



מערכת אופטימיזציה לייעול תהליך תכנון פריסה צבאית

בהנחיית ד"ר סופיה אמדור-נלקה

מס' פרויקט: ק 371

תחום: חקר ביצועים ומערכות מידע

שמות הסטודנטים: אלי כהן, שקד מעייני ואוהד זהבי

12 נובמבר 2020

מבנה ההצגה



אוהד

אלי

שקד

- מבוא
- בעיה ומטרות הפרויקט
- סטאטוס משימות ממצגת 1
- המצב הקיים
- מודל מתמטי (כולל אילוצים לדוגמא וניתוח אלפא)
- מבנה מערכת
- קטע קוד לדוגמא
- ממשק משתמש
- ממצאים + הדגמת ריצה
- תוצאות
- דיון ומסקנות
- המלצות ועקרונות להמשך לארגון
- העמקה אפשרית בעבודות/ מחקרי המשך
- סיכום

מבוא

- מערך כיפ"ב ליבה מבצעי פורס
- כל פריסה דורשת שינוע עשרות עד מאות מכולות
- כיום התהליך מתבצע באופן ידני ומסורבל
- מהות הפרויקט אוטומציה ואופטימיזציה לתהליך התכנון



הבעיה



עשרות עד
מאות מכולות

עשרות משאיות

עשה שונה
לאתר

עזרים לתכנון:

1. קצין

2. דף

3. עט

בהצלחה!!!



מיני עלות
מיני נסיעה

מקסימום
פורסום

מכולות בתצורות
שונות – דלת, חשמל, מזג

הבעיה



מסורבל ואיטי
(שעות)

תכנון ידני בשטח

פריסות צבאיות נדרשות ליעילות ולזמני תגובה קצרים



עלויות גבוהות יותר

טעויות אנוש =
כמות מובילים גדולה

מטרות הפרויקט



1

בחינה וסקירה
אקדמית של התפתחות
ייעול תהליכי תובלה
ושינוע בפריסות בדגש
לאופטימיזציה
ממוחשבת ותרומתם
לייעול ושיפור תהליכים
לוגיסטיים

2

תכנון, פיתוח ויישום
אלגוריתם ממוחשב
לאופטימיזציה של
תהליך הובלה ושינוע
צבאי מבוסס
קריטריונים ואילוצים
שיוגדרו ע"י הלקוח

3

הנגשת הפתרון
למשתמש באופן נוח
וידידותי ללקוחות
הקצה (אפיון צרכים,
ממשק משתמש(?))



סטאטוס משימות ממצגת 1



הערות	סטאטוס	משימה/הערה
עלות הינה 10 אלף דולר ללא מגבלת אילוצים ומשתנים (בבעיות תכנון לינארי)		רישיון Gurobi - עלויות לדבר על רישיון לאקדמי ולרישיון לצבא במצגת הבאה
יוצג בהמשך		הצגת מספר המשתנים וכמות האילוצים בדגש על נתוני אמת
תקין		בדיקת מגבלות הרישיון האקדמי
יוצג בהמשך		הצגת קטע קוד לדוגמא
יוצג בהמשך		המלצות לארגון – הכשרה והטמעה
בוצע		ניסוח המודל המתמטי והעברתו לאישור
הוחלט על תכנות בפייתון, תכנות מונחה אילוצים	*	תכנות מסובך ביחס לניסיון יש לנסות ולבחון ממשק GUI להמרת המודל לטקסט

הנחות עבודה למצב הקיים

- הגדרת המצב הקיים באמצעות 4 פרמטרים ו- 3 תרחישי ייחוס מציאותיים
- לא קיימים נתונים מדויקים מהעבר ← טווחים בלבד
- נתונים על בסיס הערכת בעלי תפקידים
- קיימים הבדלים משמעותיים ברזולוציית התוכניות בין הסוללות
- שימוש ב-Case Studies אמיתיים מהשטח!



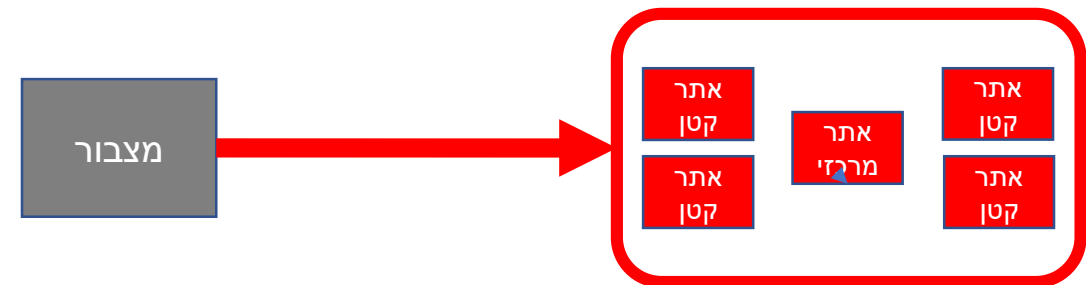
אינו מדגם סטטיסטי

פרמטר I – זמן התכנון

- זמן התכנון – זמן נדרש לצורך ביצוע תכנון פרטני מעמיק

מזב קיים	כמות מובילים	כמות מכולות	סוג פריסה	מדד
1-2 שעות	10	51	קטן	זמן תכנון
2-3 שעות	30	75	בינוני	
3-4 שעות	50	129	גדול	

- בנוסף, תוכנית הפריסה כיום אינה יורדת לפרטים בהיבט מכולה לאתר אלא מכולה למרחב (בדומה לשרשרת הספקה דרך מרלוייג במקום הפצה ישירה)



פרמטר II – דיוק העמסה

- דיוק ההעמסה – אחוז המשאיות אשר אינן נדרשות לפרוק ולבצע העמסה נוספת בשל טעויות בתכנון

מתאר פריסה	כמות מובילים	מובילים המבצעים העמסות כפולות	באחוזים
קטן	10	0-1	10%-0%
בינוני	30	1-3	10%-3%
גדול	50	2-5	10%-4%

- עד 10% מהמשאיות נדרשות לפרוק ולבצע העמסה מחדש במצבור ← בזבוז זמן



אני אף פעם לא עושה את אותה הטעות פעמיים !!
אני עושה אותה 5,6 פעמים רק כדי להיות בטוח

פרמטר III – נצילות העמסה

- נצילות ההעמסה – אחוז המשאיות אשר נוסעות כאשר הן בנצילות מלאה (בכל משאית 40 ft פנויים להעמסה)

מתאר פריסה	כמות מובילים	מובילים נשלחים שאינם מלאים	באחוזים
קטן	10	0-1	10%-0%
בינוני	30	1-2	7%-3%
גדול	50	2-3	6%-4%

- עד 10% מהמשאיות נוסעות למרחב כאשר הן בנצילות העמסה חלקית ולכן לעיתים נאלצות לחזור לסבב נוסף = 90% נצילות



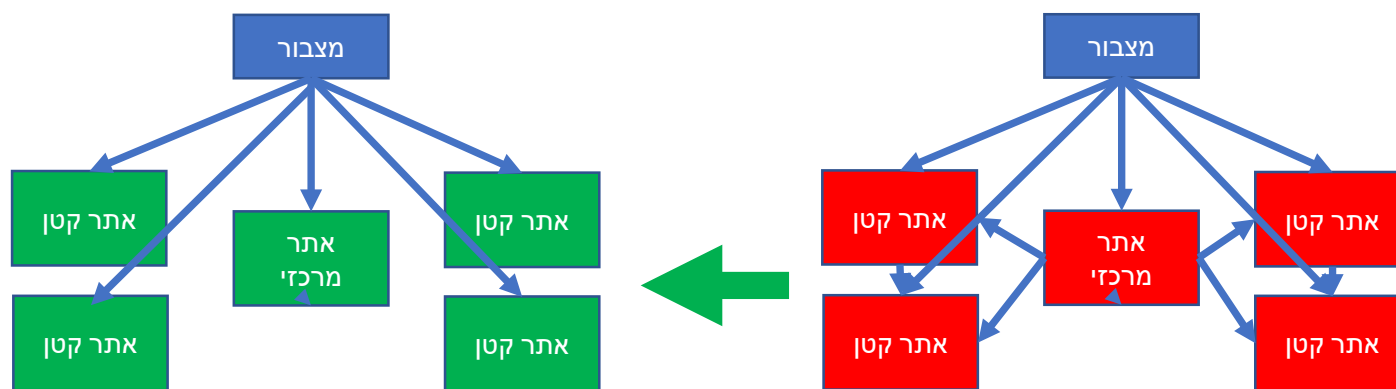
$$\eta = \frac{\text{Loaded size}}{\text{Truck size}}$$



פרמטר IV – יעילות השילוח

- יעילות השילוח – אחוז המשאיות אשר מבצעות נסיעות כפולות (לעיתים גם יותר מכך..)

סוג פריסה	כמות מכולות	מובילים המבצעים נסיעות כפולות	באחוזים
קטן	10	4	40%
בינוני	30	12	
גדול	50	20	



מודל מתמטי

i – Container index ($i \in C$)

j – Truck index ($j \in T$)

k – Site index ($k \in M$)

$$\text{Max} \left[\sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^T (X_{ij} \cdot S_i) - \alpha \cdot \left(\sum_{j=1}^T \sum_{k=1}^M Y_{jk} \right) \right]$$

X_{ij} - 1 if container i ($i \in C$) is loaded on truck j ($j \in T$), 0 otherwise.

S_i – Size of container i (ft) ($i \in C$).

Alpha Coefficient - Designed to fine any truck ride to more than one site

Y_{jk} – 1 if truck j ($j \in T$) is sent to site k ($k \in M$), 0 otherwise.

המודל המלא

ניתוח מקדם אלפא

אילוצים – קיר ודלת

$$W_j \cdot \sum_{i=1}^C X_{ij} \cdot (Ac_i + D_i + Ec_i) \leq 1, \forall j \in T$$



- אילוץ "קיר" – במשאיות עם קיר בטיחות מאחורי קבינת הנהג קיימת מגבלת העמסה בשל מבנה משטח ההעמסה השונה. אילוץ זה מוודא כי בהינתן משאית עם קיר (W_j), תועמס לכל היותר מכולה אחת בעלת תוספת חיצונית המייצרת מגבלה (זיווד חשמל חיצוני, דלת, מזגן)

$$\sum_{i=1}^C X_{ij} \cdot D_i \leq 1, \forall j \in T$$



- אילוץ דלת חזיתית – נדרשת גישה לתוכן חלק מהמכולות באתרים באופן מיידי גם טרם הפריקה (בעודן על המשאיות). לכן, על כל משאית j תועמס (X_{ij}) לכל היותר מכולה אחת עם דלת חזיתית (D_i), זאת כדי למנוע מצב של חסימת גישה לדלתות במכולות הנדרשות

Index:

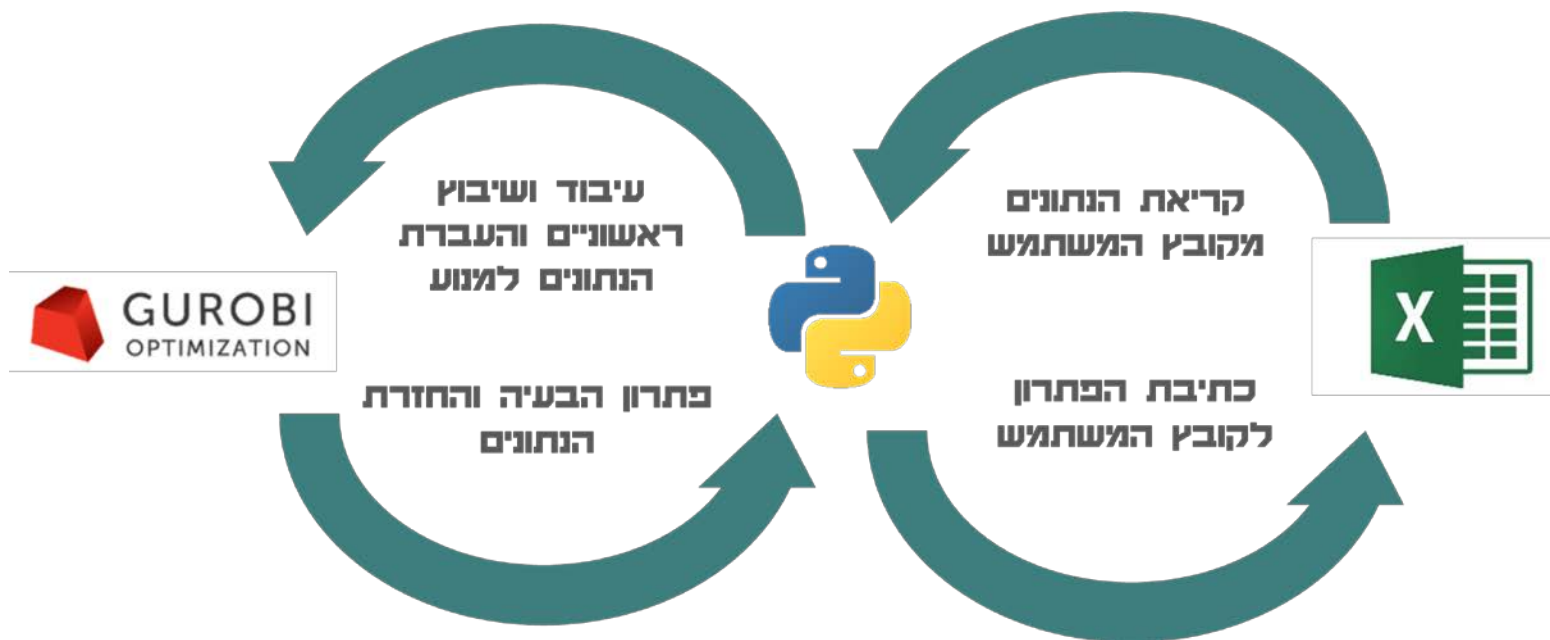
Ac_i – Air Conditioning system in container i ($i \in C$); 1 if the container i has AC, 0 otherwise.

D_i – Frontal Door in container i ($i \in C$); 1 if the container i has a frontal door, 0 otherwise.

Ec_i – Longitudinal external electricity pack in container i ($i \in C$); 1 if the container i has a pack, 0 otherwise.

W_j – Safety wall on truck j ($j \in T$); 1 if the truck has a safety wall, 0 otherwise.

מבנה המערכת



הסבר קוד – אילוץ קיר ודלת

$$W_j \cdot \sum_{i=1}^c X_{ij} \cdot (Ac_i + D_i + Ec_i) \leq 1, \forall j \in T \quad \text{אילוץ "קיר"}$$

$$\sum_{i=1}^c X_{ij} \cdot D_i \leq 1, \forall j \in T \quad \text{אילוץ "דלת"}$$

```
#wall - door - ac-ec constraint
```

```
for i in range(len(trucks)):
```

```
    has_wall = trucks[i][4]
```

```
    number_of_acs_in_truck = 0
```

```
    number_of_doors_in_truck = 0
```

```
    number_of_ec_in_trucks=0
```

```
    for j in range(len(containers)):
```

```
        container_has_ac = containers[j][4]
```

```
        container_has_door = containers[j][5]
```

```
        container_has_ec= containers[j][8]
```

```
        number_of_acs_in_truck += match_matrix[i][j] *
```

```
        container_has_ac
```

```
        number_of_doors_in_truck += match_matrix[i][j] *
```

```
        container_has_door
```

```
        number_of_ec_in_trucks += match_matrix[i][j] *
```

```
        container_has_ec
```

```
        m.addConstr(number_of_doors_in_truck <=1)
```

```
        if has_wall:
```

```
            m.addConstr(number_of_doors_in_truck +
```

```
            number_of_acs_in_truck+number_of_ec_in_trucks <= 1)
```

בדיקה האם יש קיר למשאית?
לולאת משאיות

איפוס קאונטר (היפול) משאית

האם למכולה יש מזגן/דלת/חשמל?

סכימה של כל הרכיבים
לולאת מכולות
(פנימית)

אילוץ "דלת"

אילוץ "קיר"

ממשק משתמש + הדגמה

- "הפעלה בלחיצה" (One Click):

- הבנה כי לא סביר לדרוש התקנה של תוכנות הפיתוח (Python, Gurobi,

- Pycharm) ובוודאי שלא להפעיל את האלגוריתם באופן ידני מתוכן

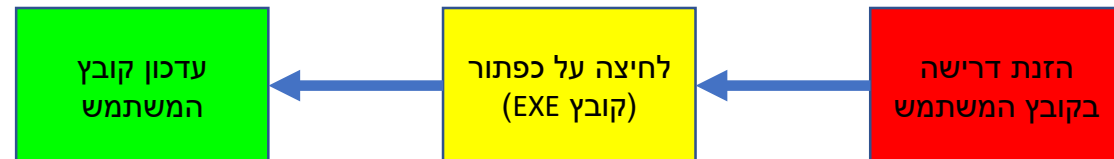
- לחיצה בודדת אחת להפעלת קובץ EXE ייעודי שיבצע את כל העבודה מקצה

- לקצה. קריאה ← חישוב ופתרון ← כתיבת הנתונים ← שמירה בחזרה בקובץ

העבודה

- תצוגת הערות ואזהרות שאופיינו לבקשת הלקוח - יוצגו באופן ייעודי ליד כל

משאית



ממצאים – מתאר גדול

• קלט:

מכולות	מירבית זמינה (וגודל כולל מירבי להעמסה)	כמות אתרים לפריסה	כמות משאיות	כמות אילוצים
129	50 (Ft 2000)	8	6,713	60,558

• פלט:

ערך פונקציית המטרה (אחוזים מתוך יכולת ההעמסה המירבית)	אחוז נצילות ממוצע למשאית	נוסעות לאתרים כפולים (דיוק שילוח באחוזים)	זמן ריצה עד להגעה לפתרון (Sec)
2000 (100%)	100%	0 (100%)	73.87

מתאר בינוני

מסילות	כמות משאיות מירבית זמינה (וגודל כולל מירבי להעמסה)	כמות אתרים	כמות משאיות	כמות אילוצים	מידע נדרשת
75	30 (Ft 1200)	3	2340	9782	מסח - XX קיבול

מתאר קטן

מסילות	כמות משאיות מירבית זמינה (וגודל כולל מירבי להעמסה)	כמות אתרים	כמות משאיות	כמות אילוצים	מידע נדרשת
11	10 (Ft 400)	3	940	2562	מסח - XX קיבול

ערך תכנונית	אחוז נצילות	שעות לעומת	זמן ריצה	מידע
1200 (100%)	100%	3 (100%)	1.8	מסח - XX קיבול

ערך תכנונית	אחוז נצילות	שעות לעומת	זמן ריצה	מידע
400 (100%)	100%	0 (100%)	0.08	מסח - XX קיבול

תוצאות פרמטר I – זמן התכנון

- זמן התכנון – זמן נדרש לצורך ביצוע תכנון פרטני מעמיק

השוואה		סוג פריסה
אחוז השיפור	שימוש במערכת	מצב קיים (ידני)
2400%-400%	5-15 דק'	1-2 שעות
3600%-800%		2-3 שעות
4800%-1200%		3-4 שעות
		קטנה
		בינונית
		גדולה



תוצאות פרמטר II - דיוק ההעמסה

- דיוק ההעמסה – אחוז המשאיות אשר אינן נדרשות לפרוק ולבצע העמסה נוספת בשל טעויות בתכנון

השוואה		סוג פריסה
שימוש במערכת	טעויות מצב קיים (ידני)	
0%	10%-0%	קטנה
	10%-3%	בינונית
	10%-4%	גדולה

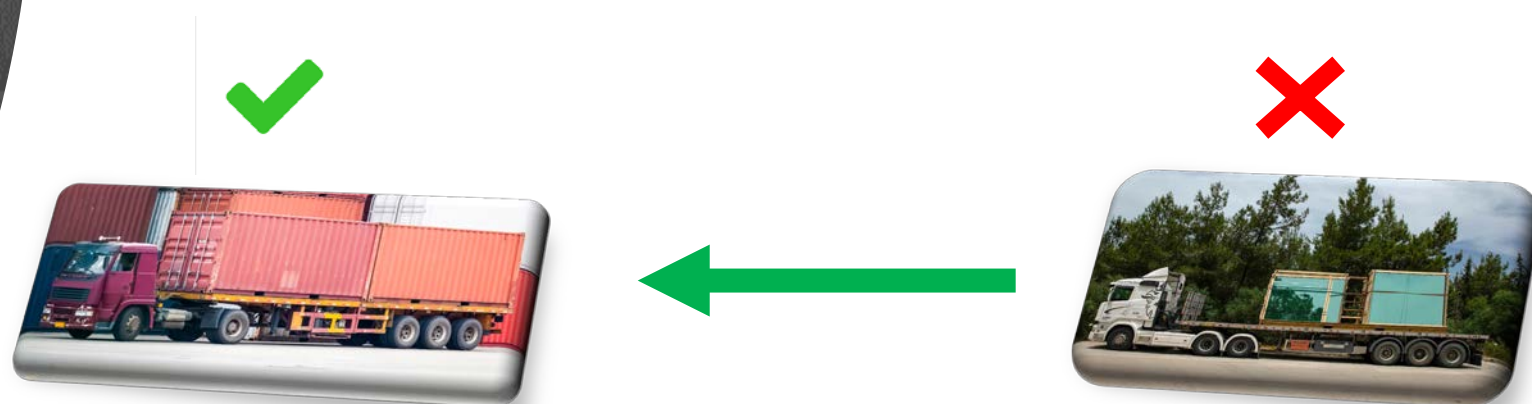
- אחוזי הדיוק בהעמסה הראו שיפור של עד 11%
- משמעות השיפור בדיוק ההעמסה הוא חסכון בזמן ההעסקה של משאיות/מנופים באתר ההעמסה (לעיתים עד כדי מספר שעות)
- הזמן שנחסך משתנה כתלות בגודל הטעות שבוצעה וכן במורכבות הפריקה וההעמסה המחודשות הנדרשות כדי לתקן זאת

תוצאות פרמטר III - נצילות ההעמסה

- נצילות ההעמסה – אחוז המשאיות אשר נוסעות כאשר הן מלאות (בכל משאית 40 ft פנויים להעמסה)

השוואה		מצב קיים (ידני)	סוג פריסה
אחוז השיפור	שימוש במערכת		
11%-0%	100%	100%-90%	קטנה
7%-3%		97%-93%	בינונית
6%-4%		96%-94%	גדולה

- עד 11% שיפור ביחס למצב הקיים כתלות בסוג התרחיש שנבדק
- חסכון בזמן ובכמות סבבים



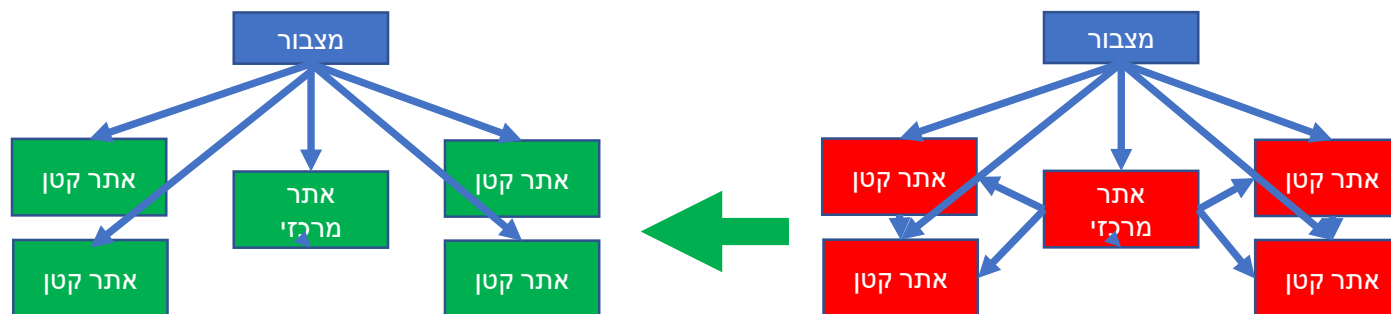
תוצאות פרמטר IV - יעילות השילוח

- יעילות השילוח – אחוז המשאיות אשר מבצעות נסיעות לאתר פריקה אחד בלבד

השוואה			סוג פריסה
אחוז השיפור	שימוש במערכת	מצב קיים (ידני)	
67%	100%	60%	קטנה
			בינונית
			גדולה

- חסכון משמעותי בכמות הנסיעות והסבבים

- תלוי מרחב הפריסה ובמרחק הגיאוגרפי בין האתרים (אתרים שנמצאים במרחק דקות אל מול אתרים במרחק של שעה נסיעה + זמן התמקמות)



דיון ומסקנות

- **סטנדרטיזציה** – למערכת פוטנציאל לאפשר אחידות וסטנדרט במערך הן בביצוע והן בתכנון
- **חסכון בעלויות** – ככלל, השיקול המבצעי גובר על זה הכלכלי. משפרים את הביצועים וגם חוסכים בעלויות! (עד **מאות אלפי שקלים בשנה**)
- **אופטימיזציה כסימולציה** – תכנון מקדים, תרחישים עתידיים, וודאות למקבלי ההחלטות
- **בטיחות** - עומס על המפקד בשטח, טעויות בהעמסה



המלצות ועקרונות להמשך לארגון

- קליטת המערכת - בהקדם האפשרי!
- היבטי הכשרה, הדרכה וניהול ידע:

- ממשק המשתמש פשוט מאוד לתפעול – One Click UI

- הכשרה - שעות בודדות של הכשרה לכל המערכת

- קליטה – גם ליכולת הדרכה והכשרה על המערכת או להמשיך ולהיעזר

בשירותי הכשרה של גוף חיצוני לטובת המשך ניהול והעברת הידע

- ממשק משתמש – הותאם על בסיס אפיון ראשוני, צפי להתאמות נוספות בהמשך

- אחזקה ופתרון תקלות – על בסיס סיוע בהתנדבות של צוות העבודה ו/או ע"י גוף

חיצוני במיקור חוץ שיספק תמיכה ייעודית למערכת

- רישיונות ועלויות המערכת – כרגע עם רישיונות תוכנה אקדמיים. הלקוח יידרש

לרישיונות עסקיים במחיר של \$10,000 (עד 10 מחשבים שונים)

- התקשרויות וחוזים לחברות התובלה והמנופים – PBH ← FIX



העמקה אפשרית בעבודות/מחקרי המשך

- **מיקום וסידור המכולות במתחם ההעמסה** – הנושא כרגע לא מקבל התייחסות מתוך הנחה שכלל המכולות נגישות באופן יחסית דומה אחת לשנייה, להלן שתי המלצות להעמקה נוספת במידה והמצב משתנה:
- עבודה ייעודית בנושא **סידור מכולות** יעיל ונגיש באתר ההעמסה
- **פתרון תוכנתי** המתחשב באלמנט של העמסה תוך סידור מכולות שאיננו מיטבי
- **עלויות** - פיתוח התוכנה גם לתחשיב של מחירים ועלויות שיחושבו על בסיס פרמטרים שונים כגון – דלק, שעות נסיעה, התממשקות ל Waze ועוד..
- **הרחבת היריעה** – מיצוי העקרונות שבמודל לתועלות נוספות ולכן קוראים לאיתור תהליכים פוטנציאליים לאופטימיזציה בצה"ל ובמערכת הביטחון כולה



סיכום

1. עמידה מלאה במטרות הפרויקט 

2. פוטנציאל ממשי למציאות חדשה

3. הפרויקט מעורר עניין רב!

1. ענף משאבים במפקדת הגנה האווירית בחה"א

2. גורמים בתעשיות הביטחוניות

3. זכויות יוצרים(?)

4. תהליך למידה משמעותי וחסר תקדים



5. תודה

6. ניפגש בפרויקט הגמר בתואר שני..

COMPLETED



THANK YOU!



שאלות?

1. A. H. Jomini, G. H. Mendell, & W. P. Craighill (2007). *The Art of War* (p. 62). Mineola, New York: Dover Publications. p. 62.
2. Blair, Clay, Jr. (1976). *Silent Victory*. New York: Bantam. pp. 359–60, 551–52, 816.
3. Alan Gropman, ed. (1997). *The big 'L': American logistics in World War II*. National Defense University Press. pp. 265–92.
4. Vincent, C. Paul (1985). *The Politics of Hunger: The Allied Blockade of Germany, 1915–1919*. Athens (Ohio) and London: Ohio University Press.
5. Zabecki, David T. (2009). *The German 1918 Offensives: A Case Study of the Operational Level of War*. London: Taylor & Francis. p. 56.
6. Gerard Sierksma; Yori Zwols (2015). *Linear and Integer Optimization: Theory and Practice (3rd ed.)*. New York: CRC Press. p. 1.
7. Alexander Schrijver (1998). *Theory of Linear and Integer Programming*. New York: John Wiley & Sons. pp. 221–222.
8. Dantzig, George B.; Thapa, Mukund Narain (1997). *Linear programming*. New York: Springer. p.26.
9. I. B. Pyne, "Linear programming on an electronic analogue computer," *American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics, Transactions of the*, 75 (2), pp. 139–143, 1956. doi: 10.1109/TCE.1956.6372503.
10. Leonid Khachiyan (1979). "A Polynomial Algorithm for Linear Programming". *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 224 (5), pp. 1093–1096.
11. Narendra Karmarkar (1984). "A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming". *Combinatorica*. 4 (4), pp. 373–395. doi:10.1007/BF02579150.
12. Mittelman, H.D. Benchmarking Optimization Software - a (Hi)Story. *SN Oper. Res. Forum 1, 2* (2020). doi:10.1007/s43069-020-0002-0.
13. Kress, M. (2002). *Operational logistics. The Art and Science of Sustaining Military Operations*.
14. Akgün, İ. and Tansel, B.Ç. (2007). Optimization of Transportation Requirements in the Deployment of Military Units. *Computers and Operations Research*, 34(4), 1158 – 1176. doi: 10.1016/j.cor.2005.06.016.
15. Yıldırım, U. Z., Tansel, B. C., & Sabuncuog, I. I. (2009). A multi-modal discrete-event simulation model for military deployment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17(4), 597–611. doi: 10.1016/j.simpat.2008.09.016.
16. אוחר מתוך. אתר משרד הבטחון. יישום תכנית ההתייעלות במערכת הבטחון (2010). <https://www.mod.gov.il> משרד הבטחון