



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Διπλωματική Εργασία

## Χρονοπρογραμματισμός αθλητικών διοργανώσεων

Άγγελος Δήμητσας

**Επιβλέπων:** Χρήστος Γκόγκος  
Αναπληρωτής καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

1 Οκτωβρίου 2021

# **Sports scheduling**

**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**  
Άρτα, 17 Σεπτεμβρίου 2021

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπων Καθηγητής  
Χρήστος Γκόγκος
2. Μέλος Επιτροπής  
Χρυσόστομος Στύλιος
3. Μέλος Επιτροπής  
Αλέξανδρος Τζάλλας

©Δήμητρος Άγγελος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## **Δήλωση μη λογοκλοπής**

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Δήμητσας Άγγελος

Υπογραφή

## Περίληψη

Από τους αθλητικούς αγώνες της αρχαιότητας των πόλεων κρατών, στα διεθνή σκακιστικά τουρνουά του 19ου αιώνα και στις διεθνείς διοργανώσεις της σύγχρονης εποχής, οι διοργανωτές αντιμετώπισαν το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού των αθλητικών διοργανώσεων. Διοργανώσεις, των οποίων, η επιτυχία ή η αντίστοιχη αποτυχία σε ένα μεγάλο ποσοστό έγκειται στην σωστή εφαρμογή και τήρηση του σχεδιασμού που έχει προηγηθεί για το σκοπό αυτό.

Ενώ οι πόροι κάθε διοργάνωσης είναι περιορισμένοι, οι συμμετέχοντες απαιτούν δίκαιη μεταχείριση στο πλαίσιο ενός χρονοπρογραμματισμού. Παράλληλα, αναμένουν από τον διοργανωτή να εφαρμόσει τους κανόνες, όρους και προϋποθέσεις που έχουν τεθεί. Συχνά τα ίδια τα κράτη εμπλέκονται στην διαδικασία μέσα από διάφορες θέσεις σε μια αθλητική διοργάνωση, όπως, άλλοτε του διοργανωτή είτε του συμμετέχοντα αλλά και ορισμένες φορές απλά για να παρέχουν το επίπεδο ασφάλειας που απαιτείται. Επίσης, οι χορηγοί των αθλητικών διοργανώσεων συμμετέχουν επιδιώκοντας να ικανοποιήσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα δικά τους συμφέροντα.

Όλοι αυτοί οι συμμετέχοντες, από την σκοπιά τους ο καθένας, αλλά και πλήθος ακόμη παραγόντων δημιουργούν ένα σύνθετο περιβάλλον, κανόνων, περιορισμών και επιθυμιών το οποίο καλείται να επιλυθεί μέσω ενός ορθού και ακριβούς συστήματος χρονοπρογραμματισμού.

Για να κινητοποιήσει την επιστημονική έρευνα προς το πεδίο του χρονοπρογραμματισμού αθλητικών διοργανώσεων, το 2021, ο Διεθνής διαγωνισμός χρονοπρογραμματισμού <sup>1</sup> είχε ως θέμα τον χρονοπρογραμματισμό εκ περιτροπής πρωταθλημάτων. Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, εκπονήθηκε με αφορμή τη συμμετοχή στο διαγωνισμό αυτό, περιγράφει αλγορίθμους δημιουργίας πρωταθλημάτων, τελεστές τοπικής αναζήτησης και μαθηματικά μοντέλα για τις ανάγκες του διαγωνισμού.

---

<sup>1</sup><https://sportscheduling.ugent.be/ITC2021/>

## **Abstract**

From the ancient city states sports competitions, to the international chess tournaments in the 19th century and to the modern international games, all organizers faced the same problem: sports scheduling. Competitions whose success and failure lies upon timetabling.

While time resources are limited, participants demand fair treatment in the timetable. Organizers are expected to enforce the rule. Nations participate in these tournaments either as organizers or as participants or just for the security details. Sponsors have their own demands.

These stakeholders and potentially others create a complex overly constrained situation of rules, constraints, and desires. This situation must be resolved with a suitable timetable.

To pursue further research in the field of sports scheduling, the International Timetabling Competition 2021 was dedicated to round robin tournament scheduling.

This diploma thesis was based upon participation in the competition and includes a presentation of round robin scheduling algorithms, local search operators and mathematical models for the competition.

## **Ευχαριστίες**

Στον Χρήστο Γκόγκο που επίβλεψε την διπλωματική και με μύησε στον χρονοπρογραμματισμό. Στο Χρήστο Βαλουζή που μου δίδαξε τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού.



# Περιεχόμενα

<b>1 Χρονοπρογραμματισμός</b>	<b>6</b>
1.1 Προβλήματα χρονοπρογραμματισμού . . . . .	6
1.1.1 Ωράριο προσωπικού . . . . .	6
1.1.2 Εκπαιδευτικές δραστηριότητες . . . . .	6
1.1.3 Αθλητικές δραστηριότητες . . . . .	7
1.2 Φορείς η δραστηριότητα των οποίων κρίνεται από την ακρίβεια και ορθότητα ενός προγραμματισμού αθλητικών διοργανώσεων. . . . .	7
1.2.1 Ο διοργανωτής ενός πρωταθλήματος . . . . .	7
1.2.2 Ασφάλεια . . . . .	8
1.2.3 Οι συμμετέχοντες - διαγωνιζόμενοι . . . . .	9
1.2.4 Θέαση μιας αθλητικής διοργάνωσης . . . . .	11
1.3 Ορολογία χρονοπρογραμματισμού αθλητικών διοργανώσεων . . . . .	13
1.3.1 Εκ περιτροπής πρωτάθλημα . . . . .	13
1.3.2 Συμμετρία . . . . .	13
1.3.3 Μοτίβο έδρας . . . . .	13
1.3.4 Θραύσεις . . . . .	14
1.3.5 First schedule then break . . . . .	14
1.3.6 First break then schedule . . . . .	14
<b>2 Κλασικές μέθοδοι δημιουργίας πρωταθλημάτων</b>	<b>15</b>
2.1 Κυκλική μέθοδος . . . . .	15
2.2 Πίνακες Berger . . . . .	17
<b>3 Αναπαράσταση πρωταθλημάτων ως προβλήματα χρωματισμού</b>	<b>18</b>
3.1 Χρωματισμός κόμβων . . . . .	18
3.1.1 Αναπαράσταση πρωταθλήματος . . . . .	19
3.1.2 Περιορισμοί . . . . .	20
3.2 Χρωματισμός ακμών . . . . .	23
3.2.1 Αναπαράσταση πρωταθλήματος . . . . .	23
<b>4 Τελεστές γειτνίασης</b>	<b>25</b>
4.1 Τελεστές . . . . .	25
4.1.1 Ανταλλαγή Επαναληπτικού . . . . .	25
4.1.2 Ανταλλαγή Ομάδων . . . . .	26
4.1.3 Ανταλλαγή Αντιπάλων . . . . .	26
4.1.4 Ανταλλαγή Αγωνιστικών . . . . .	27
4.1.5 Αλυσίδες Kempe . . . . .	27
4.2 Μέγεθος κινήσεων . . . . .	28

<b>5</b>	<b>ITC 2021</b>	<b>29</b>
5.1	RobinXML . . . . .	29
5.1.1	Πεδίο Α . . . . .	29
5.1.2	Πεδίο Β . . . . .	32
5.1.3	Πεδίο Γ . . . . .	33
5.2	ITC 2021 . . . . .	34
5.2.1	Πεδίο Α . . . . .	34
5.2.2	Πεδίο Β . . . . .	34
5.2.3	Πεδίο Γ . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Επίλυση με Simulated Annealing και Constraint Programming</b>	<b>44</b>
6.1	Simulated Annealing . . . . .	44
6.2	Constraint Programming . . . . .	46
6.2.1	Πεδίο Α . . . . .	46
6.2.2	Πεδίο Β . . . . .	47
6.2.3	Πεδίο Γ . . . . .	50
<b>7</b>	<b>Πειράματα και αποτελέσματα</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Μελλοντικές επεκτάσεις</b>	<b>55</b>
9.1	ITC 2021 . . . . .	55
9.2	RobinXML . . . . .	55
9.3	Ελληνικά πρωταθλήματα . . . . .	56
<b>Α΄</b>	<b>Ακρωνύμια και συντομογραφίες</b>	<b>58</b>

# Κατάλογος Σχημάτων

3.1 Ένας έγκυρος χρωματισμός κόμβων γράφου. . . . .	18
3.2 Ένας μη έγκυρος χρωματισμός κόμβων γράφου. Οι κόμβοι $v_3$ και $v_5$ , ενώ έχουν ακμή μεταξύ τους έχουν πάρει και οι δύο το πράσινο χρώμα. .	19
3.3 Πρωτάθλημα δύο γύρων χωρίς κανονισμό φάσης. . . . .	19
3.4 Έχουμε προσθέσει ακμές μεταξύ των αγώνων $t_3$ vs $t_2$ και $t_1$ vs $t_4$ όπως και στους αγώνες $t_1$ vs $t_2$ και $t_2$ vs $t_3$ απαγορεύοντας έτσι να είναι στην ίδια αγωνιστική. . . . .	20
3.5 Έχουμε προσθέσει ακμές μεταξύ των εντός έδρας αγώνων των ομάδων $t_1$ και $t_2$ εξασφαλίζοντας έτσι ότι δεν θα συμπέσουν αγώνες εντός έδρας αυτών των ομάδων στην ίδια αγωνιστική. . . . .	21
3.6 Έχουμε προσθέσει έναν πλήρη γράφο που αντιπροσωπεύει όλες τις αγωνιστικές. Η ακμή του αγώνα των ομάδων $t_2$ και $t_4$ με την αγωνιστική $r_1$ εξασφαλίζει ότι ο συγκεκριμένος αγώνας δεν θα τοποθετηθεί στην αγωνιστική $r_1$ . . . . .	22
3.7 Οι ακμές του αγώνα των ομάδων $t_2$ και $t_4$ με όλες τις αγωνιστικές εκτός από την αγωνιστική $r_6$ , εξασφαλίζουν ότι ο συγκεκριμένος αγώνας δεν θα τοποθετηθεί στην αγωνιστική $r_6$ . . . . .	22
3.8 Ένας έγκυρος χρωματισμός ακμών γράφου. . . . .	23
3.9 Ένας μη έγκυρος χρωματισμός ακμών γράφου. Ο κόμβος $n_4$ έχει δύο ακμές με κόκκινο χρώμα. . . . .	23
3.10 Πρωτάθλημα με έναν γύρο και έξι ομάδες. . . . .	24
3.11 Πρωτάθλημα με δύο γύρους και έξι ομάδες. Κάθε ομάδα θα αγωνιστεί με κάθε άλλη ομάδα εντός και εκτός έδρας. . . . .	24
4.1 Ο αγώνας μεταξύ των ομάδων $t_1$ και $t_6$ έχει ανταλλάξει αγωνιστική με τον επαναληπτικό του. . . . .	25
4.2 Οι ομάδες $t_1$ και $t_2$ έχουν ανταλλάξει θέση. . . . .	26
4.3 Οι ομάδες $t_1$ και $t_2$ έχουν ανταλλάξει αντιπάλους σε κάθε αγωνιστική. .	26
4.4 Οι αγωνιστικές με το σκούρο πράσινο και το πορτοκαλί χρώμα έχουν αλλάξει θέση. . . . .	27
4.5 Αλυσίδα Kempe . . . . .	27

# Κατάλογος Πινάκων

1.1 Ένας γύρος συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων.	13
1.2 Δύο γύροι συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων με κανονισμό συμμετρίας καθρεφτισμού. . . . .	13
1.3 Δύο γύροι συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων χωρίς κανονισμό συμμετρίας. . . . .	13
1.4 Δύο γύροι συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων με κανονισμό συμμετρίας καθρεφτισμού. . . . .	14
1.5 Μοτίβο έδρας για το πρωτάθλημα του πίνακα 1.4 Η για εντός έδρας και Α για εκτός έδρας αγώνα. . . . .	14
1.6 Μοτίβο θραύσεων για το μοτίβο έδρας του πίνακα 1.5 ΗΒ για θραύση εντός και ΑΒ για θραύση εκτός. . . . .	14
2.1 Το πρόγραμμα ενός γύρου για 7-8 ομάδες. . . . .	15
2.2 Δημιουργία πρωταθλήματος για 7-8 ομάδες με την κυκλική μέθοδο. . .	16
2.3 Για την δημιουργία περισσότερων γύρων αντιγράφεται ο πρώτος με τις έδρες των ομάδων ανεστραμμένες . . . . .	16
2.4 Πίνακας Berger πρωταθλήματος για 7-8 ομάδες. . . . .	17
2.5 Το πρόγραμμα ενός γύρου για 7-8 ομάδες. . . . .	17
4.1 Μέγεθος Κινήσεων . . . . .	28
5.1 Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων χωρίς κανονισμό φάσης	30
5.2 Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανονισμό φάσης .	30
5.3 Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα καθρεπτισμού.	31
5.4 Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα αναστροφής.	31
5.5 Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα αγγλικού συστήματος. . . . .	31
5.6 Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα γαλικού συστήματος. . . . .	31
5.7 Βασικά χαρακτηριστικά στιγμιότυπων ITC 2021 . . . . .	35
5.8 Αριθμός περιορισμών χωρητικότητας στο ITC 2021, Χ για χαλαρούς περιορισμούς και Α για αυστηρούς περιορισμούς. . . . .	37
5.9 Αριθμός περιορισμών αγώνων στο ITC 2021, Χ για χαλαρούς περιορισμούς και Α για αυστηρούς περιορισμούς. . . . .	39
5.10 Αριθμός περιορισμών θραύσεων στο ITC 2021, Χ για χαλαρούς περιορισμούς και Α για αυστηρούς περιορισμούς. . . . .	40
5.11 Αριθμός περιορισμών δικαιοσύνης στο ITC 2021, όλοι οι περιορισμοί δικαιοσύνης είναι χαλαροί. . . . .	41

5.12 Αριθμός περιορισμών διαχωρισμού στο ITC 2021, όλοι οι περιορισμοί διαχωρισμού είναι χαλαροί. . . . .	42
7.1 Πίνακας αποτελεσμάτων κατά την ημερομηνία υποβολής του ITC 2021 .	52
7.2 Πίνακας τελικών αποτελεσμάτων . . . . .	53

# Κεφάλαιο 1

## Χρονοπρογραμματισμός

### 1.1 Προβλήματα χρονοπρογραμματισμού

Τα προβλήματα αναθέσεων συνίστανται στην κατανομή πόρων σε δραστηριότητες. Όταν ο ένας πόρος αφορά τον χρόνο π.χ, χρονική περίοδος, ημέρα, χρονικές θυρίδες κ.λπ, το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία των προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού. Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού δημιουργούνται από την ανάγκη του ανθρώπου να σχεδιάσει και να οργανώσει δραστηριότητες.

Τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια δραστηριότητα δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν σε μια άλλη δραστηριότητα. Απλοί περιορισμοί αρκούν για να κατατάξουν το εκάστοτε πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού στην κατηγορία NP hard προβλημάτων. Συχνές μορφές προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού αποτελούν οι εξής περιγράφονται παρακάτω.

#### 1.1.1 Ωράριο προσωπικού

Το προσωπικό θα πρέπει να επαρκεί ώστε να καλυφθεί κάθε βάρδια για τις ανάγκες μιας επιχείρησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ανάθεση βαρδιών σε νοσοκομεία, η οποία υπήρξε και αντικείμενο ενδιαφέροντος για τον διεθνή διαγωνισμό χρονοπρογραμματισμού το 2010<sup>1</sup> και το 2014<sup>2</sup>. Ένας αντιπροσωπευτικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος παρουσιάζεται στο [1].

#### 1.1.2 Εκπαιδευτικές δραστηριότητες

Για την οργάνωση εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, τα κυριότερα προβλήματα αφορούν τη δημιουργία του ωρολόγιου προγράμματος σε κάθε βαθμίδα της εκπαίδευσης και τη διοργάνωση εξετάσεων. Διάφορες εκδοχές εκπαιδευτικού ενδιαφέροντος αποτέλεσαν το θέμα του διαγωνισμού για τα έτη 2002<sup>3</sup>, 2007<sup>4</sup>, 2011<sup>5</sup> και 2019<sup>6</sup>. Για την ειδι-

<sup>1</sup><https://nrpcompetition.kuleuven-kulak.be/>

<sup>2</sup><http://mobiz.vives.be/inrc2/>

<sup>3</sup><http://sferics.idsia.ch/Files/ttcomp2002/>

<sup>4</sup><http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/>

<sup>5</sup><https://www.utwente.nl/en/eemcs/dmmp/hstt/>

<sup>6</sup><https://www.itc2019.org/>

κή περίπτωση του χρονοπρογραμματισμού εξετάσεων πανεπιστημίου μπορεί κανείς να συμβουλευτεί το [2].

### **1.1.3 Αθλητικές δραστηριότητες**

Η διοργάνωση αθλητικών δραστηριοτήτων που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, αφορά σε ένα πολυσύνθετο πρόβλημα, οργάνωσης του προγράμματος της εκδήλωσης. Ένα κλασικό παράδειγμα στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας είναι το πρόβλημα του περιοδεύοντος πρωταθλήματος (Traveling tournament problem).

## **1.2 Φορείς η δραστηριότητα των οποίων κρίνεται από την ακρίβεια και ορθότητα ενός προγραμματισμού αθλητικών διοργανώσεων.**

Σε κάθε αθλητική διοργάνωση, είτε αυτή αφορά σε μιας μικρής κλίμακας διοργάνωση, είτε σε μια αντίστοιχη, μεγάλης κλίμακας διοργάνωση, υπάρχουν φορείς, οργανώσεις, επιχειρήσεις και επιχειρηματίες, διοικητικά και κρατικά όργανα, οι οποίοι άμεσα ή και έμμεσα εμπλέκονται στη διαδικασία της διοργάνωσης ενός αθλητικού γεγονότος, αλλά και ενδιαφέρονται για τη σωστή διεκπεραίωση της διοργάνωσης αυτής.

Οι αθλητικές διοργανώσεις αποτελούσαν πάντα την κορυφαία στιγμή στη πορεία ενός αθλητή ή μιας ομάδας. Για την παροχή ενός υψηλού διαγωνιστικού επιπέδου, ένας τεράστιος παγκόσμιος μηχανισμός οργανώνεται προς το σκοπό αυτό. Οι αθλητικές διοργανώσεις πέρα από τον θεσμικό τους ρόλο για τη παροχή ενός ασφαλούς, νόμιμου και σύμφωνου με τους κανονισμούς, αγωνιστικού χώρου, έχουν εξελιχθεί σε μια συνολικότερη διαδικασία μέσα από ένα σύνθετο και πολυδιάστατο διοικητικό περιβάλλον.

Η εξέλιξη των μέσων ενημέρωσης, των τεχνολογικών εφαρμογών και η συνολική προβολή που λαμβάνουν οι διοργανώσεις, έχουν προσδώσει μια ιδιαίτερη δυναμική με άμεσες συνέπειες τόσο σε κοινωνικοπολιτικό όσο και σε επιχειρησιακό επίπεδο. Ενδεικτικά, ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή διάφορων εμπλεκόμενων και ενδιαφερόμενων φορέων, οργανώσεων, νομικών προσώπων, ομίλων αλλά και επαγγελματικών οργανώσεων, των οποίων η φύση των δραστηριοτήτων τους άπτεται στον ορθό συντονισμό και ακριβή προγραμματισμό ενός τέτοιου αθλητικού γεγονότος:

### **1.2.1 Ο διοργανωτής ενός πρωταθλήματος**

Ο κύριος ενδιαφερόμενος για την επιτυχή έκβαση μιας αθλητικής διοργάνωσης είναι πρώτιστα ο ίδιος ο διοργανωτής, ο οποίος αντλεί σε κάθε περίπτωση τόσο δικαιώματα όσο και υποχρεώσεις για τον σκοπό αυτό.

Οι διοργανωτές ορίζουν κατά περίπτωση τους Κανόνες διεξαγωγής ενός προγράμματος, θέτοντας σαφή χρονικά όρια υλοποίησης και εκπόνησης του όλου σχεδιασμού και προγραμματισμού της αθλητικής εκδήλωσης.

Σε αυτό το πλαίσιο, θέτουν τους περιορισμούς και στους συμμετέχοντες, τους όρους και τις προϋποθέσεις εισαγωγής αυτών στην αθλητική διοργάνωση, την περαιτέρω εξέλιξή

τους στη διοργάνωση και τα κριτήρια βάσει των οποίων οι συμμετέχοντες θα αγωνιστούν, εφαρμόζοντας ένα ενιαίο πλάνο διεξαγωγής αγώνων και καταγράφοντας αναλυτικά όλες εκείνες τις οργανωτικές προϋποθέσεις που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να διασφαλιστεί η επιτυχία της διοργάνωσης.

Χαρακτηριστικά, για την επιτυχή διοργάνωση ενός αθλητικού γεγονότος λαμβάνονται υπ' όψιν διάφορα κριτήρια όπως :

- η επιλογή πόλεων / πόλης για τη διεξαγωγή του γεγονότος, η επιλογή της οποίας θα δημιουργούσε ένα ευνοϊκό κλίμα για το άθλημα και τους αθλητές του.
- η μείωση της αποτυχημένης έκβασης των αγώνων,
- η αρτιότητα των εγκαταστάσεων
- η δημιουργία περισσότερων αθλητικών αγώνων με μεγάλο ενδιαφέρον θέασης (derby matches)
- η ανάδειξη του αθλήματος μέσα από ένα θετικό περιβάλλον διαγωνισμού
- η μείωση του μεταφορικού κόστους για τους διαγωνιζόμενους, επισκέπτες, θεατές κ.λπ
- η ακρίβεια στη μεταφορά των ομάδων προς όλες τις περιοχές της διοργάνωσης
- η επισκεψιμότητα θεατών στις εγκαταστάσεις της αθλητικής διοργάνωσης για την δια ζώσης παρακολούθηση των αθλητικών αγώνων

### **1.2.2 Ασφάλεια**

Κρίσιμη σημασία και ιδιαίτερη σπουδαιότητα, για την επιτυχή διεξαγωγή μιας αθλητικής διοργάνωσης, έχει και η λήψη μέτρων ασφάλειας και η αποφυγή δημιουργίας επικίνδυνων γεγονότων, τόσο για τη διοργάνωση όσο και για την ασφάλεια των παρευρισκομένων, αθλητών, θεατών, ομάδων.

Η ασφάλεια λοιπόν συνίσταται σε διάφορους τομείς όπως :

#### **Εγκληματικότητα στην ευρύτερη περιοχή διεξαγωγής της διοργάνωσης**

Για παράδειγμα, σε μια παγκόσμια διοργάνωση θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και το ενδεχόμενο μιας τρομοκρατικής επίθεσης. Αντίστοιχα σε μια Εθνική ή τοπική διοργάνωση απαραίτητα θα ληφθεί υπ' όψιν το επίπεδο εγκληματικότητας στην περιοχή αυτή. Αυξημένο λοιπόν θα πρέπει να είναι και το επίπεδο παροχής ασφάλειας, διά μέσω, τόσο των αρμόδιων Αρχών, όπως, για την ενημέρωση της Αστυνομίας, την αποστολή ειδικών Σωμάτων Ασφαλείας, αλλά και μέσω ιδιωτικών υπηρεσιών φύλαξης ιδιαίτερα σε ότι αφορά στη φύλαξη των αθλητικών εγκαταστάσεων.

#### **Καιρικές συνθήκες**

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να εξετασθεί είναι οι ιδιαίτερες συνθήκες που θα επηρεάσουν τη διεξαγωγή ενός αγώνα και συγκεκριμένα τις συνθήκες τέλεσης ενός αθλητικού γεγονότος σε φυσικό περιβάλλον. Χαρακτηριστικά τέτοια αθλήματα, των οποίων η διεξαγωγή επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις καιρικές συνθήκες είναι η ιστιοπλοΐα, η τοξοβολία, οι μαραθώνιοι αγώνες δρόμου κ.λπ



Η διεξαγωγή τέτοιων αθλητικών αγώνων στηρίζεται στην ύπαρξη ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών και με λεπτομερή εξέταση των καιρικών προγνώσεων και των στοιχείων τους, όπως πχ τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, κατεύθυνσης και ισχύος του αέρα κ.λπ. Αυξημένες πιθανότητες έντονων φυσικών φαινομένων και καταστροφών θέτουν σε κίνδυνο της ασφάλεια όλων όσων συμμετέχουν σ' αυτή.

Η Μετεωρολογική Υπηρεσία αποτελεί ένα σημαντικό συνεργάτη κατά τη διάρκεια των αγώνων τροφοδοτώντας με στοιχεία τους διοργανωτές και συνεπώς τους αθλητές και την αγωνιστική στρατηγική που πρέπει ν' ακολουθήσουν.

### **Η χωρητικότητα των κτιριακών εγκαταστάσεων**

Ένας καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης αποτελεί η χωρητικότητα η απαίτηση της οποίας περιγράφεται ξεκάθαρα ανά είδος διοργάνωσης στους κανονισμούς μιας διεθνούς ομοσπονδίας. Μιας αυξημένης χωρητικότητας εγκατάσταση συνήθως συνοδεύεται από αυξημένα κόστη ενοικίασης. Η σωστή εκτίμηση της χωρητικότητας που απαιτείται για κάθε διοργάνωση προσφέρει δυνατότητες αύξησης των εσόδων από τα εισιτήρια αλλά από την άλλη πλευρά μια λανθασμένη εκτίμησή μπορεί ν' αποδειχθεί καταστροφική.

### **Η πρόσβαση σε ιατρικές υπηρεσίες**

Επιπρόσθετα στοιχεία όπως η απόσταση της εγκατάστασης από νοσοκομεία για αθλήματα που απαιτούν εξειδικευμένη ιατρική φροντίδα αποτελούν σημεία εξέτασης της καταλληλότητας της εγκατάστασης από διοργανωτές και αθλητικά όργανα. Οι αθλητικές εθνικές και διεθνείς ομοσπονδίες προασπίζοντας τις συνθήκες των αγώνων επεμβαίνουν σε σημεία όπως η απόσταση των ξενοδοχειακών μονάδων των αθλητών ώστε να αποφευχθεί η κόπωση και η δυσφορία πριν τον αγώνα αλλά και το επίπεδο εξυπηρέτησης των βασικών παικτών μιας διοργάνωσης. Διαθέσιμα μέσα μετακίνησης, χρόνος και ευκολία πρόσβασης της εγκατάστασης από τους θεατές και χώροι στάθμευσης εξετάζονται στην προσπάθεια επιλογής της καταλληλότερης εγκατάστασης.

### **1.2.3 Οι συμμετέχοντες - διαγωνιζόμενοι**

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο που κρίνει την επιτυχία μιας διοργάνωσης είναι ο σωστός χρονοπρογραμματισμός και ιδιαίτερα η εξυπηρέτηση των αναγκών όλων των εμπλεκόμενων προσώπων, φορέων ή και επιχειρήσεων.

Οι αθλητικές διοργανώσεις έχουν ένα ιδιαίτερα απαιτητικό και περίπλοκο διαχειριστικό πλαίσιο, κάτι που οφείλεται και στην υποχρέωση της τήρησης των κανόνων που διαμορφώνουν την αθλητική διοργάνωση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι μικτές ή ειδικά διαμορφωμένες οργανωτικές επιτροπές, οι απαιτητικές στάσεις των χορηγών, οι συμμετέχοντες κ.λπ.

Η εξάρτηση της διοργάνωσης από ένα πλήθος εσωτερικών αλλά κύρια εξωγενών παραγόντων που απαιτούνται για να λειτουργήσει αυξάνει την πιθανότητα λάθους. Το λάθος όμως αυτό θα λάβει τεράστιες διαστάσεις αφού ξεπερνά τα όρια της εγκατάστασης και θα μεταδοθεί σ' όλες τις γωνίες της γης. Η προβολής ενός αθλήματος και μιας χώρας μπορεί εύκολα να στραφεί ενάντια τους. Η εικόνα μιας ολόκληρης χώρας ενδέχεται

να πληγεί με μια οργανωτική ατασθαλία που μέσω των τηλεοπτικών μέσων θα πάρει παγκόσμια προβολή.

Ενδεικτικά ακολουθούν ορισμένες κατηγορίες τέτοιων προσώπων/ επιχειρήσεων ή και νομικών προσώπων και κρατών:

### **Αθλητές**

Οι κύριοι πρωταγωνιστές, οι οποίοι βρίσκονται στο επίκεντρο μιας αθλητικής διοργάνωσης.

Οι ανάγκες τους αφορούν συνολικά, τόσο το αγωνιστικό κομμάτι όσο και στο γενικότερο τμήμα έξω από τον αγωνιστικό χώρο (διαμονή, προπονήσεις κ.λπ)

Οι αγωνιστικές διαδικασίες στις οποίες θα λάβουν μέρος οι αθλητές καθώς και οι απαιτούμενες διαδικασίες προετοιμασίας και φιλοξενίας τους έχουν τον πρώτο λόγο στο σχεδιασμό της εγκατάστασης και τη λειτουργία της διοργάνωσης, με την παροχή ενός άνετου, κατάλληλου και φιλόξενου περιβάλλοντος για τους πρωταγωνιστές του αθλητισμού, γεγονός που αποτελεί υποχρέωση και ευθύνη του τομέα που χειρίζεται τις αγωνιστικές διαδικασίες.

### **Αθλητικά Όργανα/ Ομάδες/ Ομοσπονδίες**

Οι Εθνικές Αθλητικές Ομοσπονδίες μιας χώρας, η διοίκηση μια αθλητικής ομάδας ή και κάθε αθλητικό όργανο που συμμετέχει σε μια διοργάνωση, διαχειρίζονται το σύνολο των διαδικασιών ελέγχου, ανάπτυξης και αγώνων κάθε αθλήματος και συνεπώς εκπροσωπούνται συνοδεύοντας τους αθλητές τους.

Μαζί τους ακολουθεί μια ομάδα προσώπων αρωγής, όπως: οι προπονητές, φροντιστές, φυσιοθεραπευτές.

Οι οργανωτές υποχρεούνται να εξυπηρετήσουν τους εκπροσώπους των διαγωνιζομένων, εξασφαλίζοντάς τους γρήγορη και έγκαιρη πληροφόρηση, μετακίνηση από τους χώρους διαμονής στην αγωνιστική και προπονητική εγκατάσταση και προσφέροντας ένα επίπεδο φιλοξενίας ανάλογο του κανονισμού που διέπει τη διοργάνωση.

Για παράδειγμα στους Ολυμπιακούς Αγώνες οι Εθνικές Ολυμπιακές Επιτροπές (Ε.Ο.Ε.) εκπροσωπούν το σύνολο των αθλημάτων με τα οποία συμμετέχει κάθε χώρα. Εκεί το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι υψηλό σε όλα τα στάδια πριν και κατά τη διάρκεια των αγώνων αναγνωρίζοντας το ρόλο των επιτροπών στην εκπροσώπηση των χωρών που συμμετέχουν.

Οι Ε.Ο.Ε. αποτελούν ιδιαίτερη κατηγορία που απολαμβάνει συγκεκριμένα προνόμια και διευκολύνσεις στη διάρκεια των Ολυμπιακών σε επίπεδο, διαπίστευσης και πρόσβασης αγωνιστικών και μη χώρων, ενημέρωσης και επικοινωνίας, μετακίνησης και συνολικής φιλοξενίας.

Ο θεσμοθετημένος ρόλος των διεθνών ομοσπονδιών δεν περιορίζεται στη σύνταξη και αναβάθμιση των κανονισμών αλλά παραμένει η άρχουσα δύναμη στον έλεγχο της ανάπτυξης και λειτουργίας κάθε αθλήματος. Στις διεθνείς διοργανώσεις οι παγκόσμιες ομοσπονδίες αποτελούν τον κύριο παίκτη που εγκρίνει, επιβεβαιώνει και συμβουλεύει όχι μόνο για τα καθαρά αγωνιστικά στοιχεία όπως η καταλληλότητα του αγωνιστικού

χώρου και του εξοπλισμού αλλά επί του συνόλου των θεμάτων που ενδέχεται να επηρεάσουν τον αγώνα αλλά και τη συνολική εμπειρία όσων συμμετέχουν σ' αυτή. Αγωνιστικά οι Παγκόσμιες Ομοσπονδίες έχουν την εξουσία να σταματήσουν ή και να ακυρώσουν έναν αγώνα όταν οι αγωνιστικές και μη συνθήκες το απαιτήσουν και το σύστημα να ακολουθήσει.

#### **1.2.4 Θέαση μιας αθλητικής διοργάνωσης**

Η επιτυχής προβολή μια διοργάνωσης επιφέρει θετικά αποτελέσματα σε κάθε επίπεδο με κυρίαρχο βέβαια το οικονομικό όφελος.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι ακόλουθες κατηγορίες θέασης:

##### **Δια ζώσης θεατές**

Οι θεατές που θα επισκεφθούν την εγκατάσταση αποτελούν τον αποδέκτη της συνολικής προσπάθειας για μια επιτυχή διοργάνωση. Επηρεάζουν ένα θέαμα και αλληλεπιδρούν με σχέση με αυτό, αφού οι προτιμήσεις τους συνδιαμορφώνουν την ίδια τη διεξαγωγή και την ποιότητα των αγώνων.

Η εξυπηρέτηση θεατών αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα τμήματα της διοργάνωσης απασχολώντας πολυάριθμο προσωπικό καθώς και εθελοντές συνεργάτες. Λόγω της ταυτόχρονης προσέλευσης και διαμονής μεγάλου αριθμού επισκεπτών σε μια διοργάνωση απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός.

Οι προτιμήσεις των θεατών σε συγκεκριμένα αθλήματα αποτελούν και την κινητήριου δύναμη προγραμματισμού των διοργανώσεων. Το επίκεντρο των οργανωτών παραμένει η επίτευξη μιας συνολικά θετικής εμπειρίας στην αθλητική εγκατάσταση ικανοποιώντας μια σειρά από βασικές ανάγκες όπως η ασφάλεια, η εύκολη πρόσβαση στην εγκατάσταση, η άμεση ενημέρωση, η εύκολη πρόσβαση στη θέση, η ανεμπόδιστη απόκτηση εισιτηρίων κτλ. Η εμπειρία συμπληρώνεται και ολοκληρώνεται με δράσεις όπως καλλιτεχνικές εκδηλώσεις, μουσική, καλεσμένους και γενικά φαντασμαγορικές δραστηριότητες.

##### **Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης**

Η δύναμη των Μέσων Μαζικής Ενημέρωσης, έντυπων και ηλεκτρονικών μέσων αποτελεί πάντα σημείο επιρροής και διαμόρφωσης της κοινής γνώμης για κάθε διοργάνωση. Ταυτόχρονα αποτελεί και μέσο προβολής για τις τοπικές κοινωνίες αλλά και αναβάθμισης τους επιπέδου των περιοχών αυτών.

Οι ώρες προβολής, ο μήνας και μέρα διεξαγωγής επηρεάζονται καθοριστικά από τις συνήθειες και προτιμήσεις των θεατών προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή θέαση. Ακόμα περισσότερο, οι μετρήσεις θέασης μπορούν να επηρεάσουν καθοριστικά την ύπαρξη και ανάπτυξη του αθλήματος.

Η διαφορά ώρας μεταξύ της διοργανώτριας πόλης και των θεατών αποτελεί ένα από τα βασικά σημεία διαμόρφωσης του προγράμματος σε μεγάλες αθλητικές διοργανώσεις.

Η απαίτηση για ζωντανή κάλυψη δημιουργεί μια δύσκολη εξίσωση με παραμέτρους τις αγωνιστικές συνθήκες, το μέγεθος της αγοράς, τις προτιμήσεις κάθε παγκόσμιας ομοσπονδίας που συμμετέχει, τους περιορισμούς της διοργάνωσης.

Η συνεχής χρήση του διαδικτύου και η αυξανόμενη επιρροή στην καθημερινότητα εκατομμυρίων πολιτών, προώθησε την ανάπτυξη και των διανομέων ψηφιακού περιεχομένου, οι οποίοι εμφανίζουν μια συνεχόμενη δυναμική και αναμφίβολα εντάσσονται με τη σειρά τους στα μέσα μαζικής επικοινωνίας και θέασης.

Οι διανομείς ψηφιακού περιεχομένου, ικανοποιούν τα ταυτόχρονα αιτήματα δισεκατομμυρίων θεατών και αντίστοιχα οι απαιτήσεις τους περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο την χρονική ακρίβεια στην διεξαγωγή κάθε πληροφορίας σχετική με τη διεξαγωγή ενός πρωταθλήματος αλλά κυρίως την χρονική ακρίβεια στην απευθείας μετάδοση του αθλητικού αυτού γεγονότος.

Ο σχεδιασμός λοιπόν, πέρα των όποιων συμβατικών υποχρεώσεων προκύψουν, θα πρέπει να αφορά και στη διευκόλυνση της εργασίας του τύπου, της τηλεόρασης αλλά και των διανομέων ψηφιακού περιεχομένου κατά τη διάρκεια των αγώνων.

Στη διαδικασία σχεδιασμού αναπόσπαστο κομμάτι αποτελεί και η προετοιμασία των χώρων εργασίας των δημοσιογράφων που θα πρέπει να περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό επεξεργασίας των ειδήσεων, εικόνων και ιδεο κατά τη διάρκεια των αγώνων, ώστε με εγκυρότητα, αμεσότητα και ακρίβεια να μεταφέρονται όλα τα στοιχεία για το αποτέλεσμα και τους αθλητές. Επιπλέον, ιδιαίτερη σπουδαιότητα έχει και η τοποθέτηση των χώρων του τύπου και τηλεόρασης σε κατάλληλη απόσταση με τον αγωνιστικό χώρο, με πολυάριθμο προσωπικό και εθελοντές και άμεση επικοινωνία της έκβασης του αγώνα.

Ο σημαντικός αυτός ρόλος των ΜΜΕ και ειδικότερα ο ρόλος τους, ως φορέα της θετικής επικοινωνίας και προβολής ενός αθλήματος επηρεάζει την ανάπτυξη του συνολικότερα.

Η σημαντικότητα της σχέσης των θεατών με το άθλημα, βρίσκεται σε άμεση αλληλεπίδραση με την προσοχή που δίνουν οι χορηγοί σ' ένα πρωτάθλημα. Το ύψος και είδος της χορηγίας καθορίζεται από την αποδεδειγμένη - μέσω τηλεθέασης - προτίμηση του κοινού προς ένα άθλημα ή είδος διοργάνωσης και συνεπώς τα οφέλη που προκύπτουν.

### **Χορηγοί**

Κατά τη διάρκεια των μεγάλων διοργανώσεων γίνεται μέριμνα για τους χορηγούς. Ανάλογα με το ύψος της προσφερόμενης χορηγίας αντιστοιχεί και ένα ολόκληρο πλάνο δεσμεύσεων σε υπηρεσίες εξυπηρέτησης, διευκόλυνσης και φιλοξενίας χαρακτηρίζοντας τη σχέση των χορηγών με τους διοργανωτές ως αλληλένδετη και αλληλοεξαρτώμενη.

Πέρα από την παραπάνω πελατειακή σχέση που δημιουργείται μεταξύ οργανωτών και χορηγών, ένα ολόκληρος σχεδιασμός καλείται να εξασφαλίσει τους όρους της χορηγικής συμφωνίας μέσα, περιμετρικά και έξω από την αθλητική εγκατάσταση που θα φιλοξενεί την διοργάνωση.

Ένα ολόκληρο τμήμα του οργανωτικού μηχανισμού της διοργάνωσης, προσωπικό και εθελοντές, εργάζεται για να διασφαλίσει αποτελεσματικότητα και ικανοποίηση κάθε απαίτησης που θα προκύψει. Η δύναμη της πολύτιμης οικονομικής συνεισφοράς τους επιβεβαιώνει την εξάρτηση των αθλημάτων και των αθλητών από τους χορηγούς.

## 1.3 Ορολογία χρονοπρογραμματισμού αθλητικών διοργανώσεων

### 1.3.1 Εκ περιτροπής πρωτάθλημα

Τα εκ περιτροπής πρωταθλήματα είναι πρωταθλήματα όπου κάθε διαγωνιζόμενος αντιμετωπίζει όλους τους άλλους διαγωνιζόμενους. Πόσες φορές θα αντιμετωπίσει ή κάθε ομάδα κάθε άλλη είναι οι γύροι (ή φάσεις) του πρωταθλήματος.

Πίνακας 1.1: Ένας γύρος συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων.

1	2	3
1-4	1-3	1-2
2-3	4-2	3-4

### 1.3.2 Συμμετρία

Συνήθως, αλλά όχι πάντα, στα πρωταθλήματα με γύρους τηρείτε κάποιου είδους συμμετρία π.χ. όλοι οι αγώνες του πρώτου γύρου θα προηγηθούν του δευτέρου.

Πίνακας 1.2: Δύο γύροι συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων με κανονισμό συμμετρίας καθρεφτισμού.

1	2	3	4	5	6
1-4	1-3	1-2	4-1	3-1	2-1
2-3	4-2	3-4	3-2	2-4	4-3

Πίνακας 1.3: Δύο γύροι συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων χωρίς κανονισμό συμμετρίας.

1	2	3	4	5	6
1-4	1-2	2-1	4-1	3-1	1-3
2-3	3-4	4-3	3-2	2-4	4-2

### 1.3.3 Μοτίβο έδρας

Σε διοργανώσεις όπου οι ομάδες ή οι αθλητές έχουν έδρες, ονομάζουμε μοτίβο έδρας (homeaway pattern) την αλληλουχία εντός - εκτός που διαγωνίζεται η κάθε ομάδα. Για παράδειγμα μία ομάδα που αγωνίζεται τους δύο πρώτους αγώνες της εντός και τους επόμενους δύο εκτός θα έχει μοτίβο έδρας το "ΗΗΑΑ". [3]

Πίνακας 1.4: Δύο γύροι συμπαγούς, εκ περιτροπής πρωταθλήματος τεσσάρων ομάδων με κανονισμό συμμετρίας καθρεφτισμού.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1-4	1-3	1-2	4-1	3-1	2-1
2-3	4-2	3-4	3-2	2-4	4-3

Πίνακας 1.5: Μοτίβο έδρας για το πρωτάθλημα του πίνακα 1.4 Η για εντός έδρας και Α για εκτός έδρας αγώνα.

<b>Ομάδα</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	H	H	H	A	A	A
<b>2</b>	H	A	A	A	H	H
<b>3</b>	A	A	H	H	H	A
<b>4</b>	A	H	A	H	A	H

### 1.3.4 Θραύσεις

Όταν μία ομάδα αγωνίζεται σε δύο συνεχόμενες αγωνιστικές εντός έδρας λέμε ότι ή ομάδα έχει θραύση εντός (home break). Όταν αγωνίζεται σε δύο συνεχόμενες αγωνιστικές εκτός έδρας έχει θραύση εκτός (away break). Οι θραύσεις συνήθως θεωρούνται ότι επηρεάζουν αρνητικά τον διαγωνισμό. [4]

Πίνακας 1.6: Μοτίβο θραύσεων για το μοτίβο έδρας του πίνακα 1.5 HB για θραύση εντός και AB για θραύση εκτός.

<b>Ομάδα</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>1</b>		HB	HB		AB	AB
<b>2</b>			AB	AB		HB
<b>3</b>		AB		HB	HB	
<b>4</b>						

### 1.3.5 First schedule then break

First schedule then break ονομάζεται η τεχνική αποσύνθεσης όπου πρώτα κανονίζεται ποιες ομάδες θα παίξουν μεταξύ τους και στην συνέχεια ποια ομάδα θα έχει το πλεονέκτημα έδρας. Αλλάζοντας το πλεονέκτημα έδρας αλλάζουν και οι θραύσεις των ομάδων. [5]

### 1.3.6 First break then schedule

First break then schedule ονομάζεται η τεχνική αποσύνθεσης όπου πρώτα κανονίζεται ποιες ομάδες και σε ποιες αγωνιστικές θα έχουν θραύσεις και μετά το υπόλοιπο πρόγραμμα. [6]

## Κεφάλαιο 2

# Κλασικές μέθοδοι δημιουργίας πρωταθλημάτων

Το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων δεν δημιουργήθηκε στην σύγχρονη εποχή. Ανά τους αιώνες διάφοροι αλγόριθμοι έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί. Ιδιαίτερα οι σκακιστικές κοινότητες έχουν βιβλιογραφία αιώνων επί του θέματος. Δύο από τους πιο δημοφιλείς αλγόριθμους είναι η κυκλική μέθοδος και οι πίνακες Berger οι οποίοι παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο.

### 2.1 Κυκλική μέθοδος

Στην κυκλική μέθοδο για πρωτάθλημα με  $n$  ομάδες δημιουργούμε έναν πίνακα  $2 * n$  όταν το  $n$  είναι άρτιο και  $2 * (n + 1)$  όταν το  $n$  είναι περιττό. Τοποθετούμε τους αριθμούς στον πίνακα με την φορά του ρολογιού. Για κάθε γύρο περιστρέφουμε δεξιόστροφα τις ομάδες με την πρώτη ομάδα να παραμένει σταθερή. Η κάθε στήλη δείχνει τους αντιπάλους του γύρου στην περίπτωση περιττού  $n$  αντικαθιστούμε την ομάδα  $n + 1$  με ρεπό (bye). Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζεται η δημιουργία πρωταθλήματος με την κυκλική μέθοδο.

Πίνακας 2.1: Το πρόγραμμα ενός γύρου για 7-8 ομάδες.

1	2	3	4	5	6	7
1-8	1-7	1-6	1-5	1-4	1-3	1-2
2-7	8-6	7-5	6-4	5-3	4-2	3-8
3-6	2-5	8-4	7-3	6-2	5-8	4-7
4-5	3-4	2-3	8-2	7-8	6-7	5-6

Πίνακας 2.2: Δημιουργία πρωταθλήματος για 7-8 ομάδες με την κυκλική μέθοδο.

<b>Αγώνας:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1ή	1	2	3	4
Αγωνιστική	8	7	6	5
2ή	1	8	2	3
Αγωνιστική	7	6	5	4
3ή	1	7	8	2
Αγωνιστική	6	5	4	3
4ή	1	6	7	8
Αγωνιστική	5	4	3	2
5ή	1	5	6	7
Αγωνιστική	4	3	2	8
6ή	1	4	5	6
Αγωνιστική	3	2	8	7
7ή	1	3	4	5
Αγωνιστική	2	8	7	6

Πίνακας 2.3: Για την δημιουργία περισσότερων γύρων αντιγράφεται ο πρώτος με τις έδρες των ομάδων ανεστραμμένες

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-8	1-7	1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	8-1	7-1	6-1	5-1	4-1	3-1	2-1
2-7	8-6	7-5	6-4	5-3	4-2	3-8	7-2	6-8	5-7	4-6	3-5	2-4	8-3
3-6	2-5	8-4	7-3	6-2	5-8	4-7	6-3	5-2	4-8	3-7	2-6	8-5	7-4
4-5	3-4	2-3	8-2	7-8	6-7	5-6	5-4	4-3	3-2	2-8	8-7	7-6	6-5



## 2.2 Πίνακες Berger

Οι πίνακες Berger δημοσιεύθηκαν τον 19<sup>ο</sup> αιώνα από τον Αυστριακό σκακιστή Johann Berger με αναφορά στον δημιουργό τους Richard Schurig. Η ευκολία τους στην δημιουργία προγράμματος τους έκανε δημοφιλή ανάμεσα στους σκακιστές και απο εκεί και σε άλλα αθλήματα.

Για πρωτάθλημα με  $n$  ομάδες όπου το  $n$  είναι περιττό κατασκευάζουμε έναν πίνακα  $n * n$ . Για πρωτάθλημα με  $n$  ομάδες όπου το  $n$  είναι άρτιο κατασκευάζουμε έναν πίνακα με  $(n - 1) * (n - 1)$  ομάδες. Συμπληρώνουμε τα κελιά ξεκινώντας από το ένα και σε κάθε γραμμή αυξάνουμε κατά ένα. Η αριθμός της στήλης δείχνει τους αντιπάλους και το κελί την αγωνιστική του μεταξύ τους αγώνα. Στην περίπτωση που μία ομάδα παίζει με τον εαυτό της την αντικαθιστούμε με την  $n$  ομάδα όταν το  $n$  είναι άρτιο ή με ρεπό (bye) όταν το  $n$  είναι περιττό. Στον πίνακα 2.4 παρουσιάζεται η διαδικασία.

Πίνακας 2.4: Πίνακας Berger πρωταθλήματος για 7-8 ομάδες.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>2</b>	2	3	4	5	6	7	1
<b>3</b>	3	4	5	6	7	1	2
<b>4</b>	4	5	6	7	1	2	3
<b>5</b>	5	6	7	1	2	3	4
<b>6</b>	6	7	1	2	3	4	5
<b>7</b>	7	1	2	3	4	5	6

Πίνακας 2.5: Το πρόγραμμα ενός γύρου για 7-8 ομάδες.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1-8	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
2-7	2-8	3-8	2-3	2-4	2-5	2-6
3-6	3-7	4-7	4-8	5-8	3-4	3-5
4-5	4-6	5-6	5-7	6-8	6-8	7-8

## Συμπεράσματα

Ακόμα και πριν την ελευση των μικροϋπολογιστών η ανθρωπότητα κλήθηκε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων. Τα πρωταθλήματα που δημιουργούνται από αυτές τις μεθόδους παρουσιάζουν όμως ομοιομορφία και δεν επιτρέπουν να εισάγουμε πολύπλοκους περιορισμούς.

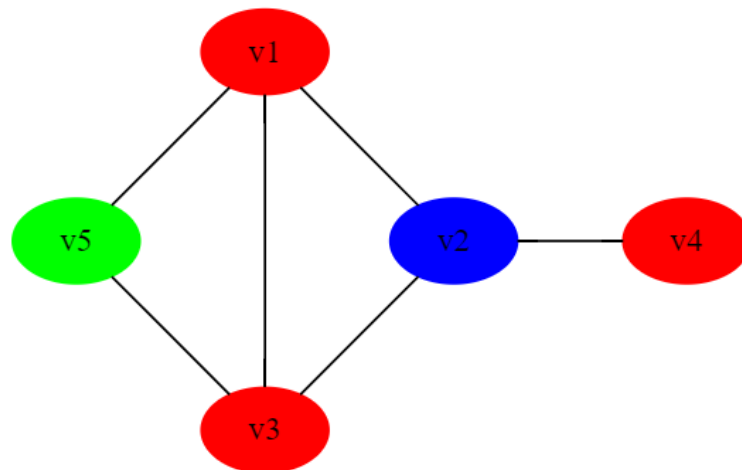
## Κεφάλαιο 3

# Αναπαράσταση πρωταθλημάτων ως προβλήματα χρωματισμού

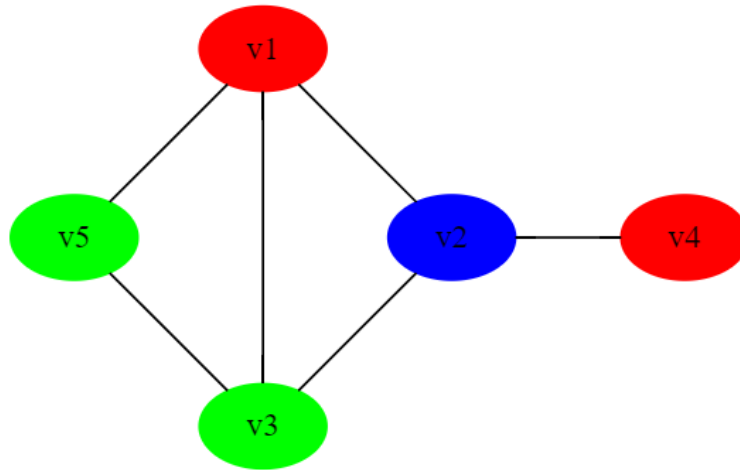
Τα διάφορα πρωταθλήματα μπορούν να αναπαρασταθούν ως γράφοι και το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων με γύρους να μετατραπεί σε πρόβλημα χρωματισμού γράφου.

### 3.1 Χρωματισμός κόμβων

Το πρόβλημα του χρωματισμού κόμβων είναι ένα γνωστό και καλομελετημένο NP Hard πρόβλημα και αφορά στην αντιστοίχιση χρωμάτων στους κόμβους, ώστε όλοι οι κόμβοι που ενώνονται με ακμή να έχουν διαφορετικά χρώματα. Διάφοροι ερευνητές ανά τα έτη έχουν ασχοληθεί με το πρόβλημα του χρωματισμού γράφων και διάφοροι ευριστικοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί για την ελαχιστοποίηση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων χρωμάτων.



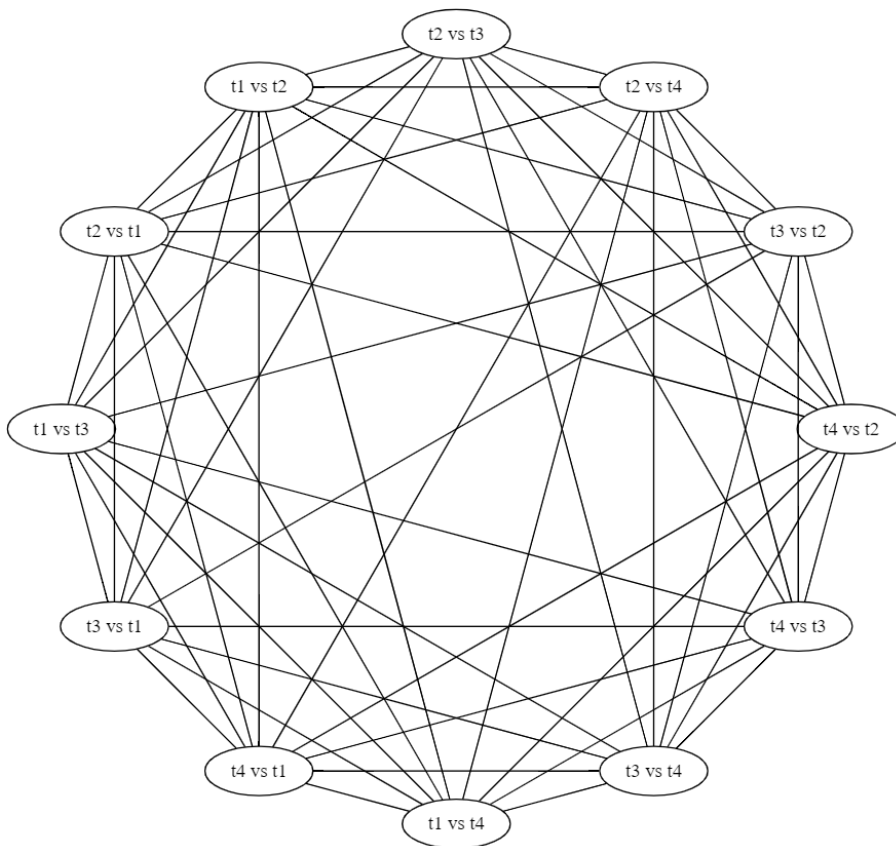
Σχήμα 3.1: Ένας έγκυρος χρωματισμός κόμβων γράφου.



Σχήμα 3.2: Ένας μη έγκυρος χρωματισμός κόμβων γράφου. Οι κόμβοι v3 και v5, ενώ έχουν ακμή μεταξύ τους έχουν πάρει και οι δύο το πράσινο χρώμα.

### 3.1.1 Αναπαράσταση πρωταθλήματος

Κάθε κόμβος είναι ένας αγώνας του πρωταθλήματος, όλοι οι κόμβοι που αναπαραστούν τους αγώνες μίας ομάδας είναι ενωμένοι με ακμή και το χρώμα που θα πάρουν θα αναπαριστά μία αγωνιστική. Τα χρώματα που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν είναι ο αριθμός των αγωνιστικών. [7]



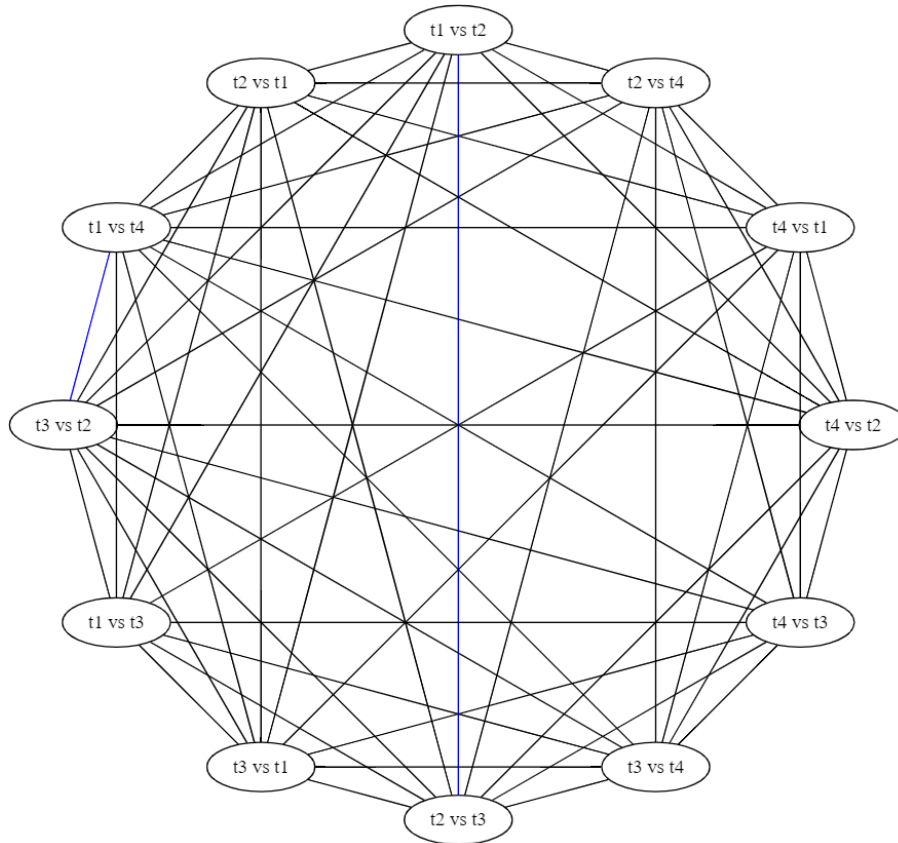
Σχήμα 3.3: Πρωτάθλημα δύο γύρων χωρίς κανονισμό φάσης.

### 3.1.2 Περιορισμοί

Έχουμε την δυνατότητα να εφαρμόσουμε κάποιους απλοϊκούς περιορισμούς και να συνεχίσουμε να βλέπουμε το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων ως ένα πρόβλημα χρωματισμού γράφων.

#### Αγώνες σε διαφορετική αγωνιστική

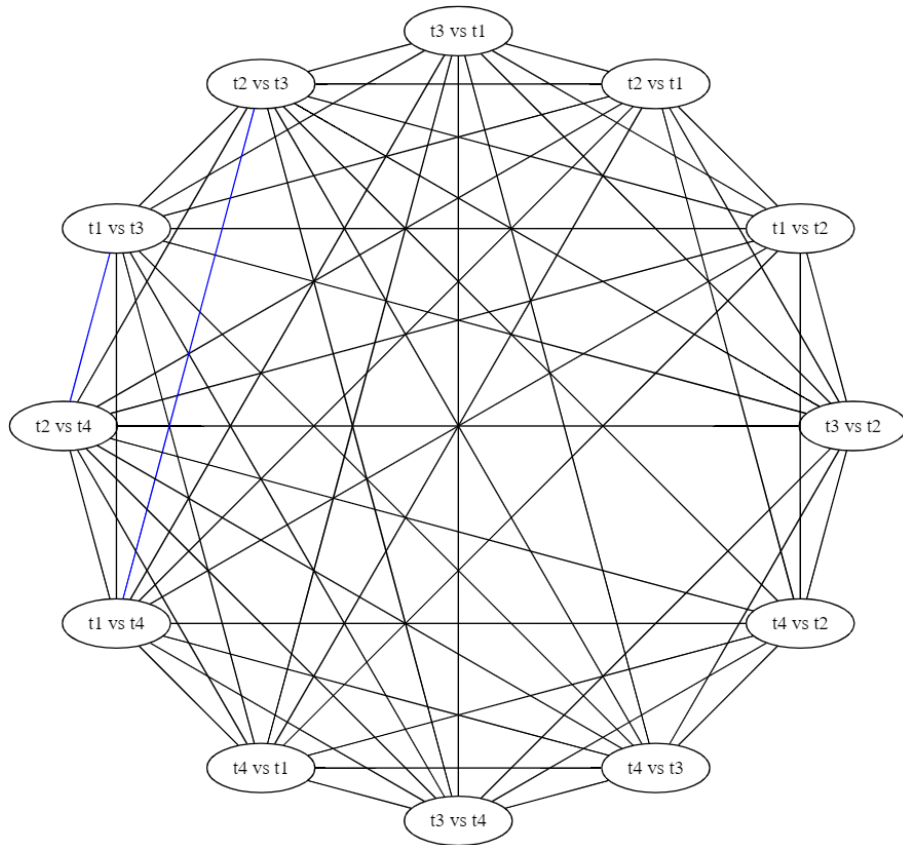
Εάν ενώσουμε με ακμή δύο ή περισσότερους αγώνες, τότε έπειτα από τον χρωματισμό οι συγκεκριμένοι αγώνες θα διεξαχθούν σε διαφορετική αγωνιστική.



Σχήμα 3.4: Έχουμε προσθέσει ακμές μεταξύ των αγώνων t3 vs t2 και t1 vs t4 όπως και στους αγώνες t1 vs t2 και t2 vs t3 απαγορεύοντας έτσι να είναι στην ίδια αγωνιστική.

#### Ομάδες που μοιράζονται έδρα

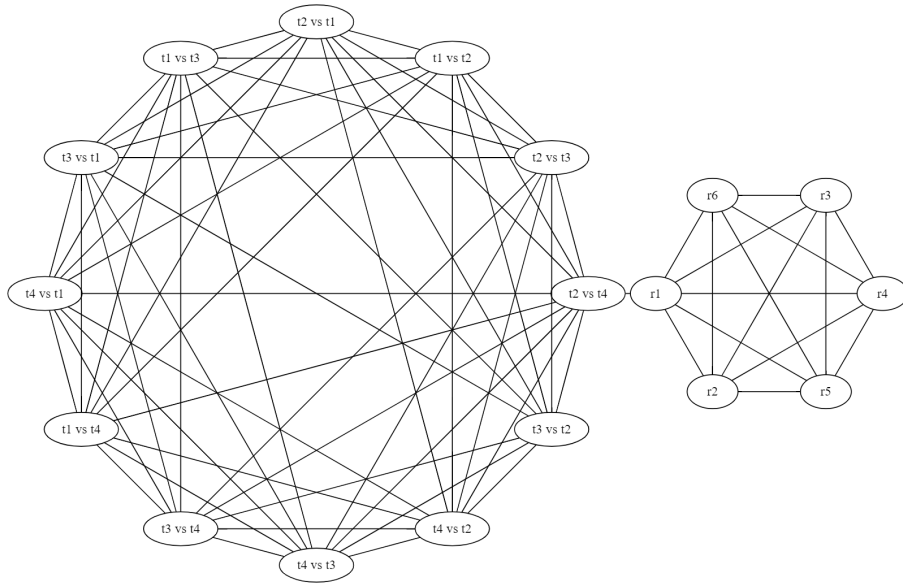
Η κατάσταση που θέλει δύο ή περισσότερες ομάδες να μοιράζονται την ίδια έδρα και δεν μπορούν να αγωνιστούν στην ίδια αγωνιστική εντός έδρας μπορεί, βάσει του προηγούμενου κανόνα να ικανοποιηθεί. Εάν ενώσουμε με ακμές όλους τους εντός έδρας αγώνες αυτών των ομάδων θα έχουμε απαγορεύσει τους εντός έδρας αγώνες αυτών των ομάδων να διεξαχθούν στην ίδια αγωνιστική.



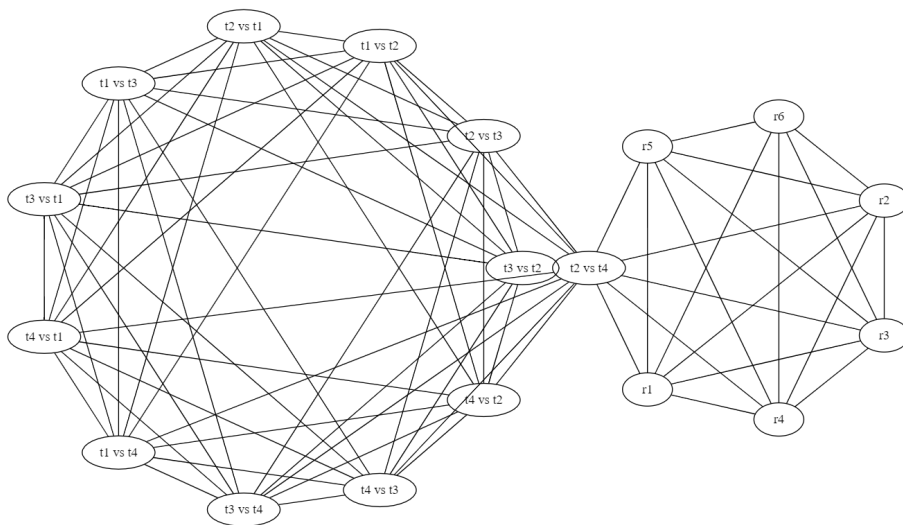
Σχήμα 3.5: Έχουμε προσθέσει ακμές μεταξύ των εντός έδρας αγώνων των ομάδων t1 και t2 εξασφαλίζοντας έτσι ότι δεν θα συμπέσουν αγώνες εντός έδρας αυτών των ομάδων στην ίδια αγωνιστική.

### **Αγώνες σε συγκεκριμένες αγωνιστικές**

Για να τοποθετήσουμε ή να απαγορεύσουμε αγώνες σε συγκεκριμένες αγωνιστικές μπορούμε να προσθέσουμε έναν υπογράφο στον γράφο μας. Ο υπογράφος αυτός αναπαριστά τις αγωνιστικές και θα είναι ένας πλήρης γράφος, δηλαδή κάθε αγωνιστική θα έχει ακμή με όλες τις υπόλοιπες αγωνιστικές, ο αριθμός των χρωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία του χρωματισμού θα πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος των αγωνιστικών.



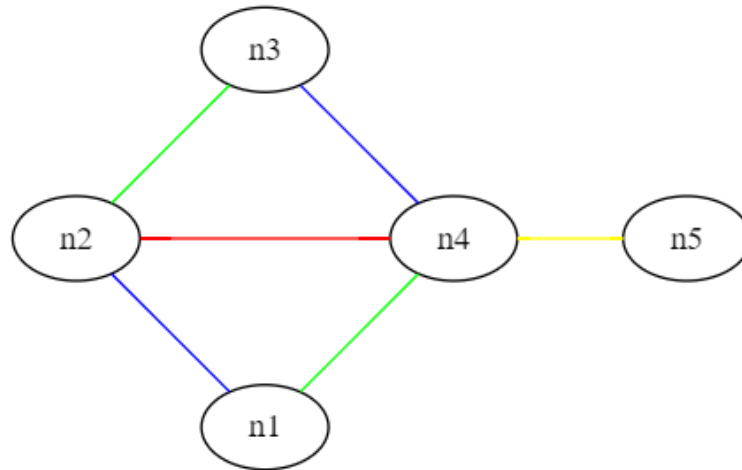
Σχήμα 3.6: Έχουμε προσθέσει έναν πλήρη γράφο που αντιπροσωπεύει όλες τις αγωνιστικές. Η ακμή του αγώνα των ομάδων t2 και t4 με την αγωνιστική r1 εξασφαλίζει ότι ο συγκεκριμένος αγώνας δεν θα τοποθετηθεί στην αγωνιστική r1.



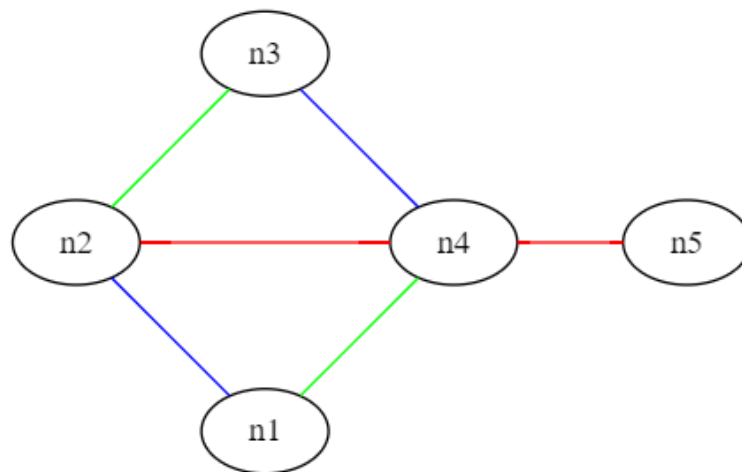
Σχήμα 3.7: Οι ακμές του αγώνα των ομάδων t2 και t4 με όλες τις αγωνιστικές εκτός από την αγωνιστική r6, εξασφαλίζουν ότι ο συγκεκριμένος αγώνας δεν θα τοποθετηθεί στην αγωνιστική r6.

## 3.2 Χρωματισμός ακμών

Το πρόβλημα του χρωματισμού ακμών είναι ένα NP Hard πρόβλημα παραπλήσιο του χρωματισμού κόμβων. Σκοπός είναι να χρωματίσουμε τις ακμές με τρόπο ώστε όλες οι ακμές που εφάπτονται σε κάποιον κόμβο να έχουν διαφορετικό χρώμα. Κάθε πρόβλημα χρωματισμού ακμών μπορεί να μετατραπεί σε πρόβλημα χρωματισμού κόμβων.



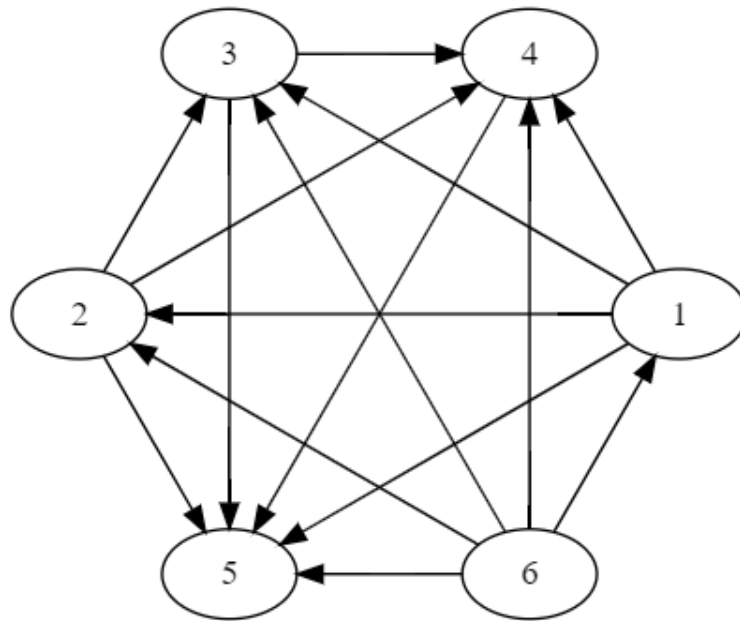
Σχήμα 3.8: Ένας έγκυρος χρωματισμός ακμών γράφου.



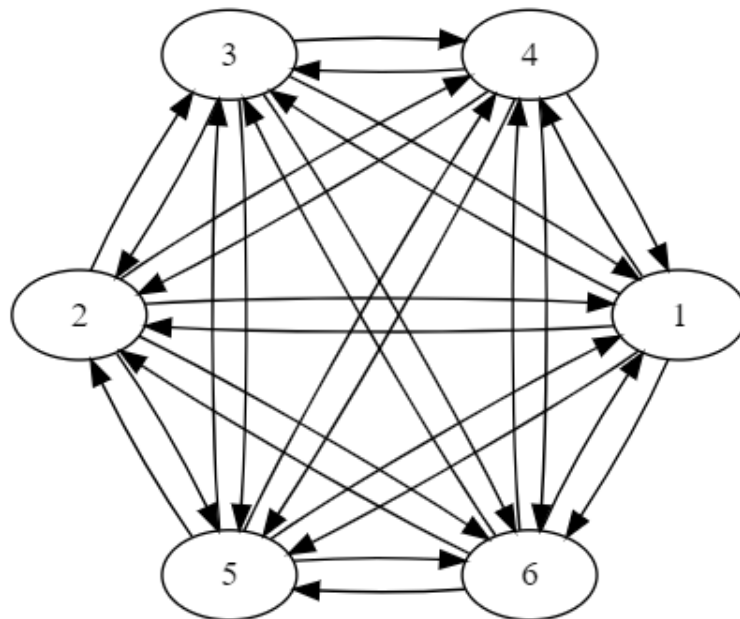
Σχήμα 3.9: Ένας μη έγκυρος χρωματισμός ακμών γράφου. Ο κόμβος n4 έχει δύο ακμές με κόκκινο χρώμα.

### 3.2.1 Αναπαράσταση πρωταθλήματος

Κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μία ομάδα σε έναν κατευθυνόμενο γράφο για πρωταθλήματα με έναν γύρο ή κατευθυνόμενο πολυγράφο αντίστοιχα, για πρωταθλήματα με περισσότερους γύρους. Η κατεύθυνση δείχνει την έδρα στην οποία διεξάγεται ο αγώνας. Το χρώμα που θα πάρουν οι ακμές αντιπροσωπεύει την αγωνιστική στην οποία θα διεξαχθεί ο αγώνας. Τα χρώματα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι και ο αριθμός των αγωνιστικών. [8]



Σχήμα 3.10: Πρωτάθλημα με έναν γύρο και έξι ομάδες.



Σχήμα 3.11: Πρωτάθλημα με δύο γύρους και έξι ομάδες. Κάθε ομάδα θα αγωνιστεί με κάθε άλλη ομάδα εντός και εκτός έδρας.

### Συμπεράσματα

Οι μέθοδοι δημιουργίας πρωταθλημάτων με τεχνικές χρωματισμού γράφων δεν μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε πολύπλοκους περιορισμούς για αυτό θα χρησιμοποιήσουμε εν τέλει μαθηματικό προγραμματισμό. Εφεξής για λόγους αισθητικής, τα πρωταθλήματα θα αναπαριστώνται ως προβλήματα χρωματισμού ακμών.



# Κεφάλαιο 4

## Τελεστές γειτνίασης

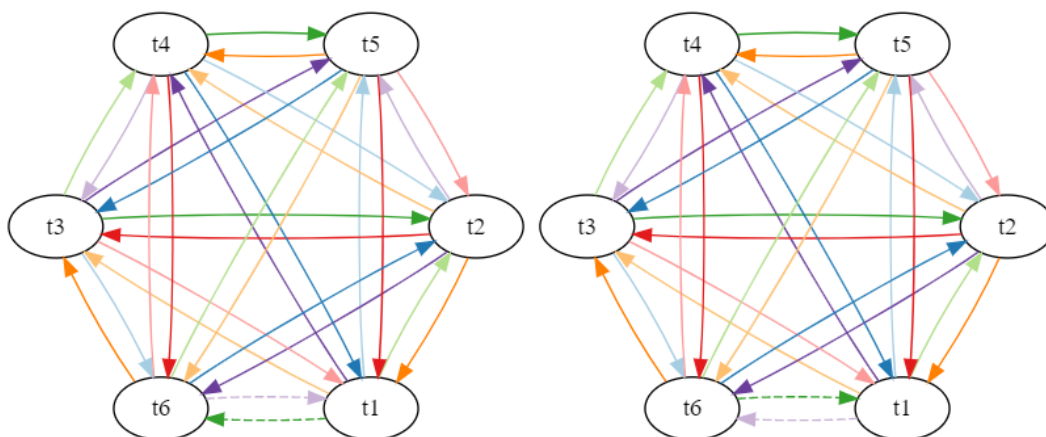
Οι τελεστές γειτνίασης στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων με γύρους, είναι κινήσεις με την εκτέλεση των οποίων δεν παραβιάζονται οι βασικοί κανόνες του πρωταθλήματος. Η εκτέλεση τους θα έχει ως αποτέλεσμα έναν νέο σχεδιασμό του πρωταθλήματος, όπου πάλι θα υπάρχουν όλοι οι αγώνες και δεν θα παραβιάζεται ο κανονισμός φάσης εάν υπάρχει.

### 4.1 Τελεστές

Έχουμε στην διάθεση μας τέσσερις διαφορετικές κινήσεις που μεταβάλλουν το πρωτάθλημα σε ένα νέο έγκυρο πρωτάθλημα. Το μέγεθος της μεταβολής που προκαλούν είναι διαφορετικό. [9]

#### 4.1.1 Ανταλλαγή Επαναληπτικού

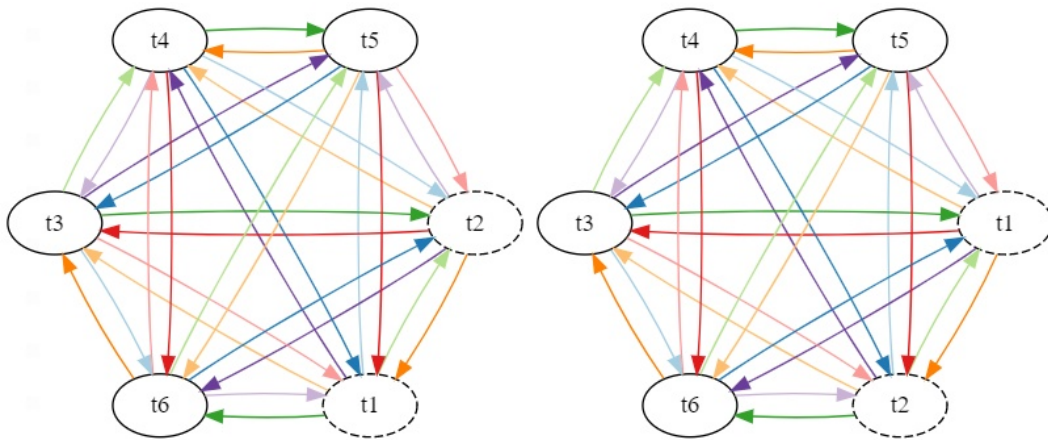
Σε πρωταθλήματα με ανώτερο του ενός γύρου μπορούμε να αλλάξουμε τον κάθε αγώνα με τον επαναληπτικό του.



Σχήμα 4.1: Ο αγώνας μεταξύ των ομάδων t1 και t6 έχει ανταλλάξει αγωνιστική με τον επαναληπτικό του.

### 4.1.2 Ανταλλαγή Ομάδων

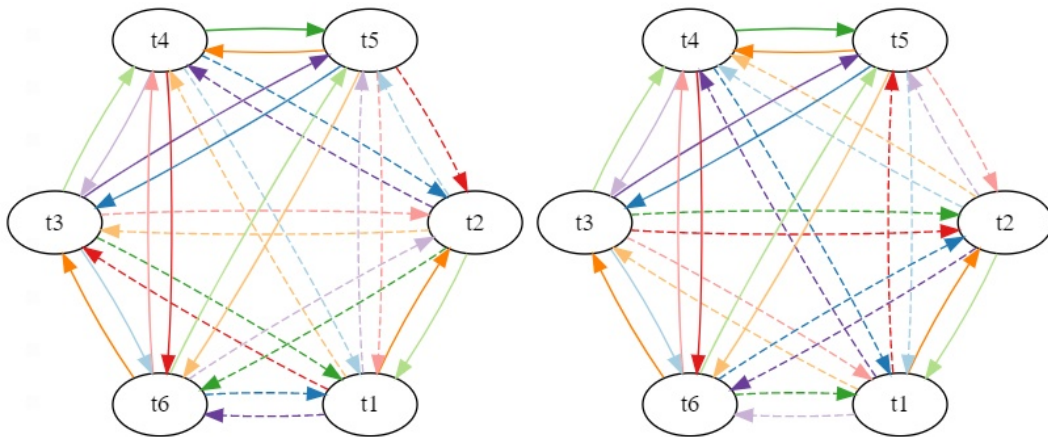
Οι ομάδες μπορούν να ανταλλάξουν θέση μεταξύ τους.



Σχήμα 4.2: Οι ομάδες t1 και t2 έχουν ανταλλάξει θέση.

### 4.1.3 Ανταλλαγή Αντιπάλων

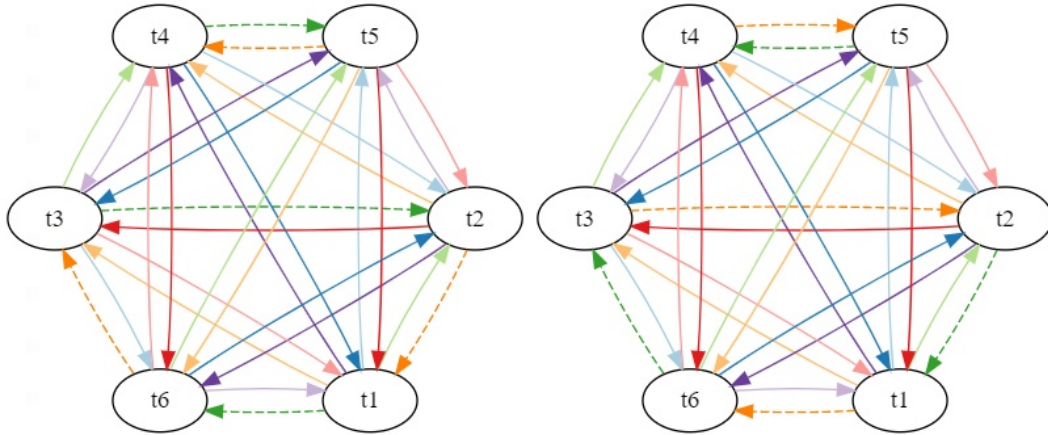
Σε κάθε αγωνιστική δύο ομάδες ανταλλάσσουν αντιπάλους. Κατά την διάρκεια της ανταλλαγής κρατάμε τους νέους αγώνες που έχουν δημιουργηθεί, και εάν ο νέος αγώνας που προγραμματίζουμε έχει ήδη προγραμματιστεί, επιλέγουμε στην τύχη που θα μπει ο επαναληπτικός και που ο κανονικός.



Σχήμα 4.3: Οι ομάδες t1 και t2 έχουν ανταλλάξει αντιπάλους σε κάθε αγωνιστική.

#### 4.1.4 Ανταλλαγή Αγωνιστικών

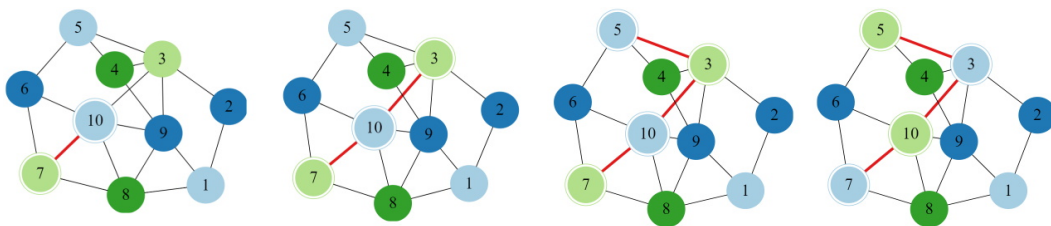
Δύο αγωνιστικές μπορούν να αλλάξουν μεταξύ τους. Σε περίπτωση που υπάρχει κανονισμός φάσης θα πρέπει αυτές οι αγωνιστικές να ανήκουν στην ίδια φάση.



Σχήμα 4.4: Οι αγωνιστικές με το σκούρο πράσινο και το πορτοκαλί χρώμα έχουν αλλάξει θέση.

#### 4.1.5 Αλυσίδες Kempe

Οι αλυσίδες Kempe χρησιμοποιήθηκαν πρώτα από τον Alfred Kempe στην εσφαλμένη, όπως αποδείχθηκε αργότερα, λύση του θεώρηματος των τεσσάρων χρωμάτων. Μία αλυσίδα Kempe δημιουργείται επιλέγοντας δύο κόμβους και επιλέγοντας αναδρομικά τις γεινιάζουσες κορυφές που είναι χρωματισμένες με τα χρώματα των δύο αρχικών κόμβων. Αφού επιλεγθούν οι κόμβοι ανταλλάσσουν χρώμα, το αποτέλεσμα είναι ένας νέος πάντα έγκυρος χρωματισμός του γράφου. Στον χρονοπρογραμματισμό πρωταθλημάτων μπορούμε να επιλέξουμε δύο αγωνιστικές (της ίδιας φάσης εάν υπάρχει κανονισμός φάσης) και δύο αγώνες από αυτές της αγωνιστικές.



Σχήμα 4.5: Αλυσίδα Kempe

## 4.2 Μέγεθος κινήσεων

Το μέγεθος της μεταβολής που προκαλεί η κάθε κίνηση δεν είναι σταθερό και ο αριθμός των αγώνων που θα αλλάξουν αγωνιστική διαφέρει. Για τους τέσσερις προαναφερθέντες τελεστές γειννίασης για συμπαγές πρωτάθλημα με  $n$  ομάδες και  $r$  γύρους το μέγεθος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1: Μέγεθος Κινήσεων

Τελεστής	Περιγραφή	Μέγεθος κίνησης
Ανταλλαγή Επαναληπτικού	Επιλογή δύο ομάδων $t_i \neq t_j$ , ανταλλαγή θέσης των αγώνων ( $t_i \neq t_j$ ) και ( $t_j \neq t_i$ ).	2
Ανταλλαγή Ομάδων	Επιλογή δύο ομάδων $t_i \neq t_j$ , ανταλλαγή όλων των εμφανίσεων του $t_i$ με $t_j$ .	$2r-2$
Ανταλλαγή Αντιπάλων	Επιλογή δύο ομάδων $t_i \neq t_j$ , ανταλλαγή όλων των αντιπάλων τους σε όλους τους γύρους.	$2(r-2)$
Ανταλλαγή Αγωνιστικών	Επιλογή δύο αγωνιστικών $s_i \neq s_j$ , ανταλλαγή όλων των περιεχομένων τους.	$n$
Αλυσίδα Kempe	Ένας αγώνας μεταφέρεται σε μία νέα αγωνιστική, ακολουθεί η διαδικασία επιδιόρθωσης.	Διαφέρει

## Συμπεράσματα

Ενώ οι τελεστές γειννίασης μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε ένα νέο πρωτάθλημα που είναι μεν έγκυρο ως προς τους βασικούς περιορισμούς του, δεν μας επιτρέπουν να λάβουμε υπ' όψιν επιπλέον περιορισμούς. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι μόνο με τις συγκεκριμένες κινήσεις δεν είναι δυνατή η πλήρης διάσχιση του χώρου αναζήτησης. [10]

# Κεφάλαιο 5

## ITC 2021

Στα πλαίσια του διεθνούς διαγωνισμού χρονοπρογραμματισμού International Timetabling Competition για το έτος 2021, επιλέχθηκε το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων. Σκοπός του διαγωνισμού είναι να κινήσει το ενδιαφέρον και την ενασχόληση περισσότερων επιστημονικών ομάδων με το συγκεκριμένο θέμα. Η διπλωματική αυτή είχε ως έναυσμα την ενασχόληση της ομάδας μας με τον συγκεκριμένο διαγωνισμό.

Το πανεπιστήμιο του Ghent έχει αναπτύξει το πρότυπο RobinXML για την περιγραφή περιορισμών πρωταθλημάτων με γύρους. Επίσης, η ίδια ομάδα ήταν υπεύθυνη για τον διαγωνισμό. Ακολουθεί μία περίληψη του RobinXML και ειδικότερα η υλοποίηση του στον διαγωνισμό.

### 5.1 RobinXML

Το πρότυπο RobinXML είναι ένα πρότυπο που έχει αναπτυχθεί, ώστε να μπορεί να γίνει η περιγραφή διαφορετικών τύπων πρωταθλημάτων και με διαφορετικούς στόχους. Είναι ένα πρότυπο βασισμένο στο XML και διαθέτει τρία ξεχωριστά πεδία. Ακολουθεί μία περίληψη αυτών των πεδίων. [11]

#### 5.1.1 Πεδίο A

Στο πεδίο A ορίζονται οι περιορισμοί για τον τύπο της διοργάνωσης. Οι περιορισμοί αυτοί είναι πάντα αυστηροί.

#### Τύπος πρωταθλήματος

Δηλώνεται ο τύπος του πρωταθλήματος από τους κάτωθι:

- **kRR** Πρωτάθλημα με γύρους. Όλες οι ομάδες παίζουν με όλες τις ομάδες.
- **kBRR** Πρωτάθλημα όπου οι ομάδες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες που δεν έχουν αγώνες μεταξύ τους. Το μέγεθος των δύο κατηγοριών μπορεί να διαφέρει το πολύ κατά μία ομάδα.
- **NRR** Για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

## Συμπαγές

Συμπαγές ονομάζεται ένα πρωτάθλημα όταν σε κάθε αγωνιστική κάθε ομάδα παίζει έναν αγώνα, εκτός από έναν αγώνα ανά γύρο, στην περίπτωση που ο αριθμός των ομάδων είναι περιττός.

Οι επιλογές είναι:

- **C time-constrained.** Το πρωτάθλημα πρέπει να διεξαχθεί στις ελάχιστες δυνατές περιόδους. Οι ελάχιστες δυνατοί περίοδοι για πρωτάθλημα με  $n$  ομάδες και  $r$  γύρους όπου είναι  $r(n - 1)$  για άρτιο  $n$  και  $r * n$  για περιττό.
- **R time-relaxed.** Το πρωτάθλημα δεν είναι απαραίτητο να διεξαχθεί στις ελάχιστες δυνατές περιόδους.

## Ιδιότητες συμμετρίας

Ένα πρωτάθλημα με πάνω από έναν γύρο μπορεί να διαθέτει κανονισμούς για την συμμετρία των γύρων. Όταν ένα πρωτάθλημα απαιτεί σε κάθε γύρο του να υπάρχουν όλοι οι συνδυασμοί ομάδων λέμε ότι έχει κανονισμό Φάσης.

Πίνακας 5.1: Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων χωρίς κανονισμό φάσης

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6	6-1	1-3	3-1	1-2	1-5	5-1	4-1	1-4	2-1
2-5	5-2	2-4	4-2	3-6	4-6	6-4	5-3	3-5	6-3
3-4	4-3	5-6	6-5	4-5	2-3	3-2	6-2	2-6	5-4

Πίνακας 5.2: Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανονισμό φάσης

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-6	1-5	1-2	1-3	1-4	5-1	6-1	4-1	2-1	3-1
2-5	4-6	3-6	2-4	3-5	6-4	5-2	5-3	6-3	4-2
3-4	2-3	4-5	5-6	2-6	3-2	4-3	6-2	5-4	6-5

Επιπλέον μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα στους παρακάτω κανόνες συμμετρίας:

- **Καθρεπτισμός.** Σε κάθε γύρο είναι ακριβώς οι ίδιες ομάδες με ανεστραμμένο το πλεονέκτημα έδρας.
- **Αναστροφή.** Κάθε γύρος του πρωταθλήματος είναι ο προηγούμενος ανεστραμμένος με αλλαγή έδρας.
- **Αγγλικό σύστημα.** Κάθε γύρος είναι ακριβώς οι ίδιες ομάδες μετατοπισμένες δεξιά κατά ένα, με αλλαγή έδρας.
- **Γαλλικό σύστημα.** Κάθε γύρος είναι ακριβώς οι ίδιες ομάδες μετατοπισμένες αριστερά κατά ένα, με αλλαγή έδρας.

Πίνακας 5.3: Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα καθρεπτισμού.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	6-1	5-1	4-1	3-1	2-1
2-5	4-6	3-5	2-4	3-6	5-2	6-4	5-3	4-2	6-3
3-4	2-3	2-6	5-6	4-5	4-3	3-2	6-2	6-5	5-4

Πίνακας 5.4: Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα αναστροφής.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	2-1	3-1	4-1	5-1	6-1
2-5	4-6	3-5	2-4	3-6	6-3	4-2	5-3	6-4	5-2
3-4	2-3	2-6	5-6	4-5	5-4	6-5	6-2	3-2	4-3

Πίνακας 5.5: Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα αγγλικού συστήματος.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	2-1	6-1	5-1	4-1	3-1
2-5	4-6	3-5	2-4	3-6	6-3	5-2	6-4	5-3	4-2
3-4	2-3	2-6	5-6	4-5	5-4	4-3	3-2	6-2	6-5

Πίνακας 5.6: Συμπαγές πρωτάθλημα δύο γύρων και έξι ομάδων με κανόνα γαλικού συστήματος.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	5-1	4-1	3-1	2-1	6-1
2-5	4-6	3-5	2-4	3-6	6-4	5-3	4-2	6-3	5-2
3-4	2-3	2-6	5-6	4-5	3-2	6-2	6-5	5-4	4-3

### **5.1.2 Πεδίο Β**

Στο πεδίο Β ορίζονται οι διάφοροι περιορισμοί για το πρωτάθλημα. Είναι σύνηθες το φαινόμενο ένα πρωτάθλημα να απαιτεί διαφόρων τύπου περιορισμούς, ώστε να αντιμετωπιστούν θέματα που έχουν να κάνουν με την διαθεσιμότητα των χώρων διεξαγωγής, της αστυνομίας, της δικαιοσύνης για όλες τις ομάδες, τις επιθυμίες των μέσων και τα θέλω των ίδιων των ομάδων.

Επειδή οι εμπλεκόμενοι σε ένα πρωτάθλημα είναι συνήθως πάρα πολλοί (κράτος, ομάδες, αστυνομία, επιχειρήσεις στοιχηματισμού, τηλεοπτικά συμφέροντα μεταξύ άλλων) και οι επιθυμίες τους συχνά είναι αντικρουόμενες, θεωρείται δύσκολο να αποφασιστεί ποιοι περιορισμοί θα ισχύσουν.

Το RobinXML διαθέτει έξι μεγάλες κατηγορίες περιορισμών με περίπου είκοσι περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να είναι αυστηροί ή χαλαροί. Ακολουθεί μία περίληψη των κατηγοριών περιορισμών.

#### **Βασικοί περιορισμοί**

Οι περιορισμοί αφορούν σε βασικές λειτουργίες του πρωταθλήματος και εκτός αν οριστούν ως χαλαροί μπορούν να παραληφθούν και θα θεωρούνται αυστηροί. Μπορούμε να επιλέξουμε εάν πρέπει να οριστούν όλοι οι αγώνες και εάν μπορούν οι ομάδες να παίζουν πάνω από έναν αγώνα σε κάθε αγωνιστική.

#### **Περιορισμοί χωρητικότητας**

Οι περιορισμοί αυτοί περιόριζον ή και ορίζουν τον συνολικό αριθμό αγώνων που έχουν δώσει ορισμένες ομάδες ή σύνολα από ομάδες σε κάποιες αγωνιστικές. Εδώ μπορούμε να αναγκάσουμε κάποια ομάδα ή σύνολο ομάδων να παίζουν εντός ή εκτός έδρας.

#### **Περιορισμοί αγώνων**

Οι περιορισμοί αυτοί επιτρέπουν ή απαγορεύουν συγκεκριμένους αγώνες σε συγκεκριμένες αγωνιστικές.

#### **Περιορισμοί θραύσεων**

Όταν μία ομάδα παίζει δύο συνεχόμενους αγώνες εντός έδρας λέμε ότι έχει θραύση εντός (Home Break). Στην αντίθετη περίπτωση, όπου μία ομάδα παίζει δύο συνεχόμενους αγώνες εκτός έδρας λέμε ότι έχει θραύση εκτός (Home Break).

Οι θραύσεις θεωρούνται μη επιθυμητές, καθώς έχει παρατηρηθεί μεταβολή της απόδοσης των ομάδων και ότι λιγότεροι θεατές θα παραστούν δύο συνεχόμενες αγωνιστικές εντός έδρας.

#### **Περιορισμοί δικαιοσύνης**

Οι περιορισμοί αυτής της κατηγορίας έχουν στόχο να κάνουν ένα πρωτάθλημα πιο δίκαιο για τις ομάδες ή/και να το κάνουν πιο επιθυμητό από άποψη θεαματικότητας.



## Περιορισμοί διαχωρισμού

Οι περιορισμοί αυτοί ορίζουν την απόσταση μεταξύ των αγώνων των ίδιων ομάδων. Μπορούν να τοποθετήσουν τον επαναληπτικό ενός αγώνα σύντομα ή αργότερα.

### 5.1.3 Πεδίο Γ

Στο πεδίο Γ ορίζεται ο στόχος του σχεδιασμού πρωταθλήματος (Αντικειμενική συνάρτηση). Η συνάρτηση κόστους που μπορούμε να επιλέξουμε αντιπροσωπεύει και την επιδίωξη που έχουμε από το πρωτάθλημα. Εάν δεν δοθεί κανένας στόχος το πρόβλημα μετατρέπεται σε πρόβλημα ικανοποίησης περιορισμών με μοναδικό σκοπό την ικανοποίηση όλων των αυστηρών περιορισμών.

Διάφορα πρωταθλήματα δημιουργούν και διαφορετικούς στόχους. Σε ένα επαγγελματικό πρωτάθλημα θέλουμε να ικανοποιήσουμε τους μετόχους σε ένα ερασιτεχνικό πρωτάθλημα όμως, στόχος μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους διεξαγωγής.

Μπορούμε να επιλέξουμε την συνάρτηση κόστους ανάμεσα σε :

- **BR** Δημιουργία πρωταθλήματος με ισοζυγισμένες ελάχιστες θραύσεις.
- **TR** Δημιουργία πρωταθλήματος με την ελάχιστη απόσταση ταξιδιών για τους συμμετέχοντες.
- **CR** Ελαχιστοποίηση του κόστους βάσει κάποιον υπολογισμών και κόστος για συγκεκριμένους χώρους διεξαγωγής αγώνων.
- **CO** Κατασκευή με ελαχιστοποίηση του carry-over. Όταν η ομάδα A έχει παίξει με την ομάδα B στις προηγούμενες αγωνιστικές, λέμε ότι η ομάδα A έχει φόρτο από την ομάδα B.
- **SC** Κατασκευή πρωταθλήματος με ελαχιστοποίηση της απόκλισης των χαλαρών περιορισμών.

## 5.2 ITC 2021

Στα πλαίσια του διαγωνισμού ITC 2021 δόθηκαν 45 στιγμιότυπα πρωταθλημάτων με διάφορο αριθμό ομάδων και διαφορετικούς κανόνες και περιορισμούς. Τα στιγμιότυπα δόθηκαν σε τρεις ξεχωριστές φάσεις (Early, Middle, Late). Για τις ανάγκες του διαγωνισμού χρησιμοποιήθηκε ένα υποσύνολο των περιορισμών του RobinXML.

### 5.2.1 Πεδίο A

#### Τύπος πρωταθλήματος

Όλα τα πρωταθλήματα ανήκουν στην κατηγορία kRR. Είναι πρωτάθληματα με δύο γύρους όπου όλες οι ομάδες παίζουν με όλες τις ομάδες.

#### Συμπαγές

Όλα τα πρωταθλήματα είναι συμπαγή και έχουν  $2(n - 1)$  αγωνιστικές όπου  $n$  ο αριθμός των ομάδων του πρωταθλήματος.

#### Ιδιότητες συμμετρίας

Σε 23 από τα 45 πρωταθλήματα υπάρχει κανονισμός φάσης αλλά σε κανένα δεν υπάρχει κανονισμός συμμετρίας. Στον πίνακα 5.7 καταγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των στιγμιότυπων.

### 5.2.2 Πεδίο B

Εννέα από τους είκοσι περιορισμούς του RobinXML εμφανίζονται στο διαγωνισμό ITC 2021 ακολουθεί αναλυτική περιγραφή τους.

#### Βασικοί περιορισμοί

Δεν υπάρχουν βασικοί περιορισμοί οπότε θεωρείται δεδομένο ότι κάθε ομάδα παίζει σε κάθε αγωνιστική και ότι όλες οι ομάδες πρέπει να παίξουν με όλες τις ομάδες.

Πίνακας 5.7: Βασικά χαρακτηριστικά στιγμιότυπων ITC 2021

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>Ομάδες</b>	<b>Αγωνιστικές</b>	<b>Κανονισμός Φάσης</b>
<b>Early-1</b>	16	30	Ναι
<b>Early-2</b>	16	30	Ναι
<b>Early-3</b>	16	30	Ναι
<b>Early-4</b>	18	34	Ναι
<b>Early-5</b>	18	34	Ναι
<b>Early-6</b>	18	34	Ναι
<b>Early-7</b>	18	34	Όχι
<b>Early-8</b>	18	34	Όχι
<b>Early-9</b>	18	34	Όχι
<b>Early-10</b>	20	38	Ναι
<b>Early-11</b>	20	38	Όχι
<b>Early-12</b>	20	38	Ναι
<b>Early-13</b>	20	38	Όχι
<b>Early-14</b>	20	38	Όχι
<b>Early-15</b>	20	38	Όχι
<b>Middle-1</b>	16	30	Ναι
<b>Middle-2</b>	16	30	Ναι
<b>Middle-3</b>	16	30	Όχι
<b>Middle-4</b>	18	34	Ναι
<b>Middle-5</b>	18	34	Ναι
<b>Middle-6</b>	18	34	Ναι
<b>Middle-7</b>	18	34	Όχι
<b>Middle-8</b>	18	34	Όχι
<b>Middle-9</b>	18	34	Όχι
<b>Middle-10</b>	20	38	Ναι
<b>Middle-11</b>	20	38	Ναι
<b>Middle-12</b>	20	38	Ναι
<b>Middle-13</b>	20	38	Ναι
<b>Middle-14</b>	20	38	Όχι
<b>Middle-15</b>	20	38	Όχι
<b>Late-1</b>	16	30	Όχι
<b>Late-2</b>	16	30	Όχι
<b>Late-3</b>	16	30	Όχι
<b>Late-4</b>	18	34	Ναι
<b>Late-5</b>	18	34	Ναι
<b>Late-6</b>	18	34	Ναι
<b>Late-7</b>	18	34	Όχι
<b>Late-8</b>	18	34	Ναι
<b>Late-9</b>	18	34	Όχι
<b>Late-10</b>	20	38	Ναι
<b>Late-11</b>	20	38	Ναι
<b>Late-12</b>	20	38	Όχι
<b>Late-13</b>	20	38	Όχι
<b>Late-14</b>	20	38	Όχι
<b>Late-15</b>	20	38	Όχι

## Περιορισμοί χωρητικότητας

Στον πίνακα 5.8 καταγράφονται οι περιορισμοί χωρητικότητας για τα στιγμιότυπα του ITC 2021.

### CA1

Οι περιορισμοί CA1 έχουν την μορφή:

```
CA1 <CA1 teams="0" max="0" mode="H" slots="0" type="HARD"/>
```

Εξ' ορισμού για το ITC 2021 στο πεδίο teams θα είναι πάντα μία ομάδα. Η ομάδα στο πεδίο teams δημιουργεί απόκλιση ίση με το άθροισμα των αγώνων της εντός έδρας (mode="H") ή εκτός έδρας (mode="A") μεγαλύτερο του max στις αγωνιστικές του πεδίου slots.

### CA2

Οι περιορισμοί CA2 έχουν την μορφή:

```
<CA2 teams1="0" min="0" max="1" mode1="HA" mode2="GLOBAL" teams2="1;2" slots="0;1;2" type="SOFT"/>
```

Εξ' ορισμού για το ITC 2021 στο πεδίο teams1 θα είναι πάντα μία ομάδα. Η ομάδα στο πεδίο teams1 δημιουργεί απόκλιση ίση με το άθροισμα των αγώνων της εντός έδρας (mode="H"), εκτός έδρας (mode="A") ή αδιαφόρου έδρας (mode="HA") μεγαλύτερο του max στις αγωνιστικές του πεδίου slots ενάντια σε ομάδες του πεδίου teams2.

### CA3

Οι περιορισμοί CA3 έχουν την μορφή:

```
<CA3 teams1="0" max="2" mode1="HA" teams2="1;2;3" intp="3" mode2="SLOTS" type="SOFT"/>
```

Κάθε ομάδα στο πεδίο teams1 δημιουργεί απόκλιση ίση με το άθροισμα των αγώνων της εντός έδρας (mode="H"), εκτός έδρας (mode="A") ή αδιαφόρου έδρας (mode="HA") μεγαλύτερο του max σε όλες τις ακολουθίες αγωνιστικών μεγέθους του πεδίου intp ενάντια σε ομάδες του πεδίου teams2.

### CA4

Οι περιορισμοί CA4 έχουν την μορφή:

```
<CA4 teams1="0;1" max="3" mode1="H" teams2="2,3" mode2="GLOBAL" slots="0;1" type="HARD"/>
```

Οι ομάδες στο πεδίο teams1 δημιουργούν απόκλιση ίση με το άθροισμα των αγώνων τους εντός έδρας (mode="H"), εκτός έδρας (mode="A") ή αδιαφόρου έδρας (mode="HA") μεγαλύτερο του max σε όλες τις αγωνιστικές (mode2="GLOBAL") ή για κάθε αγωνιστική ξεχωριστά (mode2="EVERY") ενάντια σε ομάδες του πεδίου teams2.

Πίνακας 5.8: Αριθμός περιορισμών χωρητικότητας στο ITC 2021, X για χαλαρούς περιορισμούς και A για αυστηρούς περιορισμούς.

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>CA1 X</b>	<b>CA1 A</b>	<b>CA2 X</b>	<b>CA2 A</b>	<b>CA3 X</b>	<b>CA3 A</b>	<b>CA4 X</b>	<b>CA4 A</b>
<b>Early-1</b>	17	25	0	10	0	0	84	0
<b>Early-2</b>	30	38	0	0	82	2	0	0
<b>Early-3</b>	0	24	21	72	112	0	0	0
<b>Early-4</b>	32	0	235	0	0	0	0	55
<b>Early-5</b>	27	41	331	36	111	2	117	81
<b>Early-6</b>	31	38	591	71	54	2	115	881
<b>Early-7</b>	31	42	620	30	112	1	340	84
<b>Early-8</b>	0	19	57	8	112	0	339	0
<b>Early-9</b>	0	39	0	14	88	0	0	0
<b>Early-10</b>	32	42	620	72	23	2	339	85
<b>Early-11</b>	32	42	620	72	112	2	340	85
<b>Early-12</b>	0	37	0	72	20	2	0	31
<b>Early-13</b>	31	41	257	27	110	1	0	0
<b>Early-14</b>	30	5	0	0	0	0	0	0
<b>Early-15</b>	0	42	620	72	112	2	340	71
<b>Middle-1</b>	32	0	620	14	0	0	340	85
<b>Middle-2</b>	32	42	620	72	112	2	340	85
<b>Middle-3</b>	0	42	617	72	107	2	338	85
<b>Middle-4</b>	18	31	0	17	0	1	41	0
<b>Middle-5</b>	24	41	33	40	12	0	0	0
<b>Middle-6</b>	0	39	0	41	111	2	27	30
<b>Middle-7</b>	30	0	355	0	0	1	51	78
<b>Middle-8</b>	0	16	27	0	108	2	34	0
<b>Middle-9</b>	0	42	37	0	100	1	39	19
<b>Middle-10</b>	15	41	363	71	0	0	262	46
<b>Middle-11</b>	0	7	612	71	88	2	340	84
<b>Middle-12</b>	32	0	168	28	13	1	0	0
<b>Middle-13</b>	29	42	242	72	0	1	76	85
<b>Middle-14</b>	18	5	319	11	112	2	338	0
<b>Middle-15</b>	0	12	0	23	77	0	0	0
<b>Late-1</b>	32	42	198	72	13	1	283	82
<b>Late-2</b>	0	42	620	72	112	2	340	85
<b>Late-3</b>	0	42	326	72	43	1	60	0
<b>Late-4</b>	32	0	0	0	0	0	0	18
<b>Late-5</b>	19	0	614	69	0	2	109	81
<b>Late-6</b>	32	0	125	0	0	0	0	85
<b>Late-7</b>	32	42	601	40	61	1	0	0
<b>Late-8</b>	15	37	14	0	111	0	0	0
<b>Late-9</b>	0	40	250	20	112	2	0	0
<b>Late-10</b>	31	0	447	67	0	2	205	85
<b>Late-11</b>	0	6	274	16	88	0	0	0
<b>Late-12</b>	32	40	620	72	16	2	340	85
<b>Late-13</b>	32	14	15	72	0	2	71	81
<b>Late-14</b>	0	42	390	72	112	2	340	0
<b>Late-15</b>	0	5	0	0	15	0	0	0

### **Περιορισμοί αγώνων**

Στον πίνακα 5.9 καταγράφονται οι περιορισμοί αγώνων για τα στιγμιότυπα του ITC 2021.

#### **GA1**

Οι περιορισμοί GA1 έχουν την μορφή :

<GA1 min="0" max="0" meetings="0,1;1,2;" slots="3" type="HARD"/> Το άθροισμα των αγώνων στο πεδίο meetings εντός των αγωνιστικών του πεδίου slots δημιουργεί απόκλιση ίση με την διαφορά του κάτω από το min ή πάνω από το max.

### **Περιορισμοί θραύσεων**

Στον πίνακα 5.10 καταγράφονται οι περιορισμοί αγώνων για τα στιγμιότυπα του ITC 2021.

#### **BR1**

Οι περιορισμοί BR1 έχουν την μορφή :

<BR1 teams="0" intp="0" mode2="HA" slots="1" type="HARD"/>

Εξ' ορισμού για το ITC 2021 στο πεδίο teams θα είναι πάντα μία ομάδα. Η ομάδα στο πεδίο teams δημιουργεί απόκλιση ίση με το άθροισμα των θραύσεων της εντός έδρας (mode="H") ή εκτός έδρας (mode="A") ή αδιαφόρου έδρας (mode="HA") μεγαλύτερο του intp στις αγωνιστικές του πεδίου slots.

#### **BR2**

Οι περιορισμοί BR2 έχουν την μορφή :

<BR2 homeMode="HA" teams="0;1" mode2="LEQ" intp="2" slots="0;1;2;3" type="HARD"/>

Η απόκλιση δημιουργείται από το άθροισμα των θραύσεων αδιαφόρου έδρας (για το ITC 2021 το πεδίο homeMode είναι πάντα "HA") των ομάδων στο πεδίο teams στις αγωνιστικές του πεδίου slots μεγαλύτερο του intp.

Πίνακας 5.9: Αριθμός περιορισμών αγώνων στο ITC 2021, X για χαλαρούς περιορισμούς και A για αυστηρούς περιορισμούς.

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>GA1 X</b>	<b>GA1 A</b>
<b>Early-1</b>	10	12
<b>Early-2</b>	1	0
<b>Early-3</b>	51	34
<b>Early-4</b>	0	34
<b>Early-5</b>	0	23
<b>Early-6</b>	3	0
<b>Early-7</b>	55	5
<b>Early-8</b>	73	4
<b>Early-9</b>	2	14
<b>Early-10</b>	0	0
<b>Early-11</b>	3	0
<b>Early-12</b>	1	17
<b>Early-13</b>	24	10
<b>Early-14</b>	0	34
<b>Early-15</b>	126	0
<b>Middle-1</b>	0	0
<b>Middle-2</b>	126	0
<b>Middle-3</b>	126	0
<b>Middle-4</b>	85	25
<b>Middle-5</b>	126	26
<b>Middle-6</b>	1	6
<b>Middle-7</b>	17	34
<b>Middle-8</b>	41	12
<b>Middle-9</b>	0	4
<b>Middle-10</b>	74	0
<b>Middle-11</b>	7	0
<b>Middle-12</b>	4	5
<b>Middle-13</b>	2	7
<b>Middle-14</b>	19	6
<b>Middle-15</b>	44	23
<b>Late-1</b>	15	0
<b>Late-2</b>	5	0
<b>Late-3</b>	7	0
<b>Late-4</b>	1	34
<b>Late-5</b>	4	23
<b>Late-6</b>	0	34
<b>Late-7</b>	43	5
<b>Late-8</b>	29	32
<b>Late-9</b>	18	0
<b>Late-10</b>	10	34
<b>Late-11</b>	3	17
<b>Late-12</b>	0	0
<b>Late-13</b>	13	0
<b>Late-14</b>	126	0
<b>Late-15</b>	0	34

Πίνακας 5.10: Αριθμός περιορισμών θραύσεων στο ITC 2021, X για χαλαρούς περιορισμούς και A για αυστηρούς περιορισμούς.

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>BR1</b>	<b>BR1</b>	<b>BR2</b>	<b>BR2</b>
	<b>X</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>A</b>
<b>Early-1</b>	0	35	0	1
<b>Early-2</b>	0	12	0	1
<b>Early-3</b>	0	18	1	0
<b>Early-4</b>	0	44	0	1
<b>Early-5</b>	0	23	0	1
<b>Early-6</b>	0	0	1	0
<b>Early-7</b>	0	12	0	1
<b>Early-8</b>	0	39	0	0
<b>Early-9</b>	10	23	1	0
<b>Early-10</b>	0	44	0	1
<b>Early-11</b>	0	44	0	1
<b>Early-12</b>	13	20	1	0
<b>Early-13</b>	10	20	0	1
<b>Early-14</b>	24	17	1	0
<b>Early-15</b>	24	0	1	0
<b>Middle-1</b>	0	44	0	1
<b>Middle-2</b>	0	44	0	1
<b>Middle-3</b>	21	36	1	0
<b>Middle-4</b>	24	23	0	0
<b>Middle-5</b>	0	44	1	0
<b>Middle-6</b>	13	44	1	0
<b>Middle-7</b>	21	28	1	0
<b>Middle-8</b>	14	32	0	0
<b>Middle-9</b>	23	28	1	0
<b>Middle-10</b>	0	39	0	1
<b>Middle-11</b>	0	12	0	0
<b>Middle-12</b>	21	29	1	0
<b>Middle-13</b>	0	12	0	0
<b>Middle-14</b>	10	38	0	1
<b>Middle-15</b>	10	37	1	0
<b>Late-1</b>	0	38	0	0
<b>Late-2</b>	0	44	0	1
<b>Late-3</b>	0	12	1	0
<b>Late-4</b>	0	44	0	0
<b>Late-5</b>	0	0	0	1
<b>Late-6</b>	0	44	1	0
<b>Late-7</b>	0	37	0	1
<b>Late-8</b>	24	41	1	0
<b>Late-9</b>	20	40	1	0
<b>Late-10</b>	0	44	0	1
<b>Late-11</b>	0	12	0	1
<b>Late-12</b>	0	44	0	1
<b>Late-13</b>	0	0	1	0
<b>Late-14</b>	24	0	0	0
<b>Late-15</b>	24	12	1	0



## Περιορισμοί δικαιοσύνης

Στον πίνακα 5.11 καταγράφονται οι περιορισμοί δικαιοσύνης για τα στιγμιότυπα του ITC 2021. Όλοι οι περιορισμοί δικαιοσύνης στο ITC 2021 είναι χαλαροί.

### FA2

Οι περιορισμοί FA2 έχουν την μορφή :

```
<FA2 teams="0;1;2" mode="H" intp="1" slots="0;1;2;3" type="HARD"/>
```

Κάθε ζεύγος ομάδων του πεδίου teams δημιουργεί απόκλιση ίση με την μεγαλύτερη διαφορά του αθροίσματος των εντός έδρας αγώνων τους (εξ' ορισμού στο ITC 2021 το πεδίο mode είναι πάντα H) σε όλες τις αγωνιστικές του πεδίου slots.

Πίνακας 5.11: Αριθμός περιορισμών δικαιοσύνης στο ITC 2021, όλοι οι περιορισμοί δικαιοσύνης είναι χαλαροί.

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>FA2</b>
<b>Early-1</b>	1
<b>Early-2</b>	1
<b>Early-3</b>	1
<b>Early-6</b>	1
<b>Early-8</b>	1
<b>Early-9</b>	1
<b>Early-14</b>	1
<b>Early-15</b>	1
<b>Middle-3</b>	1
<b>Middle-5</b>	1
<b>Middle-9</b>	1
<b>Middle-11</b>	1
<b>Middle-12</b>	1
<b>Middle-14</b>	1
<b>Late-1</b>	1
<b>Late-3</b>	1
<b>Late-5</b>	1
<b>Late-9</b>	1
<b>Late-11</b>	1
<b>Late-13</b>	1
<b>Late-14</b>	1
<b>Late-15</b>	1

## Περιορισμοί διαχωρισμού

Στον πίνακα 5.12 καταγράφονται οι περιορισμοί διαχωρισμού για τα στιγμιότυπα του ITC 2021. Όλοι οι περιορισμοί δικαιοσύνης στο ITC 2021 είναι χαλαροί.

### SE1

Οι περιορισμοί SE1 έχουν την μορφή:

```
<SE1 teams="0;1" min="5" model="SLOTS" type="HARD"/>
```

Δημιουργείται απόκλιση ίση με την διαφορά των αγώνων (σε αγωνιστικές) των ομάδων του πεδίου teams μικρότερη του min.

Πίνακας 5.12: Αριθμός περιορισμών διαχωρισμού στο ITC 2021, όλοι οι περιορισμοί διαχωρισμού είναι χαλαροί.

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>SE1</b>
<b>Early-1</b>	1
<b>Early-4</b>	1
<b>Early-5</b>	1
<b>Early-6</b>	1
<b>Early-7</b>	1
<b>Early-10</b>	1
<b>Early-11</b>	1
<b>Middle-1</b>	1
<b>Middle-2</b>	1
<b>Middle-3</b>	1
<b>Middle-6</b>	1
<b>Middle-7</b>	1
<b>Middle-12</b>	1
<b>Middle-13</b>	1
<b>Middle-15</b>	1
<b>Late-3</b>	1
<b>Late-4</b>	1
<b>Late-6</b>	1
<b>Late-7</b>	1
<b>Late-8</b>	1
<b>Late-10</b>	1
<b>Late-12</b>	1
<b>Late-13</b>	1

### 5.2.3 Πεδίο Γ

Όλες τα στιγμιότυπα έχουν ως αντικειμενική συνάρτηση την **SC**. Κατασκευή πρωταθλήματος με ελαχιστοποίηση της απόκλισης των χαλαρών περιορισμών. Η συνολική ποινή του πρωταθλήματος είναι το άθροισμα των αποκλίσεων όλων των χαλαρών περιορισμών. Εάν έχει παραβιαστεί έστω και ένας αυστηρός περιορισμός η λύση θεωρείται μη έγκυρη.

### Σύνοψη

Το RobinXML είναι εκτενές για να μπορεί να περιγράψει διαφόρων τύπων πρωταθλήματα και περιορισμών. Αν και το ITC 2021 δεν απαιτεί την πλήρη υλοποίηση του είναι από μόνο του εκτενές λόγω του πλήθους των περιορισμών. Η πολυπλοκότητα στον χρονοπρογραμματισμό πρωταθλημάτων μας οδηγεί στους constraint programming επιλυτές. Στο επόμενο κεφάλαιο υπάρχει η υλοποίηση των περιορισμών.

## Κεφάλαιο 6

# Επίλυση με Simulated Annealing και Constraint Programming

### 6.1 Simulated Annealing

Η προσομοιωμένη απόπτωση ανήκει στους αλγορίθμους τοπικής (ή καθολικής) αναζήτησης και λαμβάνει το όνομα της από την αντίστοιχη διαδικασία στην μεταλλουργία. Στην προσομοιωμένη απόπτωση η διαδικασία διαιρείται (συνήθως βάσει χρόνου) σε θερμικές περιόδους. Ενώ στις αρχικές περιόδους είναι δυνατόν το σύστημα να αποδεχθεί χειρότερη λύση από την υπάρχουσα, στις τελικές περιόδους το σύστημα αποδέχεται μόνο καλύτερες λύσεις από τις υπάρχουσες. Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει στον αλγόριθμο να ξεφύγει από τοπικά βέλτιστα στην αναζήτηση του ολικού βέλτιστου και καθιστά την προσομοιωμένη απόπτωση ιδιαίτερα χρήσιμη σε χώρους αναζήτησης με πολλά τοπικά βέλτιστα.

Δοκιμάστηκαν διάφορα πειράματα σε `python` και `go` και δύο επιλυτές CP. Το επικρατέστερο σενάριο λειτουργούσε ως εξής: Η αρχική λύση δημιουργούταν μέσω CP, η διαδικασία της προσομοιωμένη απόπτωσης επέλεγε κάθε φορά κάποιον από τους τελευταίους γεινιάσεις και ακολούθησε η διαδικασία επιλογής. Όταν καμία νέα λύση δεν είχε γίνει αποδεκτή μερικές φορές επιχειρούταν βελτίωση ή επιδιόρθωση της λύσης μέσω CP επιλυτή.

---

**Algorithm 1** Simulated Annealing

---

```
unchanged  $\leftarrow$  0
currentSolution  $\leftarrow$  CPnewSolution()
currentPeriod  $\leftarrow$  1
periodTime  $\leftarrow$  availableTime/totalPeriods
endPeriodTime  $\leftarrow$  timeNow() + periodTime
while currentPeriod < totalPeriods do
  newSolution  $\leftarrow$  randomNeighborhoodOperator(currentSolution)
  if currentSolution  $\geq$  newSolution * currentPeriod/totalPeriods then
    currentPeriod  $\leftarrow$  newSolution
  else
    unchanged  $\leftarrow$  unchanged + 1
  end if
  if unchanged  $\geq$  maxUnchanged then
    unchanged  $\leftarrow$  0
    currentSolution  $\leftarrow$  CPOptimizer(currentSolution)
  end if
  if timeNow()  $\geq$  endPeriodTime then
    endPeriodTime  $\leftarrow$  timeNow() + periodTime
    currentPeriod  $\leftarrow$  currentPeriod + 1
  end if
end while
```

---

## 6.2 Constraint Programming

### 6.2.1 Πεδίο A

Από το πεδίο A πηγάζουν οι μεταβλητές απόφασης και οι πολλοί βασικοί κανόνες του πρωταθλήματος.

#### Τύπος πρωταθλήματος

Ο τύπος του πρωταθλήματος είναι πάντα πρωτάθλημα δύο γύρων όπου όλες οι ομάδες αγωνίζονται με όλες τις άλλες ομάδες. Οι μεταβλητές απόφασης είναι δυαδικές και προσθέσαμε επιπλέον μεταβλητές για να παρακολουθούμε την έδρα που διεξάγεται κάθε αγώνας. Για το σύνολο των ομάδων  $\mathbb{T}$  και το σύνολο των αγωνιστικών  $\mathbb{S}$ , με  $S$  τον αριθμό των διαθέσιμων αγωνιστικών και  $T$  τον αριθμό των ομάδων:

$$x_{i,j,s} = \begin{cases} 1, & \text{Εάν η ομάδα } i \text{ αγωνίζεται εντός έδρας με την ομάδα } j \text{ στην αγωνιστική } s. \\ 0, & \text{Εάν η ομάδα } i \text{ δεν αγωνίζεται εντός έδρας με την ομάδα } j \text{ στην αγωνιστική } s. \end{cases} \quad \forall i, j \in \mathbb{T}, i \neq j, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.1)$$

Επιβάλλουμε κάθε ομάδα να αγωνιστεί με κάθε άλλη ομάδα μία φορά εντός έδρας:

$$\sum_{s=1}^S x_{i,j,s} = 1 \quad \forall i, j \in \mathbb{T}, i \neq j \quad (6.2)$$

Για να παρακολουθούμε την έδρα ορίζουμε:

$$y_{i,s} = \begin{cases} 1, & \text{Εάν η ομάδα } i \text{ αγωνίζεται εντός έδρας στην αγωνιστική } s. \\ 0, & \text{Εάν η ομάδα } i \text{ αγωνίζεται εκτός έδρας στην αγωνιστική } s. \end{cases} \quad \forall i \in \mathbb{T}, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.3)$$

$$y_{i,s} = \sum_j^T x_{i,j,s} \quad \forall i \in \mathbb{T}, i \neq j, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.4)$$

Για να παρακολουθούμε τις θραύσεις των ομάδων ορίζουμε:

$$z_{i,s} = \begin{cases} 1, & \text{Εάν η ομάδα } i \text{ έχει διάλειμμα στην αγωνιστική } s. \\ 0, & \text{Εάν η ομάδα } i \text{ δεν έχει διάλειμμα στην αγωνιστική } s \text{ ή } s=1. \end{cases} \quad \forall i \in \mathbb{T}, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.5)$$

$$z_{i,s} = \begin{cases} y_{i,s} \odot y_{i,s-1}, & s > 1 \\ 0, & s \leq 1 \end{cases} \quad \forall i \in \mathbb{T}, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.6)$$

## Συμπαγές

Όλα τα πρωταθλήματα του ITC 2021 είναι συμπαγή. Επειδή ο αριθμός των διαγωνιζόμενων ομάδων είναι ζυγός σε κάθε αγωνιστική όλες οι ομάδες θα έχουν έναν αγώνα. Για να το εξασφαλίσουμε επιβάλλουμε:

$$\sum_{j=1}^T x_{i,j,s} + x_{j,i,s} = 1 \forall i \in \mathbb{T}, i \neq j, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.7)$$

## Ιδιότητες συμμετρίας

Δεν υπάρχουν ιδιότητες συμμετρίας στο ITC 2021. Κάποια πρωταθλήματα όμως έχουν κανονισμό φάσης όπου κάθε αγώνας με τον επαναληπτικό του είναι σε διαφορετική φάση (γύρο). Για αυτά τα πρωταθλήματα ορίζουμε:

$$\sum_s^{S/2} x_{i,j,s} + x_{j,i,s} = 1 \forall i, j \in \mathbb{T}, i < j, \forall s \in \mathbb{S} \quad (6.8)$$

## 6.2.2 Πεδίο B

### Βασικοί περιορισμοί

Δεν υπάρχουν βασικοί περιορισμοί στις περιστάσεις, οπότε καλύπτονται από τους κανόνες του πεδίου A.

### Περιορισμοί χωρητικότητας

#### CA1

Κάθε περιορισμός CA1 με πεδίο teams την ομάδα  $t_c$ ,  $\mathbb{S}_c$  οι αγωνιστικές του πεδίου slots και  $max_c$  το πεδίο max δημιουργεί απόκλιση  $d_c$ . Την ορίζουμε ως:

Για πεδίο mode="H":

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} y_{t_c,s} - max_c \quad (6.9)$$

Για πεδίο mode="A" με  $S_c$  το μέγεθος του  $\mathbb{S}_c$ :

$$d_c = S_c - \sum_{s \in \mathbb{S}_c} y_{t_c,s} - max_c \quad (6.10)$$

#### CA2

Κάθε περιορισμός CA2 με πεδίο teams1 την ομάδα  $t_1$ ,  $\mathbb{S}_c$  οι αγωνιστικές του πεδίου slots,  $\mathbb{T}_c$  οι ομάδες του πεδίου teams2,  $max_c$  το πεδίο max και  $p_c$  το πεδίο penalty δημιουργεί απόκλιση  $d_c$ . Την ορίζουμε ως:

Για πεδίο mode="H":

$$d_c = \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_c} \sum_{s \in \mathbb{S}_c} x_{t_1,t_2,s} - max_c \quad (6.11)$$

Για πεδίο mode="A":

$$d_c = \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_c} \sum_{s \in \mathbb{S}_c} x_{t_2,t_1,s} - max_c \quad (6.12)$$

Για πεδίο mode="HA":

$$d_c = \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_c} \sum_{s \in \mathbb{S}_c} x_{t_1, t_2, s} + x_{t_2, t_1, s} - \max_c \quad (6.13)$$

### CA3

Κάθε περιορισμός CA3 με  $\mathbb{T}_{c1}$  οι ομάδες του πεδίου teams1 την ομάδα  $t_1$ ,  $\mathbb{S}_c$  οι αγωνιστικές του πεδίου slots,  $\mathbb{T}_{c2}$  οι ομάδες του πεδίου teams2 και  $\max_c$  το πεδίο max δημιουργεί αποκλίσεις  $d_c$  για κάθε ομάδα του  $\mathbb{T}_{c1}$  και για όλες τις αλληλουχίες του  $\mathbb{S}_c$  μεγέθους inpr του αντίστοιχου πεδίου. Τις ορίζουμε ως:

Για πεδίο mode="H":

$$d_c = \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} \sum_s^{s+inpr} x_{t_1, t_2, s} - \max_c \forall t_1 \in \mathbb{T}_{c1}, t_1 \neq t_2, \forall s \in \mathbb{S}_c, 0 < s \leq S_c \quad (6.14)$$

Για πεδίο mode="A":

$$d_c = \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} \sum_s^{s+inpr} x_{t_1, t_2, s} - \max_c \forall t_1 \in \mathbb{T}_{c1}, t_1 \neq t_2, \forall s \in \mathbb{S}_c, 0 < s \leq S_c \quad (6.15)$$

Ειδική περίπτωση: Σε όλες τις περιπτώσεις του ITC 2021 οι περιορισμοί τύπου CA3 όταν είναι αυστηροί είναι το μέγιστο δύο σε αριθμό (ένας για τύπου mode="H" και ένας για τύπου mode="A") και περιλαμβάνουν όλες τις ομάδες και όλες τις αγωνιστικές, το inpr είναι σταθερό τρία και το max επίσης είναι σταθερά 2. Όταν υπάρχουν και οι δύο περιορισμοί δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν οι ακολουθίες HHH και AAA, δεν μπορεί άρα κάποια ομάδα να έχει δύο συνεχόμενες θραύσεις, οπότε μπορούμε να επιβάλλουμε:

$$z_{i,s} + z_{i,s-1} \leq 1 \forall i \in \mathbb{T}, \forall s \in \mathbb{S}, s > 2 \quad (6.16)$$

### CA4

Οι περιορισμοί CA4 έρχονται σε δύο μορφές αναλόγως το πεδίο mode2).

#### CA4 με mode2="GLOBAL"

Το άθροισμα των αγώνων των ομάδων  $\mathbb{T}_{c1}$  του πεδίου teams1 με αυτές  $\mathbb{T}_{c2}$  του πεδίου teams2, εντός έδρας (mode1="H"), εκτός έδρας (mode1="A") ή αδιαφόρου έδρας (mode1="HA") πάνω από το  $\max_c$  του πεδίου max σε όλες τις αγωνιστικές  $\mathbb{S}_c$  του πεδίου slots δημιουργεί απόκλιση  $d_c$ :

Για πεδίο mode1="H":

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} \sum_{t_1 \in \mathbb{T}_{c1}} \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} x_{t_1, t_2, s} - \max_c t_1 \neq t_2 \quad (6.17)$$

Για πεδίο mode1="A":

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} \sum_{t_1 \in \mathbb{T}_{c1}} \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} x_{t_2, t_1, s} - \max_c t_1 \neq t_2 \quad (6.18)$$

Για πεδίο mode1="HA":

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} \sum_{t_1 \in \mathbb{T}_{c1}} \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} x_{t_1, t_2, s} + x_{t_2, t_1, s} - \max_c t_1 \neq t_2 \quad (6.19)$$



#### CA4 με mode2="EVERY"

Σε κάθε αγωνιστική  $\mathbb{S}_c$  του πεδίου slots το άθροισμα των αγώνων των ομάδων  $\mathbb{T}_{c1}$  του πεδίου teams1 με αυτές  $\mathbb{T}_{c2}$  του πεδίου teams2, εντός έδρας (mode1="H"), εκτός έδρας (mode1="A") ή αδιαφόρου έδρας (mode1="HA") πάνω από το  $max_c$  του πεδίου  $max$  δημιουργεί απόκλιση  $d_c$ :

Για πεδίο mode1="H":

$$d_c = \sum_{t_1 \in \mathbb{T}_{c1}} \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} x_{t_1, t_2, s} - max_c t_1 \neq t_2 \forall s \in \mathbb{S}_c \quad (6.20)$$

Για πεδίο mode1="A":

$$d_c = \sum_{t_1 \in \mathbb{T}_{c1}} \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} x_{t_2, t_1, s} - max_c t_1 \neq t_2 \forall s \in \mathbb{S}_c \quad (6.21)$$

Για πεδίο mode1="HA":

$$d_c = \sum_{t_1 \in \mathbb{T}_{c1}} \sum_{t_2 \in \mathbb{T}_{c2}} x_{t_1, t_2, s} + x_{t_2, t_1, s} - max_c t_1 \neq t_2 \forall s \in \mathbb{S}_c \quad (6.22)$$

#### Περιορισμοί αγώνων

##### GA1

Το άθροισμα των αγώνων  $\mathbb{M}_c$  στο πεδίο meetings εντός των αγωνιστικών  $\mathbb{S}_c$  του πεδίου slots δημιουργεί απόκλιση ίση με την διαφορά του κάτω από το min ή πάνω από το max.

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} \sum_{t_1, t_2 \in \mathbb{T}_c} x_{t_1, t_2, s} - max_c \quad (6.23)$$

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} \sum_{t_1, t_2 \in \mathbb{T}_c} x_{t_1, t_2, s} + min_c \quad (6.24)$$

#### Περιορισμοί θραύσεων

Ειδική περίπτωση: όλοι οι περιορισμοί θραύσεων στις περιστάσεις του ITC 2021 είναι τύπου HA δεν λαμβάνουν υπ' όψιν δηλαδή αν το διάλειμμα είναι εντός ή εκτός. Χρειαζόμαστε μόνο μία μεταβλητή απόφασης  $z$  αφού δεν κάνουμε διαχωρισμό σε εντός ή εκτός έδρας θραύσεις.

##### BR1

Κάθε περιορισμός BR1 με πεδίο teams την ομάδα  $t_c$ ,  $\mathbb{S}_c$  οι αγωνιστικές του πεδίου slots και  $max_c$  το πεδίο  $max$  δημιουργεί απόκλιση  $d_c$ . Την ορίζουμε ως:

$$d_c = \sum_{s \in \mathbb{S}_c} z_{t_c, s} - max_c \quad (6.25)$$

##### BR2

Ειδική περίπτωση: όταν στις περιστάσεις του ITC 2021 υπάρχει περιορισμός τύπου BR2 αφορά όλες τις ομάδες και όλες τις αγωνιστικές. Κάθε περιορισμός BR2 δημιουργεί

απόκλιση  $d_c$  ίση με τη διαφορά του άθροισματος όλων των θραύσεων όλων των ομάδων σε όλες τις αγωνιστικές πάνω από το  $max_c$  του πεδίου  $max$ . Την ορίζουμε ως:

$$d_c = \sum_{t \in \mathbb{T}} \sum_{s \in \mathbb{S}} z_{t,s} - max_c \quad (6.26)$$

### Περιορισμοί δικαιοσύνης

#### FA2

Ιδιαίτερη περίπτωση: στο ITC 2021 σε όλες τις περιστάσεις που περιέχουν περιορισμό τύπου FA2 ο περιορισμός περιέχει όλες τις ομάδες και όλες τις αγωνιστικές. Κάθε ζεύγος ομάδων δημιουργεί απόκλιση ίση με την μεγαλύτερη διαφορά του αθροίσματος των εντός έδρας παιχνιδιών τους μέχρι κάθε αγωνιστική του πρωταθλήματος μεγαλύτερη από το  $intp$ . Οπότε ο περιορισμός για κάθε ζεύγος ομάδων μπορεί να εκφραστεί ως:

$$d_c = \max_{s \in \mathbb{S}} \left( \left| \sum_{m=1}^s y_{i,m} - \sum_{m=1}^s y_{j,m} \right| - intp; 0 \right) \forall i, j \in \mathbb{T}, i < j \quad (6.27)$$

### Περιορισμοί διαχωρισμού

#### SE1

Για τους περιορισμούς SE1 χρειάζεται να παρακολουθούμε την απόσταση (σε αγωνιστικές) που έχουν ο αγώνας και ο επαναληπτικός των ομάδων  $\mathbb{T}_c$  του πεδίου  $teams$ . Για κάθε συνδιασμό ομάδων δημιουργείται απόκλιση  $d_c$ :

$$d_c = \sum_{s_1 \in \mathbb{S}_c} \sum_{s_2 \in \mathbb{S}_c} |s_1 - s_2| * x_{t_1, t_2, s_1} * x_{t_2, t_1, s_2} - min_c \forall t_1, t_2 \in \mathbb{T}_c, t_1 \neq t_2 \quad (6.28)$$

### 6.2.3 Πεδίο Γ

Σε όλες τις περιστάσεις ο σκοπός της αντικειμενικής συνάρτησης είναι το άθροισμα όλων των αποκλίσεων επί της αντίστοιχης ποινής για κάθε περιορισμό (πεδίο penalty):

$$\min d_c = \sum_{c \in \mathbb{C}} d_c * p_c \quad (6.29)$$

## Κεφάλαιο 7

### Πειράματα και αποτελέσματα

Ο συνδυασμός μεταευριστικών και constraint programming κατάφερε να βρεί λύσεις για 37 από τις 45 περιστάσεις του ITC 2021. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο η νικήτρια ομάδα κατάφερε να βρεί λύσεις για όλες τις περιστάσεις. Στον πίνακα 7.2 υπάρχουν τα στατιστικά για όλες τις περιστάσεις με το κόστος της αντικειμενικής συνάρτησης για τα λυμένα προβλήματα καθώς και τους αυστηρούς περιορισμούς που δεν κατάφεραν να ικανοποιηθούν.

Τα προβλήματα έχουν πολλούς αυστηρούς περιορισμούς και η ομάδα που τα σχεδίασε τα δοκίμασε, ώστε να δυσκολεύουν τους επιλυτές. Χρησιμοποιήθηκε ο επιλυτής CP της IBM στην ακαδημαϊκή του έκδοση καθώς και ο επιλυτής cpSAT του Google OR Tools, που λόγω της ιδιαιτερότητάς του να μετατρέπει το CP μοντέλο σε πρόβλημα SAT, οδήγησε σε καλύτερες λύσεις ή και έλυσε περιστάσεις που ο αντίστοιχος της IBM αδυνατούσε.

Στο ερωτηματολόγιο για τον διαγωνισμό καμία συμμετέχουσα ομάδα δεν απάντησε ότι χρησιμοποίησε μοτίβα έδρας. Ενώ, το συγκεκριμένο μοντέλο αποσύνθεσης, εμφανίζεται συχνά σε έρευνες. Ίσως το μέγεθος των πρωταθλημάτων του διαγωνισμού να αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα γιατί ο αριθμός των πιθανών μοτίβων δεν επιτρέπει της εξερεύνηση τους σε ρεαλιστικό χρόνο.

Χωρίς την χρήση επιλυτών όπως και έγινε η αρχική προσπάθεια δεν ήταν εφικτή η λύση καμίας από τις περιστάσεις. Οι κλασικοί τρόποι δημιουργίας πρωταθλημάτων δημιουργούν γνωστές ομοιομορφίες και η πλήρης διάσχιση του χώρου αναζήτησης είναι αδύνατη. Μία κίνηση που υπάρχει στην βιβλιογραφία [9] με ονομασία μερική αλλαγή αγωνιστικών και ομάδων, δεν εφαρμόστηκε, καθώς την συγκεκριμένη λειτουργία ανέλαβαν οι επιλυτές.

Πίνακας 7.1: Πίνακας αποτελεσμάτων κατά την ημερομηνία υποβολής του ITC 2021

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>Απόκλιση αυστηρών περιορισμών</b>	<b>Απόκλιση χαλαρών περιορισμών</b>	<b>Εγκυρότητα</b>
Early-1	0	629	Έγκυρη
Early-2	0	354	Έγκυρη
Early-3	0	1393	Έγκυρη
Early-4	8	2004	Άκυρη
Early-5	44	4213	Άκυρη
Early-6	0	4341	Έγκυρη
Early-7	0	9644	Έγκυρη
Early-8	0	1684	Έγκυρη
Early-9	0	458	Έγκυρη
Early-10	32	4802	Άκυρη
Early-11	0	8199	Έγκυρη
Early-12	0	1045	Έγκυρη
Early-13	0	380	Έγκυρη
Early-14	0	65	Έγκυρη
Early-15	0	4783	Έγκυρη
Middle-1	17	6494	Άκυρη
Middle-2	48	7533	Άκυρη
Middle-3	0	12274	Έγκυρη
Middle-4	0	7	Έγκυρη
Middle-5	0	782	Έγκυρη
Middle-6	0	1940	Έγκυρη
Middle-7	0	3372	Έγκυρη
Middle-8	0	357	Έγκυρη
Middle-9	0	1040	Έγκυρη
Middle-10	1	2411	Άκυρη
Middle-11	0	3006	Έγκυρη
Middle-12	0	1643	Έγκυρη
Middle-13	0	780	Έγκυρη
Middle-14	0	1664	Έγκυρη
Middle-15	0	1833	Έγκυρη
Late-1	0	2261	Έγκυρη
Late-2	0	5835	Έγκυρη
Late-3	0	3119	Έγκυρη
Late-4	0	0	Έγκυρη
Late-5	42	2493	Άκυρη
Late-6	0	1440	Έγκυρη
Late-7	0	3124	Έγκυρη
Late-8	0	1497	Έγκυρη
Late-9	0	1148	Έγκυρη
Late-10	6	3615	Άκυρη
Late-11	0	611	Έγκυρη
Late-12	0	7433	Έγκυρη
Late-13	0	3702	Έγκυρη
Late-14	0	1749	Έγκυρη
Late-15	0	80	Έγκυρη

Πίνακας 7.2: Πίνακας τελικών αποτελεσμάτων

<b>Στιγμιότυπο</b>	<b>Απόκλιση αυστη- ρών περιορισμών</b>	<b>Απόκλιση χαλαρών περιορισμών</b>	<b>Εγκυρότητα</b>
Early-1	0	512	Έγκυρη
Early-2	0	266	Έγκυρη
Early-3	0	1354	Έγκυρη
Early-4	6	2030	Άκυρη
Early-5	44	4213	Άκυρη
Early-6	0	3957	Έγκυρη
Early-7	0	9644	Έγκυρη
Early-8	0	1614	Έγκυρη
Early-9	0	448	Έγκυρη
Early-10	32	4802	Άκυρη
Early-11	0	8189	Έγκυρη
Early-12	0	1025	Έγκυρη
Early-13	0	380	Έγκυρη
Early-14	0	63	Έγκυρη
Early-15	0	4470	Έγκυρη
Middle-1	17	6494	Άκυρη
Middle-2	48	7533	Άκυρη
Middle-3	0	12170	Έγκυρη
Middle-4	0	7	Έγκυρη
Middle-5	0	732	Έγκυρη
Middle-6	0	1900	Έγκυρη
Middle-7	0	2792	Έγκυρη
Middle-8	0	301	Έγκυρη
Middle-9	0	1015	Έγκυρη
Middle-10	1	2411	Άκυρη
Middle-11	0	2956	Έγκυρη
Middle-12	0	1596	Έγκυρη
Middle-13	0	780	Έγκυρη
Middle-14	0	1619	Έγκυρη
Middle-15	0	1833	Έγκυρη
Late-1	0	2234	Έγκυρη
Late-2	0	5680	Έγκυρη
Late-3	0	3004	Έγκυρη
Late-4	0	0	Έγκυρη
Late-5	39	2567	Άκυρη
Late-6	0	1440	Έγκυρη
Late-7	0	3009	Έγκυρη
Late-8	0	1375	Έγκυρη
Late-9	0	1108	Έγκυρη
Late-10	6	3615	Άκυρη
Late-11	0	511	Έγκυρη
Late-12	0	7218	Έγκυρη
Late-13	0	3576	Έγκυρη
Late-14	0	1650	Έγκυρη
Late-15	0	80	Έγκυρη

## Κεφάλαιο 8

### Συμπεράσματα

Ο διαγωνισμός ITC 2021 είχε ικανοποιητική συμμετοχή. Πιθανόν, η δυσκολία των περιστάσεων και το γεγονός ότι σε πολλές περιστάσεις δεν είναι καθόλου εύκολο να βρεθεί έστω και μία εφικτή λύση, να απέτρεψε ομάδες από το να υποβάλουν αποτελέσματα. Η εμπειρία της συμμετοχής όμως αξίζει για τις γνώσεις που απέκτησα.

Δεν θα ήταν εφικτή η λύση καμίας περίπτωσης χωρίς τους επιλυτές. Αν και τα προβλήματα είναι τεχνητά ακόμη και σε ρεαλιστικά προβλήματα γίνεται κατανοητό πως αρκετοί περιορισμοί θα απαιτήσουν αντίστοιχες τεχνικές.

Προσωπικά, για τις ανάγκες του διαγωνισμού, χάρη στην ομάδα, ήρθα σε επαφή με το χώρο της συνδυαστικής βελτιστοποίησης και του μαθηματικού προγραμματισμού. Δυστυχώς η προαναφερθείσα δυσκολία δεν βοηθά στην χρήση των μεταευριστικών μεθόδων.

Τέλος, η παρούσα εργασία μου προξένησε το ενδιαφέρον, για τις οικονομικές επιπτώσεις του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων. Πριν από την συγκεκριμένη έρευνα δεν είχα αντιληφθεί πόσοι παράγοντες υπάρχουν σε μία διοργάνωση πρωταθλήματος. Η εφαρμογή στα εγχώρια πρωταθλήματα, ειδικά εκεί που στηρίζονται ακόμα στις κλασικές μεθόδους για την δημιουργία του προγράμματος, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο αρκετής μελέτης ακόμη.

# Κεφάλαιο 9

## Μελλοντικές επεκτάσεις

### 9.1 ITC 2021

Ενώ ο διαγωνισμός έχει τελειώσει, όπως συνέβη και με τους προηγούμενους διαγωνισμούς, οι περιστάσεις τους χρησιμοποιούνται ως δεδομένα αναφοράς για επόμενες μελέτες.

Το ότι δύο επιλυτές δεν καταφέρνουν να λύσουν το σύνολο των περιστάσεων δείχνει ότι υπάρχει χώρος βελτίωσης. Ακόμα και για τις περιστάσεις που έχουμε λύσεις, θα μπορούσαμε να αναζητήσουμε καλύτερες λύσεις. Μπορεί να υπάρξει περαιτέρω αποσύνθεση του προβλήματος, οι ομοιότητες των περιορισμών και οι ειδικές περιπτώσεις έδωσαν λύσεις εκεί που δεν υπήρχαν. Μπορούμε επίσης να αναζητήσουμε κάποια ακρότατα όρια.

### 9.2 RobinXML

Επειδή ο διαγωνισμός δεν καλύπτει το σύνολο του πρότυπου RobinXML, θα είχε αξία η επέκταση του κώδικα ώστε να καλύψει το σύνολό του. Οι περιορισμοί έχουν ήδη υλοποιηθεί κατά το ήμισυ για τις ανάγκες του διαγωνισμού.

Στο πεδίο A θα πρέπει να καλυφθούν και οι υπόλοιποι τύποι πρωταθλημάτων και πρόβλεψη για μη συμπαγή πρωταθλήματα. Δεν έχουν υλοποιηθεί οι κανόνες συμμετρίας πέραν από το κανονισμό της φάσης, παρότι οι περιστάσεις του διαγωνισμού δεν τις απαιτούσαν. Τα πιο συνήθη πρωταθλήματα έχουν κάποιο σύστημα συμμετρίας.

Στο πεδίο B, έχουν υλοποιηθεί σχεδόν οι μισοί περιορισμοί του προτύπου. Επειδή για τον διαγωνισμό υπήρχαν κάποιες σταθερές παραμέτροι, πρέπει να γίνει πρόβλεψη για τις υπόλοιπες. Θα χρειαστεί να αλλάξει το σύνολο του μαθηματικού μοντέλου για να ικανοποιηθούν πλήρως οι περιορισμοί.

Οι περιστάσεις του διαγωνισμού είχαν ως αντικειμενική συνάρτηση την ελαχιστοποίηση των χαλαρών περιορισμών, αλλά το RobinXML στο πεδίο Γ προβλέπει επιπλέον στόχους. Οι στόχοι αυτοί αλλάζουν πλήρως την λογική επίλυσης το μαθηματικό μοντέλο, αλλά αξίζει η υλοποίηση διότι σε ερασιτεχνικά προβλήματα συνήθως το κόστος της διοργάνωσης είναι πιο σημαντικό.

### 9.3 Ελληνικά πρωταθλήματα

Η περίπτωση των ελληνικών πρωταθλημάτων δεν έχει μελετηθεί καθόλου. Στην χώρα υπάρχουν πολλές διοργανώσεις, ερασιτεχνικές και επαγγελματικές, η καθεμία τους ξεχωριστή με διαφορετικούς περιορισμούς, κανόνες και απαιτήσεις. Τα ελληνικά πρωταθλήματα στα δημοφιλή, στην χώρα, αγωνίσματα (ποδόσφαιρο, καλαθοσφαίριση, υδατοσφαίριση, αντισφαίριση) ακολουθούν σύστημα εκ περιτροπής με δύο γύρους και κανόνα συμμετρίας καθρεπτισμού τουλάχιστον στην πρώτη φάση των πρωταθλημάτων.

Οι ερασιτεχνικές οργανώσεις λόγω περιορισμένων πόρων (διατιητές, γήπεδα, χρήματα) αντιμετωπίζουν κάθε χρονιά το δύσκολο έργο της δημιουργίας του προγράμματος. Οι επαγγελματικές οργανώσεις, αν και διαθέτουν περισσότερους πόρους, έχουν και αντίστοιχα περισσότερους οργανισμούς και συμφέροντα που έχουν απαιτήσεις ή οφέλη, από την διεξαγωγή των πρωταθλημάτων και μπορούν να καρπωθούν τα οφέλη από ένα καλό πρόγραμμα πρωταθλήματος. Ένα από τα βασικά έσοδα των συνδρομητικών καναλιών είναι τα δικαιώματα στον χώρο της εστίασης. Η εστίαση επιχειρεί με βάση τους πελάτες της. Οι συνήθειες κάθε λαού (ωράριο εργασίας, αργίες, στοιχηματισμός) αλλάζουν τις προτεραιότητες που έχει η κάθε διοργανώτρια αρχή. Ένα επιθυμητό πρόγραμμα σε μία χώρα μπορεί να μην ταιριάζει στην νοοτροπία της άλλης.

Λιγότερο δημοφιλή αθλήματα στην χώρα που είναι δημοφιλή αλλού (χόκεϊ στον πάγο, χόκεϊ στο χόρτο, κρίκετ, αμερικάνικο ποδόσφαιρο) που παραδοσιακά δεν είχαν καθόλου αντιπροσώπευση στην χώρα, αποκτούν λόγω τις παγκοσμιοποίησης, κοινό. Λιγότερη δημοφιλή όμως, σημαίνει και λιγότερα εισιτήρια, χαμηλότερα έσοδα από χορηγούς οπότε πολλές από αυτές αντιμετωπίζουν θέματα ύπαρξης. Ο κατάλληλος χρονοπρογραμματισμός θα μπορούσε να μειώσει το κόστος των διοργανώσεων τους και ίσως να κάνει και το ίδιο το πρωτάθλημα πιο επιθυμητό και πιο δημοφιλές στην χώρα.

Το σύστημα καθρεπτισμού δεν έχει υλοποιηθεί, καθώς δεν ήταν απαραίτητο για τις ανάγκες του ITC 2021. Θα οδηγούσε όμως σε μία ενδιαφέρουσα υλοποίηση, όπου το πρόγραμμα θα δημιουργούταν για έναν γύρο, ενώ η αντικειμενική συνάρτηση θα ίσχυε και για τους δύο γύρους. Θα πρέπει να υλοποιηθούν και όποιοι περιορισμοί του πεδίου B κριθούν απαραίτητοι.

Μία μελέτη για τις απαιτήσεις των ελληνικών πρωταθλημάτων θα μπορούσε να ρίξει φως στις ιδιαιτερότητες των πρωταθλημάτων της χώρας. Ακόμη και χωρίς την υλοποίηση του επιθυμητού περιγραφής των πρωταθλημάτων της Ελλάδος σε πρότυπο RobinXML θα βοηθούσε σε μία καλύτερη κατανόηση των περιορισμών που θα χρειαστούν για να καλύψουν τις ανάγκες του εγχώριου αθλητισμού.

Μία στατιστική ανάλυση για τα δημοφιλή πρωταθλήματα για τα προηγούμενα έτη θα ωφελούσε στην καλύτερη κατανόηση της κατάστασης των προγραμμάτων των ελληνικών πρωταθλημάτων. Το φαινόμενο του φόρτου και οι θραύσεις για κάθε έτος, όπως και οι περιορισμοί δικαιοσύνης έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν το πρωτάθλημα, είτε ως προς την απόδοση των συμμετεχόντων ή ως προς την θελκτικότητα του ίδιου του πρωταθλήματος.

Οι διανομείς ψηφιακού περιεχομένου στον χώρο του αθλητισμού είναι μία σχετικά νέα δύναμη στον χώρο και στην Ελλάδα σε βρεφικά στάδια. Οι πλατφόρμες αυτές αλλάζουν τις συνήθειες του καταναλωτών. Μια τέτοια πλατφόρμα για τις ανάγκες της χώρας θα έχει διαφορετικές επιθυμίες από την διοργάνωση.



Σε διάφορες χώρες του εξωτερικού τον χρονοπρογραμματισμό πρωταθλημάτων τον έχουν αναλάβει ειδικά ομάδες που ασχολούνται με επιχειρησιακή έρευνα και τον χρονοπρογραμματισμό και έχουν ήδη αποδείξει τα οφέλη ενός καλά σχεδιασμένου πρωταθλήματος.

## **Επίλογος**

Το πεδίο του χρονοπρογραμματισμού πρωταθλημάτων έχει άπλετο χώρο για βελτιώσεις. Ενώ στην χώρα πρόκειται για ένα σχεδόν ανεξερεύνητο πεδίο.

# Παράρτημα Α΄

## Ακρωνύμια και συντομογραφίες

**away break** Θραύση εκτός, όταν μία ομάδα παίζει δύο συνεχόμενες αγωνιστικές εκτός έδρας.

**break** Θραύση, όταν μία ομάδα παίζει δύο συνεχόμενες αγωνιστικές εντός ή εκτός έδρας.

**bye** Ρεπό, όταν μία ομάδα δεν παίζει σε κάποια αγωνιστική. Είτε γιατί το πρωτάθλημα δεν είναι συμπαγές, είτε γιατί ο αριθμός των ομάδων είναι περιττός.

**coe** Το φαινόμενο του φόρτου, όταν μία ομάδα παίζει σε κάποια αγωνιστική λέμε ότι κουβαλάει φόρτο από τις προηγούμενες αναμετρήσεις της.

**constraint** Περιορισμός.

**derby** Αγώνας υψηλού ενδιαφέροντος.

**hard constraint** Αυστηρός περιορισμός. Απαγορεύεται να τον παραβούμε.

**homeaway pattern** Μοτίβο έδρας, η αλληλουχία με την οποία αγωνίζεται μία ομάδα εντός ή εκτός έδρας. Για παράδειγμα μία ομάδα που έχει δύο παιχνίδια εκτός έδρας και στην συνέχεια εντός έχει μοτίβο έδρας "ΑΑΗΗ"

**home break** Θραύση εντός, όταν μία ομάδα παίζει δύο συνεχόμενες αγωνιστικές εντός έδρας.

**round robin tournament** Πρωτάθλημα εκ περιτροπής.

**slot** Αγωνιστική, δεν είναι υποχρεωτικό να διαρκεί μόνο μία μέρα ή και πολλές αγωνιστικές μπορούν να διεξάγονται την ίδια μέρα.

**soft constraint** Χαλαρός περιορισμός, περιορισμοί που μπορούμε να παραβούμε συνήθως έχουν κόστος στην αντικειμενική συνάρτηση.

**team** Ομάδα, μπορεί να είναι όμως και μεμονομένοι αθλητές για ατομικά αθλήματα.

**tournament** Πρωτάθλημα, η σύνηθης μορφή του είναι να αγωνιστούν όλοι με όλους.

# Βιβλιογραφία

- [1] C. Valouxis, C. Gogos, G. Goulas, P. Alefragis, and E. Housos, “A systematic two phase approach for the nurse rostering problem,” *European Journal of Operational Research*, vol. 219, no. 2, pp. 425–433, Jun. 2012. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221711011362>
- [2] C. Gogos, P. Alefragis, and E. Housos, “An improved multi-staged algorithmic process for the solution of the examination timetabling problem,” *Annals of Operations Research*, vol. 194, no. 1, pp. 203–221, Apr. 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0712-3>
- [3] D. Briskorn, “Feasibility of home-away-pattern sets for round robin tournaments,” *Operations Research Letters*, vol. 36, no. 3, pp. 283–284, May 2008. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167637707001423>
- [4] R. Miyashiro and T. Matsui, “Round-Robin Tournaments with a Small Number of Breaks,” 2003.
- [5] M. Trick, “A schedule-then-break approach to sports timetabling,” *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 242–253, Jan. 2000.
- [6] C. C. Ribeiro and S. Urrutia, “Scheduling the Brazilian Soccer Tournament: Solution Approach and Practice,” p. 16, 2011.
- [7] R. Lewis and J. Thompson, “On the application of graph colouring techniques in round-robin sports scheduling,” *Computers & Operations Research*, vol. 38, no. 1, pp. 190–204, Jan. 2011. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054810000961>
- [8] T. Janeiro, S. Urrutia, C. C. Ribeiro, and D. de Werra, “Edge coloring: A natural model for sports scheduling,” *European Journal of Operational Research*, vol. 254, no. 1, pp. 1–8, Oct. 2016. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221716301667>
- [9] T. Janeiro and S. Urrutia, “A new neighborhood structure for round robin scheduling problems,” *Computers & Operations Research*, vol. 70, pp. 127–139, Jun. 2016. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054815003020>
- [10] F. N. Costa, S. Urrutia, and C. C. Ribeiro, “An ILS heuristic for the traveling tournament problem with predefined venues,” *Annals of Operations*

*Research*, vol. 194, no. 1, pp. 137–150, Apr. 2012. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s10479-010-0719-9>

- [11] D. V. Bulck, D. Goossens, J. Schönberger, and M. Guajardo, “RobinX: A three-field classification and unified data format for round-robin sports timetabling,” *European Journal of Operational Research*, vol. 280, no. 2, pp. 568–580, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221719305879>