

יום עיון - אתגרי התחבורה הציבורית
מפגש 1: תכנון

אופטימיזציית לוח זמנים לתזמון מעברים בין נסיעות ושיפור רמת השירות



ד"ר נורית אוליקר, חברת אופטיבס

פברואר 2025

ראשי פרקים

מבוא

1

- אופטימיזציה בתכנון רשת אוטובוסים

תכנון אופטימלי של לוחות זמנים

2

- מסדרונות ביקוש
- תדירויות מבוססות ביקוש
- תזמון מעברים בין נסיעות

סיכום

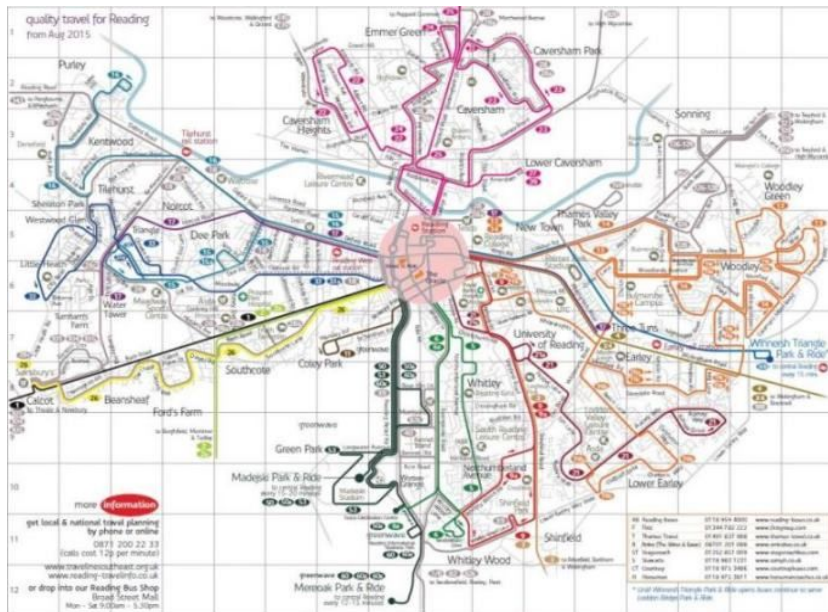
3

- רעיונות וכיוונים להמשך

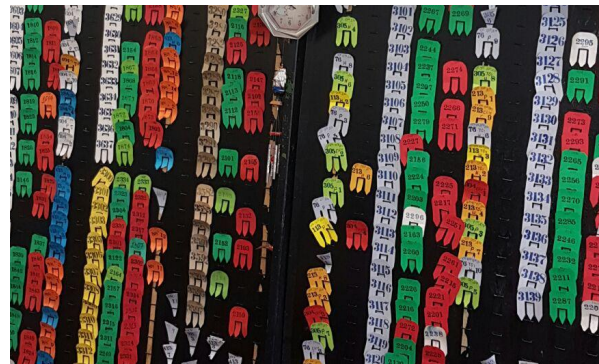
תכנון רשת אוטובוסים

ניתן לחלק את התכנון ל-5 שלבים

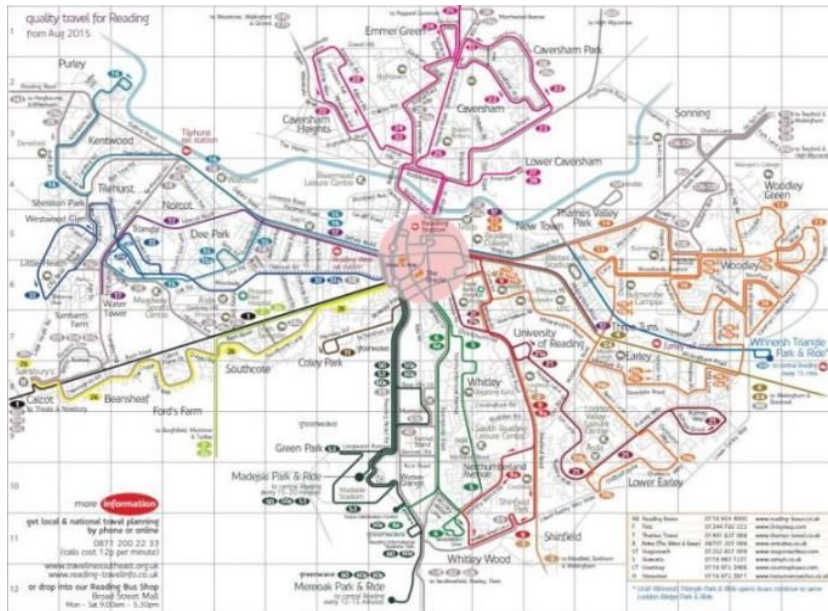
1. מציאת מסלולים
2. קביעת תדירויות
3. יצירת לוח זמנים
4. השמת רכבים
5. השמת משמרות



כלי תכנון שעדיין בשימוש



שילוב אופטימיזציה



שליבים בהם טרם הוטמעה אופטימיזציה

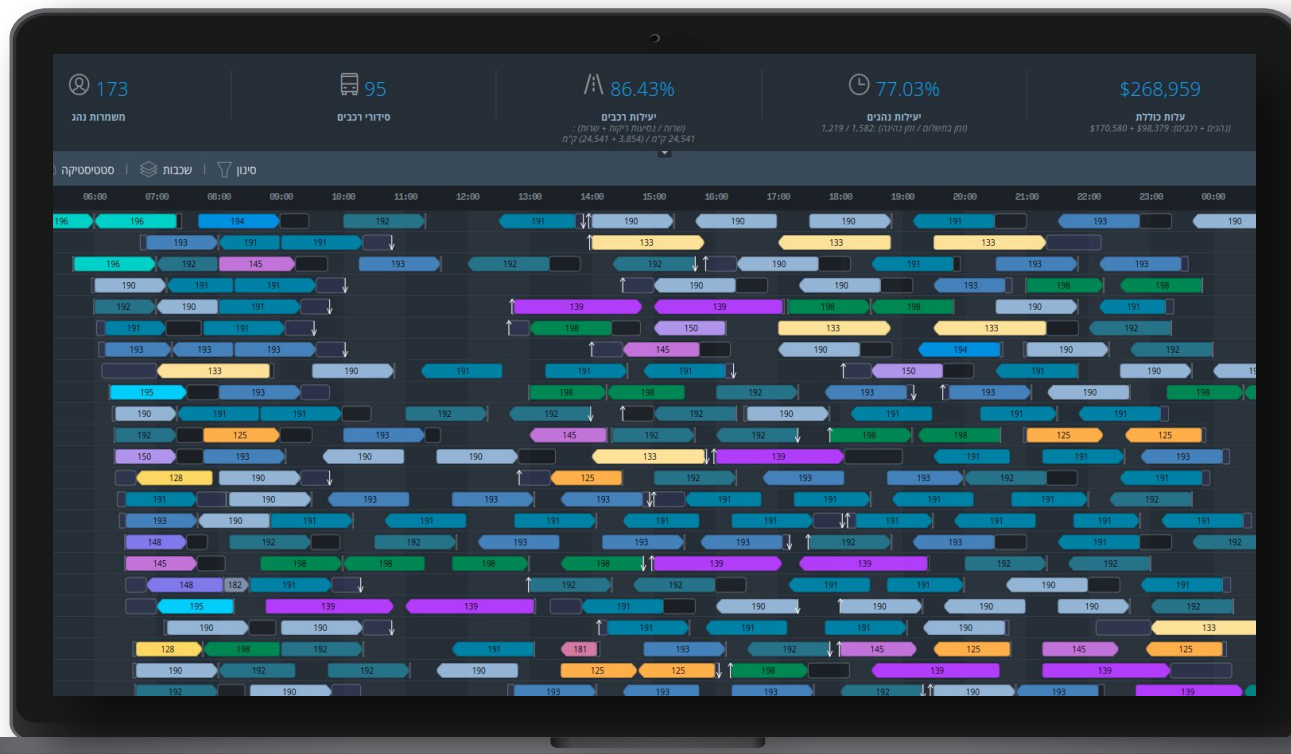
1. מציאת מסלולים
2. קביעת תדירויות
3. יצירת לוח זמנים

שליבים בהם נעשה שימוש רחב באופטימיזציה

4. השמת רכבים
5. השמת משמרות



השמת רכבים





השמת משמרות

יש לבחור הגדרות מתוך הרשימה

בשימוש **הכל**

רכבים

נהגים

אילוצים נלווים

הגדרות משמרת מותאמות אישית

הנמשת הגדרות

הומוגניות משמרות נהג

המתנת נהג

משמרות פיצול

נקודות קצה למשמרת

סוגי משמרות

תחנות התחלפות נהגים

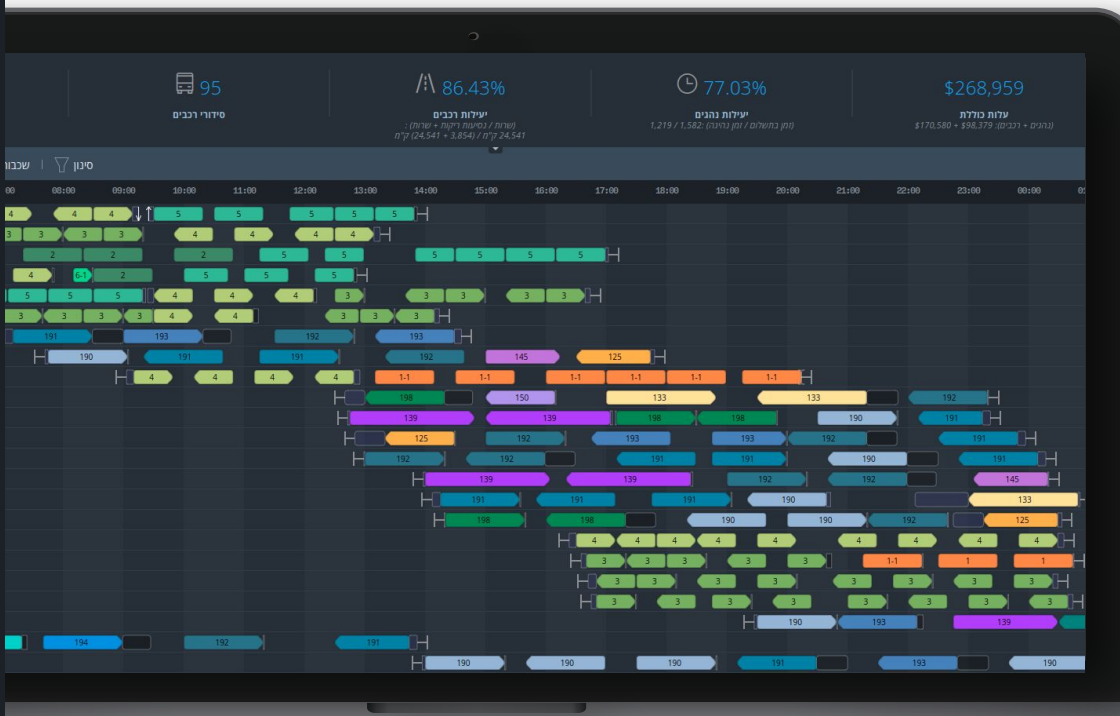
תקנות נהיגה ומנוחה

חניונים

הגדרת חניונים

השמת רכבים בחניונים

כללי



שילוב אופטימיזציה

שלבם שבהם טרם הוטמעה אופטימיזציה

1. מציאת מסלולים

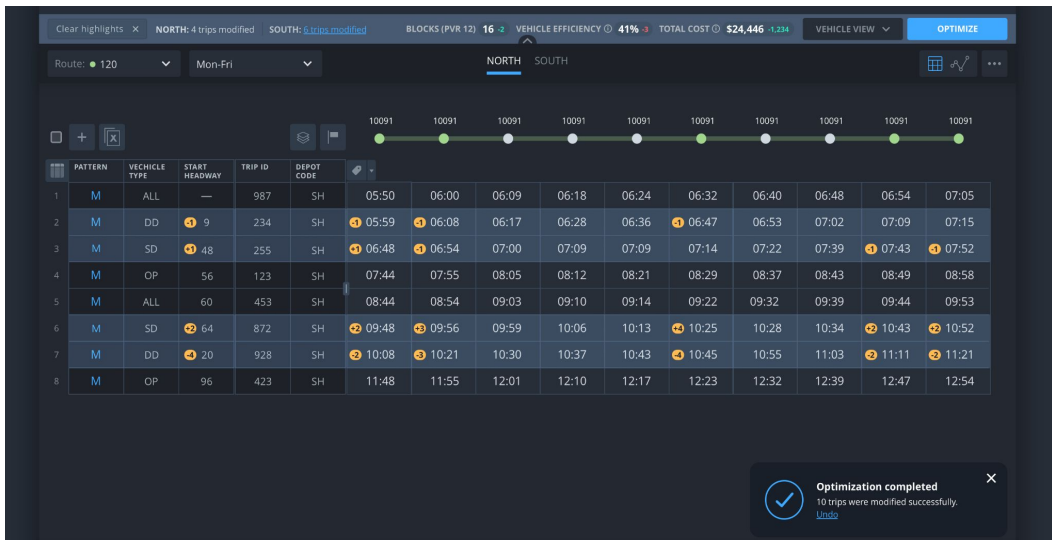
2. קביעת תדירויות

3. יצירת לוח זמנים

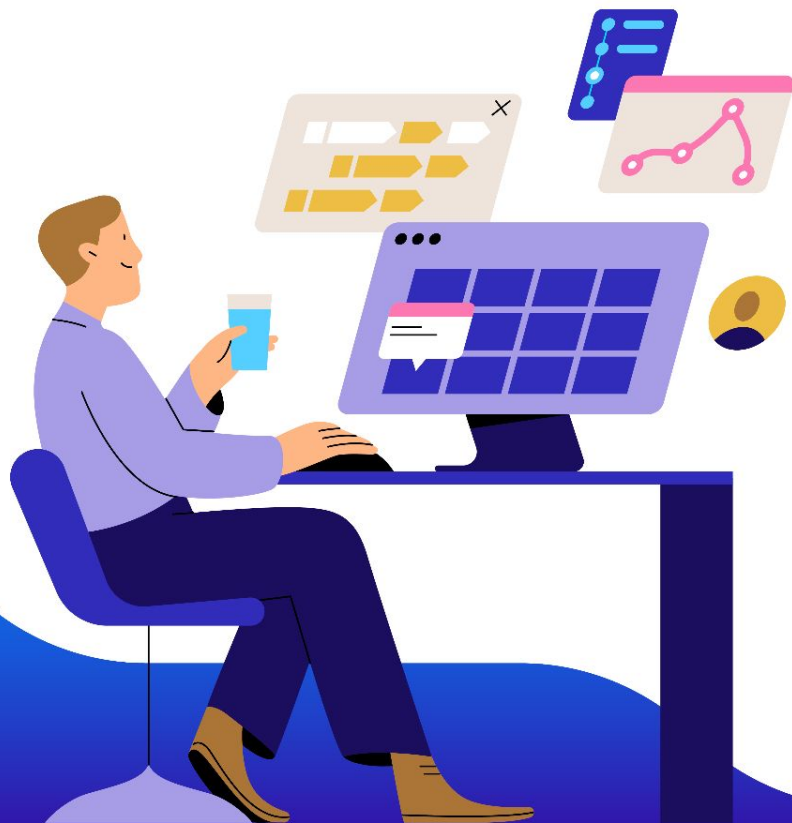
שלבם שבהם נעשה שימוש רחב באופטימיזציה

4. השמת רכבים

5. השמת משמרות



אופטימיזציית לוח זמנים



• מוטיבציה

• יישומים

○ הסדרת מסדרונות ביקוש

○ תדירות מבוססת ביקוש

○ מעברים בין נסיעות

■ מודל

■ דוגמאות

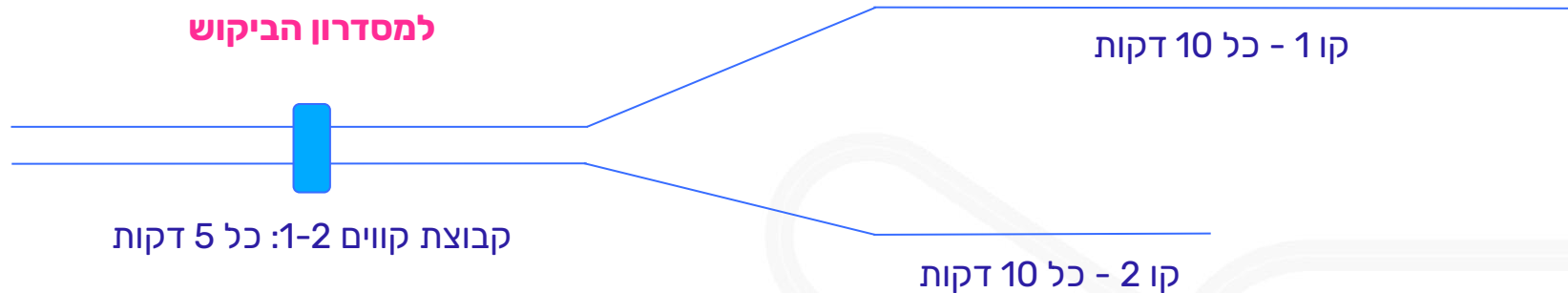
מוטיבציה

- חסכון בעלויות התפעול
- הפחתת זיהום סביבתי
- שיפור רמת השירות
- מרווחים בין נסיעות
- תדירויות
- תזמון מעברים בין נסיעות



מסדרון ביקוש

הסדרת הגעות
למסדרון הביקוש



מסדרון ביקוש

מרווחים בין נסיעות

Service ID Sun - Tue ▼ Route A+C ▼ Direction outbound ▼

TRIP HEADWAY

Define the min/max headway (in minutes) in between trips for the selected control point.

These preferences will only be considered when generating or optimizing a timetable with this route group selected.

Timebands

07 : 00 - 08 : 00

Routes from group

A, C ▼

Stop

(2002) 2X ▼

Min Headway

5 Min

Target X

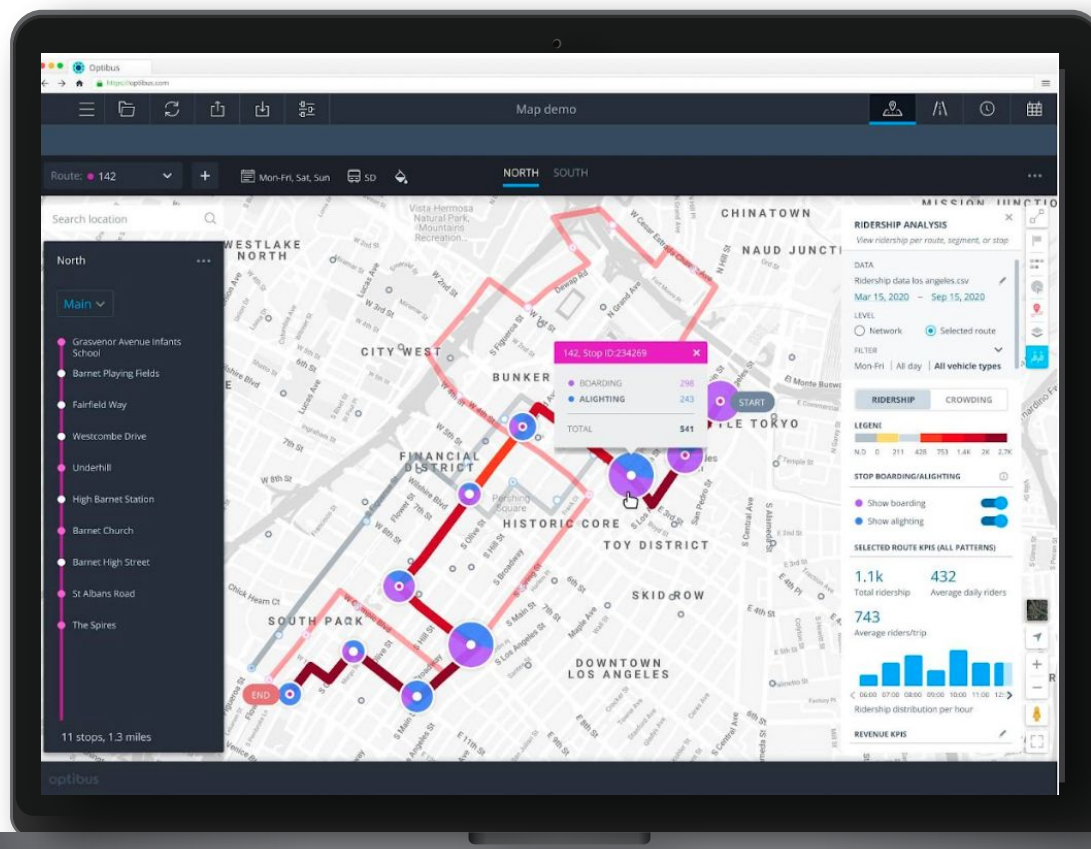
10 Min

Max Headway

15 Min

X

תדירויות מבוססות ביקוש



תדירויות מבוססות ביקוש

תדירויות

Service ID Sun - Tue ▼ Route A ▼ Direction Outbound ▼

TRIP FREQUENCY

Define the trip frequency within a time range for the selected service ID/route/direction.

Timebands 05 : 00 - 06 : 00 Pattern Main ▼ Frequency By demand ▼ min of 2 trip(s) within timeba... ▼ Peak load ⓘ 80 Vehicle occupancy range 10 % - 100 %

Timebands 06 : 00 - 07 : 00 Pattern Main ▼ Frequency By demand ▼ min of 1 trip(s) within timeba... ▼ Peak load ⓘ 120 Vehicle occupancy range 10 % - 100 %



תזמון מעברים



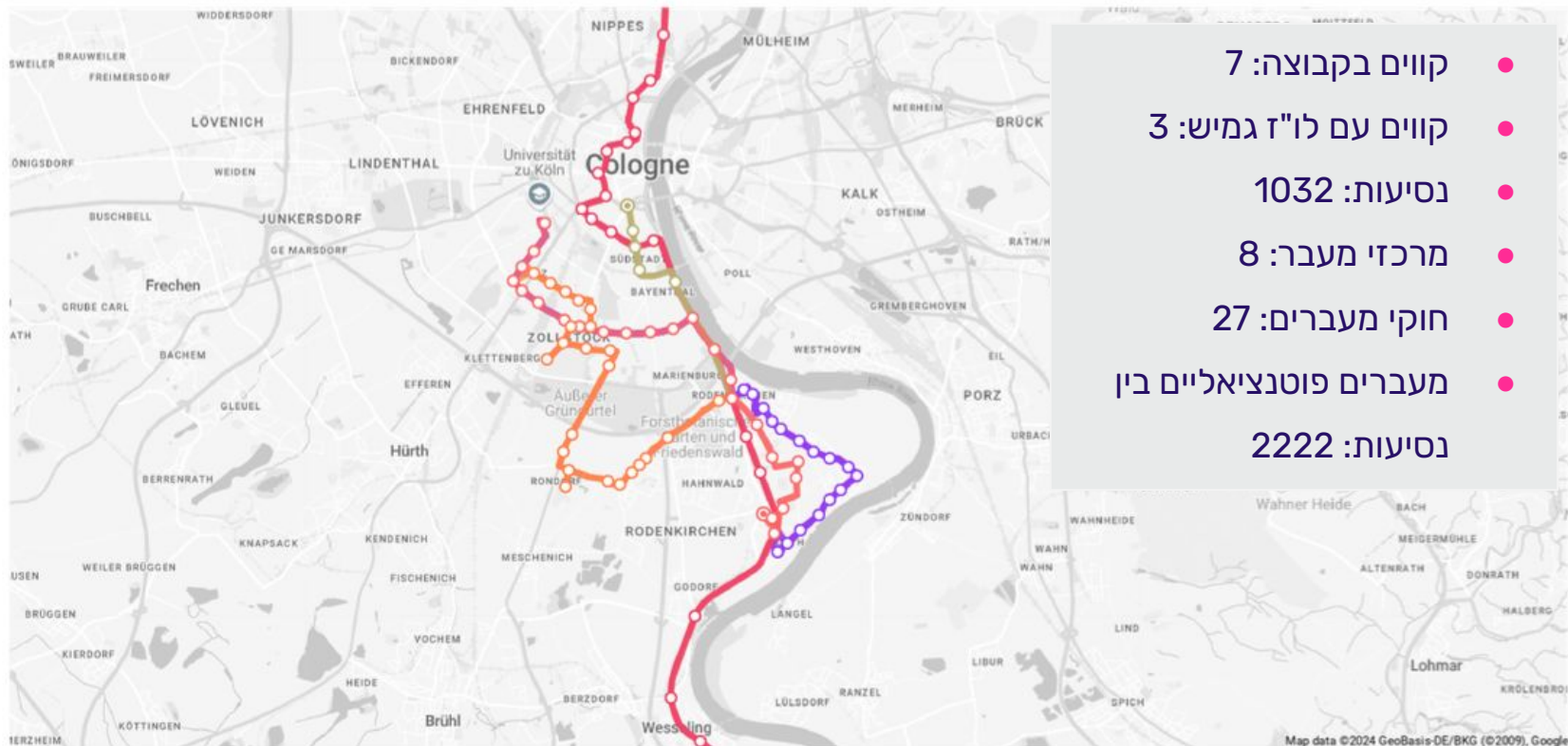
2
תזמון קווי המפעיל
לשירות חיצוני

1
תזמון בין קווים שונים של
אותו המפעיל

דוגמא ממערב גרמניה (KVB)

Routes

- 16 (16)
- 17 (17)
- 130 (130)
- 131 (131)
- 134 (134)



קווים בקבוצה: 7

קווים עם לוי"ז גמיש: 3

נסיעות: 1032

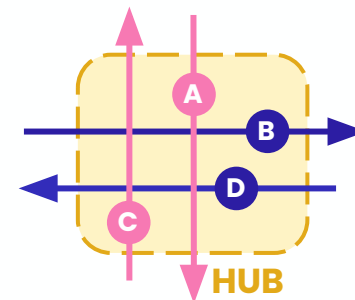
מרכזי מעבר: 8

חוקי מעברים: 27

מעברים פוטנציאליים בין

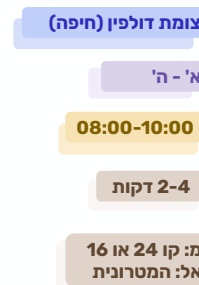
נסיעות: 2222

תזמון מעברים - אופן השימוש



הגדרת מרכזי מעבר

שיוך תחנות למרכזים



הגדרת העדפות מעברים

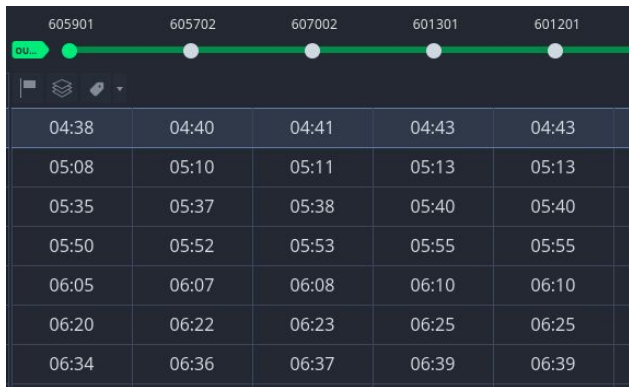
מרכז מעבר, קבוצת קווים, שירות



אופטימיזציה או יצירה של לוח הזמנים

המעברים מוכללים על-ידי סט של
אילוצים רכים

אופטימיזציית לוח-זמנים



The screenshot displays the Optibus software interface. At the top, a horizontal timeline shows five stops: 605901, 605702, 607002, 601301, and 601201. Below the timeline is a table with seven rows of departure times for five different routes.

04:38	04:40	04:41	04:43	04:43
05:08	05:10	05:11	05:13	05:13
05:35	05:37	05:38	05:40	05:40
05:50	05:52	05:53	05:55	05:55
06:05	06:07	06:08	06:10	06:10
06:20	06:22	06:23	06:25	06:25
06:34	06:36	06:37	06:39	06:39

הגדרת הבעיה

- יצירה / עדכון של לוח-זמנים
- מיזעור עלויות תוך ריצוי סט תנאים עבור קו, קבוצת קווים והמערך כולו

גישת הפתרון

- הוריסטיקה ליצירת נסיעות והוספתן ללוח הזמנים
 - מתן טווח גמישות להזזת כל נסיעה
- אופטימיזציה לעדכון זמני היציאה של נסיעות והסרת נסיעות מיותרות
 - פתרון הוליסטי של בעיית השמת רכבים

בסיס המודל

- משתנים בינאריים עבור כל הזזה אפשרית

x_{ts} - trip t with shift s is selected, $x_{ts} \in \{0, 1\}$

$x_{t,ex}$ - trip t is excluded from the schedule, $x_{t,ex} \in \{0, 1\}$

$$\sum_s x_{ts} + x_{t,ex} = 1, \forall t$$

- אם נסיעה משובצת ללוח הזמנים - נבחרת עבורה הזזה אחת בדיוק

מודל תזמון הנסיעות

t_i - transfer instance i is successful , $t_i \in \{0,1\}$

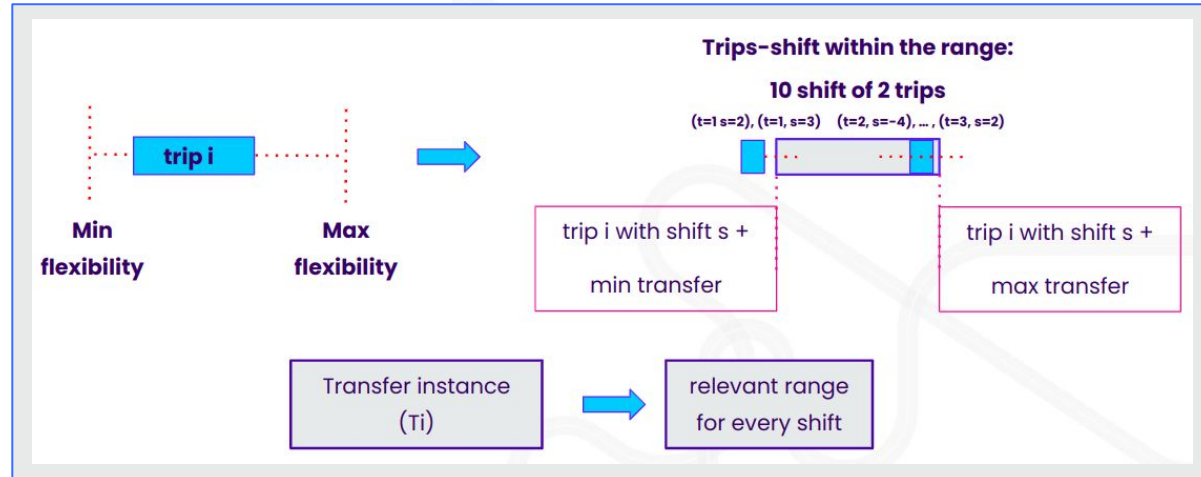
t_{is} - transfer instance i is enabled for the trip with shift s , $t_{is} \in \{0,1\}$

$$x_{t(i),s} - t_{i,s} \geq 0 \quad \forall s \in FR_i, \forall t_i \quad (1)$$

$$\sum_{t,s \in TS_{is}} x_{ts} - t_{is} \geq 0 \quad \forall s \in FR_i, t \in T \in t \wedge \forall s \in RFR_i, t \in ET \quad (2)$$

$$\sum_{s \in FR_i} t_{is} + t_i \geq 1 \quad \forall t_i \quad (3)$$

$$\text{Min } F = f + \sum_i P_i t_i \quad (4)$$



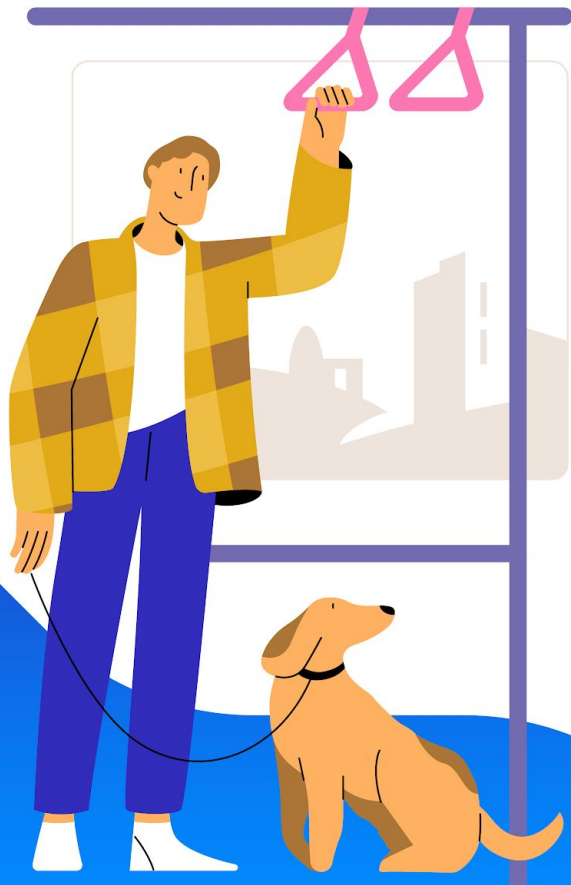
איך זה נראה במערכת

[link to demo](#)



סיכום

- מוצר תזמון המעברים פותח תוך ייעוץ ומשוב של רשויות תכנון
- תזמון המעברים נכלל במודל על ידי סט משתנים ואילוצים בינאריים
- אנחנו פותרים בעיית השמת רכבים הוליסטית אשר כוללת מגוון אילוצי לוח-זמנים רכבים ומשמרות
- לאופטימיזציית לוח הזמנים פוטנציאל גדול לחסכון בעלויות, הפחתת זיהום ושיפור רמת השירות



תודה על ההקשבה

שאלות
הערות
רעיונות
?

