



הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל  
הפקולטה להנדסת מכונות  
המעבדה למנועי שריפה פנימית



מפא"ת/מ"פ/מעט"ר –  
ענף הנעה

# טכנולוגיות הנעת כלי טייס בלתי מאוישים

## הכנס הארצי השני

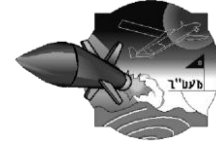
### חוברת תקצירים

מוסד שמואל נאמן, הטכניון  
חיפה

י"ג שבט תשע"ג  
24 בינואר 2013



Technion – Israel Institute of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Internal Combustion Engines Laboratory



Directorate of Defense Research &  
Development (DDR&D)  
Aeronautical Division

# Second Conference on Propulsion Technologies for Unmanned Aerial Vehicles

## Book of Abstracts

### Organizing Committee

Dr. Leonid Tartakovsky, Technion, Conf. Chairman [tartak@technion.ac.il](mailto:tartak@technion.ac.il)

Prof. Michael Shapiro, Technion [mersm01@technion.ac.il](mailto:mersm01@technion.ac.il)

Mr. Aviv Sagan, Edmatech Ltd [edmatech@netvision.net.il](mailto:edmatech@netvision.net.il)

Mrs. Ruthie Buser, Conference Secretary [meruthi@tx.technion.ac.il](mailto:meruthi@tx.technion.ac.il)

Samuel Neaman Institute  
Technion-Israel Institute of Technology  
Haifa  
January 24, 2013

# טכנולוגיות הנעת כלי טייס בלתי מאוישים

**הכנס יערך ביום ה', י"ג שבט תשע"ג, 24 בינואר 2013  
באולם באטלר, מוסד שמואל נאמן בטכניון, חיפה**

התכנסות באולם באטלר, מוסד שמואל נאמן והרשמה	8:30-9:00
<b>יו"ר המושב: ד"ר לאוניד טרטקובסקי</b>	<b>מושב פתיחה</b>
<b>דברי פתיחה:</b> פרופ' פינחס בר יוסף, דיקן הפקולטה להנדסת מכונות מר חזק שחני, רמ"ח מעט"ר, מו"פ, מפא"ת סא"ל חני גורדאנה, ראש ענף הנעה, מעט"ר, מו"פ, מפא"ת פרופ' מיכאל שפירא, ראש המרכז למחקר בהנדסת אנרגיה ושימור הסביבה	9:00-9:30
<b>יו"ר המושב: פרופ' מיכאל שפירא</b>	<b>מושב ראשון</b>
<b>מגמות לשימוש ופיתוח מנועים לכטב"מ</b> עמנואל ליבן ואביב סגן, עדמטק בע"מ	9:30-10:00
<b>תכן רוטור לרחפן תוך התחשבות בחתימתו האקוסטית</b> ד"ר אוהד גור, תעשייה אווירית בע"מ	10:00-10:30
<b>פיתוח מנוע וואנקל עם מערכת שימון סגורה ומסוב הידרודינאמי</b> אבי מרגלית ונר גבע, אלביט מערכות בע"מ	10:30-11:00
<b>הפסקת קפה</b>	<b>11:00-11:30</b>
<b>יו"ר המושב: מהנדס אביב סגן</b>	<b>מושב שני</b>
<b>מערכת הנעה היברידית המבוססת על מנוע המופעל במוצרי רפורמינג אלכוהול</b> ד"ר לאוניד טרטקובסקי, הטכניון	11:30-12:00
<b>Alternative power systems for micro aerial vehicles</b> פרופסור ערן שר, הטכניון ואוניברסיטת בן-גוריון	12:00-12:30
<b>מערכת הזרקת בנזין ישירה Bosch MED 9.X</b> ארז מוספי, לדיקו בע"מ	12:30-13:00
<b>ארוחת צהריים</b>	<b>13:00-14:00</b>
<b>יו"ר המושב: מהנדס חמי אורון</b>	<b>מושב שלישי</b>
<b>שימוש בתכנת GT-Power לצורך חיזוי ביצועי מנוע 903</b> מיכאל סטנובסקי, אלביט מערכות בע"מ	14:00-14:30
<b>The Diesel Fuel Rotary Engine Propulsion System</b> Levi Roodvoets, L-3 and Marko Gollash, Wankel SuperTec	14:30-15:00
<b>כיצד ניתן לייעל את השימוש במקורות האנרגיה ליישומי כטב"מ</b> ד"ר אלכס נימברגר, יועץ מקורות אנרגיה	15:00-15:30
<b>דברי סיום</b>	<b>15:30-15:35</b>

\* התכנית כפופה לשינויים

סיווג הכנס והמצגות – בלמ"ס

## מגמות לשימוש ופיתוח מנועים לכטב"מ

עמנואל ליבן, אביב סגן  
עדמטק – יעוץ הנדסי מתקדם בע"מ

### תקציר

מערכת ההנעה (מנוע ומקור האנרגיה) מהווה אבן בניין עיקרית בתכן ותפעול של כל כטב"מ. בתהליך בחירה או התאמת המנוע לכלי טיס יש לקחת בחשבון הרבה גורמים, ולא רק את היחס של הספק למשקל וצריכת הדלק לכן בחירת ההנעה צריכה להתחשב בראיה מערכתית כוללת, במעטפת הטיסה והביצועים של כלי הטיס. מרבית יצרני המטוסים מבינים שפיתוח המנוע הוא תהליך ארוך ויקר ולכן מעדיפים להתאים את המטוס למנוע קיים ואמין. בהרצאה נסקור מספר סוגים של מנועי שריפה פנימית, שילובים עם מקורות אנרגיה נוספים ועם מספר מערכות משנה אשר משפיעות על ביצועים ואמינות. כמו כן, נעמוד על מספר התפתחויות בהנעה אוטומטיבית והיתרונות של לימוד ושימוש בטכנולוגיות אלו ונצביע על מגמות מע' הנעה עתידיות של כטב"מים.

## תכן רוטור לרחפן תוך התחשבות בחתימתו האקוסטית

אוהד גור  
תיכון מוקדם  
תעשייה אורית לישראל

כחלק מתהליך שיפור מערכת הנעה לרחפן, בוצע תכן מיטבי רב תחומי (MDO - Multidisciplinary Design Optimization) של רוטור. שני סוגי אנליזות שולבו בסביבת תכן רב תחומית מסוג ESTECO modeFRONTIER: אנליזה אוירודינמית ואנליזה אקוסטית לכנף סובבת. האנליזה האוירודינמית מבוססת על מודל אלמנט להב ומכילה נתונים אוירודינמיים דו-מימדיים של חתך הרוטור. בשל גודלו ומספר הריינולדס הנמוך, הושבו הנתונים האוירודינמיים של חתכי הלהב, על ידי הרצת אנליזת זרימה ממוחשבת (CFD). האנליזה האקוסטית מבוססת על דיסקרטיזציה של משוואת הגלים המאולצת והתאמתה לכנף סובבת. עבור מערכת ההנעה, נבחרה מערכת הנעה חשמלית שמודלה על ידי משוואות מקורבות. בצורה זו אחת מפונקציות המחיר של התכן היתה תצרוכת ההספק ממצברי הכלי. בצורה זו נלקח בחשבון נצילות מערכת ההנעה כולה ולא נעשתה אנליזה של רוטור מבודד.

תוצאות התכן הוצגו בצורת חזית פרטו (Pareto Frontier) אשר מייצגת את אפשרה בין רוטור יעיל המניב הספק מנוע נמוך לבין רוטור שקט בעל חתימה אקוסטית נמוכה. לאורך חזית הפתרונות נבחר פיתרון העונה על הצרכים המבצעיים מבחינת החתימה האקוסטית ומשפר את תצרוכת ההספק ביותר מ-10%. תהליך האופטימיזציה מצביע על מגמות התכן, בהן הוספת פיתול ללהב, הגדלת מיתר השורש והקטנת מיתר הקצה. בנוסף, בשמירה על מימדי הרוטור ומהירות הסיבוב המקורית, נחסך הצורך בסבב תכן מבני נוסף וניתן לגשת לתכן מתקדם וייצור מהיר.

**פיתוח מנוע 903: מנוע רוטורי עם מחזור שימון סגור**

**אבי מרגלית, ניר גבע**  
אלביט מערכות בע"מ

**רקע**

מנוע 903, מנוע רוטורי בעל מערכת שימון סגורה, מפותח במסגרת תוכנית מפא"ת על מנת להמשיך ולקדם את טכנולוגיות הנעת הכטב"מ המבוססות מנוע רוטורי. זאת ע"י שילוב מערכת שמן לקירור הליבה ומסוב הידרו-דינמי בליבת המנוע.

תכנון המנוע, בדגש על מערכת המסוב, מהווה אופטימיזציה של טכנולוגיות המסוב כך שיתקבל אורך חיים מרבי תוך כדי שמירה על העלויות של המנועים הרוטורים (וואנקל) בהיבטי יחס הספק-משקל ויחס נפח-משקל. מערכת המסוב הייחודית של המנוע משלבת מסב הידרו-דינמי לרוטור ומסבי גלילים כמסבים ראשיים.

**יתרונות תצורת מערכת המיסוב ההיברידי:**

- שמירה על נפח התקנה זהה למנועי 802 ו-902 (W), בניגוד למערכת מסוב הידרו-דינמית מלאה.
- שיפור אורך חיי הליבה ע"י שימוש במסב הידרו-דינמי שאינו מוגבל אח"מ.
- הפחתה בצריכת השמן והורדת זיהום האוויר.

**תוכנית הפיתוח:**

1. פיתוח מודל תרמודינאמי של המנוע בתוכנת GT-Power.
2. פיתוח טרוכואידה המתאימה למנוע עם מסוב הידרו-דינמי.
3. פיתוח מודל זרימה (CFD) למערכת קירור נוזל.
4. תכנון ופיתוח מערכת קירור נוזל אקסילית.
5. פיתוח מודל מערכת שמן בתוכנת GT-Suite.
6. תכנון ופיתוח מערכת שמן (מסוב וקירור ליבה).
7. תכן מערכות היקפיות.

**פיתוחים עתידיים הנגזרים מפיתוח מנוע 903:**

תצורת מנוע 903 תהווה בסיס להמשך פיתוח המנועים הרוטוריים (וואנקל) לאור העובדה כי מערכת קירור ליבת המנוע בעלת הספק קירור גבוה יותר ורגישות נמוכה לטמפ'. תכונות אלו יאפשרו את הפיתוחים הבאים:

- פיתוח מנועים רוטורים בהספקים גבוהים יותר - התקנת מגדש טורבו לשמירה על ההספק בגובה
- מנועים רוטורים בעלי אורך חיים גדול יותר - מסב רוטור הידרו-דינמי שאינו מוגבל אח"מ
- מנועים רוטורים מרובי ליבות - קירור ליבה יעיל יותר
- הורדת זיהום אויר - פליטת שמן מצומצמת

# Hybrid propulsion system based on the engine fueled by alcohol reforming products

Dr. Leonid Tartakovsky

Faculty of Mechanical Engineering, Technion – Israel Institute of Technology

It is well known that about 30% of fuel energy introduced to internal combustion engine (ICE) is wasted with engine exhaust gases (Berggren and Magnusson, 2012). One of the ways to recover engine's waste heat is by using the energy of exhaust gases to promote endothermic reaction of steam reforming of alcohol - SRA (Tartakovsky *et al*, 2011). In principle, any renewable fuel may be used, not only alcohol. ICE is fed by the gaseous products of SRA, mainly hydrogen and carbon monoxide, frequently called syngas. The latter has, as a rule, greater heating value than primary liquid fuel and may be more efficiently burned in the engine in comparison to the original fuel. This approach, called thermo-chemical recuperation (TCR), has been receiving renewed interest as one of the possible methods of increasing powertrain efficiency and reducing emissions.

It is known that an onboard reformer can't work efficiently in a wide range of engine operation regimes typical for a conventional road vehicle, especially at transient modes and cold-start conditions (Brinkman and Stebar, 1985). In the case of a hybrid propulsion system, which always has an additional energy source, these shortcomings can be successfully overcome. We propose a reformer-ICE as a part of a hybrid propulsion system, thus avoiding the acute problems of reformer's operation in a motor vehicle. Utilization of exhaust gas energy together with combustion of a hydrogen rich gaseous fuel should lead to an improvement in vehicle energy efficiency and engine reliability together with a sensible emissions reduction.

Simulation of alcohol steam reforming was performed for ethanol and methanol by using the Equilibrium Reactor and Gibbs Reactor models of the CHEMCAD software package – Fig. 1, 2. For methanol the CHEMCAD calculation results were empirically corrected based on the available experimental data to account for the non-equilibrium reforming behaviour.

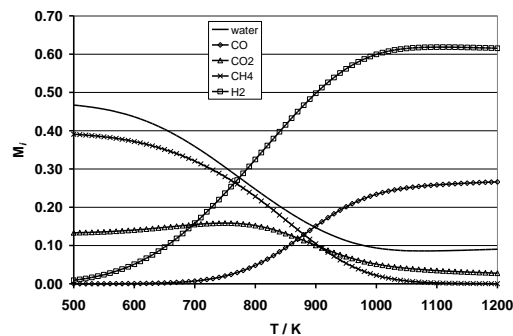


Figure 1. Products of ethanol reforming. Water/Alcohol ratio – 1.8.

As can be seen from the Figures, alcohol reforming by utilization of exhaust gas energy allows on-board production of a hydrogen rich gaseous fuel for ICE that contains up to 60-70 molar % of hydrogen. The benefit of methanol over ethanol is in the significantly lower required reforming temperature: about 300 °C compared with 800 °C for ethanol.

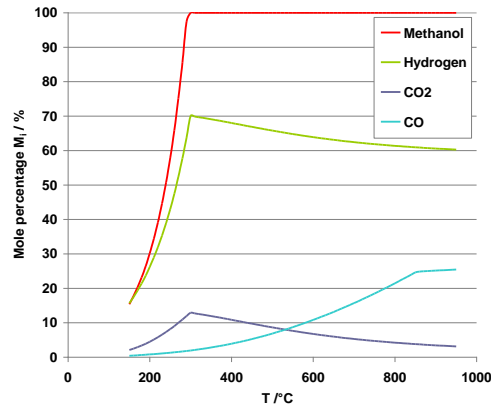


Figure 2. Products of methanol reforming. Water/Alcohol ratio – 0.5.

Theoretical prediction of ICE performance that was made for the example of ethanol reforming showed a possibility of energy efficiency improvement by up to 17% together with a significant reduction of pollutant emissions compared with the engine feeding by gasoline – Table 1.

Table 1. Comparison between engine feeding by gasoline and SRA products (values in %).

Fuel	Energy efficiency	CO emission	NO <sub>x</sub> emission
Gasoline	100	100	100
SRA products	117	8	25

## References

- Berggren, C. and Magnusson, T. (2012) *Energy Policy*, **41**, 636–643.
- Tartakovsky, L., Baibikov, V., Gutman, M., Mosyak, A. and Veinblat, M. (2011) *SAE Paper 2011-01-1992*.
- Brinkman, N. and Stebar, R. (1985) *SAE Paper 850217*.



# **Alternative Power Systems for Micro Aerial Vehicles (MAV)**

E. Sher<sup>1,2</sup>, A. Lidor<sup>1</sup> and D. Weihs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>[Faculty of Aerospace Engineering, Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel](#)

<sup>2</sup>[Department of Mechanical Engineering, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel](#)

There has been a large increase in development remotely-controlled and autonomous micro aerial vehicles (MAV). Potential military, scientific, police and mapping are the more important applications that motivate this effort.

One of the most severe limiting factors in term of weight of the MAVs is the propulsion system. This includes the energy storage and the unit that converts the stored energy into propulsion. While the potential of miniature ICEs has been considered impartially high due to the high specific energy of hydrocarbon based fuels, the miniaturization of ICEs has encountered several problems. In recent years, several research groups attempted to fabricate ICEs in the mini and micro scale, with results being much lower than anticipated.

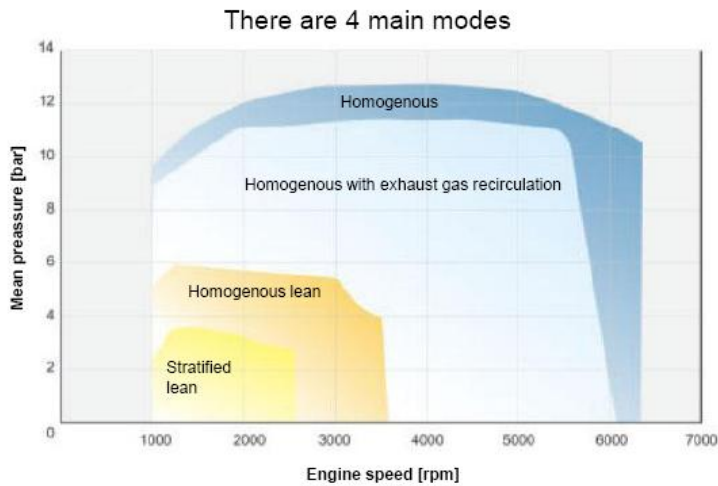
In the present study we examine several potential alternative power-plants. These include fuel for miniature internal combustion engines (ICE), carbon nano-tubes (CNT), shape memory alloys (SMA), fuel cells, synthetic muscles, flywheels, elastic elements, pneumatics, thermal systems, radioisotope thermoelectric (RTG), and phase change materials.

Summary of the systems reviewed is presented in the following table. We conclude that for the near future, one of the most promising alternative power-plant method is the phase-change material. Future promising methods are fuel cells, and for the far-future, carbon nano-tubes and synthetic muscles.

# BOSCH MED 9.X מערכת הזרקת בנזין ישירה

ארז מוספי  
חברת לדיקו בע"מ

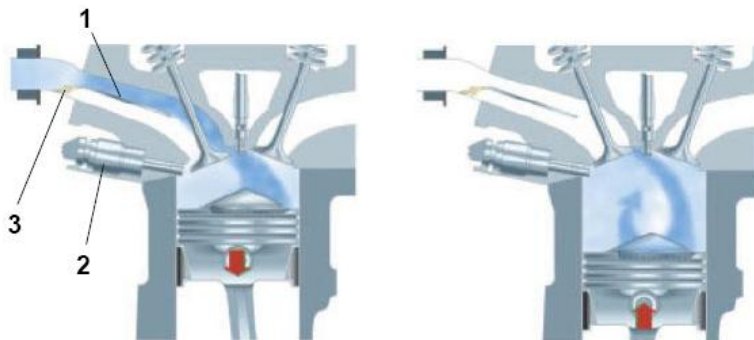
## Operating modes



The air-guided combustion method allows use of homogenous and stratified charge modes.

The engine electronics select the best operating mode depending on the load and the position of the accelerator pedal.

## Stratified charge mode

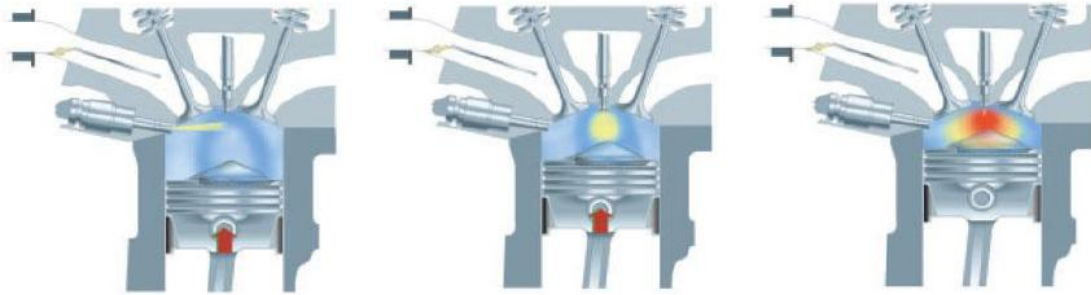


1. Separating plate
2. Intake manifold flap
3. High-pressure injector

The intake manifold flap closes the lower intake duct according to the engine map. As a result, the increased incoming mass of air has to flow through the upper intake duct and starts a tumbling charge movement in the cylinder.

The tumbling air flow is enhanced in the cylinder by the air-flow recess in the piston and the upwards movement of the piston

## Stratified charge mode



The fuel is injected during the compression stroke just before the ignition point. The fuel is injected at high pressure (40-110 bar) into the flow of air. The air flow then carries the ignitable mixture to the spark plug.

As the injection angle is quite flat, the fuel mist virtually does not come into contact with the piston head. This is known as an "air-guided" method.

Upon combustion, there is a layer of insulating air between the ignited mixture and the cylinder wall. This reduces the amount of heat transferred via the engine block and thus improves efficiency.

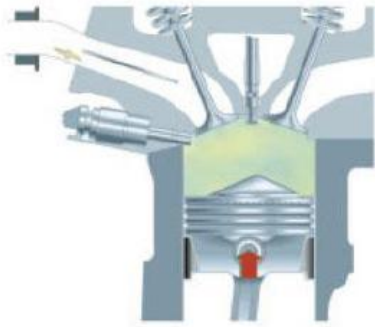
## Homogenous mode



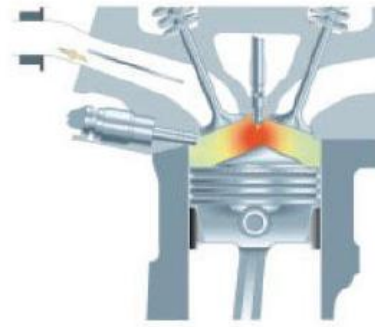
In homogenous mode, the intake manifold flap is moved to an intermediate position according to the engine map. In the combustion chamber, an optimum air flow for achieving lower fuel consumption and emissions is created.

In homogenous mode, the fuel is injected during the intake stroke and not in the compression phase as with stratified charge mode.

## Homogenous mode



As the fuel is injected during the intake stroke, the fuel-air mixture has more time to mix thoroughly before ignition



Combustion takes place in the whole combustion chamber without an insulating air layer or recirculated exhaust gases.

The advantages of homogenous mode are brought about by the direct injection during the intake stroke. The fuel evaporation removes some of the heat from the incoming air. Cooling the interior reduces the knocking tendency and thus increases the engine compression and efficiency.

## שימוש בתוכנת GT-Suite ככלי עזר בפיתוח מנוע 903

מיכאל סטנובסקי  
אלביט מערכות בע"מ

### מבוא

היכרות עם התוכנה ועקרונות פעולתה, סקירה קצרה על יכולות התוכנה ויתרונות הסימולציה מול שיטות אלטרנטיביות.

### עקרונות בניית מודל מנוע בעירה פנימית

עקרונות בניית מודל מנוע בעירה פנימית ותיקוף המודל.  
דוגמא: פיתוח מודל מנוע רוטורי (וונקל):

- עיקרון בניית מודל מנוע רוטורי (וונקל) בתוכנת GT-Power
- ייחודיות מנוע וונקל ביחס למנועים רגילים
- הצגת מודל תרמודינאמי של מנוע וונקל
- תוצאות ראשוניות

### פיתוח מודל מנוע 903 (רוטורי / וונקל)

- דוגמאות לחישובים לתכן מנוע 903
- הצגת מודל מערכת השמן של המנוע
- דוגמאות לחישובים לתכן מנוע 903
- שיטות כיוול של המודל
- מודל תרמודינאמי
- מודול שימון

## The Diesel Fuel Rotary Engine Propulsion System

**Levi Roodvoets – Chief Engineer, L-3 CPS Rotary Engine Team**

**Marko Gollash – Chief Engineer, Wankel SuperTec**

L-3 Combat Propulsion System (CPS) Muskegon, MI, US; in partnership with Wankel SuperTec (WST), are developing a family of lightweight, reliable, fuel efficient, high power density, diesel fuel rotary engines (DFRE). The R350 and R500 DFRE families are Wankel style, direct injection, spark assisted rotary engines that has been designed from the ground up to run reliably on kerosene and diesel fuels, primarily JP-8, but also others such as diesel, JP-5 and Jet-A.

The R350 DFRE (Figures 1) is available in single (R351), dual (R352) and twin-pack configurations, with a maximum power output at 6,000 rpm of 45 hp, 90 hp and 180 hp respectively. The engine features a lightweight, high pressure, direct injection system which has yielded diesel like efficiencies of 0.46 lbm/hp-hr. Combustion is assisted by a spark plug for consistence performance under any conditions. Engine power output is enhanced by a turbocharger, which provides near sea-level power up to 10,000 ft density altitude for improved aircraft performance under any conditions. To reduce the weight of a liquid cooled propulsion system and decrease packaging complexity, the engine is entirely cooled by engine oil, which has resulted in propulsion systems fully equipped with fluids weighing 80 and 100 lbs for the R351 and R352 respectively.

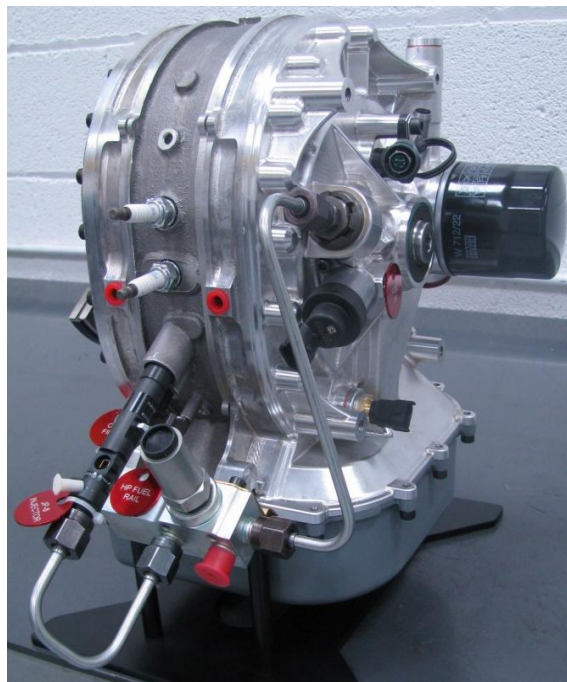


Figure 1: R351 DFRE

The R500 DFRE family (Figure 2) is a larger displacement (500cc per rotor vs. 350cc) family, with up to 100 hp per rotor and expandable up to four rotors. The R500 DFRE family has all the same features as the R350 DFRE family, with the exception of cooling provided by conventional water and ethylene glycol. With the bigger displacement the KKM500 DFRE engine reaches an efficiency of 0.42 lbm/hp-hr. The KKM504 with a maximum power output of 400hp weighing 300lbs.

The modular engine family design is a very cost competitive platform with more than 95% of the engine components shared between the one and multi-rotor engines. Low life-cycle costs can be realized through maintenance intervals in excess of 100 hours and overhaul intervals of 1000 hours. Additional reductions in engine costs can be realized as the engine families has been well accepted in alternate markets such as auxiliary power units and small manned and unmanned ground vehicles.

The R350 DFRE family has already accomplished a significant development milestone through the completion of a 150 hour FAR Part 33.49 durability test by an R351 at a US Army facility. Additional design, development and durability tests are ongoing at L-3 CPS and WST to further improve the reliability and durability of the R350 DFRE family.



Figure 2: R501 DFRE

The R350 and R500 DFRE families are the future in lightweight, reliable, fuel efficient and high power density Unmanned Aerial Vehicle (UAV) propulsion technology. The ease in scalability of the R350 and R500 DFRE families makes them ideal candidates to meet a variety of UAV applications, from tactical UAV's to medium-altitude, long endurance platforms, with one engine architecture.

This presentation consists of L-3 Combat Propulsion Systems general capabilities information that does not contain controlled technical data as defined within the International Traffic in Arms Regulations (ITAR) Part 120.10 or Export Administration Regulations (EAR) Part 734.7-11.



A . Nimberger-Ph.D  
Power Sources Consultant  
Har Tavor 3 Kiryat– Ono 55201

ד"ר א. נימברגר  
יעוץ מקורות אנרגיה  
רח' הר תבור 3, קרית- אונו 55201

Telefax: 972-3-6351182 Mobile 972-522-657429  
e-mail: alex@anPowerSource.com

19.11.2012

**הנדון: "כיצד ניתן לייעל את השימוש במקורות האנרגיה ליישומי כטב"מ" - תקציר**

**הקדמה**

טכנולוגיית מצברי ליתיום יון (Li-ion) נמצאת בשימוש כבר למעלה מ 20 שנה, (נכנסה לשוק ב 1991). מאז ועד היום ביצועי המצברים השתפרו במאות אחוזים, להם שילוב של מספר יתרונות על פני טכנולוגיית מצברים מהדור הקודם (משפחות נעופרת-חומצה ומשפחת ה-ניקל), לרבות: משך פעולה ארוך יותר, כושר הוצאת זרמים גבוה; מספר מחזורים (טעינה/פריקה) רב, השתמרות מטען מעולה ותחום טמפרטורת עבודה רחב.

למצברי ליתיום יון קיים שימוש רחב (2 ביליון סוללות בשנת-2012) עבור 3 יישומים עיקריים:

- מחשבים ניידים ופלאפונים סלולריים
- רכב חשמלי (EV, HEV, PHEV)
- רשת חכמה (Smart Grid)

ככלל עבור לכל אחד מהיישומים הנ"ל המצבר משמש כרכיב קריטי למערכת כולה. היישום המקבילי לכטב"מ מהיבט דרישות האנרגיה והספק מהמקור המתח הינו רכב חשמלי. המגבלות של מצברי ליתיום יון - סיכוני בטיחות, אורך חיים קצר יחסית ומחירם הגבוה, הן אלו שלעת עתה מונעים את הרחבת השימוש של מצברי הליתיום עבור רכבים חשמליים. טכנולוגיית ליתיום יון אינה סוג אחד של תא חשמלי, אם כי מגוון של סוגי תאים וזאת בהתאם ליישום. לחלק מהתאים עדיין קיים מרווח גדול להגדלת צפיפות האנרגיה והספק בעתיד.

הדרישות של מפתחי כטב"מ מהסוללה הן: רמת אמינות ובטיחות גבוהה, זמני עבודה ממושכים, שימוש וטעינה נוחים בתנאי סביבה ומשטרי עבודה קיצוניים.

**בהרצאה נסקור ונציג את הנושאים הבאים:**

א. סוגי טכנולוגיית תאי של ליתיום יון בהתאם ליישומים.



- ב. הגורמים המשפיעים על ביצועי התאים וכיצד ניתן ליעל השימוש בהתאם לצרכים של הכטב"מ- טעינה, תחזוקה, תנאי שימוש אופטימאליים. אמצעי הגנה ואתרעה מומלצים .
- ג. מהי בעיית הבטיחות? פרוט הדרישות החדשות של רגולטורים לשינוע ובדיקות של מצברי ליתיום יון לצורך מתן אישורים.
- ד. מגמות בהתפתחות טכנולוגיות של מקורות מתח עתירי אנרגיה והספק עתידיים כתחליף לליתיום יון.

ההרצאה מיועדת למפתחים, מנהלי פרויקטים בתחום פיתוח כטב"מ.

\* ד"ר אלכס נימברגר בוגר אוניברסיטה העברית תואר BSC ו MSC בכימיה אורגנית, ותואר PhD

מאוניברסיטת בר אילן באלקטרוכימיה ; בין 1984 ל 1998 היה אחראי על נושא מקורות אנרגיה בחיל הקשר וצה"ל, כיום משמש יועץ למספר חברות בטחוניות (רפאל, אלביט, תע"א) חברות הייטק ועוד.