



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

יום עיון שני  
אדריכלות ימית  
והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

# יום עיון אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



תקצירי הרצאות יום העיון

**מחנה החותרים**

**18/12/2008**



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

# יום עיון שני אדרכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

08:00-09:00 התכנסות ורישום

**ראש מספן הציוד – תא"ל ניצן שקד**

09:00-09:10 דברי פתיחה

**ראש אגודת מהנדסי המכונות – מר עמנואל ליבן**

09:10-09:15 ברכות

**נושא המושב: הידרו-דינאמיקה**

09:15-10:45 **מושב ראשון**

**דר' (אל"מ במיל.) יצחק שחם**

יו"ר המושב

09:15-09:45 **שיערוך פרמטרים לא-ליניאריים במערכות דינמיות ימיות וחשיבותם לחיזוי תנועות**

**ואבדן יציבות**

**רופ' עודד גומליב, הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה**

שיערוך מרחב הפרמטרים הלא-ליניארי במערכות דינמיות ימיות חיוני לחיזוי תגובת המערכת לתמרון חד, או חיזוי תנועות הנתונות לתנאי סביבה אלימים היכולים לגרום לתגובה לא רצויה ואף לאובדן יציבות מוחלט. בהרצאה יבחנו שיטות לשערוך המרחב הפרמטרי מתגובות דינמיות המתקבלות ממודלים נומריים, ניסויי בריכה, ומבחני ים. השיטות יוצגו בעזרת מודל דינמי לגלגול בזוויות גדולות ויכללו: א) ניתוח קווי שלד המתקבלים מרטט חופשי מרוסן או ניסוי טלטול, ב) ניתוח תגובת תדר מרובת פתרונות מרטט מאולץ מחזורי למערכות בעלות רוזוננס ראשי ורוזוננס פרמטרי, ג) ניתוח סף יציבות דינמי המתקבל מהפרת הפוטנציאל של המערכת בקרבת ההתהפכות. כמו כן יוצג שערוך פרמטרי ממודל דינמי משולב המתאר רוזוננס פנימי בין זוויות העלרוד והגלגול. יצוין כי סף היציבות להתהפכות רגיש לדיוק הכוח המחזיר ולמאפייני הגלים התוקפים, וכי תגובת גלגול של מערכת ימית הנתונה לרוזוננס פרמטרי בים חזיתי, אינה ניתנת לחיזוי בעזרת מודלים מתמטיים החסרים רכיב ריסון לא-ליניארי.

09:45-10:15 **דינאמיקה לא ליניארית ואי יציבות פרמטרית של אוניות הנתונות לים חזיתי**

**סגן אלכס קליימן, מחלקת כלי שיט, חיל הים**

דינאמיקה באמפליטודה סופית הגורמת להתהפכות ספינות בים חזיתי עקב אי יציבות פרמטרית הינו תחום בעל עניין מתחדש עם דרישה להפעלת אוניות בתנאי סביבה קשים ומשתנים. מחקרים עד כה התמקדו בניסויי בריכה של דגמים קטנים בבריכות גרירה וסימולציות נומריות של מודלים מגוונים, החל ממודלים של דרגת חופש אחת וכלה במודלים דינמיים לא ליניאריים מלאים של גופים קשיחים הדורשים חיזוי מראש של מקדמים הידרודינמיים והידרוסטטיים המאפיינים את הכוח המחזיר, מסות מוספת וריסון.

אולם, השוואה של תוצאות ניסוי והקלטות נתונים של התנהגות ספינות בלב ים לתוצאות של מודלים קיימים הראתה שוני משמעותי אשר מונע חיזוי מדויק של דינאמיקת הספינה המובילה להתהפכותה. המקורות לאי הדיוקים כוללים שימוש במודלים פשטניים של דרגות חופש מופחתות, כגון דרגת חופש אחת של תנועת הגלגול (roll) בלבד, המזניחים תופעות של תהודה פנימית בין המודים השונים של המערכת. הפחתה שרירותית שאין לה הצדקה במקרים של תהודה פנימית, כאשר מתקיים מעבר אנרגיה בין תנועות הגלגול, עילרוד (pitch) ותנועת העתקה האנכית (heave) של האוניה. הדבר משתקף במקרה המייצג של תהודה פנימית של 2:2:1 בין המודים heave – pitch – roll, בו ליניאריזציה או שימוש במודלים לא ליניאריים סטנדרטיים עבור עירור פרמטרי של roll אינם מצליחים לנבא את



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

# יום עיון שני אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

התגובה באמפליטודות גדולות המובילה לאסון.

לכן, על מנת למנוע אי דיוקים ואי יציבות המיוחסים לאינטראקציה של מבנה וגלים, פותח ונחקר במחקר זה מודל דינאמי מתמטי של שלוש דרגות חופש, גלגול – עילרוד – והעתקה אנכית, אשר משלב באופן קונסיסטנטי את האי לינאריות של המערכת. המחקר משלב גישה אסימפטוטית הכוללת פתרונות אסימפטוטיים וגלובליים וחקירה נומרית של המערכת הדינאמית הלא ליניארית. גישה משולבת זו הינה מקורית ופותרת תהודה פנימית ואי יציבות פרמטרית המתעוררת באינטראקציות בעלות אי ליניאריות חלשה וחזקה. תוצאות המחקר כוללות תנאים וספי יציבות (אורביטליים) אנליטיים מקורבים, תגובות תדר אנליטיות של שלוש דרגות חופש, גלגול – עילרוד – והעתקה אנכית, ופיתוח תנאים הכרחיים לפישוט המערכת על ידי הפחתת דרגות חופש.

## אפקטים המתקבלים מפיצוצים תת מימיים.

10:15-10:45

רס"ן אורן לוטן, מחלקת כלי שיט, מפקדת חיל הים

עקרונות התכן של כלי שיט צבאיים מתבססים על מודלים פיזיקאליים כגון: יציבות הדרוסטטית, הידרודינאמיקה, חוזק אורכי/רוחבי ועוד. בנוסף, בחלק מכלי השיט נדרשת הוכחת עמידות בפני הלמים הנוצרים עקב פיצוצים תת מימיים כאשר עקרונות הבדיקה מבוססות על תקנים צבאיים כדוגמת MIL-STD-901.

פיצוץ הינו תהליך כימי שבמהלכו הופך החומר המקורי לגז בלחץ ובטמפ' גבוהה מאוד כאשר זמן התהליך הנו קצר ביותר. הטמפ' בתהליך זה מגיעה לכדי 3000 מעלות צלסיוס והלחץ לכדי עשרות אלפי באר.

ההפרעה הראשונה במים לאחר פיצוץ הנו גל הלחץ המגיע למים העוטפים את חומר הנפץ. גל זה מועבר מהמטען למים ונע בהם כלפי חוץ. מסת הגזים הלוהטים של תוצרי הפיצוץ מתפשטת, הלחץ בה נופל ויחד איתו נופל גם הלחץ שדה הלחץ במים. עליית הלחץ הינה למעשה בלתי רציפה בזמן ולאחריה חלה ירידה אקספוננציאלית. הזמן האופייני לדעיכת הלחץ אינו עולה על מספר מילי שניות, גם בפיצוצים גדולים מאוד. הלחץ במים כתוצאה מהפיצוץ מקיים את עקרון הדמיות ביחס לגודל המטען.

אפקט חשוב נוסף בפיצוצים תת מימיים הינו "אפקט הבועה". בועת הגז נוצרת כתוצאה מהגזים החמים שנוצרים מיזום החנ"מ וכן אדי מים שהיו קרובים לאזור הפיצוץ. הלחץ ההתחלתי בבועה הינו לחץ הגבוה בהרבה מהלחץ ההידרוסטאטי ולכן למים באזור הבועה מהירות כלפי חוץ וקוטר הבועה גדל בקצב מהיר. בשל האינרציה של מולקולת המים נמשכת התרחבות הבועה גם מעבר לנקודת שיווי המשקל כך שנוצר תת לחץ בתוך הבועה, ההתפשטות נבלמת, מתחילה תנועה בכיוון ההפוך והבועה קורסת. תהליך זה נמשך מספר פעמים תוך כדי ציפה של הבועה כלפי מעלה.

גורמים נוספים החשובים להבנת הנזקים הנגרמים לכלי שיט מפיצוץ תת מימי הינם החזרות ממשטחים מפריעים כגון קרקעית הים, פני הים, דפנות כלי שיט וכדומה. הנושא יוצג במסגרת ההרצאה.

ההרצאה תתמקד באפקטים השונים הנגרמים עקב פיצוץ תת מימי ובכלים נומריים הקיימים כיום לחיזוי נזקים הנגרמים לכלי שיט עקב מטענים לא מוצמדים. עבודות בתחום זה מבוצעות בתעשייה ובחיל הים ומשמשות בעיקר לצורך תכנון יעיל של כלים התקפיים כנגד כלי שיט שונים.

ייסקר מודל אנליטי מופשט לחיזוי שקיעה של פלטה עקב פיצוץ תת מימי וכן יוצגו דוגמאות ממודלים נומריים המיושמים בתוכנת AUTODYN לחיזוי אפקט הנזק הנגרם למקטע של דופן כלי שיט עקב



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

# יום עיון שני אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

פיצוץ תת מימי, תוך הדגשת מגבלותיהם של מודלים אלו.

הפסקת קפה 10:45-11:15

**נושא המושב: אחזקה וחקר כשל**

**מושב שני** 11:15-12:45

**דס"ן איתי פאר**

יו"ר המושב

**קורוזיה של כלי שיט ומבני נמל**

11:15-11:45

**אינ' נחום נוה, הנדסת קורוזיה חומרים וצינורות בע"מ**

קורוזיה היא תופעת איכול של מתכות ובלוייה של חומרים עקב גורמים שונים, כימיים, אלקטרוכימיים ופיסיקליים. הקורוזיה של כלי שיט ומתקני נמל הנמצאים במי ים מלוחים ובאווירה של התזת טיפות מי המלח על החלקים העליונים של כלי השיט, המבנים והמתקנים בנמלים היא בעלת העוצמה גבוהה ביותר. התעלמות מתופעה זו, הזנחה מהצורך המתמיד לתחזק את אמצעי ההגנה כנגד הקורוזיה ואי הקפדה על טיפול מוגדר ומבוקר גורמים לנזקים לחלקי כלי השיט עצמם, לביצועי הכלים וכן לכלכליות השימוש בהם. קיימת בעולם מגמה של הורדת עוביי הדופן של כלי שיט במטרה להקטין את משקלם ולאפשר חיסכון בדלק ושיפור הביצועים. הקטנה זו מחייבת התייחסות רצינית הרבה יותר לתכנון, לבנייה וכמובן גם לנושא האחזקה.

ציפויי מגן כנגד קורוזיה

תכנון אמצעי הגנה כנגד קורוזיה כמו ציפויים יעילים, שפרט להגנה כנגד קורוזיה מונעים גם התפתחות גידולים ימיים על החלק הטבול במים (אלה הם ציפויי האנטי פאולינג) ובכך מאפשרים ביצועים טובים יותר וחסכון בדלק.

תכנון ההגנה הקתודית

לחלקי הפלדה שמתחת לפני המים ומטרתה הגנה על כל מקום שציפוי המגן שלו נפגע הן עקב פגיעות מכאניות והן כתוצאה מבליה.

בהנחה שאמצעי הגנה אלה תוכננו ומומשו ברמה טובה, יש להפעיל גם פעילות אחזקה ברמה נאותה.

אחזקה מתוכננת

מדובר על תהליך מסודר ומוגדר של פעולות בקרה תקופתיות, בתדירות קבועה, שבעקבותיהן אמורות להתבצע פעולות תיקון בהיקפים הנדרשים.

הבטחה של כל האמצעים המפורטים לעיל תביא לביצועים מספקים של כלי השיט בתפעול השוטף, למשך שעות פעולה רבות ולאורך חיים רב של כלי השיט והמתקן הימי.

**כשל ציר מדחף בספינת סיור מהירה**

11:45-12:15

**אל"מ ד"ר מורל גרופר, מחלקת כלי שיט, חיל הים**

לשמירה על בטחון גבולה הימי של מדינת ישראל ולמניעת פעילות חבלנית עוינת בתווך הימי מפעיל חיל הים מערך של ספינות סיור מהירות. מערך ספינות זה כולל גם ספינות סיור חדישות ומהירות מדגם דבורה סימן 3 מתוצרת חברת רמת"א של התעשייה האווירית.

הספינות מונעות באמצעות שני מנועי דיזל מדגם MTU12V4000M90 בהספק 2040BkW כל אחד המניעים מדחפי שטח (surface piercing propellers). המדחפים מותקנים על גבי צירי המדחף של



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

# יום עיון שני אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

מערכת הינע שטח מפרקית (articulated) מסוג Arneson Surface Drive (ASD) מתוצרת חברת Arneson Drives. בשנים האחרונות, בעקבות בלאי מהיר ומספר מיקרי כשל שאירעו במערכות דומות שבשימוש חיל הים השקיע היצרן, חיל הים וחברת רמת"א מאמץ רב בתכנון מחודש של מערכות אלו. תכנון זה נעשה בכדי לשפר ולמנוע את הבלאי המהיר והכשלים הקטסטרופאליים שהתרחשו בעבר. בספינות חיל הים החדשות מסוג דבורה סימן 3 הותקנו המערכות המשופרות והציפייה היתה שכשלים קטסטרופאליים כדוגמת אלו שאירעו בעבר לא יתרחשו עוד.

בהרצאה נציג אירוע כשל שבו, במהלך הפלגה, נשבר ציר מדחף וחלקו השבור יחד עם המדחף ניתקו ונפלו לים. יתואר הכשל, החקר הנעשה להבנת הסיבות שגרמו לכשל וכן הבחינה המחודשת שנעשתה לגבי נכונות תכנון הציר והאם נדרשים שינויים למניעת כשלים כאלו בעתיד. נמצא שהכשל החל כתוצאה מתהליך בלאי מסוג fretting בין בורגי קיבוע (set screws) שנועדו לקבע אטם מכאני לבין ציר המדחף. בלאי זה יצר גרעין ממנו התפתח סדק התעייפותי אשר בסופו של דבר גרם לכשל הציר. נמצא שחוזק הציר כפי שתוכנן מספק ונעשה שינוי בתכנון בורגי הקיבוע למניעת כשל מסוג שכזה בעתיד. מודגשת הרגישות הגבוהה של פלב"מ מרטנוזיטי מסוג PH לפגמים קטנים יחסית אשר עלולים, באם מתפתחים, לגרום לכשל מוחלט של המערכת.

## על תופעת ה- Stress Corrosion Cracking בספינות: רקע, אתגרי אחזקה בספינות סער 5, ודרכי פתרון אפשריות

רס"ן עמי סלומון, רס"ן תומר הלל, רס"ן שירי רוקשין, מחלקת כלי שיט, חיל הים  
סידוק שמקורו בתהליך Stress Corrosion Cracking (SCC) מתרחש כאשר מתקיימים התנאים של סביבה קורוזיבית, מאמצים סטטיים גבוהים וקבועים במבנה וחומר בעל רגישות לתופעת ה- SCC. במסגרת ההרצאה יתואר רקע והסבר פיזיקאלי לתופעת ה- SCC, תודגם התופעה כפי שהיא קיימת באזורים מסוימים של סיפוני ספינות סער 5 המיוצרים מסגסוגת אלומיניום 5456, יפורטו הסיבות הגורמות לתופעה ויתוארו אתגרי האחזקה הקיימים כתוצאה מכך. ההרצאה תפרט את התהליך ההנדסי שנדרש זה"י (בשיתוף אוניברסיטת ת"א וחברת החשמל) על מנת לזהות התופעה, תהליך שכלל בחינת מאפייני מבנה הסידוק, ניתוח המאמצים השיוריים במבנה ומדידת מאמצים במהלך הפלגה. כמו כן יתוארו דרכי הפתרון הנבחנים לטווח הבינוני והארוך, בשיתוף מפא"ת והתעשייה האווירית, הכוללים טיפול Shot Pining ויישום של טלאי (Patch) מחומר מרוכב.

ארוחת צהריים 12:45-13:45





לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

# יום עיון שני אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

13:45-16:30 **מושב שלישי** **נושא המושב: הנע**  
יו"ר המושב **מר ישראל בן שמואל**

13:45-14:15 **הגברת דחף במנוע סילון מים waterjet ע"י הזרקת אויר**  
**פרופ' אלון גני, אביעד גופר, אריק שמר ודורון דר-לב, הפקולטה להנדסת אוירונאוטיקה וחלל**  
**הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה**

מוצג רעיון חדש להגברת הדחף של מנוע סילון ימי waterjet. הרעיון מבוסס על הזרקת אויר לנחיר הפליטה של יחידת ההנעה ללא הפרעה או שינוי בפעולת המשאבה והמנוע. הדבר מאפשר הפקת דחף גבוה יותר ממנוע נתון, בדומה לפעולה של מבער אחורי במנוע סילון תעופתי. היתרונות ברעיון המוצע הם בכך שהמערכת יכולה להפיק דחף והספק גבוהים מהאופייניים הרגילים שלה ללא צורך בהגדלת מערכת ה-waterjet עצמה תוך הימנעות מבעיות קוויטציה. הדבר נעשה ע"י מדחס עזר, שמונע באופן עצמאי או מקבל עודפי הספק מהמנוע המניע את ה-waterjet. שימושים אפשריים מרכזים בעיקר בתקופות הפעלה קצרות, בהן נדרש דחף גבוה מבלי להעלות את סיבובי המנוע לתחום היוצר בעיות קוויטציה: לדוגמא, האצה מהירה, הגדלת דחף לשם התגברות על hump של התנגדות הידרודינמית תוך פעולה ללא קוויטציה במשאבה, ומהירות מרבית גבוהה יותר ממה שהמנוע מסוגל לספק בפעולה רגילה. יתרון נוסף יכול להיות במיסוך החתימה האקוסטית. נעשה חיזוי ביצועים על סמך אנליזה של המחזור התרמודינמי הייחודי והתברר שעל ידי הזרקת אויר ניתן עקרונית להגדיל את הדחף של מנוע נתון בעשרות אחוזים תוך שמירה על נצילות גבוהה. סדרת ניסויים סטטיים נערכה בבריכת ניסוי בפקולטה להנדסת אוירונאוטיקה וחלל בטכניון. בניסויים נעשה שימוש במנוע waterjet של אופנוע ים "ימהה" בעל הספק נומינלי של 70 כו"ס. לנחיר הפליטה של יחידת ההנעה נוסף קטע גלילי (בין האימפלר לקונוס היציאה), אליו הוזרק אויר בספיקות משתנות ובלחץ המתאים ללחץ שנבנה ע"י המשאבה. נערכה השוואה בין הדחף הסטטי של המנוע בפעולה ללא הזרקת אויר לדחף המנוע במקרה של הזרקת אויר עבור סיבובי מנוע שונים. בתחום הפעולה שנבדק נמצא כי הייתה הגברת דחף שבין 15% ל-30% לעומת הדחף המקורי. נראה כי שיטת פעולה זו עשויה לשדרג מנועי waterjet קיימים, להרחיב את מעטפת הפעולה שלהם ולסייע במניעת קוויטציה במשאבה. כל זאת ללא שינויים במכלול מערכת ההנעה, פרט לנחיר הפליטה עצמו.

14:15-14:45 **השוואת ביצועי מערכות הינע Waterjet ו-Arneson בספינות סוור**  
**רס"ן אלנון יובל, מחלקת כלי שיט, חיל הים**

אחד הנושאים המרכזיים בתהליך תכן כלי שיט חדש להשגת הביצועים הנדרשים (מהירות, תמרון ועוד) הינו בחירת מערכת ההינע. לעמידה בדרישת המהירות המקובלת כיום לספינות סוור חדישות (מעל 40 קשר) ישנן, עקרונית, שתי אפשרויות עיקריות לבחירת מערכת הינע; מערכת הינע מסוג Waterjet ומערכת מדחוף שטח, Surface Propellers. ספינות הסוור החדישות מסוג Super Dvora MK3 מתוצרת חברת רמת"א נבנו בשתי התצורות, דבר שאפשר מדידה והשוואת הביצועים של שתי מערכות הינע אילו בגוף ספינה זהה. המדידות, הניתוח והשוואת הביצועים נעשו עבור פרמטרים רבים כולל; מהירות מרבית, עמיסת מנועים



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית

# יום עיון שני אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

בערכי דחי שונים, האצה, עצירת חירום, קוטר סיבוב, רמת רעידות, תצרוכת דלק ונצילות מערכת ההינע. ההרצאה תסקור תחילה את מבנה ועיקרון פעולת מערכות הינע מסוג Waterjet ו-Arneson, ותציג בהמשך את תוצאות המדידות שנעשו וניתוח השוואתי של שתי מערכות ההינע.

14:45-15:15 הפסקת קפה

## 15:15-15:45 **השוואה וניתוח רעידות והלמים המתפתחים בשתי ספינות סיור מהירות דומות אך בעלות מערכות הנעה שונות שבשירות חיל הים**

*רס"ן צבי שיינגר, מחלקת כלי שיט, חיל הים.*

למניעת פעילות חבלנית עוינת בתווך הימי של מדינת ישראל מפעיל חיל הים מערך של ספינות סיור מהירות, ביניהן דבורות סימן 3 אשר נבנו ע"י חברת רמת"א של התעשייה האווירית. חיל הים מפעיל דבורות סימן AD 3 ודבורות סימן JET 3.

שתי הספינות בעלות דמיון רב אך קיים שוני ביניהן במספר תחומים: (1) מערכת ההנעה של הספינות שונה, ספינת "דבורה סימן AD 3" מונעת באמצעות מערכת מדחפי שטח מפרקית, Arneson Drive ואילו ספינת ה"דבורה סימן Jet 3" מונעת באמצעות מערכת סילון מים, water jet מתוצרת חברת KaMeWa. (2) שוני גיאומטרי במבנה הגוף של שתי הספינות, ספינת ה"דבורה סימן Jet 3" ארוכה יותר בקו המים בכ- 0.4 מטר לעומת ספינת ה"דבורה סימן AD 3".

מצב בו קיימים שני כלי שיט דומים מאוד בפרמטרי המבנה, המטעד וייעוד המשימות אך בעלי מערכות הנעה שונות הינו מצב ייחודי ומאפשר השוואה בין הפרמטרים השונים של שני הכלים. מוצגת השוואה בין פרופילי הרעידות וההלמים המתפתחים בשני כלי השיט ונבחנה השפעה של מערכות ההנעה השונות על התנהגות הדינאמית של חלקי המבנה השונים.

הניסוי בשני הכלים התקיים במקביל, באותה השעה, מצב הים והרוח. הקלטות נעשו במיקומים שונים בכלי השיט החל מדף הירכתיים ועד למדורים הצמודים לחרטום. המדידות נעשו ב-3 צירים. הרעידות והלמים הוקלטו במהירויות הפלגה שונות.

ניתוח תוצאות ההקלטה נעשו תוך שימוש בטכניקות פנוח מתקדמות להערכת פרופילי רעידות והלמים, אשר כללו Short time Fourier analysis, Rainflow analysis, הערכת עקומי ה-PSD וה-SRS. מעבר להשוואה המידית שבוצעה בין השפעת מע' ההנעה השונות על הרעידות וההלמים המתפתחים בכלי השיט, התוצאות שהתקבלו יכולות לשמש להערכת מבחני הסביבה למערכות, מאגר נתונים לסינטזה של מבחני סביבה מואצים (accelerated tests) ועוד.

## 15:45-16:15 **קריטריון קוויטציה לתכנון מדחפי כ"ש בשלבי התכן המוקדמים**

*סא"ל שמוליק שחק, מחלקת סער 5 דור ב', חיל הים.*

תכן מדחפים הינו חוליה חשובה בספירלת התכנון של כלי שיט, המשפיעה על חוליות רבות אחרות. צורת המדחף חיונית לחיזוי המהירות המרבית של הספינה, להתוויית קו העומס על מערכת ההנעה, להגדרת גיאומטריית קווי הגוף באזור הירכתיים, להערכת משקל הספינה, לאנליזת הרעידות בספינה בכלל ובקו ההנעה בפרט, לחישוב רמת הרעש המוקרן התת מימי ועוד. תכנון מדחפים הינו תחום מומחיות נפרד בענף ההידרודינמיקה, המבוסס על אנליזות זרימה מתקדמות, חישובי CFD וניסויי מנהרת מים.



לשכת המהנדסים,  
אגודת מהנדסי המכונות,  
התא להנדסה ימית



# יום עיון שני אדריכלות ימית והנדסת כלי שיט



מספן ציוד  
מחלקת כלי שיט

בשלבי התכנון המוקדמים של כלי שיט (בדיקת היתכנות ותכנון קונספטואלי), בהם נבחנות מספר תצורות קווי גוף ו/ או מערכות הנעה, אין הצדקה ניהולית וכלכלית לשימוש בכלי חישוב מתקדמים אלו לתכנון המדחף. במקום זאת, מוערכים ביצועי המדחף על סמך קירוב לנתוני סדרות מדחפים קיימות, שהמפורסמת שבהן הינה סדרת Wageningen ההולנדית ("B Series"). תצורת מדחף ראשונית מקורבת זו הינה נקודת ההתחלה לתכנון מדחף בשלבי התכנון המתקדמים יותר, באמצעות טכניקות CFD וכו'.

בשלבי תכנון מוקדמים אלו נבדקת רמת הקוויטציה במדחף, מסורתית על פי קריטריון בוריל (Burrill) שפורסם בשנת 1943. עד היום פורסמו בספרות המקצועית קריטריוני קוויטציה מועטים אחרים, למרות ההתמקצעות הרבה אליה הגיעו מתכנני המדחפים. האם קריטריון בוריל עדיין רלוונטי? האם ניתן להגדיר קריטריון מודרני, ריאלי יותר, שיאפשר נקודת התחלה שמרנית פחות לתצורת המדחף? בחינה של עבודת בוריל המקורית ומקורות נוספים, יחד עם ניתוח רמות הקוויטציה במדחפים קיימים ומוכחים מראה כי קריטריון זה שמרני מידי וגורר קוטר מדחף גדול מידי. לפיכך נמצא כי נכון להגדיר רמת סף גבוהה יותר בשלבי התכנון המוקדמים.

סיכום הכנס 16:15-16:20

**אל"מ דר' מורל גרופר, ראש מחלקת כלי שיט, חיל הים**