

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΠΡΟΣΧΟΛΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Επιστήμες της Αγωγής: Παιδαγωγικό Παιχνίδι και Παιδαγωγικό Υλικό

στην Πρώτη Παιδική Ηλικία»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΣΟΒΑΡΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ.

ΚΑΡΡΑ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΒΟΛΟΣ 2016

Κύριος Επιβλέπων: Καρασαββίδης Ηλίας, Επίκουρος Καθηγητής ΠΤΠΕ/ΠΘ

Στοιχεία επικοινωνίας: ikaras@uth.gr

Συνεπιβλέπων: Τριανταφυλλίδης Τριαντάφυλλος, Αναπληρωτής Καθηγητής, ΠΤΔΕ/ΠΘ

Στοιχεία επικοινωνίας: ttriant@pre.uth.gr

Αξιολογητής: κα. Χρηστίδου Βασιλεία, καθηγήτρια ΠΤΠΕ/ΠΘ

Στοιχεία επικοινωνίας: vchristi@uth.gr

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | 4 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 5 |
| ABSTRACT | 8 |
| ΤΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ | 10 |
| ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 10 |
| ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗ..... | 11 |
| ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ | 13 |
| ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 13 |
| ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗ..... | 14 |
| ΤΑ ΣΟΒΑΡΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ | 14 |
| ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΟΒΑΡΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 16 |
| ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ..... | 16 |
| ΜΟΝΤΕΛΟ IGENAC - ΟΛΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΟΒΑΡΩΝ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ | 18 |
| ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΟΒΑΡΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ | 21 |
| ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕΣΩ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 21 |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 23 |
| <i>Μορφές και χρήση της συμμετρίας</i> | 23 |
| <i>Χωρική ικανότητα</i> | 24 |
| <i>Νοητική περιστροφή</i> | 25 |
| Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΣΤΑ ΣΧΟΛΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ | 25 |
| <i>Ορισμός</i> | 26 |
| <i>Σχεδίαση συμμετρικού σημείου ως προς κέντρο (σημείο)</i> | 26 |
| Η ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ | 26 |
| <i>Επίπεδα Γεωμετρικής Σκέψης κατά Van Hiele</i> | 26 |
| <i>Δραστηριότητες μετασχηματισμών για τα παιδιά του επιπέδου 1</i> | 28 |
| ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ | 28 |
| ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ | 29 |
| ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 30 |
| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 30 |
| <i>Σενάριο</i> : | 30 |
| <i>Σκοπός του παιχνιδιού</i> : | 31 |
| <i>Έννοιες και μαθησιακοί στόχοι</i> : | 31 |
| <i>Χαρακτήρες</i> | 31 |
| <i>Προοπτική</i> : | 32 |
| <i>Διεπαφή</i> : | 33 |
| ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ | 33 |
| <i>Εισαγωγή</i> :..... | 34 |
| <i>Βίντεο</i> : | 34 |
| <i>Επίπεδα</i> : | 35 |
| ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ: | 35 |
| ΚΛΕΙΣΙΜΟ-ΒΙΝΤΕΟ: | 35 |
| ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ | 36 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ..... | 36 |
| ΠΟΡΟΙ..... | 36 |
| ΛΟΓΙΚΗ..... | 37 |
| ΥΛΙΚΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΧΘΗΚΕ..... | 38 |
| <i>Εισαγωγή</i> | 39 |
| <i>Πίστα</i> | 40 |
| ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ..... | 47 |
| ΜΕΘΟΔΟΣ..... | 47 |
| <i>Συμμετέχοντες:</i> | 47 |
| <i>Υλικά:</i> | 47 |
| <i>Διαδικασία:</i> | 49 |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 50 |
| <i>Πρακτικές επιδόσεις μαθητών:</i> | 51 |
| ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΜΑΘΗΤΩΝ..... | 57 |
| <i>Περίπτωση μαθητή Μ1</i> | 60 |
| <i>Περίπτωση μαθητή Μ2</i> | 64 |
| <i>Περίπτωση μαθήτριας Μ3</i> | 68 |
| <i>Περίπτωση μαθήτριας Μ4</i> | 72 |
| <i>Περίπτωση μαθήτριας Μ5</i> | 76 |
| <i>Περίπτωση μαθητή Μ6</i> | 79 |
| ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ..... | 81 |
| 1. <i>Οδηγίες παιχνιδιού και διαδικασία εξοικείωσης:</i> | 81 |
| 2. <i>Προσανατολισμός και φωτισμός υποδοχής:</i> | 81 |
| 3. <i>Εισαγωγή μοιρών στο παιχνίδι:</i> | 81 |
| ΜΑΘΗΣΙΑΚΗ ΠΡΟΟΔΟΣ..... | 82 |
| ΚΑΤΑΛΗΚΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ..... | 83 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... | 84 |
| ΠΟΡΟΙ ΠΟΥ ΒΡΕΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ..... | 89 |
| ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ..... | 89 |
| ΥΦΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ..... | 89 |
| ΉΧΟΙ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ..... | 89 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 90 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1- ΦΥΛΛΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ..... | 90 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2..... | 95 |

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Ηλία Καρασαββίδη για την συνεχή βοήθεια και καθοδήγησή του στο θεωρητικό και στο πρακτικό μέρος της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνεπιβλέπων μου κύριο Τριαντάφυλλο Τριανταφυλλίδη για τις πολύτιμες ιδέες και γνώσεις που συνέβαλαν στην αποτελεσματική διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Το παιχνίδι αποτελεί μία εθελοντική δραστηριότητα που προσφέρει χαρά. Διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: το παιχνίδι του όρου «play», που συνιστά τις αυθόρμητη μορφή παιχνιδιού και το παιχνίδι του όρου «game», που αποτελεί το οργανωμένο παιχνίδι με κανόνες. Το ψηφιακό παιχνίδι ανήκει στη δεύτερη κατηγορία, αυτή του όρου «game». Ως ψηφιακό παιχνίδι νοείται το παιχνίδι μέρος του συστήματος του οποίου υλοποιείται διαμέσου της ψηφιακής τεχνολογίας. Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία των παιχνιδιών έχει στραφεί στην ανάπτυξη σοβαρών παιχνιδιών, δηλαδή παιχνιδιών που έχουν ως κύριο σκοπό τη μάθηση, χωρίς να αποκλείουν την ψυχαγωγία. Για να είναι αποτελεσματικά ως προς τους μαθησιακούς τους στόχους, τα εκπαιδευτικά παιχνίδια θα πρέπει να αποτελούν αντικείμενο βέλτιστου σχεδιασμού. Απαραίτητα προς την κατεύθυνση αυτή είναι μοντέλα σχεδιασμού εκπαιδευτικού παιχνιδιού, τα οποία συνδυάζουν τα διάφορα στοιχεία και πόρους του παιχνιδιού με την αφήγηση, το διδακτικό περιεχόμενο και τις θεωρίες μάθησης. Το Ολιστικό Μοντέλο Ανάπτυξης Σοβαρών Παιχνιδιών IGENAC (Integrated Game Elements, Narrative, Content-Ενσωμάτωση Στοιχείων Παιχνιδιού, Αφήγησης και Περιεχομένου) συνιστά ένα τέτοιο μοντέλο και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για το σχεδιασμό ενός ψηφιακού εκπαιδευτικού παιχνιδιού στο πεδίο της περιστροφικής συμμετρίας.

Όπως προκύπτει από την ερευνητική βιβλιογραφία, οι μαθητές μικρών ηλικιών αντιμετωπίζουν πολλά προβλήματα με την κατανόηση της έννοιας της περιστροφικής συμμετρίας ως διαδικασίας μετασχηματισμού σχημάτων. Μέσα από εμπειρίες χειρισμού και οπτικοποίησης των αντικειμένων τα ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης μπορούν να διαδραματίσουν ενεργητικό ρόλο στην ανάπτυξη νοητικών περιστροφών, χωρικών ικανοτήτων και κατ' επέκταση στην βελτίωση της επίδοσης στην περιστροφική συμμετρία. Το παιχνίδι που σχεδιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναφέρεται σε ένα ρομπότ με ασύμμετρο σώμα που προσπαθεί να περάσει από νησί σε νησί πάνω από τη βαθιά θάλασσα, για να φτάσει στο εργαστήρι του καθηγητή που το κατασκεύασε και να γίνει συμμετρικό. Το παιχνίδι αποσκοπεί στην ανάπτυξη της δεξιότητας εύρεσης του συμμετρικού ως προς σημείο ενός σχήματος από μαθητές της Ε' και της ΣΤ' τάξης

του Δημοτικού, χρησιμοποιώντας ως βάση για τις δραστηριότητες του το 1^ο επίπεδο γεωμετρικής σκέψης κατά Van Hiele, που αναφέρεται στην συγκεκριμένη ηλικιακή ομάδα. Μέσα από το παιχνίδι οι μαθητές καλούνται να εκτελέσουν νοητικές περιστροφές, να εκτιμήσουν αποστάσεις και μήκη και να περιστρέψουν αντικείμενα 180° γύρω από ένα σημείο στον τρισδιάστατο κόσμο του παιχνιδιού.

Σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν δύο επίπεδα εμποδίων. Στο πρώτο επίπεδο δεν γίνεται αναφορά στις μοίρες, ενώ στο δεύτερο προστίθενται και οι μοίρες περιστροφής. Για το πρώτο επίπεδο υλοποιήθηκαν πέντε εμπόδια, ενώ για το δεύτερο τρία εμπόδια.

Μετά την υλοποίηση του το παιχνίδι αξιολογήθηκε πιλοτικά από μια ομάδα 6 μαθητών Ε' και Στ' δημοτικού. Η αξιολόγηση εστιάστηκε τόσο στην αλληλεπίδραση των μαθητών με το παιχνίδι όσο και στην επίδραση του παιχνιδιού με μαθησιακούς όρους. Αναφορικά με την αλληλεπίδραση, τα αποτελέσματα ανέδειξαν 3 προβλήματα: (α) δυσκολίες χειρισμού του παιχνιδιού στην έναρξή του, (β) δυσκολίες χειρισμού κατά την εναλλαγή του παιχνιδιού από το πρώτο στο δεύτερο επίπεδο με την προσθήκη των μοιρών και (γ) πρόβλημα αντίληψης του προσανατολισμού της υποδοχής του περιστρεφόμενου κύβου.

Αναφορικά με την επίδραση του παιχνιδιού στην κατανόηση εννοιών περιστροφικής συμμετρίας, τα αποτελέσματα έδειξαν πως η μαθησιακή πρόοδος των μαθητών σε έργα περιστροφικής συμμετρίας ήταν πολύ μικρή. Οι όποιες βελτιώσεις καταγράφηκαν μετά το παιχνίδι αφορούσαν κυρίως την βελτίωση της σχεδίασης σχημάτων διατηρώντας τις διαστάσεις και τις γωνίες τους και την ορθή περιστροφή 180° γύρω από σημείο. Σε μικρότερο βαθμό διαπιστώθηκε βελτίωση στην σχεδίαση σχημάτων σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο συμμετρίας.

Με βάση τα αποτελέσματα από την πιλοτική εφαρμογή, το παιχνίδι χρήζει βελτίωσης στα 3 σημεία στα οποία καταγράφηκαν δυσκολίες αλληλεπίδρασης των μαθητών με το παιχνίδι. Παράλληλα, κρίνεται απαραίτητος ο εμπλουτισμός του παιχνιδιού με περισσότερα έργα και επίπεδα, σύμφωνα με την ιστορία του παιχνιδιού. Τέλος, η διερεύνηση της μαθησιακής αποτελεσματικότητας του παιχνιδιού απαιτεί μια πιο συστηματική διερεύνηση πειραματικού τύπου.

Abstract

Play is a voluntary activity that offers fun. The term play can have two meanings: “play”, which constitutes the spontaneous activity of playing and “game”, which is organized by specific rules. Digital games fall in the latter category and are defined as a game system, part of which is implemented by means of digital technology. In recent years, the game industry focuses on developing serious games, which have learning as their primary purpose without excluding fun. In order to be effective in their learning objectives, educational serious games should undergo optimal design. To that end educational game design models are necessary, that is, models that integrate the game elements and resources of the game with the narrative, the content and learning theories. The Holistic Serious Game Development Model-IGENAC (Integrated Game Elements, Narrative, Content) is an example of such a model and was used in this paper for designing an educational digital game about the rotational symmetry.

Bibliography suggests that young students have problems comprehending the concept of rotational symmetry as a process of transformation. Digital learning environments become active assistants, leading to the development of mental rotation, spatial skills, and improvement in rotational symmetry through manipulation and visualization experiences with objects. The game that has been designed in this paper is about the story of a robot with asymmetrical body that wants to find its manufacturer’s laboratory and become symmetrical, and therefore has to travel across islands over a deep sea. The game aims to develop the skill of finding the symmetric shape in point by students of the fifth and sixth grade of primary school. The 1st level of geometric thinking in Van Hiele’s theory, that is referred to this age group, is used as a basis for the activities. While playing the game, students are required to perform mental rotations, to estimate

distances and lengths and to rotate objects 180° around a point in three-dimensional game world.

Two levels of obstacles are designed and are implemented. In the first level, there is not a reference to degrees, while in the second level they are added. For the first level, five obstacles are implemented, while for the second level three obstacles.

Afterwards, the game was evaluated through a pilot study, by a group of 6 students of the fifth and sixth grade of primary school. The evaluation focused on the students' interaction with the game and on the game's educational effect by learning terms. As far as the game's interaction is concerned, 3 problems have arisen: a) difficulties with the game's controls in the beginning of the game, b) difficulty with the transition from the first to the second level (when degrees are added), and c) problems with perceiving the orientation perception of the rotated cube's socket.

As far as the educational effect on the concept of rotational symmetry is concerned, results showed that the student's learning progress in rotational symmetry tasks was very small. The few improvements that were detected after playing the game concerned mainly the learning progress in preserving the dimensions and angles of the rotated object. Also, less progress was made in proper 180° rotation around a point and in keeping equal distances from the center of symmetry.

Based on the results, the game requires improvement on the three difficulties detected with the game's interaction. Additionally, according to the game's story, the game should be enriched with more obstacles and levels. Finally, in order to investigate the game's educational effect, a thorough experimental research is required.

Το Παιχνίδι

Κανένας ορισμός του παιχνιδιού δεν περιλαμβάνει όλες τις οπτικές, τις αντιλήψεις και τις εμπειρίες, που είναι συνδεδεμένες με τον όρο παιχνίδι (Kernan, 2007). Παρά τις δυσκολίες απόδοσης ενός ακριβούς ορισμού για την ιδιαίτερα πολυσύνθετη έννοια του παιχνιδιού, γίνεται μία προσπάθεια σε αυτό το κεφάλαιο να ερμηνευθεί το φαινόμενο μέσα από την αναφορά σε ορισμούς που έχουν κατά καιρούς αποδοθεί από σημαντικούς μελετητές του. Επίσης, περιγράφονται οι απόψεις των ερευνητών για την συνεισφορά του παιχνιδιού στην μάθηση.

Ορισμός του παιχνιδιού

Θεωρώντας το παιχνίδι ως μία από τις πιο σημαντικές δράσεις στη ζωή, ο Χουζίνγκα (1989) υποστηρίζει ότι το **παιχνίδι** είναι μία εθελοντική δραστηριότητα, που πραγματοποιείται σε καθορισμένο τόπο και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, σύμφωνα με δεσμευτικούς κανόνες, ελεύθερα αποδεκτούς, αποτελώντας αυτοσκοπό (χωρίς κάποιο υλικό συμφέρον) και συνοδευόμενη από ένα αίσθημα έντασης, χαράς και από τη συνείδηση ότι είναι κάτι «διαφορετικό» από τη «συνήθη ζωή». Το παιχνίδι ως δράση, όπως το περιγράφει ο Winnicott, αποτελεί παιχνίδι ανάπτυξης με την έννοια ότι *«ανακουφίζει από την ένταση της ζωής, προετοιμάζει για τη σοβαρή ζωή, βοηθάει στον καθορισμό των ορίων του εαυτού σε σχέση με τους άλλους και δίνει την πλήρη αίσθηση της προσωπικής και σωματικής ύπαρξης του ατόμου»* (Gronlnick, 1990: 35).

Ο Caillois προσπάθησε να διαχωρίσει τις αυθόρμητες μορφές παιχνιδιού από εκείνες που είναι βασισμένα σε κανόνες (Henricks, 2011) και διέκρινε δυο μεγάλες κατηγορίες παιχνιδιού (Salen & Zimmermann, 2006):

- το παιχνίδι του όρου «play» (paidia), το οποίο απαρτίζεται κυρίως από δραστηριότητες ελεύθερου χαρακτήρα και παιχνίδια ρόλων, με σκοπό την ικανοποίηση μη πραγματοποιήσιμων αναγκών (Vygotsky, 1997) και
- το παιχνίδι του όρου «game» (ludus), που αποτελεί την αναπτυγμένη μορφή της προηγούμενης κατηγορίας παιχνιδιού, τα παιχνίδια με κανόνες. Η ανάπτυξη του παιχνιδιού και η νοητική ανάπτυξη των παιδιών είναι αλληλοεξαρτώμενες

διαδικασίες. Οι κανόνες και οι μέθοδοι στο παιχνίδι προϋποθέτουν και αναπτύσσουν ταυτόχρονα σύνθετους τρόπους σκέψης (Piaget, 1951).

Το παιχνίδι του όρου «play» μπορεί να πάρει διάφορες μορφές (Sheridan, 2002):

- *Ενεργητικό παιχνίδι*, που εμφανίζεται, κυρίως, στα βρέφη, όταν προσπαθούν να αντιληφθούν τις κινήσεις του σώματός τους.
- *Παιχνίδι εξερεύνησης και χειρισμού*. Αν και η εξερεύνηση και το παιχνίδι διαφέρουν στον τύπο και στην διεξαγωγή, αυτά τα δύο είναι συχνά το ένα αποτέλεσμα του άλλου. Η εξερεύνηση μιας διαδικασίας και ο χειρισμός των αντικειμένων οδηγούν στην εκμάθηση της χρήσης τους και η επανάληψη της δραστηριότητας, που προάγουν, θεωρείται παιχνίδι (Garvey, 1990).
- *Παιχνίδι μίμησης* της συμπεριφοράς άλλων ατόμων.
- *Παιχνίδι οικοδόμησης* μιας κατασκευής με χρήση εργαλείων και σχεδιαστικών ικανοτήτων.
- *Παιχνίδι υπόκρισης*, στο οποίο τα παιδιά εφευρίσκουν δικές τους ιστορίες και τις θέτουν σε δράση χρησιμοποιώντας την φαντασία και την δημιουργικότητά τους.
- *Παιχνίδι κανόνων*: οι ελεύθερες δραστηριότητες και τα παιχνίδια υπόκρισης, σύμφωνα με τον Vygotsky (1997), περιέχουν κρυμμένους κανόνες, όπως κανόνες συμπεριφοράς και χρήσης εργαλείων.

Ο Piaget εντάσσει στις κατηγορίες παιχνιδιού και αυτή του *συμβολικού παιχνιδιού*, στο οποίο το παιδί αναπαριστά συμβολικά την πραγματικότητα, που δεν έχει αφομοιώσει και την ξαναζεί, για να την κατανοήσει (Τσιαντζή, 1996).

Παιχνίδι και μάθηση

Οι παιδοψυχολόγοι αναφερόμενοι στην συμβολή του παιχνιδιού στην ανάπτυξη του παιδιού, εξετάζουν τους τρόπους με τους οποίους το παιχνίδι βοηθάει το παιδί να αναπτύξει ανώτερους τρόπους σκέψης. Ο Piaget (1951) θεωρεί πως το παιχνίδι συμβάλλει στην διαδικασία της αφομοίωσης (την απόκτηση πληροφοριών μέσα από την εμπειρία). Δηλαδή, οδηγεί σε νέες εμπειρίες, τις οποίες προσπαθεί το παιδί να τις εναρμονίσει με τις προϋπάρχουσες. Το παιχνίδι δεν είναι όμοιο με τη μάθηση, αλλά τη διευκολύνει

(Κωνσταντινόπουλος, 2007), γιατί είναι απλό, αυθεντικό και ανταποκρίνεται στις παιδικές δυνατότητες (Τσιαντζή, 1996). Κατά το παιχνίδι εξερεύνησης αποκαλύπτονται ιδιότητες των φαινομένων και αναπτύσσεται η δημιουργικότητα, η οποία, με τη σειρά της, προάγει στρατηγικές για λύση προβλημάτων. Γενικά, εντάσσοντας το παιχνίδι στη διδακτική πράξη, αυξάνεται η αυτοπεποίθηση και η ενεργή συμμετοχή του παιδιού, αφού δεν υπάρχει παρά ελάχιστος κίνδυνος αποτυχίας (Garvey, 1990). Επίσης, η παιγνιώδης μάθηση επιφέρει θετικά μαθησιακά αποτελέσματα, προκαλεί συμμετοχή και προσφέρει ευχαρίστηση, κυρίως λόγω του διασκεδαστικού χαρακτήρα της (Dieleman & Huisingh, 2006. Prensky, 2007).

Ψηφιακό παιχνίδι

Αυτό το κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο συζήτησης το ψηφιακό παιχνίδι, τις κατηγορίες των ψηφιακών παιχνιδιών με έμφαση στην κατηγορία των σοβαρών παιχνιδιών και την συμβολή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Ορισμός του ψηφιακού παιχνιδιού

Ο όρος «**ψηφιακό παιχνίδι**» αναφέρεται σε παιχνίδι μέρος του συστήματος του οποίου υλοποιείται διαμέσου της ψηφιακής τεχνολογίας (Salen & Zimmerman, 2004). Τα ψηφιακά παιχνίδια τρέχουν σε πλατφόρμες και μπορεί να περιλαμβάνουν κονσόλες, προσωπικούς υπολογιστές, φορητές παιχνιδομηχανές, κινητά τηλέφωνα και το Διαδίκτυο (Αναγνώστου, 2009). Τα ηλεκτρονικά παιχνίδια διακρίνονται σε: α) παιχνίδια δράσης, β) περιπέτειας, γ) παιχνίδια μάχης, δ) γρίφους, ε) παιχνίδια ρόλων, στ) προσομοιώσεων, ζ) στρατηγικής και η) αθλητικά παιχνίδια (Prensky, 2007).

Τα δομικά στοιχεία ενός παιχνιδιού είναι:

- α) η συμμετοχή των παιχτών,
- β) οι κανόνες,
- γ) οι διαδικασίες (επιτρεπόμενες κινήσεις), που καθορίζονται από τους κανόνες,
- δ) ο στόχος,
- ε) οι πόροι (βοηθητικά αντικείμενα), που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του στόχου,
- στ) η σύγκρουση με κάποιον αντίπαλο ή με εμπόδια,
- ζ) τα όρια του φανταστικού κόσμου,
- η) το αποτέλεσμα (τελική κατάσταση) του παιχνιδιού (Αναγνώστου, 2009),
- θ) η έκβαση και η ανάδραση, που ενημερώνουν τον παίχτη για την πρόοδο του όσον αφορά τους στόχους,
- ι) η διάδραση με άλλους παίκτες στα ομαδικά παιχνίδια και
- ια) η αναπαράσταση ή σενάριο ή αφήγηση, όπως ονομάζεται η ιστορία, στην οποία αναφέρεται το παιχνίδι (Prensky, 2007).

Τα ψηφιακά παιχνίδια προτιμούνται, κυρίως, διότι απαλλάσσουν τον παίχτη από ανιαρές διαδικασίες (όπως την κατανόηση των κανόνων, την καταμέτρηση του σκορ, κ. α.) και προσφέρουν άμεση ανταπόκριση στις επιλογές του παίκτη, δίνοντας έτσι μια πραγματική αίσθηση του χρόνου (Prensky, 2007).

Ψηφιακό παιχνίδι και μάθηση

Μάθηση βασισμένη στο ψηφιακό παιχνίδι ορίζεται η μάθηση, που προέρχεται από κάθε εκπαιδευτικό παιχνίδι. Στην ιδανική του μορφή θα πρέπει να μοιάζει από την αρχή μέχρι το τέλος με ένα βιντεοπαιχνίδι, αλλά ταυτόχρονα να προσφέρει στον παίχτη μια μαθησιακή εμπειρία (Persky, 2007). Κάθε παιχνίδι έχει να διδάξει κάτι και μάλιστα χωρίς να το επιδιώκει ο παίκτης (Αναγνώστου, 2009. Harteveld, Guimarães, Mayer & Bidarra, 2007).

Ο Gee (2003) υποστήριξε ότι ακόμη και τα περίπλοκα παιχνίδια «μαθαίνονται», επειδή ενσωματώνουν αρχές μάθησης. Η παιδαγωγική αξία των βιντεοπαιχνιδιών έγκειται σε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους (εκτός από τη ψυχαγωγία):

- Η **αναπαράσταση** του πραγματικού ή του φανταστικού κόσμου με εικόνα και ήχο.
- Η **πολύπλοκη εξομοίωση** του κόσμου με μεγάλη λεπτομέρεια.
- Οι **οργανωμένοι κανόνες** για διδακτικούς σκοπούς.
- Η **αλληλεπίδραση** του παίχτη με τον εικονικό κόσμο και ο πειραματισμός με τις παραμέτρους, τον οδηγούν στην απόκτηση εμπειριών.
- Η **άμεση ανάδραση** με επιβράβευση ή αναγνώριση των λαθών δίνουν στον παίχτη ένα **κίνητρο για ενασχόληση** με το παιχνίδι.
- Η **δυνατότητα συμμετοχής πολλών ατόμων** (Αναγνώστου, 2009).

Τα σοβαρά παιχνίδια

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες ένα σημαντικό τμήμα της βιομηχανίας των παιχνιδιών έχει στραφεί στην ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών που έχουν σαν κύριο σκοπό τη μάθηση, χωρίς να αποκλείεται η ψυχαγωγία. Τα παιχνίδια αυτά ονομάζονται **σοβαρά παιχνίδια** (serious games) και έχουν βρει εφαρμογές στην εκπαίδευση, αλλά και σε

άλλους τομείς, όπως για παράδειγμα, σε στρατιωτικές ή κυβερνητικές οργανώσεις, σε επιχειρήσεις, στην υγεία και στον χώρο της πολιτικής και της θρησκείας (Αναγνώστου, 2009; Bellotti, Berta & De Gloria, 2010) με θετικά αποτελέσματα για τη μάθηση (Binsubaih, Maddock & Romano, 2006).

Η χρήση σοβαρών παιχνιδιών και οι αποτελεσματικές εφαρμογές τους στην εκπαίδευση στρατιωτών (με παιχνίδια προσομοιώσεων) και στην κατάρτιση υπαλλήλων, ωθεί στην εισαγωγή των παιχνιδιών στην εκπαιδευτική διαδικασία (Prensky, 2007; Shaffer, Squire, Halverson & Gee, 2005). Τα σοβαρά παιχνίδια έχουν αναγνωρισμένη δυνατότητα για διδασκαλία, επειδή είναι σε θέση να παρακινήσουν σε έντονο βαθμό τους μαθητές, ιδίως για την ευαισθητοποίησή τους σχετικά με ένα θέμα. Μπορούν, επίσης, να παρέχουν περιβάλλοντα όπου οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εξασκήσουν τις γνώσεις και τις δεξιότητές τους, καθώς και να αξιοποιήσουν αυτήν την γνώση με πολλούς εναλλακτικούς τρόπους (Bellotti, at al., 2010). Οι παίχτες σκέφτονται και δρουν και μέσα από τις εμπειρίες και τις δράσεις τους μαθαίνουν να επιδιώκουν ή να αποφεύγουν τις επιπτώσεις των εναλλακτικών ενεργειών του παιχνιδιού (Shaffer, at al., 2005).

Τα σοβαρά παιχνίδια μπορούν να συνδυάσουν την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, που προσφέρει ο υπολογιστής (μέσω εξατομικευμένης διδασκαλίας, υποστήριξης και ανάπτυξης της κριτικής σκέψης), με υψηλά επίπεδα ελκυστικότητας, πρόκλησης, κινητοποίησης και εμπλοκής, που προσφέρει το παιχνίδι (Bellotti, Berta & De Gloria, 2010). Όμως, ενώ έχουν αναπτυχθεί πολλά σοβαρά παιχνίδια, η βιβλιογραφία στερείται μέχρι στιγμής από σημαντικές και εκτεταμένες δοκιμές σε χρήστες (Bellotti, at al., 2010).

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Σοβαρού Παιχνιδιού

Πρωταρχικός σκοπός των εκπαιδευτικών σοβαρών παιχνιδιών είναι η επίτευξη μαθησιακών στόχων. Υπό αυτό το πρίσμα, για να είναι αποτελεσματικά τα σοβαρά παιχνίδια, θα πρέπει ο σχεδιασμός τους να είναι πολύ προσεκτικός. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μια αναφορά για τα μοντέλα σχεδιασμού ψηφιακών παιχνιδιών, που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα.

Μοντέλα σχεδιασμού

Οι μαθησιακοί στόχοι των εκπαιδευτικών σοβαρών παιχνιδιών θα επιτευχθούν, εφόσον ενσωματωθούν στη δομή και στον σχεδιασμό των παιχνιδιών οι κατάλληλες παιδαγωγικές αρχές (Bellotti, et al., 2010; Kiili, 2005; Ryan & Charsky, 2013; Shaffer, et al., 2005). Είναι πολύ σημαντικό να ενσωματώνεται το διδακτικό περιεχόμενο στον μηχανισμό του παιχνιδιού, καθώς αυτή η ενσωμάτωση είναι, που τα κάνει να διαφέρουν από τα παιχνίδια διασκέδασης (Harteveld, et al., 2007) και τα κατατάσσει μαθησιακά αποτελεσματικά (Kiili, 2005). Για την ενσωμάτωση του διδακτικού περιεχομένου θα γίνει εκτενέστερη αναφορά παρακάτω.

Κατά κανόνα, η σχεδίαση σοβαρών παιχνιδιών είναι περισσότερο εμπειρική διαδικασία, η οποία καθορίζεται κυρίως από την τεχνική διάσταση. Σπανίως οι σχεδιαστές σοβαρών παιχνιδιών υιοθετούν κάποιο συστηματικό πρότυπο σχεδιασμού ή αντίστοιχη μεθοδολογία. Συνήθως υιοθετείται ένα γενικό μοντέλο σχεδιασμού, το οποίο περιλαμβάνει Ανάλυση, Σχεδιασμός, Ανάπτυξη, Εφαρμογή και Αξιολόγηση (Analyse, Design, Develop, Implement, and Evaluate) – ADDIE (Karasavvidis, Petrodaskalaki & Theodosiou, submitted).

Τα μοντέλα σχεδιασμού που έχουν προταθεί έως σήμερα κινούνται ανάμεσα σε δύο πόλους: των αρχών σχεδίασης παιχνιδιού και των θεωριών μάθησης. Τα μοντέλα που δίνουν μεγαλύτερη βάση στις αρχές σχεδιασμού, όπως : το **Game Object Model (GOM)** των Amory & Seagram, το μοντέλο **Document-Oriented Design and Development for Experiential Learning (DODDEL)** του McMahon, το **Design Patterns for learning games (DPF)** των Kelle, Klemke & Specht και το μοντέλο **Game-Based Learning**

Framework (GBLF) των Van Staalduinen & de Freitas δεν έχουν μια συγκεκριμένη εννοιοποίηση της μάθησης και την αντιμετωπίζουν ως κάτι αφηρημένο (Karasavvidis, at al., submitted). Μέσα από τα μοντέλα σχεδιασμού που δεν λαμβάνουν σοβαρά υπόψη την μαθησιακή διαδικασία των παιχτών, αλλά ούτε και τους τρόπους με τους οποίους ο άνθρωπος αναπτύσσεται γνωστικά, κινδυνεύουν να αναπτυχθούν παιχνίδια με αμφίβολα μαθησιακά αποτελέσματα και παιδαγωγική αξία (Bellotti, at al., 2010; Gunter, Kenny & Vick, 2006).

Από την άλλη μεριά, τα μοντέλα που δίνουν μεγαλύτερη βάση στις θεωρίες μάθησης, όπως: το **Experiential Gaming Model (EGM)** του Kiili, τα **Is** της Annetta και το **Learning Mechanics-Game Mechanics Model (LM-GM)** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για το σύνολο του έργου του σχεδιασμού παιχνιδιού ή δεν ενσωματώνουν κρίσιμα στοιχεία, όπως αφήγηση ή περιεχόμενο. Βέβαια, υπάρχουν και μοντέλα, που ενσωματώνουν ταυτόχρονα τις αρχές σχεδιασμού και τις θεωρίες μάθησης, όπως το **ARGILE model (Architecture for Representations, Games, Interactions, and Learning among Experts)** του El Mawas, τα οποία, όμως, αδυνατούν να συνδέσουν την αφήγηση, το περιεχόμενο και τη μάθηση με εκπαιδευτικά θέματα σχεδιασμού. Ακόμη, το μοντέλο **Game Discourse Analysis (GDA)** των Wouters, Oostendorp, Boonekamp και Spek εισάγει τις έννοιες της ροής των πληροφοριών, δηλαδή, τις πηγές πληροφόρησης και τον τρόπο που οι πόροι μπορούν να παρουσιαστούν στο παιχνίδι και συνδυάζει την αφήγηση με το εκπαιδευτικό περιεχόμενο, με τέτοιο τρόπο όμως, που τα χαρακτηριστικά της αφήγησης υποτάσσονται στις απαιτήσεις τις ροής των διδακτικών πληροφοριών (Karasavvidis, at al., submitted).

Παρά το γεγονός ότι όλα τα μοντέλα αποτελούν σημαντικές συνεισφορές στο πεδίο, απαιτούνται συνδυαστικές και ολιστικές εννοιοποιήσεις που να βασίζονται σ' αυτά τα μοντέλα. Από την άποψη αυτή, θα πρέπει να έρθει στο προσκήνιο η μάθηση και η σχέση της με το σχεδιασμό του παιχνιδιού, την αφήγηση, και το περιεχόμενο (Gunter, at al., 2006; Karasavvidis, at al., submitted).

Μοντέλο IGENAC - Ολιστικό μοντέλο ανάπτυξης σοβαρών παιχνιδιών

Το μοντέλο **Integrated Game Elements, Narrative, Content (IGENAC)** (Ενσωμάτωση Στοιχείων Παιχνιδιού, Αφήγησης και Περιεχομένου) επιδιώκει να συνθέσει τις διάφορες πτυχές των σχεδιαστικών προσεγγίσεων (Karasavvidis, at al., submitted):

(α) το σχεδιασμό συμβατικού παιχνιδιού, που ακολουθεί την γενική τυποποιημένη συλλογιστική σχεδιασμού: Ανάλυση, Σχεδιασμός, Ανάπτυξη, Εφαρμογή, Αξιολόγηση (Analyse, Design, Develop, Implement, and Evaluate) - ADDIE,

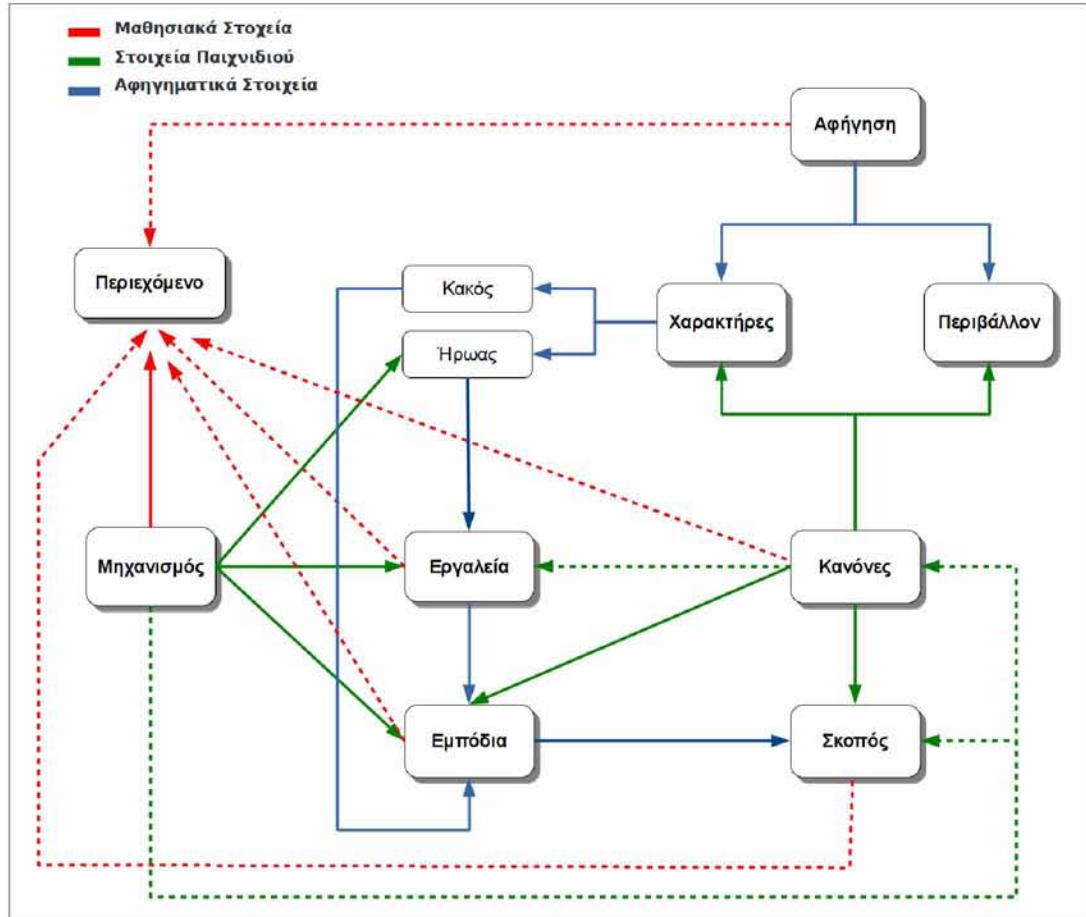
(β) με την αφήγηση, η οποία παρέχει δομημένο τρόπο εισαγωγής του παιδαγωγικού περιεχομένου στα σοβαρά παιχνίδια. Η Dickey (2006) πρότεινε ένα πλαίσιο σχεδιασμού για την ενσωμάτωση της αφήγησης σε εκπαιδευτικά παιχνίδια. Οι προτάσεις της Dickey (2006) αναφέρονται σε ορισμένα χρήσιμα αφηγηματικά στοιχεία, καθώς και στον τρόπο που μπορούν αυτά να ενσωματωθούν σε περιβάλλοντα μάθησης.

(γ) το ακαδημαϊκό περιεχόμενο, που πρέπει να ενσωματωθεί στο παιχνίδι. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι για την ενσωμάτωση ακαδημαϊκού περιεχομένου σε παιχνίδια: η εξωγενής και η ενδογενής ενσωμάτωση περιεχομένου. Στην περίπτωση της εξωγενούς ενσωμάτωσης, η αφήγηση δεν είναι σχετική με το παιχνίδι. Αντίθετα, στην περίπτωση της ενδογενούς ενσωμάτωσης, το παιχνίδι δεν μπορεί να οριστεί χωρίς την αφήγηση: το παιχνίδι και το διδακτικό περιεχόμενο είναι ισχυρά συνδεδεμένα. Η αφήγηση είναι τόσο συνδεδεμένη με το περιεχόμενο που το παιχνίδι δεν μπορεί να οριστεί ανεξάρτητα από αυτό. Ο Malone (1981) υποστήριξε ότι οι ενδογενείς φανταστικές αφηγήσεις είναι πιο ενδιαφέρουσες και διδακτικές σε σχέση με τις εξωγενείς, καθώς οι παίκτες τις βιώνουν ως συνολικές εμπειρίες παιχνιδιού και ως πιο φυσικές εμπειρίες όσο αναφορά το περιεχόμενο (Malone, 1981).

(δ) τις επιστήμες μάθησης: θεωρία και έρευνα: Το ολιστικό μοντέλο συνδέει τα συμβατικά σχεδιαστικά στοιχεία του παιχνιδιού (όπως πόροι, κανόνες, εμπόδια, και μηχανισμούς παιχνιδιού) με τα αφηγηματικά στοιχεία, καθώς και το ακαδημαϊκό περιεχόμενο (έννοιες, δεξιότητες), στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης σύλληψης της μάθησης (κοινωνικοπολιτισμική θεωρία) (Karasavvidis, at al., submitted).

Το μοντέλο εφιστά την προσοχή του σχεδιαστή στην εσωτερική ενσωμάτωση του περιεχομένου στο παιχνίδι και στην οργανική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων για την προώθηση της μάθησης. Όπως προαναφέρθηκε, ο Vygotsky (1997) θεωρεί το παιχνίδι σημαντική πηγή της γνωστικής ανάπτυξης. Το συγκεκριμένο μοντέλο υιοθετεί την *κοινωνικοπολιτισμική προσέγγιση*, η οποία προϋποθέτει ότι η διαμεσολάβηση αποτελεί θεμελιώδες εργαλείο για τη μάθηση, καθώς οι ανώτερες ψυχολογικές λειτουργίες είναι εξ ορισμού διαμεσολαβημένες από *συμβολικά εργαλεία* (Vygotsky, 1997). Στα πλαίσια αυτής της λογικής, οι πόροι του παιχνιδιού θα πρέπει να λειτουργήσουν σαν εργαλεία και να συμβάλουν στην επίλυση των εμποδίων και την επίτευξη του συνολικού στόχου, προωθώντας την εκμάθηση του περιεχομένου (Karasavvidis, at al, submitted).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, το μοντέλο παρουσιάζεται ως ένα δίκτυο αλληλοσυνδεόμενων κόμβων. Οι κόμβοι αναπαριστούν τα στοιχεία του παιχνιδιού και τα βέλη απεικονίζουν τις ενώσεις των στοιχείων του. Οι άμεσες σχέσεις υποδηλώνονται με συνεχείς γραμμές, ενώ οι έμμεσες σχέσεις αντιπροσωπεύονται από διακεκομμένες γραμμές. Επιπλέον, τα χρώμα του κάθε βέλους ομαδοποιεί τα στοιχεία στις κατηγορίες στις οποίες ανήκουν (στοιχεία ακαδημαϊκού περιεχομένου, σχεδιαστικά στοιχεία παιχνιδιού, αφηγηματικά στοιχεία) (Theodosiou & Karasavvidis, 2015).



Σχήμα 1: Διάγραμμα παρουσίασης του μοντέλο σχεδιασμού σοβαρού παιχνιδιού IGENAC (Ενσωμάτωση Στοιχείων Παιχνιδιού, Αφήγησης και Περιεχομένου).

Σχεδιασμός σοβαρού παιχνιδιού για την περιστροφική συμμετρία

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και αξιολογήθηκε πιλοτικά ένα σοβαρό παιχνίδι για τη διδασκαλία της περιστροφικής συμμετρίας. Ο βασικός λόγος επιλογής είναι το γεγονός ότι η συμμετρία δεν έχει προσεγγιστεί διαμέσου τρισδιάστατων ψηφιακών παιχνιδιών μέχρι σήμερα. Για την σχεδίαση του ψηφιακού παιχνιδιού επιλέχθηκε το ολιστικό μοντέλο σχεδιασμού IGENAC, επειδή συνδυάζει τα τυπικά στοιχεία σχεδιασμού ενός παιχνιδιού με την αφήγηση, και την εσωτερική ενσωμάτωση περιεχομένου στα πλαίσια μιας κοινωνικοπολιτισμικής θεώρησης. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί:

- επεξηγούνται με περισσότερες λεπτομέρειες οι λόγοι, που ώθησαν στην επιλογή του ψηφιακού παιχνιδιού ως μέσω διδασκαλίας,
- περιγράφεται η έννοια της περιστροφικής συμμετρίας
- και αναλύονται οι δυσκολίες των μαθητών παιδικής ηλικίας με την διαδικασία της περιστροφής και οι απαραίτητοι τρόποι διδακτικής παρέμβασης για την ανάπτυξη των χωρικών ικανοτήτων που σχετίζονται με τη συμμετρία.

Διδακτική προσέγγιση της περιστροφικής συμμετρίας μέσω ψηφιακού παιχνιδιού

Τα εμπλουτισμένα περιβάλλοντα οπτικοποίησης και φαντασίας, που σχεδιάστηκαν από ερευνητές, είχαν ουσιαστικά αποτελέσματα στην βελτίωση των χωρικών ικανοτήτων των μαθητών. Αυτό οφείλεται στην άμεση και συνεχή διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων, που επιτρέπουν οι Νέες Τεχνολογίες (Turgut & Uygan, 2015), αν ληφθεί υπόψιν το γεγονός ότι η συνεχής δυναμική οπτικοποίηση, φέρει καλύτερα αποτελέσματα στην ικανότητα των μαθητών στις έννοιες της γεωμετρίας των μετασχηματισμών και στην ικανότητα αντίληψης των εννοιών του χώρου (Xistouri, 2013).

Πιο συγκεκριμένα, τα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης, που σχεδιάστηκαν με σκοπό την ανάπτυξη χωρικών ικανοτήτων είχαν θετικές συνέπειες για τις νοητικές

περιστροφές (Yurt & Sunbul, 2012). Η Xistouri (2007), αφού μελέτησε την ικανότητα ανταπόκρισης των μαθητών Δ', Ε' και Στ' Δημοτικού σε έργα αξονικής συμμετρίας με μολύβι και χαρτί, πρότεινε την περαιτέρω έρευνα του φαινομένου με χρήση υπολογιστικού περιβάλλοντος κατά τη διδασκαλία της συμμετρίας. Ακόμη, οι Turgut και Uygan (2015) επικεντρώθηκαν στην βελτίωση των νοητικών περιστροφικών ικανοτήτων σε δισδιάστατα (2Δ) μοντέλα και προτείνουν την περαιτέρω έρευνα με ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης για τρισδιάστατα (3Δ) μοντέλα. Άλλωστε, τα 3Δ μοντέλα, τα οποία χειρίζονται οι μαθητές, τους βοηθούν να εσωτερικεύσουν την έννοια της συμμετρίας (Enbuomwan, 2013).

Ο Freudenthal (στο Enbuomwan, 2013) υποστηρίζει πως η γεωμετρική κατάρτιση θα πρέπει να αρχίσει από 3Δ αντικείμενα και στη συνέχεια να προχωρήσει σε 2Δ αντικείμενα. Επίσης, η Gibbon (στο Knuchel, 2004) προτείνει δραστηριότητες περιστροφών με χρήση λογισμικών δυναμικής γεωμετρίας, διότι θεωρεί πως οι υπολογιστές διαδραματίζουν ενεργητικό ρόλο στην ανάπτυξη περιστροφικών ικανοτήτων και δίνουν την δυνατότητα στους μαθητές να 'χτίσουν' επάνω στην προηγούμενη γνώση τους για την περιστροφή και να προεκτείνουν τις ικανότητές τους με αυτοπεποίθηση και ευχαρίστηση.

Γενικά, η ανάπτυξη των χωρικών ικανοτήτων στα παιδιά επιτυγχάνεται μέσα από συνεχείς εμπειρίες χειρισμού των εργαλείων και τη διερεύνηση των ιδιοτήτων τους. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση του Knuchel (2004) πάνω στις μελέτες για την αποτελεσματικότητα των λογισμικών δυναμικής γεωμετρίας προωθεί την άποψη πως τα παιδιά μαθαίνουν πιο αποτελεσματικά για το χώρο και τα σχήματα μέσα από τη ενασχόλησή τους με χειρισμούς αντικειμένων στο υπολογιστή. Σε πολλές περιπτώσεις και ανάλογα με τους διδακτικούς σκοπούς τα αντικείμενα χειρισμού στον υπολογιστή είναι πιο ευέλικτα σε σχέση με τα φυσικά αντικείμενα. Ακόμη, χρησιμοποιώντας λογισμικά δυναμικής γεωμετρίας δίνεται στους μαθητές μια εμπειρία (ως αποτέλεσμα δράσης), που τους επιτρέπει να οπτικοποιήσουν τη σκέψη τους, να μπορούν να κατανοήσουν τι συμβαίνει στο μυαλό τους και να αντιληφθούν πώς να εφαρμόσουν αυτή την κατανόηση στις έννοιες των μαθηματικών (Knuchel, 2004).

Έτσι, επιλέχθηκε να σχεδιαστεί και να αναπτυχθεί ένα ψηφιακό παιχνίδι, επειδή προσφέρει τον τρισδιάστατο κόσμο με τη δυνατότητα χειρισμού των αντικειμένων, την διερεύνηση ιδιοτήτων, την κατανόηση εννοιών και διαδικασιών περιστροφής με άμεση ανατροφοδότηση και ταυτόχρονη ανάπτυξη νοητικών περιστροφών.

Περιεχόμενο παιχνιδιού

Διδακτικό περιεχόμενο του σοβαρού παιχνιδιού αποτελεί η περιστροφική συμμετρία.

Μορφές και χρήση της συμμετρίας

Θεωρείται πως η αποτελεσματική διδασκαλία της συμμετρίας δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να μελετήσουν και να κατανοήσουν τη Γεωμετρία, τη Φυσική, τη Χημεία, τη Μουσική, τη Γεωγραφία και άλλα γνωστικά αντικείμενα (Bagirova, 2012). Επίσης, η κατανόηση της συμμετρίας περιέχει τις βάσεις για την ανάπτυξη της στρατηγικής επίλυσης προβλημάτων (El-Dosuky, Rashad, Hamza & EL-Bassiouny, 2012).

Η συμμετρία στα Μαθηματικά ορίζεται ως μια εσωτερική ιδιότητα ενός μαθηματικού αντικειμένου, η οποία το κάνει να παραμένει αναλλοίωτο από την επίδραση κάποιων μετασχηματισμών (Gkyka, 1946), όπως της περιστροφής, της ανάκλασης και της μετατόπισης, που γίνονται αντιληπτοί από τους ανθρώπους (Wagemans, 1997). Πριν και μετά τον μετασχηματισμό του, το αντικείμενο διατηρεί τις γεωμετρικές του ιδιότητες και το τελικό προϊόν ταυτίζεται με το αρχικό. Η διαδικασία του μετασχηματισμού απαιτεί την ένα-προς-ένα αντιστοίχιση των στοιχείων των δύο αντικειμένων, σύμφωνα με τη διαδικασία του συγκεκριμένου μετασχηματισμού.

Ο τύπος του μετασχηματισμού, στον οποίο υπόκεινται τα αντικείμενα, καθορίζει την μορφή της συμμετρίας, ανάμεσα από τις παρακάτω: α) τη μεταβατική συμμετρία (μετακίνηση/μετατόπιση ενός αντικειμένου χωρίς να το περιστρέψουμε ή να το καθρεφτίσουμε), β) την περιστροφική συμμετρία (στρέψη ενός αντικειμένου με κάποια επιλεγμένη γωνία και κέντρο περιστροφής) και γ) την κατοπτρική ή αξονική συμμετρία (προβολή της εικόνας του αντικειμένου σαν σε καθρέπτη). Υπάρχουν επίσης και πιο

σύνθετες μορφές συμμετρίας, όπως δ) η ολισθαίνουσα κατοπτρική (που είναι ουσιαστικά συνδυασμός καθρεφτισμού και μεταφοράς κατά μήκος του άξονα), αλλά και πιο σύνθετοι συνδυασμοί των προηγούμενων (Giannouli, 2013).

Χωρική ικανότητα

Οι γεωμετρικοί μετασχηματισμοί έχουν σχετιστεί με την χωρική ικανότητα (Clements & Battista, 1992). Η ικανότητα αντίληψης των εννοιών του χώρου αποτελούν παράγοντα πρόβλεψης της γεωμετρικής ικανότητας των μαθητών (Πιττάλης, Μουσουλίδης, Χρίστου, 2006). Στην έρευνα της Χιστούρι (2013) βρέθηκε ότι η ικανότητα στις έννοιες της γεωμετρίας των μετασχηματισμών και η ικανότητα αντίληψης των εννοιών του χώρου μπορούν να θεωρηθούν διακριτές διαστάσεις μιας ευρύτερης ικανότητας. Οι αναπαραστάσεις των μετασχηματισμών βασίζονται σε χωρο-αντιληπτικούς συλλογισμούς και στην χωρο-αντιληπτική νοημοσύνη του Gardner, η οποία στηρίζει την ικανότητα του ατόμου να αντιλαμβάνεται και να μεταβιβάζει το όλο ενός αντικειμένου ως μορφολογική οργάνωση της πραγματικότητας και όχι ως τη λογικο-μαθηματική οργάνωσή της (Τσαούσης, 2008).

Η **χωρική ικανότητα** ορίζεται ως η ικανότητα του ατόμου να αναπαριστά νοητικές εικόνες και να χειρίζεται αυτές τις εικόνες στο μυαλό (Lean & Clements, 1981). Οι Lean και Clements (1981) έχουν συνδέσει την χωρική ικανότητα με την κατανόηση της συμμετρίας και με την επίδοση στα Μαθηματικά, και πρότειναν δύο βασικά συστατικά της χωρικής ικανότητας: την χωρική οπτικοποίηση και τον χωρικό προσανατολισμό. Κατά τη διδασκαλία της συμμετρίας πρέπει οι μαθητές να εξασκήσουν **τη χωρική οπτικοποίηση** (spatial visualization), δηλαδή την νοητική αναπαράσταση αντικειμένων κατά τους μετασχηματισμούς τους, και ταυτόχρονα θα πρέπει να αναπτύξουν **τον χωρικό τους προσανατολισμό** (spatial orientation), δηλαδή τον τρόπο νοητικής αναπαράστασης ενός αντικειμένου, όταν το βλέπουν από διαφορετική οπτική γωνία. Η διαφορά βρίσκεται στην αλλαγή της θέσης (ή του προσανατολισμού) του αντικειμένου στην μια περίπτωση και του παρατηρητή στην άλλη (Clements, 1999; Xistouri & Pitta-Pantazi, 2006).

Νοητική περιστροφή

Ένας άλλος διαχωρισμός, ο οποίος προτάθηκε από τον Lohman (στο Τσαούσης, 2008), θέλει την χωρική ικανότητα να απαρτίζεται από τρία βασικά συστατικά: α) τον σχηματισμό νοερών εικόνων (Visualization), που ταυτίζεται με την χωρική οπτικοποίηση, β) τον χωρικό προσανατολισμό και γ) τις χωρικές σχέσεις (Spatial Relations). Οι χωρικές σχέσεις περιλαμβάνουν τις νοητικές περιστροφές αντικειμένων (mental rotation), κατά τις οποίες δισδιάστατα (2Δ) ή τρισδιάστατα (3Δ) σχήματα περιστρέφονται νοερά (Τσαούσης, 2008). Οι χωρικές σχέσεις απαιτούν υψηλότερη ικανότητα νοητικών χειρισμών με υψηλότερη ταχύτητα από αυτήν που απαιτεί η χωρική οπτικοποίηση ή ο χωρικός προσανατολισμός (Olkun, 2003).

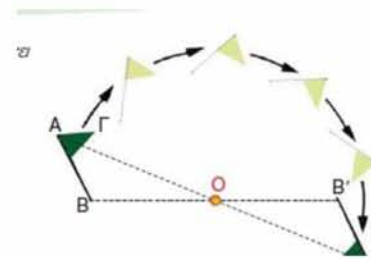
Η μελέτη των Shepard και Metzler (1971) έχει αποδείξει την ύπαρξη των νοητικών περιστροφών ως ασυνείδητο εργαλείο των ατόμων σε περιπτώσεις ενασχόλησης με έργα περιστροφής. Σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα ο ανθρώπινος εγκέφαλος εκτελεί κινήσεις νοερά, φαντάζεται αντικείμενα και τα διατηρεί νοητικά περιστραμμένα για μικρό χρονικό διάστημα μέχρι να δώσει απάντηση σε ερωτήματα περιστροφών. Την ύπαρξη των νοητικών περιστροφών αποδεικνύουν ρομπότ ειδικά σχεδιασμένα με αισθητηριο-κινητική κωδικοποίηση, τα οποία είχαν καλές επιδόσεις σε τεστ περιστροφών (Seeranomwan, Caligiore, Baldassarra, & Cangelosi, 2013). Ακόμη, οι περιστροφές που γίνονται νοητικά φέρουν τα αντικείμενα ολόκληρα, ως ενιαίες μονάδες, χωρίς να αναλύονται σε επιμέρους κομμάτια (Shepard & Metzler, 1971), κάτι που διαφέρει από την αναλυτική μέθοδο περιστροφής σύμφωνα με τους κανόνες των σχολικών βιβλίων.

Η έννοια της περιστροφικής συμμετρίας στα σχολικά βιβλία

Η έννοια της συμμετρίας ως προς σημείο (περιστροφική συμμετρία), αποτελούν μέρος των συμμετρικών μετασχηματισμών, οι οποίοι εντάσσονται μέσα στα πλαίσια της Γεωμετρίας. Η έννοια της περιστροφικής συμμετρίας εντάσσεται για πρώτη φορά στη Γεωμετρία της Α΄ Γυμνασίου.

Ορισμός

Συμμετρικό σημείο A ως προς κέντρο O , είναι το σημείο A' , το οποίο συμπίπτει το A , αν περιστραφεί περί του O κατά 180° (Εικόνα 2).

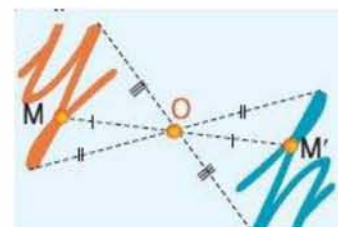


Εικόνα 2: Περιστροφή αντικειμένου γύρω από σημείο.

Άρα, δύο σημεία M και M' είναι συμμετρικά ως προς σημείο O , όταν το O είναι μέσο του τμήματος MM' (Εικόνα 3).

Σχεδίαση συμμετρικού σημείου ως προς κέντρο (σημείο)

Για να βρεθεί στο επίπεδο χαρτί (όπου δεν μπορούμε να κάνουμε περιστροφή) το συμμετρικό ενός σημείου ως προς το O , ενώνουμε το σημείο με το O και προεκτείνουμε κατά ίσο τμήμα.



Εικόνα 3: Διαδικασία έρευνας συμμετρικού ενός σημείου ως προς το κέντρο O .

Η διδασκαλία της περιστροφικής συμμετρίας στην παιδική ηλικία

Το 1989 το συμβούλιο του National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) άλλαξε τις απόψεις και αύξησε το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών για την Γεωμετρία. Η ανανεωμένη έκδοση του Principles and Standards for school Mathematics (Αρχές και Στάνταρ για τα Σχολικά Μαθηματικά) του NCTM του 2000 περιγράφει τους στόχους και το περιεχόμενο της Γεωμετρίας σε όλες τις σχολικές τάξεις. Ένας από τους τέσσερις στόχους της Γεωμετρίας έχει τον τίτλο “Μετασχηματισμοί” και περιλαμβάνει τη μελέτη μεταφράσεων, ανακλάσεων και περιστροφών και τη μελέτη της συμμετρίας (Van de Walle, 2007, σελ 516). Οι γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί μπορούν να οδηγήσουν τους μαθητές στη διερεύνηση της συμμετρίας, της ομοιότητας και του παραλληλισμού, και μπορεί να εμπλουτίσει την φαντασία και τη σκέψη τους, ενισχύοντας έτσι τις χωρικές τους ικανότητες (Enbuomwan, 2013).

Επίπεδα Γεωμετρικής Σκέψης κατά Van Hiele

Η ανάπτυξη της γεωμετρικής κατανόησης συμβαδίζει με το πέρασμα από την άτυπη στην τυπική σκέψη. Σύμφωνα με τη θεωρία του van Hiele, η γεωμετρική σκέψη

είναι ιεραρχημένη σε πέντε επίπεδα (0 έως 4) των τρόπων κατανόησης των ιδεών του χώρου και η εκπαίδευση είναι απαραίτητη για την πρόοδο μέσα σε αυτά τα επίπεδα (Clements, 1999).

Επίπεδο 0: Νοερή Απεικόνιση

Αντικείμενο σκέψης στο επίπεδο 0 είναι τα σχήματα και η μορφή τους. Προϊόντα της σκέψης στο επίπεδο 0 είναι οι κατατάξεις ή οι ομαδοποιήσεις των σχημάτων που φαίνονται όμοια. Οι μετασχηματισμοί σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνουν μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες των γλιστρημάτων, των διπλώσεων και των περιστροφών, καθώς και την ανάπτυξη της αξονικής και της περιστροφικής συμμετρίας.

Επίπεδο 1: Ανάλυση

Αντικείμενο σκέψης στο 1^ο επίπεδο είναι η κατάταξη σχημάτων με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Προϊόντα της σκέψης στο επίπεδο 1 είναι οι ιδιότητες των σχημάτων, όπως η συμμετρία και οι γωνίες.

Επίπεδο 2: Άτυπα Συμπεράσματα

Τα αντικείμενα της σκέψης στο 2^ο επίπεδο είναι οι ιδιότητες των σχημάτων. Τα προϊόντα της σκέψης στο 2^ο επίπεδο είναι οι σχέσεις ανάμεσα στις ιδιότητες των σχημάτων.

Επίπεδο 3: Συμπεράσματα

Αντικείμενο της σκέψης στο 3^ο επίπεδο είναι οι σχέσεις ανάμεσα στις ιδιότητες των γεωμετρικών σχημάτων και προϊόντα της σκέψης είναι συμπερασματικά αξιωματικά συστήματα για τη γεωμετρία.

Επίπεδο 4: Μαθηματική αυστηρότητα

Τα αντικείμενα της σκέψης στο 4^ο επίπεδο είναι τα συμπερασματικά αξιωματικά συστήματα για τη γεωμετρία και προϊόντα είναι οι συγκρίσεις και οι αντιπαραθέσεις ανάμεσα στα διαφορετικά αξιωματικά συστήματα για τη γεωμετρία (Van de Walle, 2007).

Ο Van de Walle (2007) προτείνει οι δραστηριότητες για τους μαθητές της Γ', Δ' και Ε' Δημοτικού να κυμαίνονται ανάμεσα στο επίπεδο 0 και 1, ενώ οι δραστηριότητες

για τους μαθητές της ΣΤ΄ Δημοτικού μέχρι της Β΄ Γυμνασίου να κυμαίνονται ανάμεσα στο 1^ο και το 2^ο επίπεδο γεωμετρικής σκέψης. Επειδή το παιχνίδι σχεδιάστηκε για παιδιά Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού, οι δραστηριότητες του παιχνιδιού και των φύλλων εργασίας βασίστηκαν στο 1^ο επίπεδο γεωμετρικής σκέψης του van Hiele.

Δραστηριότητες μετασχηματισμών για τα παιδιά του επιπέδου 1

Σε αυτό το επίπεδο τα παιδιά αρχίζουν να αναλύουν τους μετασχηματισμούς με περισσότερες λεπτομέρειες και να τους εφαρμόζουν σε πράγματα που μπορούν να δουν. Συγκεκριμένα, για την περιστροφική συμμετρία, μπορούν να εξασκηθούν στην περιστροφή σχημάτων, 180° γύρω από ένα σημείο σε τετραγωνισμένο χαρτί (Van de Walle, 2007).

Δυσκολίες και παρανοήσεις σε έργα περιστροφής

Η γνώση των παιδιών σχολικής ηλικίας και η επίδοσή τους ποικίλλει σε διαφορετικού τύπου και βαθμού δυσκολίας έργα, τα οποία εξετάζουν οπτικούς μετασχηματισμούς (Xistouiri, 2007). Στον μετασχηματισμό της μεταφοράς συναντώνται λιγότερες δυσκολίες σε σχέση με την δίπλωση και την περιστροφή (Enbuomwan, 2013; Xistouiri, 2013). Μαθητές 12 και 13 ετών φάνηκαν να δυσκολεύτηκαν λιγότερο στην περιστροφή σε σχέση με την ανάκλαση, όταν ήρθαν σε επαφή με έργα συμμετρίας και σε τεστ αξιολόγησης (Saad & Edwards, 1997). Αντίθετα, επίσημα στοιχεία της Εξεταστικής Επιτροπής του Λεσόθο (Examination council of Lesotho) στην Νότια Αφρική, δείχνουν πως οι μαθητές του Λεσόθο το 2009 είχαν χαμηλότερες επιδόσεις στην περιστροφή, αν συγκριθούν με τις επιδόσεις τους στις άλλες μορφές μετασχηματισμών. Οι μαθητές δείχνουν να ξέρουν την αλγεβρική σημασία της περιστροφής, αλλά φαίνεται να μην κατανοούν την γεωμετρική σημασία της (Enbuomwan, 2013). Επίσης, αντιμετωπίζουν μεγάλη δυσκολία σε έργα που απαιτούν μετασχηματισμό με διαγώνιο προσανατολισμό, ενώ τα καταφέρνουν καλύτερα σε έργα με κάθετο ή οριζόντιο προσανατολισμό (Enbuomwan, 2013; Mhlolo & Schafer, 2013; Xistouiri, 2007). Η χαμηλή επίδοση των μαθητών 9 έως 13 ετών σε έργα μετασχηματισμών φαίνεται να οφείλεται στην

υποανάπτυκτη ικανότητας διατήρησης του μήκους σε μια ηλικία στην οποία θα έπρεπε να κατέχουν αυτήν την ικανότητα (Evnbuomwan, 2013).

Γενικά, η αίσθηση του χώρου και οι επιδόσεις σε χωρικά ζητήματα αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου, μέσα από πλούσιες γεωμετρικές εμπειρίες με τα σχήματα και τις σχέσεις στο χώρο (Clements & Battista, 1992; Olkun, 2003; Van de Walle, 2007). Η δυνατότητα περαιτέρω εξοικείωσης παιδιών προσχολικής και σχολικής ηλικίας με την έννοια της συμμετρίας, μπορεί να γίνει είτε ενθαρρύνοντας το παιδί να παρατηρήσει διάφορα αντικείμενα τα οποία έχουν κατασκευαστεί με βάση τη συμμετρία (κεντήματα, κεραμικά, κοσμήματα κλπ.) (Τζεκάκη & Χριστοδούλου, 2004), είτε με πραγματικές πράξεις όπως είναι το καθρέφτισμα, το δίπλωμα ή η περιστροφή (Τζεκάκη, 1996).

Ψηφιακό παιχνίδι για την περιστροφική συμμετρία

Τα ψηφιακά παιχνίδια γίνονται χώρος μελέτης των φαινομένων, όπου οι μαθητές μπορούν να συνδέσουν τις οπτικές αναπαραστάσεις, που τους προσφέρονται με λεκτικές πληροφορίες και με κινούμενα, δυναμικά μοντέλα (Clements, 1999). Μέσα στον τρισδιάστατο κόσμο των ψηφιακών παιχνιδιών υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής των αντικειμένων για την ανάπτυξη των χωρικών ικανοτήτων και των νοητικών περιστροφών και για τη σύνδεση τους με την έννοια και τα έργα της περιστροφικής συμμετρίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα εκπαιδευτικό σοβαρό παιχνίδι, το οποίο προωθεί την ανάπτυξη της δεξιότητας εύρεσης συμμετρικού σχήματος ως προς κέντρο μέσω της δημιουργίας ορθών νοητικών αναπαραστάσεων για την περιστροφική συμμετρία και την ανάπτυξη των νοητικών περιστροφών του παρατηρητή (παίχτη). Σκοπός της εργασίας είναι να προσφέρει ένα εναλλακτικό μαθησιακό και ψυχαγωγικό περιβάλλον υποστηριζόμενο από την τεχνολογία για την κατανόηση της έννοιας της συμμετρίας ως προς ένα σημείο από μαθητές των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού.

Σχεδιασμός του ψηφιακού παιχνιδιού

Ο σχεδιασμός του ψηφιακού παιχνιδιού διήρκεσε 8 μήνες. Οι 5 από αυτούς τους μήνες χρειάστηκαν, για να προσδιοριστεί πλήρως το σενάριο του παιχνιδιού και να ενσωματωθεί το διδακτικό περιεχόμενο στην αφήγηση με βάση την κοινωνικοπολιτισμική θεωρία μάθησης. Στους επόμενους 3 μήνες έγινε η προσπάθεια σύνδεσης όλων των στοιχείων του παιχνιδιού με τον μηχανισμό του παιχνιδιού. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα τελικά αποτελέσματα, που προέκυψαν από την διαδικασία του σχεδιασμού.

Στοιχεία παιχνιδιού

Σενάριο: Το 2030 τα ρομπότ έχουν μπει στην καθημερινότητα των ανθρώπων, για διάφορους σκοπούς. Ο Μέγκαχαντ είναι ένα αγοράκι ρομπότ σε νεαρή ηλικία, που κατασκευάστηκε από τον καθηγητή Σύμμετρους, με σκοπό να γίνει οικιακός βοηθός της οικογένειας Πέτρου στην πόλη Περιτροφίνα. Ο Μέγκαχαντ έχει ασύμμετρο σώμα, καθώς το ένα χέρι του είναι μεγαλύτερο από το άλλο. Αυτό συνέβη, επειδή η οικογένεια ήθελε βοήθεια στις δύσκολες και βαριές χειρωνακτικές εργασίες του σπιτιού, αλλά η οικονομική τους κατάσταση δεν τους επέτρεπε να αποκτήσουν ένα ρομπότ, που να είχε όλα του τα μέλη ισχυρά. Με τον καιρό ο Μέγκαχαντ έγινε μέλος της οικογένειας και με δική του ισχυρή θέληση πηγαίνει πλέον στο σχολείο. Βαθιά του επιθυμία είναι να γίνει κι αυτός ένα παιδί, όπως τα άλλα.

Τις τελευταίες μέρες ο Μέγκαχαντ έχει αρχίσει να νιώθει ντροπή για το ασύμμετρο σώμα του. Γι' αυτό και συζητώντας με την Έλλη, την έφηβη κόρη της οικογένειας Πέτρου, παίρνει την απόφαση να βρει τον κατασκευαστή του, τον καθηγητή Σύμμετρους και να τον παρακαλέσει να τον κάνει συμμετρικό. Ο κύριος και η κυρία Πέτρου δεν θέλουν να χάσουν τη βοήθεια, που τους προσφέρει το δυνατό χέρι του Μέγκαχαντ, αλλά δεν μπορούν να τον βλέπουν στενοχωρημένο. Γι' αυτό του δίνουν τις ράβδους και τα κυβάκια, που θα χρειαστεί, ώστε να φτάσει στο εργαστήριο του καθηγητή Σύμμετρους, στη Χώρα της Συμμετρίας.

Σκοπός του παιχνιδιού: Ο παίχτης καλείται να βοηθήσει τον Μέγκαχαντ να διασχίσει τη θάλασσα, περνώντας από νησί σε νησί, ώστε να φτάσει στο εργαστήρι του Καθηγητή Σύμμετρους και να γίνει συμμετρικός.

Έννοιες και μαθησιακοί στόχοι: Τελικός σκοπός του παιχνιδιού είναι οι μαθητές να μπορούν να χρησιμοποιούν την περιστροφή, για να μετασχηματίζουν σχήματα, όταν τους δίνεται το κέντρο συμμετρίας, οι μοίρες (180) και το σχήμα (Επίπεδο I γεωμετρικής σκέψης). Το παιχνίδι αποσκοπεί στην ανάπτυξη της δεξιότητας εύρεσης του συμμετρικού ως προς σημείο ενός σχήματος από μαθητές της Ε΄ και της ΣΤ΄ τάξης του Δημοτικού.

Μέσα από τα εμπόδια που καλείται να περάσει ο Μέγκαχαντ, οι μαθητές έρχονται σε επαφή με την περιστροφική συμμετρία και αναπτύσσουν αναπαραστάσεις νοητικής περιστροφής. Σε πρώτο επίπεδο, α) εκτιμούν το μήκος που πρέπει να έχει η ράβδος για να ενώσει το νησί με το κέντρο συμμετρίας και β) καλούνται να φανταστούν την περιστροφή που θα κάνει το κυβάκι, έτσι ώστε να κουμπώσει στην θήκη που βρίσκεται στο απέναντι νησί (στο νησί στόχο). Στο δεύτερο επίπεδο, προστίθεται ένα ακόμη σκοπός, ο οποίος είναι να συνδέσουν την περιστροφική συμμετρία με την περιστροφή 180° των αντικειμένων γύρω από ένα σημείο.

Χαρακτήρες

Καθηγητής Σύμμετρους

Ο καθηγητής Σύμμετρους είναι ένας δημοφιλής μηχανικός, ο οποίος κατασκεύασε ένα ρομπότ για την οικογένεια Πέτρου και ο ίδιος το ονόμασε Μέγκαχαντ. Ο καθηγητής οδήγησε τον Μέγκαχαντ στην οικογένεια, αλλά τους είπε ότι αν τον χρειαστούν, θα πρέπει να τον επισκεφθούν στον κόσμο της συμμετρίας. Τους έδωσε τα εργαλεία που θα τους βοηθήσουν να περάσουν τη μεγάλη θάλασσα από νησί σε νησί. Ο ίδιος είναι πολύ απασχολημένος, και έτσι δεν μπορεί να κάνει και πάλι ένα τόσο δύσκολο ταξίδι.

Λίζα

Η Λίζα (Εικόνα 6) είναι η έφηβη μοναχοκόρη της οικογένειας Πέτρου και τα πηγαίνει πολύ καλά με τον Μέγκαχαντ (Εικόνα 4). Φαίνονται σαν να είναι αδέρφια. Ο Μέγκαχαντ της λέει το πρόβλημά του για το ασύμμετρο σώμα του και εκείνη του προτείνει να επισκεφτεί τον καθηγητή Σύμμετρου, ο οποίος μπορεί να κάνει τις σωστές αλλαγές στο σώμα του ρομπότ. Αλλά πρώτα πρέπει να πάρουν την άδεια των γονέων.

Γονείς, ο κύριος και η κυρία Πέτρου (μαμά και μπαμπάς)

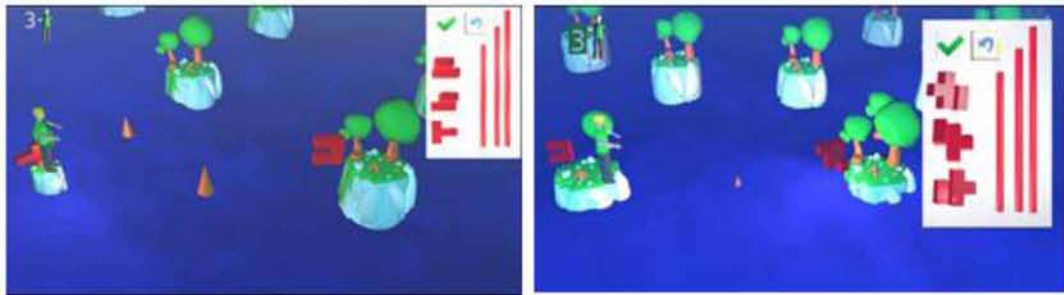
Ο κύριος και η κυρία Πέτρου (Εικόνες 5, 7) αποφάσισαν να πάρουν ένα ρομπότ ως βοηθός στο σπίτι, λόγω των απαιτητικών εργασιών τους. Δεν μπορούσαν να διαθέσουν πολλά χρήματα, για να λάβουν ένα ισχυρό ρομπότ, έτσι ζήτησαν από τον καθηγητή Σύμμετρου να κατασκευάσει ένα ρομπότ με το ένα μόνο χέρι του ισχυρό. Ο Μέγκαχαντ τους ζητάει να επισκεφθεί τον καθηγητή, έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει συμμετρικός και εκείνοι του δίνουν τα εργαλεία που θα ήταν αναγκαία για να περάσει τη μεγάλη θάλασσα στον κόσμο της συμμετρίας.



Εικόνα 4, 5, 6, 7: Ο Μέγκαχαντ, ο κύριος Πέτρου, η Λίζα και η κυρία Πέτρου.

Προοπτική: Το παιχνίδι είναι προοπτικής τρίτου προσώπου. Η κάμερα αλλάζει θέση, καθώς ο Μέγκαχαντ περνάει από το ένα νησί στο επόμενο. Η κάμερα βρίσκεται πάντα στην μεσοκάθετη της ευθείας, που ενώνει τα δύο νησιά (το νησί που βρίσκεται ο

Μέγκαχαντ και το απέναντι νησί στο οποίο σκοπεύει να περάσει) και ο προσανατολισμός της σχηματίζει γωνία 60 μοιρών με τον κάθετο άξονα του κόσμου (Εικόνα 8). Αυτή η θέση είναι κατάλληλη, ώστε να εκτιμάται καλύτερα το απαραίτητο μήκος της ράβδου και για να παρατηρούνται με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι θήκες των κύβων και η περιστροφή της ράβδου.



Εικόνα 8: Η κάμερα βρίσκεται στη μεσοκάθετη που ενώνει τα δύο νησιά και σχηματίζει γωνία 60° με τον κάθετο άξονα.

Διεπαφή: Η διεπαφή του παιχνιδιού περιλαμβάνει το πληκτρολόγιο, το ποντίκι και την οθόνη του υπολογιστή. Στο πρώτο μέρος του παιχνιδιού ο παίχτης επιλέγει το κυβάκι και τη ράβδο με το κατάλληλο μήκος με το ποντίκι και αυτά εμφανίζονται στην οθόνη. Μετά αν θέλει να αλλάξει την ράβδο ή το κυβάκι που επέλεξε, πατάει το κουμπί της αναίρεσης (Εικόνα 9) και τα επιλεγμένα αντικείμενα εξαφανίζονται από την οθόνη. Αν ο παίχτης είναι σίγουρος για την επιλογή του, πατάει το κουμπί της επιβεβαίωσης (Εικόνα 10), για να ελέγξει την απάντησή του. Στο δεύτερο μέρος του παιχνιδιού προστίθενται και οι μοίρες. Ο παίχτης επιλέγει, όπως προηγουμένως τη ράβδο και τον κύβο και στην συνέχεια με το δεξί βελάκι περιστρέφει το κυβάκι, τη ράβδο και τον Μέγκαχαντ 45° για κάθε κλικ. Οι μοίρες περιστροφής εμφανίζονται στο πάνω μέρος της οθόνης, που λειτουργεί αθροιστικά, δηλαδή 90° στο δεύτερο κλικ, 135° στο τρίτο, κ. ο. κ. Τα κουμπιά της αναίρεσης και της επιβεβαίωσης λειτουργούν, όπως και στο πρώτο μέρος του παιχνιδιού.



Εικόνα 10: Το κουμπί της επιβεβαίωσης.



Εικόνα 11: Το κουμπί της αναίρεσης.

Αναλυτικός σχεδιασμός

Εισαγωγή: Στην αρχή του παιχνιδιού παρατίθεται ένα βίντεο, το οποίο θα εισάγει τα παιδιά στην ιστορία και θα περιγράφει τις οδηγίες του παιχνιδιού.

Βίντεο: Στην πρώτη σκηνή δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για τον Μέγκαχαντ μέσα από μία αφήγηση. Γίνεται γνωστό πως ο Μέγκαχαντ είναι ρομπότ, που κατασκευάστηκε από τον καθηγητή Σύμμετρος με το ένα του χέρι μεγαλύτερο από το άλλο. Στη συνέχεια ο Μέγκαχαντ συζητά με την Έλλη, την μοναχοκόρη της οικογένειας Πέτρου, για το πρόβλημά του. Ο Μέγκαχαντ στεναχωριέται για το ασύμμετρο σώμα του και θέλει να το αλλάξει. Η Έλλη του λέει πως αν αλλάξει το σώμα του, τότε θα χάσει το δυνατό του χέρι. Επίσης, τον διαβεβαιώνει πως στην ίδια αρέσει το ασύμμετρο σώμα του Μέγκαχαντ. Όμως, ο Μέγκαχαντ έχει πάρει την απόφασή του και της ανακοινώνει αυτό που σκέφτηκε. Θέλει να πάει στον καθηγητή που τον κατασκεύασε, για να τον κάνει συμμετρικό. Η Έλλη υπενθυμίζει στον Μέγκαχαντ πως πρέπει να πάρει την άδεια των γονέων της, για να πάει να βρει τον καθηγητή κι εκείνος πηγαίνει να συζητήσει το πρόβλημά του μαζί τους.

Στην δεύτερη σκηνή ο Μέγκαχαντ ανακοινώνει στον κύριο και την κυρία Πέτρου το πρόβλημά του για το ασύμμετρο σώμα του και την ανάγκη του να γίνει συμμετρικός. Τους ζητάει να του δείξουν τον δρόμο για το εργαστήρι του καθηγητή. Ο κύριος Πέτρου τον ενημερώνει πως η διαδρομή προς το εργαστήρι είναι πολύ δύσκολη και η κυρία Πέτρου ανησυχεί πολύ. Ο Μέγκαχαντ επιμένει και προσπαθεί αν τους πείσει. Ο κύριος και η κυρία Πέτρου δεν θέλουν να χάσουν τη βοήθεια που τους προσφέρει το δυνατό χέρι του Μέγκαχαντ αλλά δεν θέλουν να τον βλέπουν στενοχωρημένο. Έτσι του δίνουν τα εργαλεία, που άφησε ο καθηγητής Σύμμετρος σε περίπτωση που χρειαστεί να τον επισκεφθούν. Ο κύριος και η κυρία Πέτρου δίνουν τις οδηγίες του παιχνιδιού για τον τρόπο που πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι ράβδοι και τα κυβάκια και τον αποχαιρετούν.

Επίπεδα: Στο πρώτο μέρος του παιχνιδιού τα παιδιά έρχονται σε επαφή με την περιστροφή χωρίς αναφορά σε μοίρες και στο δεύτερο μέρος του παιχνιδιού προστίθενται και οι μοίρες περιστροφής.

Μαθησιακοί στόχοι: Στόχοι στο πρώτο μέρος του παιχνιδιού είναι οι μαθητές α) να εκτιμούν το μήκος που πρέπει να έχει η ράβδος για να ενώσει το νησί με το κέντρο συμμετρίας και β) να σκέφτονται νοητικά την περιστροφή που θα κάνει το κυβάκι, έτσι ώστε να κουμπώσει στην θήκη που βρίσκεται στο απέναντι νησί (στο νησί στόχο). Στο δεύτερο επίπεδο, προστίθεται ένας ακόμη σκοπός, ο οποίος είναι να συνδέσουν την περιστροφική συμμετρία με την περιστροφή 180° των αντικειμένων γύρω από ένα σημείο.

Κλείσιμο-Βίντεο: Ο Μέγκαχαντ φτάνει στο εργαστήριο του καθηγητή Σύμμετρους και του ζητάει να τον κάνει συμμετρικό. Ο καθηγητής του ζητάει να βρει τη λύση σε ένα πρόβλημα περιστροφής, για να του αποδείξει αν θέλει πραγματικά να γίνει συμμετρικός. Μετά από την τελευταία δοκιμασία, ο καθηγητής Σύμμετρους ανακοινώνει στο Μέγκαχαντ πως αν του αλλάξει το σώμα, δεν θα μπορέσει ποτέ να του επιστρέψει πίσω το δυνατό του χέρι, σε περίπτωση που το μετανιώσει. Οι πολλές αλλαγές δημιουργούν πρόβλημα στην λειτουργία της μηχανής των ρομπότ. Ο καθηγητής τον ρωτάει αν είναι σίγουρος πως θέλει να γίνει συμμετρικός. Η τελική επιλογή γίνεται από τα παιδιά. Αν θέλουν τον Μέγκαχαντ συμμετρικό, τότε ο καθηγητής μικραίνει το χέρι του. Αν θέλουν ο Μέγκαχαντ να παραμείνει ασύμμετρος, δεν γίνεται καμία αλλαγή. Ο Μέγκαχαντ ευχαριστεί τον καθηγητή και παίρνει τον δρόμο της επιστροφής.

Ανάπτυξη του ψηφιακού παιχνιδιού

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται το λογισμικό και οι πόροι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του παιχνιδιού. Επίσης, αναφέρονται κάποια στοιχεία για την λογική του παιχνιδιού και παρουσιάζεται το υλικό που παράχθηκε. Η ανάπτυξη του παιχνιδιού διήρκεσε 3 μήνες.

Λογισμικό ανάπτυξης

Για την ανάπτυξη του ψηφιακού παιχνιδιού, χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο το λογισμικό Blender (έκδοση 2.76b) ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα, το οποίο μπορεί ο χρήστης να μεταφορτώσει ελεύθερα από την επίσημο ιστοχώρο του έργου(www.blender.org). Το λογισμικό Blender προσφέρει ευκολία στη χρήση του, επειδή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να το χειριστεί, χωρίς να υπάρχει προαπαιτούμενη γνώση προγραμματισμού (Pan, 2013).

Το Blender αποτελεί μια εφαρμογή δημιουργίας 3Δ αλληλεπιδραστικού περιεχομένου παρέχοντας στο χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, βίντεο animation, προσομοιώσεων και ψηφιακών παιχνιδιών. Στην παρούσα εργασία, για την δημιουργία των αλληλεπιδραστικών επιπέδων του παιχνιδιού χρησιμοποιήθηκε η μηχανή παιχνιδιού του Blender (Blender Game Engine), ενώ για τη δημιουργία των ενδιάμεσων βίντεο χρησιμοποιήθηκε το υποσύστημα του Blender για την επεξεργασία βίντεο (Video Sequence Editor) .

Πόροι

Οι πόροι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη του παιχνιδιού περιλαμβάνουν τρισδιάστατα μοντέλα, υφές και επιφάνειες για τα μοντέλα, ήχους και φωτισμό. . Οι περισσότεροι από τους πόρους που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ελεύθερα διαθέσιμοι στο διαδίκτυο.

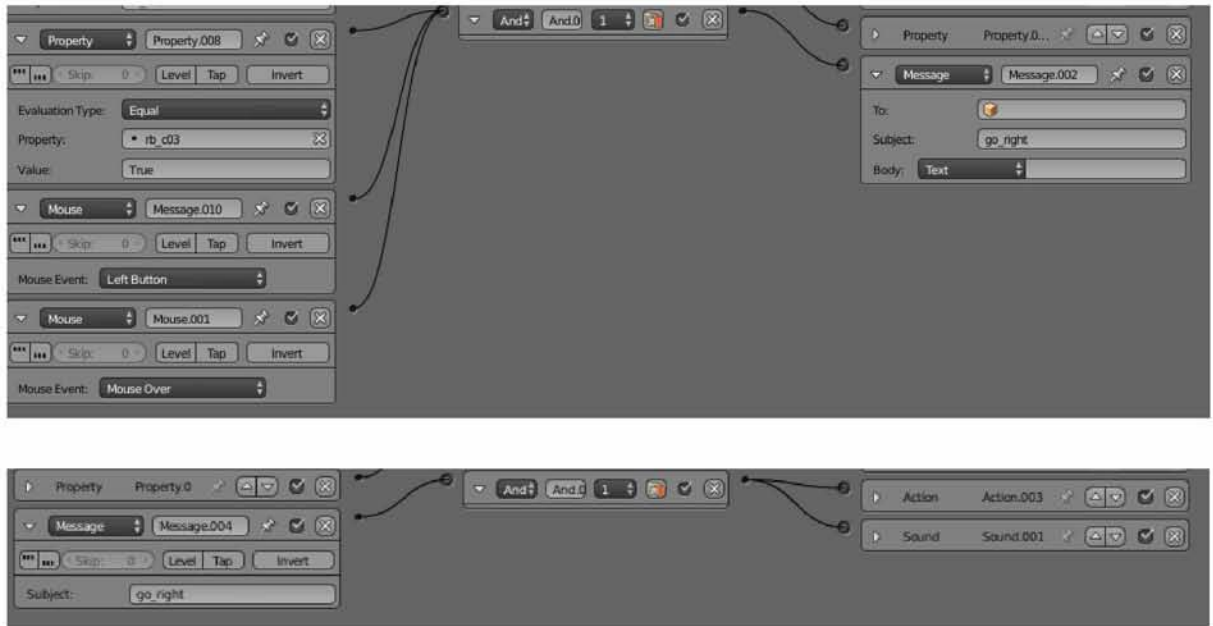
Ωστόσο, πολλές φορές χρειάστηκε η περαιτέρω επεξεργασία κάποιων πόρων που βρέθηκαν στο διαδίκτυο (όπως μοντέλα), έτσι ώστε να μπορέσουν να προσαρμοστούν

στις ανάγκες του παιχνιδιού. Σε κάποιες περιπτώσεις, χρειάστηκε και η επιπρόσθετη χρήση ελεύθερου λογισμικού Audacity για την επεξεργασία των ηχογραφήσεων.

Λογική

Η λογική αναφέρεται στον καθορισμό συμπεριφορών των αντικειμένων που τοποθετήθηκαν στο παιχνίδι με βάση την ιστορία. Με τον καθορισμό συμπεριφορών, μπορεί να επιτευχθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικειμένων του παιχνιδιού, αλλά και η αλληλεπίδραση του παίκτη με το ίδιο το παιχνίδι. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, ο παίκτης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε τρία κυβάκια και τρεις ράβδους. Εάν ο παίκτης διαλέξει μία ράβδο ή ένα κυβάκι, τότε αυτή θα τοποθετηθεί στο αντίστοιχο σημείο ανάμεσα στο κέντρο συμμετρίας και στο αρχικό νησάκι. Αφού κάνει τις επιλογές του, ο παίκτης πατάει το κουμπί της επιβεβαίωσης και ακολουθεί μια σειρά αλληλεπιδράσεων (θα ακουστεί κάποιος ήχος, θα ακολουθήσει κάποια κίνηση-animation, θα αλλάξει ο αριθμός των ζώων).

Ο προγραμματισμός της όλης λογικής του παιχνιδιού έγινε με τη χρήση του Logic Editor. Ο Logic Editor βασίζεται στον οπτικό προγραμματισμό, όπου όλες οι αλληλεπιδράσεις των αντικειμένων ρυθμίζονται και αναπαρίστανται μέσω ενός δικτύου κόμβων (logic bricks) (Pan, 2013). Έτσι, στο προηγούμενο παράδειγμα (ο παίκτης πατάει το κουμπί της επιβεβαίωσης), η αλληλεπίδραση ξεκινάει από έναν κόμβο-αισθητήρα (sensor) που ελέγχει κάθε στιγμή εάν το αντικείμενο που αντιπροσωπεύει το κουμπί της επιβεβαίωσης πατηθεί. Εάν συμβεί αυτό και ταυτόχρονα έχει γίνει η σωστή επιλογή του συνδυασμού ράβδου-κύβου, τότε ο κόμβοι-αισθητήρες ενεργοποιούν κάποιους κόμβους-εκτελεστές (actuators), οι οποίοι αναπαράγουν κάποιο ήχο, στέλνουν «μήνυμα» στα αντικείμενα που αντιπροσωπεύουν τη ράβδο και το κυβάκι για να εκτελέσουν μία συγκεκριμένη κίνηση (περιστροφή) (Εικόνα 11). Εάν πατηθεί το κουμπί της επιβεβαίωσης και ταυτόχρονα έχει γίνει λάθος επιλογή του συνδυασμού ράβδου-κύβου, τότε οι κόμβοι αισθητήρες ενεργοποιούν τους κόμβους-εκτελεστές για τον ήχο, στέλνουν «μήνυμα» για την εκτέλεση μιας διαφορετικής κίνησης της ράβδου και του κύβου και στέλνουν ένα επιπλέον «μήνυμα» στο αντικείμενο που αντιπροσωπεύει τις ζωές του παίκτη, για να μειωθούν κατά μία μονάδα.



Εικόνα 11: Παραδείγματα για τους κόμβους του Logic Editor.

Ο οπτικός προγραμματισμός που παρέχει ο Logic Editor στη μηχανή παιχνιδιού του Blender, καθιστά ιδιαίτερα προσιτό τον προγραμματισμό της λογικής ενός παιχνιδιού σε άτομα που δεν έχουν προγραμματιστικές γνώσεις καθώς δεν χρειάζεται να γράψουν ούτε μια γραμμή κώδικα.

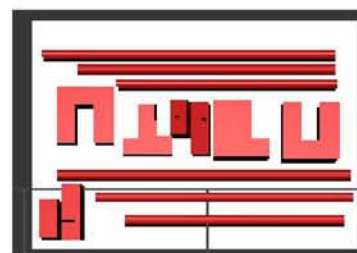
Υλικό που παράχθηκε

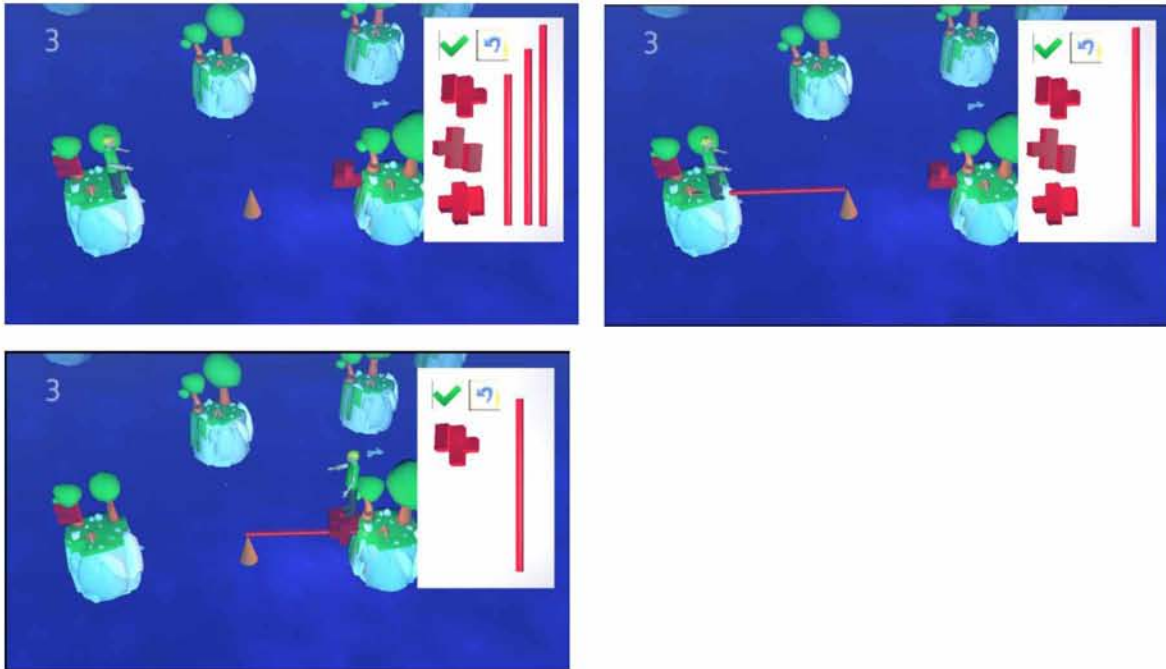
Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, υλοποιήθηκαν η εισαγωγή και το 1^ο και το 2^ο επίπεδο του παιχνιδιού.

Εισαγωγή

Το εισαγωγικό βίντεο εισάγει τα παιδιά στην ιστορία και περιγράφει τις οδηγίες του παιχνιδιού. Στην πρώτη σκηνή δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για τον Μέγκαχαντ μέσα από μία αφήγηση. Γίνεται γνωστό πως ο Μέγκαχαντ είναι ρομπότ, που κατασκευάστηκε από τον καθηγητή Σύμμετρος με το ένα του χέρι μεγαλύτερο από το άλλο (Εικόνα 12). Στη συνέχεια ο Μέγκαχαντ συζητά με την Έλλη για το πρόβλημά του (Εικόνα 14). Ο Μέγκαχαντ θέλει να πάει στον καθηγητή που τον κατασκεύασε, για να τον κάνει συμμετρικό. Η Έλλη υπενθυμίζει στον Μέγκαχαντ πως πρέπει να πάρει την άδεια των γονιών της, για να πάει να βρει τον καθηγητή κι εκείνος πηγαίνει να τους το ανακοινώσει.

Στην δεύτερη σκηνή ο Μέγκαχαντ ανακοινώνει στον κύριο και την κυρία Πέτρου το πρόβλημά του για το ασύμμετρο σώμα του και την ανάγκη του να γίνει συμμετρικός (Εικόνα 13, 15). Τους ζητάει να του δείξουν τον δρόμο για το εργαστήρι του καθηγητή. Ο κύριος και η κυρία Πέτρου του δίνουν τα εργαλεία (Εικόνα 17), που άφησε ο καθηγητής Σύμμετρος σε περίπτωση που χρειαστεί να τον επισκεφθούν. Ο κύριος και η κυρία Πέτρου δίνουν τις οδηγίες του παιχνιδιού για τον τρόπο που πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι ράβδοι και τα κυβάκια, για να περάσει ο Μέγκαχαντ τα νησάκια στη Χώρα της Συμμετρίας και τον αποχαιρετούν (Εικόνα 16, 18, 19, 20).

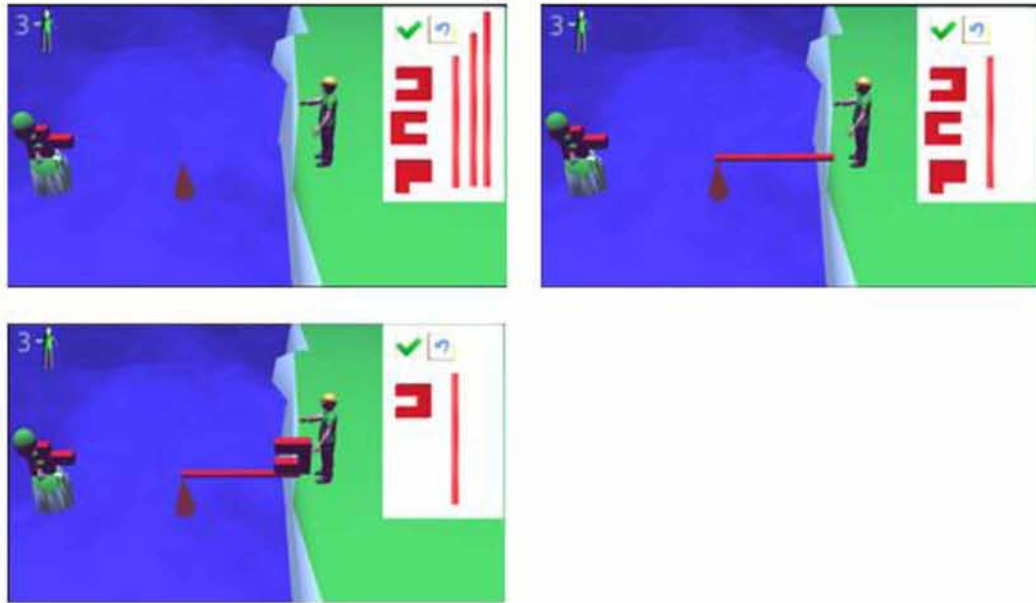




Εικόνες 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20: Στιγμιότυπα από την Εισαγωγή του παιχνιδιού.

Πίστα

Το πρώτο μέρος του παιχνιδιού: Αφού ολοκληρωθεί το βίντεο της εισαγωγής, ξεκινάει η πίστα με το πρώτο εμπόδιο. Εκεί η κάμερα βλέπει τον Μέγκαχαντ, την αρχική Γη, το πρώτο νησί, τη θήκη, τις ράβδους, τα κυβάκια και τις ζωές του παίχτη (Εικόνα 21). Ο παίχτης επιλέγει μία ράβδο και αυτή εμφανίζεται στη θέση που ενώνει το κέντρο συμμετρίας με την αρχική Γη (Εικόνα 22). Το ίδιο συμβαίνει και με τη επιλογή του κύβου (Εικόνα 23). Ο παίχτης μπορεί να επιλέξει αρχικά είτε τη ράβδο, είτε το κυβάκι. Αν θεωρήσει πως η επιλογή του είναι λανθασμένη, πατάει το κουμπί της αναίρεσης το οποίο επιστρέφει όλα τα αντικείμενα στις αρχικές τους θέσεις και τιμές. Αν θεωρήσει πως η επιλογή του είναι η σωστή, πατάει το κουμπί της επιβεβαίωσης.



Εικόνες 21, 22, 23: Στιγμιότυπα από το πρώτο εμπόδιο.

Όταν πατηθεί το κουμπί της επιβεβαίωσης και η επιλογή του κύβου είναι λάθος, τότε εκτελείται περιστροφή του κύβου 180° γύρω από τον κώνο, σύγκρουση του λάθος κύβου με την θήκη και επιστροφή του κύβου στην αρχική του θέση με περιστροφή -180° γύρω από τον κώνο. Το ίδιο συμβαίνει αν επιλεγεί η ράβδος με το λάθος μήκος. Αν η ράβδος έχει μικρότερο μήκος από το απαραίτητο, τότε ο Μεγκαχαντ δεν μπορεί να φτάσει το απέναντι νησί, ενώ αν έχει μεγαλύτερο μήκος, συγκρούεται στο απέναντι νησί. Και στις δύο περιπτώσεις εκτελείται περιστροφή 180° γύρω από τον κώνο και επιστροφή με περιστροφή -180° στην αρχική του θέση. Κάθε φορά που εκτελείται μία λάθος περιστροφή, ακούγεται ο ήχος του λάθους και αφαιρείται μία ζωή από τον Μέγκαχαντ. Όταν οι ζωές γίνουν μηδέν (0), όταν, δηλαδή, ο παίχτης χάσει 3 ζωές, το παιχνίδι τερματίζει (Εικόνα 24, 27). Αν επιλέξει να πατήσει το κουμπί «Προσπάθησε ξανά!» (Εικόνα 25), το παιχνίδι ξεκινάει από το πρώτο εμπόδιο. Αν πατήσει το κουμπί «Τερματισμός» (Εικόνα 26), βγαίνει από το παιχνίδι.

Τέλος παιχνιδιού!

Προσπάθησε ξανά!

Τερματισμός!

Εικόνα 24: Εμφανίζεται στην οθόνη, όταν χάνονται όλες οι ζωές.

Εικόνα 25: : Το κουμπί «Προσπάθησε ξανά!».

Εικόνα 26: Το κουμπί «Τερματισμός!».

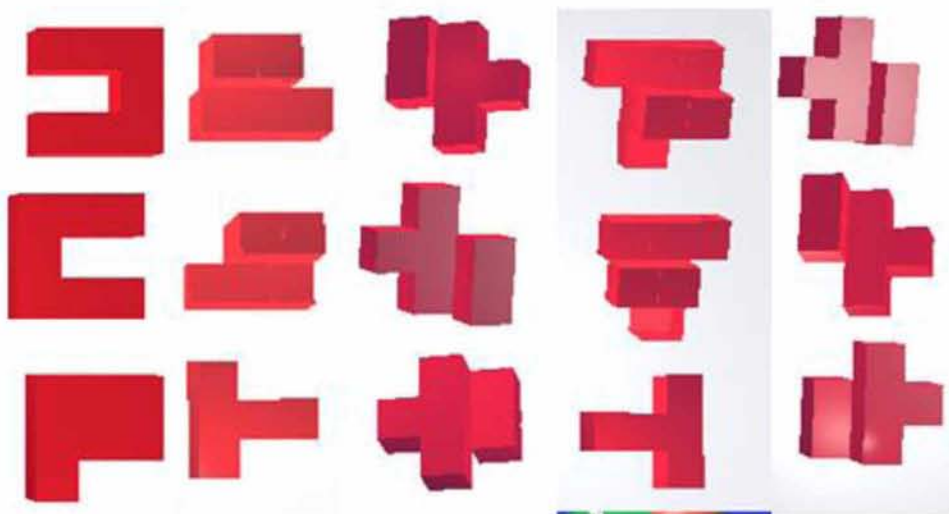


Εικόνα 27: Στιγμιότυπο οθόνης τη στιγμή που επέρχεται ο τερματισμός του παιχνιδιού.

Όταν πατηθεί το κουμπί της επιβεβαίωσης και ο συνδυασμός ράβδου-κύβου είναι σωστός, τότε ακούγεται ο ήχος της νίκης, εκτελείται περιστροφή του κύβου 180° γύρω από τον κώνο και ο Μέγκαχαντ περνάει στο απέναντι νησάκι. Μετά εμφανίζεται στην οθόνη το δεύτερο εμπόδιο.

Για το πρώτο μέρος του παιχνιδιού υλοποιήθηκαν 5 εμπόδια, τα οποία γίνονται όλο και πιο απαιτητικά, καθώς το παιχνίδι εξελίσσεται. Οι υποδοχές και τα κυβάκια γίνονται όλο και πιο περίπλοκα (Εικόνα 28, 29), ενώ αλλάζει και η φορά της περιστροφής που θα πραγματοποιηθεί (δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα).

| 1° εμπόδιο | 2° εμπόδιο | 3° εμπόδιο | 4° εμπόδιο | 5° εμπόδιο |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|



Εικόνα 28: Οι τρεις επιλογές για τα κυβάρια στα πρώτα πέντε εμπόδια.



Εικόνα 29: Οι θήκες των πρώτων πέντε εμποδίων.

Το δεύτερο μέρος του παιχνιδιού: Στο δεύτερο μέρος του παιχνιδιού προστίθενται και οι μοίρες. Ο παίχτης επιλέγει, όπως προηγουμένως τη ράβδο και τον κύβο και στην συνέχεια με το δεξί βελάκι περιστρέφει το κυβάρκι, τη ράβδο και τον Μέγκαχαντ 45° για

κάθε πάτημα. Οι μοίρες περιστροφής εμφανίζονται στο πάνω μέρος της οθόνης, που λειτουργεί αθροιστικά, δηλαδή 90° στο δεύτερο κλικ, 135° στο τρίτο, κ. ο. κ. (Εικόνα 30). Με το αριστερό βελάκι πραγματοποιείται αντίθετη περιστροφή και η ένδειξη των μοιρών μειώνεται κατά 45° . Το κουμπί της αναίρεσης λειτουργεί, όπως και στο πρώτο μέρος του παιχνιδιού.

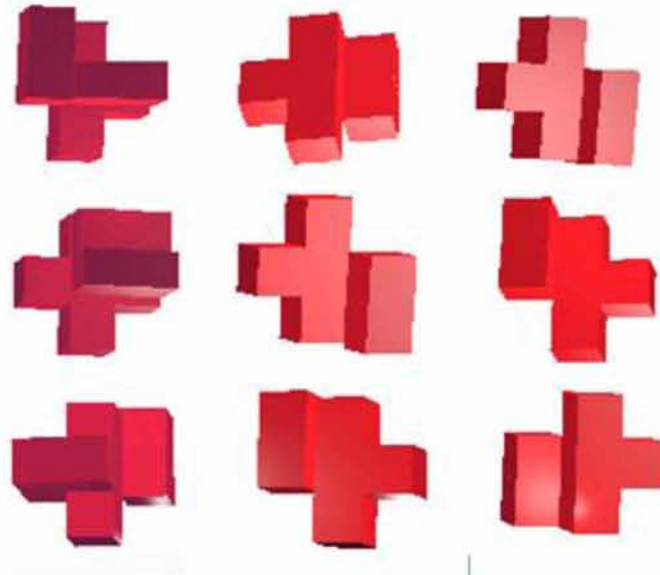
Αν ο παίχτης έχει επιλέξει το σωστό συνδυασμό ράβδου-κύβου και οι μοίρες περιστροφής είναι 180° , τότε πατώντας το κουμπί της επιβεβαίωσης, ακούγεται ο ήχος επιτυχίας και ο Μέγκαχαντ περνάει στο απέναντι νησί. Αν πατήσει το κουμπί της επιβεβαίωσης και είτε έχει γίνει λανθασμένη επιλογή κύβου ή ράβδου, είτε οι μοίρες είναι διαφορετικές από 180 , τότε ακούγεται ο ήχος του λάθους, χάνεται μία ζωή και ο παίχτης προσπαθεί ξανά να περάσει το εμπόδιο.



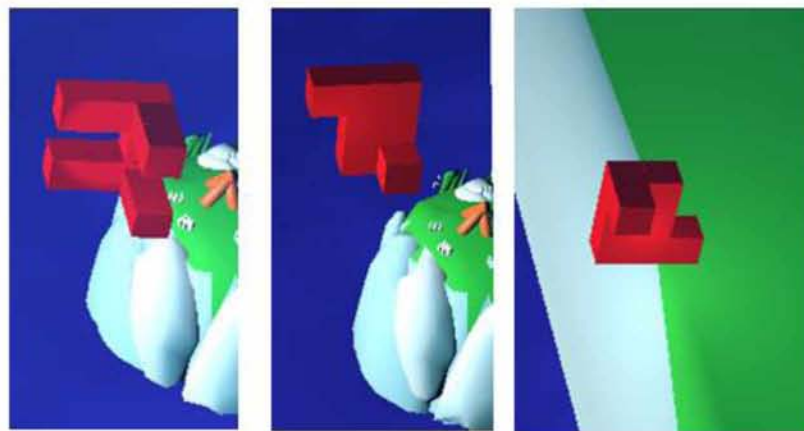
Εικόνα 30: Στιγμιότυπα από ένα εμπόδιο με μοίρες.

Για το δεύτερο μέρος του παιχνιδιού υλοποιήθηκαν 3 εμπόδια και οι περιστροφές πραγματοποιούνταν πάντα αριστερόστροφα. Όταν χάνονται όλες οι ζωές, επέρχεται ο τερματισμός του παιχνιδιού και τις αντίστοιχες επιλογές του, όπως και στο πρώτο μέρος. Τα κυβάρια και οι θήκες διατηρούν την περιπλοκότητά τους στο επίπεδο που βρίσκονταν στο 5^ο εμπόδιο του παιχνιδιού (Εικόνα 31, 32).

| 6° εμπόδιο | 7° εμπόδιο | 8° εμπόδιο |
|------------|------------|------------|
|------------|------------|------------|



Εικόνα 31: Οι τρεις επιλογές για τα κυβάκια στα τρία τελευταία εμπόδια.



Εικόνα 32: Οι θήκες των τριών τελευταίων εμποδίων.

Μόλις περάσει και τα οκτώ εμπόδια, ο παίχτης βρίσκεται στην τελική Γη, όπου βρίσκεται το εργαστήρι του καθηγητή Σύμμετρου. Το παιχνίδι συγχαίρει τον παίχτη για

την επιτυχή ολοκλήρωση του παιχνιδιού(Εικόνα 33). Το βίντεο για το κλείσιμο δεν μπόρεσε να υλοποιηθεί λόγω έλλειψης χρόνου.



Εικόνα 33: Στιγμιότυπο οθόνης από την ολοκλήρωση του παιχνιδιού.

Πιλοτική εφαρμογή

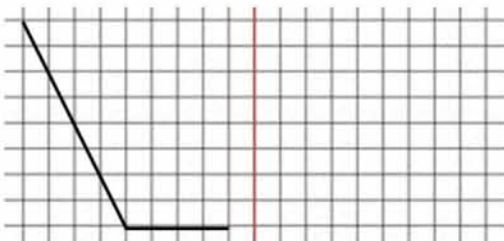
Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του παιχνιδιού προχωρήσαμε στην ανάπτυξη του. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, αναπτύχθηκε μια πρώτη έκδοση του παιχνιδιού η οποία αποτελούνταν από 8 εμπόδια. Στη συνέχεια το παιχνίδι αξιολογήθηκε πιλοτικά. Σκοπός της πιλοτικής αξιολόγησης ήταν:

- να ελεγχθεί η μαθησιακή αποτελεσματικότητα του παιχνιδιού ως προς τους διδακτικούς του στόχους,
- να ελεγχθεί η διαδικασία του παιχνιδιού,
- και να εξεταστεί η καταλληλότητα της διεπαφής του παιχνιδιού μέσω της αλληλεπίδρασης των μαθητών με αυτό.

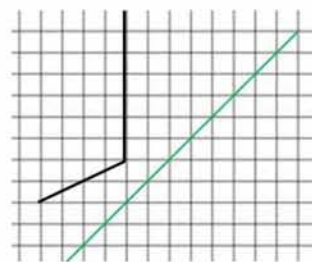
Μέθοδος

Συμμετέχοντες: Στην πιλοτική εφαρμογή έλαβαν μέρος 6 παιδιά. Τα τρία πρώτα παιδιά ήταν μαθητές έκτης Δημοτικού (M1=αγόρι, M2=αγόρι, M3=κορίτσι) ενώ τα υπόλοιπα ήταν μαθητές πέμπτης Δημοτικού (M4=κορίτσι, M5=κορίτσι, M6=αγόρι).

Υλικά: Το σχέδιο αξιολόγησης περιλάμβανε: προέλεγχο, παίξιμο παιχνιδιού και μετά-έλεγχο. Για τον προέλεγχο, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από έργα που περιλαμβάνονται σε δύο φύλλα εργασίας, τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα 1. Το πρώτο φύλλο εργασίας αποτελούνταν από έργα αξονικής συμμετρίας με τις δραστηριότητες να αφορούν την σχεδίαση του συμμετρικού του σχήματος \angle ως προς κάθετο άξονα συμμετρίας στην πρώτη δραστηριότητα (Εικόνα 34) και ως προς πλάγιο άξονα συμμετρίας στην δεύτερη δραστηριότητα (Εικόνα 35). Το συγκεκριμένο φύλλο εργασίας βασίστηκε στην έρευνα των Xistouri και Pitta-Pantazi (2013), που μετράει την



Εικόνα 34: Πρώτη δραστηριότητα για την αξονική συμμετρία ως προς κάθετο άξονα.



Εικόνα 35: Δεύτερη δραστηριότητα για την αξονική συμμετρία ως προς κάθετο άξονα.

μαθηματική απόδοση μαθητών των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού σε έργα αξονικής συμμετρίας σε σχέση με την ικανότητα χωρικών περιστροφών. Ο λόγος που εντάχθηκαν στην αξιολόγηση του παιχνιδιού για την περιστροφική συμμετρία δραστηριότητες για την αξονική συμμετρία είναι ότι οι μαθητές της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας συγχέουν την περιστροφή των σχημάτων με τον καθρεφτισμό ή την παράλληλη μεταφορά (Xistouri & Pitta-Pantazi, 2013).

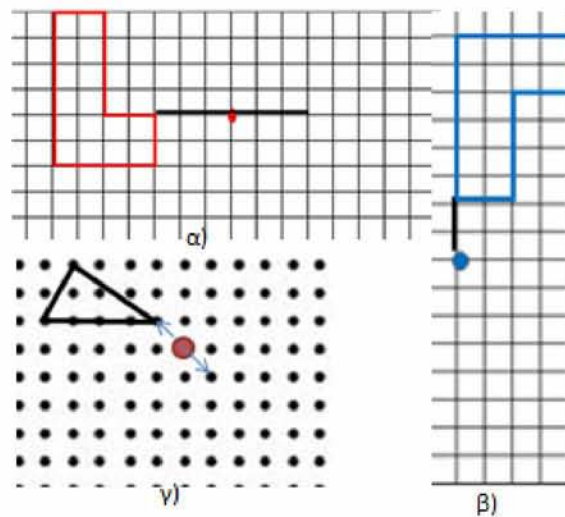
Το δεύτερο φύλλο εργασίας αποτελούνταν από έργα περιστροφικής συμμετρίας ή συμμετρίας ως προς κέντρο με την πρώτη δραστηριότητα να αφορά την περιστροφή σχημάτων 180° γύρω από το κέντρο γεωμετρίας τους (Εικόνα 36), βασισμένο στο Τεστ των Περιστρεφόμενων καρτών (Card rotations test) (French, Harman & Dermen, 1976, σελ.151).

Το 2ο και 4ο έργο αφορούν την περιστροφή σχημάτων 180° γύρω από σημείο με οριζόντιο, κάθετο και πλάγιο προσανατολισμό (Εικόνα 37), που βασίστηκαν στην έρευνα του Ενβουomwan (2013), ο οποίος μελέτησε τις δυσκολίες των μαθητών κατά την μάθηση της περιστροφικής συμμετρίας.

Το 3ο έργο ζητούσε από τους μαθητές να περιγράψουν την διαδικασία που ακολούθησαν για να βρουν το νέο σχήμα μετά την περιστροφή του κόκκινου σχήματος γύρω από το κόκκινο σημείο. Η περιγραφή αυτή ήταν χρήσιμη, για να έρθουν στην επιφάνεια οι λανθασμένες αντιλήψεις των παιδιών για την διαδικασία σχεδίασης συμμετρικού και για να διαπιστωθεί αν αυτές οι αντιλήψεις παρέμειναν αναλλοίωτες και μετά την παρέμβαση από το παιχνίδι. Για την συμπλήρωση των φύλλων εργασίας δόθηκαν στους μαθητές χάρακας, καθρεφτάκι και σχέδια από χαρτόνι ως βοηθητικά εργαλεία.



Εικόνα 36: Πρώτη δραστηριότητα για την περιστροφική συμμετρία. Περιστροφή 180° γύρω από το κέντρο γεωμετρίας των σχημάτων.



Εικόνα 37: Δεύτερη και τεταρτη δραστηριότητα για την περιστροφική συμμετρία. Περιστροφή 180° γύρω από σημείο με οριζόντιο (α), κάθετο (β) και πλάγιο προσανατολισμό (γ).

Διαδικασία: Η διαδικασία αξιολόγησης αποτελούνταν από το προ-τεστ, στη συνέχεια ακολουθούσε η παρέμβαση με το παιχνίδι και ολοκληρωνόταν με το μετά-τεστ. Η πιλοτική εφαρμογή πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε μαθητή στις 21 Ιανουαρίου 2016, μαγνητοφωνήθηκε και στη συνέχεια απομαγνητοφωνήθηκε.

Στην αρχή ζητήθηκε από τα παιδιά να επιλύσουν τα έργα των φύλλων εργασίας (προ-τεστ). Στην συνέχεια, έπαιζαν το παιχνίδι και στο τέλος, ξανα-συμπλήρωσαν τα ίδια φύλλα εργασίας (μετά-τεστ). Η αξιολόγηση εμπλουτίστηκε με παραπάνω στοιχεία από ερωτήσεις που έγιναν στους τρεις από τους έξι μαθητές (M2, M3, M4), καθώς έπαιζαν τον παιχνίδι για δεύτερη φορά. Ζητήθηκε από αυτούς τους τρεις μαθητές να αναφέρουν τον τρόπο σκέψης τους για κάθε επιλογή τους στο παιχνίδι, για να αναδειχθούν οι στρατηγικές που χρησιμοποίησαν για να περάσουν κάθε εμπόδιο και να μελετηθεί αν αυτές οι στρατηγικές σχετίζονται με νοητικές περιστροφές. Επίσης, αφού ολοκλήρωσαν το μετά-τεστ, οι τρεις αυτοί μαθητές απάντησαν προφορικά σε ερωτήσεις για τη συμμετρία, βασισμένες στην έρευνα του Enbuomwan (2013), για να ανιχνευθούν ποιες

παρανοήσεις παρέμειναν και μετά την παρέμβαση από το παιχνίδι. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για κάθε ομάδα μαθητών.

Πίνακας 1.

Σχέδιο έρευνας για κάθε ομάδα μαθητών.

| Ομάδα μαθητών | Προ-τεστ | Παρέμβαση | Μετά-τεστ |
|------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Ομάδα Α' M1, M5, M6 | Φύλλα εργασίας | Αυτόνομη | Φύλλα εργασίας |
| Ομάδα Β M2, M3, M4 | Φύλλα εργασίας | 1 ^η φορά: αυτόνομη 2 ^η φορά: ερωτήσεις για εξωτερική σκέψη | Φύλλα εργασίας Προφορικές ερωτήσεις περιστροφικής συμμετρίας |

Το λογισμικό του παιχνιδιού κατέγραφε:

- το χρόνο, που χρειάστηκε κάθε μαθητής, για να περάσει κάθε εμπόδιο (κάθε νησί),
- τον συνολικό χρόνο μέχρι τον τερματισμό,
- τον αριθμό των προσπαθειών μέχρι τον τερματισμό του παιχνιδιού,
- τον αριθμό των λανθασμένων επιλογών σε κάθε εμπόδιο
- και τις φορές που πατήθηκε από τα παιδιά το κουμπί της αναίρεσης. Δηλαδή, καταγράφονταν πόσες δοκιμές του συνδυασμού ράβδου-κύβου έκαναν τα παιδιά μέχρι να καταλήξουν σε αυτό που θεωρούσαν τελικά σωστό.

Αποτελέσματα

Ακολουθεί ο σχολιασμός των στοιχείων που συλλέχθηκαν ως προς τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού και ως προς τις μαθησιακές τους επιδόσεις πριν και μετά την παρέμβαση από το παιχνίδι.

Πρακτικές επιδόσεις μαθητών:

Κατά, την διάρκεια του παιχνιδιού καταγράφηκαν οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι μαθητές στη επαφή τους με το παιχνίδι, όπως αυτές φαίνονται στις ερωτήσεις τους και στον χρόνο που απαιτήθηκε, για να βρουν τη σωστή απάντηση σε κάθε εμπόδιο.

1η δυσκολία: εξοικείωση με τον μηχανισμό του παιχνιδιού

Τα παιδιά στο σύνολό τους δυσκολεύτηκαν στην αρχή του παιχνιδιού, μέχρι να καταλάβουν τη λογική του. Στο πρώτο εμπόδιο τα 5 από τα 6 παιδιά χρειάστηκαν πολύ χρόνο σε σχέση με τον μέσο όρο του χρόνου που χρειάστηκε το σύνολο των συμμετεχόντων για το πρώτο εμπόδιο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 11 στο Παράρτημα 2. Επίσης, οι 2 από τους 6 μαθητές έχασαν και τις τρεις ζωές τους στην πρώτη τους προσπάθεια στο πρώτο εμπόδιο. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν τη δυσκολία κατανόησης του μηχανισμού του παιχνιδιού, κυρίως, ως αποτέλεσμα των ελλειμματικών οδηγιών του παιχνιδιού.

Οι μαθητές σε αυτό το σημείο χρειάστηκαν τη βοήθεια της ερευνήτριας ως προς το μηχανισμό του παιχνιδιού και ως προς την επιλογή του κύβου. Η ερευνήτρια επανέλαβε τους κανόνες του παιχνιδιού και επέμεινε στο γεγονός ότι ο κύβος θα περιστραφεί, διότι οι μαθητές επέλεγαν αρχικά τον κύβο που έμοιαζε να εφαρμόζε απευθείας στην απέναντι θήκη, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ότι θα επέλθει περιστροφή (Εικόνα 38, 39). Με την επιλογή της ράβδου με το κατάλληλο μήκος δεν εμφανίστηκε καμία δυσκολία. Μετά από το πρώτο εμπόδιο και αφού είδαν τον τρόπο με τον οποίο περιστρέφεται η ράβδος και τον τρόπο που εφαρμόζει ο κύβος στην θήκη, άρχισαν να λειτουργούν με αυτοπεποίθηση, παίρνοντας πρωτοβουλίες. Παρατίθενται κάποιες χαρακτηριστικές εκφράσεις των παιδιών κατά τη διάρκεια του πρώτου εμποδίου:

M3: (Αφού είδε τη κίνηση της ράβδου και του κύβου στο πρώτο εμπόδιο) Α, Κατάλαβα!

M5: Αααα...περιστρέφεται...έτσι.



Εικόνα 38: Λάθος επιλογή στο πρώτο εμπόδιο.



Εικόνα 39: Σωστή επιλογή στο πρώτο εμπόδιο.

2η δυσκολία: αντίληψη προσανατολισμού θήκης

Μια δεύτερη δυσκολία που αντιμετώπισαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού ήταν να αντιληφθούν τον προσανατολισμό και το σχήμα της θήκης στο τρίτο εμπόδιο (Εικόνα 40, 41), όπως φαίνεται από τις ερωτήσεις τους στα παρακάτω αποσπάσματα και από το συνολικό αριθμό των ζώων που χάθηκαν σε αυτό το εμπόδιο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 10 στο Παράρτημα 2.



Εικόνα 40: Θήκη στο τρίτο εμπόδιο.

M2: Αυτό εδώ πως είναι; (δείχνοντας τη θήκη στο τρίτο εμπόδιο)(Εικόνα 40)

E: Δεν το καταλαβαίνεις; Δεν φαίνεται καλά

M2: Αυτό εδώ δεν καταλαβαίνω που είναι. (το σημείο που δείχνει το βελάκι)

E: Αυτό είναι προς τα έξω. (δείχνοντας από τον υπολογιστή προς το μέρος του παιδιού)

M3: Αυτό;.. Αν περιστραφεί, αυτό θα ακουμπήσει εδώ. (Στο τρίτο εμπόδιο)

E: Δεν φαίνεται πως είναι η θήκη;

M3: Όχι.

E: Αυτό εδώ είναι προς τα έξω.

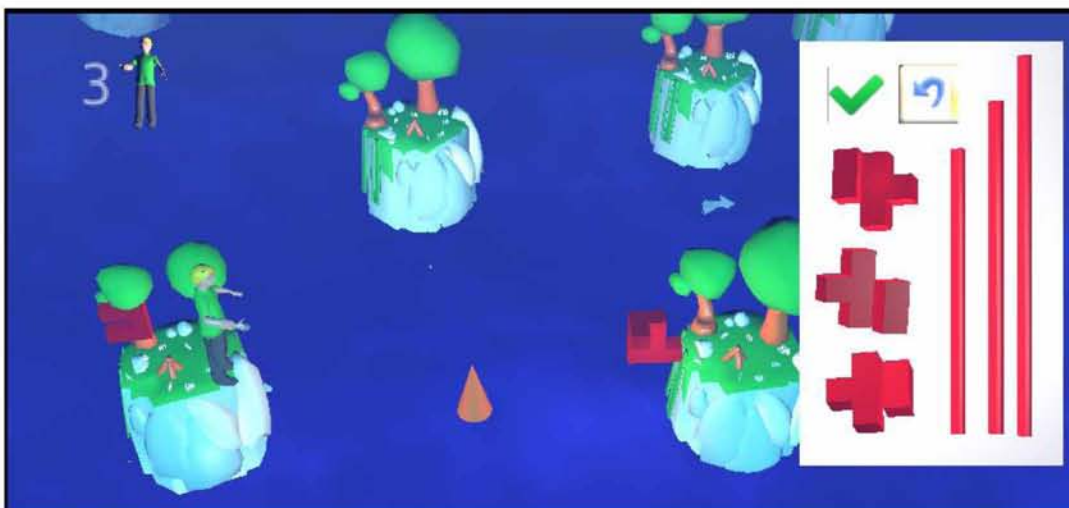
M4: Εεεε, κυρία, εδώ δεν βλέπω πολύ καλά το σχήμα. (εννοώντας τη θήκη στο τρίτο εμπόδιο)

E: Δεν καταλαβαίνεις προς τα που είναι αυτό;

M4: Ναι.

E: Είναι προς τα έξω.

Επίσης, σε εκείνο το σημείο τα 2 από τα 6 παιδιά έχασαν όλες τους τις ζωές και ξεκίνησαν το παιχνίδι από την αρχή. Αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ως ένα προβληματικό σημείο, που οφείλεται κυρίως σε λάθος κατά την υλοποίηση του παιχνιδιού, δηλαδή, στο φωτισμό της θήκης και τη θέση της κάμερας. Σε εκείνο το σημείο η ερευνήτρια ήταν



Εικόνα 41: Στιγμιότυπο οθόνης του τρίτου εμποδίου του παιχνιδιού.

αναγκαίο να παρενέβη, για να περιγράψει το σχήμα της θήκης. Στη συνέχεια, οι μαθητές ήταν σε θέση να κάνουν τη σωστή επιλογή του κύβου. Η παρέμβαση από την ερευνήτρια δεν εφαρμόστηκε σε όλα τα παιδιά, αλλά μόνο σε εκείνα, που είχαν την συγκεκριμένη δυσκολία και αυτό δεν τους επέτρεπε να προχωρήσουν στη σωστή επιλογή.

3η δυσκολία: εισαγωγή μοιρών περιστροφής

Η τελευταία παρέμβαση της ερευνήτριας ήταν στο σημείο, όπου εντάσσονταν για πρώτη φορά στο παιχνίδι οι μοίρες στο 6ο εμπόδιο. Η παρέμβαση αφορούσε τον τρόπο χειρισμού των πλήκτρων (δεξί ή αριστερό βελάκι) που περιέστρεφαν τη ράβδο. Κάτι αντιφατικό που αναφέρθηκε από τους μαθητές στα εμπόδια με τις μοίρες, ήταν ότι τους φάνηκαν πιο εύκολα από τα προηγούμενα (χωρίς τις μοίρες), ενώ κατά το σχεδιασμό του παιχνιδιού εντάχθηκαν ως έργα υψηλότερου επιπέδου. Αυτό συνέβη, διότι οι παίχτες σε αυτά τα εμπόδια μπορούσαν να περιστρέψουν οι ίδιοι τη ράβδο με τον κύβο και να δουν αν ο κύβος ταιριάζει στην απέναντι θήκη πριν πατήσουν το κουμπί του ελέγχου απάντησης (Εικόνα 42).

Αν παρατηρηθεί ο πίνακας με τα στοιχεία που καταγράφηκαν κατά το παιχνίδι, γίνεται αντιληπτό πως στα συγκεκριμένα εμπόδια το πλήθος των αναιρέσεων ήταν περισσότερος, ενώ ο αριθμός των ζώων που χάθηκαν ήταν μικρότερος. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία βγαίνει το συμπέρασμα πως οι μαθητές στο συγκεκριμένο μέρος του παιχνιδιού δεν περιέστρεψαν νοητικά τους κύβους, κάτι που θα έπρεπε - βάση σχεδιασμού - να συμβαίνει. Ακολουθούν τα σχόλια κάποιων παιδιών για τα εμπόδια με τις μοίρες:

M3: Όχι δεν είναι αυτό. (Σε εμπόδιο με μοίρες, αφού γύρισε τον κύβο 180°)

M4: Τώρα είναι εύκολο. (όταν ασχολιόταν με τα εμπόδια με τις μοίρες)



α)



β)



γ)

Εικόνα 42: Στιγμιότυπα οθόνης από το έκτο εμπόδιο.

α) Στο κέντρο της οθόνης εμφανίζεται ο μετρητής των μοιρών.

β) Ο μετρητής αλλάζει ενδείξεις καθώς ο παίκτης περιστρέφει τον κύβο.

γ) Ανατροφοδότηση του παίχτη για την ορθότητα του κύβου πριν πατηθεί το κουμπί του

Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπόψιν τα παραπάνω στοιχεία, τα εμπόδια του παιχνιδιού χαρακτηρίστηκαν ως προς τη δυσκολία που αντιμετώπισαν οι μαθητές σε αυτά σε Μεγάλη, Μέτρια και Μικρή. Η κατηγοριοποίηση έγινε βάση των μέσων όρων του χρόνου που έκαναν οι μαθητές για να ολοκληρώσουν ένα εμπόδιο, όπως δείχνει το διάγραμμα 2 και ο Πίνακας 2.

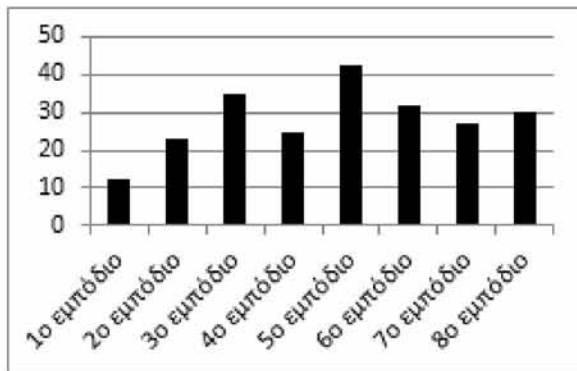
Το διάγραμμα 1 αναφέρεται στον μέσο όρο του χρόνου που χρειάστηκε κάθε εμπόδιο για να ολοκληρωθεί και δεν περιλαμβάνει τους χρόνους των αρχικών προσπαθειών (όπου τα παιδιά δυσκολεύτηκαν στο χειρισμό και στον οπτικό προσδιορισμό της θήκης), όπως επίσης, δεν περιλαμβάνει και το χρόνο των εμποδίων στα οποία τερματίστηκε το παιχνίδι. Δηλαδή δεν περιέχει τους χρόνους στα τελευταία εμπόδια κάθε προσπάθειας των μαθητών, στα οποία έχασαν όλες τις ζωές τους και δεν πρόλαβαν να βρουν το σωστό συνδυασμό ράβδου-κύβου.

Οι μέσοι όροι των χρόνων του κάθε εμποδίου χωρίς τις αρχικές προσπάθειες, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2, αντιπροσωπεύουν τους πραγματικούς χρόνους που απαιτεί κάθε εμπόδιο για να ολοκληρωθεί, παρακάμπτοντας προβλήματα χειρισμού του παιχνιδιού και προβλήματα οπτικής αντίληψης των σχημάτων. Συγκρίνοντας αυτούς τους δύο τύπους των χρόνων σε κάθε στήλη εμποδίου διαπιστώνουμε την δυσκολία που αντιμετώπισαν οι μαθητές, λόγω των λαθών που προέκυψαν κατά το σχεδιασμό και κατά την υλοποίηση του παιχνιδιού.

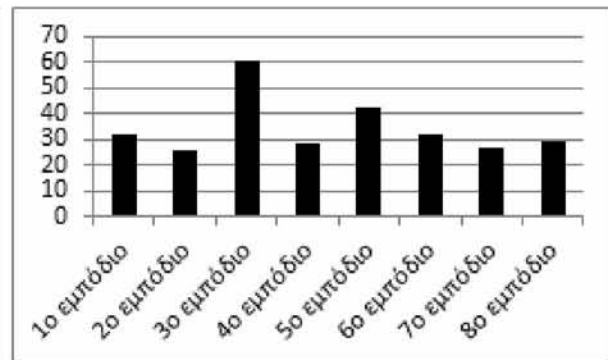
Πίνακας 2.

Μέσοι όροι των χρόνων που χρειάστηκαν οι μαθητές για να ολοκληρώσουν τα εμπόδια.

| | 1° εμπόδιο | 2° εμπόδιο | 3° εμπόδιο | 4° εμπόδιο | 5° εμπόδιο | 6° εμπόδιο | 7° εμπόδιο | 8° εμπόδιο |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Μέσος όρος των χρόνων χωρίς αρχικές προσπάθειες σε κάθε εμπόδιο (δευτ/πτα)* | 12.58 | 23 | 34.65 | 24.5 | 42.35 | 31.68 | 26.81 | 29.85 |
| Μέσος όρος των συνολικών χρόνων όλων των παιχτών για κάθε εμπόδιο (δευτ/πτα) | 31.65 | 25.67 | 60.4 | 28.68 | 42.35 | 31.68 | 26.81 | 29.85 |
| Δυσκολία εμποδίου | Μεγάλη | Μικρή | Μεγάλη | Μικρή | Καμία | Καμία | Καμία | Καμία |



Διάγραμμα 1: Μέσος όρος των χρόνων των μαθητών σε κάθε εμπόδιο χωρίς τις αρχικές προσπάθειες. Αντιπροσωπεύουν τον πραγματικό χρόνο που απαιτεί κάθε εμπόδιο για να ολοκληρωθεί.



Διάγραμμα 2: Μέσος όρος των χρόνων των μαθητών σε κάθε εμπόδιο για όλες τις προσπάθειες.

Μαθησιακές επιδόσεις μαθητών

Οι μαθησιακές επιδόσεις των μαθητών εκτιμήθηκαν από τις απαντήσεις στα φύλλα εργασίας. Τα παιδιά πραγματοποίησαν λάθη εξίσου και στην αξονική, αλλά και στην περιστροφική συμμετρία, χωρίς να υπάρχουν εμφανείς διαφορές σχετικές με την

τάξη φοίτησης. Ο Πίνακας 3 αναφέρει τις σωστές και τις λανθασμένες απαντήσεις των παιδιών για κάθε έργο στο Προ-τεστ και στο Μετά-τεστ.

Στο σύνολό τους οι μαθητές φαίνεται να κάνουν περισσότερα λάθη, όταν καταπιάνονται με έργα αξονικής συμμετρίας με πλάγιο άξονα συμμετρίας (2^η δραστηριότητα αξονικής συμμετρίας, Πίνακας 2), όπως επιβεβαιώνει και η βιβλιογραφία (Mhlolo & Schafer, 2013. Χιστουρί, 2007). Η διαφορά των σωστών απαντήσεων από το Προ-τεστ στο Μετά-τεστ δεν είναι πολύ μεγάλη. Αν μελετηθεί, όμως, ξεχωριστά το κάθε έργο για κάθε μαθητή, παρατηρούνται κάποιες διαφορές στον τρόπο που απάντησαν τις δραστηριότητες στο Μετά-τεστ σε σχέση με τις απαντήσεις τους στο Προ-τεστ.

Μέσα από τα έργα στο προ-τεστ διαπιστώθηκε πως οι μαθητές είχαν ορισμένες παρανοήσεις για το θέμα της συμμετρίας και για την διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ως προς άξονα και ως προς κέντρο. Αυτές οι παρανοήσεις επικεντρώνονται κυρίως γύρω από τρεις άξονες: α) τις **ίσες αποστάσεις** από τον άξονα ή το κέντρο συμμετρίας, β) την περιστροφή του σχήματος **180°** και γ) την **διατήρηση των διαστάσεων** και των γωνιών του σχήματος.

Πίνακας 3.

Μαθησιακές Επιδόσεις των Μαθητών στα Φύλλα Εργασίας (1=Σωστό, 0=Λάθος)

| Συμ/χων | Σχολική τάξη | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Συνολική Πρόοδος | |
|--------------------------------|--------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|------------|
| | | | 1 ^η δραστηριότητα | 2 ^η δραστηριότητα | 1 ^η δραστηριότητα | 2 ^η δραστηριότητα | 3 ^η δραστηριότητα | | |
| M1 | Στ' | Προ-τεστ | 1,1 | 1,0 | 0,0,1,1 | 1,1,0 | 1,0,0 | 8/14 | Πολύ μικρή |
| | | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 0, 0, 1 | 1, 0, 1 | 1, 1, 0 | 10/14 | |
| M2 | Στ' | Προ-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | 1, 1, 1, 1 | 0, 0, 0 | 0, 0, 0 | 4/14 | Μικρή |
| | | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | 1, 1, 1, 1 | 0, 1, 0 | 0, 1, 1 | 7/14 | |
| M3 | Στ' | Προ-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 0, 1, 0 | 7/14 | Καμία |
| | | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 6/14 | |
| M4 | Ε' | Προ-τεστ | 1, 1 | 0, 0 | 1, 1, 1, 1 | 0, 1, 0 | 0, 0, 0 | 7/14 | Μικρή |
| | | Μετά-τεστ | 1, 1 | 0, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 0, 0, 1 | 10/14 | |
| M5 | Ε' | Προ-τεστ | 1, 0 | 0, 1 | 1, 1, 1, 0 | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 7/14 | Καμία |
| | | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | 1, 1, 1, 0 | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 5/14 | |
| M6 | Ε' | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 10/14 | Καμία |
| | | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 10/14 | |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | | | | | | | | Σύνολο: | |
| | Προ-τεστ | 7/24 | 4/24 | 21/48 | 9/36 | 2/36 | 43/178 | | |
| | Μετά-τεστ | 6/24 | 5/24 | 21/48 | 11/36 | 5/36 | 48/178 | | |

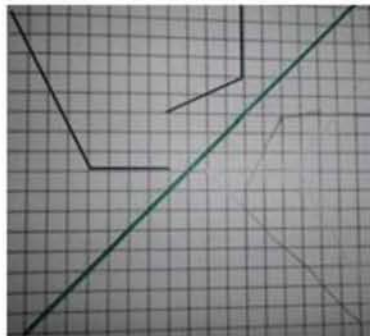
Κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού αυτές οι παρανοήσεις δεν έρχονταν στην επιφάνεια, διότι: α) η επιλογή της ράβδου εξασφάλιζε πως οι αποστάσεις του σχήματος από το σημείο περιστροφής θα ήταν ίσες, β) στο πρώτο μέρος του παιχνιδιού το σχήμα εκτελούσε αυτόματα κίνηση 180° με το πάτημα του κουμπιού επιβεβαίωσης, ενώ στο δεύτερο μέρος του παιχνιδιού οι μαθητές περιέστρεφαν σταδιακά το σχήμα έως ότου να ταιριάζει στην θήκη και ταυτόχρονα οι μοίρες να γίνουν 180 και γ) το αρχικό και το

τελικό σχήμα ήταν το ίδιο. Τα συμπεράσματα που βγήκαν από τα φύλλα εργασίας για την διδακτική απόδοση του παιχνιδιού θα ταξινομηθούν με βάση τους τρεις άξονες των παρανοήσεων, όπως αυτές φαίνονται στα σχήματα των μαθητών στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ.

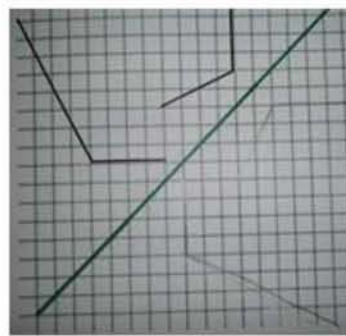
Περίπτωση μαθητή Μ1

Ο μαθητής Μ1 έδωσε σωστές απαντήσεις στην αξονική συμμετρία σε όλα τα σχήματα εκτός από το 2^ο σχήμα στον πλάγιο άξονα. Το δεύτερο σχήμα ήταν σχεδιασμένο με όλους τους άξονες παρανοήσεων στο προ-τεστ, όμως στο μετά-τεστ σχεδιάστηκε σωστά (Εικόνα 43).

Προ-τεστ



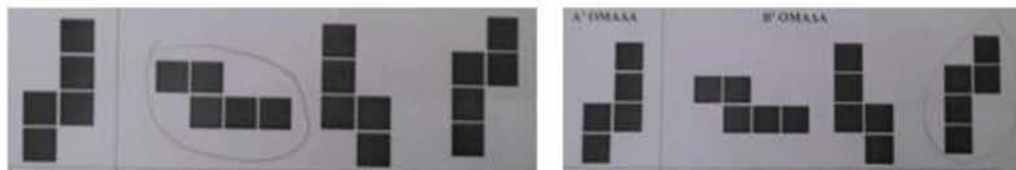
Μετά-τεστ



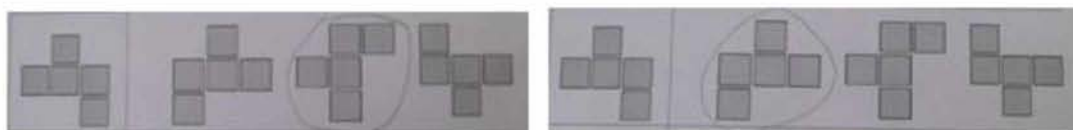
Εικόνα 43: 2ο σχήμα στον πλάγιο άξονα. Διόρθωση σχήματος από το προ-τεστ στο μετά-

Στην περιστροφική συμμετρία έδωσε λάθος απαντήσεις στο πρώτο και στο δεύτερο σχήμα της πρώτης δραστηριότητας στο προ-τεστ, επιλέγοντας τα σχήματα με γωνία περιστροφής διαφορετική από 180° . Στο μετά-τεστ το πρώτο σχήμα σχεδιάστηκε σωστά, ενώ στο δεύτερο η επιλογή του σχήματος παρέπεμπε σε δίπλωση (Εικόνα 44, 45). Επίσης στο μετά-τεστ έγινε λάθος η γωνία περιστροφής στο 3ο σχήμα, ενώ στο προ-τεστ, είχε γίνει σωστά.

Προ-τεστ Μετά-τεστ

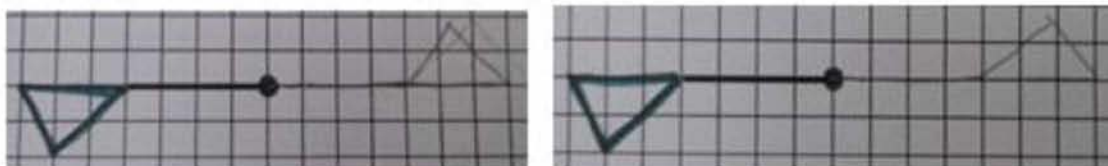


Πίνακας 44: 1ο σχήμα της πρώτης δραστηριότητας στην περιστροφή. Διόρθωση της γωνίας περιστροφής.



Εικόνα 45: 2ο σχήμα της πρώτης δραστηριότητας στην περιστροφή. Λάθος επιλογές.

Στην 2^η δραστηριότητα, που απαιτούσε την περιστροφή σχημάτων 180° γύρω από ένα σημείο, ο μαθητής Μ1 έδωσε σωστές απαντήσεις για τα δύο πρώτα σχήματα. Το 3^ο σχήμα το σχεδίασε με διαφορετικές διαστάσεις από το αρχικό στο προ-τεστ, κάτι που διόρθωσε στο μετά-τεστ (Εικόνα 46).



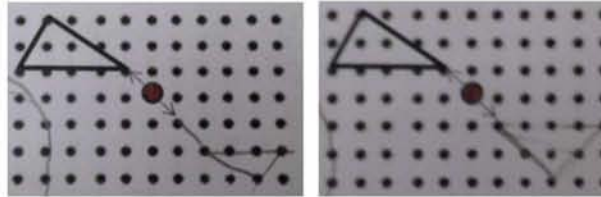
Εικόνα 46: 3ο σχήμα της 2ης δραστηριότητας της περιστροφής. Διόρθωση διαστάσεων.

Στην 4^η δραστηριότητα, που ήταν παρόμοια με την 2^η με πιο περίπλοκα έργα, ο μαθητής Μ1 έδωσε λανθασμένες απαντήσεις σε όλα τα έργα στο προ-τεστ. Στο 1^ο σχήμα σχεδίασε το καινούργιο σχήμα σε λανθασμένη απόσταση από το κέντρο συμμετρίας, ενώ στο μετά-τεστ διόρθωσε την απόσταση και δεν εφάρμοσε την περιστροφή του. Στο 2^ο σχήμα, που είχε πλάγιο προσανατολισμό περιστροφής, φάνηκε μια βελτίωση στις ίσες αποστάσεις από το προ-τεστ στο μετά-τεστ, ενώ οι διαστάσεις του σχήματος ήταν λανθασμένες και στα δύο τεστ (Εικόνα 47). Το 3^ο σχήμα, σχεδιάστηκε λανθασμένα ως προς το σύνολο των παρανοήσεων και στα δύο τεστ, καθώς αποδείχθηκε πως ήταν ένα

δύσκολο έργο για το σύνολο των μαθητών και για το επίπεδο των χωρικών τους ικανοτήτων.

Προ-τεστ

Μετά-τεστ



Εικόνα 47: 2ο σχήμα με πλάγιο προσανατολισμό της 4η δραστηριότητας για την περιστροφή. Διόρθωση απόστασης από το κέντρο.

Ο Πίνακας 4 δείχνει τη συνολική πρόοδο του μαθητή M1 σε κάθε δραστηριότητα και σε κάθε άξονα παρανοήσεων. Ο μαθητής M1 φαίνεται να βελτίωσε τις ικανότητες του στη σχεδίαση συμμετρικού σχήματος ως προς άξονα από το προ-τεστ στο μετά-τεστ, σε σχέση με τη βελτίωση της ικανότητας στις περιστροφές. Επίσης είχε μία μικρή πρόοδο, όσον αφορά τις ίσες αποστάσεις από τον άξονα ή το κέντρο συμμετρίας, όπως και για τη διατήρηση των διαστάσεων και των γωνιών των σχημάτων.

Πίνακας 4.*Επιδόσεις του μαθητή Μ1 με βάση τους άξονες παρανοήσεων.*

| Άξονες παρανοήσεων | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Επιτυχία σε κάθε άξονα |
|-----------------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| | | Κάθετος άξονας | Πλάγιος άξονας | Απλή περιστροφή σχήματος | Περιστροφή σχήματος γύρω από σημείο | | |
| Ίσες αποστάσεις από τον άξονα/κέντρο συμμετρίας | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 0 | - | 1, 1, 1 | 0, 0, 0 | 6/10 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 9/10 |
| Περιστροφή του σχήματος 180° ή ορθή ανάκλαση του σχήματος | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 0 | 0, 0, 1, 1 | 1, 1, 0 | 1, 1, 0 | 9/14 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 0, 0, 1 | 0, 0, 1 | 0, 1, 0 | 8/14 |
| Διατήρηση διαστάσεων και γωνιών του σχήματος | Προ-τεστ | 0, 1 | 1, 0 | - | 1, 1, 0 | 1, 0, 0 | 5/10 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 1 | 1, 0, 0 | 8/10 |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | Προ-τεστ | 5/6 | 3/6 | 2/4 | 7/9 | 3/9 | 20/34 |
| | Μετά-τεστ | 6/6 | 6/6 | 2/4 | 7/9 | 4/9 | 25/34 |

Η πρόοδος του στις ίσες αποστάσεις, οφείλεται εν μέρη στο παιχνίδι και στην επιλογή της ράβδου με το κατάλληλο μήκος, όπως αποκαλύπτει η φωναχτή σκέψη του κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού:

Μ1: Όχι αυτή! Είναι πολύ μεγάλη (εννοώντας τη ράβδο με το μεγαλύτερο μήκος).

Μ1: Θα βάλω τη μεσαία.

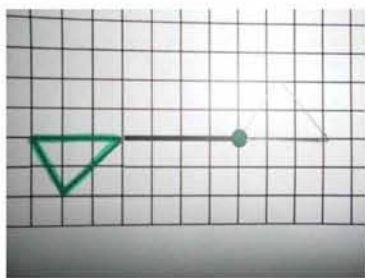
Κάτι αντιφατικό που παρατηρήθηκε στον μαθητή Μ1 είναι ότι δεν φάνηκε καμία πρόοδος στον άξονα παρανοήσεων της περιστροφής 180 μοιρών (όπως φαίνεται στον Πίνακα), ενώ κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους του παιχνιδιού εκτελούσε νοητικές περιστροφές, όπως φαίνεται από τη φωναχτή του σκέψη:

Μ1: Νομίζω ότι αυτό (δείχνοντας ένα κυβάκι) είναι το σωστό, γιατί άμα γυρίσει θα μπει εδώ μέσα (δείχνοντας τη θήκη).

Περίπτωση μαθητή M2

Ο μαθητής M2 στην αξονική συμμετρία πραγματοποίησε ορθές ανακλάσεις στα σχήματα στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ, όμως δεν διατήρησε τις διαστάσεις κανενός σχήματος. Τις ίσες αποστάσεις από τον άξονα συμμετρίας τις εφάρμοσε μόνο στον κάθετο άξονα στο προ-τεστ (Πίνακας 4).

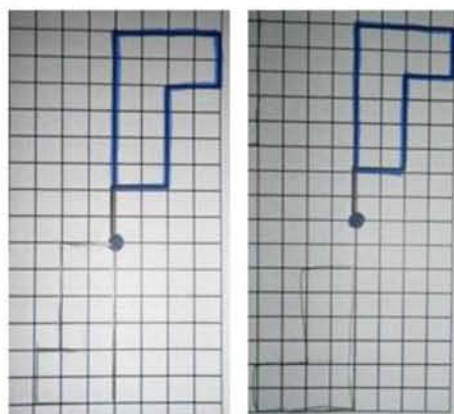
Στην περιστροφική συμμετρία έδωσε σωστές απαντήσεις στην 1^η δραστηριότητα και στα δύο τεστ. Στην 2^η δραστηριότητα δεν διατήρησε τις διαστάσεις των σχημάτων σε κανένα σχήμα στο προ-τεστ, ενώ στο μετά-τεστ, διόρθωσε τις διαστάσεις στο 2^ο σχήμα (Εικόνα 48). Στο δεύτερο και στο τρίτο σχήμα δεν εφάρμοσε τον κανόνα των ίσων αποστάσεων, καθώς τοποθετούσε την αρχή του νέου σχήματος πάνω στο κέντρο συμμετρίας στο προ-τεστ (Εικόνα 48: προ-τεστ, Εικόνα 49). Στο μετά-τεστ διορθώθηκε η απάντησή του για τις ίσες αποστάσεις μόνο για το 2^ο σχήμα (Εικόνα 48).



Εικόνα 49: 3ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της περιστροφής. Λανθασμένη απόσταση στο προ-τεστ. Τοποθέτηση νέου σχήματος πάνω στο κέντρο συμμετρίας.

Προ-τεστ

Μετά-τεστ



Εικόνα 48: 2ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση απόστασης και διαστάσεων του σχήματος.

Στην 4^η δραστηριότητα της περιστροφής ο μαθητής M2 σχεδίασε το 1^ο και το 2^ο σχήμα στις σωστές αποστάσεις, αλλά με λανθασμένες διαστάσεις στο προ-τεστ. Οι

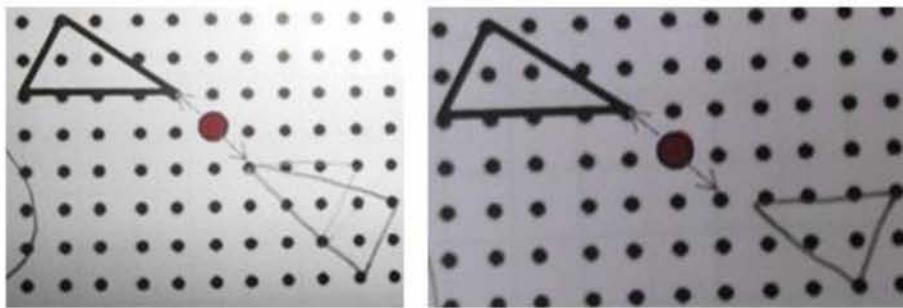
διαστάσεις των σχημάτων διορθώθηκαν στο μετά-τεστ, αλλά το πρώτο σχήμα σχεδιάστηκε σε λανθασμένη απόσταση από το κέντρο συμμετρίας (Εικόνα 49, 50).



Εικόνα 49: 1ο σχήμα στην 3η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση διαστάσεων και αλλοίωση της απόστασης.

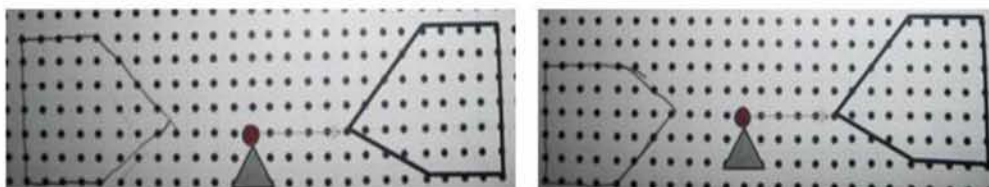
Προ-τεστ

Μετά-τεστ



Εικόνα 50: 2ο σχήμα στην 3η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση διαστάσεων.

Το 3^ο σχήμα σχεδιάστηκε σε λανθασμένη απόσταση στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ και με λανθασμένες διαστάσεις στο μετά-τεστ. Όμως, όσο αναφορά την περιστροφή του σχήματος κατά 180°, εφαρμόστηκε σωστά στο μετά-τεστ, ενώ στο προ-τεστ θυμίζει καθρέφτισμα (Εικόνα 51).



Εικόνα 51: 3ο σχήμα στην 3η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση περιστροφής. Αλλοίωση διαστάσεων. Λανθασμένες αποστάσεις.

Ο Πίνακας 5 δείχνει τη συνολική πρόοδο του μαθητή M2 σε κάθε δραστηριότητα και σε κάθε άξονα παρανοήσεων. Ο μαθητής M2 φαίνεται να βελτίωσε τις ικανότητες του στη σχεδίαση συμμετρικού σχήματος ως προς κέντρο από το προ-τεστ στο μετά-τεστ, σε σχέση με τη βελτίωση της ικανότητας του στην αξονική συμμετρία. Ακόμη, είχε μία μικρή πρόοδο, όσον αφορά την περιστροφή των σχημάτων κατά 180° και τις ορθές ανακλάσεις, ενώ σπάνια διατηρεί τις διαστάσεις των σχημάτων. Όμως έχει γίνει μια μικρή πρόοδο στη διατήρηση των διαστάσεων και των γωνιών των σχημάτων και αυτή αναφέρεται μόνο στην περιστροφή.

Πίνακας 5.

Επιδόσεις του μαθητή M2 με βάση τους άξονες παρανοήσεων.

| Άξονες παρανοήσεων | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Επιτυχία σε κάθε άξονα |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| | | Κάθετος άξονας | Πλάγιος άξονας | Απλή περιστροφή σχήματος | Περιστροφή σχήματος γύρω από σημείο | | |
| Ίσες αποστάσεις από τον άξονα/κέντρο συμμετρίας | Προ-τεστ | 1, 1 | 0, 0 | - | 1, 0, 0 | 1, 1, 0 | 5/10 |
| | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 1 | - | 1, 1, 0 | 0, 1, 0 | 4/10 |
| Περιστροφή του σχήματος 180° ή ορθή ανάκλαση | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 0, 0 | 12/14 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 14/14 |
| Διατήρηση διαστάσεων και γωνιών του σχήματος | Προ-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | - | 0, 0, 0 | 0, 0, 1 | 1/10 |
| | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | - | 0, 1, 0 | 1, 1, 0 | 3/10 |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | Προ-τεστ | 4/6 | 2/6 | 4/4 | 4/9 | 4/9 | 18/34 |
| | Μετά-τεστ | 2/6 | 3/6 | 4/4 | 6/9 | 6/9 | 21/34 |

Ο μαθητής M2 έπαιξε και δεύτερη φορά το παιχνίδι και του ζητήθηκε να απαντήσει σε ορισμένες ερωτήσεις για τον τρόπο που σκέφτηκε, ώστε να περάσει τα εμπόδια.

E: Πως το βρίσκεις;

M2: Το σκέφτομαι στο μυαλό μου, ποιο θα ταιριάζει άμα γυρίσει.

Η απάντηση του υπονοεί την χρήση νοητικών περιστροφών.

E: Γύρω από ποιο σημείο περιστρέφεται το κυβάκι;

M2: Από αυτό. (δείχνοντας τον κώνο ανάμεσα στα νησιά)

E: Πόσες μοίρες περιστρέφεται το κυβάκι;

M2: 180.

Επειδή είχε μεγάλη ευκολία στην εύρεση των λύσεων του έγινε η εξής ερώτηση:

E: Σου φαίνεται εύκολο;

M2: Ναι. Όχι πολύ. Λίγο.

Αφού ολοκλήρωσε το μετά-τεστ ζητήθηκε από τον μαθητή M2 να απαντήσει στις παρακάτω ερωτήσεις σχετικά με τη διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ως προς ένα σημείο, με το κέντρο συμμετρίας και την ονομασία του μετασχηματισμού της περιστροφής.

E: Πως βρήκες το καινούργιο σχήμα μετά την περιστροφή;

M2: Το γύρισα 180° και το σχημάτισα.

Ο μαθητής M2 δεν είχε παρανοήσεις σχετικές με την περιστροφή 180 μοιρών των σχημάτων, όπως φαίνεται και από το φύλλο εργασίας για την περιστροφή. Σχετικά με τις ίσες αποστάσεις από τον άξονα, έδωσε τις εξής απαντήσεις:

E: Πως βρήκες σε ποια θέση θα το βάλεις;

M2: Μετρούσα τις κουκκίδες.

E: Γιατί τις μετρούσες;

M2: Για να βρω...ε πόσες είναι. Την απόσταση.

E: Την απόσταση ανάμεσα σε ποια πράγματα;

M2: ...

E: Από που έως που μετρούσες την απόσταση;

M2: Από το κόκκινο σημείο ως το σχήμα.

E: Ποιο σχήμα; Το παλιό ή το καινούργιο;

M2: Το καινούργιο.

Ο μαθητής M2 χρησιμοποιεί την έννοια της απόστασης στις απαντήσεις του σχετικά με την εύρεση της θέσης, που πρέπει να σχεδιαστεί το νέο σχήμα. Όμως, ενώ στην πράξη μετρούσε τα τετράγωνα ή τις κουκκίδες στο φύλλο εργασίας, δεν έπαιρνε ίσες αποστάσεις από το κέντρο συμμετρίας.

E: Ποιες λέξεις χρησιμοποιούμε στην περιστροφή των σχημάτων;

M2: Η μοίρα. Μετράω.

E: Τι μετράς;

M2: Τα κουτάκια...Απόσταση.

Σχετικά με το κέντρο συμμετρίας είπε:

E: Γύρω από ποιο σημείο περιέστρεψες το σχήμα;

M2: Γύρω από το κόκκινο σημείο. Η το μπλε ή το πράσινο.

Τέλος, ενώ είχε αναφερθεί πολλές φορές η έννοια της περιστροφής, ο μαθητής M2 δεν έκανε τη σύνδεση της έννοιας με τη διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ενός σχήματος εκ περιστροφής. Σχετικά με το όνομα του μετασχηματισμού είπε:

E: Πως ονομάζεται αυτό που έπαθε το σχήμα;

M2: Γύρισε ανάποδα.

E: Τι το έκανες το σχήμα;

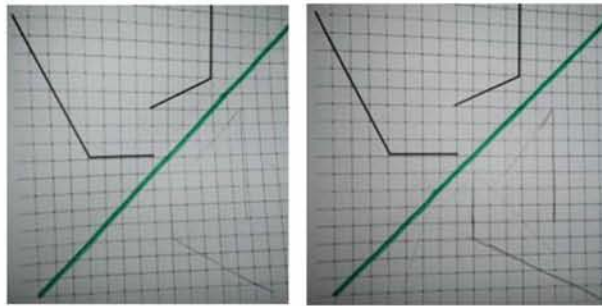
M2: E...δεν ξέρω.

Περίπτωση μαθήτριας M3

Η μαθήτρια M3 στην πρώτη δραστηριότητα της αξονικής συμμετρίας δεν διατήρησε τις διαστάσεις των σχημάτων στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ. Στην δεύτερη δραστηριότητα δεν κατάφερε να σχεδιάσει το 1^ο σχήμα ορθά καθρεφτισμένο και στα δύο τεστ, ενώ το 2^ο σχήμα είχε λάθος διαστάσεις στο προ-τεστ κάτι που διορθώθηκε στο μετά-τεστ (Εικόνα 52).

Προ-τεστ

Μετά-τεστ



Εικόνα 52: 2ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της αξονικής συμμετρίας. Διόρθωση διάστασης.

Στην 1^η δραστηριότητα της περιστροφής η μαθήτρια Μ3 έδωσε σωστές απαντήσεις σε όλα τα έργα στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ. Στην 2^η δραστηριότητα διατήρησε τις διαστάσεις των σχημάτων, εκτός από το 1^ο σχήμα στο μετά-τεστ. Οι αποστάσεις από το κέντρο συμμετρίας ήταν σωστές στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ, εκτός από το 3^ο σχήμα, που ήταν λανθασμένη και στα δύο τεστ.

Στην 3^η δραστηριότητα της περιστροφής δεν διατήρησε τις διαστάσεις των σχημάτων στο προ-τεστ και στο μετά τεστ, εκτός από το 2^ο που το σχεδίασε με σωστές διαστάσεις στο προ-τεστ. Οι αποστάσεις από το κέντρο συμμετρίας ήταν σωστές στο 2^ο και στο 3^ο σχήμα, ενώ ήταν λανθασμένη στο 1ο σχήμα και στα δύο τεστ.

Ο Πίνακας 6 δείχνει τη συνολική πρόοδο της μαθήτριας Μ3 σε κάθε δραστηριότητα και σε κάθε άξονα παρανοήσεων. Η μαθήτρια Μ3 φάνηκε να δυσκολεύτηκε περισσότερο στην αξονική συμμετρία σε σχέση με την περιστροφική συμμετρία, ενώ τα περισσότερα λάθη της οφείλονται στην αλλαγή των διαστάσεων των σχημάτων. Δεν φάνηκε να είχε πολλές παρανοήσεις όσον αφορά τις ίσες αποστάσεις από το κέντρο ή τον άξονα συμμετρίας και στην περιστροφή 180° ή την ορθή ανάκλαση. Όμως, δεν παρουσίασε καμία πρόοδο σε κανέναν από τους τρεις άξονες των παρανοήσεων.

Πίνακας 6.

Επιδόσεις του μαθητή Μ3 με βάση τους άξονες παρανοήσεων.

| Άξονες παρανοήσεων | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Επιτυχία σε κάθε άξονα |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| | | Κάθετος άξονας | Πλάγιος άξονας | Απλή περιστροφή σχήματος | Περιστροφή σχήματος γύρω από σημείο | | |
| Ίσες αποστάσεις από τον άξονα/κέντρο συμμετρίας | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 0 | 0, 1, 0 | 7/10 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 0 | 0, 1, 1 | 8/10 |
| Περιστροφή του σχήματος 180° ή ορθή ανάκλαση | Προ-τεστ | 1, 1 | 0, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 12/14 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 0, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 0, 0 | 11/14 |
| Διατήρηση διαστάσεων και γωνιών του σχήματος | Προ-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | - | 1, 1, 1 | 0, 1, 0 | 4/10 |
| | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 1 | - | 0, 1, 1 | 0, 1, 0 | 4/10 |
| | | | | | | | ΣΥΝΟΛΟ: |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | Προ-τεστ | 4/6 | 3/6 | 4/4 | 8/9 | 4/9 | 23/34 |
| | Μετά-τεστ | 4/6 | 4/6 | 4/4 | 7/9 | 4/9 | 23/34 |

Η μαθήτρια Μ3 έπαιξε και δεύτερη φορά το παιχνίδι και της ζητήθηκε να απαντήσει σε ορισμένες ερωτήσεις για τον τρόπο που σκέφτηκε, ώστε να περάσει τα εμπόδια.

E: Πως το βρήκες;

M3: Το σκέφτηκα.

E: Πως το σκέφτηκες;

M3: Να, γιατί αν περιστραφεί, το κομμάτι θα μπει μέσα στο κενό.

Από την απάντηση της φαίνεται η αναπαράσταση του κύβου στο μυαλό της και η νοητική περιστροφή του κύβου.

M3: Αυτό δεν είναι λάθος, γιατί αυτό θα μπει εδώ μέσα και το μικρό θα πάει από πάνω.(φωναχτή σκέψη)

M3: Όχι δεν είναι αυτό. (Σε εμπόδιο με μοίρες, αφού γύρισε τον κύβο 180°)

E: Γύρω από ποιο σημείο περιστρέφεται το κυβάκι;

M3: Από αυτό. (δείχνοντας τον κόνο)

Αφού ολοκλήρωσε το μετά-τεστ ζητήθηκε από την μαθήτρια M3 να απαντήσει στις παρακάτω προφορικές ερωτήσεις σχετικά με τη διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ως προς ένα σημείο, με το κέντρο συμμετρίας και την ονομασία του μετασχηματισμού της περιστροφής.

E: Πως βρήκες το καινούργιο σχήμα μετά την περιστροφή;

M3: Περίστρεψα το σχήμα 180° γύρω από το κόκκινο σημείο.

Η μαθήτρια M3 δεν είχε παρανοήσεις σχετικές με την περιστροφή 180 μοιρών των σχημάτων, όπως φαίνεται και από το φύλλο εργασίας για την περιστροφή. Σχετικά με τις ίσες αποστάσεις από τον άξονα δεν μπόρεσε να δώσει κάποια απάντηση, όπως και σε όλες τις απαντήσεις της δεν γινόταν καμία αναφορά στην μέτρηση του μήκους. Όμως στα φύλλα εργασίας εφάρμοζε τον κανόνα των ίσων αποστάσεων με μεγάλη επιτυχία.

E: Πως βρήκες σε ποια θέση θα το βάλεις;

M3:...

E: Πώς βρήκες από που θα ξεκινήσει το σχήμα;

M3:...

E: Ποιες λέξεις χρησιμοποιούμε στην περιστροφή των σχημάτων;

M3: Εεε...οι μοίρες....

E: Τι το κάνω το σχήμα;

M3: Περιστρέφω το σχήμα.

E: Γύρω από που το περιστρέφω;

M3: Γύρω από την κόκκινη κουκκίδα.

E: Πως βρήκες το σημείο, που θα ξεκινήσεις να φτιάχνεις το σχήμα;

M3:...

E: Πόσες μοίρες περιέστρεψες το σχήμα;

M3: 180 μοίρες.

E: Πως ονομάζεται αυτό που παθαίνει το σχήμα, όταν το γυρνάμε;

M3: Περιστροφή.

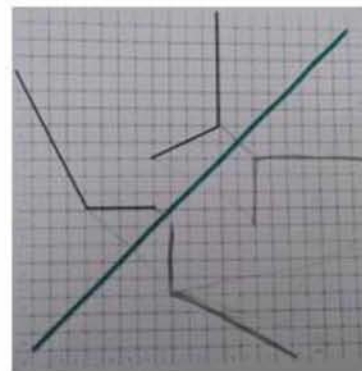
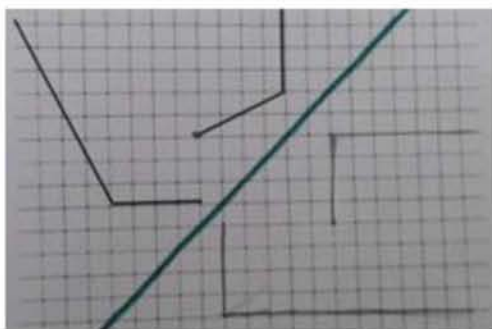
Η μαθήτρια M3 συνέδεσε την διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ενός σχήματος με τον μετασχηματισμό της περιστροφής.

Περίπτωση μαθήτριας M4

Η μαθήτρια M4 φοιτά στην Ε΄ Δημοτικού. Με την αξονική συμμετρία δεν δυσκολεύτηκε σχεδόν καθόλου και η μόνη παρανόηση που υπήρχε ήταν αυτή των διαστάσεων των σχημάτων, η οποία διορθώθηκε στο 2^ο σχήμα στον πλάγιο άξονα στο μετά-τεστ. Κάτι αξιοπερίεργο που παρατηρήθηκε στο μετά-τεστ της μαθήτριας ήταν η κάθετες γραμμές στον άξονα συμμετρίας, που την βοήθησαν να βρει τα σημεία του νέου σχήματος (Εικόνα 53). Η μαθήτρια ενδεχομένως να επηρεάστηκε από τις ράβδους του παιχνιδιού και να προσπάθησε να τις μεταφέρει στο χαρτί.

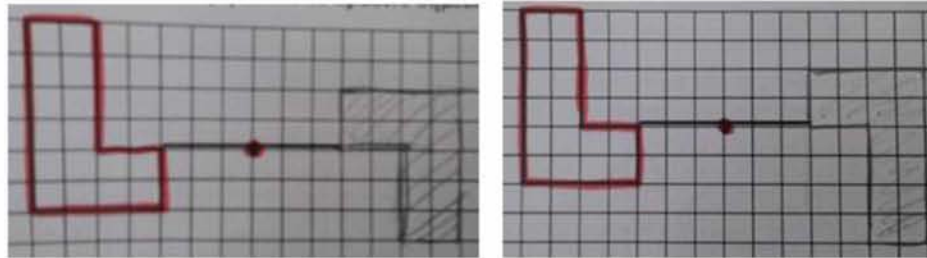
Προ-τεστ

Μετά-τεστ



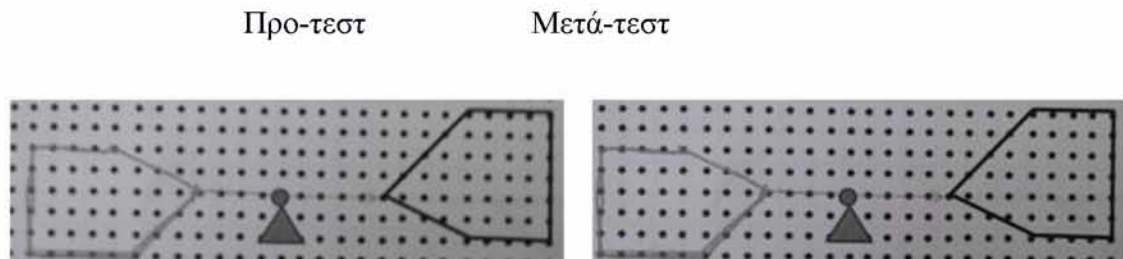
Εικόνα 53: 2ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της αξονικής συμμετρίας. Διόρθωση διαστάσεων.

Στην 1^η δραστηριότητα της περιστροφής η μαθήτρια M4 έδωσε σωστές απαντήσεις και στα δυο τεστ. Στην 2^η δραστηριότητα σχεδίασε το 1^ο και το 3^ο σχήμα με λάθος διαστάσεις στο προ-τεστ, ενώ στο μετά-τεστ διόρθωσε μόνο τις διαστάσεις του πρώτου σχήματος (Εικόνα 54). Στο 2^ο σχήμα η απόσταση από το κέντρο συμμετρίας ήταν λανθασμένη και στα δύο τεστ.



Εικόνα 54: 1ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση διαστάσεων.

Στην 3^η δραστηριότητα το 1^ο και το 2^ο σχήμα σχεδιάστηκαν σε σωστή απόσταση από το κέντρο συμμετρίας, εκτός από το 2^ο σχήμα στο μετά-τεστ. Το 3^ο σχήμα σχεδιάστηκε σε λανθασμένη απόσταση από το κέντρο συμμετρίας στο προ-τεστ, κάτι που διορθώθηκε στο μετά-τεστ (Εικόνα 55).



Εικόνα 55: 3ο σχήμα στην 3η δραστηριότητα για την περιστροφή. Διόρθωση απόστασης.

Οι περιστροφές των 180 μοιρών έγιναν σωστά στο 1^ο και στο 3^ο σχήμα στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ, ενώ το 2^ο σχήμα με τον πλάγιο προσανατολισμό είχε διαφορετική γωνία περιστροφής και στα δύο τεστ. Τέλος, οι διαστάσεις των σχημάτων ήταν λανθασμένες για όλα τα σχήματα της 3ης δραστηριότητας και των δύο τεστ.

Ο Πίνακας 7 δείχνει τη συνολική πρόοδο της μαθήτριας M4 σε κάθε δραστηριότητα και σε κάθε άξονα παρανοήσεων. Η μαθήτρια M4 φάνηκε να δυσκολεύτηκε περισσότερο στην περιστροφική συμμετρία σε σχέση με την αξονική συμμετρία, ενώ τα περισσότερα λάθη της οφείλονται στην αλλαγή των διαστάσεων των σχημάτων. Δεν φάνηκε να είχε πολλές παρανοήσεις όσον αφορά τις ίσες αποστάσεις από το κέντρο ή τον άξονα συμμετρίας και στην περιστροφή 180° ή την ορθή ανάκλαση. Στον μόνο άξονα παρανόησης που παρουσίασε μικρή πρόοδο, ήταν σε αυτό της διατήρησης των διαστάσεων των σχημάτων.

Πίνακας 7.

Επιδόσεις του μαθητή M4 με βάση τους άξονες παρανοήσεων.

| Άξονες παρανοήσεων | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Επιτυχία σε κάθε άξονα |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| | | Κάθετος άξονας | Πλάγιος άξονας | Απλή περιστροφή σχήματος | Περιστροφή σχήματος γύρω από σημείο | | |
| Ίσες αποστάσεις από τον άξονα/κέντρο συμμετρίας | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 0 | 1, 1, 0 | 8/10 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 0 | 1, 0, 1 | 8/10 |
| Περιστροφή του σχήματος 180° ή ορθή ανάκλαση | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 0, 1 | 13/14 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 0, 1 | 13/14 |
| Διατήρηση διαστάσεων και γωνιών του σχήματος | Προ-τεστ | 0, 1 | 0, 0 | - | 0, 1, 0 | 0, 0, 0 | 2/10 |
| | Μετά-τεστ | 0, 1 | 0, 1 | - | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 4/10 |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | Προ-τεστ | 5/6 | 4/6 | 4/4 | 6/9 | 4/9 | 23/34 |
| | Μετά-τεστ | 5/6 | 5/6 | 4/4 | 7/9 | 4/9 | 25/34 |

Η μαθήτρια M4 έπαιξε και δεύτερη φορά το παιχνίδι και της ζητήθηκε να απαντήσει σε ορισμένες ερωτήσεις για τον τρόπο που σκέφτηκε, ώστε να περάσει τα εμπόδια.

E: Πως το βρήκες;

M4: Δεν έβαλα αυτό, γιατί σκέφτηκα πως αν γυρνούσε ανάποδα θα έπεφτε πάνω εδώ και δεν θα γινόταν.

Από την απάντηση της φαίνεται η αναπαράσταση του κύβου στο μυαλό της και η νοητική περιστροφή του κύβου. Αφού ολοκλήρωσε το μετά-τεστ ζητήθηκε από την μαθήτρια M4 να απαντήσει στις παρακάτω ερωτήσεις σχετικά με τη διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ως προς ένα σημείο, με το κέντρο συμμετρίας και την ονομασία του μετασχηματισμού της περιστροφής.

E: Πως βρήκες το καινούργιο σχήμα μετά την περιστροφή;

M4: Μέτρησα τις κουκκίδες για το σχήμα.

E: Από που έως που μέτρησες τις κουκκίδες;

M4: Από το κόκκινο σημείο έως το σχήμα.

E: Ποιο σχήμα; Το παλιό ή το καινούργιο;

M4: Το καινούργιο.

E: Και μετά τι το έκανες το σχήμα;

M4: Το γύρισα.

E: Πόσο το γύρισες;

M4: 180°.

M4: Δηλαδή, μέτρησα τα τετραγωνάκια από την κόκκινη κουκκίδα έως το καινούργιο σχήμα.

E: Και μετά;

M4: Μεταααα...το γύρισα 180°.

Η μαθήτρια M4 δεν είχε παρανοήσεις σχετικές με την περιστροφή 180 μοιρών των σχημάτων και με τις ίσες αποστάσεις από τον άξονα ή το κέντρο συμμετρίας, όπως φαίνεται και από το φύλλο εργασίας για την περιστροφή και από τις απαντήσεις της.

E: Ποιες λέξεις χρησιμοποιούμε στην περιστροφή των σχημάτων;

M4: 180° μοίρες...Εεεε, περιστροφήηηη...Ανάποδα;

E: Τι άλλο;

M4: Σχήματα;

E: Τι έκανες για να περιστρέψεις το σχήμα;

M4: Κουκκίδες.

E: Τι τις έκανες τις κουκκίδες;

M4: Μετράω κουκκίδες...Εεε...Μετράω μήκος.

E: Γύρω από που περιστρέφω το σχήμα;

M4: Από την κόκκινη κουκκίδα.

E: Πόσες μοίρες περιέστρεψες το σχήμα;

M4: 180°.

Η μαθήτρια M4, ενώ στις παραπάνω απαντήσεις χρησιμοποίησε την έννοια της περιστροφής, δεν την συνέδεσε με την διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ως προς σημείο.

E: Πως ονομάζεται αυτό που παθαίνει το σχήμα, όταν το γυρνάμε;

M4: Στρέφεται 180°.

E: Πως το λένε αυτό που του κάνουμε;

M4: Εεε..δεν ξέρω. Μεταμόρφωση;

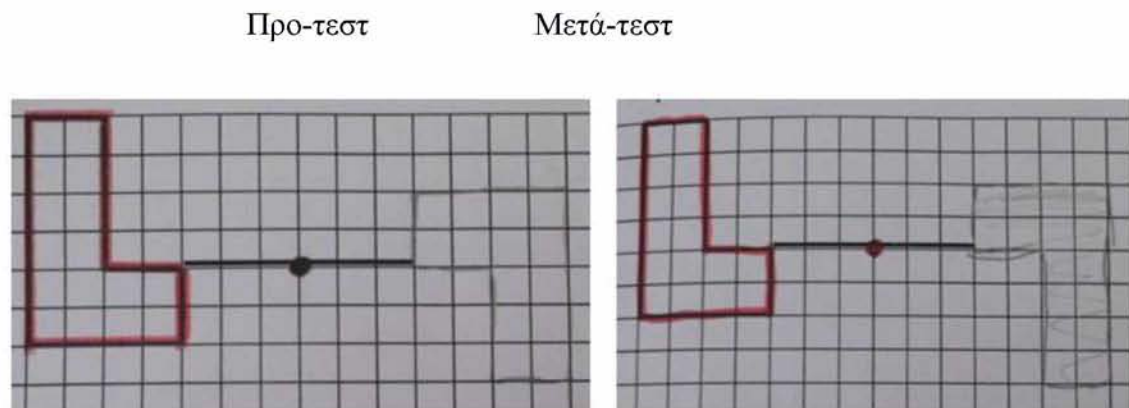
Σε περίπτωση που η μαθήτρια M4 γνωρίζει την ακριβή έννοια της λέξης μεταμόρφωσης και δεν την χρησιμοποίησε τυχαία στην απάντησή της, γίνεται αντιληπτός ο λόγος που δυσκολεύτηκε να διατηρήσει τις διαστάσεις των σχημάτων στα φύλλα εργασίας.

Περίπτωση μαθήτριας M5

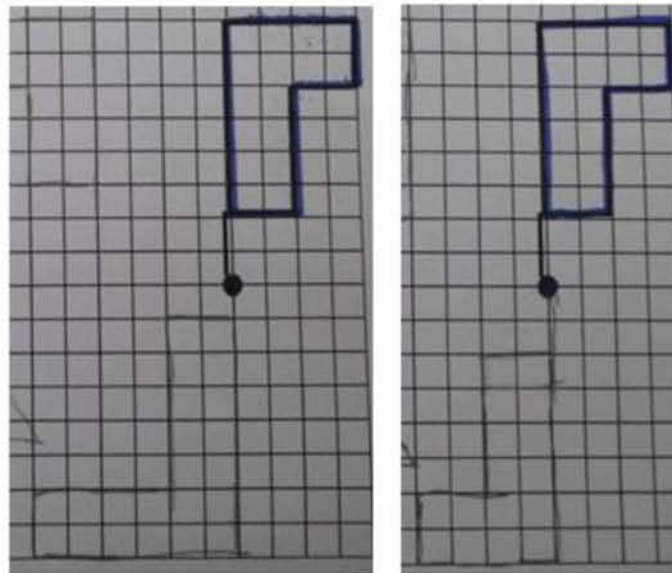
Η μαθήτρια M5 σχεδίασε όλα τα σχήματα εκτός από το 2^ο σχήμα τις 2^η δραστηριότητας στις σωστές αποστάσεις από τον άξονα συμμετρίας και στις δύο δραστηριότητες στο προ-τεστ. Στο μετά-τεστ δεν σχεδίασε κανένα σχήμα στην σωστή απόσταση. Οι ανακλάσεις ήταν σωστές και στα δύο τεστ, ενώ οι διαστάσεις του σχήματος διατηρήθηκε μόνο στο 1^ο σχήμα στον πλάγιο άξονα.

Στην 1^η δραστηριότητα της περιστροφής η μαθήτρια M5 έδωσε ορθές απαντήσεις σε όλα τα σχήματα εκτός από το 4^ο σχήμα, που δεν το περιέστρεψε 180° σε κανένα από τα τεστ. Στην 2^η δραστηριότητα δεν διατηρήθηκαν οι διαστάσεις σε κανένα από τα σχήματα στο

προ-τεστ, ενώ στο μετά-τεστ διορθώθηκαν οι διαστάσεις του 1^{ου} και του 2^{ου} σχήματος (Εικόνα 56, 57). Επίσης, το 2^ο σχεδιάστηκε σε λανθασμένη απόσταση από το κέντρο συμμετρίας στο προ-τεστ, κάτι που διορθώθηκε στο μετά-τεστ (Εικόνα 57), ενώ το 3^ο σχήμα είχε σχεδιαστεί στη σωστή απόσταση στο προ-τεστ και σε λανθασμένη στο μετά-τεστ.



Εικόνα 56: 1ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση διαστάσεων.



Εικόνα 57: 2ο σχήμα στην 2η δραστηριότητα της περιστροφής. Διόρθωση διαστάσεων και απόστασης.

Στην 3^η δραστηριότητα η μαθήτρια Μ5 σχεδίασε όλα τα σχήματα στις σωστές αποστάσεις από το κέντρο συμμετρίας στο προ-τεστ, ενώ στο μετά-τεστ σχεδίασε σε λάθος απόσταση το 1^ο και το 3^ο σχήμα. Οι περιστροφές κατά 180° ήταν ορθές σε όλα τα σχήματα και στα δύο τεστ, εκτός από το 3^ο σχήμα στο προ-τεστ. Τέλος η μαθήτρια Μ5 δεν διατήρησε τις διαστάσεις σε κανένα σχήμα της 3^{ης} δραστηριότητας σε κανένα από τα δύο τεστ.

Ο Πίνακας 8 δείχνει τη συνολική πρόοδο της μαθήτριας Μ5 σε κάθε δραστηριότητα και σε κάθε άξονα παρανοήσεων. Η μαθήτρια Μ5 φάνηκε να δυσκολεύτηκε εξίσου στην περιστροφική και στην αξονική συμμετρία, ενώ τα περισσότερα λάθη της οφείλονται στην αλλαγή των διαστάσεων των σχημάτων στην αξονική συμμετρία. Δεν φάνηκε να είχε πολλές παρανοήσεις όσον αφορά την περιστροφή 180° ή την ορθή ανάκλαση. Στις ίσες αποστάσεις από το κέντρο ή τον άξονα συμμετρίας παρουσίασε αλλοίωση της χρήσης του κανόνα από το προ-τεστ στο μετά-τεστ κυρίως στην αξονική συμμετρία. Στον μόνο άξονα παρανόησης που παρουσίασε μικρή πρόοδο, ήταν σε αυτό της διατήρησης των διαστάσεων των σχημάτων στην περιστροφή.

Πίνακας 8.*Επιδόσεις του μαθητή Μ5 με βάση τους άξονες παρανοήσεων.*

| Άξονες παρανοήσεων | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Επιτυχία σε κάθε άξονα |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| | | Κάθετος άξονας | Πλάγιος άξονας | Απλή περιστροφή σχήματος | Περιστροφή σχήματος γύρω από σημείο | | |
| Ίσες αποστάσεις από τον άξονα/κέντρο συμμετρίας | Προ-τεστ | 1, 1 | 0, 1 | - | 1, 0, 1 | 1, 1, 1 | 7/10 |
| | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | - | 1, 1, 0 | 0, 1, 0 | 3/10 |
| Περιστροφή του σχήματος 180° ή ορθή ανάκλαση | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 0 | 1, 1, 1 | 1, 1, 0 | 12/14 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 0 | 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 13/14 |
| Διατήρηση διαστάσεων και γωνιών του σχήματος | Προ-τεστ | 0, 0 | 1, 0 | - | 0, 0, 0 | 0, 0, 0 | 1/10 |
| | Μετά-τεστ | 0, 0 | 0, 0 | - | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 2/10 |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | Προ-τεστ | 4/6 | 4/6 | 3/4 | 5/9 | 5/9 | 21/34 |
| | Μετά-τεστ | 2/6 | 4/6 | 3/4 | 7/9 | 4/9 | 20/34 |

Περίπτωση μαθητή Μ6

Ο μαθητής Μ6 είχε πολύ καλές επιδόσεις στα έργα αξονικής συμμετρίας, με το μοναδικό του λάθος να ανήκει στην παρανόηση της διατήρησης των διαστάσεων του 2^{ου} σχήματος στον πλάγιο άξονα συμμετρίας στο προ-τεστ και στο μετά-τεστ. Στην περιστροφική συμμετρία δυσκολεύτηκε περισσότερο και οι απαντήσεις του περιελάμβαναν περισσότερο τις παρανοήσεις των ίσων αποστάσεων και της διατήρησης των διαστάσεων και λιγότερο την ορθή περιστροφή κατά 180°. Οι παρανοήσεις αυτές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 8, διατηρήθηκαν ανέπαφες για κάθε σχήμα από το προ-τεστ στο μετά-τεστ και ο μαθητής Μ6 δεν παρουσίασε καμία πρόοδο (Πίνακας 9).

Πίνακας 9.*Επιδόσεις του μαθητή Μ6 με βάση τους άξονες παρανοήσεων.*

| Άξονες παρανοήσεων | Τεστ | Αξονική συμμετρία | | Περιστροφική συμμετρία | | | Επιτυχία σε κάθε άξονα |
|-------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| | | Κάθετος άξονας | Πλάγιος άξονας | Απλή περιστροφή σχήματος | Περιστροφή σχήματος γύρω από σημείο | | |
| Ίσες αποστάσεις από τον άξονα/κέντρο συμμετρίας | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 6/10 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | - | 1, 1, 0 | 0, 0, 0 | 6/10 |
| Περιστροφή του σχήματος 180° ή ορθή ανάκλαση | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 0, 1 | 13/14 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 1 | 1, 1, 1, 1 | 1, 1, 1 | 1, 0, 1 | 13/14 |
| Διατήρηση διαστάσεων και γωνιών του σχήματος | Προ-τεστ | 1, 1 | 1, 0 | - | 1, 1, 0 | 1, 0, 0 | 6/10 |
| | Μετά-τεστ | 1, 1 | 1, 0 | - | 1, 1, 0 | 1, 0, 0 | 6/10 |
| Επιτυχία σε κάθε δραστηριότητα | Προ-τεστ | 6/6 | 5/6 | 4/4 | 7/9 | 3/9 | 25/34 |
| | Μετά-τεστ | 6/6 | 5/6 | 4/4 | 7/9 | 3/9 | 25/34 |
| ΣΥΝΟΛΟ: | | | | | | | |

Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει τη συγκριτική πρόοδο των μαθητών ανά τάξη με βάση τους άξονες των παρανοήσεων. Η εμπειρία παιχνιδιού φαίνεται να βοήθησε περισσότερο τους μαθητές της Στ' Δημοτικού να ξεπεράσουν τις παρανοήσεις τους, σε σχέση με τη βοήθεια που προσέφερε στους μαθητές της Ε' τάξης του Δημοτικού.

Πίνακας 10:*Συνολική πρόοδος στους άξονες παρανοήσεων για κάθε μαθητή.*

| Τεστ | Στ' Δημοτικού | | | Ε' Δημοτικού | | |
|-----------|---------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| Προ-τεστ | 20/34 | 18/34 | 23/34 | 23/34 | 21/34 | 25/34 |
| Μετά-τεστ | 25/34 | 21/34 | 23/34 | 25/34 | 20/34 | 25/34 |
| Πρόοδος | Μεγάλη | Μικρή | Καμία | Μικρή | Καμία | Καμία |

Συμπεράσματα και συζήτηση

Προτάσεις βελτίωσης του παιχνιδιού

Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την πιλοτική αξιολόγηση του παιχνιδιού, οι παρακάτω αλλαγές κρίνονται απαραίτητες:

1. Οδηγίες παιχνιδιού και διαδικασία εξοικείωσης: Αρχικά φάνηκε ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να χειριστούν το παιχνίδι. . Μετά, όμως, από κάποιες αποτυχημένες προσπάθειες, τα παιδιά εξοικειώθηκαν με το μηχανισμό του παιχνιδιού και λειτουργούσαν με αυτοπεποίθηση. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δύσκολος ο μηχανισμός του παιχνιδιού, αλλά ότι απαιτείται μια διαδικασία εξοικείωσης των παιχτών πριν ξεκινήσουν να παίζουν. Για να συμβεί κάτι τέτοιο, θα μπορούσε να υπάρχει, κάποιο παράδειγμα με τη μορφή βίντεο ή 1-2 δοκιμαστικά εμπόδια, πριν την οριστική έναρξη του παιχνιδιού. Επίσης, θα βοηθούσε η βελτίωση των οδηγιών με προφορική επανάληψή τους στο πρώτο εμπόδιο ή την παρουσίαση τους σε μορφή κειμένου.

2. Προσανατολισμός και φωτισμός υποδοχής: Το δεύτερο σημείο βελτίωσης βρίσκεται στο τρίτο εμπόδιο, όπου η θήκη δημιουργούσε δυσκολίες στα παιδιά. Η κάμερα σε αυτό το εμπόδιο θα πρέπει να τοποθετηθεί σε μία πιο κατάλληλη θέση για την σωστή παρατήρηση από τον παίκτη. Επίσης, ο φωτισμός της σκηνής, θα πρέπει να τον βοηθάει να προσδιορίσει σωστά τον προσανατολισμό και την θέση των εσοχών και των εξογκωμάτων της θήκης. Σε μια ακόμη πιο βελτιωμένη έκδοση του παιχνιδιού θα ήταν βοηθητικό ο παίκτης να μπορεί να παρατηρήσει τις θήκες και τους κύβους από πιο κοντά, καθώς και να μπορεί να κινηθεί πάνω και κάτω από τα αντικείμενα αυτά.

3. Εισαγωγή μοιρών στο παιχνίδι: Το τρίτο σημείο βελτίωσης βρίσκεται στα εμπόδια με τις μοίρες, στα οποία σύμφωνα με την πιλοτική εφαρμογή δεν πραγματοποιούνταν νοητικές περιστροφές από τους μαθητές, κάτι που θα έπρεπε λόγω σχεδιασμού να συμβαίνει. Στα εμπόδια αυτά πρέπει να αλλάξει ο τρόπος χειρισμού της περιστροφής. Για να μην μπορεί ο παίκτης να ελέγξει, αν ο κύβος ταιριάζει στη θήκη χωρίς να πατήσει το κουμπί της επιβεβαίωσης, θα πρέπει να μην πραγματοποιείται η

περιστροφή του κύβου από τον παίχτη. Δηλαδή, θα ήταν πιο χρήσιμο, αν ο παίχτης περιέστρεφε μόνο τη ράβδο και ο δείκτης των μοιρών ανέβαινε. Στην συνέχεια και μόνο όταν ο παίχτης πατούσε το κουμπί της επιβεβαίωσης, θα εκτελούνταν η κίνηση-περιστροφή κύβου-ράβδου και θα ελέγχονταν η επιλογή των αντικειμένων και η τιμή στον δείκτη των μοιρών.

Μαθησιακή πρόοδος

Η μαθησιακή πρόοδος που παρουσιάστηκε από το προ-τεστ στο μετά-τεστ ήταν πολύ μικρή για το σύνολο των μαθητών. Οι μισοί μαθητές είχαν μικρή πρόοδο στα έργα συμμετρίας γενικά, ενώ μεγαλύτερη πρόοδος παρουσιάστηκε στην διαδικασία της περιστροφής.

Η μελέτη των φύλλων εργασίας ως προς τους άξονες των παρανοήσεων φανερώνει την μικρή πρόοδο του κάθε μαθητή σε έναν ή σε δύο άξονες, αλλά όχι σε όλους τους άξονες στο σύνολό τους. Πιο συχνή πρόοδος φάνηκε να υπάρχει στην διατήρηση των διαστάσεων των σχημάτων στην περιστροφή και πιο σπάνια στη δίπλωση. Ακολουθεί η πιο σπάνια βελτίωση της ορθής περιστροφής κατά 180° και μια μικρή βελτίωση στο σχεδιασμό σχημάτων σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο συμμετρίας στην περιστροφή.

Στην αξονική συμμετρία οι παρανοήσεις ήταν λιγότερες αρχικά, καθώς οι μαθητές πραγματοποιούσαν ορθές ανακλάσεις. Όμως, παρόλο που το παιχνίδι αναφερόταν συγκεκριμένα στην περιστροφική συμμετρία, επηρεάστηκε θετικά και η επίδοσή τους στην αξονική συμμετρία στους άλλους δύο άξονες παρανοήσεων. Μια μικρή βελτίωση παρατηρήθηκε στη διατήρηση των διαστάσεων των σχημάτων, ενώ μία μικρότερη στην σχεδίαση τους με τη σωστή απόσταση από τον άξονα συμμετρίας.

Μέσα από τις ερωτήσεις που έγιναν στους μισούς μαθητές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, φάνηκαν να χρησιμοποιούν τις νοητικές περιστροφές ως στρατηγική εύρεσης λύσης στα εμπόδια. Επίσης, οι μαθητές φάνηκαν να εντοπίζουν το κέντρο συμμετρίας, τις απαραίτητες μοίρες περιστροφής (180), ενώ στην πλειοψηφία τους δεν μπόρεσαν να συνδέσουν την διαδικασία εύρεσης συμμετρικού ως προς κέντρο με την έννοια της περιστροφής.

Ως εμπειρία το παιχνίδι φάνηκε ενδιαφέρον στα παιδιά και τα εμπόδια έδειξαν να τους προκαλούν, για να τα ξεπεράσουν. Ωστόσο, το παιχνίδι χρήζει απαραίτητων βελτιώσεων με βάση τις προτάσεις που έχουν γίνει και πρέπει να πάρει προεκτάσεις με περισσότερα εμπόδια για περισσότερη ενασχόληση (ο συνολικός χρόνος ενασχόλησης των παιδιών κυμαίνονταν από 3 έως 5 λεπτά). Τέλος, πρέπει να προστεθεί και το βίντεο για το κλείσιμο με την τελική δοκιμασία, για να είναι το παιχνίδι στην ολοκληρωμένη έκδοση του.

Καταληκτικά σχόλια

Σκοπός της πιλοτικής εφαρμογής ήταν να αναδειχθούν οι βελτιώσεις που χρειάζεται το παιχνίδι. Αφού γίνουν οι κατάλληλες διορθώσεις, είναι απαραίτητο το παιχνίδι να ενταχθεί σε ένα ευρύτερο σχέδιο έρευνας με μεγαλύτερο δείγμα και με περισσότερη ανάλυση των απαντήσεων των παιδιών, για να φανούν οι στρατηγικές επίλυσης, που προάγει για την περιστροφή και για να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για την άρση των παρανοήσεων που προσφέρει.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Αναγνώστου, Κ. (2009). *Βιντεοπαιχνίδια: Βιομηχανία και ανάπτυξη*. Αθήνα: Κλειδάριθμος.
- Bagirova, R. E. (2012). Teaching of Symmetry at Mathematics Lessons in the First Forms of Azerbaijan Primary Schools. *Asian Social Science*, 8 (3), 285-291.
- Bellotti, F., Berta, R., & De Gloria, A. (2010). Designing Effective Serious Games: Opportunities and Challenges for Research. *iJET*, 5(SI3), 22-35.
- Binsubaih, A., Maddock, S., & Romano, D. (2006). A serious game for traffic accident investigators. *Interactive Technology and Smart Education*, 3(4), 329-346.
- Clements, D. H. (1998). Geometric and Spatial Thinking in Young Children. In J. V. Copley (Ed.), *Mathematics in the early years* (pp. 66-79). Reston, VA: *National Council of Teachers of Mathematics*.
- Clements, D. H., & Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In D.A. Grows (Ed.), *Handbook of Research in Mathematics Teaching and Learning*. New York: McMillan.
- Dieleman, H., & Huisingh, D. (2006). Games by which to learn and teach about sustainable development: exploring the relevance of games and experiential learning for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 14(9), 837-847.
- El-Dosuky, M. A., Rashad, M. Z., Hamza, T. T., & El-Bassiouny, A. H. (2012). Improving problem solving by exploiting the concept of symmetry. *arXiv preprint arXiv:1212.5776*.
- Evbuomwan, D. (2013). An investigation into the difficulties faced by Form C students in the learning of transformation geometry in Lesotho secondary schools.
- French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor referenced cognitive tests* (pp. 109-113). Princeton, NJ: Educational Testing Service.

- Garvey, C. (1990). *Το παιχνίδι: η επίδρασή του στην εξέλιξη του παιδιού*. (μετ. Σταυροπούλου, Σ.). Αθήνα: Π. Κουτσούμπος Α. Ε.
- Gee, J. P. (2003). *What video game have to teach us about language and literacy*. NY: Palgrave Macmillan.
- Ghyka, M. (1946). *The Geometry of Art and Life*. Legacy Reprint Series. Dover Publications.
- Giannouli, V. (2013). Visual symmetry perception. *Encephalos*, 50, 31-42
- Gronlneck, S. (1990). *The work and play of Winnicott*. Jason Aronson: New Jersey.
- Gunter, G. A., Kenny, R. F. & Vick, E. H., (2006). A case for a formal design paradigm for serious games. *The Journal of the International Digital Media and Arts Association*, 3(1), 93-105.
- Harteveld, C., Guimarães, R., Mayer, I., & Bidarra, R. (2007). Balancing pedagogy, game and reality components within a unique serious game for training levee inspection. In *Technologies for E-Learning and Digital Entertainment* (pp. 128-139). Springer Berlin Heidelberg.
- Henricks, T. S. (2011). Callois's Man, Play and Games: An Appreciation and evaluation. *American Journal of Play*, 3 (2), 157-184.
- Huizinga, J. (1989). *Ο άνθρωπος και το παιχνίδι*. (μετ. Ροζάνης, Σ. & Λυκιαρδόπουλος, Γ.), Αθήνα: Γνώση.
- Karasavvidis, I., Petrodaskalaki, E., & Theodosiou, S. (submitted), IGENAC: A model for SERIOUS Game design.
- Kernan, M. (2007). Play as a context for early learning and development. *The Framework for Early Learning*.
- Kiili, K. (2005). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and higher education*, 8(1), 13-24.

- Knuchel, C. (2004). Teaching symmetry in the elementary curriculum. *The Mathematics Enthusiast*, 1(1), 3-8.
- Κωνσταντικόπουλος, Σ. (2007). *Παιδαγωγική του παιχνιδιού*. Αθήνα: Αδελφοί Κυριακίδη.
- Lean, G., & Clements, M. A. (1981). Spatial ability, visual imagery and mathematics performance. *Educational Studies in Mathematics*, 12, 267-299.
- Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive science*, 5(4), 333-369.
- Mhlolo, M. K., & Schafer, M. (2013). Consistencies far beyond chance: an analysis of learner preconceptions of reflective symmetry. *South African Journal of Education*, 33(2), 1-16.
- Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1-10.
- Pan, M. (2013). *Game development with blender*. Cengage Learning.
- Piaget, J. (1951). *Play, Dreams And Imitation In Childhood*. (Translated by: Cattegno C. and Hodgson F. M.), Oxon: Routledge.
- Πιττάλης, Μ., Μουσουλίδης, Ν. & Χρίστου, Κ. (2006, Ιούνιος). Η ικανότητα αντίληψης των εννοιών του χώρου ως παράγοντας πρόβλεψης της γεωμετρικής ικανότητας. *Έννοιες του Χώρου και Γεωμετρική Ικανότητα. 9^ο Συνέδριο Παιδαγωγικής Εταιρείας Κύπρου*.
- Prensky, M. (2007). *Μάθηση βασισμένη στο ψηφιακό παιχνίδι. Αρχές, δυνατότητες και παραδείγματα εφαρμογής στην εκπαίδευση και την κατάρτιση*. (μετ. Παπασταύρου, Κ. & Παπασταύρου, Ν.), Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Ryan, W., & Charsky, D. (2013). Integrating serious content into serious games. In *FDG* (pp. 330-337).

- Saads, S. M. L., & Edwards, C. W. (1997). Understanding shapes and space from reflection and rotation. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 28(3), 437-446.
- Salen, K., & Zimmermann, E. (2004). *Rules of Play*. Game Design Fundamentals. Massachusetts: MIT Press.
- Salen, K., & Zimmermann, E. (2006). *The Game design reader: rules of play anthropology*. Massachusetts: MIT Press.
- Seepanomwan, K., Caligiore, D., Baldassarre, G., & Cangelosi, A. (2013). Modelling mental rotation in cognitive robots. *Adaptive Behavior*, 21(4), 299-312.
- Shaffer, D., W, Squire, K., D, Halverson, R., & Gee, J., P. (2005). Video games and the future of learning. *Phi Delta Kappan* 87(2):105–111.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171: 701–703.
- Sheridan, M. D. (2002). *Play in early childhood: From birth to six years*. London and New York: Taylor & Francis e-Library.
- Theodosiou, S., & Karasavvidis, I. (2015). Serious games design: A mapping of the problems novice game designers experience in designing games. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 11(3).
- Τσαούσης, Ι. (2008). Μετρώντας την χωρο-αντιληπτική ικανότητα: Η ανάπτυξη και τα ψυχομετρικά Τέστ Αντίληψης Χώρου (TAX). *Ψυχολογία*. 15 (4), 411-431.
- Τσιαντζή, Μ. (1996). *Αγωγή προσχολικής ηλικίας*. Αθήνα: Gutenberg.
- Turgut, M., & Uygan, C. (2014). Designing Spatial Visualization Tasks for Middle School Students with a 3D Modelling Software. *R&E-SOURCE*.
- Tzekaki, M. (1996). Reasoning in early childhood. *European Early Childhood Education Research Journal*, 4 (2): 49-62.

- Van de Walle, A., J. (2007). *Διδάσκοντας Μαθηματικά. Για Δημοτικό και Γυμνάσιο. Μια Αναπτυξιακή Διαδικασία*. Θεσσαλονίκη: Επίκεντρο.
- Vygotsky, L., S. (1997). *Νους στη κοινωνία: Η ανάπτυξη των ανώτερων ψυχολογικών διαδικασιών*. (μετ. Μπίμπου, Α. και Βοσνιάδου, Σ.). Αθήνα: Gutenberg.
- Wagemans, J. (1997). Characteristics and models of human symmetry detection. *Trends in Cognitive Science*, 1(9), 346-352.
- Xistouri, X. (2007). Students' ability in solving line symmetry tasks. In D. Pitta-Pantazi, & G. N. Philippou (Eds.), *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. Lanarca, Cyprus: Department of Education, University of Cyprus).
- Xistouri, X. S. (2013). Transformational geometry ability, its relation to individual differences, and the impact of two interactive dynamic visualisations. Thesis (Ph. D.), University of Cyprus, Faculty of Social Sciences and Education, Department of Education.
- Xistouri, X., & Pitta-Pantazi, D. (2006, July). Spatial rotation and perspective taking abilities in relation to performance in reflective symmetry tasks. In *30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 5, pp. 425-432).
- Yurt, E., & Sunbul, A. M. (2012). Effect of Modeling-Based Activities Developed Using Virtual Environments and Concrete Objects on Spatial Thinking and Mental Rotation Skills. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 12(3), 1987-1992.

Πόροι που βρέθηκαν στο διαδίκτυο

Τρισδιάστατα μοντέλα

Ανθρωπόμορφα μοντέλα: <http://www.blendswap.com/blends/view/61707>

Μοντέλο του Μέγκαμαντ που χρησιμοποιήθηκε στη μηχανή παιχνιδιού:
<http://tf3dm.com/3d-model/kid-49116.html>

Νησάκι: <http://www.blendswap.com/blends/view/76949>

Υφές αντικειμένων

Κουμπί δοκιμής: <https://cdn0.iconfinder.com/data/icons/large-glossy-icons/512/Apply.png>

Κουμπί αναίρεσης: <https://osiprodeusodcspstoa01.blob.core.windows.net/el-gr/media/bf2c0272-a9c0-4a64-8d1d-8494f6f5b6c3.gif>

Επιφάνεια θάλασσας: opengameart.org/node/10599

Ήχοι παιχνιδιού

Ήχος για σωστή απάντηση: <http://www.freesound.org/people/totyta/sounds/19446/>

Ήχος για λάθος απάντηση:
<http://www.freesound.org/people/RICHERlandTV/sounds/216090/>

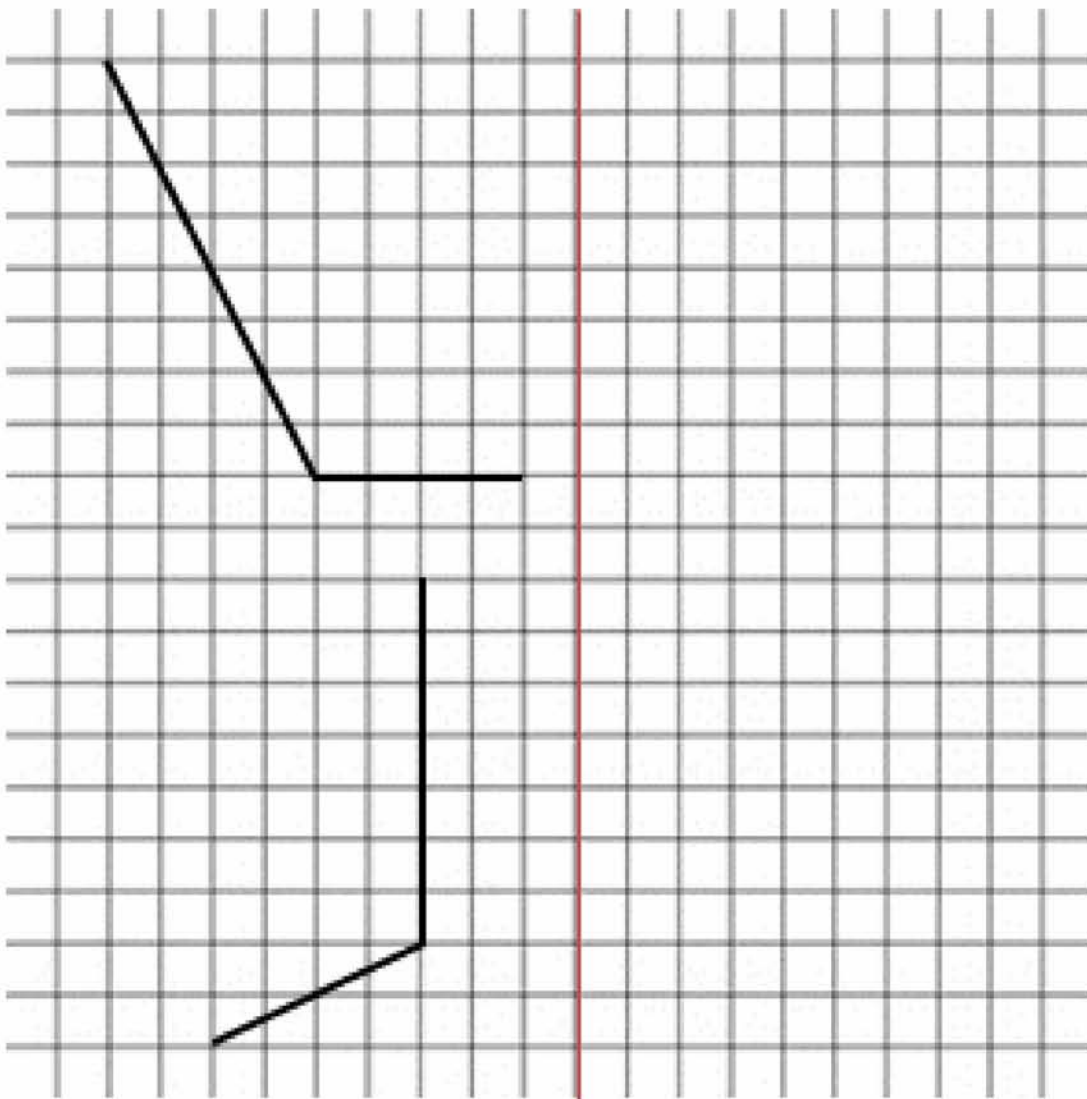
Παράρτημα

Παράρτημα 1- Φύλλα αξιολόγησης

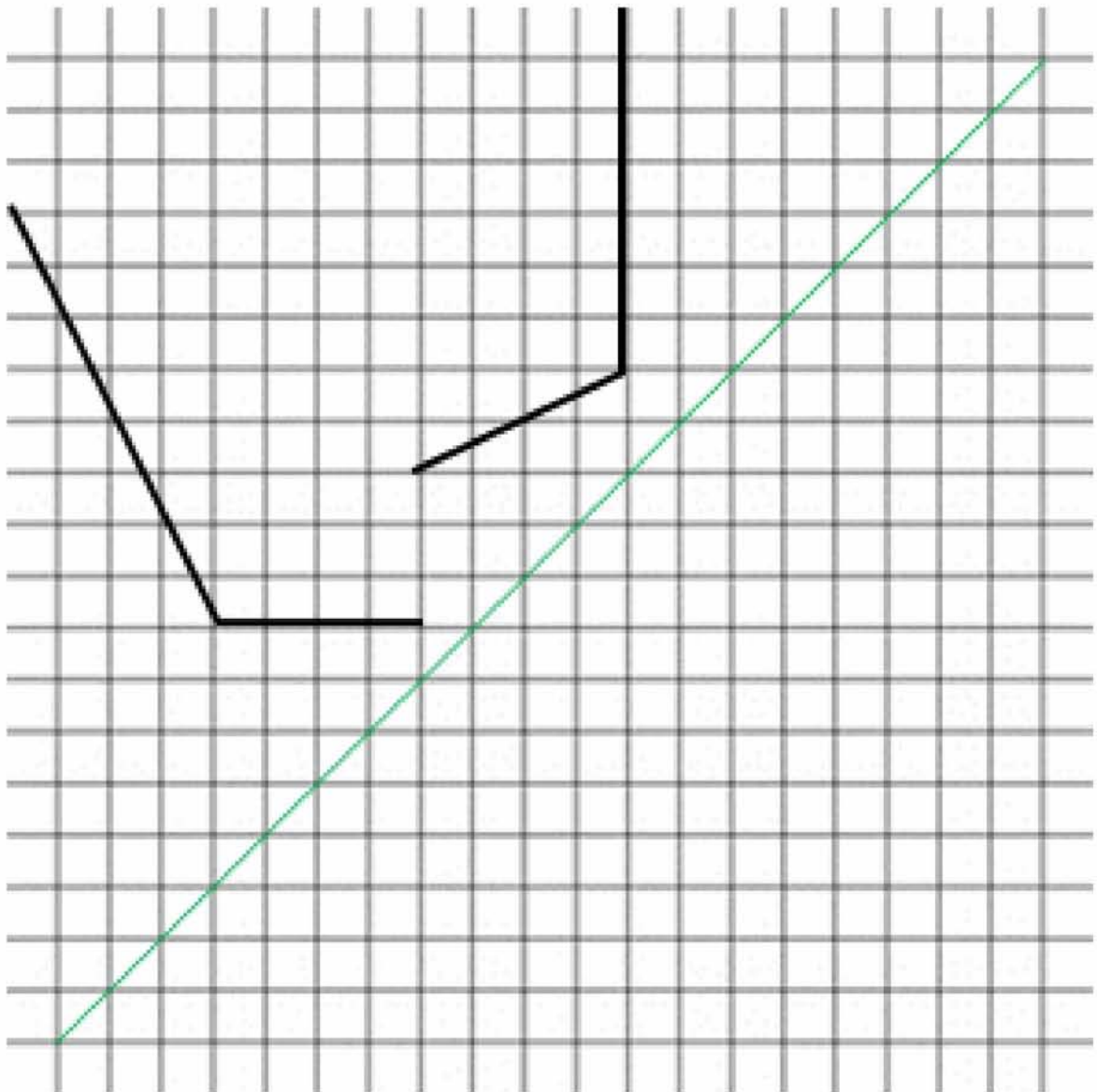
Φύλλο αξιολόγησης για την Αξονική Συμμετρία

- 1) Σχεδιάσε δύο σχήματα που να είναι συμμετρικά με τα σχήματα που υπάρχουν ως προς την κόκκινη γραμμή.

Τα νέα σχήματα πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια θέση, ώστε όταν διπλώσουμε το χαρτί στην κόκκινη γραμμή να ακουμπούν ακριβώς πάνω στα σχήματα που υπάρχουν ήδη.



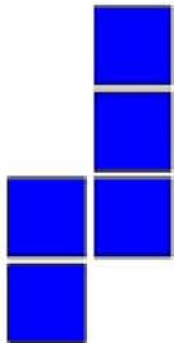
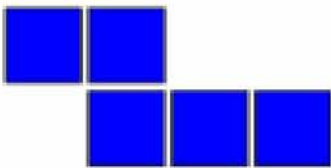
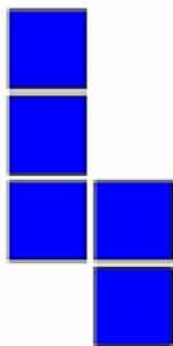
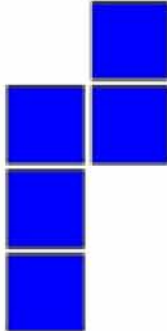
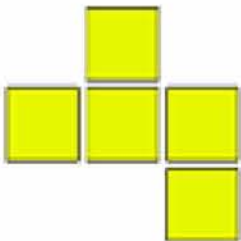
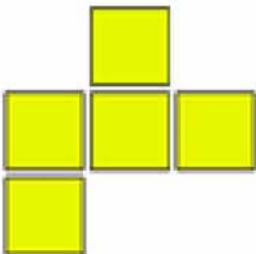
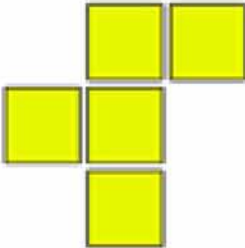
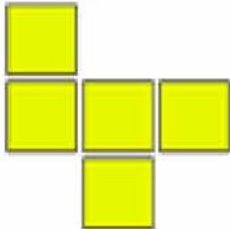
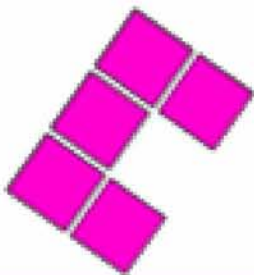
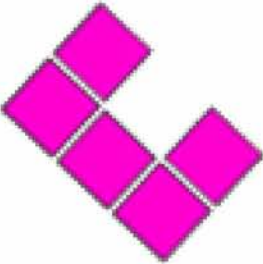
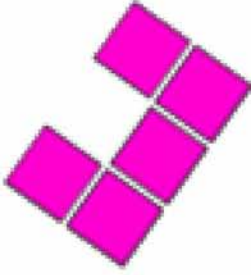
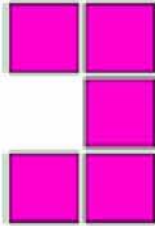
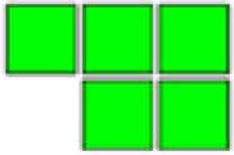
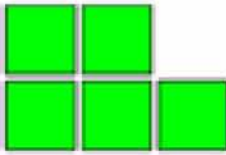
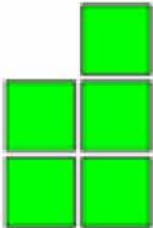
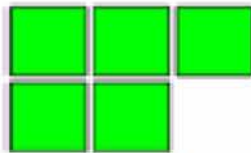
2) Σχεδιάσε δύο σχήματα που να είναι συμμετρικά με τα σχήματα που υπάρχουν ως προς την πράσινη γραμμή.



Φύλλο αξιολόγησης για την Περιστροφική Συμμετρία

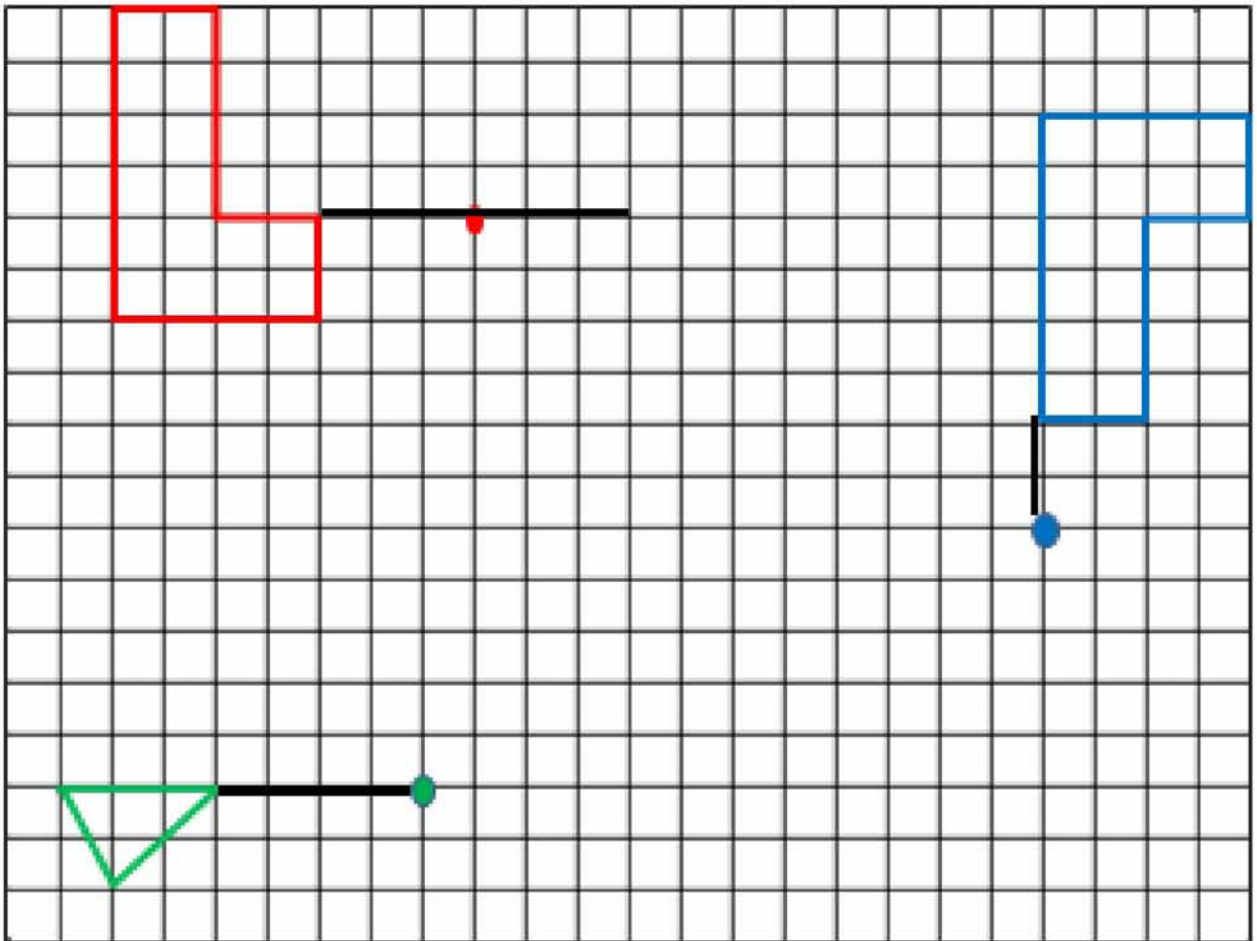
A) Περιστροφή σχημάτων

Βρες και κύκλωσε το σχήμα της ομάδας Β, που είναι ίδιο με το σχήμα της ομάδας Α και έχει περιστραφεί 180°.

| Α' ΟΜΑΔΑ | Β' ΟΜΑΔΑ | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

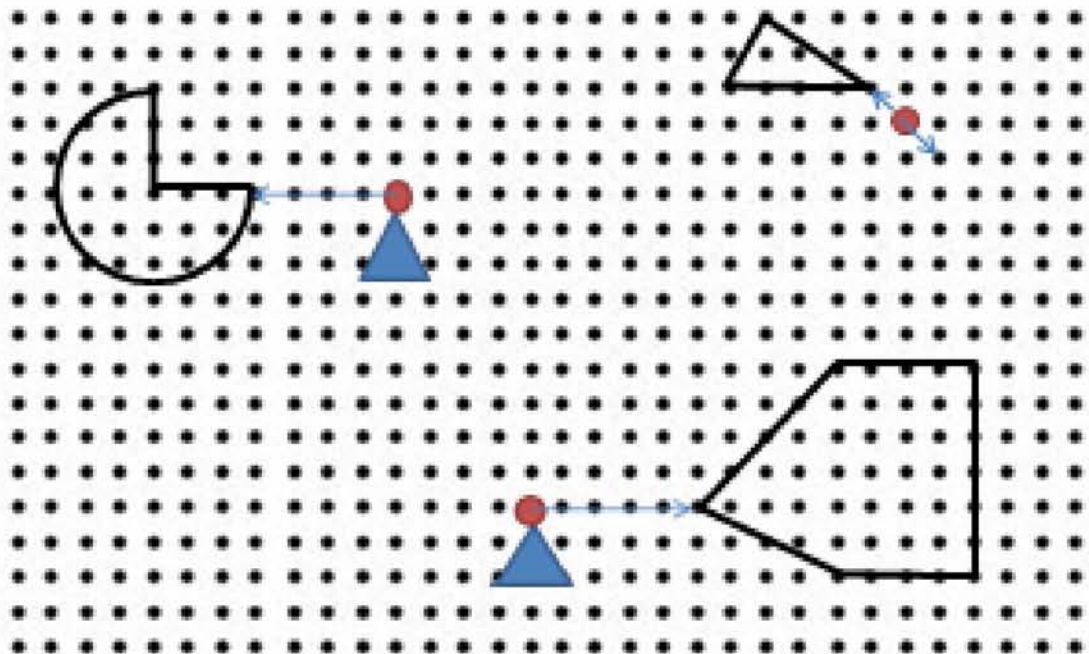
Β) Περιστροφή 180° γύρω από σημείο

- 1) Σχεδιάσε το κόκκινο σχήμα στη θέση που θα βρίσκεται, αν περιστραφεί 180° γύρω από το κόκκινο σημείο.
- 2) Σχεδιάσε το μπλέ σχήμα στη θέση που θα βρίσκεται, αν περιστραφεί 180° γύρω από το μπλέ σημείο.
- 3) Σχεδιάσε το πράσινο σχήμα στη θέση που θα βρίσκεται, αν περιστραφεί 180° γύρω από το πράσινο σημείο.



- 4) Περιέγραψε τη διαδικασία που ακολούθησες, για να βρείς τη καινούργια θέση του κόκκινου σχήματος μετά την περιστροφή του γύρω από το κόκκινο σημείο.

- 5) Σχεδιάσε τα σχήματα στη θέση που θα βρίσκονται αν περιστραφούν 180° γύρω από τα κόκκινα σημεία.



Παράρτημα 2

Πίνακας 11.

Στοιχεία που συλλέχθηκαν από το λογισμικό του παιχνιδιού για κάθε προσπάθεια των μαθητών.

| Στοιχεία | Συμ/χων | 1° εμπόδιο | 2° εμπόδιο | 3° εμπόδιο | 4° εμπόδιο | 5° εμπόδιο | 6° εμπόδιο | 7° εμπόδιο | 8° εμπόδιο | Σύνολο για κάθε μαθητή |
|---------------------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|
| Χρόνος (σε δευτ/πτα) | M1 | 13,3 | 39,6 | | | | | | | |
| | | 10,2 | 7,5 | 21,8 | 10,8 | 53,1 | 41,2 | 19,9 | 28,1 | 192,6 |
| | M2 | 44,1 | 39 | 32,7 | | | | | | |
| | | 7,3 | 9 | 65,7 | 25,7 | 19,3 | 24,5 | 39,8 | 21 | 212,3 |
| | M3 | 81,5 | | | | | | | | |
| | | 5,1 | 21,4 | 24,6 | 53,7 | | | | | |
| | | 11,6 | 12,9 | 15,4 | 9,7 | 98,9 | 51 | 30,6 | 45,6 | 275,7 |
| | M4 | 40,2 | 15,6 | 66,8 | | | | | | |
| | | 37,1 | 12 | 26 | | | | | | |
| | | 9,3 | 8,5 | 9,5 | 15,2 | 35,1 | 15,1 | 40,2 | 35,2 | 168,1 |
| | M5 | 72,2 | | | | | | | | |
| | | 9,9 | 79,1 | 64 | 45,9 | 26,5 | 31,8 | 11,2 | 28,5 | 296,9 |
| M6 | 91,1 | 42 | | | | | | | | |
| | 10,2 | 21,5 | 31,5 | 39,8 | 21,2 | 26,5 | 19,2 | 20,7 | 190,6 | |
| Μέσος όρος χρόνου χωρίς αρχικές προσπάθειες | | 12.58 | 23 | 34.65 | 24.5 | 42.35 | 31.68 | 26.81 | 29.85 | |
| Συνολικός μέσος όρος χρόνου | | 31.65 | 25.67 | 60.4 | 28.68 | 42.35 | 31.68 | 26.81 | 29.85 | 222.7 |
| Πλήθος αναίρέσεων | M1 | 0 | 2 | | | | | | | 2 |
| | | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| | M2 | 1 | 2 | 2 | | | | | | 5 |
| | | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| | M3 | 3 | | | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 1 | 2 | | | | | 3 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|----|----|----|----|---|----|---|----|----|
| | | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 1 | 3 | 11 | |
| | M4 | 0 | 0 | 3 | | | | | | 3 | |
| | | 4 | 0 | 3 | | | | | | 7 | |
| | | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 2 | 10 | |
| | M5 | 3 | | | | | | | | 3 | |
| | | 0 | 3 | 5 | 2 | 0 | 1 | 7 | 1 | 19 | |
| | M6 | 4 | 7 | | | | | | | 11 | |
| | | 0 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 10 | |
| | Συνολικές αναιρέσεις σε κάθε εμπόδιο | 18 | 14 | 20 | 8 | 10 | 6 | 13 | 6 | 61 | |
| Αριθμός χαμένων ζωών | M1 | 0 | 3 | | | | | | | 3 | |
| | | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| | M2 | 0 | 1 | 2 | | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | M3 | 3 | | | | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 0 | 3 | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | 2 |
| | M4 | 0 | 0 | 3 | | | | | | | 3 |
| | | 2 | 0 | 1 | | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 1 |
| | M5 | 3 | | | | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | M6 | 1 | 2 | | | | | | | | 3 |
| | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | Συνολικός αριθμός χαμένων ζωών | 9 | 6 | 10 | 5 | 2 | 0 | 0 | 1 | 33 |