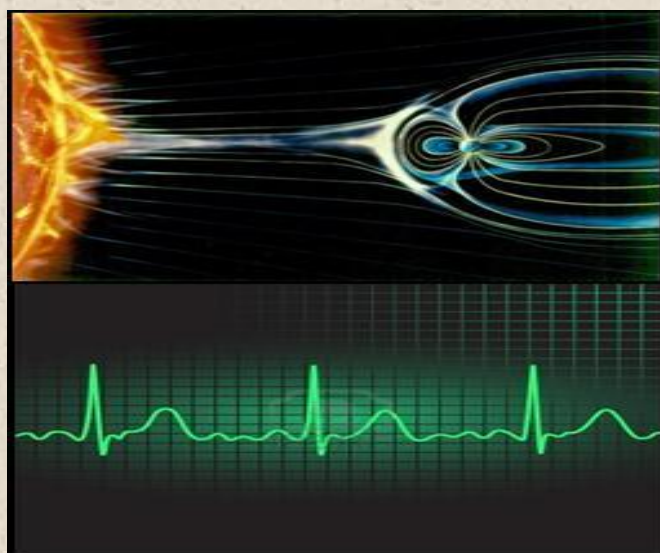




ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μ.Δ.Ε.

**‘Επίδραση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των
γεωμαγνητικών διαταραχών σε ανθρώπινες
φυσιολογικές παραμέτρους’**



Γιανναροπούλου Ελισάβετ

A.M. 200809

Τριμελής Επιτροπή:

Ελένη Χριστοπούλου – Μαυρομιχαλάκη, Καθ. Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

Ελένη Ροζάκη – Μαυρούλη, Επικ. Καθ. Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

Παναγιώτα Πρέκα – Παπαδήμα, Επικ. Καθ. Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2012



ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ & ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Μ.Δ.Ε.

‘Επίδραση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των
γεωμαγνητικών διαταραχών σε ανθρώπινες
φυσιολογικές παραμέτρους’

Γιανναροπούλου Ελिसάβετ

A.M. 200809

Τριμελής Επιτροπή:

Ελένη Χριστοπούλου – Μαυρομιχαλάκη, Καθ. Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

Ελένη Ροζάκη – Μαυρούλη, Επικ. Καθ. Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

Παναγιώτα Πρέκα – Παπαδήμα, Επικ. Καθ. Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Ερευνητική αυτή εργασία εκπονήθηκε για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (Μ.Δ.Ε.) του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Έγινε στα πλαίσια μιας Ευρωπαϊκής συνεργασίας που έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια η Ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας με τις αντίστοιχες Ομάδες της Βουλγαρικής και Σλοβακικής Ακαδημίας Επιστημών και του Εθνικού Αστεροσκοπείου της Γεωργίας.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω την κύρια επιβλέπουσα της εργασίας Καθ. κα Ελένη Μαυρομιχαλάκη, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα καθώς και για την καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, την Επικ. Καθ. κα Ελένη Ροζάκη – Μαυρούλη και την Επικ. Καθ. κα Παναγιώτα Πρέκα – Παπαδήμα για την πολύτιμη συμβολή τους κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Πολύτιμη και ουσιαστική ήταν η συνεισφορά της υποψήφιας διδάκτορος Μαρίας - Χριστίνας Παπαηλιού, η οποία με τις γνώσεις της και την εμπειρία της σε αυτά τα θέματα στήριξε την προσπάθεια αυτή με τις ενδιαφέρουσες επιστημονικές ιδέες της και τις χρήσιμες παρατηρήσεις της. Δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους συνεργάτες της Ομάδας Κοσμικής Ακτινοβολίας Prof. Karel Kudela και την Dr. Jana Stetiarova του Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Kosice ως και την ερευνήτρια Dr. Marina Gigolashvili, Department of Solar, Planetary and Upper Atmosphere, Georgian National Astrophysical Observatory, Tbilisi, Georgia για τα δεδομένα που μου παρείχαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στη Σλοβακία και τη Γεωργία αντίστοιχα, και για την όλη συνεργασία. Επίσης ευχαριστώ θερμά την ερευνήτρια Dr. Svetla Dimitrova της Bulgarian Academy of Sciences για την ουσιαστική βοήθειά της στην στατιστική επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα ANOVA.

Τους επιστημονικούς υπευθύνους των σταθμών Κοσμικής Ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας και του Lomnický štít της Σλοβακίας καθ. Ε. Μαυρομιχαλάκη και Prof. K. Kudela αντίστοιχα, για την παροχή των δεδομένων κοσμικής ακτινοβολίας, ως και όλες τις ερευνητικές ομάδες των Διεθνών Οργανισμών για την παροχή ηλιακών, διαπλανητικών και γεωμαγνητικών δεδομένων, ευχαριστώ θερμά.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Θεοδώρα Παπαδήμα της Ιατρικής Σχολής του ΕΚΠΑ για το υλικό που μου παρείχε πάνω στα ιατρικά ζητήματα. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλη την Ομάδα Κοσμικής Ακτινοβολίας του Τομέα Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων του Πανεπιστημίου της Αθήνας για τη βοήθεια που μου παρείχε πάνω σε διάφορα επιστημονικά θέματα καθώς και για το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας.

Abstract

Over the last few years various researches have reached the conclusion that cosmic ray variations and geomagnetic disturbances are related to the condition of the human physiological state. In this study the medical data used, were registered during two experiments conducted at different times and different places, and were analyzed in relation to daily variations of cosmic ray and geomagnetic activity. Specifically daily data concerning mean values of heart rate and arterial diastolic and systolic blood pressure were registered during the medical examinations of a group of 4018 Slovak aviators and data concerning the incidents of four types of cardiac arrhythmias (Supraventricular extrasystols, Supraventricular paroxysmal tachycardia, Ventricular single extrasystols, Ventricular multiple extrasystols) were registered during 24-hour Holter monitoring and electrocardiography records from different hospitals of 1902 patients in Tbilisi, Georgia. These particular studies refer to the time periods 1 January 1994 till 31 December 2002, and 1 January 1983 till 31 December 1992 respectively. The Pearson r-coefficients were calculated and the Analysis of Variance (ANOVA) method was applied to establish the statistical significance levels (p-values) of the effect of solar and geomagnetic activity, and cosmic ray intensity (CRI) variations on the aforementioned physiological parameters. The effect of CRI and geomagnetic variations up to three days before and after geomagnetic storms and CRI decreases and increases on heart rate and arterial diastolic and systolic blood pressure was also investigated by the help of ANOVA and superimposed epoch method. The p-values were calculated for the days before (-), during (0) and after (+) geomagnetic storms and CRI variations. Results show that there is an underlying effect of geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on the cardiovascular functionality

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι.....	6
ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	6
1.1 Ο Ήλιος και η Ηλιακή Δραστηριότητα	6
1.1.1 Το Εσωτερικό του Ήλιου	6
1.1.2 Η Ατμόσφαιρα του Ήλιου	8
1.1.3 Ηλιακή Δραστηριότητα και Ηλιακός Κύκλος.....	12
1.2 Κοσμική Ακτινοβολία.....	18
1.2.1 Διαμόρφωση κοσμικής ακτινοβολίας	20
1.2.2 Περιοδικές Μεταβολές.....	21
1.2.3 Μη περιοδικές μεταβολές.....	23
1.2.4 Μηχανισμοί επιτάχυνσης των ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων.....	26
1.3 Γήινη Μαγνητόσφαιρα	29
1.3.1 Δημιουργία της γήινης μαγνητόσφαιρας	29
1.3.2 Κύρια μέρη της Μαγνητόσφαιρας.....	32
1.3.3 Ζώνες ακτινοβολίας στη μαγνητόσφαιρα	33
1.3.4 Γεωμαγνητική δραστηριότητα.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ.....	37
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	37
2.1 Η ανθρώπινη καρδιά.....	37
2.2 Ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς.....	38
2.3 Ο Καρδιακός Ρυθμός.....	40
2.3.1 Αρρυθμίες.....	41
2.4 Συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ.....	45
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	45
3.1 Εισαγωγή.....	45
3.2. Πειραματικά Δεδομένα.....	46
3.2.1 Γεωμαγνητικοί δείκτες.....	46
3.2.2 Δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας	47
3.2.3 Δεδομένα ηλιακής δραστηριότητας.....	55
3.3 Ιατρικά δεδομένα.....	56
3.4 Βασικές Αρχές Στατιστικής Ανάλυσης	58
3.4.1 Στατιστικές υποθέσεις.....	58
3.4.2 Συσχετισμοί: ισχύς και αξιοπιστία.....	59
3.4.3 Επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p-level.....	61
3.4.4 Η μέθοδος ANOVA (ANalysis Of VAriance)	62
3.4.5 Ανάλυση Χρονοσειρών - Μέθοδοι εξομάλυνσης	64
3.4.5.1 Χρονοσειρές	64
3.4.5.2 Ανάλυση Χρονοσειρών.....	65
3.4.5.3 Μέθοδοι Εξομάλυνσης – Φίλτρο Adjacent Averaging.....	65
3.4.5.4 Μέθοδος της υπέρθεσης – ή υπερεπίθεσης εποχών.....	66
3.5 Μετρητές νετρονίων	67
3.5.1 Το παγκόσμιο δίκτυο μετρητών νετρονίων.....	70
3.5.2 Ο μετρητής νετρονίων της Αθήνας.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV	73
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΛΟΒΑΚΙΑ -	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	73
4.1 Εισαγωγή.....	73
4.2 Ανάλυση δεδομένων καρδιακού ρυθμού	75
4.3 Ανάλυση δεδομένων συστολικής πίεσης	93
4.4 Ανάλυση δεδομένων διαστολικής πίεσης	109
4.5 Συμπεράσματα - Σύγκριση αποτελεσμάτων	126
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V.....	131
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ –	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	131
5.1 Εισαγωγή.....	131
5.2 Σύνολο περιστατικών.....	133
5.2.1 Ανάλυση σε ετήσια βάση	133
5.2.2 Ανάλυση σε μηνιαία βάση	158
5.2.3 Ανάλυση σε εβδομαδιαία βάση	168
5.2.4 Ανάλυση σε ημερήσια βάση.....	169
5.3 Συγκέντρωση αποτελεσμάτων – Σχολιασμός	171
5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα.....	182
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	184
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	191

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια πολλοί επιστήμονες ασχολούνται με την πιθανή επίδραση της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην ανθρώπινη υγεία. Νέοι κλάδοι έρευνας, όπως ο Βιογεωμαγνητισμός και η Κλινική Κοσμοβιολογία, αναπτύσσονται ραγδαία και τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά και αδιάσειστα.

Ο Βιογεωμαγνητισμός είναι ένας όρος ο οποίος εισήχθη από τους Dorman et al. (2001) για να περιγράψει την επίδραση παραμέτρων του διαστημικού καιρού μέσω της δραστηριότητας του γεωμαγνητικού πεδίου σε διαφορετικές ασθένειες. Ο κλάδος αυτός ασχολείται με την αναζήτηση των παραμέτρων της γεωμαγνητικής δραστηριότητας που σχετίζονται περισσότερο με την ανθρώπινη υγεία.

Ο όρος Κλινική Κοσμοβιολογία (Stoupel et al., 2006) περιγράφει τη σχέση μεταξύ της συχνότητας των θανάτων, των καρδιακών αρρυθμιών, την εμφάνιση οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου, κινδύνους που αφορούν στις καρδιαγγειακές παραμέτρους, τους θανάτους από καρδιαγγειακές ασθένειες, καρδιακές αρρυθμίες απειλητικές για τη ζωή, ανθρωποκτονίες, αυτοκτονίες και του επιπέδου ισχυρών παραγόντων της περιβαλλοντικής φυσικής δραστηριότητας.

Σημαντικά συμπεράσματα έχουν προκύψει από τις μελέτες που αφορούν στην επίδραση της ηλιο- γεωμαγνητικής δραστηριότητας στην ανθρώπινη υγεία. Αύξηση περιστατικών οξέων στεφανιαίων συνδρόμων και διαταραχών του καρδιολογικού ρυθμού, αύξηση ατυχημάτων, καθώς και σειρά νευρολογικών και ψυχολογικών προβλημάτων στην διάρκεια ή μετά την εκδήλωση μαγνητικών καταιγίδων καταγράφονται μεταξύ άλλων στην διεθνή βιβλιογραφία.

Ο Stoupel (1999) παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μελέτης του για τη συσχέτιση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας με τα οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου και με διαταραχές στον καρδιακό ρυθμό όπως η κοιλιακή ταχυκαρδία αλλά και ο παροξυσμικός ενδοκοιλιακός ινιδισμός. Καταλήγει στο ότι το επίπεδο της γεωμαγνητικής δραστηριότητας συνδέεται με μεταβολές σε πολλούς παθογενετικούς μηχανισμούς και με τους παράγοντες κινδύνου στην καρδιαγγειακή παθολογία. Επίσης συμπεραίνει πως οι μεταβολές των παραμέτρων που μελετήθηκαν είναι ενδιαφέρουσες για τη γενική μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανθρώπων και του περιβάλλοντός τους.

Σε άλλο άρθρο του οι Stoupel et al. (2005) παρουσιάζουν μια μελέτη στόχος της οποίας ήταν να ελεγχθούν οι πιθανές συνδέσεις μεταξύ του μηνιαίου αριθμού

περιστατικών οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου με τρεις ομάδες δεικτών δραστηριότητας: επίπεδα ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας και τα επίπεδά της κοσμικής ακτινοβολίας (ροή πρωτονίων υψηλών ενεργειών $> 90\text{-}100\text{ MeV}$). Η μελέτη αυτή έγινε ξεχωριστά για άνδρες και για γυναίκες. Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει είναι ότι ο μηνιαίος αριθμός οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου συσχετίζεται σημαντικά με την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα καθώς και με τη δραστηριότητα των κοσμικών ακτίνων. Για την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα η συσχέτιση ήταν αρνητική, ενώ για την κοσμική ακτινοβολία θετική. Επίσης προκύπτει πως η συσχέτιση αυτή είναι πολύ ισχυρότερη στις γυναίκες απ' ότι στους άνδρες.

Σε αντίστοιχα αποτελέσματα καταλήγει και η έρευνα των Mendoza και Diaz-Sandoval (2001). Μελετώντας 129.917 περιστατικά εμφράγματος του μυοκαρδίου τη χρονική περίοδο 1996 - 1999 βρέθηκε πως ο μέσος όρος των θανάτων εξαιτίας εμφράγματος τις μέρες μειώσεων Forbush ήταν μεγαλύτερος συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Παρατηρήθηκε αύξηση των θανάτων λόγω εμφράγματος του μυοκαρδίου αυτές τις μέρες κατά έναν παράγοντα 1,02.

Σε μελέτη των Preka et al. (2010) διαπιστώθηκε αύξηση των περιστατικών ασθενών με οξύ έμφραγμα μυοκαρδίου καθώς επίσης και των ασθενών με έκτακτα καρδιολογικά προβλήματα σε περιόδους αυξημένης ηλιο-γεωμαγνητικής δραστηριότητας.

Σε μελέτη τους οι Stoupel και Shimshoni (1991) μελέτησαν τις διαταραχές του καρδιακού ρυθμού σε σχέση με διαφορετικά επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Σε 211 ασθενείς που παρουσίασαν καρδιακές αρρυθμίες παρατηρήθηκε πως ο αριθμός των έκτακτων υπερκοιλιακών και κοιλιακών συστολών παρουσίαζε σημαντική αύξηση στο χαμηλότερο επίπεδο γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Σε περιόδους χαμηλής γεωμαγνητικής δραστηριότητας μεγαλύτερη προέκυψε η συχνότητα εμφάνισης των περιστατικών κοιλιακής ταχυκαρδίας (Stoupel, 1990) καθώς και των περιστατικών κολπικής μαρμαρυγής (Stoupel, 1994).

Σοβαρές ενδείξεις για την επίδραση των μεταβολών των γεωμαγνητικών δεικτών στην ανθρώπινη φυσιολογία οδήγησαν σε περαιτέρω έρευνες για την επίδραση των τοπικών γεωμαγνητικών καταιγίδων στην αρτηριακή πίεση (Dimitrova et al., 2004a; Dimitrova et al., 2004b). Για μια ομάδα 86 υγείων εθελοντών, μετρήθηκαν η αρτηριακή πίεση και ο καρδιακός ρυθμός και σημειώθηκαν τα όποια ψυχο - φυσιολογικά παράπονα εκφράστηκαν, για δύο περιόδους μέγιστης

αναμενόμενης γεωμαγνητικής δραστηριότητας (10 Οκτωβρίου 2001 – 9 Νοεμβρίου 2001 και 8 Απριλίου 2002 – 28 Μαΐου 2002). Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Ανάλυσης Διακύμανσης βρέθηκε πως τόσο η διαστολική, όσο και η συστολική πίεση αυξήθηκαν σημαντικά για τις περιόδους μεγάλης γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Επίσης, βρέθηκε πως η μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σχετίζεται σημαντικά με την αύξηση της συστολικής και της διαστολικής πίεσης (Dimitrova, 2009a). Οι γυναίκες έδειξαν μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου, όπως και τα άτομα που βρίσκονταν υπό φαρμακευτική αγωγή (Dimitrova, 2008a).

Μελέτες κατά τη διάρκεια έντονων ηλιακών γεγονότων έχουν διαπιστώσει συσχέτιση των μεταβολών στον καρδιακό ρυθμό με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (Papaïliou et al., 2009), ενώ ο συσχετισμός αυτός ακόμα μια φορά εμφανίστηκε μεγαλύτερος στις γυναίκες από τους άντρες.

Η μελέτη των Dorman et al. (2001) χρησιμοποίησε δεδομένα από νοσοκομεία και την αστυνομία της Μόσχας και της Αγίας Πετρούπολης για εμφράγματα του μυοκαρδίου, εγκεφαλικά επεισόδια αλλά και για ατυχήματα (αυτοκινητιστικά και τρένων) που οφείλονταν σε ανθρώπινο παράγοντα, καθώς και γεωμαγνητικά δεδομένα για να συσχετίσει την κοσμική ακτινοβολία και τον διαστημικό καιρό με τέτοια γεγονότα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι καρδιαγγειακές ασθένειες, τα εγκεφαλικά επεισόδια αλλά και τα ατυχήματα αυτά μπορούν να επηρεαστούν από το διαστημικό καιρό και συγκεκριμένα από γεγονότα μικρής χρονικής διάρκειας (μειώσεις Forbush), αλλά και από γεγονότα μεγαλύτερης κλίμακας (ηλιακός κύκλος). Ειδικά τα αποτελέσματα που αφορούν τα ατυχήματα ενισχύουν την ιδέα πως η ανθρώπινη αντίδραση σε έκτακτα περιστατικά μπορεί να επηρεαστεί απ' τον διαστημικό καιρό. Σε μικρή κλίμακα, η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας φαίνεται να είναι ο καλύτερος δείκτης αυτής της συσχέτισης.

Άλλες μελέτες όπως των Villaresi et al. (1995; 1998), Ptitsyna et al. (1995), Dorman et al. (1999) έδειξαν πως οι μειώσεις Forbush θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως δείκτες της συσχέτισης μεταξύ των διαταραχών του γεωμαγνητικού πεδίου και φυσιολογικών παραμέτρων όπως τα εμφράγματα του μυοκαρδίου, εγκεφαλικά επεισόδια αλλά και με αυτοκινητιστικά ατυχήματα. Οι στατιστικά σημαντικότερες συσχετίσεις παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών διαταραχών όταν συνέβαιναν μειώσεις Forbush.

Αντίστοιχες μελέτες έχουν δείξει κάποια στοιχεία για την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ γεωμαγνητικών διαταραχών και εργατικών και αυτοκινητιστικών ατυχημάτων (Ptitsyna et al 1996). Οι μελέτες αυτές βασίστηκαν στην υπόθεση πως η ανθρώπινη ικανότητα αντίδρασης μπορεί να επηρεάζεται από τις μεταβολές στα περιβάλλοντα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

Παρ' όλα αυτά υπάρχουν και μελέτες στις οποίες αποδείχθηκε πως μια τέτοια συσχέτιση δεν υπάρχει. Οι Feinleib et al. (1975) έδειξαν ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της θνησιμότητας λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων, ενώ οι Knox et al. (1979) έδειξαν ότι το γεωμαγνητικό πεδίο και τα καρδιακά επεισόδια δεν συνδέονται.

Επίσης, η σχέση μεταξύ του αριθμού των μοιραίων ή μη εμφραγμάτων του μυοκαρδίου, του αριθμού αιφνίδιων θανάτων ή του αριθμού των ασθενών με πόνους στο στήθος με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα βρέθηκε να μην είναι στατιστικά σημαντική στη μελέτη των Messner et al. (2002).

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια στατιστικής επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων που προέρχονται από μετρήσεις με τη μέθοδο Holter και από αρχεία ηλεκτροκαρδιογραφημάτων διαφόρων νοσοκομείων στην πόλη Tbilisi στη Γεωργία, σε συνδυασμό με τα δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως αυτά καταγράφονται στο Moscow Neutron Monitor (24NM64), Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and radio wave propagation (IZMIRAN) of Russian Academy of Science, καθώς και δεδομένων που προέρχονται από μετρήσεις σε άνδρες αεροπόρους στην πόλη Kosice της Σλοβακίας σε συνδυασμό με δεδομένα για την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας όπως μετρήθηκαν από τον Μετρητή Νετρονίων Lomnický štít (SNM-15) του τμήματος Space Physics, Institute of Experimental Physics, Kosice, Slovakia.

Η εργασία αυτή αποτελείται από πέντε κεφάλαια, τα συμπεράσματα και τη βιβλιογραφία.

Στο Κεφάλαιο I αναπτύσσεται η θεωρία αναφορικά με το διαστημικό περιβάλλον. Περιγράφονται έννοιες που αφορούν στην ηλιακή δραστηριότητα, την κοσμική ακτινοβολία και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα.

Στο Κεφάλαιο II γίνεται η περιγραφή της βασικής φυσιολογίας και των βασικών λειτουργιών της ανθρώπινης καρδιάς, ενώ περιγράφονται και οι τρόποι αλληλεπίδρασης των βιολογικών οργανισμών με την ακτινοβολία και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Στο Κεφάλαιο III παρουσιάζονται αναλυτικά τα πειραματικά δεδομένα της έρευνας, τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Δεδομένα πειράματος Γεωργίας και Δεδομένα πειράματος Σλοβακίας. Τα δεδομένα αυτά αφορούν σε ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους (διαστολική και συστολική πίεση, καρδιακός ρυθμός για τη Σλοβακία και καρδιακές αρρυθμίες για τη Γεωργία) και σε δεδομένα για την κοσμική ακτινοβολία, τους γεωμαγνητικούς δείκτες A_p , D_{st} , K_p αλλά και σε δεδομένα για την ηλιακή δραστηριότητα για το πείραμα τη Γεωργίας. Επίσης παρατίθεται η βασική θεωρία για τη στατιστική ανάλυση και αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας των Μετρητών Νετρονίων και καταγραφής της κοσμικής ακτινοβολίας.

Στο κεφάλαιο IV περιγράφεται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων της Γεωργίας. Παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας των δεικτών A_p , και D_{st} , του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου, του αριθμού των ηλιακών κηλίδων, του αριθμού των πρωτονικών γεγονότων και των ηλιακών εκλάμψεων (συνολικά και κατά κατηγορία) με τον αριθμό περιστατικών αρρυθμιών. Διαχωρισμός των δεδομένων έγινε και στο κεφάλαιο αυτό ως προς το είδος των αρρυθμιών που παρουσιάστηκαν.

Στο Κεφάλαιο V περιγράφεται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων της Σλοβακίας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γραμμικής συσχέτισης της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των δεικτών A_p , D_{st} και με τις φυσιολογικές παραμέτρους που μετρήθηκαν στο πείραμα αυτό. Παρατίθενται τα διαγράμματα που δείχνουν τη συσχέτιση αυτή καθώς και οι πίνακες που περιέχουν τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης.

Τέλος στα συμπεράσματα της εργασίας αναφέρονται συνοπτικά τα πιο σημαντικά αποτελέσματα, όπως προέκυψαν από αυτή τη μελέτη.

Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών και ειδικότερα της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας στη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό από την επιστημονική κοινότητα. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετά νέα δεδομένα στη βιβλιογραφία και πραγματοποιούνται πολλές μελέτες από διαφορετικές επιστημονικές ομάδες που επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η επίδραση αυτή δεν είναι αμελητέα. Για το λόγο αυτό περαιτέρω έρευνα σε αυτά τα τόσο βασικά θέματα για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, είναι απαραίτητη και επιβεβλημένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1 Ο Ήλιος και η Ηλιακή Δραστηριότητα

Ο Ήλιος, (Σχήμα 1.1), είναι ένα κοινό αστέρι της Κύριας Ακολουθίας (νάνος αστέρας), φασματικού τύπου G2V και ενεργού θερμοκρασίας 5.780 K. Η μέση τιμή της απόστασης Γης – Ήλιου ορίζεται ως 1 Αστρονομική Μονάδα (1 AU) και αντιστοιχεί σε $149,6 \cdot 10^6$ km. Η μάζα του είναι της τάξης των $2 \cdot 10^{30}$ kg και αποτελεί το 99,87% της συνολικής μάζας του ηλιακού συστήματος. Η χημική του σύσταση, πριν τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, ήταν: 72% H, 26% He και 2% βαρύτερα στοιχεία (μέταλλα) (Πρέκα, 2009).

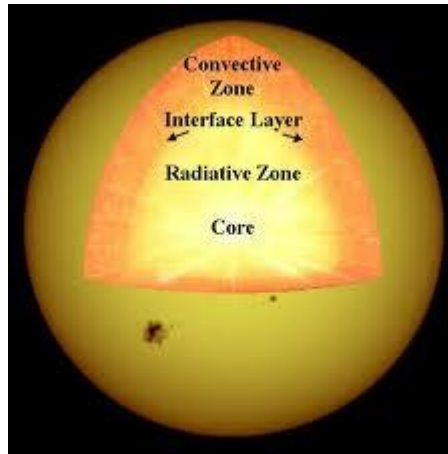


Σχήμα 1.1 Ο Ηλιακός Δίσκος

1.1.1 Το Εσωτερικό του Ήλιου

Ο Ήλιος αποτελείται από διάφορα στρώματα. Αυτά, ξεκινώντας απ' το κέντρο είναι: Ο πυρήνας (core), η ζώνη ακτινοβολίας (radiative zone), η ζώνη μεταφοράς (convective zone), η φωτόσφαιρα (photosphere), η χρωμόσφαιρα (chromospheres), η μεταβατική ζώνη (transition zone) και το στέμμα (corona), (Πρέκα, 2009).

Ο πυρήνας, η ζώνη ακτινοβολίας, η ζώνη μεταφοράς και ένα τμήμα της φωτόσφαιρας, αποτελούν το εσωτερικό του Ήλιου, (Σχήμα 1.2), ενώ το υπόλοιπο της φωτόσφαιρας και τα επόμενα στρώματα αποτελούν την ατμόσφαιρα του Ήλιου.



Σχήμα 1.2 Η εσωτερική δομή του Ήλιου

Ο πυρήνας καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα του Ήλιου και εκτείνεται σε απόσταση ως 0,25 ηλιακές ακτίνες $R_{\odot}$. Η πυκνότητά του είναι περίπου 160gr/cm^3 . Η μεγάλη τιμή της πυκνότητας εξηγείται απ' το γεγονός ότι υλικό του Ήλιου που εντοπίζεται στον πυρήνα βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος. Εκεί πραγματοποιείται η παραγωγή της ενέργειας του Ήλιου. Πραγματοποιείται καύση του υδρογόνου (H) προς παραγωγή ηλίου (He). Κατά τη σύντηξη του υδρογόνου απελευθερώνεται ενέργεια, της τάξης των MeV με τη μορφή ακτινοβολίας γ , ακτινοβολίας X και νεutrίνο. Με αυτόν τον τρόπο η θερμοκρασία του πυρήνα διατηρείται στους $15 \cdot 10^6$ K.

Η ζώνη ακτινοβολίας περιβάλλει τον πυρήνα και εκτείνεται έως 0,86 ηλιακές ακτίνες $R_{\odot}$. Η θερμοκρασία στη ζώνη αυτή κυμαίνεται από $8 \cdot 10^6$ K κοντά στον πυρήνα, έως $5 \cdot 10^5$ K κατά τη μετάβαση στη ζώνη μεταφοράς. Η διάδοση της ενέργειας στη ζώνη αυτή γίνεται με ακτινοβολία, δηλαδή με φωτόνια, χωρίς να συμβαίνει μεταφορά υλικού. Τα φωτόνια σκεδάζονται προς όλες τις κατευθύνσεις κι έτσι απαιτείται ένα μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε η ενέργεια από τον πυρήνα να περάσει στη ζώνη μεταφοράς.

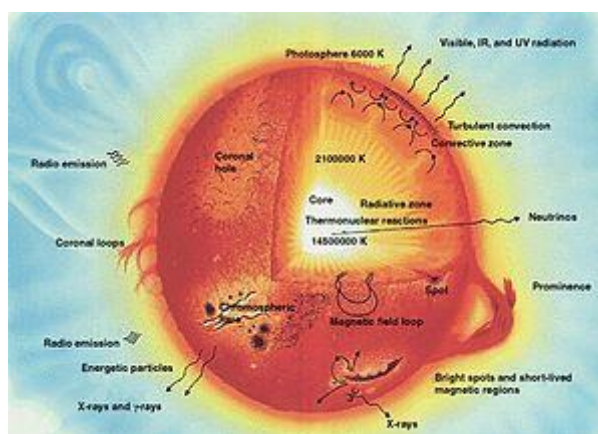
Η ζώνη μεταφοράς εκτείνεται ως την επιφάνεια του Ήλιου, δηλαδή σε απόσταση 1 ηλιακής ακτίνας $R_{\odot}$. Η θερμοκρασία στη ζώνη αυτή κυμαίνεται από $5 \cdot 10^5$ K έως $6,6 \cdot 10^3$ K. Η ενέργεια διαδίδεται με μεταφορά στη ζώνη αυτή, με δινορεύματα. Θερμές και ρευστές μάζες από τα κατώτερα στρώματα της ζώνης κινούνται ανοδικά προς τη φωτόσφαιρα, όπου αποβάλουν την ενέργειά τους και ψύχονται με αποτέλεσμα να αυξάνει η πυκνότητά τους κι έτσι να βυθίζονται στο εσωτερικό του Ήλιου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Καθώς οι μάζες εισχωρούν στα βαθύτερα στρώματα, θερμαίνονται και ανέρχονται πάλι προς την επιφάνεια. Οι

κορυφές των ανοδικών ρευμάτων είναι ορατές στη φωτόσφαιρα, όπου δημιουργούν την κοκκίαση και την υπερκοκκίαση.

Η φωτόσφαιρα έχει πάχος 500 km. Στο εσωτερικό του Ήλιου, όμως, ανήκει εκείνο το τμήμα της στο οποίο η αδιαφάνεια είναι πολύ μεγάλη. Αυτό το τμήμα της θεωρείται ως η επιφάνεια του Ήλιου και εκπέμπει θερμική ακτινοβολία σαν μέλαν σώμα, δίνοντας το συνεχές φάσμα του Ήλιου. Η θερμοκρασία της μεταβάλλεται με το βάθος από $6,6 \cdot 10^3$ K έως $4,3 \cdot 10^3$ K.

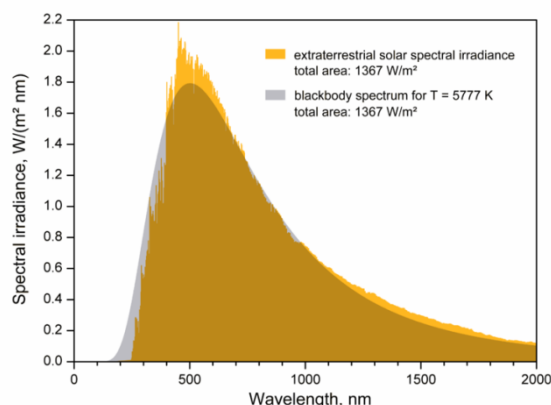
1.1.2 Η Ατμόσφαιρα του Ήλιου

Η ατμόσφαιρα του Ήλιου αποτελείται από το μεγαλύτερο μέρος της φωτόσφαιρας, τη χρωμόσφαιρα-με τη μεταβατική ζώνη, η οποία θεωρείται τμήμα της- και το στέμμα. Τα μέρη αυτά του άστρου είναι τα μόνα παρατηρήσιμα, σε διαφορετική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το καθένα, γιατί κάθε στρώμα εκπέμπει διαφορετικού τύπου ακτινοβολία (Σχήμα 1.3). Είτε κυματική, όπως ακτίνες X, ακτίνες γ, ραδιοακτινοβολία, ορατή, υπεριώδη και υπέρυθη ακτινοβολία, είτε σωματιδιακή, όπως ηλεκτρόνια, πρωτόνια και πυρήνες ηλίου.



Σχήμα 1.3 Η ακτινοβολία του Ήλιου

Η φωτόσφαιρα έχει πάχος περίπου 500 km και είναι το κατώτερο τμήμα της ορατής επιφάνειας του Ήλιου. Η θερμοκρασία της μεταβάλλεται με το βάθος από $6,6 \cdot 10^3$ K έως $4,3 \cdot 10^3$ K και συμπεριφέρεται ως μέλαν σώμα (Σ.Θεοδοσίου, Μ.Δανέζης, 1999) δίνοντας φάσμα εκπομπής θερμοκρασίας 5.777 K. (Σχήμα 1.4) .



Σχήμα 1.4 Το φάσμα εκπομπής μέλανος σώματος (5.777 K) και το φάσμα εκπομπής ηλιακής ακτινοβολίας

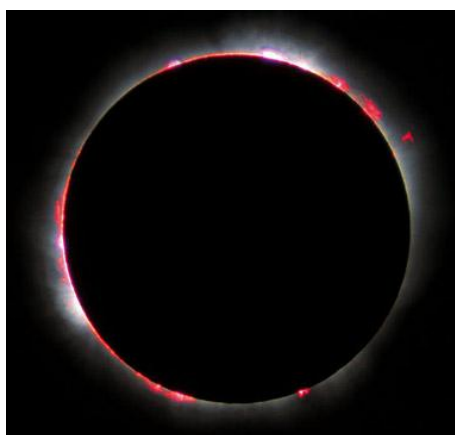
Στη φωτόσφαιρα παρατηρούνται διάφορα φαινόμενα και σχηματισμοί, όπως οι κόκκοι (*granules*), οι πυρσοί (*faculae*) και οι κηλίδες (*spots*) (Σχήμα 1.5). Οι πυρσοί και οι κηλίδες εκδηλώνονται σε περιοχές με έντονη μαγνητική δραστηριότητα. Ο μέσος αριθμός τους και η θέση τους (μέσο ηλιογραφικό πλάτος) στη σφαίρα του Ήλιου, μεταβάλλονται συνεχώς και οι αλλαγές αυτές έχουν μια περιοδικότητα περίπου έντεκα χρόνων – ο λεγόμενος 11-ετής ηλιακός κύκλος. Ο ηλιακός κύκλος και το φαινόμενο των κηλίδων θα αναπτυχθούν περισσότερο σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου, (Πρέκα, 2009).



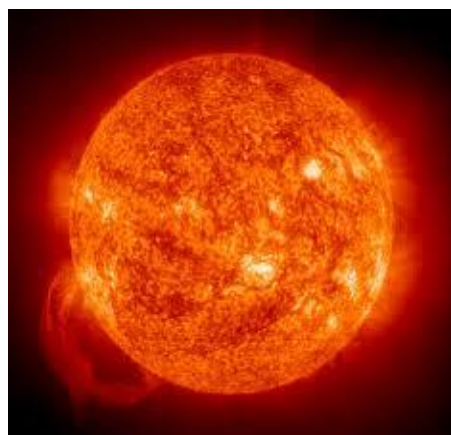
Σχήμα 1.5 Ηλιακές κηλίδες σε Σχήμα της 22^{ης} Ιουνίου 2004

Η χρωμόσφαιρα είναι η στιβάδα της ατμόσφαιρας που ακολουθεί τη φωτόσφαιρα. Εκτείνεται έως 12.000 km πάνω απ' τη φωτόσφαιρα, είναι πολύ αραιή, ελάχιστα λαμπρή και έχει κοκκινωπό χρώμα που είναι ορατό μόνο στις ηλιακές εκλείψεις (Σχήμα 1.6) καθώς η φωτόσφαιρα καλύπτεται εξ' ολοκλήρου και μπορούν έτσι να παρατηρηθούν οι πολύ αραιές και ελάχιστα λαμπρές περιοχές που τη διαδέχονται. Η θερμοκρασία της κυμαίνεται από 4.300 K έως 10.000 K. Κάθε

περιοχή της χρωμόσφαιρας αναλόγως του βάθους, εμφανίζει και άλλη τιμή θερμοκρασίας και εκπέμπει και απορροφά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Έτσι σε κάθε μήκος κύματος παρατηρείται διαφορετικό βάθος της χρωμόσφαιρας, άρα και διαφορετικές λεπτομέρειες των φαινομένων της. Η χρωμόσφαιρα μπορεί να παρατηρηθεί σε γραμμικό φάσμα στο ορατό (σειρά Balmer, $H\alpha$, $Ca II (H,K)$, $He II$), στο μακρινό υπεριώδες (EUV) και στα ραδιοφωνική μήκη κύματος (mm). Στο Σχήμα 1.7 παρατηρείται η χρωμόσφαιρα στη γραμμή $H\alpha$ με το χαρακτηριστικό κοκκινωπό της χρώμα.



Σχήμα 1.6 Η ατμόσφαιρα του Ήλιου κατά τη διάρκεια ηλιακής έκλειψης



Σχήμα 1.7 Η χρωμόσφαιρα του Ήλιου στη γραμμή $H\alpha$

Στη χρωμόσφαιρα εμφανίζονται σχηματισμοί που πιθανώς αποτελούν τις κορυφές των ανοδικών ρευμάτων της υπερκοκκίασης, όπως οι *ψηφίδες (mottles)* και οι *πίδακες (spicules)*. Αν ο Ήλιος παρατηρηθεί σε μήκη κύματος της $H\alpha$ διακρίνονται *λαμπρές εκτάσεις (plages)*, *σκοτεινοί σχηματισμοί* πάνω στο δίσκο οι οποίοι ονομάζονται *νήματα (filaments)* και κοντά στο χείλος οι οποίοι ονομάζονται *προεξοχές (prominences)* καθώς και *ηλιακές εκλάμψεις (solar flares)* οι οποίες θα αναπτυχθούν σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου.

Η μεταβατική ζώνη διαδέχεται τη ζώνη της χρωμόσφαιρας. Έχει εύρος 1000 km και θεωρείται ως άνω στρώμα της χρωμόσφαιρας. Το χαρακτηριστικό της γνώρισμα είναι η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία ανέρχεται στους 10^5 K. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη μεταβατική ζώνη, καλύπτει την υπεριώδη περιοχή του φάσματος, καθώς προέρχεται από τη διέγερση στοιχείων βαρύτερων του υδρογόνου, όπως ο άνθρακας, το οξυγόνο, το θείο και το πυρίτιο.

Το στέμμα έχει έκταση έως και δέκα ηλιακές ακτίνες ($10 R_{\odot}$). Στο διαπλανητικό χώρο εκτείνεται με τη μορφή *ηλιακού ανέμου* (*solar wind*.) Είναι ορατό κατά τη διάρκεια ηλιακών εκλείψεων και έχει τη μορφή λευκής κορώνας. (Σχήμα 1.8)



Σχήμα 1.8 Το ηλιακό στέμμα κατά τη διάρκεια ηλιακής έκλειψης

Η θερμοκρασία του στέμματος είναι της τάξης των 10^6 K. Η πολύ μεγάλη θερμοκρασία του, του προσδίνει ασυνήθιστα φασματικά χαρακτηριστικά, τα οποία οφείλονται σε ιόντα μεγάλου δυναμικού ιονισμού. (π.χ. άτομα σιδήρου Fe με υψηλό βαθμό ιονισμού). Το φως του στέμματος προέρχεται από τρεις κύριες πηγές. Αυτές αντιστοιχούν στις εξής οπτικές συνιστώσες του: Το **K-στέμμα**, το οποίο δημιουργείται από τη σκέδαση του φωτός της φωτόσφαιρας από ελεύθερα ηλεκτρόνια, τη **Συνιστώσα F**, η οποία οφείλεται στην περίθλαση του ηλιακού φωτός από σωματίδια διασκορπισμένα στο διάστημα μεταξύ Γης – Ήλιου και το **E-στέμμα**, το οποίο οφείλεται σε φασματικές γραμμές εκπομπής, παραγόμενες από ιόντα μέσα στο στεμματικό πλάσμα.

Το στέμμα μπορεί επίσης να παρατηρηθεί στην περιοχή των ακτίνων X, των ραδιοσυχνοτήτων (RF) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στο μακρινό υπεριώδες (EUV) και σε άλλες γραμμές, όπως Fe IX, Fe X, Fe XII, Fe XV, He II κ.α. Στο στέμμα παρατηρούνται οι *στεμματικές οπές* (*coronal holes*) οι οποίες είναι περιοχές χαμηλότερης πυκνότητας και όπου παρατηρείται μειωμένη εκπομπή ακτίνων X. Στις στεμματικές οπές υπάρχουν ανοιχτές δυναμικές γραμμές του ηλιακού μαγνητικού πεδίου, μέσα από τις οποίες ταξιδεύει η πιο γρήγορη συνιστώσα του ηλιακού ανέμου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, από το στέμμα μπορεί να εκτοξευθεί στεμματικό υλικό. Η εκτόξευση αυτή είναι γνωστή ως *CME* (*Coronal Mass Ejection*). Σε μια

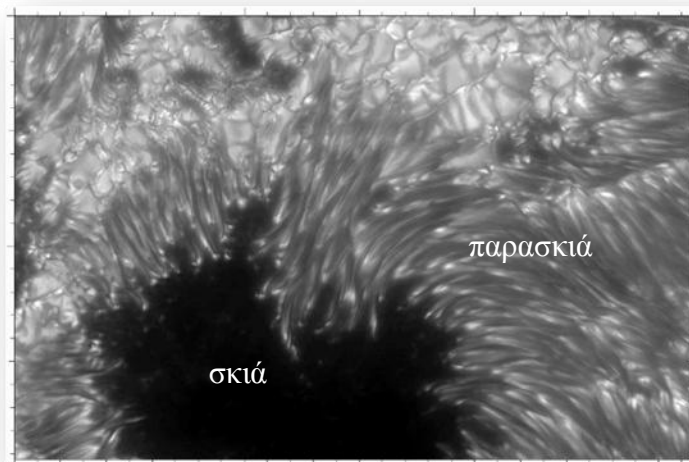
CME, το πλάσμα μαζί με το πρότερα σταθεροποιημένο πεδίο, αποχωρίζεται από τον Ήλιο και εκτοξεύεται στο διαπλανητικό χώρο. Η δημιουργία καθώς και οι επιπτώσεις των CMEs αναλύονται στην επόμενη παράγραφο.

1.1.3 Ηλιακή Δραστηριότητα και Ηλιακός Κύκλος

Ηλιακή δραστηριότητα είναι η κατάσταση κατά την οποία παρατηρούνται έκτακτα και βίαια φαινόμενα στην ατμόσφαιρα του Ήλιου. Τα φαινόμενα αυτά δεν παρουσιάζονται σε μόνιμη βάση, ούτε έχουν πάντα την ίδια ένταση. Είναι περιοδικά, με περίοδο κατά μέσο όρο 11,6 χρόνια. Η περίοδος αυτή ονομάζεται *ηλιακός κύκλος*, ή *ενδεκαετής κύκλος* (11ετής κύκλος). Το πιο χαρακτηριστικό φαινόμενο είναι οι ηλιακές κηλίδες, ο αριθμός των οποίων σχετίζεται με το επίπεδο της ηλιακής δραστηριότητας.

1.1.3.1 Ηλιακές Κηλίδες και Ηλιακός Κύκλος

Οι κηλίδες είναι σκοτεινοί σχηματισμοί της φωτόσφαιρας με μέση έκταση 10^4 km και χρόνο ζωής αρκετών ημερών. Αποτελούνται από τη *σκιά* (*umbra*), μια κεντρική περιοχή που δείχνει σκοτεινή λόγω της πολύ χαμηλότερης θερμοκρασίας της σε σύγκριση με τη φωτόσφαιρα, και την *παρασκιά* (*penumbra*), μια λιγότερο σκοτεινή περιοχή, η οποία αποτελείται από ένα ακτινικό δίκτυο φωτεινών και σκοτεινών νημάτων (Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9 Μια ηλιακή κηλίδα. Διακρίνονται οι περιοχές της σκιάς και της παρασκιάς.

Οι κηλίδες παρουσιάζουν Μαγνητικό Πεδίο (Μ.Π.) έντασης 3.000 έως 4.000 G. Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές πυκνώνουν λόγω ανοδικών ρευμάτων στη ζώνη μεταφοράς και συστρέφονται λόγω των κυκλικών κινήσεων των ρευμάτων (Πρέκα, 2009). Δημιουργούν έτσι *μαγνητικά κορδόνια* τα οποία έχουν Μ.Π. μεγαλύτερης έντασης από των γύρω περιοχών. Το μαγνητικό κορδόνι αναδύεται στη φωτόσφαιρα και όσο προσεγγίζει την επιφάνεια, δημιουργεί *μαγνητικό κόμβο*, ο οποίος εξελίσσεται σε *πόρο*, ενώ όταν το μαγνητικό κορδόνι αγγίζει την επιφάνεια, δημιουργείται ένας μεγάλος σκοτεινός σχηματισμός, η *κηλίδα*.

Όταν το Μ.Π του κορδονιού είναι αρκετά ισχυρό το κορδόνι συνεχίζει να αναδύεται και δημιουργούνται σχηματισμοί που ονομάζονται *μαγνητικοί βρόχοι* (*magnetic loops*). Στα σημεία εισόδου και εξόδου του βρόχου (*foot points*) εμφανίζονται δύο κηλίδες (*ζεύγος κηλίδων*), αντίθετης πολικότητας. Η πρώτη κηλίδα ονομάζεται *ηγουμένη*, γιατί λόγω της ηλιακής περιστροφής δείχνει να προπορεύεται, ενώ η άλλη δείχνει να ακολουθεί, γι' αυτό ονομάζεται *επομένη*. Η ηγουμένη φέρει την πολικότητα του ημισφαιρίου στο οποίο βρίσκεται, ενώ η επομένη φέρει την αντίθετη (Πρέκα, 2009).

Ο ρυθμός εμφάνισης των κηλίδων, ακολουθεί τον ενδεκαετή ηλιακό κύκλο ή *κύκλο των ηλιακών κηλίδων*. Στην αρχή του κύκλου, οι κηλίδες τείνουν να εμφανίζονται σε μεγάλα ηλιογραφικά πλάτη (35° με 45°). Καθώς ο κύκλος εξελίσσεται, οι κηλίδες εντοπίζονται σε όλο και χαμηλότερα ηλιογραφικά πλάτη έως το μέγιστο του κύκλου, οπότε και προσεγγίζουν τις 15° . Το πλάτος συνεχίζει να φθίνει, έως περίπου 7° και καθώς ολοκληρώνεται ο κύκλος, οι κηλίδες του νέου κύκλου αρχίζουν να εμφανίζονται σε μεγάλα πλάτη. Η συμπεριφορά αυτή των ηλιακών κηλίδων που αποτελεί τον νόμο του Spörer, καταγράφηκε σαν συνάρτηση του χρόνου και έγινε γνωστή ως «διάγραμμα της πεταλούδας» ή διάγραμμα Maunder (Σχήμα 1.10). Εκτός όμως της ενδεκαετούς, υπάρχει και μια πληθώρα άλλων περιοδικοτήτων, μικρότερων ή μεγαλύτερων.

Ο αριθμός Wolf υπολογίζει τον μέσο αριθμό R των κηλίδων, ο οποίος σχετίζεται με την ηλιακή δραστηριότητα. Ισχύει:

$$R = K \cdot (10g + f)$$

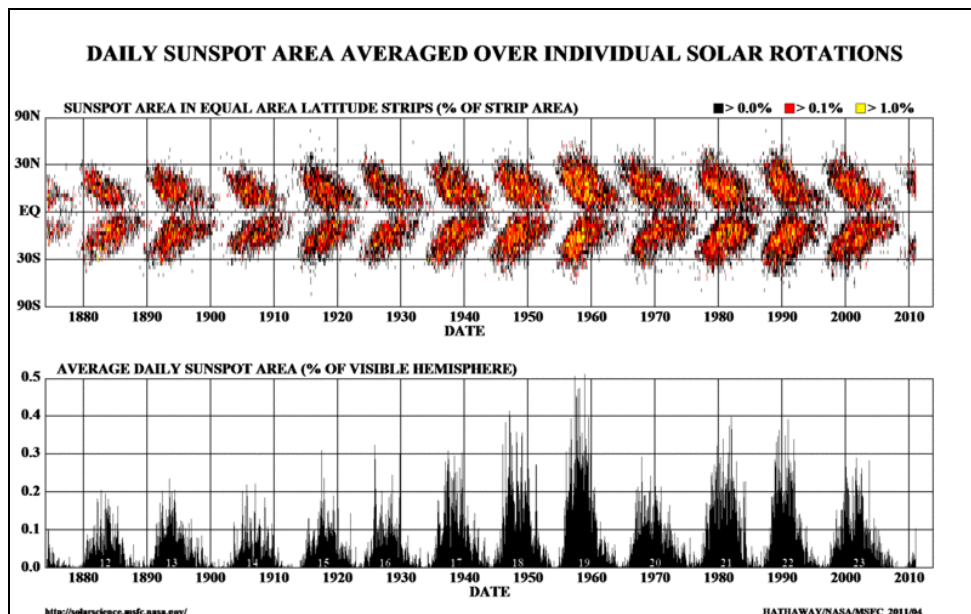
Όπου:

K : σταθερά , g: ο αριθμός των ομάδων των κηλίδων και f: ο αριθμός των κηλίδων.

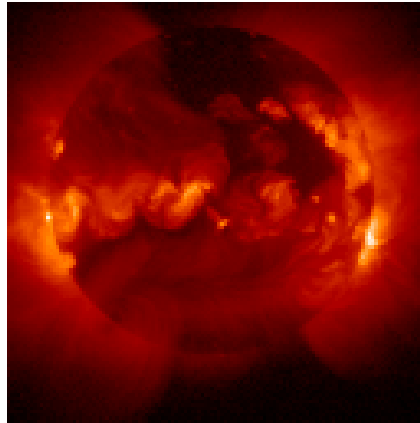
1.1.3.2 Ηλιακές εκλάμψεις

Ηλιακή έκλαμψη (Σχήμα 1.11) είναι μια βίαιη έκρηξη στην ατμόσφαιρα του Ήλιου (περιοχή της χρωμόσφαιρας) με την ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας από 10^{29} έως 10^{32} erg, σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, από τις ακτίνες γ μέχρι και τα ραδιοκύματα και εκπομπή σωματιδίων υψηλής ενέργειας – πρωτονίων (p^+), ηλεκτρονίων (e^-) και ελαφρών πυρήνων – προς τον διαπλανητικό χώρο, τα οποία συμβάλουν στη δημιουργία της κοσμικής ακτινοβολίας (Πρέκα, 2009).

Το φαινόμενο αυτό έχει τη βάση του στη φωτόσφαιρα, στο σχηματισμό των κηλίδων, διαρκεί από μερικά λεπτά έως λίγες ώρες και εκτείνεται σε μια επιφάνεια περίπου 10^{19} cm^2 .



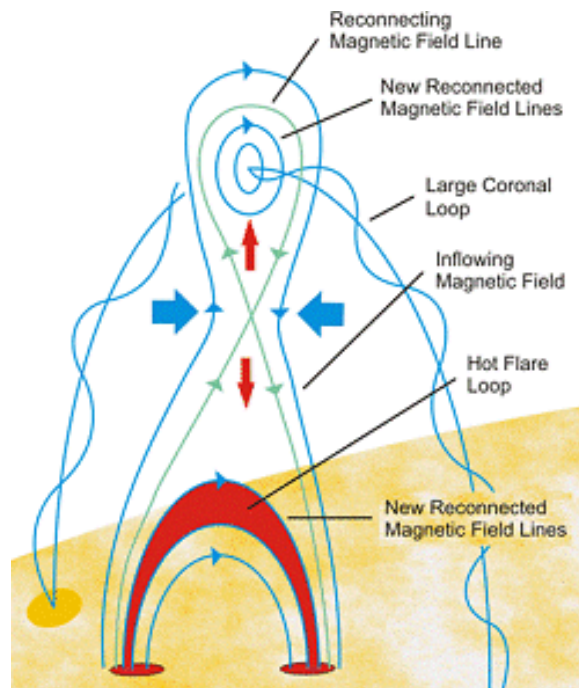
Σχήμα 1.10 Το διάγραμμα της πεταλούδας (πάνω) σε σχέση με την ηλιακή δραστηριότητα (κάτω) από <http://science.msfc.nasa.gov>.



Σχήμα 1.11 Ηλιακή έκλαμψη σε soft-X Rays

Η ταξινόμηση των ηλιακών εκλάμψεων γίνεται σύμφωνα με μέγιστη ροή (Watt/m^2), από 100 pm έως 800 pm, ακτίνων – X κοντά στη Γη, όπως μετριοούνται από τους δορυφόρους GOES, στις κατηγορίες A, B, C, M ή X. Η μέγιστη ροή κάθε κατηγορίας είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτήν της προηγούμενης της. Η X-κατηγορία έχει μέγιστη ροή της τάξης των 10^{-4}W/m^2 . Η κάθε κατηγορία χωρίζεται επιπλέον σε επιμέρους κατηγορίες ακολουθώντας μια γραμμική κλίμακα από 1 έως 9. Ωστε η έκλαμψη κατηγορίας X2 είναι δύο φορές ισχυρότερη από έκλαμψη κατηγορίας X1. Οι ισχυρότερες εκλάμψεις, κατηγορίας M και X, συνδέονται συχνά με ποικίλα γεγονότα στο διαστημικό περιβάλλον κοντά στη Γη, όπως διαπλανητικές διαταραχές, μειώσεις Forbush, κτλ.

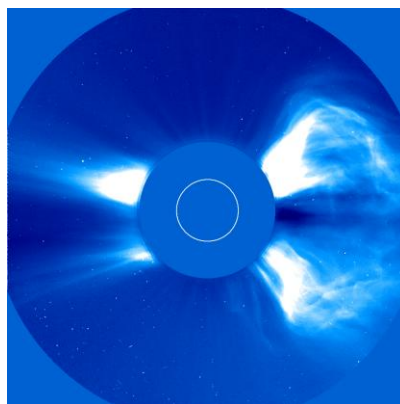
Η δημιουργία της Ηλιακής έκλαμψης οφείλεται στο φαινόμενο της *μαγνητικής επανασύνδεσης* των δυναμικών γραμμών (Σχήμα 1.12). Οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές σχηματίζουν βρόχους (loops). Εξαιτίας ηλεκτρικών ρευμάτων παράλληλων στις δυναμικές γραμμές, δημιουργείται ένα κυκλικό μαγνητικό πεδίο γύρω από αυτές, το οποίο οδηγεί στη σύσφιξη τους. Η σύσφιξη των δυναμικών γραμμών έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση μαγνητικής ενέργειας. Όταν η μαγνητική ενέργεια γίνει πολύ μεγάλη, το σύστημα γίνεται ασταθές. Οι δυναμικές γραμμές σπάνε και επανασυνδέονται, με αποτέλεσμα την αιφνίδια έκλυση ενέργειας, η οποία ευθύνεται για την επιτάχυνση σωματιδίων.



Σχήμα 1.12 Μαγνητική επανασύνδεση των δυναμικών γραμμών

1.1.3.3 Στεμματικές Εκτοξεύσεις Μάζας (CMEs)

Οι στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας (Σχήμα 1.13), αποτελούν φαινόμενο της δραστηριότητας του ηλιακού στέμματος κατά το οποίο υλικό πλάσματος μαζί με μαγνητικό πεδίο αποχωρίζεται από τον Ήλιο και εκτοξεύεται στον διαπλανητικό χώρο με μεγάλη ταχύτητα. Η μάζα του υλικού που εκτοξεύεται φτάνει μέχρι $2 \cdot 10^{16} \text{ g}$ και η συνολική ενέργεια μπορεί να ξεπεράσει τα 10^{32} erg (Wagner, 1984).



Σχήμα 1.13 Halo CME της 7^{ης} Απριλίου 1997, από το SOHO/LASCO

Ο μηχανισμός δημιουργίας μιας CME, έχει τη βάση του στη φωτόσφαιρα, στον σχηματισμό κηλίδων. Τα μαγνητικά κορδόνια αναδυόμενα από τη ζώνη μεταφοράς, δημιουργούν μαγνητικούς βρόχους. Ορισμένοι συγκλίνουν κι έρχονται σε επαφή με τμήματα αντίθετης πολικότητας. Τότε, αλληλεπιδρούν και σπάνε. Τα εναπομείναντα τμήματα ενώνονται και δημιουργούν καινούριο βρόχο ο οποίος έχει αποκοπεί και περιέχει φορτισμένα σωματίδια. Ο νέος βρόχος διαφεύγει από τον Ήλιο με μεγάλη ταχύτητα απελευθερώνοντας ένα τεράστιο ποσό ενέργειας και προκαλώντας έτσι μια CME. Ο μηχανισμός δημιουργίας των CMEs , όπως και των ηλιακών εκλάμψεων, στηρίζεται στη μαγνητική επανασύνδεση. Ωστόσο, μπορεί να δημιουργηθεί μια έκλαμψη, χωρίς να συνοδεύεται από CME, αλλά και το αντίστροφο (εκτόξευση στεμματικού υλικού χωρίς η έκλαμψη να είναι εμφανής). Στο Σχήμα 1.14 παρουσιάζεται μια ηλιακή έκλαμψη, συνοδευόμενη από CME.

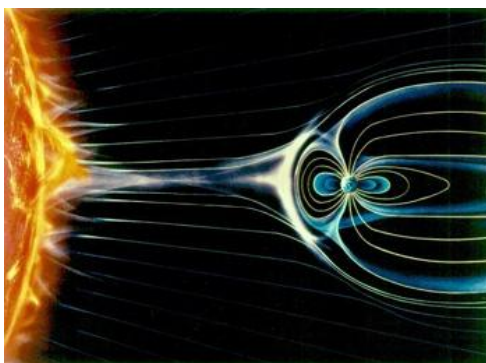


Σχήμα 1.14 Ο μηχανισμός δημιουργίας μιας ηλιακής έκλαμψης και μιας CME

1.1.3.4 Ηλιακός Άνεμος

Ο ηλιακός άνεμος είναι ροή αερίων (φορτισμένων σωματιδίων όπως πρωτόνια, ηλεκτρόνια και ιονισμένα βαρέα άτομα) από τον Ήλιο προς το διαπλανητικό χώρο. Ως φαινόμενο σχετίζεται με την εκτόνωση του ηλιακού στέμματος. Παρατηρησιακά γίνεται αντιληπτό ως προέκταση του στέμματος που εκτείνεται μέχρι τα όρια της ηλιόσφαιρας. Οι στεμματικές οπές είναι τα κύρια σημεία διαφυγής και επιταχύνσεως του ηλιακού ανέμου δεδομένου ότι οι στεμματικές οπές

βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανοικτές μαγνητικές γραμμές, χαμηλή θερμοκρασία και πυκνότητα σε σύγκριση με της αντίστοιχες τιμές του στέμματος. Ο ηλιακός άνεμος (Σχήμα 1.15) εκτοξεύεται από διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του Ήλιου και με διαφορετική αρχική ταχύτητα λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις στεμματικές οπές και ως εκ τούτου λόγω της περιστροφής του ήλιου φτάνει στη Γη κατά ριπές ή αλλιώς ως ρεύματα ή κύματα ηλιακού ανέμου.



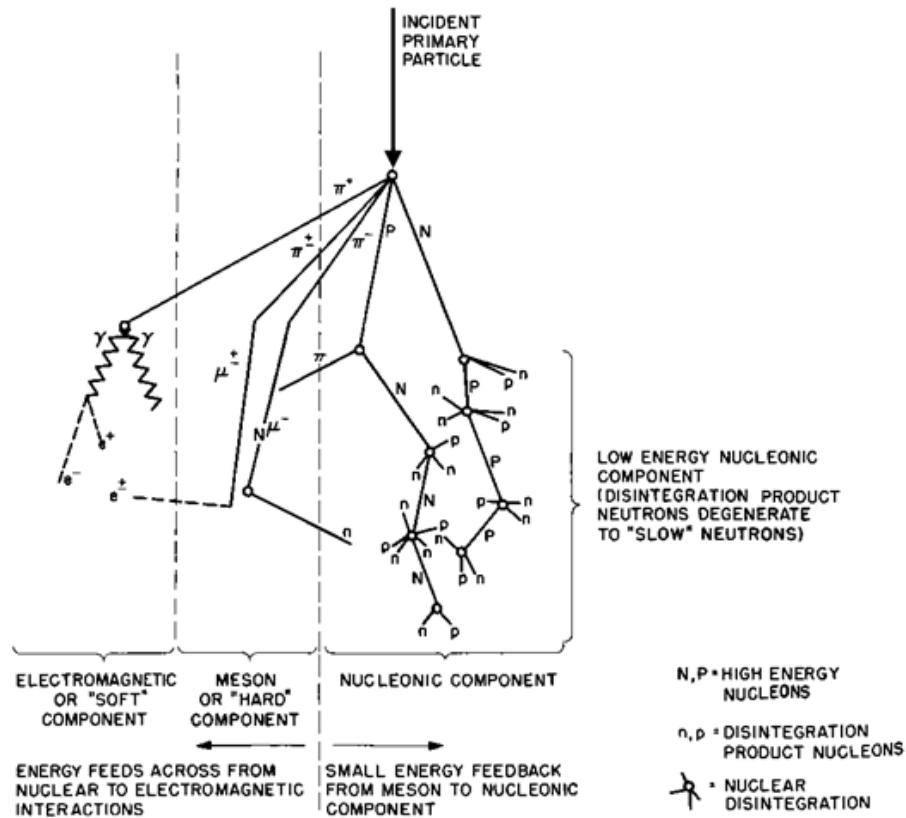
Σχήμα 1.15 Ηλιακός άνεμος

1.2 Κοσμική Ακτινοβολία

Ως κοσμική ακτινοβολία εννοούνται σωματίδια πολύ υψηλών ενεργειών που προέρχονται από εξωγήινες πηγές (Ηλιακή προέλευση, γαλαξιακή προέλευση ή εξωγαλαξιακή προέλευση). Η κοσμική ακτινοβολία διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή.

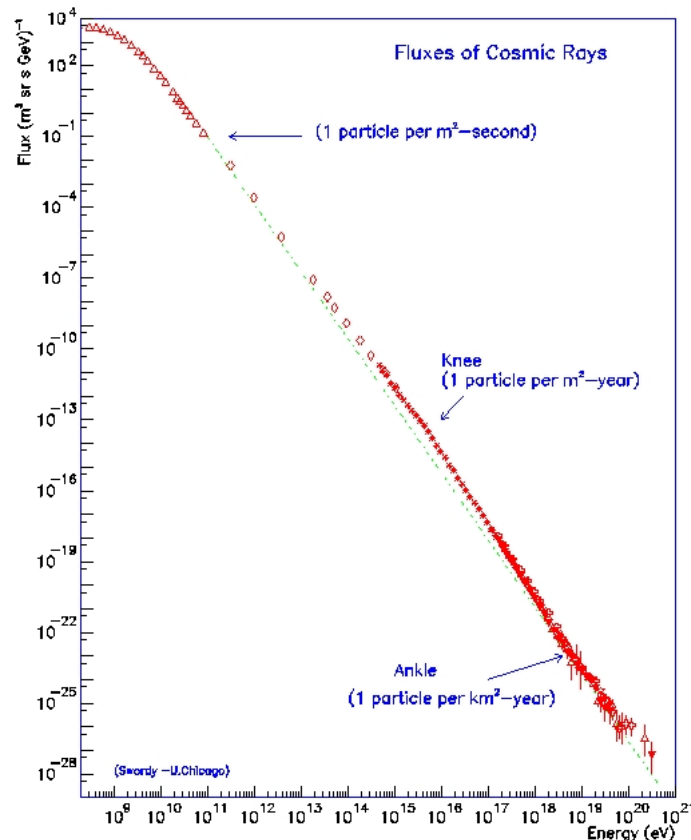
Ως πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία θεωρείται η ακτινοβολία που εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα απ' το διάστημα και αποτελείται από πρωτόνια (90%), α-σωμάτια (9%) και βαρύτερους πυρήνες (1%) με ενέργειες οι οποίες κυμαίνονται στην περιοχή ενεργειών $10^6 \text{ eV} - 10^{21} \text{ eV}$ (Μαυρομιχαλάκη, 2005). Δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία θεωρείται η ακτινοβολία που προκύπτει μετά την αλληλεπίδραση της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας με τα μόρια της ατμόσφαιρας (Σχήμα 1.16). Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελείται από μίονια κατά 80% (σκληρή, μεσονική συνιστώσα),

ηλεκτρόνια κατά 18% (μαλακή, ηλεκτρονική-φωτονική συνιστώσα) και πρωτόνια και νετρόνια (νουκλεονική συνιστώσα) κατά 1-2%



Σχήμα 1.16 Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την εξέλιξη ενός νουκλεονικού καταγισμού στην ατμόσφαιρα (Μαυρομιχαλάκη, 2005)

Η ροή κοσμικών ακτίνων με ενέργεια μεγαλύτερη από 1 GeV μειώνεται καθώς η ενέργεια αυξάνει. Η μεταβολή της έντασης J των κοσμικών ακτίνων συναρτήσει της ενέργειας, φαίνεται στο Σχήμα 1.17 και είναι της μορφής $J = kE^{-\gamma}$, για ενέργειες μεγαλύτερες από ένα κατώφλι ενέργειας και όπου γ και k είναι σταθερές



Σχήμα 1.17 Ολοκληρωμένο ενεργειακό φάσμα κοσμικών ακτίνων
(Μαυρομιχαλάκη, 2005)

1.2.1 Διαμόρφωση κοσμικής ακτινοβολίας

Η κοσμική ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλη ισοτροπία και σταθερότητα σε γαλαξιακή κλίμακα. Ο Ήλιος όμως και ο ενδοπλανητικός χώρος απ' όπου περνά για να φθάσει στη Γη, ασκούν βαθιά επίδραση ακόμα και σε ηλιοκεντρικές αποστάσεις των 10 A.U. Έτσι παρουσιάζονται ανισοτροπίες και μεταβολές τόσο στο ενεργειακό φάσμα όσο και στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας.

Οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας συναρτήσει του χώρου, του χρόνου και της ενέργειας ονομάζονται διαμόρφωση της Κοσμικής ακτινοβολίας (Μαυρομιχαλάκη, 2005). Οι μεταβολές αυτές διακρίνονται σε περιοδικές (π.χ. 11ετής κύκλος και 22ετής κύκλος, ημερήσια μεταβολή) και μη περιοδικές (μειώσεις Forbush και Μικρής κλίμακας μεταβολές π.χ. GLE's)

1.2.2 Περιοδικές Μεταβολές

1.2.2.1 Ο 11ετής κύκλος και ο 22ετής κύκλος

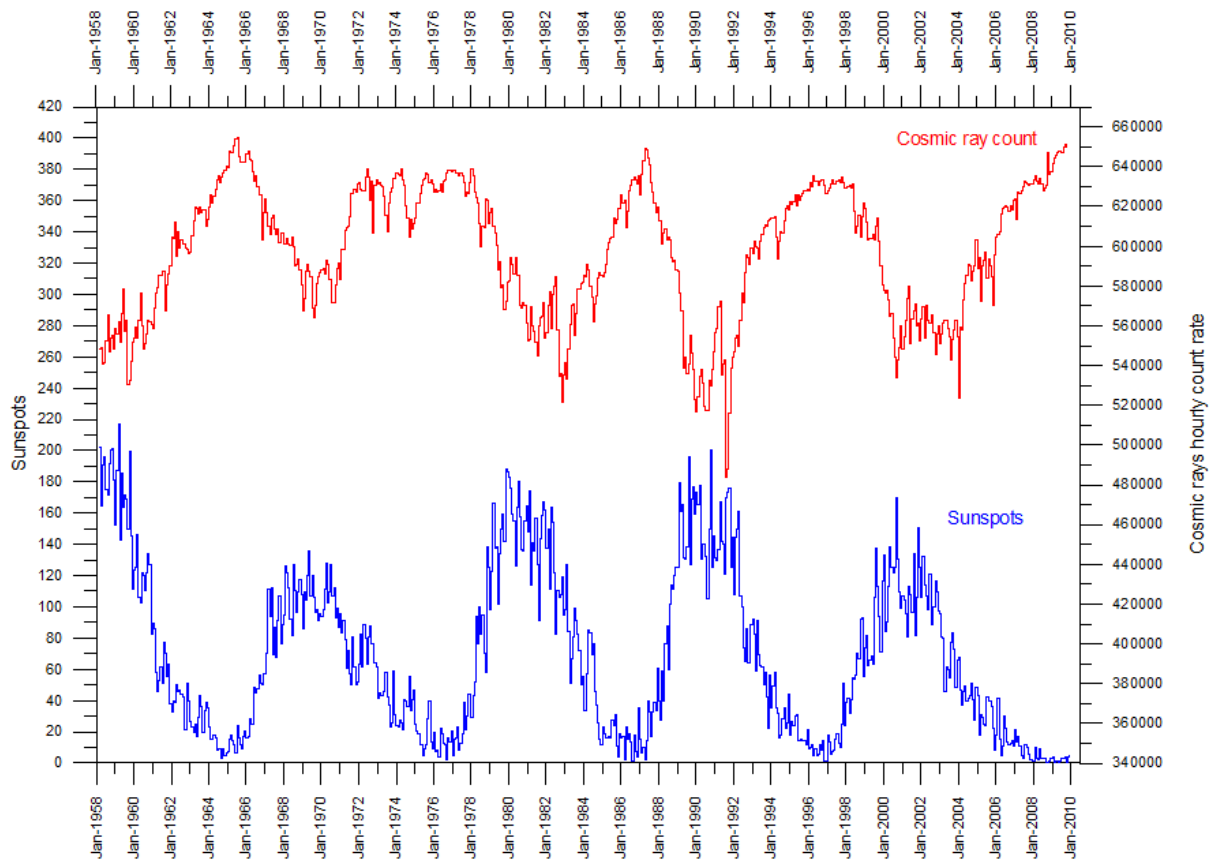
Πρώτος ο Forbush το 1958 έδειξε πως η κοσμική ακτινοβολία βρίσκεται σε αρνητική συσχέτιση με την ηλιακή δραστηριότητα και μάλιστα με μια χρονική υστέρηση μερικών μηνών. Η μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας οφείλεται σε μεταβολές της δομής του ενδοπλανητικού μαγνητικού πεδίου. Και αυτό γιατί ο μαγνητικός θώρακας της ηλιόσφαιρας γίνεται λιγότερο διαπερατός όταν το μαγνητικό πεδίο που φέρεται παγωμένο μέσα στο πλάσμα είναι ισχυρότερο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τόσο λιγότερα σωμάτια να μπορούν να φθάσουν στην περιοχή της Γης όσο η ηλιόσφαιρα καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση.

Κατά τη διάρκεια του κύκλου της ηλιακής δραστηριότητας συμβαίνουν μεταβολές των μέσων χαρακτηριστικών της κοσμικής ακτινοβολίας. Η εξάρτηση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και των παραμέτρων της ηλιακής δραστηριότητας δίνεται απ' τη σχέση:

$$I = I_0 \exp (- A n^{0.8} \phi^{-1.2})$$

όπου n ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων, ϕ το ηλιογραφικό πλάτος των κηλίδων και I_0 , A παράμετροι διαφορετικές στις διάφορες ενεργειακές περιοχές. (Charakchyan 1977)

Στο Σχήμα 1.18 παρουσιάζεται η αντισυσχέτιση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων



Σχήμα 1.18 Μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με την ηλιακή δραστηριότητα (αριθμός ηλιακών κηλίδων) από το 1958. Τα δεδομένα προήλθαν από τον μετρητή νετρονίων Germany Cosmic Ray Monitor στο Kiel (GCRM) και από National Geophysical Data Center (NGDC), αντίστοιχα.

Οι ομοιότητες που παρουσιάζουν οι άρτιοι κύκλοι μεταξύ τους, οι περιττοί μεταξύ τους καθώς και οι διαφορές μεταξύ άρτιων περιττών, αποτελούν ένδειξη για την ύπαρξη μιας 22-ετους περιοδικότητας της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας επί πλέον της γνωστής 11-ετους μεταβολής. Οι ομοιότητες και οι διαφορές αυτές αφορούν στο πλήθος των μεγίστων, το σχήμα, τη διάρκεια επαναφοράς καθώς και τη χρονική υστέρηση και οφείλονται στην αλλαγή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου (Μαυρομιχαλάκη, 2005).

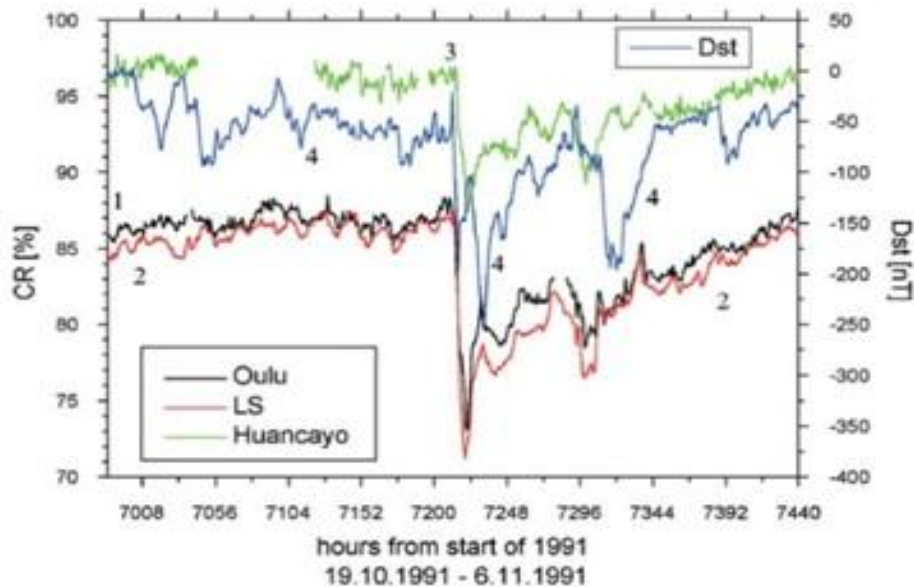
1.2.2.2 Η ημερήσια μεταβολή

Ήδη από το 1938 είχε αναφερθεί η ύπαρξη ενός μεγίστου στην ένταση της Κοσμικής Ακτινοβολίας κατά τις πρώτες απογευματινές ώρες. Είναι μεταβολή περιοδικότητας 24 hr και τοπικού χρόνου. Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν για την ανισοτροπία της πρωτογενούς Κοσμικής Ακτινοβολίας, από την οποία προήλθε η ημερήσια μεταβολή στη Γη, είναι ότι έχει μεταβλητό χαρακτήρα και τα μέσα ετήσια χαρακτηριστικά παρουσιάζουν εντυπωσιακή συσχέτιση με τον 11-ετή κύκλο. Το μέσο πλάτος της ημερήσιας ανισοτροπίας είναι 0.4%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φθάσει και το 1.5%. Η διεύθυνση της μέγιστης έντασης είναι η 18:00 hr ως προς τη γραμμή Γης – Ήλιου (Μαυρομιχαλάκη, 2005). Η θεωρία μεταφοράς-διάχυσης όπως έχει επεκταθεί σήμερα και στις γαλαξιακές Κοσμικές Ακτίνες δίνει μια ικανοποιητική εξήγηση στις μεταβολές και την ποικιλία των χρόνων της μέγιστης έντασης της αυξημένης ημερήσιας ανισοτροπίας.

1.2.3 Μη περιοδικές μεταβολές

1.2.3.1 Μείωση Forbush

Είναι η απότομη ελάττωση της έντασης των κοσμικών ακτίνων κατά τουλάχιστον 5% σε διάστημα λίγων ωρών (έως 2 ημερών) και επάνοδος σε μερικές μέρες ή εβδομάδες (Σχήμα 1.19). Είναι φαινόμενο παγκόσμιου χρόνου (U.T). Η επαλληλία μερικών μειώσεων Forbush ονομάζεται καταιγίδα.



Σχήμα 1.19 Η μεγαλύτερη μείωση Forbush μεταξύ 1982 και 2002, Kudela & Brenkus (2004). Μέσα σε μια ημέρα η μείωση στο σταθμό Oulu πλησίασε το 15% .

Η μείωση Forbush οφείλεται σ' έναν μηχανισμό ανάλογο μ' αυτόν που είναι υπεύθυνος για την 11ετή μεταβολή. Το μαγνητικό πεδίο που φέρεται παγωμένο στον ηλιακό άνεμο, θωρακίζει μαγνητικά τη Γη και τα φορτισμένα σωματίδια της γαλαξιακής Κοσμικής ακτινοβολίας εκτρέποντάς τα προς τα έξω. Η εκτροπή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο εντονότερη είναι η εκπομπή του ηλιακού πλάσματος. Είναι αυξημένη κατά το μέγιστο της 11-ετούς περιόδου του Ήλιου και κατά τις έκτακτες δραστηριότητές του.

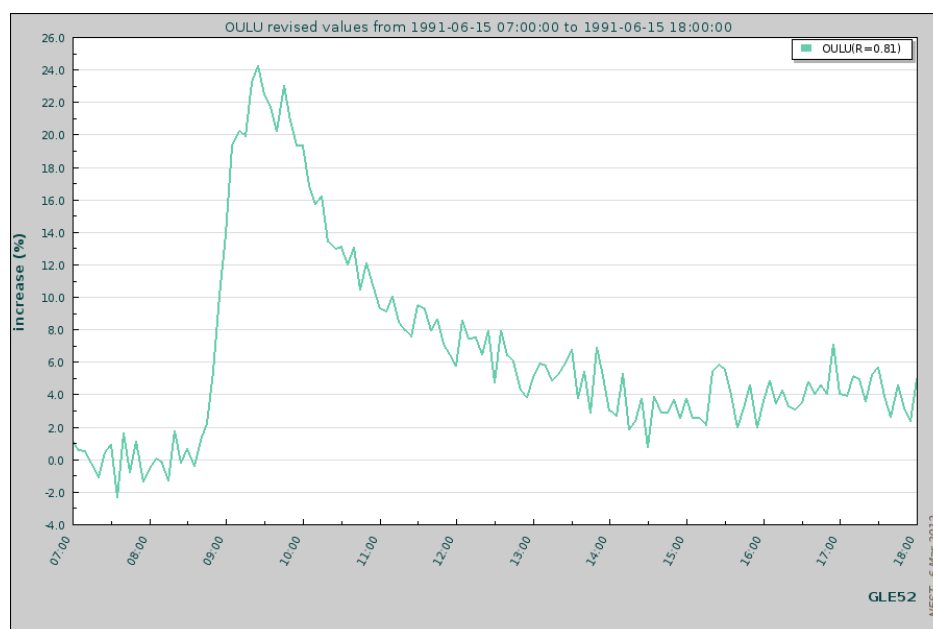
1.2.3.2 Ηλιακά πρωτονικά γεγονότα

Εκτός από την γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία, υπάρχουν περιστασιακές προσωρινές αυξήσεις στην ακτινοβολία που δέχεται ο άνθρωπος από το διάστημα που σχετίζονται με την ηλιακή δραστηριότητα. Με τον όρο ηλιακά πρωτονικά γεγονότα (solar proton events - SPE) εννοούμε αυτές τις αυξήσεις που συμβαίνουν εντονότερα κατά τη διάρκεια των επτά χρόνων γύρω από ένα μέγιστο του ηλιακού κύκλου και έχουν τυπική διάρκεια μερικών ωρών (Bazilevskaya, 2005). Ένα ηλιακό πρωτονικό γεγονός είναι η απότομη αύξηση του πληθυσμού των πρωτονίων με ένταση μεγαλύτερη από $10 \text{ σωματίδια/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$ (pfu) και ενέργεια μεγαλύτερη από 10

MeV, όπως μετρούνται από τους δορυφόρους στην τροχιά της Γης (1AU). Γενικά τα SPE έχουν χαμηλότερο ενεργειακό φάσμα από την γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία με την πλειονότητα τους να έχουν πρωτόνια ενεργειών μεταξύ 10 και 100 MeV και δεν είναι ανιχνεύσιμα στην επιφάνεια της Γης.

1.2.3.3 Επίγειες επαυξήσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας

Ως επίγεια επαύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας (Ground Level Enhancement – GLE), ορίζεται η μικρής διάρκειας απότομη αύξηση στον ρυθμό καταμέτρησης των σωματιδίων της κοσμικής ακτινοβολίας από επίγειους ανιχνευτές (Belon, 2005). Τα σωματίδια αυτά πρέπει να έχουν ενέργειες τουλάχιστον 500 MeV, ώστε να φθάσουν στη γήινη μαγνητόσφαιρα και να καταγραφούν από επίγειους μετρητές ως δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία (Simpson, 2000). Περίπου το 15% των SPEs είναι GLEs. Το χρονικό προφίλ των GLEs είναι μια απότομη αύξηση στην επί τοις εκατό μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σε μικρό χρονικό διάστημα (μερικά λεπτά) ενώ η επαναφορά γίνεται σε διάστημα μερικών ωρών. Στο Σχήμα 1.20 παρουσιάζεται το χρονικό προφίλ του γεγονότος της 16^{ης} Ιουνίου 1991 (GLE – 52).

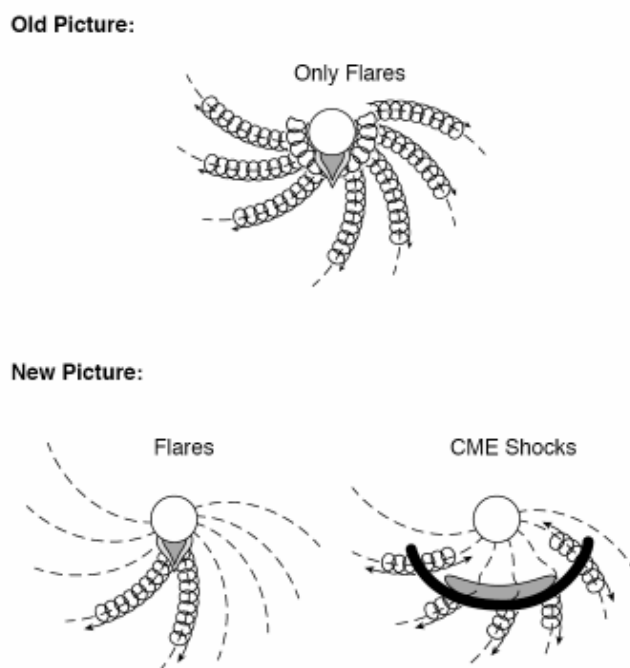


Σχήμα 1.20 Χρονικό προφίλ του γεγονότος της 16ης Ιουνίου 1991 (GLE – 52), από το σταθμό Oulu, Finland.

1.2.4 Μηχανισμοί επιτάχυνσης των ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων

Μέχρι σήμερα ο μηχανισμός επιτάχυνσης των σωματιδίων κατά τη διάρκεια των GLEs δεν είναι πλήρως κατανοητός. Η επιτάχυνση σχετικιστικών πρωτονίων λαμβάνει χώρα κατά τη μαγνητική επανασύνδεση (Cane et al., 2006) ή σε κάποιο κρουστικό κύμα που σχετίζεται με τις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας (Reames, 1999). Πρόσφατες μελέτες υποστηρίζουν πως ενδέχεται οι ηλιακές εκλάμψεις και οι στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας να αποτελούν διαφορετικές εκδηλώσεις της ίδιας εκρηκτικής διαδικασίας (Lin et al., 2005).

Η σημερινή αντίληψη δέχεται τις ηλιακές εκλάμψεις (*solar flares*) καθώς και τα κρουστικά κύματα τα οποία σχετίζονται με τις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας (*CMEs*) ως τους μηχανισμούς επιτάχυνσης των ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων ενώ μέχρι το 1999 θεωρούνταν μόνο οι ηλιακές εκλάμψεις ως μηχανισμός επιτάχυνσης τους (Σχήμα 1.21).



Σχήμα 1.21 Η παλαιότερη αντίληψη ότι η επιτάχυνση των ηλιακών ενεργητικών σωματιδίων οφείλεται μόνο στο μηχανισμό της έκλαμψης, σε αντίθεση με τη σημερινή αντίληψη, η οποία δέχεται τις στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας ως εξίσου πιθανό επιταχυντή (Reames, 1999).

Η κυκλοφορία του πλάσματος μέσα και κάτω από τη φωτόσφαιρα προκαλεί τη συστροφή των μαγνητικών γραμμών στο ηλιακό στέμμα. Η μαγνητική ενέργεια που απελευθερώνεται από την μαγνητική επανασύνδεση (σπάσιμο και επανένωση μαγνητικών γραμμών) προκαλεί τις ηλιακές εκλάμψεις και την απελευθέρωση των CMEs. Στις εκλάμψεις, η ενέργεια και η επιτάχυνση των σωματιδίων οφείλεται στο καυτό πλάσμα που περικλείεται στους μαγνητικούς βρόχους και ψύχεται με την εκπομπή ακτινοβολίας. Στις CMEs, η ενέργεια εμφανίζεται ως κινητική ενέργεια των CMEs: 10^{16} g εκτινάσσονται με ταχύτητα 1000 km/sec και η συνολική ενέργεια μπορεί να ξεπεράσει τα 10^{32} erg (Webb και Howard, 1994). Είναι σαφές ότι οι εκλάμψεις και οι CMEs μπορούν να εμφανιστούν ξεχωριστά. Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες εκλάμψεις συνοδεύονται από CME. Στην περίπτωση, όμως, μεγαλύτερων γεγονότων, μπορεί και να εμφανίζονται ταυτόχρονα. (Reames, 1999)

1.2.4.1 Επιτάχυνση από ηλιακές εκλάμψεις

Οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί επιτάχυνσης σωματιδίων σε μία έκλαμψη είναι:

- η επιτάχυνση από συνεχή ηλεκτρικά πεδία (επιτάχυνση από μεγάλης κλίμακας ημι-στατικά πεδία),
- η στοχαστική επιτάχυνση (λόγω συντονισμού ή υπέρθεσης συντονισμού κατά την αλληλεπίδραση σωματίου – κύματος), κατά την οποία κύματα με χαμηλή συχνότητα πλάσματος $\omega \leq \Omega_i$, όπως τα κύματα Alfvén, μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά τα ιόντα, ενώ κύματα με συχνότητα $\omega \leq \Omega_e$, όπως τα κύματα Whistler, μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά τα ηλεκτρόνια, και
- η επιτάχυνση από κρουστικά κύματα (επιτάχυνση ολίσθησης πάνω στο κρουστικό κύμα ή διάχυτη επιτάχυνση από το κρουστικό κύμα), τα οποία εμφανίζονται εξαιτίας της μαγνητικής επανασύνδεσης είτε της τοπικής θέρμανσης του περιβάλλοντος πλάσματος (Cargill, 1991; 2001). Κατά την επιτάχυνση ολίσθησης τα σωματίδια κερδίζουν ενέργεια καθώς ολισθαίνουν κατά μήκος του ηλεκτρικού πεδίου στην μπροστινή επιφάνεια του κρουστικού κύματος. Η διάχυτη επιτάχυνση εμφανίζεται όταν ένα σωματίδιο αλληλεπιδρά με τα επονομαζόμενα κέντρα σκέδασης σε όποια από τις δύο πλευρές του κρουστικού κύματος. Τα σωματίδια επιταχύνονται καθώς σκεδάζονται πολλές φορές από το μέτωπο ενός

ημι-παράλληλου κρουστικού κύματος, το οποίο οφείλει την ύπαρξή του σε μαγνητικές ανωμαλίες (Drury, 1983). Αν στο σύστημα του κύματος τα κέντρα σκέδασης πλησιάζουν το ένα το άλλο, τα σκεδαζόμενα σωματίδια κερδίζουν συστηματικά ενέργεια. Στην περίπτωση των ηλιακών εκλάμψεων τα κέντρα σκέδασης είναι μαγνητοϋδροδυναμικά κύματα χαμηλής συχνότητας που παράγονται από ενεργητικά σωματίδια που ρέουν μακριά από το κρουστικό κύμα (Fermi, 1949).

1.2.4.2 Επιτάχυνση από CMEs

Τα σωματίδια επιταχύνονται καθώς σκεδάζονται στις ανάντη (upstream) και κατάντη (downstream) περιοχές του κρουστικού κύματος. Όταν το μαγνητικό πεδίο είναι ημι-παράλληλο, η ταχύτητα των σωματιδίων αυξάνει λόγω της συγκλίνουσας ροής των κέντρων σκέδασης κάθε φορά που διασχίζουν το κρουστικό κύμα. Όταν το μαγνητικό πεδίο είναι σχεδόν κάθετο, τα σωματίδια μπορούν να αποκτήσουν ενέργεια λόγω ολίσθησης στο ηλεκτρικό πεδίο του κρουστικού κύματος (Decker and Vlahos, 1986).

Τα τελευταία 30 χρόνια, έχει επικρατήσει πως το μεγαλύτερο μέρος της επιτάχυνσης οφείλεται στην πρώτης τάξεως επιτάχυνση Fermi από το μέτωπο του κρουστικού κύματος της στεμματικής εκτόξευσης μάζας (CME) η οποία συχνά συνοδεύει μια ηλιακή έκλαμψη (Moraal, 2009).

1.2.4.3 1ης τάξεως επιτάχυνση Fermi

Τα σωματίδια συγκρουόμενα με μαγνητικά νέφη, μπορούν να επιταχυνθούν σε υψηλές ενέργειες. Στην αρχική εικόνα του Fermi, φορτισμένα σωματίδια ανακλώνται από “μαγνητικούς καθρέπτες” (magnetic mirrors) οι οποίοι σχετίζονται με ανωμαλίες στο γαλαξιακό μαγνητικό πεδίο. Σε πρώτη προσέγγιση οι καθρέπτες κινούνται τυχαία και ο Fermi έδειξε ότι τα σωματίδια σ’ αυτές τις εκτροπές στατιστικά κερδίζουν ενέργεια.

Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων συγκρούσεων. Το σωματίδιο ελίσσεται γύρω από μια μαγνητική δυναμική γραμμή, εισέρχεται σε μια περιοχή μεγαλύτερης έντασης αυξάνοντας έτσι την pitch angle (γωνία της ταχύτητας του σωματιδίου με το μαγνητικό πεδίο) έως ότου το επίπεδο περιστροφής γίνει κάθετο στη διεύθυνση του

πεδίου που καθρεφτίζει ένα παγιδευμένο σωματίδιο (mirrors) ή το σωματίδιο διπλώνεται κατά μήκος των δυναμικών γραμμών σαν ζώνη.

Το σωματίδιο κερδίζει ενέργεια κατά τις μετωπικές κρούσεις με το νέφος. Αν όμως οι φορές κίνησης σωματιδίου και πεδίου συμπίπτουν, το σωματίδιο χάνει ενέργεια. Στατιστικά αποδεικνύεται ότι οι κατά μέτωπο συγκρούσεις είναι περισσότερες και συνεπώς τα σωματίδια κερδίζουν στατιστικά ενέργεια.

1.3 Γήινη Μαγνητόσφαιρα

Η Γη έχει ένα σημαντικό μαγνητικό πεδίο στην επιφάνειά της, το οποίο ελαττώνεται μακριά της. Ο χώρος μέσα στον οποίο το μαγνητικό πεδίο της Γης εξακολουθεί να επικρατεί του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου καλείται Μαγνητόσφαιρα. Η μαγνητόσφαιρα της Γης είναι μια αχανής μαγνητική κοιλότητα εντός της ροής του ηλιακού ανέμου, που δημιουργείται λόγω της αλληλεπίδρασης του ηλιακού ανέμου και του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου με το μαγνητικό πεδίο της Γης. Το μαγνητικό πεδίο της Γης, μπορεί να προσεγγιστεί με ένα έκκεντρο μαγνητικό διπολικό πεδίο που το 2000 βρισκόταν σε απόσταση 540 km από το κέντρο της Γης και είχε προβολή στην επιφάνεια της Γης με γεωγραφικό πλάτος $21,8^{\circ}\text{N}$ και γεωγραφικό μήκος $143,4^{\circ}\text{W}$ (σύμφωνα με προσεγγιστικούς υπολογισμούς του μοντέλου International Geomagnetic Reference Field – IGRF). Ως μαγνητικοί πόλοι θεωρούνται τα σημεία εκείνα στα οποία οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές σχηματίζουν γωνία 90° με την επιφάνεια του εδάφους και έχουν μηδενική οριζόντια συνιστώσα. Οι δύο μαγνητικοί πόλοι, όχι μόνο δεν ταυτίζονται με τους γεωγραφικούς πόλους του πλανήτη, αλλά έχουν συντεταγμένες που μεταβάλλονται συνεχώς. Ωστόσο, ο άξονας του γεωμαγνητικού διπόλου σχηματίζει γωνία περίπου $11,3^{\circ}$ με τον άξονα περιστροφής της Γης (Μαυρομιχαλάκη 2005). Σύμφωνα με την Γεωλογική Υπηρεσία του Καναδά, οι συντεταγμένες του μαγνητικού Βόρειου Πόλου το 2001 ήταν $81,3^{\circ}\text{N}$ και $110,8^{\circ}\text{W}$.

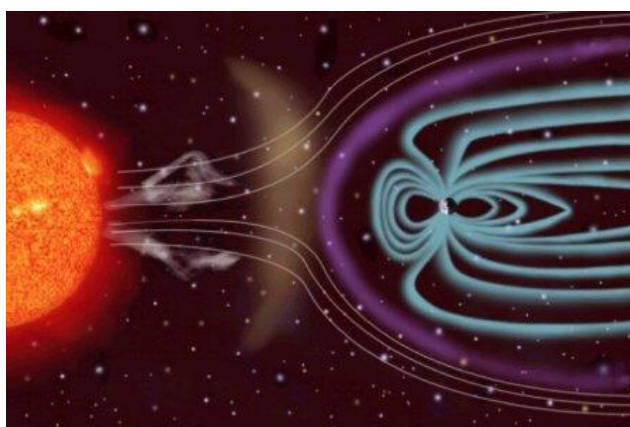
1.3.1 Δημιουργία της γήινης μαγνητόσφαιρας

Ως επικρατούσα θεωρία για την παραγωγή του γεωμαγνητικού πεδίου, έχει καθιερωθεί η θεωρία του δυναμό, η οποία περιγράφει τη διαδικασία με την οποία ο γρήγορα περιστρεφόμενος, ρευστός, αγωγίμος, μεταλλικός πυρήνας της Γης μπορεί

να παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, σύμφωνα πάντα με τις εξισώσεις Maxwell.

Η ένταση του διπολικού πεδίου μειώνεται σαν συνάρτηση του r^3 . Σε μεγάλες αποστάσεις, όμως, από τη Γη το γήινο μαγνητικό πεδίο συμπεριφέρεται πολύ διαφορετικά απ' ότι προβλέπεται απ' το διπολικό πρότυπο. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης ακολουθεί τη διπολική συμπεριφορά έως περίπου $5 R_\Gamma$, ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι μεγαλύτερη απ' την αναμενόμενη (Cahill and Amazeen, 1963). Μια ακόμη σημαντική πληροφορία για το γεωμαγνητικό πεδίο που προήλθε από τις διαστημικές παρατηρήσεις, ήταν η πληροφορία για ύπαρξη γεωμαγνητικής ουράς.

Η αλληλεπίδραση του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου, που μεταφέρεται “παγωμένο” μέσα στον ηλιακό άνεμο και του γεωμαγνητικού διπολικού πεδίου έχει, σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση του τελευταίου (Μαυρομιχαλάκη, 2005). Πιο συγκεκριμένα το γεωμαγνητικό πεδίο συμπιέζεται συνεχώς από τον ηλιακό άνεμο και περιορίζεται σ' ένα θόλο γνωστό ως μαγνητόσφαιρα. Οι δύο κύριες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά το σχηματισμό της γήινης μαγνητόσφαιρας (Σχήμα 1.22) είναι η **αλληλεπίδραση ιζώδους** ανάμεσα στο γήινο μαγνητικό πεδίο και στον ηλιακό άνεμο, και η **μαγνητική επανασύνδεση**. Και με τους δύο αυτούς μηχανισμούς, ενέργεια μπορεί να εισέλθει στη μαγνητόσφαιρα οδηγώντας την εξέλιξη πολλών μαγνητοσφαιρικών φαινομένων.

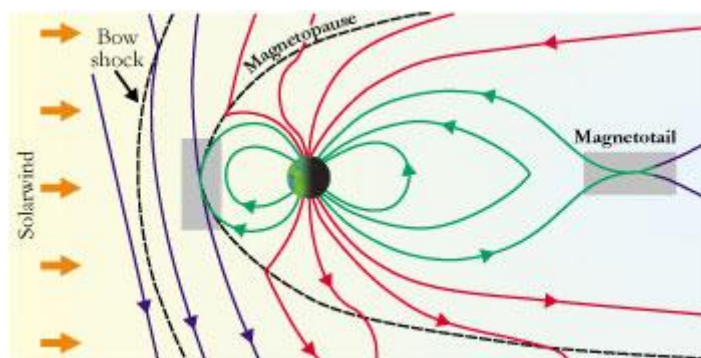


Σχήμα 1.22 Ο ηλιακός άνεμος και το μαγνητικό πεδίο της Γης δημιουργούν τη μαγνητόσφαιρα

Με τη διαδικασία αλληλεπίδρασης ιζώδους, ορμή μεταφέρεται από τον ηλιακό άνεμο σε κλειστές διπολικές μαγνητικές γραμμές της μαγνητόσφαιρας, οι

οποίες κινούνται κατά τη διεύθυνση κίνησης του ηλιακού ανέμου. Ένα αποτέλεσμα αυτής της κίνησης είναι ο σχηματισμός της γεωμαγνητικής ουράς (μαγνητοουρά).

Με τη διαδικασία της μαγνητικής επανασύνδεσης, η μαγνητόσφαιρα αποτελεί ένα ανοιχτό σύστημα ανταλλαγής ενέργειας με τον ηλιακό άνεμο και έχει επίσης σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μαγνητοσφαιρικού συστήματος μεταφοράς (Dungey, 1961). Σύμφωνα με το μοντέλο της "ανοιχτής" μαγνητόσφαιρας που εισήγαγε ο Dungey (1961), προβλέπεται ότι κάθε φορά που ο ηλιακός άνεμος φέρνει μαγνητικό πεδίο που έχει μια συνιστώσα με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, αντίθετη δηλαδή από αυτή του διπολικού πεδίου, τότε αυτό το μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με το γεωμαγνητικό πεδίο μέσω της διαδικασίας της μαγνητικής επανασύνδεσης στο επίπεδο του ισημερινού (Σχήμα 1.23)



Σχήμα 1.23 Η μαγνητική επανασύνδεση

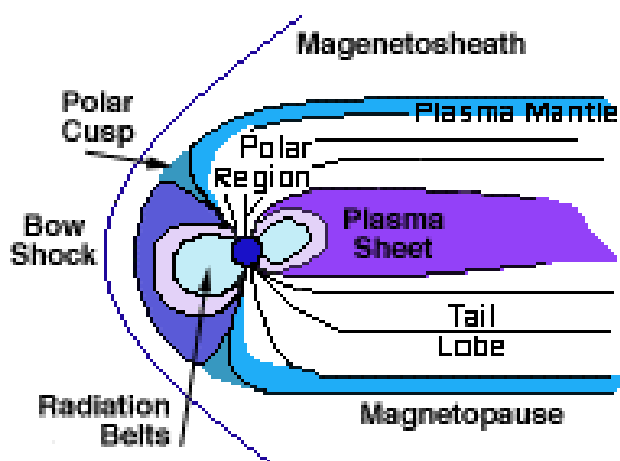
Η μαγνητική επανασύνδεση μπορεί να λάβει χώρα στη μαγνητόπαυση (magnetopause) ή στη μαγνητοουρά (magnetotail). Οι δύο περιοχές σημειώνονται με γκρι χρώμα στο Σχήμα 1.23. Όταν το διαπλανητικό πεδίο (μπλε γραμμές) είναι προσανατολισμένο προς νότο, η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα στη φωτεινή πλευρά της μαγνητόσφαιρας (πράσινες γραμμές). Καθώς κινείται ο ηλιακός άνεμος οι επανασυνδεόμενες μαγνητικές γραμμές (κόκκινες γραμμές) παρασύρονται προς τη σκοτεινή πλευρά της μαγνητόσφαιρας όπου γίνεται η αντίστροφη διαδικασία.

Μέσα από τη διαδικασία επανασύνδεσης των γεωμαγνητικών γραμμών με τις δυναμικές γραμμές του διαπλανητικού πεδίου, η μαγνητόσφαιρα αποτελεί ανοιχτό σύστημα. Αυτό επιτρέπει στο ηλιακό πλάσμα να εισέλθει στη μαγνητόσφαιρα, μεταφέροντας μαζί την απαιτούμενη ενέργεια για τη δημιουργία πολλών μαγνητοσφαιρικών φαινομένων, καθιστώντας έτσι τη μαγνητόσφαιρα μια

μαγνητοϋδροδυναμική γεννήτρια που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ηλιακού πλάσματος σε ηλεκτρική ενέργεια.

1.3.2 Κύρια μέρη της Μαγνητόσφαιρας

Στην μαγνητόσφαιρα διακρίνονται ορισμένα στρώματα (Σχήμα 1.24) με διαφορετικές ιδιότητες ως προς την πυκνότητα, την θερμοκρασία ή τη σύσταση.



Σχήμα 1.24 Στρώματα της μαγνητόσφαιρας

Το **κρουστικό κύμα (Bow Shock)** δημιουργείται καθώς ο ηλιακός άνεμος πλησιάζει τη Γη με υπερηχητική ταχύτητα, συναντά το «εμπόδιο» του γεωμαγνητικού πεδίου και το παρακάμπτει σαν ρευστό γύρω από κυρτή επιφάνεια. Μόλις ο ηλιακός άνεμος περάσει το κύμα κρούσης, η ταχύτητα μειώνεται και η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική οπότε αυξάνεται η θερμοκρασία και η πυκνότητα. Η περιοχή αυτή καλείται **μαγνητοθήκη (magnetosheath)** και έχει εύρος 2- 4 R_E . Το όριο της μαγνητοθήκης προς την πλευρά της Γης είναι η **μαγνητόπαυση (magnetopause)**. Στη σκοτεινή πλευρά της Γης, η συνεχής ροή του ηλιακού ανέμου στη μαγνητοθήκη έχει, σαν αποτέλεσμα τη “σάρωση” των πολικών δυναμικών γραμμών και το σχηματισμό της **μαγνητοουράς (magnetotail)** που εκτείνεται μέχρι περίπου 1000 R_E . Στη φωτεινή πλευρά και στα μεγάλα πλάτη, παρατηρείται ένας απότομος διαχωρισμός των μαγνητικών δυναμικών γραμμών που βρίσκονται στη φωτεινή μαγνητόσφαιρα, απ’ τις δυναμικές γραμμές μεγάλου πλάτους που προεκτείνονται στη μαγνητοουρά. Αυτό δημιουργεί μια σχισμή στη φωτεινή πλευρά της μαγνητόπαυσης που ονομάζεται **πολική σχισμή (polar cusp)**.

Το πλάσμα της μαγνητοθήκης δημιουργεί ένα λεπτό φλοιό που "εφάπτεται" κατά μήκος της μαγνητόπαυσης και είναι γνωστό σαν οριακό στρώμα μαγνητόπαυσης (magnetopause boundary layer). Διακρίνεται στο οριακό στρώμα μαγνητόπαυσης στα μεγάλα πλάτη της μαγνητοουράς, που ονομάζεται **μανδύας πλάσματος (plasma mantle)** και στο οριακό στρώμα της μαγνητόπαυσης στα χαμηλά πλάτη που ονομάζεται οριακό στρώμα χαμηλού πλάτους (low latitude boundary layer, LLBL). Το μεγαλύτερο τμήμα της μαγνητοουράς αποτελείται από δυο περιοχές χαμηλής σωματιδιακής πυκνότητας, γνωστές σαν **μαγνητικοί λοβοί (magnetic lobes)** (Μαυρομιχαλάκη, 2005), ένα στο βόρειο ήμισυ της μαγνητοουράς και έναν στο νότιο ήμισυ αυτής. Ανάμεσα στους δυο λοβούς της μαγνητοουράς βρίσκεται το **οριακό στρώμα της ζώνης πλάσματος (Plasma Sheet Boundary Layer)**.

1.3.3 Ζώνες ακτινοβολίας στη μαγνητόσφαιρα

Η κίνηση των φορτισμένων σωματιδίων μέσα στη μαγνητόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των ζωνών Van-Allen και της ζώνης του σέλαος (Μαυρομιχαλάκη, 2005)

Οι ζώνες ακτινοβολίας Van Allen, (από τον James Van Allen που τις ανακάλυψε), είναι δυο ζώνες με παγιδευμένα σωματίδια. Χωρίζονται στις εσωτερικές ζώνες ακτινοβολίας (από την ιονόσφαιρα μέχρι 4 ή 5 R_E) και τις εξωτερικές ζώνες (από 4-5 R_E μέχρι τη μαγνητόπαυση). Η εσωτερική ζώνη ακτινοβολίας περιέχει ενεργητικά σωματίδια που προέρχονται από νετρόνια τα οποία παράγονται από τις κοσμικές ακτίνες που βομβαρδίζουν την ατμόσφαιρα του πλανήτη. Τα νετρόνια είναι ασταθή με μικρούς χρόνους ζωής και διασπώνται σε πρωτόνια, ηλεκτρόνια και αντινετρίνα. Τα φορτισμένα σωματίδια αιχμαλωτίζονται από το γεωμαγνητικό πεδίο και από αυτή τη διαδικασία προέρχονται τα περισσότερα ενεργητικά σωματίδια της εσωτερικής ζώνης ακτινοβολίας Van Allen. Τα σωματίδια της εξωτερικής ζώνης ακτινοβολίας Van Allen συνδέονται με τον ηλιακό άνεμο και τις δυναμικές διαταραχές του σέλαος.

Στη ζώνη του σέλαος ανήκει το μεγαλύτερο μέρος του σωματιδιακού πληθυσμού της μαγνητοουράς το οποίο βρίσκεται στη ζώνη πλάσματος. Είναι σωματίδια και ιονοσφαιρικής και ηλιακής προέλευσης.

1.3.4 Γεωμαγνητική δραστηριότητα

Εξαιτίας του παραγόμενου ηλιακού ανέμου από τον Ήλιο, η Γη συγκρούεται με ένα ζεστό, μαγνητισμένο, υπερηχητικό πλάσμα το οποίο μεταφέρει ένα μεγάλο ποσό από κινητική και ηλεκτρική ενέργεια. Μερική από αυτή την ενέργεια βρίσκεται στον δρόμο της μέσα στην μαγνητόσφαιρα δημιουργώντας γεωμαγνητική δραστηριότητα, η οποία αποτελείται από μαγνητοσφαιρικές υποκαταιγίδες, γεωμαγνητικές καταιγίδες και σελαϊκή δραστηριότητα. Όταν η γεωμαγνητική δραστηριότητα έχει κάποια πρακτική σημαντικότητα στην ανθρώπινη τεχνολογία, ονομάζεται Διαστημικός καιρός.

1.3.4.1 Γεωμαγνητικές καταιγίδες

Γεωμαγνητική καταιγίδα είναι μια διαταραχή του γήινου μαγνητικού πεδίου. Όταν η σύζευξη του ηλιακού ανέμου με τη μαγνητόσφαιρα γίνεται ισχυρή και παρατεταμένη και η μαγνητική δραστηριότητα γίνεται έντονη, τότε αναπτύσσεται μια μαγνητική καταιγίδα (Μαυρομιχαλάκη, 2005). Μια καταιγίδα ξεκινά από μια ξαφνική αύξηση του μαγνητικού πεδίου που διαρκεί μερικές ώρες. Η διάρκεια τυπικών καταιγίδων είναι 1-5 μέρες. Οι κύριες φάσεις διαρκούν περίπου μία μέρα ενώ οι φάσεις επαναφοράς πολλές μέρες. Μελέτες της κατανομής του διαταραγμένου πεδίου της καταιγίδας κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης δείχνουν ότι αυτή είναι σχεδόν ομοιογενής σε ολόκληρη τη Γη και κατευθύνεται παράλληλα προς τον άξονα του γήινου διπόλου (π.χ. προς βορρά). Τέτοια διαταραχή μπορεί να προέρχεται από το δακτυλιοειδές ρεύμα (Ring Current) που κυκλώνει τη Γη. Αυτό το ρεύμα δημιουργείται από σωματίδια που ολισθαίνουν στις ζώνες Van Allen σε αποστάσεις 3-5 R_E . Η αρχική φάση προέρχεται από το ρεύμα της μαγνητόπαυσης. Μια αύξηση στη δυναμική πίεση του ηλιακού ανέμου δυναμώνει αυτό το ρεύμα κοντά στη Γη και αυξάνει την έντασή του. Το μαγνητικό πεδίο της διαταραχής στην επιφάνεια κατευθύνεται προς βορρά. Η επάνοδος προκαλείται από απώλεια των σωματιδίων από τις ζώνες ακτινοβολίας, που οδηγεί σε μια ελάττωση της έντασης του δακτυλιοειδούς ρεύματος.

1.3.4.2 Γεωμαγνητικοί δείκτες

Γενικά ένας δείκτης είναι μονότονη συνάρτηση κάποιας φυσικής παραμέτρου του φαινομένου που προκάλεσε τη διαταραχή και μπορεί να προσδιοριστεί απλά.

- **Δείκτες k**

Είναι δείκτης της συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου σ' έναν σταθμό και μετρά το μέγεθος των διαταραχών που προέρχονται από άλλα φαινόμενα εκτός απ' την ημερήσια μεταβολή και τις μακρόχρονες συνιστώσες μιας καταιγίδας. Απεικονίζει τη συνδυασμένη επίδραση των μαγνητοσφαιρικών και ιονοσφαιρικών ρευμάτων στις μεταβολές του συνολικού μαγνητικού πεδίου.

- **Δείκτες k_p**

Είναι ο αριθμητικός μέσος των k τιμών από 13 πρότυπα παρατηρητήρια.

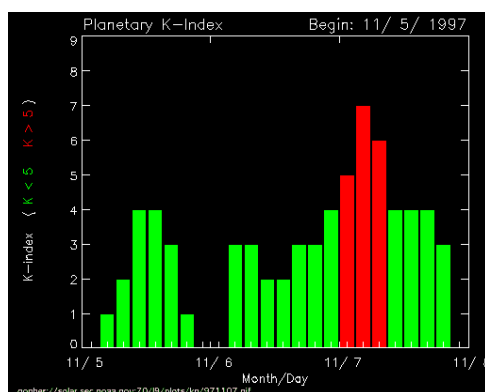
- **Δείκτες A**

Ορίζεται πολλαπλασιάζοντας την κεντρική τιμή της περιοχής που χρησιμοποιείται για να οριστεί ο k δείκτης μ' έναν παράγοντα που προκύπτει από τη διαίρεση του πάνω ορίου της περιοχής που αντιστοιχεί σε $k = 9$ με το 250. Ο δείκτης αυτός είναι το διπλάσιο του μέσου πλάτους της διαταραχής.

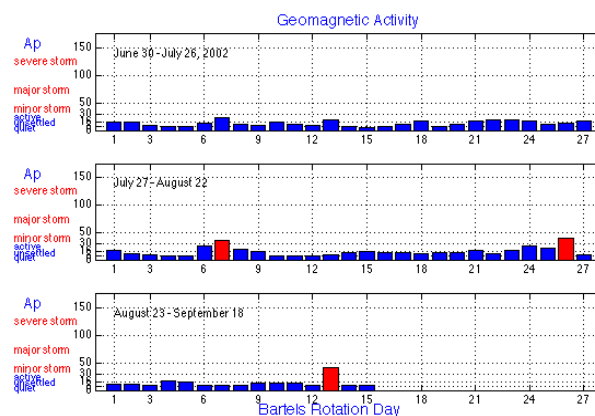
- **Δείκτες A_p**

Προκύπτει απ' τον k_p με τον ίδιο τρόπο.

Στα Σχήμα τα 1.25 και 1.26 απεικονίζονται γραφικά οι δείκτες k και A για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα όπως μετρήθηκαν απ' τους σταθμούς.



Σχήμα 1.25 Οι τιμές του δείκτη k για το χρονικό διάστημα 11/5/1997 έως 11/8/1997.

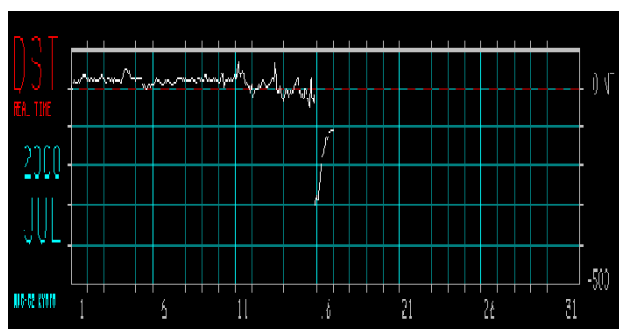


Σχήμα 1.26 Οι ημερήσιες τιμές του δείκτη A_p

- Γεωμαγνητικός δείκτης Dst

Είναι η στιγμιαία παγκόσμια μέση τιμή της ισημερινής διαταραχής. Δίνει πληροφορία για τις μαγνητικές καταιγίδες και εξάγεται από τα μαγνητογράμματα των μέσων πλάτους και ισημερινών σταθμών. Σημειώνεται ο αριθμός των σταθμών που κατέγραψαν την έναρξη της καταιγίδας και οι τιμές του μαγνητικού πεδίου από κάθε σταθμό. Λαμβάνονται οι μέσες τιμές από όλους τους σταθμούς.

Ο δείκτης αυτός απεικονίζει την επίδραση του Ring Current στις μεταβολές του συνολικού μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 1.27 Ημερήσιες τιμές του Dst για τον Ιούλιο του 2000 (σταθμός Kyoto).

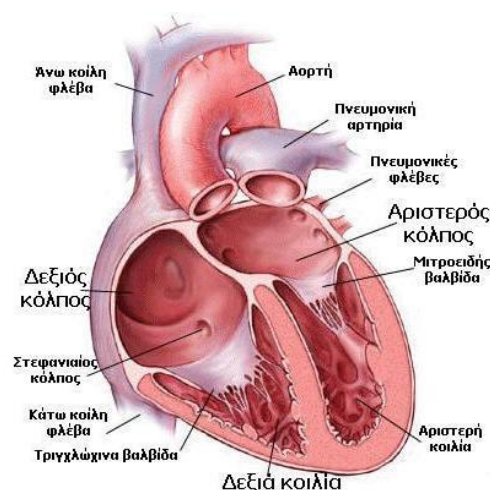
Το μέσο αποτέλεσμα της χρονικής μεταβολής της καταιγίδας είναι η ελάττωση της οριζόντιας συνιστώσας του γεωμαγνητικού πεδίου. Έτσι, ο Dst είναι γενικά αρνητικός και μεγάλες (κατ' απόλυτη τιμή) τιμές του, σημαίνουν έντονη καταιγίδα. Στο Σχήμα 1.27 απεικονίζονται οι ημερήσιες τιμές του δείκτη Dst για τον Ιούλιο του 2000 όπως μετρήθηκε από το σταθμό του Kyoto.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ

2.1 Η ανθρώπινη καρδιά

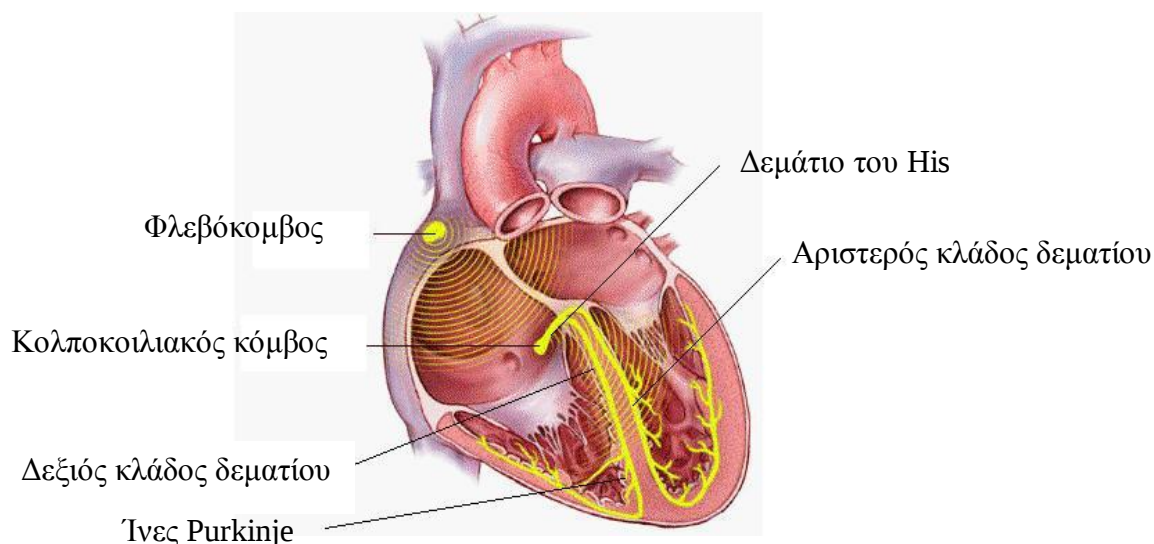
Η καρδιά είναι ένας μυς που συστέλλεται ρυθμικά λειτουργώντας σαν αντλία αίματος με τη βοήθεια του κυκλοφορικού συστήματος. Στην πραγματικότητα, είναι μια διπλή αντλία, αφού πρώτα συστέλλονται οι κόλποι και ακολούθως, σχεδόν αμέσως συστέλλονται οι κοιλίες (Σχήμα 2.1). Έτσι η λειτουργία της καρδιάς είναι η περιοδική διαδοχή τριών φαινομένων στη σειρά: της διέγερσης και συστολής των κόλπων, της διέγερσης και συστολής των κοιλιών και της καρδιακής παύλας. Τα τρία αυτά φαινόμενα αποτελούν τον καρδιακό παλμό. Ο κάθε καρδιακός παλμός αρχίζει με την αυτόματη γένεση ενός δυναμικού ενέργειας στο φλεβόκομβο ο οποίος βρίσκεται στον δεξιό κόλπο, κοντά στην είσοδο της άνω κοίλης φλέβας. Το δυναμικό ενέργειας διαδίδεται από τον φλεβόκομβο προς όλη την καρδιά έτσι ώστε να προκαλεί αρχικά συστολή των κόλπων, και μετά των κοιλιών, με αποτέλεσμα την άντληση αίματος προς τις κοιλίες πριν από την έντονη κοιλιακή συστολή. Έτσι οι κόλποι λειτουργούν σαν εναυσματικές αντλίες για τις κοιλίες, οι οποίες με τη σειρά τους παρέχουν την κύρια πηγή τη δύναμης για την προώθηση του αίματος μέσα από το αγγειακό σύστημα (Δ. Κρεμαστινός, 2008)



Σχήμα 2.1 Η καρδιά ως αντλία

2.2 Ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς

Η ηλεκτρική διέγερση του μυοκαρδίου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να επιτευχθεί η συστολή του καρδιακού μυός. Η διέγερση πραγματοποιείται από το Σύστημα Παραγωγής και Αγωγής της Διέγερσης (Σχήμα 2.2)



Σχήμα 2.2 Το Σύστημα Παραγωγής και Αγωγής της Διέγερσης

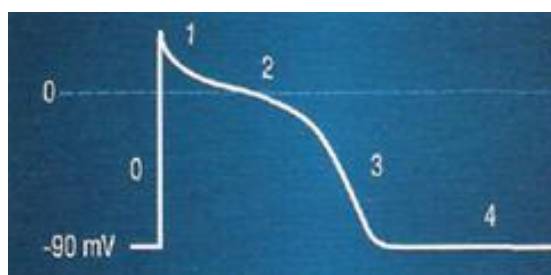
Το σύστημα αγωγής της διέγερσης της καρδιάς αποτελείται από τον φλεβόκομβο, τον κολποκοιλιακό κόμβο, το δεμάτιο του His, τους κλάδους του δεματίου (αριστερός, δεξιός) και τις ίνες του Purkinje. Τα κύτταρα που συγκροτούν το σύστημα αυτό, χαρακτηρίζονται από αυτοματισμό, δηλαδή ικανότητα αυτόματης ηλεκτρικής διέγερσης η οποία επιτυγχάνεται με μετατροπή της βιοχημικής ενέργειας σε ηλεκτρική (Vamder, Scherman, Luciano, Τσακόπουλος, 2001)

Η ηλεκτρική διέγερση του μυοκαρδίου εξαπλώνεται από το φλεβόκομβο προς το μυοκάρδιο των κόλπων και στη συνέχεια, μέσω του συστήματος αγωγής φθάνει στο μυοκάρδιο των κοιλιών.

Τα φλεβοκομβικά κύτταρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα αυτόματης διέγερσης από τα κύτταρα των άλλων κέντρων του συστήματος αγωγής και επιβάλλουν τον φλεβοκομβικό ρυθμό. Γι' αυτό το λόγο ο φλεβόκομβος θεωρείται ο φυσικός βηματοδότης της καρδιάς

Η διέγερση του μυοκαρδίου χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις: τη φάση

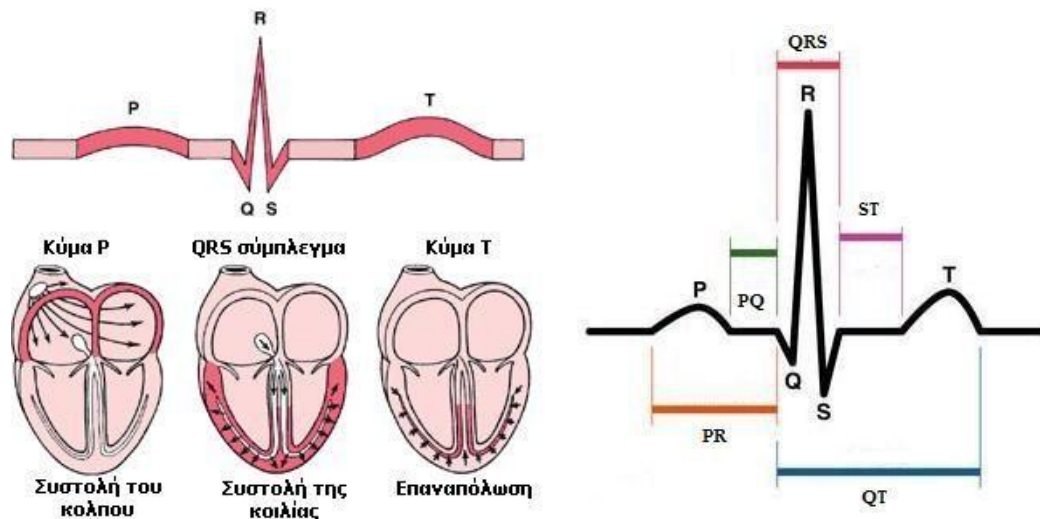
εκπόλωσης και τη φάση αναπόλωσης. Εξαιτίας της διαφορετικής συγκέντρωσης ιόντων Na^+ , K^+ , μεταξύ ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου χώρου δημιουργείται αρνητική διαφορά δυναμικού η οποία κατά τη φάση ηρεμίας ανέρχεται σε -90 mV και ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας του μυοκαρδιακού κυττάρου. Για την έναρξη της εκπόλωσης είναι απαραίτητη η ελάττωση της διαφοράς δυναμικού (κατ' απόλυτη τιμή) μέχρι το κατώφλι δυναμικού που έχει τιμή -60 mV (Σχήμα 2.3). Η ελάττωση αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλη διακίνηση ιόντων Na^+ , Ca^{++} , K^+ . Με την έναρξη της εκπόλωσης τα κύτταρα του συστήματος παραγωγής και αγωγής της διέγερσης, έχουν την ικανότητα να διεγείρονται αυτόματα.



Σχήμα 2.3 Το δυναμικό ενέργειας ενός μυοκαρδιακού κυττάρου. Οι αριθμοί αναφέρονται στις φάσεις του δυναμικού ενέργειας.

Το δυναμικό ενέργειας διακρίνεται σε πέντε φάσεις, από 0 έως 4. Φάση 0: ταχεία εκπόλωση, φάση 1: ταχεία αρχική αναπόλωση, φάση 2: plateau, φάση 3: ταχεία τελική αναπόλωση, φάση 4: δυναμικό ηρεμίας.

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) καταγράφει το ηλεκτρικό δυναμικό της καρδιάς με ειδική συσκευή που ονομάζεται ηλεκτροκαρδιογράφος (<http://www.incardiology.gr>). Η καταγραφή του ΗΚΓ γίνεται σε ειδικό τετραγωνισμένο χαρτί. Ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί σε διαφορά δυναμικού (mV) ενώ ο οριζόντιος στον χρόνο (ms). Η παραγωγή και η αγωγή του ερεθίσματος στην καρδιά καταγράφεται από τα επάρματα (κύματα) P, QRS και T και τα διαστήματα PR, PQ, QRS, QT, ST, (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 Τα επάρματα και τα διαστήματα του ΗΚΓ

Το έπαρμα P αντιστοιχεί στην ηλεκτρική διέγερση των κόλπων. Το διάστημα PR είναι το διάστημα διέγερσης από τον φλεβόκομβο έως το δεμάτιο του His. (Η διέγερση του δεματίου του His δεν καταγράφεται). Το διάστημα PQ αντιστοιχεί στη διέλευση ερεθίσματος από τον κολποκοιλιακό κόμβο. Το σύμπλεγμα QRS καταγράφει την εκπόλωση των κοιλιών, ενώ το έπαρμα T την αναπόλωση των κοιλιών (<http://www.incardiology.gr>). Το διάστημα QT εκφράζει το χρονικό διάστημα εκπόλωσης και αναπόλωσης των κοιλιών και τέλος το διάστημα ST εκφράζει το διάστημα από το τέλος της εκπόλωσης έως την αρχή της αναπόλωσης των κοιλιών. Το έπαρμα R είναι μια πολύ χαρακτηριστική μορφή ενός ΗΚΓ με το ηλεκτρικό δυναμικό να καταγράφει την υψηλότερη τιμή του κατά τη φάση εκπόλωσης των κοιλιών πριν από τη συστολή τους.

2.3 Ο Καρδιακός Ρυθμός

Από το ΗΚΓ μπορεί να καθοριστεί ο ρυθμός της καρδιακής λειτουργίας. Το χρονικό διάστημα που περιβάλλεται μεταξύ δύο διαδοχικών καρδιακών παλμών (στο ΗΚΓ, μεταξύ δυο διαδοχικών R) είναι το αντίστροφο του καρδιακού ρυθμού. Για παράδειγμα, εάν το χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο διαδοχικών καρδιακών παλμών όπως καθορίζεται από τις γραμμές βαθμονόμησης στο ΗΚΓ είναι 1 sec, τότε ο καρδιακός ρυθμός είναι 60 καρδιακοί παλμοί το λεπτό. Ο καρδιακός ρυθμός (Heart Rate – HR) είναι η συχνότητα των καρδιακών παλμών και μπορεί να

κυμανθεί από 60 έως και 100 καρδιακούς παλμούς το λεπτό (beats per minute – bpm) για έναν υγιή ενήλικα σε κατάσταση ξεκούρασης.

2.3.1 Αρρυθμίες

Φυσιολογικά η καρδιά διεγείρεται από τον φλεβόκομβο. Το ερέθισμα μετά διαχέεται στους κόλπους και τους ερεθίζει (κολπική συστολή). Μετά μέσω του κολποκοιλιακού κόμβου διαχέεται στις κοιλίες που τις διεγείρει και αυτές (κοιλιακή συστολή). Η διακοπή αυτής της ρυθμικής διέγερσης της καρδιάς ονομάζεται αρρυθμία (Δ.Ρίχτερ, 2004)

2.3.1.1 Αίτια και μηχανισμοί αρρυθμιών

Η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς ρυθμίζεται από τον αυτοματισμό, την διεγερσιμότητα και την αγωγιμότητα των καρδιακών κυττάρων.

Αυτοματισμός είναι η ικανότητα των καρδιακών κυττάρων να παράγουν από μόνα τους ερεθίσματα. Ο αυτοματισμός είναι μεγαλύτερος στον φλεβόκομβο (70-80 /min) και μειώνεται σταδιακά μέχρι τις ίνες Purkinje (30-40/min).

Διεγερσιμότητα είναι η ιδιότητα του μυοκαρδίου να εκπολώνεται όταν δέχεται ένα ερέθισμα που έχει επαρκή ένταση.

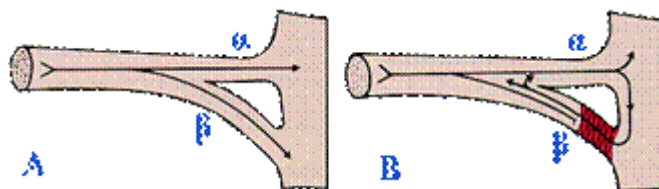
Αγωγιμότητα είναι η ικανότητα των καρδιακών κυττάρων να μεταδίδουν ένα ερέθισμα. Την ικανότητα αυτή έχουν όλα τα καρδιακά κύτταρα. Η ταχύτητα αγωγής ενός ερεθίσματος είναι μεγαλύτερη στις ίνες Purkinje (2000-3000mm/sec) και μικρότερη στον κολποκοιλιακό κόμβο και τον μυϊκό ιστό του μυοκαρδίου.

Οι καρδιακές αρρυθμίες μπορούν να προκληθούν εξαιτίας **διαταραχών της αγωγιμότητας, διαταραχών του αυτοματισμού, μηχανισμού επανεισόδου, ή παρασυστολίας.**

Οι **διαταραχές αγωγής** οδηγούν είτε σε απλή καθυστέρηση ή στον αποκλεισμό του ερεθίσματος σε κάποιο επίπεδο του συστήματος αγωγής από το φλεβόκομβο μέχρι τις ίνες Purkinje. Όταν η διέγερση δεν φθάσει στις κοιλίες λόγω αποκλεισμού σε κάποιο επίπεδο, ένας τριτεύων βηματοδότης εκδηλώνει τον αυτοματισμό του και έτσι το άτομο επιβιώνει.

Οι **διαταραχές αυτοματισμού** φυσιολογικού ή παθολογικού οδηγούν σε μεταβολές της συχνότητας των εκπεμπόμενων ερεθισμάτων από τον φλεβόκομβο ή τα άλλα αυτοματικά κέντρα.

Όταν δύο περιοχές της καρδιάς συνδέονται με δύο οδούς αγωγής, ενδέχεται η διέγερση της μιας περιοχής να άγεται στην άλλη διαμέσου της μιας οδού και να επιστρέφει διαμέσου της άλλης οδού στην πρώτη περιοχή (**Μηχανισμός επανεισόδου**). Εκεί η ανερέθιστη περίοδος μπορεί να έχει λήξει στο μεταξύ και η περιοχή να επαναδιεγερθεί. Αν στο μεταξύ έχει λήξει η ανερέθιστη περίοδος της πρώτης οδού και της δεύτερης περιοχής, η διέγερση εκτελεί μια συνεχή κυκλική κίνηση (Σχήμα 2.5). Οι δύο οδοί αγωγής μπορεί να είναι ανατομικά διάκριτες όπως συμβαίνει στα σύνδρομα προδιέγερσης. Μπορεί όμως να διακρίνονται μόνο λειτουργικά όταν γειτονικές ίνες μιας οδού έχουν διαφορετικές ηλεκτροφυσιολογικές ιδιότητες όπως συμβαίνει στις περισσότερες παροξυσμικές ταχυκαρδίες.



Σχήμα 2.5 Μηχανισμός επανεισόδου

Ένας συνδυασμένος μηχανισμός διαταραχής και αγωγής του ερεθίσματος είναι η **παρασυστολία**. Όταν ένας έκτοπος βηματοδότης περιβάλλεται από μία ζώνη με μονόδρομο αποκλεισμό της αγωγής προς τα μέσα, ο βηματοδότης δεν παρασύρεται από το γενικό ρυθμό της καρδιάς. Παράγει λοιπόν τα δικά του ερεθίσματα που άγονται προς τα έξω και διεγείρουν τη καρδιά, όποτε αυτή δεν είναι σε ανερέθιστη περίοδο.

Οι αρρυθμίες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, (<http://www.mayoclinic.com/health/heart-arrhythmias>):

Υπερκοιλιακές: όταν η έκτοπη εστία είναι πάνω από τον κολποκοιλιακό κόμβο.

Στις υπερκοιλιακές αρρυθμίες ανήκουν: Φλεβοκομβική ταχυκαρδία, Φλεβοκομβική βραδυκαρδία, Φλεβοκομβική παύση, Κολποκοιλιακός αποκλεισμός, **Υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές (ή Έκτακτες κολπικές συστολές), Παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία**, Περιπλανώμενος βηματοδότης, Κομβικός ρυθμός, Σύνδρομο νοσούντος φλεβόκομβου.

Κοιλιακές: όταν η έκτοπη εστία είναι κάτω από τον κολποκοιλιακό κόμβο.

Στις κοιλιακές αρρυθμίες ανήκουν: **Κοιλιακές έκτακτες συστολές**, Ιδιοκοιλιακός ρυθμός, Κοιλιακή ταχυκαρδία, Επιταχυνόμενη κοιλιακή ταχυκαρδία,

Πολύμορφη κοιλιακή ταχυκαρδία (torsades des pointes), Κοιλιακή ταχυκαρδία του χώρου εξόδου της δεξιάς κοιλίας, Κοιλιακή μαρμαρυγή.

Υπερκοιλιακές / κοιλιακές έκτακτες συστολές: Εάν εμφανιστεί ένα έκτακτο ερέθισμα, προερχόμενο από τους κόλπους / τις κοιλίες, που διεγείρει την καρδιά πριν το αναμενόμενο φυσιολογικό ερέθισμα του φλεβοκόμβου, τότε η διεγερση αυτή της καρδιάς ονομάζεται έκτακτη (πρόωρη) κολπική / κοιλιακή συστολή.

Οι έκτακτες αυτές μπορεί να είναι αραιές ή συχνές. Εάν εμφανίζεται συνεχώς μια φυσιολογική συστολή και μια έκτακτη ονομάζεται διδυμία, δυο φυσιολογικές και μια έκτακτη ονομάζεται τριδυμία (<http://www.incardiology.gr>).

Παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία: Ταχυκαρδία ορίζεται η παρουσία άνω των τριών συστολών σε σειρά με συχνότητα άνω των 100 παλμών ανά λεπτό. Εάν από κάποια αιτία την βηματοδότηση την αναλάβουν αλλά κέντρα εκτός του φλεβοκόμβου, τα οποία βρίσκονται στο επίπεδο των κόλπων εμφανίζεται αρρυθμία που ονομάζεται παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία.

Η παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία μπορεί να δημιουργηθεί αν ένα κομμάτι κολπικού μυοκαρδίου παράγει παλμούς με συχνότητα μεγαλύτερη του φλεβοκόμβου, και αναλαμβάνει την βηματοδότηση της καρδιάς με γρήγορο ρυθμό. Άλλος μηχανισμός δημιουργίας είναι η επανείσοδος: Το φυσιολογικό ερέθισμα λόγω παθολογικής αγωγής κάνει ταχύ κύκλο μέσα στον κολποκοιλιακό κόμβο με αποτέλεσμα ταχεία βηματοδότηση της καρδιάς. Επίσης μπορεί να δημιουργηθεί επανείσοδος από παραπληρωματικό δεμάτιο: Το φυσιολογικό ερέθισμα λόγω ύπαρξης (κανονικά δεν υπάρχει) παραπληρωματικού δεματίου κάνει ταχύ κύκλο μεταξύ κολποκοιλιακού κόμβου και παραπληρωματικού δεματίου και συντηρεί μια ταχυκαρδία που ονομάζεται κολποκοιλιακή ταχυκαρδία. Φυσιολογικά οι κόλποι και οι κοιλίες επικοινωνούν ηλεκτρικά μόνο μέσω του κολποκοιλιακού κόμβου. Το παραπληρωματικό δεμάτιο είναι νησίδα μυοκαρδιακού αγωγίμου ιστού, που βραχυκυκλώνει κόλπους και κοιλίες. Τα άτομα που έχουν αυτό το επιπλέον δεμάτιο έχουν σύνδρομο Wolff-Parkinson-White

Η παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία έχει συχνότητα 150-250 παλμούς ανά λεπτό και ηλεκτροφυσιολογικό υπόστρωμα την επανείσοδο στο φλεβοκόμβο, τον κόλπο, τον κολποκοιλιακό κόμβο και τα παραπληρωματικά δεμάτια.

2.4 Συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση

Η πίεση αίματος είναι η πίεση που ασκεί το αίμα στα τοιχώματα των αγγείων μέσα στα οποία ρέει. Η πίεση αίματος είναι συνάρτηση της καρδιακής λειτουργίας και των αντιστάσεων που προβάλλουν τα τοιχώματα των αγγείων στη ροή του αίματος (Vamder, Scherman, Luciano, Τσακόπουλος, 2001). Η πίεση αίματος, ανάλογα με το είδος του αγγείου στο οποίο ρέει το αίμα διακρίνεται σε αρτηριακή (arterial blood pressure), φλεβική και τριχοειδική πίεση.

Η αρτηριακή πίεση είναι η πίεση στην αορτή και τις άλλες μεγάλες αρτηρίες του σώματος. Κατά τη διάρκεια ενός καρδιακού παλμού η αρτηριακή πίεση φθάνει σε μια μέγιστη τιμή κατά την καρδιακή συστολή και την εξώθηση του αίματος από την καρδιά προς την αορτή (συστολική πίεση, systolic blood pressure) και στη συνέχεια κατέρχεται σε μια ελάχιστη τιμή κατά τη διαστολική φάση του καρδιακού κύκλου (διαστολική πίεση, diastolic blood pressure).

Η συστολική και η διαστολική πίεση, μετρώνται σε χιλιοστά στήλης υδραργύρου (mmHg). Η συστολική πίεση είναι πάντα μεγαλύτερη από τη διαστολική. Τα φυσιολογικά όρια της αρτηριακής πίεσης είναι 100 – 150 mmHg για τη συστολική πίεση και 60 – 90 mmHg για τη διαστολική πίεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Η μελέτη της συσχέτισης της κοσμικής ακτινοβολίας όπως και της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας με τη λειτουργία της καρδιάς στηρίχθηκε στην ανάλυση των δεδομένων δύο πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και σε διαφορετικό γεωγραφικό τόπο.

Το πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκε στην πόλη Kosice της Σλοβακίας την περίοδο από 1^η Ιανουαρίου 1994 έως την 31^η Δεκεμβρίου 2002. Η συλλογή των ιατρικών δεδομένων έγινε με μετρήσεις σε άνδρες αεροπόρους από τη Σλοβακία, ενώ τα δεδομένα που αφορούν στη γεωμαγνητική δραστηριότητα (δείκτες A_p , Dst), πάρθηκαν από το διαδίκτυο. Τα δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας προέρχονται από τον μετρητή νετρονίων Lomnický Stit.

Το δεύτερο πείραμα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Tbilisi της Γεωργίας, τις περιόδους από 24^η Απριλίου 1983 έως την 31^η Δεκεμβρίου 1992. Τα ιατρικά δεδομένα του πειράματος, κατά το ήμισυ σχεδόν, προέρχονται από μετρήσεις με τη μέθοδο Holter ενώ τα υπόλοιπα από αρχεία ΗΚΓ διαφόρων νοσοκομείων. Τα δεδομένα που αφορούν στην ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα (Solar Flares, SEP, δείκτες A_p , Dst , IMF) πάρθηκαν από το διαδίκτυο. Τα δεδομένα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας προέρχονται από το μετρητή νετρονίων της Μόσχας.

Η ανάλυση για το πείραμα της Σλοβακίας έγινε με την στατιστική μέθοδο ANOVA που εφαρμόστηκε για να υπολογιστούν τα επίπεδα p της στατιστικής σημαντικότητας για την επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής ακτινοβολίας και της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους ενώ για την επεξεργασία των δεδομένων της Γεωργίας χρησιμοποιήθηκε η στατιστική μέθοδος Εξομάλυνσης (Exponential Smoothing). Λεπτομέρειες για την προέλευση των δεδομένων, την ανάλυση και την επεξεργασία τους, ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους.

3.2. Πειραματικά Δεδομένα

3.2.1 Γεωμαγνητικοί δείκτες

Για το πρώτο πείραμα (**Σλοβακία**) χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές των γεωμαγνητικών δεικτών Dst και Ap για την περίοδο από 1^η Ιανουαρίου 1994 έως 31^η Δεκεμβρίου 2002.

Οι τιμές του δείκτη Dst που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το World Data Centre for Geomagnetism, Kyoto (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>), ενώ οι τιμές του δείκτη Ap προέρχονται από το Space Weather Prediction Centre at NOAA, Boulder, (http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices.html).

Η Γεωμαγνητική Δραστηριότητα χωρίστηκε σε πέντε επίπεδα (0, 1, 2, 3, 4) σύμφωνα με τις τιμές των δεικτών Dst και Ap όπως φαίνεται στους πίνακες 3.1 και 3.2 αντίστοιχα. Σε κάθε Πίνακα αναγράφεται και ο αριθμός των ημερών για το κάθε επίπεδο, δηλαδή πόσες ημέρες από το χρονικό διάστημα της έρευνας κατατάσσονται σε κάθε επίπεδο γεωμαγνητικής δραστηριότητας.

Πίνακας 3.1 Επίπεδα του δείκτη Dst και αριθμός ημερών για κάθε επίπεδο

Dst levels	Dst - δείκτης	Αριθμός ημερών
0	$Dst \geq 0$	178
1	$-20 < Dst < 0$	640
2	$-50 < Dst \leq -20$	340
3	$-100 < Dst \leq -50$	55
4	$Dst \leq -100$	10

Πίνακας 3.2 Επίπεδα του δείκτη Ap και αριθμός ημερών για κάθε επίπεδο

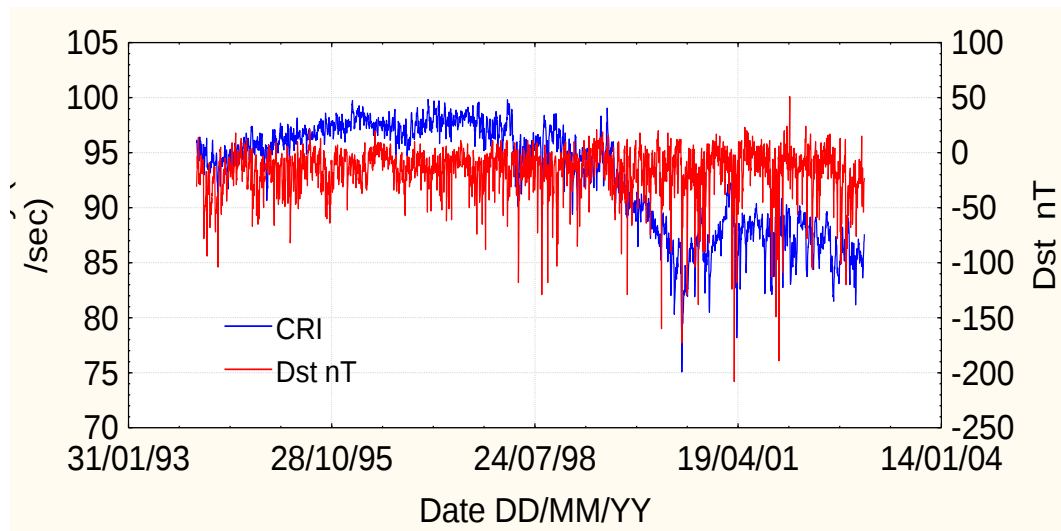
Ap levels	Ap- δείκτης	Αριθμός ημερών
0	$Ap < 8$	597
1	$8 \leq Ap < 15$	306
2	$15 \leq Ap < 30$	232
3	$30 \leq Ap < 50$	67
4	$Ap \geq 50$	21

Τα δεδομένα για τη γεωμαγνητική δραστηριότητα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση για το δεύτερο πείραμα (**Γεωργία**) ήταν οι γεωμαγνητικοί δείκτες Ap και Dst για την περίοδο από τις 24 Απριλίου 1983 έως τις 31 Δεκεμβρίου 1992. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές των δεικτών Ap , Dst όπως αντλήθηκαν από την online βάση δεδομένων Space Physics Interactive Data (<http://spidr.ngdc.noaa.gov>)

3.2.2 Δεδομένα κοσμικής ακτινοβολίας

Τα δεδομένα για την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας όσον αφορά το πείραμα της **Σλοβακίας**, προήλθαν από τον Μετρητή Νετρονίων Lomnický Stit (SNM-15) του τμήματος Space Physics, Institute of Experimental Physics, Kosice, Slovakia (<http://neutronmonitor.ta3.sk/realtime.php3>). Ο σταθμός βρίσκεται σε υψόμετρο 2634m από την επιφάνεια της θάλασσας και ανιχνεύει σωματίδια σε κατώφλι δυσκαμψίας 3,84 GV. Λειτουργεί από το 1981, παρέχοντας δεδομένα υψηλής ακρίβειας στο διαδίκτυο σε ψηφιακή μορφή (<http://neutronmonitor.ta3.sk/>).

Οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας και του δείκτη Dst σε nT για την υπό εξέταση περίοδο παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1. Η μεγαλύτερη μείωση (15%) της κοσμικής ακτινοβολίας σημειώθηκε την 12^η Απριλίου 2001. Η τιμή του Dst την ημέρα αυτή ήταν -118 nT.



Σχήμα 3.1 Μεταβολές του δείκτη Dst σε nT και της μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας για το διάστημα 1^η Ιανουαρίου 1994 έως 31^η Δεκεμβρίου 2002

Από όλες τις τιμές που καταγράφηκαν για τη νουκλεονική συνιστώσα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, υπολογίστηκε η μέση τιμή για την πιο πάνω περίοδο και στη συνέχεια, για κάθε ημέρα, υπολογίστηκε η ποσοστιαία διαφορά της ημερήσιας τιμής από την μέση τιμή για όλες τις ημέρες. Η ποσοστιαία διαφορά στη συνέχεια στρογγυλοποιήθηκε στο πρώτο σημαντικό ψηφίο και τελικά για το πιο πάνω διάστημα προέκυψαν τιμές της τάξης από -15% έως +8% για τη μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Ο λόγος για τη στρογγυλοποίηση αυτή είναι η διακριτή ομαδοποίηση σε έξι επίπεδα των συνεχών τιμών της ποσοστιαίας μεταβολής για τους σκοπούς της στατιστικής ανάλυσης. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των μεταβολών στα έξι επίπεδα ανάλογα με την ποσοστιαία μεταβολή και καταγράφεται ο αριθμός των ημερών για κάθε επίπεδο.

Πίνακας 3.3 Επίπεδα της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και αριθμός ημερών για κάθε επίπεδο

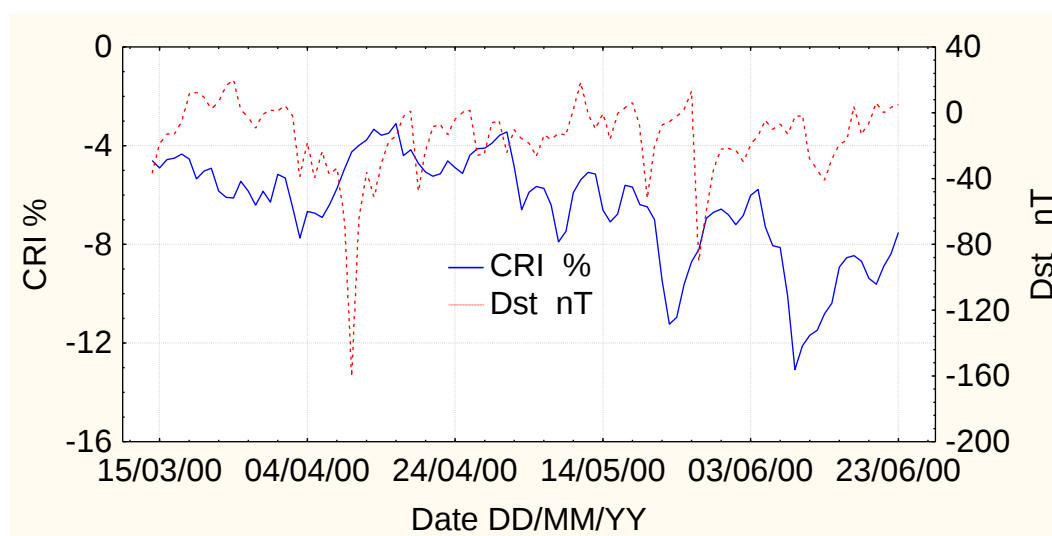
CRI levels	CRI (%)	Αριθμός ημερών
-3	$-15 \leq \text{CRI} \leq -11$	16
-2	$-11 < \text{CRI} \leq -6$	225
-1	$-6 < \text{CRI} \leq -1$	294
0	$\text{CRI} = 0$	25
1	$1 \leq \text{CRI} \leq 4$	261
2	$4 < \text{CRI} \leq 8$	402

Στον Πίνακα 3.4 σημειώνονται οι μικρότερες ή ίσες των - 100 nT τιμές του δείκτη Dst και οι ημερομηνίες που καταγράφηκαν, η τιμή και ποσοστιαία μεταβολή της κοσμικής ακτινοβολίας για τις ίδιες ημέρες, και τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας και του δείκτη Dst.

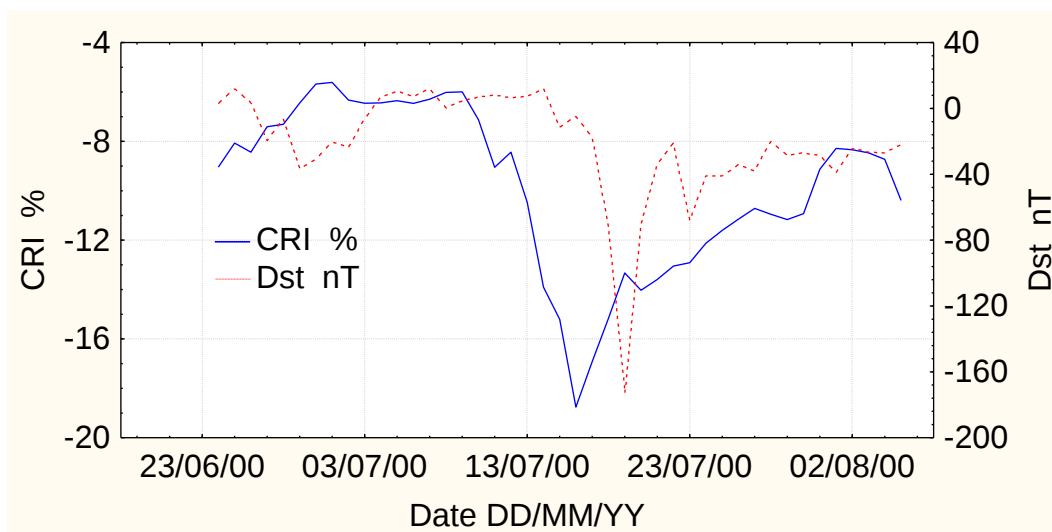
Πίνακας 3.4 Ημερομηνίες καταγραφής $Dst \leq -100$ και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας για τις ημερομηνίες αυτές

Date	Dst (nT)	Dst level	CRI (counts/sec)	CRI %	CRI level
22/10/1999	-129	4	95.47	-2	-1
7/4/2000	-160	4	91.04	-6	-2
18/9/2000	-104	4	86.21	-11	-3
5/10/2000	-138	4	92.32	-5	-1
20/3/2001	-124	4	95.93	-1	-1
31/3/2001	-208	4	93.25	-4	-1
12/4/2001	-118	4	82.3	-15	-3
1/10/2001	-100	4	87.26	-10	-2
24/11/2001	-109	4	90.66	-7	-2
20/4/2002	-106	4	89.54	-8	-2

Στα Σχήματα 3.2 και 3.3 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της κοσμικής ακτινοβολίας και του δείκτη Dst για ορισμένες από τις περιόδους κατά τις οποίες η τιμή του παρουσίασε μεγάλες μεταβολές:



Σχήμα 3.2 Μεταβολές του δείκτη Dst και της έντασης της Κ.Α για το διάστημα 15/3/2000 έως 23/6/2000.



Σχήμα 3.3 Μεταβολές του δείκτη Dst και της έντασης της Κ.Α για το διάστημα 23/6/2000 έως 7/8/2000

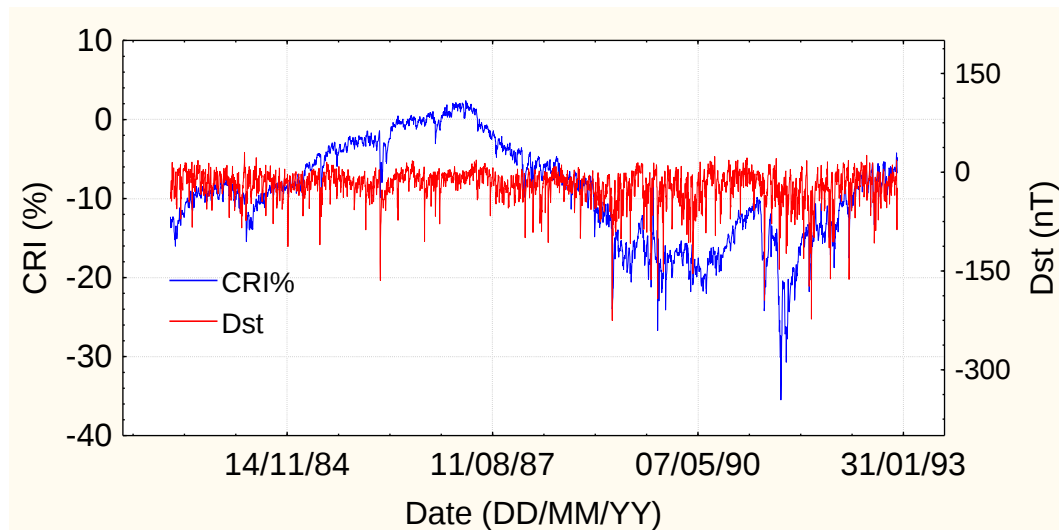
Από τα Σχήματα αυτά, προκύπτει πως οι μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδεύονται από αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη Dst.

Τα δεδομένα για την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας για το **πείραμα της Γεωργίας** προήλθαν από Moscow Neutron Monitor (24NM64), Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and radio wave propagation (IZMIRAN) of Russian Academy of Science. Ο σταθμός βρίσκεται 200m από την επιφάνεια της θάλασσας και ανιχνεύει σε κατώφλι δυσκαμψίας 2.43 GV. Λειτουργεί από το 1958, αλλά με τον μετρητή (24NM64) λειτουργεί από το 1995 και παρέχει υψηλής ποιότητας δεδομένα μέσω του διαδικτύου (<http://www.nmdb.eu/nest/search.php>) σε ψηφιακή μορφή.

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές για τη νουκλεονική συνιστώσα της κοσμικής ακτινοβολίας, διορθωμένες με την ατμοσφαιρική πίεση και για τη χρονική περίοδο της έρευνας, δηλαδή από τις 24 Απριλίου 1983 έως τις 31 Δεκεμβρίου 1992. Οι τιμές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν σε μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο (counts/sec) ή σαν την ποσοστιαία διαφορά της ημερήσιας τιμής από τη μέση τιμή για την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας τον Σεπτέμβριο του 1986 (θεωρώντας την τιμή αυτή σαν 100%) οπότε και σημειώθηκε το ελάχιστο της Ηλιακής Δραστηριότητας, δηλαδή το μέγιστο της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας κατά τον προηγούμενο ηλιακό κύκλο. Για το πιο πάνω διάστημα προέκυψαν τιμές της τάξης από -35,4% έως 2,4%

για τη μεταβολή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας.

Στο Σχήμα 3.4 παριστάνονται γραφικά οι μεταβολές του δείκτη Dst σε nT και της ποσοστιαίας μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας για την περίοδο του πειράματος.



Σχήμα 3.4 Μεταβολές του δείκτη Dst σε nT και της ποσοστιαίας μεταβολής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας για το διάστημα 24 Απριλίου 1983 έως 31 Δεκεμβρίου 1992

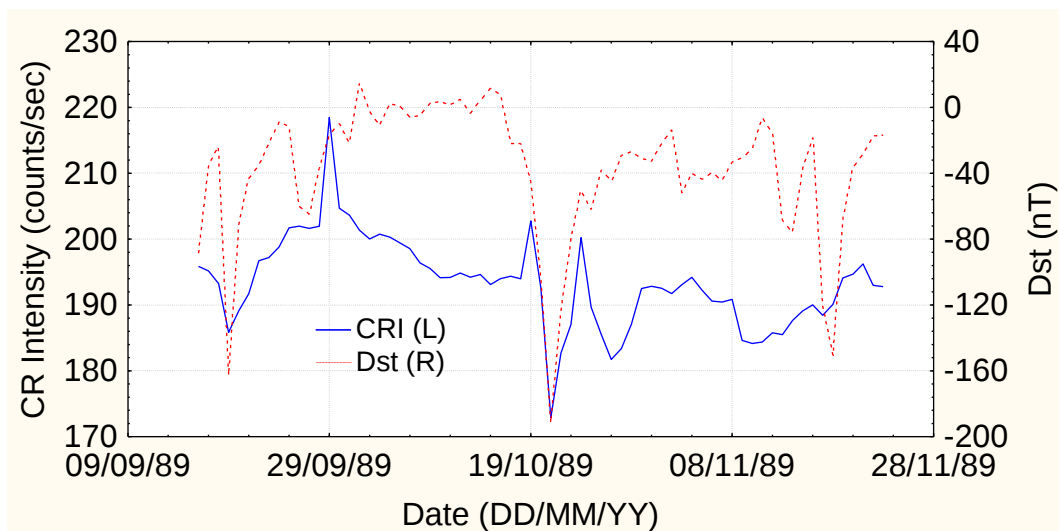
Για τον δείκτη Dst παρατηρήθηκαν τιμές μικρότερες ή ίσες των -100 nT για τις ημέρες που σημειώνονται στον Πίνακα 3.5 Επίσης σημειώνεται και η τιμή της κοσμικής ακτινοβολίας για τις ίδιες ημέρες.

Πίνακας 3.5 Ημερομηνίες καταγραφής $Dst \leq -100$ nT και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας για τις ημερομηνίες αυτές

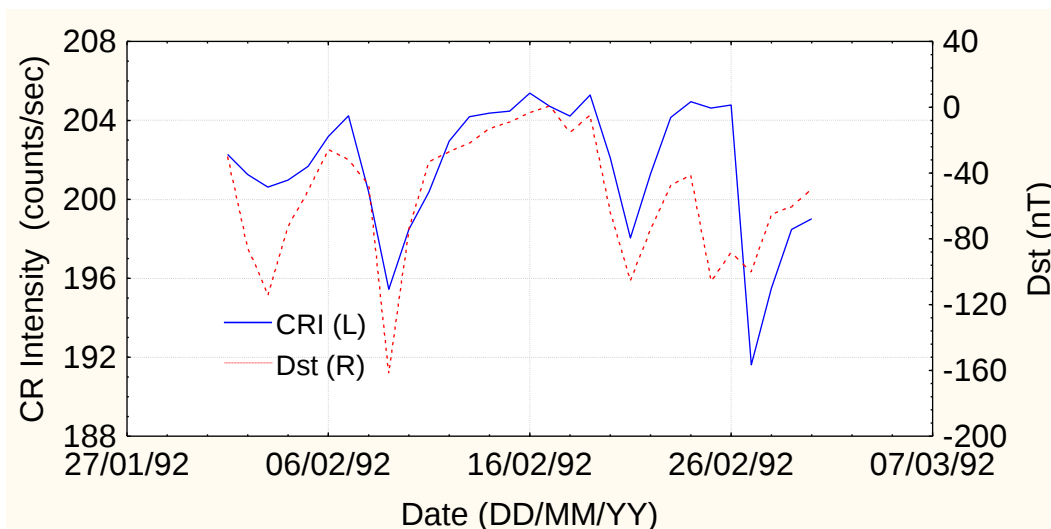
Date	CRI (counts/sec)	CRI (%)	Dst
16/11/1984	215.289	-20.4367	-112.417
21/4/1985	225.069	-10.6567	-109.625
8/2/1986	217.897	-17.8287	-135.292
9/2/1986	212.58	-23.1457	-164.083
10/2/1986	216.763	-18.9627	-102.042
12/9/1986	234.036	-1.6897	-104.542
6/5/1988	220.815	-14.9107	-106.125
13/3/1989	191.974	-43.7517	-189.083
14/3/1989	179.303	-56.4227	-224.708
15/3/1989	180.673	-55.0527	-109.875
26/4/1989	199.653	-36.0727	-100.958
10/6/1989	192.695	-43.0307	-107.625
19/9/1989	185.842	-49.8837	-162.542
20/10/1989	192.647	-43.0787	-104.667
21/10/1989	172.878	-62.8477	-191.292
22/10/1989	182.692	-53.0337	-123.458
17/11/1989	188.432	-47.2937	-120.25
18/11/1989	190.09	-45.6357	-150.5
21/3/1990	192.051	-43.6747	-106.417
30/3/1990	187.09	-48.6357	-105.833
10/4/1990	186.528	-49.1977	-153.458
11/4/1990	188.259	-47.4667	-131.625
12/4/1990	187.113	-48.6127	-107.875
25/3/1991	179.847	-55.8787	-193.917
26/3/1991	183.359	-52.3667	-131.125
5/6/1991	172.504	-63.2217	-147.042
6/6/1991	174.33	-61.3957	-113.875
9/7/1991	163.437	-72.2887	-122.875
13/7/1991	170.342	-65.3837	-104.458

Date	CRI (counts/sec)	CRI (%)	Dst
14/7/1991	170.632	-65.0937	-111.25
2/10/1991	197.52	-38.2057	-130.458
29/10/1991	184.485	-51.2407	-172.833
30/10/1991	188.993	-46.7327	-106.667
1/11/1991	187.935	-47.7907	-121.417
2/11/1991	194.593	-41.1327	-122.792
9/11/1991	194.559	-41.1667	-222.542
3/2/1992	200.625	-35.1007	-114.375
9/2/1992	195.445	-40.2807	-161.625
21/2/1992	198.043	-37.6827	-105.167
25/2/1992	204.629	-31.0967	-105.625
27/2/1992	191.618	-44.1077	-100.125
10/5/1992	194.516	-41.2097	-162.292
11/5/1992	195.81	-39.9157	-122.875
10/9/1992	204.421	-31.3047	-107.125

Στα Σχήματα 3.5 και 3.6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της κοσμικής ακτινοβολίας και του δείκτη Dst για ορισμένες από τις περιόδους κατά τις οποίες η τιμή του παρουσίασε μεγάλες μεταβολές όπως εμφανίζονται στον Πίνακα 3.5.



Σχήμα 3.5 Μεταβολές του δείκτη Dst και της έντασης της Κ.Α για το διάστημα:
19/9/1989 έως 18/11/1989



Σχήμα 3.6 Μεταβολές του δείκτη Dst και της έντασης της Κ.Α για το διάστημα: 3/2/1992 έως 27/2/1992

Όπως παρατηρήθηκε και στα Σχήματα 3.2 και 3.3 έτσι και στα Σχήματα 3.5 και 3.6 φαίνεται πως οι μειώσεις στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδεύονται από αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη Dst. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες που διερευνούν τη σχέση της κοσμικής ακτινοβολίας με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα (Kudela and Brenkus, 2004; Kane, 2010) και έχουν δείξει ότι οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (μειώσεις Forbush) και οι γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι φαινόμενα που σχετίζονται μεταξύ τους. Συνήθως, οι μεγάλες μειώσεις στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδεύονται από αύξηση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει πάντα. (Kudela and Brenkus, 2004; Kane, 2005).

3.2.3 Δεδομένα ηλιακής δραστηριότητας

Δεδομένα για την ηλιακή δραστηριότητα χρησιμοποιήθηκαν μόνο για το δεύτερο πείραμα, (πείραμα της **Γεωργίας**). Ο συνολικός αριθμός των ηλιακών εκλάμψεων για τις ημέρες που ανήκουν στην προαναφερθείσα περίοδο προέκυψε από δεδομένα του National Geophysical Data Center (NGDC) (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_FLARES). Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε και ο αριθμός των εκλάμψεων τάξης C ξεχωριστά και X, M (αθροίστηκαν οι αριθμοί των εκλάμψεων τύπου X και τύπου M).

Ο αριθμός των πρωτονικών γεγονότων (Solar Proton Events – SPEs) για κάθε ημέρα προήλθε από τη Βάση Πρωτονικών Γεγονότων που δημιουργήθηκε από την ομάδα κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (Belov et al., 2005; Belov et al., 2007; Γεροντίδου, Διδακτορική Διατριβή 2007)

Τέλος η ημερήσια τιμή της Bz συνιστώσας του Διαπλανητικού Μαγνητικού Πεδίου (Interplanetary Magnetic Field – IMF) βρέθηκε από την online βάση δεδομένων Space Physics Interactive Data (<http://spidr.ngdc.noaa.gov>)

3.3 Ιατρικά δεδομένα

Το πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκε στο Kosice της Σλοβακίας (γεωγραφικό πλάτος: 48° 43' 0" Βόρεια, γεωγραφικό μήκος: 21° 15' 0" Ανατολικά). Η συλλογή των δεδομένων έγινε μια ομάδα 4018 υγίων αεροπόρων ηλικίας 18 έως 60 ετών. Ορισμένοι από αυτούς εξετάστηκαν περισσότερες από μια φορές αλλά σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν στο διάστημα από 1^η Ιανουαρίου 1994 έως 31^η Δεκεμβρίου 2002. Για ορισμένες ημερομηνίες οι οποίες αντιστοιχούν σε Σαββατοκύριακα, διακοπές κ.λ.π, δεν διατίθενται ιατρικά δεδομένα, ώστε τελικά προέκυψαν 1223 μετρήσεις (συνολικός αριθμός των ημερών των μετρήσεων).

Οι ημερήσιες μέσες τιμές για τον καρδιακό ρυθμό (HR) (beats/min), τη συστολική πίεση (SP) και τη διαστολική πίεση (DP) (mmHg) μετρήθηκαν για διαφορετικές καταστάσεις των εθελοντών:

- i. Σε ηρεμία (Rest –R). (HRR, SPR, DPR)
- ii. Σε πρώτο επίπεδο κόπωσης (First Degree of Load- FDL): Οι εθελοντές ασκούσαν σε στατικό ποδήλατο σε ισχύ 50 έως 100 Watt. (HRFDL, SPFDL, DPFDL)
- iii. Σε δεύτερο επίπεδο κόπωσης (Second Degree of Load- SDL): Οι εθελοντές ασκούσαν σε στατικό ποδήλατο σε ισχύ 100 έως 150 Watt. (HRSDL, SPSDL, DPSDL)
- iv. Σε μέγιστο (MAX) επίπεδο κόπωσης: Οι εθελοντές ασκούσαν σε στατικό ποδήλατο σε μέγιστη ισχύ.(HRMAX, SPMAX, DPMAX)

Κάθε τιμή (HR, SP, DP) αντιπροσωπεύει τη μέση ημερήσια τιμή (HR, SP, DP) από όλους τους εθελοντές που εξετάστηκαν την ημέρα εκείνη.

Η ανάλυση έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Statistica, ver.8.0. StatSoft Inc., 2001, με την στατιστική μέθοδο ANOVA που εφαρμόστηκε για να υπολογιστούν τα επίπεδα p της στατιστικής σημαντικότητας για την επίδραση κάθε επιπέδου της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους (HR, DP, SP)

Επίσης μελετήθηκε η επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους για τρεις ημέρες πριν και τρεις ημέρες μετά την ημέρα του γεγονότος (Day 0) με τη βοήθεια της μεθόδου ANOVA και της μεθόδου της υπερεπίθεσης των εποχών (superimposed epoch method). Υπολογίστηκαν τα επίπεδα p για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) την ημέρα της μέτρησης.

Τα ιατρικά δεδομένα για το **Πείραμα της Γεωργίας**, προέκυψαν μετά από μετρήσεις σε μια ομάδα 1902 ασθενών, ηλικίας 30 έως 75 ετών οι οποίοι εμφάνιζαν διαφορετικού τύπου αρρυθμίες, στην πόλη του Tbilisi στη Γεωργία (γεωγραφικό πλάτος: 41°43'0" Βόρεια, γεωγραφικό μήκος: 44° 47' 0" Ανατολικά) για το διάστημα από τις 24 Απριλίου 1983 έως τις 31 Δεκεμβρίου 1992. Τα άτομα αυτά για το πιο πάνω διάστημα υπόκειντο σε ιατρικές εξετάσεις και ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) ώστε να καταγραφεί ο αριθμός των αρρυθμιών που εμφανίζονταν κάθε μέρα, στο σύνολό τους (Total) αλλά και για κάθε τύπο ξεχωριστά: Υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές (Supraventricular extrasystolic arrhythmia – S), Παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία (Supraventricular paroxysmal tachycardia – Ps), Κοιλιακές έκτακτες συστολές (Single ventricular extrasystolic arrhythmia – V1) και Πολλαπλές κοιλιακές έκτακτες συστολές (Multiple ventricular extrasystolic arrhythmia – Vm).

Πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των ημερήσιων τιμών του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών, αλλά και κάθε τύπου ξεχωριστά, με τις ημερήσιες τιμές για τα ηλιακά και τα γεωμαγνητικά δεδομένα, καθώς και για τις τιμές της κοσμικής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος της εξομάλυνσης των τιμών για 7, 30 και 365 μέρες για όλα τα παραπάνω δεδομένα με το πρόγραμμα Origin 6.0 ώστε να πραγματοποιηθεί συσχέτιση για τις εβδομαδιαίες, τις μηνιαίες και τις ετήσιες τιμές των ίδιων παραμέτρων. Οι συντελεστές συσχέτισης καθώς και τα διαγράμματα προέκυψαν με τη βοήθεια του προγράμματος Statistica 8.0 (στατιστικό πακέτο Statistica ver.8.0. StatSoft Inc., 2001).

3.4 Βασικές Αρχές Στατιστικής Ανάλυσης

Στην παράγραφο αυτή αναπτύσσονται ορισμένες βασικές αρχές της στατιστικής ανάλυσης και επεξηγούνται οι έννοιες και τα στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων της μελέτης αυτής

3.4.1 Στατιστικές υποθέσεις

Μια ερευνητική υπόθεση μπορεί να ελεγχθεί στατιστικά στη βάση μιας ή περισσότερων στατιστικών υποθέσεων. Οποιαδήποτε υπόθεση αναφέρεται στην συμπεριφορά τυχαίων μεταβλητών για τις οποίες μπορούν να υπάρχουν παρατηρήσεις είναι μια στατιστική υπόθεση. *Στατιστική υπόθεση* είναι ένας ισχυρισμός που αναφέρεται στην κατανομή μιας ή περισσότερων τυχαίων μεταβλητών (Πανάρετος, Ι. και Ξεκαλάκη, Ε., 2000).

Για τον έλεγχο στατιστικών υποθέσεων πρέπει να διατυπωθούν δύο υποθέσεις. Η πρώτη, η οποία ελέγχεται ονομάζεται *μηδενική υπόθεση* (*null hypothesis*) και συμβολίζεται με H_0 , ενώ χρειάζεται και μια δεύτερη *εναλλακτική υπόθεση* (*alternative hypothesis*) σε αντιπαράθεση προς την πρώτη, η οποία συμβολίζεται με H_1 . Μηδενική υπόθεση είναι η υπόθεση που υποστηρίζει ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των μεταβλητών που μελετώνται (Zar, 1998). Διατυπώνεται με σκοπό να λειτουργήσει ως κριτήριο σύγκρισης για την εναλλακτική υπόθεση. Στη διαδικασία του ελέγχου των υποθέσεων πάντοτε ελέγχεται η μηδενική υπόθεση έναντι της εναλλακτικής. Εναλλακτική υπόθεση είναι η υπόθεση που αναφέρεται στην εκτίμηση που κάνει ο υπεύθυνος της έρευνας αναφορικά με τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών που μελετά. Ουσιαστικά πρόκειται για την ερευνητική του υπόθεση. Για παράδειγμα στην έρευνα για την πιθανή επίδραση μιας μεταβλητής σε μία άλλη, η μηδενική υπόθεση ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα σε δύο μεταβλητές (δηλαδή, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, ο συντελεστής συσχέτισης r ανάμεσα στις μεταβλητές ισούται με μηδέν), $H_0 : r = 0$, και έτσι η εναλλακτική υπόθεση θα είναι $H_1 : r \neq 0$.

Σε ένα στατιστικό έλεγχο πρέπει η πιθανότητα για λανθασμένη απόφαση να είναι πολύ μικρή. Η τιμή της πιθανότητας αυτής ονομάζεται *επίπεδο σημαντικότητας* (*significance level*) και συνήθως καθορίζεται από τον ίδιο τον ερευνητή. Δεν υπάρχει γενικά αποδεκτός κανόνας που να οδηγεί στην επιλογή του επιπέδου σημαντικότητας

στα προβλήματα ελέγχου στατιστικών υποθέσεων, γι' αυτό ορίζεται το παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας ή αλλιώς τιμή πιθανότητας ή *p*-τιμή ελέγχου (*observed level of significance* ή *probability value* ή *p-value*). Για να αποφασιστεί αν μια υπόθεση θα γίνει αποδεκτή ή θα απορριφθεί, οι τιμές του δείγματος χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί ένας αριθμός ο οποίος θα αποτελέσει κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης. Η στατιστική αυτή συνάρτηση η τιμή της οποίας από ένα συγκεκριμένο δείγμα θα χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί η απόφαση είναι η *στατιστική συνάρτηση ελέγχου* (*ελεγχοσυνάρτηση*). Η στατιστική συνάρτηση ελέγχου χρησιμοποιείται για την μέτρηση της διαφοράς των δεδομένων από αυτό που αναμένεται να συμβαίνει αν η μηδενική υπόθεση είναι ακριβής.

Ως παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας (*p-value*) ορίζεται η πιθανότητα ή στατιστική συνάρτηση ελέγχου να πάρει μία τιμή τόσο ακραία ή περισσότερο ακραία από αυτήν που πήρε για το συγκεκριμένο δείγμα, κάτω από την μηδενική υπόθεση. Η τιμή του επιπέδου σημαντικότητας αποτελεί ένα όριο κάτω από το οποίο μπορεί να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ενώ πάνω από αυτό δεν μπορεί να απορριφθεί. Ο ορισμός αυτής της τιμής είναι απαραίτητη προϋπόθεση για μια στατιστική απόφαση. Έτσι, η μηδενική υπόθεση που απορρίπτεται για μια συγκεκριμένη τιμή του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας *p* (π.χ. 0,05), ονομάζεται στατιστικώς σημαντική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας *p*. Η αποδοχή μιας μηδενικής υπόθεσης δεν σημαίνει ότι η υπόθεση αυτή είναι αληθινή, αλλά μόνο ότι δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία ώστε να απορριφθεί (Doncaster and Davey, 2007).

3.4.2 Συσχετισμοί: ισχύς και αξιοπιστία

Το στατιστικό κριτήριο που χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί η συσχέτιση δύο ή περισσότερων μεταβλητών ονομάζεται *συντελεστής συσχέτισης* (*correlation coefficient*) (Ρούσσος και Τσαούσης, 2002). Ο συντελεστής συσχέτισης δείχνει αν υπάρχει συσχέτιση των μεταβλητών ή όχι, το είδος της συσχέτισης (θετική ή αρνητική) καθώς και το βαθμό της. Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως +1. Θετικές τιμές υποδηλώνουν θετική συσχέτιση, (οι τιμές της μίας μεταβλητής τείνουν να αυξηθούν όταν αυξάνονται οι τιμές της άλλης), με την τιμή +1 να αντιπροσωπεύει τον τέλειο θετικό συσχετισμό. Αντίστοιχα, αρνητικές τιμές υποδηλώνουν αρνητική συσχέτιση, (οι τιμές της μίας μεταβλητής τείνουν να μειωθούν με την αύξηση των

τιμών της άλλης) , με την τιμή -1 να αντιπροσωπεύει τον τέλει αρνητικό συσχετισμό. Τιμή 0 για τον συντελεστή συσχέτισης υποδηλώνει οι μεταβλητές είναι *ασυσχέτιστες*.

Στους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους συντελεστές συσχέτισης ανήκει ο συντελεστής (ή δείκτης) συσχέτισης του Pearson- r , που ονομάζεται επίσης γραμμικός ή product-moment συντελεστής και είναι το μέτρο της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο ποσοτικών μεταβλητών X και Y .

Αν η συσχέτιση είναι μεγάλη, θα μπορεί να παρασταθεί γραφικά με μία ευθεία. Η ευθεία αυτή είναι η *ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης* (regression line) ή αλλιώς, *ευθεία ελαχίστων τετραγώνων*, η οποία προκύπτει έτσι ώστε το άθροισμα των τετραγώνων της απόστασης του κάθε σημείου δεδομένων από αυτή να είναι το ελάχιστο δυνατό.

Ο υπολογισμός της τιμής του συντελεστή συσχέτισης του Pearson- r μεταξύ των μεταβλητών X και Y γίνεται συνήθως με τον ακόλουθο τρόπο:

$$r = \frac{\sum(\bar{X} - X_i)(\bar{Y} - Y_i)}{\sqrt{\sum(\bar{X} - X_i)^2 \sum(\bar{Y} - Y_i)^2}}$$

Όπου $\sum(\bar{X} - X_i)(\bar{Y} - Y_i)$ είναι το άθροισμα της διαφοράς των τιμών της μεταβλητής X από το μέσο όρο τους επί τη διαφορά των τιμών της μεταβλητής Y από το μέσο όρο τους (αναφέρεται και ως SP -Sum of Products of Deviations, ή S_{XY} – Sum of Cross-Products),

$\sum (\bar{X} - X_i)^2$ είναι το άθροισμα των τετραγώνων της διαφοράς του μέσου όρου από τις τιμές της μεταβλητής X και

$\sum (\bar{Y} - Y_i)^2$ είναι το άθροισμα των τετραγώνων της διαφορά του μέσου όρου από τις τιμές της μεταβλητής Y .

Οι τιμές του συντελεστή του Pearson- r ανήκουν στο διάστημα $-1 \leq r \leq +1$. Όσο η τιμή του πλησιάζει το ± 1 τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση μεταξύ ενός ζεύγους μεταβλητών, ενώ όσο πλησιάζει το μηδέν τόσο πιο ασθενής γίνεται.

Αρκετές προσπάθειες έχουν γίνει ώστε να κατηγοριοποιηθούν οι τιμές του r ως προς το βαθμό της συσχέτισης που δηλώνουν (Πίνακας 3.6). Εντούτοις, τα κριτήρια με τα οποία γίνεται η κατηγοριοποίηση είναι αυθαίρετα και πρέπει να ελέγχονται, ακόμη και να διαφοροποιούνται ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο γίνεται η έρευνα και τη φύση των συσχετιζόμενων μεγεθών (Buda and Jarypowski, 2010).

Πίνακας 3.6 Κατηγοριοποίηση τιμών του συντελεστή του Pearson- r

Συσχέτιση	Αρνητική	Θετική
Δεν υπάρχει συσχέτιση	-0.09 έως 0.0	0.0 έως 0.09
Ασθενής	-0.3 έως -0.1	0.1 έως 0.3
Μέτρια	-0.5 έως -0.3	0.3 έως 0.5
Ισχυρή	-1.0 έως -0.5	0.5 έως 1.0

3.4.3 Επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας p-level

Η αξιοπιστία σε μιας συσχέτιση μεταβλητών, αναφέρεται στη αντιπροσωπευτικότητα του αποτελέσματος που βρίσκεται στο συγκεκριμένο δείγμα μας για τον ολόκληρο πληθυσμό. Δηλαδή δείχνει την πιθανότητα να παρατηρηθεί η ίδια συσχέτιση εάν το πείραμα επαναληφθεί με άλλα δείγματα που προήλθαν από τον ίδιο πληθυσμό. Η αξιοπιστία μιας σχέσης μεταξύ των μεταβλητών που παρατηρούνται μπορεί να υπολογιστεί ποσοτικά και να αντιπροσωπευθεί χρησιμοποιώντας ένα τυποποιημένο μέτρο αποκαλούμενο ως στατιστικό επίπεδο σημαντικότητας p-level (Δαμιανού, Παπαδάτος, Χαραλαμπίδης, 2003)

Μεγάλες τιμές του p-level υποδεικνύουν λιγότερο αξιόπιστη συσχέτιση. Συγκεκριμένα το p-level είναι η πιθανότητα λάθους στην αποδοχή του παρατηρούμενου αποτελέσματος ως έγκυρου, δηλαδή ως αντιπροσωπευτικού για ολόκληρο τον πληθυσμό. Σε πολλές μελέτες, η τιμή 0,05 για το p-level θεωρείται ως το άνω όριο αποδεκτού σφάλματος. Η τιμή αυτή σημαίνει πως υπάρχει πιθανότητα 5% η συσχέτιση των μεταβλητών να μην είναι έγκυρη. Η ισχύς της συσχέτισης και η αξιοπιστία ενώ αποτελούν διαφορετικά χαρακτηριστικά δεν είναι τελείως ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Γενικά, για δείγμα συγκεκριμένου μεγέθους, όσο πιο ισχυρή

είναι η συσχέτιση είναι μεγαλύτερη και η αξιοπιστία και υπάρχει ο τρόπος να υπολογιστεί το ένα μέγεθος εάν είναι γνωστό το άλλο.

3.4.4 Η μέθοδος ANOVA (ANalysis Of VAriance)

Η Ανάλυση της Διακύμανσης (ANOVA) εξετάζει αν η διακύμανση που παρατηρείται μεταξύ των μέσων τιμών τριών ή περισσότερων ομάδων (δείγματα) μετρήσεων είναι η στατιστικώς αναμενόμενη με βάση τις διακυμάνσεις των μετρήσεων σε κάθε ομάδα, ή μεγαλύτερη, θεωρώντας πως όλες οι μετρήσεις προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό.

Εάν η διακύμανση των μέσων τιμών είναι μεγαλύτερη, τότε η παραδοχή ότι όλες οι μετρήσεις προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό δεν ισχύει και επομένως υπάρχει κάποιος παράγοντας που διαφοροποιεί τις μετρήσεις από ομάδα σε ομάδα. Η μέθοδος ANOVA μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν τα δείγματα είναι ανεξάρτητα και η εξαρτημένη μεταβλητή ποσοτική.

Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες (Dimitrova et al., 2002; Dimitrova 2007; Dimitrova 2009; Papailiou et al., 2011a; 2011b; Stoilova et al., 2008) για την επίδραση της ηλιακής και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας στην ανθρώπινη υγεία. Σε μελέτη της η Dimitrova (2009) εφαρμόζει τη μέθοδο ANOVA για τη διερεύνηση της επίδρασης της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σε ανθρώπινες φυσιολογικές και ψυχο – φυσιολογικές παραμέτρους. Σε άλλη μελέτη (Stoilova et al., 2008), η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τη διερεύνηση της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σε φυσιολογικές παραμέτρους.

Η τεχνική αυτή επεκτείνεται και στις περιπτώσεις που υπάρχει πιθανή αλληλεπίδραση μεταξύ των επιπέδων των ανεξάρτητων μεταβλητών, τα οποία ονομάζονται παράγοντες. Εάν κάθε φορά υπάρχει μόνο ένας ελεγχόμενος παράγοντας η τεχνική ονομάζεται **μονόδρομη** (one-way) ANOVA και αποτελεί την απλούστερη μορφή της δοκιμασίας.

Στη μέθοδο ANOVA ο στατιστικός έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης γίνεται με τη χρήση του στατιστικού κριτηρίου F για τρία ή περισσότερα ανεξάρτητα δείγματα που υπολογίζεται ως εξής:

$$F = \frac{MS_{\text{between}}}{MS_{\text{within}}} \quad (\text{Rosner, 2010})$$

Όπου:

$$MS_{\text{between}} = \frac{SS_{\text{between}}}{df_{\text{between}}} = \frac{\sum n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{k - 1}$$

$$MS_{\text{within}} = \frac{SS_{\text{within}}}{df_{\text{within}}} = \frac{\sum (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 + \sum (X_{2i} - \bar{X}_2)^2 + \dots + \sum (X_{vi} - \bar{X}_v)^2}{n - k}$$

k: είναι ο αριθμός των υπο-ομάδων ή αλλιώς κατηγοριών της κατηγορικής μεταβλητής και n το μέγεθος του συνολικού δείγματος.

Συγκρίνεται η ενδοδειγματική (*within*) διακύμανση (μεταβλητότητα στο εσωτερικό των πληθυσμών) με την διαδειγματική (*between*) διακύμανση (μεταβλητότητα μεταξύ των πληθυσμών).

Ως μηδενική υπόθεση θεωρείται ότι οι μέσοι όροι για την εξαρτημένη μεταβλητή είναι ίσοι για όλους τους πληθυσμούς, κάτι που θα σημαίνει ότι οι παράγοντες δεν έχουν καμία επίδραση στην υπό μελέτη μεταβλητή. Αν η διαδειγματική διακύμανση είναι περίπου ίση με την ενδοδειγματική διακύμανση τότε είναι αποδεκτή η μηδενική υπόθεση, ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των μέσων των πληθυσμών. Αν η διαδειγματική διακύμανση είναι μεγαλύτερη από την ενδοδειγματική διακύμανση, τότε γίνεται δεκτή η εναλλακτική υπόθεση, ότι οι μέσοι των πληθυσμών είναι διάφοροι μεταξύ τους.

Είναι γνωστό ότι η ύπαρξη του τυχαίου σφάλματος που οφείλεται στη δειγματοληψία δεν επιτρέπει στα *between MS* και *within MS* να είναι ίσα ακόμη και στην περίπτωση που η μηδενική υπόθεση είναι αληθινή. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα μέτρο ανοχής για το πόσο μεγάλη θα πρέπει να είναι η παρατηρούμενη διαφορά προκειμένου να θεωρηθεί ότι δεν οφείλεται μόνο σε τυχαίο σφάλμα. Απάντηση στο ερώτημα αυτό δίνει η κατανομή δειγματοληψίας του λόγου των διακυμάνσεων:

$$F = \frac{MS_{\text{between}}}{MS_{\text{within}}}$$

Ως λόγος δύο X^2 τυχαίων μεταβλητών, ακολουθεί την κατανομή F με $k-1$ βαθμούς ελευθερίας για τον αριθμητή και $n-k$ βαθμούς ελευθερίας για τον παρονομαστή.

Για καθορισμένο επίπεδο σημαντικότητας p , η κρίσιμη τιμή του F προσδιορίζει τις περιοχές αποδοχής και απόρριψης της δοκιμασίας. Τότε, συγκρίνονται η υπολογισμένη τιμή F με την κρίσιμη τιμή της κατανομής $F(k-1),(n-k),p$:

Όταν $F > F(k-1),(n-k),p$ η H_0 δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή με βάση τα δεδομένα του δείγματος, όπου $F(k-1),(n-k),p$ είναι το $(1-p)*100$ εκατοστιαίο σημείο της κατανομής $F(k-1),(n-k)$ για το οποίο ισχύει:

$$P(F(k-1),(n-k) > F(k-1),(n-k),p) = p \quad (\text{Rosner, 2010})$$

Με βάση το πιο πάνω κριτήριο γίνεται η αποδοχή ή η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και συμπεραίνεται αν τελικά υπάρχει επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών – παραγόντων – στις εξαρτημένες μεταβλητές.

3.4.5 Ανάλυση Χρονοσειρών - Μέθοδοι εξομάλυνσης

3.4.5.1 Χρονοσειρές

Το σύνολο των δεδομένων, τα οποία συλλέγονται διαχρονικά και εκφράζουν την εξέλιξη των τιμών μιας μεταβλητής κατά τη διάρκεια ίσων διαδοχικών χρονικών περιόδων, ονομάζεται χρονοσειρά (ή χρονολογική σειρά, time series). Ειδικότερα, η χρονοσειρά αποτελείται από ένα σύνολο παρατηρήσεων μιας μεταβλητής, οι τιμές της οποίας είναι ιεραρχημένες με βάση τη χρονική περίοδο στην οποία αναφέρονται, π.χ. έτος, τρίμηνο, μήνας κ.α. Μαθηματικά μία χρονοσειρά ορίζεται από τις τιμές $Y_1, Y_2, \dots$ κάποιας μεταβλητής Y κατά τις χρονικές στιγμές $t_1, t_2, \dots$. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης $Y=F(t)$ παρουσιάζει την εξέλιξη της μεταβλητής Y στο χρόνο (Originlab).

3.4.5.2 Ανάλυση Χρονοσειρών

Η ανάλυση χρονοσειρών (time series analysis) ασχολείται με τη διερεύνηση της διαχρονικής συμπεριφοράς των τιμών μιας μεταβλητής, οι παρατηρήσεις της οποίας προέρχονται από χρονοσειρά.

Στόχοι της ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της χρονοσειράς τα οποία προσδιορίζουν κάποιο φαινόμενο, η εξάλειψη του θορύβου (εκτός από την πληροφορία, μια χρονοσειρά μπορεί να περιέχει και παρεμβολές από άλλα φαινόμενα, ή εντελώς τυχαίες διαταράξεις που συνιστούν θόρυβο), καθώς και η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών της μεταβλητής (Originlab).

Η Ανάλυση των χρονοσειρών γίνεται με τη χρήση διάφορων μεθόδων. Οι Μέθοδοι Εξομάλυνσης (Smoothing Methods) χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων του πειράματος της Γεωργίας.

.

3.4.5.3 Μέθοδοι Εξομάλυνσης – Φίλτρο Adjacent Averaging

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης (smoothing methods) είναι τεχνικές με την εφαρμογή των οποίων μπορεί να αποκαλυφθεί κάποια τάση της χρονοσειράς ή ενδεχομένως κάποια περιοδικά (εποχικά) χαρακτηριστικά της. Οι μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις εξαλείφονται με φίλτρα που συνήθως έχουν τη μορφή απλών κινητών μέσων ή σταθμισμένων κινητών μέσων, ώστε να φανεί η τάση της σειράς.

Όπως υποδηλώνει και το όνομά του, το φίλτρο Adjacent Averaging επιτυγχάνει την εξομάλυνση με τον υπολογισμό του μέσου όρου ενός συγκεκριμένου αριθμού σημείων - ο οποίος επιλέγεται από τον χρήστη - γύρω από κάθε σημείο της σειράς και αντικαθιστά το σημείο αυτό με τη νέα μέση τιμή.

Αν ως αριθμός σημείων που θα χρησιμοποιηθούν για την εξομάλυνση επιλεγεί ο περιττός αριθμός n , τότε n σημεία χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μέσης τιμής, ενώ αν επιλεγεί ο άρτιος αριθμός m τότε $m+1$ σημεία συμμετέχουν στον υπολογισμό της μέσης τιμής.

Η τιμή που έχει υποστεί εξομάλυνση (δείκτης $-i$) προέρχεται από τον μέσο όρο των σημείων στο διάστημα $[i-(n-1)/2, i+(n-1)/2]$ (Originlab).

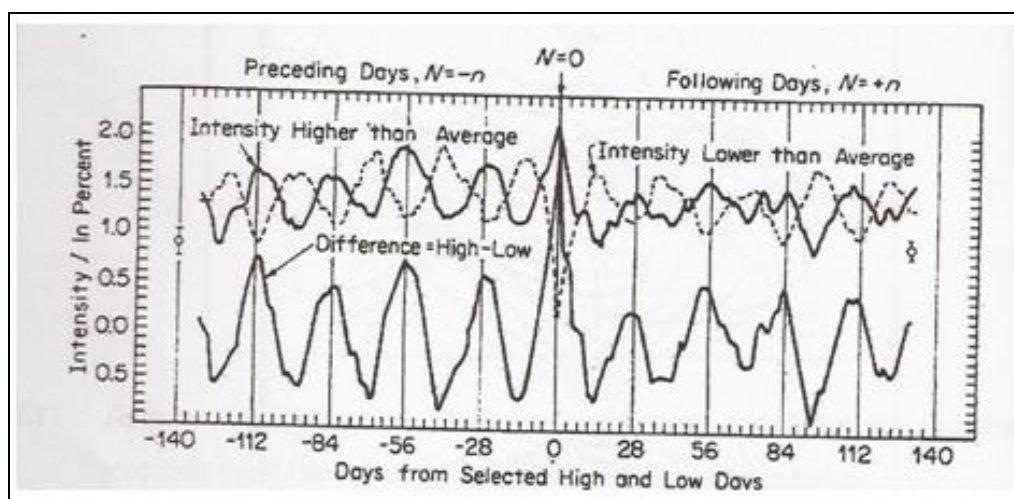
Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε για την εξομάλυνση των δεδομένων είναι το Adjacent Averaging για 7, 30 και 365 σημεία (data points)

3.4.5.4 Μέθοδος της υπέρθεσης – ή υπερεπίθεσης εποχών

Η μέθοδος της υπέρθεσης – ή υπερεπίθεσης εποχών (Superposed Epoch Method) εφαρμόζεται όταν αναζητείται η επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων πάνω σε ένα γεγονός για το οποίο υπάρχουν αρκετές παρατηρήσεις, αλλά δεν μπορούν να διαχωριστούν οι επιδράσεις από άλλους παράγοντες (θόρυβος) (Hartmann, 2008).

Στην εφαρμογή της μεθόδου τα δεδομένα ταξινομούνται σε κατηγορίες βάσει μιας «ημερομηνίας – κλειδί» (Ημέρα - 0) για να γίνει χρονισμός και σύγκριση μεταξύ των μέσων τιμών των διαφόρων κατηγοριών. Η βασική ιδέα είναι πως αν συνεκτιμηθούν τα δεδομένα με έναν έξυπνο τρόπο θα παραμείνει η επίδραση του εξεταζόμενου παράγοντα στο γεγονός ενώ ο θόρυβος θα απαλειφτεί.

Η μέθοδος αυτή συχνά αποκαλύπτει περιοδικά φαινόμενα, τα οποία δεν μπορούν να αποκαλυφθούν από τη φασματική ανάλυση εάν το σήμα είναι μικρό έναντι του θορύβου. Στο Σχήμα 3.7 παριστάνεται η μέθοδος υπέρθεσης εποχών για τη μελέτη επαναλαμβανόμενων φαινομένων



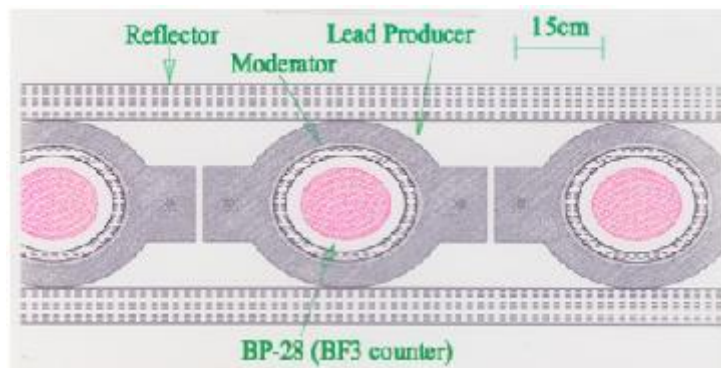
Σχήμα 3.7 Μέθοδος υπέρθεσης εποχών (Superposed Epoch Method), από Μανρομιχαλάκη, 2005

3.5 Μετρητές νετρονίων

Οι μετρητές νετρονίων αποτελούν το πιο διαδεδομένο όργανο επίγειας καταμέτρησης της κοσμικής ακτινοβολίας και παρέχουν στην επιστημονική κοινότητα τον πιο αποτελεσματικό τρόπο καταμέτρησης της στην περιοχή δυσκαμψιών του φάσματος από 1 GeV έως 15 GeV. Είναι επίγεια μετρητικά συστήματα τα οποία καταγράφουν την ένταση της νουκλεονικής συνιστώσας ενός ατμοσφαιρικού καταιγισμού, ο οποίος λαμβάνει χώρα όταν κοσμικά σωματίδια γαλαξιακής, εξωγαλαξιακής ή ηλιακής προέλευσης, εισχωρούν στην ατμόσφαιρα της Γης. Συνεπώς ένας μετρητής νετρονίων καταγράφει ως επί το πλείστον δευτερογενή νετρόνια τα οποία αποτελούν προϊόντα ατμοσφαιρικών καταιγισμών (Moraal, 2000).

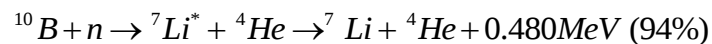
Τα συγκεκριμένα όργανα καταγράφουν μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας στην περιοχή του πρωτογενούς φάσματος των κοσμικών ακτίνων από 500 MeV μέχρι 20 GeV. Με το μεγάλο ρυθμό καταμέτρησης που έχουν και την μεγάλη ενεργό επιφάνεια (μερικά τετραγωνικά μέτρα) μπορούν να μετρούν και μικρής κλίμακας μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας ειδικά όταν αυτές είναι ανισότροπες. Το τμήμα αυτό του κοσμικού φάσματος που φθάνει στην ατμόσφαιρα της Γης διαμορφώνεται από το γεωμαγνητικό κατώφλι δυσκαμψίας, που ποικίλλει από μηδέν GV στους μαγνητικούς πόλους μέχρι 15GV στις ισημερινές περιοχές. Έτσι ανάλογα με την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται κάθε μετρητής καταγράφει και διαφορετικές ενεργειακές περιοχές του πρωτογενούς φάσματος και με ένα μεγάλο εύρος διευθύνσεων άφιξης των πρωτογενών σωματίων. Επίσης, το υψόμετρο του κάθε σταθμού καθορίζει και το ποσοστό απορρόφησης της δευτερογενούς κοσμικής ακτινοβολίας.

Ένας μετρητής νετρονίων (Σχήμα 3.8) αποτελείται από έναν αναλογικό μετρητή αερίου (gass-field proportional counter), ο οποίος περιλαμβάνει έναν αριθμό από θαλάμους αερίου BF_3 ή He (συνήθως από 3 έως 24), συνδεδεμένους με μία σειρά διατάξεων προενισχυτών και διευκρινιστών σήματος, τροφοδοτικών υψηλής τάσης και UPS. Κάθε απαριθμητής περιβάλλεται από ένα σύστημα τριών εξαρτημάτων: α) τον επιβραδυντή των νετρονίων (moderator) ο οποίος είναι ένα στρώμα πολυαιθυλένης, β) τον παραγωγό σωματίων (lead producer) (μολύβι) και γ) τον ανακλαστήρα σωματίων (reflector) επίσης στρώμα πολυαιθυλενίου.

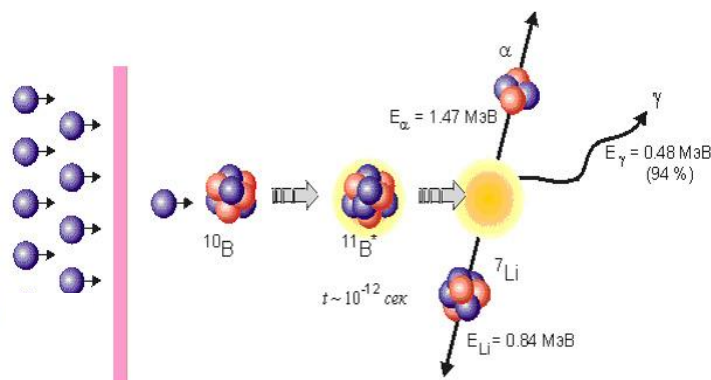


Σχήμα 3.8 Η δομή ενός μετρητή νετρονίων (Από Clem, 2004).

Τα νετρόνια επιβραδύνονται από τις πλάκες πολυαιθυλενίου και στη συνέχεια αντιδρούν με τριφθοριούχο βόριο, δίνοντας διεγερμένο λίθιο και σωματία α, σύμφωνα με τις αντιδράσεις (Hatton, 1971):

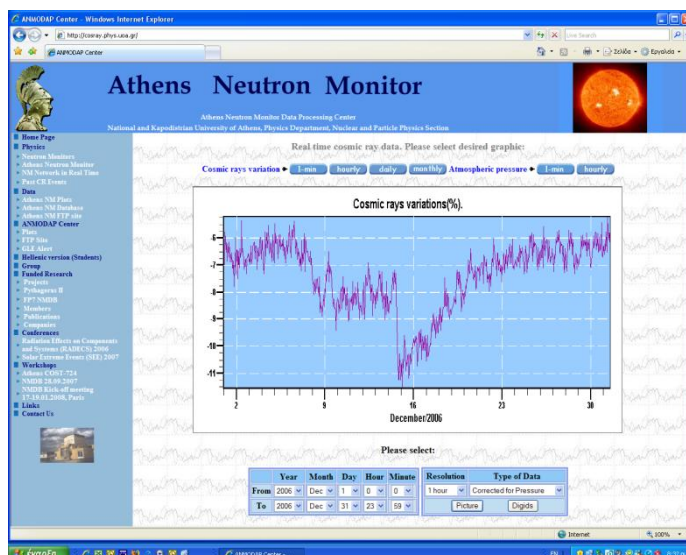


Η καταγραφή των σωματίων α από τους απαριθμητές δίνει τη ροή των νετρονίων. Η ροή είναι κατά μέσο όρο 3000 σωματίδια ανά λεπτό στους έξι ανιχνευτές. Οι σχετικές αντιδράσεις δίνονται στο Σχήμα 3.9. Τα δεδομένα τη ροής των νετρονίων καταγράφονται και διορθώνονται με την καταγεγραμμένη ατμοσφαιρική πίεση. Ο ανακλαστήρας εμποδίζει να διαφεύγουν τα νετρόνια που παράγονται στον μετρητή.



Σχήμα 3.9 Αντίδραση καταγραφής των νετρονίων στους απαριθμητές του σταθμού.

Οι σύγχρονοι σταθμοί κοσμικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούν τεχνολογία «πραγματικού χρόνου» (real time). Έτσι τα δεδομένα μπορούν να καταγράφονται με ανάλυση ενός λεπτού, να πραγματοποιούνται διορθώσεις με την πίεση ανά μία ώρα, μαζί με έλεγχο στην ποιότητα των δεδομένων, ενώ αυτά διατίθενται στο διαδίκτυο μέσω γραφήματος σε web server και σε αρχεία μέσω ftp server (Σχήμα 3.10). Το τελευταίο χαρακτηριστικό κάνει εφικτή τη δημιουργία ενός ολόκληρου δικτύου από σταθμούς νετρονίων ανά την υφήλιο, που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, ώστε να χρησιμοποιώντας τα δεδομένα πραγματικού χρόνου να μπορούν να κάνουν πρόγνωση του διαστημικού καιρού.



Σχήμα 3.10 Η ιστοσελίδα του Σταθμού κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου Αθηνών

Το σχηματικό διάγραμμα ενός σύγχρονου συστήματος καταγραφής δεδομένων κοσμικής ακτινοβολίας σε «πραγματικό χρόνο» φαίνεται στο Σχήμα 3.11.

Το δίκτυο των μετρητών νετρονίων καταγράφει ταυτόχρονα γαλαξιακές και ηλιακές κοσμικές ακτίνες. Ο προσδιορισμός των πραγματικών μεταβολών των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων είναι απαραίτητος για τη μελέτη των ηλιακών κοσμικών φαινομένων. Η καταγραφή ηλιακών κοσμικών ακτίνων στους μετρητές νετρονίων δεν είναι σύνηθες φαινόμενο (GLEs), τα χαρακτηριστικά όμως των γαλαξιακών κοσμικών ακτίνων αντανakλούν τις διαδικασίες τους ηλιακού ανέμου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση της άφιξης στη Γη διαπλανητικών διαταραχών και για την παρακολούθηση των γεωμαγνητικών καταιγίδων.

Από τον Ιανουάριο 2008, η βάση δεδομένων υψηλής ανάλυσης Neutron Monitor Database (NMDB), ένα πρόγραμμα που υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει αναπτυχθεί. Αυτή η προσπάθεια αφορά στην ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων μετρητών νετρονίων πραγματικού χρόνου που θα περιέχει δεδομένα από όσο το δυνατόν περισσότερους σταθμούς. Ο κύριος στόχος είναι να αναπτυχθεί μια ψηφιακή «αποθήκη» δεδομένων κοσμικής ακτινοβολίας, τα οποία θα διατίθενται μέσω του διαδικτύου σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών.

3.5.2 Ο μετρητής νετρονίων της Αθήνας

Ο σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της Αθήνας μπήκε σε λειτουργία το Νοέμβριο του 2000 μετά από πολλά χρόνια διακοπής. Ο σταθμός αυτός συνδέθηκε με το Παγκόσμιο Δίκτυο Μετρητών Νετρονίων με παροχή “real-time” δεδομένων, έτσι ώστε να εκπληρώνει όλες τις σύγχρονες απαιτήσεις παρουσίασης δεδομένων και να είναι εύκολη και άμεση η χρήση τους στους διάφορους κλάδους της Διαστημικής έρευνας. Ο νέος σταθμός κοσμικής ακτινοβολίας είναι τοποθετημένος σε ειδικά κατασκευασμένο χώρο στην οροφή του κτιρίου Φυσικής στην Πανεπιστημιούπολη του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών σε ύψος 260m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Σχήμα 3.13)



Σχήμα 3.13 Ο Σταθμός κοσμικής Ακτινοβολίας στο κτήριο Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Έχει κατακόρυφο κατώφλι μαγνητικής δυσκαμψίας 8.53GV και είναι μοναδικός στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ανατολικής Μεσογείου Θάλασσας. Το ανιχνευτικό σύστημα αποτελείται από έξι αναλογικούς απαριθμητές τύπου BP28 Chalk River Canada που περιέχουν BF_3 εμπλουτισμένο με το ισότοπο B_{10} (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.14 Η ανιχνευτική διάταξη του σταθμού της Αθήνας

Ο σταθμός της Αθήνας είναι ο πρώτος μικρού πλάτους και ο έκτος ανάμεσα στο παγκόσμιο δίκτυο Μετρητών Νετρονίων που παρέχει δεδομένα “πραγματικού χρόνου”. Διαγράμματα μηνιαίων, ημερήσιων, ωριαίων και 1-min διορθωμένων με την πίεση τιμών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας δίδονται στο Διαδίκτυο μέσω του Server.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΛΟΒΑΚΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων και τα αποτελέσματα του πειράματος στη Σλοβακία. Γίνεται συσχέτιση της κοσμικής ακτινοβολίας και των γεωμαγνητικών δεικτών (Ap, Dst) με τον καρδιακό ρυθμό για τα διάφορα επίπεδα κόπωσης (HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX), τη συστολική πίεση (SPR, SPFDL, SPSDL, SPMAX) και τη διαστολική πίεση (DPR, DPFDL, DPSDL, DPMAX) για τα ίδια επίπεδα κόπωσης για το σύνολο των αεροπόρων. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος STATISTICA, ver.8.0. (Copyright © StatSoft. Inc. 1984 – 2007).

Μελετήθηκε η επίδραση του κάθε παράγοντα - π.χ. επίπεδο 1 του Ap – σε κάθε παράμετρο - π.χ. HRR – την ημέρα 0 (ημέρα των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας ή των μεταβολών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας) και μέχρι τρεις μέρες πριν (-3, -2, -1) και μετά (+1, +2, +3) από την ημέρα 0. Δηλαδή για συγκεκριμένη μέτρηση της παραμέτρου HRR σε κάποια ημερομηνία θεωρήθηκαν επτά διαφορετικές μετρήσεις για το επίπεδο Ap, μία για κάθε ημέρα: από τρεις, δύο και μία μέρα πριν, ανήμερα (0) και μία, δύο και τρεις μέρες μετά. Με τον τρόπο αυτό μελετάται η επίδραση που μπορεί να υπάρχει πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από κάποια γεωμαγνητική διαταραχή ή αλλαγή της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους.

Σε κάθε στάδιο της στατιστικής ανάλυσης ως μηδενική υπόθεση θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει καμία επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στις υπό εξέταση ανθρώπινες φυσιολογικές παραμέτρους.

Εφαρμόστηκε η μέθοδος ANOVA, δηλαδή η ανάλυση της διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (Dimitrova et al., 2005). Ως ανεξάρτητες μεταβλητές, δηλαδή «παράγοντες», θεωρήθηκαν το επίπεδο Ap (Ap level), το επίπεδο Dst (Dst level) και το επίπεδο της ποσοστιαίας μείωσης στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (CRI level). Ως εξαρτημένες μεταβλητές θεωρήθηκαν οι φυσιολογικές παράμετροι HR

(HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX), DP (DPR, DPFDL, DPSDL, DPMAX) και SP (SPR, SPFDL, SPSDL, SPMAX).

Με τη μέθοδο ANOVA ελέγχθηκε η επίδραση κάθε ενός από τους παράγοντες σε κάθε μία από τις υπό μελέτη εξαρτημένες μεταβλητές. Κάθε φορά, ως μηδενική υπόθεση θεωρήθηκε το ότι οι μέσες τιμές μιας παραμέτρου (π.χ. HRR) είναι ίσες για όλους τους πληθυσμούς, δηλαδή οι μέσες τιμές είναι ίσες για κάθε επίπεδο των ανεξάρτητων μεταβλητών (π.χ. Ap level).

Με τη βοήθεια του προγράμματος STATISTICA προέκυψαν οι πίνακες με τις υπολογισμένες μέσες τιμές για κάθε φυσιολογική παράμετρο και κάθε επίπεδο παράγοντα. Στους πίνακες αυτούς αναγράφονται επίσης, το κανονικό σφάλμα στον υπολογισμό της μέσης τιμής με διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της παραμέτρου για αυτό το διάστημα εμπιστοσύνης, καθώς και ο αριθμός των μετρήσεων που υπάγονται σε κάθε επίπεδο του παράγοντα. Υπολογίζονται επίσης η τιμή της συνάρτησης F, ανάλογα με τους βαθμούς ελευθερίας της κάθε περίπτωσης και το επίπεδο σημαντικότητας p-level για κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται γραφικά στο κεφάλαιο αυτό.

Για την αποδοχή της μηδενικής υπόθεσης απαιτήθηκε η τιμή p-level (p-value) να είναι μεγαλύτερη από 0.05. Σε διαφορετική περίπτωση, δηλαδή για $p < 0.05$ η μηδενική υπόθεση απορρίφθηκε. Αυτό σημαίνει ότι ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, δηλαδή ότι στην περίπτωση αυτή οι μεταβολές στον παράγοντα (π.χ. Ap level) έχουν επίδραση στην υπό μελέτη παράμετρο (π.χ. HRR).

Οι τιμές p-values από την ανάλυση ANOVA συγκεντρώθηκαν σε πίνακες, όπου με το σύμβολο <*> σημειώνονται οι τιμές $p < 0.05$ για τις οποίες ισχύει η εναλλακτική υπόθεση.

Επιπλέον, παραστάθηκαν γραφικά οι μέσες τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και είχαν υπολογιστεί κατά την ανάλυση ANOVA για τις ημέρες πριν (-3, -2, -1), κατά την διάρκεια (0) και μετά (+1, +2, +3) από μεταβολές στην γεωμαγνητική δραστηριότητα ή στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Αυτό έγινε και για τους τρεις παράγοντες (Ap level, Dst level και CRI level). Με τον τρόπο αυτό και με την χρήση των πινάκων με τις συγκεντρωμένες p-values γίνεται ευκολότερη η εξαγωγή συμπερασμάτων για το σε ποιες περιπτώσεις παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής

δραστηριότητας και της κοσμικής ακτινοβολίας στις φυσιολογικές παραμέτρους με στατιστική σημαντικότητα.

4.2 Ανάλυση δεδομένων καρδιακού ρυθμού

Ο καρδιακός ρυθμός μελετήθηκε σε σχέση με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα κόπωσης: HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX .

Η μέθοδος ανάλυσης ANOVA χρησιμοποιήθηκε για να προκύψουν τα διαγράμματα των παραμέτρων του καρδιακού ρυθμού σε σχέση με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας, και οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p-values, για τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από γεωμαγνητικές καταιγίδες ή μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (Πίνακας 4.1).

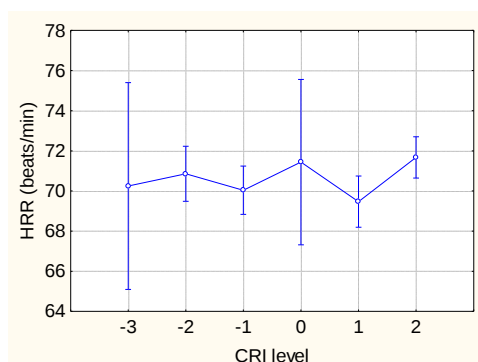
Πίνακας 4.1 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό

ΗΜΕΡΑ	p – values (CRI)			
	HRR	HRMAX	HRFDL	HRSDL
-3	0.87165	0.0000*	0.0000*	0.0000*
-2	0.45955	0.0000*	0.0000*	0.0000*
-1	0.32613	0.0000*	0.0000*	0.0000*
0	0.13799	0.0000*	0.0000*	0.0000*
+1	0.12963	0.0000*	0.0000*	0.0000*
+2	0.62988	0.0000*	0.0000*	0.0000*
+3	0.08273	0.0000*	0.0000*	0.0000*

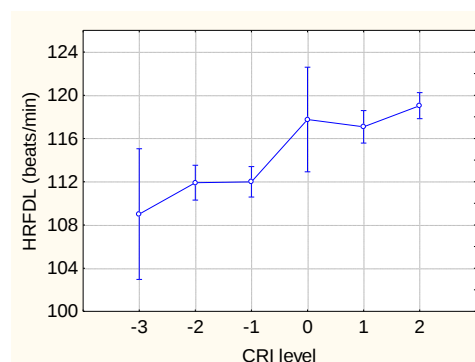
Από τον Πίνακα 4.1 η κοσμική ακτινοβολία δείχνει να επιδρά στις παραμέτρους HRFDL, HRSDL και HRMAX, όχι όμως και στον HRR.

Στα σχήματα 4.1 έως 4.12 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των παραμέτρων HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX αντίστοιχα, με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας. Για την ημέρα 0 (Σχήματα 4.1 έως 4.4) φαίνεται μια τάση για μείωση των τιμών των παραμέτρων του καρδιακού ρυθμού από το επίπεδο 2 της κοσμικής ακτινοβολίας στο οποίο εμφανίζει μέγιστη τιμή, έως το επίπεδο -3 για το οποίο

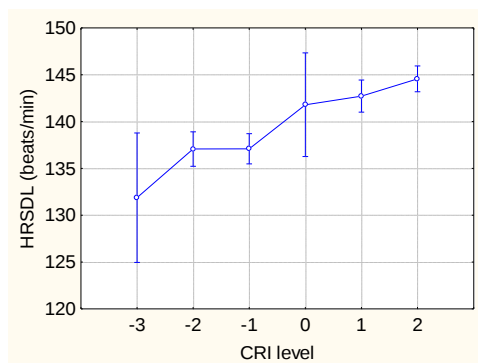
παρουσιάζει ελάχιστο. Εξαίρεση αποτελεί ο HRR ο οποίος την ημέρα 0 εμφανίζει ελάχιστο στο επίπεδο 1 (Σχήμα 4.1)



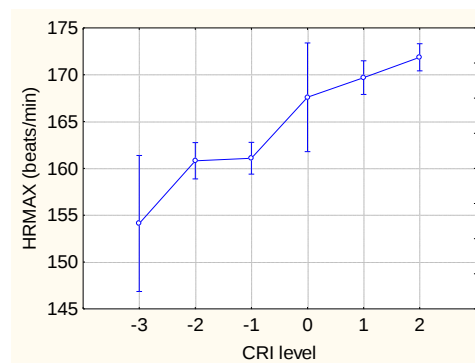
Σχήμα 4.1 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRR (Day 0)



Σχήμα 4.2 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRFDL (Day 0)



Σχήμα 4.3 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRSDL (Day 0)

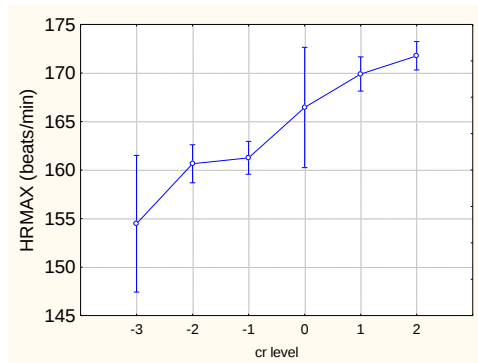


Σχήμα 4.4 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRMAX (Day 0)

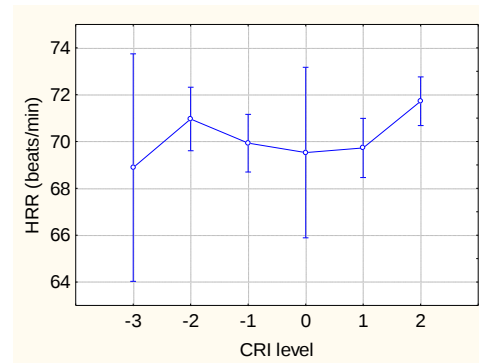
Τις ημέρες -1 και +1, υπάρχει παρόμοια συμπεριφορά των τιμών του καρδιακού ρυθμού για όλα τα επίπεδα κόπωσης ως προς την κοσμική ακτινοβολία. Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η μεταβολή του HRMAX με τα επίπεδα της μεταβολής της κοσμικής ακτινοβολίας, όπου παρατηρείται πράγματι η τάση για μείωση του HRMAX από το επίπεδο 2 στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας.

Την ημέρα 0 παρουσιάζεται κορυφή στο επίπεδο 0 της κοσμικής ακτινοβολίας (Σχήματα 4.1 έως 4.4). Το ίδιο παρατηρείται και για τις ημέρες +1 και -1. Δηλαδή, ενώ υπάρχει τάση για μείωση, από το επίπεδο 1 στο επίπεδο 0 υπάρχει αύξηση και αμέσως μείωση στο επίπεδο -1 του καρδιακού ρυθμού. Η διαπίστωση αυτή δεν ισχύει

για την περίπτωση του HRMAX την ημέρα -1 (Σχήμα 4.5) καθώς και για τον HRR την ημέρα +1 (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.5 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στονHRMAX (Day -1)



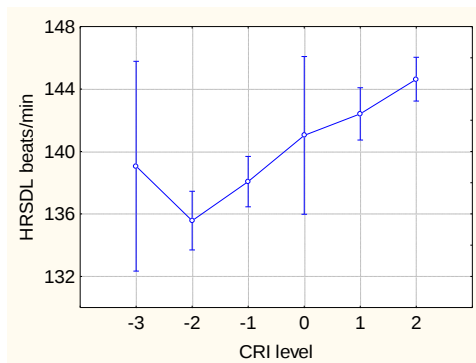
Σχήμα 4.6 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στονHRR (Day +1)

Την ημέρα 0, το εύρος των τιμών για κάθε παράμετρο του καρδιακού ρυθμού αυξάνει με το επίπεδο κόπωσης. Οι διαφορές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3

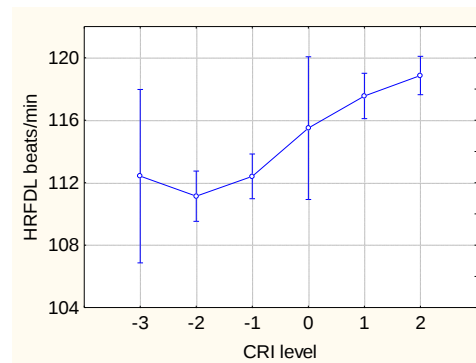
Πίνακας 4.3 Εύρος των μέσων τιμών του καρδιακού ρυθμού για τα διάφορα επίπεδα κόπωσης

HRR max – HRR min	1.63423 beats/min
HRFDL max – HRFDL min	10.0348 beats/min
HRSDL max – HRSDL min	12.6897 beats/min
HRMAX max – HRMAX min	17.7432 beats/min

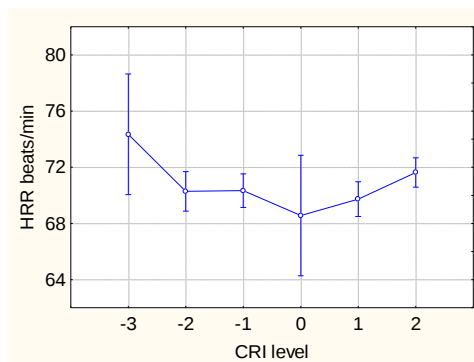
Τις ημέρες -2,-3,+3 τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται. Ενώ υπάρχει τάση για μείωση του καρδιακού ρυθμού με τις μειώσεις της έντασης κοσμικής ακτινοβολίας από το επίπεδο 2 μέχρι το επίπεδο -2, ωστόσο από το επίπεδο -2 ως το επίπεδο -3, δηλαδή για έντονη δραστηριότητα, παρατηρείται αύξηση των τιμών (Σχήματα 4.7 έως 4.9).



Σχήμα 4.7 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRSDL (Day -2)

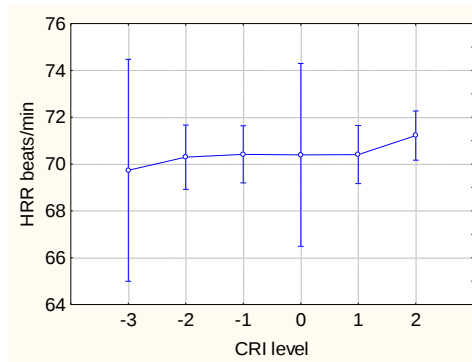


Σχήμα 4.8 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRFDL (Day -3)



Σχήμα 4.9 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας HRR (Day +3)

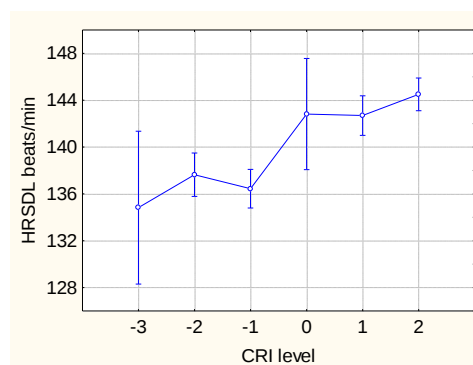
Την ημέρα -3 όπως φαίνεται και απ' την Σχήμα 4.8 η αύξηση των μέσων τιμών του HRFDL είναι πολύ μικρή. Μάλιστα ο HRR δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές την ημέρα αυτή, αλλά παραμένει σχεδόν σταθερός, με τιμές από 69.73684 beats/min στο επίπεδο -3 έως 71.21964 beats/min στο επίπεδο 2 (Σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRR (Day -3)

Στις περισσότερες περιπτώσεις, για τις ημέρες που εξετάζονται (-2,-3,+3), το ελάχιστο σημειώνεται για το επίπεδο -2. Εξάίρεση αποτελούν, ο HRR που εμφανίζει ελάχιστο στο επίπεδο -3 για την ημέρα -3 και στο επίπεδο 0 την ημέρα +3 (Σχήμα 4.9), και ο HRMAX που εμφανίζει ελάχιστο την ημέρα +3 στο επίπεδο 0.

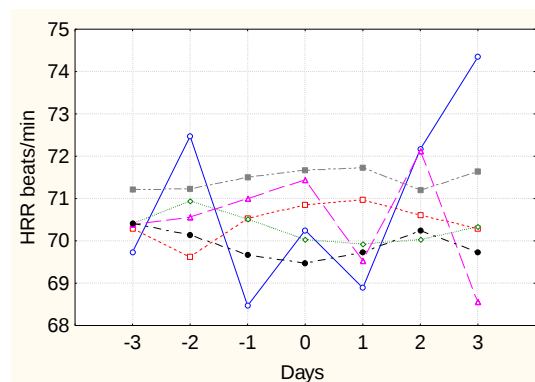
Τέλος από το Σχήμα 4.11 διακρίνεται την ημέρα +2 η τάση για μικρότερες τιμές στον καρδιακό ρυθμό όταν οι μειώσεις τις κοσμικής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερες. Μάλιστα η πιο απότομη μείωση εμφανίζεται σε όλα τα επίπεδα κόπωσης από το επίπεδο 0 στο επίπεδο -1. Τις χαμηλότερες τιμές τους, λαμβάνουν οι παράμετροι του καρδιακού ρυθμού για τα επίπεδα που αντιστοιχούν σε μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (-3, -2, -1), η οποία υποδηλώνει αύξηση της ηλιακής δραστηριότητας.



Σχήμα 4.11 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRSDL (Day +2)

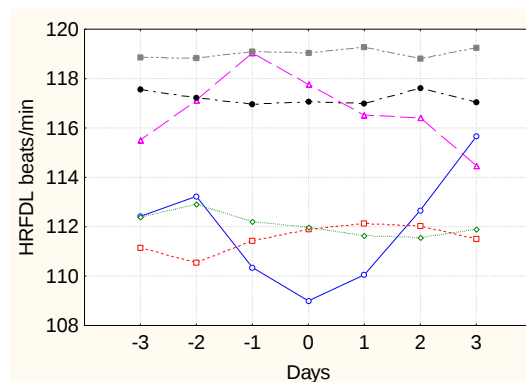
Συμπερασματικά, για τα μεγαλύτερα επίπεδα της μεταβολής της κοσμικής ακτινοβολίας (δηλαδή για μεταβολές από -15% μέχρι και -6%), παρατηρείται τάση για μείωση των μέσων τιμών των παραμέτρων του καρδιακού ρυθμού την ημέρα του γεγονότος (0) αλλά και μια πριν (-1) και μια ημέρα μετά (+1) από αυτή. Τις ημέρες όμως που βρίσκονται σε απόσταση από το γεγονός η συμπεριφορά δεν είναι ευδιάκριτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζεται τάση για μείωση από το επίπεδο 2 έως το επίπεδο -2 της κοσμικής ακτινοβολίας, όμως ακολουθεί η τάση για αύξηση ως το επίπεδο -3.

Στα σχήματα 4.12 έως 4.15 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του καρδιακού ρυθμού (HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX) για όλα τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων αντιστοιχούν στα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου ακολουθεί το κάθε γράφημα.



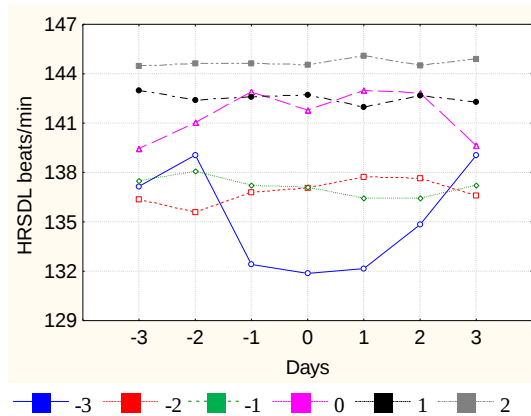
—■— -3 —■— -2 —■— -1 —■— 0 —■— 1 —■— 2

Σχήμα 4.12 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

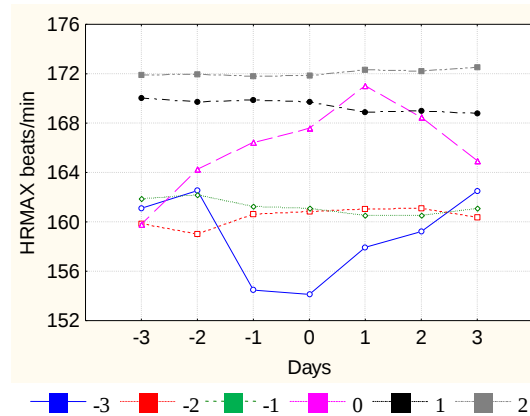


—■— -3 —■— -2 —■— -1 —■— 0 —■— 1 —■— 2

Σχήμα 4.13 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRFDL για τις πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές



Σχήμα 4.14 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRSDL για πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.15 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στον HRMAX για τις πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες μεταβολές του καρδιακού ρυθμού εμφανίζονται για τα επίπεδα -3 και 0 της κοσμικής ακτινοβολίας, ενώ στα επίπεδα 1 και 2 ο καρδιακός ρυθμός διατηρείται σχεδόν σταθερός.

Οι ελάχιστες μέσες τιμές του, σημειώνονται για το επίπεδο -3, και μάλιστα την ημέρα 0, δηλαδή την ημέρα που πραγματοποιείται η μείωση. Εξαιρέση αποτελεί ο HRR ο οποίος εμφανίζει ελάχιστο για το επίπεδο -3 αλλά για την ημέρα -1 (Σχ. 4.12). Οι μέγιστες μέσες τιμές των παραμέτρων του καρδιακού ρυθμού λαμβάνονται για το επίπεδο 2, εκτός από τον HRR για τον οποίο το μέγιστο παρουσιάζεται στο επίπεδο -3 τρεις ημέρες μετά την μείωση (ημέρα +3). Για τις κατηγορίες HRFDL, HRSDL, HRMAX παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά του καρδιακού ρυθμού με την κοσμική ακτινοβολία για το επίπεδο -3: Από τρεις ημέρες πριν το γεγονός έως δύο ημέρες πριν (ημέρες -3 και -2), ο καρδιακός ρυθμός σημειώνει μικρή αύξηση. Ακολουθεί απότομη μείωση μέχρι την ημέρα 0 κατά την οποία σημειώνεται και το ελάχιστο και στη συνέχεια αύξηση μέχρι τρεις μέρες μετά (+3). Ο HRR ακολουθεί επίσης τη συγκεκριμένη συμπεριφορά, με τη διαφορά ότι την ημέρα 0 σημειώνει τοπικό μέγιστο.

Για το επίπεδο -3, ο HRMAX σημειώνει μεταβολή 8.3967 beats/min, ο HRSDL μεταβολή ίση με 7.1685 beats/min, ακολουθεί ο HRFDL με 6.6522 beats/min και τέλος, ο HRR με 5.8772 beats/min.

Συνολικά, παρατηρείται ότι οι μεταβολές με τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το γεγονός, είναι μεγαλύτερες για τις μεγαλύτερες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, αλλά και όταν η κοσμική ακτινοβολία δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές. Αυτό έχει διαπιστωθεί και σε άλλες μελέτες (Dimitrova, 2009a; Stoupelet et al., 1991). Περαιτέρω ανάλυση ακολουθεί στην παράγραφο 4.5 Συμπεράσματα - Σύγκριση αποτελεσμάτων. Τη μέγιστη μεταβολή σημειώνει ο HRMAX, ενώ τη μικρότερη ο HRR.

Για τη μελέτη της σχέσης του καρδιακού ρυθμού με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Ap και Dst. Η μέθοδος ανάλυσης ANOVA χρησιμοποιήθηκε για να προκύψουν τα διαγράμματα των παραμέτρων του καρδιακού ρυθμού σε σχέση με τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p-values, για τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τα γεωμαγνητικά γεγονότα. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα p-values του δείκτη Ap.

Πίνακας 4.2 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του Ap) στον καρδιακό ρυθμό

ΗΜΕΡΑ	p – values (Ap)			
	HRR	HRMAX	HRFDL	HRSDL
-3	0.10864	0.95521	0.37424	0.66700
-2	0.10922	0.21415	0.28849	0.14119
-1	0.19575	0.23503	0.04686*	0.13750
0	0.19282	0.33978	0.58054	0.68934
+1	0.08961	0.32650	0.00552*	0.01108*
+2	0.25180	0.28316	0.05901	0.08421
+3	0.15244	0.58354	0.63545	0.48781

Από τα επίπεδα p-values προκύπτει πως δεν υπάρχει επίδραση των μεταβολών του Ap level στις υπό μελέτη παραμέτρους (δηλαδή, ισχύει η *μηδενική υπόθεση*) παρά μόνο στον HRFDL τις ημέρες -1 και +1 και στον HRSDL την ημέρα +1.

Αντίστοιχα, οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p-values, για την επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (σύμφωνα με τα επίπεδα του δείκτη

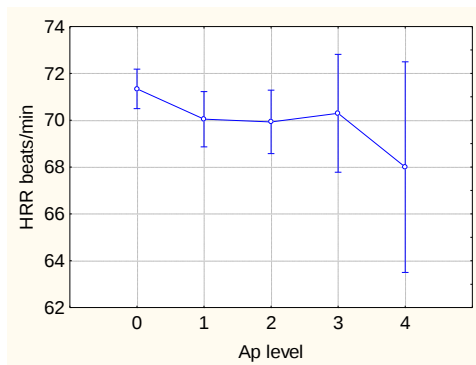
Dst), τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη μέτρηση στις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του Dst) στον καρδιακό ρυθμό

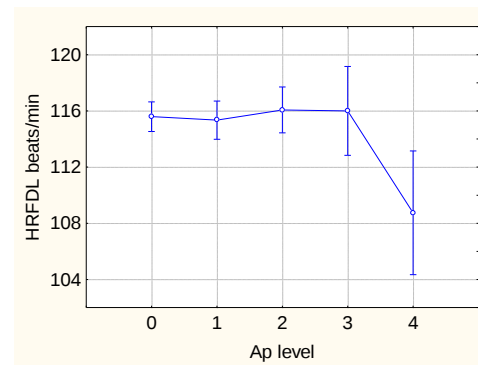
ΗΜΕΡΑ	p – values (Dst)			
	HRR	HRMAX	HRFDL	HRSDL
-3	0.01800*	0.07898	0.02306*	0.01543*
-2	0.09819	0.00055*	0.00292*	0.00022*
-1	0.07862	0.08536	0.18812	0.16068
0	0.38386	0.69223	0.85449	0.94855
+1	0.17940	0.51821	0.93407	0.74775
+2	0.46069	0.56557	0.65690	0.60194
+3	0.40357	0.16191	0.99546	0.82501

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως η γεωμαγνητική δραστηριότητα εκπεφρασμένη με το δείκτη Dst, δίνει στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα για τον καρδιακό ρυθμό 2 – 3 ημέρες πριν την καταγραφή του γεωμαγνητικού γεγονότος.

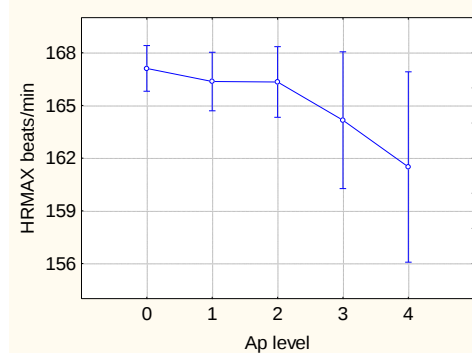
Ακολουθούν τα διαγράμματα της ανάλυσης ANOVA στα οποία παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης τιμής για όλες τις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού συναρτήσει των μεταβολών στο επίπεδο του δείκτη Ap. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει πως όλες οι παράμετροι του καρδιακού ρυθμού για την ημέρα 0 και για την ημέρα -1, παραμένουν σταθερές μέσα στα όρια των σφαλμάτων για τα επίπεδα του Ap από 0 έως 3. Στη συνέχεια, παρουσιάζουν μείωση μέχρι το επίπεδο 4 οπότε και εμφανίζουν την ελάχιστη μέση τιμή τους (Σχήματα 4.16 και 4.17). Μάλιστα την ημέρα -1 η μείωση αρχίζει από το επίπεδο 2, για τις παραμέτρους HRR, HRSDL, HRMAX (Σχήμα 4.18). Εξαίρεση αποτελεί ο HRMAX ο οποίος παρουσιάζει αύξηση από το επίπεδο 3 στο επίπεδο 4 την ημέρα 0, και ο HRSDL ο οποίος παραμένει σχεδόν σταθερός για τα επίπεδα αυξημένης γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Σχήματα 4.19 και 4.20 αντίστοιχα).



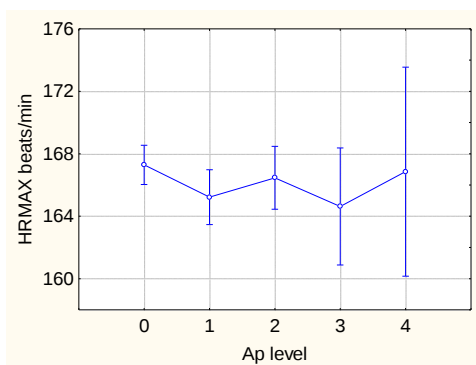
Σχήμα 4.16 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRR, (Day 0)



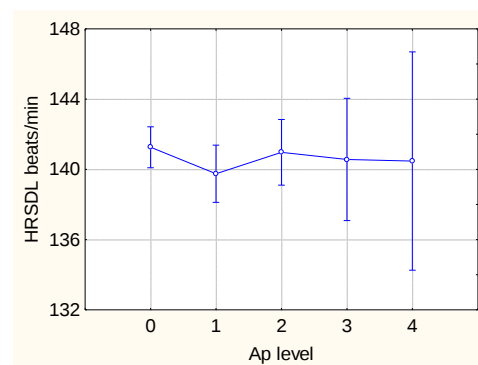
Σχήμα 4.17 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRFDL, (Day -1)



Σχήμα 4.18 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRMAX, (Day -1)



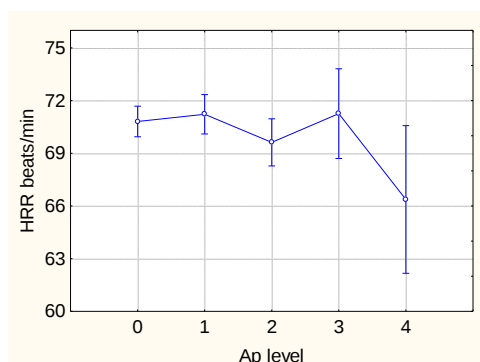
Σχήμα 4.19 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRMAX, (Day 0)



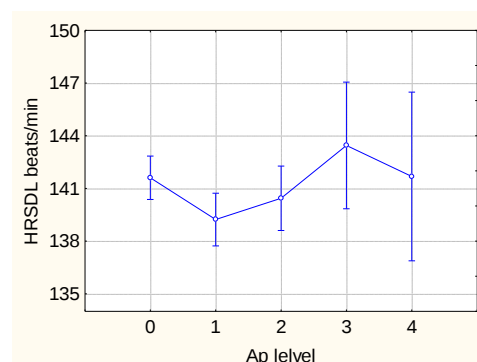
Σχήμα 4.20 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRSDL, (Day 0)

Για τις ημέρες -3, +2, +3 οι τέσσερις παράμετροι του καρδιακού ρυθμού παραμένουν περίπου σταθερές μέχρι το επίπεδο 2 του A_p , δείχνουν μια τάση προς

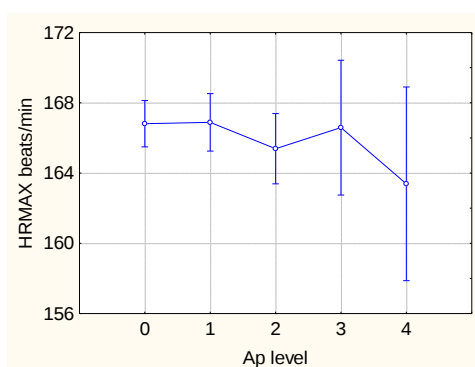
αύξηση έως το επίπεδο 3, και στη συνέχεια μειώνεται έως το επίπεδο 4, για το οποίο σημειώνεται η ελάχιστη μέση τιμή του (Σχήματα 4.21, 4.22 και 4.23)



Σχήμα 4.21 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRR, (Day -3)

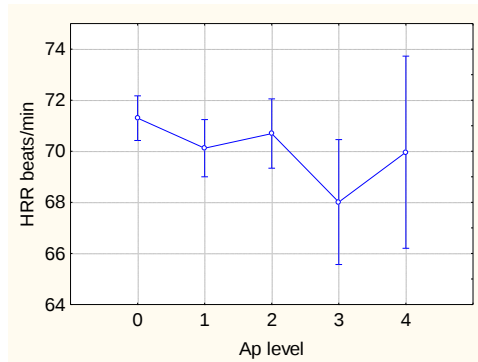


Σχήμα 4.22 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRSDL, (Day +2)

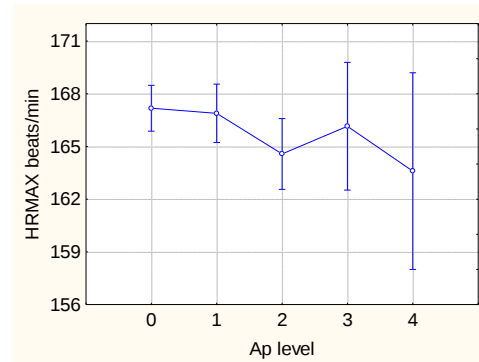


Σχήμα 4.23 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη A_p στον HRMAX, (Day +3)

Την ημέρα -2 παρατηρείται το ελάχιστο στη μέση τιμή για όλες τις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού στο επίπεδο 3 και όχι στο επίπεδο 4 (Σχήμα 4.24). Για όλα τα επίπεδα κόπωσης όμως παρατηρείται εμφάνιση των μικρότερων τιμών στα μεγαλύτερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, εκτός του HRMAX, ο οποίος διατηρεί την προηγούμενη συμπεριφορά και εμφανίζει τοπικό μέγιστο στο επίπεδο 3 (Σχήμα 4.25).

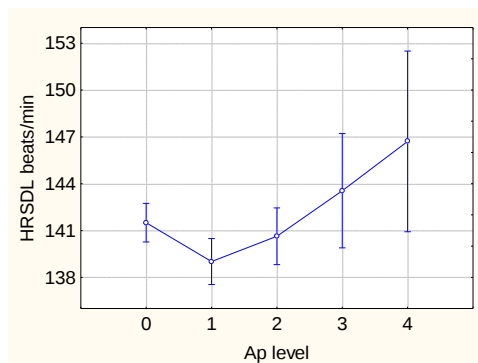


Σχήμα 4.24 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Ap στον HRR, (Day -2)

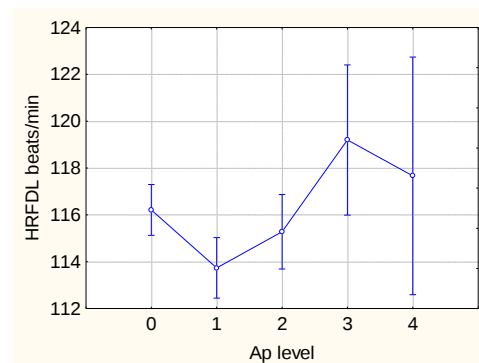


Σχήμα 4.25 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Ap στον HRMAX, (Day -2)

Πολύ διαφορετική συμπεριφορά του καρδιακού ρυθμού σε όλα τα επίπεδα κόπωσης με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα παρατηρείται την ημέρα +1. Φαίνεται πως στα μεγαλύτερα επίπεδα (επίπεδο 3, επίπεδο 4), σημειώνονται οι μεγαλύτερες τιμές του καρδιακού ρυθμού (Σχήματα 4.26 και 4.27).



Σχήμα 4.26 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Ap στον HRSDL, (Day +1)

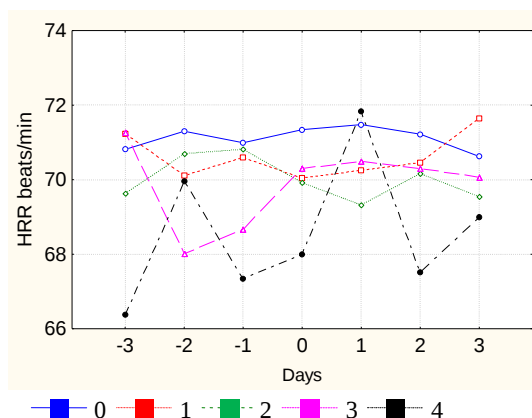


Σχήμα 4.27 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Ap στον HRFDL, (Day +1)

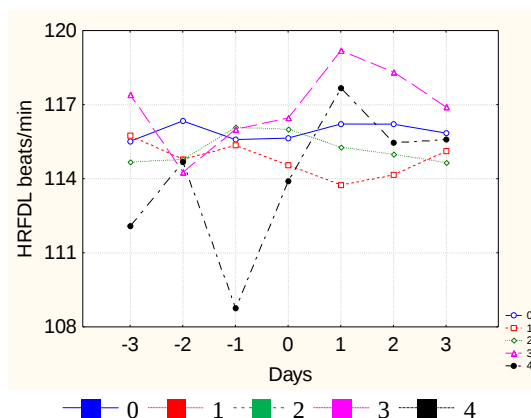
Συνοψίζοντας, τις ημέρες που υπάρχει έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα (ημέρα 0), όπως αυτή καθορίζεται από το επίπεδο του Ap δείκτη (επίπεδο 4) οι τιμές του καρδιακού ρυθμού τείνουν να μειώνονται. Η συμπεριφορά αυτή παρατηρείται και για τις ημέρες -3, -2, -1 αλλά και τις +2, +3.

Οι μέσες τιμές των παραμέτρων HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX για όλα τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (βάσει των τιμών του δείκτη Ap) τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0, παρουσιάζονται στα σχήματα 4.28 έως 4.31. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων αντιστοιχούν στα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι

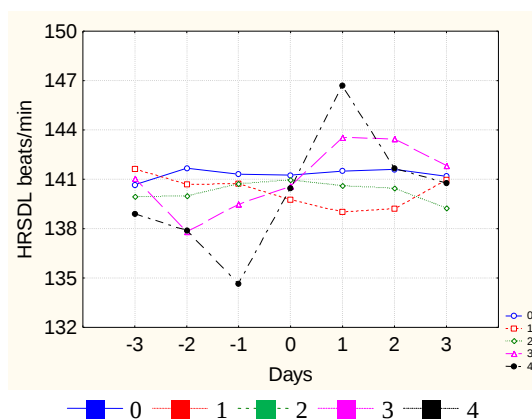
μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου Ap, ακολουθεί το κάθε γράφημα.



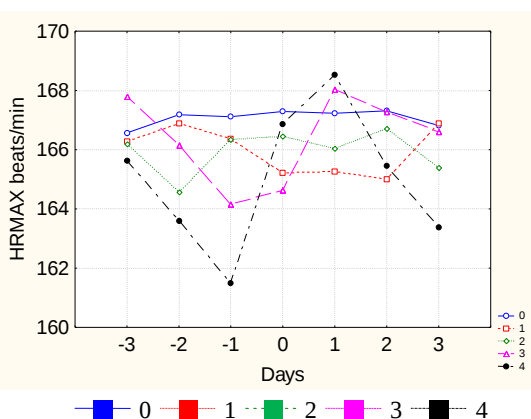
Σχήμα 4.28 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στον HRR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές



Σχήμα 4.29 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στον HRFDL τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές



Σχήμα 4.30 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στον HRSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές



Σχήμα 4.31 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στον HRMAX τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές

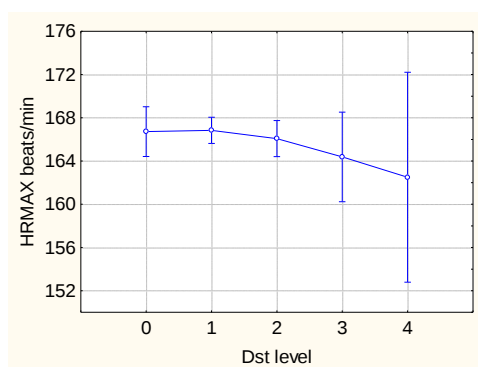
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει πως οι εντονότερες μεταβολές των HRR (Σχήμα 4.28), HRFDL(Σχήμα 4.29), HRSDL (Σχήμα 4.30) και HRMAX (Σχήμα 4.31) αντιστοιχούν στα μεγαλύτερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, δηλαδή στα επίπεδα 3 και 4 του δείκτη Ap. Μάλιστα στο επίπεδο 4 σημειώνονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες μέσες τιμές του καρδιακού ρυθμού για κάθε παράμετρο, εκτός του HRFDL ο οποίος παρουσιάζει μέγιστο στο επίπεδο 3. Για το συγκεκριμένο

επίπεδο, οι τιμές των HRR, HRFDL, HRSDL και HRMAX αυξάνονται από την ημέρα -1 ως την ημέρα +1 οπότε και εμφανίζουν μέγιστο. Την ημέρα -1 εμφανίζεται και το ελάχιστο για όλες τις παραμέτρους εκτός του HRR, για τον οποίο εμφανίζεται ελάχιστο τρεις ημέρες πριν το γεγονός (-3).

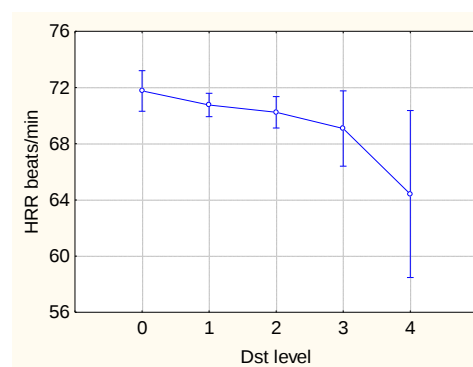
Για το επίπεδο 4 του δείκτη Ap, τη μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζει ο HRSDL (12.052 beats/min), ακολουθεί ο HRFDL (8.9167 beats/min), ο HRMAX (7.0417 beats/min), και τέλος ο HRR (5.4583 beats/min).

Συνεπώς, τα μεγαλύτερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας (βάσει των τιμών του δείκτη Ap) δείχνουν να σχετίζονται με μεγαλύτερες μεταβολές στις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού. Η ελάχιστη εμφανίζεται μια ημέρα πριν το γεγονός (-1) και η μέγιστη τιμή τους εμφανίζεται μια ημέρα μετά το γεγονός (+1), για τις περισσότερες περιπτώσεις. Μεγαλύτερη μεταβολή εμφανίζει ο HRSDL, ενώ τη μικρότερη ο HRMAX.

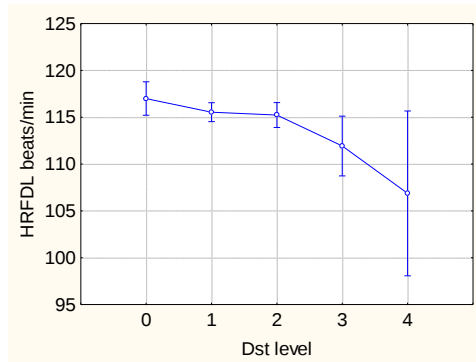
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τη σχέση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας - σύμφωνα με τις τιμές του Dst - και του καρδιακού ρυθμού για όλες τις παραμέτρους είναι παρόμοια για τις ημέρες 0, -1, -3, +1, +2 (Σχήματα 4.32 έως 4.36).



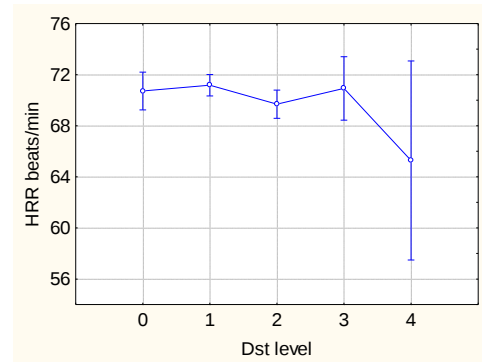
Σχήμα 4.32 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRMAX, (Day 0)



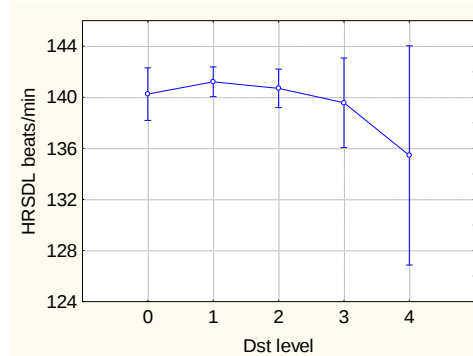
Σχήμα 4.33 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRR, (Day -1)



Σχήμα 4.34 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRFDL, (Day -3)



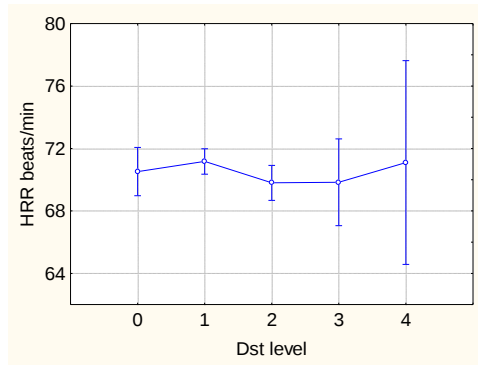
Σχήμα 4.35 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRR, (Day +1)



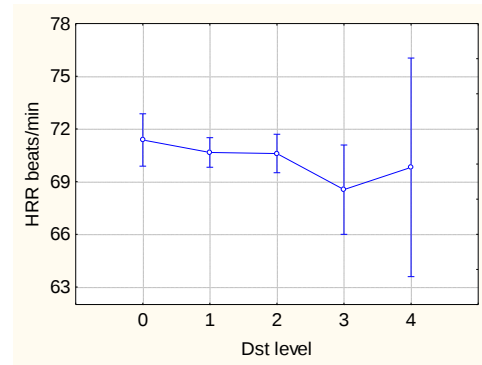
Σχήμα 4.36 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRSDL, (Day +2)

Από τα παραπάνω σχήματα, παρατηρείται τάση για μείωση των μέσων τιμών των παραμέτρων αυτών για τα μεγαλύτερα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (από επίπεδο 3 σε επίπεδο 4). Η ελάχιστη τιμή του καρδιακού ρυθμού εμφανίζεται στο επίπεδο 4 του δείκτη Dst.

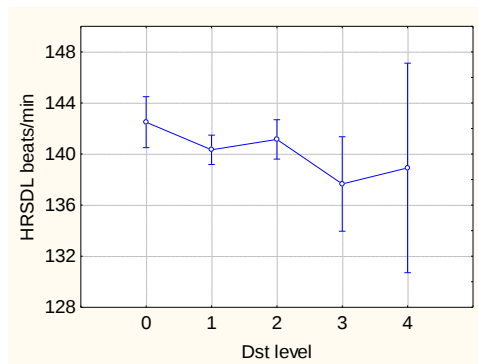
Εξαιρέσεις αποτελούν ο HRR την ημέρα 0 που παραμένει σχεδόν σταθερός, στα πλαίσια των σφαλμάτων (Σχήμα 4.37) και την ημέρα +2 που παρουσιάζει ελάχιστο στο επίπεδο 3 (Σχήμα 4.38), και ο HRSDL την ημέρα -1 ο οποίος εμφανίζει ελάχιστο στο επίπεδο 3 (Σχήμα 4.39), και την ημέρα +1 κατά την οποία παρουσιάζει αύξηση στα επίπεδα που αντιστοιχούν σε μεγάλη γεωμαγνητική δραστηριότητα (Σχήμα 4.40).



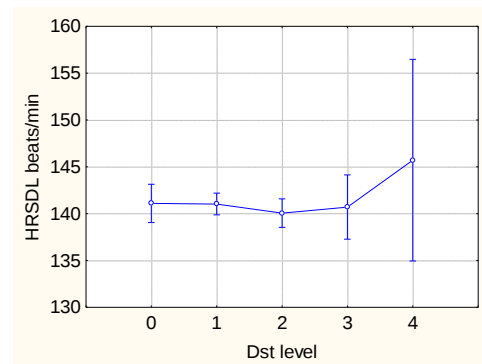
Σχήμα 4.37 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRR, (Day 0)



Σχήμα 4.38 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRR, (Day+2)

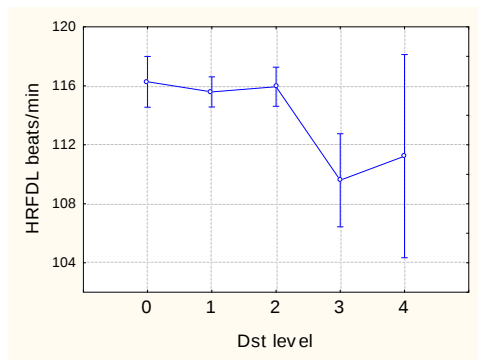


Σχήμα 4.39 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRSDL, (Day -1)

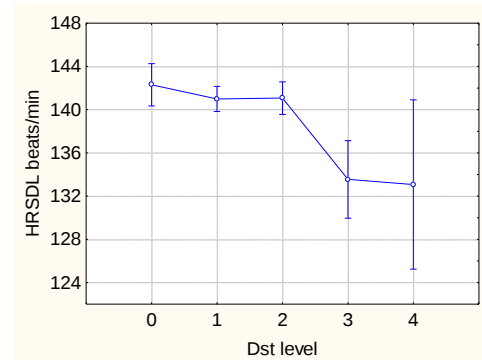


Σχήμα 4.40 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRSDL, (Day +1)

Την ημέρα -2 η μείωση στις τιμές των HRR, HRFDL (Σχήμα 4.41), HRSDL (Σχήμα 4.42), και HRMAX σημειώνεται από το επίπεδο 2 στο επίπεδο 3 ενώ οι ελάχιστες τιμές τους παρατηρούνται στα υψηλότερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας (επίπεδο 3, επίπεδο 4).

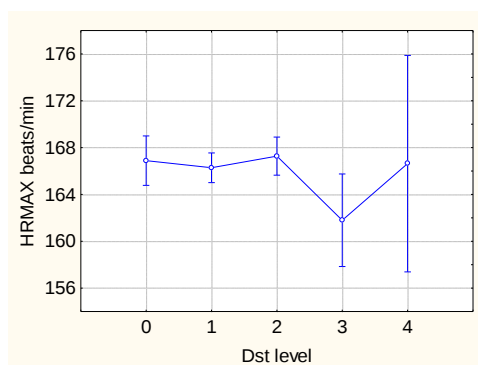


Σχήμα 4.41 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRFDL, (Day -2)

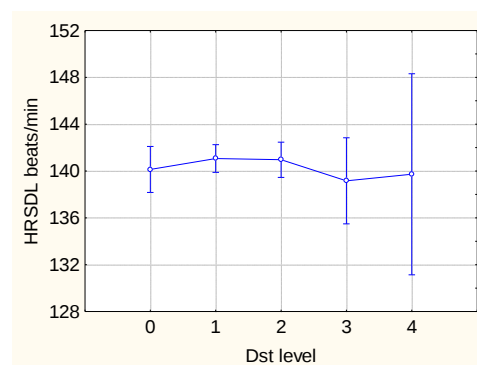


Σχήμα 4.42 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRSDL, (Day -2)

Παρόμοια μεταβάλλεται και ο HRMAX την ημέρα +3 (Σχήμα 4.43), ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι για την ίδια ημέρα δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.44.



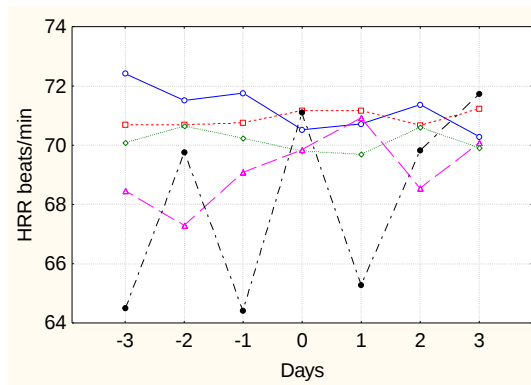
Σχήμα 4.43 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRMAX, (Day +3)



Σχήμα 4.44 Επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τον δείκτη Dst στον HRSDL, (Day +3)

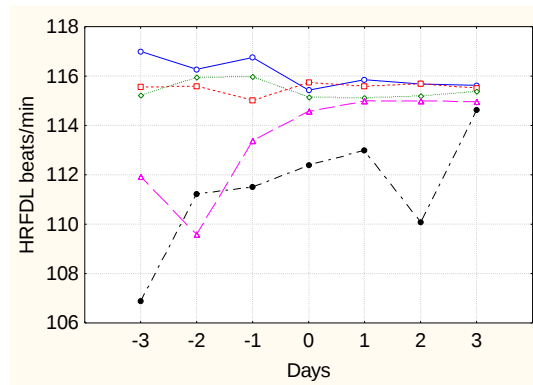
Συνολικά, φαίνεται πως τις περισσότερες ημέρες οι παράμετροι του καρδιακού ρυθμού τείνουν να μειώνονται, για αυξημένα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, όπως αυτή εκφράζεται μέσω των τιμών του δείκτη Dst. Υπάρχουν, ωστόσο και εξαιρέσεις.

Στα Σχήματα 4.45 έως 4.48, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του καρδιακού ρυθμού (HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX) για όλα τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του δείκτη Dst) τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0. Τα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας παριστάνονται με διαφορετικό χρώμα σύμφωνα με την κωδικοποίηση που ακολουθεί το κάθε γράφημα.



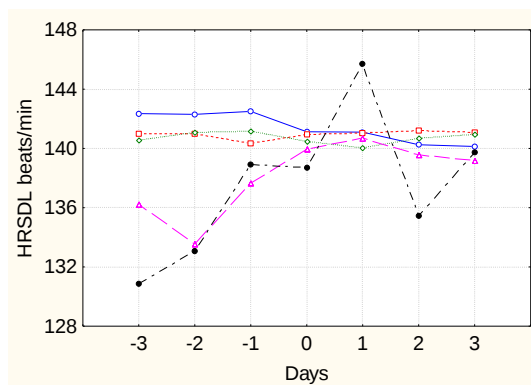
—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.45 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στον HRR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές



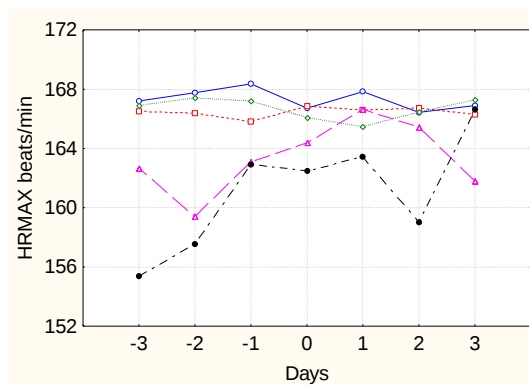
—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.46 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στον HRFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές



—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.47 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στον HRSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές



—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.48 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στον HRMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές.

Οι μεγαλύτερες μεταβολές παρουσιάζονται για τα επίπεδα αυξημένης γεωμαγνητικής δραστηριότητας, επίπεδα 3 και 4, όπως καθορίζονται από τις τιμές του δείκτη Dst.

Στην περίπτωση αυτή (θεωρώντας τα επίπεδα του Dst ως ενδεικτικά τις γεωμαγνητικής δραστηριότητας), οι μέγιστες τιμές των HRR, HRFDL και HRMAX λαμβάνονται στο επίπεδο 0. Ωστόσο, η μέγιστη τιμή του HRSDL (Σχήμα 4.47), παρατηρείται στο επίπεδο 4 του δείκτη Dst. Οι ελάχιστες τιμές, εμφανίζονται στο

επίπεδο 4 για όλες τις παραμέτρους και μάλιστα την ίδια ημέρα, την ημέρα -3.

Οι τιμές του HRR, HRFDL, HRSDL και HRMAX μεταβάλλονται με παρόμοιο τρόπο για το επίπεδο 3 του δείκτη Dst. Από την ημέρα -3 έως την ημέρα -2 παρατηρείται μια τάση για μείωση των μέσων τιμών του καρδιακού ρυθμού, με την ελάχιστη τιμή να σημειώνεται την ημέρα -2, ενώ ύστερα τείνει να αυξηθεί και να σταθεροποιηθεί.

Για τις διαφορετικές παραμέτρους, στο επίπεδο 4 η κοινή τάση είναι αύξηση από την ημέρα -3 έως την ημέρα -1. Εξαιρέση αποτελεί ο HRR για τον οποίο δεν είναι ευδιάκριτη κάποια τάση.

Η μεγαλύτερη μεταβολή καταγράφεται για την παράμετρο HRSDL και αντιστοιχεί σε 14.8393 beats/min. Ακολουθεί ο HRMAX με 11.2614 beats/min. Αμέσως μικρότερη μεταβολή εμφανίζει ο HRFDL, με τιμή 7.6614 beats/min και τη μικρότερη όλων ο HRR ίση με 7.3106 beats/min.

Συμπερασματικά, ο καρδιακός ρυθμός για κάθε παράμετρο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μεταβολές του όταν υπάρχει έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα (μεγάλες μειώσεις του δείκτη Dst). Μάλιστα τότε σημειώνονται και οι ελάχιστες τιμές του, ενώ οι μέγιστες παρατηρούνται όταν η γεωμαγνητική δραστηριότητα δεν είναι αξιόλογη (επίπεδο 0).

4.3 Ανάλυση δεδομένων συστολικής πίεσης

Όπως ο καρδιακός ρυθμός, έτσι και η συστολική πίεση μελετήθηκε σε σχέση με την ηλιακή και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα κόπωσης: SPR, SPFDL, SPSDL και SPMAX.

Τα διαγράμματα των παραμέτρων της συστολικής πίεσης σε σχέση με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας, καθώς και οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p-values, για τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη μέτρηση (Πίνακας 4.4) προέκυψαν με τη βοήθεια της μεθόδου ανάλυσης ANOVA.

Πίνακας 4.4 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της κοσμικής ακτινοβολίας στη συστολική πίεση

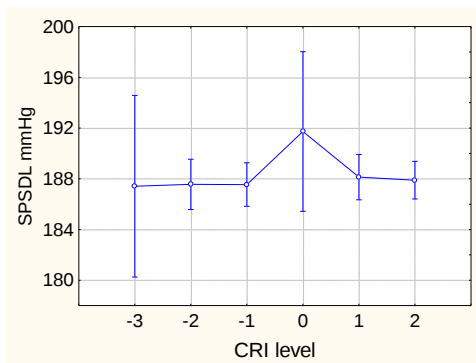
ΗΜΕΡΑ	p – values (CRI)			
	SPR	SPMAX	SPFDL	SPSDL
-3	0.61713	0.31625	0.00916*	0.59874
-2	0.35868	0.12607	0.00859*	0.25478
-1	0.35517	0.06017	0.00271*	0.87879
0	0.35059	0.00511*	0.00902*	0.35786
+1	0.30929	0.05774	0.01872*	0.57539
+2	0.61504	0.23903	0.00245*	0.46310
+3	0.55876	0.22202	0.02505*	0.99977

Η SPMAX δείχνει να παρουσιάζει σημαντική συσχέτιση με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας μόνο την ημέρα 0, ενώ η SPFDL με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας για όλες τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη μέτρηση, ακόμη και την ημέρα +3. Τα υπόλοιπα επίπεδα κόπωσης (SPR,SPSDL) δε φαίνεται να συσχετίζονται σημαντικά.

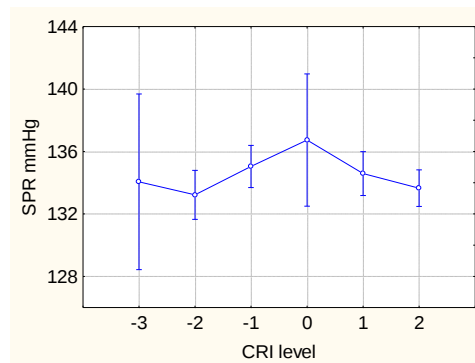
Ακολουθούν τα διαγράμματα της ανάλυσης ANOVA (Σχήματα 4.49 έως 4.64) που δείχνουν τις μεταβολές των παραμέτρων της συστολικής πίεσης με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας.

Από τα διαγράμματα αυτά, προκύπτει πως η συστολική πίεση δεν εμφανίζει αξιόλογες μεταβολές με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας, παρά μόνο για το επίπεδο 0 και για το επίπεδο -3 (Σχήματα 4.49 – 4.64). Οι μέσες τιμές όλων των παραμέτρων της συστολικής πίεσης δεν μεταβάλλονται – μέσα στα όρια των σφαλμάτων – για τα επίπεδα 2 και 1. Από το επίπεδο 1 στο επίπεδο 0 παρατηρείται μεταβολή η οποία συνήθως πρόκειται για αύξηση, ενώ ακολουθεί μείωση στο επίπεδο -1, με αποτέλεσμα στο επίπεδο 0 να εμφανίζεται μέγιστο, στις περισσότερες περιπτώσεις. Στη συνέχεια οι τιμές αυτές δείχνουν να σταθεροποιούνται μέχρι το επίπεδο -2, και στη συνέχεια πάλι παρουσιάζουν μεταβολή. Η μεταβολή αυτή άλλοτε είναι μείωση και άλλοτε είναι αύξηση.

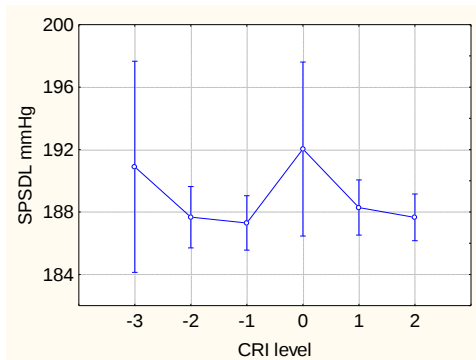
Μέγιστο ή τοπικό μέγιστο στο επίπεδο 0 παρουσιάζουν οι παράμετροι της συστολικής πίεσης για τις ημέρες -1,-2,-3 (Σχήματα 4.49, 4.51). Εξαίρεση αποτελεί η SPMAX για την ημέρα -3, η οποία διατηρείται σχεδόν σταθερή μέσα στα όρια των σφαλμάτων (Σχήμα 4.52).



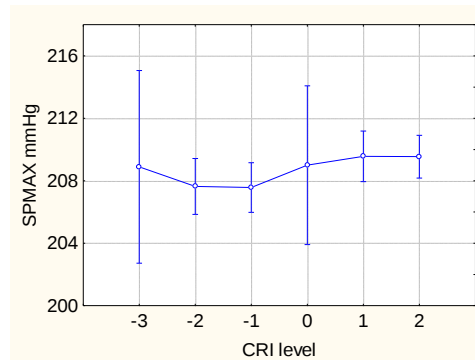
Σχήμα 4.49 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPSDL, (Day -1)



Σχήμα 4.50 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPR, (Day -2)

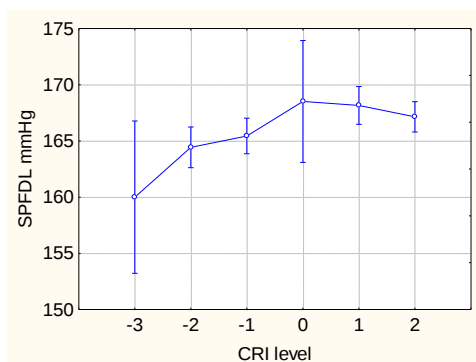


Σχήμα 4.51 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPSDL, (Day -3)

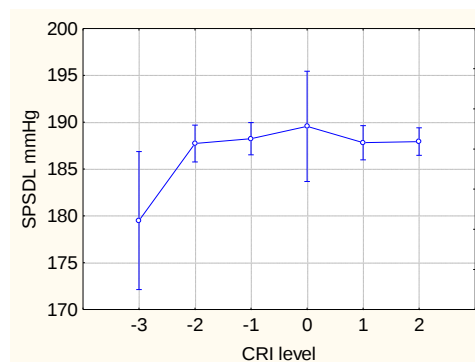


Σχήμα 4.52 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPMAX, (Day -3)

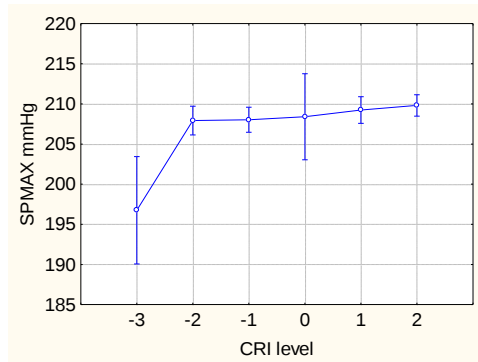
Την ημέρα 0 σχεδόν όλες οι μεταβολές είναι μικρές (Σχήματα 4.53 έως 4.55). Η SPR εμφανίζει τοπικό ελάχιστο στο επίπεδο 0 (Σχήμα 4.56).



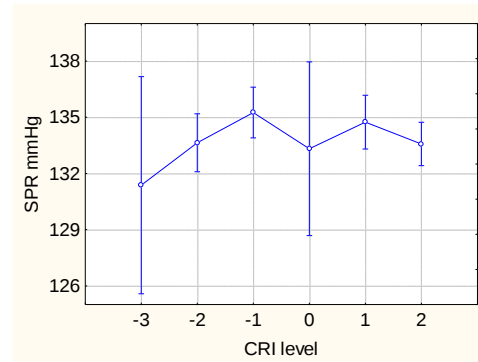
Σχήμα 4.53 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPFDL, (Day 0)



Σχήμα 4.54 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPSDL, (Day 0)



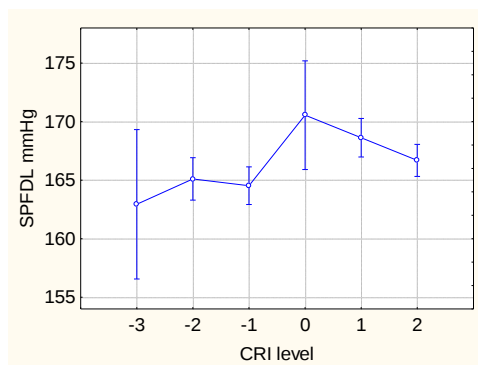
Σχήμα 4.55 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPMAX, (Day 0)



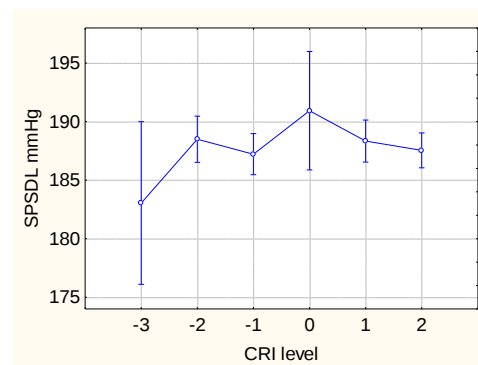
Σχήμα 4.56 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPR, (Day 0)

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω σχήματα, από το επίπεδο -2 στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή για αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα, η συστολική πίεση παρουσιάζει μείωση.

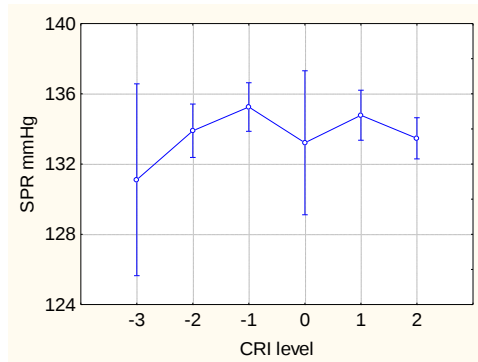
Τις ημέρες +1, +2 +3, μέγιστο στο επίπεδο 0 της κοσμικής ακτινοβολίας παρουσιάζουν μόνο οι SPFDL και SPSDL την ημέρα +2 (Σχήμα 4.57, Σχήμα 4.58). Η SPR παρουσιάζει τοπικό ελάχιστο στο 0 για τις ημέρες +1 και +3 (Σχήματα 4.59 και 4.60), όπως και την ημέρα 0. Οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές.



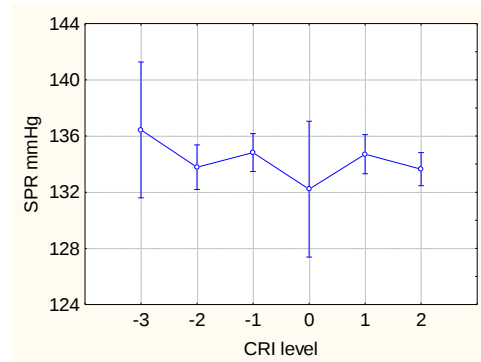
Σχήμα 4.57 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPFDL, (Day +2)



Σχήμα 4.58 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPSDL, (Day +2)

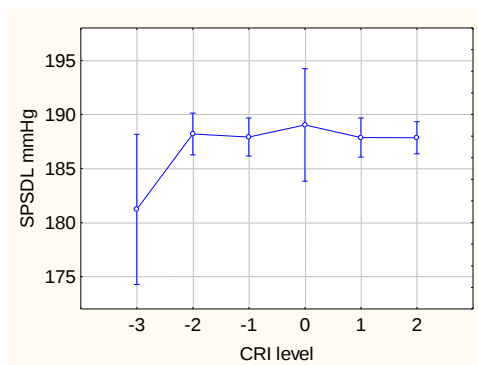


Σχήμα 4.59 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPR, (Day +1)

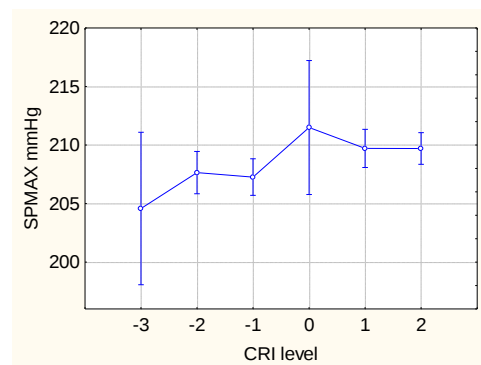


Σχήμα 4.60 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPR, (Day +3)

Όπως προκύπτει από όλα τα παραπάνω σχήματα, από το επίπεδο -2 στο επίπεδο -3 άλλοτε σημειώνεται αύξηση και άλλοτε μείωση της συστολικής πίεσης. Από τα σχήματα 4.53 έως 4.56 διαπιστώνεται πως την ημέρα 0, κάθε επίπεδο κόπωσης εμφανίζει ελάχιστο στο επίπεδο -3, όπως συμβαίνει και την ημέρα +1 (Σχήματα 4.59 και 4.61). Τις υπόλοιπες ημέρες, ελάχιστο στο -3 εμφανίζουν οι SPSDL, SPMAX την ημέρα -1 (Σχήμα 4.62), και οι SPFDL, SPSDL την ημέρα +2 (Σχήματα 4.57 και 4.58).



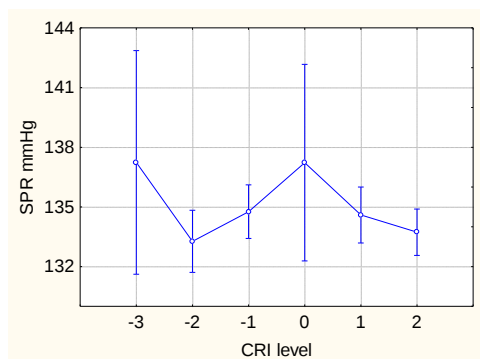
Σχήμα 4.61 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPSDL, (Day +1)



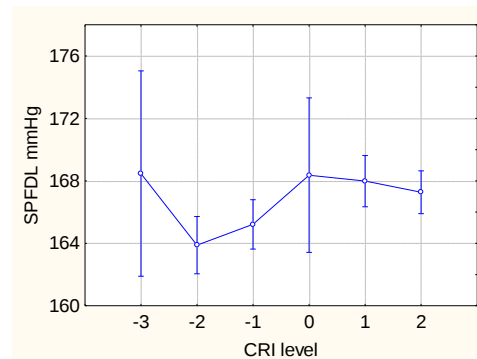
Σχήμα 4.62 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPMAX, (Day -1)

Υπάρχουν και περιπτώσεις που στο επίπεδο -3 εμφανίζεται μέγιστο ή δεύτερο μέγιστο στη μέση τιμή των παραμέτρων της συστολικής πίεσης. Τέτοιες είναι η SPR την ημέρα -1 (Σχήμα 4.63), η SPFDL τις ημέρες -1, -2, -3 και την ημέρα +3 (Σχήμα 4.64), η SPSDL την ημέρα -3 (Σχήμα 4.51) και η SPR την ημέρα +3 (Σχήμα 4.60).

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις παραμένει σχεδόν σταθερή για το επίπεδο -3 (Σχήμα 4.52).



Σχήμα 4.63 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPR, (Day -1)

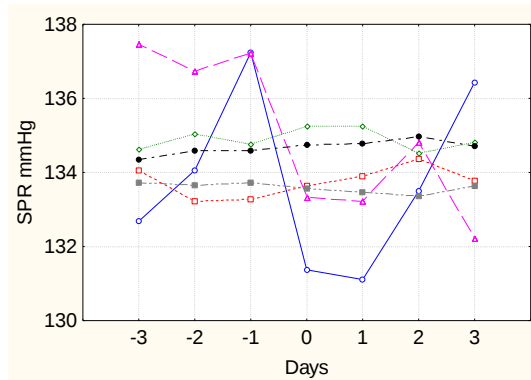


Σχήμα 4.64 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPFDL, (Day -2)

Συνοψίζοντας, τις περισσότερες ημέρες, οι παράμετροι της συστολικής πίεσης δείχνουν να παρουσιάζουν μείωση στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας καταγράφοντας εκεί τις ελάχιστες μέσες τιμές τους.

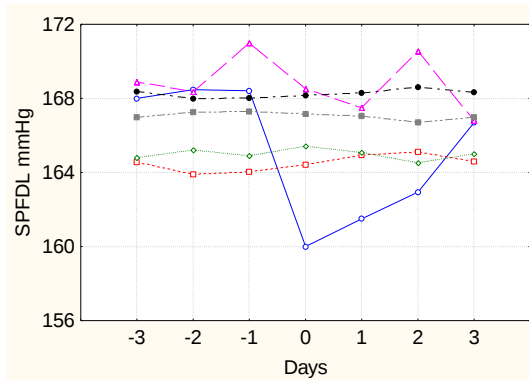
Στα Σχήματα 4.45 έως 4.48, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του καρδιακού ρυθμού (HRR, HRFDL, HRSDL, HRMAX) για όλα τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του δείκτη Dst) τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0. Τα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας παριστάνονται με διαφορετικό χρώμα σύμφωνα με την κωδικοποίηση που ακολουθεί το κάθε γράφημα.

Οι μέσες τιμές των SPR, SPFDL, SPSDL, SPMAX για όλα τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0, παρουσιάζονται στα σχήματα 4.65 έως 4.68. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων υποδηλώνουν διαφορετικά επίπεδα της μεταβολής της κοσμικής ακτινοβολίας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου ακολουθεί το κάθε γράφημα.



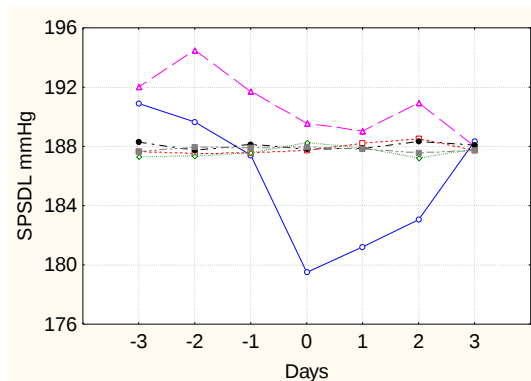
—●— -3 —■— -2 —▲— -1 —◆— 0 —●— 1 —■— 2

Σχήμα 4.65 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



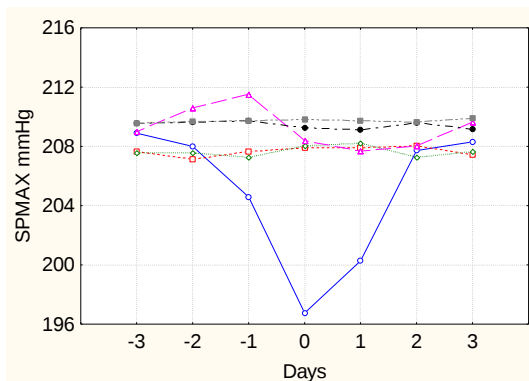
—●— -3 —■— -2 —▲— -1 —◆— 0 —●— 1 —■— 2

Σχήμα 4.66 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—●— -3 —■— -2 —▲— -1 —◆— 0 —●— 1 —■— 2

Σχήμα 4.67 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—●— -3 —■— -2 —▲— -1 —◆— 0 —●— 1 —■— 2

Σχήμα 4.68 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην SPMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες μεταβολές στις παραμέτρους της συστολικής πίεσης καταγράφονται για τα επίπεδα -3 και 0 των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει και με τον καρδιακό ρυθμό. Το ελάχιστο εμφανίζεται στο επίπεδο -3 την ημέρα 0 για κάθε παράμετρο εκτός της SPR, για την οποία εμφανίζεται την ημέρα +1, με μικρή διαφορά από την ημέρα 0 (SPR = 131.1111 mmHg την ημέρα +1, SPR = 131.3750 mmHg την ημέρα 0). Οι μέσες τιμές της συστολικής πίεσης είναι διαρκώς μικρότερες στο επίπεδο -3 απ' ό τι στο επίπεδο 0, με εξαίρεση την SPR. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται στο επίπεδο 0 την ημέρα -1 και την ημέρα -2 (δεύτερο μέγιστο). Εξαίρεση αποτελεί η SPSDL για την οποία η μέγιστη μέση τιμή σημειώνεται την ημέρα -2 και το δεύτερο μέγιστο την ημέρα -3.

Για το επίπεδο -3, παρατηρείται μείωση των μέσων τιμών της συστολικής πίεσης για κάθε επίπεδο κόπωσης, την ημέρα 0 συγκριτικά με τις τιμές την ημέρα -1 και στη συνέχεια αύξηση από την ημέρα 0 ως την ημέρα +3. Η SPR διαφοροποιείται στο ότι παρουσιάζει αύξηση από την ημέρα +1 έως την ημέρα +3.

Η παράμετρος που φαίνεται να μεταβάλλεται περισσότερο είναι η SPMAX με μεταβολή 12.1447 mmHg, ακολουθεί η SPSDL με 11.3947 mmHg, η SPFDL με 8.4706 mmHg και τέλος η SPR με 6.1243 mmHg.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η SPSDL, και σε μικρότερο βαθμό η SPMAX γιατί εμφανίζει για όλα τα υπόλοιπα επίπεδα πλην των επιπέδων 0 και -3 περίπου σταθερές μέσες τιμές για όλες τις ημέρες αλλά και για κάθε επίπεδο.

Συνοπτικά, οι μεγαλύτερες μεταβολές των παραμέτρων της συστολικής πίεσης καταγράφονται για τις μεγαλύτερες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή για αυξημένη ηλιακή δραστηριότητας. Μάλιστα η παράμετρος που φαίνεται να μεταβάλλεται περισσότερο είναι η SPMAX ενώ η SPR δείχνει να σημειώνει τη μικρότερη μεταβολή. Όμως, μεγάλες μεταβολές παρατηρούνται και όταν η κοσμική ακτινοβολία δεν παρουσιάζει αυξομειώσεις (επίπεδο 0). Μάλιστα για τις περισσότερες παραμέτρους η μέγιστη μέση τιμή εμφανίζεται όταν δεν υπάρχουν μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας ενώ η ελάχιστη όταν οι μειώσεις είναι μεγαλύτερες. Όπως προαναφέρθηκε, παρόμοιες διαπιστώσεις έχουν γίνει και στο παρελθόν. Οι μελέτες αυτές παρουσιάζονται αναλυτικότερα στην παράγραφο 4.5 Συμπεράσματα - Σύγκριση αποτελεσμάτων του κεφαλαίου αυτού.

Για τη μελέτη της σχέσης της συστολικής πίεσης με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες A_p και Dst . Οι πίνακες από την ανάλυση ANOVA, στους οποίους περιέχονται οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p -values, για την επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη μέτρηση στις παραμέτρους της συστολικής πίεσης, παρατίθενται παρακάτω. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα p -values του δείκτη A_p .

Πίνακας 4.5 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του Ap) στη συστολική πίεση

HMEPA	p – values (Ap)			
	SPR	SPMAX	SPFDL	SPSDL
-3	0.67109	0.64820	0.80500	0.55299
-2	0.81116	0.46656	0.94981	0.36689
-1	0.06488	0.64550	0.19233	0.49635
0	0.52841	0.00766*	0.31136	0.16105
+1	0.64478	0.07305	0.62487	0.74083
+2	0.59216	0.93458	0.36963	0.43166
+3	0.07473	0.70711	0.57595	0,89118

Παρατηρείται πως μόνο την ημέρα 0 και μόνο για την παράμετρο SPMAX ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, δηλαδή οι μεταβολές στον παράγοντα Ap level την ημέρα 0 έχουν επίδραση στην SPMAX.

Αντίστοιχα, οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p-values, για την επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τα επίπεδα του δείκτη Dst στις παραμέτρους της συστολικής πίεσης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του Dst) στη συστολική πίεση

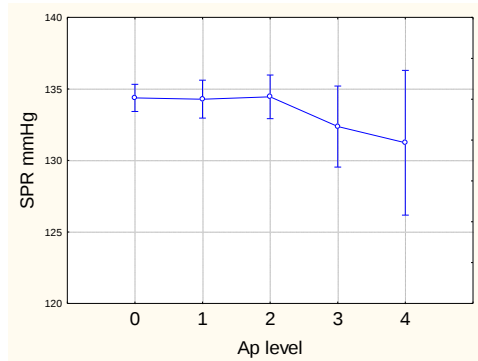
HMEPA	p – values (Dst)			
	SPR	SPMAX	SPFDL	SPSDL
-3	0.20275	0.58278	0.27669	0.40442
-2	0.28708	0.07081	0.17917	0.05782
-1	0.21054	0.61932	0.69296	0.72207
0	0.41096	0.07914	0.17143	0.36426
+1	0.18989	0.51311	0.40943	0.57726
+2	0.44789	0.16196	0.54977	0.47941
+3	0.00687*	0.00012*	0.00091*	0.00008*

Από τον παραπάνω πίνακα, διαπιστώνεται πως το επίπεδο του Dst την ημέρα +3 μόνο, επηρεάζουν τη συστολική πίεση σε όλα τα επίπεδα κόπωσης.

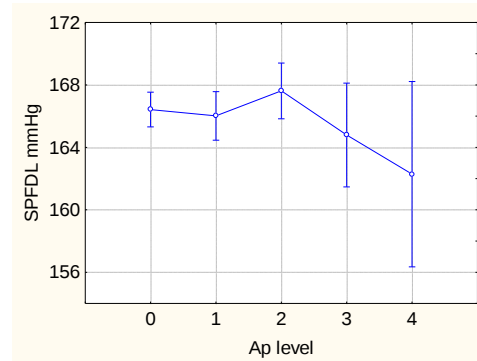
Ακολουθούν τα διαγράμματα της ανάλυσης ANOVA στα οποία παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης τιμής για όλες τις παραμέτρους της συστολικής πίεσης συναρτήσει των μεταβολών στο επίπεδο του δείκτη Ap.

Στα σχήματα 4.69 έως 4.74 παρουσιάζονται οι μεταβολές αυτές για τις ημέρες 0 (Σχήματα 4.69 έως 4.72) , -1 (Σχήμα 4.73) και +1 (Σχήμα 4.74). Όπως φαίνεται, οι μέσες τιμές των παραμέτρων της συστολικής πίεσης διατηρούνται σχεδόν σταθερές

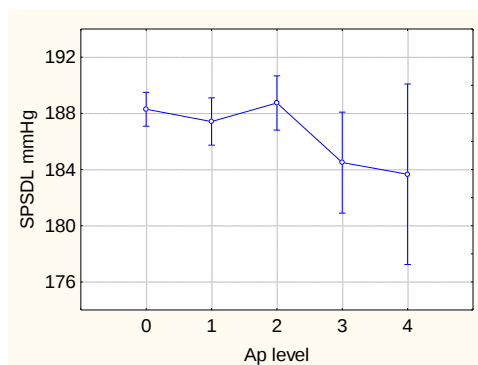
στα χαμηλά επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, μέχρι το επίπεδο 2 για την ημέρα 0 (Σχήμα 4.69) και μέχρι το επίπεδο 3 για τις υπόλοιπες (Σχήματα 4.70 έως 4.72), ενώ στα ανώτερα επίπεδα, παρουσιάζουν μείωση.



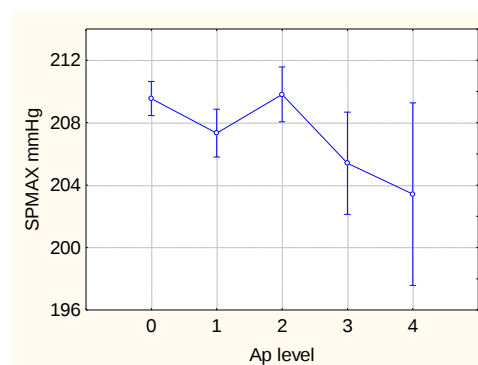
Σχήμα 4.69 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPR, (Day 0)



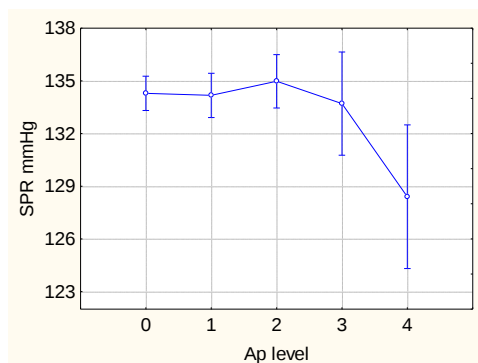
Σχήμα 4.70 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPFDL, (Day 0)



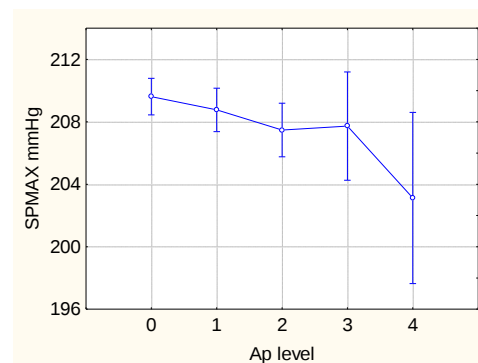
Σχήμα 4.71 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPSDL, (Day 0)



Σχήμα 4.72 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPMAX, (Day 0)

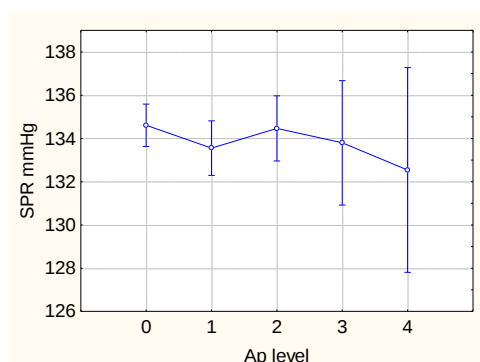


Σχήμα 4.73 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPR, (Day -1)

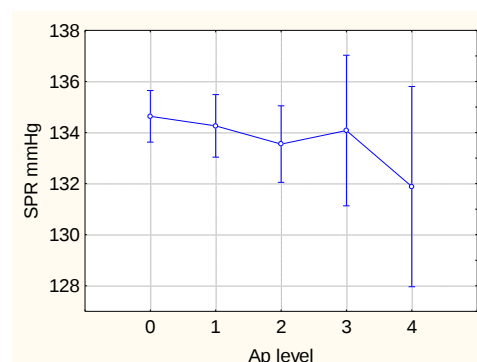


Σχήμα 4.74 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPMAX, (Day +1)

Η SPR εξακολουθεί να δείχνει τάση για μείωση και τις υπόλοιπες ημέρες (-2, -3, +2, +3), όπως φαίνεται στα σχήματα 4.75 (ημέρα -3) και 4.76 (ημέρα +2).



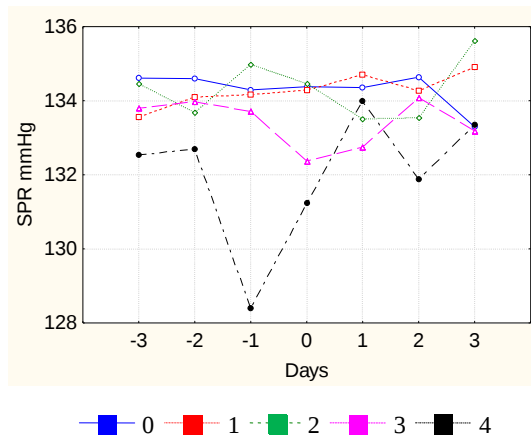
Σχήμα 4.75 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPR, (Day -3)



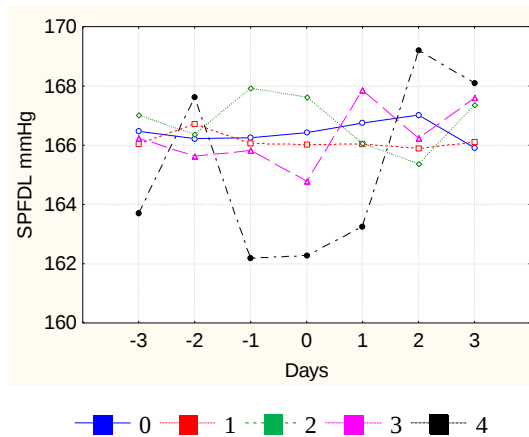
Σχήμα 4.76 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην SPR, (Day +2)

Συμπερασματικά, την ημέρα της μέτρησης (0), αλλά και τις ημέρες κοντά στην ημέρα αυτή (-1, +1), παρατηρείται μείωση των μέσων τιμών όλων των παραμέτρων της συστολικής πίεσης για τα μεγάλα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, σύμφωνα με τα επίπεδα του Ap. Τη συμπεριφορά αυτή φαίνεται να διατηρεί μόνο η παράμετρος SPR και για τις υπόλοιπες ημέρες.

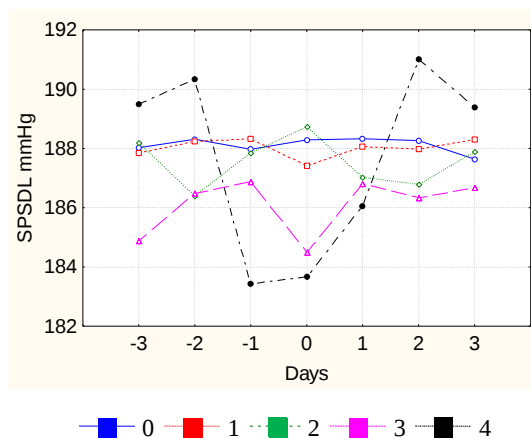
Οι μέσες τιμές των παραμέτρων SPR, SPFDL, SPSDL, SPMAX για όλα τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (βάσει των τιμών του δείκτη Ap), τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0, παρουσιάζονται στα σχήματα 4.77 έως 4.80. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων αντιστοιχούν στα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου Ap, ακολουθεί το κάθε γράφημα.



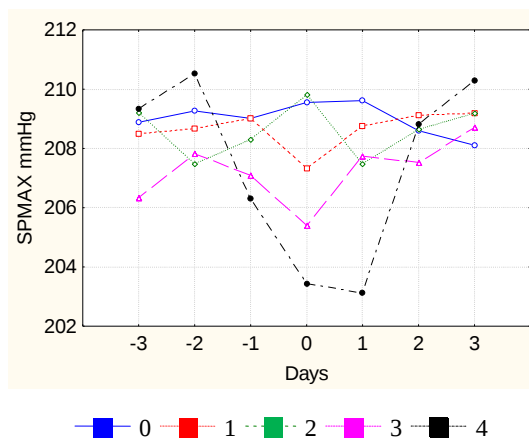
Σχήμα 4.77 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην SPR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.78 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην SPFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.79 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην SPSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.80 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην SPMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται πως οι μεγαλύτερες μεταβολές όλων των παραμέτρων της συστολικής πίεσης παρουσιάζονται για τα επίπεδα 3 και 4 του δείκτη Ap, δηλαδή για έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα. Η μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των παραμέτρων σημειώνονται στο επίπεδο 4 του δείκτη Ap, με εξαίρεση την SPR η οποία σημειώνει μέγιστο στο επίπεδο 2.

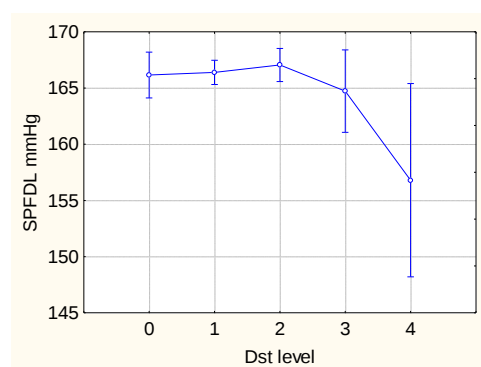
Η συστολική πίεση σε όλα τα επίπεδα κόπωσης παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά για το επίπεδο 4. Για όλες τις παραμέτρους οι τιμές της συστολικής πίεσης την ημέρα -2 είναι μεγαλύτερες από τις τιμές την ημέρα -1. Οι SPR, SPFDL, SPSDL, σημειώνουν ελάχιστο την ημέρα -1 και στη συνέχεια αύξηση από την ημέρα -1 έως την ημέρα +1, ενώ η SPMAX σημειώνει ελάχιστο την ημέρα +1.

Η μεγαλύτερη μεταβολή καταγράφεται για την SPSDL και είναι 7.5625 mmHg, ακολουθεί η SPMAX η οποία σημειώνει μεταβολή 7.405 mmHg, στη συνέχεια η SPFDL με 7.02 mmHg και τέλος η SPR η οποία σημειώνει τη μικρότερη μεταβολή, ίση με 5.5937 mmHg.

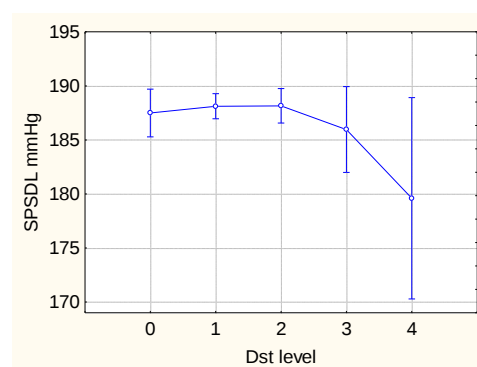
Συνοψίζοντας, στις περισσότερες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της καταιγίδας (το επίπεδο της οποίας καθορίζεται από τον δείκτη Ap) και μία ημέρα πριν (-1) ή μία ημέρα μετά (+1), σημειώνονται οι πιο χαμηλές τιμές των παραμέτρων της συστολικής πίεσης. Η SPSDL σημειώνει τη μεγαλύτερη μεταβολή, ενώ η SPR δείχνει να καταγράφει τη μικρότερη.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή της μέσης τιμής για όλες τις παραμέτρους της συστολικής πίεσης συναρτήσει των μεταβολών στο επίπεδο του δείκτη Dst.

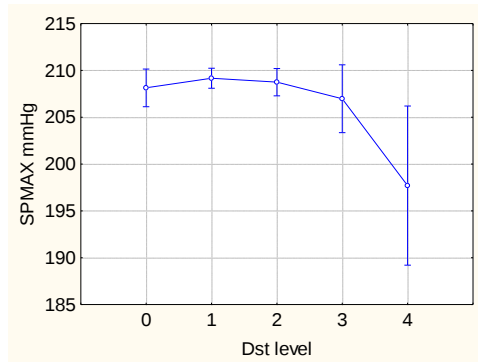
Την ημέρα 0 παρατηρείται μείωση της μέσης τιμής των παραμέτρων SPFDL (Σχήμα 4.81), SPSDL (Σχήμα 4.82), και SPMAX (Σχήμα 4.83), για τα μεγαλύτερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας όπως αυτά καθορίζονται από το επίπεδο του Dst. Εξαίρεση παρουσιάζει η SPR η οποία δείχνει μείωση από το επίπεδο 2 στο επίπεδο 3 του δείκτη Dst, αλλά στη συνέχεια παρουσιάζει αύξηση (Σχήμα 4.84)



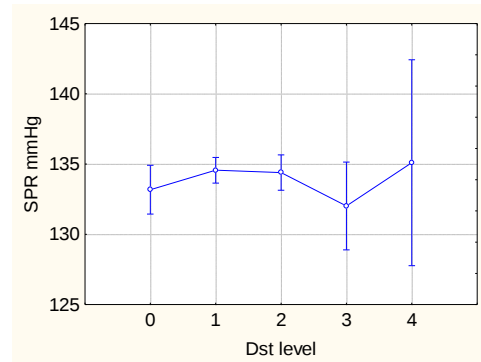
Σχήμα 4.81 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPFDL, (Day 0)



Σχήμα 4.82 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPSDL, (Day 0)

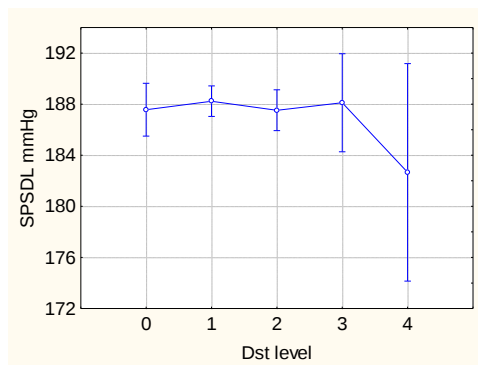


Σχήμα 4.83 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPMAX, (Day 0)

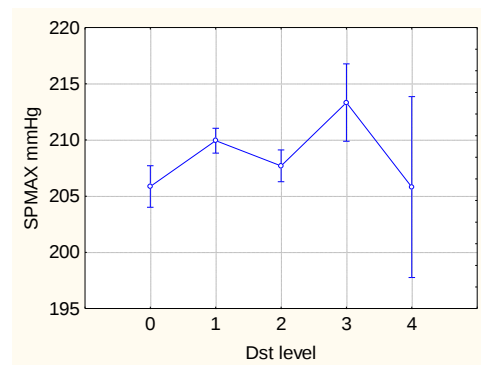


Σχήμα 4.84 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPR, (Day 0)

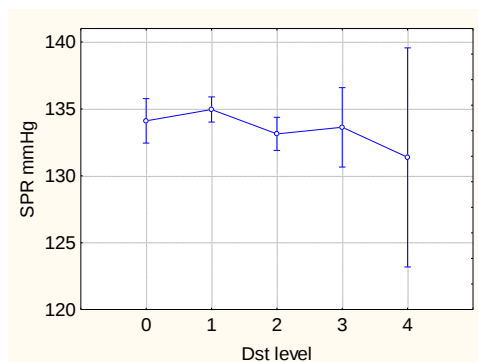
Η μείωση αυτή παρατηρείται και κατά τις ημέρες -1 (Σχήμα 4.85) και +3 (Σχήμα 4.86) για τη συστολική πίεση σε όλα τα επίπεδα κόπωσης, αλλά και για τις παραμέτρους SPR και SPFDL την ημέρα -3 (Σχήματα 4.87 και 4.88).



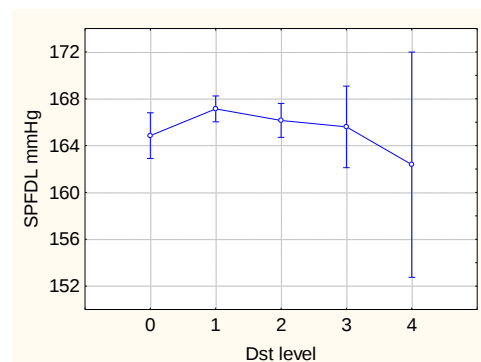
Σχήμα 4.85 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPSDL, (Day -1)



Σχήμα 4.86 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPMAX, (Day +3)

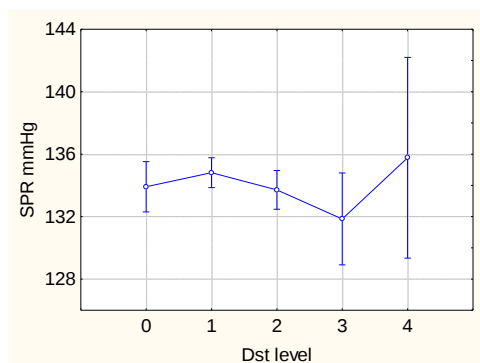


Σχήμα 4.87 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPR, (Day -3)

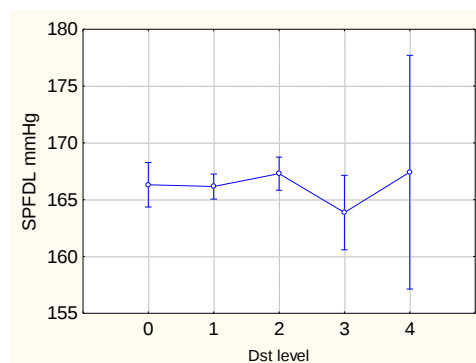


Σχήμα 4.88 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPFDL, (Day -3)

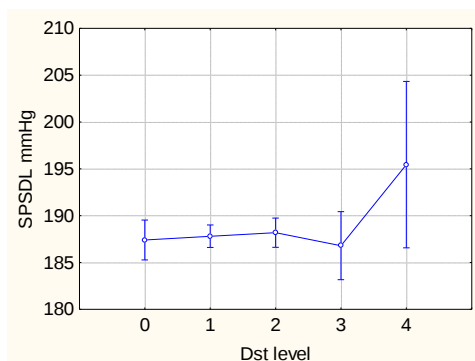
Τις υπόλοιπες ημέρες (-2, +1, +2) παρατηρείται αύξηση στις τιμές των περισσότερων παραμέτρων για το επίπεδο 4 του δείκτη Dst, δηλαδή για έντονη γεωμαγνητική δραστηριότητα. Στα σχήματα 4.89 έως 4.92 παρουσιάζονται οι μεταβολές των SPR, SPFDL, SPSDL με τα επίπεδα του Dst για τις ημέρες -2, +1, +2, αντίστοιχα. Στις περιπτώσεις αυτές παρατηρείται ελάχιστο στο επίπεδο 3. Από το επίπεδο αυτό μέχρι το επίπεδο 4 σημειώνεται αύξηση με μέγιστη τιμή στο επίπεδο 4.



Σχήμα 4.89 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPR, (Day -2)



Σχήμα 4.90 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPFDL, (Day +1)

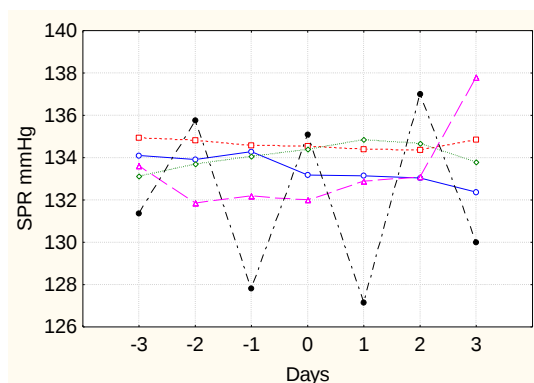


Σχήμα 4.91 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην SPSDL, (Day +2)

Συνολικά, οι περισσότερες παράμετροι εμφανίζουν μείωση των τιμών τους για μεταβολές επιπέδου 4 του Dst τις ημέρες πριν ή κατά τη διάρκεια των καταιγίδων. Αντιθέτως, στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζουν αύξηση τις ημέρες μετά τις καταιγίδες.

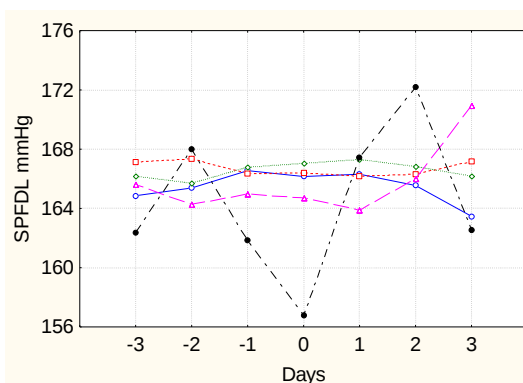
Οι μέσες τιμές των παραμέτρων SPR, SPFDL, SPSDL, SPMAX για όλα τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (βάσει των τιμών του δείκτη Dst), τις ημέρες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την ημέρα 0, παρουσιάζονται στα σχήματα

4.92 έως 4.95. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων αντιστοιχούν στα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου Ap, ακολουθεί το κάθε γράφημα.



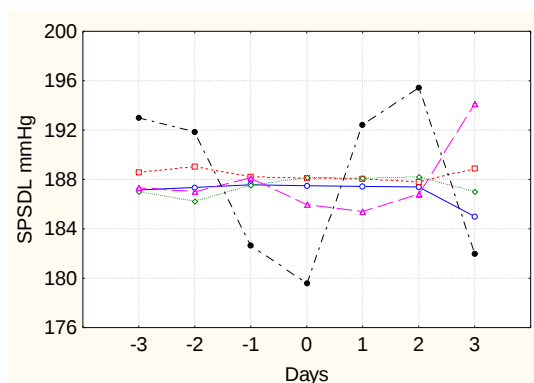
—■— 4
—■— 3
—■— 2
—■— 1
—■— 0

Σχήμα 4.92 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην SPR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



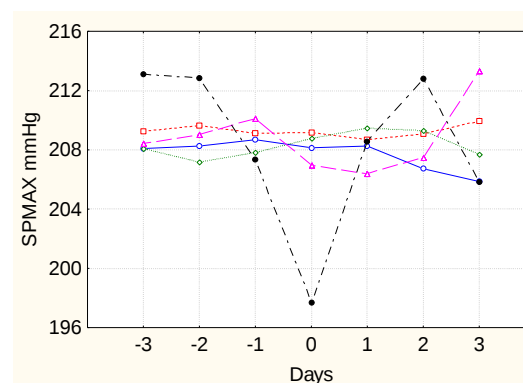
—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3

Σχήμα 4.93 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην SPFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.94 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην SPSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.95 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην SPMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις καταγράφονται στα επίπεδα 4 και 3 του δείκτη Dst, δηλαδή όταν η γεωμαγνητική δραστηριότητα είναι μεγαλύτερη.

Όλες οι παράμετροι σημειώνουν τις ελάχιστες τιμές τους στο επίπεδο 4 του Dst, και μάλιστα οι SPFDL, SPSDL και SPMAX την ημέρα της καταιγίδας (0). Το μέγιστο στο επίπεδο 4 εμφανίζεται την ημέρα +2 για όλες τις παραμέτρους πλην της SPMAX (Σχήμα 4.95), η οποία εμφανίζει μέγιστο την ημέρα -3 (213.25 mmHg), όμως εμφανίζει τοπικό μέγιστο την ημέρα -2 η τιμή του οποίου είναι πολύ κοντά στη μέγιστη (212.8182 mmHg).

Για όλες τις παραμέτρους πλην της SPR διακρίνεται η ίδια συμπεριφορά (Σχήματα 4.93 έως 4.95) για το επίπεδο 4 του Dst. Μείωση από την ημέρα -2 έως την ημέρα 0 και αύξηση από την ημέρα 0 έως την ημέρα +2. Η SPR διαφοροποιείται (Σχήμα 4.92) στο ότι εμφανίζεται τοπικό μέγιστο τη ημέρα 0.

Στο επίπεδο 3 οι μέσες τιμές των παραμέτρων σημειώνουν μέγιστο την ημέρα +3. Παρατηρείται αύξηση την ημέρα +3, ενώ τις υπόλοιπες μέρες παραμένουν σχεδόν σταθερές. Για τις SPR (Σχήμα 4.92) και SPMAX (Σχήμα 4.95) το μέγιστο στο επίπεδο +3 την ημέρα +3 αποτελεί και τη μεγαλύτερη τιμή που λαμβάνουν, συνολικότερα.

Για το επίπεδο 4 του Dst μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζει η SPSDL, ίση με 15.8545 mmHg, ακολουθεί η SPMAX με μεταβολή 15.425 mmHg, η SPFDL με μεταβολή 15.3818 mmHg και τέλος η SPR με 9.8571 mmHg.

Συνοψίζοντας, κατά τη διάρκεια της καταιγίδας επιπέδου 4, σημειώνεται η ελάχιστη τιμή των παραμέτρων της συστολικής πίεσης. Επίσης στο επίπεδο 3 του Dst οι SPR, SPFDL, SPSDL, και SPMAX σημειώνουν μέγιστο την ημέρα +3, και στη συνέχεια σταθεροποιούνται. Την μεγαλύτερη μεταβολή σημειώνει η SPSDL ενώ τη μικρότερη η SPR.

4.4 Ανάλυση δεδομένων διαστολικής πίεσης

Η διαστολική πίεση μελετήθηκε και αυτή σε σχέση με την ηλιακή και τη γεωμαγνητική δραστηριότητα σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα κόπωσης: DPR, DPFDL, DPSDL και DPMAX.

Τα διαγράμματα των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης σε σχέση με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας, καθώς και οι τιμές του επιπέδου στατιστικής

σημαντικότητας p-values, για τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη μέτρηση (Πίνακας 4.7) προέκυψαν με τη βοήθεια της μεθόδου ανάλυσης ANOVA.

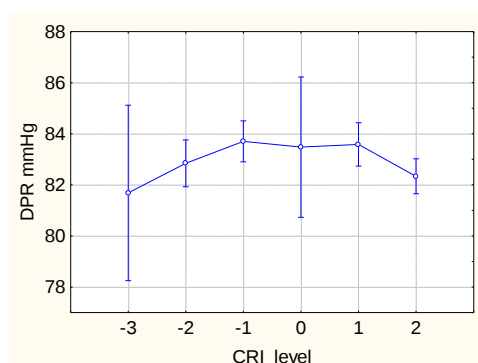
Πίνακας 4.7 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της κοσμικής ακτινοβολίας στη διαστολική πίεση

ΗΜΕΡΑ	p – values (CRI)			
	DPR	DPMAX	DPFDL	DPSDL
-3	0.17642	0.21618	0.88835	0.27999
-2	0.27199	0.21518	0.51830	0.17426
-1	0.03685*	0.05347	0.26747	0.09403
0	0.10376	0.05933	0.37924	0.10163
+1	0.23644	0.58449	0.99879	0.47903
+2	0.19164	0.43379	0.68140	0.47092
+3	0.07106	0.39337	0.60351	0.54420

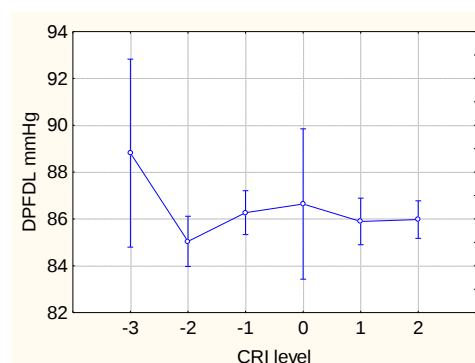
Από τον πίνακα 4.7, δεν φαίνεται ύπαρξη συσχέτισης των παραμέτρων της συστολικής πίεσης με την κοσμική ακτινοβολία, με εξαίρεση την DPR η οποία δείχνει να εξαρτάται από τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας την ημέρα -1.

Ακολουθούν τα διαγράμματα της ανάλυσης ANOVA (Σχήματα 4.96 έως 4.108) που δείχνουν τις μεταβολές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας.

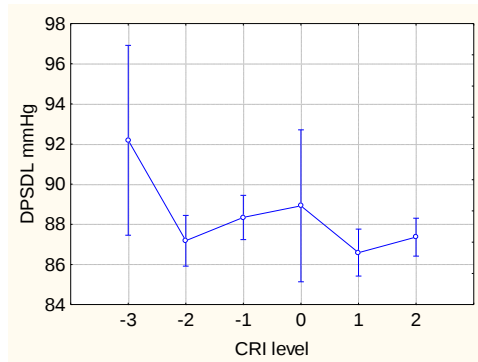
Στα σχήματα 4.96, 4.97, 4.98 και 4.99 παρουσιάζονται οι μεταβολές των DPR, DPFDL, DPSDL και DPMAX αντίστοιχα, συναρτήσει των επιπέδων της κοσμικής ακτινοβολίας την ημέρα 0.



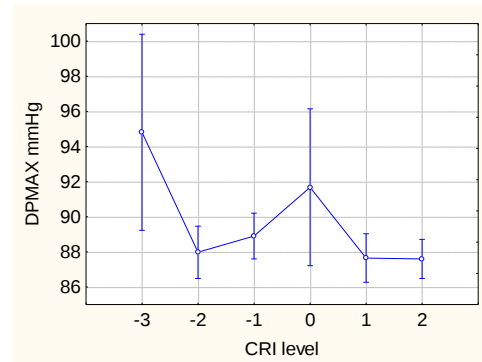
Σχήμα 4.96 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPR, (Day 0)



Σχήμα 4.97 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPFDL, (Day 0)



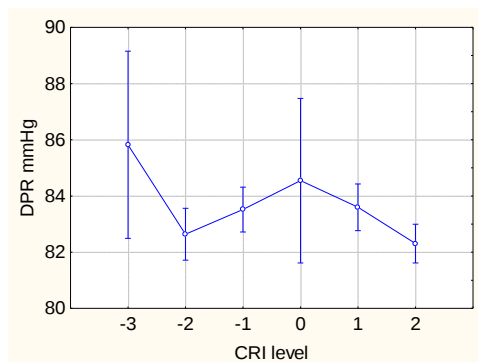
Σχήμα 4.98 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPDDL, (Day 0)



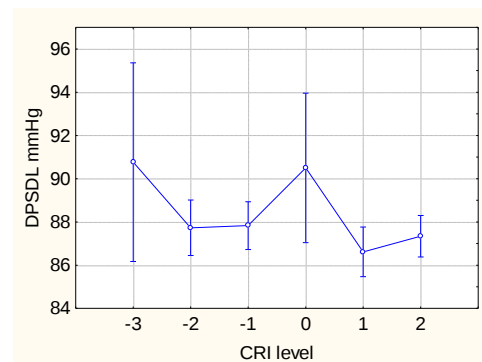
Σχήμα 4.99 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPMAX, (Day 0)

Από τα σχήματα αυτά, παρατηρείται πως όλες οι παράμετροι, πλην της DPR, εμφανίζουν μια τάση για αύξηση από το επίπεδο -2 στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα στο επίπεδο -3 να εμφανίζεται και η μέγιστη μέση τιμή τους. Η DPR, δείχνει να μειώνεται για τις μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας από το επίπεδο -2 στο -3. Στο επίπεδο 0, για τις DPDDL και DPMAX εμφανίζεται τοπικό μέγιστο το οποίο όμως δεν παρατηρείται για τις SPFDL και SPR.

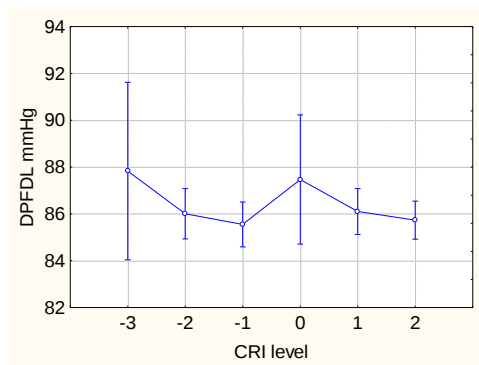
Η τάση αυτή της διαστολικής πίεσης εξακολουθεί να εμφανίζεται για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας και για τις ημέρες -1 (Σχήμα 4.100), -2 (Σχήμα 4.101), +2 (Σχήμα 4.102), +3 (Σχήμα 4.103).



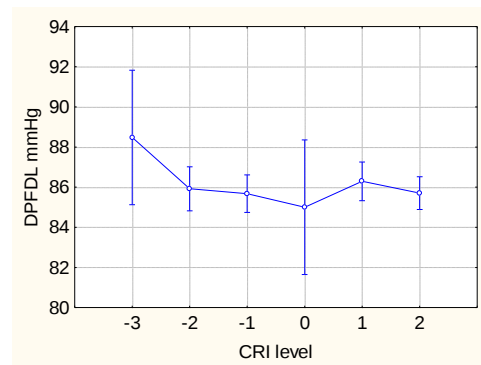
Σχήμα 4.100 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPR, (Day -1)



Σχήμα 4.101 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPDDL, (Day -2)



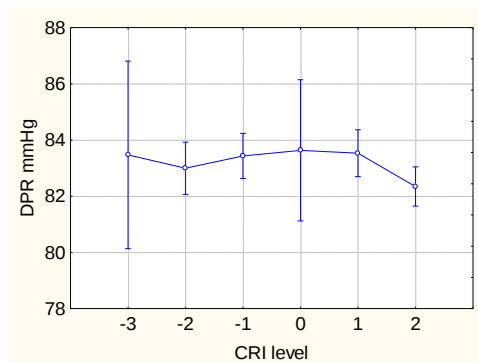
Σχήμα 4.102 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPFDL, (Day +2)



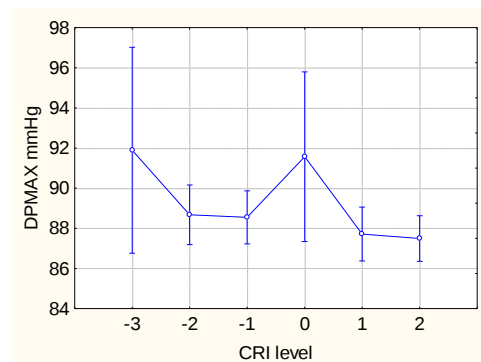
Σχήμα 4.104 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPFDL, (Day +3)

Από τα σχήματα αυτά, διακρίνεται επίσης τοπικό μέγιστο στο level 0. Το μέγιστο αυτό παρατηρείται για όλες τις παραμέτρους, για όλες τις προαναφερθείσες ημέρες εκτός της +3. Εξαιρείται η DPR την ημέρα -2, η οποία παραμένει σχεδόν σταθερή, σημειώνοντας μια ελαφριά αύξηση από το επίπεδο -2 στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας (Σχήμα 4.105).

Την ημέρα -3, τάση για αύξηση με τα μεγαλύτερα επίπεδα μείωσης της κοσμικής ακτινοβολίας εμφανίζουν μόνο οι παράμετροι DPSDL και DPMAX (Σχήμα 4.106). Τοπικό μέγιστο στο 0 εμφανίζουν όλες, εκτός της DPR η οποία παραμένει σχεδόν σταθερή.

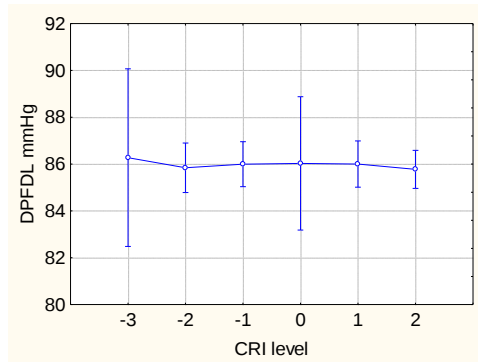


Σχήμα 4.105 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPR, (Day -2)

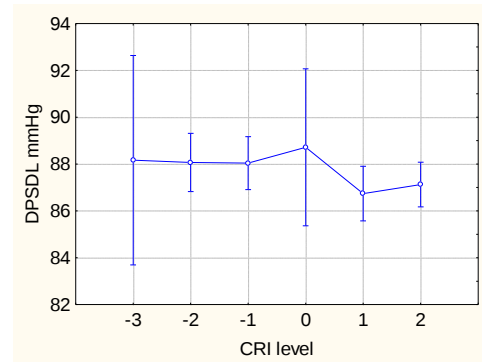


Σχήμα 4.106 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPMAX, (Day -3)

Την ημέρα +1, η συστολική πίεση για κάθε επίπεδο κόπωσης δείχνει να παραμένει σταθερή. Στο Σχήμα 4.107 παρουσιάζεται η DPFDL με τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας για την ημέρα αυτή. Τοπικό μέγιστο στο 0 εμφανίζει μόνο η DPSDL, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.108.



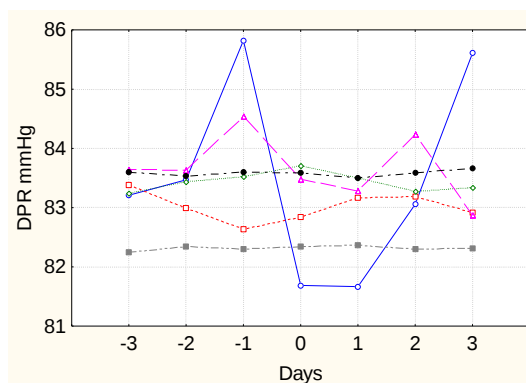
Σχήμα 4.107 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPFDL, (Day +1)



Σχήμα 4.108 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPSDL, (Day +1)

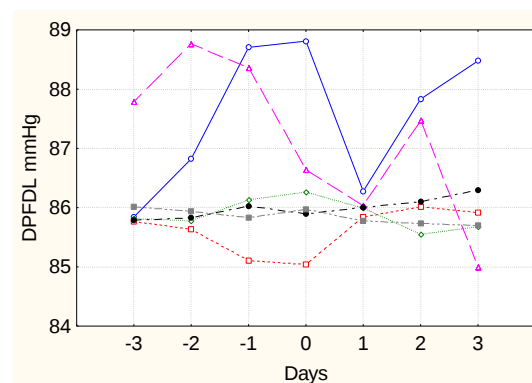
Συνολικά, παρατηρείται μια τάση για αύξηση των τιμών της διαστολικής πίεσης σε κάθε επίπεδο κόπωσης, για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή για έντονη ηλιακή δραστηριότητα.

Στα σχήματα 4.109 έως 4.112 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των DPR, DPFDL, DPSDL, DPMAX, για όλα τα επίπεδα της κοσμικής ακτινοβολίας από τρεις ημέρες πριν έως τρεις μέρες μετά την ημέρα 0. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων υποδηλώνουν διαφορετικά επίπεδα της μεταβολής της κοσμικής ακτινοβολίας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου ακολουθεί το κάθε γράφημα.



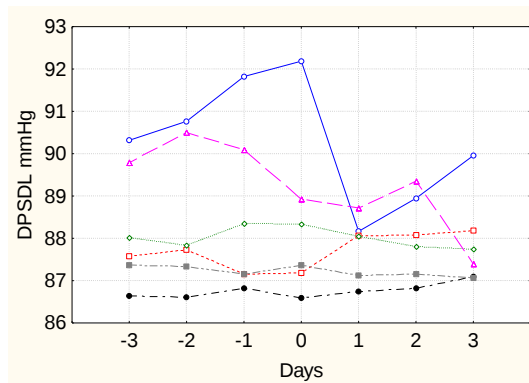
— -3 — -2 — -1 — 0 — 1 — 2

Σχήμα 4.109 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



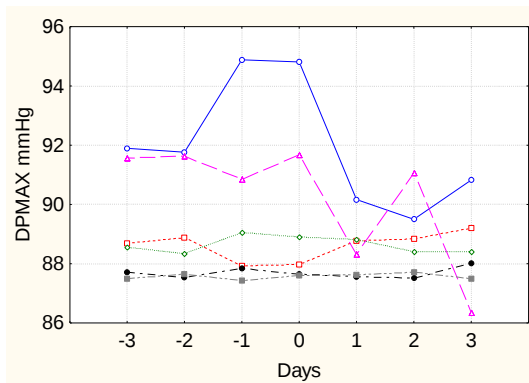
— -3 — -2 — -1 — 0 — 1 — 2

Σχήμα 4.110 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—■— -3 —■— -2 —■— -1 —■— 0 —■— 1 —■— 2

Σχήμα 4.111 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPDDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—■— -3 —■— -2 —■— -1 —■— 0 —■— 1 —■— 2

Σχήμα 4.112 Επίδραση των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας στην DPMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες μεταβολές των τιμών των DPR, DPFDL, DPDDL, και DPMAX, παρατηρούνται στα επίπεδα -3 και 0 των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει και με τη συστολική πίεση και με τον καρδιακό ρυθμό. Στα επίπεδα αυτά, μάλιστα καταγράφονται και οι μέγιστες τιμές τους.

Οι DPFDL, DPDDL, και DPMAX για το επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας την ημέρα 0 και την ημέρα -1 εμφανίζουν περίπου ίσες τιμές, ενώ την ημέρα +1 εμφανίζουν μικρότερες τιμές. Έτσι η μέγιστη τιμή για τις παραμέτρους DPFDL, DPDDL εμφανίζεται την ημέρα 0. Για την DPMAX η μέγιστη τιμή (94.8824 mmHg) σημειώνεται μία ημέρα πριν το γεγονός (-1), όμως είναι σχεδόν ίση με την τιμή την ημέρα 0 (94.8125 mmHg). Για την DPR το μέγιστο εμφανίζεται την ημέρα -1, δηλαδή μια ημέρα πριν το γεγονός.

Η μεταβολή της DPR είναι 4.1568 mmHg, της DPFDL είναι 2.9704 mmHg, της DPDDL αντιστοιχεί στα 4.0208 mmHg, ενώ της DPMAX είναι 5.3824 mmHg.

Συμπερασματικά, οι μεταβολές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης είναι εντονότερες για το επίπεδο μεγάλων μειώσεων της κοσμικής ακτινοβολίας (δηλ. όταν υπάρχει έντονη ηλιακή δραστηριότητα) αλλά και για το επίπεδο 0, όπως διαπιστώθηκε και για τις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού και της συστολικής πίεσης. Οι μέγιστες τιμές τους λαμβάνονται στις περισσότερες περιπτώσεις την ημέρα του γεγονότος και μια ημέρα πριν (-1).

Για τη μελέτη της σχέσης της συστολικής πίεσης με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες A_p και Dst . Οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p -values που προέκυψαν από την ανάλυση ANOVA, για την επίδραση του επιπέδου της γεωμαγνητικής δραστηριότητας τις μέρες πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά τη μέτρηση στις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης παρατίθενται στους πίνακες 4.8 και 4.9. Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα p -values του δείκτη A_p .

Πίνακας 4.8 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p -values) της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του A_p) στη διαστολική πίεση

HMEPA	p – values (A_p)			
	DPR	DPMAX	DPFDL	DPSDL
-3	0.80930	0.31936	0.36127	0.42079
-2	0.98412	0.76739	0.90882	0.76502
-1	0.07612	0.59941	0.53271	0.76607
0	0.26252	0.96591	0.75764	0.67677
+1	0.95248	0.73879	0.91531	0.94887
+2	0.65549	0.52250	0.84630	0.85002
+3	0.52365	0.38504	0.39395	0.17274

Παρατηρείται πως σε για καμία από τις παραμέτρους δεν ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, δηλαδή οι μεταβολές στον παράγοντα A_p level δεν φαίνεται να επηρεάζει τις τιμές τους.

Αντίστοιχα, οι τιμές του επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας p -values, για την επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας σύμφωνα με τα επίπεδα του δείκτη Dst , στις παραμέτρους της συστολικής πίεσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9.

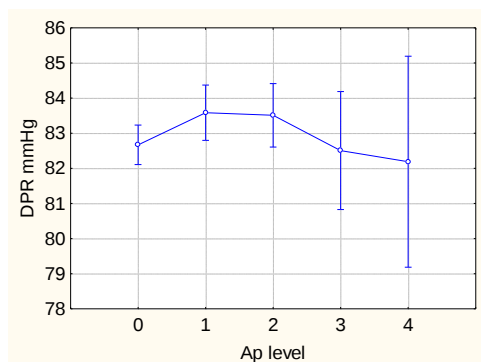
Πίνακας 4.9 Επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (p-values) της επίδρασης της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (μέσω του Dst) στη διαστολική πίεση

ΗΜΕΡΑ	p – values (Dst)			
	DPR	DPMAX	DPFDL	DPSDL
-3	0.66968	0.50271	0.50129	0.66348
-2	0.39208	0.21289	0.07532	0.10038
-1	0.11564	0.26516	0.25060	0.10471
0	0.03339*	0.03716*	0.01127*	0.00907*
+1	0.14936	0.10100	0.02302*	0.02820*
+2	0.27414	0.18819	0.39453	0.59991
+3	0.00068*	0.00013*	0.00421*	0.00032*

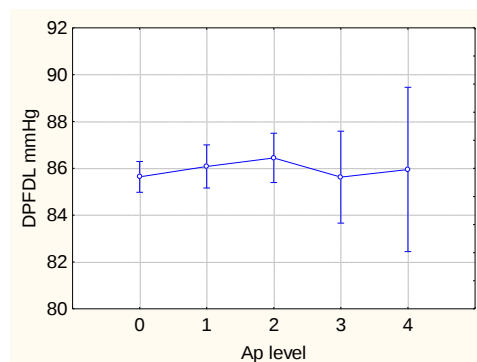
Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνεται πως οι μεταβολές στο επίπεδο του Dst την ημέρα της μέτρησης και την ημέρα +3 επηρεάζουν τη διαστολική πίεση σε όλα τα επίπεδα κόπωσης, ενώ την ημέρα +1 επηρεάζουν μόνο τις παραμέτρους DPFDL, DPSDL.

Ακολουθούν τα διαγράμματα της ανάλυσης ANOVA στα οποία παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέσης τιμής για τις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης συναρτήσει των μεταβολών στο επίπεδο του δείκτη Ap.

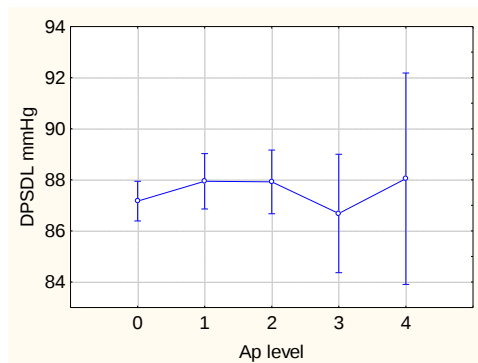
Στα Σχήματα 4.113 έως 4.116 παρουσιάζονται οι μεταβολές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης με τα επίπεδα του δείκτη Ap την ημέρα της μέτρησης.



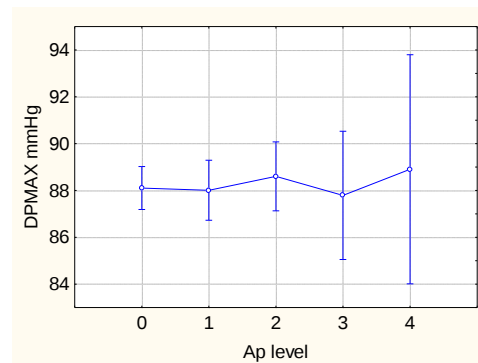
Σχήμα 4.113 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPR, (Day 0)



Σχήμα 4.114 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPFDL, (Day 0)



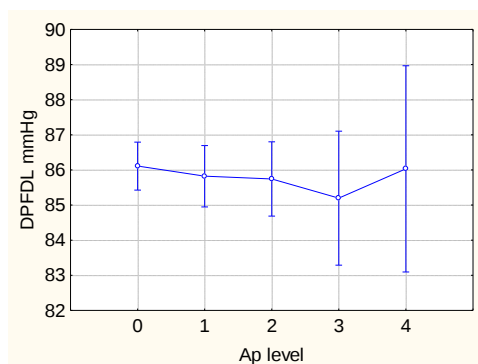
Σχήμα 4.115 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPSDL, (Day 0)



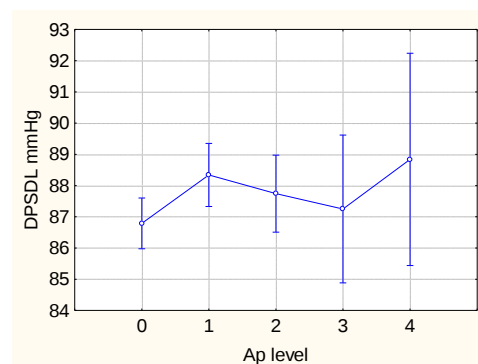
Σχήμα 4.116 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPMAX, (Day 0)

Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται πως οι τιμές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης εμφανίζουν τάση προς μείωση στο επίπεδο 3 του δείκτη Ap, δηλαδή για αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα και άλλοτε οι τιμές τους παραμένουν χαμηλές στο επίπεδο 4 (όπως για την DPR, Σχήμα 4.113 ή για την DPFDL Σχήμα 4.114), ενώ άλλες φορές επανέρχονται (όπως για την DPSDL, Σχήμα 4.115 ή για την DPMAX Σχήμα 4.116).

Παρόμοια συμπεριφορά ακολουθείται και για τις ημέρες -2 και +3 (Σχήματα 4.117 και 4.118 αντίστοιχα).



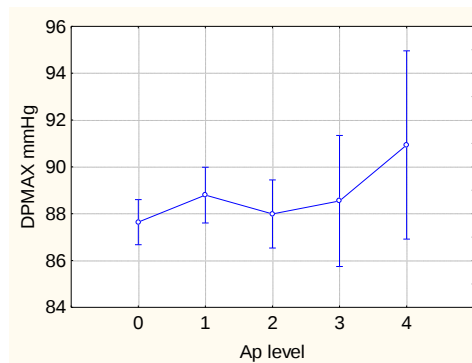
Σχήμα 4.117 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPFDL, (Day -2)



Σχήμα 4.118 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPSDL, (Day +3)

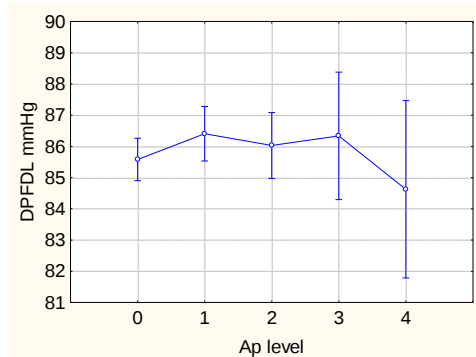
Στο Σχήμα 4.117 παρατηρείται η ελάχιστη μέση τιμή της DPFDL στο επίπεδο 3 του δείκτη Ap ενώ σημειώνεται επαναφορά στο επίπεδο 4. Ομοίως η DPSDL (Σχήμα 4.118) παρουσιάζει τάση για μείωση από το επίπεδο 1 του Ap ως το επίπεδο 3, ενώ επανέρχεται στο επίπεδο 4.

Υπάρχουν βέβαια και εξαιρέσεις, όπως η DPMAX την ημέρα +3 η οποία δείχνει να αυξάνεται για τα επίπεδα αυξημένης γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Σχήμα 4.119)

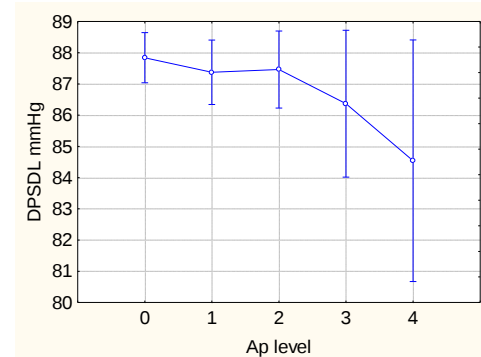


Σχήμα 4.119 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPMAX, (Day +3)

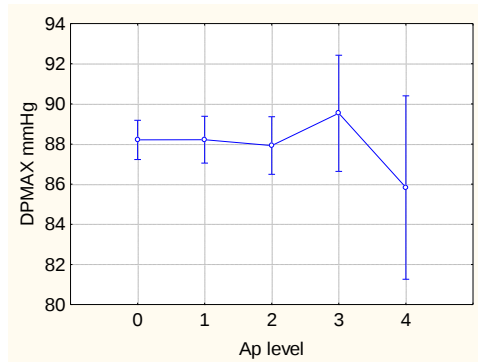
Τις υπόλοιπες ημέρες (-1, -3, +1, +2) σημειώνεται μείωση στη μέση τιμή των παραμέτρων από το επίπεδο 3 του Ap δείκτη ως το επίπεδο 4. Στα σχήματα 4.120 έως 4.123 παρατηρούνται οι μεταβολές αυτές για τις προαναφερθείσες ημέρες.



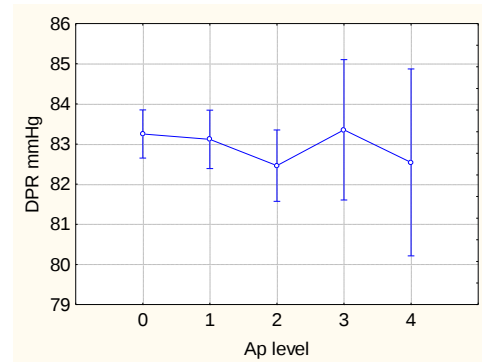
Σχήμα 4.120 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPFDL, (Day -1)



Σχήμα 4.121 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPSDL, (Day -3)



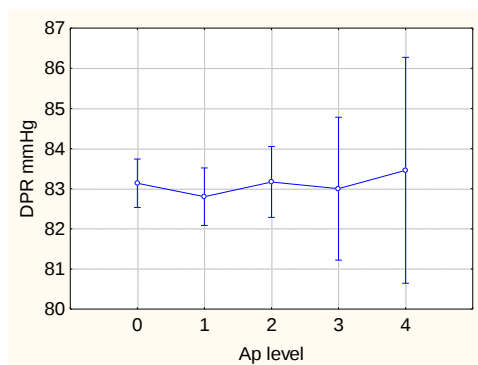
Σχήμα 4.122 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPMAX, (Day +1)



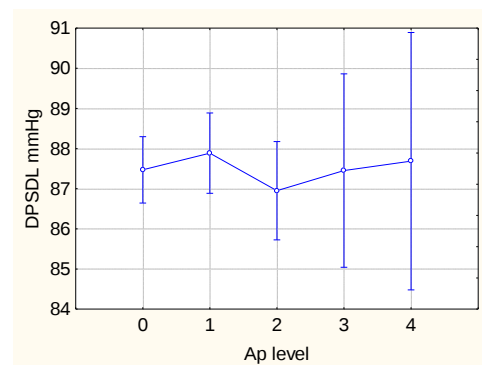
Σχήμα 4.123 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPR, (Day +2)

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις το ελάχιστο στη μέση τιμή για τις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης παρατηρείται στο επίπεδο 4 του δείκτη Ap, δηλαδή όταν η γεωμαγνητική δραστηριότητα είναι εντονότερη.

Και στην περίπτωση αυτή, όμως, υπάρχουν εξαιρέσεις. Η DPR την ημέρα +1 (Σχήμα 4.124) παραμένει σχεδόν σταθερή για τα διάφορα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, και στο επίπεδο 4 λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Βέβαια η διαφορά με την ελάχιστη τιμή είναι αμελητέα, αφού είναι της τάξης των 0.3211 mmHg (Η μέγιστη τιμή στο επίπεδο 4 ισούται με 83.4583 mmHg ενώ η ελάχιστη με 83.1372 mmHg).



Σχήμα 4.124 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPR, (Day +1)



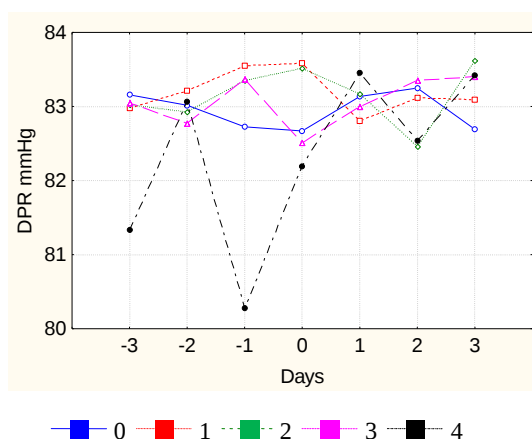
Σχήμα 4.125 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Ap στην DPR, (Day +2)

Ομοίως την ημέρα +2 το ελάχιστο της DPSDL σημειώνεται στο επίπεδο 2 του Ap δείκτη (Σχήμα 4.125), ενώ στα μεγαλύτερα επίπεδα οι τιμές παρουσιάζουν τάση προς επαναφορά.

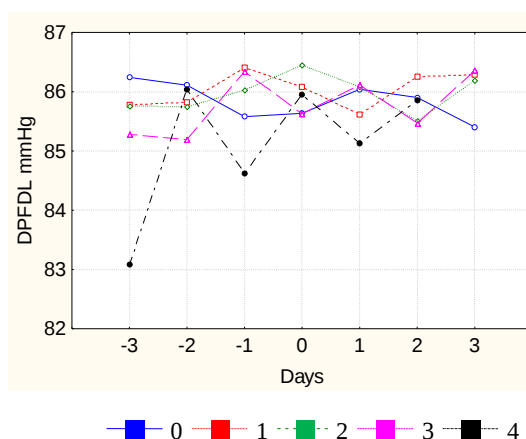
Συμπερασματικά, οι τιμές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης εμφανίζουν μείωση στα μεγαλύτερα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η μείωση αυτή εμφανίζεται άλλες φορές στο επίπεδο 3 του Ap (ημέρες 0, -2, +3), ενώ

τις υπόλοιπες φορές εμφανίζεται στο επίπεδο 4 (ημέρες -1, -3, +1, +2).

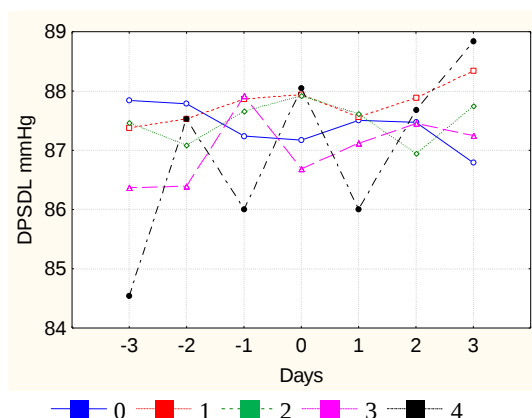
Στα σχήματα 4.126 έως 4.129. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των DPR, DPFDL, DPSDL, DPMAX για όλα τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (βάσει του επιπέδου του δείκτη Ap) από τρεις ημέρες πριν έως τρεις μέρες μετά την ημέρα 0. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων υποδηλώνουν διαφορετικά επίπεδα της μεταβολής της κοσμικής ακτινοβολίας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου ακολουθεί το κάθε γράφημα.



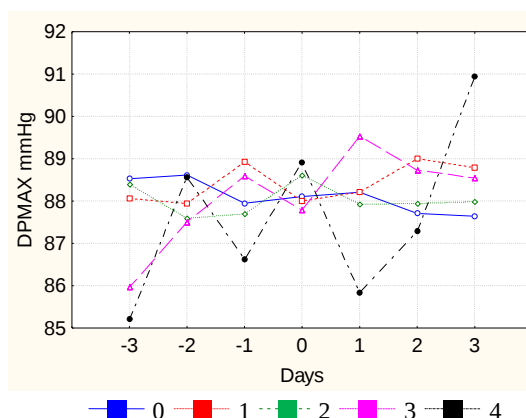
Σχήμα 4.126 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην DPR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.127 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην DPFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.128 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην DPSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



Σχήμα 4.129 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Ap) στην DPMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα σχήματα αυτά, είναι εμφανές ότι οι μεγαλύτερες μεταβολές παρατηρούνται για τα μεγαλύτερα επίπεδα γεωμαγνητικής δραστηριότητας, τα οποία αντιστοιχούν στα επίπεδα 3 και 4 του δείκτη Ap. Οι ελάχιστες τιμές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης παρατηρούνται για το επίπεδο 4 του Ap και μάλιστα την ημέρα -3 (έκτος της DPR η οποία εμφανίζει ελάχιστο την ημέρα -1).

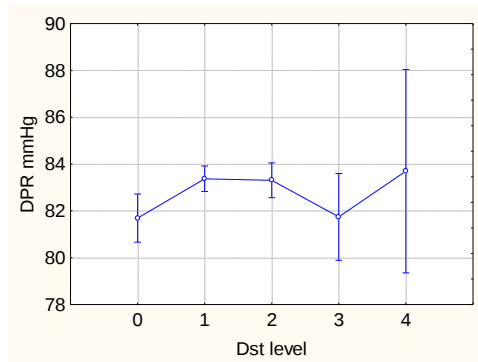
Στο επίπεδο 4, οι μεταβολές είναι μεγαλύτερες για τις παραμέτρους αυτές που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα επίπεδα κόπωσης. Πράγματι, η διαφορά μέγιστης – ελάχιστης τιμής για το επίπεδο 4 είναι για την DPR (Σχήμα 4.126) ίση με 3.177mmHg, για την DPFDL (Σχήμα 4.127) είναι ίση με 4.1425 mmHg, για την DPSDL (Σχήμα 4.128) είναι 4.2970 mmHg και για την DPMAX (Σχήμα 4.129) ισούται με 5.7272 mmHg.

Οι DPFDL, DPSDL και DPMAX παρουσιάζουν διαρκείς αυξομειώσεις από την ημέρα -3 έως την ημέρα +1, ενώ στη συνέχεια αυξάνονται ως την ημέρα +3. Για την DPR, η αύξηση παρατηρείται από την ημέρα -1 έως την ημέρα +1.

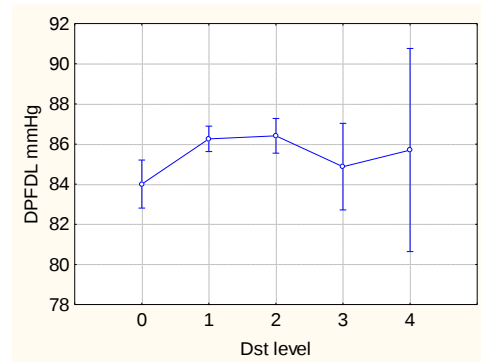
Συνεπώς, για τις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης παρατηρείται μεγαλύτερη μεταβολή στα μεγαλύτερα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, σύμφωνα με τα επίπεδα του Ap. Μάλιστα οι ελάχιστες τιμές τους εμφανίζονται για το μέγιστο επίπεδο γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Επίσης φαίνεται οι μεταβολές να είναι μεγαλύτερες για τις παραμέτρους εκείνες που αντιστοιχούν στα μεγαλύτερα επίπεδα κόπωσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή της μέσης τιμής για όλες τις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης συναρτήσει των μεταβολών στο επίπεδο του δείκτη Dst.

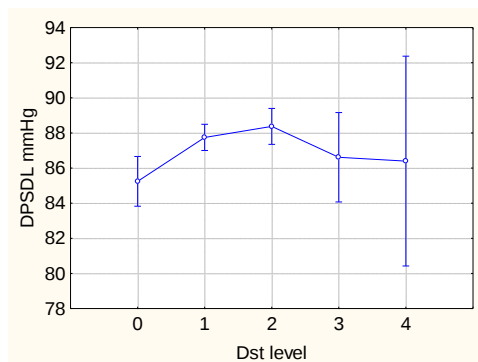
Στα σχήματα 4.130 έως 4.133 παρουσιάζονται οι μεταβολές στη μέση τιμή των παραμέτρων DPR, DPFDL, DPSDL και DPMAX συναρτήσει του επιπέδου του δείκτη Dst την ημέρα της μέτρησης.



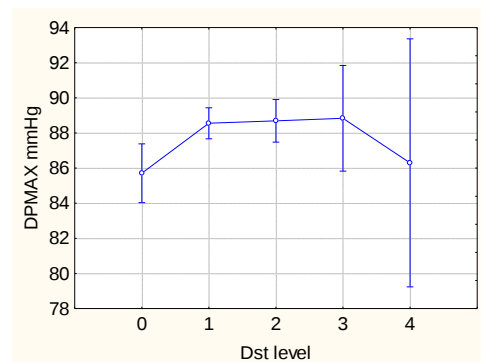
Σχήμα 4.130 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPR, (Day 0)



Σχήμα 4.131 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPFDL, (Day 0)



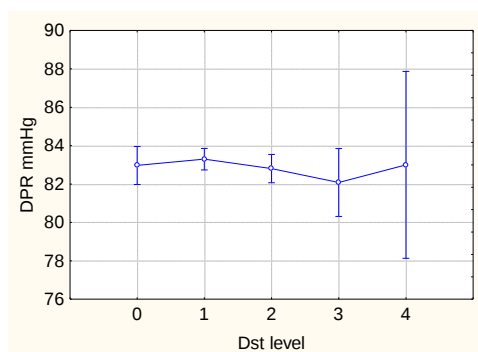
Σχήμα 4.132 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPSDL, (Day 0)



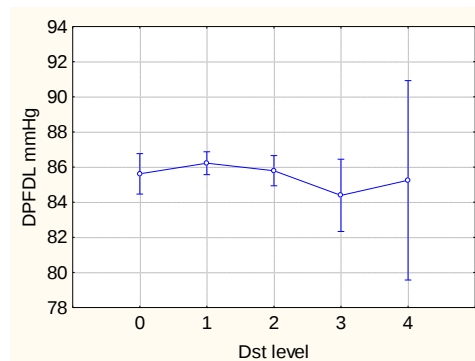
Σχήμα 4.133 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPMAX, (Day 0)

Από τα σχήματα αυτά παρατηρείται μια τάση για μείωση των τιμών των παραμέτρων DPR (Σχήμα 4.130), DPFDL (Σχήμα 4.131), και DPSDL (Σχήμα 4.132), στο επίπεδο 3 του Dst, ενώ στο επίπεδο 4 είτε διατηρούνται χαμηλές (DPFDL, DPSDL) είτε επανέρχονται (DPR). Η DPMAX (Σχήμα 4.133) δείχνει διατήρηση από το επίπεδο 1 έως το 3, ενώ φαίνεται να μειώνεται στο επίπεδο 4 του δείκτη Dst.

Τη συμπεριφορά αυτή δείχνουν να διατηρούν οι τιμές της διαστολικής πίεσης για κάθε επίπεδο κόπωσης την ημέρα -3. Στα σχήματα 4.134 και 4.135 παριστάνονται οι μεταβολές των τιμών των DPR και DPFDL αντίστοιχα. Παρατηρείται, όπως και την ημέρα 0, η τάση για μείωση των τιμών στο επίπεδο 3 και για επαναφορά στο επίπεδο 4.

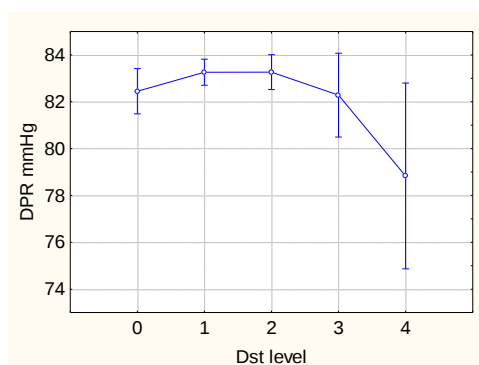


Σχήμα 4.134 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPR, (Day-3)

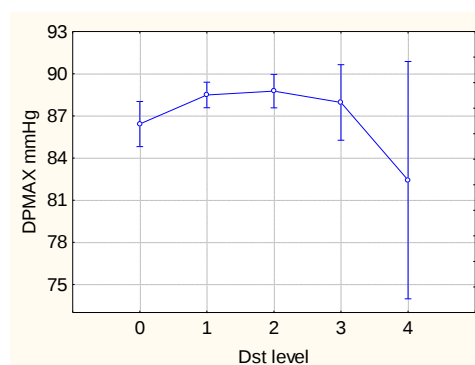


Σχήμα 4.135 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPFDL, (Day -3)

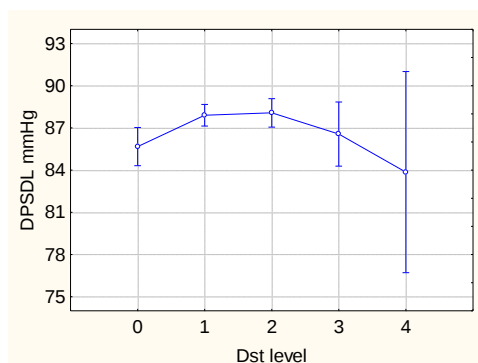
Τις ημέρες -1, +1 (Σχήματα 4.136, 4.137, αντίστοιχα) και την ημέρα +3 (Σχήματα 4.138 και 4.139) η μείωση σημειώνεται στο επίπεδο μέγιστης γεωμαγνητικής δραστηριότητας, δηλαδή στο επίπεδο 4 του δείκτη Dst.



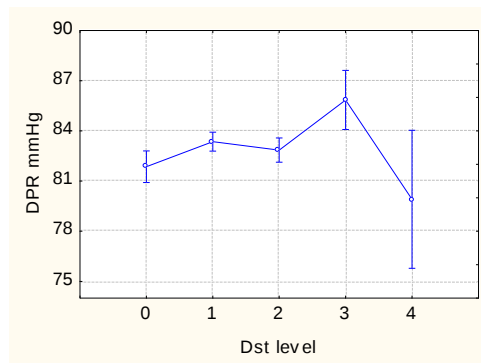
Σχήμα 4.136 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPR, (Day-1)



Σχήμα 4.137 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPMAX, (Day+1)



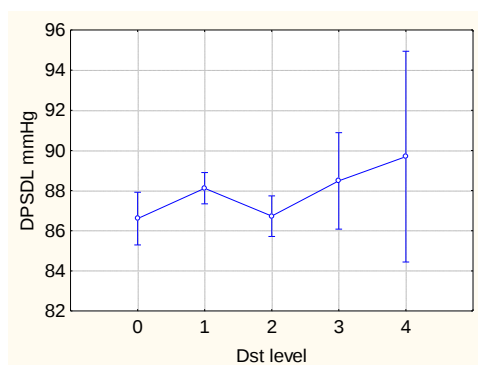
Σχήμα 4.138 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPSDL, (Day +1)



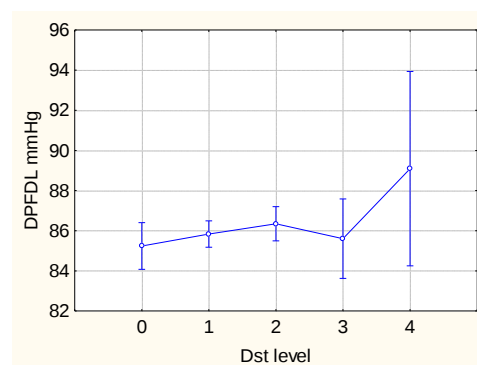
Σχήμα 4.139 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPR, (Day +3)

Τις ημέρες -1 και +1 η τάση για μείωση παρατηρείται από το επίπεδο 3 και εξακολουθεί στο επίπεδο 4, με αποτέλεσμα η ελάχιστη τιμή των παραμέτρων να εμφανίζεται για το επίπεδο 4 του δείκτη Dst. Την ημέρα +3 παρατηρείται μια τάση για αύξηση στο επίπεδο 3 και απότομη μείωση στο επίπεδο 4.

Τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά για τις ημέρες -2 και +2. Τις μέρες αυτές, στο επίπεδο 4 καταγράφεται η μέγιστη μέση τιμή για όλες τις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης. Στα σχήματα 4.140 και 4.141 παρουσιάζονται οι μεταβολές των DPSDL και DPFDL τις ημέρες -2 και +2 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.140 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPSDL, (Day -2)



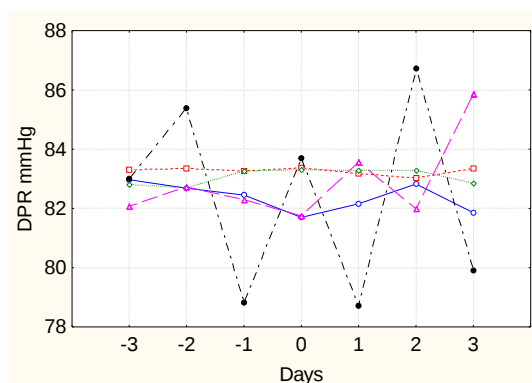
Σχήμα 4.141 Επίδραση των μεταβολών του δείκτη Dst στην DPFDL, (Day +2)

Τις ημέρες αυτές, οι τιμές των παραμέτρων καταγράφουν μείωση στο επίπεδο 2 ή στο επίπεδο 3 του δείκτη Dst, και στη συνέχεια αυξάνουν αποκτώντας μέγιστη τιμή στο επίπεδο 4.

Συνοψίζοντας, οι τιμές των παραμέτρων της διαστολικής πίεσης σημειώνουν μείωση στα μεγαλύτερα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (επίπεδο 3 και επίπεδο 4 του Dst), ενώ παρατηρήθηκε αύξηση με τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα δύο αυτά αποτελέσματα φαίνονται ασύμβατα, ωστόσο οι μεγάλες μειώσεις στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας δεν συνοδεύονται πάντα από αύξηση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και αντίστοιχα, κατά τις μεγάλες μειώσεις του δείκτη Dst δεν σημειώνονται απαραίτητα μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (Kudela and Brenkus 2004). Περαιτέρω ανάλυση ακολουθεί στην παράγραφο 4.5 του κεφαλαίου, Συμπεράσματα - Σύγκριση αποτελεσμάτων

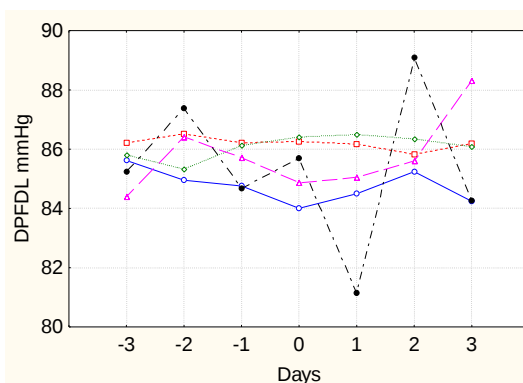
Οι μέσες τιμές των παραμέτρων DPR, DPFDL, DPSDL, DPMAX για τα επίπεδα της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (βάσει των τιμών του δείκτη Dst), από τρεις ημέρες πριν έως τρεις μέρες μετά την ημέρα 0 παρουσιάζονται στα σχήματα

4.142 έως 4.145. Τα διαφορετικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στις γραμμές των παραστάσεων αντιστοιχούν στα διαφορετικά επίπεδα στα οποία ταξινομήθηκαν οι μεταβολές της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η κωδικοποίηση χρώματος – επιπέδου Dst, ακολουθεί το κάθε γράφημα.



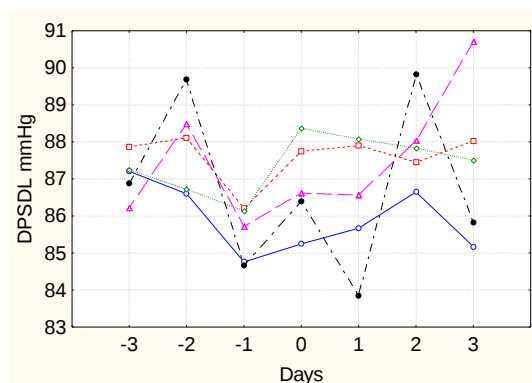
—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.142 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην DPR για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



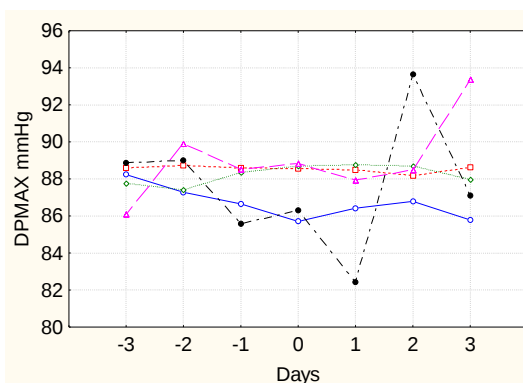
—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.143 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην DPFDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.144 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην DPSDL για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.



—■— 0 —■— 1 —■— 2 —■— 3 —■— 4

Σχήμα 4.145 Επίδραση των μεταβολών της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (Dst) στην DPMAX για τις ημέρες πριν (-), κατά τη διάρκεια (0) και μετά (+) τις μεταβολές αυτές.

Από τα παραπάνω σχήματα, παρατηρείται πως οι μεγαλύτερες μεταβολές στην τιμή των παραμέτρων DPR, DPFDL, DPSDL και DPMAX καταγράφονται στα επίπεδα 4 και 3 του δείκτη Dst. Στο επίπεδο 4 σημειώνεται και η ελάχιστη τιμή για

όλες τις παραμέτρους, και μάλιστα την ημέρα +1, δηλαδή μια ημέρα μετά την καταιγίδα. Για τις τιμές όλων των παραμέτρων παρατηρούνται συνεχείς αυξομειώσεις από την ημέρα -3 έως την ημέρα +3. Το μεγαλύτερο εύρος για το επίπεδο 4 παρατηρείται στην DPMAX και είναι της τάξης των 11.2078 mmHg. Ακολουθούν η DPR με μεταβολή 8.0130 mmHg, η DPFDL με 7.9480 mmHg και τέλος η DPSDL με 5.9611mmHg.

Συμπερασματικά, οι μεγάλες μεταβολές στις παραμέτρους της διαστολικής πίεσης παρατηρούνται όταν η γεωμαγνητική δραστηριότητα (σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη Dst) είναι έντονη. Τότε σημειώνονται και οι ελάχιστες τιμές τους και μάλιστα την ημέρα -1. Η παράμετρος που δείχνει να μεταβάλλεται περισσότερο είναι η DPMAX.

4.5 Συμπεράσματα - Σύγκριση αποτελεσμάτων

Η μελέτη αυτή έχει σαν σκοπό της την αναζήτηση πιθανών επιδράσεων σε φυσιολογικές παραμέτρους που αφορούν την καρδιακή λειτουργία των μεταβολών στη γεωμαγνητική δραστηριότητα και στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Οι παράμετροι υπό εξέταση είναι ο καρδιακός ρυθμός, η συστολική και η διαστολική πίεση σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα κόπωσης. Με τη μέθοδο ANOVA ελέγχθηκε η επίδραση των μεταβολών στα επίπεδα των δεικτών Ap και Dst της γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της ποσοστιαίας μεταβολής στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σε κάθε μία από τις υπό μελέτη φυσιολογικές παραμέτρους.

Ακολουθούν, συνοπτικά, τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από ολόκληρη την ανάλυση και πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων για τις διαφορετικές φυσιολογικές παραμέτρους.

Οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (επίπεδο -3, δηλαδή όταν η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας κυμαίνεται από -11% έως -15%), φαίνεται να σχετίζονται με μειώσεις στον καρδιακό ρυθμό και τη συστολική πίεση.

Οι περισσότερες παράμετροι των HR και SP εμφανίζουν ελάχιστο στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας και μάλιστα την ημέρα 0. Οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, όμως, φαίνεται να σχετίζονται με αυξήσεις στη διαστολική πίεση. Οι περισσότερες παράμετροι εμφανίζουν μέγιστο στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας, την ημέρα 0. Οι μεγαλύτερες μεταβολές με το επίπεδο της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρούνται για τις παραμέτρους που

αντιστοιχούν στα μεγαλύτερα επίπεδα κόπωσης (HRMAX, SPMAX, DPMAX).

Οι τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων μεταβάλλονται με τις μέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια του γεγονότος. Οι μεταβολές αυτές είναι εντονότερες για τα επίπεδα -3 και 0 της κοσμικής ακτινοβολίας. Αξιοσημείωτο είναι ότι στο επίπεδο 0, δηλαδή όταν δεν συμβαίνουν μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας, οι φυσιολογικές παράμετροι παρουσιάζουν έντονες μεταβολές. Παρόμοιο αποτέλεσμα έχει διαπιστωθεί και σε άλλες μελέτες. Σε μελέτη της Dimitrova (2009a) για δείγμα 86 εθελοντών οι οποίοι εξετάζονταν κάθε εργάσιμη ημέρα για δύο χρονικές περιόδους αυξημένης ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές της συστολικής και διαστολικής πίεσης με τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το γεγονός για μεγάλες (μεγαλύτερες του 8%) και για μικρές μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (της τάξης του 3%), ενώ οι μεταβολές είναι μικρότερες για ενδιάμεσες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Επίσης, σε άλλη μελέτη (Stoupe et al., 1991) για 4.363 περιστατικά θανάτων λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων, εκτός εμφράγματος του μυοκαρδίου, για 180 συνεχόμενους μήνες παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός περιστατικών κοιλιακών έκτακτων συστολών για το υψηλότερο αλλά και για το χαμηλότερο επίπεδο της γεωμαγνητικής δραστηριότητας εκπεφρασμένης μέσω του δείκτη K.

Οι τιμές των παραμέτρων του HR εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας την ημέρα της μείωσης και μια ημέρα πριν (-1) και μετά (+1), ενώ τις υπόλοιπες είναι αυξημένες. Ομοίως, οι τιμές των παραμέτρων και της SP εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές τους στο επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας την ημέρα της μείωσης και μια ημέρα μετά (+1). Στο επίπεδο -3, οι τιμές των DPFDL, DPSDL, DPMAX εμφανίζουν μέγιστο την ημέρα 0 το οποίο διατηρείται και την ημέρα -1, ενώ η DPR εμφανίζει ελάχιστο την ημέρα 0 το οποίο διατηρείται και την ημέρα +1. Η μεγαλύτερη μεταβολή των τιμών των φυσιολογικών παραμέτρων με τις ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το γεγονός, για το επίπεδο -3 της κοσμικής ακτινοβολίας καταγράφεται στο μέγιστο επίπεδο κόπωσης για όλες τις παραμέτρους (HRMAX, SPMAX, DPMAX).

Η επίδραση των επιπέδων της κοσμικής ακτινοβολίας (όπως εκφράζεται από τις p – values), φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στον καρδιακό ρυθμό, αφού δείχνει να επηρεάζει τις περισσότερες παραμέτρους του (HRFDL, HRMAX, HRSDL) και μάλιστα όλες τις ημέρες (από τρεις ημέρες πριν έως τρεις ημέρες μετά το γεγονός). Μικρότερη εμφανίζεται η επίδραση αυτή στην συστολική πίεση. Μόνο

η SPFDL δείχνει να εξαρτάται όλες τις ημέρες από την κοσμική ακτινοβολία, ενώ η SPMAX δείχνει εξάρτηση μόνο την ημέρα 0. **Λιγότερο φαίνεται να επηρεάζεται η διαστολική πίεση** από τη στιγμή που μόνο η DPR και μόνο για την ημέρα -1 εμφανίζει αποδεκτή p-value.

Η αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα, όπως εκφράζεται από τις τιμές του Ap δείκτη (επίπεδο 4 δηλ. $Ap \geq 50$) **φαίνεται να συνδέεται με μειώσεις στον καρδιακό ρυθμό για όλα τα επίπεδα κόπωσης**. Την ημέρα 0, οι περισσότερες παράμετροι του καρδιακού ρυθμού εμφανίζουν ελάχιστο στο επίπεδο 4, όπως συμβαίνει και με τις παραμέτρους της συστολικής πίεσης. Οι περισσότερες παράμετροι της διαστολικής πίεσης δείχνουν κι αυτές να μειώνονται στα μεγάλα επίπεδα του Ap δείκτη, η μείωση αυτή όμως σημειώνεται άλλοτε στο επίπεδο 3 ($30 \leq Ap < 50$) και άλλοτε στο επίπεδο 4 της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η συμπεριφορά αυτή διατηρείται για όλες τις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού τις περισσότερες ημέρες (όλες εκτός από την +1) και για τις παραμέτρους της συστολικής και διαστολικής πίεσης τις ημέρες κοντά στο γεγονός (-1, +1).

Οι τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων μεταβάλλονται με τις μέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια του γεγονότος. Οι μεταβολές αυτές είναι εντονότερες για τα επίπεδα 3 και 4 του δείκτη Ap. **Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των παραμέτρων σημειώνονται στο επίπεδο 4**. Για τις περισσότερες παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού και της συστολικής πίεσης παρατηρείται η ελάχιστη τιμή την ημέρα -1, ενώ για τις περισσότερες παραμέτρους της διαστολικής πίεσης, η ελάχιστη τιμή παρατηρείται την ημέρα -3. **Τις μεγαλύτερες μεταβολές με τις ημέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια του γεγονότος εμφανίζουν οι παράμετροι που αντιστοιχούν στα μεγάλα επίπεδα κόπωσης (HRSDL, SPSDL, DPMAX)**.

Η επίδραση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας εκπεφρασμένης μέσω του Ap δείκτη, όπως διαπιστώνεται από τις p – values, **φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στον καρδιακό ρυθμό**, αφού δείχνει να επηρεάζει τις HRFDL (τις ημέρες -1 και +1), HRSDL (την ημέρα +1) . **Μικρότερη εμφανίζεται η επίδραση αυτή στην συστολική πίεση**. Μόνο η SPMAX δείχνει εξάρτηση και μάλιστα μόνο την ημέρα 0. **Οι παράμετροι της διαστολικής πίεσης δεν εμφανίζουν αποδεκτές p-values καμία από τις ημέρες πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια του γεγονότος**.

Η αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα, σύμφωνα με τις τιμές του Dst δείκτη ($Dst \leq -50$), φαίνεται να συνδέεται με μειώσεις στον καρδιακό ρυθμό για όλα

τα επίπεδα κόπωσης. Την ημέρα 0, οι παράμετροι του καρδιακού ρυθμού εμφανίζουν ελάχιστο στο επίπεδο 4, όπως συμβαίνει και με τις παραμέτρους της συστολικής πίεσης. Οι περισσότερες παράμετροι της διαστολικής πίεσης δείχνουν κι αυτές να μειώνονται στα μεγάλα επίπεδα του Dst δείκτη, η μείωση αυτή όμως την ημέρα 0 σημειώνεται στο επίπεδο 3 ($-100 \leq \text{Dst} < -50$) και άλλοτε (ημέρες -1, +1) στο επίπεδο 4 ($\text{Dst} \leq -100$) της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η συμπεριφορά αυτή διατηρείται για όλες τις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού τις περισσότερες ημέρες. Για τις παραμέτρους της συστολικής πίεσης παρατηρείται ελάχιστο την ημέρα -1 στο επίπεδο 4 όμως την ημέρα +1 η μείωση συμβαίνει στο επίπεδο 3 του Dst δείκτη και υπάρχει τάση για επαναφορά στο επίπεδο 4. Τις ημέρες πλησίον της ημέρας 0 (ημέρες -1, +1) οι περισσότερες παράμετροι της διαστολικής πίεσης εμφανίζουν μείωση στο επίπεδο 4 του δείκτη Dst.

Οι τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων μεταβάλλονται με τις μέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια του γεγονότος. Οι μεταβολές αυτές είναι εντονότερες για τα επίπεδα 3 και 4 του δείκτη Dst. Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των παραμέτρων σημειώνονται στο επίπεδο 4. Για τις παραμέτρους του καρδιακού ρυθμού η ελάχιστη τιμή παρατηρείται την ημέρα -3, ενώ για τις παραμέτρους της συστολικής πίεσης, εκτός της SPR η ελάχιστη τιμή παρατηρείται την ημέρα του γεγονότος, ημέρα 0. Όλες οι παράμετροι της διαστολικής πίεσης εμφανίζουν ελάχιστο την ημέρα +1. Τις μεγαλύτερες μεταβολές με τις ημέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια του γεγονότος εμφανίζουν οι παράμετροι που αντιστοιχούν στα μεγάλα επίπεδα κόπωσης (HRSDL, SPSDL, DPMAX).

Όπως διαπιστώνεται από τις p – values, η γεωμαγνητική δραστηριότητα εκπεφρασμένη μέσω του Dst δείκτη, φαίνεται να επιδρά περισσότερο στην διαστολική πίεση, αφού δείχνει να την επηρεάζει σε όλα τα επίπεδα κόπωσης την ημέρα 0 αλλά και την ημέρα +3 και επιπλέον συνδέεται με τις DPFDL και DPSDL την ημέρα +1. Μικρότερη εμφανίζεται η επίδραση αυτή στην συστολική πίεση. Μόνο την ημέρα +3 όλες οι παράμετροι δείχνουν εξάρτηση από τον δείκτη Dst. Οι παράμετροι HRFDL και HRSDL του καρδιακού ρυθμού εμφανίζουν αποδεκτές p-values μόνο για τις ημέρες -3 και -2, ενώ ο HRR μόνο την ημέρα -3 και ο HRMAX την ημέρα -2.

Παρατηρείται πως οι παράμετροι του καρδιακού ρυθμού και της συστολικής πίεσης εμφανίζουν μείωση για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (επίπεδα -3 και -2) αποτέλεσμα συμβατό με τη μείωση που παρατηρείται και για

αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα (επίπεδα 3 και 4 των δεικτών Ap, Dst). Οι παράμετροι της διαστολικής πίεσης όμως, ενώ εμφανίζουν αύξηση για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, ωστόσο εμφανίζουν μείωση για αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα. Οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (μειώσεις Forbush) και οι γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι φαινόμενα που σχετίζονται μεταξύ τους, τα οποία όμως μπορούν να εξελίσσονται και ανεξάρτητα (Kudela and Brenkus 2004; Kane 2010). Οι μειώσεις Forbush δημιουργούνται από διαταραχές στην ηλιόσφαιρα, ενώ οι μεταβολές του δείκτη Dst εξαρτώνται από την τοπική κατάσταση της μαγνητοσφαιρικής κοιλίας κοντά στη Γη (Kane 2010). Συνήθως, οι μεγάλες μειώσεις στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδεύονται από αύξηση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Αντίστοιχα, κατά τις μεγάλες μειώσεις του δείκτη Dst δεν σημειώνονται απαραίτητα μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (Kudela and Brenkus 2004).

Οι παράμετροι HR φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από την κοσμική ακτινοβολία σε σχέση με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα, όπως προκύπτει από τις p-values, ενώ οι παράμετροι των SP, DP από τη γεωμαγνητική δραστηριότητα. Για όλες τις παραμέτρους, σε σχέση με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα, ο Dst δείχνει να επηρεάζει περισσότερο απ' ότι ο Ap.

Ο καρδιακός ρυθμός δείχνει πιο ευαίσθητος στις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Η συστολική πίεση δείχνει να επηρεάζεται από τις μεταβολές στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας καθώς και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας (κυρίως από τον δείκτη Dst), λιγότερο από τον καρδιακό ρυθμό, ενώ η διαστολική πίεση φαίνεται να επηρεάζεται κυρίως από τον δείκτη Dst.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων και τα αποτελέσματα του πειράματος που έγινε στη Γεωργία. Στο πείραμα αυτό καταμετρήθηκαν οι αρρυθμίες που εμφανίζονταν κάθε μέρα για μια ομάδα 1902 ασθενών, στο σύνολό τους (Total) αλλά και για κάθε τύπο ξεχωριστά: Υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές (Supraventricular extrasystolic arrhythmia – S), Παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία (Supraventricular paroxysmal tachycardia – Ps), Κοιλιακές έκτακτες συστολές (Single ventricular extrasystolic arrhythmia – V1) και Πολλαπλές κοιλιακές έκτακτες συστολές (Multiple ventricular extrasystolic arrhythmia – Vm).

Το δείγμα των μετρήσεων αφορά το διάστημα από τις 24 Απριλίου 1983 έως τις 31 Δεκεμβρίου 1992 δηλαδή περιλαμβάνει έναν ολόκληρο ηλιακό κύκλο, από το τέλος του μεγίστου του ηλιακού κύκλου 21 (Ιούνιος 1976 έως Σεπτέμβριο 1986) , έως τα τέλη του μεγίστου του κύκλου 22 (Σεπτέμβριος 1986 έως Μάιο 1996).

Γίνεται συσχέτιση του αριθμού των περιστατικών των αρρυθμιών που εμφανίζονταν κάθε μέρα στο σύνολό τους (Total στους πίνακες και τα διαγράμματα) αλλά και για κάθε τύπο αρρυθμίας S, Ps, V1 και Vm ξεχωριστά με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, τη γεωμαγνητική δραστηριότητα μέσω των δεικτών Ap και Dst, τον αριθμό των εκλάμψεων κατηγορίας C (C Εκλάμψεις) και το άθροισμα των κατηγοριών M και X ηλιακών εκλάμψεων (M και X Εκλάμψεις), τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων R_z , την Bz συνιστώσα του διαπλανητικού πεδίου και τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων SPE. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η κατανομή των περιστατικών των διαφόρων τύπων αρρυθμιών για την περίοδο που μελετάται.

Για τον υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης και για την κατασκευή των διαγραμμάτων το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν διαφορετικό καθώς για ορισμένες ημερομηνίες κατά τις οποίες υπήρχαν δεδομένα για τις αρρυθμίες, δεν υπήρχαν δεδομένα για την Bz συνιστώσα του διαπλανητικού πεδίου.

**Πίνακας 5.1 Κατανομή των περιστατικών των διαφόρων τύπων
αρρυθμιών (1983 – 1992)**

	N	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
	Total	134	114	184	183	191	197	175	238	231	136
Υπερκοι- λιακές	S	72	63	53	38	44	56	32	46	51	47
	P_s	53	48	21	26	34	27	30	48	39	19
Κοιλιακές	V₁	3	3	61	73	64	71	74	105	85	39
	V_m	6	0	49	46	49	43	39	39	56	31

Στη μελέτη αυτή θεωρήθηκαν σημαντικά τα αποτελέσματα για τα οποία $p < 0.05$. Σε μελέτες αυτού του τύπου δίνονται $r \geq 0.20$ από τη διεθνή βιβλιογραφία (Palmer et al., 2006; Young, 1962). Η περίπτωση $r > 0.50$ θεωρείται ότι οι παράμετροι συσχετίζονται καλώς.

Συγκεκριμένα, ο Stoupel (Stoupel et al., 2006b) μελετώντας σε δείγμα 788 ασθενών για 36 μήνες (2003-2005) την πιθανή σχέση της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας με αιφνίδιους καρδιακούς θανάτους καταλήγει σε συντελεστές συσχέτισης της τάξης του 0.40 με τους δείκτες της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Σε άλλη μελέτη του (Stoupel et al., 1991) για 4.363 περιστατικά θανάτων λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων, έκτος εμφράγματος του μυοκαρδίου, για 180 συνεχόμενους μήνες υπολογίζει αρνητική συσχέτιση της τάξης του 0.20 με τον δείκτη K της γεωμαγνητικής δραστηριότητας. Επίσης σε μελέτη του (Stoupel et al., 2005) για την πιθανή σχέση της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας με τα περιστατικά εμφάνισης οξέως εμφράγματος του μυοκαρδίου με δείγμα 16.683 ασθενών σε διάστημα 204 συνεχόμενων μηνών (1983-1999) προκύπτουν συντελεστές συσχέτισης της τάξης του 0.20 αλλά και του 0.10 για την γεωμαγνητική δραστηριότητα και την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας.

Σε αρκετές ακόμα μελέτες (Stoupel et al., 2002; Gavryuseva and Kroussanova, 2002; Dimitrova et al., 2009b; Papailiou et al., 2011a) στο ίδιο αντικείμενο, οι οποίες διήρκεσαν μεγάλα χρονικά διαστήματα και χρησιμοποίησαν μεγάλα δείγματα, προέκυψαν μεταξύ άλλων και ανάλογης τάξης συντελεστές.

5.2 Σύνολο περιστατικών

5.2.1 Ανάλυση σε ετήσια βάση

Για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών του δείγματος εφαρμόστηκε η μέθοδος της εξομάλυνσης των τιμών για 365 ημέρες (1 έτος) με το πρόγραμμα Origin 6.0 ώστε να πραγματοποιηθεί συσχέτιση για τις ετήσιες τιμές των ίδιων παραμέτρων. Οι συντελεστές συσχέτισης καθώς και τα διαγράμματα προέκυψαν με τη βοήθεια του προγράμματος Statistica 8.0. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον συνολικό αριθμό των αρρυθμιών αλλά και για κάθε τύπο (S, Ps, V1, Vm) ξεχωριστά.

5.2.1.1 Συνολικός αριθμός αρρυθμιών

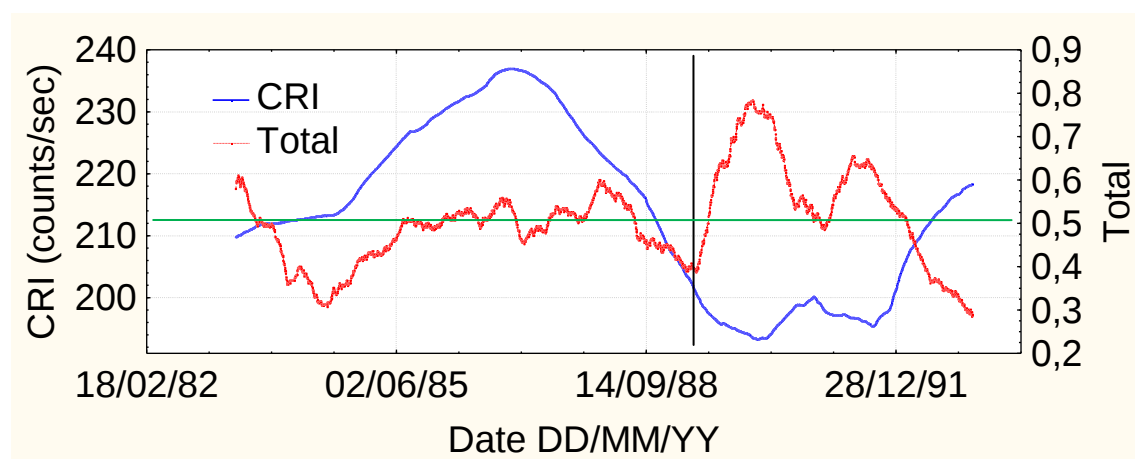
Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης των περιστατικών Total αρρυθμιών με τις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους, όπως αυτοί υπολογίστηκαν κατόπιν της εξομάλυνσης των τιμών.

Πίνακας 5.2 Συντελεστές συσχέτισης για τον συνολικό αριθμό των περιστατικών (S.L. 95%)

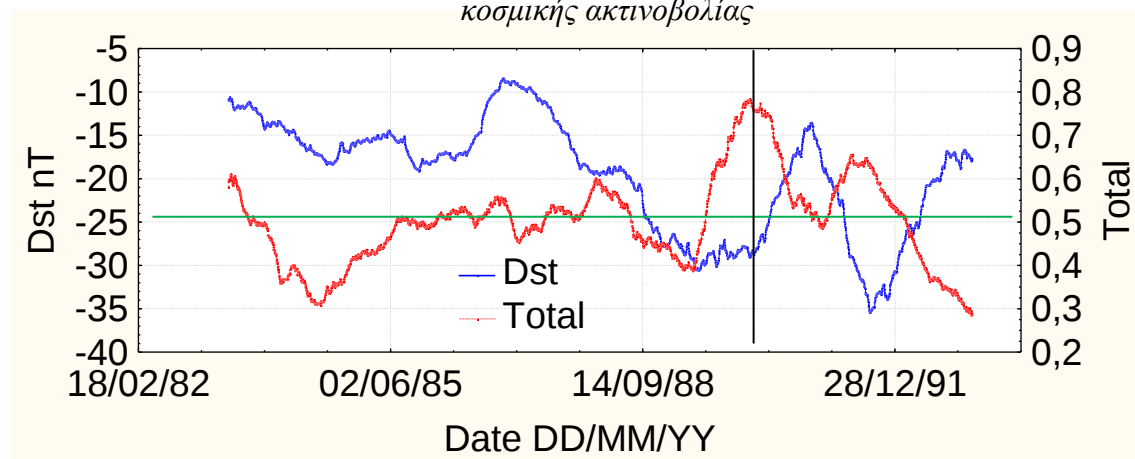
Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
Total	0.4106*	0.2377*	0.3087*	0.4390*	0.0475	-0.3546*	0.1305	-0.3523*
	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.022	p=0.00	p=0.00	p=0.00

Από τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι ο συνολικός αριθμός των αρρυθμιών εμφανίζει συσχέτιση με τις περισσότερες παραμέτρους. Οι συντελεστές κυμαίνονται από 0.0475 έως 0.4106, όλοι τους με $p < 0.05$. Οι συντελεστές συσχέτισης για τον δείκτη Ap και για την Bz δεν είναι σημαντικοί. Η συσχέτιση με την κοσμική ακτινοβολία όπως και με τον δείκτη Dst είναι αρνητική, ενώ με τις υπόλοιπες παραμέτρους θετική. Δηλαδή αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα καθώς και οι μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας και ο αυξημένος αριθμός ηλιακών πρωτονικών γεγονότων, φαίνεται να συνδέονται με αυξημένο συνολικό αριθμό περιστατικών αρρυθμιών. Ο μεγαλύτερος συντελεστής αφορά τον αριθμό SPE και έχει τιμή $r = 0.4390$, $p=0.00$.

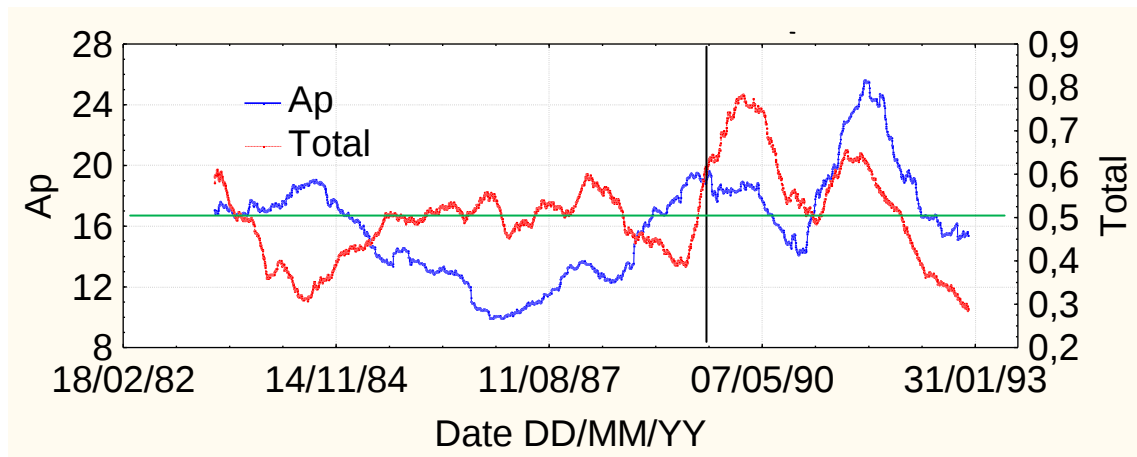
Στα Σχήματα 5.1 έως 5.8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που δείχνουν τον συνολικό αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών συναρτήσει των προαναφερθεισών φυσικών παραμέτρων, μετά την εφαρμογή της μεθόδου εξομάλυνσης των τιμών 365 ημερών. Στα σχήματα, η πράσινη οριζόντια γραμμή σημειώνει τη μέση τιμή των περιστατικών των αρρυθμιών, ενώ η μαύρη κατακόρυφη γραμμή σημειώνει την ημερομηνία κατά την οποία παρατηρείται κάποια αλλαγή στη σχέση μεταξύ των παραμέτρων.



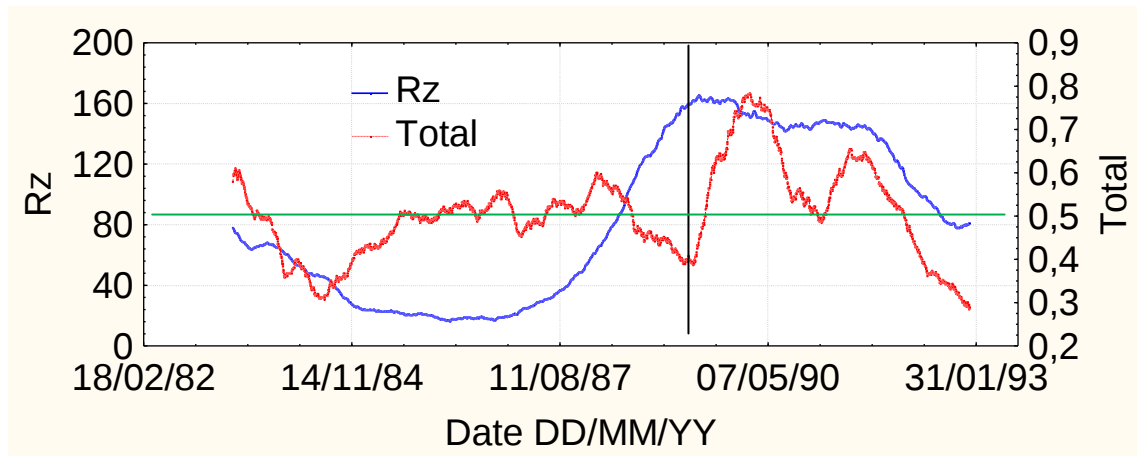
Σχήμα 5.1 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας



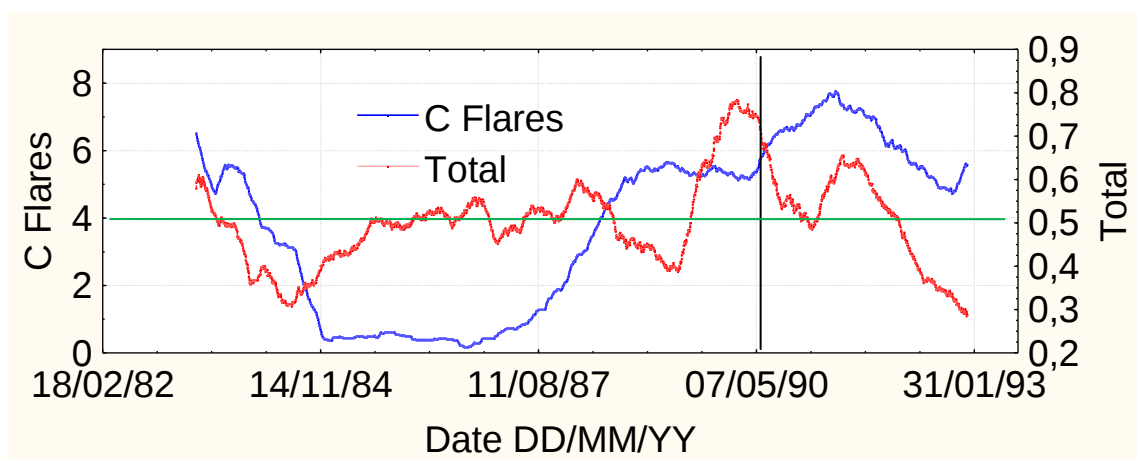
Σχήμα 5.2 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τις μεταβολές του δείκτη Dst



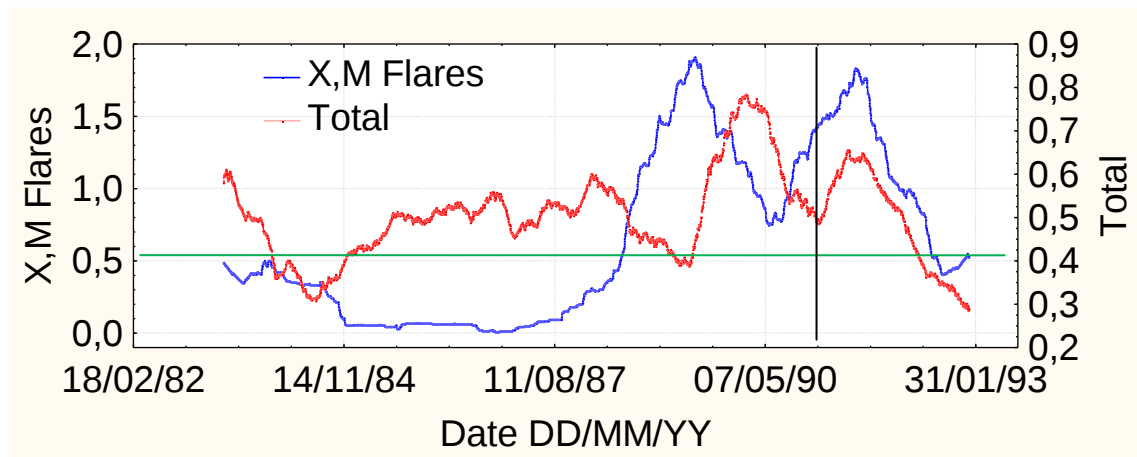
Σχήμα 5.3 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τις μεταβολές του δείκτη Ap



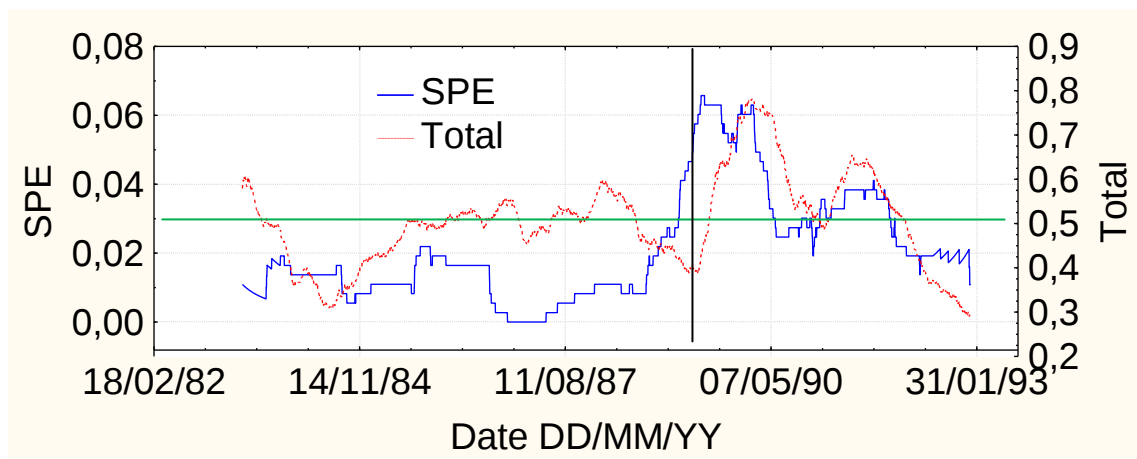
Σχήμα 5.4 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων R_z



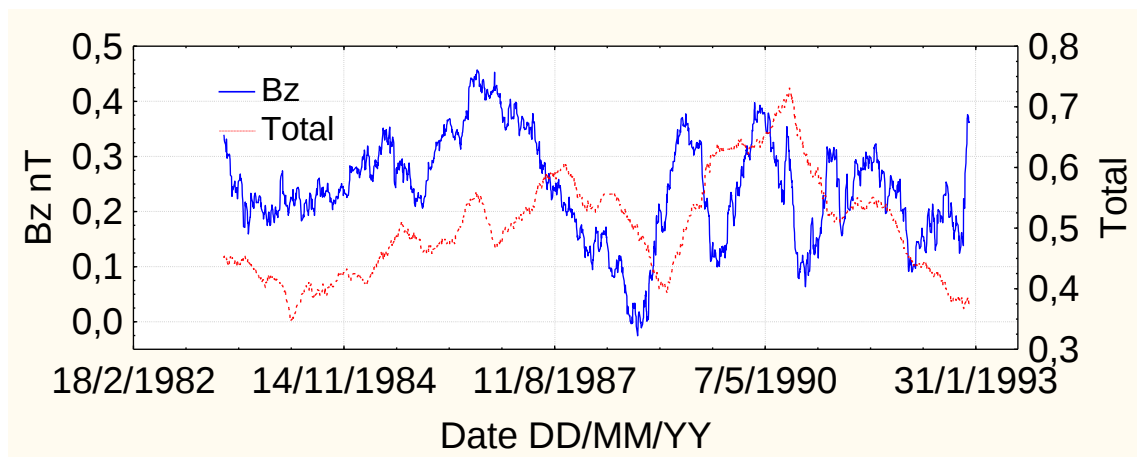
Σχήμα 5.5 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον αριθμό των ηλιακών εκλάμψεων κατηγορίας C



Σχήμα 5.6 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον αριθμό των ηλιακών εκλάμψεων κατηγορίας M,X



Σχήμα 5.7 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων



Σχήμα 5.8 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με την συνιστώσα Bz του διαπλανητικού πεδίου

Στο Σχήμα 5.1 παριστάνεται ο συνολικός αριθμός των περιστατικών αρρυθμιών, συναρτήσει της κοσμικής ακτινοβολίας. Από το σχήμα φαίνεται ότι μέχρι τα μέσα του 1989, ο συνολικός αριθμός των περιστατικών παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την κοσμική ακτινοβολία. Από τότε όμως και μέχρι το 1992, η συσχέτιση δείχνει να είναι αρνητική. Μάλιστα τότε σημειώνονται και οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας για τις οποίες παρατηρείται αύξηση των περιστατικών των αρρυθμιών. Παρατηρείται ότι κατά το διπλό ελάχιστο που εμφανίζει η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, εμφανίζεται διπλό μέγιστο στο σύνολο των περιστατικών των αρρυθμιών.

Ομοίως, στο Σχήμα 5.2 το οποίο παρουσιάζει τον συνολικό αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών, συναρτήσει του δείκτη Dst, παρατηρείται συσχέτιση μέχρι τα μέσα του 1990, ενώ στη συνέχεια αντισυσχέτιση. Μάλιστα τότε εμφανίζονται μεγάλες μειώσεις του Dst, κατά τη διάρκεια των οποίων ο συνολικός αριθμός των περιστατικών δείχνει να σημειώνει αύξηση.

Στο Σχήμα 5.3 παριστάνεται ο συνολικός αριθμός των αρρυθμιών συναρτήσει των τιμών του δείκτη Ap. Παρουσιάζεται αρνητική συσχέτιση των τιμών του Ap με τον αριθμό των περιστατικών μέχρι τα τέλη του 1989, ενώ στη συνέχεια, μέχρι και όλο το 1992, δείχνει να εμφανίζεται θετική συσχέτιση. Την περίοδο αυτή σημειώνονται αυξήσεις του Ap, και ταυτόχρονα, αυξήσεις του αριθμού των περιστατικών.

Αντίστοιχη συμπεριφορά εμφανίζει ο συνολικός αριθμός των περιστατικών με τον αριθμό Rz των ηλιακών κηλίδων (Σχήμα 5.4). Φαίνεται αντισυσχέτιση μέχρι τα μέσα του 1989 ενώ παρατηρείται συσχέτιση από τότε μέχρι και το 1992. Το μέγιστο του ηλιακού κύκλου ανήκει στην περίοδο αυτή, και τότε σημειώνεται και αύξηση των περιστατικών των αρρυθμιών. Παρατηρείται επίσης, ότι τη διπλή κορυφή του ηλιακού μεγίστου παρουσιάζουν και τα περιστατικά των αρρυθμιών με μια χρονική υστέρηση λίγων μηνών.

Για τις C Εκλάμψεις (Σχήμα 5.5) και για τις M και X Εκλάμψεις (Σχήμα 5.6) παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά του συνολικού αριθμού των περιστατικών. Μέχρι και τα τέλη του 1990 ή τις αρχές του 1991 ο αριθμός των περιστατικών συσχετίζεται αρνητικά με τον αριθμό των εκλάμψεων, ενώ στη συνέχεια η συσχέτιση φαίνεται θετική. Οι M και X Εκλάμψεις εμφανίζουν διπλό μέγιστο το οποίο δείχνει να ακολουθεί ο αριθμός των περιστατικών, εμφανίζοντας χρονική υστέρηση λίγων μηνών.

Ο αριθμός των SPE (Σχήμα 5.7), δείχνει να παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση μέχρι τα μέσα του 1989 ενώ στη συνέχεια εμφανίζεται θετική συσχέτιση με τον αριθμό των περιστατικών. Μάλιστα την περίοδο της μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας εμφανίζεται αυξημένος αριθμός SPE, ο οποίος συνοδεύεται από αύξηση των περιστατικών των αρρυθμιών. Και στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται διπλό μέγιστο στον αριθμό των SPE το οποίο παρατηρείται και στον συνολικό αριθμό των αρρυθμιών.

Η συσχέτιση της Bz με το σύνολο των περιστατικών εμφανίζεται θετική για το μεγαλύτερο μέρος του ηλιακού κύκλου, υπάρχουν ωστόσο και περίοδοι για τις οποίες η συσχέτιση μοιάζει να είναι αρνητική.

Συμπερασματικά, ο συνολικός αριθμός των περιστατικών δείχνει να παρουσιάζει αύξηση κατά το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας (1989 – 1991) - οπότε και παρατηρείται αυξημένος αριθμός ισχυρών ηλιακών εκλάμψεων και SPE - και με τις μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Επίσης δείχνει να αυξάνεται και με την αύξηση της γεωμαγνητικής δραστηριότητας όταν αυτή είναι έντονη.

Μάλιστα, για τον συνολικό αριθμό αρρυθμιών παρατηρείται το διπλό μέγιστο που εμφανίζεται και στην ηλιακή δραστηριότητα (Rz), στον δείκτη Ap, στις M και X Εκλάμψεις και στον αριθμό SPE. Αντίθετα, η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας εμφανίζει διπλή κορυφή στο ελάχιστο, όπως ήταν αναμενόμενο δεδομένης της αρνητικής συσχέτισης της κοσμικής ακτινοβολίας και της ηλιακής δραστηριότητας που διαπιστώθηκε πρώτα από τον Forbush (1958) και από άλλους μεταγενέστερους ερευνητές (Pomerantz and Dugal, 1974; Perko and Fisk, 1983). Το διπλό αυτό μέγιστο του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών άλλοτε παρατηρείται συγχρόνως και άλλοτε με κάποια χρονική υστέρηση για τις διάφορες φυσικές παραμέτρους. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι μεταξύ των φυσικών παραμέτρων παρατηρούνται φαινόμενα υστέρησης (Moraal, 1976; Mavromichalaki et al., 1990).

Ένα άλλο φαινόμενο που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η αντιστροφή της συσχέτισης μεταξύ του ολικού αριθμού των αρρυθμιών και των παραμέτρων Rz, C Εκλάμψεις, M και X Εκλάμψεις, SPE, ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, δείκτες Ap και Dst κατά τη διάρκεια του ηλιακού μεγίστου. Είναι γνωστό ότι κοντά στο μέγιστο του ηλιακού κύκλου, περίπου δυο χρόνια μετά (Howard 1974; Russel, 1975; Rosenberg, 1978; Mavromichalaki et al., 1998; Mavromichalaki et al., 2007), παρατηρείται αντιστροφή του ηλιακού μαγνητικού

πεδίου. Μελετώντας τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώθηκε ότι η αντιστροφή της συσχέτισης σημειώνεται στα χρόνια 1989 έως 1990. Αυτό το χρονικό διάστημα συμπίπτει με την αλλαγή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου, η οποία σημειώθηκε το 1990 σύμφωνα με πολλούς ερευνητές (Webber and Lockwood., 1993; Ahluwalia., 1995; Mavromichalaki et al., 1998).

Περαιτέρω ανάλυση για τα φαινόμενα υστέρησης και για την αλλαγή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου γίνεται στην παράγραφο 5.3 του κεφαλαίου, όπου παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης και γίνεται σχολιασμός τους.

5.2.1.2 Υπερκοιλιακές αρρυθμίες τύπου S

Με τον ίδιο τρόπο μελετήθηκαν τα δεδομένα των κολπικών (υπερκοιλιακών) αρρυθμιών τύπου S. Οι συντελεστές συσχέτισης των αρρυθμιών τύπου S με τις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους, όπως αυτοί υπολογίστηκαν κατόπιν της εξομάλυνσης των τιμών, παρατίθενται στον Πίνακα 5.3.

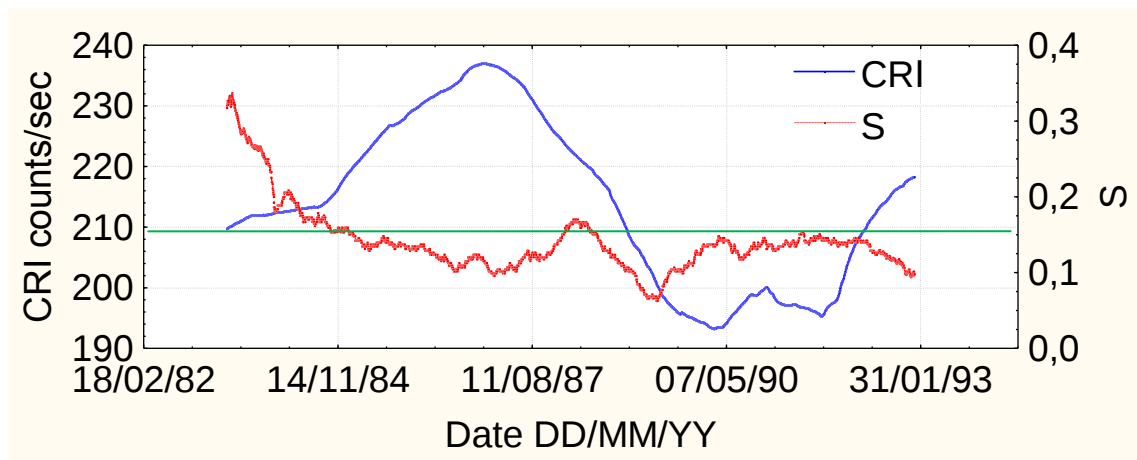
Πίνακας 5.3 Συντελεστές συσχέτισης για τον αριθμό των περιστατικών των αρρυθμιών τύπου S (S.L 95%)

Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
S	-0.1855	0.1361	-0.2272*	-0.2800*	-0.1819	-0.0764	0.1800	0.3219*
	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.00	p=0.00

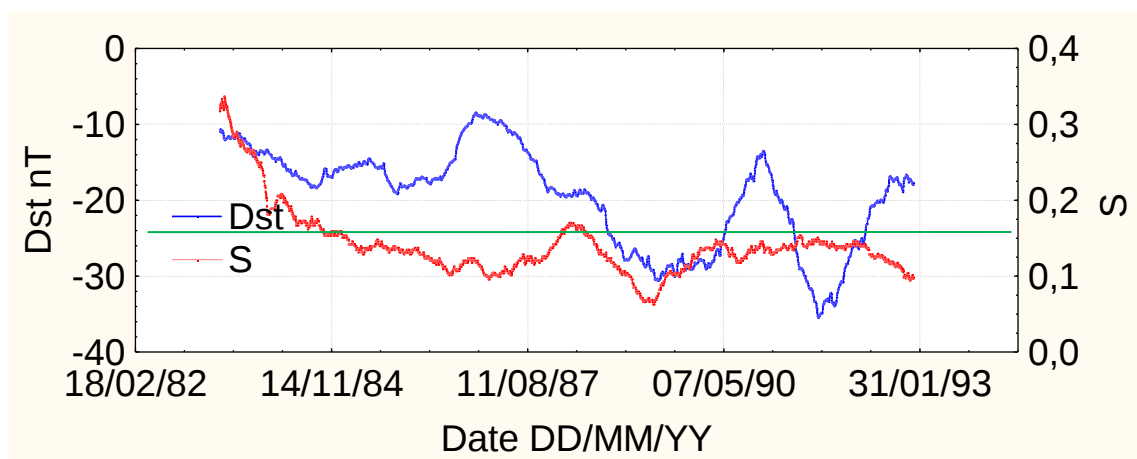
Όπως προαναφέρθηκε (παράγραφος 5.1), οι συντελεστές $r \geq 0.20$ με $p < 0.05$ θα θεωρούνται σημαντικοί για τη συσχέτιση μεταξύ των φυσικών και των φυσιολογικών παραμέτρων, καθώς συντελεστές της τάξης αυτής (και μεγαλύτεροι) εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται συσχέτιση των αρρυθμιών τύπου S με τις παραμέτρους M και X Εκλάμψεις, SPE, και δείκτη Dst. Η μεγαλύτερη συσχέτιση εμφανίζεται με τον δείκτη Dst ($r = 0.3219$, $p=0.00$).

Ακολουθούν τα διαγράμματα (Σχήματα 5.9 έως 5.16) που δείχνουν τον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών τύπου S, συναρτήσει των προαναφερθεισών φυσικών

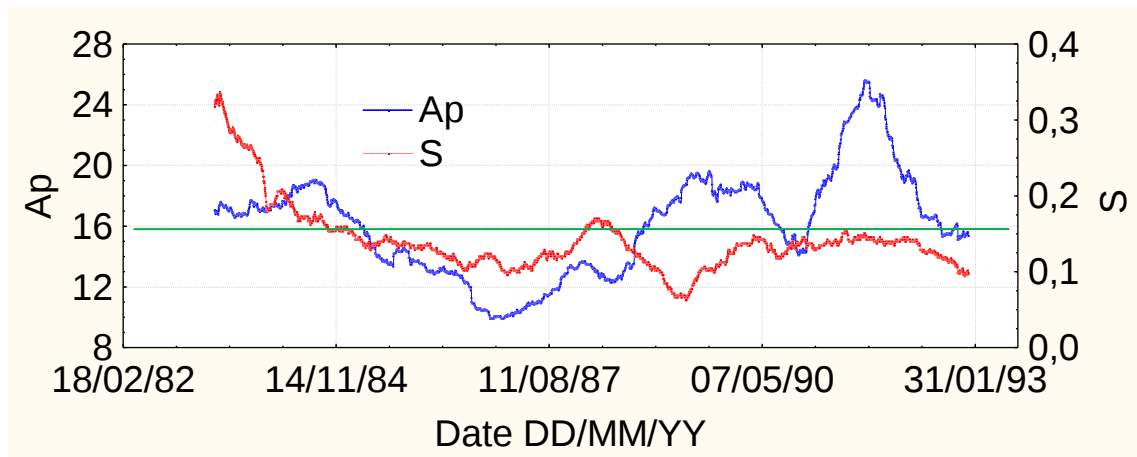
παραμέτρων, μετά την εφαρμογή της μεθόδου εξομάλυνσης των τιμών για 365 ημέρες (1 έτος).



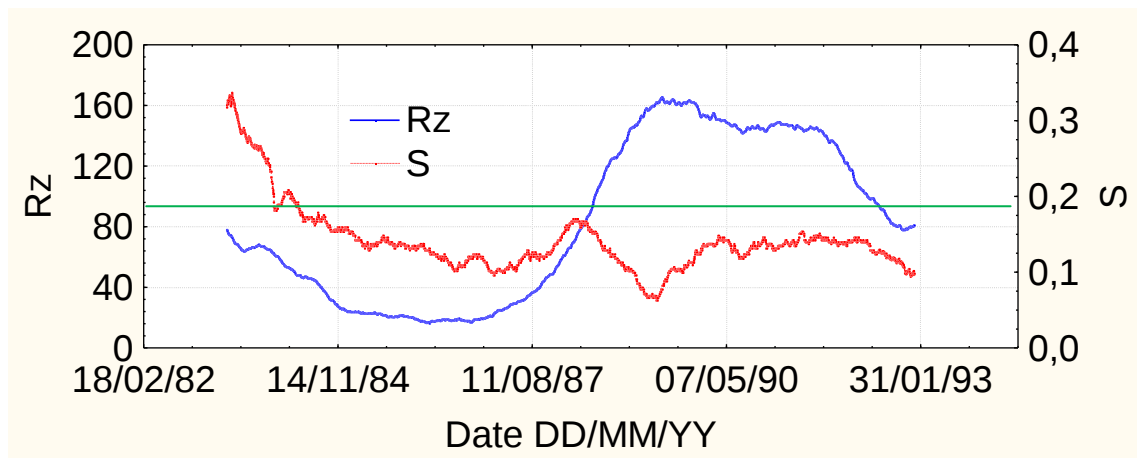
Σχήμα 5.9 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας



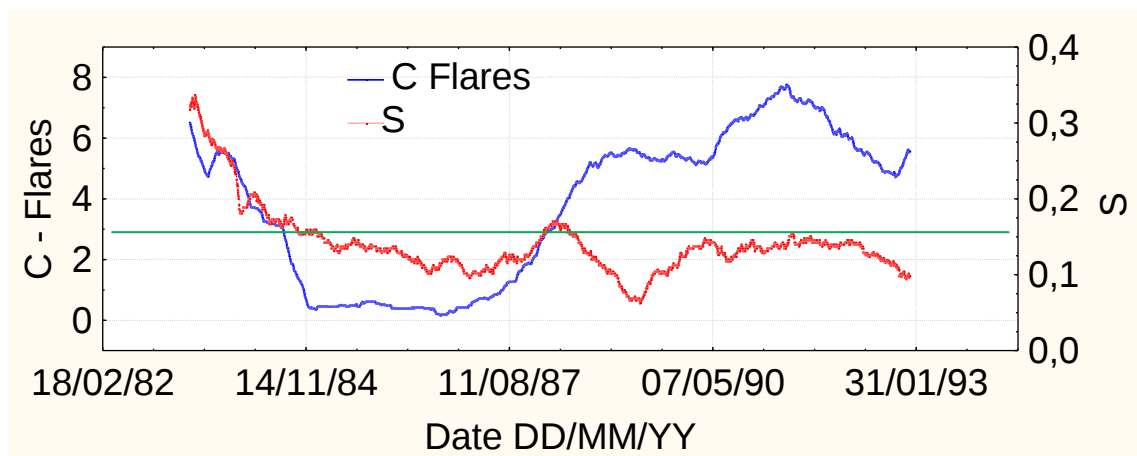
Σχήμα 5.10 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τις μεταβολές του δείκτη Dst



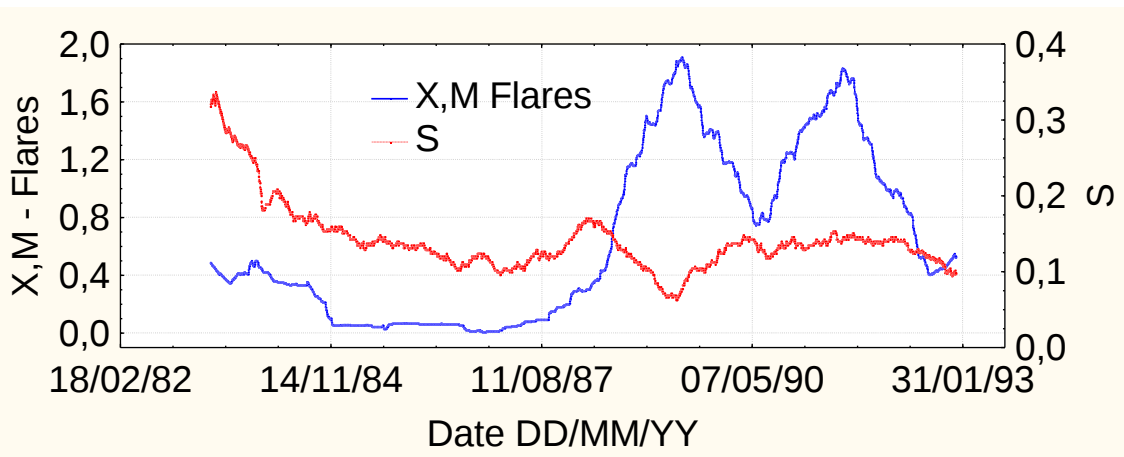
Σχήμα 5.11 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τις μεταβολές του δείκτη Ap



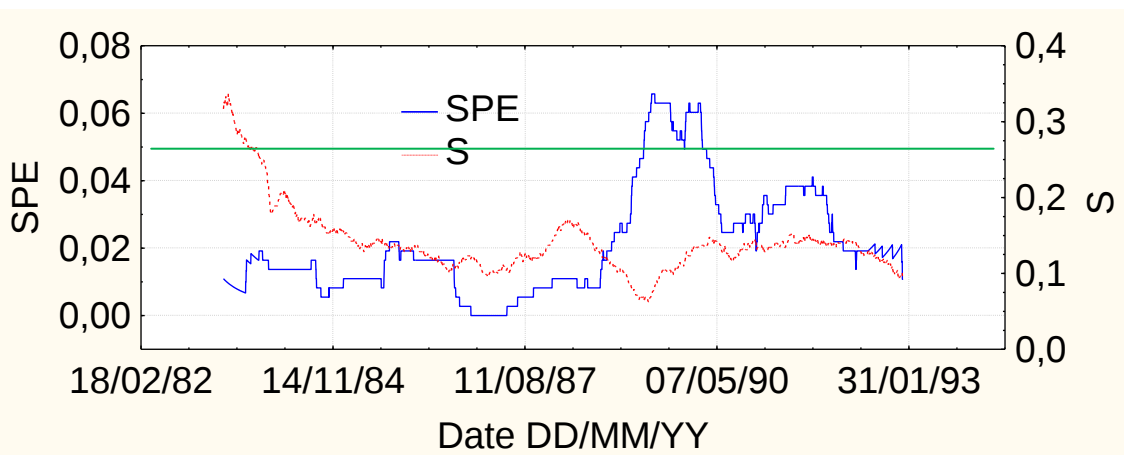
Σχήμα 5.12 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων



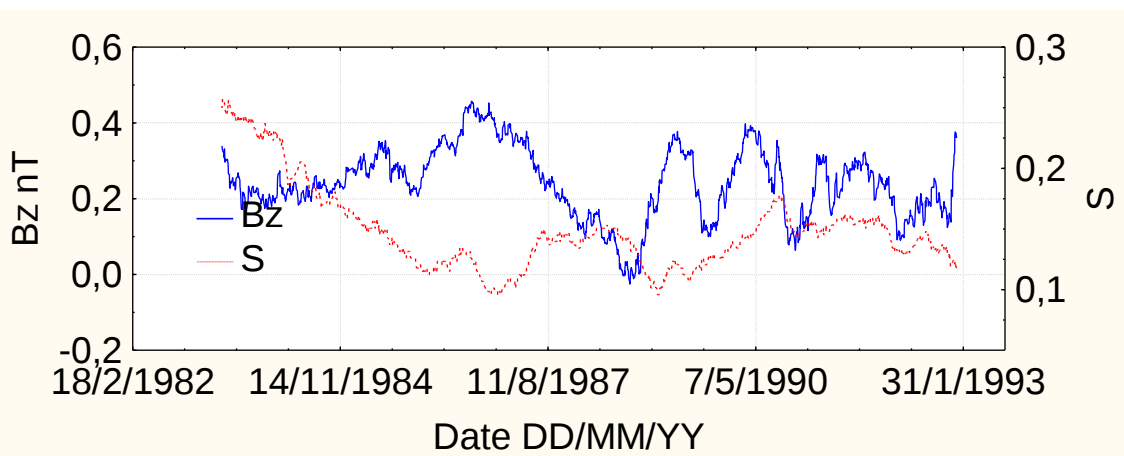
Σχήμα 5.13 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον αριθμό των C-Flares



Σχήμα 5.14 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον αριθμό των X,M - Flares



Σχήμα 5.15 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων



Σχήμα 5.16 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με την συνιστώσα Bz του διαπλανητικού πεδίου

Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται ο αριθμός των περιστατικών αρρυθμιών τύπου S σε συνάρτηση με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Από το σχήμα παρατηρείται ότι η συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων είναι αρνητική για το μεγαλύτερο μέρος του διαστήματος που εξετάζεται. Εξαιρείται η περίοδος από τα μέσα του 1988 έως τα μέσα του 1989, για την οποία η συσχέτιση εμφανίζεται θετική. Παρά την αρνητική συσχέτιση, για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, τα περιστατικά των S αρρυθμιών ενώ εμφανίζουν κάποια αύξηση, ωστόσο διατηρούνται κάτω από τη μέση τιμή των περιστατικών αυτών.

Από το Σχήμα 5.10, το οποίο παρουσιάζει τον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών τύπου S συναρτήσει των τιμών του δείκτη Dst, δεν είναι ευδιάκριτη κάποια συμπεριφορά, παρά μόνο κατά περιόδους. Στις μεγαλύτερες μειώσεις του Dst, όμως, τα περιστατικά των S αρρυθμιών δείχνουν είτε να μειώνονται (από τα μέσα του 1987 έως τα μέσα του 1990) είτε να διατηρούνται σχεδόν σταθερά κάτω από τη μέση τιμή τους (από τα μέσα του 1991 έως τα μέσα του 1992).

Οι μεταβολές του αριθμού των περιστατικών αρρυθμιών τύπου S, σε σχέση με τις μεταβολές του δείκτη Ap, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.11. Από το σχήμα φαίνεται ότι για τις μεγαλύτερες αυξήσεις του δείκτη Ap, τα περιστατικά τύπου S, είτε μειώνονται (τέλη του 1988 με αρχές του 1990) είτε διατηρούνται σταθερά κάτω από τη μέση τιμή τους (από τα μέσα του 1991 έως τα μέσα του 1992), όπως συμβαίνει και με τον δείκτη Dst.

Από το Σχήμα 5.12 είναι ευδιάκριτο ότι κατά το μέγιστο του ηλιακού κύκλου, ο αριθμός των S αρρυθμιών τείνει να είναι μειωμένος σε σχέση με τη μέση τιμή του. Μάλιστα κατά την πρώτη κορυφή του μεγίστου σημειώνεται απότομη μείωση του αριθμού των περιστατικών, ενώ κατά τη δεύτερη κορυφή παρουσιάζει επαναφορά.

Στα Σχήματα 5.13 και 5.14 φαίνεται ότι για μεγάλο αριθμό C Εκλάμψεων και M και X Εκλάμψεων αντίστοιχα, ο αριθμός των περιστατικών S αρρυθμιών μειώνεται ή διατηρείται κάτω από τη μέση τιμή του, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους δείκτες Ap και Dst.

Όμοια συμπεριφορά με τις προηγούμενες παραμέτρους εμφανίζει και ο αριθμός των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων (Σχήμα 5.15), για μεγάλες τιμές του οποίου παρατηρείται μείωση του αριθμού των περιστατικών του υπό εξέταση τύπου αρρυθμιών.

Τέλος για την συνιστώσα Bz και τον αριθμό των S αρρυθμιών (Σχήμα 5.16) δεν είναι εμφανής κάποια σχέση. Όμως τις περισσότερες περιόδους μέσα στο υπό

εξέταση διάστημα, η συσχέτιση φαίνεται αρνητική.

Συνεπώς, οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, η αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα και οι αυξήσεις της γεωμαγνητικής δραστηριότητας, δείχνουν να σχετίζονται με μειώσεις στα περιστατικά του S τύπου αρρυθμιών.

5.2.1.3 Υπερκοιλιακές αρρυθμίες τύπου Ps

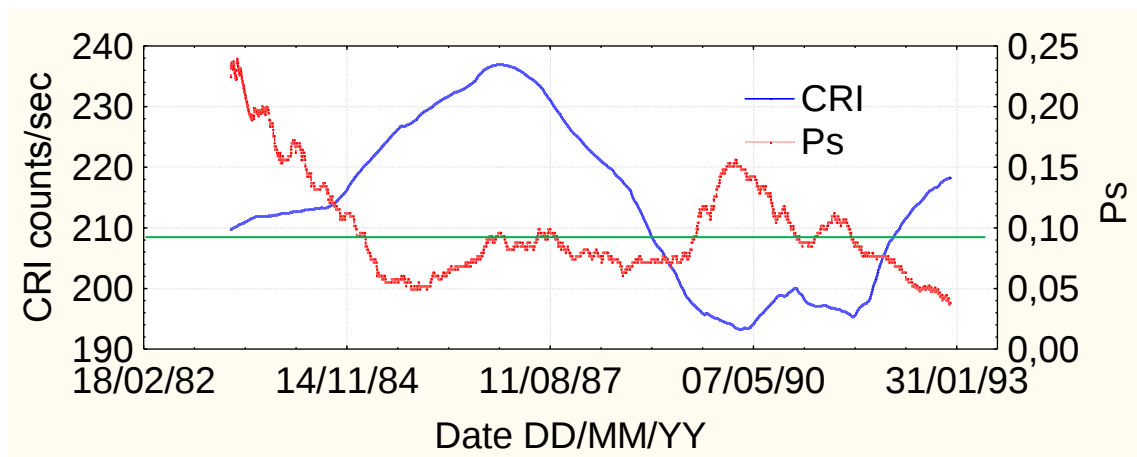
Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των αρρυθμιών τύπου Ps με τις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους (Πίνακας 5.4)

Πίνακας 5.4 Συντελεστές συσχέτισης για τον αριθμό των περιστατικών των αρρυθμιών τύπου Ps (S.L. 95%)

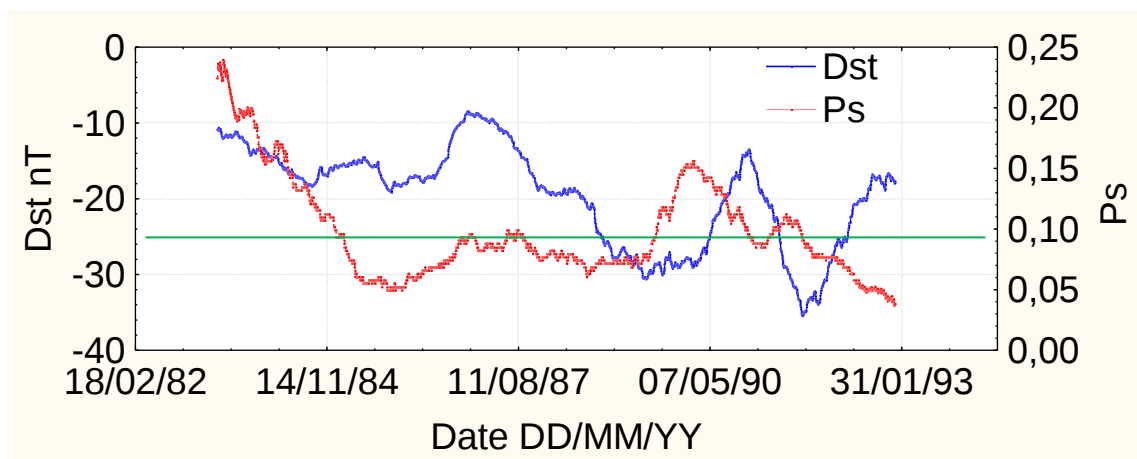
Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
Ps	0.1260	0.2830*	0.0543	0.0857	0.0588	-0.3569*	0.2838*	0.1427
	p=0.000	p=0.00	p=0.001	p=0.000	p=0.004	p=0.00	p=0.00	p=0.000

Από τον Πίνακα, παρατηρείται ότι ο αριθμός των Ps περιστατικών εμφανίζει συσχέτιση με τις C Εκλάμψεις, την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, και τον δείκτη Ap. Η συσχέτιση αυτή προκύπτει θετική, με εξαίρεση την συσχέτιση με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, για την οποία ο συντελεστής είναι και ο μεγαλύτερος ($r = -0.3569$, $p=0.00$).

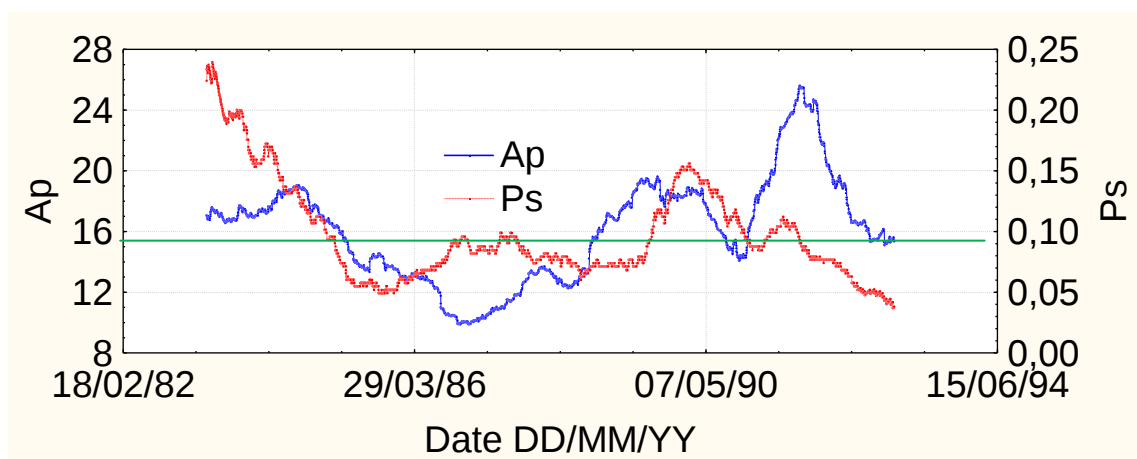
Ακολουθούν τα διαγράμματα (Σχήματα 5.17 έως 5.24) που δείχνουν τον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών τύπου Ps, συναρτήσει της κοσμικής ακτινοβολίας (Σχήμα 5.17), του δείκτη Dst (Σχήμα 5.18), του δείκτη Ap (Σχήμα 5.19), του αριθμού των ηλιακών κηλίδων (Σχήμα 5.20) του αριθμού των C Εκλάμψεων και M και X Εκλάμψεων (Σχήματα 5.21 και 5.22 αντίστοιχα), του αριθμού SPE (Σχήμα 5.23) και τέλος της Bz συνιστώσας του διαπλανητικού πεδίου.



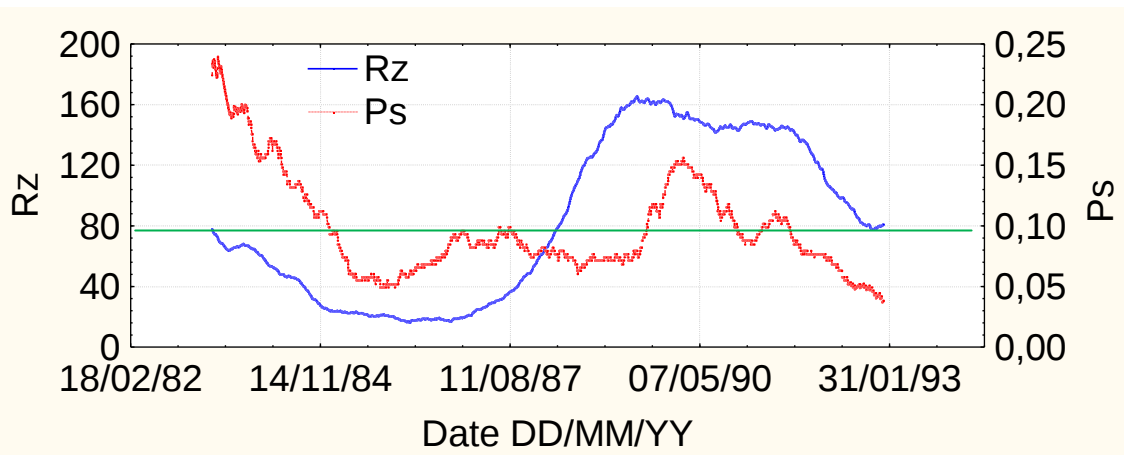
Σχήμα 5.17 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας



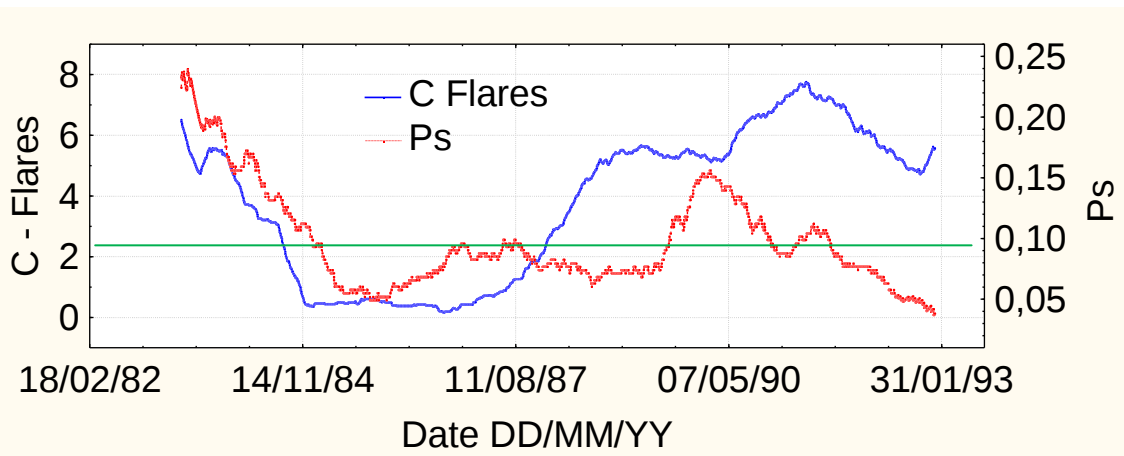
Σχήμα 5.18 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τις μεταβολές του δείκτη Dst



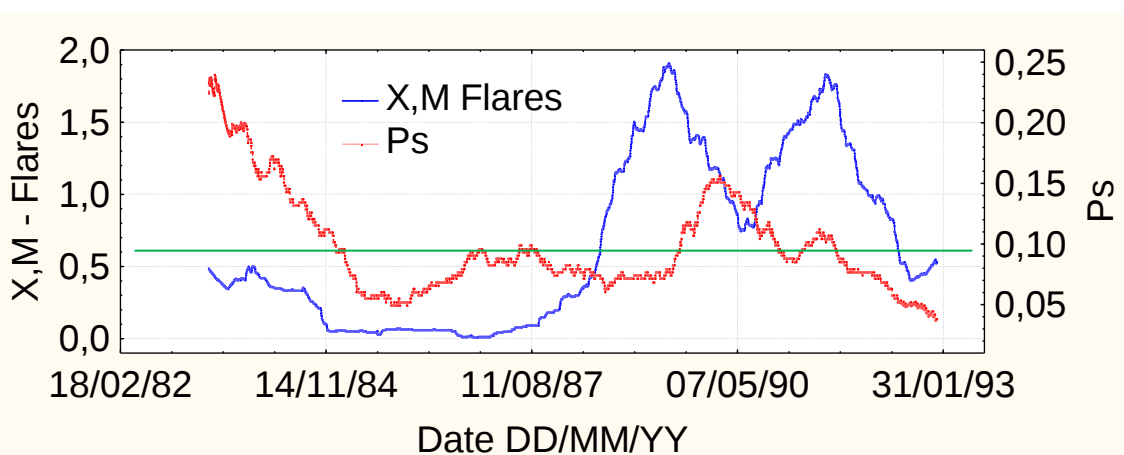
Σχήμα 5.19 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τις μεταβολές του δείκτη Ap



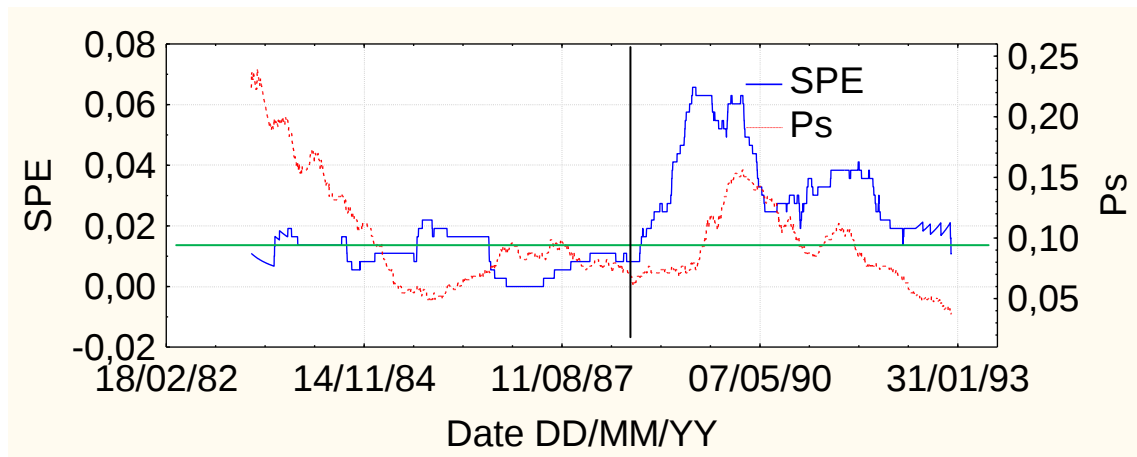
Σχήμα 5.20 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων



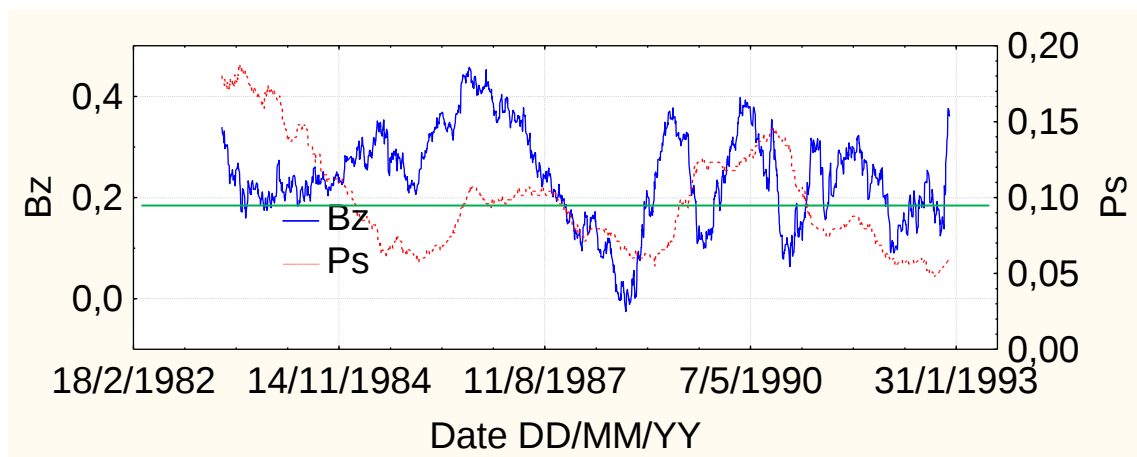
Σχήμα 5.21 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον αριθμό των C - Flares



Σχήμα 5.22 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον αριθμό των M και X-Flares



Σχήμα 5.23 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων



Σχήμα 5.24 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με την Bz συνιστώσα του διαπλανητικού πεδίου

Από το Σχήμα 5.17 παρατηρείται αρνητική συσχέτιση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας με τον αριθμό των Ps αρρυθμιών. Για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, ο αριθμός των Ps αρρυθμιών παρουσιάζει αύξηση. Μάλιστα για τις δύο κορυφές του ελαχίστου της κοσμικής ακτινοβολίας, διακρίνονται δύο αντίστοιχες κορυφές στον αριθμό των Ps αρρυθμιών.

Αντιθέτως, με τον δείκτη Dst δεν διαφαίνεται κάποια σχέση. Από το Σχήμα 5.18 παρατηρείται ότι άλλοτε οι μειώσεις του Dst συνοδεύονται από μείωση του αριθμού των περιστατικών Ps, ενώ άλλοτε από αύξηση.

Οι μεγάλες αυξήσεις του Ap φαίνεται να συνοδεύονται από αυξήσεις του αριθμού των Ps περιστατικών (Σχήμα 5.19), όπως συμβαίνει και με τον αριθμό Rz (Σχήμα 5.20). Η διπλή κορυφή του μεγίστου στον Rz, παρατηρείται και στον αριθμό

των Ps αρρυθμιών, με μια καθυστέρηση λίγων μηνών.

Από τα σχήματα 5.21 και 5.22 παρατηρείται ότι αυξημένος αριθμός των C Εκλάμψεων και των M και X Εκλάμψεων αντίστοιχα, ακολουθείται από αύξηση του αριθμού των περιστατικών που εξετάζονται. Όμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για την συμπεριφορά του αριθμού των Ps αρρυθμιών και με τον αριθμό SPE (Σχήμα 5.23). Η αύξησή τους, δείχνει να ακολουθείται από αύξηση των Ps περιστατικών. Μάλιστα για τις M και X Εκλάμψεις και για τον αριθμό, η διπλή κορυφή που εμφανίζεται στις φυσικές παραμέτρους, δείχνει να εμφανίζεται και στον αριθμό των Ps αρρυθμιών.

Τέλος, η όποια συμπεριφορά του αριθμού των Ps περιστατικών με την Bz συνιστώσα του διαπλανητικού πεδίου δεν είναι ευδιάκριτη. Ως επί το πλείστον, για τις μεγάλες αυξήσεις της συνιστώσας Bz του διαπλανητικού πεδίου παρατηρείται αύξηση στον αριθμό των αρρυθμιών τύπου Ps.

Συνοψίζοντας, οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, και η αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα δείχνουν να σχετίζονται με αύξηση του αριθμού των περιστατικών αρρυθμιών τύπου Ps. Η διπλή κορυφή που εμφανίζεται στις φυσικές παραμέτρους, δείχνει να εμφανίζεται και στον αριθμό των Ps αρρυθμιών, όπως και στον συνολικό αριθμό των αρρυθμιών. Αντιστροφή στη συσχέτιση παρατηρείται μόνο για την παράμετρο SPE.

5.2.1.4 Κοιλιακές αρρυθμίες τύπου V1

Οι συντελεστές συσχέτισης των αρρυθμιών τύπου V1, με τις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους, όπως αυτοί υπολογίστηκαν κατόπιν της εξομάλυνσης των τιμών, παρατίθενται στον Πίνακα 5.5.

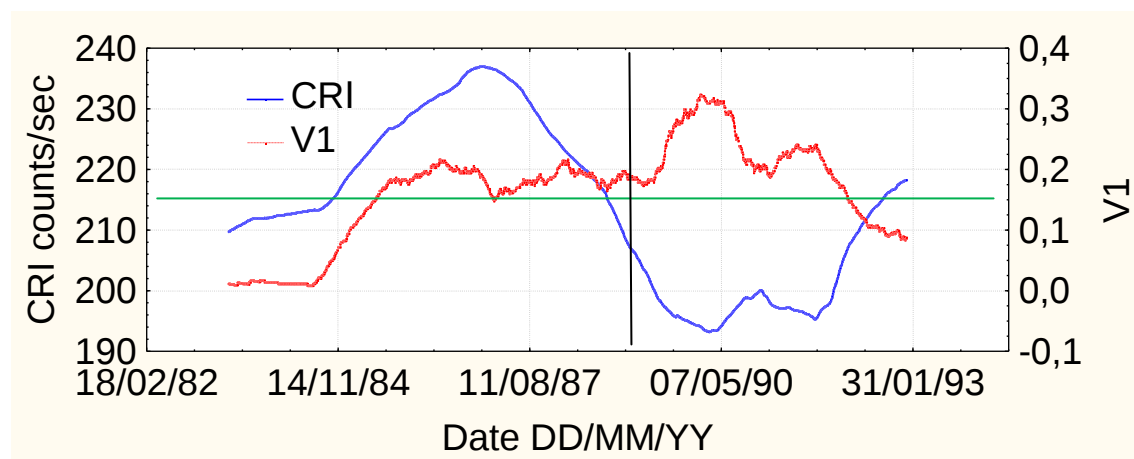
Πίνακας 5.5 Συντελεστές συσχέτισης για τον αριθμό των περιστατικών των αρρυθμιών τύπου V₁ (S.L. 95%)

Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
V1	0.4794*	0.1508	0.4190*	0.5287*	0.0492	-0.2600*	-0.0010	-0.5116*
	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.017	p=0.00	p=0.954	p=0.00

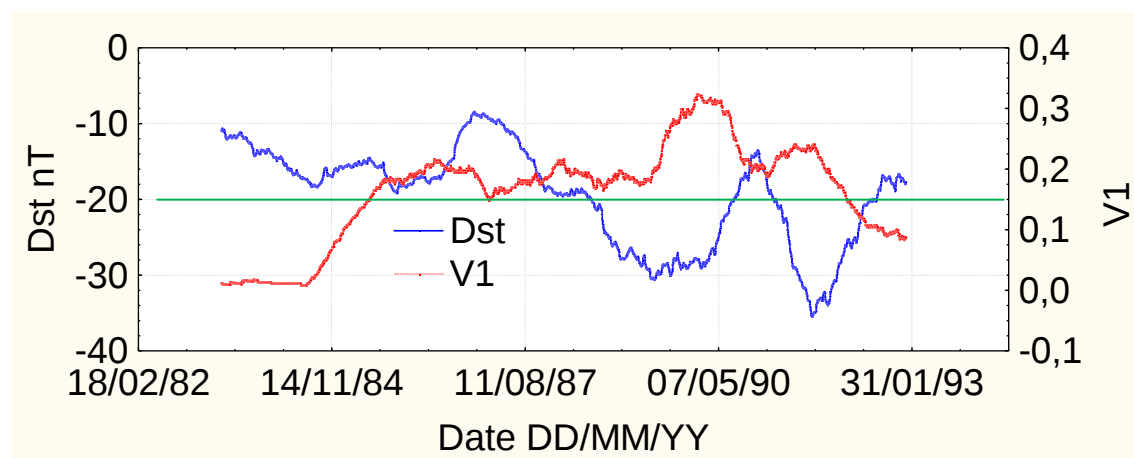
Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι οι V1 αρρυθμίες εμφανίζουν σημαντική συσχέτιση με όλες τις παραμέτρους εκτός του Ap δείκτη, των C Εκλάμψεων και του αριθμού SPE. Μάλιστα οι συντελεστές στην περίπτωση αυτή είναι μεγαλύτεροι απ' ότι για τους τύπους S, Ps αλλά και για το συνολικό αριθμό των περιστατικών.

Ο μεγαλύτερος συντελεστής εμφανίζεται για τον αριθμό των SPE και μάλιστα είναι μεγαλύτερος από 0.50 ($r = 0.5287$, $p = 0.00$). Αυτό σημαίνει πως ο τύπος V1 και ο αριθμός των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων συσχετίζονται καλά.

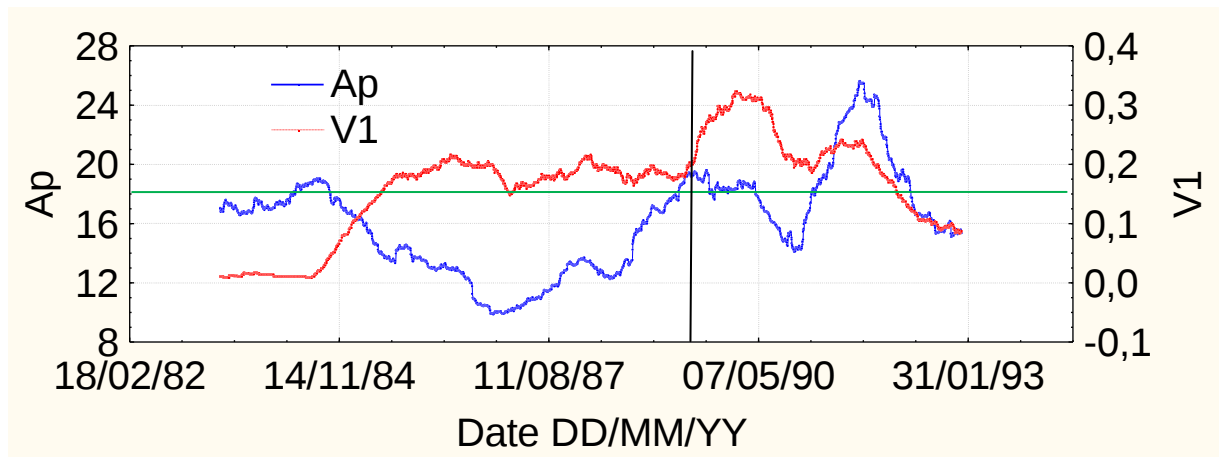
Ακολουθούν τα διαγράμματα (Σχήματα 5.25 έως 5.32) που παρουσιάζουν τον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών τύπου V1, συναρτήσει των προαναφερθεισών φυσικών παραμέτρων, μετά την εφαρμογή της μεθόδου εξομάλυνσης των τιμών για 365 ημέρες.



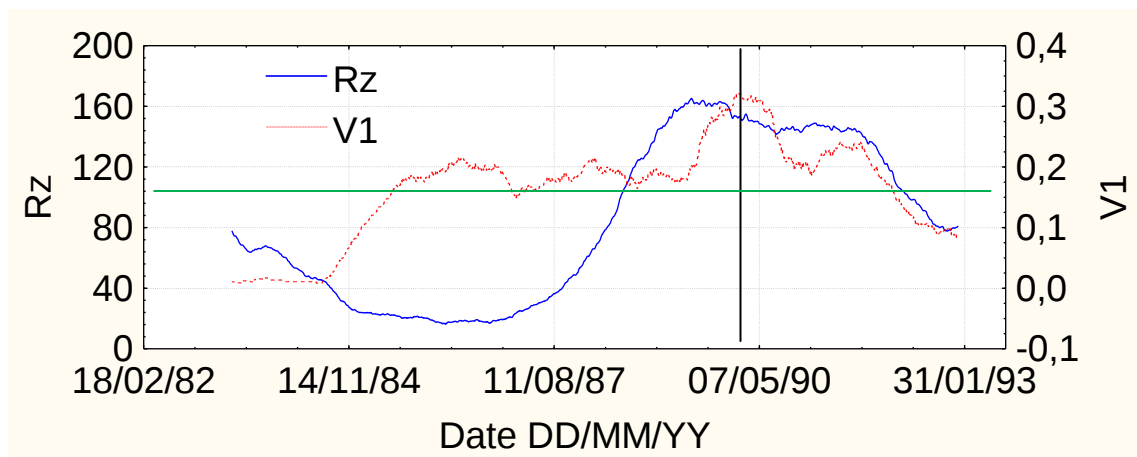
Σχήμα 5.25 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας



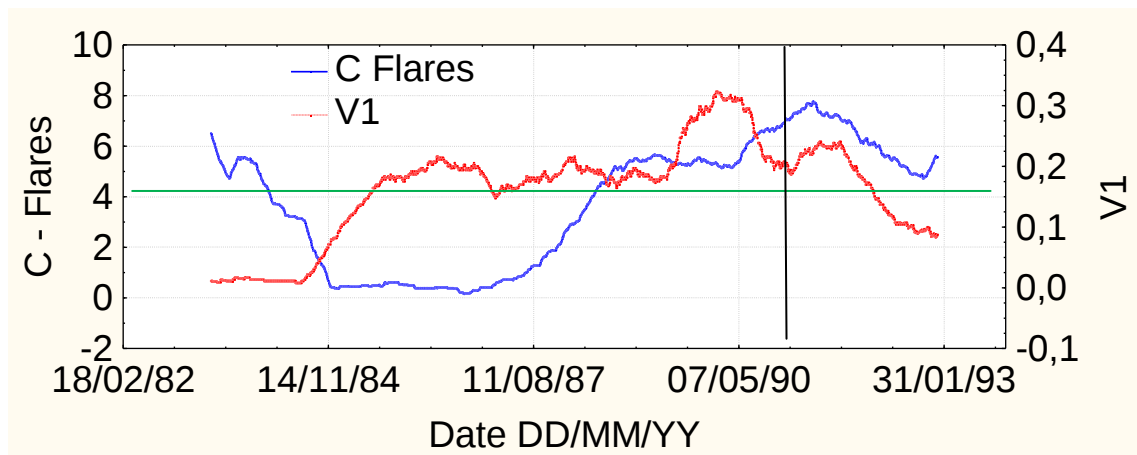
Σχήμα 5.26 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τις μεταβολές του δείκτη Dst



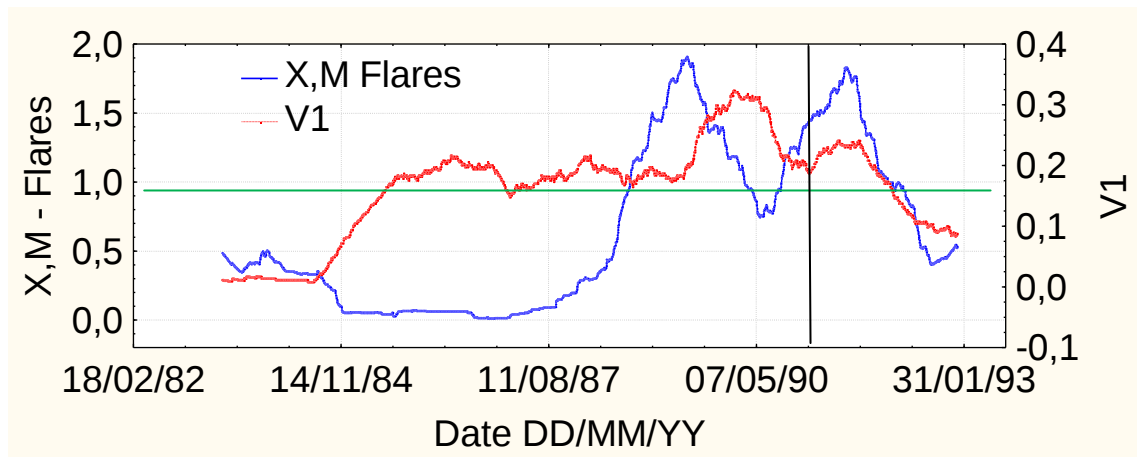
Σχήμα 5.27 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τις μεταβολές του δείκτη Ap



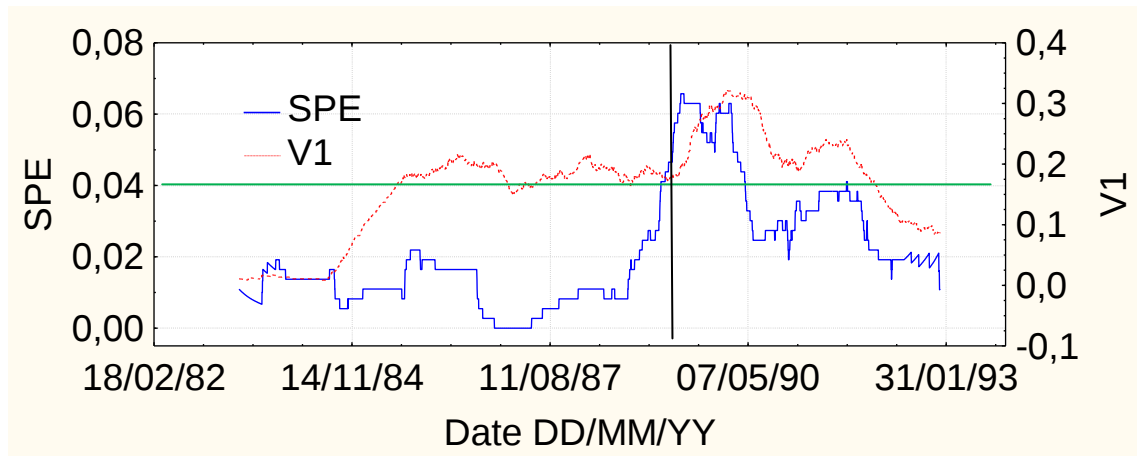
Σχήμα 5.28 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων



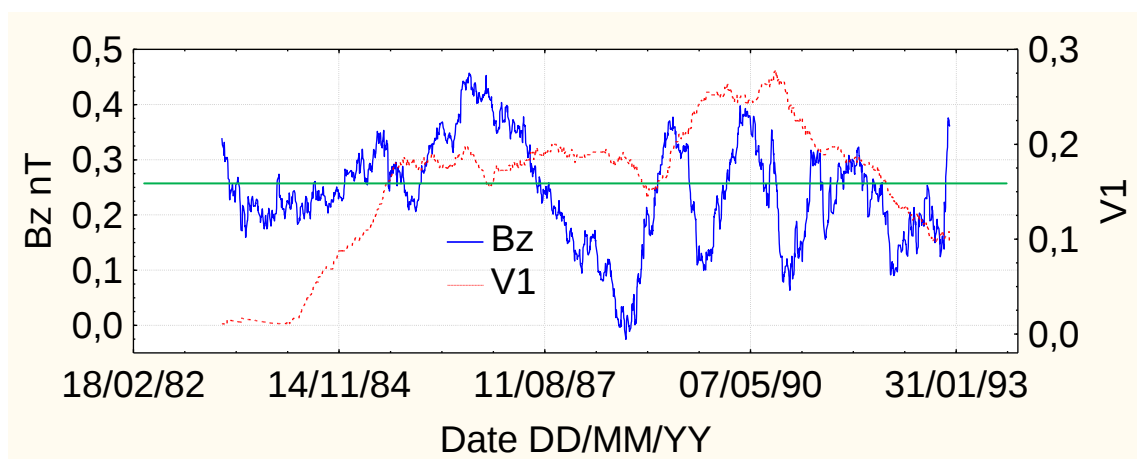
Σχήμα 5.29 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον αριθμό των C-Flares



Σχήμα 5.30 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον αριθμό των M και X- Flares



Σχήμα 5.31 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων



Σχήμα 5.32 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με την συνιστώσα Bz του διαπλανητικού πεδίου

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.25, στο οποίο παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού των V1 αρρυθμιών σε σχέση με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας, η συσχέτιση μεταξύ των δύο παραμέτρων δείχνει θετική μέχρι τα μέσα του 1989 ενώ στη συνέχεια δείχνει αρνητική. Για τις μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρείται αύξηση των περιστατικών σε σχέση με τη μέση τιμή τους. Η διπλή κορυφή που εμφανίζεται στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρείται και στον αριθμό των V1 αρρυθμιών.

Για τον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών τύπου V1 σε σχέση με τον δείκτη Dst (Σχήμα 5.26) παρατηρείται αρνητική συσχέτιση σε όλο το χρονικό διάστημα από το 1983 έως το 1993. Οι μεγάλες μειώσεις του δείκτη Dst φαίνεται να συνοδεύονται από αύξηση των περιστατικών.

Στο Σχήμα 5.27 παρουσιάζεται ο αριθμός των περιστατικών αρρυθμιών τύπου V1 συναρτήσει του δείκτη Ap. Οι δύο παράμετροι, δείχνουν να εμφανίζουν θετική συσχέτιση μέχρι τις αρχές του 1990, ενώ στη συνέχεια η συσχέτιση αυτή δείχνει αρνητική. Την περίοδο κατά την οποία σημειώνεται μεγάλη αύξηση του δείκτη Ap, παρατηρείται και αυξημένος αριθμός των περιστατικών. Η διπλή κορυφή που εμφανίζεται στον δείκτη Ap παρατηρείται και στον αριθμό των V1 αρρυθμιών.

Όμοια συμπεριφορά του αριθμού των περιστατικών αρρυθμιών τύπου V1 παρατηρείται και με τον Rz (Σχήμα 5.28). Τα περιστατικά τείνουν να είναι αυξημένα κατά το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας. Μάλιστα, η διπλή κορυφή στο μέγιστο του ηλιακού κύκλου φαίνεται να εμφανίζεται και στον αριθμό των V1 αρρυθμιών, λίγους μήνες αργότερα.

Οι ισχυρές εκλάμψεις (C Εκλάμψεις και M και X Εκλάμψεις, Σχήματα 5.29 και 5.30 αντίστοιχα) εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με τον αριθμό των V1 αρρυθμιών μέχρι τις αρχές του 1990, ενώ στη συνέχεια η συσχέτιση αυτή εμφανίζεται θετική. Αυξημένος αριθμός V1 αρρυθμιών εμφανίζεται στις μεγάλες αυξήσεις του αριθμού των C Εκλάμψεων και M και X Εκλάμψεις. Η διπλή κορυφή που εμφανίζουν οι M και X Εκλάμψεις εμφανίζεται και στον αριθμό των V1 αρρυθμιών, με χρονική καθυστέρηση λίγων μηνών.

Ο αριθμός των SPE και ο αριθμός των V1 αρρυθμιών (Σχήμα 5.31), εμφανίζουν θετική συσχέτιση σε όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα. Ο αυξημένος αριθμός των SPE από αύξηση στον αριθμό των αρρυθμιών του συγκεκριμένου τύπου. Μάλιστα η διπλή κορυφή παρατηρείται και στις δύο παραμέτρους.

Η συμπεριφορά του αριθμού των V1 αρρυθμιών συναρτήσει της Bz

συνιστώσας του διαπλανητικού πεδίου δεν είναι ευδιάκριτη. Κατά τις μεγάλες μειώσεις της Bz παρατηρείται αύξηση των περιστατικών αρρυθμιών τύπου V1.

Συμπερασματικά, τα περιστατικά V1 εμφανίζουν σημαντική συσχέτιση με τις περισσότερες φυσικές παραμέτρους που εξετάζονται. Φαίνεται ότι η αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα συνδέονται με αυξήσεις του αριθμού των περιστατικών αυτών. Οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας, ο αυξημένος αριθμός των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων αλλά και των ισχυρών εκλάμψεων δείχνουν να σχετίζονται με αυξημένη εμφάνιση των αρρυθμιών του συγκεκριμένου τύπου.

Παρατηρείται και στην περίπτωση αυτή όπως και στον συνολικό αριθμό των αρρυθμιών αντιστροφή της συσχέτισης φυσικών και φυσιολογικών παραμέτρων την περίοδο της αντιστροφής της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου.

Επίσης, και για τις αρρυθμίες τύπου V1, παρατηρείται το διπλό μέγιστο που εμφανίζεται και στην ηλιακή δραστηριότητα (Rz) αλλά και στον δείκτη Ap και στις M και X Εκλάμψεις και στον αριθμό των SPE. Το διπλό μέγιστο των V1 αρρυθμιών εμφανίζεται και κατά το διπλό ελάχιστο στην ένταση ελάχιστο της κοσμικής ακτινοβολίας.

5.2.1.5 Κουλιακές αρρυθμίες τύπου Vm

Στην προσπάθεια αναζήτησης πιθανής συσχέτισης μεταξύ του αριθμού των περιστατικών αρρυθμιών τύπου Vm και των φυσικών παραμέτρων που έχουν προαναφερθεί, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6

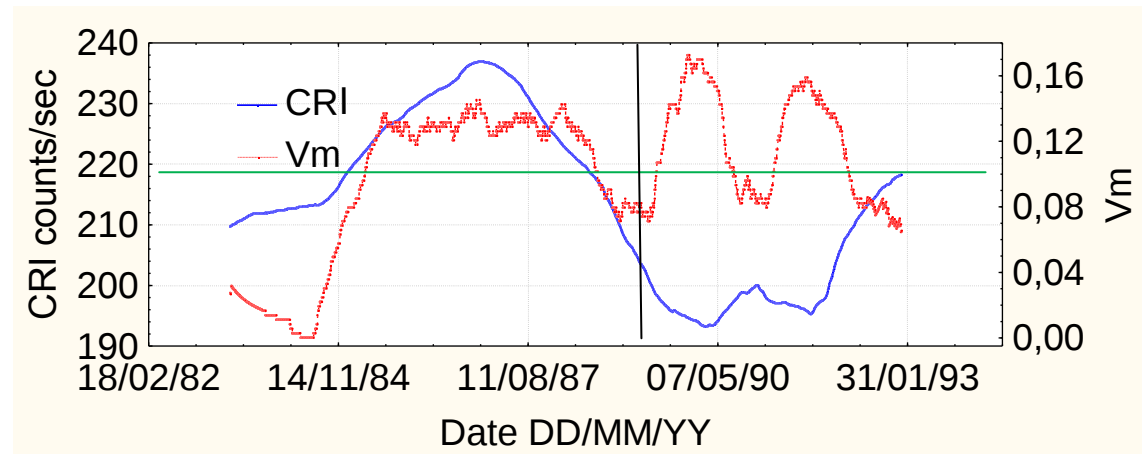
Πίνακας 5.6 Συντελεστές συσχέτισης για τον αριθμό των περιστατικών των αρρυθμιών τύπου Vm (S.L. 95%)

Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
Vm	0.1598	-0.1127	0.1387	0.2679*	0.1178	0.0457	-0.1326	-0.3465*
	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.007	p=0.00	p=0.00

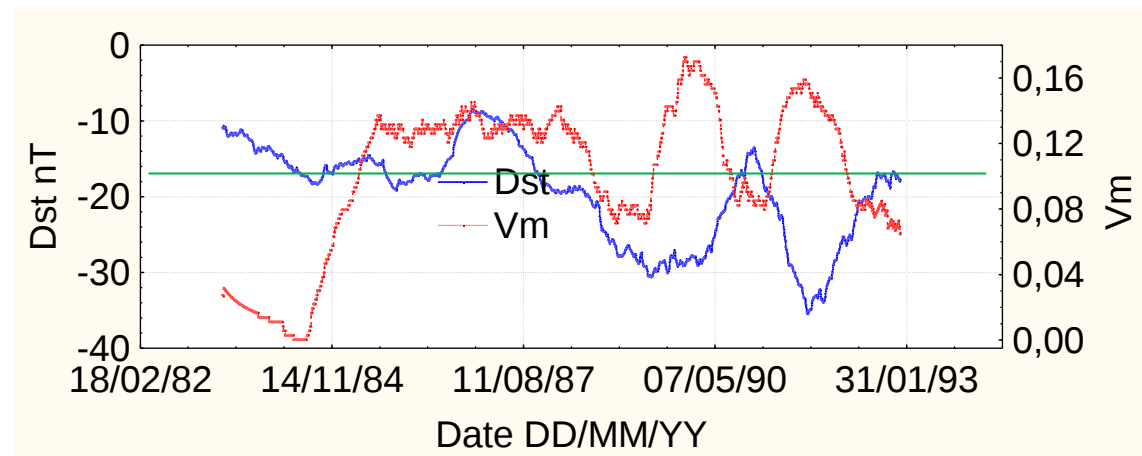
Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι ο αριθμός των περιστατικών τύπου Vm παρουσιάζει συσχέτιση με τον αριθμό SPE ($r = 0.2679$, $p=0.00$) και με τον

δείκτη Dst ($r = -0.3465$, $p = 0.00$).

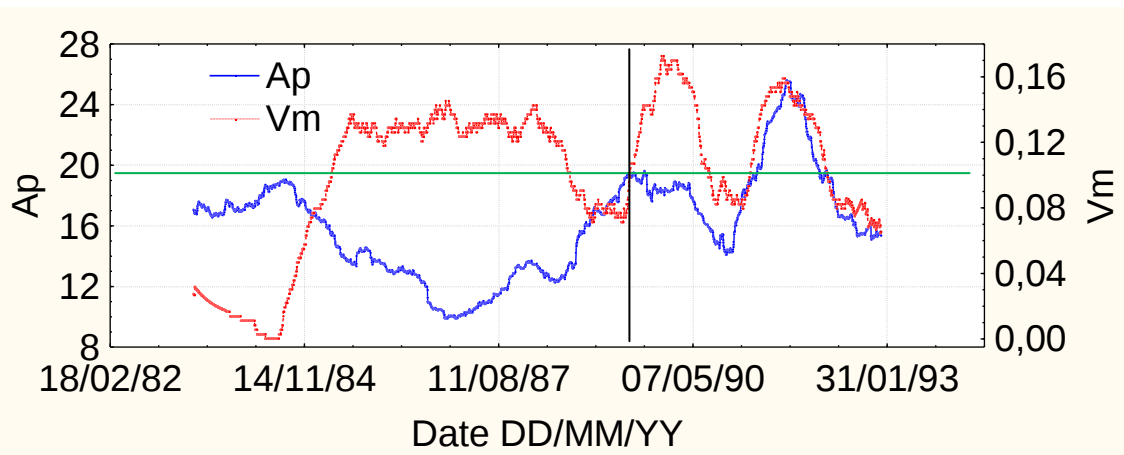
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα στα οποία παριστάνεται ο αριθμός των περιστατικών αρρυθμιών τύπου Vm, συναρτήσει των προαναφερθεισών φυσικών παραμέτρων, κατόπιν της εξομάλυνσης των τιμών (Σχήματα 5.33 έως 5.40).



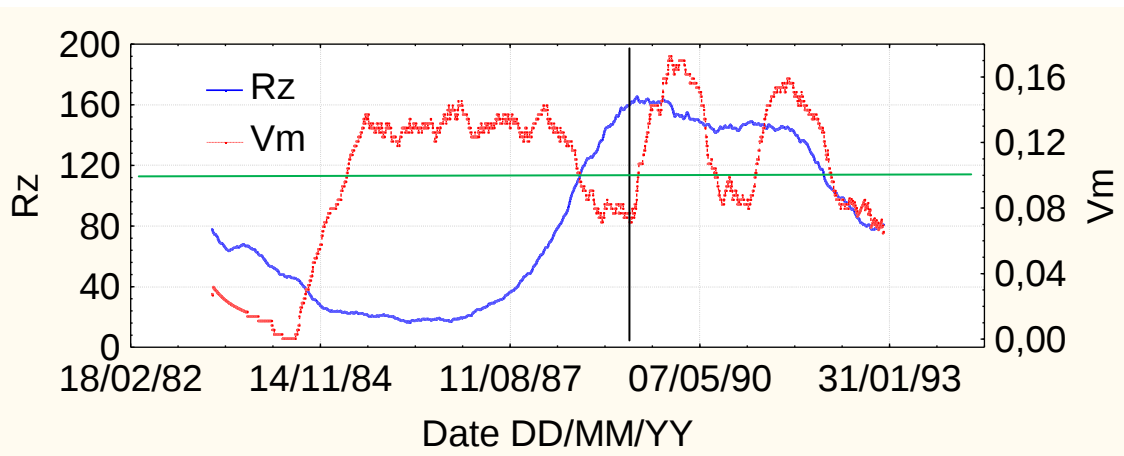
Σχήμα 5.33 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τις μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας



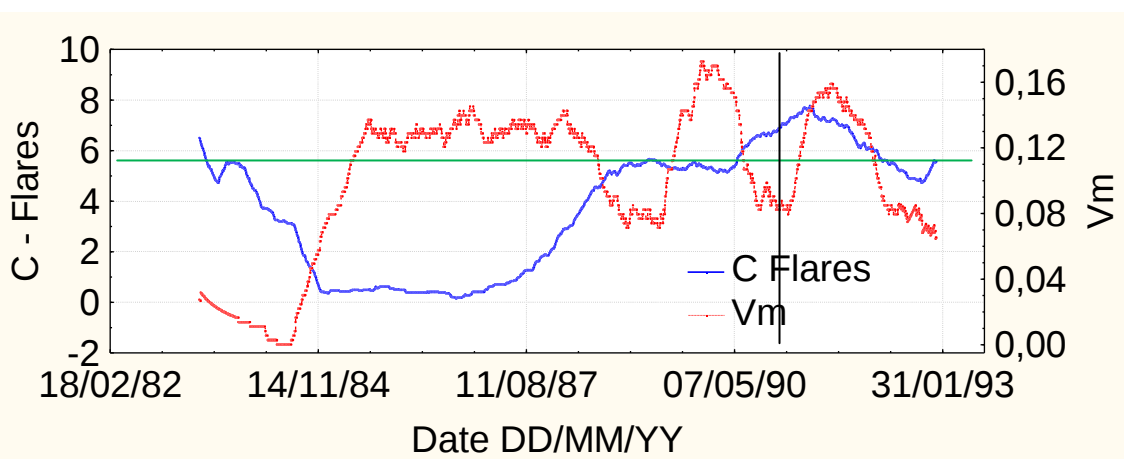
Σχήμα 5.34 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τις μεταβολές του δείκτη Dst



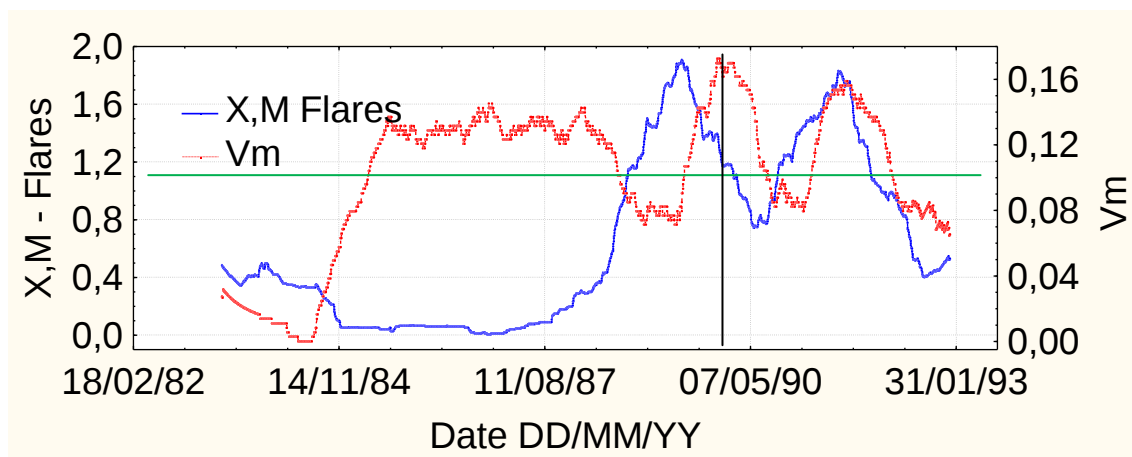
Σχήμα 5.35 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τις μεταβολές του δείκτη Ap



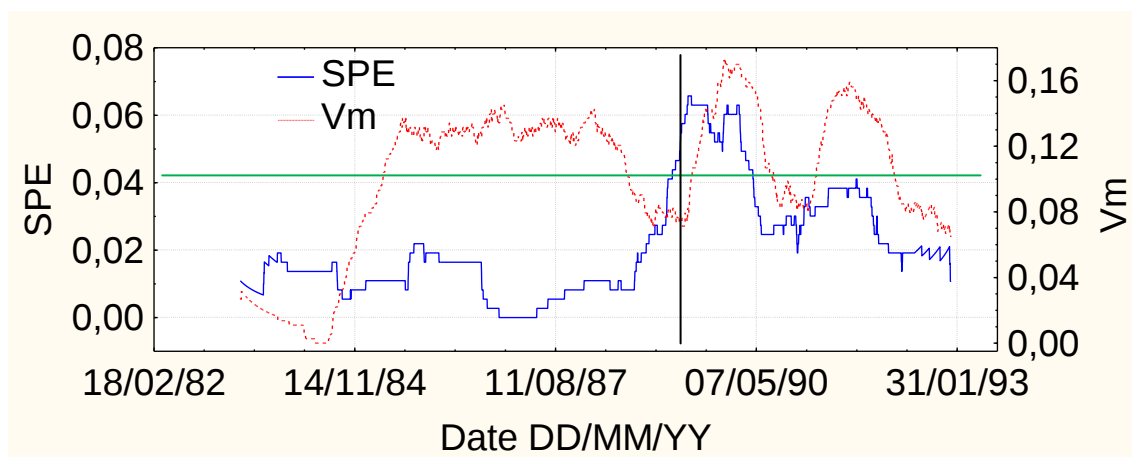
Σχήμα 5.36 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων



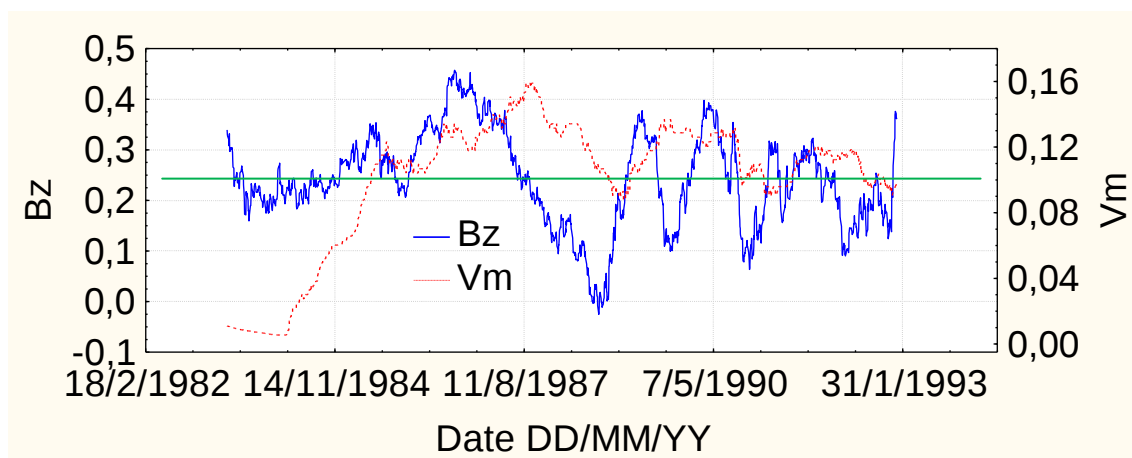
Σχήμα 5.37 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον αριθμό των C - Flares



Σχήμα 5.38 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον αριθμό των M και X - Flares



Σχήμα 5.39 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων



Σχήμα 5.40 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με την Bz συνιστώσα του διαπλανητικού πεδίου

Στο Σχήμα 5.33 παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού των περιστατικών Vm αρρυθμιών, συναρτήσει των μεταβολών της κοσμικής ακτινοβολίας. Παρατηρείται ότι οι δύο παράμετροι εμφανίζουν θετική συσχέτιση μέχρι τα μέσα του 1989, ενώ στη συνέχεια η συσχέτισή τους γίνεται αρνητική. Κατά τις μεγάλες μειώσεις στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρείται αυξημένος αριθμός περιστατικών. Η διπλή κορυφή που εμφανίζεται στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας παρατηρείται και στον αριθμό των Vm αρρυθμιών.

Ο δείκτης Dst δείχνει να συσχετίζεται αρνητικά με τον αριθμό των Vm περιστατικών, καθ' όλη την υπό μελέτη χρονική περίοδο (Σχήμα 5.34).

Στο Σχήμα 5.35 παρουσιάζονται οι μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm σε σχέση με τις μεταβολές του δείκτη Ap. Φαίνεται ότι η συσχέτιση των δύο παραμέτρων είναι αρνητική μέχρι τα τέλη του 1989, ενώ στη συνέχεια μέχρι και το 1993 δείχνει θετική. Οι μεγάλες αυξήσεις του Ap δείκτη εμφανίζονται με ταυτόχρονη αύξηση των περιστατικών των αρρυθμιών τύπου Vm. Η διπλή κορυφή που εμφανίζεται στον Ap δείκτη παρατηρείται και στον αριθμό των Vm αρρυθμιών.

Η συσχέτιση του αριθμού των ηλιακών κηλίδων με τα περιστατικά των Vm αρρυθμιών δείχνει αρνητική από το 1984 ως το 1989, ενώ στη συνέχεια, μέχρι και το τέλος του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος, η συσχέτιση δείχνει θετική. Κατά το μέγιστο του κύκλου παρατηρείται αυξημένος αριθμός των περιστατικών. Η διπλή κορυφή στο μέγιστο του ηλιακού κύκλου φαίνεται να εμφανίζεται και στον αριθμό των Vm αρρυθμιών, λίγους μήνες αργότερα.

Στα Σχήματα 5.37 και 5.38 παρουσιάζεται ο αριθμός των Vm περιστατικών συναρτήσει του αριθμού των C Εκλάμψεων και M και X Εκλάμψεων αντίστοιχα. Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά η συσχέτιση των συγκεκριμένων περιστατικών με τον αριθμό των C Εκλάμψεων είναι αρνητική από το 1984 έως τις αρχές του 1991, ενώ στη συνέχεια δείχνει θετική μέχρι και το τέλος της περιόδου που εξετάζεται, όπως συμβαίνει και με τον αριθμό των M και X Εκλάμψεων, με τη διαφορά ότι η θετική συσχέτιση φαίνεται να ξεκινά από τις αρχές του 1990. Κατά τις μεγάλες αυξήσεις των C Εκλάμψεων και M και X Εκλάμψεων παρατηρείται αυξημένος αριθμός των περιστατικών. Η διπλή κορυφή που εμφανίζουν οι M και X Εκλάμψεις εμφανίζεται και στον αριθμό των Vm αρρυθμιών, με χρονική καθυστέρηση λίγων μηνών.

Από το Σχήμα 5.39, στο οποίο παριστάνεται ο αριθμός των Vm περιστατικών σε σχέση με τον αριθμό των SPE, φαίνεται οι δύο παράμετροι να συσχετίζονται

αρνητικά μέχρι τα μέσα του 1989, ενώ στη συνέχεια θετικά μέχρι και το τέλος του 1993. Παρατηρείται αυξημένος αριθμός των περιστατικών κατά τις αυξήσεις των SPE. Η διπλή κορυφή που εμφανίζει ο αριθμός SPE, εμφανίζεται και στον αριθμό των Vm αρρυθμιών, με χρονική καθυστέρηση λίγων μηνών.

Τέλος, η Bz συνιστώσα του διαπλανητικού πεδίου δείχνει να συσχετίζεται εν γένει αρνητικά με τον αριθμό των Vm αρρυθμιών για όλο το διάστημα (Σχήμα 5.40), εκτός από μερικά μικρά διαστήματα για τα οποία η συσχέτιση δείχνει θετική.

Συνολικά, ο αριθμός των περιστατικών αρρυθμιών τύπου Vm εμφανίζει σημαντική συσχέτιση με τις περισσότερες απ' τις εξεταζόμενες φυσικές παραμέτρους. Οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας και η αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα φαίνεται ότι συνδέονται με αυξήσεις αυτών των περιστατικών. Παρατηρείται και στην περίπτωση αυτή το διπλό μέγιστο που εμφανίζουν και οι φυσικές παράμετροι Rz, Ap, SPE (η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας εμφανίζει διπλή κορυφή στο ελάχιστο). Επίσης παρουσιάζεται και για τον αριθμό των Vm αρρυθμιών η αντιστροφή της συσχέτισης, την χρονική περίοδο κατά την οποία συμβαίνει η αντιστροφή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου.

5.2.2 Ανάλυση σε μηνιαία βάση

Με τη μέθοδο της εξομάλυνσης των τιμών για 365 ημέρες έγινε μια πρώτη μελέτη της πιθανής επίδρασης των μεταβολών στις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους στον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών συγκεκριμένων τύπων και στο σύνολό τους και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Με τη μέθοδο αυτή όμως, εξαλείφονται τα μεγάλα γεγονότα, όπως για παράδειγμα οι γεωμαγνητικές καταιγίδες (μειώσεις του δείκτη Dst κάτω από -40 nT). Για τον λόγο αυτό, έγινε εξομάλυνση των τιμών για 30 ημέρες (1 μήνας), ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του αριθμού των περιστατικών των αρρυθμιών συγκριτικά με τις μεγάλες μεταβολές στις προαναφερθείσες φυσικές παραμέτρους. Για το σκοπό αυτό, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του αριθμού των περιστατικών και των τιμών των φυσικών παραμέτρων και κατασκευάστηκαν και τα αντίστοιχα διαγράμματα. Οι συντελεστές συσχέτισης που προέκυψαν, περιλαμβάνονται στον Πίνακα 5.7

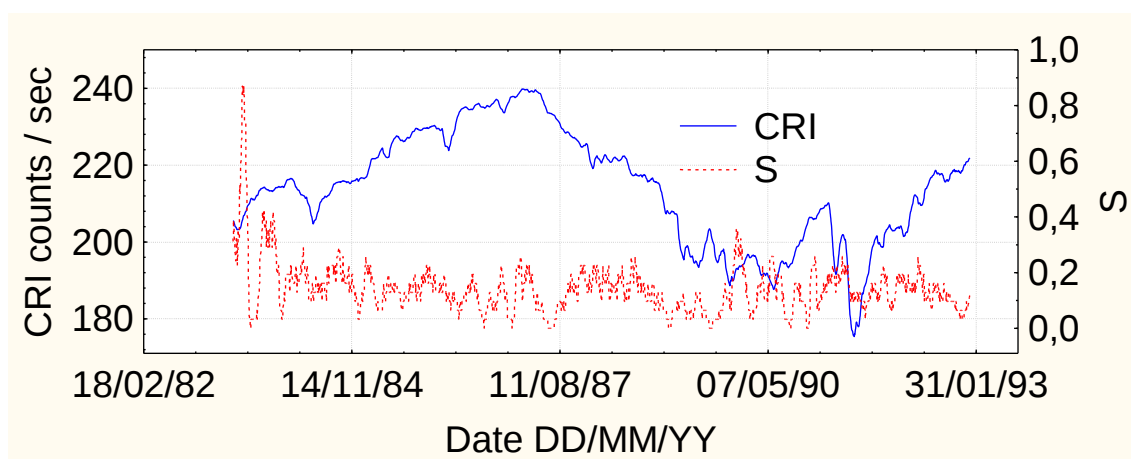
Πίνακας 5.7 Συντελεστές συσχέτισης (S.L. 95%)

	Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
	Total	0.1503	0.0866	0.0832	0.1447	0.0717	-0.1971	0.1645	-0.2465*
		p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.001	p=0.00	p=0.00	p=0.00
Υπερκου- λιακές	S	-0.0946	0.0956	-0.0791	-0.0247	-0.0218	-0.0624	0.0793	0.0492
		p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.142	p=0.292	p=0.000	p=0.000	p=0.003
	Ps	0.0533	0.1521	0.0373	0.0627	0.0957	-0.1924	0.1999	-0.1056
		p=0.001	p=0.00	p=0.027	p=0.000	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000
Κουλιακές	V1	0.3014*	0.0762	0.1909	0.2174*	0.0340	-0.2192*	0.1407	-0.3374*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.101	p=0.00	p=0.000	p=0.00
	Vm	0.0621	-0.1160	0.0225	0.0780	0.0258	-0.0018	-0.0066	-0.1910
		p=0.000	p=0.000	p=0.181	p=0.000	p=0.212	p=0.917	p=0.694	p=0.00

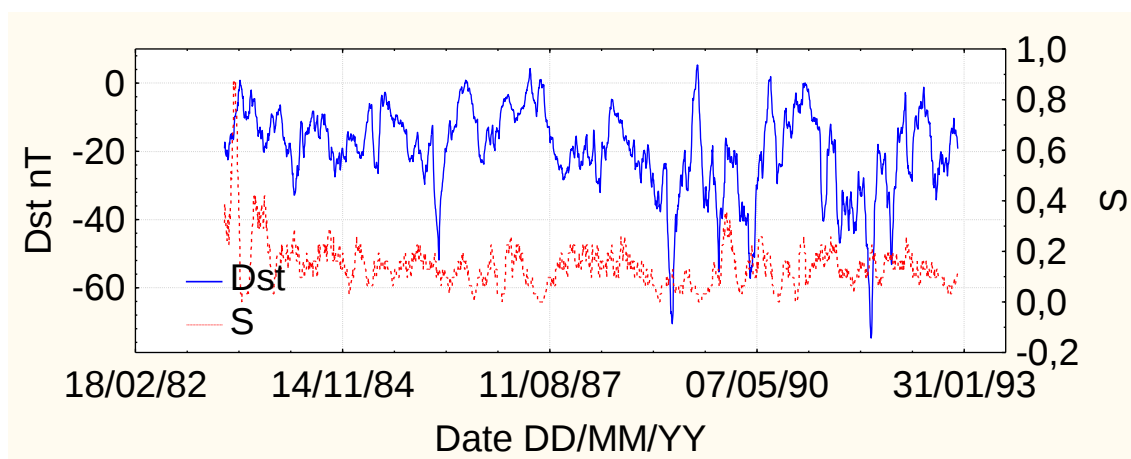
Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι συσχέτιση παρουσιάζουν μόνο ο συνολικός αριθμός των αρρυθμιών και οι αρρυθμίες τύπου V1 με τον δείκτη Dst. Η συσχέτιση με τον Dst είναι αρνητική, που σημαίνει πως μειώσεις του συνδέονται με αυξήσεις στον συνολικό αριθμό των αρρυθμιών και στις αρρυθμίες τύπου V1. Οι τύπου V1 αρρυθμίες εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση και με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, ενώ σχετίζονται θετικά και με τον αριθμό SPE (αύξηση του αριθμού των SPE συνδέεται με αυξήσεις των περιστατικών τύπου V1 αρρυθμιών). Οι συντελεστές στην περίπτωση αυτή προκύπτουν μικρότεροι από τους αντίστοιχους για εξομάλυνση 365 ημερών. Η μεγαλύτερη συσχέτιση που παρατηρείται, για εξομάλυνση 30 ημερών μεταξύ V1 και Dst και έχει τιμή $r = -0.3374$, $p=0.00$. Μια πιθανή αιτία είναι ότι η εξομάλυνση σε μηνιαία βάση ανέδειξε περισσότερο την χρονική υστέρηση (time lag) των αρρυθμιών, απ' ότι η εξομάλυνση σε ετήσια βάση, με αποτέλεσμα οι συντελεστές συσχέτισης να είναι μικρότεροι. Η δυσκολία στον προσδιορισμό της χρονικής υστέρησης έγκειται στο ότι το υπό μελέτη χρονικό διάστημα ανήκει σε δύο ηλιακούς κύκλους, κατά τους οποίους η χρονική υστέρηση μεταξύ των παραμέτρων διαφέρει σημαντικά (Πίνακας 5.16).

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα που παριστάνουν τις μεταβολές στον αριθμό των αρρυθμιών για όλους τους τύπους, συναρτήσει των μεταβολών στις φυσικές παραμέτρους που μελετώνται.

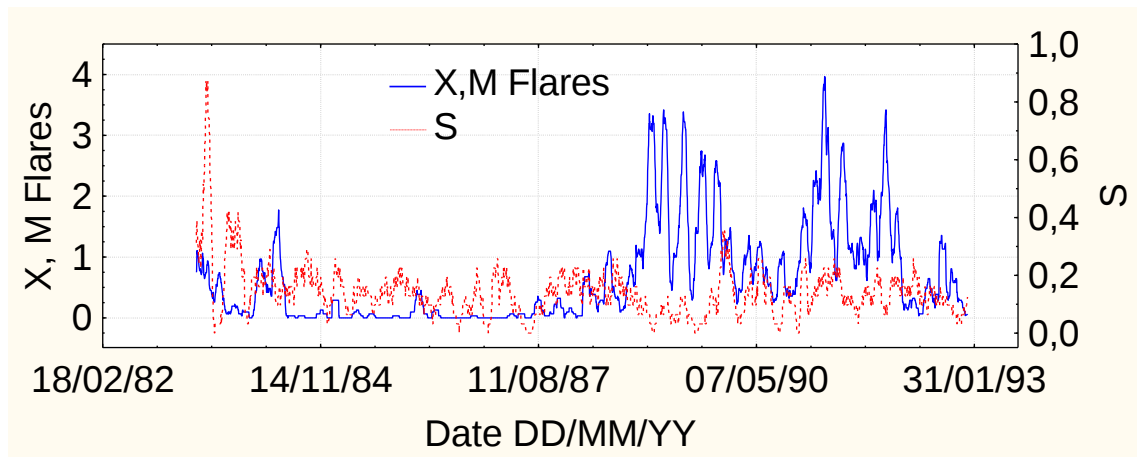
Στα σχήματα 5.41 έως 5.44, παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβολές των S τύπου αρρυθμιών με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, τον δείκτη Dst, τον αριθμό των M και X Εκλάμψεων και τον αριθμό Rz. Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι οι S τύπου αρρυθμίες δεν εμφανίζουν μεγάλες μεταβολές με τις μεταβολές των φυσικών παραμέτρων. Πράγματι παρατηρείται ότι ακόμη και στις μεγάλες μεταβολές των παραμέτρων αυτών, ο αριθμός των περιστατικών τύπου S δεν μεταβάλλεται σημαντικά.



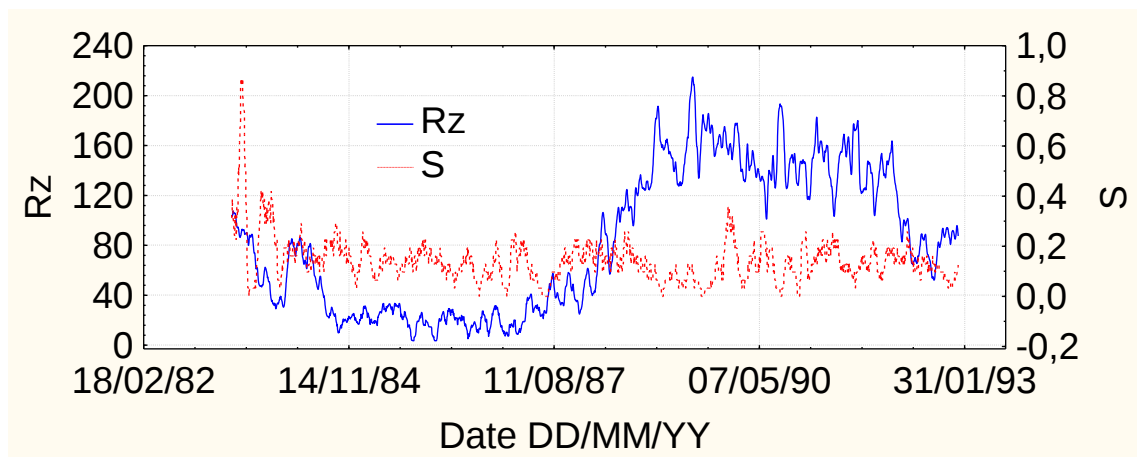
Σχήμα 5.41 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας



Σχήμα 5.42 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον δείκτη Dst

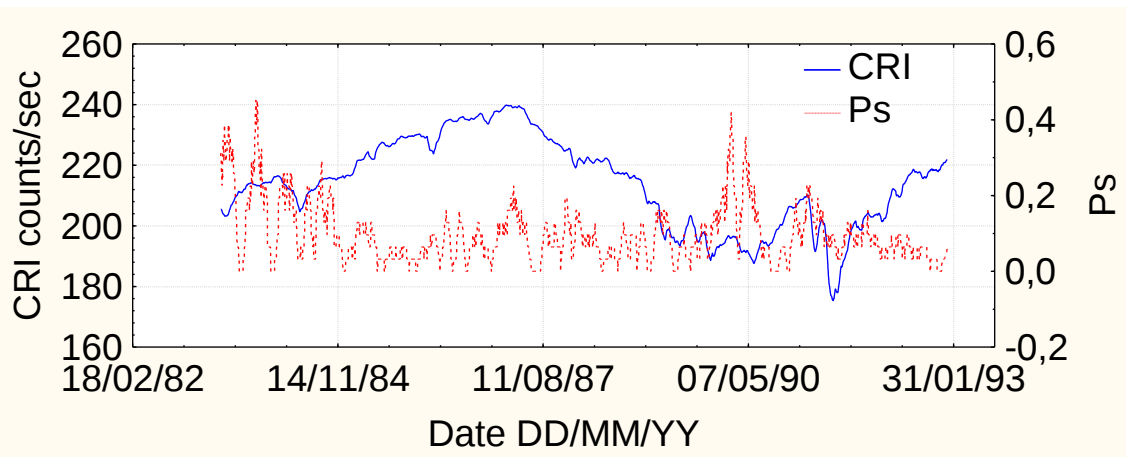


Σχήμα 5.43 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον αριθμό των X,M Flares

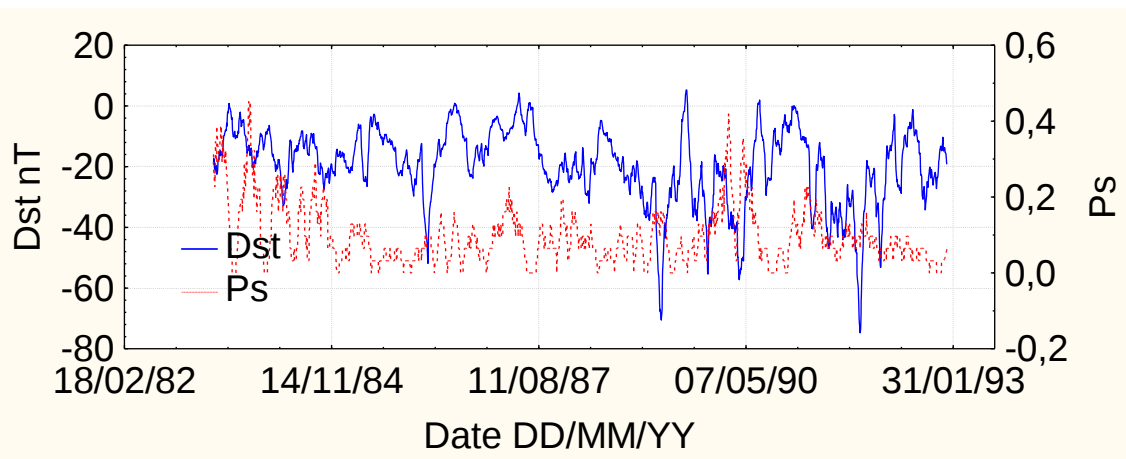


Σχήμα 5.44 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου S με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων

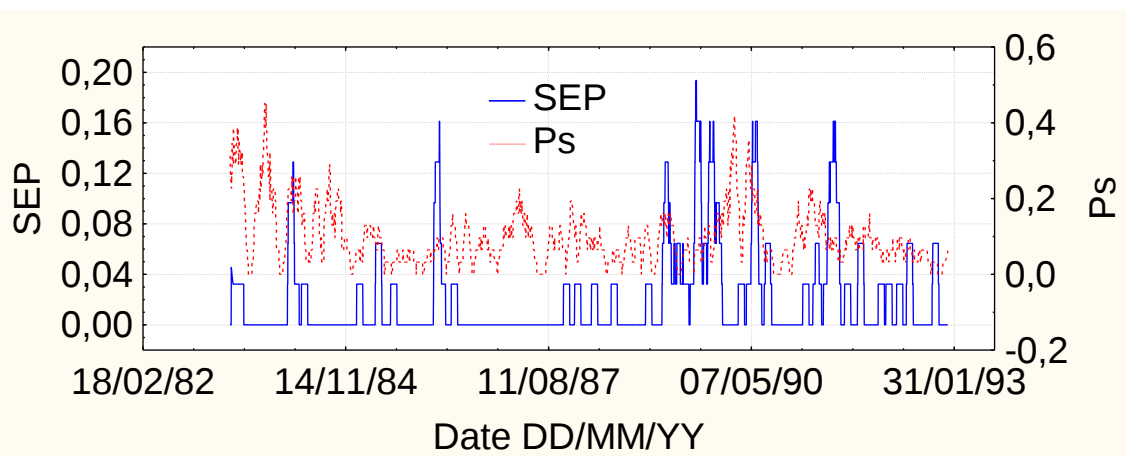
Στα σχήματα 5.45 έως 5.48 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβολές στον αριθμό των Ps αρρυθμιών σε σχέση με την κοσμική ακτινοβολία, τον δείκτη Dst, τον αριθμό των C Εκλάμψεων και τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων, αντίστοιχα. Από τα σχήματα αυτά φαίνεται ότι οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας και οι μεγάλες μειώσεις του δείκτη Dst, οι οποίες αντιστοιχούν σε γεωμαγνητικές καταιγίδες, εμφανίζονται τις ίδιες περιόδους με μεγάλες αυξήσεις των περιστατικών των Ps αρρυθμιών. Ομοίως, μεγάλες αυξήσεις του αριθμού των C Εκλάμψεων και του αριθμού των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων εμφανίζονται τις ίδιες περιόδους με μεγάλες αυξήσεις των περιστατικών των Ps αρρυθμιών.



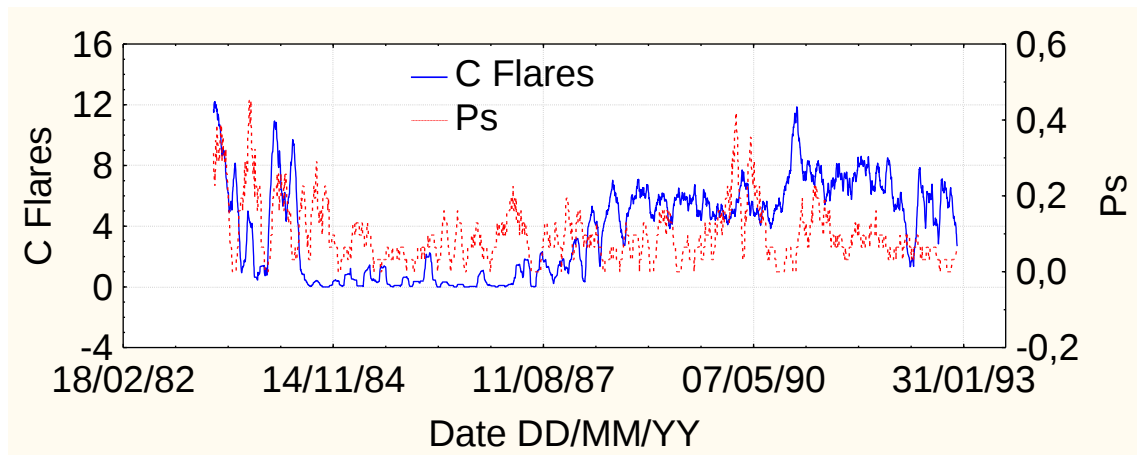
Σχήμα 5.45 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας



Σχήμα 5.46 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον δείκτη Dst

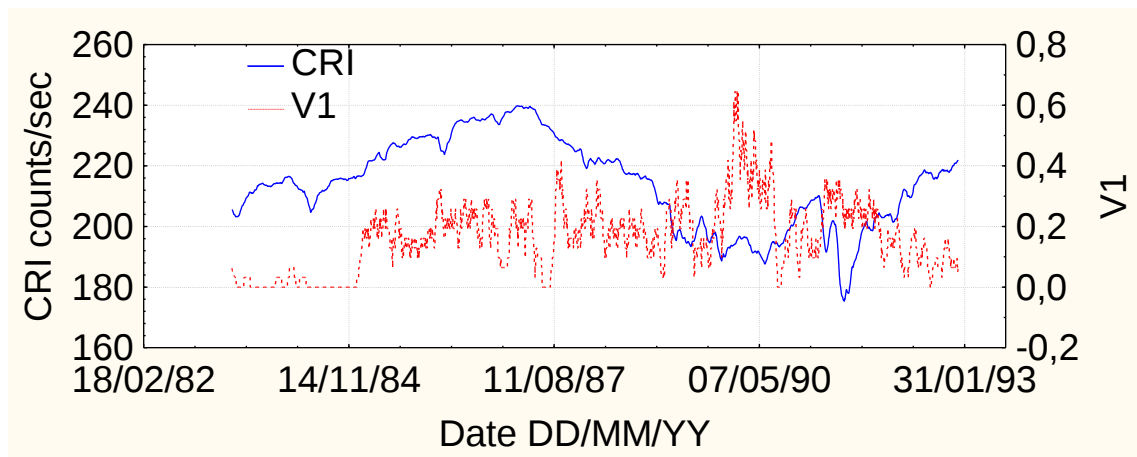


Σχήμα 5.47 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων

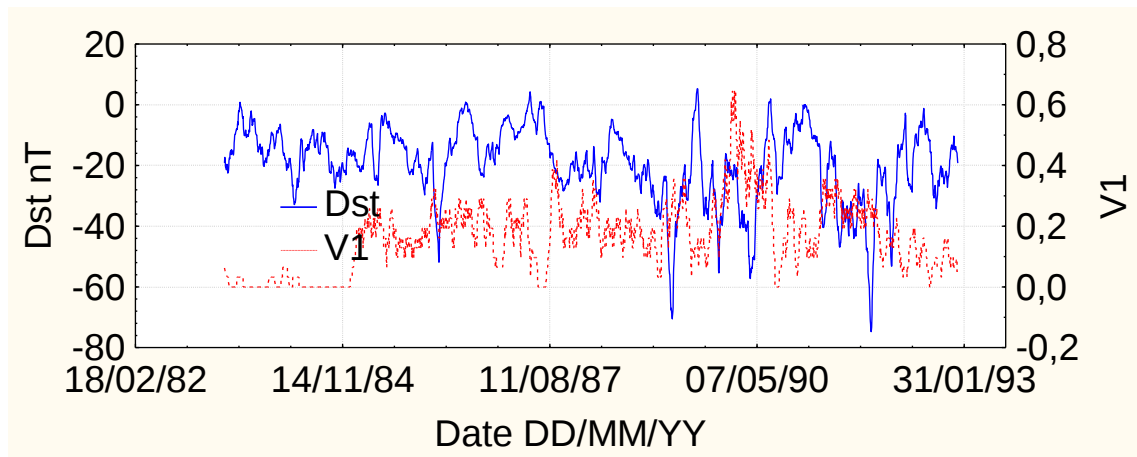


Σχήμα 5.48 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Ps με τον αριθμό των C Flares

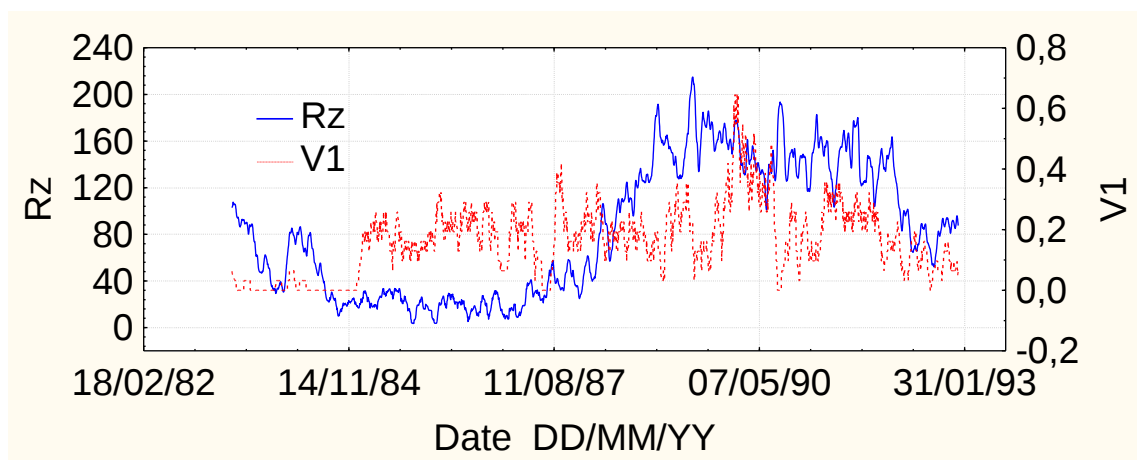
Οι μεταβολές στον αριθμό των V1 αρρυθμιών σε σχέση με την κοσμική ακτινοβολία, τον δείκτη Dst, τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων και τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων παρουσιάζονται στα σχήματα 5.49 έως 5.52. Παρατηρείται ότι οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας και του δείκτη Dst καθώς και οι μεγάλες αυξήσεις του αριθμού των ηλιακών κηλίδων (το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας) και του αριθμού των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων εμφανίζονται τις περιόδους κατά τις οποίες σημειώνεται αύξηση του αριθμού των V1 περιστατικών.



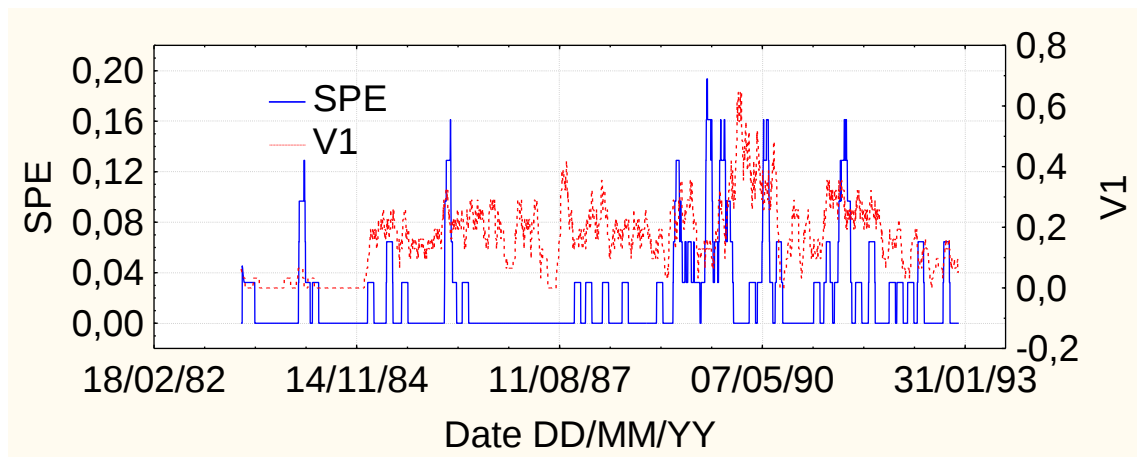
Σχήμα 5.49 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας



Σχήμα 5.50 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον δείκτη Dst



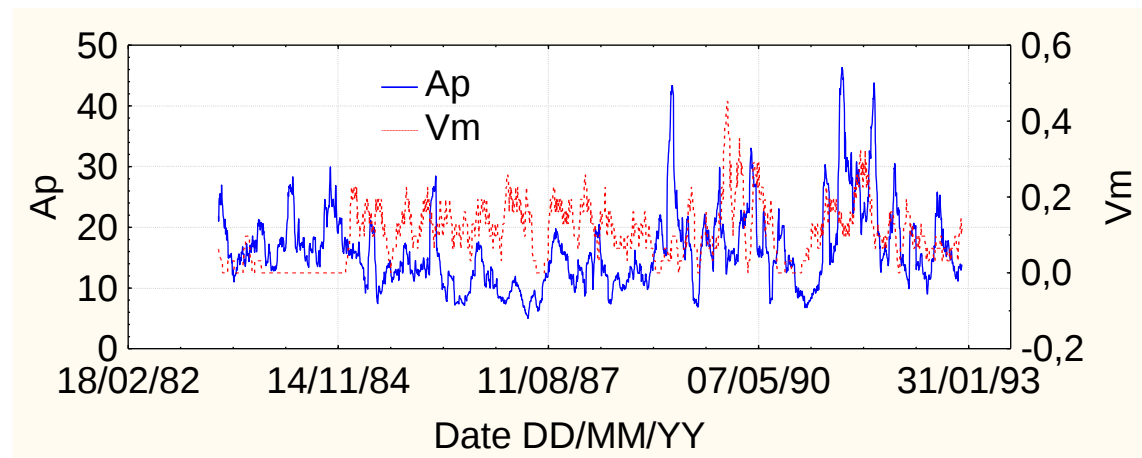
Σχήμα 5.51 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων



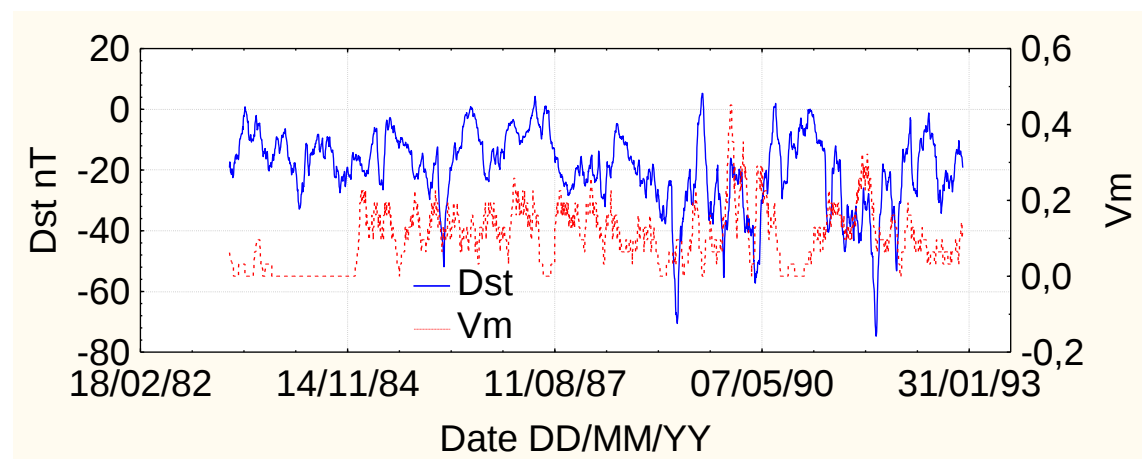
Σχήμα 5.52 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου V1 με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων

Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τις αρρυθμίες τύπου Vm. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα σχήματα 5.53 έως 5.56, στα οποία παριστάνεται ο

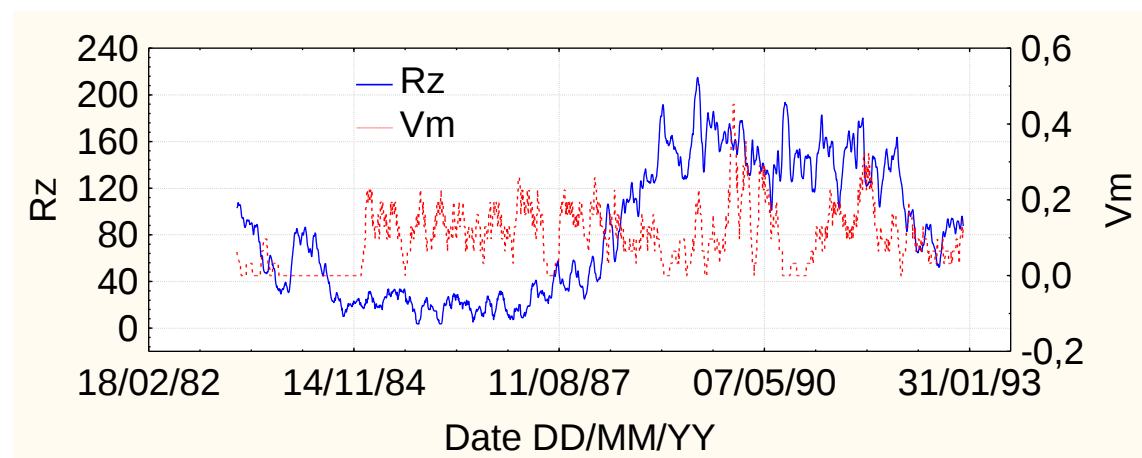
αριθμός των περιστατικών τύπου Vm συναρτήσει του δείκτη Ap, του δείκτη Dst, του αριθμού των ηλιακών κηλίδων και του αριθμού των M και X Εκλάμψεων αντίστοιχα.



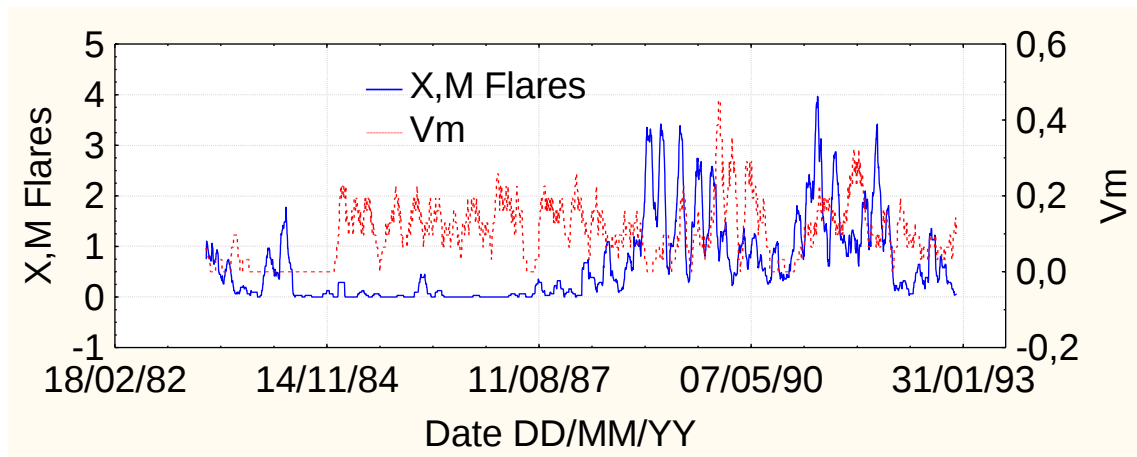
Σχήμα 5.53 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον δείκτη Ap



Σχήμα 5.54 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον δείκτη Dst

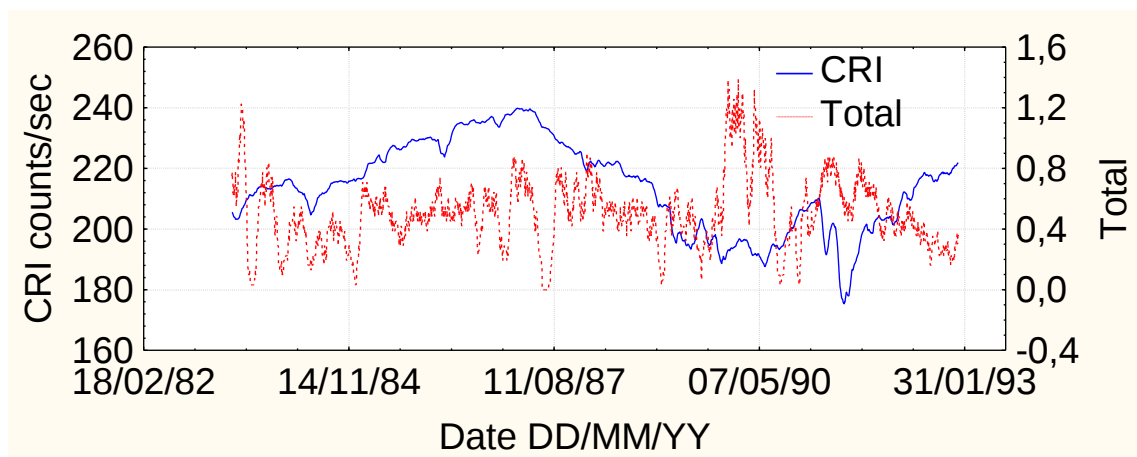


Σχήμα 5.55 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων

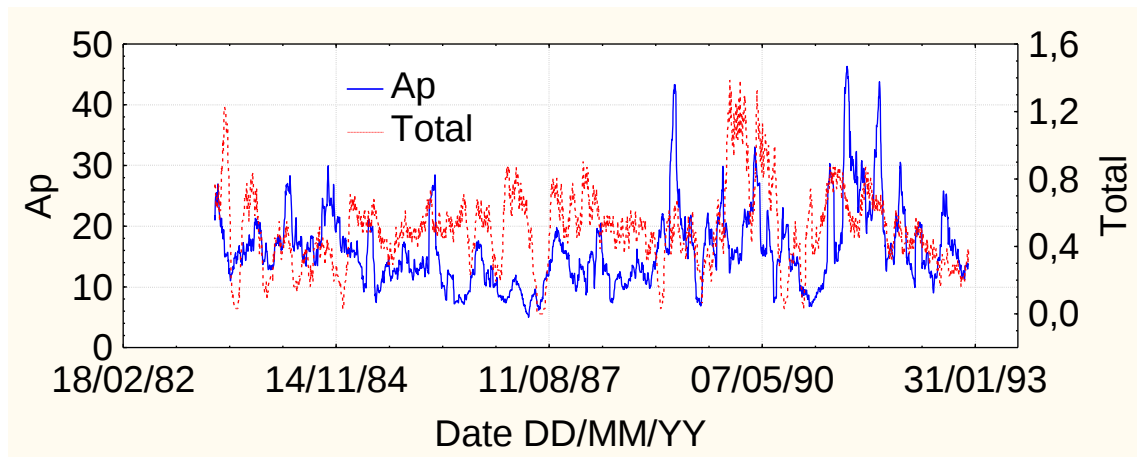


Σχήμα 5.56 Μεταβολές του αριθμού των αρρυθμιών τύπου Vm με τον αριθμό των M και X Flares

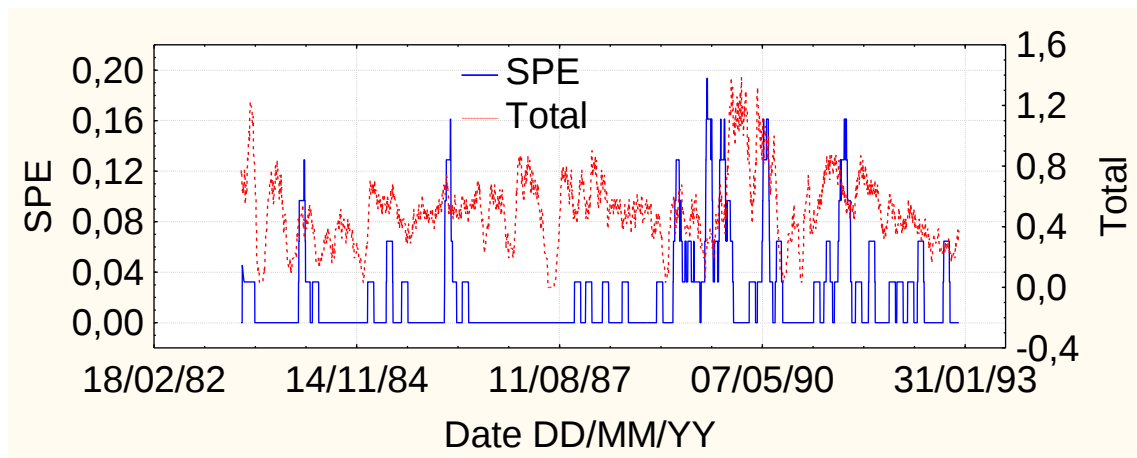
Τέλος, και για τον συνολικό αριθμό των αρρυθμιών παρατηρείται η ίδια συμπεριφορά. Στις περιόδους με έντονη δραστηριότητα τα περιστατικά των αρρυθμιών τείνουν να είναι αυξημένα. Οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας (Σχήμα 5.57) και του δείκτη Dst, οι μεγάλες αυξήσεις του δείκτη Ap (Σχήμα 5.58), και ο αυξημένος αριθμός των ηλιακών κηλίδων, των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων (Σχήμα 5.59) και των C Εκλάμψεων (Σχήμα 5.60) και των M και X Εκλάμψεων δείχνουν να σχετίζονται με αυξήσεις στον αριθμό των περιστατικών των αρρυθμιών κάθε τύπου.



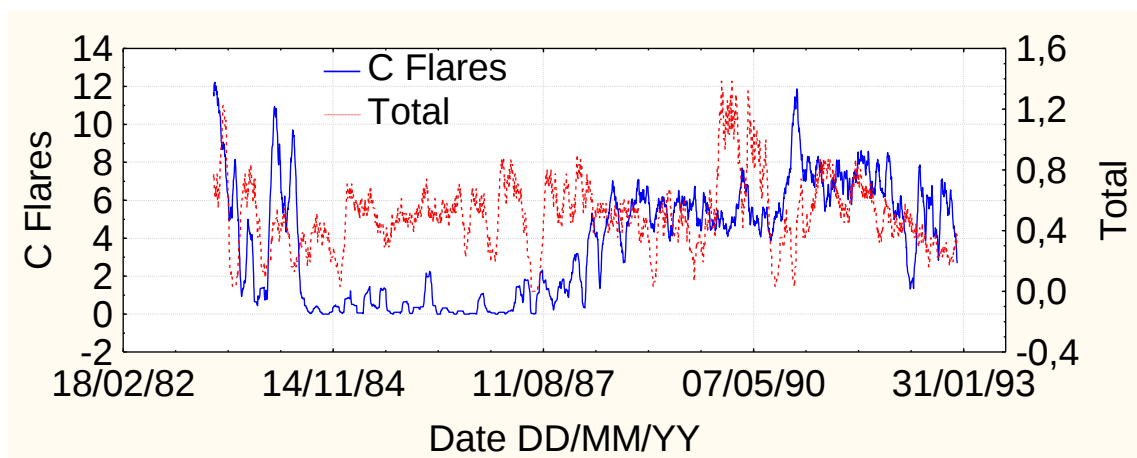
Σχήμα 5.57 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας



Σχήμα 5.58 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον δείκτη Ap



Σχήμα 5.59 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον αριθμό των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων



Σχήμα 5.60 Μεταβολές του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών με τον αριθμό των C Flares

Συμπερασματικά, οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας καθώς και η έντονη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα (μεγάλες αυξήσεις του Ap και μεγάλες μειώσεις του Dst) δείχνουν να συνδέονται με αυξήσεις του αριθμού των περιστατικών των αρρυθμιών στο σύνολό τους αλλά και για τους τύπους Ps, V1, Vm. Η αύξηση αυτή, δεν εμφανίζεται πάντα ταυτόχρονα με τις μεγάλες μεταβολές των φυσικών παραμέτρων που προαναφέρθηκαν. Επίσης παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες αυξήσεις (ή μειώσεις αν πρόκειται για την κοσμική ακτινοβολία ή τον δείκτη Dst) των φυσικών παραμέτρων δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στις μεγαλύτερες αυξήσεις του αριθμού των περιστατικών (για οποιονδήποτε τύπο).

5.2.3 Ανάλυση σε εβδομαδιαία βάση

Στην προσπάθεια να διερευνηθεί περισσότερο η πιθανή σχέση μεταξύ των μεταβολών των υπό μελέτη φυσικών παραμέτρων με τον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών εφαρμόστηκε η μέθοδος της εξομάλυνσης των τιμών για 7 ημέρες (1 εβδομάδα). Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των τιμών των φυσικών παραμέτρων και του αριθμού των περιστατικών των αρρυθμιών για τους τύπους που εξετάζονται, παρατίθενται στον Πίνακα 5.8

Πίνακας 5.8 Συντελεστές συσχέτισης (S.L. 95%)

	Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
	Total	0.1135	0.0519	0.0406	0.1255	-0.0650	-0.1344	0.0815	-0.1514
		p=0.000	p=0.002	p=0.016	p=0.000	p=0.002	p=0.000	p=0.000	p=0.00
Υπερκοι- λιακές	S	-0.0375	0.0679	-0.0040	0.0370	-0.0229	-0.0388	0.0743	-0.0351
		p=0.026	p=0.000	p=0.811	p=0.028	p=0.268	p=0.021	p=0.000	p=0.037
	Ps	0.0335	0.0592	-0.0101	0.0526	-0.0747	-0.1104	0.0732	-0.0618
		p=0.046	p=0.000	p=0.549	p=0.002	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000
Κοιλιακές	V1	0.2075*	0.0481	0.1053	0.1402	-0.0555	-0.1529	0.0701	-0.1806
		p=0.00	p=0.004	p=0.000	p=0.000	p=0.007	p=0.00	p=0.000	p=0.00
	Vm	0.0397	-0.0661	-0.0178	0.0545	-0.0009	-0.0014	-0.0370	-0.0633
		p=0.018	p=0.000	p=0.291	p=0.001	p=0.965	p=0.936	p=0.028	p=0.000

Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι οι αρρυθμίες των υπό εξέταση τύπων δεν δείχνουν να με τις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους. Από όλα τα αποτελέσματα για την εξομάλυνση σε εβδομαδιαία βάση, μόνο οι V1 τύπου

αρρυθμίες παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με τον Rz. Όπως και κατά την εξομάλυνση σε μηνιαία βάση, έτσι και στην περίπτωση αυτή τα φαινόμενα χρονικής υστέρησης αναδείχτηκαν περισσότερο, με αποτέλεσμα οι συντελεστές συσχέτισης να προκύπτουν μικρότεροι.

5.2.4 Ανάλυση σε ημερήσια βάση

Πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των ημερήσιων τιμών του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών αλλά και κάθε τύπου ξεχωριστά (S, Ps, V1, Vm), με τις ημερήσιες τιμές για τις ηλιακές και γεωμαγνητικές παραμέτρους, καθώς και για τις τιμές της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9

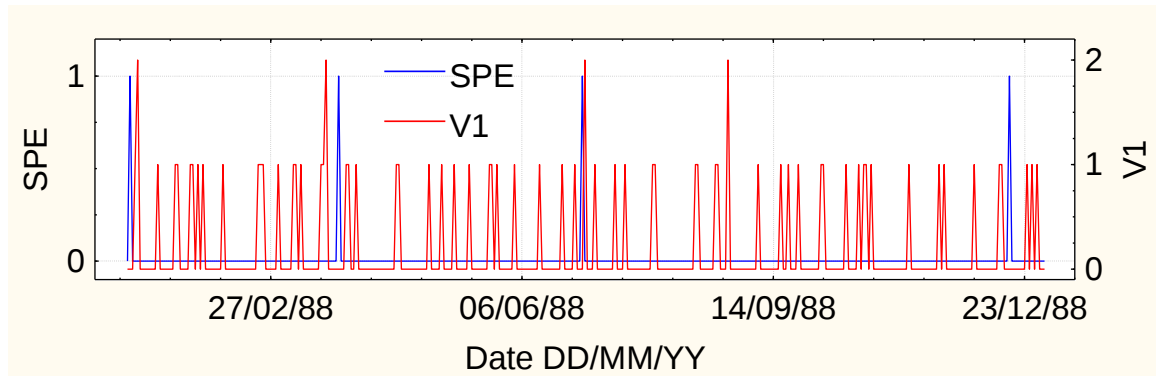
Πίνακας 5.9 Συντελεστές συσχέτισης (S.L. 95%)

	Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst
	Total	0.0415	-0.0092	0.0096	0.0444	-0.0365	-0.0562	0.0232	-0.0526
		p=0.013	p=0.702	p=0.568	p=0.008	p=0.078	p=0.001	p=0.168	p=0.002
Υπερκοι- λιακές	S	-0.0149	0.0667	0.0149	0.0276	-0.0423	-0.0151	0.0387	-0.0298
		p=0.376	p=0.006	p=0.374	p=0.100	p=0.041	p=0.369	p=0.021	p=0.076
	Ps	0.0110	0.0826	0.0042	0.0104	0.0092	-0.0438	0.0046	-0.0179
		p=0.513	p=0.001	p=0.804	p=0.538	p=0.657	p=0.009	p=0.784	p=0.288
Κοιλιακές	V1	0.0742	-0.0984	0.0021	0.0542	-0.0185	-0.0587	0.0099	-0.0488
		p=0.000	p=0.000	p=0.902	p=0.001	p=0.371	p=0.000	p=0.557	p=0.004
	Vm	0.0123	-0.0938	-0.0006	-0.0035	-0.0247	-0.0015	-0.0054	-0.0139
		p=0.464	p=0.000	p=0.973	p=0.835	p=0.233	p=0.930	p=0.750	p=0.409

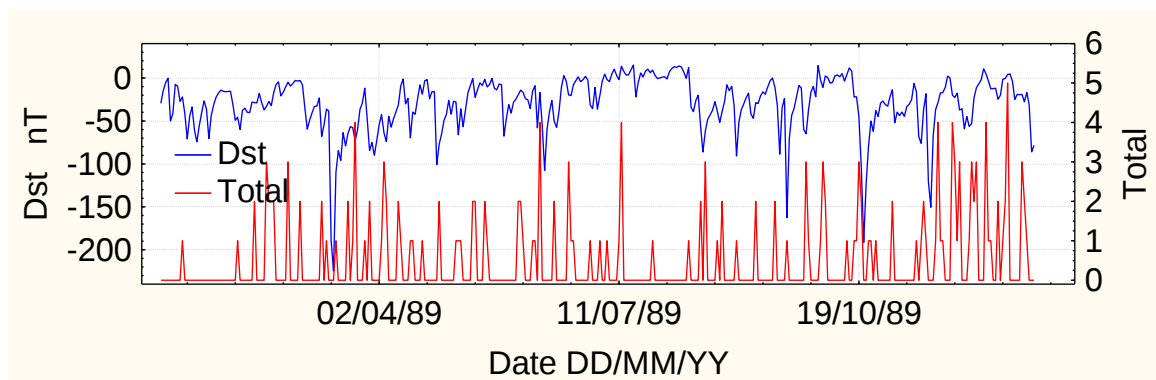
Από τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι οι ημερήσιες τιμές των περιστατικών των αρρυθμιών για κάθε τύπο δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις υπό εξέταση φυσικές παραμέτρους. Οι συντελεστές συσχέτισης που έχουν $p < 0.05$ (δηλαδή τα αξιόπιστα αποτελέσματα) κυμαίνονται από 0.0387 έως - 0.0984, είναι δηλαδή πολύ μικρής τιμής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά, διαγράμματα (Σχήματα 5.61 έως 5.63) τα οποία παριστάνουν τον ημερήσιο συνολικό αριθμό αρρυθμιών ή τον ημερήσιο αριθμό αρρυθμιών τύπου V1 συναρτήσει ορισμένων εκ των

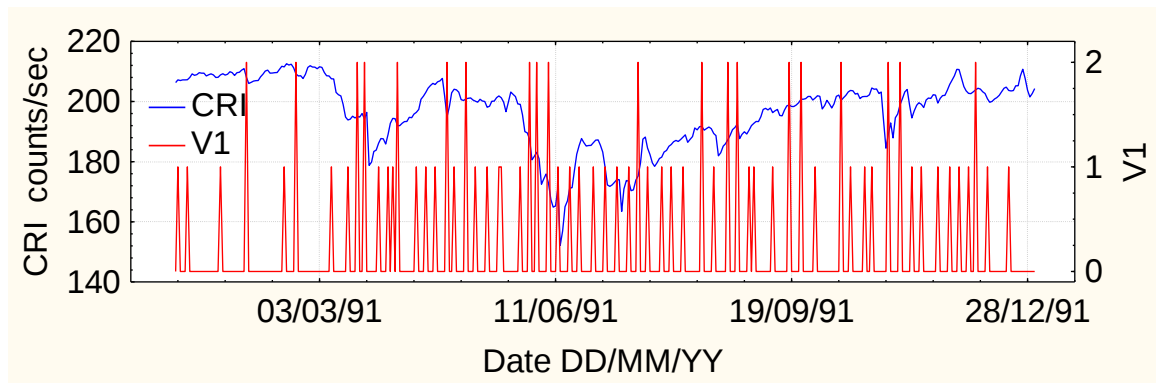
προαναφερθεισών φυσικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.61 παρουσιάζεται ο αριθμός αρρυθμιών τύπου V1 συναρτήσει του αριθμού των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων σε ημερήσια βάση για το έτος 1988. Στο Σχήμα 5.62 παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός αρρυθμιών συναρτήσει του δείκτη Dst για το έτος 1989. Στο Σχήμα 5.63 παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός των αρρυθμιών τύπου V1 σε σχέση με την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας για το έτος 1991.



Σχήμα 5.61 Αριθμός V1 αρρυθμιών συναρτήσει του αριθμού SPE σε ημερήσια βάση για το έτος 1988



Σχήμα 5.62 Συνολικός αριθμός αρρυθμιών συναρτήσει του δείκτη Dst ημερήσια βάση για το έτος 1989



Σχήμα 5.63 Αριθμός V1 αρρυθμιών συναρτήσει της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σε ημερήσια βάση για το έτος 1991

Είναι σημαντική η παρατήρηση από τα παραπάνω σχήματα, ότι πλησίον του γεγονότος παρατηρείται αύξηση στα περιστατικά των αρρυθμιών. Φαίνεται ότι η αύξηση αυτή δεν παρουσιάζεται εν γένει συγχρόνως του γεγονότος, αλλά με κάποια χρονική υστέρηση (time lag) η οποία πρόκειται να μελετηθεί περαιτέρω. Στη χρονική υστέρηση πιθανώς οφείλεται το γεγονός ότι οι συντελεστές συσχέτισης προκύπτουν μικρότεροι απ' ότι σε κάθε άλλη περίπτωση.

5.3 Συγκέντρωση αποτελεσμάτων – Σχολιασμός

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση για την ανεύρεση πιθανής συσχέτισης μεταξύ των περιστατικών των αρρυθμιών, στο σύνολό τους αλλά και για κάθε τύπο S, Ps, V1 και Vm, ξεχωριστά με την κοσμική ακτινοβολία, τη γεωμαγνητική δραστηριότητα, τον αριθμό των ισχυρών εκλάμψεων, τον αριθμό Rz, τον αριθμό των SPE και την συνιστώσα Bz του διαπλανητικού πεδίου μετά από την εφαρμογή της εξομάλυνσης τιμών για 365 ημέρες.

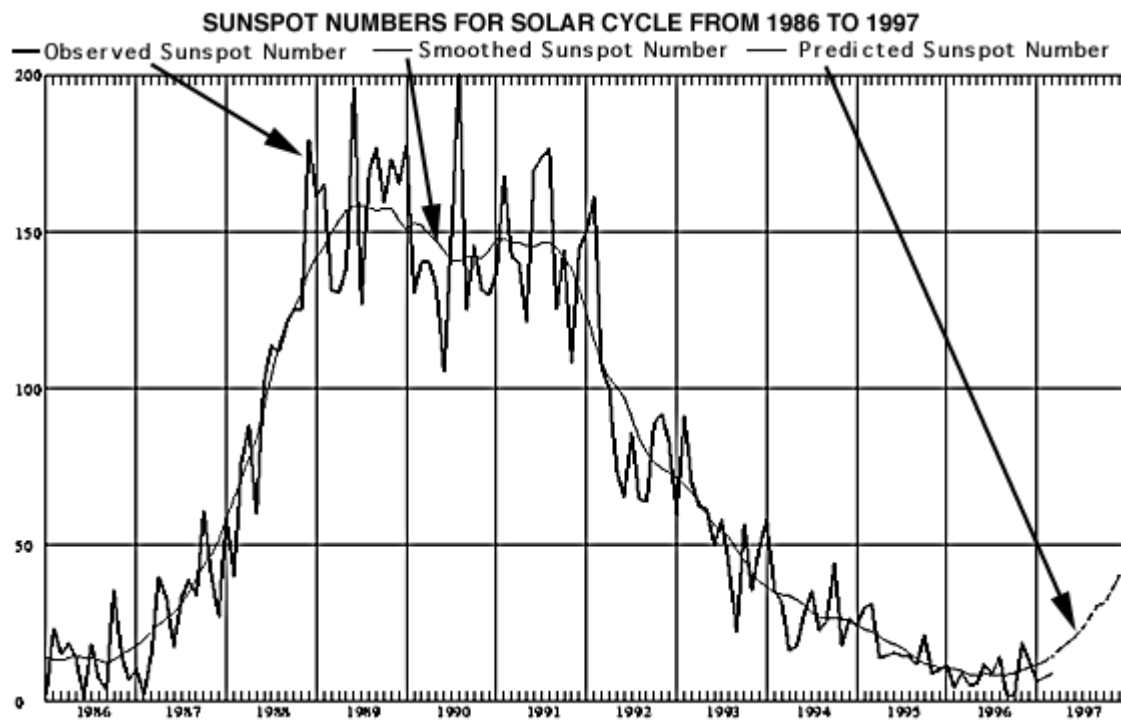
Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζονται συγκεντρωμένοι όλοι οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν, ώστε να μπορούν να γίνουν ευκολότερα συγκρίσεις μεταξύ τους.

Πίνακας 5.10 Συντελεστές συσχέτισης (S.L. 95%)

	Τύπος	Rz	C Flares	X,M Flares	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst (nT)
	Total	0.4106*	0.2377*	0.3087*	0.4390*	0.0475	-0.3546*	0.1305	-0.3523*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.022	p=0.00	p=0.000	p=0.00
Υπερκοι- λιακές	S	-0.1855	0.1361	-0.2272*	-0.2800*	-0.1819	-0.0764	0.1800	0.3219*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.00	p=0.00
	Ps	0.1260	0.2830*	0.0543	0.0857	0.0588	-0.3569*	0.2838*	0.1427
		p=0.000	p=0.00	p=0.001	p=0.000	p=0.004	p=0.00	p=0.00	p=0.000
Κοιλιακές	V1	0.4794*	0.1508	0.4190*	0.5287*	0.0492	-0.2600*	-0.0010	-0.5116*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.017	p=0.00	p=0.954	p=0.00
	Vm	0.1598	-0.1127	0.1387	0.2679*	0.1178	0.0457	-0.1326	-0.3465*
		p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.00	p=0.000	p=0.007	p=0.000	p=0.00

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι ο τύπος αρρυθμιών V1, εμφανίζει τους μεγαλύτερους συντελεστές για τις περισσότερες παραμέτρους (X,M – Flares, Dst, Rz, SPE). Μάλιστα, για την παράμετρο αυτή προέκυψαν και συντελεστές μεγαλύτεροι του 0.50. Οι αρρυθμίες τύπου V1 και ο αριθμός των SPE συσχετίζονται καλώς, ($r=0.5287$, $p=0.00$), όπως και ο αριθμός των V1 αρρυθμιών και ο δείκτης Dst ($r= -0.5116$, $p=0.00$). Ο συνολικός αριθμός των περιστατικών εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον αριθμό των πρωτονικών γεγονότων ($r = 0.4390$, $p=0.00$) και με τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων ($r = 0.4106$, $p=0.00$).

Από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για την ανάλυση σε ετήσια βάση (Σχήματα 5.1 έως 5.40), παρατηρήθηκε ότι ο συνολικός αριθμός των αρρυθμιών και οι τύποι V1 και Vm κυρίως, εμφανίζουν αλλαγές στη συσχέτισή τους με τις περισσότερες παραμέτρους από το 1989 έως το 1992 οπότε και ολοκληρώνονται οι μετρήσεις. Η περίοδος 1989 – 1992 αντιστοιχεί στο μέγιστο του ηλιακού κύκλου 22, δηλαδή στο μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας (Σχήμα 5.64). Μάλιστα την περίοδο αυτή σημειώθηκε μια από τις μεγαλύτερες γεωμαγνητικές καταιγίδες, αυτή της 14^{ης} Μαρτίου 1989, κατά την οποία κατέρρευσε το υδροηλεκτρικό σύστημα του Quebec (Boteler et al., 1998)



Σχήμα 5.64 Ηλιακός κύκλος 22, από IPS Radio Space Services, Richard Thompson, 1997

Για να εντοπιστεί καλύτερα αυτή η αλλαγή που παρατηρήθηκε στη συσχέτιση των παραμέτρων κατά το έτος 1989 το οποίο ανήκει στο ηλιακό μέγιστο, έγινε υπολογισμός των συντελεστών για τις τιμές μετά την εξομάλυνση, για τα δύο χρονικά διαστήματα, 1983 - 1988 και 1989 - 1992. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν αντίστοιχα στους πίνακες 5.11 και 5.12.

Πίνακας 5.11 Συντελεστές συσχέτισης για το διάστημα 1983 – 1988 (S.L. 95%)

	Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst (nT)
	Total	0.0097	-0.0780	-0.1522	-0.1819	0.0660	0.4700*	-0.6599*	0.1426
		p=0.659	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.013	p=0.00	p=0.00	p=0.000
Υπερκου- λιακές	S	0.2757*	0.6699*	0.2023*	0.1502	-0.2708*	-0.6994*	0.6291*	0.1955
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00
	Ps	0.2234*	0.6336*	0.1918	-0.0268	0.0292	-0.6315*	0.5964*	0.3727*
		p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.222	p=0.271	p=0.00	p=0.00	p=0.00
Κουλιακές	V1	-0.1115	-0.4995*	-0.1469	-0.0803	0.0917	0.7390*	-0.8164*	-0.2331*
		p=0.000	p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.001	p=0.00	p=0.00	p=0.00
	Vm	-0.3143*	-0.6394*	-0.3795*	-0.2636*	0.1592	0.8480*	-0.8874*	0.0027
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.901

Πίνακας 5.12 Συντελεστές συσχέτισης για το διάστημα 1989 – 1992 (S.L. 95%)

	Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst (nT)
	Total	0.6672*	0.2425*	0.3010*	0.5228*	0.1393	-0.8875*	0.3651*	-0.4170*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.00
Υπερκου- λιακές	S	-0.1325	0.5222*	-0.1965	-0.3351*	0.0664	-0.2676*	0.3340*	0.0406
		p=0.000	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.045	p=0.00	p=0.00	p=0.121
	Ps	0.7023*	0.1133	0.2414*	0.5432*	0.0890	-0.8499*	0.0990	-0.2410*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.007	p=0.00	p=0.000	p=0.00
Κουλιακές	V1	0.8161*	0.1593	0.4051*	0.6481*	0.1470	-0.9254*	0.2501*	-0.4055*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.00
	Vm	0.4631*	0.1935	0.2965*	0.5074*	0.1525	-0.7184*	0.6410*	-0.6558*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.00

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι οι συντελεστές εμφανίζουν διαφοροποιήσεις και ως προς το πρόσημο και ως προς την τιμή τους ανάμεσα στις δύο περιόδους. Μάλιστα για κάθε περίοδο ξεχωριστά, παρατηρείται πως οι συντελεστές έχουν εν γένει μεγαλύτερες τιμές απ' ότι για όλο το χρονικό διάστημα 1983 – 1992. Ο μέγιστος συντελεστής, για όλο το διάστημα προέκυψε $r = 0.5287$, $p=0.00$ για τον τύπο V1 των αρρυθμιών και τον αριθμό SPE, ενώ για την κατά διαστήματα μελέτη προέκυψε η μεγάλη τιμή του συντελεστή $r = -0.9254$, $p=0.00$ για τον τύπο V1 των αρρυθμιών και την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. **Για τον**

διαχωρισμό σε περιόδους, οι φυσικές παράμετροι που δείχνουν να επηρεάζουν περισσότερο τις αρρυθμίες στο σύνολό τους και για κάθε τύπο είναι η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, ο αριθμός των πρωτονικών γεγονότων (SPE) και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων (Rz).

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζεται το είδος της συσχέτισης όλων των τύπων των αρρυθμιών με καθεμιά από τις εξεταζόμενες φυσικές παραμέτρους για τις δυο αυτές χρονικές περιόδους, ενώ στον Πίνακα 5.15 παρουσιάζονται οι ημερομηνίες κατά τις οποίες παρατηρείται η αντιστροφή στη συσχέτιση, για όποιες παραμέτρους παρατηρείται.

Πίνακας 5.13 Είδος συσχέτισης των αρρυθμιών με τις φυσικές παραμέτρους για τις περιόδους 1983-1988 και 1989-1992

Τύπος	Χρονική Περίοδος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst (nT)
Total	1983-1988	+	-	-	-	+	+	-	+
	1989-1992	+	+	+	+	+	-	+	-
V1	1983-1988	-	-	-	-	+	+	-	-
	1989-1992	+	+	+	+	+	-	+	-
Vm	1983-1988	-	-	-	-	+	+	-	+
	1989-1992	+	+	+	+	+	-	+	-
S	1983-1988	+	+	+	+	-	-	+	+
	1989-1992	-	+	-	-	+	-	+	+
Ps	1983-1988	+	+	+	-	+	-	+	+
	1989-1992	+	+	+	+	+	-	+	-

Πίνακας 5.14 Ημερομηνίες αντιστροφής της συσχέτισης

Τύπος	Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI counts/sec	Ap	Dst (nT)
Total	5/1989	1/1991	11/1990	5/1989	-	5/1989	10/1989	2/1990
V1	3/1990	1/1991	1/1991	3/1989	-	4/1989	2/1990	-
Vm	5/1989	4/1991	1/1990	5/1989	-	5/1989	5/1989	-
S	-	-	-	-	10/1989	-	-	-
Ps	-	-	-	8/1988	-	-	-	-

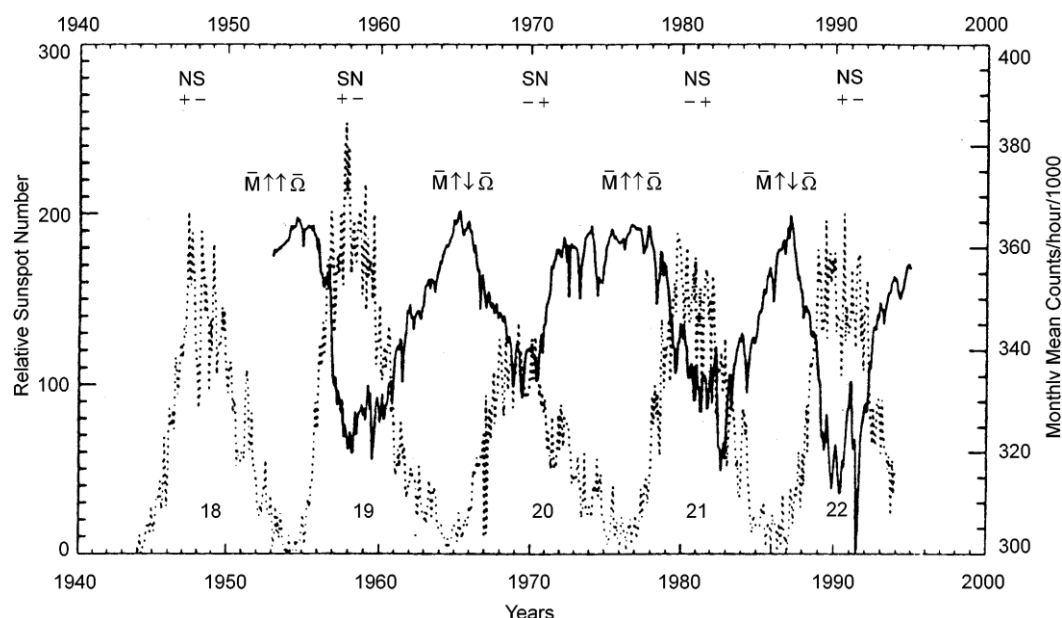
Από τους Πίνακες 5.13 και 5.14 παρατηρείται ότι για τους τύπους V1 και Vm, καθώς και για τον συνολικό αριθμό των περιστατικών, η συσχέτιση με τις περισσότερες φυσικές παραμέτρους αντιστρέφεται στα έτη 1989 - 1990, χρονικό διάστημα το οποίο συμπίπτει με την αλλαγή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.15 (Webber and Lockwood., 1993; Mavromichalaki et al., 1998). Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από τα αποτελέσματα της μελέτης που έχει γίνει στο ίδιο δείγμα από την ομάδα του National Astronomical Observatory της Γεωργίας (Gigoslashvili et al., 2010) όπου φαίνεται η επίδραση της αλλαγής της πολικότητας του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου στις αρρυθμίες τύπου Vm σε 27 – ήμερη βάση (Bartels rotation).

Παρατηρείται ότι και οι παράμετροι S και Ps παρουσιάζουν αυτή την αλλαγή, για λίγες όμως παραμέτρους. Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των τύπων των αρρυθμιών είναι πως οι V1 και Vm ανήκουν στις κοιλιακές αρρυθμίες (απλές και πολλαπλές κοιλιακές έκτακτες συστολές αντίστοιχα), ενώ οι S και Ps στις υπερκοιλιακές (υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές και παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία αντίστοιχα). Τις κοιλίες, σε αντίθεση με τους κόλπους, διατρέχουν οι ίνες Purkinje, το μέγεθος των οποίων είναι πολύ μεγάλο και άγουν τα δυναμικά ενέργειας με ταχύτητα 1,5 - 4,0 m/sec,. Αυτό επιτρέπει τη σχεδόν άμεση μεταβίβαση της διέγερσης σε ολόκληρο το σύστημα των κοιλιών.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο II, αρρυθμία δε σημαίνει απλώς ότι ο ρυθμός δεν είναι κανονικός (ρυθμικός), αλλά κυρίως ότι δεν προέρχεται από το φυσιολογικό κέντρο παραγωγής των ερεθισμάτων, δηλαδή το φλεβόκομβο. Η απλούστερη μορφή αρρυθμίας είναι οι έκτακτες συστολές. Αυτές διαφέρουν από τις

κανονικές γιατί προέρχονται από ερεθίσματα που παράγονται, όχι από το φλεβόκομβο, αλλά από άλλες περιοχές της καρδιάς. Αν τα ερεθίσματα προέρχονται από περιοχή των κόλπων, οι εκτακτοσυστολές ονομάζονται υπερκοιλιακές, επειδή οι κόλποι βρίσκονται πάνω από τις κοιλίες της καρδιάς. Αν τα ερεθίσματα προέρχονται από τις κοιλίες, αυτές ονομάζονται κοιλιακές. Ο κίνδυνος για σοβαρότερες αρρυθμίες είναι εντονότερος στην περίπτωση των κοιλιακών έκτακτων συστολών (V1, Vm). Οι υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές (S) είναι κατά κανόνα καλοήθης αρρυθμία. Η παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία (Ps) οφείλεται στις περισσότερες περιπτώσεις σε κάποια διαταραχή σε ένα σημείο του ηλεκτρικού συστήματος της καρδιάς. Σε άλλες όμως περιπτώσεις η ταχυκαρδία αυτή μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη ενός μικρού τμήματος επιπρόσθετου καρδιακού ιστού (δεμάτιο) σε μία θέση της καρδιάς που φυσιολογικά δεν θα έπρεπε να υπάρχει. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται ένα είδος βραχυκυκλώματος στο ηλεκτρικό σύστημα της καρδιάς το οποίο προκαλεί την ταχυκαρδία.

Στο Σχήμα 5.65 παρουσιάζονται οι διορθωμένες με την πίεση τιμές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας από τον μετρητή νετρονίων Climax και οι μηνιαίες τιμές του αριθμού των ηλιακών κηλίδων για το διάστημα Ιανουάριος 1946 – Δεκέμβριος 1995 (από Mavromichalaki et al., 1998)



Σχήμα 5.65 Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων για το διάστημα 1946-1995. Σημειώνονται οι αλλαγές της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου (Mavromichalaki et al., 1998)

Στον Πίνακα 5.15 παρουσιάζεται ο χρόνος αλλαγής της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου μαζί με ορισμένα χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης που διαπιστώθηκαν για τους διάφορους κύκλους (από Mavromichalaki et al., 1998).

Πίνακας 5.15 Πολικότητα του ηλιακού μαγνητικού πεδίου
(Mavromichalaki et al., 1998)

Polar Field Changeover	Solar Field Polarity	Drift Effects (Positive Particles)	Cosmic Ray Intensity at Solar Activity Minimum
N - to + Feb. 1947 S + to - Apr. 1948	north polar field inward	inward along current sheet	~
N + to - Nov. 1958 S - to + May 1957	outward	down from polar regions and outward along the current sheet	flat maximum intensity from 1952 to 1954
N - to + Feb. 1971 S + to - Sep. 1969	inward	inward along current sheet	sharply peaked maximum intensity in 1965
N + to - May 1980 S - to + Sep. 1980	outward	down from polar regions and outward along current sheet	flat maximum intensity from 1972 to 1977
N - to + Jan. 1990 S + to - Jun. 1991	inward	inward along current sheet	sharply peaked maximum intensity in 1987
	outward	down from polar regions and outward along current sheet	flat maximum intensity from 1993 to 1995

Η αντιστροφή της συσχέτισης των διαφόρων τύπων των αρρυθμιών δεν παρατηρείται για όλες τις παραμέτρους το 1990 (Πίνακας 5.14), που είναι το έτος κατά το οποίο σημειώνεται η αντιστροφή του ηλιακού μαγνητικού πεδίου, αλλά για μια περίοδο 1989-1990. Οι χρονικές διαφορές ενδεχομένως να οφείλονται σε φαινόμενα υστέρησης μεταξύ των φυσικών παραμέτρων (Moraal 1976; Mavromichalaki et al., 1990; Marmatsouri et al., 1995). Η χρονική υστέρηση των κοσμικών ακτίνων σε σχέση με διάφορες ηλιακές παραμέτρους για τον 20^ο, 21^ο και 22^ο ηλιακό κύκλο ξεχωριστά δίνονται στον Πίνακα 16 και για τους τρεις κύκλους μαζί στον Πίνακα 17 (Mavromichalaki et al., 1998).

Πίνακας 5.16 Χρονική υστέρηση της κοσμικής ακτινοβολίας για τον 20^ο , 21^ο και 22^ο ηλιακό κύκλο ξεχωριστά

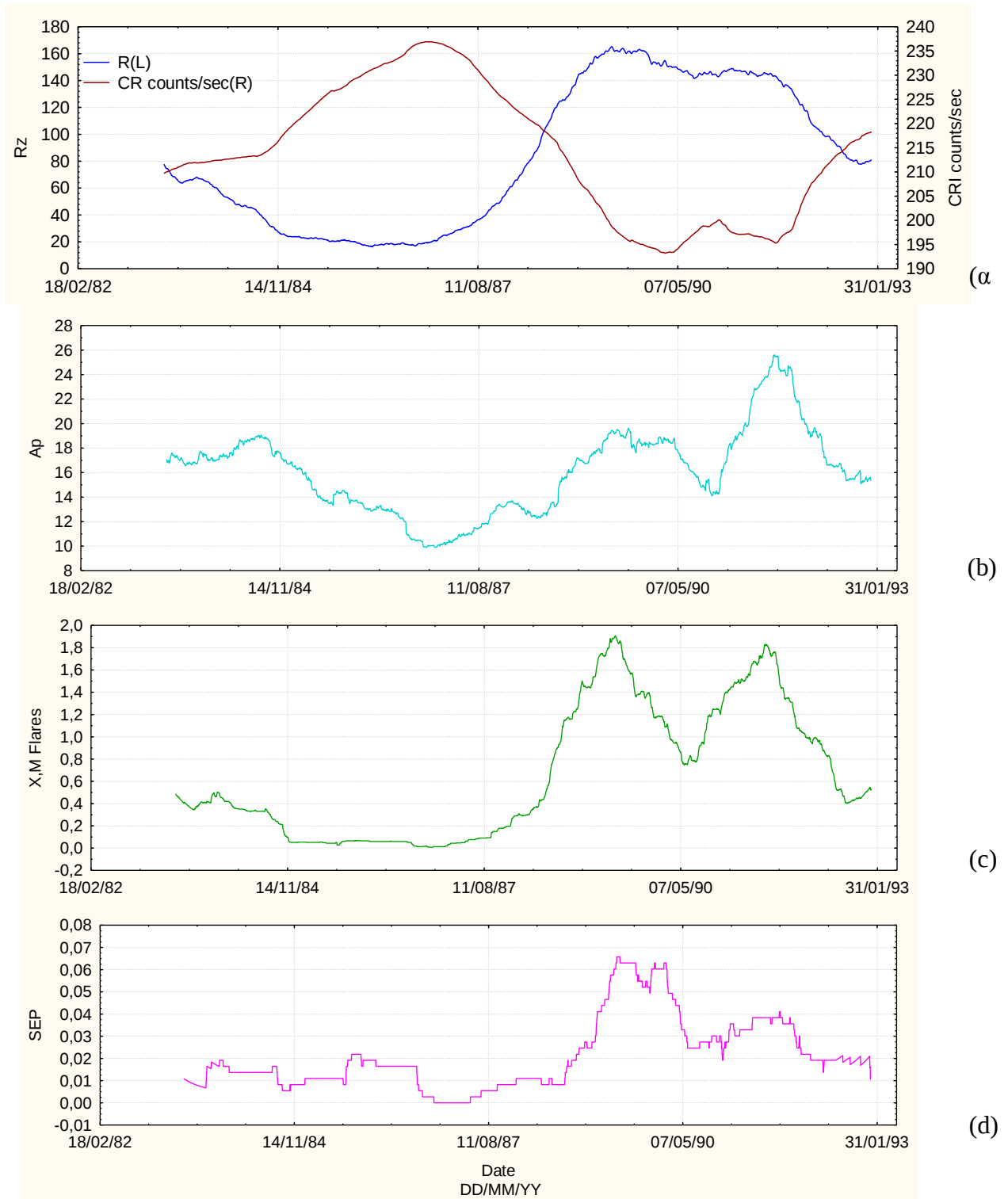
Indices	20th Cycle		21st Cycle		22nd Cycle	
	r	Lag(m)	r	Lag(m)	r	Lag(m)
Sunspot number	-0.88 ± 0.01	2	-0.87 ± 0.01	16	-0.90 ± 0.01	4
Solar Flares ≥ 1N	-0.76 ± 0.02	4	-0.87 ± 0.01	17	-0.81 ± 0.02	4
Solar Flares ≥ 1B			-0.70 ± 0.02	6		
Proton Events	-0.48 ± 0.02	4				
Streams	-0.30 ± 0.02	3	-0.30 ± 0.02	5	-0.20 ± 0.02	3
Corot. Streams			0.17 ± 0.03	16	-0.10 ± 0.02	0
Flare-G.Streams			-0.51 ± 0.02	16	-0.36 ± 0.02	3
Mean Solar Field					-0.85 ± 0.01	2
A_p -Index	-0.20 ± 0.02	0	-0.45 ± 0.02	0	-0.58 ± 0.02	0
	-0.33 ± 0.02	-12	-0.48 ± 0.02	-16	-0.38 ± 0.02	-14

Πίνακας 5.17 Χρονική υστέρηση της κοσμικής ακτινοβολίας για τους ηλιακούς κύκλους 20, 21 και 22

20th, 21st, 22nd cycles (1964 -1994)		
Indices	r	lag(m)
Sunspot number	0.81 ± 0.01	5
Grouped Solar Flares	0.62 ± 0.01	6
Streams	0.10 ± 0.02	2
A_p -Index	0.41 ± 0.02	0
	0.26 ± 0.02	-14

Ο συνολικός τύπος των αρρυθμιών, αλλά και οι τύποι Ps, V1 και Vm εμφανίζουν διπλό μέγιστο κοντά στο διπλό μέγιστο που εμφανίζουν οι φυσικές παράμετροι Rz, Ap, M και X Εκλάμψεις, SPE και κοντά στο διπλό ελάχιστο που εμφανίζει η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας. Το διπλό αυτό μέγιστο του συνολικού αριθμού των αρρυθμιών και των Ps, V1 και Vm τύπων, άλλοτε παρατηρείται συγχρόνως και άλλοτε με κάποια χρονική υστέρηση για τις διάφορες φυσικές παραμέτρους. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι μεταξύ των φυσικών παραμέτρων παρατηρούνται φαινόμενα υστέρησης (Moraal 1976; Mavromichalaki et al 1990). Στο Σχήμα 5.66 α ως δ, παρουσιάζονται οι τιμές των φυσικών παραμέτρων

R_z , ένταση κοσμικής ακτινοβολίας, A_p , M και X Εκλάμψεις, SPE αντίστοιχα, μετά από εξομάλυνση 1 έτους, για όλη την υπό εξέταση χρονική περίοδο. Παρατηρείται ότι η διπλή κορυφή εμφανίζεται με χρονική διαφορά μεταξύ των παραμέτρων.



Σχήμα 5.66 Χρονικές σειρές των R_z , ένταση κοσμικής ακτινοβολίας (a), A_p (b), M και X Εκλάμψεις (c), SPE (d)

Πίνακας 5.18 Συντελεστές συσχέτισης για ανάλυση σε ετήσια, μηνιαία, εβδομαδιαία και ημερήσια βάση

Τύπος		Rz	C Εκλάμψεις	M, X Εκλάμψεις	SPE	Bz	CRI (counts/sec)	Ap	Dst (nT)
Total	Ετήσια	0.4106*	0.2377*	0.3087*	0.4390*	0.0475	-0.3546*	0.1305	-0.3523*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.022	p=0.00	p=.000	p=0.00
	Μηνιαία	0.1503	0.0866	0.0832	0.1447	0.0717	-0.1971	0.1645	-0.2465*
		p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.001	p=0.00	p=0.00	p=0.00
	Εβδομα- διαία	0.1135	0.0519	0.0406	0.1255	-0.0650	-0.1344	0.0815	-0.1514
		p=0.000	p=0.002	p=0.016	p=0.000	p=0.002	p=0.000	p=0.000	p=0.00
	Ημερήσια	0.0415	-0.0092	0.0096	0.0444	-0.0365	-0.0562	0.0232	-0.0526
		p=0.013	p=0.702	p=0.568	p=0.008	p=0.078	p=0.001	p=0.168	p=0.002
	Ετήσια	-0.1855	0.1361	-0.2272*	-0.2800*	-0.1819	-0.0764	0.1800	0.3219*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.000	p=0.00	p=0.00
S	Μηνιαία	-0.0946	0.0956	-0.0791	-0.0247	-0.0218	-0.0624	0.0793	0.0492
		p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.142	p=0.292	p=0.000	p=0.000	p=0.003
	Εβδομα- διαία	-0.0375	0.0679	-0.0040	0.0370	-0.0229	-0.0388	0.0743	-0.0351
		p=0.026	p=0.000	p=0.811	p=0.028	p=0.268	p=0.021	p=0.000	p=0.037
	Ημερήσια	-0.0149	0.0667	0.0149	0.0276	-0.0423	-0.0151	0.0387	-0.0298
		p=0.376	p=0.006	p=0.374	p=0.100	p=0.041	p=0.369	p=0.021	p=0.076
	Ετήσια	0.1260	0.2830*	0.0543	0.0857	0.0588	-0.3569*	0.2838*	0.1427
		p=0.000	p=0.00	p=0.001	p=0.000	p=0.004	p=0.00	p=0.00	p=0.000
	Μηνιαία	0.0533	0.1521	0.0373	0.0627	0.0957	-0.1924	0.1999	-0.1056
		p=0.001	p=0.00	p=0.027	p=0.000	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.000
Ps	Εβδομα- διαία	0.0335	0.0592	-0.0101	0.0526	-0.0747	-0.1104	0.0732	-0.0618
		p=0.046	p=0.000	p=0.549	p=0.002	p=0.000	p=0.000	p=0.000	p=0.000
	Ημερήσια	0.0110	0.0826	0.0042	0.0104	0.0092	-0.0438	0.0046	-0.0179
		p=0.513	p=0.001	p=0.804	p=0.538	p=0.657	p=0.009	p=0.784	p=0.288
	Ετήσια	0.4794*	0.1508	0.4190*	0.5287*	0.0492	-0.2600*	-0.0010	-0.5116*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.017	p=0.00	p=0.954	p=0.00
	Μηνιαία	0.3014*	0.0762	0.1909	0.2174*	0.0340	-0.2192*	0.1407	-0.3374*
		p=0.00	p=0.000	p=0.00	p=0.00	p=0.101	p=0.00	p=0.000	p=0.00
	Εβδομα- διαία	0.2075*	0.0481	0.1053	0.1402	-0.0555	-0.1529	0.0701	-0.1806
		p=0.00	p=0.004	p=0.000	p=0.000	p=0.007	p=0.00	p=0.000	p=0.00
V1	Ημερήσια	0.0742	-0.0984	0.0021	0.0542	-0.0185	-0.0587	0.0099	-0.0488
		p=0.000	p=0.000	p=0.902	p=0.001	p=0.371	p=0.000	p=0.557	p=0.004
	Ετήσια	0.1598	-0.1127	0.1387	0.2679*	0.1178	0.0457	-0.1326	-0.3465*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.007	p=0.00	p=0.00
	Μηνιαία	0.0621	-0.1160	0.0225	0.0780	0.0258	-0.0018	-0.0066	-0.1910
		p=0.000	p=0.000	p=0.181	p=0.000	p=0.212	p=0.917	p=0.694	p=0.00
	Εβδομα- διαία	0.0397	-0.0661	-0.0178	0.0545	-0.0009	-0.0014	-0.0370	-0.0633
		p=0.018	p=0.000	p=0.291	p=0.001	p=0.965	p=0.936	p=0.028	p=0.000
	Ημερήσια	0.0123	-0.0938	-0.0006	-0.0035	-0.0247	-0.0015	-0.0054	-0.0139
		p=0.464	p=0.000	p=0.973	p=0.835	p=0.233	p=0.930	p=0.750	p=0.409
Vm	Ετήσια	0.1598	-0.1127	0.1387	0.2679*	0.1178	0.0457	-0.1326	-0.3465*
		p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.00	p=0.000	p=0.007	p=0.00	p=0.00
	Μηνιαία	0.0621	-0.1160	0.0225	0.0780	0.0258	-0.0018	-0.0066	-0.1910
		p=0.000	p=0.000	p=0.181	p=0.000	p=0.212	p=0.917	p=0.694	p=0.00
	Εβδομα- διαία	0.0397	-0.0661	-0.0178	0.0545	-0.0009	-0.0014	-0.0370	-0.0633
		p=0.018	p=0.000	p=0.291	p=0.001	p=0.965	p=0.936	p=0.028	p=0.000
	Ημερήσια	0.0123	-0.0938	-0.0006	-0.0035	-0.0247	-0.0015	-0.0054	-0.0139
		p=0.464	p=0.000	p=0.973	p=0.835	p=0.233	p=0.930	p=0.750	p=0.409

Τα φαινόμενα χρονικής υστέρησης αναδεικνύονται περισσότερο όσο μικρότερο είναι το διάστημα για το οποίο εφαρμόζεται εξομάλυνση. Αυτό πιθανώς έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται μεγαλύτεροι συντελεστές συσχέτισης για εξομάλυνση σε ετήσια βάση και να ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι συντελεστές για εξομάλυνση σε μηνιαία βάση, σε εβδομαδιαία βάση, ενώ οι μικρότεροι εμφανίζονται για τις ημερήσιες τιμές (Πίνακας 5.18).

5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Η μελέτη αυτή έχει σαν σκοπό της την αναζήτηση πιθανής συσχέτισης μεταξύ του αριθμού των περιστατικών αρρυθμιών (για τους τύπους S, Ps, V1, και Vm, αλλά και στο σύνολό τους) και φυσικών παραμέτρων που συνδέονται με την κοσμική ακτινοβολία, καθώς και την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα. Οι παράμετροι αυτές είναι η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, οι δείκτες Ap, Dst, ο αριθμός Rz, ο αριθμός των C Εκλάμψεων, ο αριθμός των M και X Εκλάμψεων, ο αριθμός των SPE καθώς και η συνιστώσα Bz του διαπλανητικού πεδίου. Με τη μέθοδο της εξομάλυνσης για 1 έτος, 1 μήνα και 1 εβδομάδα, ελέγχθηκε η επίδραση των μεταβολών των φυσικών παραμέτρων στους υπό εξέταση τύπους αρρυθμιών με τον υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης καθώς και με την κατασκευή διαγραμμάτων. Ακολουθούν, συνοπτικά, τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από ολόκληρη την ανάλυση και πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων.

Οι μεγάλες μειώσεις στην κοσμική ακτινοβολία όπως και οι μεγάλες μειώσεις του δείκτη Dst δείχνουν να σχετίζονται με αύξηση στον αριθμό των περιστατικών αρρυθμιών για τους περισσότερους απ' τους υπό εξέταση τύπους. Για τις υπόλοιπες φυσικές παραμέτρους παρατηρείται ως επί το πλείστον, ότι η μεγάλη αύξηση των τιμών τους συνδέεται με αυξημένο αριθμό περιστατικών αρρυθμιών των τύπων που μελετώνται. **Συνεπώς, οι μεγάλες μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας και η αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα δείχνουν να συνδέονται με αυξήσεις των περιστατικών αρρυθμιών.**

Οι κοιλιακές αρρυθμίες (V1 και Vm) εμφανίζουν αντιστροφή της συσχέτισης κατά την αντιστροφή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου, με όλες τις παραμέτρους, εκτός της Bz και του Dst.

Οι παράμετροι V1, Vm και Ps εμφανίζουν διπλή κορυφή πλησίον της διπλής κορυφής της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας, του δείκτη Ap, του δείκτη Dst, των M και X Εκλάμψεων και των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων (SPE).

Από τους τύπους που εξετάζονται, **μεγαλύτερη συσχέτιση** με τις φυσικές παραμέτρους **παρουσιάζουν οι V1 αρρυθμίες, ενώ ακολουθεί ο συνολικός αριθμός αρρυθμιών (Total)**. Έπονται οι τύποι **Ps και Vm**, χωρίς όμως να είναι ξεκάθαρο ποιος από τους δύο εμφανίζει μεγαλύτερη συσχέτιση με τις φυσικές παραμέτρους. **Η μικρότερη συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ των φυσικών παραμέτρων και των αρρυθμιών τύπου S.**

Οι συντελεστές συσχέτισης εμφανίζονται **μεγαλύτεροι για εξομάλυνση σε ετήσια βάση** και ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι συντελεστές για εξομάλυνση σε μηνιαία βάση, σε εβδομαδιαία βάση, ενώ οι μικρότεροι εμφανίζονται για τις ημερήσιες τιμές. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι όσο μικρότερο είναι το διάστημα για το οποίο εφαρμόζεται εξομάλυνση, τόσο περισσότερο αναδεικνύονται φαινόμενα χρονικής υστέρησης (time lag)

Οι μεγαλύτεροι συντελεστές, εμφανίζονται για τον δείκτη Dst, για τον αριθμό SPE, για τον αριθμό Rz και για τις μειώσεις της κοσμικής ακτινοβολίας κατά φθίνουσα σειρά.

Στην περίπτωση που το χρονικό διάστημα 1983 -1992 μελετάται ενιαία, οι συντελεστές προκύπτουν μικρότεροι απ' ότι αν διαχωριστεί σε δύο περιόδους 1983 - 1988 και 1989 - 1992. Μάλιστα μεγαλύτεροι είναι οι **συντελεστές για το διάστημα 1989-1992** οπότε και εμφανίζονται **τιμές των συντελεστών της τάξης του 90% για την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με τις αρρυθμίες τύπου V1 ($r = -0.9254^*$, $p=0.00$) και τον συνολικό αριθμό αρρυθμιών ($r = -0.8875^*$ $p=0.00$).**

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Έχουν γίνει στο παρελθόν αρκετές ερευνητικές προσπάθειες για την ανάδειξη πιθανών συσχετισμών ανάμεσα σε παραμέτρους της ανθρώπινης φυσιολογίας και στις μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου, της κοσμικής ακτινοβολίας και άλλων φυσικών παραγόντων (Cornelissen et al., 2002; Babayev and Allahverdiyeva, 2007; Mavromichalaki et al., 2008; 2009) Μάλιστα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ανθρώπινη φυσιολογία επηρεάζεται τόσο από μεταβολές των παραγόντων αυτών, όσο και από την έλλειψη αυτών.

Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα δεν προέκυψαν μόνο από μελέτες που αφορούν καρδιαγγειακές παθήσεις ή παθήσεις του νευρικού συστήματος, όπως εγκεφαλικά επεισόδια, εμφράγματα του μυοκαρδίου ή ακόμη και ατυχήματα (Villoresi et al., 1994a, b; Ptitsyna et al., 1998), ή ψυχικές διαταραχές (Ventriglio et al., 2011), αλλά και από έρευνες που εξετάζουν τις μεταβολές ανθρώπινων φυσιολογικών παραμέτρων, όπως είναι ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή συστολική και διαστολική πίεση (Stoupel, 1980; Dimitrova, 2008b; Stoilova et al., 2008; Papailiou et al., 2009b; Papailiou et al., 2011a; b; 2012).

Σε πρόσφατες μελέτες της Dimitrova (2006; 2008b) για μια ομάδα 86 υγιών εθελοντών η αρτηριακή συστολική και διαστολική πίεση εξετάστηκε σε σχέση με τα επίπεδα του δείκτη Ap, με τα επίπεδα του δείκτη Dst και με τη μείωση της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Διαπιστώθηκε ότι η αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα καθώς και οι μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας σχετίζονται με αυξήσεις των υπό εξέταση φυσιολογικών παραμέτρων.

Σε μελέτη των Stoupel et al. (2006b) διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ αιφνίδιων καρδιακών θανάτων και των περιοδικών μεταβολών της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τις ημέρες που παρατηρήθηκε αύξηση στον αριθμό των αιφνίδιων καρδιακών θανάτων υπήρχε αυξημένη δραστηριότητα της κοσμικής ακτινοβολίας. Επιπλέον, ο μηνιαίος αριθμός των αιφνίδιων καρδιακών θανάτων παρουσίασε θετική συσχέτιση με τα επίπεδα της δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας.

Υπάρχουν ωστόσο και μελέτες, οι οποίες αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο IV, κατά τις οποίες διαπιστώθηκε ότι ακόμη και όταν δεν συμβαίνουν μεταβολές των φυσικών παραγόντων, οι φυσιολογικές παράμετροι παρουσιάζουν έντονες μεταβολές (Stoupel et al., 1991; Stoupel, 2002; Dimitrova 2009a).

Επίσης, στην εργασία των Stoupel et al. (1991) παρατηρήθηκε ότι τα επεισόδια των υπερκοιλιακών αρρυθμιών ήταν αυξημένα τις ημέρες με τη χαμηλότερη και τη μεγαλύτερη γεωμαγνητική δραστηριότητα, εκπεφρασμένης μέσω του δείκτη K, ενώ τα επεισόδια των κοιλιακών αρρυθμιών και της κοιλιακής ταχυκαρδίας εμφανίστηκαν αυξημένα τις ημέρες με τη χαμηλότερη γεωμαγνητική δραστηριότητα.

Η παρούσα εργασία είχε σαν σκοπό, την αναζήτηση πιθανών επιδράσεων της ηλιακής και γεωμαγνητικής δραστηριότητας και της δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας στον καρδιακό ρυθμό, την αρτηριακή πίεση (συστολική και διαστολική) αλλά και στα περιστατικά εμφάνισης αρρυθμιών της καρδιάς στο σύνολό τους, αλλά και για τέσσερεις διαφορετικούς τύπους αρρυθμιών: Υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές (S), Παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία (Ps), Κοιλιακές έκτακτες συστολές (V1) και Πολλαπλές κοιλιακές έκτακτες συστολές (Vm). Ακολουθούν συνοπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από ολόκληρη την ανάλυση.

Από την ανάλυση των δεδομένων του πρώτου πειράματος που αναφέρεται σε 4018 Σλοβάκους αεροπόρους προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Ως προς την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας

- Κατά την ημέρα καταγραφής του γεγονότος, δηλαδή κατά την ημέρα 0 σύμφωνα με την ανάλυσή μας, οι μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας (επίπεδο -3, δηλαδή όταν η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας κυμαίνεται από -11% έως -15%), φαίνεται να σχετίζονται με μειώσεις στον καρδιακό ρυθμό και τη συστολική πίεση ενώ παρουσιάζονται διακυμάνσεις στη διαστολική πίεση.

- Παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων μεταβάλλονται τις μέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια των μεταβολών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας. Μάλιστα, οι μεταβολές αυτές είναι εντονότερες για τα επίπεδα -3 και 0 της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή τα μεγάλα και τα μικρά επίπεδα δραστηριότητας.
- Για το επίπεδο -3, οι HR παράμετροι λαμβάνουν τις μικρότερες τιμές τους την ημέρα της μείωσης (ημέρα 0) καθώς επίσης και μία ημέρα πριν (-1) και μία ημέρα μετά (+1). Για τις παραμέτρους SP, οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται την ημέρα της μείωσης (ημέρα 0) και μια ημέρα μετά (+1). Οι παράμετροι της διαστολικής πίεσης διαφοροποιούνται.
- Η επίδραση των επιπέδων δραστηριότητας της κοσμικής ακτινοβολίας, όπως εκφράζεται από τις p – values, φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στον καρδιακό ρυθμό και δείχνει να επηρεάζει τις περισσότερες παραμέτρους (HRFDL, HRSDL, HRMAX), όλες τις ημέρες. Μικρότερη εμφανίζεται η επίδραση αυτή στην συστολική πίεση (η SPFDL δείχνει να εξαρτάται όλες τις ημέρες από την κοσμική ακτινοβολία, ενώ η SPMAX δείχνει εξάρτηση μόνο την ημέρα 0). Ακόμη λιγότερο φαίνεται να επηρεάζεται η διαστολική πίεση, από τη στιγμή που μόνο η DPR και μόνο για την ημέρα -1 εμφανίζει αποδεκτή p -value.

2. Ως προς το γεωμαγνητικό πεδίο

- Η αυξημένη γεωμαγνητική δραστηριότητα (επίπεδα 3 και 4 των δεικτών A_p και D_{st} , δηλ. $A_p \geq 30$ και $D_{st} < -50$ nT, αντίστοιχα) φαίνεται να συνδέεται με μειώσεις των μέσων τιμών των HR, SP ενώ παρουσιάζονται διακυμάνσεις στη διαστολική πίεση.
- Οι τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων μεταβάλλονται με τις ημέρες πριν, μετά και κατά τη διάρκεια της γεωμαγνητικής καταιγίδας. Οι μεταβολές αυτές είναι εντονότερες για τα επίπεδα 3 και 4 των δεικτών A_p και D_{st} . Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των περισσοτέρων παραμέτρων σημειώνονται στο επίπεδο 4.

- Για το επίπεδο 4 του γεωμαγνητικού δείκτη Ap οι περισσότερες παράμετροι των HR και SP παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή την ημέρα -1, ενώ οι περισσότερες παράμετροι της DP, την ημέρα -3.
- Για το επίπεδο 4 του γεωμαγνητικού δείκτη Dst, οι παράμετροι του HR (εκτός του HRR), εμφανίζουν ελάχιστη τιμή την ημέρα -3, ενώ οι παράμετροι της SP (πλην της SPR), την ημέρα 0. Όλες οι παράμετροι της DP εμφανίζουν ελάχιστο την ημέρα +1.
- Τα επίπεδα του δείκτη Ap, όπως διαπιστώνεται από τις p – values, φαίνεται να επηρεάζουν περισσότερο τον HR (HRFDL, HRSDL). Μικρότερη εμφανίζεται η επίδραση αυτή στην SP (μόνο για την SPMAX). Οι παράμετροι της DP δεν εμφανίζουν αποδεκτές p-values καμία από τις ημέρες πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια του γεγονότος.
- Όπως προκύπτει από τις p – values, τα επίπεδα του δείκτη Dst, φαίνεται να επιδρούν περισσότερο σε όλες τις παραμέτρους της DP. Η επίδραση στις παραμέτρους του HR σημειώνεται τις ημέρες -2 και -3, ενώ για την SP (για όλες τις παραμέτρους) περιορίζεται την ημέρα +3.
- Οι παράμετροι HR φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από την κοσμική ακτινοβολία σε σχέση με τη γεωμαγνητική δραστηριότητα.
- Η επίδραση των μεταβολών της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας στις παραμέτρους της SP δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές μ' εκείνη της γεωμαγνητικής δραστηριότητας.
- Οι παράμετροι της DP δείχνουν να επηρεάζονται περισσότερο από τη γεωμαγνητική δραστηριότητα σε σχέση με την κοσμική ακτινοβολία. Από τη μελέτη της διαστολικής πίεσης δεν μπορούν να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα.
- Ο δείκτης Dst δείχνει να επηρεάζει τις φυσιολογικές παραμέτρους περισσότερο απ' ότι ο Ap.

- Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι στο δείγμα που μελετήσαμε ο καρδιακός ρυθμός HR δείχνει πιο ευαίσθητος στις μεταβολές της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και της γεωμαγνητικής δραστηριότητας απ' ό,τι η συστολική και διαστολική πίεση. Η συστολική πίεση SP δείχνει να επηρεάζεται λιγότερο, ενώ η διαστολική DP δεν δίνει σαφή συμπεράσματα.

Από την ανάλυση των δεδομένων σχετικά με τα περιστατικά των καρδιακών αρρυθμιών του δεύτερου πειράματος από την Γεωργία κατά τη διάρκεια των ετών 1983-1992 προέκυψαν τα εξής:

- Οι μεγάλες μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας και η αυξημένη ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα δείχνουν να συνδέονται με αυξήσεις των περιστατικών αρρυθμιών.
- Μεγαλύτερη συσχέτιση με τις φυσικές παραμέτρους παρουσιάζουν οι αρρυθμίες τύπου V1, ενώ ακολουθεί ο συνολικός αριθμός αρρυθμιών (Total). Έπονται οι αρρυθμίες τύπου Ps και Vm. Η μικρότερη συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ των φυσικών παραμέτρων και των αρρυθμιών τύπου S.
- Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα σχετικά με τους συντελεστές συσχέτισης των φυσικών παραμέτρων με κάθε τύπο αρρυθμιών, και για κάθε τύπο χρονική ανάλυση, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη επίδραση εμφανίζεται για τον δείκτη Dst, για τον αριθμό των πρωτονικών γεγονότων SPE, για τον αριθμό των κηλίδων Rz και για τις μειώσεις της έντασης της κοσμικής ακτινοβολίας.
- Είναι χαρακτηριστικό ότι οι παράμετροι V1, Vm και Ps εμφανίζουν διπλό μέγιστο πλησίον του διπλού μεγίστου που εμφανίζουν η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας, ο δείκτης Ap, ο δείκτης Dst, οι M και X Εκλάμψεις και τα ηλιακά πρωτονικά γεγονότα (SPE). Αυτό το δευτερογενές μέγιστο συμπίπτει με τα έντονα γεγονότα της ηλιακής δραστηριότητας του έτους 1991.

- Σημειώνεται ότι η συσχέτιση των αρρυθμιών με τις ηλιακές και διαπλανητικές παραμέτρους που μελετήσαμε σε αυτή την εργασία παρουσιάζουν αντιστροφή της συσχέτισής τους (από θετική σε αρνητική και τανάπαλι) κατά τα έτη 1988-1989 (Πίνακας 5.13). Τα έτη αυτά συμπίπτουν με την αλλαγή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου που συμβαίνει 2-3 έτη μετά το μέγιστο της ηλιακής δραστηριότητας (Mavromichalaki et al., 1998). Για τον λόγο αυτό μελετήθηκαν ξεχωριστά τα χρονικά διαστήματα 1983-1988 και 1989-1992 και προέκυψαν ότι :
 - Οι συντελεστές συσχέτισης προκύπτουν γενικά μεγαλύτεροι από την περίπτωση που εξετάσαμε όλο το χρονικό διάστημα 1983-1992. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην διαφορετική συσχέτιση των αρρυθμιών με τις διάφορες φυσικές παραμέτρους στις δύο συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.
 - Μάλιστα οι συντελεστές συσχέτισης που αφορούν το διάστημα 1989-1992 εμφανίζονται ελαφρώς μεγαλύτεροι (μέση τιμή της τάξης του 0.561) σε σχέση με το διάστημα 1983-1988 (μέση τιμή της τάξης του 0.519). Οι τιμές των συντελεστών για το διάστημα 1989-1992 είναι της τάξης του 93% για την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με τις αρρυθμίες τύπου V1 ($r = -0.9254^*$, $p=0.00$) και με τον συνολικό αριθμό αρρυθμιών ($r = -0.8875^*$, $p=0.00$).
 - Τα πρόσημα των συντελεστών συσχέτισης των αρρυθμιών με τις ηλιακές και διαπλανητικές παραμέτρους δείχνουν αντιστροφή της συσχέτισής τους κατά την αντιστροφή της πολικότητας του ηλιακού μαγνητικού πεδίου (1989). Πιο συγκεκριμένα οι κοιλιακές αρρυθμίες V1 και Vm και ο συνολικός αριθμός των αρρυθμιών παρουσιάζουν αυτή τη συμπεριφορά με τις περισσότερες φυσικές παραμέτρους (Πίνακας 5.13)

Από το σύνολο της εργασίας αυτής, προέκυψαν και ορισμένα επιπλέον συμπεράσματα τα οποία δεν αφορούν τη σχέση των φυσικών με τις φυσιολογικές παραμέτρους αλλά τη σχέση ορισμένων φυσικών παραμέτρων μεταξύ τους:

- Οι μειώσεις στην ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδεύονται από αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη Dst, άλλες φορές ταυτόχρονα, ενώ άλλες φορές με κάποια χρονική υστέρηση, ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει πάντα.

- Το διπλό μέγιστο (1989 και 1991) του ηλιακού κύκλου 22 (Σχήμα 5.64) φαίνεται να το παρουσιάζουν και οι φυσικές παράμετροι A_p , M και X Εκλάμψεις, SPE και η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας σαν ελάχιστο, με κάποια χρονική διαφορά μεταξύ των παραμέτρων.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι αρκετά αξιόπιστα καθώς τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση είναι μεγάλα (1223 μετρήσεις από τη Σλοβακία και 3540 μετρήσεις από τη Γεωργία), και αφορούν μεγάλες χρονικές περιόδους, διάρκειας περίπου ενός ολόκληρου ηλιακού κύκλου.

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές πρόσφατες έρευνες σχετικές με τα θέματα αυτά οι οποίες βρίσκονται σε μικρή ή μεγαλύτερη συμφωνία με τα αποτελέσματα αυτά. Ωστόσο εντοπίζονται και διαφορές, γεγονός που καθιστά την περαιτέρω μελέτη απαραίτητη και επιβεβλημένη.

Η επεξεργασία των δεδομένων από τη Γεωργία θα πρέπει να συνεχιστεί, ώστε να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ των μέσων μηνιαίων τιμών των αρρυθμιών με τις μέσες μηνιαίες τιμές των υπό εξέταση φυσικών παραμέτρων. Επίσης, η εμφάνιση χρονικής υστέρησης μεταξύ των φυσικών μεταβολών και των διαφόρων τύπων αρρυθμιών θα πρέπει να μελετηθεί πιο αναλυτικά ώστε να εντοπιστεί η χρονική αυτή διαφορά σε σχέση με το φαινόμενο υστέρησης της κοσμικής ακτινοβολίας σε σχέση με διάφορες ηλιακές και διαπλανητικές παραμέτρους σε άρτιους και περιττούς ηλιακούς κύκλους.

Η ανάλυση αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί και στην επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων. Επίσης, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η έρευνα σε διαφορετικές ομάδες ατόμων (διαχωρισμός ανάλογα με το φύλο, την ηλικία, την κατάσταση της υγείας) ή σε διαφορετικούς τόπους (σε περιοχές με διαφορετικά γεωγραφικά μήκη και πλάτη, ειδικά όσον αφορά την επίδραση του γεωμαγνητικού πεδίου στην ανθρώπινη φυσιολογία, εφόσον η έντασή του διαφέρει ανά την υφήλιο).

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλά βήματα στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο επηρεάζονται οι βασικές ανθρώπινες λειτουργίες από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και τον Διαστημικό καιρό. Οι έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η επίδραση αυτή δεν είναι αμελητέα. Ο εντοπισμός της επίδρασης τέτοιων φαινομένων και ο συσχετισμός τους με παραμέτρους της ανθρώπινης φυσιολογίας, όχι μόνο μπορεί να ερμηνεύσει τα

καταγεγραμμένα παθολογικά συμπτώματα, αλλά θα μπορούσε να χρησιμεύσει ακόμα και στην πρόληψη σοβαρών προβλημάτων στην υγεία του ανθρώπου, πνευματική και σωματική. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να συνεχιστεί η έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση, δηλαδή προς την αναζήτηση και τον πλήρη προσδιορισμό της σχέσης ανάμεσα στον Διαστημικό καιρό και την ανθρώπινη υγεία.

Ahluwalia H.S. “Half cycle effects in secular variations of cosmic ray intensity” Proc. 2nd SOLTIP Symposium 5, 247, 1995.

Babayev E.S., Allahverdiyeva A.A. “Effects of geomagnetic activity variations and physiological state of functionally healthy humans: some results of Azerbaijan studies”, Adv. Space Res. 40: 1941-1951, 2007

Bazilevskaya G.A., “Solar cosmic rays in the near Earth space and the atmosphere”, Adv. Space Res. 35 : 458–464, 2005

Bellieni C.V.,¹ Acampa M.,² Maffei M.,¹ Maffei S.,² Perrone S.,¹ Pinto I.,³ Stacchini N., Buonocore G.: “Electromagnetic fields produced by incubators influence heart rate variability in newborns” Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. doi:10.1136/adc.2007.132738, f1-f4, 2008.

Belov.A, H.Garcia, V.Kurt, H.Mavromichalaki., M.Gerontidou: “Proton enhancements and their relation tou X-ray Flares during the three last solar cycles”, Solar Physics 229, 135-159, 2005

Belov.A, V.Kurt, H.Mavromichalaki., M.Gerontidou: “ Peak size distributions of proton fluxes and associated soft X-ray Flares”, Solar physics, 246,457-470, 2007

Boteler D.H., Pirjola R.J., Nevanlinna H.: “The effects of geomagnetic disturbances on electrical systems at the earth’s surface”, Adv.Space Res.Vol.22.No.1,pp. 17-27, 1998.

Buda A. and Jarynowski A., “Life-time of correlations and its applications” vol.1, Wydawnictwo Niezalezne: 5–21, December 2010

Cahil L.J., Jr and Amazzen P.G., “The boundary of the magnetic field”, J. Geophys. Res. 68, 1835-1843, 1963

Cane H. V. and Lario D., “An Introduction To CME’S And Energetic Particles”, Space Science Reviews 00: 1–13, 2006

Cornelissen G., Halberg F., Breus T., Syutkina E.V., Baevsky R., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E.E.: “Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction”, Journal of atmospheric and solar-terrestrial Physics 64, 707 – 720, 2002.

Dimitrova S., Stoilova I. and Cholakov I., “Influence of Local Geomagnetic Storms on Arterial Blood Pressure”, Bioelectromagnetics 00:1-7, 2004a.

Dimitrova S., Stoilova I., Yanev T., Cholakov I., “Effect of Local and Global Geomagnetic Activity on Human Cardiovascular Homeostasis”, Archives of Environmental Health: An International Journal, Volume 59, Number 2 / February 2004, Pages: 84 – 90 2004b.

Dimitrova S., “Cosmic Rays Variations and Human Physiological State”, Sun and Geosphere, 4(2): 79 – 83, 2009a.

Dimitrova S., Babayev E.S., Mustafa F.R., Stoilova I., Taseva T., Georgieva K., “Geomagnetic Storms and Acute Myocardial Infarctions Morbidity in Middle Latitudes” Sun and Geosphere, 4(2): 72 – 78, 2009b

Dimitrova S., “Different geomagnetic indices as an indicator for geo-effective solar storms and human physiological state”, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 70, Issues 2-4, Pages 420-42, 2008a.

Dimitrova S.,” Possible heliogeophysical effects on human physiological state, *Universal Heliophysical Processes Proceedings IAU Symposium No. 257*, 2008 b

Dimitrova S., “Relationship between human physiological parameters and geomagnetic variations of solar origin”, Advances in Space Research, Volume 4, Issue 6, pages 1251-1257, 2006

Dorman L. I., Iucci N., Ptitsyna N.G., and Villoresi G., “Cosmic rays as indicators of space weather influence on the incidence of myocardial infarction, brain stroke, car and train accidents”, IRC 2001

Dorman L. I., Iucci N., Ptitsyna N.G., and Villoresi G., “Cosmic Ray Forbush – decreases as indecators of space dangerouw phenomena and possible use of cosmic ray data for their prediction”, Proceedings of the 26th International Cosmic Ray Conference. Volume 6, p.476, 1999

Doncaster C.P and Davey A.J.H, “Analysis of Variance and Covariance: How to Choose and Construct Models for the Life Sciences”, Cambridge University Press, 2007

Drury LO’C, “An introduction to the theory of diffusive shock acceleration of energetic particles in tenuous plasmas”, Rep. Prog. Phys., Vol. 46, pp. 973-1027, 1983.

Dungey J.W., “Interplanetary Magnetic Field and the Auroral Zones”, Phys. Rev. Lett. 6, 47–48, 1961.

Feinleib M., Rogote E. and Sturrock P. A., “Solar Activity and Mortality in the United States”, International Journal of Epidemiology Volume 4, Issue 3 Pp. 227-229, 1975

Fermi E., “On the origin of the cosmic radiation”, Physical Review , Volume 95, Number 8, p 1169-1174, 1949.

Gigolashvili M., Ramishvili G., Janashia K., Tvildiani L., Pitiurishvili P. “Possible Dependence of the Sign Changing of the Polarity of Interplanetary Magnetic Field on Complications of Various Arrhythmias”, National Astronomical Observatory, Internal Report., <http://www.docstoc.com/docs/48038168>, 2010

Hatton C.J., “Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics”, Vol X, American Elsevier, 1971

Knox EG, Armstrong E, Lancashire R, Wall M, Haynes R., “Heart attacks and geomagnetic activity”, *Nature*. Oct 18; 281(5732):564-5,

Kudela, K. and Brenkus, R. “Cosmic ray decreases and geomagnetic activity: list of events 1982–2002” , *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 66, 1121–1126, 2004.

Lin J., Ko Y.-K.Sui., L., Raymond J. C., Stenborg A., Jiang Y., Zhao S., and Mancuso S. - *The Astrophysical Journal*, 622:1251–1264, 2005 April

Marmatsouri L., Vassilaki A., Mavromichalaki H. Petropoulos B., “Cosmic-Ray long-term variations due to the solar activity for the 22nd solar cycle”, *Adv. Space Res.* vol. 16 (9), 245 - 248, 1995.

Mavromichalaki H., Belehaki A., Rafios X., “Simulated effects at neutron monitor energies: evidence for a 22-year cosmic-ray variation”, *Astron. Astrophys.* 330, 764–772, 1998.

Mavromichalaki H., Marmatsouri E and Vassilaki A., “Simulation of long term cosmic-ray intensity variation” *Solar Physics*, 125, 409-414, 1990.

Mavromichalaki H., Paouris E., Karalidi T., “Cosmic-Ray Modulation: An Empirical Relation with Solar and Heliospheric Parameters”, *Solar Phys* 245, 369–390, DOI 10.1007/s11207-007-9043-1, 2007.

Mavromichalaki H., Papailiou M., Dimitrova S., Babayev E.S., Mustafa F. R., “Geomagnetic Disturbances and Cosmic Ray Variations in Relation to Human Cardio-health State: A Wide Collaboration” *ECRS 2008*, Kosice, 8-12 September 2008

Mavromichalaki H., Papailiou M., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., “Physiological state of Slovak aviators in relation to geomagnetic disturbances and cosmic ray intensity variations”, Proc. of the 31st ICRC, ŁODZ, 2009.

Mendoza B., Díaz-Sandoval R., “Relationship between Forbush decreases and myocardial infarctions in Mexico” : ICRC 2001.

Messner T., Häggström I., Sandahl I. and Lundberg V., “No covariation between the geomagnetic activity and the incidence of acute myocardial infarction in the polar area of northern Sweden”, International Journal of Biometeorology 46, 90-94, 2002.

Moraal H., “Observations of the eleven year cosmic ray modulation cycle”, Space Science Reviews, vol. 19, p. 845-920, Dec. 1976.

Moraal H., Belov A. and Clem J.M., Design and co-Ordination of Multi-Station International Neutron Monitor Networks, Space Science Reviews , Volume 93, Numbers 1-2, 285-303, 2000.

Moraal H., Reinecke J.P.L, and McCracken K.G., “The Ground Level Enhancements of Solar Cycle 23”, PROCEEDINGS OF THE 31st ICRC, Ł ‘ OD ‘ Z 2009.

Palmer S. J., Rycroft M.J., Cermack M.,” Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth’s surface”, Surv Geophys DOI 10.1007/s10712-006-9010-7, Springer Science+Business Media B.V.,2006.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Vassilaki A., Kelesidis K.M., Mertzanos G.A., Petropoulos B., “Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during the December 2006 solar extreme events”, Advances in Space research 43, 523 – 529, 2009.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., Giannaropoulou E., “The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic

disturbances on the physiological state of aviators”, *Astrophys. Space Sci. Trans.*, 7, 373–377, 2011a.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J., Dimitrova S., “Effect of geomagnetic disturbances on physiological parameters: An investigation on aviators”, *Advances in Space Research* 48, 1545–1550, 2011b.

Papailiou M., Mavromichalaki H., Kudela K., Stetiarova J. and Dimitrova S., “Cosmic radiation influence on the physiological state of aviators”, *Natural Hazards*, 61, 719–727 2012.

Perry F. S., Reichmanis M., Marino A. A., Becker R. O., “Environmental power-frequency magnetic fields and suicide”, *Health Physics*, Vol. 41, 267–277, 1981.

Ptitsyna, N.G., Villoresi, G., Tyasto, M.I., Iucci, N., Dorman, L.I. “Possible effect of geomagnetic disturbances on the incidence of traffic accidents” (St. Petersburg 1979–1989). *Physica Medica* 11, 93–102, 1995.

Ptitsyna N.G., Villoresi G., Kopytenko Y.A., Kudrin V.A., Tyasto M.I., Kopytenko E.A., Iucci N., Voronov P.M., Zaitsev D.B., “Coronary heart diseases: Assessment of risk associated with work exposure to ultralow-frequency magnetic fields”, *Bioelectromagnetics*, Volume 17, Issue 6, pages 436–444, 1996

Ptitsyna, N.G., Villoresi, G., Dorman, L.I., Iucci, N., Tyasto, M.I., “Natural and man made low-frequency magnetic fields as a potential health hazards. *UFN* 168: 767–791, 1998.

Reames DV, *Particle Acceleration at the Sun and in the Heliosphere*, *Space Science Reviews*, 1999

Rosner B., “Fundamentals of Biostatistics”, Cengage Learning, 2010

Russel C. T., “The solar wind and magnetospheric dynamics”, Correlated Interplanetary and Magnetospheric Observations, P. 3, 1974.

Stoilova I., Dimitrova S., “ Geophysical variables and human health and behavior” Original Research Article , Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 70, Issues 2–4, , Pages 428-435, February 2008

Stoupel E., “Effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters”, Journal of Clinical and Basic Cardiology, 2 (1), 34-40, 1999.

Stoupel E., “Cardiac Arrhythmia and Geomagnetic Activity”, Indian Pacing and Electrophysiology Journal (ISSN 0972-6292), 6(1), 49-53, 2006a.

Stoupel E., Babayev E.S., Mustafa F.R., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J., “Clinical Cosmobiology - Sudden Cardiac Death and Daily / Monthly Geomagnetic, Cosmic Ray and Solar Activity - the Baku Study (2003-2005)”, Sun and Geosphere, 1(2), 13-16, 2006b.

Stoupel E., Kalėdienė R., Petrauskienė J., Starkuvienė S., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J., “Clinical cosmobiology: distribution of deaths during 180 months and cosmophysical activity. The Lithuanian study, 1990–2004: The role of cosmic rays”, Medicina (Kaunas) 43(10), 824- 831, 2007.

Stoupel E., Kalediene R., Petrauskiene J., Starkuviene S., Abramson E., Israelevich P., Sulkes J., “Twenty years study of solar, geomagnetic, cosmic ray activity links with monthly deaths number (n-850304)”, J. Biomedical Science and Engineering, 4, 426-434, 2011.

Stoupel E., “Data about Holter detected ventricular tachycardia”, J. Cardiovasc. Technol. 9: 400, 1990

Stoupel E, Martfel J, Rotenberg Z., “Paroxysmal atrial fibrillation and stroke in males and females above and below age 65 on days of different geomagnetic activity levels”, J. Bas. Clin. Physiol. Pharmacol., 5: 3–4, 315–29, 1994

Stoupel E, Shimshoni M., “Hospital cardiovascular deaths and total distribution of deaths in 180 consecutive months with different cosmic physical activity: a correlation study (1974–1988)”, *Int. J Biometerol.* 35: 6–9, 1991

Stoupel E, Domarkiene S, Radishauskas R, Israelevich P, Abramson E, Sulkes J., “In Women Myocardial Infarction Occurrence is Much Stronger Related to Environmental Physical Activity than in Men - a Gender or an Advanced Age Effect”, *Journal of Clinical and Basic Cardiology* 8 (1-4), 59-60, 2005

Stoupel E., “The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters”, *Biomed Pharmacother.*, 56 Suppl 2:247s-256s, 2002.

Stoupel E., “Source Sudden cardiac deaths and ventricular extrasystoles on days with four levels of geomagnetic activity”, *J Basic Clin Physiol Pharmacol.*, Oct-Dec;4(4):357-66, 1993.

Stoupel E. “Solar-terrestrial prediction: aspects for preventive medicine”, *Proceedings Solar-terrestrial Predications Workshop: Boulder, Co., National Ocean Atmospheric Administration. Space Environment Laboratory, USAF Geophysical Laboratory*, 4: G-29–G-40, 1980.

Vander, Sherman, Τσακόπουλος Μ. “Φυσιολογία ΙΙ” , Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης, 2001

Ventriglio A., Borelli A., Bellomo A., Lepore A., “Birthdates of patients affected by mental illness and solar activity: A study from Italy”, *Adv. Sp. Res.* 47: 1135-1139, 2011

Villoresi, G.; Dorman, L. I.; Ptitsyna, N. G.; Iucci, N.; Tyasto, M. I., “Forbush Decreases as Indicators of Health-Hazardous Geomagnetic Storms”, 24th International Cosmic Ray Conference, 1995.

Villoresi G, Ptitsyna NG, Tiasto MI, Iucci N., “Myocardial infarct and geomagnetic disturbances: analysis of data on morbidity and mortality”, Biofizika., Jul-Aug;43(4):623-31, 1998.

Villoresi G., Breus TK, Iucci N, Dorman LI, Rapoport SI, “The influence of geophysical and social effects on the incidences of clinically important pathologies (Moscow 1979 – 1981)”, Phys Med 10: 79-91, 1994a

Villoresi G, Kopytenko YA, Ptitsyna NG, Tyasto MI, Kopytenko EA, Iucci N., Voronov PM, “The influence of geomagnetic storms and man-made magnetic field disturbances on the incidence of myocardial infarction in St. Petersburg (Russia)”, Phys Med 10: 107-117, 1994 b

Webber, W. R. and J. A. Lockwood, “Large Cosmic Ray Transient Decreases Observed in the Heliosphere at the Earth, Voyagers 1 and 2, and Pioneer 10 from 1987 to 1991 and their Role in the Overall Intensity Decrease that is Observed”, J. Geophys. Res., 98, 21095, 1993.

Wagner W. J., “Coronal mass ejections”, Annual Rep. Astron. Astrophys.22, 267 - 289, 1984.

Young H. D., “Statistical treatment of experimental data”, McGraw-Hill Book company INC, 1962.

Zhadin M. N., “Review of Russian Literature on Biological Action of DC and Low-Frequency AC Magnetic Fields”, Bioelectromagnetics 22, 27 – 45, 2001.

Γεροντίδου Μ, “Πηγές και μηχανισμοί επιτάχυνσης των ηλιακών πρωτονικών γεγονότων”, Διδακτορική Διατριβή, 2007.

Δαμιανού Χ, Παπαδάτος Ν., Χαραλαμπίδης Χ. Α., 0020 “Εισαγωγή στις πιθανότητες και τη στατιστική – Διδακτικές Σημειώσεις” , Τμήμα Μαθηματικών Πανεπιστημίου Αθηνών, ΑΘΗΝΑ 2003

Θεοδοσίου Σ., Δανέζης Μ, “Το σύμπαν που αγάπησα – Εισαγωγή στην Αστροφυσική”, Δίαυλος, 1999

Κρεμαστινός Δ., “Καρδιολογία”, Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης, 2008

Μαυρομιχαλάκη Ε., Κοσμική Ακτινοβολία, Εκδόσεις Συμμετρία, 2009

Πανάρετος, Ι. & Ξεκαλάκη, Ε., “Εισαγωγή στη Στατιστική σκέψη, Τόμος ΙΙ - Εισαγωγή στις Πιθανότητες και στη Στατιστική Συμπερασματολογία, Αθήνα, 2000

Πρέκα – Παπαδήμα Π., Δανέζης Μ., Θεοδοσίου Σ., Καργιολάκη Δ. “Εισαγωγή στην Ηλιακή Φυσική”, Δίαυλος, 2009

Ρίχτερ Δ., Μπεσπέας Σ., “ Πρόληψη και έγκαιρη διάγνωση νοσημάτων φθοράς” , Ελληνική Αντικαρκινική Εταιρεία, 2004

Ρούσσοις, Π. & Γ. Τσαούσης, “Στατιστική εφαρμοσμένη στις κοινωνικές επιστήμες”, Αθήνα, Ελληνικά Γράμματα, 2002

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_FLARES

<http://neutronmonitor.ta3.sk/realtime.php3>

<http://neutronmonitor.ta3.sk/>

<http://spacescience.spaceref.com/ssl/pad/solar/interior.htm>

<http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2005-4/download/lrsp-20054BW.pdf>

<http://spidr.ngdc.noaa.gov>

<http://sunearthplan.net/3/interplanetary-space>

<http://www.nmdb.eu/nest/search.php>

<http://www.originlab.com/www/helponline/Origin/en/Category/Smoothing.html>

<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/001101.htm>

<http://www.mayoclinic.com/health/heart-arrhythmias/DS00290>

<http://www.incardiology.gr>

<http://www.ips.gov.au>

Πίνακας συντομεύσεων

CRI	Ένταση κοσμικής ακτινοβολίας
HR	Καρδιακός ρυθμός
HRR	Καρδιακός ρυθμός σε ηρεμία
HRFDL	Καρδιακός ρυθμός σε πρώτο επίπεδο κόπωσης
HRSDL	Καρδιακός ρυθμός σε δεύτερο επίπεδο κόπωσης
HRMAX	Καρδιακός ρυθμός σε μέγιστο επίπεδο κόπωσης
SP	Συστολική πίεση
SPR	Συστολική πίεση σε ηρεμία
SPFDL	Συστολική πίεση σε πρώτο επίπεδο κόπωσης
SPSDL	Συστολική πίεση σε δεύτερο επίπεδο κόπωσης
SPMAX	Συστολική πίεση σε μέγιστο επίπεδο κόπωσης
DP	Διαστολική πίεση
DPR	Διαστολική πίεση σε ηρεμία
DPFDL	Διαστολική πίεση σε πρώτο επίπεδο κόπωσης
DPSDL	Διαστολική πίεση σε δεύτερο επίπεδο κόπωσης
DPMAX	Διαστολική πίεση σε μέγιστο επίπεδο κόπωσης
S	Υπερκοιλιακές έκτακτες συστολές
Ps	Παροξυσμική υπερκοιλιακή ταχυκαρδία
V1	Κοιλιακές έκτακτες συστολές
Vm	Πολλαπλές κοιλιακές έκτακτες συστολές
Total	Συνολικός αριθμός αρρυθμιών

The effect of cosmic ray intensity variations and geomagnetic disturbances on the physiological state of aviators

M. Papailiou¹, H. Mavromichalaki¹, K. Kudela², J. Stetiarova², S. Dimitrova³, and E. Giannaropoulou¹

¹Nuclear and Particle Physics Section, Physics Department, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

²Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Kosice, Slovakia

³Space and Solar-Terrestrial Research Institute (SSRI), Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Received: 30 September 2010 – Revised: 5 April 2011 – Accepted: 6 April 2011 – Published: 9 September 2011

Abstract. Over the last few years various researches have reached the conclusion that cosmic ray variations and geomagnetic disturbances are related to the condition of the human physiological state. In this study medical data regarding 4018 Slovak aviators were analyzed in relation to daily variations of cosmic ray and geomagnetic activity. Specifically daily data concerning mean values of heart rate which were registered during the medical examinations of the Slovak aviators, were related to daily variations of cosmic ray intensity, as measured by the Neutron Monitor Station on Lomnický štít (<http://neutronmonitor.ta3.sk/realtime.php3>) and the high resolution neutron monitor database (<http://www.nmdb.eu>) and daily variations of Dst and Ap geomagnetic indices. All subjects were men in good health of age 18–60 yrs. This particular study refers to the time period from 1 January 1994 till 31 December 2002. Statistical methods were applied to establish a statistical significance of the effect of geomagnetic activity levels and cosmic ray intensity variations on the aforementioned physiological parameters for the whole group. The Pearson *r*-coefficients were calculated and the Analysis of Variance (ANOVA) method was applied to establish the statistical significance levels (*p*-values) of the effect of geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on heart rate up to three days before and three days after the respective events. Results show that there is an underlying effect of geomagnetic activity and cosmic ray intensity variations on the cardiovascular functionality.

1 Introduction

Cosmic ray intensity (CRI) and geomagnetic activity (GMA) variations can influence not only the performance and reliability of space - borne or ground - based technological

systems but also human life. Even though the scientific field concerning the responses of the human organism to CRI variations and GMA is relatively new, many interesting studies have been carried out with remarkable results (Cornelissen et al., 2002; Dzvonik et al., 2006; Stoupeľ et al., 2007). These results refer not only to the possible influence of GMA disturbances on the human cardiovascular state through variations of physiological parameters such as heart rate (HR) and arterial diastolic and systolic blood pressure (Dimitrova et al., 2009) but also on the central and vegetative nervous system through changes of the human brain's functional state and the psycho - emotional state (Babayev and Allahverdiyeva, 2007).

Some studies revealed that the most significant effects on myocardial infarctions, brain strokes, and traffic accidents were observed on the days of geomagnetic field disturbances accompanied with Forbush decreases (FDs) (Villoresi et al., 1994, 1995; Ptitsyna et al., 1998) and especially during the declining phase of FD (Villoresi et al., 1994, 1998; Dorman, 2005). At the same time it was shown that very low GMA could affect also adversely human cardio-vascular system (Stoupeľ et al., 2004, 2005, 2006, 2007) and that is why it is suggested that the role of environmental physical factors becoming more active in low GMA, like CR (neutron) activity, should be object of further studies (Stoupeľ, 2006).

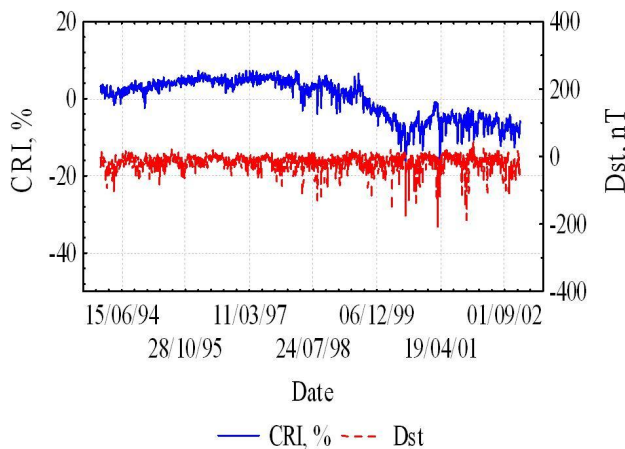
Different human physiological parameters have been used in recent studies in order to determine the relationship between cardio - health state and geomagnetic and cosmic ray activity. For example, in Dimitrova et al. (2009) HR appeared to be a rather stable cardiovascular parameter and did not react statistically significantly under geomagnetic changes, whereas a statistically significant increment was revealed for arterial systolic and diastolic blood pressure during increased GMA. On the other hand Villoresi et al. (1995) showed that HR is better related to GMA. Moreover Mavromichalaki et al. (2008) showed that HR increased with GMA increase and the accompanied CRI decrease.



Correspondence to: M. Papailiou
(mpapahl@phys.uoa.gr)

Table 1. CRI and GMA levels and the corresponding number of days

Ap levels	Ap-index values	Number of days	Dst levels	Dst-index values (nT)	Number of days	CRI levels	CRI, %	Number of days
I0	$Ap < 8$	597	I0	$Dst \geq 0$	178	-3	$-15 \leq CRI \leq -11$	16
I	$8 \leq Ap < 15$	306	I	$-20 < Dst < 0$	640	-2	$-11 < CRI \leq -6$	225
II	$15 \leq Ap < 30$	232	II	$-50 < Dst \leq -20$	340	-1	$-6 < CRI \leq -1$	294
III	$30 \leq Ap < 50$	67	III	$-100 < Dst \leq -50$	55	0	$CRI = 0$	25
IV	$Ap \geq 50$	21	IV	$Dst \leq -100$	10	+1	$1 \leq CRI \leq 4$	261
						+2	$4 < CRI \leq 8$	402

**Fig. 1.** Normalized daily CRI (%) and Dst-index (nT) variations from 1 January 1994 to 31 December 2002.

This study is a result of the collaboration of three different scientific groups, from Athens (Greece), Kosice (Slovakia) and Sofia (Bulgaria). The results that are presented concern mainly the influence that CRI changes and geomagnetic disturbances might have on the human cardio-health state of aviators and specifically on HR variations.

2 Data and method of analysis

The HR measurements used in this study refer to a group of 4018 Slovak aviators and were obtained during their periodical medical checks at ground level. The group consisted only of men (from 18 to 60 yrs old), all in good health. Daily mean values of the group of the examined aviators HR (beats/min) in rest without load (HRR), HR in 1st degree of load (HRFDL - sitting on a stationary bike and pedaling at a power of 50 – 100 W), HR in 2nd degree of load (HRSDL - sitting on a stationary bike and pedaling at a power of 100 – 150 W), maximum HR achieved by load (HRMAX - sitting on a stationary bike and pedaling at maximum power) were registered. Each HR value represents the mean daily HR value of all the aviators, who were examined during that

day. On some days (weekends, holidays, etc) no medical data were available. The total number of the days of measurements is equal to 1223. The data refer to the time period from 1 January 1994 until 31 December 2002.

Pressure corrected daily data of the hadronic component of the CRI were obtained from Lomnický štít Neutron Monitor (SNM-15) of the Department of Space Physics, Institute of Experimental Physics, Kosice, Slovakia. This station is located 2634 m above sea level and detects particles with a cut-off rigidity of 3.84 GV. It has been operational since December 1981 providing high quality data (archive, current data) through the Internet in digital form (<http://neutronmonitor.ta3.sk/>). The normalization of the CRI data was based on the assumption that the 100% level was reached in September 1986, when the CRI minimum of the previous solar cycle had occurred. CR activity was divided into six levels (–3, –2, –1, 0, +1, +2) according to CRI (Table 1). In this way no further corrections due to long or short term cosmic ray modulation, such as solar cycle variation or FDs which can possibly influence the average HR, were necessary.

The GMA of the days, for which medical data were available, was also analyzed. The geomagnetic index Dst data were obtained from the World Data Centre for Geomagnetism, Kyoto (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>). Ap-index data were obtained from Space Weather Prediction Centre at NOAA, Boulder, (http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/indices/old_indices.html). GMA was divided into five levels (I0, I, II, III, IV) according to Dst-index and Ap-index (Table 1).

Cosmic ray intensity and geomagnetic activity variations are not independent. Low CRI is related to strong GMA during FDs, while strong GMA may also weaken the geomagnetic shielding and increase CRI and therefore cause magnetospheric effects (Belov et al., 2005; Chilingarian and Bostanjyan, 2009). CRI and Dst-index variations for the time period under examination are presented in Fig. 1. As it is shown in this figure the strongest decrease of CRI (–15%) was registered on 12 April 2001 when Dst-index had a value of –118 nT.

Table 2. Correlation coefficients between GMA and CRI parameters and physiological parameters under examination (Results marked with * are statistically significant)

	Ap	Ap level	Dst	Dst level	CRI, %	CRI level
HRR	−0.0389 p = 0.174	−0.0585* p = 0.041	0.0681* p = 0.017	−0.0591* p = 0.039	0.0325 p = 0.257	0.0288 p = 0.315
HRFDL	−0.0368 p = 0.199	−0.0545 p = 0.057	0.0804* p = 0.005	−0.0695* p = 0.015	0.2480* p = 0.000	0.2470* p = 0.000
HRSDL	−0.0665* p = 0.020	−0.0732* p = 0.011	0.0987* p = 0.001	−0.0959* p = 0.001	0.2324* p = 0.000	0.2343* p = 0.000
HRMAX	−0.0637* p = 0.026	−0.0568* p = 0.047	0.0903* p = 0.002	−0.0721* p = 0.012	0.3140* p = 0.000	0.3245* p = 0.000

The statistical method Analysis Of Variance - ANOVA (statistical package STATISTICA ver.6, StatSoft Inc., 2001), was applied to establish the statistical significance levels (p) of the effect of CRI and GMA levels on HR. The effect of CRI and geomagnetic variations up to three days before and after the respective events (geomagnetic storms development - considering the number of days of the length of the storms and CRI decreases and increases) on the examined parameter HR was also investigated by the help of ANOVA and superimposed epoch method. The p - values were calculated for the days before (-), during (0) and after (+) geomagnetic storms and CRI variations.

3 Results

Heart rate variations have been analyzed in regard to CRI, Ap- and Dst- indices variations. At first the correlation coefficients between GMA and CRI parameters and physiological parameters under examination were calculated and they are presented in Table 2. It is seen that there are significant correlation coefficients although small by value, especially for GMA. It is supposed that the relationship between the examined parameters is nonlinear and that is why furthermore gradation of the factors was applied and the effects were studied by ANOVA.

The ANOVA method of analysis was used for obtaining the significance levels (p-values) of the effect of CRI and GMA level on HR for the days before (-), during (0) and after (+) CRI variations and geomagnetic storms. Table 3 shows p-values for Dst-index and CRI effect on some of the parameters under examination.

Results from ANOVA revealed that high GMA levels (GMA increase, i.e. Ap-index values increase and Dst-index values decrease) and CRI decrease are associated to HR decrease. As it is seen in Figs. 2 and 3 HRR, HRFDL, HRSDL and HRMAX take their minimum value for CR level −3 (strongest decreases in CRI) as well as for level IV for Dst-index classification (Fig. 4) and Ap-index classification (Fig. 5). Results from ANOVA observed in the figures coin-

Table 3. Significance levels (p-values) of CRI and GMA effect on HR for the days before (-), during (0) and after (+) geomagnetic storms and CRI variations (Results marked with * are statistically significant)

	p-values (Dst-index)			p-values (CRI)	
Day	HRFDL	HRSDL	HRMAX	HRFDL	HRSDL
-3	0.02306*	0.01543*	0.000*	0.000*	0.000*
-2	0.00292*	0.00022*	0.000*	0.000*	0.000*
-1	0.18812	0.16068	0.000*	0.000*	0.000*
0	0.85449	0.94855	0.000*	0.000*	0.000*
+1	0.93407	0.74775	0.000*	0.000*	0.000*
+2	0.65690	0.60194	0.000*	0.000*	0.000*
+3	0.99546	0.82501	0.000*	0.000*	0.000*

cide with the correlation coefficients. It is clearly seen that for the significant and highest correlation coefficients (CRI and HRSDL and HRMAX) there is a gradual decrease of the physiological parameters with the decrease of CRI (Fig. 3). On the contrary, for the smallest correlations, as for example for Ap-index, the HRFDL and HRSDL values remained almost the same up to moderate storms (level III) but then they sharply decreased (Fig. 5).

HRFDL and HRMAX vary significantly on the days before, during and after increased GMA (levels III and IV according to the Ap-index and Dst-index classification) as it is shown in Figs. 6 and 7 respectively. These parameters have peak values on the days before (-3rd, -2nd, -1st), during (0) and after (+1st, +2nd, +3rd) geomagnetic storms.

HRFDL variations for different levels of GMA (according to the Ap-index classification) are shown in Fig. 6. Important variations were noticed only for levels III and IV of the Ap-index classification. For level IV HRFDL decreased on -1st day before the event and after that increased until +1st day

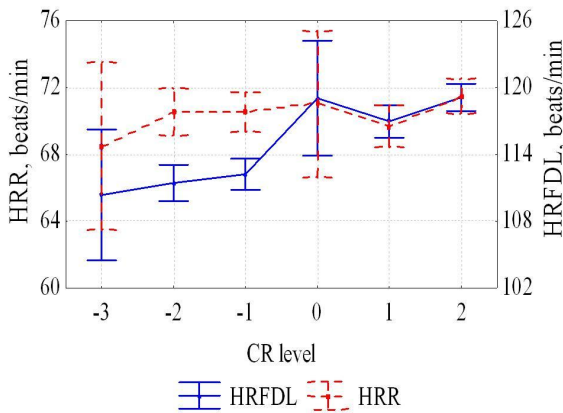


Fig. 2. CRI variations effect on HRR and HRFDL ($\pm 95\%$ CI).

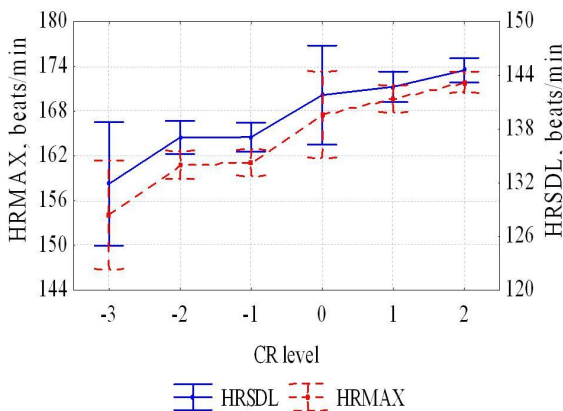


Fig. 3. CRI variations effect on HRMAX and HRSDL ($\pm 95\%$ CI).

after the event. For level III the increase was from -2nd to +1st day.

HRMAX variations for the different levels of Dst-index classification are shown in Fig. 7. Specifically for level III HRMAX seems to increase from -2nd day before the event until +1st day after the event when the highest value of HRMAX was registered. For level IV of Dst-index classification, HRMAX increases from day -3rd until day -1st before the event. HRMAX keeps almost the same value from day -1st before the event until day +1st after the event.

Values of HRMAX in relation to levels I0, I and II of the Dst-index classification (Fig. 7) are higher in comparison to the values concerning the rest of their respective levels.

4 Conclusions

A series of recent studies prove that solar and geomagnetic conditions may be responsible for a number of responses of the human organism and may be connected to many diseases, mostly cardiovascular diseases and diseases of the nervous system, especially strokes, myocardial infarctions, etc. (Dor-

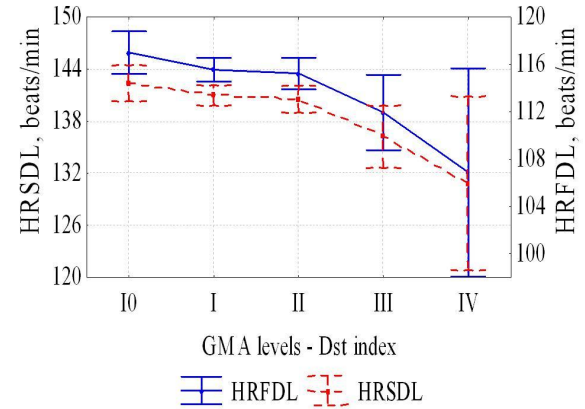


Fig. 4. GMA effect, estimated by Dst-index, on HRSDL and HRFDL ($\pm 95\%$ CI).

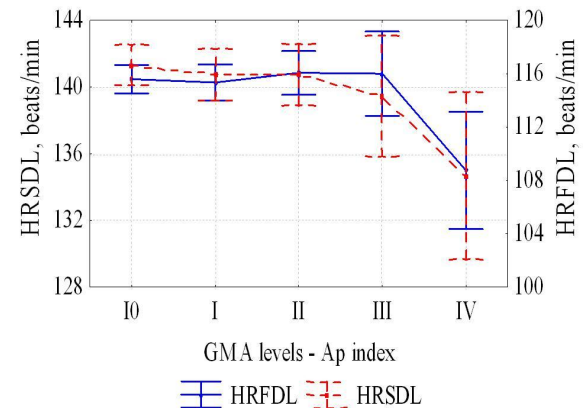


Fig. 5. GMA effect, estimated by Ap-index, on HRSDL and HRFDL ($\pm 95\%$ CI).

man et al., 2001; Stoupel et al., 2007; Dimitrova, 2008; Dimitrova et al., 2009; Papailiou et al., 2009).

This study focuses on the possible relation between GMA and CR activity and human cardiologic parameters. The most interesting result is that HR variations appear to be connected to geomagnetic disturbances and CRI variations. The effects are more interesting for high levels of GMA (when geomagnetic storms occur) and strong CRI decreases. However, because the possible space weather conditions influence on human health is a rather sensitive subject, further research is required.

Acknowledgements. We thankfully acknowledge the contribution of the medical staff and aviators who participated in the examinations. K. Kudela wishes to acknowledge support of grant agency VEGA, project 2/0081/10. H. Mavromichalaki would like to thank the Special Research Account of the University of Athens for supporting this research.

The authors would like to thank the editor Dr. H. Fichtner and the two anonymous referees for the useful comments on the manuscript.

Edited by: H. Fichtner

Reviewed by: two anonymous referees

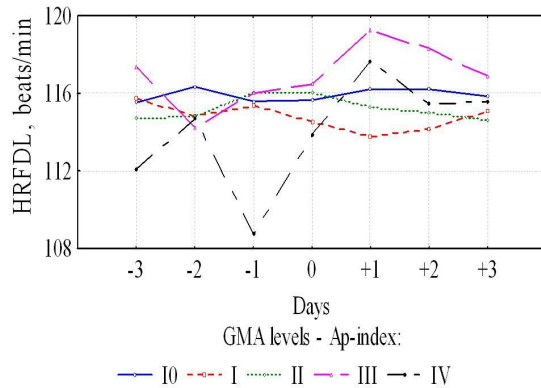


Fig. 6. GMA effect, estimated by Ap-index, on HRFDL before (-), during (0) and after (+) geomagnetic storms.

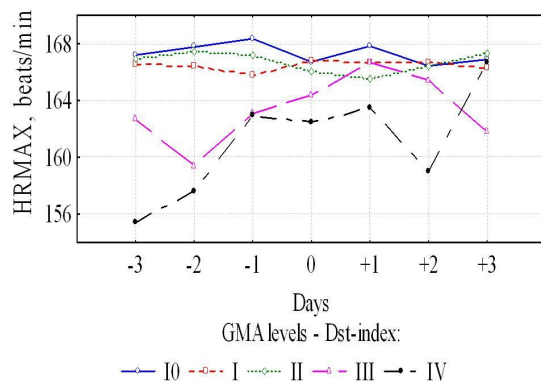


Fig. 7. GMA effect, estimated by Dst-index, on HRMAX before (-), during (0) and after (+) geomagnetic storms.

References

- Babayev, E. S. and Allahverdiyeva, A. A.: Effects of geomagnetic activity variations on the physiological and psychological state of functionally healthy humans: Some results of Azerbaijani studies, *Adv. Space Res.*, 40, 1941–1951, 2007.
- Belov, A., Baisultanova, L., Eroshenko, E., Mavromichalaki, H., Yanke, V., Pchelkin, V., Plainaki, C., and Mariatos, G.: Magnetospheric effects in cosmic rays during the unique magnetic storm on November 2003, *J. Geophys. Res.*, 110, doi:10.1029/2005JA011067, 2005.
- Chilingarian, A. and Bostanjyan, N.: Cosmic ray intensity increases detected by Aragats Space Environmental Center monitors during the 23rd solar activity cycle in correlation with geomagnetic storms, *J. Geophys. Res.*, 114, doi:10.1029/2009JA014346, 2009.
- Cornelissen, G., Halberg, F., Breus, T., Syutkina, E. V., Baevsky, R., Weydahl, A., Watanabe, Y., Otsuka, K., Siegelova, J., Fiser, B., and Bakken, E. E.: Non-photic solar associations of heart rate variability and myocardial infarction, *J. Atmosph. and Solar - Terr. Phys.*, 64, 707–720, 2002.
- Dimitrova, S.: Different geomagnetic indices as an indicator for geo-effective solar storms and human physiological state, *J. Atmosph. and Solar - Terr. Phys.*, 70, 420–427, 2008.
- Dimitrova, S., Mustafa, F. R., Stoilova, I., Babayev, E. S., and Kazimov, E. A.: Possible influence of solar extreme events and related geomagnetic disturbances on human cardio-vascular state: results of collaborative Bulgarian-Azerbaijani studies, *Adv. Space Res.*, 43, 641–648, 2009.
- Dorman, L. I.: Space Weather and Dangerous Phenomena on the Earth: Principles of Great Geomagnetic Storms Forecasting by Online Cosmic Ray Data, *Ann. Geophys.*, 23, 2997–3002, 2005.
- Dorman, L. I., Iucci, N., Ptitsyna, N. G., and Villosi, G.: Cosmic ray as indicator of space weather influence on frequency of infract myocardial, brain strokes, car and train accidents, in: *Proc. 27th ICRC (Hamburg)*, 3511–3514, 2001.
- Dzvonik, O.: personal communication, 2010.
- Dzvonik, O., Stetiartova, J., Kudela, K., and Daxner, P.: A monitoring of space weather effects on some parameters of mental performance and health in aviation personnel, *Studia Psychologica*, 48, 273–292, 2006.
- Mavromichalaki, H., Papailiou, M., Dimitrova, S., Babayev, E. S., and Mustafa, F. R.: Geomagnetic disturbances and cosmic ray variations in relation to human cardio-health state: A wide collaboration, in: *Proc. 21st ECRS (Kosice)*, 351–356, 2008.
- Papailiou, M., Mavromichalaki, H., Vassilaki, A., Kelesidis, K. M., Mertzanos, G. A., and Petropoulos, B.: Cosmic ray variations of solar origin in relation to human physiological state during December 2006 solar extreme events, *Adv. Space Res.*, 43, 523–529, 2009.
- Ptitsyna, N. G., Villosi, G., Dorman, L. I., Iucci, N., and Tiasto, M. I.: Natural and Man-made Low-frequency Magnetic Fields as a Potential Health Hazard, *UFN (Uspekhi Physicheskikh Nauk)*, 168, 767–791, 1998.
- Stoupel, E.: Cardiac Arrhythmia and Geomagnetic Activity, *Ind. Pacing and Electrophysiology J.*, 6, 49–53, 2006.
- Stoupel, E., Kalediene, R., Petrauskienė, J., Domarkienė, S., Radishauskas, R., Abramson, E., Israelevich, P., and Sulkes, J.: Three Kinds of Cosmophysical Activity: Links to Temporal Distribution of Deaths and Occurrence of Acute Myocardial Infarction, *Med. Sci. Monit.*, 10, 80–84, 2004.
- Stoupel, E., Domarkienė, S., Radishauskas, R., Bernotienė, G., Abramson, E., Israelevich, P., and Sulkes, J.: Variants of Acute Myocardial Infarction in Relation to Cosmophysical Parameters, *Seminars in Cardiology*, 11, 51–55, 2005.
- Stoupel, E., Babayev, E. S., Mustafa, F. R., Abramson, E., Israelevich, P., and Sulkes, J.: Clinical Cosmobiology - Sudden Cardiac Death and Daily / Monthly Geomagnetic, Cosmic Ray and Solar Activity - the Baku Study (2003–2005), *Sun and Geosphere*, 1, 13–16, 2006.
- Stoupel, E., Babayev, E. S., Mustafa, F. R., Abramson, E., Israelevich, P., and Sulkes, J.: Acute myocardial infarction occurrence: Environmental links - Baku 2003–2005 data, *Med. Sci. Monit.*, 13, 175–179, 2007.
- Villosi, G., Breus, T. K., Dorman, L. I., Iucci, N., and Rapoport, S. I.: The influence of Geophysical and Social Effects on the Incidents of Clinically Important Pathologies (Moscow 1979–1981), *Physica Medica*, 10, 79–91, 1994.
- Villosi, G., Dorman, L. I., Ptitsyna, N. G., Iucci, N., and Tyasto, M. I.: Forbush Decreases as Indicators of Health-Hazardous Geomagnetic Storms, in: *Proc. 24th ICRC (Rome)*, 4, 1106–1109, 1995.
- Villosi, G., Ptitsyna, N. G., Tiasto, M. I., and Iucci, N.: Myocardial Infarct and Geomagnetic Disturbances: Analysis of Data on Morbidity and Mortality, *Biofizika*, 43, 623–631, 1998.