

- Διαπερατό Σκυρόδεμα: Επιτρέπει την απορροή των όμβριων υδάτων στο οδόστρωμα και παράγει λιγότερο θόρυβο από το συμβατικό οδόστρωμα, στην κίνηση των οχημάτων.
- Διαφανές Σκυρόδεμα: Συμβάλλει στη μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Σκυροδέματα που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα αδρανή.
- Σκυροδέματα που χρησιμοποιούν «κρύο» τσιμέντο (τσιμέντο που παράγεται με μικρό ποσοστό κlinker αλεσμένου με σκωρία υψικαμίνου).
- Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα που χρησιμοποιεί σαν πληρωτική κονία, παραπροϊόντα της βιομηχανίας.

Στην τελευταία κατηγορία ανήκει και το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει την παιπάλη που απορρίπτεται από τα σακόφιλτρα του ασφαλτικού συγκροτήματος. Όπως είναι γνωστό το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, σε σχέση με το συμβατικό, χρειάζεται μεγαλύτερο ποσό λεπτόκοκκων (Σχ. 1).



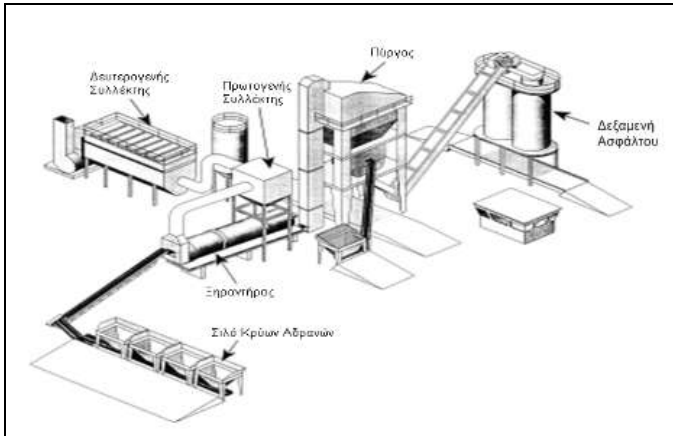
Σχήμα 1. Σύγκριση αναλογιών, συστατικών Συμβατικού - Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

κού -

Δεδομένου ότι η πηγές εξεύρεσης των πληρωτικών κονιών δεν είναι ιδιαίτερα εύκολες, η απορριφθείσα παιπάλη του Ασφαλτικού Συγκροτήματος, μπορεί να είναι μία οικονομική πηγή.

## 2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΟ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΗΡΙΟ ΑΣΦΑΛΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στο ακόλουθο Σχήμα 2 φαίνεται σχηματικά η διαδικασία Παραγωγής Ασφαλτοσκυροδέματος (Σχ. 2), σε συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες.

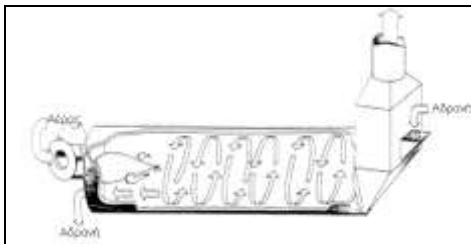


Σχήμα 2. Παρασκευαστήριο Ασφαλτοσκυροδέματος.

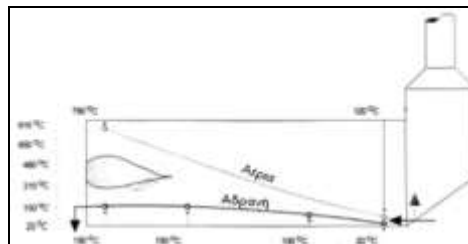
Τα ψυχρά και υγρά αδρανή εκρέουν από τους κάδους τροφοδοσίας και με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας τροφοδοτούν περιστρεφόμενο μεταλλικό κύλινδρο (τύμπανο), ο οποίος φέρει καυστήρα μαζούτ ή αερίου. Στο χώρο αυτό, τα αδρανή ξηραίνονται και αποκτούν την επιθυμητή θερμοκρασία.

Τα θερμά αδρανή μεταφέρονται στη μονάδα διαχωρισμού με κατακόρυφο σύστημα κάδων, όπου διαχωρίζονται σε κλάσματα και αποθηκεύονται προσωρινά σε θαλάμους (διαμερίσματα). Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με μία σειρά από κόσκινα, τα οποία είναι τοποθετημένα ακριβώς επάνω από τους θαλάμους αποθήκευσης. Από τους θαλάμους προσωρινής αποθήκευσης λαμβάνονται διαδοχικά ποσότητες αδρανών, οι οποίες αφού ζυγιστούν ανακατεύονται για καθορισμένο χρόνο στο mixer με ήδη προζυγισθείσα άσφαλτο.

Σημαντικό ρόλο στην δημιουργία της παιπάλης παίζει ο ξηραντήρας. Ο ξηραντήρας αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό κύλινδρο και έναν καυστήρα ελαίου ή αερίου. Ο καυστήρας στο Συγκρότημα Παραγωγής ανά παρτίδες, είναι τοποθετημένος στο κατώτατο άκρο του τυμπάνου, δηλαδή στο άκρο της εξόδου (Σχ. 3, 4).



Σχήμα 3. Ξηραντήρας Αδρανών στον Ξηραντήρα.

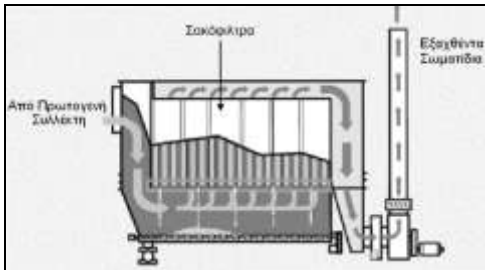


Σχήμα 4. Θερμοκρασιακή κατανομή

Στο αντίθετο άκρο του τυμπάνου από αυτό που βρίσκεται ο καυστήρας, είναι προσαρτημένο το σύστημα απαγωγής σκόνης (κονιοσυλλέκτης), για την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται σε σειρά ειδικά φίλτρα, τα οποία κατακρατούν το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι βασικά τριών ειδών:

- Φυγοκεντρικά.
- Υφασμάτινα.
- Ψεκασμού.

Τα πλέον διαδεδομένα είναι τα υφασμάτινα φίλτρα (Σχ. 5, Φωτ. 1).



Σχήμα 5. Κίνηση των λεπτόκοκκων συστατικών στα σακόφιλτρα. Φωτογραφία 1. Σακόφιλτρα.

Αποτέλεσμα της κίνησης της σκόνης από τον Ξηραντήρα στον Πρωτογενή Συλλέκτη και από εκεί στον δευτερογενή συλλέκτη, είναι η παραγωγή Παιπάλης.

Σημειώνεται εδώ ότι η συνήθης ασβεστολιθική άμμος που χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα και χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή ασφαλτοσκυροδέματος, έχει ποσοστό παιπάλης 15-16%, που υπερκαλύπτει τις ανάγκες των ασφαλτικών στρώσεων. Στον ακόλουθο Πίνακα, φαίνονται τα όρια παιπάλης των πιο διαδεδομένων ασφαλτικών στρώσεων.

Πίνακας 1. Όρια ασφαλτικών στρώσεων.

Τύπος Ασφαλτικής Στρώσης	Όρια Επιτρεπόμενων filler	
Βάση	A-260B	0 – 4 %
	A-260Δ	0 – 4 %
Ισοπεδωτική	A-265B	4 – 8%
Κυκλοφορίας	A-265B	5 – 12%

Από τον ανωτέρω Πίνακα γίνεται κατανοητό ότι σε μία μεγάλη ημερήσια παραγωγή ασφαλτοσκυροδέματος, μεγάλη ποσότητα filler απορρίπτεται. Η ποσότητα αυτή, αποτελεί προϊόν μίας δαπανηρής και ενεργοβόρας διαδικασίας. Στις ακόλουθες φωτογραφίες, φαίνεται το απορριφθέν προϊόν σε δύο διαφορετικά παρασκευαστήρια (Φωτ. 2,3).



Φωτογραφίες 2, 3. Παραδείγματα Απόρριψης filler στα Ασφαλτικά Παρασκευαστήρια 1,2.

### 3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟ ΣΥΛΛΕΧΘΕΝ FILLER

Από 4 διαφορετικά Ασφαλτοπαρασκευαστήρια, συλλέχθηκε filler. Στον ακόλουθο Πίνακα, φαίνονται τα χαρακτηριστικά της «Μητρικής Άμμου» και τα χαρακτηριστικά του filler.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά Μητρικής Άμμου – Filler.

Παραγωγός	Μητρική Άμμος				Filler							
	No 200	I.A.	MB	MB <sub>f</sub>	Ειδ.Β. Blaine	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
1	15,50%	73	0,50	1,10	2,70	2972	1,90	1,10	1,92	50,22	0,52	0,07
2	16,04 %	73	0,50	1,00	2,70	3079	1,97	1,20	2,00	52,17	0,65	0,13
3	14,30%	77	1,67	1,67	2,70	2921	0,12	0,24	0,02	54,79	0,80	0,10
4*	0,94%	50	0,50	-	2,72	2995	1,97	0,28	1,82	49,19	0,70	0,15
5**	11,02%	77	1,00	0	3,20	2372	65,22	16,65	2,00	5,38	0,58	0,12

\*Ασβεστολιθικό filler. \*\* Filler Σκωρίας.

Σημειώνεται εδώ ότι στις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν και στους δύο τύπους filler (Ασβεστολιθικό, Σκωρία), δεν παρατηρήθηκε καμία χημική αλλοίωση, από την παραμονή των αδρανών στον ξηραντήρα.

Προκειμένου να υπολογισθεί η απορροφητικότητα του filler, (στοιχείο απαραίτητο για τον σχεδιασμό της μελέτης σύνθεσης), χρησιμοποιήθηκε η κάτωθι εργαστηριακή διαδικασία [10], δεδομένου ότι δεν υπάρχει τυποποιημένη διαδικασία.

Κυλινδρική μήτρα διαμέτρου 100mm, πληρώνεται με filler, μέχρι βάθους 10mm. Η μήτρα στερεώνεται σε δονητική τράπεζα και παρατηρείται η επιφάνεια του δείγματος, έως ότου αυτή αρχίζει να «γυαλίζει». Αυτό επαναλαμβάνεται για διαφορετικά ποσοστά υγρασίας. Η απορροφητικότητα (σε κατάσταση κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή), θεωρείται ότι επιτυγχάνεται όταν η επιφάνεια αρχίζει να «γυαλίζει» μετά από 4 λεπτά δόνησης (Φωτ. 4).



Φωτογραφία 4.  
Άπορροφητικότητα filler.

#### 4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΑ ΑΝΑΜΕΙΓΜΑΤΑ

Τα αδρανή τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στα δοκιμαστικά αναμείγματα ήταν θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή. Χρησιμοποιήθηκαν τα κλάσματα 4/10, 0/4. Τα χαρακτηριστικά των αδρανών, φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα:

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά αδρανών.

Χαρακτηριστικά	Άμμος	Γαρμπίλι
No 200	14,84%	-
I. A.	72	-
MB/MB <sub>f</sub>	0,4/1,33	-
Ειδικό Βάρος	2,683	2,654
Απορροφητικότητα	2,7	0,4
L. A.	-	26

Χρησιμοποιήθηκε επίσης τσιμέντο CEM II 42,5, τροποποιητής ιξώδους (VMA) και υπερευστοποιητής. Πραγματοποιήθηκαν 2 σειρές από Δοκιμαστικά Αναμείγματα. Η πρώτη σειρά χρησιμοποίησε παιπάλη από τον Παραγωγό 2 και η δεύτερη από τον Παραγωγό 4 (παιπάλη σκωρίας).

Σε κάθε δοκιμαστικό ανάμειγμα στο φρέσκο σκυρόδεμα, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές Slump/Flow, L-Box, V-Funnel (Φωτ. 5-7) και σε σκληρημένη μορφή, έλεγχοι αντοχών σε 1, 7 και 28 ημέρες.



5. Slump/Flow



6. L-Box



7. V-Funnel

Φωτογραφίες 5-7. Εργαστηριακές δοκιμές.

Τα πιο επιτυχημένα δοκιμαστικά αναμείγματα (ανά τύπο filler), καθώς και τα αποτελέσματα των δοκιμών, φαίνονται στον Πίνακα 4:

Πίνακας 4. Δοκιμαστικά Αναμείγματα.

Σύνθεση	Ασβεστολιθικά Αδρανή- Ασβεστολιθικό filler	Ασβεστολιθικά Αδρανή- Filler Σκωρίας
Τσιμέντο II 42,5	380 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
Ασβεστολιθικό filler	120 kg/m <sup>3</sup>	-
Filler Σκωρίας	-	80 kg/m <sup>3</sup>
Άμμος	890 kg/m <sup>3</sup>	890 kg/m <sup>3</sup>
Γαρμπίλι 4/10	680 kg/m <sup>3</sup>	680 kg/m <sup>3</sup>
Ολικό Νερό	238 kg/m <sup>3</sup>	250 kg/m <sup>3</sup>
Viscosity Modifying Admixture (VMA)	0,2 kg/m <sup>3</sup>	0,2 kg/m <sup>3</sup>
Admixture HWRA	4,6 kg/m <sup>3</sup>	5,5 kg/m <sup>3</sup>
Admixture Stabiliser	0,8 kg/m <sup>3</sup>	0,9 kg/m <sup>3</sup>
	t0/t30/t60	t0/t30/t60/t90
Slump/Flow	70-71/64-66/60-62	71-72/70-71/68-64/58-60
L-Box	0,9/0,8/0,7	1,0/1,0/0,8/0,75
V-Funnel	4,8/6,0/11,0	5,0/6,5/7,0/12,0
Αντοχές 1 ημέρας	16,1 MPa	11,7 MPa
Αντοχές 7 ημερών	36,2 MPa	34,0 MPa
Αντοχές 28 ημερών	40,4 MPa	42,5 MPa

Στο Παρασκευαστήριο Σκυροδέματος, πραγματοποιήθηκε παραγωγή 6m<sup>3</sup> για δοκιμαστική διάστρωση σκυροδέματος (Φωτ. 8, 9). Αν και η ενδεδειγμένη λύση είναι η φόρτωση του filler να πραγματοποιείται όπως αυτή του τσιμέντου (σύστημα σιλό-κοχλία), η φόρτωσή του έγινε από την τροφοδοσία των βασικών αδρανών. Η εκφόρτωση του σκυροδέματος έγινε κατευθείαν από την βαρέλα, σε χρόνο μικρότερο από δύο λεπτά.



Εικόνες 8, 9. Δοκιμαστική διάστρωση σκυροδέματος.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η απορριφθείσα παιπάλη του ασφαλτικού συγκροτήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως filler για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, αφού έχει διπλό όφελος, δεδομένου ότι: οι πηγές εξεύρεσης filler είναι δύσκολες και το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα αποκτά οικολογική διάσταση.

## 6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Λυκούδης, Σ. «Η απορριφθείσα παιπάλη του ασφαλτικού Σκυροδέματος ως πληρωτική κονία για SCC», Ημερίδα ΤΕΕ-Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, Μάιος 2008. [1]
- Νικολαΐδης, Αθ. Φ. «Οδοποιία Οδοστρώματα-Υλικά Έλεγχος Ποιότητας, 1996. [2]
- EN 12620, Aggregates for concrete, 2002. [3]
- Anderson, David A. and Joseph P. Tarris. “Characterization and Specification of Baghouse Fines”. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 52, 1983, pp 88-120. [4]
- HANDBOOK 2000, “Hot-Mix Asphalt Paving”. [5]
- Kandahl, Prithvi, S. “Evaluation of Baghouse fines in Bituminous Paving Mixtures”. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 50, 1981, pp 150-210. [6]
- Moosberg–Bustnes, H. “Steel-slag as filler material in concrete”, 2004. [7]
- Moosberg–Bustnes, H., Lagerblad, B. and Forssberg, E. “The function of fillers in concrete”, 2002. [8]
- NAPA, “Evaluation of Baghouse Fines for Hot Mix Asphalt”, 1999. [9]
- Roderick Jones, M. “Concret 2000: Economic and Durable Construction Through Excellence, Volume Two”, 2000. [10]
- Ward, R. G. and J. J. McDougal. Bituminous Concrete Plant Dust Collection system – Effects of Using Recovered Dust in Paving Mix. West Virginia Department of Highways, research report No FHWA/WV-79-003, Charleston, West Virginia, 1979. [11]