



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

---

# Ρευστή Δημοκρατία

---

Κουλεντιανού Μαρία – Νεκταρία

Επιβλέπων  
Χρήστος Ζαρολιάγκης  
Καθηγητής

Συν Επιβλέπων  
Κώστας Τσίγλας  
Καθηγητής

Συν Επιβλέπων  
Σταύρος Αθανασόπουλος  
ΕΔΙΠ

**Πάτρα, 2022**





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

---

# Ρευστή Δημοκρατία

---

Κουλεντιανού Μαρία – Νεκταρία

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ΜΕΡΑ ΜΗΝΑΣ ΕΤΟΣ.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

Χρήστος Ζαρολιάγκης  
Καθηγητής

Κώστας Τσίχλας  
Καθηγητής

Σταύρος  
Αθανασόπουλος  
ΕΔΙΠ

© Copyright συγγραφής Κουλεντιανού Μαρία – Νεκταρία, 2022

© Copyright θέματος Ζαρολιάγκης Χρήστος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.



# Ευχαριστίες

Με τη παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Χρήστο Ζαρολιάγκη για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Σταύρο Αθανασσόπουλο για τη συνεργασία, τη καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου έδωσε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους δικούς μου ανθρώπους για την καθοδήγηση καθώς και την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.



*Ἄνθρωπος παιδείας κεκοσμημένος τῶν ζώων κάλλιστον.*

*Σωκράτης*



# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	vi
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Κατάλογος πινάκων.....	6
Κατάλογος σχημάτων.....	7
<b>1 Εισαγωγή.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Ορισμός δημοκρατίας.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Μοντέλα δημοκρατίας.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Τι είναι Ρευστή Δημοκρατία και πώς μπορούμε να την ορίσουμε καλύτερα; .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Διαδικασία ψηφοφορίας με Ρευστή Δημοκρατία.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5 Ιστορική αναδρομή .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6 Ανακατασκευή της έννοιας.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7 Τρεις εννοιολογικές προελεύσεις.....</b>	<b>14</b>
<b>1.7.1 Αντιπροσώπευση με πληρεξούσιο – Proxy Representation.....</b>	<b>14</b>
<b>1.7.2 Η αρχή της εθελοντικής εκπροσώπησης – Voluntary Delegation.....</b>	<b>17</b>
<b>1.7.3 Διαδικτυακή συζήτηση – Online Deliberation.....</b>	<b>18</b>
<b>1.8 Προϋπάρχοντες ορισμοί.....</b>	<b>20</b>
<b>1.9 Στόχος της διπλωματικής εργασίας.....</b>	<b>22</b>

1.10	Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας.....	23
1.11	Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	24
2	Σχετικές εργασίες.....	26
2.1	Πρώτη περιγραφή της ψηφοφορίας με πληρεξούσιο.....	26
2.2	Το πείραμα Google Votes.....	26
2.3	Το μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας με εγκύκλιες αντιπροσωπείες.....	27
2.4	Επιπλοκές και αδυναμίες που παρατηρήθηκαν.....	28
2.5	Μία διαφορετική προσέγγιση του μοντέλου ρευστής δημοκρατίας.....	29
2.6	Επίκριση της ρευστής δημοκρατίας.....	30
2.7	Νέες κατευθύνσεις έρευνας.....	31
3	Κοινωνικά Δίκτυα & Γραφήματα.....	36
3.1	Κοινωνικά Δίκτυα.....	36
3.2	Τυχαία γραφήματα.....	38
3.2.1	Erdos-Renyi Model.....	39
3.2.2	Watts-Strogatz Model.....	41
3.2.3	Barabasi-Albert Model.....	43
4	Δίκτυα Μικρόκοσμου.....	45
4.1	Το μοντέλο μικρόκοσμου των Watts & Strogatz.....	46
5	Υλοποίηση.....	48
5.1	Ο Αλγόριθμος greedy_delegation.....	49
5.2	Περιβάλλον υλοποίησης.....	50

5.3 Πειραματικές ρυθμίσεις.....	51
6 Πειράματα.....	52
6.1 Το πείραμα των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert.....	52
6.2 Αποτελέσματα πειραματικών ρυθμίσεων σε σύστημα άμεσης δημοκρατίας.....	55
6.3 Αποτελέσματα πειραμάτων και ανάλυση.....	57
6.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων δικτύων.....	61
7. Βελτιστοποίηση.....	64
7.1 Βελτιστοποίηση του πειράματος των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert.....	65
7.2 Αποτελέσματα των πειραμάτων βελτιστοποίησης και ανάλυση.....	67
7.3 Σύγκριση των βελτιστοποιημένων αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων δικτύων.....	71
8 Συμπεράσματα & Προοπτικές.....	74
8.1 Συμπεράσματα.....	74
8.2 Προοπτικές.....	75
Αναφορές.....	77

# Περίληψη

---

Η Ρευστή Δημοκρατία είναι η μέση λύση μεταξύ της άμεσης και της αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας, καθώς επιτρέπει σε κάθε μέλος είτε να ψηφίσει απευθείας για ένα θέμα, είτε να επιλέξει προσωρινά έναν εκπρόσωπο αναθέτοντας τα εκλογικά του δικαιώματα σε άλλον ψηφοφόρο. Σε συνέχεια του έγγραφου των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], αυτή η εργασία εστιάζει σε συστήματα ρευστής δημοκρατίας με ευρετικές μεθόδους, όπου αναλύονται σε δίκτυα ανάθεσης πραγματικού κόσμου, αλλά και σε τυχαία δίκτυα. Για τα δίκτυα μικρόκοσμου χρησιμοποιείται το μοντέλο δικτύων μικρόκοσμου Watts-Strogatz [30], ενώ όσο αφορά τα τυχαία γραφήματα χρησιμοποιείται το μοντέλο των Erdos-Renyi [12]. Πάνω σε αυτά τα μοντέλα δικτύων πραγματοποιούνται πειράματα βάσει των πιθανοτήτων συνδεσιμότητας του εκάστοτε δικτύου και των ποσοστών πραγματογνωμοσύνης των ψηφοφόρων. Έτσι αποκτώνται περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά τις συμπεριφορές ανάθεσης των ψηφοφόρων και πως αυτές σχετίζονται με τις αντιλήψεις τους για το επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης των γειτόνων τους. Επιπλέον, προτείνεται μια βελτιστοποίηση στο θέμα της ανάθεσης έτσι ώστε να αυξάνεται η πιθανότητα εκλογής της ορθής απόφασης.

Λέξεις κλειδιά: Ρευστή Δημοκρατία, άμεση, αντιπροσωπευτική, ανάθεση, δίκτυα μικρόκοσμου, βελτιστοποίηση.

# Abstract

---

Liquid Democracy comprise the middle ground between direct and representative democracy, as it allows to voters to either vote directly on an issue or elect a temporary representative by delegating his voting rights to another him. Following the work of Becker, D' Angelo, Delfaraz and Gilbert [2], this paper focuses on liquid democracy systems with centralized heuristic methods, which are analyzed not only in real-world delegation networks, but also in random networks . The Watts-Strogatz microcosm model [30] is used for microcosm networks, while the Erdos-Renyi model [12] is used for random networks. Experiments are performed on these network models based on each network's connectivity probabilities and voter expertise rates. This provides more information on voter assignment behaviors and how they relate to their perceptions of their neighbors' level of expertise. In addition, an optimization is suggested on the issue of delegating in order to increase the probability of choosing the right decision.

Key words: Liquid Democracy, direct, representative, delegate, small world networks, optimization.

# Κατάλογος πινάκων

1.1 Έξι μοντέλα σε δύο διαστάσεις της πολιτικής δημοκρατίας .....	10
5.1 Οι 12 μεταβολές ποσοστών Guru-Misinformed-Average ψηφοφόρων.....	51
6.1 Πειραματικές τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert.....	53
6.2 Πειραματικά αποτελέσματα για τις τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS δίκτυο.....	54
6.3 Πειραματικά αποτελέσματα για τις τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για ER δίκτυο.....	54
6.4 Αποτελέσματα πειραματικών ρυθμίσεων για σύστημα άμεσης δημοκρατίας .....	56
6.5 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με $b=0.25$ . ....	57
6.6 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με $b=0.5$ .....	59
6.7 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με $b=0.75$ .....	60
7.1 Πειραματικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS δίκτυο.....	65
7.2 Πειραματικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για ER δίκτυο.....	65
7.3 Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με $b=0.25$ .....	67
7.4 Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με $b=0.5$ .....	69
7.5 Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με $b=0.75$ .....	70

# Κατάλογος σχημάτων

1.1 Παράδειγμα διαδικασίας ψηφοφορίας με Ρευστή Δημοκρατία.....	12
3.1 Χάρτης δικτύου συν-συγγραφέων γιατρών που δημοσιεύουν για την ηπατίτιδα C από τον Andy Lamb .....	37
3.2 Τυχαίο γράφημα μοντέλου Erdos-Renyi. (a) για $p=0$ , (b) για $p=0.1$ και (c) για $p=0.2$ .....	39
3.3 Η κατασκευή του μοντέλου Watts-Strogatz. Για το κανονικό γράφημα $p = 0$ . Το τυχαίο γράφημα προκύπτει στο $p = 1$ και για τις ενδιάμεσες τιμές του $p$ , δημιουργείται ένα δίκτυο μικρού κόσμου.....	41
3.4 Τρία γραφήματα που δημιουργήθηκαν με το μοντέλο Barabasi-Albert.....	44
4.1 a) Μονοδιάστατο πλέγμα του οποίου κάθε άκρη είναι συνδεδεμένοι στους 6 κοντινότερους γείτονες, (b) Το ίδιο πλέγμα με περιοδικές οριακές συνθήκες, (c) Το μοντέλο Watts-Strogatz δημιουργείται ξανασυνδέοντας ένα μικρό μέρος των ήδη συνδεδεμένων κόμβων.....	46
6.1 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τις πειραματικές τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS και ER δίκτυα .....	54
6.2 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με $b=0.25$ .....	58
6.3 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER με $b=0.5$ .....	59
6.4 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με $b=0.75$ .....	61
6.5 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS δίκτυα για τις τρεις τιμές πιθανότητας συνδεσιμότητας.....	63
6.6 Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για ER δίκτυα για τις τρεις τιμές πιθανότητας συνδεσιμότητας.....	63
7.1 Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τις πειραματικές τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS και ER δίκτυα.....	66

<b>7.2</b> Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με $b=0.25$ .....	68
<b>7.3</b> Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με $b=0.5$ .....	69
<b>7.4</b> Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με $b=0.75$ .....	71
<b>7.5</b> Συνδυασμός βέλτιστων και μη μέσων όρων τιμών ακριβείας για τις διάφορες τιμές του $b$ για δίκτυα WS.....	73
<b>7.6</b> Συνδυασμός βέλτιστων και μη μέσων όρων τιμών ακριβείας για τις διάφορες τιμές του $b$ για δίκτυα ER.....	73



---

# *1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ*

---

## 1.1 Ορισμός δημοκρατίας

Η προέλευση του όρου «δημοκρατία» είναι από την Αρχαία Ελλάδα. Η ορολογία προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις «κράτος», που σημαίνει εξουσία και «δῆμος» που σημαίνει άνθρωποι. Ο συνδυασμός των δύο λέξεων σημαίνει «κυβέρνηση από το λαό».

## 1.2 Μοντέλα δημοκρατίας

Ο μεγάλος αριθμός αντιλήψεων για τη δημοκρατία μπορεί να συνοψιστεί μόνο με αναλυτικά μέσα. Μια επιτυχημένη προσπάθεια να γίνει αυτό έχει πραγματοποιηθεί από τον David Held στο *Models of Democracy* το 1987 [17]. Έξι από τα εννέα μοντέλα ιδανικού τύπου, μπορεί να χρησιμεύσουν ως επεξηγηματική βάση για τις απόψεις που μπορούν πραγματικά να παρατηρηθούν στο σχεδιασμό και τη χρήση της τεχνολογίας των πληροφοριών και των επικοινωνιών στην πολιτική. Δύο διαστάσεις χαρακτηρίζουν τις διαφορές σε αυτά τα μοντέλα:

- ποιοι πρέπει να είναι οι στόχοι και τα μέσα της δημοκρατίας;
- πρέπει ο πρωταρχικός στόχος να είναι ο σχηματισμός της γνώμης ή η λήψη αποφάσεων;

Με άλλα λόγια, είναι η δημοκρατία πρωτίστως θέμα ουσιαστικής συμβολής ή διαδικασίας; Αυτοί οι στόχοι πρέπει να επιτευχθούν πρώτα απ' όλα με τους τρόπους της αντιπροσωπευτικής ή της άμεσης δημοκρατίας; Τα επιλεγμένα μοντέλα δημοκρατίας μπορούν να εντοπιστούν σε αυτό το δισδιάστατο αναλυτικό χώρο που φαίνεται στον πίνακα 1.1.

PRIMARY GOAL	OPINION FORMATION	DECISION MAKING
PRIMARY MEANS		
REPRESENTATIVE DEMOCRACY	PLURALIST PARTICIPATORY	LEGALIST COMPETITIVE LIBER
DIRECT DEMOCRACY		PLEBISCITARY

*Πίνακας 1.1. Έξι μοντέλα σε δύο διαστάσεις της πολιτικής δημοκρατίας (pluralist: πλουραλιστική, participatory: συμμετοχική, liber: απελευθερωτική, legalist: νομική, competitive: ανταγωνιστική, plebiscitary: δημοψηφισματική)*

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το μοντέλο της Ρευστής δημοκρατίας, το οποίο διατηρεί χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικής και άμεσης δημοκρατίας και ως πρωταρχικό στόχο έχει τη λήψη αποφάσεων. Η θέση της ρευστής δημοκρατίας στο πίνακα 1.1 θα ήταν στο κέντρο και δεξιά.

## 1.3 Τι είναι Ρευστή Δημοκρατία και πώς μπορούμε να την ορίσουμε καλύτερα;

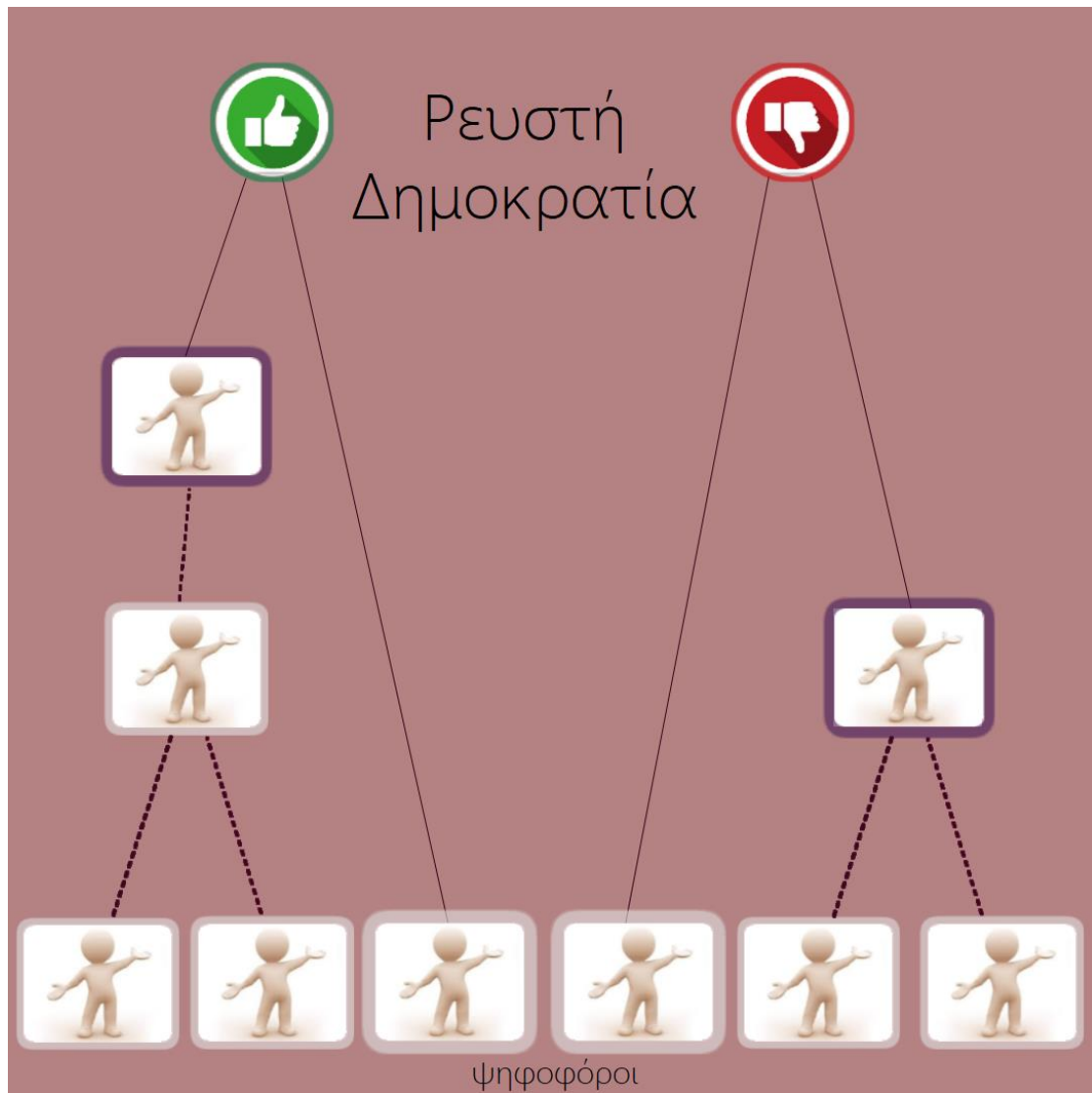
Η ρευστή δημοκρατία είναι ένα πρόσφατο φαινόμενο που θα μπορούσε να επηρεάσει ριζικά την κατανόησή μας για τη δημοκρατία. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική σημασιολογική σύγχυση γύρω από αυτήν την έννοια, και οι

ερευνητές στις κοινωνικές επιστήμες, καθώς και στην πολιτική θεωρία, δεν έχουν επί του παρόντος έναν γενικό ορισμό που είναι ευρέως αποδεκτός ως τυπική αναφορά.

Ακολουθώντας μια κλασσική σημασιολογική προσέγγιση στη διαμόρφωση της έννοιας, η ρευστή δημοκρατία είναι ένα σύστημα λήψης αποφάσεων που χαρακτηρίζεται από ρευστότητα – δηλαδή ο συστηματικός και ευέλικτος συνδυασμός άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας- και είναι ουσιαστικά βασισμένη στις αρχές της εκούσιας ανάθεσης και της ψηφοφορίας μέσω πληρεξουσίου. Αυτός ο ορισμός μπορεί να χρησιμεύσει ως αφετηρία από την οποία θα μπορούσαν να διεξαχθούν περαιτέρω θεωρητικές και κανονιστικές μελέτες για τη ρευστή δημοκρατία στο μέλλον.

## 1.4 Διαδικασία ψηφοφορίας με Ρευστή Δημοκρατία

Ας φανταστούμε μια ομάδα (ή πληθυσμό) με καθολική ψηφοφορία, της οποίας όλα τα μέλη (ή οι ψηφοφόροι) έχουν το δικαίωμα – για κάθε συλλογική απόφαση (ή πολιτική) – είτε να ψηφίσουν απευθείας είτε να αναθέσουν τη ψήφο τους σε έναν εκπρόσωπο (ή πληρεξούσιο). Ο καθένας μπορεί ελεύθερα να αποφασίσει γιατί και σε ποιόν να εκχωρήσει την ψήφο του ή να θέσει υποψηφιότητα ως πληρεξούσιος. Οι ψηφοφόροι μπορούν να επιλέξουν διαφορετικούς εκπροσώπους για διαφορετικά ζητήματα, με κάθε πληρεξούσιο να εκπροσωπεί τους αρχικούς ψηφοφόρους του για μία ή περισσότερες πολιτικές ή τομείς πολιτικής, εφόσον η αντιπροσωπεία δεν αποσυρθεί. Δεν υπάρχει ανώτατο όριο στον συνολικό αριθμό των αντιπροσωπειών και οι πληρεξούσιοι μπορούν να εκχωρήσουν εκ νέου σε άλλους πληρεξούσιους. Για κάθε απόφαση, οι ψηφοφόροι που δεν αναθέτουν εξουσιοδότηση δίνουν μια ψήφο, ενώ οι πληρεξούσιοι δίνουν όλες τις ψήφους που έχουν εκχωρηθεί συν τη δική τους. Εάν υποθέσουμε, για λόγους απλοποίησης, ότι οι αποφάσεις είναι δυαδικές, το αποτέλεσμα ορίζεται από τον κανόνα της πλειοψηφίας. Όλη αυτή η διαδικασία διευκολύνεται από τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών.



Σχήμα 1.1. Παράδειγμα διαδικασίας ψηφοφορίας με Ρευστή Δημοκρατία

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1, κατά τη διαδικασία της ψηφοφορίας οι ψηφοφόροι είτε ψηφίζουν άμεσα για ένα ζήτημα «True» ή «False» (απλή γραμμή), είτε αναθέτουν προσωρινά τα δικαιώματα ψήφου τους σε τρίτους (διακεκομμένη γραμμή). Αυτούς τους καλούμε *guru* και ψηφίζουν και αυτοί με τη σειρά τους αλλά με τη διαφορά ότι η ψήφος τους έχει το βάρος των αναθέσεων που τους αντιστοιχεί (το πλήθος των ψηφοφόρων που αναθέτουν σε αυτούς) συν τη δική τους ψήφο.

## 1.5 Ιστορική αναδρομή

Η έννοια της ρευστής δημοκρατίας κέρδισε το ενδιαφέρον τη δεκαετία του 2010, κυρίως χάρη στο Γερμανικό Κόμμα Πειρατών (Piratenpartei) [24], αλλά ο ίδιος

ο όρος ήταν ήδη παρών στο διαδίκτυο από τις αρχές της δεκαετίας του 2000. Σε αυτούς τους χώρους, η ρευστή δημοκρατία έχει γενικά αναγνωριστεί ως ένα υβριδικό σύστημα ψηφοφορίας, που συνδυάζει τα καλύτερα σημεία της άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας. Εκτός από αυτή τη ζωνή συζήτησης, η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία στους υπολογιστές και στη θεωρία παιγνίων ασχολείται όλο και περισσότερο με αυτήν την ιδέα (π.χ. Christoff & Grossi το 2017 [9]).

Παρά τον έπαινο που έχει λάβει από τους λάτρεις των υπολογιστών και το αυξανόμενο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον για την τεχνική εφαρμογή της, η ρευστή δημοκρατία παρέμεινε σε μεγάλο βαθμό αδιάφορη στη πολιτική επιστήμη και τη φιλοσοφία. Αυτό έχει οδηγήσει σε ασυνεπείς διατυπώσεις της ρευστής δημοκρατίας οδηγώντας σε σημαντική εννοιολογική σύγχυση που πρέπει να αντιμετωπιστεί προτού αναληφθούν περαιτέρω εμπειρικές ή κανονιστικές μελέτες. Τι είναι, λοιπόν, η ρευστή δημοκρατία και πώς μπορούμε να την ορίσουμε καλύτερα; Συμμετέχοντας στη διαμόρφωση της έννοιας, παρέχεται μια πρώτη εις βάθος εννοιολογική ανάλυση της ρευστής δημοκρατίας που στοχεύει στο να διευκρινίσει το νόημά της και να προωθήσει μια κριτική ακαδημαϊκή συζήτηση. Με αυτόν τον τρόπο, ακολουθείται η αργή αλλά σημαντική αύξηση προσοχής που απολάμβανε πρόσφατα η ρευστή δημοκρατία στη κανονιστική δημοκρατική θεωρία (π.χ. Blum & Zuber το 2016 [5], Landemore το 2020 [22], Valsangiacomo το 2021 [27]).

## 1.6 Ανακατασκευή της έννοιας

Μερικοί ερευνητές ισχυρίζονται ότι η ιδέα της ρευστής δημοκρατίας εμφανίστηκε γύρω στις αρχές του αιώνα σε ένα σαφώς μη ακαδημαϊκό πλαίσιο (π.χ. Adler το 2018: 94 [1], Paulin το 2019: 75-79 [23]). Αν και είναι αλήθεια ότι ο όρος επινοήθηκε μόλις πρόσφατα σε διαδικτυακά φόρουμ και κέρδισε εξέχουσα θέση κυρίως χάρη στις εφαρμογές του στον πραγματικό κόσμο, η ιδέα της ρευστής δημοκρατίας είναι παλαιότερη και εν μέρει έχει τις ρίζες της σε εξειδικευμένες ακαδημαϊκές συζητήσεις. Τα αποτελέσματα αυτής της ανακατασκευής παρουσιάζονται παρακάτω με τρεις εννοιολογικές προελεύσεις με τα βασικά συστατικά της ρευστής δημοκρατίας καθώς και με προϋπάρχοντες ορισμούς της.

## 1.7 Τρεις εννοιολογικές προελεύσεις

Η ρευστή δημοκρατία χαρακτηρίζεται από τρεις κύριες ιδιότητες: εκπροσώπηση πληρεξουσίου, εθελοντική ανάθεση και διαδικτυακή συζήτηση. Όλα τα άλλα περιφερειακά χαρακτηριστικά μπορούν να υπαχθούν σε ένα από αυτά τα τρία χαρακτηριστικά υψηλότερου επιπέδου.

1. Η αρχή της αντιπροσώπευσης με πληρεξούσιο επινοήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1910 για να διασφαλίσει ισχυρή αναλογική εκπροσώπηση τροποποιώντας τον παραδοσιακό κοινοβουλευτικό κανόνα «ένα μέλος του κοινοβουλίου συνεπάγεται μία ψήφος».
2. Η αρχή της εθελοντικής εκπροσώπησης εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1960 για να προωθήσει μεγαλύτερη συμμετοχή και τεχνογνωσία αφήνοντας τους πολίτες να αποφασίσουν εάν θα ψηφίσουν ή όχι απευθείας.
3. Η αρχή της διαδικτυακής συζήτησης εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 2000 για να βελτιώσει την ποιότητα της συμμετοχής ενθαρρύνοντας τη διαδικτυακή συζήτηση.

### 1.7.1 Αντιπροσώπευση με πληρεξούσιο – Proxy Representation

Η έννοια του πληρεξουσίου είναι διάχυτη στη βιβλιογραφία για την ρευστή δημοκρατία. Ο όρος «πληρεξούσιος» προέρχεται από το λατινικό ρήμα «procurare», που σημαίνει φροντίζω (-curare) για κάτι ή κάποιον για λογαριασμό (pro-) κάποιου. Ως εκ τούτου, είναι ένας σαφής όρος που έχει συσχετιστεί με ένα ευρύ φάσμα μορφών αναπαράστασης. Ένας πληρεξούσιος περιγράφεται ως «η αντιπροσωπεία, η λειτουργία ή το αξίωμα ενός αναπληρωτή που ενεργεί ως υποκατάστατο άλλου» ή ως «η εξουσία να εκπροσωπεί κάποιον άλλο, ειδικά στη ψηφοφορία». Γενικά, αναφέρεται στο άτομο που αναλαμβάνει αυτή την εξουσία για να εκπροσωπεί άλλους.

Παρόλο που είναι δυνατό για το «proxy» να σημαίνει έναν απλό εκπρόσωπο, η αντιπροσώπευση πληρεξουσίου πρέπει να εκπληρώνει μια διαφορετική λειτουργία στο

πλαίσιο της ρευστής δημοκρατίας με δυνατότητα τεχνολογίας. Είναι ενδιαφέρον ότι ο «πληρεξούσιος» μπορεί επίσης να αναφέρεται σε «ένα σχήμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει την αξία κάποιου σε έναν υπολογισμό».

Στη στατιστική, οι ερευνητές έρχονται συχνά αντιμέτωποι με μη παρατηρήσιμα φαινόμενα. Όποτε δεν υπάρχει διαθέσιμο μέτρο για τη λειτουργικότητα μιας δεδομένης έννοιας σε μία μεταβλητή, οι στατιστικολόγοι συνήθως αναζητούν ένα έμμεσο μέτρο, που ονομάζεται αντιπρόσωπος ή υποκατάστατο, το οποίο μπορεί να προσεγγίσει τη μεταβλητή ενδιαφέροντος λόγω μιας ισχυρής συσχέτισης με αυτήν. Δεν είναι όλοι οι εκπρόσωποι εξίσου κατάλληλοι ή ακριβείς. Στην πολιτική, ένας πληρεξούσιος αντιπροσωπεύει ιδανικά με μεγάλη ακρίβεια, αυτούς που τον επέλεξαν ως πληρεξούσιο.

Η ακρίβεια μπορεί να γίνει κατανοητή σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Από τη μία πλευρά, με ουσιαστική ή μεταφυσική έννοια, συνδέεται με τη στατιστική εγκυρότητα: Αντιπροσωπεύει πραγματικά αυτό που υποτίθεται ότι μετράει ή αντιπροσωπεύει. Από την άλλη πλευρά, η ακρίβεια μπορεί να είναι ένα καθαρά επίσημο κριτήριο που περιγράφει την ορθότητα της υπολογιστικής διαδικασίας, δηλαδή όλες οι σημαντικές πληροφορίες περιλαμβάνονται συστηματικά στον υπολογισμό. Υπό αυτή τη δεύτερη έννοια, μια καλύτερη ερώτηση θα μπορούσε να είναι: Πόσο σωστά αντικατοπτρίζει το βάρος ψήφου των πληρεξουσίων την κατανομή της δύναμης ψήφου μεταξύ των αρχικών ψηφοφόρων; Ή σε ένα δημοκρατικό πολίτευμα: Πόσο κοντά είμαστε στο πρότυπο «ένας άνθρωπος – μια ψήφος» μετά τη μετατροπή των ψήφων σε κοινοβουλευτικές έδρες. Ορισμένοι πρόδρομοι της ιδέας της ρευστής δημοκρατίας αγκάλιασαν την ιδέα του πληρεξουσίου και της ψηφοφορίας μέσω πληρεξουσίου ακριβώς ως απάντηση στο τελευταίο ερώτημα.

Η βασική ιδέα είναι να επιτευχθεί ένα απολύτως αναλογικό σύστημα εκπροσώπησης, στο οποίο η κατανομή της εκλογικής εξουσίας του πληθυσμού προσεγγίζεται με τη μέγιστη ακρίβεια στο νομοθετικό σώμα. Εάν ο αριθμός των εδρών δεν είναι περιορισμένος, η παροχή άνισης ψήφου στους πληρεξουσίου είναι ο μόνος τρόπος για να επιτευχθεί δικαιοσύνη και να διατηρηθεί η αντιπροσωπευτικότητα. Διότι, στην καθαρή άμεση δημοκρατία όλοι θα συμφωνούσαν ότι η αρχή «ένα άτομο – μία ψήφος» είναι δίκαιη, επειδή αντιμετωπίζει όλους τους ψηφοφόρους ισότιμα ικανοποιώντας την ανωνυμία. Δηλαδή, κάθε φορά που εμφανίζεται διαφωνία,

επιτυγχάνεται ένας δίκαιος συμβιβασμός δίνοντας σε κάθε ψηφοφόρο ίσο έλεγχο στις κοινωνικές επιλογές, κάτι που απαιτεί επιτακτικά την αποτροπή οποιουδήποτε συστηματικού αποκλεισμού ή σπατάλης ψήφων. Αυτό το ιδανικό δικαιοσύνης μπορεί να μεταφερθεί στην αντιπροσωπευτική δημοκρατία, όπου ο δικαιότερος τρόπος εφαρμογής του προτύπου «ένα άτομο – μία ψήφος» είναι μέσω της αναλογικής εκπροσώπησης, η οποία ελαχιστοποιεί την επίσημη (διαδικαστική) σπατάλη ψήφων σε σύγκριση με τα πλειοψηφικά συστήματα.

Η διαδικασία που εγγυάται την αναλογική εκπροσώπηση με ψηφοφορία με πληρεξούσιο δεν μπορεί, ωστόσο, να είναι η ίδια όπως στις παραδοσιακές δημοκρατίες, με τα κοινοβούλια σταθερών εδρών και τις ανταγωνιστικές εκλογές. Σε αυτή τη περίπτωση η εστίαση βρίσκεται στην αντιστοίχιση των μεριδίων των εθνικών ψήφων με τα μερίδια των κοινοβουλευτικών εδρών με τα οποία εφαρμόζεται ο κανόνας «ένα μέλος του κοινοβουλίου – μία ψήφος».

Αντίθετα, η εκπροσώπηση με πληρεξούσιο αποκλίνει από αυτήν την υπόθεση, καθώς δεν καθορίζεται εκ των προτέρων καθορισμένος αριθμός εδρών, πράγμα που σημαίνει ότι τόσο ο εκλογικός ανταγωνισμός όσο και ο μετασχηματισμός ψήφων-εδρών, εξαλείφονται. Το πιο σημαντικό, η απουσία ανώτατου ορίου στους πληρεξούσιους σημαίνει ότι εξαλείφεται η συστηματική σπατάλη ψήφων: όλες οι ψήφοι που δίνονται καταχωρούνται και καταγράφονται χωρίς εξαίρεση. Η καταμέτρηση όλων των ψήφων είναι, επομένως, ο μόνος τρόπος για να διατηρηθεί η αρχική εξουσία των ψηφοφόρων έναντι αυτής των πληρεξουσίων. Κατά ειρωνικό τρόπο, οι «διαδικαστικές ανισότητες» είναι ο μόνος τρόπος για να εξασφαλιστεί η τέλεια αναλογική εκπροσώπηση, επειδή τα βάρη της ψήφου αντανakλούν τέλεια την κατανομή της δύναμης ψήφου μεταξύ των αρχικών ψηφοφόρων. Ως εκ τούτου, ένα επιχείρημα κατά της ψηφοφορίας μέσω πληρεξουσίου συνοψίζεται σε ένα επιχείρημα κατά της αναλογικής εκπροσώπησης.



## 1.7.2 Η αρχή της εθελοντικής εκπροσώπησης – Voluntary Delegation

Η ανάθεση εξουσίας που πραγματοποιείται στο πλαίσιο ενός συστήματος ψηφοφορίας με πληρεξούσιο, όπως φαίνεται παραπάνω, δεν διαφέρει ριζικά από τις υπάρχουσες εκλογικές πρακτικές: Οι πολίτες εκφράζουν τις πολιτικές τους προτιμήσεις εκλέγοντας έναν υποψήφιο που τους εκπροσωπεί, για όλα τα θέματα, για δεδομένο χρονικό διάστημα.

Στο πλαίσιο της ρευστής δημοκρατίας, ωστόσο, η ιδέα της ανάθεσης συχνά θεωρείται ότι είναι «εθελοντική», Green Armytage, 2015 [15]. Ο εθελοντισμός των αντιπροσωπειών απορρέει από μία ελεύθερη «επιλογή ρόλου», δηλαδή την ελευθερία των μεμονωμένων πολιτών είτε να διατηρήσουν την εκλογική τους εξουσία είτε να την εκχωρήσουν σε κάποιον όταν πρόκειται για ένα συγκεκριμένο ζήτημα. Όπως φαίνεται, ήδη στα τέλη της δεκαετίας του εξήντα ο Tullock [26] αναφέρει αυτό που πολλοί αποκαλούν «αρχή της εθελοντικής ανάθεσης» ως πιθανό συμπλήρωμα της ψηφοφορίας μέσω πληρεξουσίου:

*Στην ακραία περίπτωση, δεν φαίνεται να υπάρχει λόγος για τον οποίο τα άτομα που επιθυμούν δεν πρέπει να ψηφίσουν για τον εαυτό τους [...] ψηφίζοντας υπέρ και κατά διαφόρων προτάσεων (Tullock, 1967: 146) [26].*

Εμπνευσμένος από τον Tullock [26] και τις προόδους στον τομέα της πληροφορικής, ο James C. Miller, το 1969 [29], πρότεινε τη συμπερίληψη μίας νομικής διάταξης που αποσκοπούσε στη διασφάλιση της ελευθερίας του εκλέγει σε κάθε πολίτη είτε απευθείας είτε μέσω αντιπροσώπου:

*Αντί να εκλέγονται εκπρόσωποι περιοδικά για θητεία δύο ετών ή περισσότερο, γιατί να μην επιτρέπεται στους πολίτες να ψηφίζουν απευθείας ή να εκχωρούν πληρεξούσιο σε κάποιο άλλον για όσο χρόνο θέλουν; (Miller, 1969: 108) [29].*

Οι υποστηρικτές της εθελοντικής ανάθεσης φιλοδοξούν να αυξήσουν τη συμμετοχή, όπως αναφέρει και ο McCarthy το 2013 [28]. Ως εκ τούτου, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι, για τον Miller [29], τα αντίθετα αποτελέσματα θα μπορούσαν

να προκύψουν από την εθελοντική ανάθεση: είναι δυνατό για έναν πολίτη είτε να διατηρεί πάντα ολόκληρη την εκλογική του δύναμη, μεταμορφώνοντας το σύστημα σε μια ξεκάθαρη, άμεση δημοκρατία, είτε να μεταβιβάζει πάντα τη ψήφο του, δημιουργώντας, ουσιαστικά, μια καθαρά αντιπροσωπευτική δημοκρατία. Στην πράξη, ωστόσο, ο Miller [29] υποστήριξε ότι μία ενδιάμεση κατάσταση ήταν πιο πιθανή, με την πλειοψηφία των πολιτών να εκχωρούν τη ψήφο τους σε ορισμένα ζητήματα ενώ τη διατηρούν σε άλλα.

Η ιδέα της εθελοντικής ανάθεσης βασίζεται σε σημαντικές κανονιστικές παραδοχές. Για παράδειγμα, ο Miller [29] ισχυρίζεται ότι οι εθελοντικές αντιπροσωπείες προάγουν την αυτοδιάθεση. Συνεπάγεται επίσης το δικαίωμα σε πολιτική εκπροσώπηση ή συμμετοχή που είναι όσο το δυνατόν πιο ευέλικτη και ακριβής για τον μεμονωμένο πολίτη. Από τη μία πλευρά, η πολιτική συμμετοχή είναι πιο ευέλικτη χάρη στην ιδιαιτερότητα των αντιπροσωπειών και στην εύκολη προσαρμοστικότητά της. Η αρχή της άμεσης ανάκλησης, η οποία επιτρέπει στους αρχικούς ψηφοφόρους να τιμωρούν ή να ανταμείβουν τον πληρεξούσιο χωρίς να περιμένουν μια καθορισμένη ημερομηνία εκλογών, είναι ένας άλλος επίσημος μηχανισμός που προωθεί την ευελιξία και ενσωματώνει τις μεταβαλλόμενες αξίες και απόψεις, ενώ ταυτόχρονα προστατεύει τους πολίτες από την κακή συμπεριφορά των πληρεξουσίων και αποτρέπει παραβιάσεις της αρχής της αυτοδιάθεσης. Από την άλλη, η ροή της πληροφορίας όσον αφορά τις προτιμήσεις των πολιτών είναι επίσης πιο αναλυτική, χάρη στην ελεύθερη επιλογή της βάσης της εγγύτητας, και παραμένει όσο το πλήθος των πληρεξουσίων είναι μεγάλο. Πράγματι, οι εθελοντικές αντιπροσωπείες κάνουν ένα σύστημα ψηφοφορίας πιο «πληροφοριακό» [28].

### **1.7.3 Διαδικτυακή συζήτηση – Online Deliberation**

Ο όρος ρευστή δημοκρατία εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο διαδίκτυο το 2000, όταν ο εμπνευστής του, John Washington Donoso, δημοσίευσε μερικά wiki σχετικά με αυτή τη νέα ιδέα. Περιέγραψε τη ρευστή δημοκρατία ως αλγόριθμο όπου: «Παίρνει μία ερώτηση ως επιχείρημα και επιστρέφει μια λίστα απαντήσεων ταξινομημένων σε σειρά δημοφιλών προτιμήσεων» [25]. Με άλλα λόγια, η ρευστή

δημοκρατία επινοήθηκε ως μία διαδικασία για να βοηθήσει μία ομάδα χρηστών να επεξεργαστεί συλλογικά απαντήσεις σε συγκεκριμένες ερωτήσεις και να συντάξει αποτελεσματικά προτάσεις πολιτικής.

Αυτή η αντίληψη της ρευστής δημοκρατίας βασίζεται στις προϋπάρχουσες έννοιες της ψηφοφορίας με πληρεξούσιο και της εκούσιας ανάθεσης, ενώ περιλαμβάνει ένα νέο στοιχείο λόγου: η ρευστή δημοκρατία δεν είναι απλώς ένα σύστημα ψηφοφορίας, αλλά περιλάμβανε επίσης «μηχανισμούς για την πρόταση (και τη συζήτηση) νομοσχεδίων που κάθε μέλος μπορεί να χρησιμοποιήσει», όπως αναφέρει ο Kragg το 2003 [21]. Η ρευστή δημοκρατία περιγράφηκε ως «αλγόριθμος απάντησης ερωτήσεων που χρησιμοποιούσε δυναμική σύσταση μεταξύ των χρηστών προκειμένου να συνδεθούν οι προτεινόμενες απαντήσεις σε ερωτήσεις. Ο στόχος ήταν να βρεθεί η βέλτιστη συλλογική απόφαση με «συνεργατική συλλογή απόψεων», όπως αναφέρει ο Paulin το 2019 [25].

Το Γερμανικό Κόμμα των Πειρατών (Piratenpartei) [24] εφάρμοσε μία «διαβουλευτική ρευστή δημοκρατία» μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας LiquidFeedback [3], ενός εργαλείου που προορίζεται για να βελτιώσει την ατζέντα του κόμματος, χωρίζοντας την υποβολή προτάσεων σε τρεις φάσεις:

- i. Πρόταση
- ii. Συζήτηση
- iii. Ψηφοφορία

Με το LiquidFeedback [3], μια πρόταση μπορεί να ξεκινήσει από οποιοδήποτε μέλος της κοινότητας. Στη συνέχεια, πρέπει να επιτύχει μια δεδομένη απαρτία υποστηρικτών, πριν εισέλθει στη φάση της συζήτησης. Σε αντίθεση με τις περισσότερες διαδικτυακές κοινότητες, όπου οποιοσδήποτε μπορεί να εκφράσει άμεσα τις απόψεις του για οτιδήποτε, οι χρήστες αποφασίζουν εάν θα υποστηρίξουν ή όχι την πρωτοβουλία. Εάν το κάνουν, έχουν το δικαίωμα να προτείνουν τροποποιήσεις, εάν δεν το κάνουν, μπορούν να ξεκινήσουν μια αντιπρωτοβουλία, η οποία, με τη σειρά της, είναι ανοιχτή για έλεγχο από υποστηρικτές. Μόνο ο εμπνευστής της πρότασης ή της αντιπρότασης μπορεί να αναθεωρήσει το κείμενο μετά τη συζήτηση και οποιαδήποτε αλλαγή υπόκειται και πάλι στην έγκριση των υποστηρικτών. Πολλοί προσδιορίζουν αυτή την «περίτεχνα δομημένη μορφή συζήτησης» ως κεντρική και πιο χαρακτηριστική πτυχή του LiquidFeedback [3], όπως αναφέρεται στο βιβλίο του Paulin

[25]. Η δομημένη συζήτηση στοχεύει στην προώθηση εποικοδομητικής ανατροφοδότησης και κριτικής και αναμένεται να συμπληρώσει (και όχι να αντικαταστήσει) άλλες μορφές διαβούλευσης που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της δημοκρατικής λήψης αποφάσεων.

## 1.8 Προϋπάρχοντες ορισμοί

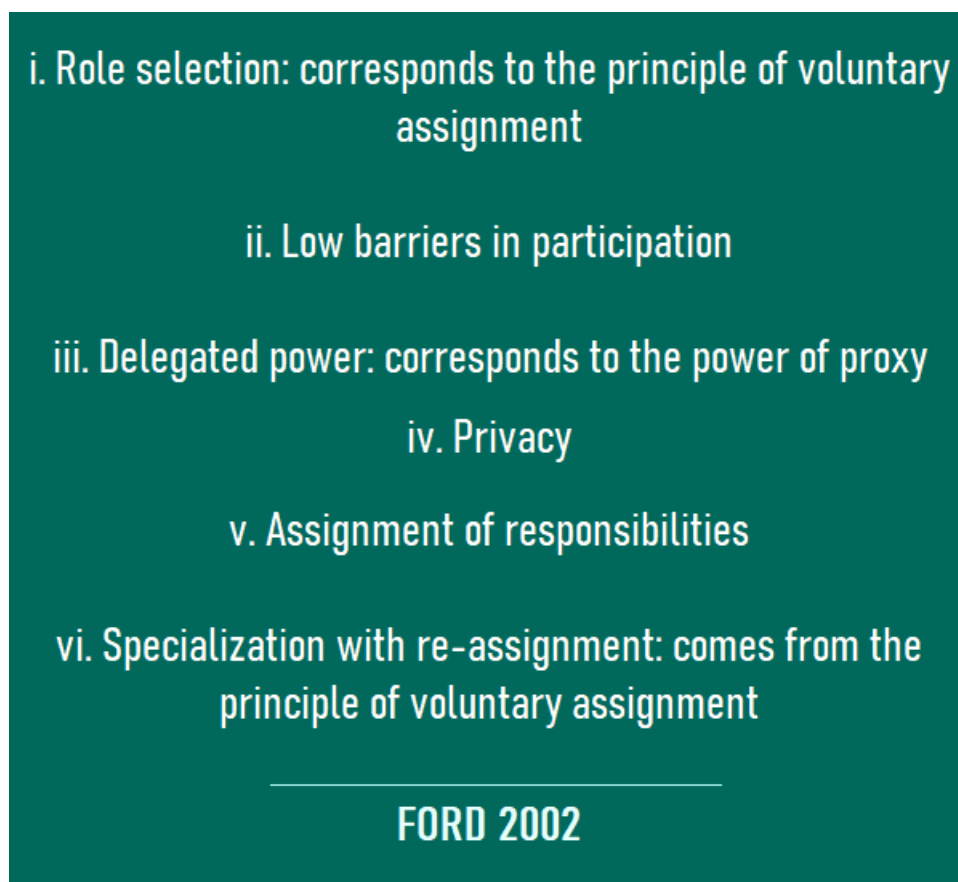
Στην πραγματικότητα, είναι ασυνήθιστο να βρεθούν σαφείς ορισμοί της ρευστής δημοκρατίας στη βιβλιογραφία. Οι μελετητές συχνά παίρνουν το Piratenpartei [24] ως παράδειγμα ή απλώς περιγράφουν την ρευστή δημοκρατία ως ένα μείγμα άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας. Ως εκ τούτου, μας λείπει ένα τυπικός ορισμός της ρευστής δημοκρατίας που να γίνεται αποδεκτός από τους ερευνητές, γεγονός το οποίο είναι κάπως απογοητευτικό επειδή η άσκοπη χρήση του όρου μας εμποδίζει να κατανοήσουμε το φαινόμενο της ρευστής δημοκρατίας, να εκτιμήσουμε τη μοναδικότητά της και να αξιοποιήσουμε της δυνατότητές της.

Η κατάδειξη του φαινομένου του πραγματικού κόσμου που ενσωματώνει πιο παραδειγματικά την ιδέα της ρευστής δημοκρατίας, ενώ είναι χρήσιμη η στρατηγική του ορισμού, έχει τους περιορισμούς του. Πρώτον επειδή οι επίμονοι ορισμοί αποτυγχάνουν να προσδιορίσουν τα χαρακτηριστικά αυτού του νέου φαινομένου, και δεύτερον, επειδή με το να μην προσφέρουν καμία γνώση για τη σημασία του, αυτός ο περιορισμένος ορισμός δεν είναι σε θέση να διακρίνει άλλες πιθανές περιπτώσεις της ρευστής δημοκρατίας. Η συσχέτιση της ρευστής δημοκρατίας με το Piratenpartei [24] καταστεί αδύνατο να φανταστεί κανείς πού αλλού θα μπορούσε να εφαρμοστεί η έννοια της ρευστής δημοκρατίας.

Ένας άλλος κοινότυπος τρόπος είναι να θεωρούμε τη ρευστή δημοκρατία ως ένα ισορροπημένο μείγμα άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας. Για παράδειγμα, η ρευστή δημοκρατία ορίζεται από τον Donoso [25] ως «ένα σύστημα ψηφοφορίας που μεταναστεύει κατά μήκος μίας γραμμής μεταξύ άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας», από τον Green-Armytage [15] ως «ένα μέσο όρο μεταξύ αυτών των δύο επιλογών», και από τους Blum και Zuber το 2016 [5] ως «μια διαδικασία συλλογικής λήψης αποφάσεων που συνδυάζει την άμεση δημοκρατική συμμετοχή με μια ευέλικτη περιγραφή εκπροσώπησης». Αυτοί οι ορισμοί είναι

κατάλληλοι για να προσδιορίσουν τη φύση της ρευστής δημοκρατίας ως ένα αμιγώς άμεσο ή καθαρά αντιπροσωπευτικό σύστημα συλλογικής λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, μεμονωμένα, αυτοί οι ορισμοί αποτυγχάνουν να κάνουν σαφή διάκριση μεταξύ της ρευστής δημοκρατίας και των γειτονικών εννοιών, για παράδειγμα ημιάμεσες δημοκρατίες με πρωτοβουλίες και δημοψηφίσματα.

Σπάνια οι μελετητές επιχειρούν τους δικούς τους ορισμούς της ρευστής δημοκρατίας, οι οποίοι τείνουν να είναι αρκετά συγκεκριμένοι και μη γενικεύσιμοι. Ο Ford το 2002 [13], απαριθμεί έξι βασικές αρχές της μεταβιβαστικής δημοκρατίας:



*Εικόνα 1.1. Οι έξι βασικές αρχές της μεταβιβαστικής δημοκρατίας κατά Ford.*  
(i. Επιλογή ρόλου: αντιστοιχεί στην αρχή της εθελοντικής ανάθεσης, ii. Χαμηλά εμπόδια στη συμμετοχή, iii. Εξουσιοδοτημένη ισχύς: αντιστοιχεί στην εξουσία του πληρεξουσίου, iv. Ιδιωτικότητα, v. Ανάθεση ευθυνών, vi. Εξειδίκευση με την εκ νέου ανάθεση: προέρχεται από την αρχή της εθελοντικής ανάθεσης)

Ωστόσο, ένα ιδανικό μοντέλο ρευστής δημοκρατίας μπορεί να κατασκευαστεί χωρίς τα χαρακτηριστικά (ii), (iv) και (v), που φαίνονται στην εικόνα 1.1, αφού αποτελούν σημαντικά δημοκρατικά στοιχεία και δεν είναι μοναδικά για τη ρευστή δημοκρατία.

Καταλήγοντας, η ρευστή δημοκρατία είναι ένα σύστημα λήψης αποφάσεων που χαρακτηρίζεται από ρευστότητα, δηλαδή αποτελεί ένα συστημικό και ευέλικτο μείγμα άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας, που ενσαρκώνει τις αρχές της εκούσιας ανάθεσης και της ψηφοφορίας μέσω πληρεξουσίου. Η κλασσική θεωρία αντιμετωπίζει δυσκολίες στην εξήγηση των οριακών περιπτώσεων που πέφτουν σε μία γκριζα ζώνη μεταξύ γειτονικών εννοιών. Ωστόσο, φαίνεται παράξενο να ανησυχούμε για αυτές τις οριακές περιπτώσεις όταν δεν είναι απολύτως ξεκάθαρο πώς μοιάζει ένα σωστό παράδειγμα ρευστής δημοκρατίας. Η ρευστή δημοκρατία αποτελεί μια καινοτόμο, επίκαιρη, πρωτοποριακή και ανατρεπτική ιδέα. Πράγματι, από τεχνολογικής πλευράς, η ρευστή δημοκρατία αποτελεί ένα εξαιρετικά εναλλακτικό σύστημα, όπως αποδεικνύεται από το αυξανόμενο ενδιαφέρον των επιστημόνων των υπολογιστών. Παρόλα αυτά, η ρευστή δημοκρατία αξίζει να ερευνηθεί όχι μόνο λόγω της τεχνολογικής της διάστασης, αλλά επειδή θα μπορούσε να βελτιώσει ζητήματα εμπιστοσύνης και νομιμότητας ανοίγοντας το σύστημα σε μεγαλύτερη συμμετοχή, χωρίς να επιβαρύνει τους πολίτες, να ενισχύσει τη γνωσιακή ποιότητα συλλογικών αποφάσεων περιλαμβάνοντας περισσότερη τεχνογνωσία.

## 1.9 Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανάλυση του μοντέλου ρευστής δημοκρατίας. Τί είναι η ρευστή δημοκρατία; Πώς έχει μελετηθεί ανά τα χρόνια; Ποιες έρευνες και πειράματα έχουν γίνει στο παρελθόν και ποια είναι τα αποτελέσματα αυτών; Πώς αντιμετωπίζεται η ρευστή δημοκρατία από τον πολιτικό και ερευνητικό κόσμο; Όλα αυτά τα ερωτήματα απαντώνται μέσω της βιβλιογραφικής ανάλυσης.

Επιπλέον, σκοπός της εργασίας είναι η πειραματική μελέτη του μοντέλου της ρευστής δημοκρατίας πάνω σε δίκτυα αναθέσεων για διάφορα σενάρια. Τα δίκτυα αφορούν είτε δίκτυα μικρόκοσμου, είτε τυχαία δίκτυα. Πρόθεση της διπλωματικής

εργασίας είναι τα αποτελέσματα που ανακτώνται να σχολιαστούν και να προταθούν βελτιώσεις αυτών.

## 1.10 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας

Στη διπλωματική αυτή εργασία γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανάλυση του μοντέλου ρευστής δημοκρατίας. Αναφέρονται όλα τα δημοκρατικά μοντέλα και τοποθετείται το μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας στο δυσδιάστατο χώρο που τα χαρακτηρίζει. Στη συνέχεια ορίζεται η ρευστή δημοκρατία και αναλύεται η διαδικασία της ψηφοφορίας υπό αυτό το μοντέλο δημοκρατίας. Τοποθετείται μία έκθεση ως προς την ιστορική αναδρομή του μοντέλου. Πότε κέρδισε το ενδιαφέρον και πώς έχει αναγνωριστεί ως ένα υβριδικό σύστημα ψηφοφορίας που συνδυάζει τα καλύτερα σημεία της άμεσης και της αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας. Αναφέρεται η ανακατασκευή της έννοιας που έχει γίνει από τους ερευνητές ανά τα χρόνια. Επιπλέον, αναλύονται διεξοδικά οι τρεις ιδιότητες που διέπουν το σύστημα της ρευστής δημοκρατίας: η εκπροσώπηση πληρεξουσίου, η εθελοντική ανάθεση ψήφου και η διαδικτυακή συζήτηση. Επιπρόσθετα, δίνονται κάποιοι προϋπάρχοντες ορισμοί έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία σφαιρική ιδέα του τί είναι, πώς αντιμετωπιζόταν και πώς αντιμετωπίζεται το φαινόμενο της ρευστής δημοκρατίας.

Στη συνέχεια εξετάζονται έρευνες, μελέτες και πειράματα που έχουν διεξαχθεί πάνω στο μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας. Ξεκινώντας από την πρώτη περιγραφή της ψηφοφορίας με πληρεξούσιο, συνεχίζοντας, σε μοντέλα της ρευστής δημοκρατίας που βασίζονται σε δυαδική συνάθροιση και σε επιλοκές και αδυναμίες του συστήματος ψηφοφορίας που παρατηρήθηκαν και μελετήθηκαν, προχωρώντας, σε διαφορετικές προσεγγίσεις αλλά και επικρίσεις του μοντέλου, αλλά και σε νέες κατευθύνσεις έρευνας.

Με βάση τις μελλοντικές κατευθύνσεις του έργου των Becker, D' Angelo, Delfaraz and Gilbert [2], γίνεται μία υλοποίηση του αλγορίθμου με ευρετικές μεθόδους που προτείνουν, *greedy\_delegation*, πάνω σε τυχαία δίκτυα και δίκτυα μικρόκοσμου, έτσι ώστε να αντληθούν πληροφορίες σχετικά με την εμπειρογνωμοσύνη και

συναίσθηση των ψηφοφόρων κατά τη διάρκεια της ψηφοφορίας με ρευστή δημοκρατία και κατά τη διαδικασία ανάθεσης των ψήφων. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιείται ο αλγόριθμος `greedy_delegation` και εκτελείται πάνω σε μοντέλα δικτύων μικρόκοσμου Watts – Strogatz και σε τυχαία μοντέλα δικτύων Erdos – Renyi. Στη συνέχεια πραγματοποιούνται πειράματα μεταβάλλοντας εκτός από τη πιθανότητα συνδεσιμότητας των δικτύων και τα ποσοστά ψηφοφόρων που αποτελούν τους εμπειρογνώμονες, τους παραπληροφορημένους και τους μέσους ψηφοφόρους.

Τέλος, υλοποιείται μια βελτιστοποίηση του αλγορίθμου `greedy_delegation` κατά την οποία όποιος ψηφοφόρος ψηφίζει με τιμή ακριβείας μικρότερη ή ίση του 0,45 και συνδέεται με κάποιον άλλο ψηφοφόρο στο δίκτυο ο οποίος έχει υψηλότερη τιμή ακριβείας, αναθέτει σε αυτόν τη ψήφο του. Έτσι ο τελικός μέσος όρος με τον οποίο εκλέγεται η αλήθεια αναμένεται να είναι υψηλότερος. Επίσης, πραγματοποιούνται πειράματα στη βελτιστοποίηση αυτή με τα δεδομένα και τις μεταβολές που έγιναν και στα προηγούμενα πειράματα. Φυσικά, αναλύονται και εξηγούνται όλα τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτελούνται και βγαίνουν και τα ανάλογα συμπεράσματα.

## 1.11 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Αφού έχει γίνει μία εκτενής ανάλυση του τί είναι το μοντέλο ρευστής δημοκρατίας και πως αντιμετωπίζεται από τους ερευνητές, στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μια κριτική ανασκόπηση της τρέχουσας βιβλιογραφίας. Πιο συγκεκριμένα γίνεται η αρχή με την πρώτη περιγραφή ψηφοφορίας με πληρεξούσιο, ενώ στη συνέχεια παραθέτονται πειράματα και μελέτες βασισμένες σε διαφορετικές προσεγγίσεις. Αναλύονται κάποιες επιπλοκές και αδυναμίες του μοντέλου ρευστής δημοκρατίας ενώ δεν λείπουν και οι επικρίσεις αυτού. Τέλος, αναφέρονται ορισμένες μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας και μελέτης του συστήματος.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μία εισαγωγή στα κοινωνικά δίκτυα. Τι είναι τα κοινωνικά δίκτυα και πως μπορούν να παραχθούν συνθετικά κοινωνικά δίκτυα μέσω γραφημάτων για να είναι εφικτή η ανάλυση και μελέτη διαφόρων εφαρμογών πάνω σε



αυτά. Αναφέρονται τρία είδη μοντέλων δικτύων από τα οποία τα δύο απασχολούν τη συγκεκριμένη εργασία.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου 4 γίνεται μια εισαγωγή στα δίκτυα μικρόκοσμου και ποιες ιδιότητες έχουν καθώς η διπλωματική αυτή εργασία στηρίζεται πάνω σε αυτό το μοντέλο δικτύων για την ανάλυση των αναθέσεων ψήφων των ψηφοφόρων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία επεξήγηση της υλοποίησης που πραγματοποιείται, ξεκινώντας από το περιβάλλον στο οποίο υλοποιείται μέχρι και τις μεταβολές δεδομένων που γίνονται στα πειράματα που ακολουθούν στο κεφάλαιο 6. Στο κεφάλαιο εκείνο παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της υλοποίησης και εξετάζονται λεπτομερώς.

Στο κεφάλαιο 7 προτείνεται μια βελτιστοποίηση της υλοποίησης που αναφέρθηκε και με βάση τα προηγούμενα δεδομένα και τις μεταβολές, γίνονται τα ανάλογα πειράματα και αναλύονται και πάλι διεξοδικά τα αποτελέσματα.

Τέλος στο κεφάλαιο 8 συνοψίζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη συνολική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, ενώ παράλληλα δίνονται προοπτικές για μελλοντικές έρευνες βασισμένες στα ευρήματα αυτής της διπλωματικής εργασίας.

---

# *2 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ*

---

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται, με χρονολογική σειρά, διάφορες σχετικές εργασίες και πειράματα που έχουν γίνει στο παρελθόν με κεντρικό θέμα την ρευστή δημοκρατία. Στόχος της εργασίας είναι μία σφαιρική μελέτη του ζητήματος, με τα θετικά και τα αρνητικά του στοιχεία, τα παρελθοντικά ευρήματα, αλλά και τις μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας που μπορούν να ακολουθηθούν. Παρακάτω αναλύονται τα ζητήματα και τα αποτελέσματα των ερευνών που εκτελέστηκαν.

## **2.1 Πρώτη περιγραφή της ψηφοφορίας με πληρεξούσιο**

Γενικά, παρατηρείται έλλειψη της θεωρητικής ανάλυσης της ρευστής δημοκρατίας. Ωστόσο, το κύριο έργο μέχρι στιγμής έχει ως εξής. Η ψηφοφορία με εκχωρήσιμο πληρεξούσιο περιγράφηκε για πρώτη φορά στο βιβλίο «The Principles of Parliamentary Representation» του Charles L. Dodgson το 1884 [8]. Έκτοτε, σαφώς, έχουν υπάρξει διάφορες προσεγγίσεις του θέματος από πολλές οπτικές, παράγοντας ποικίλους αλγορίθμους για την τροποποίηση και την βελτιστοποίηση της τεχνικής της ρευστής δημοκρατίας. Παράλληλα, έχουν γίνει πειράματα για την παρατήρηση της ανταπόκρισης του συστήματος αυτού.

## **2.2 Το πείραμα Google Votes**

Ένα άξιο αναφερθέν πείραμα, το οποίο σχετίζεται και με την οπτική που αντιμετωπίζει το σύστημα της ρευστής δημοκρατίας αυτή η διπλωματική, θεωρείται το

«Google Votes: A Liquid Democracy Experiment on a Corporate Social Network» των Steve Hardt και Lia C. R. Lopes τον Ιούνιο του 2015 [16]. Το παραπάνω έγγραφο παρουσιάζει το «Google Votes», ένα πείραμα ρευστής δημοκρατίας σχεδιασμένο στο εταιρικό εσωτερικό της Google, το Google+ κοινωνικό δίκτυο. Μέχρι στιγμής η υψηλή πολυπλοκότητα υλοποίησης και το κόστος υποδομής έχουν αποτρέψει την ευρεία υιοθέτηση των συστημάτων ρευστής δημοκρατίας. Παρόλα αυτά το «Google Votes» επιδεικνύει πώς η χρήση τεχνολογιών κοινωνικών δικτύων μπορεί να ξεπεράσει τα όρια και να ενεργοποιήσει πρακτικά συστήματα ρευστής δημοκρατίας. Η μελέτη της χρήσης του «Google Votes» στη Google για τρία χρόνια περιλαμβάνει το χρονοδιάγραμμα, καθώς και ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση της ορατότητας των ψήφων που ονομάζεται «Χρυσός Κανόνας της Ρευστής Δημοκρατίας»: “Αν σου δώσω τη ψήφο μου μπορώ να δω πώς θα την εκμεταλλευτείς”. Από τη στιγμή που οι εσωτερικοί λογαριασμοί της Google+ είναι συγχρονισμένοι με τη βάση δεδομένων εταιρικών υπαλλήλων της Google, η ταυτότητα του ψηφοφόρου είναι εξασφαλισμένη. Το Google Votes συμμορφώνεται με το Χρυσό Κανόνα, κάνοντας τις ψήφους και τα ζητήματα ορατά σε όλους τους υπαλλήλους της Google, που ονομάζονται Googlers. Ως μέσο για συζητήσεις για τα ζητήματα και τη ψηφοφορία, χρησιμοποιείται το Google+. Το παραπάνω έγγραφο καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, πλέον, τα συστήματα ρευστής δημοκρατίας που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα της άμεσης και της αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας είναι πρακτικά δυνατά. Το εσωτερικό πείραμα της Google αποδεικνύει ότι είναι δυνατή η εφαρμογή ενός συστήματος ρευστής δημοκρατίας σε ένα κοινωνικό δίκτυο με επεκτάσιμο τρόπο και με σταδιακή καμπύλη μάθησης.

## 2.3 Το μοντέλο ρευστής δημοκρατίας με εγκύκλιες αντιπροσωπίες

Από όσο είναι γνωστό, καμία εργασία δεν έχει μελετήσει μέχρι τώρα τη ψηφοφορία μεταβιβάσιμου πληρεξουσίου ως κανόνα συγκέντρωσης για χάρη του. Ωστόσο, οι Zoe Christoff και Davide Grossi το 2018 με το έγγραφο «Binary Voting with Delegable Proxy: An Analysis of Liquid Democracy» [9], μελετούν τη ρευστή δημοκρατία από τη προοπτική της δυαδικής συνάθροισης. Αρχικά αναφέρουν

περιπτώσεις που η ρευστή δημοκρατία έχει χρησιμοποιηθεί και έχει διαδοθεί από εκστρατείες για δημοκρατικές μεταρρυθμίσεις «Make Your Laws» στις ΗΠΑ και κόμματα όπως το Demoex στη Σουηδία [10] και το Piratenpartei στη Γερμανία [24], τα οποία τη χρησιμοποίησαν για να συντονιστεί η συμπεριφορά των εκπροσώπων των κομμάτων σε τοπικές και εθνικές συνελεύσεις. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά του Voting Behaviour and Power in Online Democracy: A Study of LiquidFeedback in Germany's Pirate Party [7] των Christoph Kling, J'erome Kunegis, Heinrich Hartmann, Markus Strohmaier & Steffen Staab, το οποίο παρείχε μια εμπειρική μελέτη της εκλογικής συμπεριφοράς στη ρευστή δημοκρατία με βάση εκλογικών δεδομένων από τη πλατφόρμα LiquidFeedback [3] του γερμανικού Piratenpartei. Η εργασία των Zoe Christoff και Davide Grossi ξεκινάει με τη θεωρία της δυαδικής συνάθροισης και παρουσιάζει νέα αποτελέσματα σχετικά με τη δυαδική συγκέντρωση με αποχές. Έπειτα εισάγει ένα απλό μοντέλο ρευστής δημοκρατίας που βασίζεται στη δυαδική συνάθροιση και καθιερώνει επίσημες σχέσεις μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου και της τυπικής δυαδικής συνάθροισης με αποχές. Μελετά το θέμα των εγκυκλίων αντιπροσωπειών, και το ζήτημα του ατομικού (αν)ορθολογισμού όταν η ψηφοφορία λαμβάνει χώρα σε λογικά αλληλεξαρτώμενα ζητήματα. Τέλος, σκιαγραφεί δύο παραλλαγές μεταβιβάσιμου διακομιστή μεσολάβησης, οι οποίες είναι πιο ανθεκτικές έναντι των κύκλων ανάθεσης και διατηρείται καλύτερα ο ατομικός ορθολογισμός κατά τη ψηφοφορία για λογικά αλληλεξαρτώμενα ζητήματα.

## 2.4 Επιπλοκές & αδυναμίες που παρατηρήθηκαν

Το 2018 οι Markus Brill και Nimrod Talmon με το έγγραφο «Pairwise Liquid Democracy» [6], εξέτασαν τις τακτικές εκλογές και μελετήσανε ένα μοντέλο ρευστής δημοκρατίας στο οποίο οι ψηφοφόροι καθορίζουν μερικές εντολές και χρησιμοποιούν αρκετούς αντιπροσώπους για να τις βελτιώσουν. Αυτή η ευελιξία, ωστόσο, έχει ένα τίμημα καθώς ο ατομικός ορθολογισμός, με τη μορφή μεταβατικών προτιμήσεων, δεν μπορεί να διασφαλιστεί. Αναλύουν τρόπους ανίχνευσης και αντιμετώπισης τέτοιων επιπλοκών. Με βάση το πλαίσιο του εξ ορθολογισμού της απόστασης, εισάγουν νέες

παραλλαγές κανόνων ψηφοφορίας που είναι προσαρμοσμένες στο πλαίσιο της ρευστής δημοκρατίας.

Μεγάλο έργο επιτέλεσαν οι Paul Gözl, Anson Kahng, Simon Mackenzie και Ariel D. Procaccia τον Νοέμβρη του 2018 με το έργο τους «The fluid Mechanics of Liquid Democracy» [14]. Υποδεικνύουν ότι παρά τη σημαντική ελκυστικότητά της έχει γίνει προφανές ότι η αδυναμία της ρευστής δημοκρατίας είναι ότι ένα μικρό υποσύνολο ψηφοφόρων μπορεί να αποκτήσει τεράστια επιρροή. Για να αντιμετωπιστεί το θέμα αυτό, προτείνουν να αλλάξει η τρέχουσα πρακτική επιτρέποντας στους ψηφοφόρους να καθορίζουν πολλαπλές επιλογές ανάθεσης αντί για μία. Επιδιώκουν να ελέγξουν τη ροή των ψήφων με τρόπους που να εξισορροπούν την επιρροή όσο γίνεται περισσότερο. Συγκεκριμένα, αναλύουν το πρόβλημα της επιλογής αντιπροσωπειών για την κατά προσέγγιση ελαχιστοποίηση του μέγιστου αριθμού ψήφων που ανατίθεται σε οποιονδήποτε ψηφοφόρο σε σχέση με τη συρρέουσα ροή. Επίσης, εισάγουν ένα μοντέλο τυχαίου γραφήματος για τη ρευστή δημοκρατία και το χρησιμοποιούν για να δείξουν τα οφέλη της προσέγγισής τους τόσο θεωρητικά όσο και εμπειρικά.

## 2.5 Μια διαφορετική προσέγγιση του μοντέλου ρευστής δημοκρατίας

Άξιο αναφοράς είναι το έργο των Grammateia Kotsialou και Luke Riley, «Incentivising Participation in Liquid Democracy with Breadth – First Delegation» [20] που δημοσιεύθηκε το 2019, το οποίο δίνει μια διαφορετική προσέγγιση του συστήματος της ρευστής δημοκρατίας. Το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας και των εφαρμογών της ρευστής δημοκρατίας επιτρέπουν σε κάθε ψηφοφόρο να ορίζει μόνο έναν εκπρόσωπο ανά εκλογή. Ωστόσο, εάν ο εν λόγω εκπρόσωπος απέχει, τα δικαιώματα ψήφου που του έχουν εκχωρηθεί μένουν αχρησιμοποίητα. Αυτό είναι και το πρόβλημα που εξετάζεται στο έργο των Grammateia Kotsialou και Luke Riley. Για να ελαχιστοποιηθεί, λοιπόν, ο αριθμός των αχρησιμοποίητων αντιπροσωπειών, έχει προταθεί ο κάθε ψηφοφόρος να είναι υποχρεωμένος να δηλώσει μια προσωπική κατάταξη έναντι των ψηφοφόρων που εμπιστεύεται. Οι Kotsialou και Riley δείχνουν ότι ακόμη και αν δηλωθούν προσωπικές κατατάξεις σε σχέση με τους ψηφοφόρους, η

τυπική μέθοδος ανάθεσης της ρευστής δημοκρατίας παραμένει προβληματική. Πιο συγκεκριμένα, δείχνουν ότι όταν δηλώνονται προσωπικές κατατάξεις επί των ψηφοφόρων, θα μπορούσε να είναι ανεπιθύμητο να λαμβάνουν κατ' εξουσιοδότηση δικαιώματα ψήφου, κάτι που είναι αντίθετο με το την αρχή πάνω στην οποία βασίζεται η ρευστή δημοκρατία. Για να λυθεί αυτό το ζήτημα, προτείνουν μία μέθοδο εκχώρησης δικαιωμάτων ψήφου σε εκλογές που ονομάζεται αντιπροσωπεία κατά πλάτος. Η προτεινόμενη αυτή μέθοδος δίνει προτεραιότητα στην εκχώρηση δικαιωμάτων ψήφου σε άτομα που συνδέονται στενά με ψηφοφόρους που εκχωρούν την ψήφο τους. Αφού αναλυθούν οι τελευταίες εφαρμοσμένες και θεωρητικές εξελίξεις στη ρευστή δημοκρατία, το έγγραφο δίνει τα προκαταρκτικά του μοντέλου που παρουσιάζει. Έπειτα, ορίζονται γραφήματα ανάθεσης, κανόνες ανάθεσης και δύο τύποι συμμετοχής και στη συνέχεια εισάγεται ένας νέος κανόνας ανάθεσης ο οποίος, τέλος, συγκρίνεται με τον τυπικό κανόνα. Αναφέρουν ότι το έργο του Google Votes [16] είναι παρόμοιο με το δικό τους, καθώς επιτρέπει σε έναν χρήστη να επιλέξει μια κατάταξη σε σχέση με άλλους ψηφοφόρους και χρησιμοποιεί, όπως περιγράφουν οι συγγραφείς, μια πρώτη αναζήτηση πλάτους οπισθοδρόμησης για την ανάθεση ενός guru σε έναν ψηφοφόρο. Δεν μπορούν, όμως, να οδηγηθούν σε ολοκληρωμένη σύγκριση των έργων καθώς για το Google Votes [16] έχει δημοσιευθεί μόνο μια γενική περιγραφή του συστήματός τους χωρίς επίσημο μοντέλο.

## 2.6 Επίκριση της ρευστής δημοκρατίας

Οι υποστηρικτές της ρευστής δημοκρατίας ισχυρίζονται ότι επιτρέποντας στους ψηφοφόρους να αναθέτουν τις ψήφους τους σε πιο καλά πληροφορημένους ψηφοφόρους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη ορθότερων αποφάσεων. Το 2019 δημοσιεύθηκε το έργο των Ioannis Caragiannis και Evi Micha «A Contribution to the Critique of Liquid Democracy» [7] το οποίο σε μια προσπάθεια αξιολόγησης της εγκυρότητας των ανωτέρω ισχυρισμών, μελετάται η ρευστή δημοκρατία ως μέσο ανακάλυψης της βασικής αλήθειας. Οι Caragiannis και Micha παρατηρούν το πρόσφατο μοντέλο των Kahng, Mackenzie και Procaccia [14] και καταλήγουν σε τρία αρνητικά αποτελέσματα, επικρίνοντας μια σημαντική υπόθεση της μοντελοποίησης τους καθώς και τη ρευστή δημοκρατία γενικότερα. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζουν πρώτα περιπτώσεις όπου οι φυσικοί τοπικοί μηχανισμοί είναι πολύ χειρότεροι είτε από

την άμεση ψηφοφορία, είτε από το άλλο άκρο της πλήρους ανάθεσης σε έναν κοινό δικτάτορα. Έπειτα, δείχνουν ότι αναθέτοντας ψήφους σε λιγότερο πληροφορημένους ψηφοφόρους μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η πιθανότητα να ανακαλυφθεί η βασική αλήθεια. Τέλος αποδεικνύουν ότι το ODP (Optimal Delegation Problem), το πρόβλημα μεγιστοποίησης της πιθανότητας εύρεσης της βασικής αλήθειας μέσω του συντονισμού των αναθέσεων, εκτός από υπολογιστικά δύσκολο, είναι και δύσκολο να προσεγγιστεί με μια σημαντική προθετική σταθερά. Με τη κριτική από αυτό το αποτέλεσμα της πολυπλοκότητας καταλήγουν στο ερώτημα ότι αν είναι δύσκολο να ανακαλυφθεί η βασική αλήθεια με συντονισμένο τρόπο, γιατί να αναμένεται από τους ψηφοφόρους να το βρουν ενεργώντας ανεξάρτητα;

## 2.7 Νέες κατευθύνσεις έρευνας

Η εργασία των Daan Bloembergen, Davide Grossi, Martin Lackner, «On Rational Delegations in Liquid Democracy» [4] τον Ιούλιο του 2019 ανοίγει διάφορες κατευθύνσεις έρευνας. Οι συγγραφείς της εισήγαγαν τα παιχνίδια αντιπροσωπειών ως το πρώτο παίγνιο – θεωρητικό μοντέλο ρευστής δημοκρατίας. Προτείνουν και μελετάνε ένα μοντέλο ρευστής δημοκρατίας θεωρητικών παιγνίων για να απαντηθεί το εξής ερώτημα: «πότε είναι λογικό ένας ψηφοφόρος να εκχωρήσει τη ψήφο του;». Τόσο τα θεωρητικά όσο και τα πειραματικά τους αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσπάθεια ψηφοφορίας είναι βασικό συστατικό για την κατανόηση του πώς σχηματίζονται οι αντιπροσωπείες και ποια είναι τα αποτελέσματά τους. Τα εμπειρικά ευρήματα των Bloembergen, Grossi και Lackner παρείχαν περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με την επιρροή των δικτύων αλληλεπίδρασης στην ποιότητα των συλλογικών αποφάσεων στη ρευστή δημοκρατία. Το έργο εστιάζει στο γενικό θεώρημα ύπαρξης των ισορροπιών κατά Nash (Nash Equilibria) και θεωρείται ως το κύριο ανοιχτό ερώτημα. Τέλος, συμπληρώνονται τα θεωρητικά αποτελέσματα μέσω προσομοιώσεων και μελετώνται οι επιπτώσεις των αντιπροσωπειών στην ακρίβεια της ομάδας σε διάφορα δομημένα κοινωνικά δίκτυα. Το μοντέλο που προτείνεται μπορεί στη συνέχεια να γενικευτεί προς πολλές κατευθύνσεις, π.χ.: κάνοντας τη χρησιμότητα των αντιπροσώπων εξαρτώμενη από τα αποτελέσματα, καταργώντας την υπόθεση ανεξαρτησίας για τους τύπους αντιπροσώπων, ή υποθέτοντας ότι ο μηχανισμός ψηφοφορίας έχει μεγαλύτερη

ακρίβεια από 0,5 στον προσδιορισμό των τύπων παραγόντων που εμπλέκονται σε κύκλους.

Τρία χρόνια μετά την τελευταία τους δημοσίευση, τον Μάρτιο του 2021, οι Kahng, Mackenzie και Procaccia δημοσίευσαν τη πρόσφατη μελέτη τους «Liquid Democracy: An Algorithmic Perspective» [18]. Παρουσιάζουν ένα μοντέλο ρευστής δημοκρατίας στο οποίο υπάρχουν δύο εναλλακτικές μια σωστή και μια λανθασμένη και ενδιαφέρονται για τη πιθανότητα η γνώμη της πλειοψηφίας να είναι σωστή. Το κύριο ερώτημα που θέτουν είναι εάν υπάρχουν μηχανισμοί ανάθεσης που εγγυούνται να ξεπεράσουν την άμεση ψηφοφορία, με την έννοια ότι είναι πάντα τουλάχιστον το ίδιο πιθανό, και μερικές φορές πιο πιθανό, να παρθεί μια σωστή απόφαση. Αν και οι συγγραφείς υποθέτουν ότι οι ψηφοφόροι μπορούν να αναθέσουν τις ψήφους τους μόνο σε καλύτερα πληροφορημένους ψηφοφόρους, δείχνουν ότι οι μηχανισμοί τοπικής ανάθεσης, οι οποίοι παίρνουν σαν είσοδο μόνο την τοπική γειτονιά του κάθε ψηφοφόρου (και αμφισβητήσιμα συλλαμβάνουν το πνεύμα της ρευστής δημοκρατίας), δεν μπορούν να παρέχουν την ανωτέρω εγγύηση. Σε αντίθεση με αυτό, σχεδιάζουν έναν μη – τοπικό μηχανισμό ανάθεσης που αποδεδειγμένα ξεπερνά την άμεση ψηφοφορία κάτω από ήπιες υποθέσεις για τους ψηφοφόρους. Στόχος του έργου είναι να διερευνηθεί αυστηρά η διαίσθηση ότι η ρευστή δημοκρατία «υπεραποδίδει» σε σχέση με την άμεση δημοκρατία από αλγοριθμική άποψη. Πράγματι, το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στους μηχανισμούς ανάθεσης με τους οποίους αποφασίζεται πώς ανατίθενται οι ψήφοι βάση του πόσο σχετικά πληροφορημένοι είναι οι ψηφοφόροι και πιθανόν ακόμα και βάση της δομής ενός υποκείμενου κοινωνικού δικτύου. Το βασικό ερώτημα των συγγραφέων είναι:

*«Υπάρχουν μηχανισμοί ανάθεσης που είναι εγγυημένο ότι θα αποδώσουν πιο ακριβείς αποφάσεις από την άμεση ψηφοφορία;»*

Μία ακόμα μελέτη που δημοσιεύθηκε το 2021 είναι αυτή των Yuzhe Zhang και Davide Grossi «Power in Liquid Democracy» [31]. Η εργασία αναπτύσσει μια θεωρία ισχύος για συστήματα με δυνατότητα αντιπροσώπευσης. Οι συγγραφείς ορίζουν έναν δείκτη ισχύος για ψηφοφορία με μεταβιβάσιμο πληρεξούσιο, ικανό να μετρήσει την επιρροή τόσο των ψηφοφόρων όσο και των εκπροσώπων. Δείχνουν ότι ο δείκτης αυτός



γενικεύει τον δείκτη Banzhaf [11] για τυπική σταθμισμένη ψηφοφορία και μπορεί να αξιωματοποιηθεί με παρόμοιο τρόπο. Με τη χρήση του έγινε μοντελοποίηση μιας παραλλαγής παιχνιδιών αντιπροσωπειών για ρευστή δημοκρατία, όπου οι αντιπρόσωποι επιδιώκουν να βρουν έναν συμβιβασμό μεταξύ της αύξησης της ακρίβειάς τους και της απόκτησης ισχύος στο σύστημα. Οι Zhang και Grossi δείχνουν ότι υπάρχουν ισορροπίες για αυτό το είδος αλληλεπίδρασης υπό κατάσταση πλήρους συνδεσιμότητας, αλλά όχι γενικά. Τέλος, φαίνεται ότι δύο παράμετροι του μοντέλου παίζουν σημαντικό ρόλο στον περιορισμό της εμφάνισης μεγάλων ανισοτήτων στην κατανομή ισχύος. Ο ένας είναι το επίπεδο της συνδεσιμότητας ενός υποκείμενου (τυχαίου) δικτύου και ο άλλος είναι ο βαθμός στον οποίο οι αντιπρόσωποι έχουν κίνητρο για την απόκτηση εξουσίας. Η εργασία των Yuzhe Zhang και Davide Grossi ανοίγει πολλές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα τόσο από θεωρητικής όσο και από πειραματικής πλευράς. Αναφέρουν ότι θα ήταν ενδιαφέρον να κατανοήσουμε πόσο η στάση των αντιπροσώπων απέναντι στην εξουσία θα μπορούσε να βοηθήσει στην επανεξέταση της υποβάθμισης της ποιότητας λήψης αποφάσεων που τονίστηκε από τους Kahng, Mackenzie και Procaccia το 2018 [14] και τους Caragiannis και Micha το 2019 [7], μέσω της εξισωτικής της επίδρασης στη διανομή ισχύος.

Ολοκληρώνοντας τη παράθεση της μελέτης και έρευνας που έχει γίνει πάνω στο θέμα της Ρευστής Δημοκρατίας, σε χρονολογική σειρά, δε θα γινόταν να μην αναφερθεί το βασικό έργο πάνω στο οποίο βασίζεται η πειραματική πλευρά της διπλωματικής αυτής εργασίας. Πρόκειται για το έργο των Ruben Becker, Gianlorenzo D' Angelo, Esmail Delfaraz και Hugo Gilbert «When Can Liquid Democracy Unveil the Truth?» [2].

Η πρόσθετη ευελιξία που προσφέρει το μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας επιτρέπει να μεταφερθεί εκλογική δύναμη σε ένα υποσύνολο ψηφοφόρων που ιδανικά περιέχει τους πιο ειδικούς ψηφοφόρους για το υπό εξέταση ζήτημα. Έτσι, είναι βέβαια δελεαστικό να υποθέσουμε ότι η ρευστή δημοκρατία μπορεί να καταλήξει σε πιο ακριβείς αποφάσεις. Στη συγκεκριμένη έρευνα, ακολουθώντας τη πρόσφατη δουλειά των Caragiannis και Micha το 2019 [7], μελετάται το γνωστό ODP πρόβλημα (Optimal Delegation Problem, το πρόβλημα βέλτιστης ανάθεσης). Η σύνθεση που εξετάζεται από τους Ruben Becker, Gianlorenzo D' Angelo, Esmail Delfaraz και Hugo Gilbert αποτελείται από δύο εκλογικές εναλλακτικές από τις οποίες μόνο η μία θεωρείται ορθή. Στο ODP πρόβλημα ο στόχος είναι να οργανωθούν οι αναθέσεις ψήφων στο κοινωνικό

δίκτυο έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα να εκλεχθεί η σωστή εναλλακτική που αναφέρεται ως η βασική αλήθεια. Από τη μία πλευρά, ενώ το πρόβλημα είναι υπολογιστικά δύσκολο, οι συγγραφείς παρέχουν ένα ισχυρό αποτέλεσμα σκληρότητας προσέγγισης που ενισχύει τα προηγούμενα γνωστά αποτελέσματα σκληρότητας για το ODP. Από την άλλη πλευρά, εντοπίζουν περιπτώσεις στις οποίες στιγμιότυπα του ODP γίνονται εύκολα από προσεγγιστικής πλευράς. Χρησιμοποιούν ασθενώς συνδεδεμένα δίκτυα στα οποία κάποιοι ψηφοφόροι πάσχουν από παραπληροφόρηση. Ενδιαφέρον παρουσιάζεται το γεγονός ότι κάτω από προϋποθέσεις, είτε ακρίβειας των ψηφοφόρων, είτε της συνδεσιμότητας του δικτύου, αποκτάται ένας πολυωνυμικού χρόνου προσεγγιστικός αλγόριθμος. Αυτή η παρατήρηση αποδεικνύει επισήμως ότι η συνδεσιμότητα του κοινωνικού δικτύου αποτελεί κλειδί για την αποδοτικότητα του συστήματος της ρευστής δημοκρατίας. Τέλος, εκτελούνε εκτενείς προσομοιώσεις και παρατηρούν ότι απλοί αλγόριθμοι (είτε κεντροποιημένοι είτε αποκεντρωμένοι) ξεπερνούν την άμεση δημοκρατία σε μια μεγάλη κατηγορία περιπτώσεων. Συνολικά αποδίδονται νέες γνώσεις για την ερώτηση:

*«Σε ποιες περιπτώσεις η ρευστή δημοκρατία μπορεί να είναι ωφέλιμη;»*

Γίνονται κατανοητές αρκετές κατευθύνσεις μελλοντικής εργασίας και προτείνουν μερικές από αυτές. Αρχικά σχεδιάζοντας καινούριους αλγόριθμους που θα παρείχαν ενδιαφέρουσες εγγυήσεις προσέγγισης, υπό κάποιες συνθήκες (π.χ. στη συνδεσιμότητα του δικτύου) θα αποτελούσε μια αξιόλογη συμβολή. Επιπλέον, θα ήταν ενδιαφέρον να σχεδιαστούν πιο εξελιγμένοι αποκεντρωμένοι αλγόριθμοι, αφού έχουν ερευνηθεί κατά κύριο λόγο οι κεντροποιημένες ευρετικές μέθοδοι που αναλύουν στο έργο τους. Είναι φυσικό να αναμένουμε ότι τα περισσότερα εργαλεία ρευστής δημοκρατίας θα λειτουργήσουν σε έναν εντελώς αποκεντρωμένο τρόπο. Επιπροσθέτως, προτείνουν την μελέτη ακρίβειας του πλαισίου της ρευστής δημοκρατίας χρησιμοποιώντας εναλλακτικές και πιθανόν πιο πολύπλοκα μοντέλα από αυτό της αβέβαιης διχοτομικής επιλογής. Τέλος, προτρέπουν την ανάλυση πραγματικού κόσμου δίκτυα ανάθεσης όπως το LiquidFeedback του Γερμανικού Pirate Party [24], για να αποκτηθούν περισσότερες πληροφορίες στις συμπεριφορές ανάθεσης των ψηφοφόρων και πώς αυτές συσχετίζονται με τις αντιλήψεις των ψηφοφόρων για

το επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης των γειτόνων τους. Αυτό είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και πάνω σε αυτή τη πρόταση βασιζόμαστε, την αναλύουμε και την εξετάζουμε.

---

# **3 ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ & ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ**

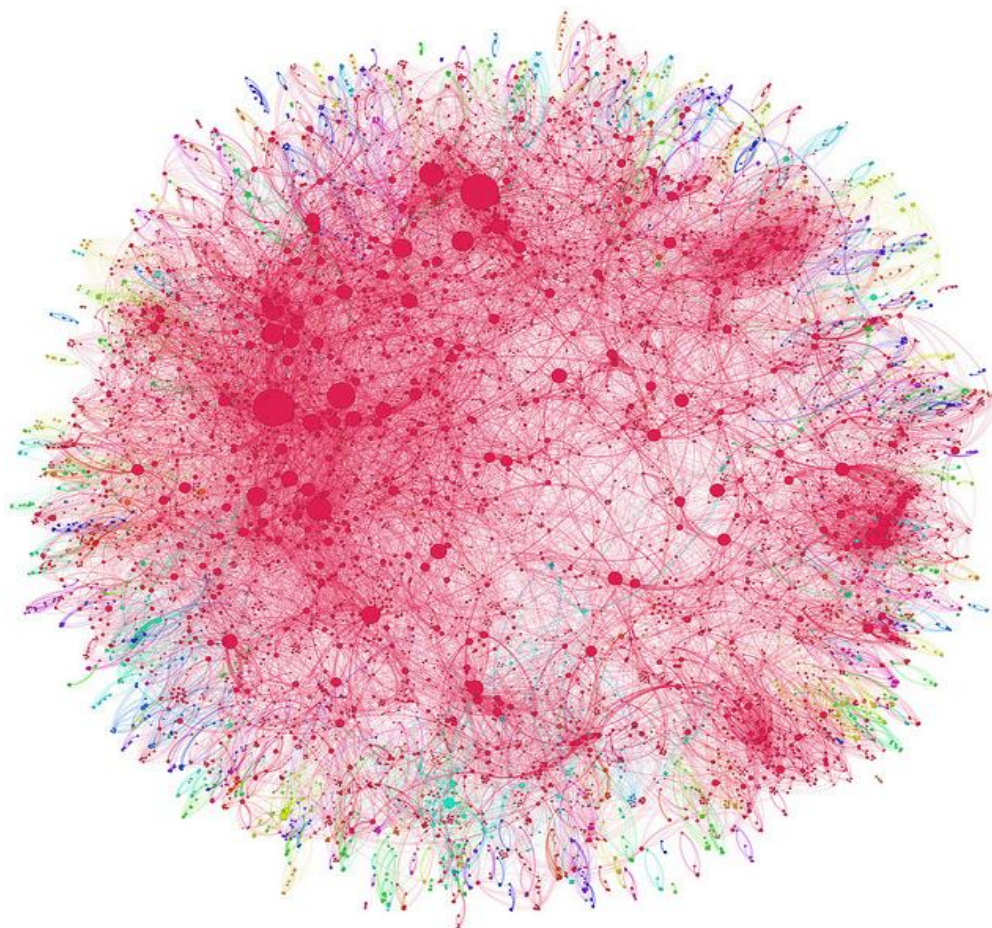
---

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα κοινωνικά δίκτυα. Τι είναι ένα κοινωνικό δίκτυο, πώς δημιουργείται, ποιες είναι η ιδιότητές του; Όπως αναφέρεται και παρακάτω τα δίκτυα μπορούν να έχουν διάφορες ιδιότητες πχ υπάρχουν τα τυχαία δίκτυα και τα δίκτυα μικρόκοσμου. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα δίκτυα Watts- Strogatz, Erdos – Renyi και Barabasi – Albert. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι η μετέπειτα μελέτη του μοντέλου της ρευστής δημοκρατίας πάνω σε ορισμένα από αυτά τα δίκτυα.

## **3.1 Κοινωνικά Δίκτυα**

Ένα γράφημα κοινωνικού δικτύου είναι ένα γράφημα όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τους ανθρώπους και οι γραμμές μεταξύ των κόμβων, που ονομάζονται ακμές, αντιπροσωπεύουν τις κοινωνικές συνδέσεις μεταξύ τους, όπως είναι η φιλία ή η συνεργασία σε ένα έργο. Αυτά τα γραφήματα μπορεί να είναι είτε μη κατευθυνόμενα, είτε κατευθυνόμενα. Για παράδειγμα, το Facebook μπορεί να περιγραφεί με ένα μη κατευθυνόμενο γράφημα, καθώς η φιλία είναι αμφίδρομη. Δεν ισχύει, όμως, το ίδιο και για το Twitter, το οποίο μπορεί να περιγραφεί με ένα κατευθυνόμενο γράφημα.

Τα κοινωνικά δίκτυα τείνουν να αποτελούνται από κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες δικτύων. Για παράδειγμα, τείνει να υπάρχει απόσταση μεταξύ δύο οποιωνδήποτε κόμβων και μια τάση να σχηματίζονται «τρίγωνα» σχέσεων.



*Σχήμα 3.1. Χάρτης δικτύου συν-συγγραφέων γιατρών που δημοσιεύουν για την ηπατίτιδα C από τον Andy Lamb*

Τα κοινωνικά δίκτυα είναι σημαντικά για τις εταιρείες που προσπαθούν να στοχεύσουν τους καταναλωτές για διαφήμιση, καθώς και για τους κοινωνικούς επιστήμονες που ενδιαφέρονται για το πώς αλληλεπιδρούν οι άνθρωποι. Οι τελευταίοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν τα κοινωνικά δίκτυα για να μοντελοποιήσουν τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα πράγματα που δημιουργούνται από τους ανθρώπους. Οι σελίδες στο διαδίκτυο και οι μεταξύ τους σύνδεσμοι σχηματίζουν ένα κοινωνικό δίκτυο με τον ίδιο τρόπο που οι άνθρωποι σχηματίζουν δίκτυα με άλλα άτομα. Επίσης, οι αντικατασκοπευτικές υπηρεσίες έχουν χρησιμοποιήσει δεδομένα κινητών τηλεφώνων και κλήσεις για να χαρτογραφήσουν πυρήνες τρομοκρατών.

Το σχήμα 3.1 απεικονίζει ένα δίκτυο. Παρουσιάζονται οι συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών γιατρών που συνυπογράφουν εργασίες για την ηπατίτιδα C. Για παράδειγμα δείχνει ό,τι δύο άτομα που συνέγραψαν μία εργασία, συνέγραψαν επίσης και ξεχωριστά έγγραφα με έναν άλλο γιατρό.

## 3.2 Τυχαία γραφήματα

Για να προσομοιωθεί πώς σχηματίζεται ένα κοινωνικό δίκτυο, οι μαθηματικοί χρησιμοποιούν τυχαία γραφήματα που μοντελοποιούν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι κάνουν συνδέσεις καθώς εισέρχονται στο δίκτυο. Στο πεδίο ανάλυσης των κοινωνικών δικτύων πολλά δίκτυα πραγματικού κόσμου όπως το Internet, το δίκτυο του Facebook, έχουν εκατομμύρια κόμβους και δισεκατομμύρια ακμές. Οι τοπολογικές δομές τους είναι πολύπλοκες και είναι πολύ μεγάλες για να τις αναλύσουν οι ερευνητές. Έτσι, οι ερευνητές στρέφονται σε παραγωγικά μοντέλα δικτύων.

Η ιδέα είναι ότι αν γίνεται να σχεδιαστούν μοντέλα που παράγουν γραφήματα και να είναι εγγυημένο ότι τα γραφήματα προσομοίωσης είναι παρόμοια με πραγματικού κόσμου δίκτυα όσο αφορά τις ιδιότητες δικτύου, τότε μπορούν να αναλυθούν τα συνθετικά δίκτυα, αντί των πραγματικού κόσμου δικτύων με πιο εύκολο τρόπο. Επιπλέον, με τα παραγωγικά μοντέλα δικτύων όχι μόνο κατανοείται καλύτερα η μαθηματική βάση των δικτύων πραγματικού κόσμου αλλά πραγματοποιούνται και ελεγχόμενα πειράματα τα οποία δεν είναι διαθέσιμα σε δίκτυα πραγματικού κόσμου.

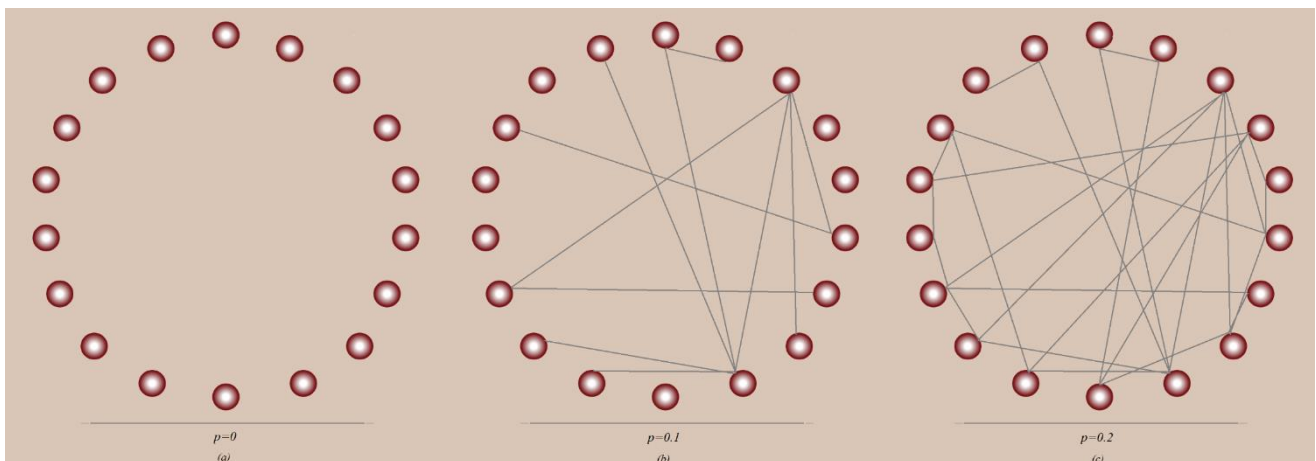
Τα τυχαία γραφήματα αναπτύσσονται προσθέτοντας κόμβους στο γράφημα έναν προς έναν και προσθέτοντας τυχαία ακμές μεταξύ των κόμβων σύμφωνα με έναν κανόνα πιθανοτήτων. Διαφορετικές επιλογές για τους κανόνες προσθήκης ακμών οδηγούν σε γραφήματα με πολύ διαφορετική δομή. Ο απλούστερος τύπος τυχαίου γραφήματος ονομάζεται γράφημα Erdos-Renyi [12]. Όταν προστίθεται κάθε κόμβος, υπάρχει μια σταθερή πιθανότητα  $p$  να προστεθεί οποιαδήποτε δεδομένη πιθανή άκρη μεταξύ αυτού και ενός άλλου κόμβου. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε δύο άτομα είναι εξίσου πιθανό να συνδεούνται με άλλα δύο άτομα και η ύπαρξη κοινής σύνδεσης δεν αυξάνει την πιθανότητα να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Αυτό είναι πολύ διαφορετικό από αυτό που παρατηρείται στα πραγματικά κοινωνικά δίκτυα, όπου οι άνθρωποι τείνουν να συγκεντρώνονται μαζί.

Βασισμένοι στους προαναφερθέντες λόγους, οι ερευνητές έχουν καταλήξει σε ορισμένα μοντέλα δικτύων που παράγουν δίκτυα μικρόκοσμου. Παρακάτω παραθέτονται τα τρία πιο διαδεδομένα μοντέλα στο πεδίο της ανάλυσης κοινωνικών δικτύων.

1. Erdos-Renyi Model
2. Watts-Strogatz Model
3. Barabasi-Albert Model

### 3.2.1 Erdos-Renyi Model

Το μοντέλο Erdos-Renyi καλείται συχνά ως Random Graph Model [12], και παράγει δίκτυα τυχαία ανάλογα με τις κατανομές πιθανοτήτων. Υπάρχουν δύο μεταβλητές του μοντέλου Erdos-Renyi,  $G(n, p)$  και  $G(n, m)$ , και είναι σχεδόν παρόμοιες. Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η τυχειότητα κατά την οποία συνδέονται οι κόμβοι σε ένα τέτοιο δίκτυο.



Σχήμα 3.2 Τυχαίο γράφημα μοντέλου Erdos-Renyi. (a) για  $p=0$ , (b) για  $p=0.1$  και (c) για  $p=0.2$

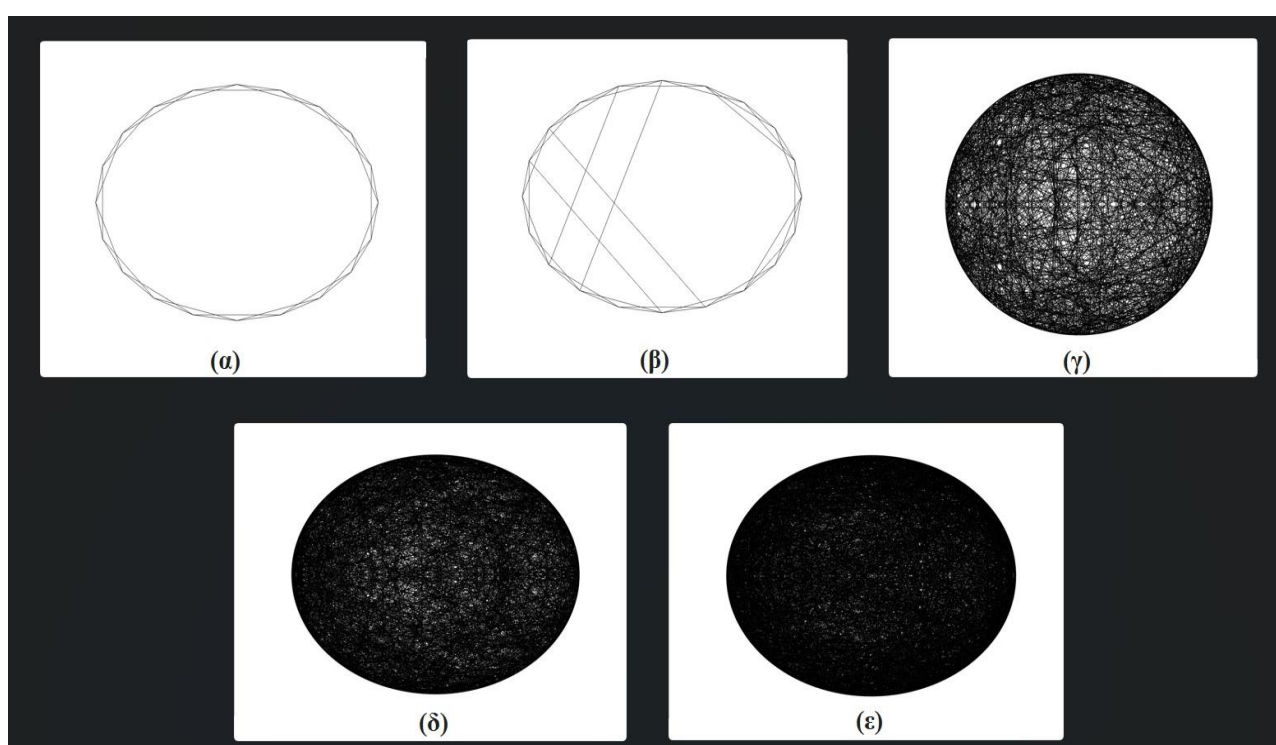
#### Παραγωγή του δικτύου:

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο  $G(n, p)$ , παράγεται ένα μη κατευθυνόμενο γράφημα με  $n$  κόμβους και κάθε πιθανή ακμή του δικτύου παράγεται ανεξάρτητα και πανομοιότυπα κατανεμημένη με πιθανότητα  $p$ .

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο  $G(n, m)$ , παράγεται ένα μη κατευθυνόμενο γράφημα με  $n$  κόμβους και  $m$  ακμές επιλεγμένες ομοιόμορφα τυχαία.

### Περιορισμοί:

1. Η κατανομή βαθμών διαφέρει από αυτή των δικτύων πραγματικού κόσμου, τα οποία συνήθως ακολουθούν το νόμο της ισχύος.
2. Οι συντελεστές ομαδοποίησης των δικτύων Erdos-Renyi [12] είναι πολύ μικροί.
3. Πιο σημαντικά, τα δίκτυα πραγματικού κόσμου δεν παράγονται τυχαία.



Εικόνα 3.1. Παραδείγματα μοντέλων δικτύου ER που χρησιμοποιούνται

Στη παρούσα εργασία γίνεται χρήση του μοντέλου δικτύων Erdos-Renyi  $G(n, p)$  και στην εικόνα 3.1 φαίνονται τα δίκτυα που παράγονται.

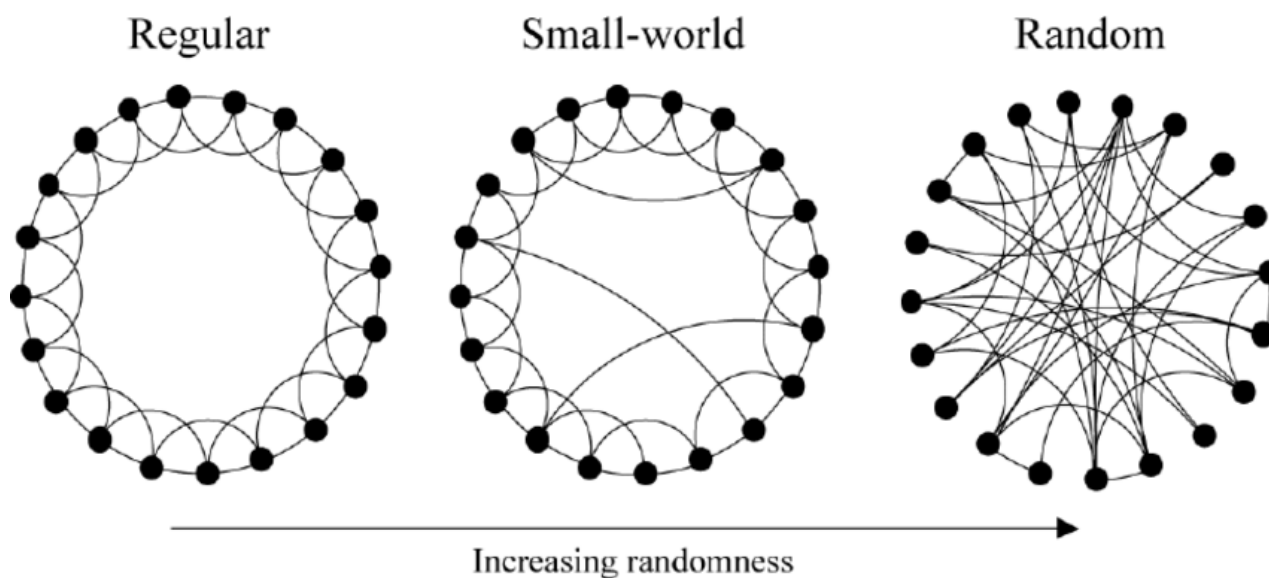
Πιο συγκεκριμένα στην εικόνα 3.1(α) απεικονίζεται ένα δίκτυο ER με 20 κόμβους και με πιθανότητα συνδεσιμότητας 0, ενώ στην εικόνα 3.1(β) παρατηρούνται 20 κόμβοι αλλά με πιθανότητα συνδεσιμότητας 0.1. Αυτά τα δύο παραδείγματα παραθέτονται για να είναι πιο διακριτή η διαφορά στη πιθανότητα συνδεσιμότητας. Οι εικόνες 3.1(γ), 3.1(δ), 3.1(ε) απεικονίζουν το δίκτυο ER με 1000 κόμβους και πιθανότητες συνδεσιμότητας 0.25, 0.5 και 0.75 αντίστοιχα. Αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούνται από



τη παρούσα εργασία για την επεξεργασία των αναθέσεων μεταξύ των ψηφοφόρων. Και σε αυτές τις εικόνες φαίνεται ότι με την αύξηση της πιθανότητας συνδεσιμότητας το δίκτυο αλλάζει και γίνεται όλο και πιο πυκνό.

### 3.2.2 Watts-Strogatz Model

Αφού ο συντελεστής ομαδοποίησης του μοντέλου Erdos-Renyi [12] είναι πολύ μικρός, γεγονός το οποίο διαφέρει από τα δίκτυα πραγματικού κόσμου, η ιδέα του μοντέλου Watts-Strogatz είναι να έχει υψηλούς συντελεστές ομαδοποίησης με μικρό μέσο μήκος διαδρομής στα παραγόμενα μοντέλα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3. Η κατασκευή του μοντέλου Watts-Strogatz. Για το κανονικό γράφημα  $p = 0$ . Το τυχαίο γράφημα προκύπτει στο  $p = 1$  και για τις ενδιάμεσες τιμές του  $p$ , δημιουργείται ένα δίκτυο μικρού κόσμου.

#### Παραγωγή του δικτύου:

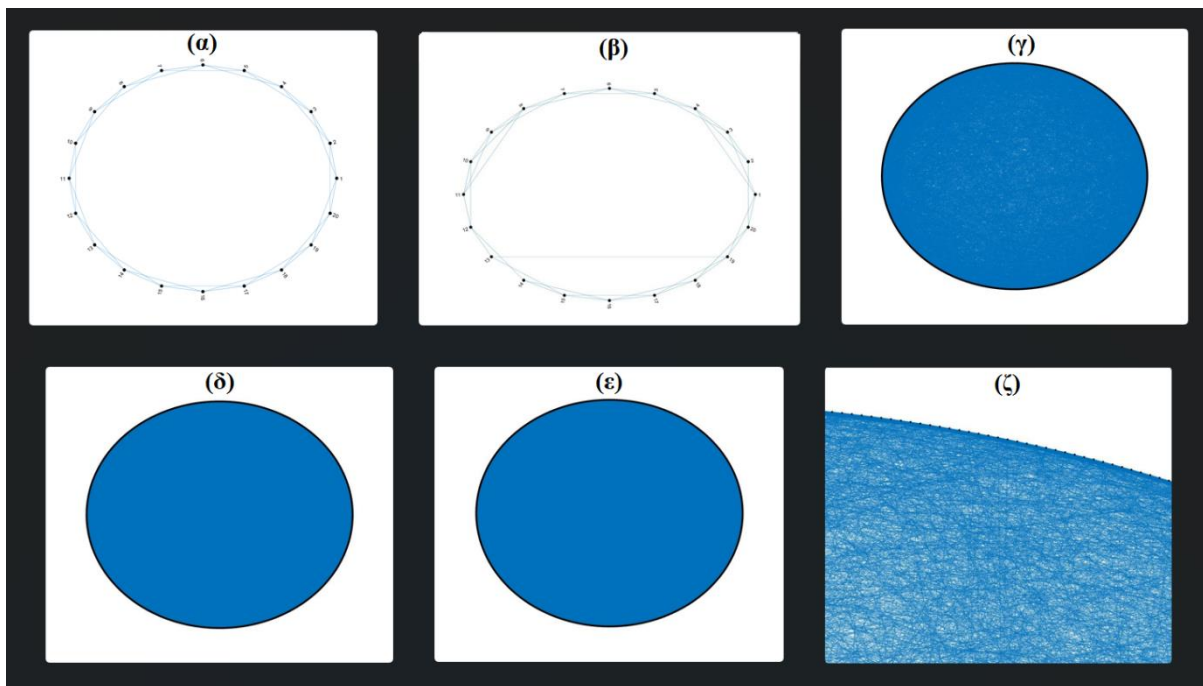
Είναι δυνατόν να υπάρχουν υψηλοί συντελεστές ομαδοποίησης αν παράγονται κανονικά πλέγματα, αλλά με προκαθορισμένο σχήμα. Στόχος είναι να προστεθεί η τυχαιότητα στο δίκτυο και αυτό επιτυγχάνεται με τυχαία επανασύνδεση. Η διαδικασία τυχαίας επανασύνδεσης μπορεί να δημιουργήσει μακράς απόστασης συνδέσεις και να προσθέσει τυχαιότητα στο παραγόμενο δίκτυο.

1. Παραγωγή τυχαίων πλεγμάτων.

2. Για κάθε ακμή στο δίκτυο, επανασύνδεση με πιθανότητα  $p$  με αποφυγή βρόγχων και επικάλυψη συνδέσμων (πολλαπλές ακμές).

#### Περιορισμοί:

1. Ακόμα έχει μη ρεαλιστική κατανομή βαθμών, γεγονός που δεν ακολουθεί το νόμο ισχύος.
2. Προκαθορισμένος αριθμός κόμβων, αντίθετα από τον αριθμό κόμβων σε πραγματικά δίκτυα που συνέχεια αυξάνεται.



Εικόνα 3.2. Παραδείγματα μοντέλων δικτύου WS που χρησιμοποιούνται

Στη παρούσα εργασία γίνεται χρήση του μοντέλου δικτύων Watts-Strogatz και στην εικόνα 3.2 φαίνονται τα δίκτυα που παράγονται. Πιο ειδικά, στην εικόνα 3.2(α) παρουσιάζεται ένα δίκτυο WS με 20 κόμβους και με πιθανότητα συνδεσιμότητας 0, ενώ στην εικόνα 3.2(β) παρατηρούνται 20 κόμβοι αλλά με πιθανότητα συνδεσιμότητας 0.1. Αυτά τα δύο παραδείγματα παραθέτονται για να είναι πιο ορατή η διαφορά στη πιθανότητα συνδεσιμότητας. Οι εικόνες 3.2(γ), 3.2(δ), 3.2(ε) απεικονίζουν το δίκτυο WS με 1000 κόμβους και πιθανότητες συνδεσιμότητας 0.25, 0.5 και 0.75 αντίστοιχα. Αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούνται από τη παρούσα εργασία για την επεξεργασία των αναθέσεων μεταξύ των ψηφοφόρων. Και σε αυτές τις εικόνες φαίνεται ότι με την αύξηση της πιθανότητας συνδεσιμότητας το δίκτυο αλλάζει και γίνεται όλο και πιο πυκνό. Συγκεκριμένα γίνεται τόσο πυκνό που δε φαίνεται η διαφορά ανάμεσα στις

εικόνες 3.2(δ) και 3.2(ε). Για αυτό το λόγο η εικόνα 3.2(ζ) είναι το δίκτυο 3.2(ε) μεγεθυμένο, έτσι ώστε να φαίνονται καλύτερα οι μαύρες κουκίδες που είναι οι κόμβοι και οι μπλε ακμές που δημιουργούνται.

### 3.2.3 Barabasi-Albert Model

Στη πραγματική ζωή, οι άνθρωποι που έχουν περισσότερους φίλους είναι πιο πιθανό να αποκτήσουν περισσότερους φίλους. Αυτή η συμπεριφορά είναι τεχνικά γνωστή ως «προνομιακή προσκόλληση» ή ανεπίσημα ως «ο πλούσιος γίνεται πλουσιότερος». Το απλούστερο μοντέλο δικτύων που καταγράφει αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται γράφημα Barabasi-Albert.

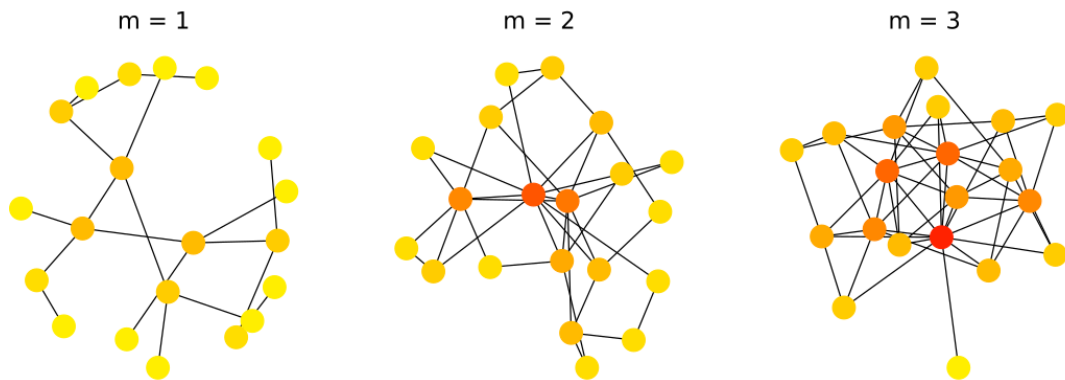
Τα δύο μοντέλα τυχαίων δικτύων που αναφέρονται παραπάνω είναι περιορισμένα σε δύο καταστάσεις, οι οποίες διαφέρουν από τα δίκτυα πραγματικού κόσμου:

1. Μη ρεαλιστική κατανομή βαθμών
2. Προκαθορισμένο αριθμό κόμβων

Για να επιλυθούν οι περιορισμοί αυτοί, οι ερευνητές προσπάθησαν να μοντελοποιήσουν πώς δημιουργήθηκαν τα δίκτυα πραγματικού κόσμου. Σαν αποτέλεσμα παρατήρησαν τα εξής χαρακτηριστικά και ανέπτυξαν το μοντέλο Barabasi-Albert.

1. Η κατασκευή δικτύων πραγματικού κόσμου είναι αποτέλεσμα σταθερής διαδικασίας ανάπτυξης. Αυτό το χαρακτηριστικό περιγράφεται ως συνεχής ανάπτυξη.
2. Στα περισσότερα πραγματικά δίκτυα νέοι κόμβοι προτιμούν να συνδέονται στους πιο συνδεδεμένους κόμβους. Αυτό το χαρακτηριστικό περιγράφεται ως προτιμησιακή προσκόλληση.

Τα παραπάνω δύο χαρακτηριστικά αποτελούν τους λόγους που τα δίκτυα πραγματικού κόσμου έχουν την ιδιότητα μη κλιμακωσιμότητας, όπου είναι η ιδιότητα που κάνει την κατανομή βαθμών να ακολουθεί το νόμο της ισχύος. Το μοντέλο Barabasi-Albert σχεδιάστηκε για να απαθανατίσει τους μηχανισμούς που ευθύνονται για την εμφάνιση της ιδιότητας μη κλιμακωσιμότητας των πραγματικών δικτύων.



Σχήμα 3.4. Τρία γραφήματα που δημιουργήθηκαν με το μοντέλο Barabasi-Albert

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.4 στην οποία παρουσιάζονται τρία γραφήματα που δημιουργήθηκαν με το μοντέλο Barabasi-Albert, κάθε γράφημα έχει 20 κόμβους και μια παράμετρο  $m$  όπως καθορίζεται. Το χρώμα του κάθε κόμβου εξαρτάται από τον βαθμό του. Παράλληλα, διατηρείται η ίδια κλίμακα για κάθε γράφημα.

### Παραγωγή του δικτύου:

Για να σχεδιαστεί το δίκτυο Barabasi-Albert γίνεται εκκίνηση με  $m_0$  κόμβους και με τις συνδέσεις μεταξύ τους να επιλέγονται αυθαίρετα, εφόσον κάθε κόμβος έχει τουλάχιστον ένα σύνδεσμο. Το δίκτυο αναπτύσσει τα εξής δύο βήματα,

1. Σε κάθε βήμα προστίθεται ένας νέος κόμβος με  $m$  ( $\leq m_0$ ) ακμές που συνδέουν το νέο κόμβο με άλλους  $m$  κόμβους που βρίσκονται ήδη στο δίκτυο. Αυτό κάνει το δίκτυο να μεγαλώνει συνεχώς.
2. Η πιθανότητα μία ακμή του νέου κόμβου να συνδέεται σε έναν κόμβο  $i$  είναι ανάλογη του βαθμού του κόμβου  $i$ . αυτό είναι επίσης γνωστό ως προτιμησιακή προσκόλληση.

---

# 4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟΥ

---

Τα κοινωνικά δίκτυα τείνουν να είναι σχετικά μικρά. Χρειάζονται μόνο μερικοί φίλοι φίλων για να φτάσει κάποιος σχεδόν σε όλους όσους συναντήσει. Ένα μέτρο του μεγέθους ενός γραφήματος είναι το μέσο μήκος διαδρομής μεταξύ οποιωνδήποτε δύο σημείων του δικτύου. Το μήκος διαδρομής μεταξύ δύο κόμβων σε ένα γράφημα είναι ο ελάχιστος αριθμός ακμών που θα πρέπει να διασταυρωθούν για φτάσει κάποιος από τον έναν κόμβο στον άλλο.

Το μέσο μήκος διαδρομής σε ένα γράφημα Barabasi-Albert αυξάνεται λογαριθμικά με  $\log(N)$ , τον λογάριθμο του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι η απόσταση μεταξύ των κόμβων αυξάνεται πολύ αργά και προστίθενται περισσότεροι κόμβοι. Στο πραγματικό κόσμο, ωστόσο, η μέση απόσταση μπορεί ακόμη και να συρρικνωθεί όσο το δίκτυο μεγαλώνει. Για παράδειγμα, το 2011 όταν το Facebook είναι 721 εκατομμύρια χρήστες, η μέση απόσταση μεταξύ δύο χρηστών ήταν 4,74. Το 2016, με 1,59 δισεκατομμύρια χρήστες, η μέση απόσταση μειώθηκε στο 4,5. Αυτή η διαφορά μεταξύ μοντέλου και πραγματικότητας προέρχεται από την υπόθεση ότι κάθε νέος κόμβος κάνει έναν σταθερό συνδέσεων με άλλους κόμβους. Εάν ο αριθμός των νέων συνδέσεων ανά κόμβο αυξάνεται, τότε η μέση απόσταση θα μειωθεί (καθώς οι κόμβοι είναι πιο συνδεδεμένοι).

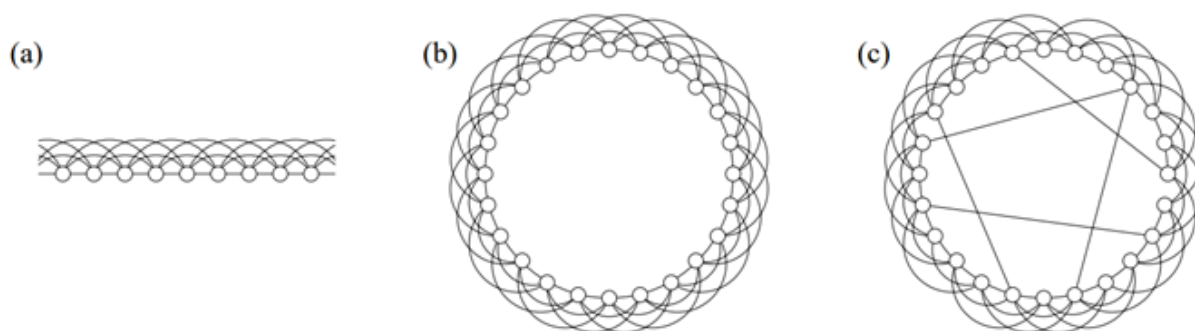
Εν κατακλείδι τα δίκτυα μικρόκοσμου σχεδιάστηκαν για να παράγουν δίκτυα που είναι παρόμοια με δίκτυα πραγματικού κόσμου για να παρέχουν μια μαθηματική εξήγηση των δικτύων πραγματικού κόσμου. Τα μοντέλα Erdos-Renyi και Watts-Strogatz παράγονται τυχαία, ενώ το μοντέλο Barabasi-Albert παράγει δίκτυα με την ιδιότητα μη κλιμακωσιμότητας, προσθέτοντας χαρακτηριστικά συνεχούς αύξησης και προτιμησιακής προσκόλλησης σε παραγωγή δικτύων. Γενικά, ένας άλλος περιορισμός όλων των μοντέλων μικρών δικτύων είναι ότι τυχαία μοντέλα παράγουν μόνο μη κατευθυνόμενα δίκτυα, ενώ πολλά πραγματικού κόσμου δίκτυα είναι κατευθυνόμενα.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση των δικτύων μικρόκοσμου και ποια είναι η σχέση τους με τα τυχαία δίκτυα. Μελετάται σε βάθος το μοντέλο δικτύων μικρόκοσμου των Watts – Strogatz [30] ως το μοντέλο που προσομοιώνει καλύτερα τα καθημερινά κοινωνικά δίκτυα.

## 4.1 Το μοντέλο μικρόκοσμου των Watts-Strogatz

Εάν τα τυχαία γραφήματα δεν ταιριάζουν σωστά με τις ιδιότητες του πραγματικού κόσμου, υπάρχει εναλλακτικό μοντέλο το οποίο το κάνει. Ένα τέτοιο μοντέλο έχουν προτείνει ο Duncan Watts και ο Steven Strogatz το 1999 [30]. Το μοντέλο αυτό ταιριάζει περισσότερο με τις καθημερινές διαισθήσεις σχετικά με τη φύση των κοινωνικών δικτύων.

Η πρότασή τους ήταν να κατασκευαστεί ένα μοντέλο το οποίο στην ουσία είναι ένα κανονικό πλέγμα χαμηλής διάστασης, έστω ένα μονοδιάστατο πλέγμα, το οποίο όμως έχει κάποιο βαθμό τυχαιότητας, όπως ένα τυχαίο γράφημα, ούτως ώστε να παράγει το φαινόμενο του μικρόκοσμου.



Σχήμα 4.1. (a) Μονοδιάστατο πλέγμα του οποίου κάθε άκρη είναι συνδεδεμένοι στους 6 κοντινότερους γείτονες, (b) Το ίδιο πλέγμα με περιοδικές οριακές συνθήκες, (c) Το μοντέλο Watts-Strogatz δημιουργείται ξανασυνδέοντας ένα μικρό μέρος των ήδη συνδεδεμένων κόμβων.

Πρότειναν, λοιπόν, ένα συγκεκριμένο σχέδιο για να γίνει αυτό: Παίρνοντας το μονοδιάστατο πλέγμα του σχήματος 4.1(a) και περνώντας από κάθε έναν από τους

συνδέσμους στο πλέγμα με τη σειρά, με κάποια πιθανότητα  $p$ , τυχαία ξανασυνδέουν αυτό το σύνδεσμο. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι μετακινείται ένα από τα άκρα του συνδέσμου σε μία νέα θέση που επιλέγεται τυχαία από το υπόλοιπο πλέγμα. Για μικρό  $p$ , αυτό παράγει ένα γράφημα που εξακολουθεί να είναι ως επί το πλείστον κανονικό, αλλά έχει μερικές συνδέσεις που εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις κατά μήκος του πλέγματος όπως του σχήματος 4.1(c). Ο αριθμός συντονισμού του πλέγματος 4.1(c) εξακολουθεί να είναι ίδιος κατά μέσο όρο με το πλέγμα 4.1(a), παρόλο που ο αριθμός των γειτόνων οποιαδήποτε συγκεκριμένης κορυφής μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος από τον αριθμό συντονισμού.

Το μοντέλο, με κοινωνικούς όρους, μπορεί να δικαιολογηθεί λέγοντας ότι ενώ οι περισσότεροι άνθρωποι είναι φίλοι με τους μέσους γείτονές τους – γείτονες στον ίδιο δρόμο, ή άτομα που δουλεύουν με άτομα τα οποία τους συστήνουν οι φίλοι τους – μερικοί άνθρωποι είναι επίσης φίλοι με ένα ή δύο άτομα που είναι πολύ μακριά, με κάποια κοινωνική έννοια (π.χ. άνθρωποι σε άλλες χώρες, άτομα από άλλα κοινωνικά στρώματα, γνωστοί από προηγούμενες εποχές ζωής τους και ούτω καθεξής). Αυτές οι υπεραστικές γνωριμίες αντιπροσωπεύονται από τους μακρινούς δεσμούς στο μοντέλο των Watts και Strogatz [30].

---

# 5 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

---

Η παρούσα εργασία παίρνοντας την σκυτάλη από το έγγραφο των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], αναλύει πραγματικού κόσμου αλλά και τυχαία δίκτυα ανάθεσης και έτσι αποκτώνται περισσότερες πληροφορίες για τις συμπεριφορές ανάθεσης των ψηφοφόρων και πώς αυτές συσχετίζονται με τις αντιλήψεις των ψηφοφόρων για το επίπεδο εμπειρογνομosύνης των γειτόνων τους.

Αρχικά, λοιπόν, ορίζεται ένα δίκτυο 1000 ψηφοφόρων, σε κάθε έναν από τους οποίους αντιστοιχεί και μια τιμή ακριβείας. Η τιμή ακριβείας αναπαριστά το κατά πόσο ο κάθε ψηφοφόρος είναι πιθανό να ψηφίσει υπέρ της αλήθειας σε ένα ζήτημα. Ακολουθώντας τα βήματα των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], θεωρείται ότι από τους 1000 ψηφοφόρους το 10% αποτελεί εμπειρογνώμονες ψηφοφόρους (τους γνωστούς guru), το 20% αποτελεί παραπληροφορημένους ψηφοφόρους (misinformed voters) και το υπόλοιπο 70% αποτελεί μέσους ψηφοφόρους (average voters). Η εν λόγω τιμή ακρίβειας δίνεται στο κάθε ψηφοφόρο ξεχωριστά, ανάλογα με το ποσοστό στο οποίο ανήκει μέσω μίας Γκαουσιανής κατανομής.

Τα πειράματα εκτελούνται πάνω σε δύο διαφορετικά είδη δικτύων που απεικονίζουν αντίστοιχα κοινωνικά δίκτυα. Το πρώτο είναι το μοντέλο δικτύων μικρόκοσμου Watts-Strogatz [30] στο οποίο δίνονται τρεις παράμετροι:

1. nodes: το πλήθος των κόμβων του δικτύου που αντιπροσωπεύουν τους ψηφοφόρους.
2.  $k$ :  $nodes \times k$  είναι οι ακμές του γραφήματος. Ουσιαστικά ένας κόμβος συνδέεται με τους  $k$  γείτονές του από αριστερά και του  $k$  γείτονές του από δεξιά.
3.  $b$ : η πιθανότητα συνδεσιμότητας. Όταν  $b=0$  πρόκειται για ένα πλέγμα δακτυλίου, ενώ όταν  $b=1$  πρόκειται για ένα τυχαίο γράφημα.

Το δεύτερο μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι αυτό του τυχαίου γραφήματος των Erdos-Renyi [12], στο οποίο δίνονται οι εξής παράμετροι:



1.  $n_v$ : (number of nodes) το πλήθος των κόμβων του δικτύου που αντιπροσωπεύουν τους ψηφοφόρους.
2.  $b$ : η πιθανότητα συνδεσιμότητας.
3.  $K_{reg}$ : αρχικός βαθμός κόμβου για κανονικό γράφημα

Κατά την υλοποίηση εναλλάσσονται οι παράμετροι αυτές για να βγουν συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, διατηρώντας ίδιο το βαθμό των κόμβων και το τρόπο με τον οποίο γίνονται οι συνδέσεις των ακμών (τα nodes και  $k$  για τα δίκτυα Watts-Strogatz, και τα  $n_v$  και  $K_{reg}$  για τα δίκτυα Erdos-Renyi), τροποποιείται σε κάθε πείραμα η τιμή της πιθανότητας επανασύνδεσης ( $b$ ). Επιπλέον τροποποιήσεις που εκτελούνται είναι ανάμεσα στα ποσοστά εμπειρογνωμοσύνης των ψηφοφόρων του δικτύου. Μεταβάλλονται τα ποσοστά των εμπειρών ( $guru$ ) και των παραπληροφορημένων ( $misinformed$ ) διατηρώντας ανάλογο και το ποσοστό των μέσων ( $average$ ) ψηφοφόρων.

Όσον αφορά τον κώδικα, με έμπνευση από το έγγραφο των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος `greedy_delegation` που αναλύουν. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η ταυτότητα των  $guru$  και των  $misinformed$  (δηλαδή το ποιοι θα είναι), παράγεται από μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Τέλος, υλοποιείται ο αλγόριθμος αυτός και εκτελείται ο κώδικας πάνω στα δίκτυα που παράγονται.

Αφού γίνεται αυτή η αποσαφήνιση των κοινωνικών δικτύων και πώς χρησιμοποιούνται τα μοντέλα δικτύων στη παρούσα εργασία, στο κεφάλαιο αυτό ακολουθούν η περιγραφή του αλγορίθμου που χρησιμοποιείται και οι πειραματικές ρυθμίσεις που γίνονται καθώς και το περιβάλλον στο οποίο υλοποιούνται οι αλγόριθμοι και εκτελούνται τα πειράματα.

## 5.1 Ο αλγόριθμος `greedy_delegation`

Ο αλγόριθμος της άπληστης ανάθεσης που περιγράφουν οι Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert στο [2] και υλοποιείται από τη διπλωματική αυτή εργασία λειτουργεί με τον εξής τρόπο. Αναλόγως με την ιδιότητά του ο κάθε ψηφοφόρος λαμβάνει μία τιμή ακριβείας μέσω μίας γκαουσιανής κατανομής ( $guru$ : 0.7,  $average$ : 0.5,  $misinformed$ : 0.3). Θεωρείται κάθε  $guru$   $g$  που ανήκει σε ένα σύνολο  $S$ ,

σε φθίνουσα σειρά τιμής ακριβείας και κατανέμονται στο  $g$  όλοι οι υπολειπόμενοι  $guru$   $v$  που ανήκουν στο σύνολο  $V \setminus S$  και που μπορούν να «φθάνουν» το  $g$  στο  $G[(V \setminus S) \cup \{g\}]$ . Οι ψηφοφόροι που δεν «φθάνουν» κάποιον  $guru$  του  $S$  ψηφίζουν για τον εαυτό τους, ενώ οι ψηφοφόροι που «φθάνουν» τον  $g$  θεωρούνται ακόλουθοι του  $g$  και ο  $g$  θεωρείται ο εκπρόσωπός τους. Τέλος, υπολογίζεται ο μέσος όρος τιμών ακριβείας με τον οποίο εκλέγεται η βασική αλήθεια. Αυτό γίνεται με τον εξής τύπο:

$$\text{Μέσος όρος} = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_{\alpha_i} \times (\text{ακόλουθοι}_i + 1) + \sum_{j=1}^M \tau_{\alpha_j}}{\text{πλήθος ψηφοφόρων}},$$

όπου  $N$ =το πλήθος των  $guru$  στο δίκτυο,  $M$ =το πλήθος των ψηφοφόρων που ψηφίζουν άμεσα στο δίκτυο και δεν είναι  $guru$ ,  $\tau_{\alpha}$ =η τιμή ακριβείας που αντιστοιχεί στο κάθε ψηφοφόρο, ,  $\text{ακόλουθοι}$  = οι ακόλουθοι του εκάστοτε  $guru$ . Επομένως, ο μέσος όρος υπολογίζεται από τη διαίρεση του αθροίσματος των γινομένων των τιμών ακριβείας κάθε  $guru$  επί το πλήθος των ακολούθων τους συν 1 (για να υπολογιστεί και η δική τους ψήφος), συν το άθροισμα των τιμών ακριβείας των ψηφοφόρων που ψηφίζουν άμεσα στο δίκτυο και δεν αποτελούν  $guru$ , διά το πλήθος των ψηφοφόρων.

## 5.2 Περιβάλλον υλοποίησης

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου `greedy_delegation` των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], αλλά και για το σύνολο των αλγορίθμων χρησιμοποιείται το περιβάλλον του `DEVCC++ IDE` και ο κώδικας συγγράφεται σε γλώσσα `C++`.

## 5.3 Πειραματικές ρυθμίσεις

Όπως αναφέρθηκε η έρευνα ξεκινά με την ρύθμιση που κάνουν οι Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], κατά την οποία, για να είναι κοντά σε ένα πραγματικό περιβάλλον, οι ακρίβειες των ψηφοφόρων παράγονται ως μείγμα Gaussian κατανομών, όπου υπάρχει μία Γκαουσιανή για ειδικούς (guru)  $N(0.7, 0.1)$  που αποτελούν το 10% των ψηφοφόρων, μια για παραπληροφορημένους (misinformed)  $N(0.3, 0.1)$  που αποτελούν το 20% των ψηφοφόρων και μία για τους μέσους ψηφοφόρους (average)  $N(0.5, 0.1)$  που αποτελούν το 70% των ψηφοφόρων.

A/Π	Guru	Misinformed	Average
i.	6% 60 voters	10% 100 voters	84% 840 voters
ii.	8% 80 voters	10% 100 voters	82% 820 voters
iii.	8% 80 voters	14% 140 voters	78% 780 voters
iv.	10% 100 voters	14% 140 voters	76% 760 voters
v.	10% 100 voters	18% 180 voters	72% 720 voters
vi.	12% 120 voters	18% 180 voters	70% 700 voters
vii.	12% 120 voters	22% 220 voters	66% 660 voters
viii.	14% 140 voters	22% 220 voters	64% 640 voters
ix.	14% 140 voters	26% 260 voters	60% 600 voters
x.	16% 160 voters	26% 260 voters	58% 580 voters
xi.	18% 180 voters	30% 300 voters	52% 520 voters
xii.	20% 200 voters	30% 300 voters	50% 500 voters

Πίνακας 5.1. Οι 12 μεταβολές ποσοστών Guru-Misinformed-Average ψηφοφόρων

Οι μετατροπές που γίνονται αφορούν εκτός από τη συνδεσιμότητα των δικτύων και την μεταβολή των ποσοστών. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται το εύρος ποσοστού των εμπειρων (guru) να είναι 6% - 20% με αύξηση με βήμα 2%, ενώ το εύρος ποσοστού των παραπληροφορημένων (misinformed) να είναι 10% - 30% με αύξηση με βήμα 4%. Στο πίνακα 5.1 φαίνονται πιο αναλυτικά τα ποσοστά αυτά για τους 1000 ψηφοφόρους.

Επιπλέον, μεταβάλλεται και η πιθανότητα συνδεσιμότητας και των δύο μοντέλων δικτύων. Η παράμετρος αυτή θα εναλλάσσει ανάμεσα στις μεταβολές ποσοστών εμπειρογνωμοσύνης στις εξής τιμές:

- i.  $b = 0.25$
- ii.  $b = 0.5$
- iii.  $b = 0.75$

Έτσι θα αποκτηθεί γνώση για την τιμή ακρίβειας με την οποία ψηφίζεται η αλήθεια και με βάση τη συνδεσιμότητα του εκάστοτε δικτύου, αφού όπως προαναφέρθηκε όσο πιο μικρή είναι η πιθανότητα συνδεσιμότητας τόσο πιο αραιό είναι το δίκτυο και αντίστοιχα όσο πιο μεγάλη είναι η πιθανότητα συνδεσιμότητας τόσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο, και με βάση την εμπειρογνωμοσύνη των ψηφοφόρων. Άρα σε ένα δίκτυο με περισσότερους συνδέσμους (ή αλλιώς με περισσότερες ακμές) πιο πολλοί ψηφοφόροι θα συνδέονται με κάποιον guru στον οποίο θα αναθέτουν στη συνέχεια την ψήφο τους και θα ψηφίζει αυτός εκ μέρους τους, ως αντιπρόσωπός τους, την αλήθεια με μεγαλύτερη πιθανότητα (ως guru που θα έχει μεγαλύτερη τιμή ακριβείας) από ότι αν ψήφισαν απευθείας.

Επιπλέον, θα φανεί η διαφορά στα αποτελέσματα ανάμεσα στα 12 πειράματα. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται να φανεί ότι όσο **αυξάνεται** το ποσοστό των guru, άρα και το πλήθος τους, τόσο θα **αυξάνεται** και ο μέσος όρος τιμών ακριβείας του δικτύου, και αντίστοιχα όταν **αυξάνεται** το ποσοστό των misinformed, άρα και το πλήθος τους, τόσο θα **μειώνεται** ο μέσος όρος τιμών ακριβείας του δικτύου.

Συνοψίζοντας, εκτελούνται συνολικά 12 πειράματα για τις τρεις διαφορετικές τιμές του  $b$  και όλα αυτά για τα δύο μοντέλα δικτύων. Επιπλέον, προς χάριν σύγκρισης εκτελείται ο κώδικας και για τις τιμές που δίνουν στο έγγραφό τους οι Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2] για όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις. Επομένως θα εκτελεστούν συνολικά 78 πειράματα στα οποία θα συγκρίνεται ο μέσος όρος τιμών ακριβείας με τον οποίο εκλέγεται η σωστή απόφαση.

---

# 6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

---

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτελούνται συνοδευόμενα από γραφικές παραστάσεις. Έτσι γίνονται πιο κατανοητές οι διαφορές ανάμεσα στα πειράματα ενώ παράλληλα αποδεικνύεται ότι ανάλογα με τη πυκνότητα των δικτύων λαμβάνονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Επίσης, επιδεικνύονται και τα αποτελέσματα που θα λαμβάνονταν με άμεση δημοκρατία για τις πειραματικές ρυθμίσεις του πίνακα 5.1 στα δύο μοντέλα δικτύων.

## 6.1 Το πείραμα των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert

Αρχικά θα εξεταστούν τα αποτελέσματα της υλοποίησης για τις πειραματικές τιμές που έχουν δώσει οι Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2], οι οποίες φαίνονται παρακάτω στον πίνακα 6.1. Παρόλο που οι παραπάνω συγγραφείς ελέγξαν τους αλγορίθμους τους στα μοντέλα δικτύων Watts-Strogatz [30] και Barabasi-Albert, στη παρούσα εργασία ελέγχονται οι τιμές που προτείνουν στα μοντέλα Watts-Strogatz [30] και Erdos-Renyi [12] και συγκρίνονται τα αποτελέσματα.

Guru	Misinformed	Average
10% 100 voters	20% 200 voters	70% 700 voters

*Πίνακας 6.1. Πειραματικές τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert*

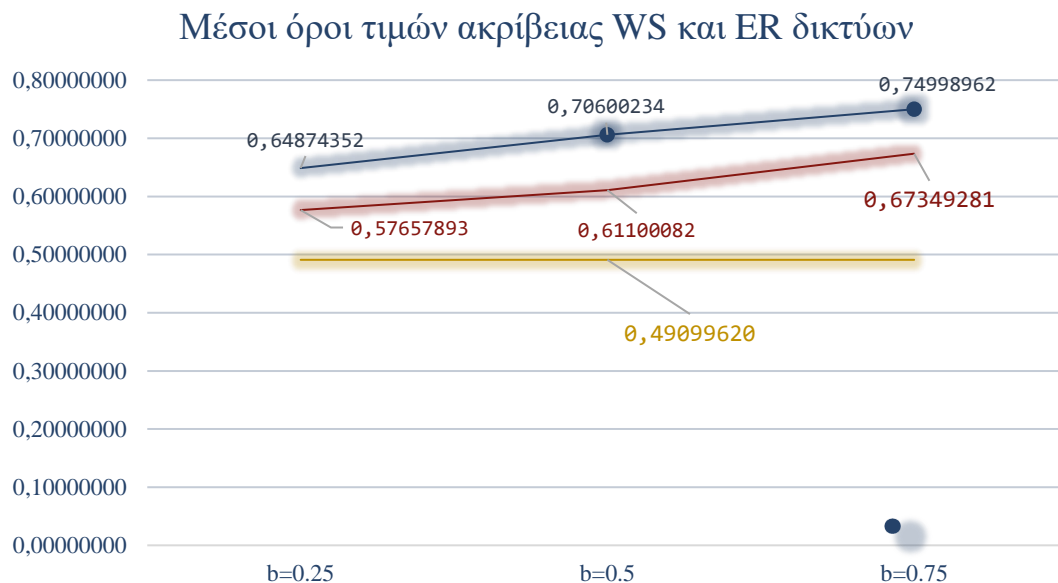
Τα αποτελέσματα για αυτές τις πειραματικές ρυθμίσεις φαίνονται στον πίνακα 6.2 για τα δίκτυα Watts-Strogatz και στον πίνακα 6.3 για τα δίκτυα Erdos-Renyi.

b=0.25	0,64874352
b=0.5	0,70600234
b=0.75	0,74998962

Πίνακας 6.2. Πειραματικά αποτελέσματα για τις τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS δίκτυο

b=0.25	0,57657893
b=0.5	0,61100082
b=0.75	0,67349281

Πίνακας 6.3. Πειραματικά αποτελέσματα των τιμών των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για ER δίκτυο



Σχήμα 6.1. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τις πειραματικές τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS και ER δίκτυα

Επιπλέον, υπολογίζεται ο μέσος όρος στη περίπτωση άμεσης δημοκρατίας. Ο μέσος όρος αυτός είναι στη σταθερή τιμή του 0,49, αφού όταν αναφερόμαστε σε άμεση δημοκρατία δεν έχει σημασία το δίκτυο αναθέσεων (αφού δεν υπάρχουν αναθέσεις) παρά μόνο τα επίπεδα εμπειρογνωμοσύνης των ψηφοφόρων. Σαφώς και όταν αναφερόμαστε στο μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας, όσο αυξάνεται η πιθανότητα συνδεσιμότητας των δικτύων, αυξάνεται και ο μέσος όρος τιμής ακρίβειας. Στο σχήμα 6.1 φαίνονται τα αποτελέσματα αυτά σε διάγραμμα.

Όπως φαίνεται, η γραμμή που αντιστοιχεί στο δίκτυο WS (μπλε) βρίσκεται πιο ψηλά από αυτή του δικτύου ER (κόκκινη) και αυτό είναι λογικό καθώς τα δίκτυα WS είναι πολύ πιο πυκνά από τα ER δίκτυα. Αυτό συμβαίνει γιατί στο WS δίκτυο ένας κόμβος συνδέεται με 25 τουλάχιστον άλλους κόμβους, αφού έχουμε ορίσει την

παράμετρο  $k = 25$ , ενώ στο δίκτυο ER αυτό δεν είναι δεδομένο και το πιο πιθανό είναι ένας κόμβος να συνδέεται με λιγότερους από 25 άλλους κόμβους. Άρα όσο πιο πολλές είναι οι ακμές τόσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο και έτσι υπάρχουν περισσότερες συνδέσεις μεταξύ παραπληροφορημένων/μέσων και ειδικών ψηφοφόρων. Έτσι είναι πιο πολλές οι ψήφοι των έμπειρων ψηφοφόρων για το εκάστοτε ζήτημα, αφού με κάθε σύνδεση αναθέτεται σε αυτούς μία ψήφος και έτσι είναι μεγαλύτερος ο μέσος όρος τιμής ακριβείας με την οποία εκλέγεται η αλήθεια. Τέλος, η κίτρινη γραμμή αναπαριστά το μέσο όρο κατά το μοντέλο της άμεσης δημοκρατίας.

## **6.2 Αποτελέσματα των πειραματικών ρυθμίσεων σε σύστημα άμεσης δημοκρατίας**

Από τις πειραματικές ρυθμίσεις που γίνανε στο κεφάλαιο 5 και παρουσιάζονται στο πίνακα 5.1 θα ήταν ενδιαφέρον να παρατηρηθεί τί θα γινόταν σε ένα σύστημα άμεσης δημοκρατίας, χωρίς εκπροσώπους και χωρίς αναθέσεις. Παρακάτω παραθέτονται τα αποτελέσματα για τις 12 πειραματικές ρυθμίσεις του πίνακα 5.1 και για τα δύο μοντέλα δικτύων.

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,49383040	0,48133540
ii	0,49676200	0,48546220
iii.	0,48652340	0,49157128
iv.	0,48985660	0,48797580
v.	0,49645160	0,48147480
vi.	0,48498740	0,78046720
vii.	0,47989520	0,47208580
viii.	0,47999460	0,48277340
ix.	0,47220180	0,47093520
x.	0,47479020	0,47892320
xi.	0,51135920	0,50990600
xii.	0,53660860	0,51202120

*Πίνακας 6.4. Αποτελέσματα πειραματικών ρυθμίσεων για σύστημα άμεσης δημοκρατίας*

Στο πίνακα 6.4 φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραματικών ρυθμίσεων του πίνακα 5.1 σε συστήματα άμεσης δημοκρατίας. Από τη στιγμή που γίνεται ενασχόληση με συστήματα άμεσης δημοκρατίας, όπως φαίνεται άλλωστε και από τα αποτελέσματα του πίνακα 6.4, δεν έχει σημασία το μοντέλο του δικτύου. Όντως οι τιμές για κάθε πείραμα φαίνονται πανομοιότυπες και για τα δυο μοντέλα δικτύων. Επομένως, δεν έχει σημασία και η πιθανότητα συνδεσιμότητας. Γιατί όμως συμβαίνει αυτό;

Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί η προσοχή στα συστήματα άμεσης δημοκρατίας εστιάζεται μόνο στη τιμή ακρίβειας του κάθε ψηφοφόρου και το μόνο που έχει σημασία είναι αν είναι guru (έμπειρος), παραπληροφορημένος ή μέσος καθώς κατανέμονται ανάλογα και οι τιμές ακριβείας από τις γκαουσιανές κατανομές. Δεν υπάρχουν αναθέσεις και αφού δεν υπάρχουν αναθέσεις δεν έχουν σημασία και οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, άρα ούτε η μεταβολή της πιθανότητας συνδεσιμότητας, ούτε και τα διαφορετικά μοντέλα δικτύων μπορούν να αλλάξουν τα αποτελέσματα.

Και πάλι παρατηρείται ότι στα πειράματα που το πλήθος των guru (έμπειρων) είναι μεγαλύτερο από το πλήθος των παραπληροφορημένων υπάρχει μεγαλύτερη απόδοση, ενώ όταν συμβαίνει το αντίθετο τα αποτελέσματα είναι χαμηλότερα.



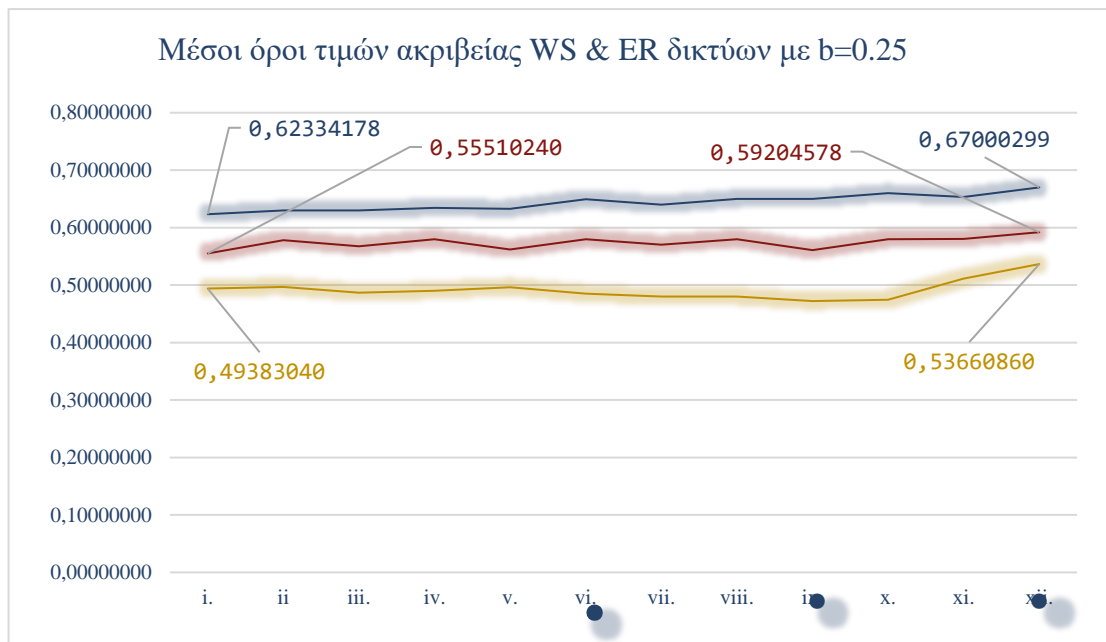
## 6.3 Αποτελέσματα πειραμάτων και ανάλυση

Η παρούσα εργασία μελετάει τις 12 μεταβολές δεδομένων που παρουσιάζονται στο πίνακα 5.1 για τρεις τιμές της πιθανότητας συνδεσιμότητας. Στο πίνακα 6.5 απεικονίζονται οι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τα δύο μοντέλα δικτύων (WS και ER) με πιθανότητα συνδεσιμότητας  $b = 0.25$ .

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,62334178	0,55510240
ii	0,63009978	0,57819310
iii.	0,62988799	0,56734200
iv.	0,63453789	0,58001201
v.	0,63249471	0,56214700
vi.	0,64955361	0,57983700
vii.	0,63998762	0,57008120
viii.	0,65001737	0,57999801
ix.	0,64999599	0,56073999
x.	0,66011000	0,58000100
xi.	0,65355332	0,58012310
xii.	0,67000299	0,59204578

Πίνακας 6.5. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER με  $b=0.25$

Από το διάγραμμα του σχήματος 6.2 φαίνεται και πάλι ξεκάθαρα η υπεροχή των αποτελεσμάτων για το δίκτυο WS (μπλε γραμμή) σε σχέση με αυτών του δικτύου



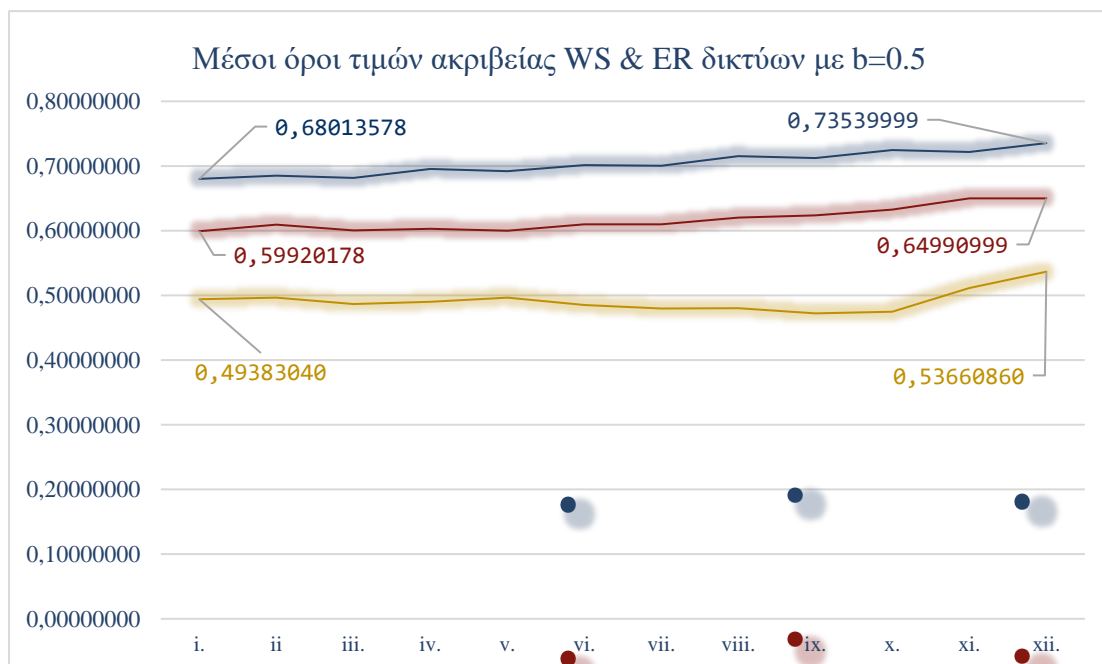
Σχήμα 6.2. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα WS & ER με  $b=0.25$

ER (κόκκινη γραμμή) για τους ίδιους λόγους που αναφέρονται στην ενότητα 6.1. Το δίκτυο WS παρουσιάζει αρχική τιμή στο 0,62 και τελική στο 0,67, ενώ το δίκτυο ER παρουσιάζει αντίστοιχες τιμές στο 0,55 και στο 0,59. Σαφώς και αφού με το WS υπάρχει μεγαλύτερη συνεκτικότητα στο γράφο η μέγιστες τιμές των δύο δικτύων διαφέρουν τόσο μεταξύ τους. Επίσης, παρατηρούνται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα σε μοντέλο άμεσης δημοκρατίας (κίτρινη γραμμή), με αρχική τιμή 0,49 και τελική 0,53. Να σημειωθεί εδώ ότι επειδή τα αποτελέσματα της άμεσης δημοκρατίας που φαίνονται στη προηγούμενη ενότητα είναι αν όχι ίδια τότε παρόμοια και για τα δύο μοντέλα δικτύων, για χάρη ευκολίας στα διαγράμματα χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα του πίνακα 6.4 της μεσαίας στήλης. Φαίνεται ότι η άμεση δημοκρατία δεν έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα δίκτυα ER και WS καθώς η κίτρινη γραμμή βρίσκεται χαμηλότερα στο διάγραμμα.

Στον πίνακα 6.6 απεικονίζονται οι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τα δύο μοντέλα δικτύων (WS και ER) με πιθανότητα συνδεσιμότητας  $b = 0.5$ .

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,68013578	0,59920178
ii	0,68525503	0,60912380
iii.	0,68171738	0,60020010
iv.	0,69524281	0,60282959
v.	0,69210020	0,59986738
vi.	0,70115760	0,61002348
vii.	0,70045723	0,61000100
viii.	0,71522779	0,62010200
ix.	0,71232663	0,62366520
x.	0,72453766	0,63251971
xi.	0,72155789	0,64998526
xii.	0,73539999	0,64990999

Πίνακας 6.6. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με  $b=0.5$



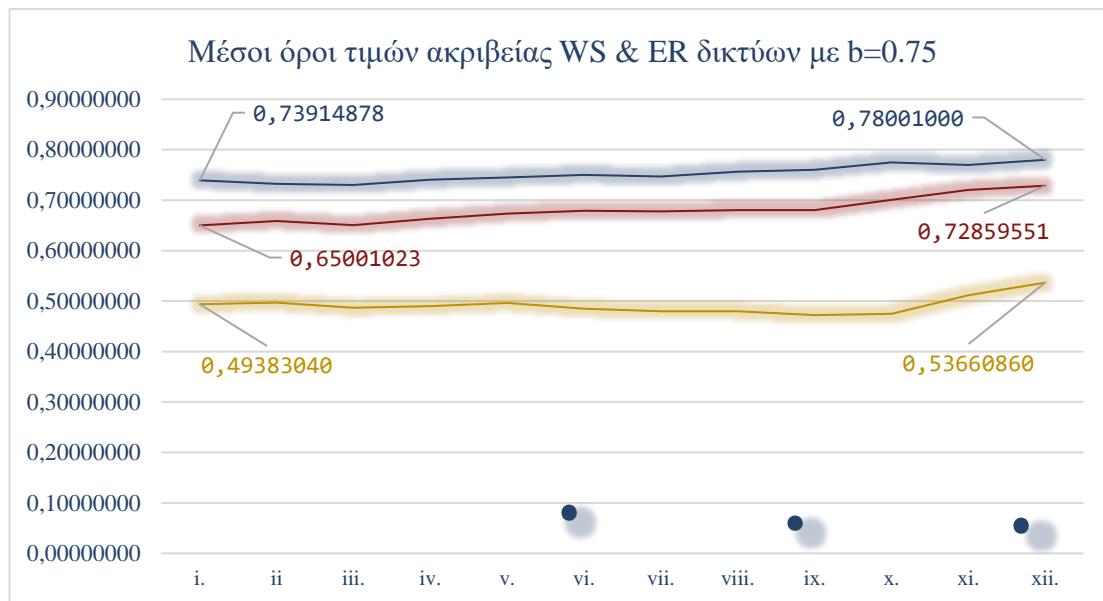
Σχήμα 6.3. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER με  $b=0.5$

Οι τιμές του πίνακα 6.6 που παρατηρούνται στο διάγραμμα του σχήματος 6.3 δεν προκαλούν έκπληξη καθώς και πάλι η μπλε γραμμή του δικτύου WS είναι ανώτερα από τη κόκκινη γραμμή του δικτύου ER. Από την άλλη η κίτρινη γραμμή που αντιστοιχεί στο μοντέλο άμεσης δημοκρατίας ακολουθεί μια σταθερή πορεία εκατέρωθεν των δύο άλλων γραμμών. Έτσι οι μέσοι όροι τιμών ακριβείας αυξάνονται με αρχική τιμή στο δίκτυο WS την 0,68 και τελική την 0,73, ενώ στο δίκτυο ER με αρχική τιμή την 0,59 και τελική την 0,64. Τέλος, οι τιμές του μοντέλου άμεσης δημοκρατίας παραμένουν ίδιες με πριν.

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,73914878	0,65001023
ii	0,73225189	0,65882361
iii.	0,73010089	0,65055388
iv.	0,74052500	0,66325120
v.	0,74515909	0,67333871
vi.	0,75020000	0,67932531
vii.	0,74667690	0,67773210
viii.	0,75667610	0,68039729
ix.	0,75999636	0,68010999
x.	0,77511621	0,70030501
xi.	0,77000232	0,71995750
xii.	0,78001000	0,72859551

Πίνακας 6.7. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με  $b=0.75$

Στον πίνακα 6.7 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών ακριβείας για δίκτυα WS και ER με πιθανότητα συνδεσιμότητας  $b = 0,75$  και στο σχήμα 6.4 φαίνονται τα αποτελέσματα αυτά σε διάγραμμα.



Σχήμα 6.4. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με  $b=0.75$

Για άλλη μία φορά η μπλε γραμμή του δικτύου WS είναι ψηλότερα από τη κόκκινη γραμμή του δικτύου ER. Η τελική τιμή του δικτύου WS είναι 0,78, ενώ του δικτύου ER είναι 0,72, το οποίο συμβαίνει για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν. Η κίτρινη γραμμή που αντιστοιχεί στο μοντέλο άμεσης δημοκρατίας παρουσιάζει την ίδια σταθερότητα με πριν.

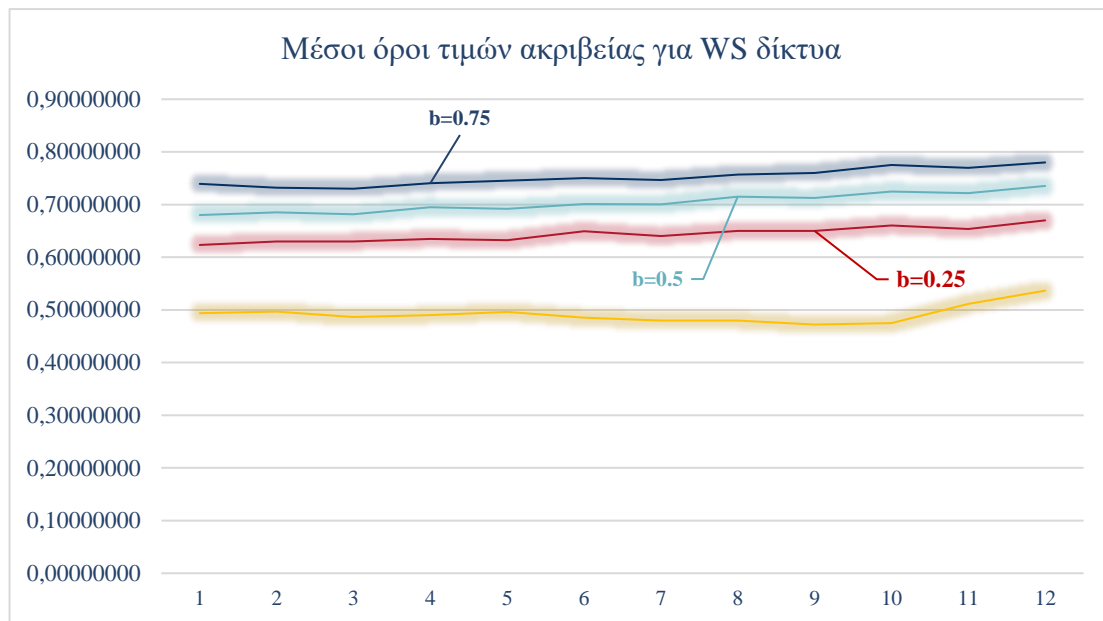
Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι από τους πίνακες 6.5, 6.6 & 6.7 τα 12 πειράματα που κάνουμε για τα διάφορα ποσοστά του πίνακα 5.1 ακολουθούν ανάλογη πορεία όσο αυξάνεται το  $b$  και στα δύο είδη δικτύων.

## 6.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων δικτύων

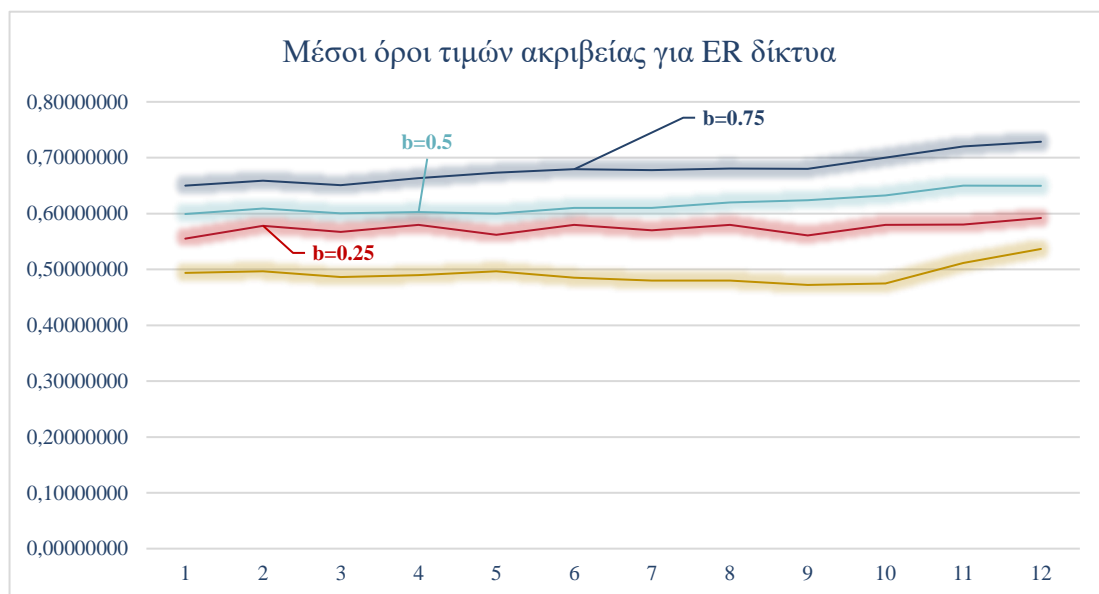
Σε συνέχεια των αποτελεσμάτων παραθέτονται δύο διαγράμματα. Στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος 6.5 φαίνονται οι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τα δίκτυα WS για τις τρεις πιθανότητες συνδεσιμότητας και στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος 6.6 οι αντίστοιχοι μέσοι όροι για δίκτυα ER. Από τα δύο διαγράμματα δεν λείπει η κίτρινη γραμμή που αναπαριστά τα αποτελέσματα των 12 πειραμάτων κατά το μοντέλο της άμεσης δημοκρατίας. Πρώτα από όλα να θυμηθούμε ότι όλα τα αποτελέσματα βασίζονται σε μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών που παράγει την

ταυτότητα των ειδικών ψηφοφόρων (guru) στο εκάστοτε δίκτυο. Αν οι υπόλοιποι ψηφοφόροι φτάνουν έναν guru (υπάρχει δηλαδή ακμή που συνδέει έναν guru με έναν μέσο ή παραπληροφορημένο ψηφοφόρο) τότε αναθέτουν την ψήφο τους σε αυτόν και αυτός ψηφίζει εκ μέρος τους με μεγαλύτερη τιμή ακρίβειας και έτσι αυξάνεται και ο μέσος όρος τιμής ακρίβειας. Επομένως, όσο πιο συνεκτικό είναι το γράφημα τόσο περισσότερες αναθέσεις θα υπάρχουν στο δίκτυο.

Στο διάγραμμα του σχήματος 6.5 φαίνεται ότι σε γενικές γραμμές η μπλε γραμμή με  $b = 0.75$  είναι υψηλότερα από τη κόκκινη γραμμή με  $b = 0.25$ . Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και στο διάγραμμα του σχήματος 6.6. Δηλαδή όσο μεγαλύτερη η πιθανότητα συνδεσιμότητας, τόσο πιο πυκνό είναι το εκάστοτε δίκτυο, τόσο περισσότερες είναι και οι αναθέσεις σε έμπειρους ψηφοφόρους, το οποίο συνεπάγεται μεγαλύτερο μέσο όρο τιμών ακριβείας για την εκλογή της αλήθειας. Η κίτρινη γραμμή του μοντέλου της άμεσης δημοκρατίας δεν αναμένεται να αλλάξει καθώς δεν αλλάζουν τα ποσοστά της εμπειρογνωμοσύνης των δικτύων παρά μόνο η συνεκτικότητα αυτών, γεγονός που δεν επηρεάζει το μοντέλο της άμεσης δημοκρατίας. Αυτό που έχει σημασία να τονιστεί είναι ότι στο σχήμα 6.6 φαίνεται ξεκάθαρα ότι λαμβάνονται καλύτερα αποτελέσματα από το μοντέλο της άμεσης δημοκρατίας παρά από το μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας όταν υλοποιείται πάνω σε ένα τυχαίο γράφημα ER.



Σχήμα 6.5. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS δίκτυα για τις τρεις τιμές πιθανότητας συνδεσιμότητας



Σχήμα 6.6. Μέσοι όροι τιμών ακριβείας για ER δίκτυα για τις τρεις τιμές πιθανότητας συνδεσιμότητας

---

# 7

## *ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ*

---

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας, εκτός από την υλοποίηση του αλγορίθμου `greedy_delegation` που προτείνουν οι Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2] για τα διάφορα ποσοστά `guru` και `misinformed` αλλά και τις τρεις τιμές της πιθανότητας συνδεσιμότητας των δικτύων που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι και η εξέταση μίας βελτιστοποίησης του αλγορίθμου. Το παρόν κεφάλαιο αναλύει αυτήν ακριβώς την βελτιστοποίηση.

Όπως αναφέρθηκε κατά τον αλγόριθμο `greedy_delegation` μέσω ευρετικών μεθόδων βρίσκεται ο μέσος όρος με τον οποίο εκλέγεται η αλήθεια για κάποιο ζήτημα. Αυτό γίνεται με το διορισμό μιας ομάδας ψηφοφόρων ως `guru`, μιας άλλης ομάδας ψηφοφόρων ως `misinformed` και οι υπόλοιποι ψηφοφόροι καλούνται `average`. Σε κάθε μία από αυτές τις ομάδες αντιστοιχεί και μία τιμή ακρίβειας η οποία δίνεται με μία Γκαουσιανή κατανομή : για τους `guru` κοντά στο 0.7, για τους `misinformed` κοντά στο 0.3 και για τους `average` ψηφοφόρους κοντά στο 0.5. Όταν, λοιπόν, κάποιος ψηφοφόρος συνδέεται στο δίκτυο με κάποιο `guru`, λόγω εμπειρογνωμοσύνης του αναθέτει την ψήφο του, αν όμως δεν υπάρχει ακμή που να συνδέει κάποιον ψηφοφόρο με κάποιο `guru` αυτός ψηφίζει άμεσα με τη δική του τιμή ακρίβειας που του αναλογεί.

Η βελτιστοποίηση που προτείνεται στη παρούσα εργασία είναι η εξής: Όπως και πριν αν υπάρχει σύνδεση μεταξύ κάποιου ψηφοφόρου και κάποιου `guru`, ο `guru` εκπροσωπεί τον ψηφοφόρο αυτόν και ψηφίζει για αυτόν με τη δική του τιμή ακριβείας (που όπως προαναφέρθηκε είναι κοντά στο 0.7 με Γκαουσιανή κατανομή). Από αυτούς που καταλήγουν να ψηφίζουν άμεσα, με τη δική τους τιμή ακριβείας, τοποθετείται ένα πλαφόν. Συγκεκριμένα, **οι ψηφοφόροι με τιμές ακριβείας μικρότερες ή ίσες του 0,45 αν φθάνουν κάποιον ψηφοφόρο στο δίκτυο που δεν είναι `guru` αλλά έχει τιμή ακριβείας υψηλότερη από τη δική τους, αναθέτουν την ψήφο τους σε αυτούς και αυτοί γίνονται εκπρόσωποί τους.**



Επομένως, η διαδικασία που ακολουθείται για να υπολογιστεί ο μέσος όρος είναι η εξής: αφού έχουν διατηρηθεί οι ακόλουθοι του κάθε ψηφοφόρου, τότε η τιμή ακριβείας κάθε ακόλουθου που αναθέτει τη ψήφο του σε κάποιον εκπρόσωπο αλλάζει στη τιμή 0. Πλέον ο μέσος όρος τιμών ακριβείας με την οποία ψηφίζεται η αλήθεια θα λαμβάνεται από τον εξής τύπο:

$$\text{Μέσος όρος} = \frac{\sum_{i=1}^{1000} \tau_{\alpha_i} \times (\text{ακόλουθοι}_i + 1)}{\text{πλήθος ψηφοφόρων}},$$

όπου  $\tau_{\alpha}$  = η τιμή ακριβείας του κάθε ψηφοφόρου, ακόλουθοι = οι ακόλουθοι του εκάστοτε ψηφοφόρου (είτε guru είτε όχι). Άρα ο μέσος όρος δίνεται από τη διαίρεση του αθροίσματος των γινομένων των τιμών ακριβείας των 1000 ψηφοφόρων επί τους ακολούθους τους συν 1 (για να υπολογιστεί και η δική τους ψήφος), διά το πλήθος το ψηφοφόρων.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του optimal greedy\_delegation που προτείνεται για τις ίδιες παραμέτρους που παρουσιάζονται στα κεφάλαια 5 & 6 και συγκρίνονται μεταξύ τους αλλά και με τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου.

## 7.1 Βελτιστοποίηση του πειράματος των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert

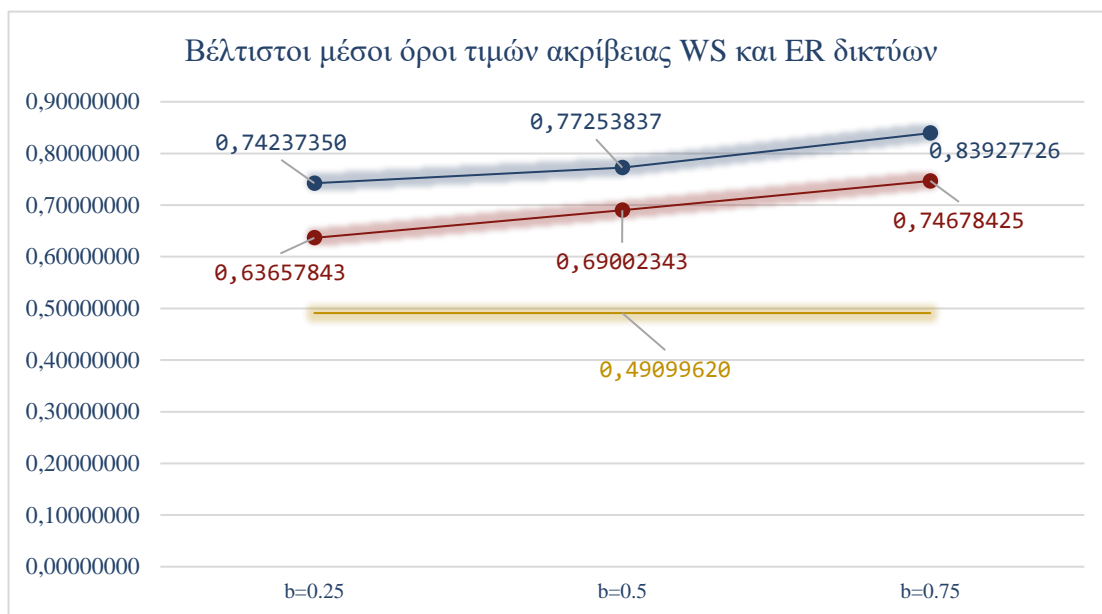
Εξετάζοντας τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης στις πειραματικές ρυθμίσεις των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert [2] του πίνακα 5.1 για τις τρεις τιμές της πιθανότητας συνδεσιμότητας δικτύου, που αναφέρονται και στο κεφάλαιο 5, για τα μοντέλα δικτύων WS και ER παίρνουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται αντίστοιχα στους πίνακες 7.1 & 7.2. Στο σχήμα 7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγράμματος.

b=0.25	0,74237350
b=0.5	0,77253837
b=0.75	0,83927726

Πίνακας 7.1. Πειραματικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS δίκτυο

b=0.25	0,63657843
b=0.5	0,69002343
b=0.75	0,74678425

Πίνακας 7.2. Πειραματικά αποτελέσματα βελτιστοποίησης των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για ER δίκτυο



Σχήμα 7.1. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τις πειραματικές τιμές των Becker, D' Angelo, Delfaraz και Gilbert για WS και ER δίκτυα

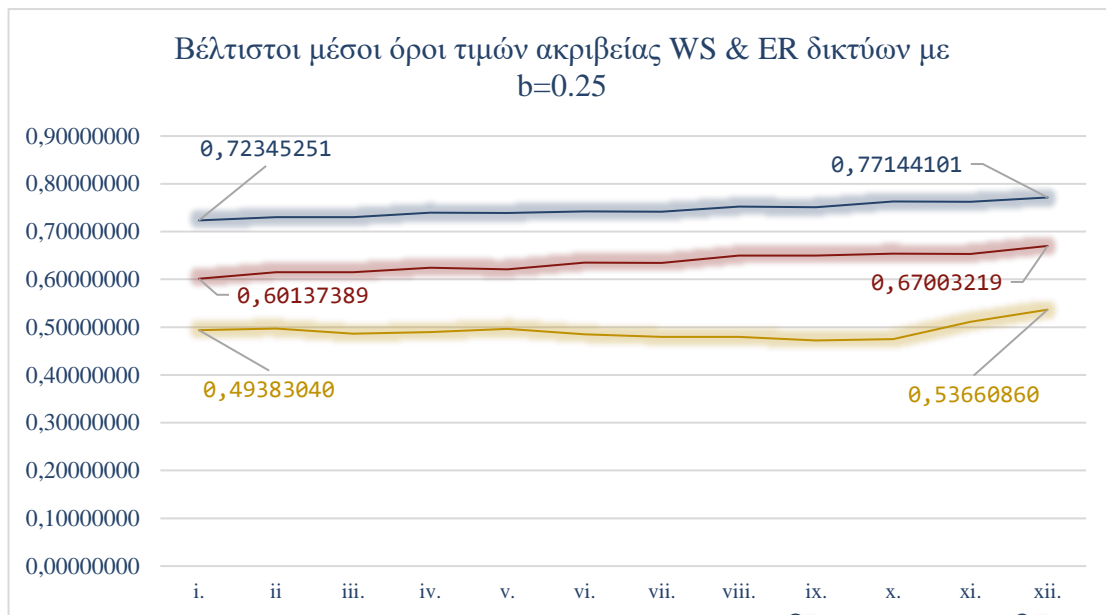
Φαίνεται ότι και πάλι η μπλε γραμμή του δικτύου WS βρίσκεται υψηλότερα από την κόκκινη γραμμή του δικτύου ER. Αυτό είναι λογικό γιατί ως προς τα δίκτυα και τον τρόπο με τον οποίο αυτά δημιουργούνται δεν έγινε κάποια τροποποίηση. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η κόκκινη γραμμή του δικτύου ER υπερέχει στο διάγραμμα από την κίτρινη γραμμή που αντιστοιχεί στο μοντέλο της άμεσης δημοκρατίας. Η κίτρινη γραμμή δεν αναμενόταν να έχει κάποια μεταβολή εφόσον η βελτίωση αφορά μόνο μοντέλα ρευστής δημοκρατίας, αλλά φαίνεται πιο έντονα η αύξηση των μέσων όρο για το δίκτυο ER το οποίο προηγουμένως βρισκόταν κάτω από τη κίτρινη γραμμή.

## 7.2 Αποτελέσματα των πειραμάτων βελτιστοποίησης και ανάλυση

Τα πειράματα στον αλγόριθμο της βελτιστοποίησης γίνονται και πάλι με βάση τις 12 μεταβολές δεδομένων που παρουσιάζονται στο πίνακα 5.1 για τις τρεις τιμές της πιθανότητας συνδεσιμότητας του προηγούμενου κεφαλαίου. Στον πίνακα 7.3 απεικονίζονται οι βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τα δύο μοντέλα δικτύων (WS και ER) με πιθανότητα συνδεσιμότητας  $b = 0.25$ , ενώ στο σχήμα 7.2 φαίνεται το διάγραμμα αυτών.

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,72345251	0,60137389
ii.	0,73002490	0,61524287
iii.	0,73000146	0,61511320
iv.	0,73951428	0,62428459
v.	0,73876421	0,62099986
vi.	0,74234152	0,63485143
vii.	0,74176000	0,63460081
viii.	0,75241416	0,65008000
ix.	0,75097865	0,64990999
x.	0,76334150	0,65356671
xi.	0,76232000	0,65349878
xii.	0,77144101	0,67003219

Πίνακας 7.3. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με  $b=0.25$



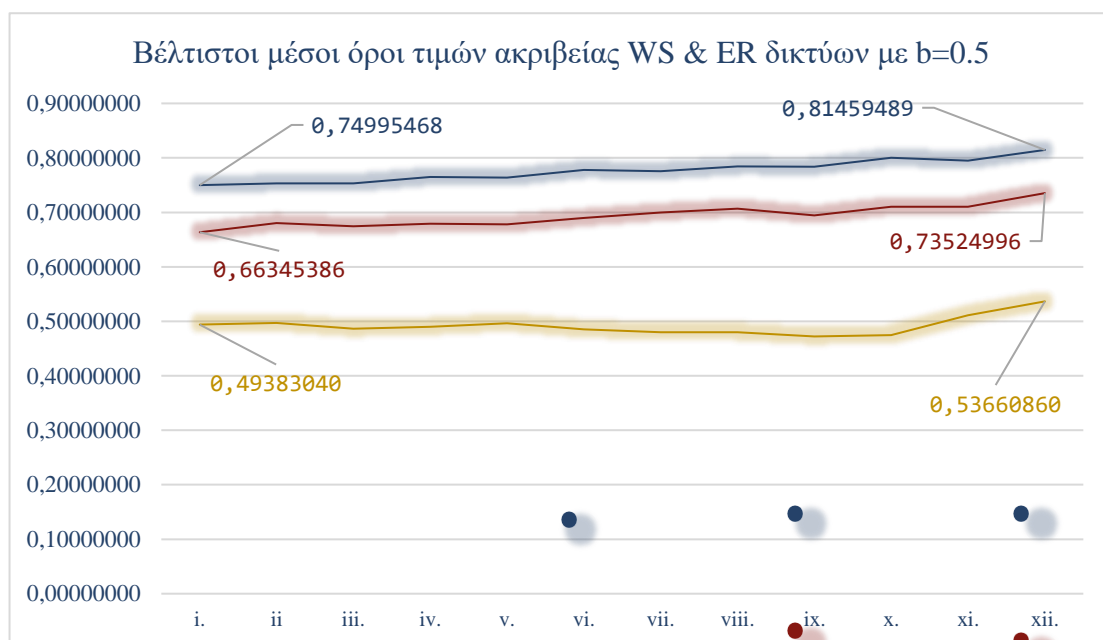
*Σχήμα 7.2. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με  $b=0.25$*

Και πάλι παρατηρείται ότι η μπλε γραμμή του δικτύου WS βρίσκεται ανώτερα από τη κόκκινη του δικτύου ER στο διάγραμμα, με τελική τιμή του WS δικτύου την 0,77 και του ER δικτύου την 0,67. Οι τιμές, όμως, και πάλι των βέλτιστων μέσω όρων για  $b = 0.25$  είναι υψηλότερες από των μέσων όρων για  $b = 0.25$  του σχήματος 6.2. Η κίτρινη γραμμή που αντιστοιχεί στην εκτέλεση των πειραμάτων πάνω σε μοντέλο άμεσης δημοκρατίας παρατηρείται ότι δεν έχει κάποια μεταβολή και είναι λογικό για το λόγο που περιγράφηκε και στη προηγούμενη ενότητα.

Στη συνέχεια φαίνονται στο πίνακα 7.4 και στο σχήμα 7.3 τα αποτελέσματα και το διάγραμμα των αποτελεσμάτων αντίστοιχα για τους βέλτιστους μέσους όρους τιμών ακριβείας με  $b = 0.5$  που εξάγονται από το βελτιστοποιημένο αλγόριθμο.

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,74995468	0,66345386
ii.	0,75347921	0,68003123
iii.	0,75320081	0,67425000
iv.	0,76476096	0,67899124
v.	0,76378902	0,67770033
vi.	0,77778910	0,68999132
vii.	0,77569362	0,69997000
viii.	0,78425410	0,70700000
ix.	0,78400199	0,69428743
x.	0,80002413	0,71048044
xi.	0,79514152	0,71000146
xii.	0,81459489	0,73524996

Πίνακας 7.4. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με  $b=0.5$



Σχήμα 7.3. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με  $b=0.5$

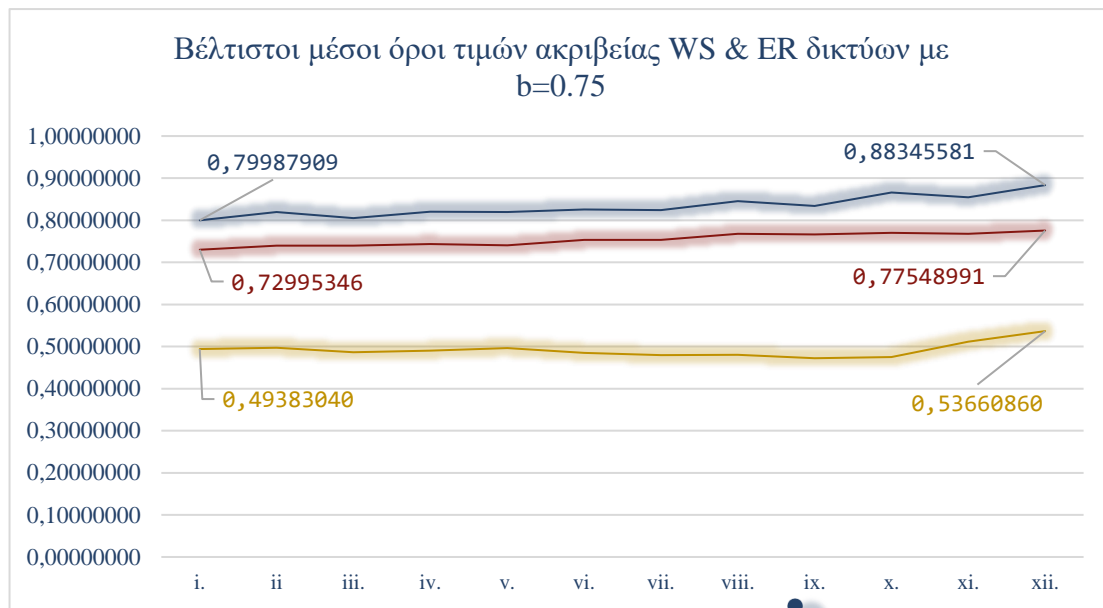
Όπως και πριν με τη πιθανότητα συνδεσιμότητας στο  $b=0.25$  ;έτσι και τώρα που η πιθανότητα συνδεσιμότητας διπλασιάζεται και πάλι παίρνουμε ανάλογα αποτελέσματα. Η κίτρινη γραμμή του μοντέλου άμεσης δημοκρατίας εξακολουθεί να διατηρεί τη σταθερή της πορεία. Το δίκτυο WS με τη μπλε γραμμή παρουσιάζει

καλύτερα αποτελέσματα με τελική τιμή την 0,81, σε σχέση με αυτά της κόκκινης γραμμής του δικτύου ER με τελική τιμή τη 0,73. Αυτό δε θα έπρεπε να μας προκαλεί έκπληξη. Αυτό που διακρίνεται πλέον με σιγουριά είναι ότι η βελτιστοποίηση πετυχαίνει αφού μιλάμε πια για σχεδόν διπλάσιους μέσους όρους τιμών ακριβείας. Αυτό φαίνεται και από τα επόμενα αποτελέσματα του πίνακα 7.5 για  $b = 0.75$  και το αντίστοιχο διάγραμμα στο σχήμα 7.4.

A/Π	Watts - Strogatz	Erdos - Renyi
i.	0,79987909	0,72995346
ii.	0,81952485	0,74000002
iii.	0,80542430	0,73954871
iv.	0,81990951	0,74368854
v.	0,81987961	0,74058954
vi.	0,82527243	0,75324214
vii.	0,82414178	0,75301421
viii.	0,84525000	0,76773450
ix.	0,83414710	0,76660032
x.	0,86576779	0,76995412
xi.	0,85465321	0,76778530
xii.	0,88345581	0,77548991

Πίνακας 7.5. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για WS & ER δίκτυα με  $b=0.75$

Τίποτα δεν αλλάζει και στο τελευταίο αυτό πείραμα του σχήματος 7.4 με τη μπλε γραμμή του δικτύου WS να υπερέχει στο χώρο του διαγράμματος από την κόκκινη γραμμή του δικτύου ER. Η τελική τιμή του δικτύου WS φαίνεται να είναι η 0,88, ενώ του δικτύου ER είναι η 0,77. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 7.4 η κίτρινη γραμμή του μοντέλου της άμεσης δημοκρατίας εξακολουθεί να διατηρεί τη σταθερή της πορεία.



Σχήμα 7.4. Βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για δίκτυα με  $b=0.75$

Τέλος, για άλλη μία φορά από τους πίνακες 7.3, 7.4 & 7.5, τα 12 πειράματα που εκτελούμε για τα διάφορα ποσοστά του πίνακα 5.1 ακολουθούν ανάλογη πορεία όσο αυξάνεται το  $b$  και στα δύο μοντέλα δικτύων.

## 7.3 Σύγκριση των βέλτιστων αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων δικτύων

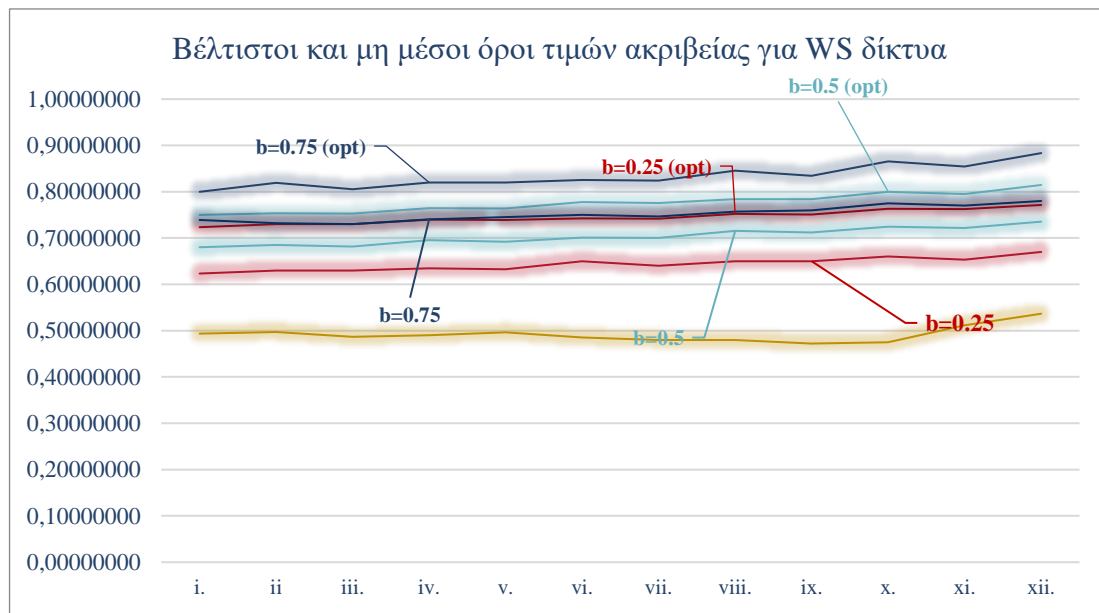
Τέλος, παραβάλλονται δύο τελευταία διαγράμματα. Στο διάγραμμα του σχήματος 7.5 παρουσιάζονται οι βέλτιστοι μέσοι όροι τιμών ακριβείας για τα δίκτυα WS για τις τρεις πιθανότητες συνδεσιμότητας (στο επάνω μέρος) σε συνδυασμό με τους μέσους όρους τιμών ακριβείας για τις τρεις πιθανότητες συνδεσιμότητας της ενότητας 6.3 (στο κάτω μέρος).

Στο διάγραμμα του σχήματος 7.6 φαίνεται ο συνδυασμός των αντίστοιχων βέλτιστων και μη μέσων όρων για δίκτυα ER του τρέχοντος κεφαλαίου και της ενότητας 6.3. Όπου υπάρχει η ένδειξη (opt) σηματοδοτεί ότι οι γραμμές του διαγράμματος αντιστοιχούν στα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης. Και στα δύο διαγράμματα παρεμβάλλεται και η κίτρινη καμπύλη των πειραμάτων στο σύστημα της άμεσης δημοκρατίας.

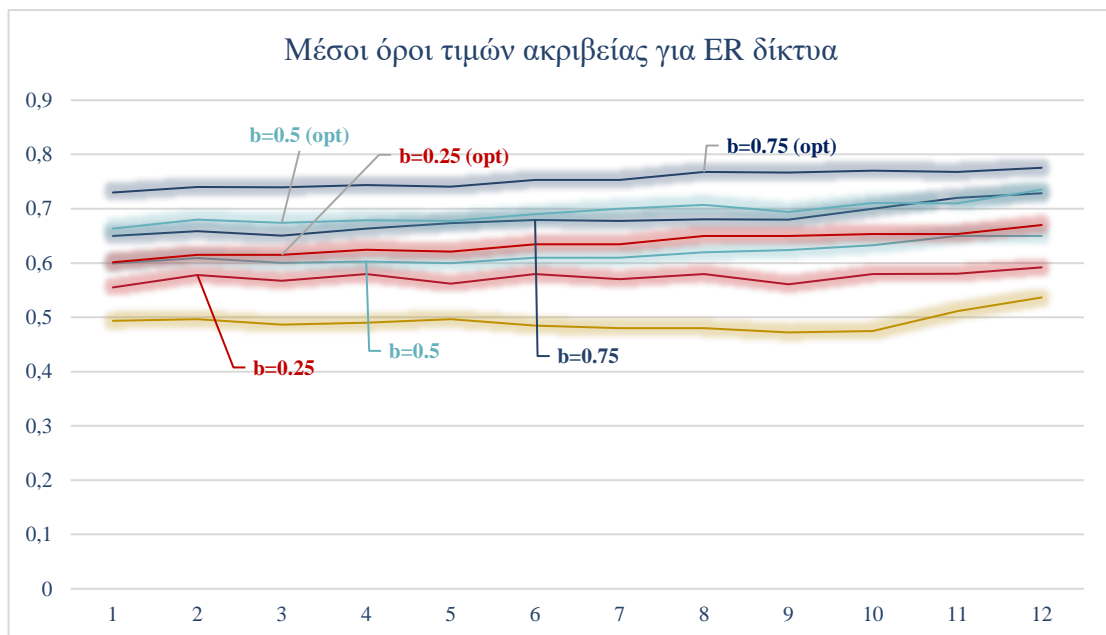
Έχει αναφερθεί πολλές φορές ότι η υλοποίηση διέπεται από ένα βαθμό τυχειότητας λόγω της γεννήτριας που έχει συμπεριληφθεί στον αλγόριθμο και των γκαουσιανών κατανομών. Γνωρίζουμε ήδη ότι αν οι ψηφοφόροι φτάνουν έναν *guru* (υπάρχει δηλαδή ακμή που συνδέει έναν *guru* με έναν μέσο ή παραπληροφορημένο ψηφοφόρο) τότε αναθέτουν την ψήφο τους σε αυτόν και αυτός ψηφίζει εκ μέρους τους με μεγαλύτερη τιμή ακρίβειας και έτσι αυξάνεται και ο μέσος όρος τιμής ακρίβειας. Η προσθήκη της βελτιστοποίησης είναι ότι αν κάποιος ψηφοφόρος με τιμή ακριβείας ίση η μικρότερη από 0,45 συνδέεται με κάποιον στο δίκτυο με μεγαλύτερη τιμή ακριβείας από αυτόν τότε αναθέτει την ψήφο του σε αυτόν. **Επομένως, όσο πιο συνεκτικό είναι το γράφημα τόσο περισσότερες αναθέσεις θα υπάρχουν στο δίκτυο. Γεγονός που ίσχυε και πριν τη βελτιστοποίηση, αλλά τώρα έχει μεγαλύτερη βαρύτητα.**

Και στα δύο διαγράμματα φαίνεται ότι παρόλες τις αυξομειώσεις της εμπειρογνωμοσύνης των ψηφοφόρων, οι τιμές του βέλτιστου αλγορίθμου είναι σαφώς υψηλότερες και στα δύο μοντέλα δικτύων, είτε αναφερόμαστε σε μοντέλα δικτύων μικρόκοσμου (σχήμα 7.5), είτε σε τυχαία μοντέλα δικτύων (σχήμα 7.6). Αυτό που είναι σαφές είναι ότι τα μοντέλα WS μικρόκοσμου λόγω της μεγαλύτερης συνεκτικότητας καταφέρνουν μεγαλύτερες τιμές απόδοσης από τα μοντέλα ER τυχαίων γραφημάτων. Επίσης συνεχίζεται να παρατηρείται ότι η κίτρινη γραμμή που αντιστοιχεί στα αποτελέσματα του μοντέλου της άμεσης δημοκρατίας παραμένει πάντα σταθερή.





Σχήμα 7.5. Συνδυασμός βέλτιστων και μη μέσων όρων τιμών ακριβείας για τις διάφορες τιμές του  $b$  για δίκτυα WS



Σχήμα 7.6. Συνδυασμός βέλτιστων και μη μέσων όρων τιμών ακριβείας για τις διάφορες τιμές του  $b$  για δίκτυα ER

---

# 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

---

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας συνοψίζεται όλη η μελέτη που έχει γίνει γύρω από το θέμα της ρευστής δημοκρατίας. Σχολιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων και των βελτιστοποιήσεων που έγιναν και προτείνονται διάφορες προοπτικές για μελλοντικές έρευνες βασισμένες στα ευρήματα αυτής της διπλωματικής.

## 8.1 Συμπεράσματα

Μελετήθηκε η ρευστή δημοκρατία σαν εκλογικό μοντέλο με σκοπό την εκλογή της αλήθειας. Σαν εκλογικό μοντέλο είναι το πιο πλεονάζων αφού συνδυάζει στοιχεία άμεσης και αντιπροσωπευτικής δημοκρατίας. Στην έρευνα που έγινε πάνω σε δίκτυα μικρόκοσμου και τυχαία δίκτυα, καλύτερα αποτελέσματα λήφθηκαν από τα δίκτυα μικρόκοσμου λόγω της ισχυρότερης συνεκτικότητας που τα χαρακτηρίζει σε σχέση με τα τυχαία δίκτυα. Τα δίκτυα μικρόκοσμου καλούνται έτσι γιατί μοιάζουν περισσότερο με τα δίκτυα του πραγματικού κόσμου, τα κοινωνικά δίκτυα. Ένα άτομο (κόμβος) έχει πολλές γνωριμίες (ακμές-συνδέσεις) με άλλα άτομα (κόμβους), αν όχι άμεσα τότε τουλάχιστον έμμεσα. Έτσι παρουσιάστηκε και η ανάθεση ψήφου μέσα στα δίκτυα που μελετήσαμε. Κάποιος ψηφοφόρος (κόμβος) αρκεί να φθάνει ένα guru (κόμβο) στο δίκτυο (να υπάρχει ακμή μεταξύ τους) για να μπορεί να αναθέσει σε αυτόν την ψήφο του.

Τα αποτελέσματα που πήραμε με γνώμονα το μέσο όρο της τιμής ακρίβειας με την οποία εκλέγεται η αλήθεια είναι αρκετά ικανοποιητικά. Επιπλέον, οι ψηφοφόροι

χωρίστηκαν σε guru, misinformed και average με βάση τη τιμή ακριβείας με την οποία ψήφιζαν την αλήθεια. Παρατηρήθηκε ότι όσο άλλαζαν τα ποσοστά των τμημάτων αυτών των ψηφοφόρων άλλαζαν αντίστοιχα και τα αποτελέσματα, με την έννοια ότι όταν υπήρχαν περισσότεροι guru στο δίκτυο ο μέσος όρος τιμών ακριβείας με την οποία εκλεγόταν η αλήθεια αυξανόταν, ενώ όταν υπήρχαν περισσότεροι misinformed στο δίκτυο αυτός ο μέσος όρος μειωνόταν. Αυτό ήταν και το μόνο γεγονός που είχε κάποιο αντίκτυπο στα αποτελέσματα του πειράματος στο μοντέλο της άμεσης δημοκρατίας που φάνηκε ότι δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές στα δίκτυα και παρέμενε σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων.

Με την βελτιστοποίηση όμως που προτάθηκε τα αποτελέσματα αυξήθηκαν ακόμα περισσότερο, με την έννοια ότι παρατηρήθηκε εκλογή της σωστής απόφασης με μεγαλύτερο μέσο όρο τιμής ακριβείας σε σχέση με πριν. Αυτό επιτεύχθηκε μειώνοντας τα άτομα που ψήφισαν άμεσα για θέματα, τα οποία λόγω της εμπειρίας τους είχαν πολύ μικρή τιμή ακριβείας, και αφήνοντας χώρο σε αυτούς που ήταν γνώστες του θέματος να παραλάβουν τις ψήφους τους και να εκλεγεί η σωστή απόφαση με μεγαλύτερη επιτυχία. Άραγε στα θέματα της επικαιρότητας μπορεί να συμβεί το ίδιο; Υπάρχει αληθινά τόση εμπιστοσύνη ανάμεσα στα άτομα της κοινωνίας ώστε να αναθέσουν τη ψήφο τους σε κάποιον που θεωρείται πιο «έμπειρος» στα ζητήματα και να «απέχουν», κατά μία έννοια, από την κάθε ψηφοφορία που ορίζει το μέλλον τους;

## 8.2 Προοπτικές

Οι προοπτικές που μπορεί να έχει το θέμα της ρευστής δημοκρατίας σαν εξέλιξη της παρούσας εργασίας είναι διάφορες. Αρχικά από τους αλγόριθμους που προτείνονται στην εργασία [2] έγινε χρήση του greedy\_delegation. Το έγγραφο των Becker, R., D'Angelo, G., Delfaraz, E., & Gilbert [2] παρουσιάζει κι άλλους αλγόριθμους με τους οποίους μπορεί να μελετηθεί το μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας. Επιπρόσθετα, πάνω σε αυτούς τους αλγόριθμους μπορεί να εκτελεστεί η βελτιστοποίηση που προτείνεται και υλοποιείται σε αυτήν την εργασία για τον αλγόριθμο greedy\_delegation.

Επιπλέον, τα δίκτυα ανάθεσης τα οποία χρησιμοποιούνται για αυτή τη διπλωματική εργασία δεν λαμβάνουν υπόψη τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων. Θα

ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί το μοντέλο της ρευστής δημοκρατίας και σε δίκτυα στα οποία υπολογίζονται οι αποστάσεις όπως για παράδειγμα στην εργασία [2] με τον αλγόριθμο Voronoi\_delegation ο οποίος αποτελεί μια υλοποίηση για τέτοια δίκτυα. Όπως επίσης θα ήταν άξιο προσοχής να υλοποιηθεί η βελτιστοποίηση που προτείνεται στη παρούσα εργασία πάνω σε μία τέτοια υλοποίηση.

Τέλος, αξιότιμη έρευνα και μελέτη θα αποτελούσε η περίπτωση ύπαρξης δύο ειδών guru. Οι guru που ψηφίζουν True (που παρουσιάζονται και σε αυτή την εργασία) και οι anti-guru, οι οποίοι θα ψηφίζουν False και θα είναι σαφώς λιγότεροι από τους guru. Οι antiguru θα μπορούσαν να μαζεύουν όλες τις ψήφους των misinformed με την έννοια ότι όλοι οι misinformed που πιστεύουν ότι σωστό εκλογικό αποτέλεσμα είναι το False, θα ανέθεταν τις ψήφους τους στον εκάστοτε antiguru που θα έφταναν στο δίκτυο. Έτσι θα μπορούσε στη συνέχεια να γίνει η σύγκριση των ποσοστών τιμών ακριβείας των guru και των antiguru και να ελεγχθούν τα στατιστικά δεδομένα σε αυτή τη περίπτωση.

# Αναφορές

- [1] Adler, Anja. "Liquid democracy in Deutschland." *Liquid Democracy in Deutschland*. transcript Verlag, 2018.
- [2] Becker, R., D'Angelo, G., Delfaraz, E., & Gilbert, H. (2021). When Can Liquid Democracy Unveil the Truth?. *arXiv preprint arXiv:2104.01828*..
- [3] Behrens, J., Kistner, A., Nitsche, A., & Swierczek, B. (2014). *The principles of LiquidFeedback* (p. 81). Interacktive Demokratie.
- [4] Bloembergen, Daan, Davide Grossi, and Martin Lackner. "On rational delegations in liquid democracy." *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Vol. 33. No. 01. 2019.
- [5] Blum, Christian, and Christina Isabel Zuber. "Liquid democracy: Potentials, problems, and perspectives." *Journal of Political Philosophy* 24.2 (2016): 162-182.
- [6] Brill, Markus, and Nimrod Talmon. "Pairwise Liquid Democracy." *IJCAI*. Vol. 18. 2018..
- [7] Caragiannis, Ioannis, and Evi Micha. "A Contribution to the Critique of Liquid Democracy." *IJCAI*. 2019.
- [8] Carroll, Lewis. *The principles of parliamentary representation*. Harrison and Sons, 1884.
- [9] Christoff, Zoé, and Davide Grossi. "Binary voting with delegable proxy: An analysis of liquid democracy." *arXiv preprint arXiv:1707.08741* (2017).
- [10] Demoex.(2004-2010). "Information about Demoex". <http://demoex.se/en/>

- [11] Dubey, Pradeep, and Lloyd S. Shapley. "Mathematical properties of the Banzhaf power index." *Mathematics of Operations Research* 4.2 (1979): 99-131.
- [12] Erdős, Paul, and Alfréd Rényi. "On the evolution of random graphs." *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci* 5.1 (1960): 17-60.
- [13] Ford, Bryan Alexander. *Delegative democracy*. No. REP\_WORK. 2002.
- [14] Gölz, P., Kahng, A., Mackenzie, S., & Procaccia, A. D. (2021). The fluid mechanics of liquid democracy. *ACM Transactions on Economics and Computation*, 9(4), 1-39.
- [15] Green-Armytage, James. "Direct voting and proxy voting." *Constitutional Political Economy* 26.2 (2015): 190-220.
- [16] Hardt, Steve, and Lia CR Lopes. "Google votes: A liquid democracy experiment on a corporate social network." (2015).
- [17] Held, David. *Models of democracy*. Polity, 2006.
- [18] Kahng, Anson, Simon Mackenzie, and Ariel Procaccia. "Liquid democracy: An algorithmic perspective." *Journal of Artificial Intelligence Research* 70 (2021): 1223-1252.
- [19] Kling, C., Kunegis, J., Hartmann, H., Strohmaier, M., & Staab, S. (2015). Voting behaviour and power in online democracy: A study of LiquidFeedback in Germany's Pirate Party. In *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media* (Vol. 9, No. 1, pp. 208-217).
- [20] Kotsialou, Grammateia, and Luke Riley. "Incentivising participation in liquid democracy with breadth-first delegation." *arXiv preprint arXiv:1811.03710* (2018)..

- [21] Kragg, N. N. "» Liquid Democracy: When, not If «." *Kuro5hin*, <https://web.archive.org/web/20160125112158/http://www.kuro5hin.org/story/2003/7/16/201556/896>, zuletzt abgerufen 15 (2003): 2018.
- [22] Landemore, Hélène. *Open democracy: Reinventing popular rule for the twenty-first century*. Princeton University Press, 2020.
- [23] Paulin, Alois. *Smart city governance*. Elsevier, 2018.
- [24] Pirate Party Germany (2022). "*PIRATENPARTEI Deutschland*". <https://www.piratenpartei.de/>
- [25] Sayke - John Washington Donoso. (2003, July 20). "*1 Liquid Democracy*". <http://web.archive.org/web/20030801115328/http://twistedmatrix.com/users/jh.twistd/python/moin.cgi/LiquidDemocracy>
- [26] Tullock, Gordon. "The welfare costs of tariffs, monopolies, and theft." *Economic inquiry* 5.3 (1967): 224-232.
- [27] Valsangiacomo, Chiara. "Political representation in liquid democracy." *Frontiers in Political Science* (2021): 7.
- [28] Vines, J., Clarke, R., Wright, P., McCarthy, J., & Olivier, P. (2013, April). Configuring participation: on how we involve people in design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 429-438).
- [29] Warburton, D., Miller, D. A., Miller, O. J., Allderice, P. W., & De Capoa, A. (1969). Detection of minute deletions in human karyotypes. *Cytogenetic and Genome Research*, 8(2), 97-108.
- [30] Watts, Duncan J., and Steven H. Strogatz. "Collective dynamics of 'small-world' networks." *nature* 393.6684 (1998): 440-442.

[31] Zhang, Yuzhe, and Davide Grossi. "Power in liquid democracy." *Proceedings of the AAAI conference on Artificial Intelligence*. Vol. 35. No. 6. 2021.



*ἔοικα γοῦν τούτου γε σμικρῷ τινι αὐτῷ τούτῳ σοφώτερος εἶναι, ὅτι ἂ μὴ οἶδα οὐδὲ  
οἶομαι εἰδέναι.*

*Σωκράτης*