

**Προσομοιωτής μηχανοστασίου Very Large Crude Oil Carrier της Σχολής  
Μηχανικών της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας**

**Δ. Γουργούλης, Γ. Γκοτζαμάνης, Ξ. Βουβαλίδης, Χ. Σχοινάς**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Είναι αναμφισβήτητο, ότι η καλή εκπαίδευση και κατάρτιση σε οποιαδήποτε βιομηχανία είναι κρίσιμα στοιχεία για την επιτυχία της. Όπως όλες οι άλλες βιομηχανίες, έτσι και η ναυτιλιακή απαιτεί εκπαιδευμένο και ικανά καταρτισμένο ανθρώπινο δυναμικό σε αποδεκτά για αυτήν επίπεδα, με τις γνώσεις και καινοτομίες που φέρνει η μεταβολή του χρόνου.

Ο *I.M.O.* προσπαθώντας να μειώσει το χάσμα εκπαίδευσης-εργασίας ή, ακριβέστερα, το χάσμα εκπαίδευσης / κατάρτισης - εργασίας τροποποιεί τα πρότυπα κατάρτισης, πιστοποίησης και τήρησης φυλακής (βάρδια - υπηρεσία) για τους ναυτικούς με την *STCW 1995* [1], η οποία εισάγει τις απαιτήσεις ικανότητας εκτός από τις απαιτήσεις γνώσης στις οποίες βασίζονταν η προηγούμενη *STCW* [1] του 1978. Έτσι, η *STCW 95* [1] ορίζει ότι δεν είναι αρκετό για το προσωπικό πλοίου με ευθύνη για την ασφάλεια και την πρόληψη ρύπανσης να ξέρει πώς γίνεται κάτι (γνώση), αλλά και να είναι σε θέση να το κάνει (ικανότητα).

Οι νέες τεχνολογίες προσφέρουν όλο και περισσότερες δυνατότητες στο να πλησιάσει η εκπαίδευση την πράξη. Μία από αυτές τις δυνατότητες είναι η προσομοίωση διαφόρων λειτουργιών του πλοίου σε προσομοιωτές. Αυτή τη δυνατότητα διαθέτει από το 2001 η Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας μέσω του εγκατεστημένου σε αυτή *Full Mission Engine Room Simulator*.

Η απεικόνιση μέσω προσομοίωσης της συνολικής συμπεριφοράς της μηχανής ενός πλοίου και συγκεκριμένα ενός *Very Large Crude Oil Carrier (V.L.C.C)* κατά τη διάρκεια της εκκίνησης, της αναστροφής, της λειτουργίας, πλεύσης και της κράτησης, υπό το καθεστώς συνεχών δυσλειτουργιών – ανωμαλιών βοηθάει στην πρόληψη βλαβών, αλλά κυρίως στην αρτιότερη εκπαίδευση των μηχανικών Εμπορικού Ναυτικού, με

άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους λειτουργίας του πλοίου, την αύξηση της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας και την αποτροπή κινδύνων για το περιβάλλον.

Σκοπός του άρθρου αυτού, είναι η παρουσίαση των δυνατοτήτων του εγκατεστημένου προσομοιωτή μηχανοστασίου ενός *V.L.C.C.* Η εκπαίδευση των σπουδαστών είναι πλήρως εναρμονισμένη με τις προδιαγραφές του *I.M.O. Model Course 2.07* [2] ενώ παράλληλα έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός εκπαιδευτικών σεναρίων – ασκήσεων όπως η διάγνωση βλαβών κυλίνδρων με τη χρήση δυναμό δεικτικών διαγραμμάτων και η σωστή ρύθμιση των *P.I.D.* ελεγκτών που αποτελούν και την ραχοκοκαλιά της ορθής λειτουργίας των αυτοματισμών ενός πλοίου.

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η εισαγωγή των νέων τεχνολογιών [3, 4] στην ναυτιλιακή βιομηχανία και η ραγδαία ανάπτυξή τους επιβάλλει συνεχή αναθεώρηση των προγραμμάτων εκπαίδευσης και κατάρτισης αλλά και εκσυγχρονιστική διαφοροποίηση των μεθόδων διδασκαλίας. Φαίνεται αρχικά ότι η βασική ναυτική τέχνη και οι δεξιότητες πρακτικής μηχανικής περνούν σε δεύτερη θέση με την αυξανόμενη αυτοματοποίηση και τα ηλεκτρονικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Είναι σημαντικό, επομένως, για όλα τα μέλη – εμπλεκόμενους φορείς της ναυτιλιακής κοινότητας, να γνωρίζουν τα ζητήματα του ανθρώπινου παράγοντα που συνδέονται με την διεπαφή ανθρώπων μηχανών, και να ενθαρρύνουν - προωθήσουν υψηλότερα πρότυπα εκπαίδευσης και κατάρτισης, καθώς και την ανάπτυξη ενός κοινού πνεύματος επαγγελματισμού στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

Οι αυξημένες απαιτήσεις εκπαίδευσης τείνουν να επιβάλουν μια ανεπίτρεπτη αύξηση της διάρκειας σπουδών που μπορεί να αντιμετωπιστεί ίσως μόνο με την εισαγωγή των νέων τεχνολογιών ως εκπαιδευτικό εργαλείο «προστιθεμένης εκπαιδευτικής αξίας», χωρίς να εκτοπίζονται οι παραδοσιακές μεθοδολογίες και πρακτικές διδασκαλίας. Οι παραδοσιακές δεξιότητες διδασκαλίας του καλά εκπαιδευμένου εκπαιδευτικού παραμένουν τα θεμέλια οποιουδήποτε βασισμένου στην ποιότητα εκπαιδευτικού συστήματος. Η νέα τεχνολογία πρέπει να αντιμετωπισθεί ως συμπληρωματικό μεθοδολογικό εκπαιδευτικό εργαλείο στα παραδοσιακά μέσα και όχι αντικαταστάτης τους. Η πρόκληση που αντιμετωπίζει ο εκπαιδευτικός είναι να καθοριστεί που η τεχνολογία μπορεί να

ενισχύσει ή να βελτιώσει την κατάσταση εκμάθησης του σπουδαστή, κατά τρόπο ενδεδειγμένο και οικονομικώς αποδοτικό.

Ένα από τα βασικότερα νέας τεχνολογίας εργαλεία εκπαίδευσης είναι οι προσομοιωτές οι οποίοι μπορούν να προσθέσουν ιδιαίτερη συγκεκριμένη αξία στη θεωρητική κατάρτιση με την προσομοίωση καταστάσεων που δεν μπορούν να αναληφθούν στον εργασιακό χώρο για λόγους ασφάλειας και οικονομικούς αν και η χρήση τους είναι συχνά περιορισμένη στο πεδίο, λόγω των μεγάλων αριθμών σπουδαστών που εκπαιδεύονται και μιας έλλειψης καλά εκπαιδευμένων χειριστών προσομοιωτών.

Η χρήση των προσομοιωτών έχει αποδειχθεί [5, 6], κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, μια αποτελεσματική μέθοδος κατάρτισης μηχανικών, ειδικά όπου μία λάθος κρίση – απόφαση μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη ζωή, το περιβάλλον και το πλοίο. Ένας προσομοιωτής μπορεί, σε ορισμένες καταστάσεις, να συμπίεσει σε μερικές εβδομάδες τα έτη εμπειρίας και να δώσει την ικανότητα στον μηχανικό να χειριστεί αυτές τις καταστάσεις καθώς και τη γνώση των, τυπικών για ένα πραγματικό μηχανοστάσιο, δυναμικών και διαδραστικών διαδικασιών.

Η κατάλληλη κατάρτιση σε προσομοιωτές μπορεί να μειώσει τα ατυχήματα και να βελτιώσει την αποδοτικότητα, δίνοντας στους μηχανικούς την απαραίτητη εμπειρία και εμπιστοσύνη στην εργασία τους.

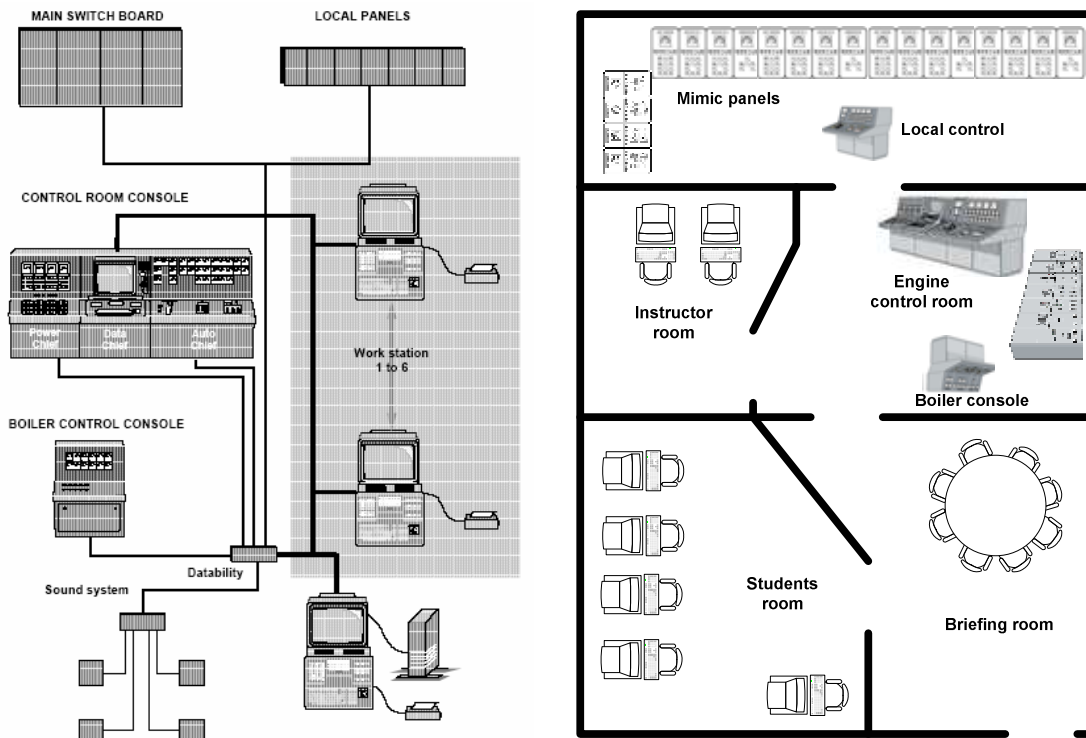
Ο καλύτερος τρόπος να αποκτηθεί η πρακτική εμπειρία είναι η πραγματική ζωή σε ένα πραγματικό μηχανοστάσιο. Σήμερα, όμως οι απαιτήσεις αποδοτικότητας δεν επιτρέπουν αυτό το είδος της εν πλω εκπαίδευσης και ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητη η κατάρτιση σε έναν προσομοιωτή. Η λήψη αποφάσεων σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης, όπου οι αποφάσεις και τα αποτελέσματά τους ελέγχονται, ανοίγει μια μοναδική δυνατότητα να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των αποφάσεων.

Οι ευκαιρίες να πειραματιστεί κανείς σε συγκεκριμένα προβλήματα και να αποκτηθούν απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως: «τι συμβαίνει εάν...;» χωρίς καταστροφή των συστατικών και την κατάληξη σε υψηλές δαπάνες είναι μοναδικές.

Σύμφωνα με τον κώδικα *STCW A-I/12* [1, 7] η χρήση των προσομοιωτών, εκτός αυτού για *RADAR – ARPA* κατά την εκπαίδευση δεν είναι υποχρεωτική, απλώς αυτή διευκολύνει την εκτέλεση του εκπαιδευτικού προγράμματος και επιφέρει θετικά αποτελέσματα. Ο προσομοιωτής μηχανοστασίου της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού Μακε-

δονίας ικανοποιεί τα γενικά πρότυπα λειτουργίας – αξιολόγησης ικανότητας που απαιτούνται από τον κώδικα *STCW A-I/12 & B-I/12* [1, 7].

### ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ



Εικόνα 1: Γενική δομή του προσομοιωτή μηχανής της AEN Μακεδονίας [8].

Ο προσομοιωτής μηχανοστασίου της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας απεικονίζει τη συμπεριφορά ενός δίχρονου πεντακύλινδρου αργόστροφου κινητήρα diesel (εν σειρά), τύπου *MAN B&W 5L90MC*, ισχύος 17.4 MW κάτω από συνεχείς δυσλειτουργίες και σφάλματα [8] όπως απαιτείται από τους σχεδιαστές της εν λόγω εταιρείας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο προσομοιωτής μηχανοστασίου είναι πιστοποιημένος από την εταιρία *MAN B&W* και από τον Νορβηγικό νηογνώμονα *Det Norske Veritas (DNV)* το οποίο σημαίνει ότι η απεικόνιση, η λειτουργία και η αντίδραση των συστημάτων και υποσυστημάτων είναι απόλυτες ρεαλιστικές. Η μηχανή και τα βοηθητικά δίκτυα προσομοιώνονται σε ένα πλοίο που έχει τα χαρακτηριστικά ενός *V.L.C.C.* με συνολικό dead weight 183.61 kton, trim 0.22 m και draft 18.73 m. Το συνολικό φορ-

τίο που μπορεί να μεταφερθεί είναι 176 kton σε 4 κεντρικές και 10 πλευρικές δεξαμενές.

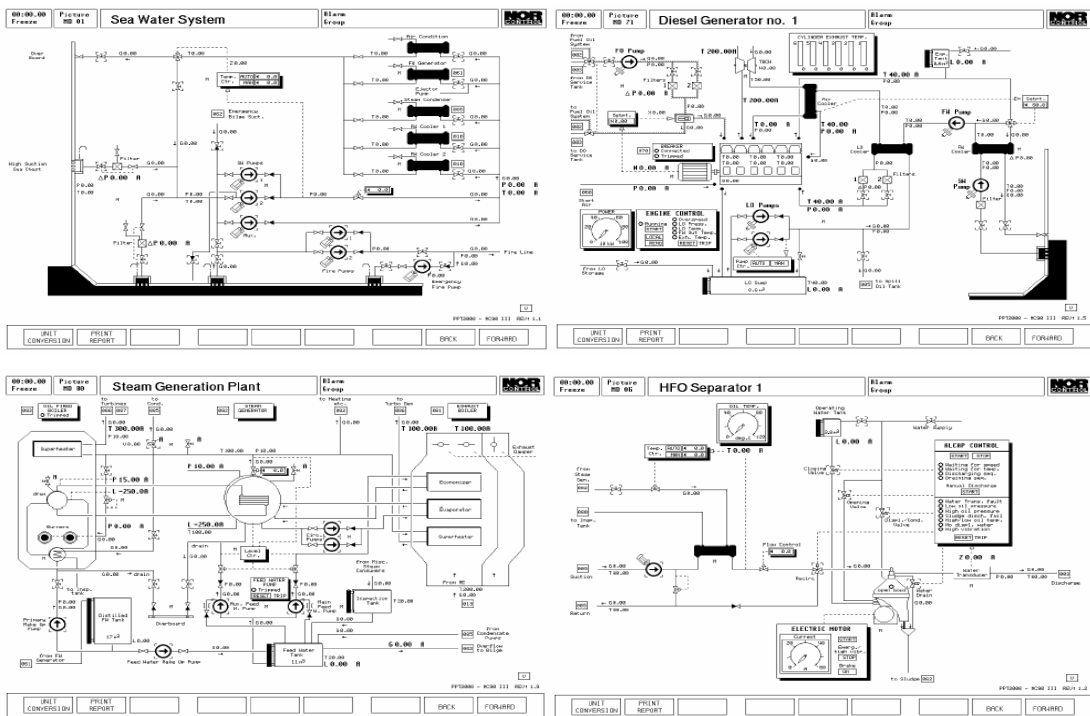
Η εικόνα 1 [8] παρουσιάζει τη γενική δομή του προσομοιωτή μηχανοστασίου. Ο κατασκευαστής του προσομοιωτή μηχανοστασίου είναι η εταιρεία *Kongsberg Maritime*, διαθέτει 7 θέσεις εργασίες – σταθμούς ελέγχου (5 θέσεις εργασίες για τους σπουδαστές, 1 θέση ελέγχου για τη γέφυρα και 1 θέση ελέγχου για το *engine control room*), τοπικό χειριστήριο ελέγχου μηχανής, *mimic panels* βοηθητικών μηχανημάτων και κυρίας μηχανής, κεντρική κονσόλα ελέγχου *engine room*, κονσόλα ελέγχου *boiler* και ηλεκτροστάσιο. Ο προσομοιωτής λειτουργούσε σε περιβάλλον *UNIX*, μέχρι το τέλος του ακαδημαϊκού έτους 2008-2009, ακολουθεί το υπολογιστικό μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης *OTISS* [8] και το γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης είναι της εταιρείας *EMULA* [8]. Υπάρχει η δυνατότητα να γίνει γραφική αναπαράσταση 62 διαφορετικών υποσυστημάτων βοηθητικών μηχανημάτων – συστημάτων κυρίας μηχανής. Από το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010, ο προσομοιωτής λειτουργεί ήδη σε περιβάλλον *Windows* χρησιμοποιώντας το καινούργιο software της εταιρείας *Kongsberg Maritime, Neptune*. Το νέο πρόγραμμα ακολουθεί τεχνικές σύγχρονης και ασύγχρονης τηλε-εκπαίδευσης και δίνει την δυνατότητα στον εκπαιδευτή να ελέγχει με γραφικό περιβάλλον συνολικά τον προσομοιωτή.

Η εικόνα 2 εμφανίζει ενδεικτικά ορισμένα από τα δίκτυα που προσομοιώνονται. Ειδικότερα, παρουσιάζεται το γραφικό περιβάλλον του δικτύου θαλασσινού νερού (*Sea water system*), της ηλεκτρογεννήτριας (*Diesel generator*), το συνολικό πλάνο παραγωγής ατμού (*Steam generation plant*) και ο διαχωριστήρας πετρελαίου (*HFO separator*).

Αντικειμενικός στόχος του προσομοιωτή μηχανοστασίου στην AEN Μακεδονίας είναι κάθε σπουδαστής να αποδεικνύει τη ικανότητα του να εκτελέσει έναν σενάριο - άσκηση ακίνδυνα, αποτελεσματικά και με ασφάλεια και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκπαιδευτών – αξιολογητών [1, 7, 9]. Οι εκπαιδευτές – αξιολογητές που λειτουργούν σήμερα τον προσομοιωτή μηχανοστασίου της AEN Μακεδονίας έχουν τα κατάλληλα προσόντα – θαλάσσια εμπειρία – επίπεδο εκπαίδευσης και την αντίστοιχη αξιολόγηση ικανότητας όπως καθορίζεται από τον κώδικα *STCW A-I/6 & B-I/6* [1].

Οι ασκήσεις που ήδη [10-15] έχουν σχεδιαστεί αλλά και το γενικότερο πρόγραμμα εκπαίδευσης που ακολουθείται έχουν αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να σχετίζο-

νται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό με καθήκοντα και πρακτικές που εφαρμόζονται στο πλοίο.



Εικόνα 2: Ενδεικτικά δίκτυα γραφικού περιβάλλοντος προσομοιωτή μηχανοστασίου [8].

Για την καλύτερη παρακολούθηση – πιστοποίηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας στην ΑΕΝ Μακεδονίας ακολουθείται το πρόγραμμα εκπαίδευσης που υπάρχει ενσωματωμένο στο *IMO Model Course 2.07 Edition 2002* (Πίνακας I, [2]) με κάποιες τροποποιήσεις στη χρονική διάρκεια των ενοτήτων καθώς λόγω περιορισμένου αριθμού θέσεων εργασίας αλλά και κατάλληλου αριθμού πιστοποιημένων εκπαιδευτών δεν επαρκεί ο χρόνος για την πλήρη εφαρμογή των προτεινόμενων διδακτικών ωρών. Ωστόσο οι χρονικές τροποποιήσεις που γίνονται στην ΑΕΝ Μακεδονίας στο ακολουθούμενο πρόγραμμα εκπαίδευσης (Πίνακας I) από 80 διδακτικές ώρες σε 30 ώρες δεν αλλοιώνουν την ικανότητα των σπουδαστών καθώς οι τελευταίοι έχουν το επαρκές θεωρητικό επίπεδο που απαιτείται για την ορθή παρακολούθηση της εκπαίδευσης – κατάρτισης στον προσομοιωτή μηχανοστασίου.

Ενδεικτικά, για τη 4<sup>η</sup> προτεινόμενη διδακτική ενότητα (Πίνακας I) και για τη ρεαλιστική προσέγγιση της μηχανής θεωρείται σαν βάση προγραμματισμού για το αρχικό σενάριο, ότι γίνεται εκκίνηση της μηχανής μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα μη λειτουργίας της. Αφού πραγματοποιούνται και καταγράφονται όλες οι απαραίτητες διαδικασίες για την ορθή εκκίνηση – προθέρμανση της μηχανής, προετοιμάζονται όλα τα

βοηθητικά δίκτυα, δίνεται εντολή για δοκιμαστική εκκίνηση και τελική αναχώρηση του πλοίου από το λιμάνι. Στη συνέχεια αυξάνονται οι στροφές της μηχανής και αφού πραγματοποιούνται τα σενάρια *slow ahead* και *full ahead* ξεκινά η διαδικασία αποφόρτισης της μηχανής – κατάπλευσης στο λιμάνι. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας *full ahead* πραγματοποιείται αλλαγή των καιρικών συνθηκών για να διαπιστωθεί η αντίδραση των σπουδαστών σε περιπτώσεις απότομων αλλαγών στις υφιστάμενες περιβαλλοντικές εξωτερικές συνθήκες. Στο τέλος, εκτελείται η διαδικασία *cargo pumping* με προετοιμασία των αντίστοιχων δικτύων όπως αυτού του αδρανές αερίου [16, 17]. Ο μέσος χρόνος που απαιτείται από κάθε σπουδαστή για την ορθή ολοκλήρωση της 4<sup>ης</sup> διδακτικής ενότητας είναι συνήθως 5 – 6 ώρες με αυξητικές συνήθως τάσεις.

### ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Πρόγραμμα Εκπαίδευσης Προσομοιωτή Μηχανοστασίου

A/A ενότητας			IMO Model Course 2.07[2]	AEN Μακεδονίας
1.	Introduction		1 h	1 h
2.	Familiarization	Plant arrangements, Instrumentation Controls, Operational procedures	6 h	3 h
3.	Operation	General procedures, Auxiliary units – systems, Diesel generator, Steam boiler Steam turbo generator, Steam cargo turbine, Main propulsion diesel engine	13 h	5 h
4.	Main engine operation		10 h	6 h
5.	Trouble-shooting		20 h	10 h
6.	Maintain a safe engineering watch	Duties associated with taking over and accepting a watch Routines duties undertaken during a watch Duties associated with handing over a watch	30 h	5 h

Κατά τη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> και 6<sup>ης</sup> διδακτικής ενότητας (Πίνακας Ι) στον προσομοιωτή μηχανοστασίου στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας οι σπουδαστές εκπαιδεύονται πάνω στη συνολική συμπεριφορά της προωστήριας μηχανής όταν προκαλούνται σε αυτήν:

- φθορές στα βασικά τμήματα της (βαλβίδες – μηχανισμοί κίνησης, έμβολα – ελατήρια εμβόλων, διωστήρας, στροφαλοφόρος – εκκεντροφόρος άξονας),
- αλλαγές στις βασικές παραμέτρους λειτουργίας της (καύση, σάρωση, υπερπλήρωση, έγχυση καυσίμου),

- βλάβες στα βοηθητικά μηχανήματα και μέρη των δικτύων της (δίκτυο πετρελαίου, δίκτυο λίπανσης, δίκτυο πεπιεσμένου αέρα, δίκτυο ψύξεως γλυκού νερού, δίκτυο θαλασσινού νερού, σύστημα ατμού, δίκτυο σεντινών, δίκτυο αερισμού μηχανοστασίου, δίκτυο ψυκτικής εγκατάστασης),
- ανεπιθύμητες ενέργειες και ανωμαλίες στο δίκτυο των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (Diesel Generator, Turbo Generator, Shaft generator) και όλων των δικτύων που υποστηρίζουν αυτά.

Για την ορθότερη αντιμετώπιση της λειτουργίας της μηχανής έχουν σχεδιαστεί σενάρια συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας το καθένα [10-15], στα οποία υπάρχει η δυνατότητα μεταβλητού χρονικού προγραμματισμού εμφάνισης των επιλεγόμενων βλαβών και ανωμαλιών. Ο εγκατεστημένος προσομοιωτής μηχανοστασίου της AEN Μακεδονίας έχει τη δυνατότητα εισαγωγής 454 βλαβών – ανωμαλιών. Από τις βλάβες αυτές οι 142 έχουν τη δυνατότητα αλλαγής από 100% (κανονική λειτουργία) σε 0% (παύση λειτουργίας) ενώ όλες οι υπόλοιπες έχουν τη δυνατότητα προοδευτικής αύξησης του ρυθμού επιδείνωσης της λειτουργίας. Οι αντίστοιχες πιθανές προειδοποιήσεις (alarm) είναι 386.

Η συνεχής αλλαγή στη συμπεριφορά της μηχανής, εξαιτίας των προγραμματισμένων βλαβών, με την ταυτόχρονη ανάλυση – επεξήγηση από την πλευρά των εκπαιδευτών προς τους σπουδαστές των εμφανιζόμενων συναγεργμών αποτελεί τη βάση για:

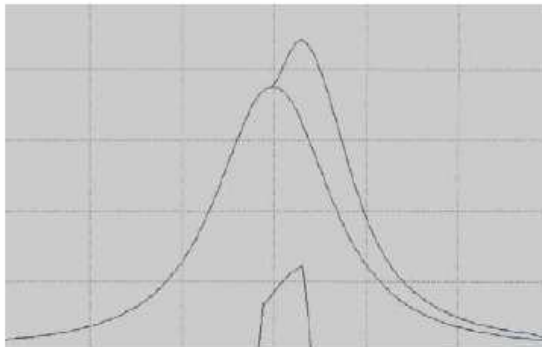
- τη δημιουργία πινάκων προειδοποιήσεων [13, 15] που εμφανίζονται πιο συχνά και οι οποίες είναι σημαντικές για τη ορθή λειτουργία της μηχανής,
- τη δημιουργία σχεσιακών βάσεων δεδομένων στις οποίες κωδικοποιούνται οι πραγματοποιούμενες βλάβες – ανωμαλίες με τα σήματα συναγεργμού και τα αντίστοιχα δίκτυα - υποσυστήματα στα θα πρέπει να επεμβαίνει ο χειριστής βάρδιας,
- την ιεράρχηση του βαθμού επικινδυνότητας των διαφόρων λειτουργιών – ανωμαλιών, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με τις διαδικασίες αυξομείωσης των λειτουργικών παραμέτρων του μηχανής (*slowdown, shutdown*),
- την ενίσχυση της ασφάλειας σε μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε πλοία τύπου *V.L.C.C.*,
- την αξιολόγηση του ανθρώπινου δυναμικού που ασχολείται με το χειρισμό της μηχανής [18],



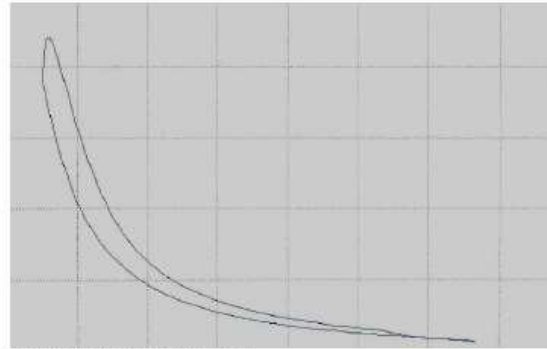
- την παραμετροποίηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά (σωματική – πνευματική – ψυχική) κατά τη διάρκεια της βάρδιας.

### ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

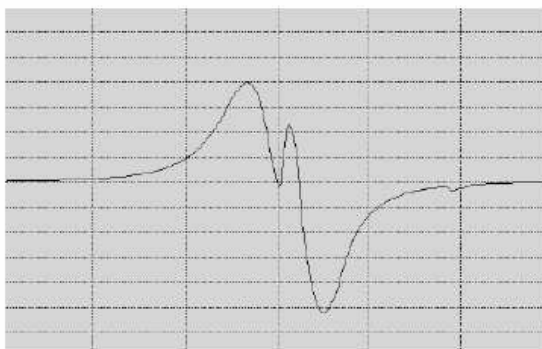
Ένα από τα σημαντικότερα και ασφαλέστερα εργαλεία για τη διάγνωση βλαβών στη λειτουργία της μηχανής είναι το δυναμοδεικτικό διάγραμμα κάθε κυλίνδρου. Με τη βοήθεια του προσομοιωτή [8] και σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας της μηχανής μπορούμε να πάρουμε το δυναμοδεικτικό διάγραμμα  $p-v$  (Εικόνα 3), το διάγραμμα  $p-\varphi$  (Εικόνα 4) καθώς και το διάγραμμα  $dp-\varphi$  (Εικόνα 5) και των πέντε κυλίνδρων.



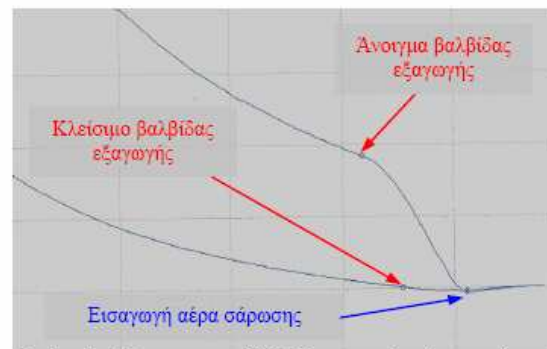
Εικόνα 3: Διάγραμμα  $p-\varphi$



Εικόνα 4: Διάγραμμα  $p-v$



Εικόνα 5: Διάγραμμα  $dp-\varphi$



Εικόνα 6: Διάγραμμα  $p-v$ , ΚΝΣ δεύτερος χρόνος λειτουργίας

Η λήψη των διαγραμμάτων γίνεται με τη χρήση μορφομετατροπέων πίεσης οι οποίοι συνδέονται σε κατάλληλες υποδοχές των πωμάτων των κυλίνδρων. Με τη βοήθεια εργαλείων μεγένθυσης μπορούμε να δούμε λεπτομέρειες του διαγράμματος  $p-v$  που σχετίζονται τόσο με το άνοιγμα και κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής όσο και τη διαδρομή του κυλίνδρου πριν και μετά από τις θυρίδες σάρωσης (Εικόνα 6).

Στόχος των προτεινόμενων εκπαιδευτικών ασκήσεων είναι οι σπουδαστές να αντιληφθούν τις πιθανές βλάβες της μηχανής σε αντιδιαστολή με ένα φυσιολογικό διά-

γραμμα αναφοράς. Με τη βοήθεια του προσομοιωτή προκαλούνται διαφορετικές βλάβες σε κάθε κύλινδρο και οι σπουδαστές ‘διαβάζοντας’ τα διαγράμματα προσπαθούν να αντιληφθούν το είδος της προγραμματισμένης βλάβης. Σε κάθε κύλινδρο μπορούν να προγραμματισθούν 13 βλάβες με δυνατότητα ρύθμισης του ποσοστού της βλάβης κάθε φορά. Ο Πίνακας II [8] παρουσιάζει τις βλάβες που μπορεί να προγραμματιστούν σε ένα κύλινδρο καθώς και το προτεινόμενο ποσοστό βλάβης που δίδεται ως οδηγία από την κατασκευάστρια εταιρεία του προσομοιωτή μηχανής.

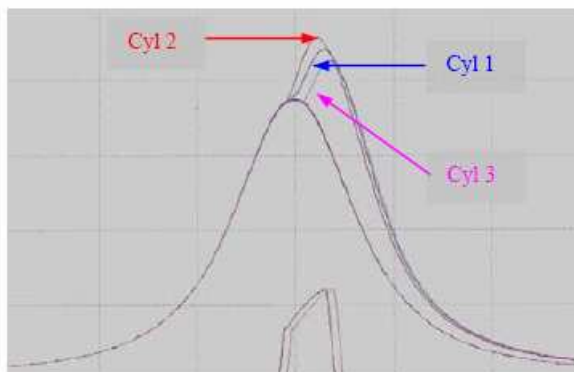
Οι εικόνες 7- 10 εμφανίζουν τυπικά παραδείγματα βλαβών πάνω στις οποίες εκπαιδεύονται οι σπουδαστές και οι οποίοι με τη βοήθεια του Πίνακα III [13] μπορούν πολύ εύκολα να διαπιστώσουν το είδος βλάβης που υπάρχει σε κάθε κύλινδρο.

**ΠΙΝΑΚΑΣ II**  
Βλάβες κυλίνδρων [8]

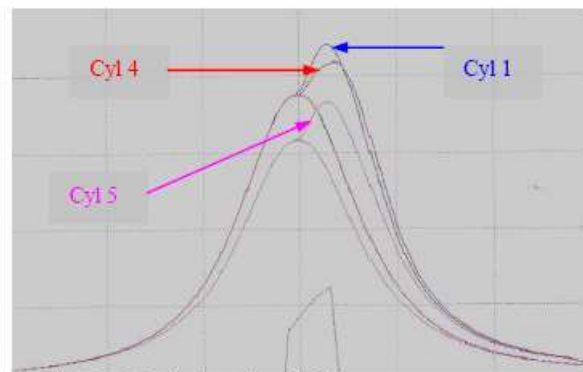
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ Βλάβης	Σχετιζόμενο σύστημα	(%)
INJECTION TIMING EARLY	Έγχυση καυσίμου	50
INJECTION TIMING LATE	Έγχυση καυσίμου	40
INJECTION VALVE NOZZLE WEAR	Έγχυση καυσίμου	70
FUEL OIL PUMP STICKING	Αντλίες υψηλής πίεσης καυσίμου	50
FUEL OIL PUMP WEAR	Αντλίες υψηλής πίεσης καυσίμου	100
FO HIGH PRESS PIPE RUPTURE	Αντλίες υψηλής πίεσης καυσίμου	100
PISTON RING WEAR	Ελατήρια κυλίνδρων	50
PISTON RING STICTION	Ελατήρια κυλίνδρων	50
PISTON RING BLOW-BY	Διαρροή καυσαερίων	50
EXHAUST VALVE LEAKAGE	Βαλβίδα εξαγωγής	50
LINER CRACK	Θραύση χιτωνίου	50
SCAVENGING AIR PORT DEPOSITS	Θυρίδες σάρωσης	40
SCAVENGING AIR BOX FIRE	Θυρίδες σάρωσης	100

**ΠΙΝΑΚΑΣ III**  
Έλεγχος βλάβης κυλίνδρων

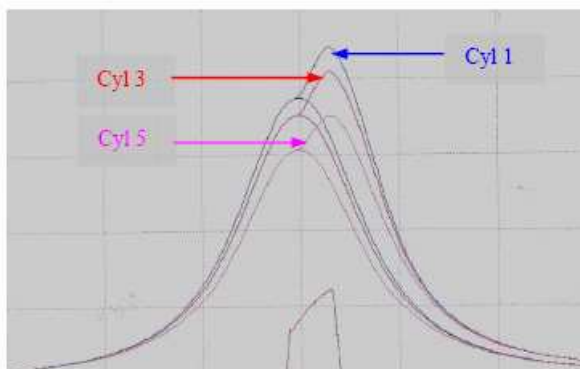
	ΚΑΥΣΗ					ΕΓΧΥΣΗ			
	MIP	Tign	Pmax	Tmax	Pcomp	Pinj	Pim	Tinj	Linj
Κύλινδρος χωρίς βλάβη	16.9 bar	0.6°	132.4 bar	12.2°	112.3 bar	420.0 bar	732.4 bar	-4.2°	17°
Φθαρμένα ελατήρια	↓	↑	↓	↑	↓	=	=	=	=
Μεγάλη προπορεία	↑	↓	↑	↓	=	=	=	↓	=
Μεγάλη επίπορεία	↓	↑	↓	↑	=	=	=	↑	=
Κακή έγχυση καυσίμου	=	↑	↓	↑	=	=	=	=	=
Διαρροή καυσαερίων ή κακή στεγανοποίηση βαλβίδας εξαγωγής	↓	↑	↓↓	↑	↓↓	=	=	=	=
Βλάβη στις αντλίες υψηλής πίεσης καυσίμου	↓	↑	↓	↑	↓	=	↓	↑	↓
Βλάβη στη σάρωση	↓	↑	↓	↑	↓	=	=	↑	=



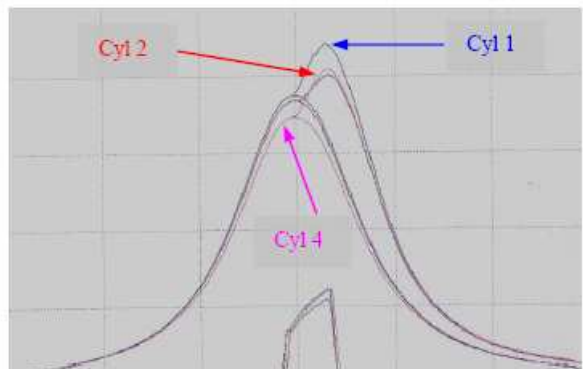
**Εικόνα 7:** *Cylinder 1* → Χωρίς Βλάβη  
*Cylinder 2* → Μεγάλη Προπορεία  
*Cylinder 3* → Μεγάλη Επίπορεία



**Εικόνα 8:** *Cylinder 1* → Χωρίς Βλάβη  
*Cylinder 4* → Κακή έγχυση  
*Cylinder 5* → Διαρροή καυσαερίων



**Εικόνα 9:** *Cylinder 1* → Χωρίς Βλάβη  
*Cylinder 3* → Φθαρμένα ελατήρια εμβόλου  
*Cylinder 5* → Κακή στεγανοπ. βαλβίδας εξαγωγής

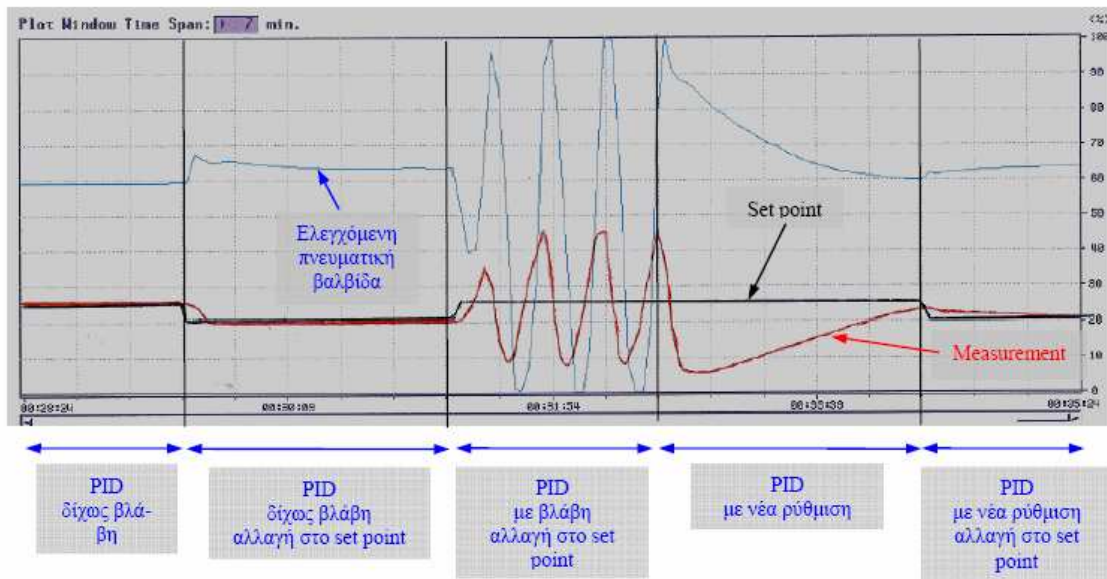


**Εικόνα 10:** *Cylinder 1* → Χωρίς Βλάβη  
*Cylinder 2* → Βλάβη στις HP fuel pumps  
*Cylinder 4* → Βλάβη στη σάρωση

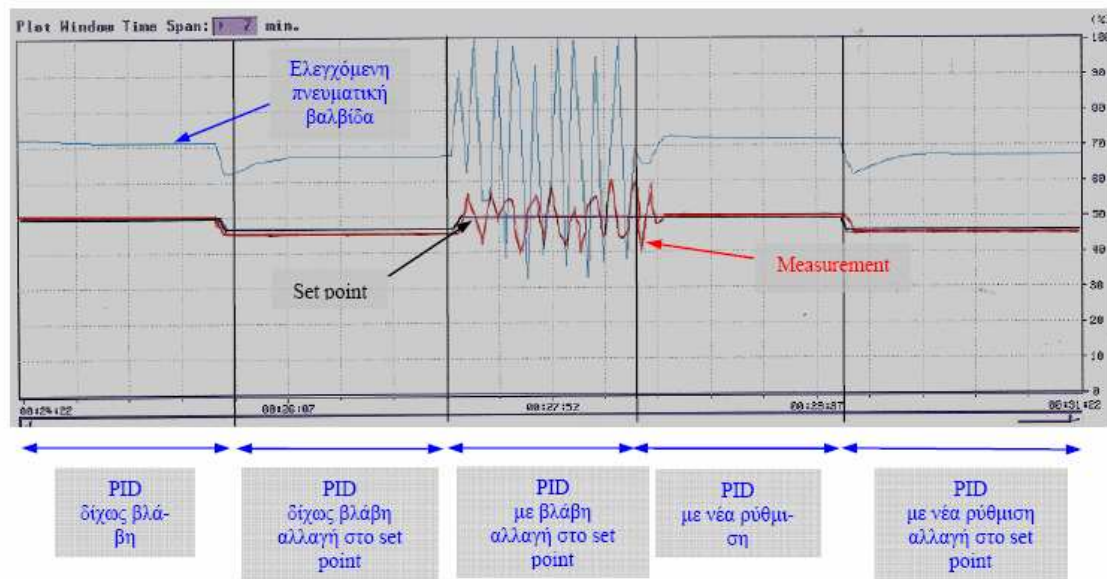
Παράλληλα, ο Πίνακας III έχει εισαχθεί σε μια βάση δεδομένων [13] στην οποία οι σπουδαστές μέσω πολλαπλών ερωτήσεων – απαντήσεων μπορούν να αποκλείσουν βλάβες και να ελέγξουν το επίπεδο γνώσεων τους πάνω στην λειτουργία των κυλίνδρων.

Η ορθή λειτουργία – ρύθμιση των ελεγκτών αναλογικού ( $P$ ) – ολοκληρωτικού ( $I$ ) – διαφορικού ( $D$ ) ελέγχου που υπάρχουν στο πλοίο αποτελεί πολλές φορές πονοκέφαλο για τους μηχανικούς βάρδιας, καθώς σε περίπτωση μη σωστής ρύθμισης τους το πλήρωμα υφίσταται μεγάλη ταλαιπωρία καθώς θα πρέπει όλες οι ρυθμίσεις να γίνονται χειροκίνητα, γεγονός που καταπονεί ψυχικά – σωματικά το πλήρωμα αλλά και προκαλεί συχνές βλάβες σε μηχανήματα – βαλβίδες όργανα γεγονός που αυξάνουν σημαντικά το λειτουργικό κόστος. Η άποψη που επικρατεί μην ‘αγγίζεται’ τις βελόνες (μαύρη και κόκκινη) – ρυθμίσεις (κέρδος, rate, reset) του ελεγκτή, αυτό είναι δουλειά των ειδικών συνεργείων είναι ολοκληρωτικά λάθος καθώς με τη σωστή εκπαίδευση και με γνώση το

τι κάνουμε και τι ρυθμίζουμε κάθε φορά, ο σπουδαστής έχει τη δυνατότητα να διακρίβώνει γρήγορα και σωστά τον οποιοδήποτε *PID* ελεγκτή.



Εικόνα 11: *PID* ελεγκτής Fuel Oil Viscosity Controller



Εικόνα 12: *PID* ελεγκτής Sea Water Temperature Controller

Με τη βοήθεια του προσομοιωτή μηχανοστασίου έχει τη δυνατότητα ο κάθε σπουδαστής να ρυθμίσει τουλάχιστον 10 διαφορετικούς κάθε φορά *PID* ελεγκτές χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο των *Ziegler – Nichols* [8]. Τυπικά παραδείγματα ρύθμισης *PID* ελεγκτή παρουσιάζονται στις εικόνες 11 και 12. Στις εικόνες αυτές φαίνεται η διαδικασία για την ορθή ρύθμιση ενός *PID* ελεγκτή ο οποίος ρυθμίζει το ιξώδες του καυσίμου της κυρίας μηχανής (Εικόνα 11) και τη θερμοκρασία εισαγωγής θαλασσινού νερού (Εικόνα 12). Μέσω της διαδικασίας ρύθμισης οι σπουδαστές έχουν την ικανότητα

να κατανοήσουν έννοιες όπως τι σημαίνει χαμηλό κέρδος ελεγκτή, στενός χρόνος ολοκλήρωσης, υψηλή διαφορική λειτουργία έννοιες οι οποίες είναι δύσκολο να κατανοηθούν από τον οποιοδήποτε σπουδαστή μέσα από τα στενά όρια παρακολούθησης της θεωρίας των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου που διδάσκεται τόσο στην ΑΕΝ Μακεδονίας όσο και στις αντίστοιχες σχολές των Πολυτεχνείων.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ

Όσον αφορά τον τρόπο αξιολόγησης της ικανότητας των σπουδαστών αυτός γίνεται χρησιμοποιώντας είτε τις τρεις φόρμες αξιολόγησης [*Plant operation evaluation (PO) form, Engine trouble-shooting evaluation (ETS) form, Engine officer of the watch evaluation (OOW) form*] που βρίσκονται ενσωματωμένες στο *IMO Model Course 2.07* [2] είτε με το μοντέλο αξιολόγησης που προτείνεται από τον κατασκευαστή του προσομοιωτή μηχανοστασίου. Το προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης του προσομοιωτή μηχανοστασίου ωφελεί σημαντικά τη διαδικασία αξιολόγησης καθώς ο σπουδαστής δεν νιώθει στο ‘λαιμό’ του τον εξεταστή.

Κατά την αξιολόγηση ο εκπαιδευτής προεπιλέγει μεταβλητές τις οποίες θεωρεί κρίσιμες κατά την εκτέλεση της άσκησης. Οι μεταβλητές αυτές αλλάζουν συνεχώς όταν εμφανιστεί μια προσχεδιασμένη βλάβη. Ο ρυθμός μεταβολής εξαρτάται από το είδος της βλάβης και το χρόνο αντίδρασης του σπουδαστή. Η αρχή της αξιολόγησης στηρίζεται στο γεγονός ότι ο προσομοιωτής διαβάζει συνεχώς τις τιμές των μεταβλητών αυτών από την έναρξη της μεταβολής τους και τις συγκρίνει με τις κανονικές τιμές που πρέπει να έχουν. Η απόκλιση τους οφείλεται στην προσχεδιασμένη βλάβη και σταματά να υφίσταται όταν ο σπουδαστής επιδιορθώσει την βλάβη που υφίσταται κάθε χρονική στιγμή. Επειδή κάθε ελεγχόμενη μεταβλητή έχει διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας – παράγοντα στάθμισης και υφίσταται για διαφορετικό χρονικό διάστημα το σύστημα μέσω στατιστικής ολοκλήρωσης εμφανίζει στο τέλος την συνολική τελική αρνητική βαθμολογία του κάθε εκπαιδευόμενου μετά από μια ακολουθία αξιολογούμενων μεταβλητών.

Το δυσκολότερο σημείο στην παραγωγή μιας επιτυχούς αξιολόγησης, αποτελεί ο καθορισμός με υψηλή ρεαλιστική πιθανότητα του συντελεστή βαρύτητας για κάθε ελάττωμα ή διαταραχή κατά τη διάρκεια κάθε άσκησης. Επομένως, οι εκπαιδευτές των

προσομοιωτών πρέπει να είναι έμπειροι μηχανικοί του εμπορικού ναυτικού, σε τέτοιου είδους πλοία αλλά και παράλληλα με τη μακροχρόνια θαλάσσια εμπειρία να διαθέτουν ένα ικανοποιητικό ακαδημαϊκό υπόβαθρο γνώσεων πάνω σε τεχνικά θέματα όπως θερμοδυναμική, υδροδυναμική, αρχές μηχανικής σχεδίασης, ηλεκτρονικά, ηλεκτρικές μηχανές, συστήματα αυτομάτου ελέγχου κ.α. Ένα προσωπικό προσομοιωτών χωρίς σχετική πρακτική θάλασσας θα αντιμετωπίσει τεράστια εμπόδια στο σχεδιασμό ρεαλιστικών ασκήσεων - σεναρίων αξιολόγησης, οι ασκήσεις δεν θα έχουν σχέση με την πραγματικότητα ενώ δεν θα είναι δυνατός ο καθορισμός αξιόπιστων συντελεστών βαρύτητας – παραγόντων στάθμισης για κάθε προκαλούμενη διαταραχή.

Κύριος στόχος της αξιολόγησης, δεν είναι ο έλεγχος της ικανότητας του σπουδαστή να εκτελεί μηχανικά και με τη βοήθεια μόνο της μνήμης τυποποιημένες διαδικασίες σε περίπτωση επείγουσας κατάστασης αλλά να ελέγχει αν ο σπουδαστής έχει την κριτική ικανότητα και το απαιτούμενο επίπεδο γνώσης – κατάρτισης να χειρίζεται – λειτουργεί με ασφάλεια ένα πολύπλοκο συγκρότημα μηχανημάτων που υπάρχει σε κάθε τύπο πλοίου. Σε ναυτικά ατυχήματα με απώλεια ζωών εξαιτίας ανθρώπινου λάθους αποδεικνύεται συχνά ότι, ο αξιωματικός βάρδιας, δεν αντιδρά σωστά στην εμφάνιση επικινδύνων προειδοποιήσεων, εμπιστεύεται κακώς τη μνήμη του αντί να ακολουθήσει την ορθή διαδικασία που απαιτείται κάθε χρονική στιγμή.

Λειτουργώντας τον προσομοιωτή μηχανοστασίου στην ΑΕΝ Μακεδονίας από το 2001 [10-14, 19], προτείνουμε στο Ελληνικό Ινστιτούτο Ναυτικής Τεχνολογίας στα πλαίσια των ετήσιων συναντήσεων να σχεδιάσει ειδική ενότητα στην οποία θα συμμετέχουν αποκλειστικά χρήστες – εκπαιδευτές προσομοιωτών μηχανοστασίου. Έτσι, θα δημιουργηθούν οι βάσεις για τη δημιουργία σε πανελλαδικό επίπεδο μιας βιβλιοθήκης σεναρίων – ασκήσεων καθώς η εμπειρία και η γνώση των εκπαιδευτών (θαλάσσια και ακαδημαϊκή) των προσομοιωτών είναι κάθε φορά διαφορετική.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] International Convention on Standards of Training, Certification and Watch keeping for Seafarers, (STCW), 1978-1995 (IMO Sales No. 938), and 1997 Amendments to STCW 95 (IMO Sales No. 945)
- [2] International Maritime Organization, Model course 2.07, Engine room simulator, 2002 Edition
- [3] Γιώργος Γκοτζαμάνης. Αριστοτέλης Νανιόπουλος, 'Η ναυτική εκπαίδευση τον 21<sup>ο</sup> αιώνα, τάσεις και προβληματισμοί', Ναυτικά Χρονικά, 11/2006
- [4] Thalasses EU project. 'New technologies in maritime transport interacting with the human element: assessment of impacts» Contr. No.: WA-97-SC-2108 DG TREN 1998-99

- [5] Kluj, S. 'The Computer Aided Assessment for Engine Room Simulator', Proceedings of 3rd International Conference on Engine Room Simulators, Svendborg, 1997.
- [6] Gourgoulis D. E., Vouvalidis X. A., Schinas C. A., Gotzamanis G. P. 'Shutdown and slow down action of engine used in marine engineering.' Proceedings of 4th International Congress on Maritime Technological Innovations and research, 2004, pp 351-362, Barcelona.
- [8] Asghar Ali. 'Simulator instructor – STCW requirements and reality' WMU, Pomorstvo, god. 20, br. 2, 2006 pp. 23-32
- [8] Kongsberg Norcontrol, Propulsion Plant Trainer, PPT2000-MC90-III, User's Manual
- [9] International Maritime Organization, Model course 6.09, Training course for instructors, 2001 Edition
- [10] Gourgoulis, and C.A., Yakinthos, C.G.: "Behaviour of marine electro generators under abnormal conditions using engine room simulator". International Journal of Maritime Research, Vol. 5, No 2, 2008, ISBN: 1697-4840, pp 23-37.
- [11] D.E. Gourgoulis: "Troubleshooting of marine steam turbo electro generators using engine control room simulator". International Journal of Maritime Research, 2009, proposed for publication
- [12] D. E. Gourgoulis, X. A. Vouvalidis, C. A. Schinas, C. G. Yakinthos.: "Malfunctions of diesel electro generators used in marine engineering" Proceedings of 38th Universities Power Engineering Conference, 2003, Thessaloniki.
- [13] Γουργούλης Δημήτριος: "Απεικόνιση συμπεριφοράς Very Large Crude Oil Carrier με τη χρήση Engine Room Simulator". Περιοδικό Ναυτικά Χρονικά, 4/2008
- [14] Cengiz Deniz, Ali Kusoglu, Seigo Hashimoto. 'Engine Room Simulator Training Plan and Evaluation Method At Istanbul Technical University Maritime Faculty' Annual General Assembly 2004 – Tasmania, IAMU
- [15] Kluj, S. 'Use of checklists in engine room simulator.' Proc. 4th Inter. Conf. on Engine Room Simulators, Vallejo, USA (1999).
- [16] International Maritime Organization, Model course 7.04, Officer in charge of an engineering watch, 1999 Edition
- [17] International Maritime Organization, Model course 7.02, Chief engineer officer and second engineer officer, 1999 Edition
- [18] D. E. Gourgoulis, G. P. Gotzamanis, C. A. Schinas, X. A. Vouvalidis.: "Task analysis of present practice on board high speed vessels" Proceedings of International Symposium, Information on Ships, ISIS 2008, Hamburg, Germany.
- [19] D. E. Gourgoulis, C.G. Yakinthos: "Computer - based Systems for high speed vessels navigators – engineers training" Paris 2009 ICET 2009: "International Conference on Educational Technology", Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Section C, pp. 579-582