

Μαγνητικά Υλικά

Άσκηση 1

Βρόχοι Υστέρησης

Ηλιόπουλος Γεώργιος
03118815

Για την συγκεκριμένη άσκηση μας δίνονται οι μετρήσεις βρόχου υστέρησης για δύο διαφορετικά μαγνητικά υλικά και μας ζητείται ο υπολογισμός και η σχεδίαση κρίσιμων μεγεθών.

Για την εξαγωγή των γραφικών παραστάσεων χρησιμοποιήθηκε `python` και η εισαγωγή των δεδομένων σε αυτή έγινε με την βιβλιοθήκη `pandas`. Αναλυτικά ο κώδικας βρίσκεται αναρτημένος στο [github](#).

Για το πρώτο υλικό μας δόθηκαν 888 πειραματικές μετρήσεις και για το δεύτερο 1002.

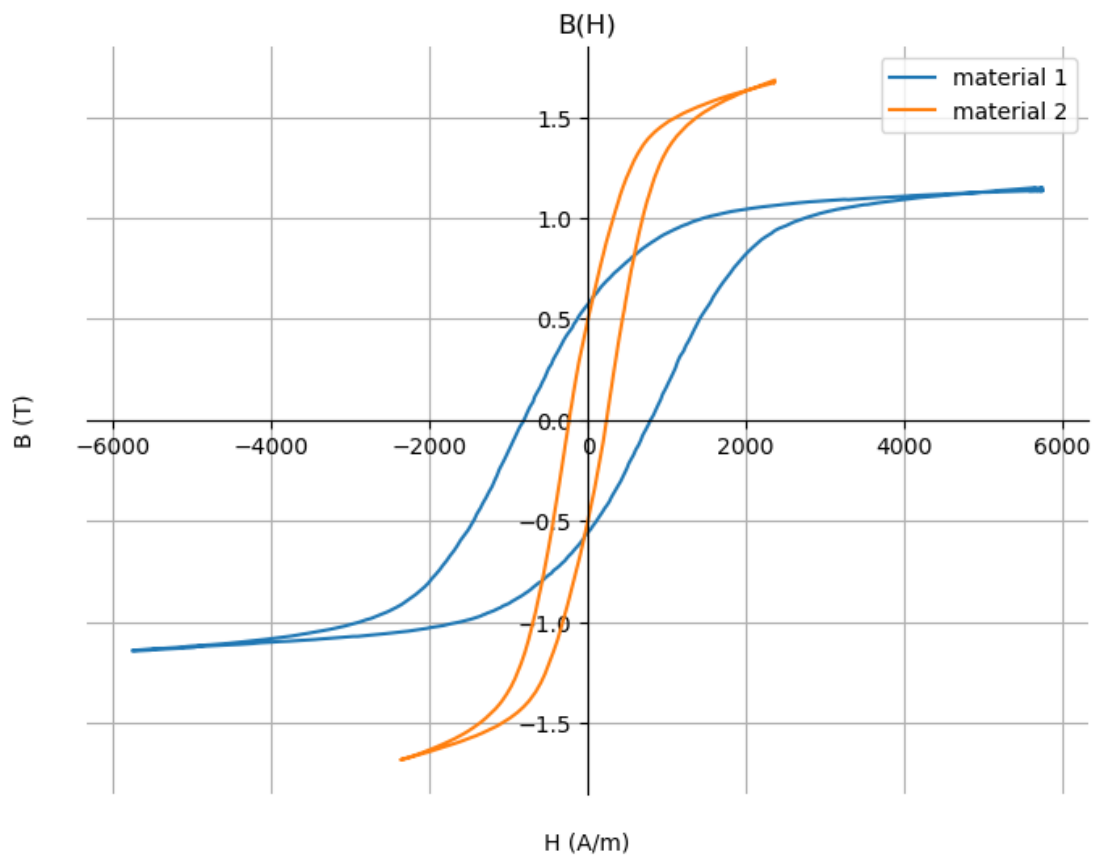
Στην εικόνα 1 φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης, δηλαδή η μαγνητική επαγωγή B ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο H , για τα δύο υλικά σε κοινό γράφημα. Παρατηρούμε πως το δεύτερο υλικό έχει πιο στενό βρόχο από το πρώτο οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε πως το δεύτερο είναι πιο μαλακό από το πρώτο. Κανένα από τα δύο υλικά βέβαια δεν είναι σκληρό αφού και για τα δύο ισχύει $H_c < 1 \text{ kA/m}$ (πίνακας 5) που θα μπορούσε να είναι ένα όριο για τη παραμένουσα μαγνήτιση των μαλακών μαγνητικών υλικών.

Το δεύτερο υλικό λοιπόν (το πιο μαλακό) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πιο καλά ως πυρήνας για ηλεκτρικό κινητήρα αφού λόγω της γρήγορης μαγνήτισής του απαιτεί ελάχιστη ενέργεια.

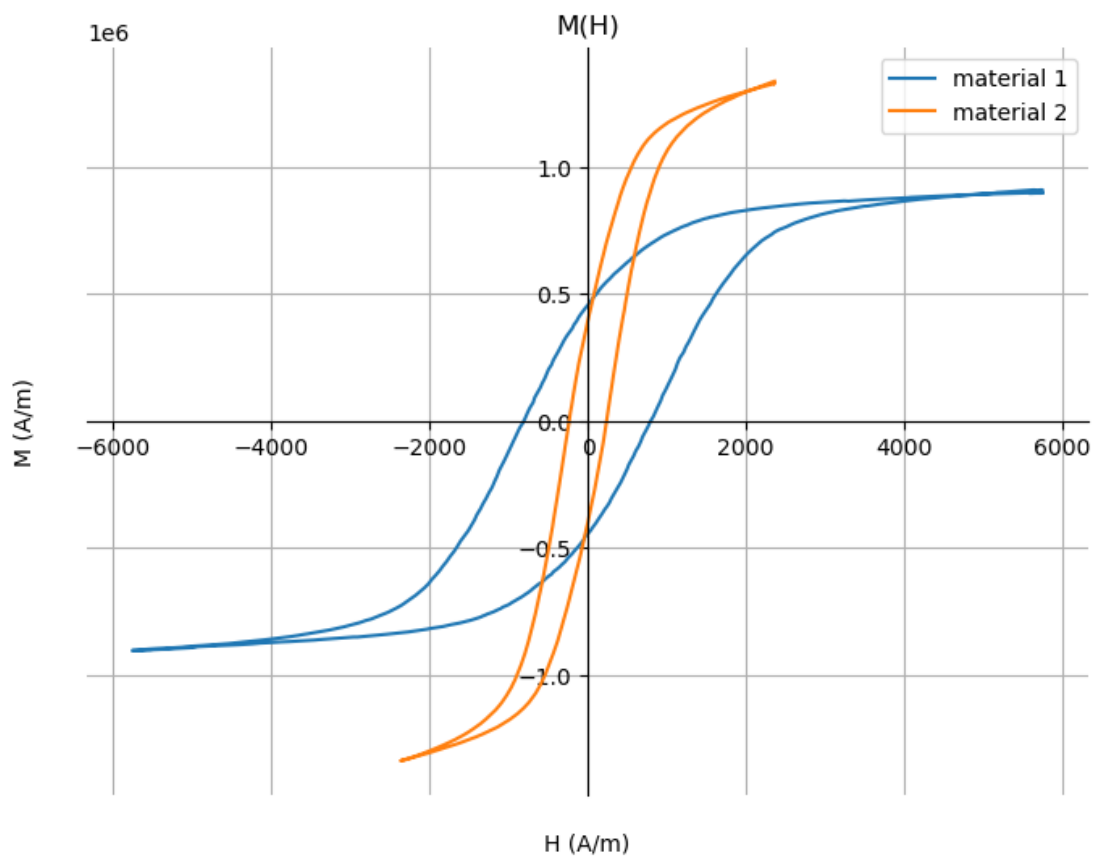
Στη συνέχεια στην εικόνα 2 φαίνεται η μαγνήτιση ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο και για τα δύο υλικά σε κοινό γράφημα. Η μαγνήτιση $M(H)$ προκύπτει από τον τύπο:

$$B = \mu_0 \cdot (H + M)$$

$$\Rightarrow M(H) = \frac{1}{\mu_0} B - H$$



Εικόνα 1: Μαγνητική επαγωγή ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο και για τα δύο υλικά

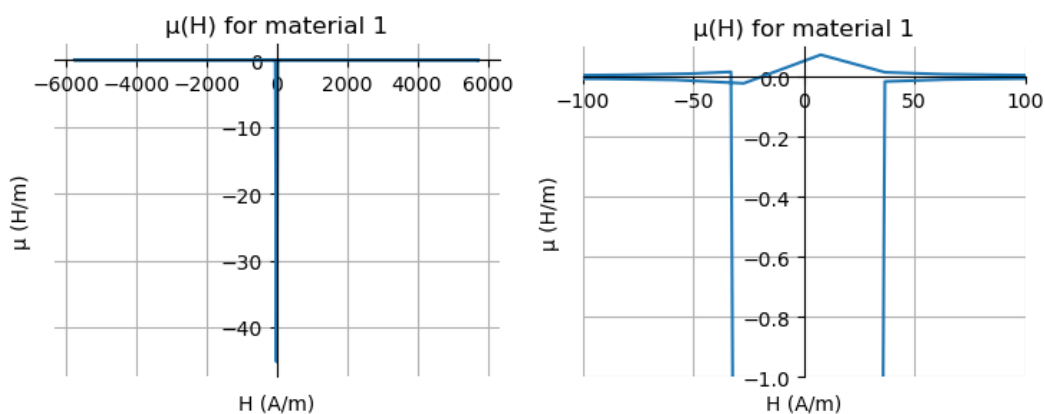


Εικόνα 2: Μαγνήτιση ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο και για τα δύο υλικά

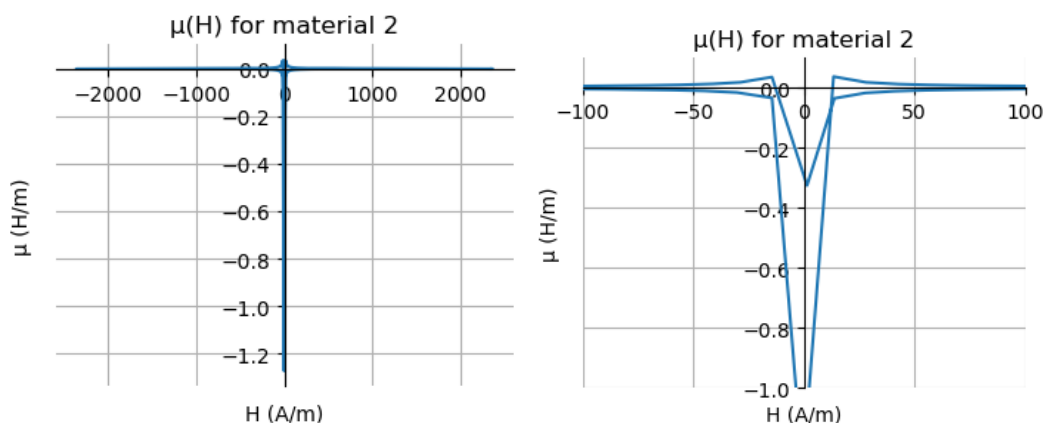
Στις εικόνες 3 και 4 βλέπουμε τη μαγνητική διαπερατότητα μ ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο H για το υλικό 1 και 2 αντίστοιχα. Η μαγνητική διαπερατότητα προκύπτει από τον τύπο:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

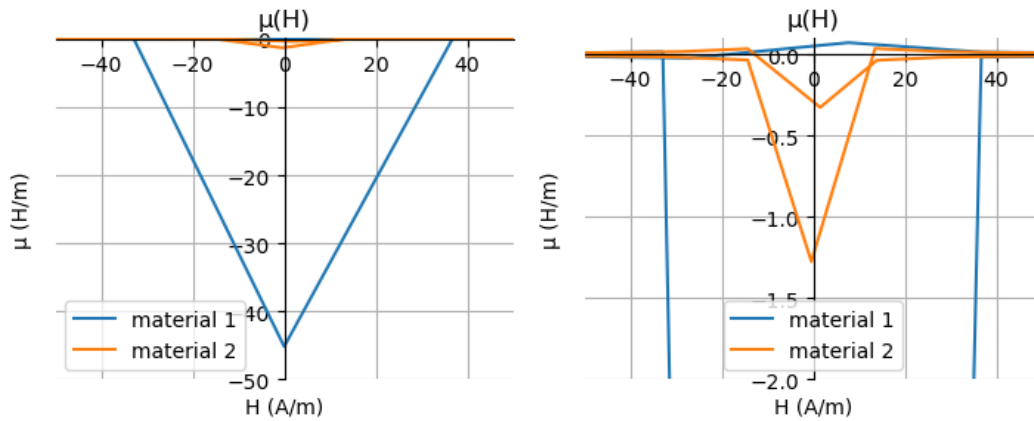
Από τον τύπο μπορούμε να δούμε πως η μαγνητική διαπερατότητα προκύπτει από την κλίση των γραφημάτων της εικόνας 1. Έτσι λοιπόν είναι λογικό για μεγάλες τιμές εφαρμοζόμενου πεδίου, όπου ο βρόχος οριζοντιοποιείται, η μαγνητική διαπερατότητα να τείνει στο μηδέν. Οι μέγιστες τιμές της μαγνητικής διαπερατότητας είναι στα σημεία H_c και $-H_c$ όπου ο βρόχος έχει την μέγιστη κλίση. Πειραματικά βέβαια αυτό δεν φαίνεται πιθανώς λόγω κάποιας ασυνέχειας στις πειραματικές μας μετρήσεις. Κοντά στο μηδέν παρατηρούμε μία αστάθεια και ασυνέχεια πιθανώς λόγω έλλειψης μετρήσεων.



Εικόνα 3: Μαγνητική διαπερατότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο για το υλικό 1, αριστερά πλήρες και δεξιά σε μεγέθυνση



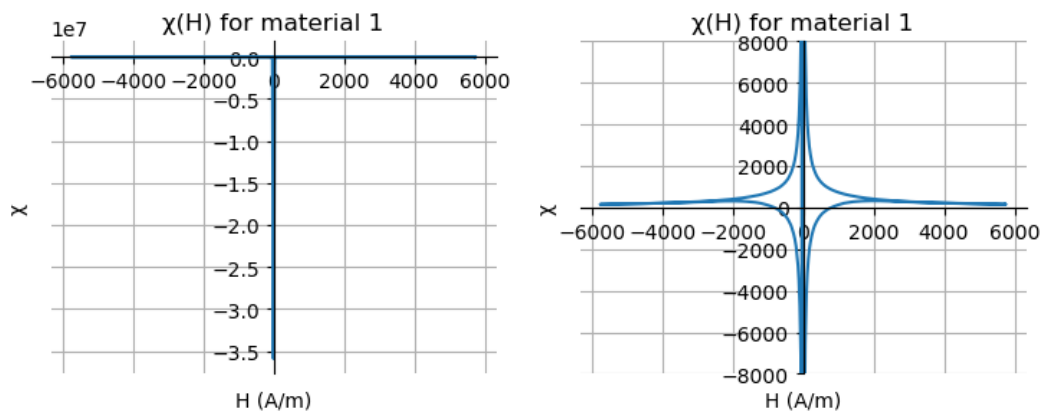
Εικόνα 4: Μαγνητική διαπερατότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο για το υλικό 2, αριστερά πλήρες και δεξιά σε μεγέθυνση



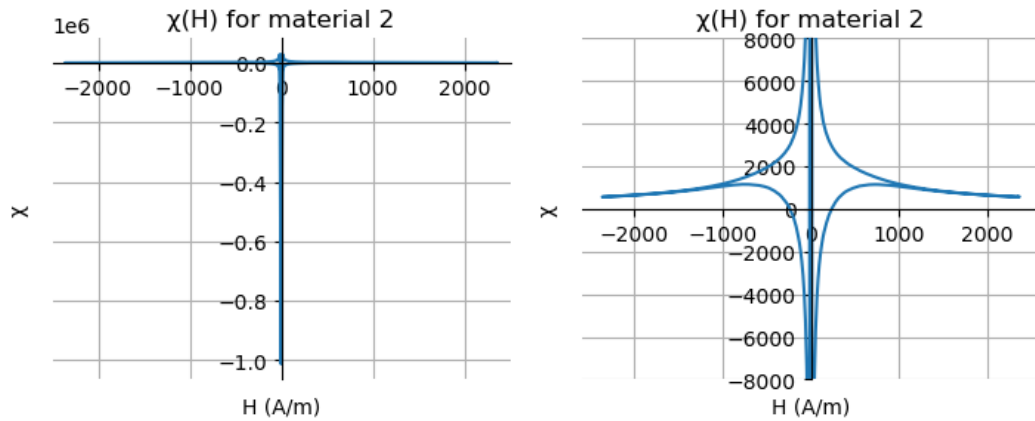
Στις εικόνες 5 και 6 φαίνεται η μαγνητική επιδεκτικότητα χ συναρτήσει του εφαρμοζόμενου πεδίου H για το υλικό 1 και 2 αντίστοιχα. Η μαγνητική επιδεκτικότητα προκύπτει από τον τύπο:

$$\chi(H) = \frac{M}{H}$$

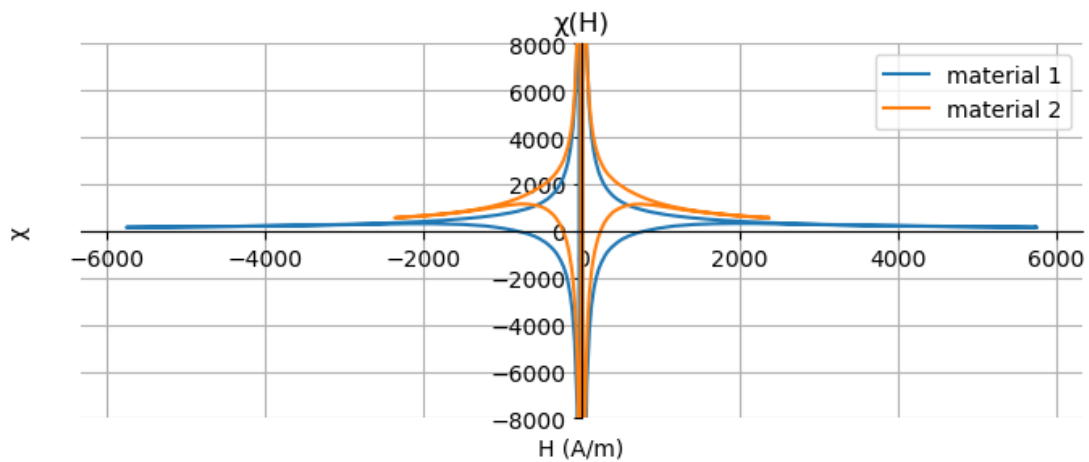
Από τον τύπο μπορούμε να δούμε πως η μαγνητική επιδεκτικότητα προκύπτει από την κλίση των γραφημάτων της εικόνας 2.



Εικόνα 5: Μαγνητική επιδεκτικότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο για το υλικό 1, αριστερά πλήρες και δεξιά σε μεγέθυνση

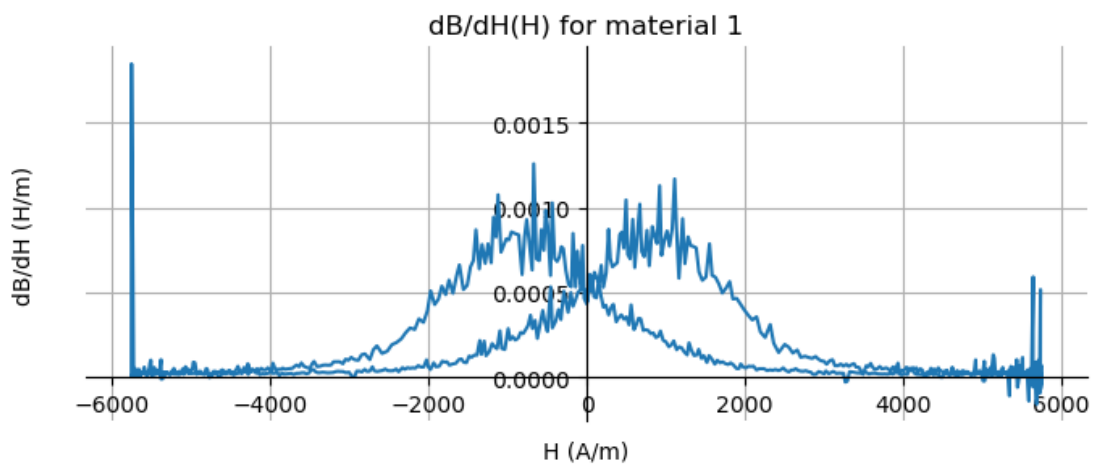


Εικόνα 6: Μαγνητική επιδεκτικότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο για το υλικό 2, αριστερά πλήρες και δεξιά σε μεγέθυνση

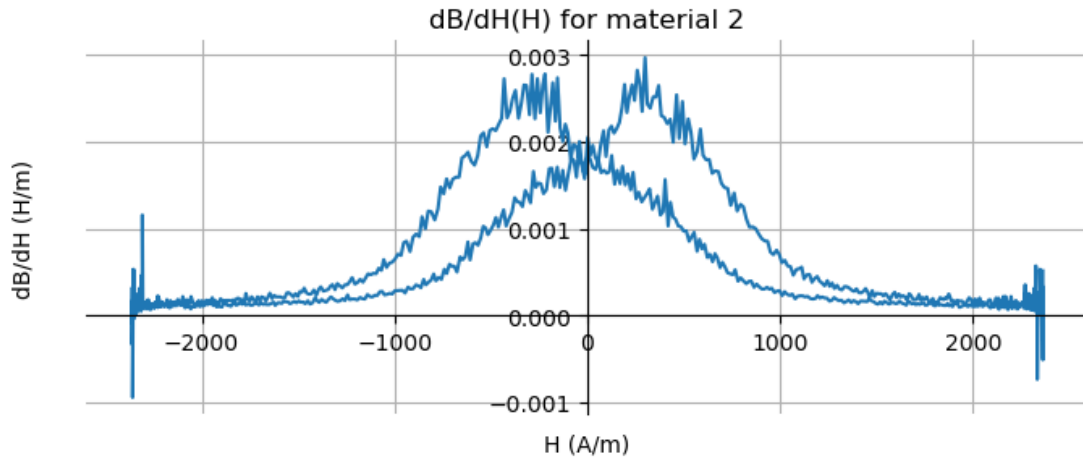


Εικόνα 7: Μαγνητική επιδεκτικότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο και για τα δύο υλικά σε κοινό σύστημα αξόνων

Στις εικόνες 8 και 9 φαίνονται η διαφορική μαγνητική διαπερατότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο, $\mu_d(H) = \frac{dB}{dH}$, για τα υλικά 1 και 2.



Εικόνα 8: Διαφορική μαγνητική διαπερατότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο για το υλικό 1



Εικόνα 9: Διαφορική μαγνητική διαπερατότητα ως προς το εφαρμοζόμενο πεδίο για το υλικό 1

Ο υπολογισμός του συνεκτικού πεδίου H_c έγινε με απλή αναζήτηση στα δεδομένα μέσω του Excel. Πιο αναλυτικά βρέθηκαν τα σημεία όπου το B φτάνει κοντά στο μηδέν, αυτό συμβαίνει 2 φορές μία για $+H_c$ και μία για $-H_c$ και στην συνέχεια λήφθηκαν το προηγούμενο και το επόμενο σημείο και εξήχθη ο μέσος όρος του.

Για το υλικό 1:

H	B		H	B
-786,5141765	0,017107998	και	790,4038657	-0,001726347
-817,4341365	-0,008432816		829,05382	0,023654149
$\frac{-786,5141765 - 817,4341365}{2}$			$\frac{790,4038657 + 829,05382}{2}$	
$= -801,9741565$			$= 809,72884285$	

Πίνακας 1: Υπολογισμός H_c για το υλικό 1

Άρα το συνεκτικό πεδίο H_c του υλικού 1 είναι περίπου $\frac{801,9741565 + 809,72884285}{2} = 805,851 \text{ A/m}$.

Αντίστοιχα για το υλικό 2:

H	B		H	B
-231,5141282	0,00851725	και	231,8987912	-0,014988926
-244,2686113	-0,025264567		244,6532764	0,018866672
$\frac{-231,5141282 - 244,2686113}{2}$			$\frac{231,8987912 + 244,6532764}{2}$	
$= -237,89136975$			$= 238,2760338$	

Πίνακας 2: Υπολογισμός H_c για το υλικό 2

Άρα το συνεκτικό πεδίο H_c του υλικού 2 είναι περίπου $\frac{237,89136975+238,2760338}{2} = 238,084 \text{ A/m}$.

Για τον υπολογισμό της παραμένουσας μαγνήτισης B_r ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τον υπολογισμό του συνεκτικού πεδίου αλλά τώρα ψάχνουμε που μηδενίζεται το εφαρμοζόμενο πεδίο H .

Για το υλικό 1:

H	B		H	B
7,742315563	0,575783283	και	-32,84013393	-0,571791047
-27,04264115	0,560194831		0,012325174	-0,55650785
<u>0,575783283 + 0,560194831</u>			<u>-0,571791047 - 0,55650785</u>	
$\frac{2}{2} = 0,567989057$			$\frac{2}{2} = -0,5641494485$	

Πίνακας 3: Υπολογισμός B_r για το υλικό 1

Άρα το συνεκτικό πεδίο B_r του υλικού 1 είναι περίπου $\frac{0,567989057+0,5641494485}{2} = 0,566 \text{ T}$.

Για το υλικό 2:

H	B		H	B
13,52655588	0,518596224	και	-14,30140914	-0,526073877
-0,387426662	0,493510646		1,545070909	-0,50115608
<u>0,518596224 + 0,493510646</u>			<u>-0,526073877 - 0,50115608</u>	
$\frac{2}{2} = 0,506053435$			$\frac{2}{2} = -0,5136149785$	

Πίνακας 4: Υπολογισμός B_r για το υλικό 2

Άρα το συνεκτικό πεδίο B_r του υλικού 2 είναι περίπου $\frac{0,506053435+0,5136149785}{2} = 0,51 \text{ T}$.

Τέλος για τον υπολογισμό των εμβαδών των δύο βρόχων υστέρησης χρησιμοποιήθηκε η εντολή `trapz` της `python` και βγάλαμε τα ακόλουθα:

- ~ Εμβαδό βρόχου υστέρησης για το υλικό 1: 3247.457 τ.μ.
- ~ Εμβαδό βρόχου υστέρησης για το υλικό 2: 1257.747 τ.μ.

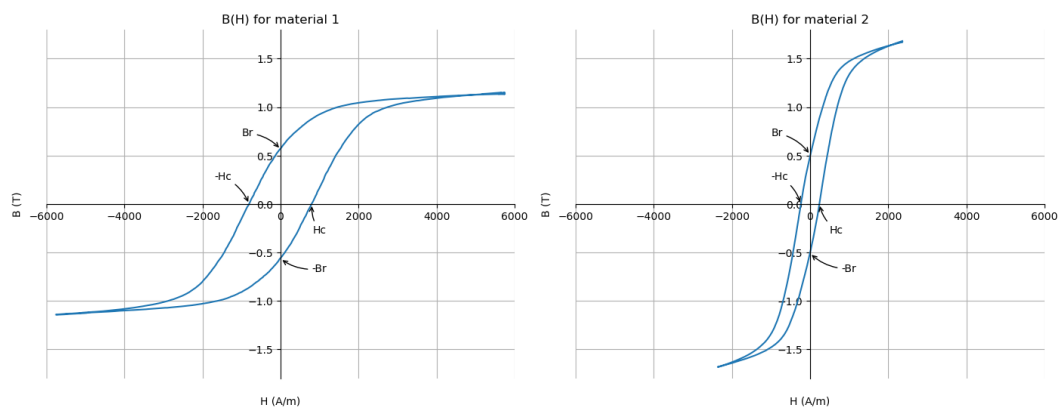
Το εμβαδό του βρόχου υστέρησης μίας ουσίας αντιπροσωπεύει την απώλεια ενέργειας κατά τη μαγνήτισή της. Οπότε το υλικό 1 (πιο μαλακό υλικό) έχει περισσότερες απώλειες κατά τη μαγνήτισή του από ότι το υλικό 2 (πιο σκληρό υλικό).

Στον πίνακα 5 παρατίθενται συνοπτικά τα κρίσιμα μεγέθη του βρόχου υστέρησης και για τα δύο υλικά.

	Υλικό 1	Υλικό 2
συνεκτικό πεδίο H_c (A/m)	805,851	238,084
παραμένουσα μαγνήτιση B_r (T)	0,566	0,51
ενεργειακές απώλειες κατά τη μαγνήτιση	3247.457	1257.747

Πίνακας 5: Κρίσιμα μεγέθη βρόχου υστέρησης για τα δύο υλικά

Συγκρίνοντας τα δύο υλικά τα μεγέθη που προκύπτουν είναι αναμενόμενα δεδομένου της σκληρότητας των υλικών. Δηλαδή $H_{c(\sigma\kappa\lambda\eta\rho\acute{o}\upsilon)} > H_{c(\mu\alpha\lambda\alpha\kappa\acute{o}\upsilon)}$.



Εικόνα 10: Οι βρόχοι υστέρησης των δύο υλικών με σημειωμένα τα κρίσιμα σημεία