

ΟΙ ΑΠΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ, Η ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ: ΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ORIGIN, CONCEPTUAL DEVELOPMENT AND FUTURE PERSPECTIVES OF COMPUTATIONAL THINKING: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ιωάννης Βουρλέτσος
Υποψήφιος διδάκτωρ ΠΤΔΕ
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Υπότροφος ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ
vourlets@uth.gr

Παναγιώτης Πολίτης
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΤΔΕ
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
ppol@uth.gr

Περίληψη

Η Υπολογιστική Σκέψη (ΥΣ) αποτελεί μια νοητική δραστηριότητα που σχετίζεται με την Επίλυση προβλημάτων, βασιζόμενη στην αφαίρεση, την αποσύνθεση του προβλήματος, τον αλγοριθμικό τρόπο σκέψης και τη γενίκευση. Η επίτευξη σχετικής συναίνεσης ως προς το περιεχόμενο του όρου ήταν αποτέλεσμα επιστημονικών συζητήσεων που έλαβαν χώρα κατά την τελευταία δεκαετία. Σκοπός της παρούσας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η διερεύνηση και η αποτύπωση αφενός της πορείας της έννοιας της ΥΣ από τη σύλληψη της ιδέας μέχρι τις μέρες μας και αφετέρου των σημείων στα οποία ασκείται κριτική. Η μελέτη των τεκμηρίων που συμπεριελήφθησαν στην ανάλυση έδειξε ότι η ιδέα της ΥΣ εντοπίζεται στο 1940, αλλά η πρώτη της εμφάνιση ως όρου έγινε πολλές δεκαετίες αργότερα. Καθοριστική για την εννοιολογική της εξέλιξη ήταν η τοποθέτηση της Jeanette Wing το 2006, που σήμανε το πέρασμα από την παραδοσιακή στη νέα, διευρυμένη εννοιολογικά, Υπολογιστική Σκέψη.

Λέξεις κλειδιά

Υπολογιστική Σκέψη (ΥΣ), Computational Thinking (CT), εννοιολογική εξέλιξη, κριτική.

Abstract

Computational Thinking (CT) is a mental activity related to problem solving, based on abstraction, problem decomposition, algorithmic thinking, and generalization. The relative consensus on the definition of the term has been the result of scientific debates that have taken

place over the last decade. The purpose of this systematic literature review is to investigate and present, on the one hand, the history of the concept of the CT from its origins to the present day and on the other hand, the points of criticism against it. The study of the evidence included in the analysis showed that the concept of the CT is traced back in 1940, but its first appearance as a term occurred many decades later. Wing's statements in 2006 were decisive for the conceptual development of the term, marking the passage from a traditional to a new, conceptually expanded, Computational Thinking.

Key words

Computational Thinking (CT), conceptual development, limitations.

0. Εισαγωγή

Η διδασκαλία της Υπολογιστικής Σκέψης (Computational Thinking), στο εξής ΥΣ, βρίσκεται στο επίκεντρο των προσπαθειών των τελευταίων ετών για τη διεύρυνση της εκπαίδευσης των μαθητών στην Επιστήμη των Υπολογιστών (Computer Science). Οι αρχές που διέπουν την τελευταία, σύμφωνα με τους Barr & Stephenson (2011), επηρεάζουν βαθύτατα τον κόσμο μέσα στον οποίο οι σύγχρονοι μαθητές ζουν και πρόκειται να εργαστούν.

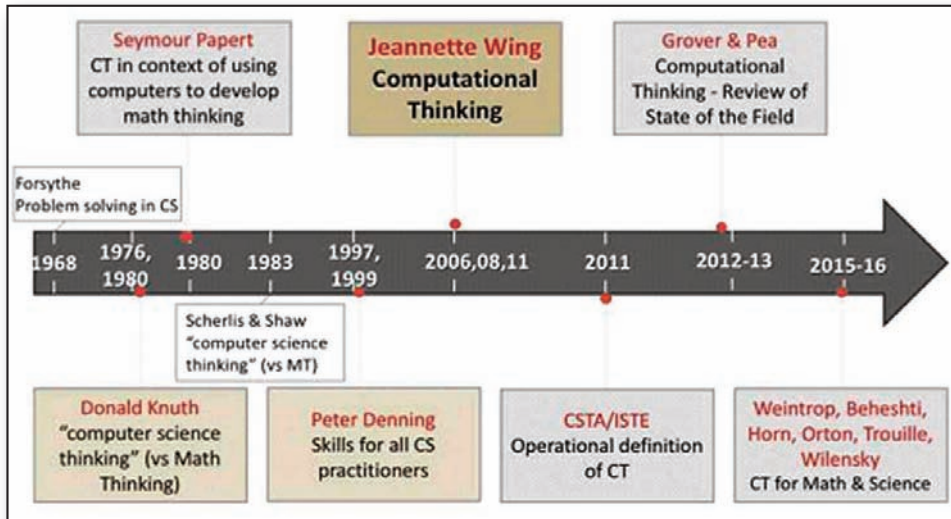
Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την έννοια της ΥΣ υποβοηθήθηκε από την πρόβλεψη του Bureau of Labor Statistics ότι η ταχύτερα αυξανόμενη αγορά εργασίας μέχρι το 2018 θα σχετίζεται με τους υπολογιστές, αλλά και από τη δημοσιοποίηση της αναφοράς των Wilson et al. (2010) με τίτλο «Running On Empty: The Failure to Teach K-12 Computer Science in the Digital Age», τα στατιστικά στοιχεία της οποίας έδειξαν χαμηλές επιδόσεις των δύο τρίτων των μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης των Η.Π.Α. στο γνωστικό αντικείμενο της Επιστήμης των Υπολογιστών (Grover & Pea, 2013). Η δημοσιοποίηση περισσότερων ανάλογων άρθρων και αναφορών επέτεινε τον προβληματισμό ως προς τον ρόλο και τον χαρακτήρα της Πληροφορικής στην εκπαίδευση (Académie des Sciences, 2013; Informatics Europe & ACM Europe Working Group on Informatics Education, 2013; Royal Society, 2012). Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την έμφαση στο STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), άνοιξαν τον δρόμο για την είσοδο της ΥΣ στην εκπαίδευση όλων των βαθμίδων.

Η προετοιμασία των μαθητών για την πλήρωση μελλοντικών θέσεων εργασίας που σχετίζονται περισσότερο ή λιγότερο με την Επιστήμη των Υπολογιστών υπαγόρευσε σε μεγάλο βαθμό την έκθεσή τους σε δεξιότητες χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών (European Commission, 2016). Ωστόσο, παρόλο που αναγνωρίστηκε η σημασία καλλιέργειας τέτοιου είδους δεξιοτήτων για την πρόσβαση

στην αγορά εργασίας και την κοινωνική κινητικότητα, έμφαση άρχισε να δίνεται στον νέο ρόλο των μαθητών, ως σχεδιαστών και δημιουργών, παρά ως καταναλωτών, στον νέο ψηφιακό κόσμο. Στις μέρες μας αναγνωρίζεται η ανάγκη για την καλλιέργεια στα παιδιά ενός νέου τρόπου σκέψης, που θα τα καταστήσει ικανά να επιλύουν προβλήματα του πραγματικού κόσμου και να αξιοποιούν ποικίλα μέσα έκφρασης (Bocconi et al., 2016). Τη νέα αυτή προσέγγιση εκφράζει η ΥΣ, όπως επισημάνθηκε και το 2016 μέσα από την πρωτοβουλία “Computer Science for All” για τη διάχυση των δεξιοτήτων της ΥΣ σε όλους τους μαθητές (Smith, 2016).

Το σύνολο των διαδικασιών της σκέψης και των πρακτικών που περιλαμβάνει η ΥΣ για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων έχουν καθολική εφαρμογή, χωρίς να αφορούν αποκλειστικά τους εξειδικευμένους επιστήμονες της Πληροφορικής (Lu & Fletcher, 2009; Wing, 2006). Οι ερευνητές, άλλωστε, έχουν προβάλει το μεγάλο εύρος της εφαρμοσιμότητας της ΥΣ, ενσωματώνοντάς τη στο μεγαλύτερο μέρος των γνωστικών αντικειμένων (Barr & Stephenson 2011) και αναδεικνύοντάς τη ως μια από τις σημαντικότερες δεξιότητες του 21ου αιώνα (Bower et al., 2017; Mohaghegh & McCauley, 2016; Voogt et al., 2015; Wing, 2006). Σύμφωνα με την παραπάνω φιλοσοφία, τα αναλυτικά προγράμματα των περισσότερων χωρών της Ευρώπης αναμορφώνονται ώστε να συμπεριλάβουν την καλλιέργεια των δεξιοτήτων της ΥΣ από τις μικρότερες βαθμίδες της εκπαίδευσης, γεφυρώνοντας το χάσμα ανάμεσα στα αναλυτικά προγράμματα και τις ανάγκες των μαθητών και της κοινωνίας εν γένει.

Η αντίληψη για το περιεχόμενο του όρου ΥΣ έχει απασχολήσει τους επιστήμονες εδώ και πολλές δεκαετίες (βλ. Εικόνα 1) και έχει υποστεί αρκετές διαφοροποιήσεις στο πέρασμα του χρόνου, καθώς είχε χρησιμοποιηθεί για πρώτη φορά από τον Papert (1980), ενώ επανήλθε το 2006, όταν χρησιμοποιήθηκε από την Jeannette Wing σε ένα άρθρο της που άσκησε μεγάλη επιρροή στις εξελίξεις της τρέχουσας δεκαετίας στο πεδίο της χρήσης της Πληροφορικής στην εκπαίδευση. Στο άρθρο αυτό όρισε την ΥΣ ως «μια στάση και ένα σύνολο δεξιοτήτων που έχουν καθολική εφαρμογή και θα έπρεπε όλοι, όχι μόνο οι επιστήμονες του τομέα των υπολογιστών, να είναι πρόθυμοι να μάθουν και να χρησιμοποιούν» (Wing, 2006, p. 33). Σύμφωνα με τον Denning (2017), οι απόψεις της Wing σηματοδοτούν το τέλος της «παραδοσιακής» ΥΣ και το πέρασμα στη «νέα» ΥΣ.

Εικόνα 1: Σημαντικοί σταθμοί στην εννοιολογική εξέλιξη της ΥΣ (Grover, 2018)

1. Μεθοδολογία

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και η παρουσίαση της εξελικτικής πορείας της έννοιας της ΥΣ, αρχής γενομένης από τη σύλληψη της ιδέας της, μέχρι την εμφάνιση του όρου ΥΣ και τις μέρες μας. Επιδιώχθηκε, με άλλα λόγια, να αποτυπωθούν όλες εκείνες οι εξελίξεις, οι ιδέες και οι όροι που σχετίζονται με την ΥΣ, πριν την πρώτη καταγραφή του όρου ΥΣ, αλλά και η εννοιολογική της εξέλιξη από εκείνο το σημείο μέχρι σήμερα. Ερευνητικό στόχο, επιπλέον, αποτέλεσε η αποτύπωση των ζητημάτων που σχετίζονται με την ΥΣ και στα οποία ασκείται κριτική από την επιστημονική κοινότητα.

Για την προσέγγιση των παραπάνω ερωτημάτων διενεργήθηκε μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (systematic literature review), σύμφωνα με τη διαδικασία που προτείνεται από την Kitchenham (2004). Η συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προσπαθεί «να εντοπίσει, να αξιολογήσει και να συνθέσει σε ένα σύνολο όλες τις σχετικές μελέτες σε ένα δεδομένο θέμα» (Petticrew & Roberts, 2006, p. 19), ενώ, ακόμα, μπορεί να δημιουργήσει ένα υπόβαθρο προκειμένου να τοποθετηθούν κατάλληλα νέες ερευνητικές δραστηριότητες. Το πρώτο βήμα για την εύρεση των τεκμηρίων ήταν ο ορισμός των λέξεων- κλειδιών που σχετίζονται με τα υπό διερεύνηση ερωτήματα. Η κύρια λέξη- κλειδί που χρησιμοποιήθηκε ήταν η «Υπολογιστική Σκέψη» ("Computational Thinking"), ενώ χρησιμοποιήθηκαν ακόμη άλλες σχετικές, όπως «αλγοριθμική σκέψη» ("algorithmic

thinking”), «επίλυση προβλημάτων» (“problem solving”), «αφαίρεση» (“abstraction») και ο όρος «εκπαίδευση» (“education”) σε συνδυασμό με τον κύριο όρο αναζήτησης.

Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2018 και αποκλειστικά με ηλεκτρονικό τρόπο, περιλαμβάνοντας δημοσιευμένα επιστημονικά άρθρα και βιβλία σε τέσσερις μεγάλες βάσεις δεδομένων (ACM Digital Library, ERIC, IEEE Xplore και Springer Link), όπως και δημοσιεύσεις άρθρων σε ιστοσελίδες παγκόσμιων οργανισμών. Η αναζήτηση έλαβε χώρα, ακόμα, αφενός με προσπέλαση των ιστοσελίδων των βάσεων δεδομένων και αφετέρου με χρήση της μηχανής αναζήτησης ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας, Google Scholar.

Η συλλογή των δεδομένων κατέληξε σε 151 τεκμήρια, από τα οποία εκείνα των οποίων ο τίτλος έδειχνε ξεκάθαρα πως δε σχετίζονται με τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας, απορρίφθηκαν. Σε επόμενο στάδιο, πραγματοποιήθηκε μελέτη των περιλήψεων των άρθρων, όπως και των συμπερασμάτων τους και απορρίφθηκαν τα τεκμήρια που δεν ανταποκρίνονταν στους σκοπούς της έρευνας, με αποτέλεσμα η έρευνα να συμπεριλάβει τελικά 61 κείμενα. Βασικό κριτήριο για τη συμπεριληψη ή την απόρριψη ενός κειμένου αποτέλεσε η ανταπόκριση στα ερευνητικά ερωτήματα, ενώ απορρίφθηκαν εκείνα που δεν ήταν γραμμένα στην ελληνική ή αγγλική γλώσσα και δεν ήταν δημοσιευμένα σε διεθνώς αναγνωρισμένα επιστημονικά περιοδικά (peer- reviewed).

2. Πρόδρομες μορφές Υπολογιστικής Σκέψης και παραδοσιακή αντίληψη

Παρά το γεγονός ότι ο όρος ΥΣ συγκέντρωσε το ενδιαφέρον από το 2006, η ιδέα του ήταν πολύ παλαιότερη, καθώς οι βάσεις της είχαν τεθεί από τη δεκαετία του 1940, όταν άρχισαν να τίθενται οι απαρχές της επιστήμης των υπολογιστών. Το βιβλίο του George Polya “How to Solve It” θεωρείται πρόδρομος της ΥΣ, καθώς εισήγαγε αρχές και μεθόδους για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων μέσα από μια διαδικασία τεσσάρων σταδίων (Polya, 1945). Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή, αρχικά είναι ανάγκη να κατανοηθεί πλήρως το πρόβλημα και τα ζητούμενά του. Στη συνέχεια, διερευνάται ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται τα διάφορα στοιχεία του και σχεδιάζεται η επίλυσή του. Έπειτα, υλοποιείται το σχέδιο της επίλυσης και πραγματοποιείται αναδρομή στην ολοκληρωμένη λύση, προκειμένου να λάβει χώρα αναστοχασμός και, αν απαιτείται, αναθεώρησή της. Λίγο αργότερα, τη δεκαετία του 1960, σύμφωνα με τον Guzdial (2015), εμφανίστηκαν οι πρώτοι θιασώτες της διάχυσης της γνώσης της επιστήμης των υπολογιστών και του προγραμματισμού σε όλους, όχι μόνο τους εξειδικευμένους επιστήμονες.

Ο Alan Perlis είχε θέσει ως στόχο από το 1962 τη διδασκαλία του προγραμματισμού σε κάθε φοιτητή, υποστηρίζοντας πως αφενός ο προγραμματισμός αποτελεί μια

εξερεύνηση των διαδικασιών, που αφορά όλους, και αφετέρου πως η αυτοματοποιημένη εκτέλεση των διαδικασιών από μια μηχανή επρόκειτο να αλλάξει τα πάντα (όπ. αναφ. στο Guzdial, 2008, p. 25). Θεωρούσε, ακόμα, ότι ο προγραμματισμός αποτελούσε ένα βήμα προσέγγισης της θεωρίας υπολογισμού, που θα οδηγούσε τους φοιτητές να αναδιαμορφώσουν την κατανόησή τους σε μια ευρεία ποικιλία θεμάτων και να αναπτύξουν «αλγοριθμική σκέψη».

Ο όρος «αλγοριθμική σκέψη» χρησιμοποιήθηκε το 1967 και από τους Newell et al. ως μια διαδικασία σχεδιασμού βημάτων- εντολών προς μια μηχανή για την υπολογιστικά διαμεσολαβούμενη επίλυση ενός προβλήματος. Την εποχή εκείνη ασκήθηκε έντονη κριτική στους υπολογιστές και ειδικότερα στο ερώτημα αν συνιστούν μια νέα επιστήμη, καθώς οι επιστήμες μελετούν φυσικά φαινόμενα, ενώ οι υπολογιστές αποτελούν ανθρώπινα δημιουργήματα. Οι υποστηρικτές τους αντέτειναν ότι οι υπολογιστές έχουν τη δύναμη να μετασχηματίζουν τη γνώση και να δίνουν μια νέα οπτική, που καμία άλλη επιστήμη ή πεδίο δεν μπορούσε να προσφέρει, χάρη στον «αλγοριθμικό τρόπο σκέψης».

Η αξιοποίηση της επιστήμης των υπολογιστών για την επίλυση προβλημάτων απασχόλησε και τον Forsythe (1968), όπως και λίγα χρόνια αργότερα, τον Donald Knuth, ο οποίος συνέκρινε την επιστήμη, πια, των υπολογιστών με εκείνη των μαθηματικών και εξέτασε τρόπους με τους οποίους θα μπορούσε η μία να βοηθήσει την άλλη (Knuth, 1974). Εξέφρασε, λοιπόν, την άποψη ότι ένας αλγόριθμος αποτελεί μια μορφή διδασχίας προς μια μηχανή και οδηγεί στη βαθύτερη κατανόηση ενός προβλήματος, συμβάλλοντας στην κατανόηση εννοιών πολλών επιστημονικών πεδίων.

Την ίδια δεκαετία, ο Dijkstra μίλησε για τις «καλές υπολογιστικές συνήθειες της σκέψης», δηλαδή τις διαδικασίες της σκέψης που τον οδήγησαν σε σχεδιασμό προγραμμάτων που εκπλήρωναν τον αρχικό τους στόχο. Ανάμεσα σ' αυτές συγκαταλέγει τον διαχωρισμό των ζητημάτων που τον απασχολούν και την αποτελεσματική αξιοποίηση της αφαίρεσης, που καθιστούν τον στόχο «διανοητικά διαχειρίσιμο» (Dijkstra 1979, p. 3).

Ο Seymour Papert ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο ΥΣ το 1980, στο βιβλίο του "Mindstorms" (Papert, 1980, p. 182). Η ΥΣ αναφέρεται ως μια διανοητική δεξιότητα που αποκτούν τα παιδιά μέσα από τον προγραμματισμό, αλλά δε δίνονται περισσότερες διευκρινίσεις για τον όρο από τον συγγραφέα, παρά μόνο αρκετά χρόνια αργότερα. Ο ίδιος, από τη δεκαετία του 1970, εργαζόμενος με τον Feurzeig και τη Solomon στη γλώσσα προγραμματισμού Logo, είχε αναφερθεί στη χρήση της γλώσσας αυτής ως ενός δυναμικού πλαισίου για τη διδασκαλία των μαθηματικών (Feurzeig & Papert, 2011). Στο περιβάλλον της Logo ο Papert υποστήριξε πως μπορεί να λάβει χώρα ανακαλυπτική κοστρουκτιβιστική μάθηση, αλλά και ανάπτυξη ανώτερων δεξιοτήτων της σκέψης (Papert, 1980). Ωστόσο, αποτελέσματα εμπειρικών

ερευνών δεν εντόπισαν συσχέτιση ανάμεσα στη βελτίωση δεξιοτήτων της σκέψης παιδιών και στον προγραμματισμό με Logo (Kurland et al., 1986).

Το 1982, ο Kenneth Wilson βραβεύτηκε με Νόμπελ Φυσικής για την ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων με εφαρμογή στην προσομοίωση και πρόβλεψη φυσικών φαινομένων σε τομείς όπως η υδροδυναμική, η μετεωρολογία, η χημεία, η βιοφυσική και η φυσική της συμπυκνωμένης ύλης. Χρησιμοποίησε, μάλιστα, τον όρο «υπολογιστική επιστήμη» για να αναφερθεί στους αναδυόμενους υποκλάδους των επιστημών που χρησιμοποιούσαν σαν πρωταρχική τους μέθοδο τον υπολογισμό, ενώ τη συμπλήρωναν οι παραδοσιακές μέθοδοι. Αρκετοί ομοϊδεάτες του, ακόμα, χρησιμοποίησαν τον όρο ΥΣ, για να αναφερθούν στις διαδικασίες της σκέψης που εμπλέκονται στις υπολογιστικές επιστήμες, όπως το σχεδιασμό, τη δοκιμή και τη χρήση των υπολογιστικών μοντέλων. Μεταξύ αυτών, οι Scherlis & Shaw (1983) μίλησαν για τη σκέψη της επιστήμης των υπολογιστών (computer science thinking), στην οποία διαχέονται διαδικασίες της σκέψης και θέματα που εντάσσονται στην επιστήμη των μαθηματικών.

Εκ νέου αναφορά από τον Papert στον όρο ΥΣ έγινε το 1996, σε ένα άρθρο που αφορούσε την εκπαίδευση στα μαθηματικά (Papert, 1996). Αναφέρθηκε, συγκεκριμένα, στην επίλυση προβλημάτων με χρήση του υπολογιστή, με τρόπο που επιτρέπει στους ανθρώπους να αναλύουν και να εξηγούν καλύτερα τα προβλήματα και τις λύσεις τους, αλλά και να επισημαίνουν τις μεταξύ τους συνδέσεις. Τον απασχόλησε, δηλαδή, η εφαρμογή ιδεών και πρακτικών που είναι εμπνευσμένες από την επιστήμη των υπολογιστών, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ανθρώπους για την κατανόηση της φύσης των φαινομένων. Σύμφωνα με τον Denning (1999, p. 3), όσοι ασχολούνται επαγγελματικά με τους υπολογιστές «είναι ανάγκη να είναι εξειδικευμένοι στην αλγοριθμική σκέψη, την αναπαράσταση (των δεδομένων), τον προγραμματισμό και τον σχεδιασμό», αν και θεωρεί ότι ο σχεδιασμός συνδέει τις άλλες τρεις δεξιότητες με τις ανησυχίες των ανθρώπων, καθώς περιλαμβάνει θεωρήσεις και εκτιμήσεις για την ενσωμάτωση των διαθέσιμων εξαρτημάτων, τους περιορισμούς χρόνου και κόστους, αλλά και τις απαιτήσεις ασφάλειας και αξιοπιστίας.

Τον προβληματισμό του Papert (1996) σχετικά με τη δυνατότητα της εκπαίδευσης να μετασηματιστεί με την βοήθεια του υπολογιστή, ώστε τα παιδιά να μπορούν να μαθαίνουν περισσότερο, πιο εύκολα, ευχάριστα και σε μικρότερη ηλικία, επανέφερε ο Andrea diSessa, εισάγοντας τον όρο «υπολογιστικός γραμματισμός» (computational literacy) (diSessa, 2000). Ο όρος περιελάμβανε τον υπολογιστή όχι μόνο ως ένα μέσο διδασκαλίας, αλλά και ως βάση για μια νέα παιδεία, που θα άλλαζε τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι σκέπτονται και μαθαίνουν. Για την επίτευξη αυτής της αλλαγής, οι μαθητές δεν έπρεπε να είναι μόνο χρήστες ή καταναλωτές των τεχνολογικών επιτευγμάτων, αλλά και δημιουργοί δυναμικών και διαδραστικών μορφών έκφρασης.

3. Η μετάβαση στη σύγχρονη αντίληψη για την ΥΣ

Το 2006 η Jeannette Wing, σε ένα άρθρο της στο περιοδικό *Communications of the ACM*, προέβη σε έναν καθοριστικό για τις μελλοντικές εξελίξεις ορισμό της ΥΣ, που σήμανε το τέλος της παραδοσιακής αντίληψης και το πέρασμα στη νέα. Η ΥΣ «περιλαμβάνει την επίλυση προβλημάτων, τον σχεδιασμό συστημάτων και την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, βασιζόμενη σε έννοιες που είναι θεμελιώδεις για την Επιστήμη των Υπολογιστών» (Wing, 2006, p. 33). Ενσωματώνει, δηλαδή, ένα εύρος νοητικών εργαλείων που αντανακλούν την ευρύτητα της Επιστήμης των Υπολογιστών. Σύμφωνα με την Wing, η ΥΣ ως δεξιότητα, θα πρέπει να εισαχθεί στην υποχρεωτική εκπαίδευση, προστιθέμενη σ' εκείνες της ανάγνωσης, της γραφής και της αριθμητικής (Wing, 2006).

Η ΥΣ περιλαμβάνει την αναδιαμόρφωση ενός φαινομενικά δύσκολου προβλήματος σε ένα άλλο, ευκολότερα διαχειρίσιμο. Η μετατροπή του αρχικού προβλήματος σε ένα απλούστερο επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της αφάιρεσης (*abstraction*), δηλαδή της επιλογής και της απόκρυψης εκείνων των λεπτομερειών που είναι περιττές για την επίλυση του προβλήματος, χωρίς όμως να συμπαρασύρονται τα σημαντικά στοιχεία. Απαραίτητη είναι και η αποσύνθεση του προβλήματος (*problem decomposition*), δηλαδή ο τρόπος σκέψης για ένα μεγάλο και σύνθετο πρόβλημα από τη σκοπιά των συστατικών του στοιχείων, η τμηματοποίησή του (*modularization*).

Η ΥΣ δεν είναι ο τρόπος με τον οποίο «σκέφτονται» οι υπολογιστές, αλλά ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι σκέφτονται για την επίλυση προβλημάτων και έτσι δεν αποτελεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία, αλλά μια θεμελιώδη ικανότητα. Ως θεμελιώδης ικανότητα αφορά όλους τους ανθρώπους και οδηγεί σε παραγωγή ιδεών, με τις οποίες θα προσεγγίζονται και θα επιλύονται τα προβλήματα, θα οργανώνεται η καθημερινή ζωή και θα λαμβάνει χώρα η επικοινωνία και η αλληλεπίδραση με άλλους ανθρώπους. Με βάση τα παραπάνω, «η ΥΣ θα είναι η πραγματικότητα του αύριο» (Wing, 2006, p. 34).

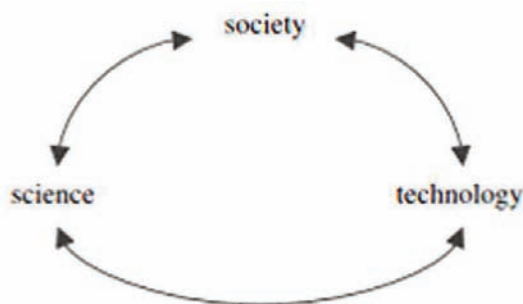
Οι τοποθετήσεις της Wing πυροδότησαν εκτενή ακαδημαϊκό διάλογο, με την έννοια της ΥΣ να αρχίζει να απασχολεί έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό ερευνητών, εκπαιδευτών και σχεδιαστών εκπαιδευτικής πολιτικής, χωρίς ωστόσο να επιτυγχάνεται η διατύπωση ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού της.

4. Η σύγχρονη αντίληψη για την ΥΣ

Ο ορισμός της Wing (2006) για την ΥΣ δεν έγινε καθολικά αποδεκτός από την επιστημονική κοινότητα. Η ίδια, επανήλθε σύντομα με νέο άρθρο, δίνοντας εκ νέου έμφαση στην έννοια της αφάιρεσης και στη σημασία της ΥΣ για όλους τους ανθρώπους, επισημαίνοντας την αμφίδρομη σχέση μεταξύ τεχνολογίας και κοινωνίας (Wing, 2008). Σημαντικός σταθμός στην εννοιολογική εξέλιξη της ΥΣ υπήρξε και το

μάθημα CS Principles των College Board και National Science Foundation (NSF), που, σχεδιάστηκε για τον εκδημοκρατισμό της Επιστήμης των Υπολογιστών και βασίστηκε σε επτά «μεγάλες ιδέες» της Πληροφορικής, που ανέλυσαν την έννοια της ΥΣ και εφαρμόζονται με ελάχιστες τροποποιήσεις ως σήμερα. Το μάθημα έδωσε έμφαση στην αφαίρεση για τη μείωση των πληροφοριών και την επικέντρωση σε απαραίτητες για την επίλυση των προβλημάτων έννοιες. Εργαλείο επίλυσης των προβλημάτων αποτέλεσαν οι αλγόριθμοι, αξιοποιούμενοι δημιουργικά για την επίτευξη καινοτομιών σε άλλα επιστημονικά πεδία (The College Board, 2017).

Εικόνα 2: Οι τρεις οδηγοί της χρήσης των υπολογιστών: επιστήμη, κοινωνία, τεχνολογία (Wing, 2008, p. 3722)



Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των Η.Π.Α., απ' την πλευρά του, οργάνωσε δύο εργαστήρια, στα οποία διερευνήθηκε η φύση της ΥΣ και οι παιδαγωγικές της εφαρμογές (National Research Council, 2010, 2011). Στο πρώτο εργαστήριο, αν και επικράτησε η κοινή διαπίστωση της ανάγκης για μια θεώρηση πέρα από τον απλό προγραμματισμό, αναπάντητα έμειναν ερωτήματα αναφορικά με τη διδακτική μεθοδολογία για την ενσωμάτωση της ΥΣ στην εκπαίδευση, όπως και για τη σχέση της με τον προγραμματισμό. Στο δεύτερο εργαστήριο, οι απόψεις ερευνητών που εργάστηκαν με μαθητές και εκπαιδευτικούς οδήγησαν σε ομοφωνία σχετικά με τα εργαλεία και τις πρακτικές που ενδείκνυνται για τη διδασκαλία της ΥΣ.

Η Wing πρότεινε το 2011 έναν νέο ορισμό της ΥΣ, ορίζοντάς την ως «τις διαδικασίες της σκέψης που εμπλέκονται στη διατύπωση των προβλημάτων και των λύσεών τους, με τέτοιο τρόπο, ώστε οι λύσεις να αναπαρίστανται σε μια μορφή που μπορεί να υλοποιηθεί αποτελεσματικά από έναν φορέα επεξεργασίας δεδομένων» (Wing, 2011). Ο παραπάνω ορισμός απέκτησε ιδιαίτερη σημασία για την εκπαίδευση των επόμενων χρόνων, καθώς επισημάνθηκε πως η ΥΣ αποτελεί αφενός μια διαδικασία της σκέψης χωρίς αναφορά σε οποιοδήποτε είδους τεχνολογία και αφετέρου μια

μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων, στην οποία οι λύσεις είναι σχεδιασμένες με τρόπο που μπορούν να αξιοποιηθούν από έναν υπολογιστή, από έναν άνθρωπο ή από έναν συνδυασμό των δύο (Bocconi et al., 2016).

Το 2011 η Computer Science Teachers Association και η International Society for Technology in Education (2011, p. 7) διατύπωσαν έναν λειτουργικό ορισμό της ΥΣ, που αποτελεί πλέον «μια διαδικασία επίλυσης προβλημάτων», συμπεριλαμβάνοντας μια σειρά από χαρακτηριστικά, όπως η διατύπωση των προβλημάτων με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η επίλυσή τους από υπολογιστή, η λογική οργάνωση και ανάλυση δεδομένων, η αναπαράσταση δεδομένων μέσω αφαιρέσεων (μοντέλα και προσομοιώσεις), η αυτοματοποίηση λύσεων μέσω αλγοριθμικού τρόπου σκέψης και η μεταφορά αυτής της διαδικασίας επίλυσης προβλήματος σε μια ευρεία ποικιλία προβλημάτων.

Παραδείγματα πρακτικής εφαρμογής της ΥΣ θεώρησαν οι παιδαγωγοί Lee et al. (2011) πως είναι ανάγκη να αποτελέσουν την αφετηρία για τον ορισμό της. Προχώρησαν, έτσι, στον ορισμό της αφαίρεσης, ως μιας διαδικασίας γενίκευσης από τα επιμέρους και εστίασης στα απαραίτητα -για την επίλυσή του- στοιχεία ενός προβλήματος, της αυτοματοποίησης ως της καθοδήγησης του ηλεκτρονικού υπολογιστή για την εκτέλεση μιας σειράς επαναλαμβανόμενων εργασιών πιο γρήγορα και πιο αποδοτικά σε σύγκριση με την εκτέλεσή τους από τον άνθρωπο, και της ανάλυσης ως μιας αναστοχαστικής πρακτικής που αναφέρεται στον βαθμό που οι αφαιρέσεις που υλοποιήθηκαν ήταν σωστές.

Οι Barr & Stephenson (2011) απευθυνόμενοι σε εκπαιδευτικούς προχώρησαν στη διατύπωση ενός λειτουργικού ορισμού της ΥΣ συμπεριλαμβάνοντας σ' αυτόν έννοιες και δεξιότητες όπως η αφαίρεση, οι αλγόριθμοι, η αυτοματοποίηση, η αποσύνθεση του προβλήματος, η παραλληλία (parallelization), η προσομοίωση και η συλλογή, ανάλυση και αναπαράσταση των δεδομένων. Για κάθε έννοια ή δεξιότητα, οι συγγραφείς παρέθεσαν παραδείγματα ενσωμάτωσής τους σε δραστηριότητες διαφόρων γνωστικών αντικειμένων.

Η παρουσία και η εφαρμογή της μεθοδολογίας και των πρακτικών της επιστήμης των υπολογιστών σε ένα ευρύ πεδίο επιστημών, ακόμα και εκείνων που δεν περιλαμβάνουν τη χρήση μηχανών, αποτέλεσε επίκεντρο του ορισμού που διατύπωσε το 2012 η Royal Society, σύμφωνα με τον οποίο, «η υπολογιστική σκέψη είναι η διαδικασία αναγνώρισης υπολογιστικών πτυχών στον κόσμο που μας περιβάλλει και η εφαρμογή εργαλείων και τεχνικών από την Επιστήμη των Υπολογιστών για την κατανόηση και την ερμηνεία τόσο των φυσικών, όσο και των τεχνητών συστημάτων & διεργασιών» (Royal Society, 2012, p. 29). Συνοπτικά, η ΥΣ ορίστηκε από τον Furber ως «η διαδικασία αναγνώρισης των πτυχών του υπολογισμού στον κόσμο που μας περιβάλλει, όπως και η εφαρμογή εργαλείων και

τεχνικών από την επιστήμη των υπολογιστών για την κατανόηση και την ερμηνεία τόσο φυσικών, όσο και τεχνητών συστημάτων και διαδικασιών» (Royal Society, 2012, p. 29).

Ο Aho όρισε την ΥΣ ως «τις διαδικασίες της σκέψης που εμπλέκονται στο σχηματισμό προβλημάτων με τέτοιο τρόπο, ώστε οι λύσεις τους να μπορούν να αναπαρασταθούν ως υπολογιστικά βήματα και αλγόριθμοι» (Aho, 2012, p. 832). Στο επίκεντρο της ΥΣ έθεσε την αφαίρεση, αλλά και τα υπολογιστικά μοντέλα. Επεσήμανε, ακόμα, ότι κάθε φορά που σχεδιάζουμε έναν αλγόριθμο, σχεδιάζουμε έναν νέο τρόπο για τον έλεγχο μιας μηχανής που εφαρμόζει το μοντέλο, με αντίκτυπο στον πραγματικό κόσμο.

Οι Grover & Pea (2013), πραγματοποιώντας ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, ορίζουν τις συνιστώσες της ΥΣ. Ξεκινώντας από την αφαίρεση, την οποία θεωρούν ως ακρογωνιαίο της λίθο, περιλαμβάνουν σ' αυτές τη γενίκευση, τον αλγοριθμικό τρόπο σκέψης και τον έλεγχο ροής μιας ακολουθίας εντολών. Αναφέρουν, έπειτα, την αποσύνθεση του προς επίλυση προβλήματος, την επαναληπτική (iterative) σκέψη και την υποθετική λογική (conditional logic). Τέλος, η αποδοτικότητα και τα ζητήματα επιδόσεων αποτελούν μια ακόμα συνιστώσα, όπως και η αποσφαλμάτωση του κώδικα. Σύμφωνα με τους Selby & Woollard (2013), η ΥΣ συνιστά μια δραστηριότητα που σχετίζεται με την επίλυση προβλημάτων, αλλά δεν περιορίζεται σ' αυτή. Ως διανοητική διαδικασία, η ΥΣ συνιστά μια εστιασμένη προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων, ενσωματώνοντας διαδικασίες της σκέψης, όπως την αφαίρεση, την αποσύνθεση του προβλήματος, τον αλγοριθμικό τρόπο σκέψης, την αξιολόγηση και τις γενικεύσεις.

Το 2015, η Google άρχισε να εμπλουτίζει την αφιερωμένη στην «εξερεύνηση» της ΥΣ ιστοσελίδα της, με τίτλο "Exploring Computational Thinking". Πέρα από το χρήσιμο για εκπαιδευτικούς υλικό, παρέθεσε και έναν ορισμό της ΥΣ, ως μιας διαδικασίας επίλυσης προβλημάτων που περιλαμβάνει μια σειρά χαρακτηριστικών, όπως η λογική οργάνωση και η ανάλυση δεδομένων και η δημιουργία λύσεων με τη χρήση αλγορίθμων, αλλά και μια σειρά στάσεων, όπως η αυτοπεποίθηση να αντιμετωπίζει κανείς την πολυπλοκότητα και ανοικτά προβλήματα. Η ΥΣ θεωρείται πως μπορεί να αξιοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους, ενώ βοηθά τους μαθητές να αρχίσουν να εντοπίζουν τις συνδέσεις όπως διδάσκονται με όσα συμβαίνουν στον πραγματικό κόσμο.

Το 2015 επίσης η British Computer Society προχώρησε σε έναν αναλυτικό ορισμό της ΥΣ, σύμφωνα με τον οποίο η ΥΣ αποτελεί μια διαδικασία της σκέψης, που περιλαμβάνει τις αρχές της λογικής σκέψης. Με τη βοήθεια των τελευταίων, επιλύονται προβλήματα και γίνονται περισσότερο κατανοητά τεχνουργήματα, διαδικασίες και συστήματα. Υπ' αυτήν την έννοια, η ΥΣ περιλαμβάνει την ικανότητα

να σκέφτεται κανείς αλγοριθμικά, την ικανότητα σκέψης απ' τη σκοπιά της αποσύνθεσης ενός προβλήματος, την ικανότητα πραγματοποίησης γενικεύσεων και την ικανότητα πραγματοποίησης αξιολογήσεων, σε ένα ευρύ φάσμα γνωστικών αντικειμένων των επιστημονικών τομέων (Csizmadia et al., 2015).

Το 2016 η CSTA επικαιροποιώντας τα πρότυπά της για την Επιστήμη της Πληροφορικής στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση, επεσήμανε τη σημασία της επίλυσης προβλημάτων, της αφαίρεσης, των αυτοματοποιημένων διαδικασιών και της ανάλυσης, ως βασικών χαρακτηριστικών της ΥΣ (CSTA Standards Task Force, 2016, p. 6): «Πιστεύουμε ότι η υπολογιστική σκέψη είναι μια μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων που επεκτείνει το βασίλειο της επιστήμης των υπολογιστών σε όλους τους κλάδους, παρέχοντας ένα ξεχωριστό μέσο για την ανάλυση και την ανάπτυξη λύσεων σε προβλήματα που μπορούν να επιλυθούν υπολογιστικά. Με την έμφασή της στην αφαίρεση, την αυτοματοποίηση και την ανάλυση, η υπολογιστική σκέψη αποτελεί βασικό στοιχείο της ευρύτερης επιστήμης των υπολογιστών.»

Τέλος, οι Weintrop et al. (2016) εξειδικεύοντας τον ορισμό της ΥΣ για τις θετικές επιστήμες και τα μαθηματικά στην εκπαίδευση, περιλαμβάνουν σ' αυτή πρακτικές που σχετίζονται με τα δεδομένα, πρακτικές μοντελοποίησης και προσομοίωσης, υπολογιστικές πρακτικές επίλυσης προβλημάτων και πρακτικές σκέψης που σχετίζονται με τα συστήματα, υποστηρίζοντας πως η ενσωμάτωση της ΥΣ στην εκπαίδευση φέρνει την εκπαίδευση πιο κοντά στις τρέχουσες επαγγελματικές πρακτικές σε αυτούς τους τομείς.

5. Κριτική

Παρά το γεγονός ότι η ΥΣ έγινε αποδεκτή από μεγάλο μέρος της επιστημονικής και εκπαιδευτικής κοινότητας ως ένα απαραίτητο σύνολο δεξιοτήτων για τον πολίτη του 21ου αιώνα, συχνά διατυπώνονται προβληματισμοί σχετικά με ζητήματά της. Ο όρος ΥΣ, σύμφωνα με τον Hemmendinger (2010, p. 2), μοιάζει «αλαζονικός» από την πλευρά των επιστημόνων της επιστήμης των υπολογιστών, καθώς μοιάζει σαν να υποδεικνύει σε όλους τους άλλους επιστήμονες τον δικό τους τρόπο σκέψης ως τον σωστό, ενώ και ο Peter Denning (2009) τους κατηγορεί πως αρχικά επέβαλαν την εκμάθηση των δεξιοτήτων της επιστήμης τους και έπειτα απαιτούν να σκέφτεται κανείς όπως εκείνοι. Οι επιστήμονες της Πληροφορικής, σε κάθε περίπτωση, είναι ανάγκη να μιλούν λιγότερο για τον υπολογιστικό τρόπο σκέψης και «να μην παραβλέπουν την υπολογιστική πράξη» (Astrachan, 2009, p. οπ. αναφ. Hemmendinger, 2010, p. 6).

Ο δογματισμός, κατά τους Tedre & Denning (2016) αποτελεί έναν σοβαρό κίνδυνο που ορθώνεται πάνω από την ΥΣ, καθώς θεωρούν πως αποδίδεται υπερβολικά

υψηλή αξία στον υπολογιστικό τρόπο σκέψης, παρόλο που τόσοι άλλοι τρόποι σκέψης, όπως η λογική σκέψη (logical thinking), η ορθολογιστική σκέψη (rational thinking), η κριτική σκέψη (critical thinking) και άλλοι, που επίσης περιλαμβάνουν αφαιρετικές διαδικασίες (abstractions) έχουν προσφέρει ήδη αρκετά οφέλη στις επιστήμες. Ο όρος ΥΣ, όπως προκύπτει από τα παραδείγματα της Wing (2006), θεωρείται από τη Jones (2006) ως υπερβολικά ευρύς και ως εκ τούτου δεν μπορεί να είναι χρήσιμος. Η αποκλειστική έμφαση στην ΥΣ, ακόμα, υποδεικνύει μια περιορισμένη οπτική του κόσμου, καθώς όπως υποστήριζε ο Papert (1980), η αληθινή δεξιότητα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές αποδεικνύεται από τη γνώση των περιστάσεων στις οποίες ενδείκνυται να πραγματοποιείται η αξιοποίηση αυτών και των ιδεών τους, ενώ παραμένει κανείς ανοιχτός σε εναλλακτικούς τρόπους σκέψης και δράσης.

Η αποτελεσματική ενσωμάτωση της ΥΣ στα προγράμματα σπουδών της υποχρεωτικής εκπαίδευσης απαιτεί και τις κατάλληλες στρατηγικές αξιολόγησης της ανάπτυξης της από τους μαθητές. Ήδη από το 2010, είχε επισημανθεί ότι «οι αξιολογήσεις για την εκπαίδευση στην επιστήμη των υπολογιστών είναι πρακτικά μη υπάρχουσες» (Wilson et al., 2010, p. 14), ενώ λίγα χρόνια αργότερα οι Grover & Pea (2013) τόνιζαν πως η ΥΣ μόνο μικρή ελπίδα μπορεί να έχει για ένταξή της στα προγράμματα σπουδών της υποχρεωτικής εκπαίδευσης, αν δε δοθεί έμφαση στην αξιολόγησή της. Σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα, λοιπόν, για την ενσωμάτωση της ΥΣ στην υποχρεωτική εκπαίδευση αποτελεί η ύπαρξη περιορισμένων επιστημονικών δεδομένων σχετικά με τα εργαλεία αξιολόγησής της, καθώς και της μεταφοράς της εφαρμογής της σε άλλα γνωστικά πεδία (Bocconi et al., 2016; Grover, Cooper & Pea, 2014; Werner, Denner & Campe, 2012).

Οι κυρίαρχες στρατηγικές αξιολόγησης των εννοιών και των πρακτικών της ΥΣ είναι η ανάλυση των έργων των μαθητών, ως ενδείξεων των δεξιοτήτων τους, η αξιοποίηση ρουμπρίκων, κάποιες δραστηριότητες «διόρθωσης» κώδικα ή «συμπλήρωσής» του, αλλά και πρόσφατα κάποιες προσεγγίσεις που βασίζονται στη σχεδίαση, όπως ο προγραμματισμός με αξιοποίηση πολυμέσων. Νέα εργαλεία και κριτήρια αξιολόγησης, επομένως, είναι ανάγκη να οριστούν, στο πλαίσιο μιας διαθεματικής προσέγγισης (Bocconi et al., 2016). Ανάγκη, ακόμη, υπάρχει για μοντέλα παρακολούθησης της προόδου των μαθητών για τα διαφορετικά επίπεδα ανάπτυξης των δεξιοτήτων, δεδομένου ότι οι δεξιότητες αναπτύσσονται σταδιακά στον χρόνο με εξάσκηση, αντίθετα με την απόκτηση των γνώσεων. Οι άνθρωποι «γνωρίζουν πολλά περισσότερα από εκείνα που μπορούν να περιγράψουν» (Polanyi, 1966, σπ. αναφ. Denning, 2017, p. 36) και γι' αυτό απαιτείται έμφαση στις πρακτικές των μαθητών κατά τη διαδικασία ανάπτυξης της ΥΣ (Denning, 2017; Tedre & Denning, 2016). Συμπερασματικά, η συνολική εργασία σχετικά με τη μέτρησή της βρίσκεται ακόμα «στο βρεφικό της στάδιο» (Lockwood & Mooney, 2018, p. 18).

Ο βαθμός στον οποίο η ΥΣ μπορεί να αποδειχθεί ωφέλιμη για «όλους τους ανθρώπους» (Wing, 2006, σ. 33) αποτελεί ένα ακόμη σημείο προβληματισμού της επιστημονικής κοινότητας (Ya ar, 2018). Η ιδέα της αξιοποίησης του ηλεκτρονικού υπολογιστή ως μέσου που θα φέρει την επανάσταση στη σκέψη και τη ζωή των ανθρώπων είναι αρκετά παλιά και ανήκει σε καταξιωμένους επιστήμονες, όπως ο Papert (1980), ο Alan Perlis (1962) και ο diSessa (2000). Σύμφωνα με τον Denning (2017), οφείλουμε να εξετάσουμε πιο προσεκτικά και να συλλέξουμε περισσότερα εμπειρικά δεδομένα, προκειμένου να δηλώσουμε με σιγουριά πως η ΥΣ μπορεί να ωφελεί ακόμη κι εκείνους που δε σχεδιάζουν υπολογισμούς, όπως είναι οι καλλιτέχνες, οι δικηγόροι και άλλοι. Ο ίδιος επιστήμονας επισημαίνει, ακόμα, ότι η αξιοποίηση υπολογιστικών εργαλείων δεν είναι αυτονόητο πως οδηγεί στην ανάπτυξη ΥΣ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η νέα γενιά της εποχής μας, η οποία, ενώ αφιερώνει αρκετό χρόνο στην ενασχόληση με ηλεκτρονικές συσκευές και στην περιήγηση στο Διαδίκτυο, δε συνεπάγεται πως σκέφτεται υπολογιστικά.

Η οικουμενική αξία της ΥΣ για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος της καθημερινής ζωής τίθεται, επίσης, σε ερώτημα. Κάποιοι ερευνητές, για παράδειγμα, αναρωτιούνται αν βασιζόμενοι στις πρακτικές της ΥΣ θα μπορούσε κανείς να επιλύσει ένα πρόβλημα ηθικής φύσης ή δεοντολογίας (Jones, 2011), καθώς τέτοιου είδους προβλήματα απαιτούν τη βαθύτερη κατανόηση αξιών και ιδεών και δεν επιλύονται με την ακολουθία μιας σειράς βημάτων, ενός αλγόριθμου. Η άποψη, επίσης, ότι η εκμάθηση του προγραμματισμού για την ανάπτυξη της ΥΣ ενισχύει τις διανοητικές δεξιότητες των ανθρώπων, που μπορούν να τις μεταφέρουν σε άλλα πεδία, βρίσκει αντιμέτωπους πολλούς ερευνητές, από τις αρχές της προώθησης της εκμάθησης του προγραμματισμού μέχρι και τις ημέρες μας (Guzdial, 2015; Tedre & Denning, 2016).

Κάποιοι επικριτές, δηλαδή, της ΥΣ την χαρακτηρίζουν ως συγκεκαλυμμένο προγραμματισμό (Kafai, 2016). Επιπλέον, διεθνείς πρωτοβουλίες όπως η «Χρονιά του Κώδικα» (“Year of Code”) και η «Ωρα του Κώδικα» (“Hour of Code”) δίνουν έμφαση στην κωδικοποίηση, η οποία αποτελεί μόνο ένα μέρος της διαδικασίας του προγραμματισμού. Οι πρωτοβουλίες για την προώθηση της ΥΣ, επομένως, οφείλουν να εξετάσουν τα «λάθη» του παρελθόντος και να αποφύγουν την ταύτισή της με την κωδικοποίηση ή ακόμα και τον προγραμματισμό.

Για την αποτελεσματική, τέλος ενσωμάτωση της ΥΣ στην υποχρεωτική εκπαίδευση απαιτούνται παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας στην επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, δεδομένου ότι για το μεγαλύτερο μέρος τους το πρόγραμμα σπουδών για την απόκτηση του βασικού τους πτυχίου δεν περιελάμβανε την ΥΣ (Bocconi et al., 2016). Δεδομένου, μάλιστα, ότι ένας δάσκαλος διδάσκει αρκετά γνωστικά αντικείμενα και όχι ένα συγκεκριμένο και εξειδικευμένο, ενδεχομένως να είναι οι κατάλληλοι να

υποστηρίξουν τους μαθητές στην ανάπτυξη της ΥΣ για την επίλυση προβλημάτων σε πολλαπλά πεδία, όπως πρεσβεύουν οι υποστηρικτές της (Mannila, Dagiene, Demo, Grgurina, Mirolo, Rolandsson & Settle, 2014).

Η αξία της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών στις στρατηγικές διδασκαλίας της ΥΣ αναδεικνύεται και από το γεγονός ότι, σύμφωνα με το National Research Council (2010), οι μαθητές μαθαίνουν να σκέφτονται υπολογιστικά, όταν παρατηρούν τους δασκάλους τους να μοντελοποιούν τις στρατηγικές της σκέψης τους και καθοδηγούνται από τους τελευταίους να τις αξιοποιούν κι εκείνοι. Μέχρι το 2014, ωστόσο, δε σημειώθηκαν μεγάλες προσπάθειες για επιμόρφωση των εκπαιδευτικών για ενσωμάτωση της ΥΣ στη διδασκαλία και περιορίστηκαν κυρίως στους καθηγητές Πληροφορικής (Yadav, Mayeld, Zhou, Hambrusch & Korb, 2014).

6. Συμπεράσματα

Στις ενότητες που προηγήθηκαν παρουσιάστηκε η εννοιολογική εξέλιξη της ΥΣ από τη δεκαετία του 1960 μέχρι σήμερα. Σε όλη αυτή την εξελικτική διαδικασία, καθοριστική υπήρξε η παρέμβαση της Wing, το 2006, που καθόρισε το πέρασμα από την παραδοσιακή αντίληψη για την ΥΣ στην νέα. Ανάμεσα στις δύο αντιλήψεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1, διαφοροποιείται ο σκοπός της ΥΣ, τα πεδία εφαρμογής της και οι έννοιες που περιλαμβάνονται σ' αυτή (Denning, 2017, p. 37).

Η πιο σημαντική διαφορά, ωστόσο, που εντοπίζεται ανάμεσα στις δύο αντιλήψεις είναι η θέση του προγραμματισμού. Σύμφωνα με τους θιασώτες της παραδοσιακής αντίληψης της ΥΣ, ο προγραμματισμός του Η/Υ παράγει τον υπολογιστικό τρόπο σκέψης, ενώ σύμφωνα με εκείνους της σύγχρονης αντίληψης, η εκμάθηση διαφόρων εννοιών της ΥΣ οδηγεί στην εκμάθηση προγραμματιστικών δεξιοτήτων, χωρίς αυτό να αποτελεί αυτοσκοπό.

Η έννοια των αλγόριθμων, ακόμα, διαφοροποιείται στις δύο «εποχές» της ΥΣ. Μέχρι το 2006, οι αλγόριθμοι αποτέλεσαν οδηγίες για τον έλεγχο μιας μηχανής και την εκτέλεση μιας διαδικασίας, ενώ τα τελευταία χρόνια αντιμετωπίζονται ως «εκφράσεις συνταγών» (Denning, 2017, p. 37) για τη διεξαγωγή μιας διαδικασίας, χωρίς να απαιτείται γνώση υπολογιστικών μοντέλων. Με άλλα λόγια, ενώ οι ακολουθίες εντολών ήταν άρρηκτα συνδεδεμένες με γλώσσα προγραμματισμού, σήμερα θεωρείται ότι απευθύνονται σε κάθε είδους επεξεργαστή πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων και έτσι, η «μετάφρασή» τους σε γλώσσα προγραμματισμού, είναι πλέον προαιρετική.

Πίνακας 1: Διαφορές παραδοσιακής και σύγχρονης αντίληψης για την ΥΣ

Παραδοσιακή ΥΣ	Νέα ΥΣ
<ul style="list-style-type: none"> • Διανοητικές συνήθειες και αρχές, με απώτερο σκοπό τον σχεδιασμό χρήσιμου λογισμικού • Δεξιότητες σχεδιασμού και ανάπτυξης λογισμικού • Νέα προσέγγιση στη διεξαγωγή της επιστημονικής έρευνας • Απαραίτητη η γνώση του επιστημονικού τομέα για τον σχεδιασμό υπολογισμών σ' αυτόν • Οι τελικοί χρήστες μόνο εκτελούν τον αλγόριθμο, χωρίς να έχουν επίγνωση του μηχανισμού του • Η εμπλοκή σε υπολογιστική διαδικασία χωρίς την επίγνωσή της δε συνιστά ΥΣ 	<ul style="list-style-type: none"> • Διατύπωση προβλημάτων με τέτοιο τρόπο, ώστε οι λύσεις τους να μπορούν να αναπαρασταθούν σε ένα υπολογιστικό μέσο • Σύνολο δεξιοτήτων για την επίλυση προβλημάτων • Χρήσιμη στις επιστήμες και σε περισσότερα περιβάλλοντα και πεδία • Οι αρχές της ΥΣ συμβάλλουν στην εξεύρεση λύσεων σε οποιονδήποτε τομέα • Οι άνθρωποι εμπλέκονται σε βήμα προς βήμα διαδικασίες και σκέφτονται υπολογιστικά, ακόμα και υποσυνείδητα • Η εμπλοκή σε οποιαδήποτε, δυνητικά υπολογιστική, διαδικασία, συνιστά υποσυνείδητη ΥΣ

Με αφετηρία τη συναίνεση ότι η ΥΣ αποτελεί μια δραστηριότητα που σχετίζεται με την επίλυση προβλημάτων, αλλά δεν περιορίζεται σ' αυτή, θεμελιώδης λίθος της θεωρείται η αφαίρεση, που δίνει τη δυνατότητα σε κάποιον να αντιμετωπίζει την πολυπλοκότητα, μέσω της σύλληψης των κοινών ιδιοτήτων ενός συνόλου αντικειμένων, αποκρύπτοντας ταυτόχρονα τις ασήμαντες διαφορές που υπάρχουν ανάμεσά τους. Κεντρικής σημασίας είναι και η ικανότητα να σκέφτεται κανείς με αλγοριθμικό τρόπο, όπως και η ικανότητα αποσύνθεσης προβλημάτων. Ευρέως αποδεκτή ως συνιστώσα της ΥΣ είναι και η ικανότητα γενίκευσης, ως ένας τρόπος επίλυσης νέων προβλημάτων, που βασίζεται σε προηγούμενες λύσεις και προηγούμενες εμπειρίες, όπως και εκείνη της αξιολόγησης, ως μιας διαδικασίας προβληματισμού του σκεπτόμενου υπολογιστικά σχετικά με το πρόβλημα και τη λύση του.

Παρά τη σχετική ομοφωνία της επιστημονικής κοινότητας, αρκετά ζητήματα που σχετίζονται με την ΥΣ είναι ακόμα υπό διερεύνηση. Πέρα από την αναζήτηση ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού της, που σε μεγάλο βαθμό έχει επέλθει συμφωνία, ερωτήματα παραμένουν σχετικά με τον βέλτιστο τρόπο αξιολόγησής της, για τον βαθμό στον οποίο μπορεί να ωφελήσει κάθε άνθρωπο, αλλά και για το είδος των προβλημάτων στα οποία μπορεί να βρίσκει εφαρμογή. Η συλλογή περισσότερων εμπειρικών δεδομένων αναμένεται να επιβεβαιώσει ή να διαψεύσει το αρχικό όραμα

της Wing (2006) για την εισαγωγή της ΥΣ στην υποχρεωτική εκπαίδευση σε περίοπτη θέση δίπλα στην ανάγνωση, τη γραφή και την αριθμητική, καθώς, όπως δήλωσε και η ίδια αρκετά αργότερα, «έχουμε ακόμα δρόμο μέχρι την καθιέρωση της ΥΣ» (Wing, 2016).

Αναφορές

- Académie des Sciences. (2013) *L'enseignement de l'informatique en France - Il est urgent de ne plus attendre*. Retrieved from http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rads_0513.pdf
- Aho, A. V. (2012) Computation and computational thinking. *Computer Journal*, 55, 832-835.
- Astrachan, O. (2009) Out-of-the-box: cogito ergo hack. *inroads (ACM SIGCSE Bulletin)*, 41(2), 80-81.
- Barr, V. & Stephenson, C. (2011) Bringing Computational Thinking to K-12: What is Involved and What is the Role of the Computer Science Education Community? *ACM Inroads*, 2(1), 48-54.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A. & Engelhardt, K. (2016) *Developing computational thinking in compulsory education - Implications for policy and practice*. EUR 28295 EN.
- Bower, M., Wood, L. N., Lai, J. W., Howe, C., Lister, R., Mason, R., Highfield, K. & Veal, J. (2017) Improving the Computational Thinking Pedagogical Capabilities of School Teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 42(3), 53-72.
- Computer Science Teachers Association (CSTA) and the International Society for Technology in Education (ISTE). (2011) *Computational Thinking: Teacher Resources. Second Edition*. Retrieved from http://www.iste.org/docs/ct-documents/ct-teacher-resources_2ed-pdf.pdf?sfvrsn=2.
- Csizmadia, A., Curzon, P., Dorling, M., Humphreys, S., Ng, T., Selby, C. & Woollard, J. (2015) *Computational thinking A guide for teachers*. London: Hodder Education. Retrieved from <http://community.computingatschool.org.uk/files/6695/original.pdf>
- CSTA Standards Task Force. (2016) *[Interim] CSTA K-12 Computer Science Standards*. New York: CSTA.
- Denning, P. (1999). *Computer Science: The Discipline*. Retrieved from <http://denninginstitute.com/pjd/PUBS/ENC/cs99.pdf>
- Denning, P. (2009) The profession of IT: Beyond computational thinking. *Communications of the ACM*, 52(6), 28-30.

- Denning, P. (2017) Remaining Trouble Spots with Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 60(6), 33-39.
- Dijkstra, E. (1979) My hopes for computing science. (EWD709). In *Proceedings of the 4th international conference on Software engineering (ICSE '79)* (pp. 442-448). IEEE Press, Piscataway, NJ, USA. Retrieved from <https://www.cs.utexas.edu/users/EWD/ewd07xx/EWD709.PDF>
- diSessa, A. A. (2000). *Changing minds: Computers, learning and literacy*. Cambridge: MIT Press.
- European Commission. (2016). *A New Skills Agenda for Europe. Working together to strengthen human capital, employability and competitiveness*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-381-EN-F1-1.PDF>
- Feurzeig, W. & Papert, S. A. (2011). Programming-languages as a conceptual framework for teaching mathematics. *Interactive Learning Environments*, 19(5), 487-501.
- Forsythe, G. (1968). What to Do Till the Computer Scientist Comes. *The American Mathematical Monthly*, 75, pp. 454-462.
- Google (n.d). Exploring computational thinking. <https://edu.google.com/resources/programs/exploring-computational-thinking/>
- Grover, S. & Pea, R. (2013) Computational Thinking in K-12: A Review of the State of the Field. *Educational Researcher*, 42(1), 38-43.
- Grover, S., Cooper, S. & Pea, R. (2014) Assessing Computational Learning in K-12. In *Proceedings of the 2014 Conference on Innovation; Technology in Computer Science Education* (pp. 57-62). ACM USA.
- Grover, S. (2018) *A Tale of Two CTs (and a Revised Timeline for Computational Thinking)*. BLOG@CACM. Retrieved from <https://cacm.acm.org/blogs/blog-cacm/232488-a-tale-of-two-cts-and-a-revised-timeline-for-computational-thinking/fulltext>
- Guzdial, M. (2008) Paving the way for computational thinking. *Communications of the ACM*, 51(8), 25-27.
- Guzdial, M. (2015) Learner-centered design of computing education: research on computing for everyone. *Synthesis Lectures on Human Centered Informatics*, 8(6), 1-165.
- Hemmeldinger, D. (2010) A plea for modesty. *ACM Inroads*, 1(2), 4-7.
- Informatics Europe and ACM Europe (2013). *Informatics education: Europe cannot afford to miss the boat*. Retrieved from <http://www.informatics-europe.org/images/documents/informatics-education-acm-ie.pdf>
- Jones, E. (2006). The trouble with computational thinking. Retrieved from <https://c.ymcdn.com/sites/www.csteachers.org/resource/resmgr/JonesCTOnePager.pdf>

- Kafai, Y. B. (2016). From computational thinking to computational participation in K-12 education. *Communications of the ACM*, 59 (8), 26-27.
- Kay, A. & Goldberg, A. (1977) Personal dynamic media. *IEEE Computer*, 10, 31-41.
- Kitchenham, B. (2004) *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Joint Technical Report, Keele University TR/SE-0401 and NICTA 0400011T.1. Retrieved from <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>
- Knuth, D. (1974) Computer science and its relation to mathematics. *American Mathematical Monthly*, 81(4), 323–343. Retrieved from https://www.maa.org/sites/default/files/pdf/upload_library/22/Ford/DonaldKnuth.pdf
- Kurland, D. M., Pea, R., Clement, C. & Mawby, R. (1986) A study of the development of programming ability and thinking skills in high school students. *Journal of Educational Computing Research*, 2(4), 429-458.
- Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J. & Werner, L. (2011) Computational thinking for youth in practice. *ACM Inroads*, 2(1), 32-37.
- Lockwood, J. & Mooney, A. (2018) Computational Thinking in Education: Where does it fit?. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 2(1), 41-60.
- Lu, J. J. & Fletcher, G. H. (2009) Thinking about computational thinking. In *Proceedings of the 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 260-264). New York: ACM
- Mannila, L., Dagiene, V., Demo, B., Grgurina, N., Mirolo, C., Rolandsson, L. & Settle, A. (2014) Computational Thinking in K-9 Education. In *Proceedings of the Working Group Reports of the 2014 on Innovation & Technology in Computer Science Education Conference (ITiCSE-WGR '14)* (pp 1-29), Clear Clear, A. & Lister, R. (Eds.). ACM, New York, NY, USA.
- Mohaghegh, M. & McCauley, M. (2016) Computational Thinking: The Skill Set of the 21st Century. *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*, 7(3), pp.1524-1530.
- National Research Council. (2010) *Committee for the Workshops on Computational Thinking: Report of a workshop on the scope and nature of computational thinking*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council. (2011) *Committee for the Workshops on Computational Thinking: Report of a workshop of pedagogical aspects of computational thinking*. Washington, DC: National Academies Press.
- Newell, A., Perlis, A. J. & Simon, H. A. (1967) Computer Science. *Science*, 157(3795), 1373-1374.

- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York: Basic Books.
- Papert, S. (1996). An exploration in the space of mathematics educations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 1(1), 95-123.
- Perlis, A. (1962) The computer in the university. In M. Greenberger (Ed.). *Computers and the World of the Future* (pp. 180-219). Cambridge, MA: MIT Press
- Petticrew, M. & Roberts, H. (2006) *Systematic reviews in the social sciences: a practical guide*. Malden MA: Blackwell.
- Polanyi, M. (1966) *The Tacit Dimension*. University of Chicago Press.
- Polya, G. (1945) *How to solve it*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Retrieved from https://notendur.hi.is/hei2/teaching/Polya_HowToSolveIt.pdf
- Royal Society. (2012). *Shut down or restart: The way forward for computing in UK schools*. Retrieved from <http://royalsociety.org/education/policy/computing-in-schools/report>
- Scherlis, W. & Shaw, M. (1983) Mathematics Curriculum and the Needs of Computer Science. In Ralston A., Young G.S. (eds) *The Future of College Mathematics* (pp. 89-97). Springer, New York, NY.
- Selby, C. & Woollard, J. (2014) Computational Thinking: The developing definition. In *Proceedings of the 45th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE 2014*, 5-8 March, Atlanta GA.
- Smith, M. (2016). *Computer Science For All*. Retrieved from <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/01/30/computer-science-all>
- Tedre, M. & Denning, P. (2016) The long quest for computational thinking. In *Proceedings of the 16th Koli Calling International Conference on Computing Education Research (Koli Calling '16)* (pp. 120-129). ACM, New York, NY, USA.
- The College Board. (2017). *AP Computer Science Principles*. Retrieved from <https://apcentral.collegeboard.org/pdf/ap-computer-science-principles-course-and-exam-description.pdf>
- Vee, A. (2013). Understanding computer programming as a literacy. *Literacy in Composition Studies*, 1(2), 42-64.
- Voogt, J., Fisser, P., Good, J., Mishra, P. & Yadav, A. (2015) Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies*, 20(4), 715-728.
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L. & Wilensky, U. (2016) Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127-147.

- Werner, L., Denner, J. & Campe, S. (2012) The Fairy Performance Assessment: Measuring Computational Thinking in Middle School. In *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education (SIGCSE '12)* (pp. 215-200). ACM, New York, NY, USA.
- Wilson, C., Sudol, L. A., Stephenson, C. & Stehlik, M. (2010) *Running on empty: The failure to teach K-12 computer science in the digital age*. New York, NY: The Association for Computing Machinery
- Wilson, K. (1989) Grand challenges to computational science. *Future Generation Computer Systems*, 5(2-3), 171-189.
- Wing, J. M. (2006) Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Wing, J. M. (2008) Computational thinking and thinking about computing. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 366(1881), 3717-3725.
- Wing, J. M. (2011). Research notebook: Computational thinking—What and why?. *The Link Magazine*, Spring. Carnegie Mellon University, Pittsburgh. Retrieved from <https://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>.
- Wing, J. M. (2016). *Computational thinking, 10 years later*. Microsoft Research Blog (March 23, 2016). Retrieved from https://blogs.msdn.microsoft.com/msr_er/2016/03/23/computational-thinking-10-years-later/
- Yadav, A., Mayeld, C., Zhou, N., Hambruch, S. & Korb, J. T. (2014). Computational thinking in elementary and secondary teacher education. *Transactions on Computing Education*, 14(1), 1-16.
- Ya ar, O. (2018). A new perspective on computational thinking. *Communications of the ACM*, 61(7), 33-39.