

Κάθε χρόνο παράγονται δισεκατομμύρια ποτήρια καφέ.

Το σημαντικότερο ποσοστό αυτών καταλήγει σε χώρους ταφής και μολύνει το περιβάλλον. Για αυτό έχει θεωρηθεί απαραίτητο να δημιουργηθούν ποτήρια καφέ - και γενικότερα συσκευασίες - οι οποίες να είναι πιά φιλικές προς το περιβάλλον.

## Υπάρχουσες Λύσεις

Υπάρχουν διάφορες λύσεις που έχουν προταθεί για αυτό  
αλλά έχουν όλες αρκετά προβλήματα

### Επαναχρησιμοποιούμενα Ποτήρια

- + Φιλικά προς το περιβάλλον  
καθώς μειώνουν τα  
απόβλητα
- + Φθηνά καθώς χρησιμοποιούνται  
πολλές φορές
- Δεν είναι τόσο πρακτικά

### Αδιαβροχοποιημένο Χαρτί

- + Φθηνή και εύκολη  
λύση
- Έχουν αρκετά  
υποδιέστερη ποιότητα από  
τα πλαστικά

### Ποτήρια με επικάλυψη από LDPE

- + Πολύ πιο φιλικά προς  
το περιβάλλον από τα  
παραδοσιακά πλαστικά  
έχοντας όμως παρόμοια  
ποιότητα
- Όχι αρκετά φιλικά προς  
το περιβάλλον για να  
θεωρηθεί μόνιμη λύση

## Προτεινόμενες Λύσεις

Για αυτό οδηγούμαστε σε βιοδιασπώμενα προϊόντα με έμφαση στα βιοπολυμερή όπως το πολυγαλακτικό οξύ (PLA), το ηλεκτρικό πολυβουτυλένιο (PBS) ή τα πολυυδροξυαλκανοϊκά (PHAs). Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως επικάλυψη σε χαρτί ή από μόνα τους για την δημιουργία ενός πλαστικού ποτηριού.

### - Πλεονεκτήματα

Φιλικά προς το περιβάλλον  
καθώς είναι βιοαποδομήσιμα

Μπορούν να είναι το ίδιο  
ποιοτικά με τα παραδοσιακά  
πλαστικά ποτήρια

### - Μειονεκτήματα

Είναι ακριβά και δεν  
παράγονται μαζικά

## Προδιαγραφές

Μία κλασσική τεχνική αξιολόγησης ενός νέου προϊόντος είναι να το συγκρίνουμε με κάποιο benchmark το οποίο έχει επιτυχία στον τομέα αυτόν. Πχ για πλαστικά ποτήρια μπορεί να συγκριθεί με το πολυστυρένιο (PS). Τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι

Εύκολη κατεργασία όσον αφορά το ιξώδες

Υψηλό μέτρο ελαστικότητας

Χαμηλή ευθραυστότητα

Υψηλή θερμοκρασία θερμικής παραμόρφωσης (HDT)

Χαμηλό κόστος

Αυτός ο συνδυασμός είναι δύσκολο να βρεθεί σε άλλα υλικά

## Περιβαλλοντική Επίδραση

Υπάρχουν 2 βασικά στάδια στα οποία έχει σημασία να αξιολογηθεί η περιβαλλοντική επίδραση του υλικού.

### Παραγωγή

Πρέπει το προϊόν να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές και οι διεργασίες που χρησιμοποιεί να μην μολύνουν το περιβάλλον.

### Απόρριψη

Πρέπει κατά την απόρριψη του, το προϊόν να διαχειρίζεται εύκολα και να μην μολύνει το περιβάλλον (συνήθως ικανοποιείται από την βιοαποδομησιμότητα του).

Πρόκειται για μία πολύ μεγάλη αγορά η οποία είναι εύαισθητη σε αλλαγές. Πρέπει να αξιολογηθούν οικονομικά οι επιλογές και να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στις υπάρχουσες.

## Πλεονεκτήματα

Εφαρμόζεται εύκολα,  
καθώς είναι σαν τεχνολογία  
ίδια με την επικάλυψη από LDPE

Φθηνή λύση καθώς απαιτείται μικρή  
ποσότητα πολυμερούς

## Μειονεκτήματα

Πρέπει να διαχειριστείς και το χαρτί και το  
πολυμερές στο τέλος ζωής του προϊόντος  
το οποίο μπορεί να απαιτεί διαχωρισμό

Τα χάρτινα ποτήρια ακόμη και με αυτήν  
την επικάλυψη είναι ποιοτικά  
υποδιέστερα των πλαστικών

# Μίγματα PLA-PBS για πλαστικά ποτήρια

Βιοπολυμερή όπως το PLA και το PBS μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αντικατάσταση στα υπάρχοντα πλαστικά ποτήρια. Ιδιαίτερα διερευνημένα είναι τα μίγματα αυτών των 2.

## PLA

- + Υλικό με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες
- + Το πιο διαδεδομένο βιοπολυμερές
  - Ψαθινό υλικό
  - Κακή θερμική αντοχή
  - Έχει μεγάλο χρόνο βιοαποικοδόμησης

## PBS

- + Εύκολα κατεργάσιμο
- + Πολύ καλή θερμική αντοχή και σταθερότητα
- + Υψηλή Αντοχή σε κρούση
  - Κακές μηχανικές ιδιότητες πέραν αυτού

## Μίγμα PLA-PBS

Υλικό με πολύ καλές θερμομηχανικές ιδιότητες το οποίο είναι εύκολο στην κατεργασία.  
Ικανό για αντικατάσταση του πολυστυρενίου

Συχνά προστίθεται και κάποια ουσία όπως το talc το οποίο δρα ως πυρήνας κρυστάλλωσης και βελτιώνει ακόμη περισσότερο τις θερμομηχανικές ιδιότητες του υλικού



## Πολυυδρόξυαλκανοϊκα (PHAs)

Τα πολυυδρόξυαλκανοϊκα είναι μία ομάδα πολυεστέρων οι οποίοι παράγονται από μικροοργανισμούς.

Το βασικότερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι από τα πιο βιοδιασπώμενα υλικά στην φύση. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα είναι από τα λίγα υλικά που μπορούν να αποδομηθούν χωρίς βιομηχανικές συνθήκες.

Degree of Biodegradation	Material
Readily biodegradable (in seawater or residential composting)	PHA Regenerated cellulose
Biodegradable at large scale (municipal/industrial composting)	PLA PLA-PHA blends Thermoplastic Starch (TPS) TPS-PLA blends Bio-PBS TPS-bio-PBS blends TPS-PHA blends

Το βασικότερο PHA που μελετάται είναι το PHB (poly-hydroxybutyrate), ένα υψηλά κρυσταλλικό πολυμερές με πολύ καλές θερμομηχανικές ιδιότητες και καλή αντοχή σε υγρά. Θα ήταν ίσως ιδανικό σαν επιλογή για την εφαρμογή αυτή, αλλά έχει αρκετά προβλήματα αυτή τη στιγμή.

# Προβλήματα του PHB και διόρθωσή τους

Το PHB είναι ένα υλικό το οποίο παρότι χρήσιμο έχει αρκετά προβλήματα. Αρχικά είναι δύσκολο στην κατεργασία καθώς 5 με 10 βαθμούς κελσίου πάνω από το σημείο τήξης του, το υλικό αρχίζει να αποσυντίθενται. Επίσης, είναι ψαθηρό υλικό με  $T_g$  κοντά στη θερμοκρασία δωματίου και είναι αρκετά πιο ακριβό από άλλα βιοπολυμερή τα οποία ήδη θεωρούνται ακριβά. Ακολουθούν κάποιες πιθανές λύσεις στα προβλήματα του.

## Βιολογικά πρόσθετα

+ Πολύ φθηνά πρόσθετα τα οποία μπορούν να μειώσουν το κόστος του PHB βελτιώνοντας όμως και τις ιδιότητες του

- Δεν φτάνουν από μόνα τους για να λύσουν το πρόβλημα της τιμής του

## Προσθήκη HV

Το HV είναι μία "συγγενής" ουσία του PHB η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμπολυμερή με αυτό δημιουργώντας το PHBV.

Αυτό είναι ένα πολυμερές το οποίο διορθώνει βασικά προβλήματα του PHB όπως ότι του δίνει μεγαλύτερο εύρος κατεργασίας μειώνοντας το σημείο τήξης του και το κάνει λιγότερο ψαθηρό

Τα βιοπολυμερή όπως προαναφέρθηκε και ιδιαίτερα μάλιστα τα PHAs είναι πολύ ακριβά υλικά σε σχέση με τα συμβατικά πλαστικά. Για να υιοθετηθούν μαζικά απαιτείται κάποια τεχνολογία που θα μπορέσει να ρίξει την τιμή τους.

Τα βιοδιυλιστήρια είναι εργοστάσια εκμετάλλευσης βιοαποβλήτων για παραγωγή χρήσιμων προϊόντων και θεωρείται πως είναι ο τρόπος με τον οποίο θα υιοθετηθούν μαζικά τα βιοπολυμερή.

Η χρήση αποβλήτων ως πρώτη ύλη σημαίνει πως α) τα προϊόντα θα είναι πιο φθηνά επειδή έχουν φθηνή πρώτη ύλη και β) πως τα βιοδιυλιστήρια βοηθούν πολύ στην κυκλική οικονομία. Καθώς παράγονται πολλά χρήσιμα προϊόντα από ένα βιοδιυλιστήριο, θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην αντικατάσταση όχι μόνο των συμβατικών πλαστικών αλλά γενικότερα πολλών πετρελαιοκλών χημικών.

Για να συγκριθεί η περιβαλλοντική επίδραση των προϊόντων που προτείνονται έγινε μία ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων μέσω του λογισμικού SimaPro και της βάσης δεδομένων EcoInvent.

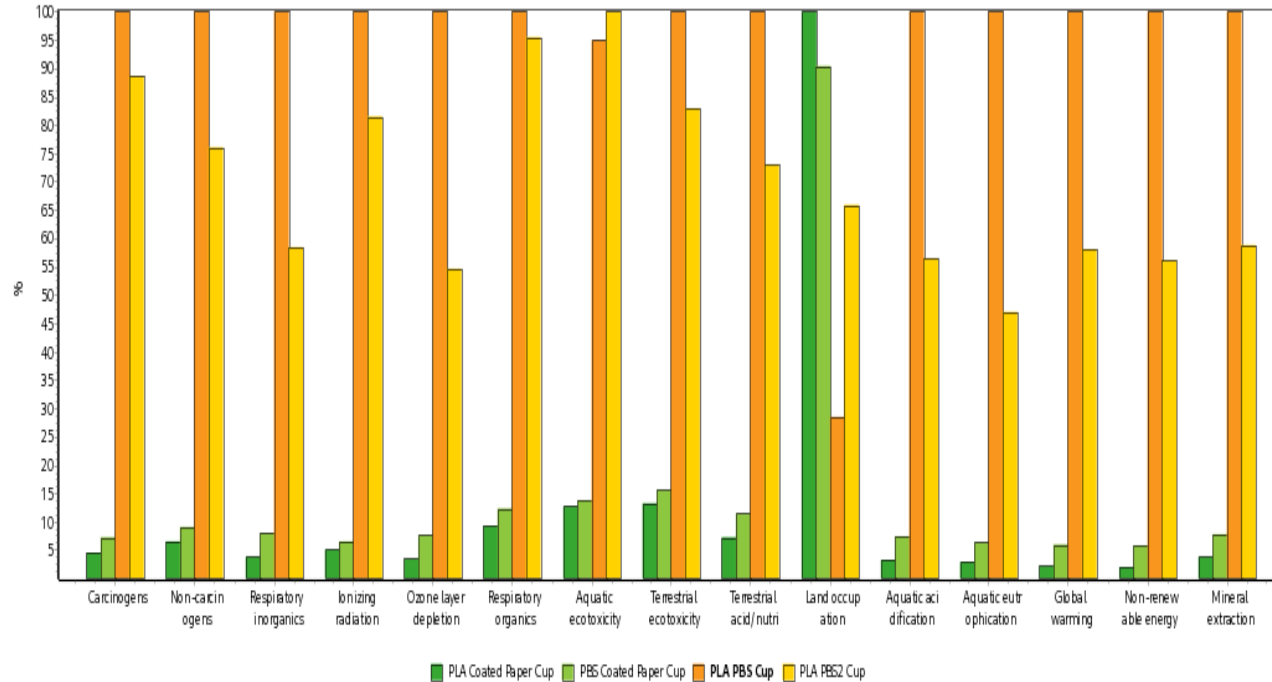
Βέβαια, καθώς το λογισμικό δεν περιέχει πληροφορίες για την ανακύκλωση ή βιοαποικοδόμηση βιοπλαστικών, δεν εξετάστηκε ολόκληρος ο κύκλος ζωής των προϊόντων αλλά μόνο η σύνθεση τους. Επίσης, επειδή δεν υπάρχουν ούτε πληροφορίες για μικροοργανισμούς, δεν υπήρξε δυνατότητα να εισαχθεί το προϊόν με βάση το PHB. Βέβαια, παρότι ελλιπής, η ανάλυση αυτή μπορεί να προσφέρει κάποιες χρήσιμες πληροφορίες.

## Μοντελοποίηση των προϊόντων στο LCA

Πίνακας 1: Πίνακας μοντελοποίησης προϊόντων στο LCA

Προϊόν	Πρώτες Ύλες	Ποσότητες	Διεργασίες
Χάρτινο ποτήρι με επικάλυψη από PLA	Poly lactide Granulate	0.27 g	Εκβολή
	Sulfate Paper (unbleached)	9.55 g	
Polybutylene Succinate (PBS) (32.508 g)	Succinic Acid	21.24 g	140 MJ/kg
	1-4-Butanediol	17.82 g	Ενέργεια
Χάρτινο ποτήρι με επικάλυψη από PBS	Polybutylene Succinate	0.14 g	Εκβολή
	Sulfate Paper (unbleached)	9.55 g	
Ποτήρι από PLA-PBS 1	Poly lactide Granulate	1.5 g	Εκβολή
	Polybutylene Succinate	3.3 g	Έγχυση
	Talc	1.2 g	
Polybutylene Succinate co-Adipate (PBSA) (32.508 g)	Succinic Acid	10.62 g	140 MJ/kg
	Adipic Acid	10.62 g	Ενέργεια
	1-4-Butanediol	17.82 g	
Ποτήρι από PLA-PBS 2	Poly lactide Granulate	4.8 g	Εκβολή
	PBSA	1.2 g	Έγχυση

# Αποτελέσματα του LCA



Method: IMPACT2002+ V2.15 / IMPACT2002+ / Characterization  
Comparing 1 p 'PLA Coated Paper Cup', 1 p 'PBS Coated Paper Cup', 1 p 'PLA PBS Cup' and 1 p 'PLA PB52 Cup'

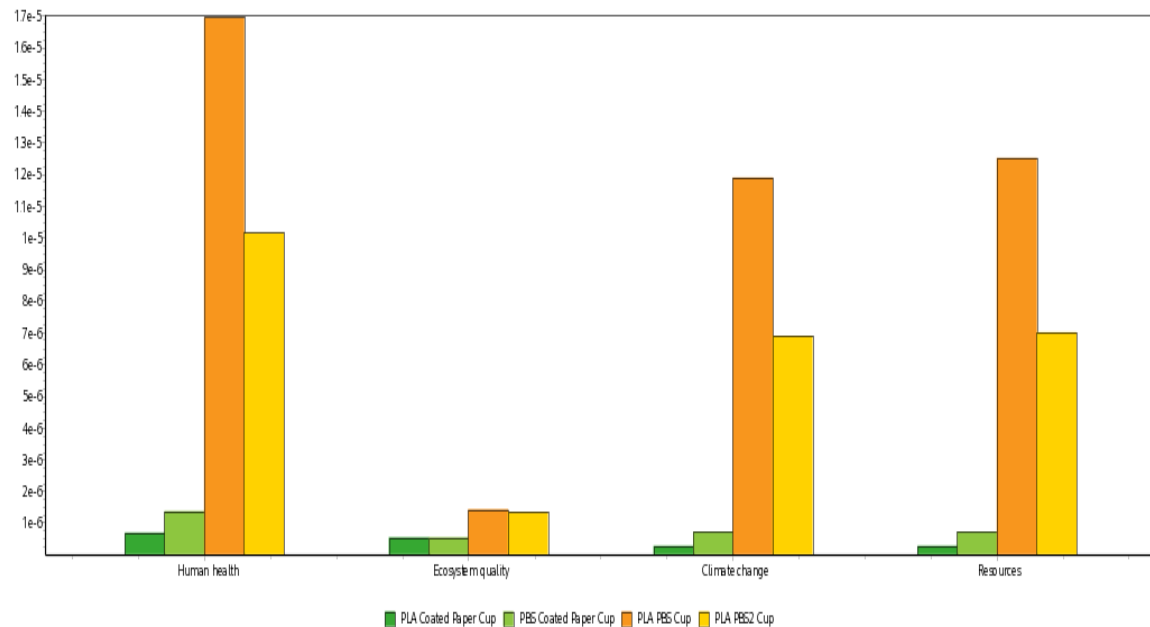
Συμπεράσματα:

- Τα χάρτινα ποτήρια φαίνεται να είναι τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον
- Το PBS φαίνεται να είναι λιγότερο φιλικό προς το περιβάλλον σε σχέση με το PLA
- Το ποτήρι που περιέχει talc και περισσότερο PBS έχει την μεγαλύτερη αρνητική επίδραση στο περιβάλλον

Όμως, καθώς η μελέτη αυτή είναι σχετικά ελλιπής, δεν είναι σίγουρο πως αυτή η εικόνα αντανακλά όντως την πραγματικότητα.

Σχήμα 1: Επίδραση των διάφορων προϊόντων στο περιβάλλον

## Αποτελέσματα του LCA - Συνέχεια



Method: IMPACT 2002+ V2.1.5 // IMPACT 2002+ // Normalization  
Comparing 1 p 'PLA Coated Paper Cup', 1 p 'PBS Coated Paper Cup', 1 p 'PLA PBS Cup' and 1 p 'PLA PBS2 Cup'.

Σκοπός του διαγράμματος αυτού είναι να παρατηρήσει κανείς πως παρόλο που τα πλαστικά ποτήρια φαίνεται πως είναι πολύ χειρότερα προς το περιβάλλον από τα χάρτινα αυτή η διαφορά μπορεί να θεωρηθεί και αμελητέα καθώς είναι μία τάξη μεγέθους μεταξύ το  $10^{-6}$  και το  $10^{-5}$ .

Έτσι, μπορεί να διαπιστωθεί πως όλες αυτές οι επιλογές είναι αρκετά φιλικές προς το περιβάλλον κατά την σύνθεσή τους.

Σχήμα 2: Απόλυτες επιδράσεις του κάθε προϊόντος στο περιβάλλον

## Σενάρια τέλους ζωής των προϊόντων

Καθώς η ανάλυση κύκλου ζωής που έγινε δεν έλαβε υπόψη την σενάρια τέλους ζωής, κάποια τέτοια σενάρια θα αναλυθούν εδώ με βάση τη βιβλιογραφία.

### Χάρτινα Ποτήρια

Απαιτείται είτε ταυτόχρονη διαχείριση χαρτιού-πολυμερούς ή διαχωρισμός.

Στην πρώτη περίπτωση, ο χρόνος αποικοδόμησης θα είναι αρκετά αυξημένος από αυτόν που πραγματικά χρειάζεται το χαρτί λόγω της ύπαρξης του πολυμερούς, αλλά σε άλλη περίπτωση πρέπει να συμπεριληφθεί στην ανάλυση το κόστος του διαχωρισμού των δύο υλικών, το οποίο κάνει την επιλογή αυτή λιγότερο επιθυμητή.

### Πλαστικά Ποτήρια

Δεν απαιτείται κάποιος διαχωρισμός και για αυτό τα προϊόντα αυτά είναι πολύ πιο εύκολα διαχειρίσιμα. Έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε να μπορούν να αποικοδομηθούν εύκολα στις κατάλληλες συνθήκες.

Ακόμη, αν επιλεγθεί συγκεκριμένα το PHBV δεν απαιτούνται καν τόσο ιδιαίτερες συνθήκες. Καθώς μπορεί να αποδομηθεί εύκολα σε διάφορες συνθήκες είναι σίγουρα το πιο επιθυμητό προϊόν από άποψη διαχείρισης στο τέλος ζωής του.



Θεωρείται πως η πιο εύκολη επιλογή να υιοθετηθεί τα επόμενα χρόνια για πιο φιλικά προς το περιβάλλον ποτήρια καφέ είναι η χρήση χάρτινου ποτηριού με επικάλυψη από PLA. Τα χάρτινα ποτήρια είναι μία αρκετά δοκιμασμένη τεχνολογία και η αντικατάσταση της επικάλυψης με ένα βιοπολυμερές θα το κάνει πολύ πιο φιλικό προς το περιβάλλον, χωρίς να αυξηθεί πολύ το κόστος καθώς χρειάζεται μικρή ποσότητα.

Όμως, για πολλούς, τα πλαστικά ποτήρια θεωρούνται αρκετά πιο ποιοτικά και αναντικατάστατα. Για αυτό θεωρείται πως καθώς αυξάνεται η έρευνα στη βιοπολυμερή και το κόστος τους μειώνεται η καλύτερη λύση θα είναι η χρήση ενός ποτηριού από μίγμα PLA-PBS. Είναι ένα μίγμα το οποίο έχει αρκετά παρόμοιες ιδιότητες με τα παραδοσιακά πλαστικά ποτήρια και για αυτό, μόλις η τιμή του το επιτρέψει, πρέπει να γίνει η πρωτεύουσα επιλογή για ποτήρια καφέ.

## PHAs

Τα PHAs πρέπει να μελετηθούν περισσότερο σαν τεχνολογία και να γίνουν περισσότερες μελέτες πάνω στην εφαρμογή τους στην συσκευασία και ιδιαίτερα στα ποτήρια καφέ.

Βάση προδιαγραφών και περιβαλλοντικής επίδρασης είναι σίγουρα η πιο επιθυμητή επιλογή για αυτό μόλις αναπτυχθούν περισσότερο θα αξίζει σίγουρα η χρήση τους

## Βιοδιυλιστήρια

Το αντικείμενο των βιοδιυλιστηρίων, παρότι σχετικά αναπτυγμένο σε ερευνητικό επίπεδο πρέπει να αρχίσει να εφαρμόζεται περισσότερο και πρακτικά. Αποτελεί σίγουρα το μέλλον των βιοπολυμερών και τον τρόπο με τον οποίο αυτά θα αποκτήσουν ανταγωνιστικές τιμές, αλλά επίσης αποτελεί και μία τεχνολογία που θα συντελέσει στην διαχείριση αποβλήτων και την απώτερη κυκλική οικονομία

## Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες - Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Σε μελλοντικές μελέτες αυτού του αντικειμένου είναι αρκετά σημαντικό να γίνει μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση κύκλου ζωής η οποία θα περιλαμβάνει όλα τα προϊόντα που μελετώνται και ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, δηλαδή από την παραγωγή τους μέχρι την διαχείριση τους ως απόβλητα.

Έτσι μόνο θα μπορέσει η ΑΚΖ να δώσει μία ολοκληρωμένη εικόνα της περιβαλλοντικής επίδρασης του κάθε προϊόντος.

Επίσης, σε μία τέτοια ανάλυση αξίζει να χρησιμοποιηθεί και κάποιος περιβαλλοντο-οικονομικός δείκτης, πχ ο Eco-Efficiency (E/E). Αυτός είναι ένας δείκτης ο οποίος συνδυάζει την περιβαλλοντική επίδραση του προϊόντος με το κόστος του σε έναν αριθμό, ο οποίος μπορεί μετά να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει το κάθε προϊόν.

Με αυτά τα εργαλεία, θα μπορούσε να γίνει μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση η οποία θα είχε πιο βέβαια συμπεράσματα

Σας ευχαριστώ πολύ για τον χρόνο σας

Με εκτίμηση,  
Βιδιάνος Γιαννίτσης