

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΥΑΛΟΥ ΑΠΟ ΤΕΦΡΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ

A. Μουτσάτσου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια. Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

N. Ξηρόκωστας

Δρ. Χημικός Μηχανικός, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

H. Μασαβέτας

Χημικός Μηχανικός, cPhD. Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

A. Τζωρτζιάτου

Χημικός Μηχανικός, cPhD. Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Γ. Πιστιόλας

EY. ΓΕ. Πιστιόλας ΑΕ (Agrino)

A. Κυρίτση

Χημικός Μηχανικός, Διευθύντρια ποιότητας της EY. ΓΕ. Πιστιόλας ΑΕ (Agrino)

A. Καραμπέρη

Χημικός Μηχανικός, MSc, cPhD. Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Λέξεις κλειδιά: υδρύαλος, τέφρες αγροτικών παραπροϊόντων, τέφρες αγροτικών υπολειμμάτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: η παρούσα μελέτη διεξήχθη με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης αγροτικών τεφρών. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διεργασίας πραγματοποιήθηκε παραλαβή αρκετών δειγμάτων τέφρας από φλοιούς ρυζιού διαφόρων ποικιλιών και σε διαφορετικές συνθήκες καύσης, καθώς επίσης τέφρα πυρηνόξυλου, στεμφύλων και τέφρα πυρήνων ροδακίνων. Ελήφθη υπόψη η περιεκτικότητα σε αλκάλια και SiO₂ των υλικών ανάλογα με τον τύπο της υδρυάλου (ουδετέρα, αλκαλική και υδρύαλος καλίου). Η παρασκευή της περιελάμβανε την έψηση του υλικού, στις κατάλληλες αναλογίες SiO₂/K₂O, Na₂O των τεφρών στους 1450 °C, απότομη ψύξη και υδροθερμική κατεργασία σε αυτόκλειστο (120 °C, για 2h) και περαιτέρω συμπύκνωση μέχρι κατάλληλου ιξώδους σε

σύγκριση με αυτά που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Από τα πειραματικά αποτελέσματα ήταν εμφανές ότι η τέφρα φλοιών ρυζιού είναι η καταλληλότερη για την παραγωγή υγρής υδρυάλου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες σε διεθνές επίπεδο για την αξιοποίηση τόσο των βιομηχανικών παραπροϊόντων όσο και των απορριμμάτων που προέρχονται από την οικιακή δραστηριότητα. Το έναυσμα γι' αυτές τις μελέτες είναι η ανάγκη για εύρεση οικονομικών μεθόδων για την μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των προαναφερθέντων απορριμμάτων στο περιβάλλον.

Λόγω της συνεχούς αύξησης του ποσού των τεφρών των αγροτικών παραπροϊόντων και υπολειμμάτων, παγκοσμίως γίνονται έρευνες διαχείρισης αυτών των ποσοτήτων αλλά και ανάπτυξη τεχνολογίας με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους ως ά ύλη σε καινοτόμες εφαρμογές αλλά και ως υποκατάστατο άλλων παραδοσιακών υλικών. Στην διεθνή βιβλιογραφία γίνονται αναφορές για χρήση τέφρας κυρίως από τον φλοιό του ρυζιού [Ismail 1996], από άχυρα σταριού [Nielsen 1995], από πυρήνες ελιάς [Mousa 1998] αλλά και από υλικά που ευδοκιμούν στις αναπτυσσόμενες χώρες της Αφρικής και της Ασίας όπου κατά κύριο λόγο η περιφερειακή οικονομία τους στηρίζεται τις αγροτικές καλλιέργειες.

Ένα από τα πιο συνηθισμένα ανόργανα συστατικά των τεφρών είναι το διοξείδιο του πυριτίου το οποίο προέρχεται κυρίως από το φυτό, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προέρχεται και από το υλικό της κλίνης αν φυσικά η τέφρα προέρχεται από αεριοποίηση σε αντιδραστήρα ρευστοστερεάς κλίνης [Paya 2001]. Ο όρος τέφρα είναι πολύ γενικός και περιγράφει όλους τους τύπους τέφρας που έχουν παραχθεί από την καύση αγροτικών παραπροϊόντων. Στην πραγματικότητα ο τύπος της κάθε τέφρας διαφέρει βάση της τεχνικής καύσης ή αεριοποίησης. Το διοξείδιο του πυριτίου στην τέφρα υφίσταται διάφορες δομικές αλλαγές ανάλογα με τις συνθήκες (χρόνος, θερμοκρασία κ.α.) καύσης με αποτέλεσμα και την ανάπτυξη διαφορετικών ιδιοτήτων. Επίσης, οι τέφρες αυτές είναι πλούσιες σε νάτριο και κάλιο. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά τις καθιστούν υποψήφιες για δεκάδες εφαρμογές για την αξιοποίησή τους.

Ειδικότερα, η τέφρα φλοιών ρυζιού είναι ένα εξαιρετο μονωτικό μέσο, με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, υψηλό σημείο ζέσεως και μεγάλο πορώδες. Εφαρμογές της τέφρας φλοιών ρυζιού αποτελούν η χρήση της στη βιομηχανία χάλυβα, ως μονωτικό των καλουπιών χύτευσης, ως δευτερεύον συστατικό για την παραγωγή τσιμέντου [Ajíwe 2000], στην παρασκευή κεραμικών, στην παραγωγή ελαφροβαρών οικοδομικών υλικών, στη χρήση

ως φίλτρο νερού, ως βελτιωτικό εδάφους, στην παραγωγή πυριτίας [Della 2002], στην παραγωγή ζεολίθων [Chareonpanich 2004] κ.α. Επιπρόσθετα, μελετάται η αξιοποίηση τέφρας πυρηνόξυλου για την σταθεροποίηση εδαφών [Mousa 1998], υπάρχουν δε μελέτες για την χρήση της τέφρας άχρου ως ποζολανικού υλικού [Bensted 2000] κ.α.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις πυριτίου, καλίου και νατρίου, βασικά συστατικά της υδρύαλου, οδήγησαν στη σκέψη της θερμικής κατεργασίας των τεφρών για την παραγωγή γυαλιού και περαιτέρω στην υδροθερμική κατεργασία της υαλοποιημένης μάζας για παραλαβή πυριτικού καλίου και πυριτικού νατρίου, υλικό με μεγάλη εφαρμογή στα χρώματα και στα υλικά συντήρησης κτιρίων.

Στην παρούσα μελέτη επιδιώκεται η ανεύρεση των κατάλληλων τεχνικών ώστε η τέφρα των αγροτικών παραπροϊόντων και υπολειμμάτων να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρύαλου. Μετά από την εξέταση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των αγροτικών απορριμμάτων επιλέχθηκαν οι κατάλληλες αναλογίες απορρίμματος και άμμου ή ανθρακικού νατρίου ή καλίου ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή στερεάς αλκαλικής ή ουδέτερης υδρύαλου νατρίου ή καλίου αντίστοιχα. Ακολουθεί υδροθερμική κατεργασία των προκυπτόντων υλικών και μέτρηση των ιδιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκε η φαινόμενη πυκνότητα, το pH και το ιξώδες τους.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η τέφρα φλοιών ρυζιού (rice husk ash: RHA) προέρχεται από τα εργοστάσια της εταιρείας AGRINO και αποτελεί το στερεό υπόλοιπο της καύσης των φλοιών ρυζιού, που περιέχει το σύνολο των ανόργανων συστατικών του φλοιού του ρυζιού, καθώς και μέρος των οργανικών συστατικών του, λόγω ατελούς καύσης και παράγονται περίπου 1- 1.5 τόνοι ημερησίως.

Οι υπόλοιπες τέφρες προέρχονται από την καύση των αντίστοιχων αγροτικών παραπροϊόντων και υπολειμμάτων, δηλαδή του πυρηνόξυλου, του άχρου σταριού, του στέμφυλου και του ροδάκινου σε αντιδραστήρα καύσης στους 900 °C. Με στόχο την βελτίωση των θερμοχημικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα ορισμένα από τα δείγματα αγροτικών παραπροϊόντων ή υπολειμμάτων είτε είχαν αλεσθεί σε διαφορετικά κλάσματα με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας της, είτε είχαν εκπλυθεί με σκοπό την διαλυτοποίηση και απομάκρυνση ευδιάλυτων ανόργανων ουσιών, κυρίως των αλκαλίων, όπου η παρουσία τους ευνοεί τη δημιουργία ευτηκτικών ουσιών και κατά συνέπεια αποθέσεων στον αντιδραστήρα αεριοποίησης ή καύσης. Στόχος είναι λοιπόν να περιληφθούν όλες οι

πιθανές περιπτώσεις τεφρών και να διερευνηθεί το κατά πόσο μεταβάλλεται η ποιοτική τους σύνθεση συναρτήσει της προκατεργασίας που υφίστανται οι πρώτες ύλες. Τα δείγματα των αγροτικών παραπροϊόντων που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Επιλεγθέντα δείγματα

ΥΛΙΚΟ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΟΛΙΑ
OLIVE ΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ	B.T.	Τέφρα από 16h λειτουργία αντιδραστήρα
	O.I.	Αρχικό δείγμα πυρηνόξυλου
	O.F.L>1mm	Τέφρα χονδρόκοκκου κλάσματος
	O.F.L<1mm	Τέφρα λεπτόκοκκου κλάσματος
	O.W.L	Τέφρα από 8 tn πυρηνόξυλου εκπλυμένα για 24h με 180mm H ₂ O
	O.L.	Τέφρα από 8 tn πυρηνόξυλου εκπλυμένα για 24h με 120 mm H ₂ O
PEACH ΠΥΡΗΝΕΣ ΡΟΔΑΚΙΝΟΥ	P.I.	Τέφρα από μη κατεργασμένα κουκούτσια ροδάκινου
STRAW ΑΧΥΡΑ ΣΤΑΡΙΟΥ	S.L.L.	Τέφρα από 8tn αχύρου σταριού εκπλυμένα για 24h με 60mm H ₂ O
GRAPE ΣΤΕΜΦΥΛΑ	G.I.	Τέφρα από μη κατεργασμένα στέμφυλα
RICE ΡΥΖΙ	RHA4	Τέφρα φλοιών ρυζιού: Θερμοκρασία καύσης 74 °C, Πίεση λέβητα 8 bar
	RHA6	Τέφρα φλοιών ρυζιού: Θερμοκρασία καύσης 430 °C, Πίεση λέβητα 0,55 bar
	RHA12	Τέφρα φλοιών ρυζιού

Η χημική σύσταση των αγροτικών παραπροϊόντων παρουσιάζεται στον πίνακα 2. Η ανάλυση έγινε κατά ASTM E 886 – 94, § 1 – 10, ASTM D 3682 – 96, § 8.3, ASTM E885-88 (reapproved 1996) και ASTM D3682-96.

Η μέτρηση του pH των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ISO 6588 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα 2.

Με τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των δειγμάτων έγινε μια προσπάθεια ταυτοποίησης και επιβεβαίωσης υλικών που έχουν σχηματιστεί κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης της πρώτης ύλης, καθώς

επίσης και έλεγχος της συμπεριφοράς των διαφόρων φάσεων που σχηματίζονται στην τέφρα σε περίπτωση που η αεριοποίηση της πρώτης ύλης γίνει σε υψηλότερη θερμοκρασία [Tettamanti 1998].

Η θερμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε θερμοζυγό (Mettler TGA/SDTA851e). Όλες οι θερμικές δοκιμές έγιναν με σταθερό ρυθμό θέρμανσης $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ από τους $25 - 1100^{\circ}\text{C}$ με φέρον αέριο N_2 με παροχή 50 ml/min^{-1} και σε δεύτερη σειρά πειραμάτων με O_2 με παροχή 100 ml/min^{-1} . Το βάρος των δειγμάτων κυμάνθηκε στα 50 mg .

Στα θερμοδιαγράμματα με φέρον αέριο το N_2 , παρουσιάζεται ενδόθερμη κορυφή στους 100°C η οποία κυρίως αντιπροσωπεύει την απώλεια της υγρασίας και την απομάκρυνση των φυσικά απορροφούμενων αερίων και μόνο πάνω από τους 200°C αρχίζει η πυρόλυση. Από τους 200°C μέχρι τους 280°C κυρίως αποσυντίθενται οι ημικυτταρίνες, ενώ από τους $320-370^{\circ}\text{C}$ οι κυτταρίνες. Η ενδόθερμη κορυφή μεταξύ των 375°C και των 450°C μπορεί να αποδοθεί στην ολοκλήρωση αποσύνθεσης της λιγνίνης.

Στον παρακάτω πίνακα 3 δίνονται τα αποτελέσματα της απώλειας πύρωσης σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασιακές περιοχές με φέρον αέριο το O_2 . Η απώλεια πύρωσης μέχρι τους 550°C αντιστοιχεί στη φυσική υγρασία, στα κρυσταλλικά νερά αλλά κυρίως στο ποσοστό του άκαυστου οργανικού άνθρακα του δείγματος. Η απώλεια πύρωσης μέχρι τους 750°C αντιστοιχεί στην πλήρη καύση των οργανικών ενώσεων καθώς και στην έναρξη διάσπασης ορισμένων ενώσεων όπως το ανθρακικό ασβέστιο ή το ανθρακικό μαγνήσιο, αλλά και στην απομάκρυνση πτητικών ενώσεων.

Η κρυσταλλική εξέταση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με περιθλασόμετρο ακτίνων $-X$ (Siemens D5000 diffractometer, Cu K α radiation, Ni Filter) από τις 5 ως τις 65 μοίρες με ρυθμό σάρωσης $3^{\circ}/\text{min}$. Στον πίνακα 4 δίδεται η ορυκτολογική ανάλυση των τεφρών, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι εμφανίζεται και σημαντικό άμορφο ποσοστό.

Η υψηλή περιεκτικότητα των αγροτικών τεφρών σε οξείδια του πυριτίου τις καθιστά υποψήφιες πρώτες ύλες για την παραγωγή πυριτικού νατρίου ή καλίου. Επομένως, είκοσι δύο διαφορετικά δείγματα από τα αγροτικά παραπροϊόντα ετοιμάστηκαν για τήξη σε προθερμασμένο φούρνο στους 1450°C για 2 ώρες. Τα δείγματα αναμίχθηκαν με τις κατάλληλες ποσότητες ανθρακικού νατρίου ή καλίου ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή ουδετέρας ή αλκαλικής στερεάς υδράλου νατρίου ή καλίου άρα μοριακή σχέση $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2:1/3.35\pm 0.05$ και $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2:1/2.00\pm 0.05$ αντίστοιχα, καθώς και στερεάς υδράλου καλίου άρα μοριακή σχέση $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2:1/3.00\pm 0.05$. Οι συνθέσεις των δειγμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 2: Χημική σύσταση αγροτικών παραπροϊόντων

	LOI	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	pH
B.T.	16,61	7,14	17,70	30,92	3,46	8,72	2,86	9,30	0,70	2,60	12,65
O.I.	25,60	6,72	13,35	34,53	2,50	5,48	3,42	5,29	0,83	2,27	11,55
O.F.L>1mm	25,24	2,82	39,69	18,79	1,61	2,71	1,55	5,17	0,01	2,41	12,25
O.F.L<1mm	14,77	5,52	27,77	27,77	1,75	8,09	3,16	8,68	0,02	2,47	12,56
O.W.L	26,83	7,61	26,87	11,73	2,09	6,92	3,05	12,75	0,48	2,16	12,67
O.L.	26,14	7,42	20,06	22,62	2,36	6,41	2,98	9,30	0,53	2,19	12,57
P.I.	30,04	5,47	20,94	22,40	1,76	2,68	3,72	10,58	0,04	2,36	11,93
S.L.L.	18,41	2,88	49,73	18,83	1,77	0,82	1,34	3,01	1,66	1,54	11,53
G.I.	30,15	3,84	21,40	29,32	2,24	3,69	3,27	4,16	0,57	1,38	11,74
RHA4	7,32	0,15	89,29	0,76	0,15	0,82	0,27	0,47			9,21
RHA6	5,14	0,16	87,98	1,96	0,32	1,07	0,31	0,28			10,24
RHA12	5,51	0,21	89,53	0,82	0,25	0,82	0,26	0,33			9,90

Πίνακας 3: Απώλειες πύρωσης αγροτικών τεφρών

% Α.Π.	25-550 °C	550-750 °C	750-1000 °C
BT	5,84	6,98	7,01
O.I.	17,54	13,76	3,04
O.F.L>1mm	15,49	14,14	3,95
O.F.L<1mm	13,18	1,95	2,13
O.W.L	18,95	14,9	2,42
O.L.	28,72	25,12	13,34
P.I.	17,37	13,96	11,36
S.L.L.	17,34	4,07	1,04
G.I.	29,68	10,5	2,47
RHA4	2,93	3,84	0,56
RHA6	3,57	1,51	0,07
RHA12	3,69	1,67	0,15

Ακολούθησε υδροθερμική κατεργασία των προκύπτοντων στερεών δειγμάτων υδρύαλου. Αναλυτικότερα, αρχικά, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αυτόκλειστο με αναλογία στερεάς υδρύαλου/νερό = ¼ παρέμειναν στο αυτόκλειστο για 4 ώρες σε θερμοκρασία 200 °C. Μετά το πέρας της παρασκευής υγρής υδρύαλου πραγματοποιήθηκε για όλα τα δείγματα διήθηση, ογκομέτρηση εκ νέου του υγρού κλάσματος και ζύγιση του στερεού μετά από ξήρανση. Επιπλέον μετρήθηκε η πυκνότητα, το ιζώδες σε θερμοκρασία 25⁰C (Ostwald) και το pH (pH meter CG818 Schott Gerate).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα προϊόντα, εκτός από αυτά του φλοιού ρυζιού, μετά την έψηση παρουσίασαν ανοιχτές αποχρώσεις του καφέ ή του πράσινου χρώματος. Το χρώμα δικαιολογείται από τις συνθήκες έψησης στο φούρνο (αναγωγικές ή οξειδωτικές), την ύπαρξη υψηλού ποσοστού άκαυστου άνθρακα στην τέφρα καθώς επίσης και από την παρουσία τόσο Fe²⁺ όσο Fe³⁺ σε συνάρτηση με την ύπαρξη S.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως στα δείγματα όπου η έκχυση σε καλούπι είναι παχύρρευστη, ακολουθείται από μεγάλη συγκέντρωση Si στην αρχική πρώτη ύλη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το δείγμα 11 (SLL) του οποίου η συγκέντρωση σε SiO₂ ξεπερνά το 60% καθώς και όλα τα δείγματα

με τέφρα ρυζιού (δείγματα 13-22) των οποίων η συγκέντρωση σε SiO₂ ξεπερνά το 85 %.

Πίνακας 4: Ορυκτολογικά χαρακτηριστικά τεφρών

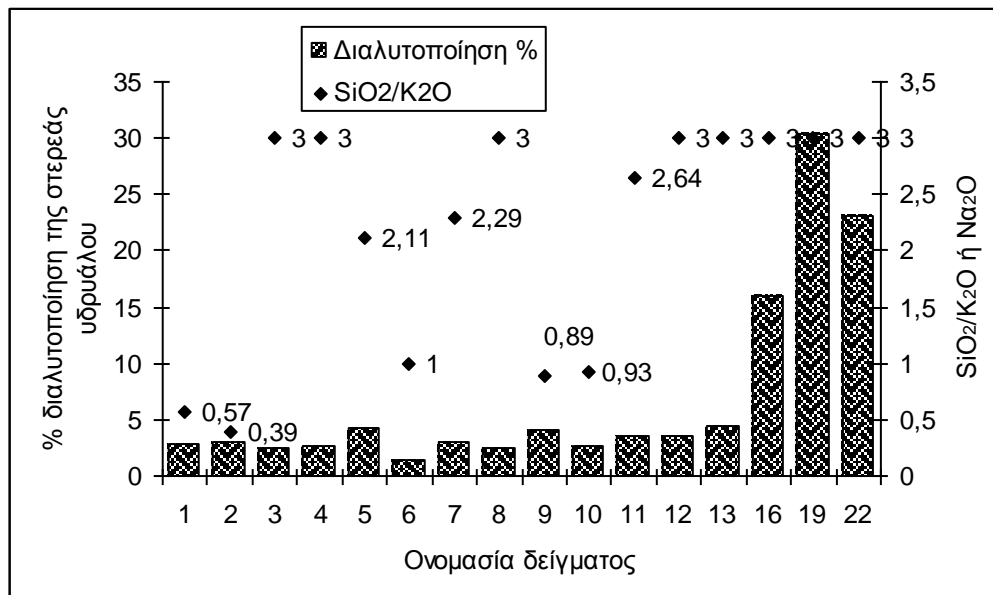
	BT	OI	OFL> 1mm	OFL< 1mm	OWL	OL	PI	SLL	GI	RH A 4	RH A 6	RH A 12
CaCO ₃	√	√	√	√	√	√		√	√			
Calcite												
Ca(OH) ₂	√											
Portlandite												
CaO lime		√	√	√						√		
CaSO ₃												
SiO ₂ quartz	√	√	√	√	√	√	√	√	√			
SiO ₂ christobillite										√	√	√
SiO ₂ sil. oxide ph.						√		√	√			
Fe ₃ O ₄			√					√	√			
Fe ₂ O ₃	√			√	√		√		√			
KCl sylvite	√	√	√	√	√		√		√			
Ca ₂ SiO ₄			√									
Ca ₃ Si ₂ O ₇			√									
Ca ₃ SiO ₅		√							√			
Na ₂ SO ₄	√	√			√							
Na ₄ SiO ₄	√	√						√				
NaAl ₂ Si ₂ O ₈				√				√				
Albite KAlSiO ₄												
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	√			√	√		√					
anorthite Ca ₃ Al ₂ O ₆	√			√								
Etringite NaAlSi ₃ O ₈	√			√			√					
albite												
P ₂ O ₅								√				
ZnO								√				
MgO ₂						√						

Πίνακας 5: Αναλογίες των πρώτων υλών για την παραγωγή υδρυάλου

Ον/σία δ/τος	ΔΕΙΓΜΑ	άμμος	Na ₂ CO ₃	K ₂ CO ₃	SiO ₂ /Na ₂ O	SiO ₂ /K ₂ O
1	BT					0,57
2	OI					0,39
3	OI			+		3
4	OI	+				3
5	OFL>1mm					2,11
6	OFL<1mm					1
7	OWL					2,29
8	OWL			+		3
9	OL					0,89
10	PI					0,93
11	SLL					2,64
12	GI	+				3
13	άμμος+K ₂ CO ₃	+		+		3
14	RHA4		+		2	
15	RHA4		+		3,35	
16	RHA4			+		3
17	RHA6		+		2	
18	RHA6		+		3,35	
19	RHA6			+		3
20	RHA12		+		2	
21	RHA12		+		3,35	
22	RHA12			+		3

Συσχετίζοντας τα αποτελέσματα της διαλυτοποίησης των δειγμάτων της στερεάς υδρυάλου κατά την διάρκεια της υδροθερμικής κατεργασίας στο αυτόκλειστο σε σχέση με τον λόγο $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ προκύπτει το διάγραμμα 1. Είναι φανερό ότι η τέφρα φλοιού ρυζιού είναι η κύρια υποψήφια για την παραγωγή υδρυάλου σε σχέση με τις υπόλοιπες αγροτικές τέφρες, οι οποίες παρουσιάζουν μεν το πλεονέκτημα της παρουσίας αλκαλίων αλλά όχι σε ορυκτολογική μορφή που να ευνοεί την παραγωγή. Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η αντίστοιχη συσχέτιση μόνο για τα δείγματα που προέκυψαν από τέφρα φλοιού ρυζιού.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι τα δείγματα στερεάς υδρυάλου που προέκυψαν από την αρχική τέφρα φλοιών ρυζιού RHA6 παρουσίασαν την μεγαλύτερη διαλυτοποίηση. Η συζήτηση λοιπόν επικεντρώνεται μόνο στα δείγματα υγρής υδρυάλου που προέκυψαν από τις τέφρες ρυζιού.

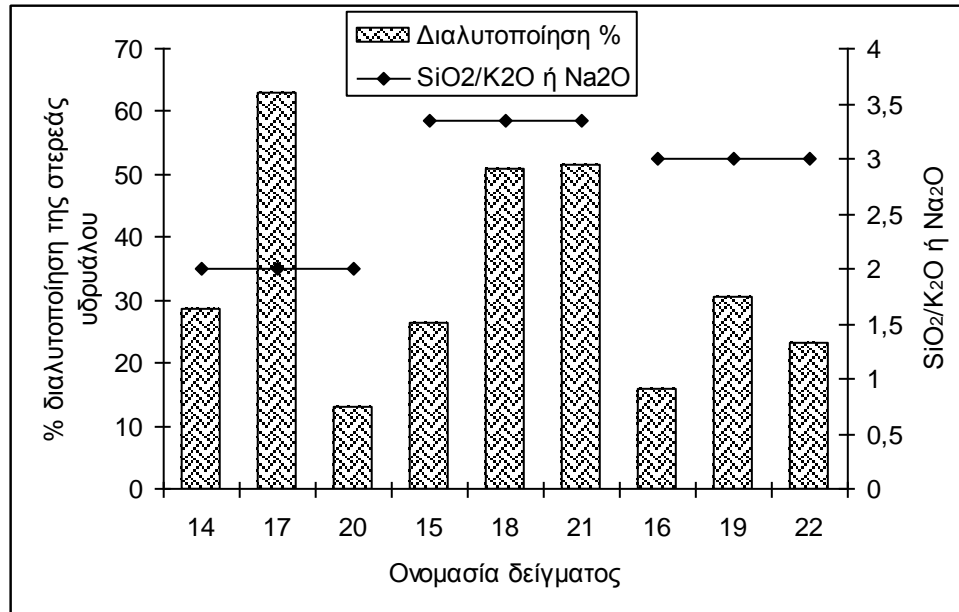


Διάγραμμα 1: Συσχέτιση διαλυτοποίησης στερεάς υδρυάλου με $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$

Τα αποτελέσματα από την μέτρηση της φαινόμενης πυκνότητας, του ιξώδους και του pH των υγρών υδρυάλων από τέφρα φλοιού ρυζιού παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Βάση των μετρήσεων του pH των υγρών υδρυάλων συμπεραίνεται ότι προκύπτουν αλκαλικές υδρυάλου με pH της τάξης 10-11. Από τις τιμές της φαινόμενης πυκνότητας καθώς και του κινηματικού ιξώδους των δειγμάτων λαμβάνοντας υπόψη ότι οι τιμές του κινηματικού ιξώδους των εμπορικών υδρυάλων κυμαίνονται περί τα $3,8 \text{ mm}^2/\text{sec}$, είναι φανερό ότι απαιτείται

συμπύκνωση των δειγμάτων, διότι οι μετρηθείσες τιμές είναι πολύ μικρότερες. Επομένως, ακολούθησε συμπύκνωση των δειγμάτων μέχρι το μισό του αρχικού όγκου τους και μετρήθηκε εκ νέου το κινηματικό ιξώδες.



Διάγραμμα 2: Συσχέτιση διαλυτοποίησης στερεάς υδρνώδης από τέφρα φλοιού ρυζιού με SiO₂/K₂O ή Na₂O

Πίνακας 6: Μέτρηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των υγρών υδρνώδων από τέφρα φλοιού ρυζιού.

Ονομασία δείγματος	Φαινόμενη πυκνότητα (g/mL)	pH	Κινηματικό ιξώδες πριν τη συμπύκνωση (mm ² /sec)	Κινηματικό ιξώδες μετά την συμπύκνωση (mm ² /sec)
14	1,08	11,2	0,72	2,94
15	1,01	10,7	0,73	2,92
16	0,91	10,9	0,75	2,71
17	0,99	11,1	0,71	3,48
18	0,91	10,9	0,83	3,13
19	0,66	10,7	0,71	2,80
20	0,92	11,2	0,75	3,75
21	0,69	10,6	0,73	3,58
22	0,88	10,8	0,76	3,52

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να εξετάσει την πιθανή αξιοποίηση τερφρών αγροτικών παραπροϊόντων και υπολειμμάτων για την παραγωγή υδρύαλου. Από τα αποτελέσματα είναι φανερό ότι με τις κατάλληλες αναλογίες $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ή $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ όλα τα δείγματα τέφρας αγροτικών παραπροϊόντων ή υπολειμμάτων μπορούν να υαλοποιηθούν. Στην συνέχεια η υδροθερμική κατεργασία τους σε αυτόκλειστο καταδεικνύει την δυνατότητα παραγωγής υγρής υδρύαλου. Από την υδροθερμική κατεργασία διαφαίνεται ότι όλα τα δείγματα μπορούν να δώσουν σε ένα βαθμό υγρή υδρύαλο με την τέφρα φλοιού ρυζιού να δίνει μακράν τα καλύτερα αποτελέσματα. Γενικότερα, η χρήση των αγροτικών παραπροϊόντων δείχνει εφαρμόσιμη για την παραγωγή υδρύαλου και αναμένεται η χρήση του παραγόμενου προϊόντος σε ειδικές εφαρμογές να διασαφηνίσει τη καταλληλότητα του.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ismail, M.S., Waliuddin, A.M., Effect of rice husk ash on strength concrete, 1996. Construction and Building Material; 10(7): 521-526
- Nielsen, C., 1995. Utilization of straw and similar agricultural residues, Biomass and Bioenergy; 9: 315-323.
- Mousa, F.A., Munjed, M.A., Soil stabilization with burned olive waste, 1998. Applied Clay Science; 13: 219-230
- Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Mellado, A., Ordonez, L.M., 2001. Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method, Cement and Concrete Research; 31: 227-331
- Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., Akigwe F.C., 2000. A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash, Bioresource Technology; 73:37-39
- Della, V.P., Kuehn, I., Hotza D., 2002. Rice husk ash as an alternate source for active silica production, Materials Letters; 57: 818-821
- Chareonpanich, M., Namto, T., Kongkachuichay, P., Limtrakul, J., 2004 Synthesis of ZSM-5 zeolite from lignite fly ash and rice husk ash, Fuel Processing Technology; 85 (15): 1623-1634
- Bensted, J., Munn, J., 2000. A discussion of the paper "Study of pozzolanic properties of wheat straw ash" by Biricik H., Akoez F., Berktaý I., Tulgar A.N., Cement and Concrete Research; 30: 1507-1508
- Tettamanti, M., Collina, E., Lasgani, M., Pitea, D., Grasso, D., La Rosa, C., 1998. Characterization of fly ash from municipal solid waste incinerators using differential scanning calorimetry, Thermochimica Acta; 321: 133-141