



אוניברסיטת בן גוריון בנגב

הפקולטה למדעי ההנדסה

בית הספר להנדסת חשמל ומחשבים

דו"ח לפרויקט מסכם בקורס "תכנון רשתות מחשבים" – 371.1.0281

# Performance Optimization of Multi-Stage Queue System Using OMNeT++

מגישים : מאיה שמחי

דולב איזנברג

מספר קבוצה : 4

תאריך הגשה : 6/6/2025

## **תוכן עניינים**

3 .....	.1. מבוא
5 .....	.2. מידול המערכת
9 .....	.3. יודי הסימולציה
11.....	.4. מימוש הסימולציה
18.....	.5. בדיקת שפויות
20.....	.6. תוצאות – סימולציה סטטistica
20 .....	6.1. סימולציה סטטistica : מצב עבודה רגיל – 3 Scanners
29 .....	6.2. סימולציה סטטistica : מצב עבודה עמוס – 5 Scanners
37.....	.7. תוצאות - סימולציה דינמית
38 .....	7.1. סקר ביצועים – עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטוריזיס
53 .....	7.2. סקר ביצועים – שיעורן זמן לריקון התור (Queue Drain-time Estimation)
62 .....	7.3. סקר ביצועים – השוואת בין המנגנונים השונים
64.....	.8. סיכום ומסקנות

## 1. מבוא

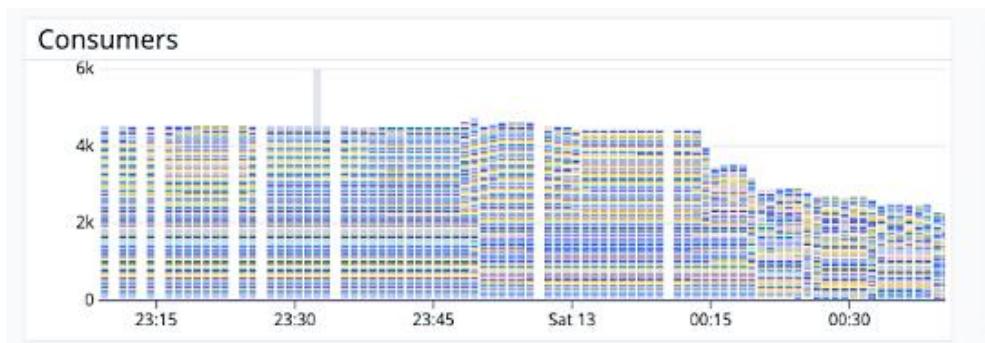
הפרויקט הוא **בашרaat בעיה אמיתית**, שם בין התהליכיים השונים שמתבצעים, קיימת מערכת תלת-שלבית שאחריות ליעד בקשות מלוקחות.

המערכת מבוססת/משתמשת ב-QM – תוכנת Open-source לניהול הודעות (כתובה ב-Erlang,) שמשמשת בתור "חוצץ"/"מגשר" (intermediary) לקבלת הודעות מהיצנים ומעבירה אותם אל היצנים. זה נעשה על ידי שימוש בתורים (queues), בהם מאוחסנות הודעות עד שהן יוכלו להিירץ ע"י היצנים. RabbitMQ עשו שימוש ב프וטוקול AMQP (Advanced Message Queueing Protocol), פרוטוקול סטנדרטי לתורים-בסיסי-הודעות.

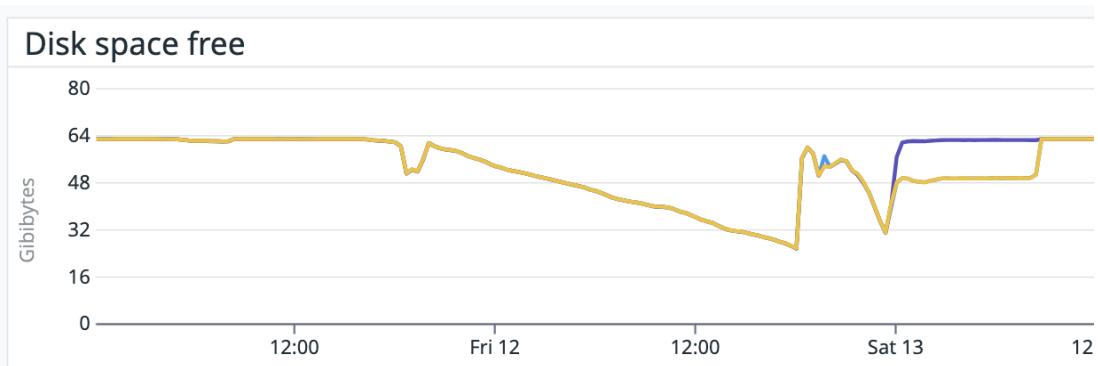
אופן העבודה של המערכת:

1. רכיבים (תוכנתיים) הנקראים Scanners סורקים את המידע של הלוקחות ומיצרים בקשות עבודה גולמית שונות בהתאם לצרכי הלוקחות.
2. בהתאם לסוג הבקשה וסט חוקים (שלא נרחב עליו), ה-Scanners מעבירים את הבקשות לתורים ייעודיים שמנוהלים ע"י RabbitMQ. אנחנו נתמקד בסוג ספציפי של בקשות שכולן מועברות לתור יחיד.
3. הבקשות הגולמיות נשלפות מן התור אל Orchestators – רכיבים שביצעים עיבוד מקדים ומהיר באופן ייחסי, ומוכנסות כולם לתור נוסף, שמנוהל גם הוא ע"י RabbitMQ. כל Orchestrator יודע לטפל בבקשת אחת בכל רגע נתון.
4. הבקשות המעובדות מטופלות ע"י Catalogs, שמסיימים את הטיפול בבקשת. משך טיפול זה הינו ארוך יחסית.

במערכת שנמצאת כרגע בשימוש, כמה היחודות בכל שלב משתנה בהתאם לאופן העבודה, ואחת הביעות היא שכאר המערכת תחת עומס, התורים המנוהלים ע"י RabbitMQ מגיעים למוגבה שליהם וקורסים. כשקירה כזו מתרחשת, נוצרת תגובה שרשרת שגורמת לקריישה של כל המערכת, וכל התוכן (גם זה שאינו הקשור לתורים שהובילו לקרישה) נאבד. ירידה זו בתפקה (ואיבוד של המידע שנמצא בעבודה) גורם לבזבוז משאבים, זמן וכיסף.



אייר 1.1: צילום גוף-h Consumers במערכת האמיתית. ניתן לראות את נפילות המערכת כאשר אין Consumers.

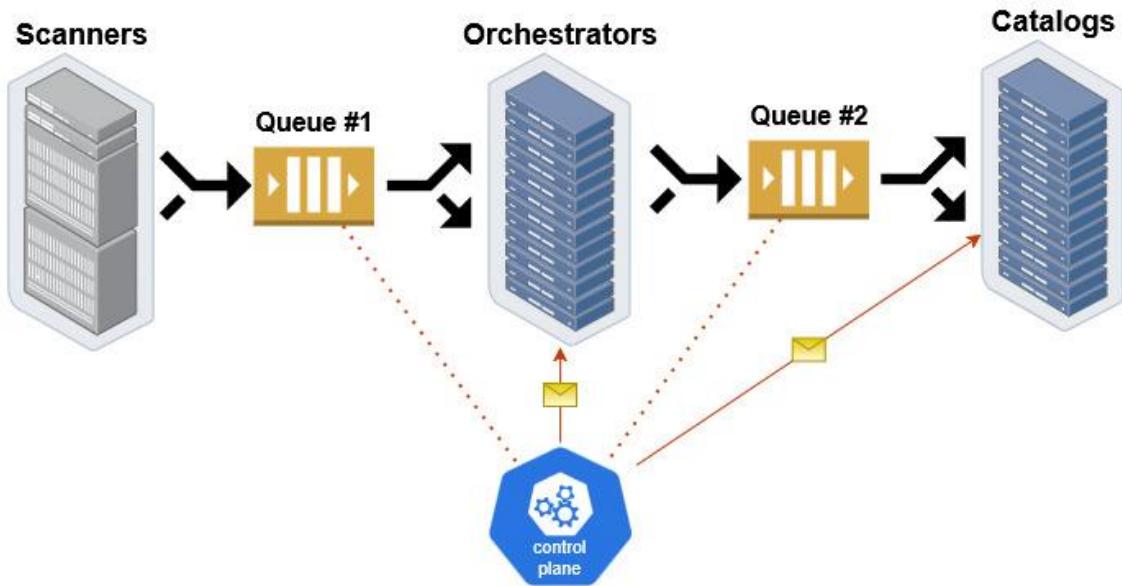


**אייר 1.2 :** גראף מקום האחסון במערכת האמיתית. ניתן לראות קriseה מלאה של המערכת והיעלמותה של כל ההודעות (פינוי פתאומי של זיכרון שהכיל הודעות בעת קriseה המערכת).

בכדי לטפל בבעיה זו, נרצה למדל את המערכת באמצעות OMNet++, ובאמצעותה למצוא את כמיות היחידות המתאימות והיחסים ביןיהן (בהתאם לעומס על המערכת) בכדי למנוע את קriseה התורמים ולדואג שהמערכת תעבדה בצורה חלקה ונתאים את עצמה לעומס בו היא נתונה.

## 2. מיזוג המערכת

במברט על, המערכת מורכבת מ-3 חלקים עיבוד מרכזיים – Catalogs, Scanners, Orchestrators (כאשר מכל אחד קיימים מספר יחידות, שהניהול שלהם מתבצע ע"י יחידת בקרה בהתאם לעומס בתורים שבמערכת. בין חלקים אלו חוצים 2 תוררים (המנוהלים ע"י RabbitMQ) שמקבלים מידע מהשכבה הקודמת ומפזרים אותו בין הרכיבים בשכבה הבאה.



אייר 2.1 : שרטוט ממברט-על של מודל המערכת.

נציג את אופן העבודה הכללי של כל אחד מהרכיבים זה, ואת האופן בו בחרנו למודל אותם.

### Catalogs .2.1

במערכת המعيشית: כל קטלוג מקבל הודעה/עבודה (Job) אחת בכל פעם, מבצע אותה, וכאש הוא מתפנה הוא מבקש מהתור הודעה/עבודה נוספת. ניהול חלוקת העבודה בין Catalogs השונים נעשה ע"י ה-RabbitMQ שאחראי גם לניהול התורו.

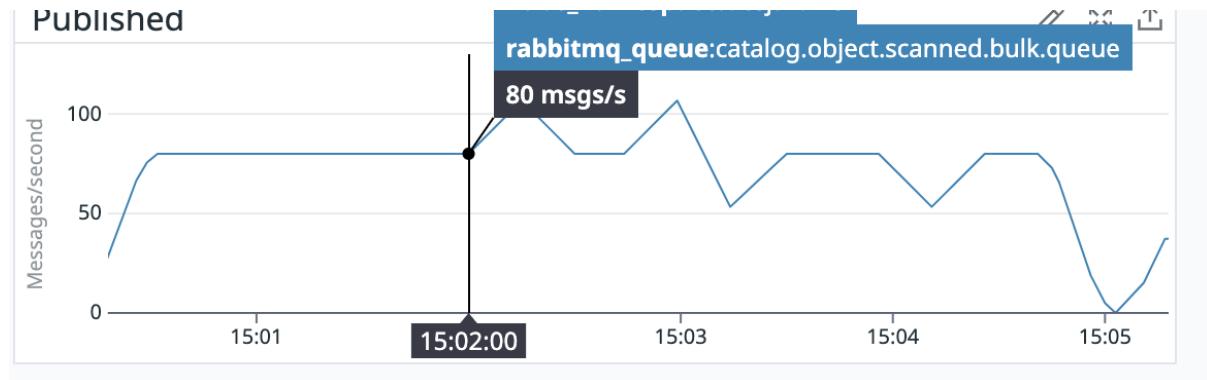
קצב ביצוע העבודות אינו אחיד, ומtopic נתוני המערכת האמיתיתים ניתן לחשב קצב צריכה של  $0.2 \frac{Jobs}{Sec}$ . בפועל, ככלומר 5 שניות לבצע עבודה אחת.

במודל שלנו: כדי שקצב הביצוע לא יהיה קבוע, נمدל אותו בתור מ"א אקספוננציאלי עם תוחלת של 5 שניות כאשר ה-*Catalog* אינו מבצע עבודה, הוא שולף את ההודעה שנמצאת בראש התור (של העבודות המכחות לביצוע). אם ה-*Catalog* פנוי והטור ריק, הוא מבצע *polling* לתור באופן אקראי עם תוחלת של 0.01 שניות).

## Orchestrators .2.2

במערכת המעשית: ה-Orchestrators פועלים באופן דומה ל-Catalogs, כאשר הם מקבלים עבודות מתוור שמצוינים ה-Scanners, מבצעים עיבוד על המידע ומכוונים את התוצריים שלהם לתור נוספים.

ל-Orchestrators זמן עיבוד קצר יותר מאשר משמשותית משל ה-Catalogs, והוא ממוצע עומד על  $4 \frac{Jobs}{Sec}$ , לעומת 0.25 שניות עיבוד לכל עבודה.



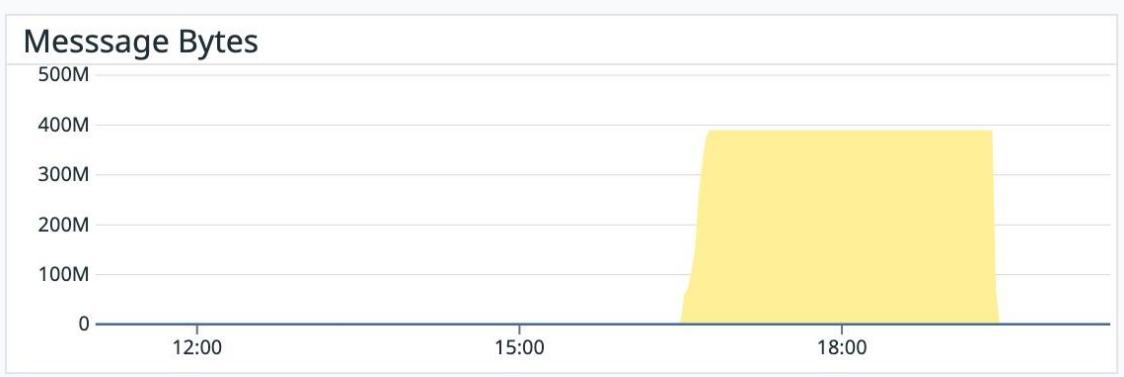
אייר 2.2 : גרפ קצב ביצוע עבודות עיי ה-Orchestrators היו כ-20 יחידות פעילות, על כן

$$\frac{80}{20} = 4 \frac{Msgs}{Sec}$$

במודל שלנו: נמדל את קצב ביצוע העבודות בתור מ"א אקספוננציאלי עם תוחלת של 0.25 שניות  $Exponential(0.25s)$ . כאשר יחידה מסוימת לבצע עבודה, היא מכניסה את העבודה לתור (שמננו ה-Scanners), ושולפת את העבודה שנמצאת בראש התור (שמננו ה-Catalogs). אופן שליפת העבודות מהתור זהה לשולפיהם. Catalogs

## Queues .2.3

במערכת האמיתית: התורים, שמנוהלים עיי RabbitMQ וחוצים בין ה-Orchestrators/Catalogs ובין Scanners/Orchestrators. מקבלים עבודות מכל היכרנים (Orchestrators/Scanners), תלוי באיזה תור מדבר, מ אחסנים אותו ומחלקים את העבודות האלו בהתאם לחוקים פנימיים ולזמניות היכרנים, שמודיעים כאשר הם זמינים לבצע עוד עבודה. המערכת יש נפח אחסון מוגבל בתור שימושי מתוכן העבודות.



אייר 2.3 : נפח האחסון של העבודות בתור במערכת.

**במודל שלנו :** במקומות שחלוקת העבודה תעשה ע"י התורים עצם והצרכנים מודיעים על זמינות (והתור מגיב לכך ע"י שליחת עבודה לאותו צרכן) - הצרכנים פונים ישירות אל התור ושולפים מראש התור העבודה.

בכדי למדל את זמן העבודה הפנימי וההשניה שנוצרת בתוך ה-Q, RabbitMQ, אנחנו מוסיפים לתור זמן עיבוד אקראי בעל תוחלת של  $1ms$  לכל הודעה שmagieua אליו (נועד למדל את הזמן שלוקח ל-RabbitMQ לקבל את המידע ולבצע את החישובים הפנימיים שלו).

בכדי למדל את מגבלת נפח האחסון, הרכנו באמצעות נפח האחסון בו התור קורס את כמות ההודעות שנמצאת בו ברגע הקriseה, וערך זה נע בין 100-120 הודעות. על כן, אנחנו נחמיר ונגדיר מגבלת אורך לתור שלנו של 100 הודעות.

## Scanners .2.4

**במערכת האמיתית :** מנגנון ה-*Scanners* הוא חלק מלוגיקה נרחבת הרבה יותר (יחידות אלו מבוצעות פעולות נוספות). לצורך הבעה שלנו, ניתן להנין ה-*Scanners* מייצרים עבודות בקצב של 0.1 שניות לעבודה.

**במודל שלנו :** נמדל את קצב יצירת העבודות בתור מ"א אקספוננציאלי עם תוחלת של 0.1 שניות. את העבודות האלה ה-*Scanners* יזינו לתור שבמהשך מעביר ל-*Orchestrators*.

**במערכתaktiva, במיות היחידות המקסימליות חן :** 10 Scanners, 22 Orchestrators, 92 Catalogs

כאשר המערכת מגיעה לעומס כזה באופן רגעי, התורים קורסים ואיתם כל המערכת.

נמחיש זאת ע"י רצאה של הסימולציה שלנו (עליה נפרט מיד):

Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Value
General		#0	TestNetwork.queue	queueLength:timea	~10.9407
General		#0	TestNetwork.queue	queueLength:max	36
General		#0	TestNetwork.queue	queueLength:avg	~10.6143
General		#0	TestNetwork.queue	dropped:count	0
General		#0	TestNetwork.queue2	queueLength:timea	~109.106
General		#0	TestNetwork.queue2	queueLength:max	284
General		#0	TestNetwork.queue2	queueLength:avg	~110.475
General		#0	TestNetwork.queue2	dropped:count	0

**טבלה 1.2:** ערכי התורים בסימולציה עבורה הריצה של 5 שניות, ללא הגבלת אורך התור.

כפי שניתן לראות, תור מס' 2 (queue2), שבין ה-Orchestrators ל-Catalogs, מתנפח לאורך מקסימלי של 284 ואורך ממוצע של 110.475, ועל כן גם בסביבת הסימולציה אנחנו יכולים לשחזר את נפילת המערכת.

## Controller.2.5

**במערכת האמיתית:** מנגנון הבדיקה מוסת את כמות הרכיבים שעובדים בכל רגע נתון במערכת. הוויסות מתבצע ע"י דגימה אחת לשניה של אורך התורים, באופן הבא :

$$\text{Number of elements} = (\text{Queue length}) * \frac{\text{Maximal # of pods} - \text{minimal # of pods}}{100}$$

אם תוצאה החישוב הנ"ל גדולה מכמות הרכיבים שמופעלים – מעלים את כמות הרכיבים לערך שהתקבל.

אם הכמות קטנה – ממצאים את הדגימות ברבע השעה האחרונות ומורידים לערך התואם עפ"י הנוסחה.

**במודל שלנו:** נmdl את אופן העבודה הנ"ל :

- בכל  $X$  שניות תבוצע דגימה של אורך התורים ע"י גישה למודול של התורים ע"י הבדיקה.
- לאחר דגימה, מנגנון הבדיקה יעשה חישוב ויחליט האם להדליק או לכבות יחידות נוספות (בקטלוגים והמתאימים באופן נפרד).
- הדלקה וכיבוי רכיבים ייעשה על ידי שליחת הודעה הדלקה/כיבוי לרכיבים הספציפיים.

### 3. יעדוי הסימולציה

**בקצהה:** נמצא את כמות היחידות השונות (Scanners, Orchestrators & Catalogs) בעומסים שונים של המערכת כך שהתורים שלנו לא יתמלאו ונקבל את הביצועים הטובים ביותר (סימולציה סטטית). לאחר מכן, נשלב מנגנון בקרה המאפשר לשולט על כמות הרכיבים הפעילים במערכת ונבדוק 2 פונקציות בקרה שונות, עליהם נבצע סקר ביצועים על הפרמטרים שבסליתנותנו כדי למצוא את הקונפיגורציות האופטימליות. לבסוף, נשווה את הקונפיגורציה הנ"ל עם גישות אחרות לביקורת המערכת (fonkציות שונות) שלדעינו יכולות לתת ביצועים טובים יותר.

#### 3.1. שלב א' – סימולציה סטטית:

נתמקד ב-2 תרחישים :

1. מצב עבודה רגיל – פועלים 3 Scanners
2. מצב עבודה עמוס – פועלים 5 Scanners

את כל התרחישים נריץ בתנאים הבאים :

- אורך הסימולציה הוא כ-10,000 שניות (~3 שעות) – מאפשר לבצע stress testing ולקבל תוצאות אמינות יותר.
- הקיבולת המקסימלית של כל אחד מהתורים הינו 100 הודעות (+הודעה אחת שנמצאת 'בדרך').
- קצב העבודה של כל היחידות במערכת הון כפי שמידלנו קודם קודם עפ"י הקצבים הקיימים במערכת האמיתית.

היעדים שלנו :

1. אפס קריסות של התורים – כמובן, התור אינו מגע למגבלה (מתבטא באיבודי עבודות, dropped bytes, כאשר התור מלא). נשאף להגעה מקסימלית למחצית מגודל התור (עד 50).
2. השהייה (Latency) נמוכה ככל הניתן (השהייה ממוצעת ומקסימלית).
3. כמות הרכיבים (Orchestrators, Catalogs) המינימלית שנדרשת ביצועים מספקים.

#### 3.2. שלב ב' – סימולציה דינמית

نبזק את האפשרות להשתמש במערכת בקרה דינמית כדי לשולט בכמות המתאימים והקטלוגים הפעילים, במטרה להציג ביצועים טובים במש' מקרים תוך כדי הפחיתה בכמות היחידות המופעלות.

נשתמש בתוצאות הסימולציה הסטטית בתור ערכי בסיס למספר המקסימלי של היחידות אליהן המערכת יכולה להגיע ונתקנן 2 פונקציות בקרה :

1. עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטורי (Drain estimation)
2. שערוך זמן לריקון התור (Drain estimation)

פירוט מكيف על אופן פעולה הפונקציות נמצא בפרק 4.5 (אופן עבודה כללי) ו- 7 ( לכל פונק' ספציפית)

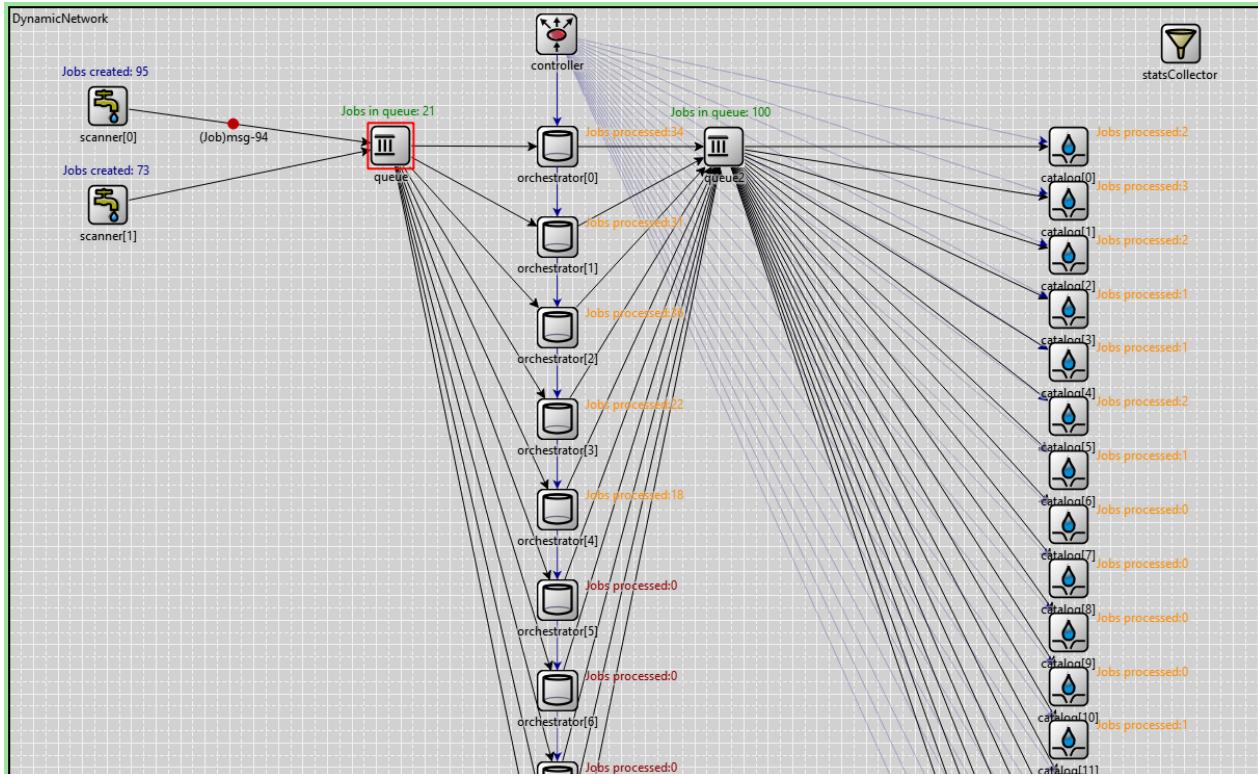
**מבצע סקר פרמטרים** על פרמטרים שבשליטתנו בשתי הפונקציות האלו ונמצא את קומבינציית הפרמטרים האופטימלית לפי מס' מדדים שימושיים אותן :

- כמות הרכיבים הפעילים
- השהיה (Latency)
- תפוקה (Throughput)
- תנודתיות המנגנון (כמו 'פתיחה' ו'סגירות' של רכיבים מתבצעות לאורך הסימולציה)
- איבודי הודעות (כ-% מכלל ההודעות)

ולבסוף נשווה בין הקומבינציות האופטימליות של שתי הפונקציות האלו ותוצאות הסימולציה הסטטיסטית.

## 4. מימוש הסימולציה

הסימולציה מכילה 28 פרמטרים שונים לשיליטה על התנהלות המערכת, ואיסוף סטטיסטיות על 13 נתונים שונים (בצורה סקלרית, וקטורית וכו').



אייר 4.1 : GUI הסימולציה הדינמית בזמן עבודה.

### הסימולציה מורכבת מהמודולים (Classes) הבאים:

1. מודול תור – Queue.cc
2. מודול סורק – Scanner.cc
3. מודול מתאם – Orchestrator.cc
4. מודול קטלוג – Catalog.cc
5. מודול ייח' בקרה – Controller.cc – (בסימולציות הדינמיות)
6. מודול איסוף סטטי מרוכז – StatsCollector.cc

בנוסף, יצרנו קובץ הودעה ייעודי (Job.msg) המאפשר להודעות במערכת להכיל מידע שנדעת לדעת על ההודעות – זמן השהייה בתור, זמן התחלתה (מתי ההודעה נוצרה) וזמן הגעה לתור :

```
message Job {
    simtime_t totalQueueingTime;
    simtime_t startTime;
    simtime_t queue_arrivalTime;
}
```

אייר 4.2 : הגדרת קובץ ההודעה לסימולציה.

לכל אחד מمبرכי הסימולציה – הսטטיטית והדינמית, יש קובץ ned. שמנדר את חיבורו הרשות המתאימים אליו, כאשר כמוות היחידות מכל רכיב (קטלוגים, מתאימים וسورקים) היא פרמטר שמנדר בקובץ ה-.ini.

```

connections:
  for i=0..numScanners-1 {
    scanner[i].out++ --> queue.in++;
  }
  for i=0..numOrchs-1 {
    queue.out++ --> orchestrator[i].in++;
    orchestrator[i].out++ --> queue2.in++;
  }
  for i=0..numcatalogs-1 {
    queue2.out++ --> catalog[i].in++;
  }
  for i=0..numOrchs-1 {
    controller.orch_out++ --> { @display("ls=darkblue,0.25"); } --> orchestrator[i].in++;
  }
  for i=0..numcatalogs-1 {
    controller.catalog_out++ --> { @display("ls=darkblue,0.25"); } --> catalog[i].in++;
  }
}

```

.אייר 4.3 : החיבורים בקובץ הקינפוג של הרשות הסימולציה הדינמית, DynamicNetwork.ned

## StatsCollector .4.1

"מוטיבציה" – במערכת קיימות כמוות גדולה (ומשתנה) של ייחידות מכל מודול, וחלק מהסתטיסטיות הנאספות מצרייקות עיבוד נוסף (מייצוע, סכימה, חישוב ביחס לסטט' אחרת...). כאשר כל מודול הוציא את הסיגנלים האלו אינדיידואלית, נוצרה לנו כמוות אידירה של מידע שחלקו הגadol לא רלוונטי בפני עצמו, והצריך חישוב נוסף לאחר הסימולציה.

בכדי לפטור את הבעיה הזאת – יצרנו מודול לארס'ט סטטיסטיקה. המודולים שולחים את הנתונים הרלוונטיים (בעזרת קריאה לפונק' public מתוך הקלאס), והוא אוגר את המידע, מבצע את העיבוד הדרוש ומוציא את הסטטיסטיות בצורה מרוכזת, רלוונטית ותמציצית.

הסתטיסטיות שאוספים מתוך קלאס זה : ההשיהה הכלולת (מייצירות הודעה עד לסיום הטיפול בה), מס' העבודות שייצרו, מס' העבודות שהושלמו (ע"י הקטלוגים והמתאים בנפרד), מס' העבודות שנוצרו (dropped), יחס בין כמהות ההודעות שנוצרו/הושלמו.

```

void StatsCollector::initialize() {
  JobLatencyCombined = registerSignal("JobLatency");
  CompletedJobsCombined = registerSignal("CompletedJobs");
  GeneratedJobscombined = registerSignal("GeneratedJobs");
  CompletedOrchWork = registerSignal("CompletedOrchJobs");
  DroppedJobsCombined = registerSignal("DroppedJobs");
  SumCompletedJobs = 0; // initialize at 0 completed jobs at start
  SumGeneratedJobs = 0; // initialize at 0 - generated jobs by Scanners
  SumCompletedOrchWork = 0; // initialize at 0 - orchestrator's done work
  SumDroppedJobs = 0; // initialize at 0 - no dropped jobs when starting
  TotalDroppedVsGenerated = 0; // ratio between dropped jobs to overall generated jobs
  TotalDroppedVsCompleted = 0; // ratio between dropped jobs to overall completed jobs
}

void StatsCollector:: collectJobLatency(simtime_t JobLatency){
  emit(JobLatencyCombined, JobLatency);
}

void StatsCollector::collectCompletedJobs(long JobCount){
  SumCompletedJobs += JobCount;
  emit(CompletedJobsCombined, SumCompletedJobs);
}

```

.אייר 4.4 : מתודת initialize ו-2 מתודות איסוף מידע במרוכז, מתוך StatsCollector.cc

```

void Orchestrator::handleMessage(cMessage *msg){
    // initialize pointers
    sendEventNext = nullptr;
    emit(UpTimeSignal, UnitActive);
    // Differentiate between messages received - Enable/disable unit, Re-check queue for jobs & end of internal job processing
    if (strncmp(msg->getName(), "end processing-", 15) == 0) {
        // Received self-msg for end of processing
        Job* finishedJob = messageQueue.front(); // store finished job into output buffer
        messageQueue.pop();

        numReceivedAndFinished++; // Increment the counter
        collector->collectCompletedOrchWork(1); // increment the overall completed jobs counter
    }
}

```

אייר 4.5 : דוגמה לקריאה למתודה ב-*Orchestrator.cc* ממודול אחר (מתוך StatsCollector)

```

void StatsCollector::finish(){
    TotalDroppedVsGenerated = static_cast<float>(SumDroppedJobs)/static_cast<float>(SumGeneratedJobs);
    TotalDroppedVsCompleted = static_cast<float>(SumDroppedJobs)/static_cast<float>(SumCompletedJobs);
    recordScalar("droppedGeneratedRatio", TotalDroppedVsGenerated);
    recordScalar("droppedCompletedRatio", TotalDroppedVsCompleted);
}

```

אייר 4.6 : מתודות initialize ו-2 מתודות איסוף מידע במרוכז, מתוך StatsCollector.cc

## Queue.4.2

הסטטיסטיקות שאווסףים בתוך קלאס זה : איבוד הודעות (אם התור מלא), אורך התור, השהייה התור  
(latency)

קלאס התור ייחסית פשוט, ועובד באופן הבא :

- **אתחול** : רישום (register) של הסטטיסטיקות שנאסוף, שליפה של ערכי הפרמטרים כפי שהוגדרו ב-*ini* / ערך בירית-המחלל (אורך התור – ניתן להגדירו (1-) בשביל תור אינסופי) ויצירת המשק עם *.StatsCollector*

- **בקבלת הודעה** :
  - אם מדובר בהודעה ממודול אחר (כלומר עבודה חדשה שצריכה להיכנס לתור) : בודקים האם התור מלא (אם כן – זורקים את ההודעה, אם לא – מעדכנים בתוך ההודעה את זמן ההגעה לתור, מחזיקים אותה במאפר ושולחים הודעה עצמאית המסמלת את העיבוד של ההודעה בכניסה לתור – התור יודע לבצע עיבוד על הודעה אחת כל פעם).
  - אם מדובר בהודעה עצמאית (כלומר סיימנו עיבוד ראשוני עבור הודעה שהגיעה קודם לכן) : מעבירים את ההודעה/עבודה (המקורית) אל התור.

- **בקשת שליפה מהתור** (מופעל ע"י המודול השולף) : מחשבים את משך השהייה בתור (זמן נוכחי פחות זמן הכניסה לתור), ומעבירים למודול המבקש את ההודעה בראש התור.

בנוסף, הגדרנו פונקציית עוזר לטובת הוצאת הסטטיסטיקות הדרושות בשלבים השונים, ופונקציה המנהלת את GUI – מציגת כמות העבודות בתור.

```

Job* Queue::popJob() {
    // Pop a job from queueToSend and return it
    if (!queueToSend.isEmpty()) {
        EV << getFullName() << ":" << queueToSend.getLength() << endl;
        Job* jb = check_and_cast<Job*>(queueToSend.pop());
        emit(queueLatency, simTime() - jb->getQueue_arrivalTime()); // emits the latency of the queue
        emit(queueLengthSignal, queueToSend.getLength());
        updateDisplay();
        return jb;
    }
    return nullptr; // Return nullptr if the queue is empty
}

```

אייר 4.7 : מתודה *popJob* (נקראת ע"י מודולים אחרים, זו public method, מתוך Queue.cc)

## Scanner.4.3

הסתטיסטיות שאווסףים מתוכן קלאס זה : מס' הודעות שנוצרו.

קלאס זה מגדיר את רכיב ה-Scanner, שתפקידם הוא ליצר הודעות למערכת (בקצב שנקבע ע"י הParmeter *(interArrivalTime*

המודול מדמה קצב הגעה פואסוני (נקבע עפ"י הParmeter וניתן להגדלה בכל אופן שנרצה) של הודעות באמצעות שליחת הודעת עצמית בתזמנון הניל. כאשר הוא מקבל הודעה עצמית, הוא מייצר עבודה (job) חדשה ושולח אותה אל התור.

בנוסף, מעדכנים את ה-GUI (כמוות ההודעות שנוצרו עד כה) ואת הסטטיסטיות (ע"י קריאה לפונק' מתוך קלאס ה-StatsCollector) עם קבלת ההודעות.

```
void Scanner::handleMessage(cMessage *msg) {
    if (msg == sendEvent) {
        Job *job = new Job(("msg-" + std::to_string(numJobsCreated)).c_str());
        job->setStartTime(simTime()); // Store the initialization time of the job into it
        send(job, "out", 0);
        numJobsCreated++;
        collector->collectGeneratedJobs(1); // increment overall generated jobs counter
        scheduleAt(simTime() + par("interArrivalTime").doubleValue(), sendEvent); // next msg is in interArrivalTime
        updateDisplay();
    }
}
```

.Scanner.cc ,handleMessage אירור 4.8 : מוגדרת מתוכן

```
void Scanner::updateDisplay() {
    if (hasGUI()) {
        char buf[64];
        sprintf(buf, "Jobs created: %d", numJobsCreated);
        getDisplayString().setTagArg("t", 0, buf); // tag "t" is for text
        getDisplayString().setTagArg("t", 1, "above"); // position above
        getDisplayString().setTagArg("t", 2, "darkblue"); // text color
    }
}
```

.Scanner.cc ,updateDisplay אירור 4.9 : מוגדרת מתוכן

## Orchestrator & Catalog .4.4

הסטטיסטיקות שאוספים בתוך קלאסים אלו : זמן פעיל (uptime) וזמן עבודה (idle), כמוות עבודות שטופלו.

הקלאסים המתארים את המתאים (Orchestrators) והקטלוגים (Catalogs) דומים, כאשר השוני ביניהם הוא במשמעותם של תורמים שלופיים ולאילו זוחפים, ובטיפול בעבודות.

### המודולים יודעים לקבל את ההודעות הבאות :

#### - הודעות עצמאיות :

- כאשר סיימנו לעבוד על העבודה/הודעה "הנוכחית". הקטלוג מוציא

בثور סיגナル את משך זמן החיים הכלול של ההודעה ומשמיד אותה (retire), והמתאם מעביר את העבודה אל התור הבא.

- כאשר אנחנו מנסים להשיג עבודה מהטור (ע"י ביצוע polling לטור, שמתבצע לאחר שליחה עצמאית של הودעה כזו עד שמצליכים לשלוּף עבודה מהטור).

#### - הודעות מיחידת הבדיקה (Controller) :

- הודעה על כיבוי היחידה. בקבלת הודעת סגירה אנחנו מבטלים הודעה

עצמאית ל-polling (אם קיימת), או מסיימים עיבוד שכבר מתבצע, ולא מנסים להשיג עבודה נוספת מהטור.

- הודעה על הפעלת היחידה. במצב זה אנחנו מנסים לשלוּף עבודה מהטור (אם לא קיימת – ממשיכים לבצע polling).

בנוסף, הגדרנו פונקציית GUI מקיפה שמעדכנת את כמות העבודות שהושלמו בכל יחידה ובעת שליפת עבודה מהטור מוצג bubble על כך. בנוסף, למעקב אחרי סטטוס היחידות, אנחנו מנסים את צבע הטקסט בהתאם :

**כתום** – היחידה דלוכה ונמצאת בעבודה (currently processing), **ירוק** – היחידה דלוכה אך לא נמאת בעבודה (idle), **אדום** – היחידה כבויה (disabled).

```
void Catalog::RequestWork(){  
    Job *jobToProcess = InputqueueModule->popJob(); // Try to get a job from input queue  
  
    if (jobToProcess != nullptr)  
    { // If we got a valid job from queue (if not - nullptr is returned)  
        // create & time a self-message indicating the end of the processing for current job  
        if (hasGUI()) bubble("Pulled job from queue!");  
        sendEventNext = new cMessage(("end processing-" + std::to_string(countOfMessages)).c_str());  
        sendEventNext->setKind(1); // to be able to differentiate between types of self-messages  
        messageQueue.push(jobToProcess);  
        countOfMessages++;  
        scheduleAt(simTime() + par("TimeToConsume").doubleValue(), sendEventNext);  
    }  
    else  
    { // Input queue was empty - no valid jobs received.  
        // Schedule a self-message to re-check queue  
        sendEventNext = new cMessage(("poll queue-" + std::to_string(countOfMessages)).c_str());  
        sendEventNext->setKind(2); // to be able to differentiate between types of self-messages  
        scheduleAt(simTime() + par("TimeToWaitIfQueueIsEmpty").doubleValue(), sendEventNext);  
    }  
}
```

אייר 4.10 : מתודת Catalog.cc , RequestWork

## Controller.4.5

הסתטיסטיות שאווסףים בתחום קלאס זה: כמוות הודעות בקרה שנשלחו, כמוות רכיבים דלוקים (מתאים/קטלוגים).

מנגנון הבקרה משתמש לפי פונקציית הבקרה שבה בחרנו לשימוש (נקבע בתחילת הסימולציה ע"י פרמטר controlFuncUsed), כאשר פונקציות הבקרה ניתנות לשילטה מלאה ע"י פרמטרים שונים (סה"כ 18 פרמטרים).

באופן כללי, אופן העבודה הוא:

1. אתחול המשתנים השונים ע"י הפרמטרים שהוגדרו, שליחת הודעות כיבוי למצב ההתחלתי של המערכת (ברירת מחדל – ייחידה אחת מכל סוג דלוקה), שליחת הودעה עצמאית לפחות פעם אחת בה נרצה לדוגום את מצב המערכת.

2. בקבלה הודהה עצמאית:

a. שליפה של אורכי התורים (ע"י פונקציית public `len` לכך בתחום קלאס התור).

b. חישוב של כמוות היחידות הרצוייה מכל סוג (בהתאם לפונק' הבקרה והפרמטרים שנבחרו).

c. שליחת הודעות כיבוי/הדלקה ליחידות הרלוונטיות, שליחת הודהה עצמאית שוב.

קלאס זה כתוב באופן מודולרי לחלוון ומאפשר לשנות בקלות את אופן העבודה של הפונקציות הקיימות (ע"י ערכיים שונים לפרמטרים) או הוספה של פונקציות חדשות עם הפרמטרים הרלוונטיים להן.

```
void Controller::applyScalingCatalogs(int averageSample){  
    // Up-scaling mechanism: linear addition of pods, where maximal deployment is achieved for  
    // queueFullThrottle capacity, and 0 capacity leads to numOfMinOrch.  
    int desired_amount = std::min(  
        Q2_samples[counter % Q2_samples.size()]*((MaxCatalogNum-numOfMinCatalog)/queue2FullThrottle + numOfMinCatalog), // up-scaling linear equation  
        MaxCatalogNum); // lower boundary  
    if (desired_amount > CurrentCatalogAmount){ // if we need more pods than currently enabled  
        EnableCatalogs(CurrentCatalogAmount, desired_amount); // enable the extra pods  
    }  
    // Down-scaling mechanism - has an initial ramp-up time  
    else if (counter >= PodReductionThreshold){ // if the down-scaling is active (has a starting delay)  
        // calculate how many pods are supposed to be deployed based on the last sample's average  
        int avgDesiredAmount = averageSample*(MaxCatalogNum-numOfMinCatalog)/queue2FullThrottle + numOfMinCatalog;  
        // Down-scaling mechanism: if the # of pods using the average is lower than current deployed number and >= amount suggested by latest sample  
        if (avgDesiredAmount < CurrentCatalogAmount && avgDesiredAmount >= desired_amount){  
            EV << "Too many Catalogs active, Down-scaling from " << CurrentCatalogAmount << " to " << avgDesiredAmount << endl;  
            DisableCatalogs(avgDesiredAmount, CurrentCatalogAmount); // disable the extra pods  
        }  
    }  
}
```

**אייר 4.11 :** מתודות Controller.cc (חלק מפונק' הבקרה הליינארית).

```

simple Controller {
    parameters:
        @signal[orchPodsNum](type="long");
        @signal[catalogPodsNum](type="long");
        @signal[ControlMessagesSent](type="long");
        @statistic[ControlMessagesSent](title="number of control messages sent"; record=vector,stats,count;);
        @statistic[catalogPodsNum](title = "Number of catalog pods"; record=vector,mean,max;);
        @statistic[orchPodsNum](title="Number of orch pods"; record=vector,mean,max;);

    // parameter declarations
    // permanent parameters
    int numOrchs = default(12); // 11 is the needed amount for queue stability
    int numcatalogs = default(175); // slightly above 171 orchs for stable queue
    int numMinOrchs = default(3); // lowest number of orchs possible
    int numMinCatalog = default(6); // lowest number of catalogs possible
    string controlFuncUsed = default("Linear");
    double SamplingFreq = default(0.5); // sample every 0.5 seconds

    // Linear control function related
    int queue1SamplingHistory = default(1200); // 10 minutes' history
    int queue2SamplingHistory = default(1200); // 10 minutes' history
    int queueFullThrottle = default(100); // when queue reaches it, all pods are deployed
    int PodReductionThreshold = default(240); // down-scaling possible only after 2 minutes

    int samplingPairIndex = default(1); // For zipping elements in the .ini file (parameter sweep)

    // QDTE control function related
    double orchServiceRate = default(0.25);
    double catalogServiceRate = default(5);
    int stabilityThreshold = default(5);
    double latencyTargetQueue1 = default(0.01); // 10x the avg for static sim
    double latencyTargetQueue2 = default(0.08); // 10x the avg for static sim
    int increaseRateQueue1 = default(1);
    int increaseRateQueue2 = default(1);

    gates:
        output orch_out[];
        output catalog_out[];
}

```

איור 4.12 : הגדרות NED עבור קלאס Controller.

## Omnetpp.ini File 4.6

הגדרות הסימולציה השונות בניות בצורה היררכית, כאשר לכל סוג סימולציה יש config בסיסי משלו, וממנו configs שיורשים ומוסיפים הגדרות שונות עפ"י הצורך (parameter sweeps, scenarios testings, ..override settings).

```

[Config QDTE_SamplingRate_1_00]
extends = QDTE_Sweep_base
experiment-label = ${repetition} ++ ${configname}
repeat=5

# Controller-specific configurations - Linear function
*.controller.numMinOrchs = 1
*.controller.numMinCatalog = 1
*.controller.SamplingFreq = 1
*.controller.stabilityThreshold = ${5,15,30,60}

*.controller.samplingPairIndex = ${0..2} # used here for zipping together latency targets
*.controller.latencyTargetQueue1 = ${select(samplingPairIndex, 0.01, 0.005, 0.002)} # compared to static: x10, x5, x2
*.controller.latencyTargetQueue2 = ${select(samplingPairIndex, 0.08, 0.04, 0.016)} # compared to static: x10, x5, x2

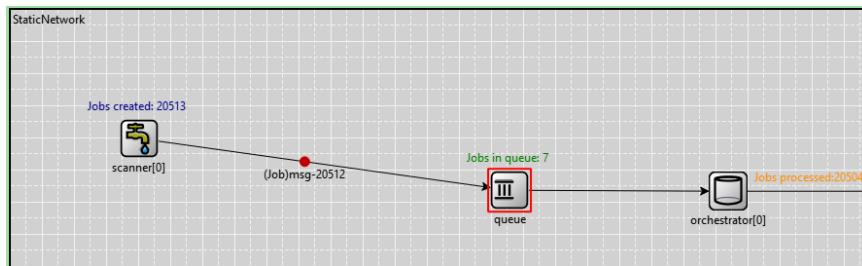
```

איור 4.13 : דוגמה ל config עבור תרחיש בסימולציה הדינמית (parameter sweep with QDTE controller)

## 5. בדיקת שפויות

### 5.1 התאמה בין הערכות התיאורטיים להתוצאות הסימולציה

בכדי לוודא שהסימולציה שלנו עובדת בצורה תקינה ומציאותית, בדgesch על התורים, נרים בדיקה על התור הראשון, כאשר הוא מוזן מ-Scanner אחד ומזמן Orchestrator יחיד, שניהם ממודלים בתור תהליכים אקספוננציאליים עם קבועים של 0.3 ו-0.25 בהתאמה (הקצב האמיטי של Scanner הוא 0.1 ולא 0.3, אך החישובים התיאורטיים נכונים רק עבור תורים יציבים, לכן לשם הבדיקה הורדנו את קצב הכניסות).



אייר 5.1 : GUI סימולציה בדיקת השפויות. ניתן לראות הוודה בדרך אל התור והרצן (Orchestrator) נמצא בעבודה.

בהתאם לתיאוריה, נצפה לקבל:

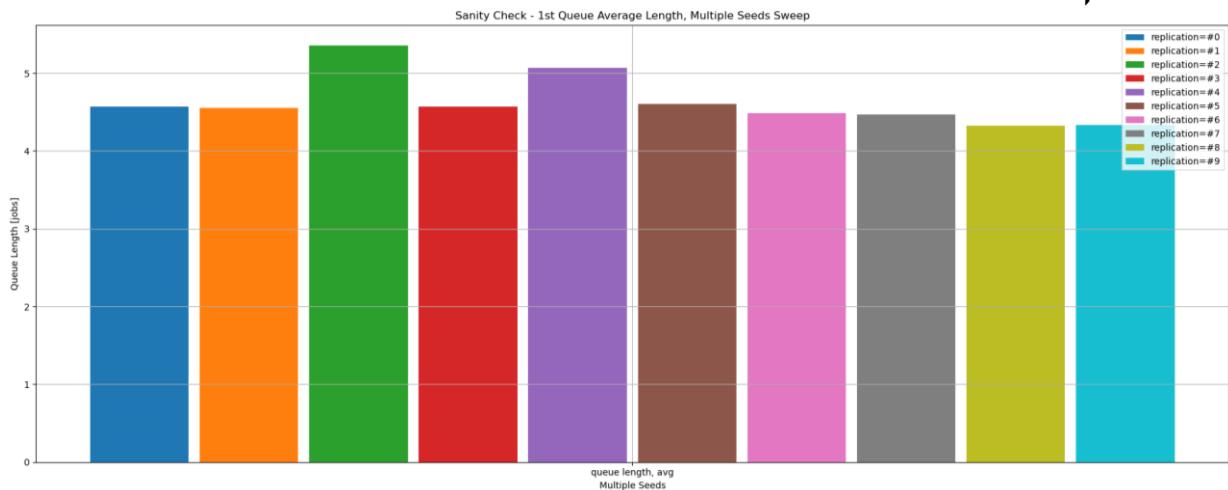
$$\lambda = \frac{1}{arrival\ rate} = \frac{1}{0.3} = 3.33 ; \mu = \frac{1}{service\ rate} = \frac{1}{0.25} = 4$$

$$E[Queue\ length] = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{25}{6} = 4.16$$

$$E[Time\ in\ queue] = Latency = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = 1.25$$

הרכנו את הסימולציה 10 פעמים (10 סידים שונים), וקיבלונו את התוצאות הבאות:

#### 5.1.1 אורץ תור:



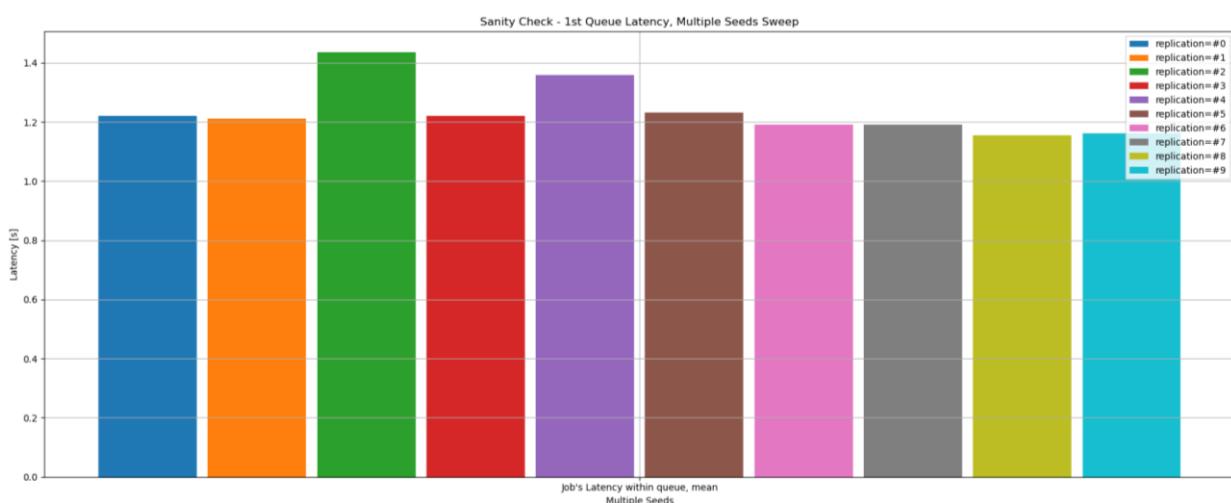
אייר 5.2 : אורץ התור הממוצע עבור 10 הרצות עיג סידים שונים.

Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Count	Mean	StdDev
sanityCheck		#0	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	67 003	~ 4.57191	~ 5.10315
sanityCheck		#1	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	67 080	~ 4.55242	~ 5.03444
sanityCheck		#2	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 708	~ 4.5312	~ 6.70328
sanityCheck		#3	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 630	~ 4.56898	~ 4.83379
sanityCheck		#4	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 336	~ 5.06886	~ 5.95971
sanityCheck		#5	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 919	~ 4.60055	~ 4.97043
sanityCheck		#6	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 997	~ 4.48395	~ 4.99503
sanityCheck		#7	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	67 086	~ 4.46527	~ 4.70169
sanityCheck		#8	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 664	~ 4.32551	~ 4.8363
sanityCheck		#9	StaticNetwork.queue	queueLength:vector	66 492	~ 4.329	~ 4.82571

טבלה 5.1 : סטטיסטיות אורך התור עבור 10 הרצות ע"ג סידים שונים.

ניתן לראות כי האורך המתקבל ממוצע (4.73) קרוב לתוצאה התיאורית. ההפרש צפוי בגלל מגנון העיבוד שהבכנת החבילה לתור, שמוסיף בממוצע ~1ms ומשפיע על התוצאה המתתקבלת בפועל.

### 5.1.2. השהייה/זמן מצטבר בתור:



אייר 5.3 : אורך התור הממוצע עבור 10 הרצות ע"ג סידים שונים.

Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Count	Mean	StdDev
sanityCheck		#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 499	~ 1.2217s	~ 1.40925s
sanityCheck		#1	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 540	~ 1.21194	~ 1.38025
sanityCheck		#2	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 354	~ 1.43484	~ 1.83205
sanityCheck		#3	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 315	~ 1.22175	~ 1.33371
sanityCheck		#4	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 168	~ 1.35863	~ 1.62459
sanityCheck		#5	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 453	~ 1.23129	~ 1.35899
sanityCheck		#6	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 492	~ 1.19176	~ 1.38063
sanityCheck		#7	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 543	~ 1.19109	~ 1.29011
sanityCheck		#8	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 332	~ 1.15595	~ 1.33357
sanityCheck		#9	StaticNetwork.queue	queueLatency:vector	33 246	~ 1.16108	~ 1.35592

טבלה 5.2 : סטטיסטיות ההשניה בתור עבור 10 הרצות ע"ג סידים שונים.

קיבלו השהייה ממוצעת של 1.238, קרובה מאוד לערך התיאורי (1.25).

לסיכום, העריכים שהתקבלו בסימולציה תואמים את הערכים התיאורתיים.

## 6. תוצאות – סימולציה סטטיסטית

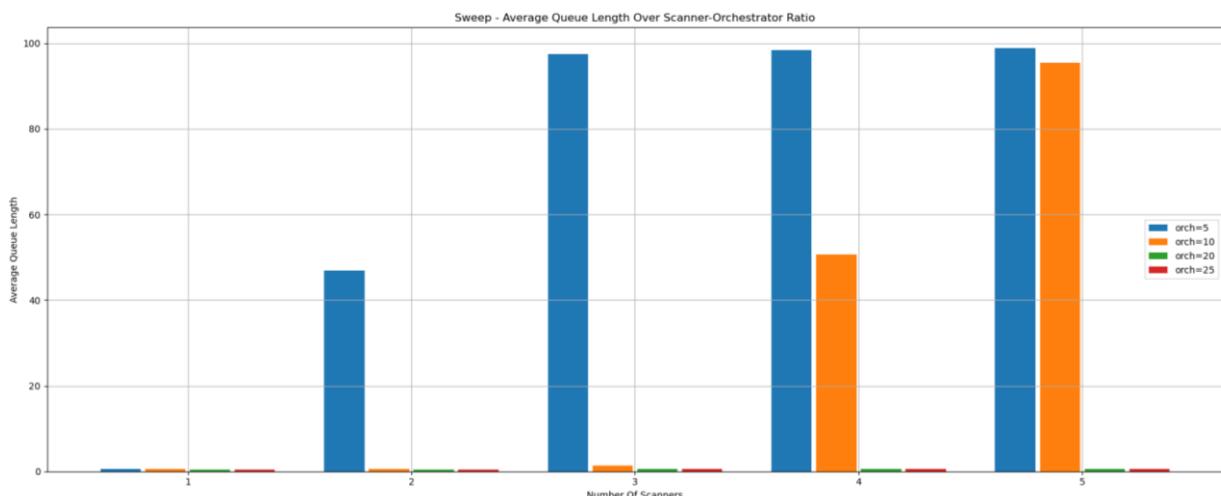
### 6.1. סימולציה סטטיסטית: מבחן עבודה רגיל – 3 Scanners

#### 6.1.1. איזון התווך הראשוני (Scanners-Orchestrators)

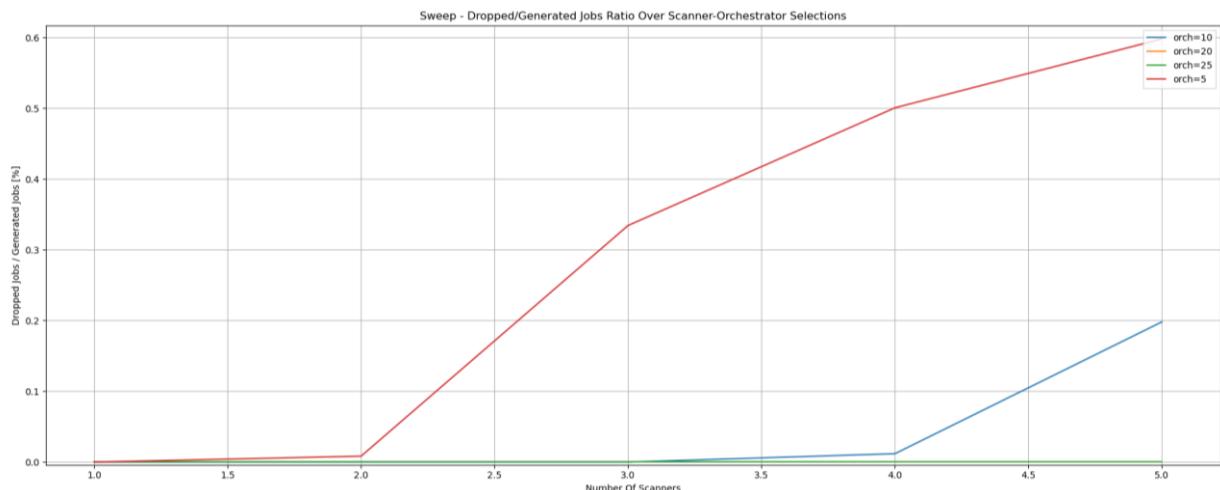
נרצה לאזן תחילת את התווך הראשוני בסימולציה שלנו. בכך לבטל את ההשפעה של כמות הקטלוגים והתווך השני נגדיר אותו להיות לא-חסום עבור חלק זה של הבדיקות. שינוי זה מאפשר לנו להגדיר רק קטלוג יחיד בשלב זה של הסימולציה (בשביל שהסימולציה מפעילה), ובכך להפחית את כוח החישוב הדרוש כאשר אין בו צורך.

##### 6.1.1.1. סריקה ראשונית כוללת

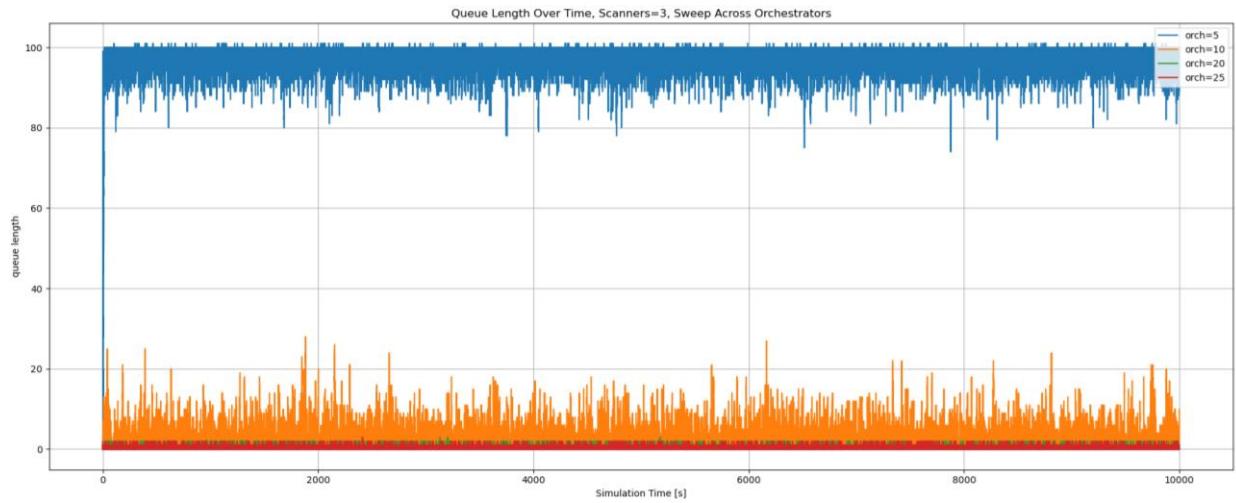
מבצע Sweep על כמות ה-Orchestrator-Scanner נקודת העבודה שלנו (נבדוק בתחום 1-5) כדי למצוא את התחומים אותו נרצה לבדוק לעומק. נבדוק עבור כמות היחידות הבאות: 5,10,20,25.



אייר 6.1 : גרפ אווך הממוצע כפונקציה של כמות ה-Scanners, לערכי .5,10,20,25 Orchestrators

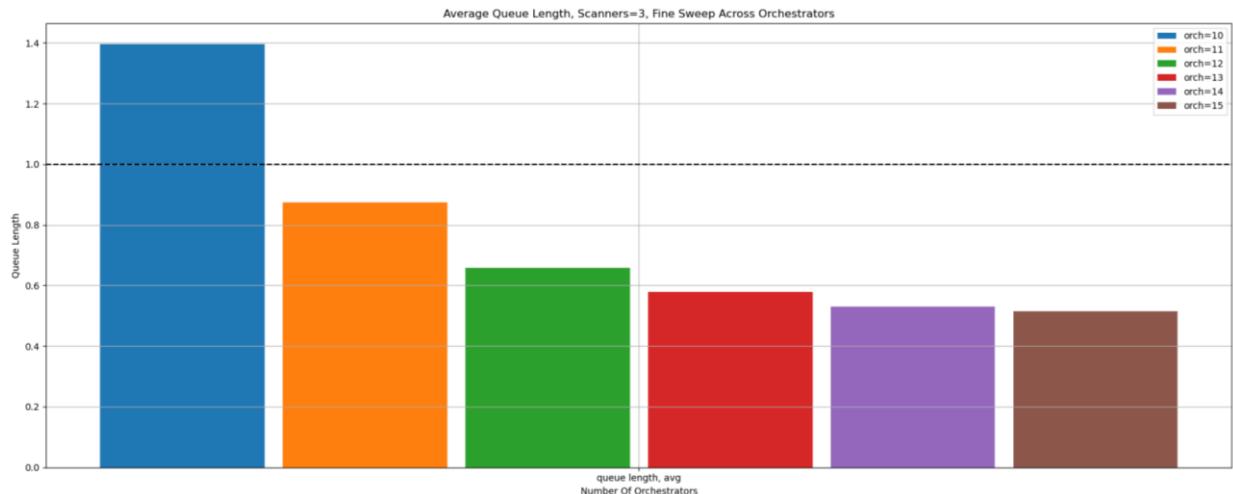


אייר 6.2 : גרפ של היחס בין איבודי העבודות (dropped jobs) לכמות העבודות הכוללת, כפונקציה של כמות ה-Scanners, לערכי .5,10,20,25 Orchestrators

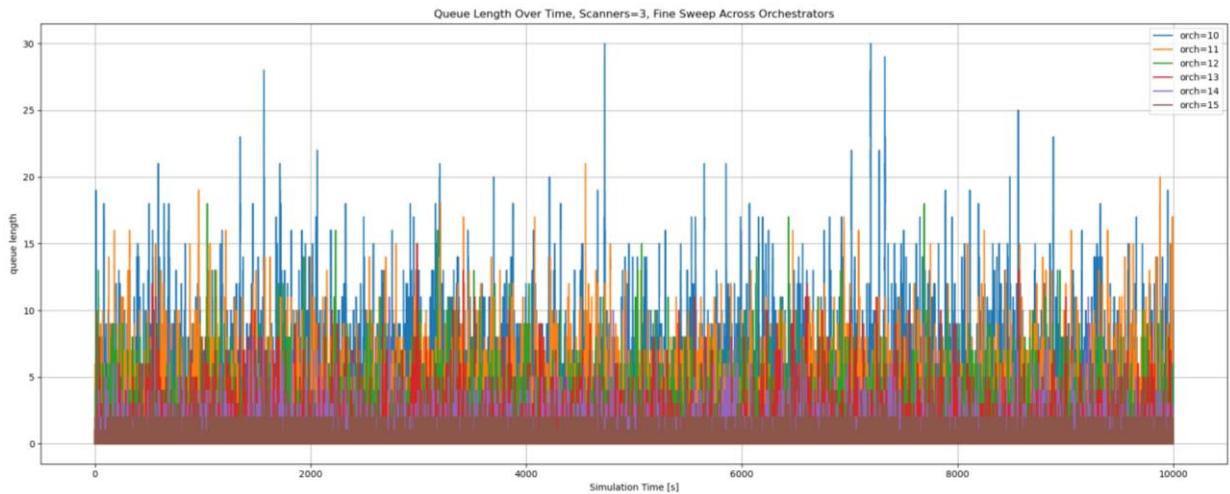


אייר 6.3 : אורך התווך לאורך זמן עבור 3 סורקים. ניתן לראות כי עבור 5 מתאימים התווך מגיע לקיבולת שלו (100).

הדרישה שלנו היא שיהיו 0 איבודי עבודות, מה שמתאפשר עבור  $Orchestrators \geq 10$ . בנוספ', ככל לשיטת לב כי אורך התווך הממוצע הינו קטן מ-1 בתחום שבין 10-20 מתאימים (Orchestrators), כאשר כבר עבור 10 מתאימים אנו קרובים למדייל-1. כיוון שהוא מצב העבודה המקורי בו המערכת צפוייה לשחות לאורך זמן רב מאוד, חשוב לנו להקפיד על כך שאורך התווך הממוצע יהיה קטן מ-1, בשביל להבטיח שהתווך לא יתפוץ לאורך זמן. על כן – נתמוך בתחום של 10-15 מתאימים ונתמוך עבור 3 סורקים :



אייר 6.4 : אורך התווך הממוצע כפונקציה של כמות המתאימים. הקו המקווקו מסמן אורך תווך ממוצע 1.



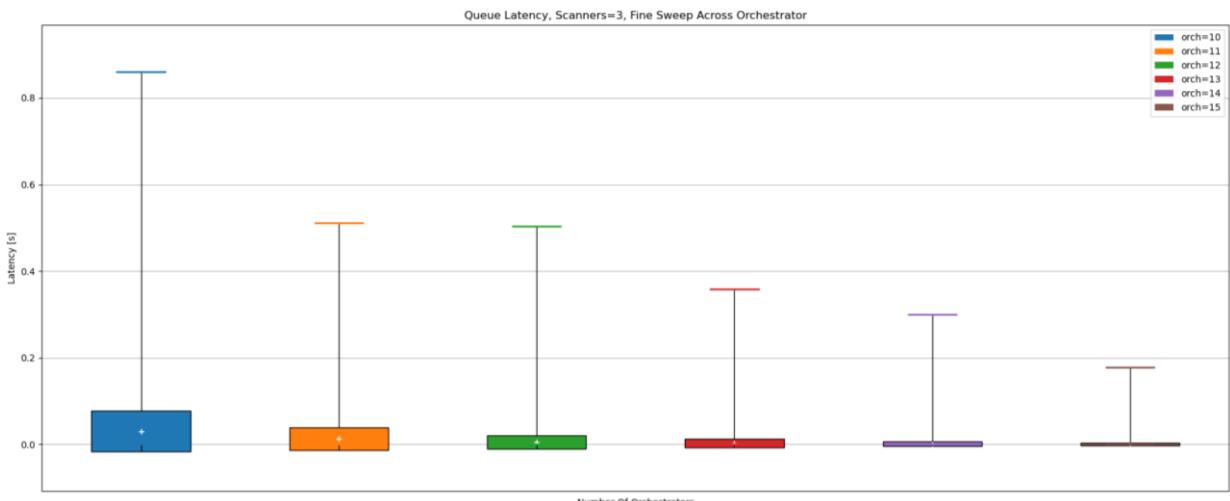
אייר 6.5 : אורך התור לאורץ זמן עברו 3 סורקים ו-10-15 מתאימים.

נוכל לראות גם כי אף אחד מן האפשרויות שנבדקו לא מוביל לאיבוד עבודות :

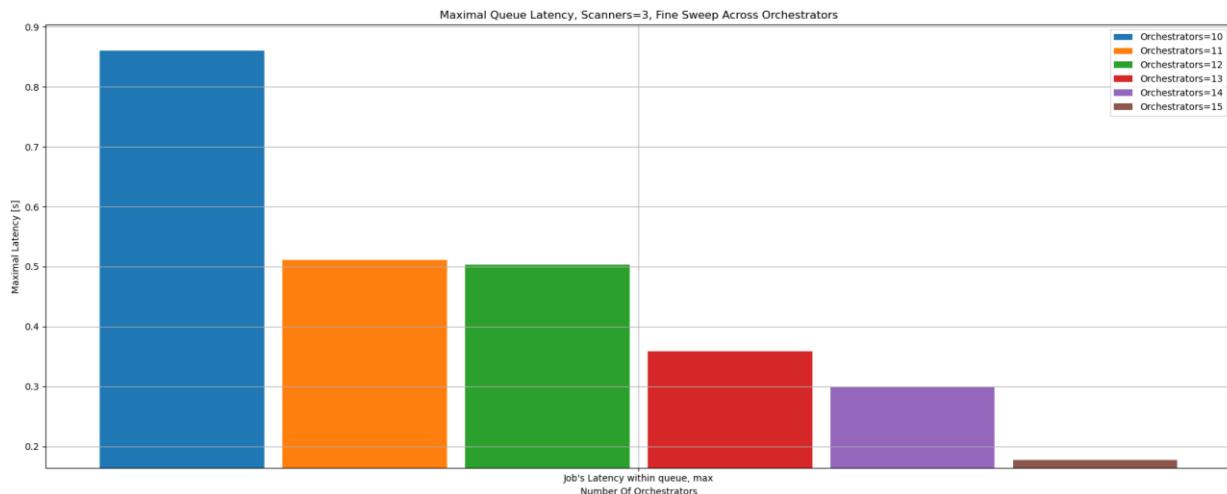
Experiment	Measurement ^	Replication	Module	Name	Value
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=10	#0	StaticNetwork.statsCollector	droppedGeneratedRatio	0
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=11	#0	StaticNetwork.statsCollector	droppedGeneratedRatio	0
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=12	#0	StaticNetwork.statsCollector	droppedGeneratedRatio	0
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#0	StaticNetwork.statsCollector	droppedGeneratedRatio	0
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#0	StaticNetwork.statsCollector	droppedGeneratedRatio	0
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=15	#0	StaticNetwork.statsCollector	droppedGeneratedRatio	0

טבלה 6.1 : כמות העבודות שנאבדו ביחס לכמות העבודות שיוצרו במהלך הסימולציות עבור 10-15 מתאימים.

נסתכל גם על ההשԽיות הממוצעת והמקסימלית עבור העבודות בתוך התור – כמובן, משך הזמן שעובר מרגע הכניסה לתור עד שהן יוצאות ממנו.



אייר 6.6 : ההשԽית הממוצעת וסטטיות התקן בתור עבור 10-15 מתאימים.



איור 6.7 : ההשיה המקסימלית בתור עבור 10-15 מתאים.

Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Value
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=10	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:max	~ 860.743 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=11	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:max	~ 510.761 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=12	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:max	~ 503.677 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:max	~ 358.521 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:max	~ 299.699 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=15	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:max	~ 178.047 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=10	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:mean	~ 30.2896 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=11	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:mean	~ 12.5772 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=12	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:mean	~ 5.46847 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:mean	~ 2.69035 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:mean	~ 1.12523 ms
scanner_Orchs_Sweep_queue_100	\$catalog=1, \$scan=3, \$orch=15	#0	StaticNetwork.queue	queueLatency:mean	~ 607.976 us

טבלה 6.2 : ההשיה הממוצעת והמקסימלית בתור עבור 10-15 מתאים.

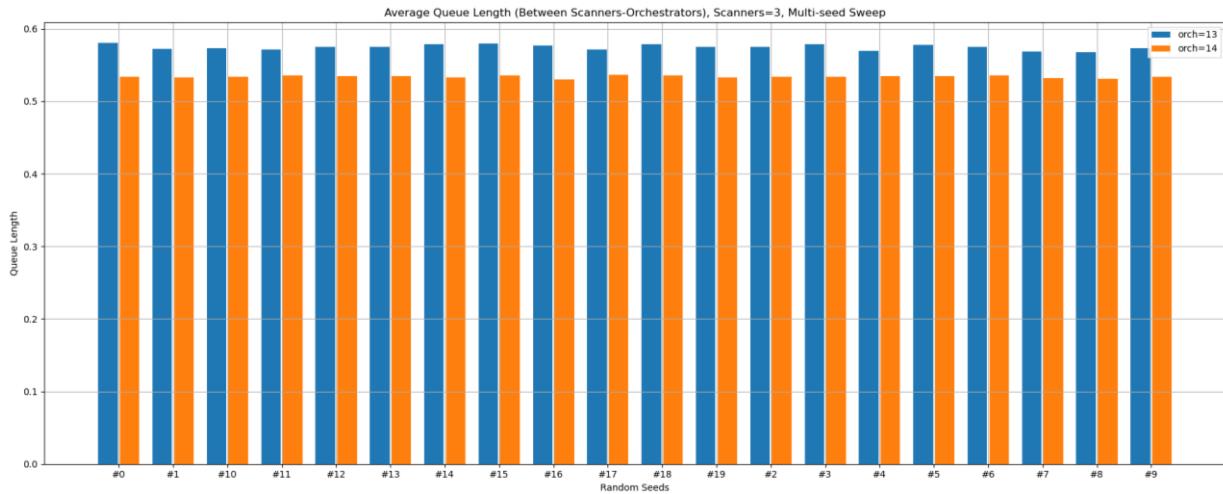
על אף שכבר עבור 11 מתאים התור יהיה יציב לאורך זמן, שימוש ב-13 מתאים במקום 11 מקטין את ההשיה הממוצעת מ- $ms$  2.690 ל- $ms$  12.577 (פי 4.7!), ואת ההשיה המקסימלית מ- $ms$  510.761 ל- $ms$  358.521 (פי 1.4). זהו שיפור ממשוני, על כן למרות שהטור יציב גם עבור 11 מתאים, הבחירה ב-13 מينة שיפור ממשוני בביצועים.

בנוסף, עבור 14 מתאים ההשיה הממוצעת יורדת ל- $ms$  1.125 (פי 2.4 מ-13 מתאים, פי 2 מ-11.2 מ-11 מתאים) ואת ההשיה המקסימלית ל- $ms$  299.699 (שיעור של  $ms$  ~58 לעומת  $ms$  ~13 מתאים).

OMNet++ מימוש את כל הפעולות הרנדומליות שלו באמצעות seeds (מנגנון pseudo-random), לכן על מנת לבטל את ההשפעה של ה-seed הספציפי שבאמצעותו בדקנו עד כה, נבצע בדיקה מקיפה עם מספר seeds שתזודא את ההתנהגות שראינו עבור 13 ו-14 מתאים, ובחתams נבחר את הכמות שבאופן עקבי טובה יותר ביחס לעלות (של הוספה רכיב נוספת).

### 6.1.1.2. בדיקה מקיפה עם מספר seeds

הריצנו את הסימולציה עבור 11 ו-12 מתאים על גבי 20 seeds שונים :



אייר 6.8 : אורך התווך הממוצע בהרצאות השונות עבור 13 ו-14 מטאמים.

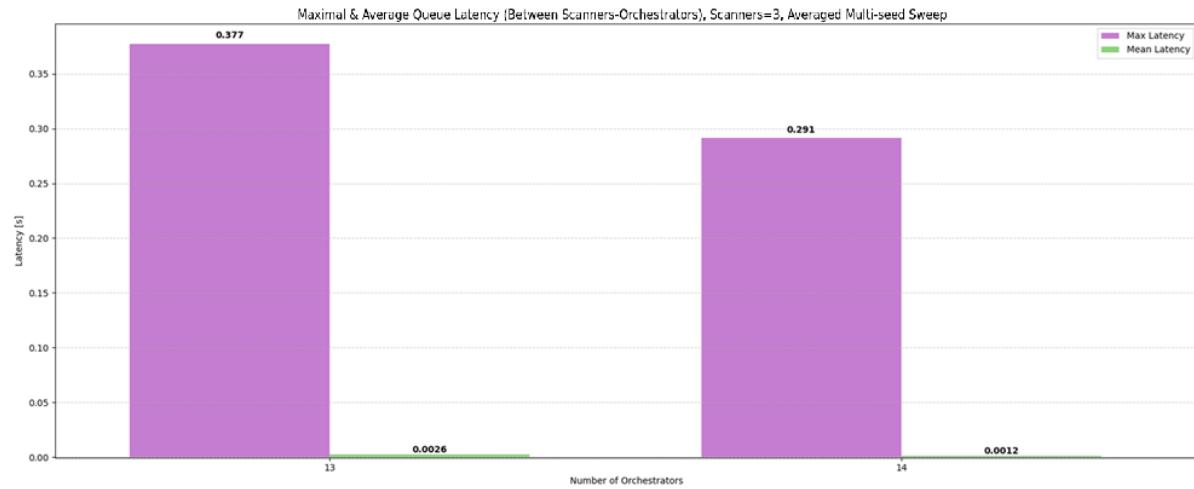
נוכל לראות שהאורך הממוצע עבור 13 מטאמים הוא ~0.57, ועבור 14 מטאמים הוא ~0.53, ככלומר נשאר היבט מתחת ל-1.

בכל הסימולציות, לא היו איבודי עבודות :

Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Value
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#0	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#1	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#2	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#3	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#4	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#5	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#6	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#7	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#8	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#9	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#10	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#11	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#12	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#13	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#14	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#15	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#16	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#17	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#18	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=13	#19	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#0	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#1	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#2	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#3	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#4	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#5	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#6	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#7	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#8	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#9	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#10	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#11	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#12	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#13	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#14	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#15	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#16	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#17	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#18	StaticNetwork.queue	dropped:count	0
Scanner_Orchs_Sweep_multi_seed	Catalog=1, \$scan=3, \$orch=14	#19	StaticNetwork.queue	dropped:count	0

טבלה 6.3 : כמות העבודות שנאבדו במהלך הסימולציות עבור 13 ו-14 מטאמים (ע"ג seeds שונים).

נסתכל על ההשיהה (המקסימלית והממוצעת) בין 2 האפשרויות – נמצוא את התוצאות על פני 20 הרצאות :



אייר 6.9 : ההשיה הממוצעת והמקסימלית בטור עbor 13 ו-14 מתאימים (ממוצע עיג seeds שונים).

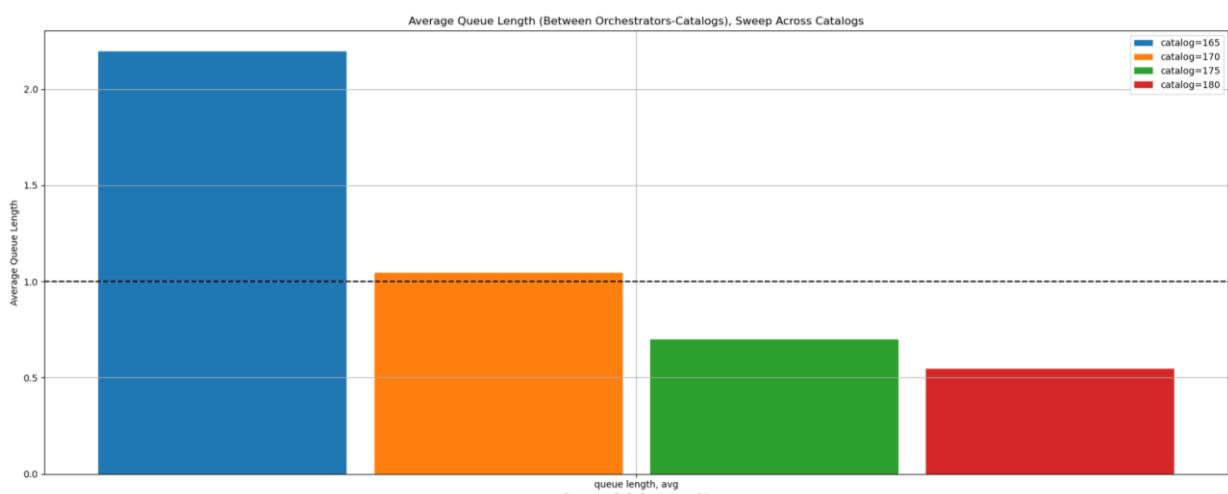
יש שיפור של 30% בהשיה המקסימלית ו-216% בהשיה הממוצעת – עbor מחיר של הוספה יחידה אחת זהו שיפור משמעותי, על כן נבחר להשתמש במצב הסטטי ב-14 מתאימים.

### 6.1.2. איזון התור השני (Orchestrators-Catalogs)

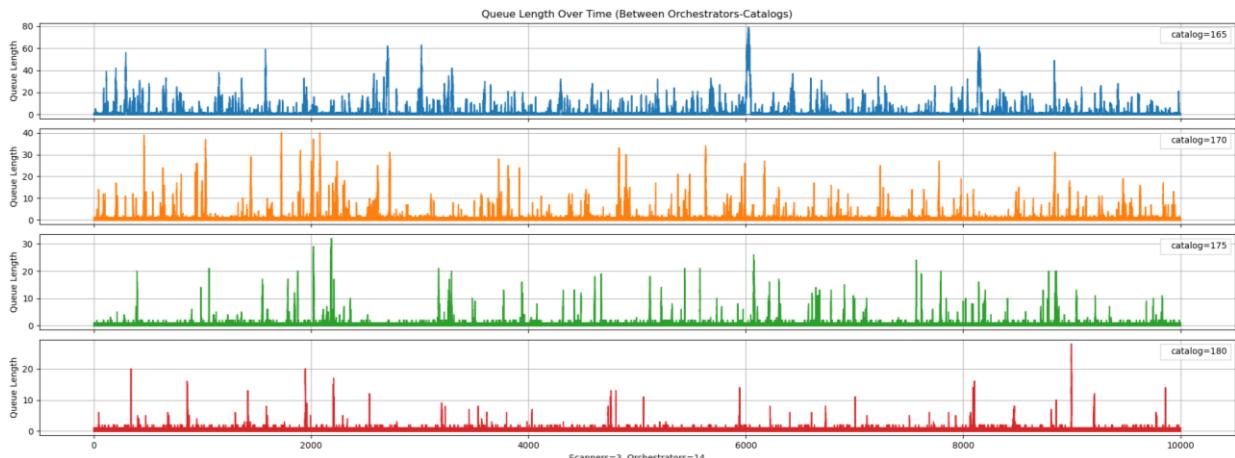
כעת נחזר את מגבלת האורך לתור השני (100), נשתמש בכמה המתאימים שמצאנו קודם (14) ונאזן את התור השני.

#### 6.1.2.1. סריקה ראשונית

בוצע סריקה ראשונית למציאת תחום כמות ייחidot הקטלוגים שמעניין אותנו. נבדק עbor 180-165 :

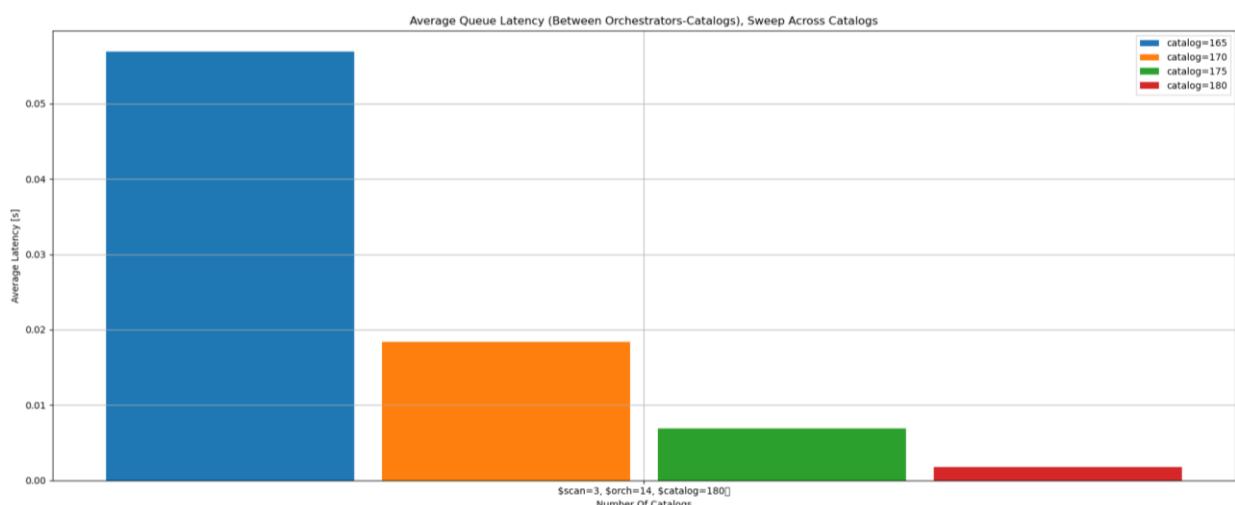


אייר 6.10 : אורך התור הממוצע כפונקציה של כמות המתאימים. הקוו המקווקו מסמן אורך תור ממוצע 1.



אייר 6.11: ארכוי התורים לאורך זמן עבור 165-180 קטלוגים.

עבור 165 קטלוגים, אנחנו מקבלים "פיקים" גבוהים למדדי, שמגיעים עד ל-80 הודעות בתור וקרובים לקיבולת המקסימלית. ככל שמעלים את כמות הקטלוגים, גביהי ה"פיקים" יורדים בכ-20-10~, כאשר הירידה המשמעותית ביותר מתרחשת בין 165 ל-170 קטלוגים – פי 2. נציין שעבור כל האפשרויות אין איובע עבודות (אורך התור לא מגיע ל-100 בשום שלב).

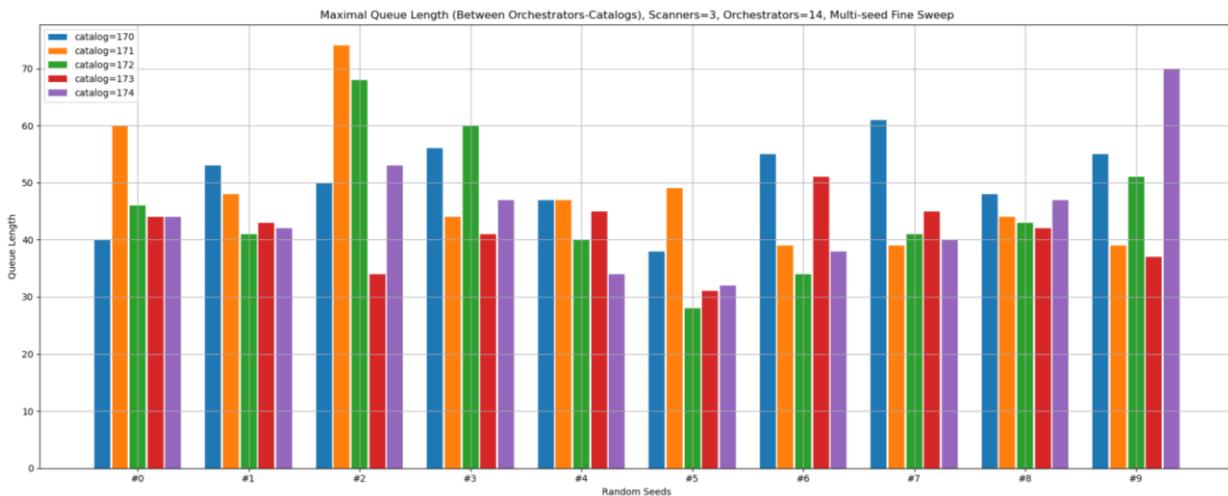


אייר 6.12 : השהיה ממוצעת בתור עבור 165-180 קטלוגים.

במקביל, ההשניה הממוצעת (latency) בתור יורדת בצורה החדה ביותר בין 165 ל-170 יחידות, והוספה של עוד 5 יחידות (ל-175) חותכת את ההשניה הממוצעת פי יותר מ-2.

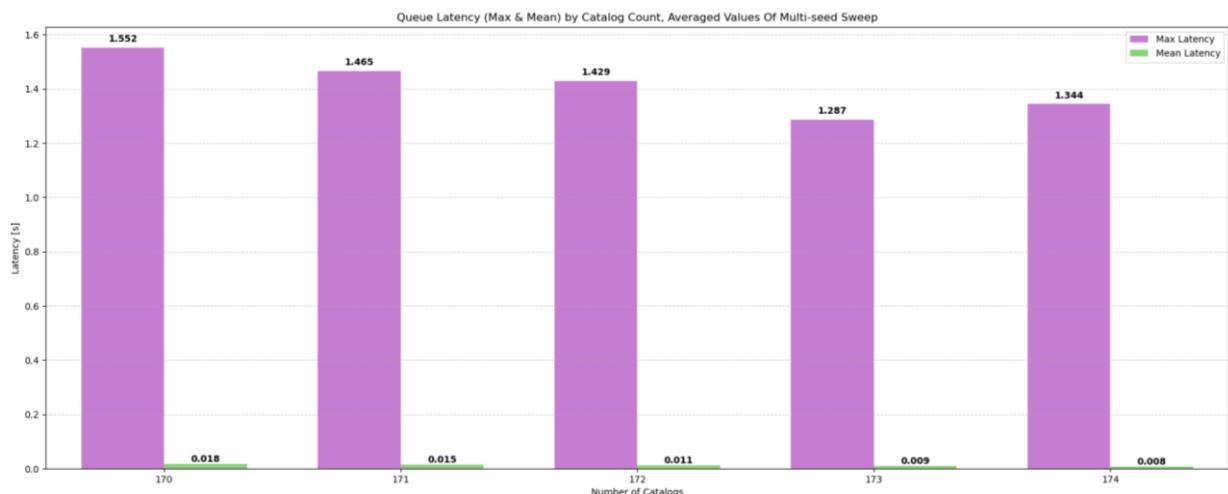
נתמקד בתחום סביבה 170 קטלוגים על מנת לモער את ההשניה הכוללת של התהליך מבלי להשתמש ביותר מדדי יחידות. נרים זאת על 10 סידים שונים על מנת לבטל את ההשפעה של הסיד עליו עבדנו עד כה.

#### 6.1.2.2. Seeds בדיקה מקיפה עם מס'



אייר 6.13 : אורך התווך המקסימלי כפונקציה של כמות המתאים, הרצה על 10 סידים שונים.

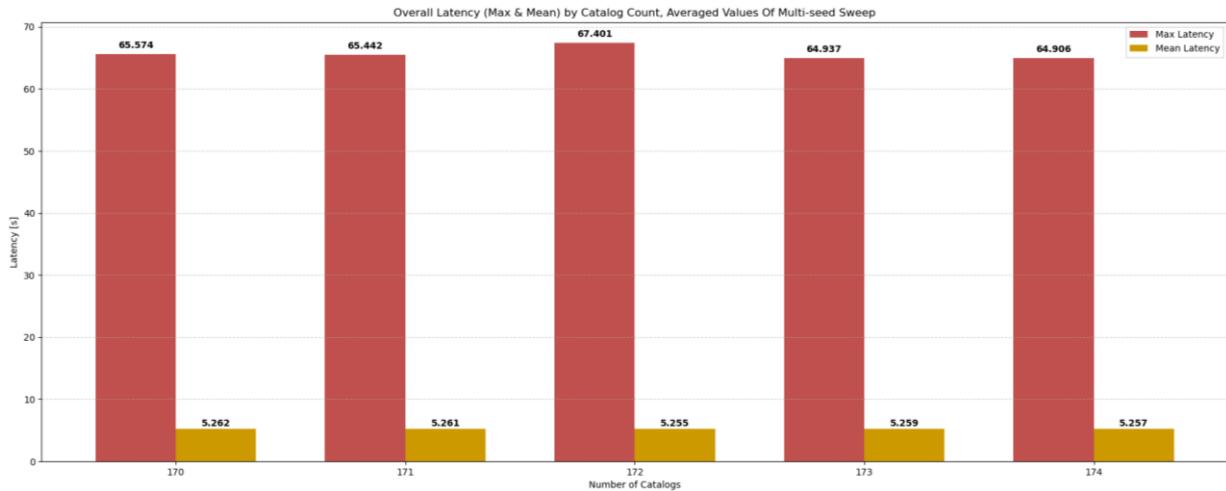
עבור אף אחת מהאפשרויות שבדקנו לא איבדנו חבילת, אך גם אורך התווך המקסימלי אינו יורם באופן עקבי עם העלאת כמות היחידות. מבין הבדיקות שעשינו, כן ניתן לראות אורך מקסימלי נמוך מ-50 בעקבות עבור 173 קטלוגים.



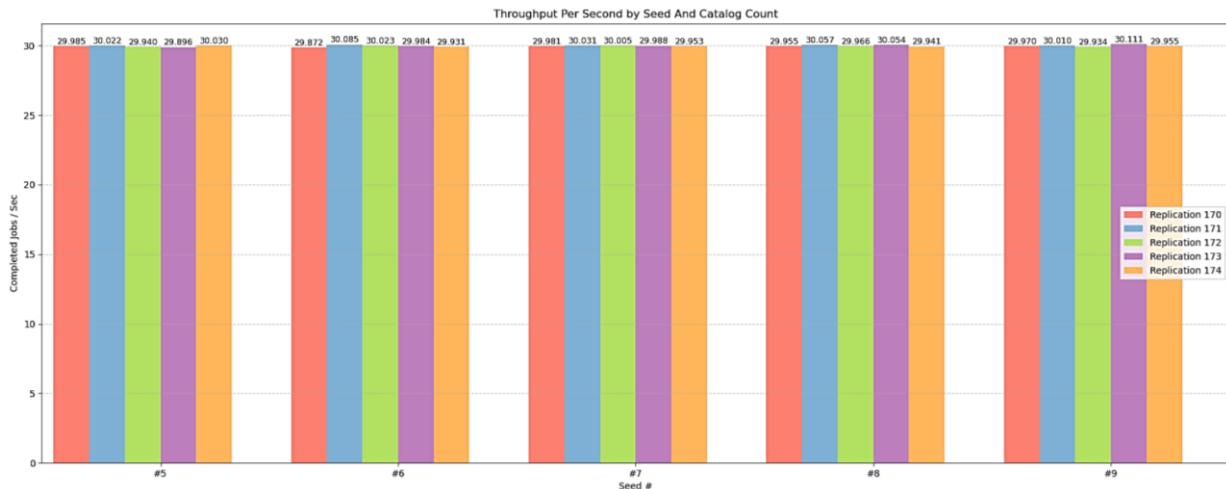
אייר 6.14 : ההשניה הממוצעת והמקסימלית בtotal עבור 170-174 קטלוגים (ממוצע ע"ג seeds שונים).

כאשר נסתכל על ההשניה המקסימלית והממוצעת (נמצאו את 10 ההצלחות השונות), גם כאן עבור 173 קטלוגים מתקבלת ההשניה המקסימלית הנמוכה ביותר (דבר שתואם את אורך התווך המקסימלי הנמוך ביותר). בנוסף, גם ההשניה הממוצעת קטנה פי 2 מההשניה עבור 170 יחידות, ונגדולה במליל-שנייה אחת בלבד מ-174 קטלוגים.

נסתכל על הסטטיסטיות של כלל התהיליך – מיצירת העבודות ועד לסיום הטיפול בהן:



אייר 6.15 : ההשיה הממוצעת והמקסימלית הכוללת עבור 170-174 קטלוגים (ממוצע עיג seeds שונים).



אייר 6.16 : תפוקה (Throughput) לשניה עבור 170-174 קטלוגים על גבי seeds שונים.

עבור 172 קטלוגים מתקבל ה-latency הממוצע הנמוך ביותר (5.255 msec), כאשר גם עבור שאר המדידות הממוצע נמצא בתחום של 7 ~ msec זה. לעומת זאת, ה-latency המקסימלי הנמוך ביותר מתקבל עבור 174 קטלוגים, כאשר 173 קטלוגים מתקבלת תוצאה קרובה למדיי.

נסתכל גם על התפוקה לשניה של המערכת הכוללת – נוכל לשים לב שבעור כל האפשרויות התפוקה סובבת את ה-30 עבודות לשניה, ואין כמות שמניבת תוצאות טובות בעקביות על פני האחרות.

בזה"כ, מבין המדידות, 174 קטלוגים נתונים לנו את :

- גבולות התווך הנמוכים ביותר (אורך מקסימלי, השהייה מקסימלית)
- השהייה ממוצעת (בتوוך ובתהליך כולל) בהפרש זניח מהנמוכה ביותר שנמדדה
- תפוקה לשניה זהה לשאר המדידות

בחירה בכמות קטלוגים גבוהה יותר לא משפרת את הביצועים באופן שמאזיק את העלות של שימוש בעוד ייחידות, על כן נבחר להשתמש ב-174 קטלוגים.

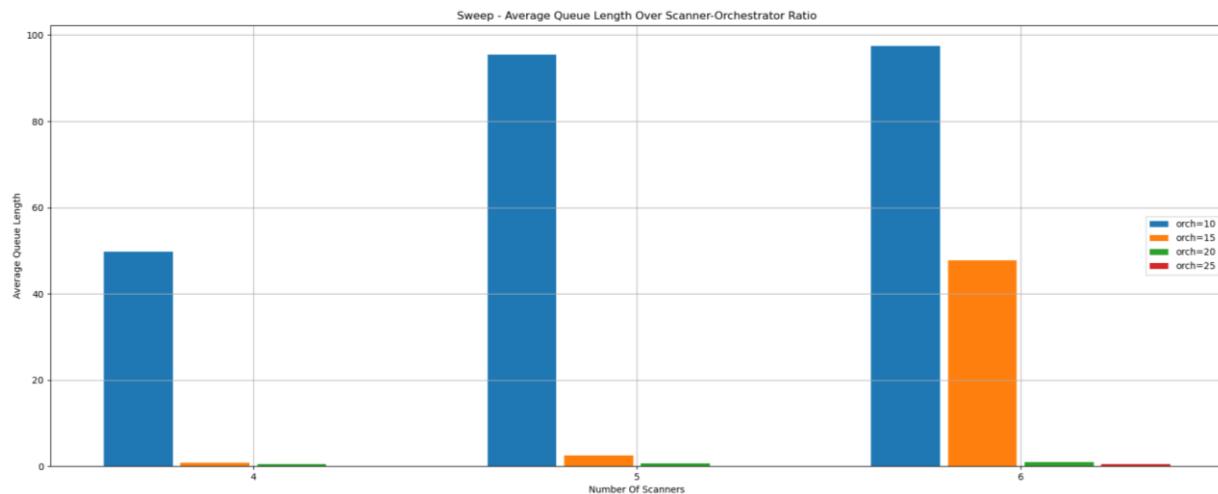
**לסיכום – הצלחנו לאזן את המערכת שלנו עבור: 3 סורקים, 14 מתאמים ו-174 קטלוגים.**

## 5 Scanners – מצב עבודה עמוס

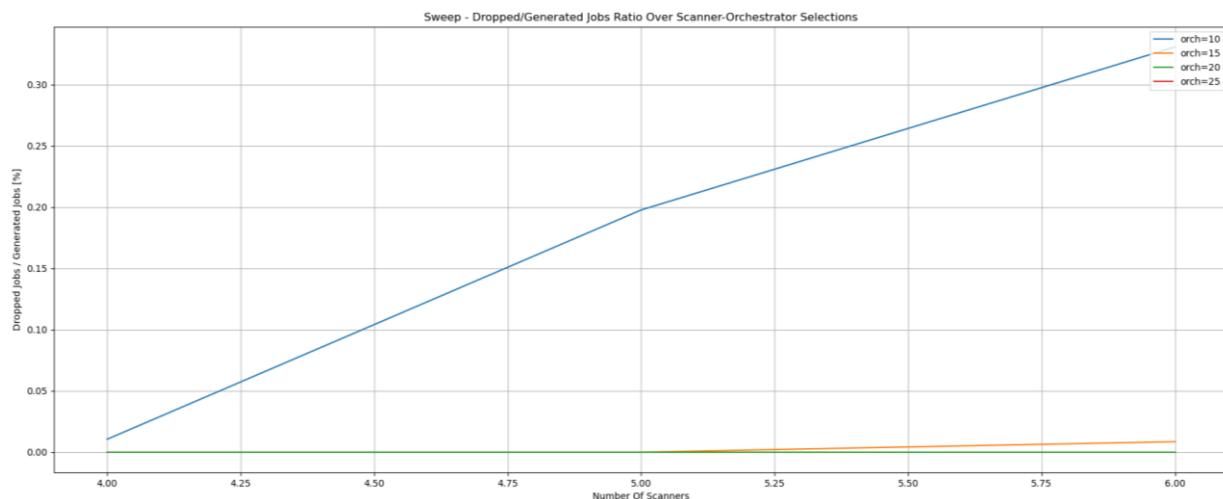
### 6.2.1. איזון התווך הראשון (Scanners-Orchestrators)

#### 6.2.1.1. סריקה ראשונית כוללת

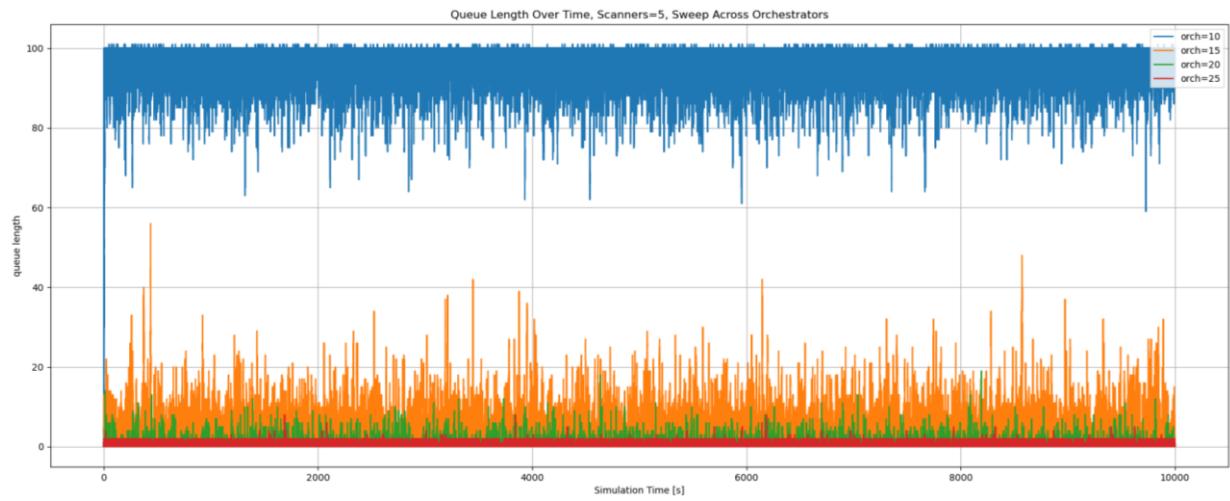
נבחן Sweep על כמות ה-Orchestrator סיבוב נקודת העבודה שלנו (נבדק בתחום 4-6), נבדוק עבור כמות היחידות הבאות : 10,15,20,25



אייר 6.17 : גרפ אורך התווך הממוצע כפונקציה של כמות ה-Scanners, לערכי Orchestrators 5,10,20,25

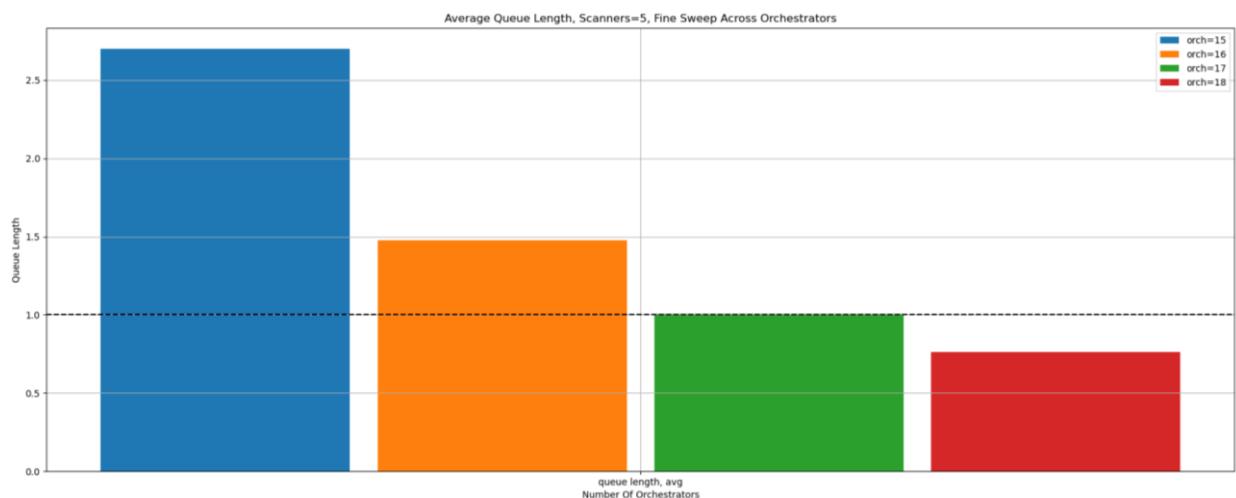


אייר 6.18 : יחס בין איבוד העבודות (dropped jobs) לכמות העבודות הכוללת כפונקציה של כמות ה-Scanners וכמות ה-Orchestrators.

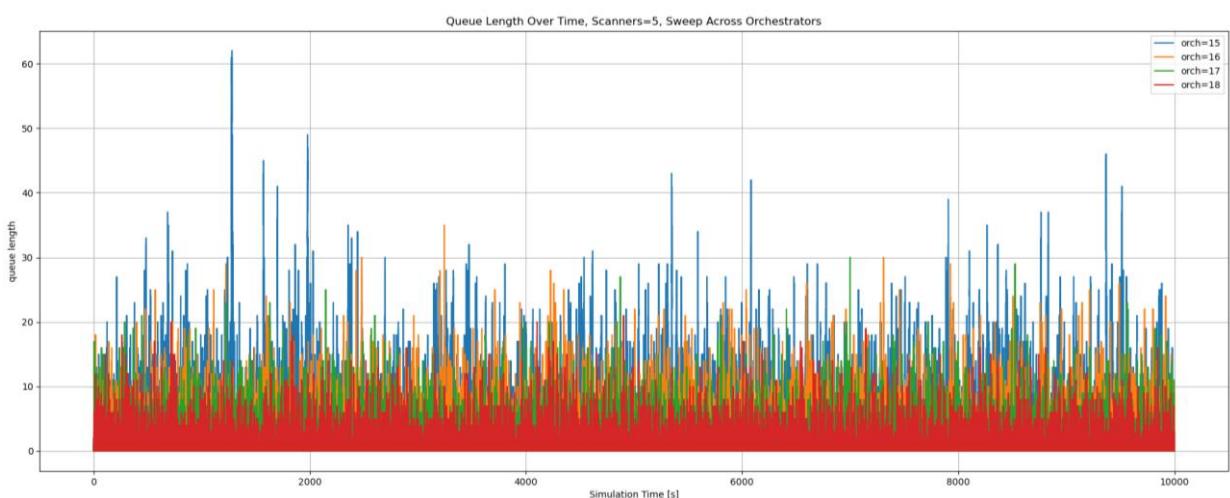


אייר 6.19 : אורך התוֹר לאותק זמן עבור 5 סורקים ו-10,15,20,25 מותאמים.

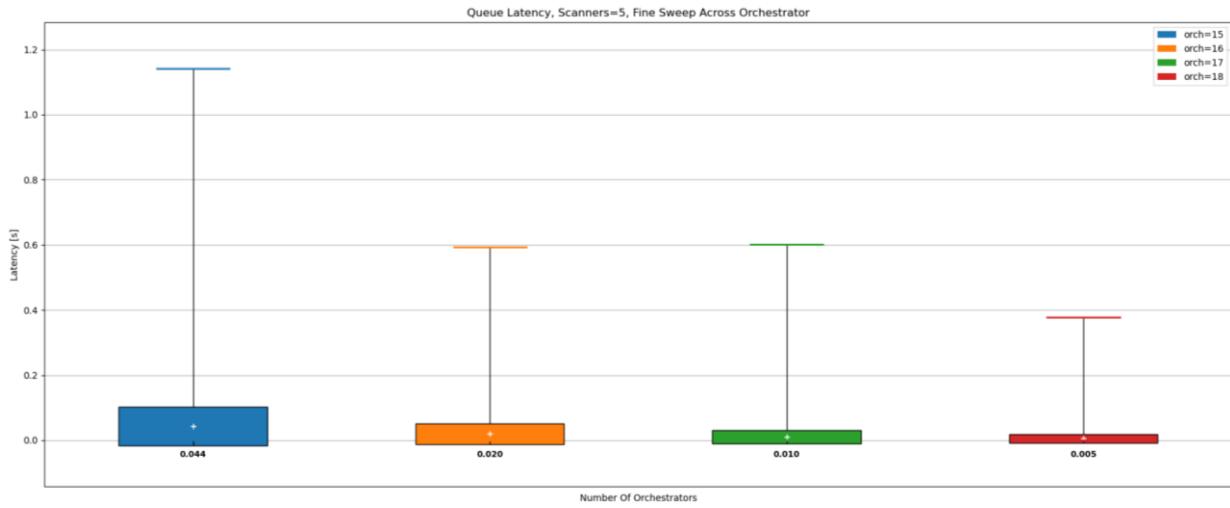
נתמך בתחום של 15-18 מותאמים (אורך תוֹר ממוצע ~, אין איבוד עבודות החל מ-15)



אייר 6.20 : אורך התוֹר הממוצע כפונקציה של כמות המותאמים. הקוו המקווקו מסמן אורך תוֹר ממוצע 1.



אייר 6.21 : אורך התוֹר לאותק זמן עבור 5 סורקים ו-15-18 מותאמים.

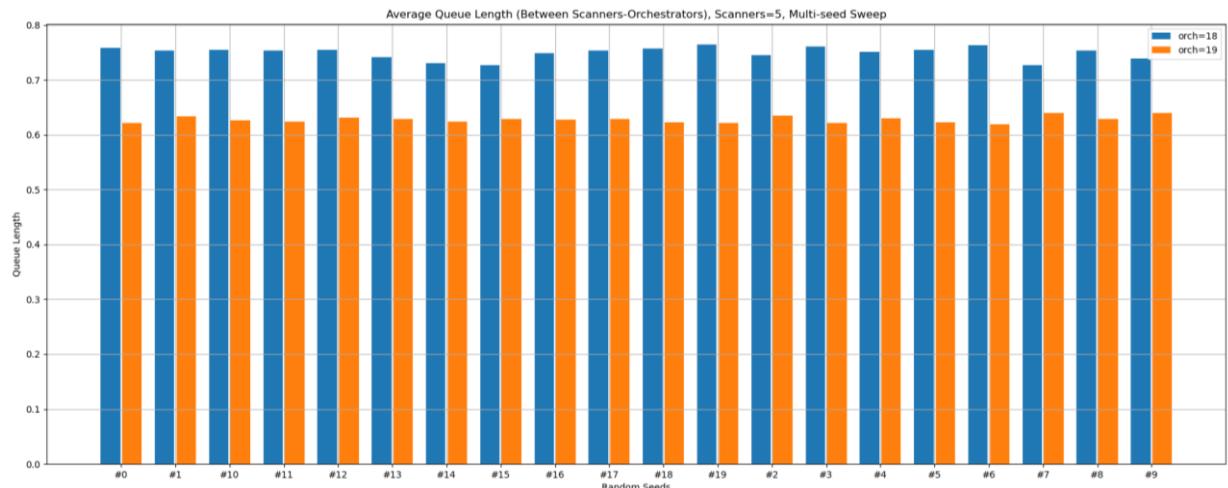


אייר 6.22 : ההשיה הממוצעת וסטיית התקן בתוור עבור 18-15 מתאים.

מתבקשת ירידה של פי 2 בהשיה הממוצעת והמקסימלית מעבר מ-17 ל-18 מתאים. נבע השוואה בין 18 ל-19 מתאים ב כדי לראות האם אנחנו ממשיכים לקבל שיפור חד כזה בתוצאות שמצדיק הוספת רכיב.

#### 6.2.1.2. בדיקה מקיפה עם מספר seeds

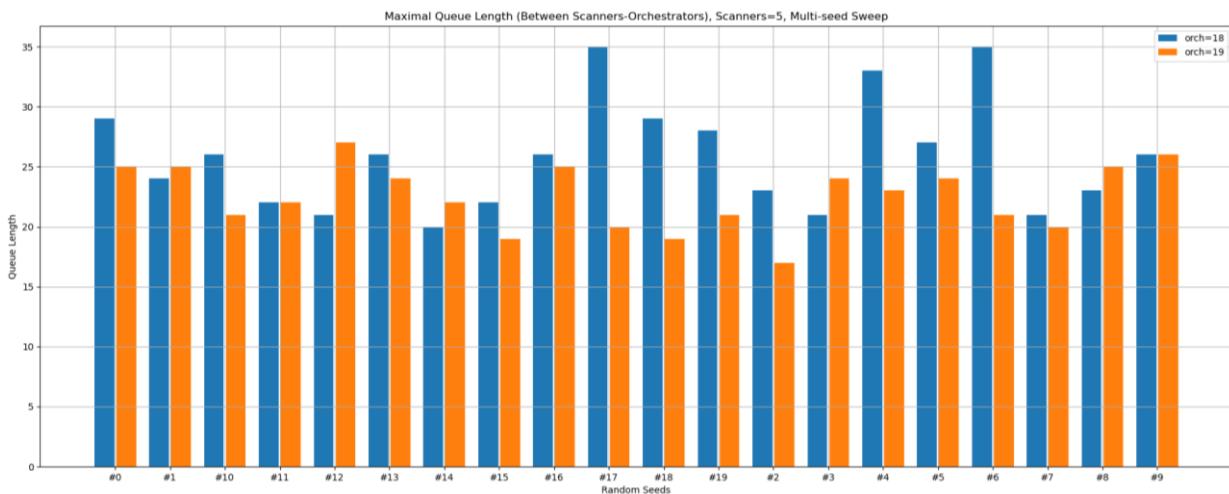
הרכנו את הסימולציה עם 20 סידים שונים עבור 17 ו-18 מתאים.



אייר 6.23 : אורך התקון הממוצע בהרצאות השונות עבור 18 ו-19 מתאים.

האורך הממוצע המתקיים עבור 18 מתאים הוא  $\sim 0.75$ , ועבור 17 מתאים  $\sim 0.62$ , כולל עבור שניהם נשאר היפט מתחת  $-1$ .

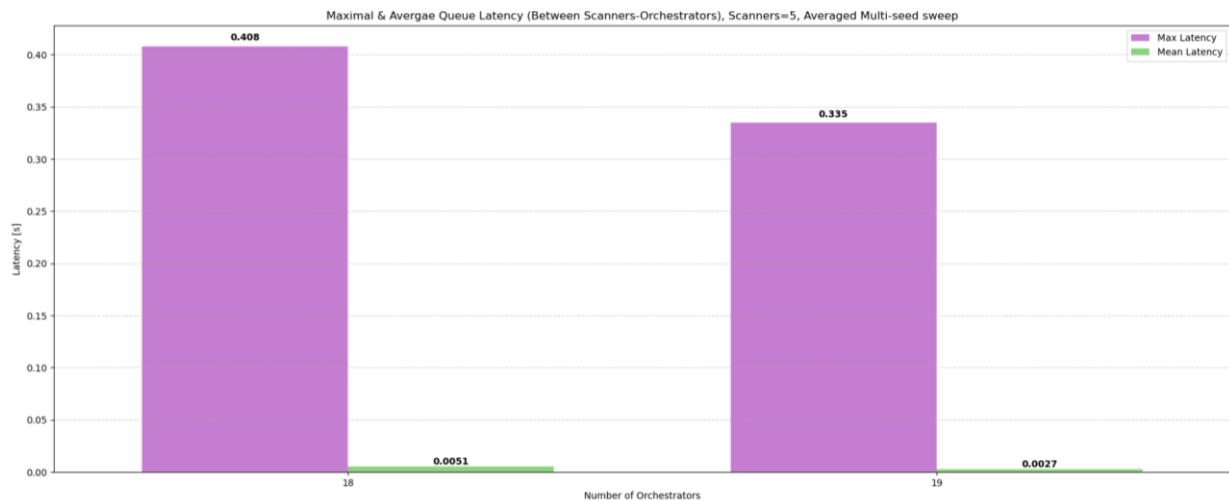
נסתכל גם על האורך המקסימלי אליו מגיעים התורדים :



אייר 6.24 : אורך התור המקסימלי בהרצות השונות עבור 18 ו-19 מתחאים.

ניתן לראות שעבור 18 מתחאים ישנו 'פיקים' גבוהים יותר של עומס (סידים 17,6,4) לעומת ההתקנות של התור עבור 19 מתחאים, שיותר 'חלקה' לאורך הסידים השונים.

נסתכל על ההשניה (המקסימלית והממוצע) ונמצע את תוצאות 20 ההריצות :



אייר 6.25 : ההשניה הממוצעת והמקסימלית בתור עבור 18 ו-19 מתחאים (ממוצע ע"ג seeds שונים).

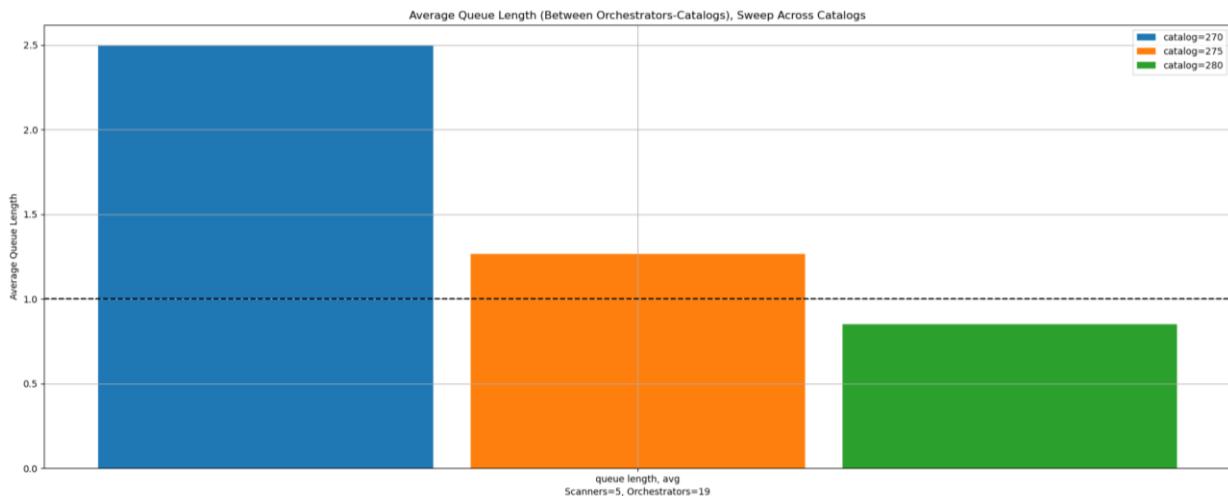
בין 18 ל-19 מתחאים יש שיפור של 22% בהשניה המקסימלית ושל 88% בהשניה הממוצעת – שיפור שווה הוספה של רכיב נוסף – לכן נבחר להשתמש במצב הסטטי ב-19 מתחאים.

## 6.2.2. איזון התוֹר השנִי (Orchestrators-Catalogs)

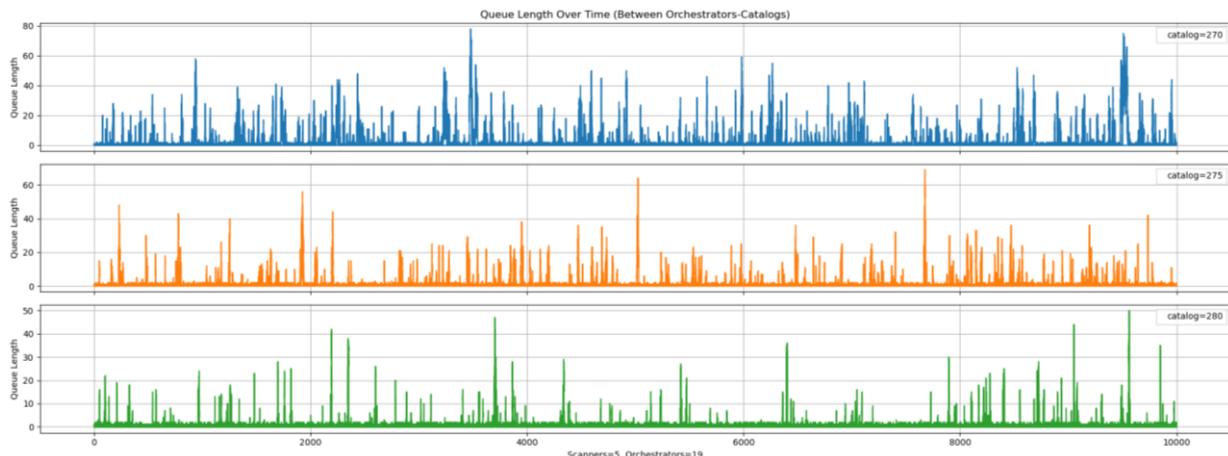
כעת נחזר את מגבלת האורך לתוֹר השנִי (100), נשתמש בכמות המתאימים שמצאו קודם (19) ונאזן את התוֹר השנִי.

### 6.2.2.1. סְרִיקָה רַאשׁוֹנִית

מבצע סְרִיקָה רַאשׁוֹנִית בתחום 270-280 :



אייר 6.26 : אורך התוֹר הממוצע כפונקציה של כמות הקטלוגים. הקו המכווקו מסמן אורך תוֹר ממוצע 1.



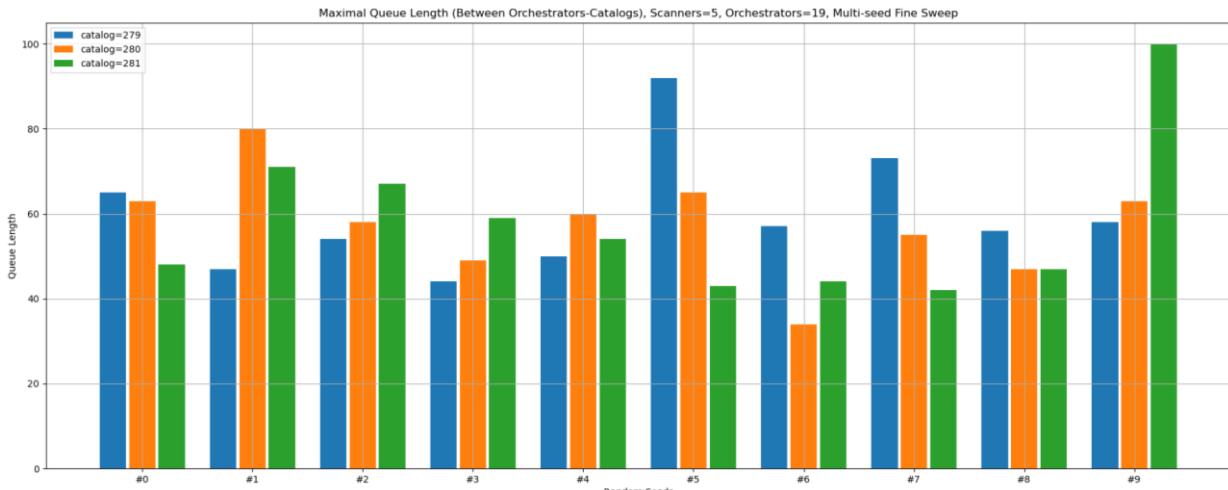
אייר 6.27 : אורך התוֹרים לאורך זמן עברו 270,275,280 קטלוגים.

מבין האפשרויות האלה, רק 280 קטלוגים עונה על הדרישה שלנו – שמירה על אורך תוֹר מקסימלי מתחת ל- 50 הודעות.

על כן, נבדוק לעומק את סביבתו (279,280,281) עם לוודא את עקביות התוצאות ונבחר את הכמות האופטימלית. זו לא בהכרח תהיה הכמות עם התוצאות הטובות ביותר, שכן כל הוספה של יחידה בכמות הelow הינה יקרה ומשפיעה על ביצועי המערכת (סקלබיליות, העברת הודעות בין כמות גדולה של יחידות).

#### 6.2.2.2 בדיקה מקיפה עם מספר seeds

הרכנו את הסימולציה עם 10 סידים שונים עבור 279, 280 ו- 281 קטלוגים.

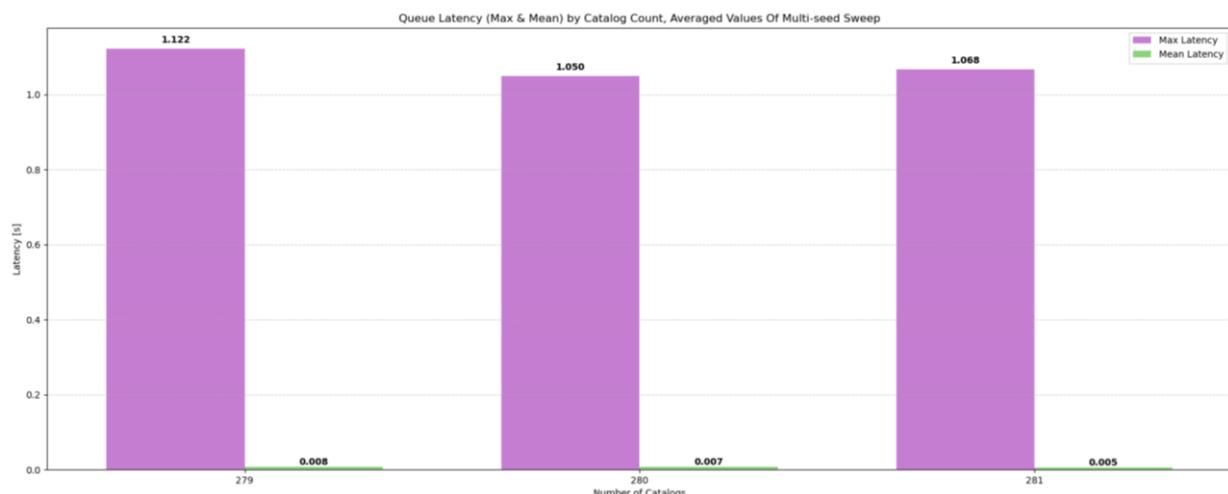


איור 6.28 : אורך התווך המקסימלי כפונקציה של כמות הקטלוגים, הרצה על 10 סידים שונים.

העלאת כמות הקטלוגים לאגרה אורךתו מקסימלי נמוך יותר לכל הסידים (כפי שניתנו לראות עבור סיד 9 וסיד 5).

- עבור 281 קטלוגים התווך הגיע לשיאו לקיבולת של התווך (ללא איבוד הודעות).
- עבור 279 קטלוגים הגיעו בממוצע ל- 90% מקיבולת התווך.
- עבור 280 קטלוגים הגיעו בממוצע ל- 80% מקיבולת התווך.

בממצע, אורך התווך המקסימלי של 3 האפשרויות שבדקו הוא בסביבות 59-57 הודעות. השינוי בכמות הקטלוגים מתבטא בעיקר בהתמודדות עם 'פיקים' של עומס.



איור 6.29 : ההשיה הממוצעת והמקסימלית בתווך 279, 280, 281 קטלוגים (ממוצע עיג seeds שונים).

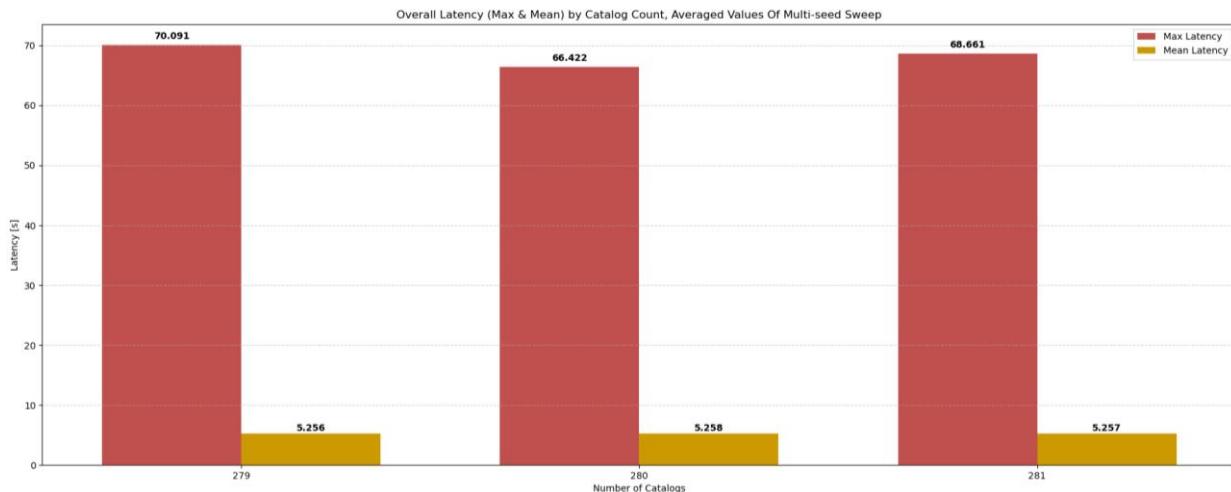
ההשיה המקסימלית הממוצעת תואמת את התוצאות עבור אורך התווך המקסימלי (ההשיה המקסימלית מתקבלת עבור מי שהגיע אחרון לתווך כשהוא הגיע לאורך הכי גבוה שלו).

מבחן ה

### השחיה המומוצעת

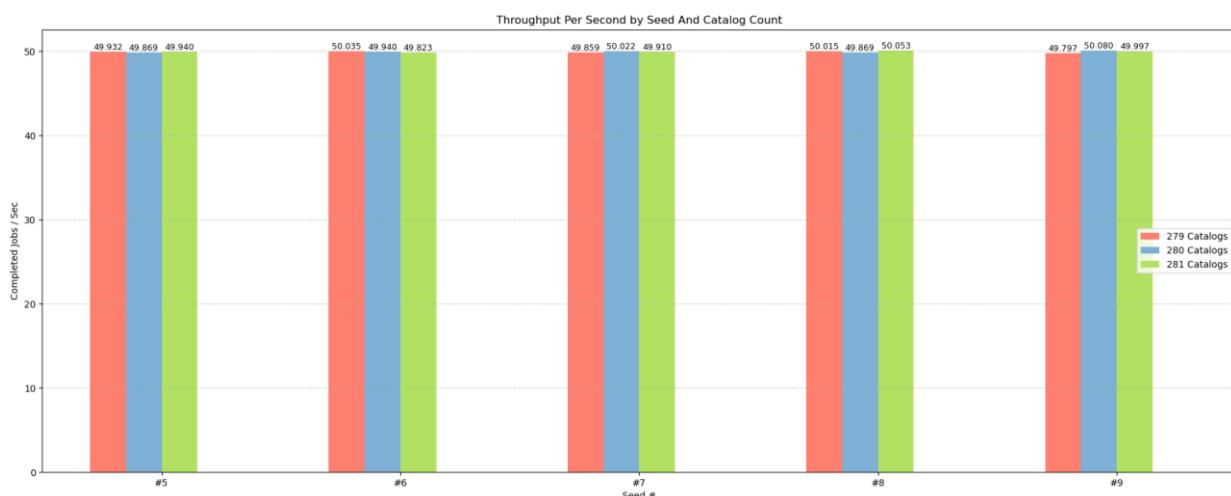
, השיפור במעבר מ-279 ל-280 קטלוגים הוא של 14%, ומעבר ל-281 משפר בעוד 40%, אם כי מדובר כבר בהשחיות ממוצעות מאוד נמוכות של מיל-שניות בודדות.

**נסתכל על הסטטיסטיות של כלל התהיליך – מיצירת העבודות ועד לשיום הטיפול בהן:**



אייר 6.30 : השחיה המומוצעת והמקסימלית הכלולת עבור 279, 280, 281 קטלוגים (ממוצע ע"ג seeds שונים).

כאשר מסתכל על התהיליך בשלמותו, **התשחיה הכלולת הממוצעת** של שלושת האופציות שנבדקו כמעט זהה לחלווטין, בעוד שההשחיה המקסימלית נמוכה משמעותית (~3.5 שניות) עבור 280 קטלוגים לעומת 279, ונמוכה ביותר מ-2 שניות מ-281 קטלוגים. הוספה של עוד רכיבים לא בהכרח משפרת את הביצועים – הפערים (הקטנים) ככל הנראה נובעים מהרנדומליות של הכניסות.



אייר 6.31 : **תפקה (Throughput)** לשניה עבור 279, 280, 281 קטלוגים על גבי seeds שונים.

אפשר לראות שתפקה לשניה המתקבלת דומה מאוד בין כמות היחידות שנבדקה (כאשר משווים עבור אותו הסיד), כאשר ההפרש הכי גדול הוא של 0.1% לכל היתר (סיד 9#).

Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Value	Experiment	Measurement	Replication	Module	Name	Value
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#0	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 799	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#0	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 533
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#1	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 151	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#1	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 894
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#2	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 605	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#2	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 326
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#3	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 764	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#3	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 511
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#4	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	501 281	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#4	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	501 003
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#5	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 565	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#5	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 316
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#6	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 648	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#6	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 353
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#7	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	498 875	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#7	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	498 594
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#8	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 422	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#8	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 147
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#9	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	498 261	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=279	#9	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	497 973
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#0	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 321	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#0	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 044
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#1	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 151	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#1	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 894
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#2	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 513	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#2	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 250
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#3	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 648	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#3	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 399
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#4	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 347	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#4	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 096
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#5	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	498 935	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#5	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	498 686
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#6	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 634	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#6	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 396
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#7	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 471	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#7	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 215
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#8	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	498 934	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#8	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	498 691
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#9	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	501 067	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=280	#9	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 802
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#0	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 570	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#0	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 309
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#1	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 098	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#1	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 840
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#2	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 556	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#2	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 251
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#3	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 132	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#3	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 857
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#4	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	498 825	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#4	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	498 545
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#5	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 647	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#5	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 400
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#6	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	498 503	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#6	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	498 230
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#7	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	499 376	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#7	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 097
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#8	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 782	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#8	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	500 332
Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#9	StaticNetwork.statsCollector	GeneratedJobs:count	500 358	Orchs_Catalogs_Sweep_m	\$Catalog=281	#9	StaticNetwork.statsCollector	CompletedJobs:count	499 966

**טבלה 6.4 : כמות העבודות שיוצרו בסה"כ בכל סימולציה (שמאל), כמות העבודות שהושלמו בסה"כ בכל סימולציה (ימין). (שאר העבודות שיוצרים וטרם הושלמו נמצאות בעבודה ברגע עצירת הסימולציה)**

#### **בסה"כ, בין האפשרויות שנבדקו:**

- אין הבדל משמעותי בתפוקה לשנייה, בהשניה המומוצעת ובאורך התור המומוצע.

- ההבדלים באים לידי ביטוי בהתמודדות עם מצבי קצה – אורך התור המקסימלי וההשניה

המקסימלית, עם יתרון מובהק לבחירה של 280 קטלוגים.

לכן, כדי להימנע ממצב של התמלאות של התור (sharpie לкриיסה של כלל המערכת האמיתית), וכידי לקבל את הביצועים הטובים ביותר מבחן השניה, נבחר להשתמש ב- 280 קטלוגים.

**לסיכום – הצלחנו לאוזן את המערכת שלנו עבור: 5 סורקים, 19 מתאימים ו- 280 קטלוגים.**

## 7. תוצאות - סימולציה דינמית

נתמקד ב-2 פונקציות שונות לבקרה של המערכת.

1. עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטוריזס (מייצוע X דגימות אחרות).
2. מנגנון שיעורץ זמן לריקון התור (Queue Drain-rate Estimation). (Queue Drain-rate Estimation)

את התוצאות נבחן על בסיס אוטם המדדים כמו קודם:

- i. כמות הרכיבים הפעילים
- ii. השהיה (Latency)
- iii. תפקה (Throughput) – כמות עבודות לדקה
- iv. תנודתיות המנגנון (כמו 'פתיחות' ו'סגורות' של רכיבים מתבצעות לאורך הסימולציה)
- v. איבודי הודעות (כ-% מכלל ההודעות)
- vi. אורך תורים ממוצע

את כל התוצאות נרים עיג 5 סידים שונים ונמצע את התוצאות. את כל המדדים נרמל בין 0 ל-1, כאשר 1 זו התוצאה הכי טובה מבין התוצאות שהתקבלו ו-0 הכי גרוע.

נבחר פונקציית ציון שמספקת את כל המדדים האלו (מנורמלים בין 0 ל-1):

$$\begin{aligned}Score = & 0.2 \cdot (\text{max latency}) + 1 \cdot (\text{avg. latency}) + 0.5 \cdot (\text{avg. orch num}) + 0.5 \cdot (\text{avg. catalog num}) \\& + 0.25 \cdot (\text{throughput}) + 0.2 \cdot (\text{avg. queues length}) + 0.3 \cdot (\text{drop rate}) + 0.25 \\& \cdot (\text{control messages})\end{aligned}$$

אנחנו שמים משקל גבוה יותר להשהיות ולכמות הרכיבים הדלקים במערכת, שכן המטרה המרכזית של הבקרה הדינמית היא הקטנת **כמות הרכיבים במערכת מבליל** לגרום לפגיעה גדולה בBITS.

הערה: הציון המרבי שניתן להציג מפונקציה זו הוא 3.2.

לשתי פונקציות הבקרה, נבחר את קומבינציה הפרמטרים האופטימלית (לפי חישוב הציון הנ"ל), ולבסוף נבצע השוואה בין שתי התוצאות שהתקבלו.

## 1.7. סקר ביצועים – עלייה לינארית, רידעה עפ"י היסטורייז

זכיר את מנגנון הבדיקה המוטמע בסימולציה:

$$\text{Number of pods} = (\text{Queue length}) * \frac{(\text{Maximal pods}) - (\text{Minimal pods})}{\text{Queue Threshold}} + (\text{Minimal pods})$$

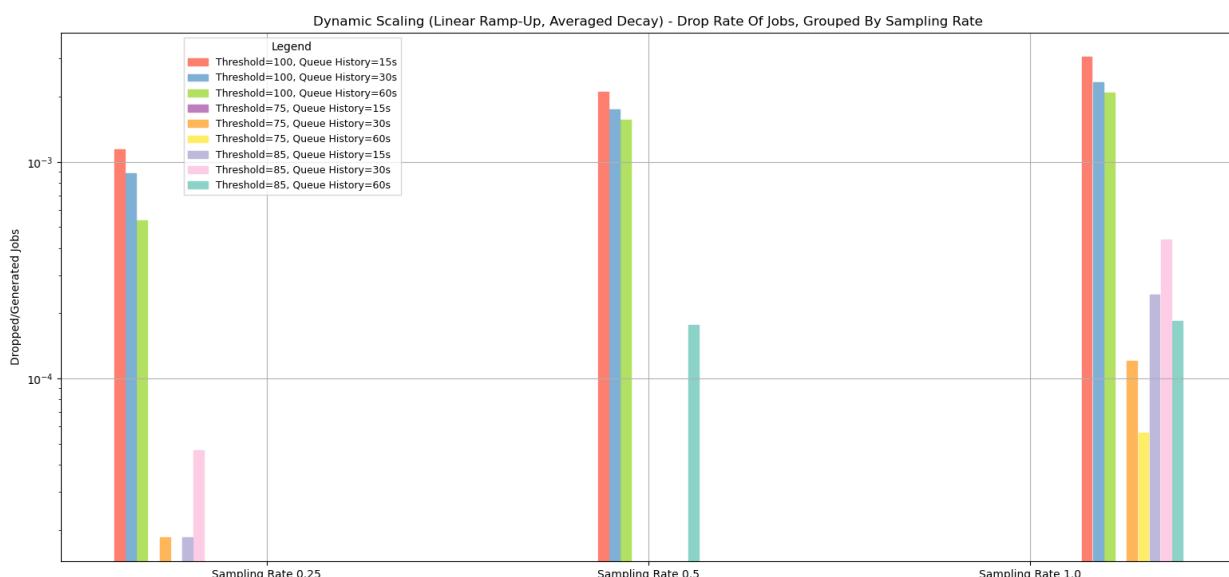
כאשר Queue Threshold – אורך התור שמננו והלאה אנחנו מפעילים את מקסימום היחידות.

- אם תוצאת החישוב גדולה מכמות הרכיבים הפעילים – מעלים את כמות הרכיבים לערך שהתקבל עד לערך המקסימלי).
- אם הכמות קטנה – ממצאים את X הדגימות האחרונות ומורידים לכמות המתאימה עפ"י הנוסחה.

בצע סקר ביצועים על הפרמטרים הבאים:

- כמות פודים מינימלית : 1 (עבור מתאימים וקטלוגים).
- כמות פודים מקסימלית : עבור מתאימים – 14, עבור קטלוגים – 174. (מחסימולציה הסטטיטית).
- אורך התור עבורו מפעילים את כל הפודים : 00,75,85,100.
- אורך ההיסטוריה אותה ממצאים (Sampling History) : 15,30,60 : 15 שניות.
- קצב הדגימה (כל כמה זמן דוגמים את אורכי התורים) : 1, 0.5, 0.25 שניות.

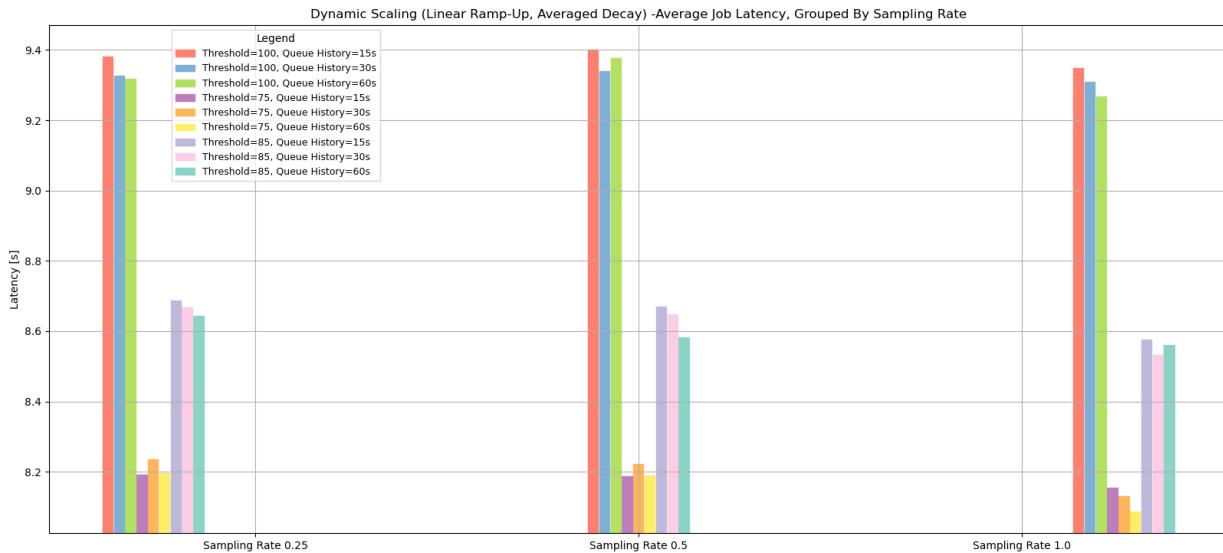
### 7.1.1. תוצאות עבור Sweep יחיד – תוצאות לא מנורמלות



אייר 1.7: שיעור איבוד ההודעות עבור כל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימ' דינמית (עלייה לינארית, רידעה עפ"י היסטורייז).

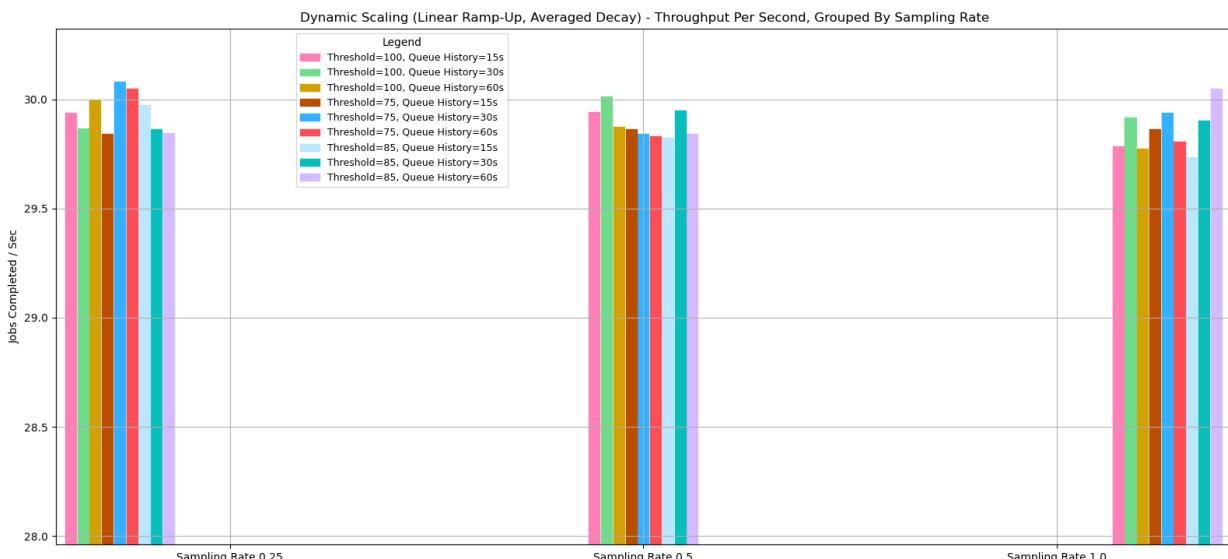
ניתן לראות את ההשפעה של כל הפרמטרים שנבדקים על איבוד ההודעות. כאשר ההשפעה הגדולה ביותר היא דואקע עייתי threshold – שמאפשר להגיע למקסימום רכיבים בשלב מוקדם יותר של העומס בתור, ובכך מקטין משמעותית את איבוד החרבויות. הפרמטר השני ביכולתו להשפיע הינו קצב הדגימה, שמתקשר באופן ישיר גם לthreshold. לבסוף, גם לאורך ההיסטוריה ישנה השפעה, אם כי מועטה יותר, ביחס הפוך

לאיבוד ההודעות. דבר זה נובע מכך שאנו חווים פחות תנודותיים עם אורך ההיסטוריה גדול יותר, ובכך פחות נוטים להגיע למצב של איבוד.



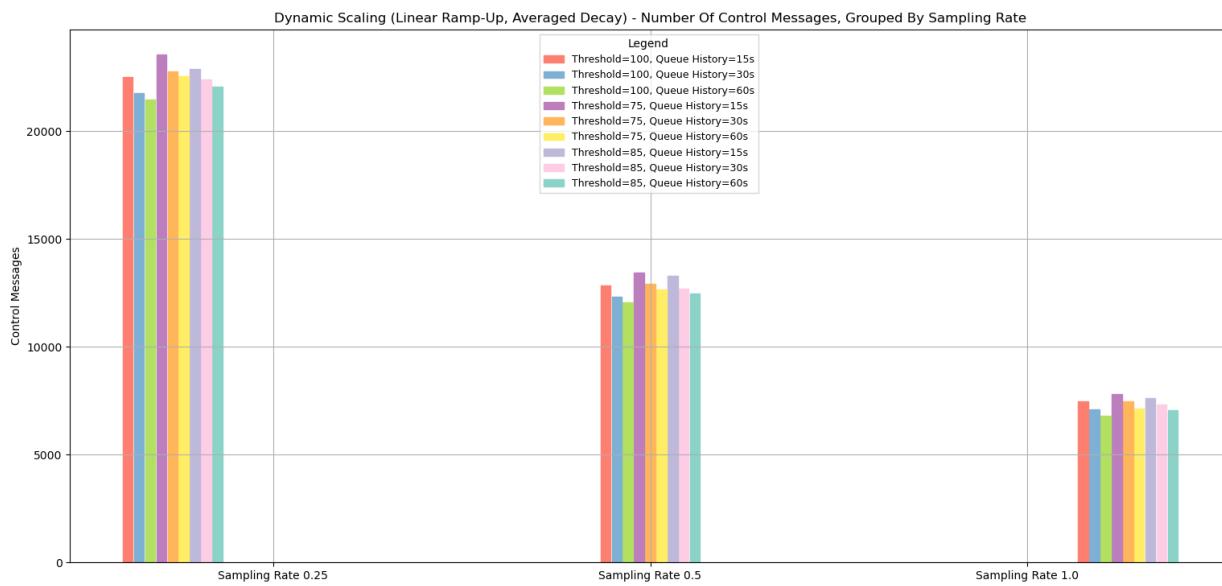
אייר 7.2 : השהיה ממוצעת במערכת עבור כל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימן דינמית (עליה לינארית, רידזה עפ"י היסטורי).

בניגוד לשיעור איבוד ההודעות, ההשיה כמעט ולא מושפעת מאריך ההיסטוריה – אלא מושפעת בצורה ניכרת מבחירה של threshold – ככל שהוא נמוך יותר, כך יש יותר רכיבים פעילים וההשיה קטנה בהתאם.



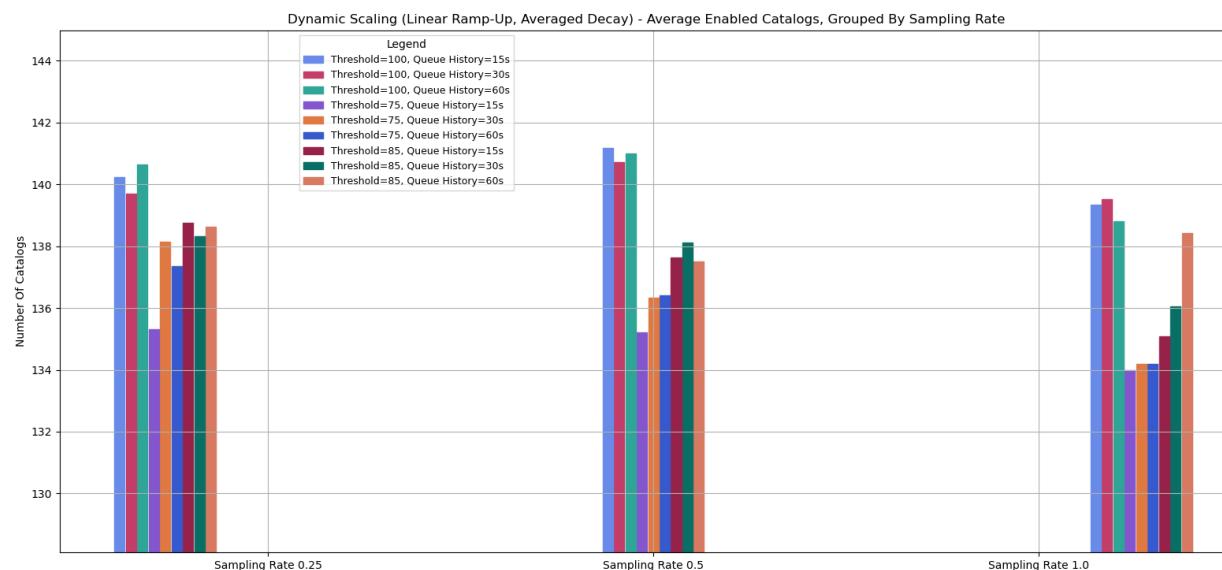
אייר 7.3 : תפוקה (עבודות לדקה) עבור כל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימן דינמית (עליה לינארית, רידזה עפ"י היסטורי).

התפוקה מושפעת בעיקר מקצב הדגימה – ככל שקצב הדגימה גבוה יותר, כך התפוקה גבוהה יותר. זאת מכיוון שעבור קצב דגימה גבוה יותר, המערכת יכולה מהר יותר לשינויים בעומס ומתאימה את כמות היחידות לעומס, לעומת קצב דגימה איטי יותר. ההבדלים הינם קטנים באופן יחסית (הפרש של 0.5 עבודה לשנייה), אך מctrברים לאורך זמן.



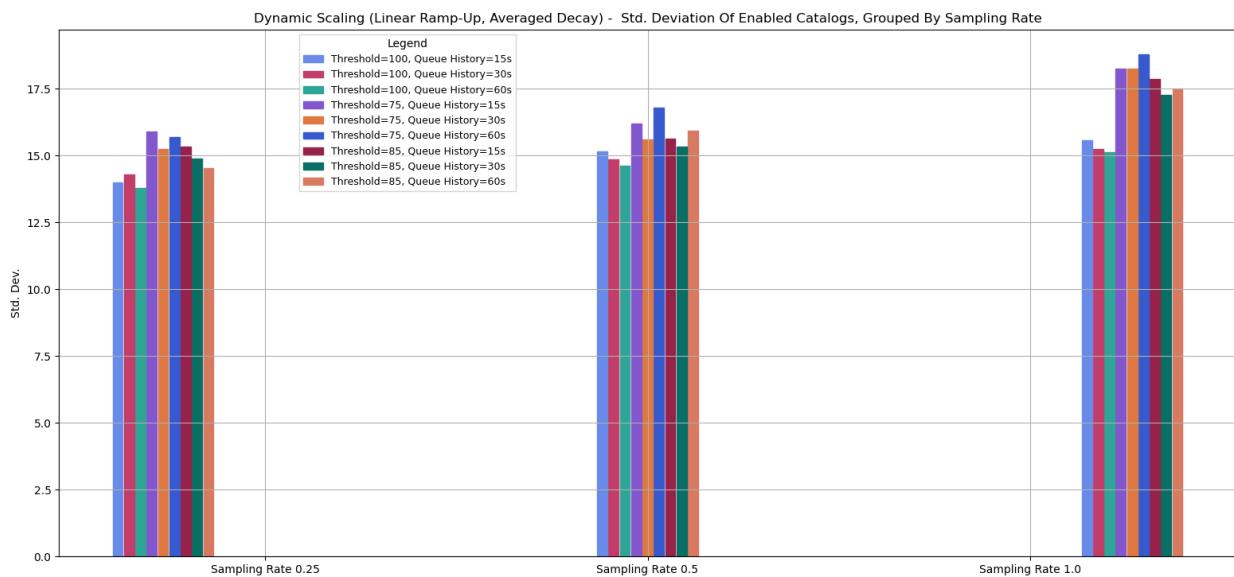
אייר 4.7 : כמות הודעות הבדיקה (הפעלה/כיבוי ייחדות) עבור כל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימי דינמית (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטורי).

מדד זה מהוות בעיקר Sanity Check למימוש שלנו לפונקציית הבדיקה - ככל שקצב הדגימה גבוה יותר, כך כמות הודעות הבדיקה שנשלחות גדולה. ניתן לראות קשר כמעט לינארי ביןיהם, ככלمر כמעט בכל 'דגם' המערכת מגיבה ושולחת הודעות בקרה. בנוסף, הגדלת ההיסטוריה מפחיתה את גם היא את כמות הודעות הבדיקה – לוקח יותר זמן עד שמתחלת הפחתה של ייחדות, אם בכלל היא מתאפשרת עם מיצוע ארוך.



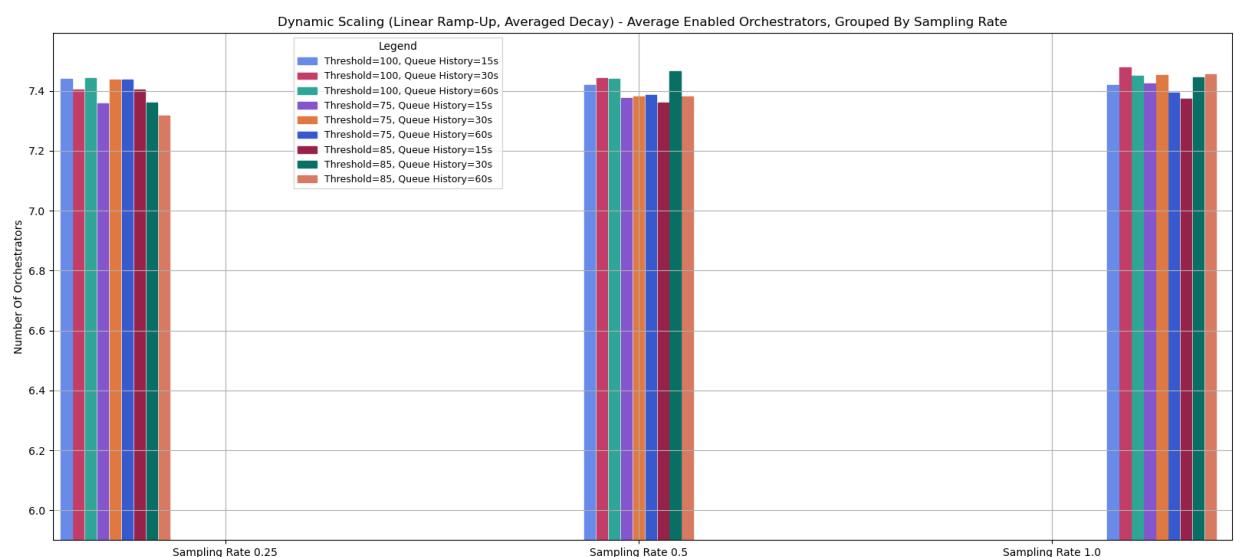
אייר 5.7 : כמות הקטלוגים המופעלים ממוצע עבור כל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימי דינמית (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטורי).

ניתן לראות כאן תופעה מעניינת: בקצב הדגימה האיטי ביותר (כל שנייה אחת), עבור הערך הכי נמוך (75) והכי גבוה (100) מתקבלת כמות הקטלוגים ממוצעת דומה, אך עבור threshold של 85 יש הבדלים גדולים בין התוצאות השונות בהתאם לאורך ההיסטוריה. נראה שמדובר בנקודת גבול עדינה שבה אורך ההיסטוריה משפייע משמעותית. אפשר לשער שהזיה נובע מ-“bursts” סמוכים בזמן שנכנסו או לא נכנסו לחולון המיצוע בסימולציות השונות.



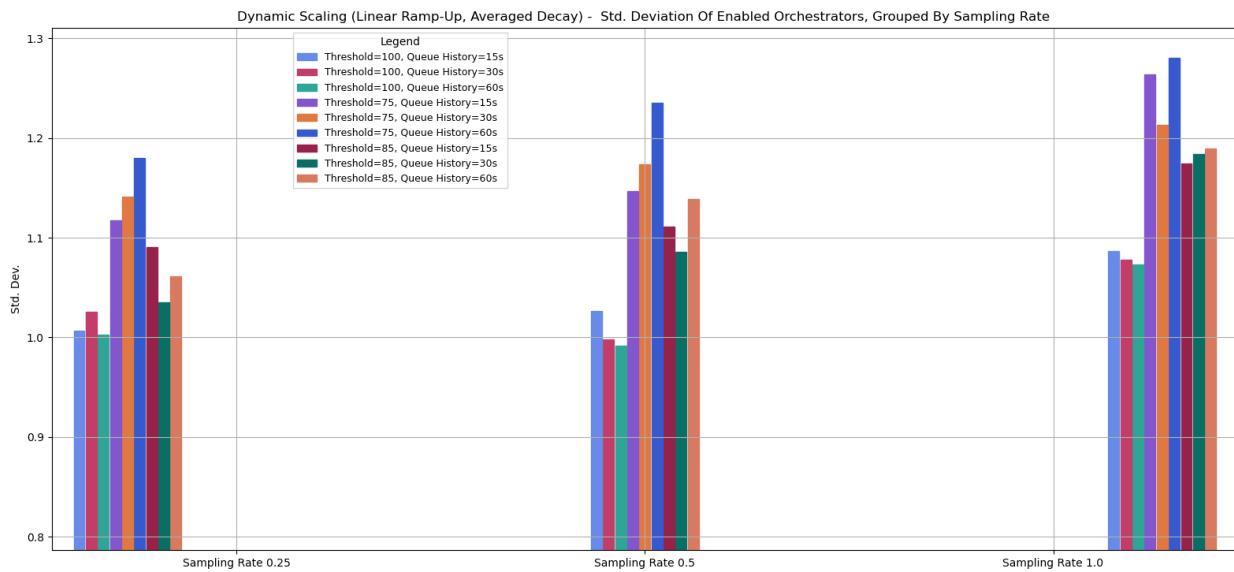
אייר 7.6 : סטיית תקן עבור כמהות הקטלוגים המופעלים לכל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימן דינמית (עליה לינארית, רידיה עפ"י היסטורי).

ניתן לראות שככל שקצב הדגימה איטי יותר, סטיית התקן עולה, ככל יותר הרכיבים פחות יציבה. עבורו ניתן להראות שככל שקצב הדגימה איטי יותר, סטיית התקן עולה, ככל יותר הרכיבים פחות יציבה. עבורו של 75 ההבדלים קטנים, אך ב-sdthresholds, הגבהה יותר יש וגישה גובה יותר.



אייר 7.7 : כמהות המתאים המופעלים בממוצע עבור כל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימן דינמית (עליה לינארית, רידיה עפ"י היסטורי).

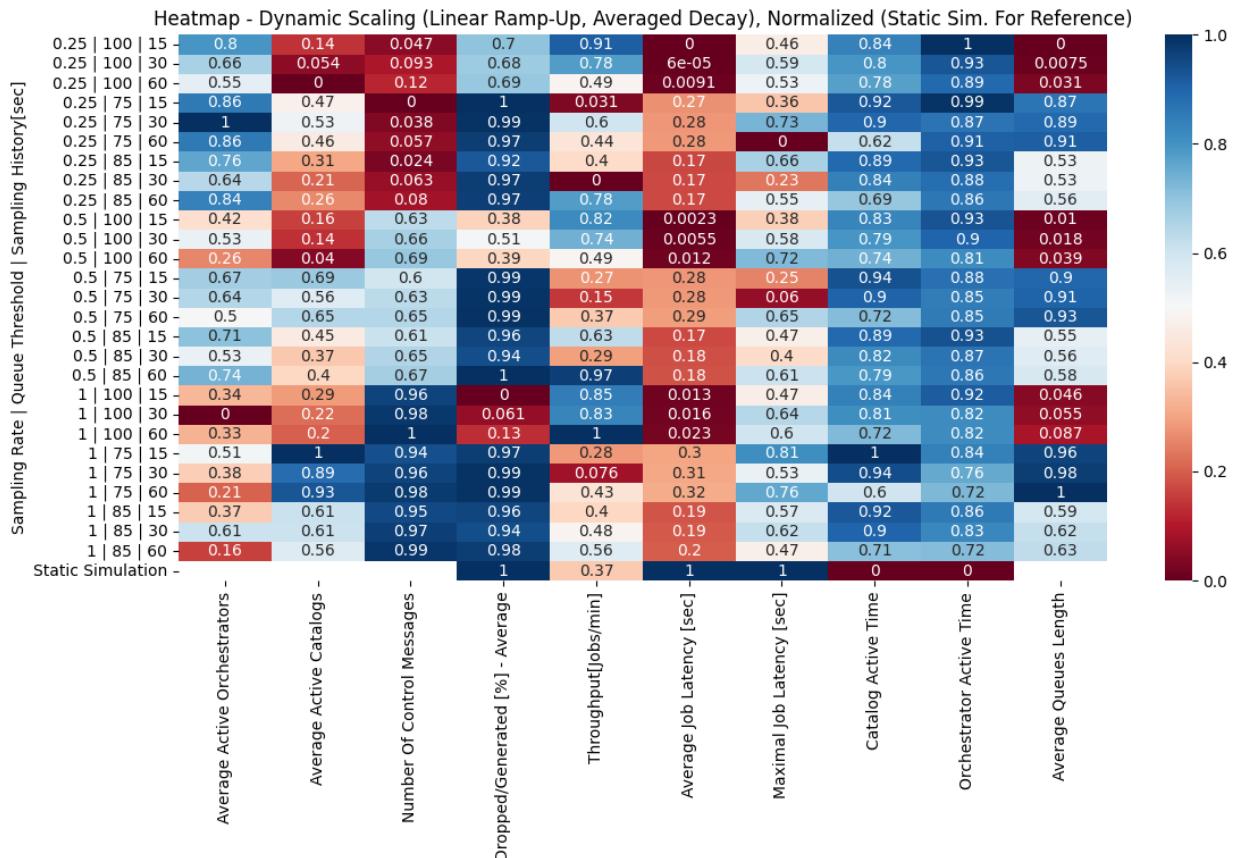
בשונה מבאיור 7.5, כמהות המתאים הממוצעת מגיעה לשינוי של הפרמטרים, ודומה למדיי בין כל הקומבינציות שנבדקו. נראה שהתור הזה מתיציב על ערך זהה עבור כל הקומבינציות, עם הטיה קלה (של יותר רכיבים) כאשר קצב הדגימה הcy איטי (כל שנייה).



**אייר 7.8:** סטיית תקן עבור כמות המתאמים המופעלים לכל הקומבינציות של הפרמטרים הנבדקים, סימני דינמיות (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטורי).

ישנה תנודתיות גבוהה יותר במספר המתאים כאשר קצב הדגימה הינו האיטי ביותר (אחת לשניה). בנוסף, בכל קצב הדגימה, סטיית התקן עבור אורך היסטוריה של 60 שניות עם threshold של 75 גבוהה במיוחד – דבר זה מעיד על **תנודתיות חזקה יותר בכמות הרכיבים** בקומבינציה זו – ככלומר, המערכת נוטה להגיע לערכים קיצוניים יותר, כנראה משום שלוקח לה זמן רב יותר להתאושש ולהפחית את כמות הרכיבים לאחר שהיא הייתה בעומס. למרות זאת, הערך הממוצע שמתקיים בכל קבוצה (עפ"י קצב דגימה) כמעט זהה – משמע שהמערכת באופן כללי מגיעה לאוותו איזון, פשוט בדרכים שונות.

## 7.1.2. תוצאות כוללות – Multiple Sweeps

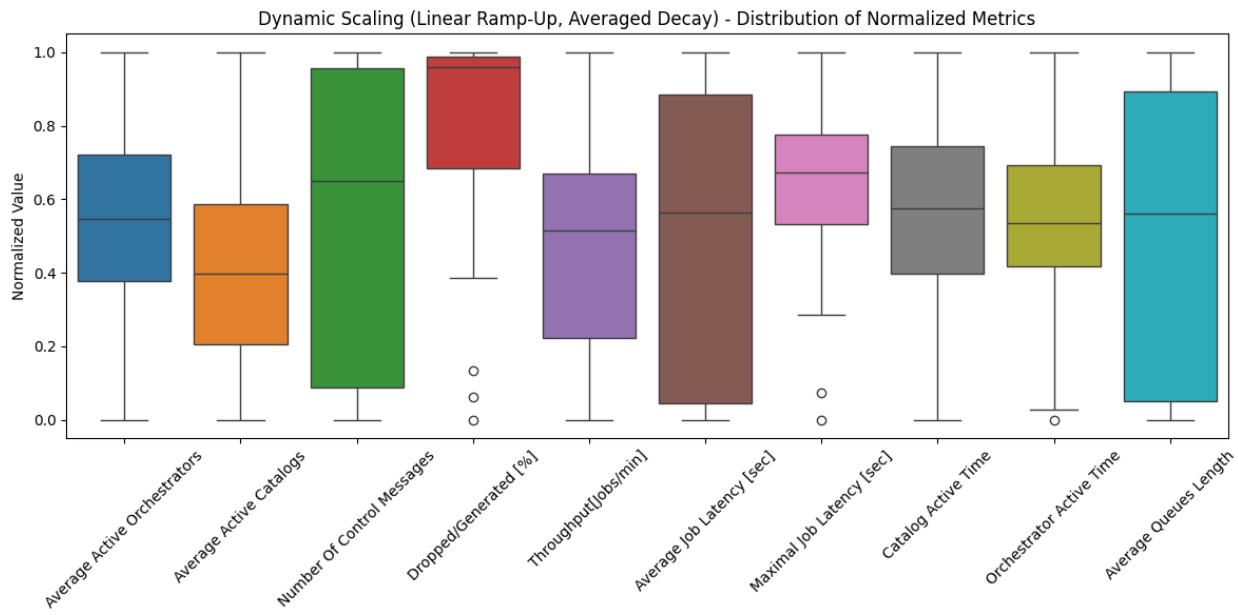


אייר 7.9 מנורמל לסדרת הפרמטרים עבור הסימני הדינמי (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטריז), ביחס לסימולציה הステטיסטית (שורה תחתונה).

### כמה תובנות מהגרף של פנינו:

- איבודי הודעות:** בסימולציה הステטיסטית דרשנו 0 איבודים, ולכון התוצאה המנורמלת היא 1. יחד עם זאת, חלק מכובד מהתוצאות הדינמיות השיגו איבוד אפסי או קרוב אליו (תוצאה מנורמלת <0.99>). התוצאות הגרועות ביותר ביוטר התקבלו עבור קצב דגימה איטי בשילוב עם threshold מסוימלי (כלומר - רק כאשר מגיעים לתור מלא מפעילים את כמות הרכיבים המקסימליים), מה שגורם לעומס בתור ולאיבודים. קונפיגורציה זו דומה בהתנהוגותה למנגנון שבסימוש במערכת האמיתית ממנה לקחתי השראה, דבר שיכול להסביר את הביעות שモופיעות שם (קሪיסה של המערכת).
- תפוקה:** הסימולציה הステטיסטית מגיעה לתפוקה נמוכה (0.37 לאחר נרמול) לעומת רוב הסימולציות הדינמיות, כאשר התוצאות הטובות ביותר ביוטר התקבלו עבור מערכות שמצוות על גבי משך זמן ארוך יותר (60 שניות) ועבור מערכות שגובהם הכி מהר לעליה וירידה (עדכון כל 0.25 15/30 שניות אחרונות). בקומבינציית בין המיצוע הוא על גבי 60 שניות, למערכת לוקחים זמן רב יותר להתאושש לאחר עלייה בכמות היחידות כתוצאה מעומס, וחולף זמן רב יותר עד להורדתה של כמות הרכיבים. ניתן לראות שבעבור מערכות אלו, זמן העבודה בפועל של הקטולוגים, שמתיחס רק בזמן בהם הרכיבים נמצאים בפעולה נמוך משמעותית – ככלומר הרכיבים מוחזקים פעילים אך לא בעבודה.

- **השחיה ממוצעת ומקסימלית:** הסימולציה הステטיסטית מביאה תוצאות טובות ממשמעותית מאשר בסימולציות הדינמיות שהרצינו, כאשר התוצאות הכיו טובות שמתקבלות בסימולציות הדינמיות הן עברו קצב העדכון הכי איטי (כל שנייה, ציון מנורמל של 0.32-0.3). לעומת זאת, הפערים בהשחיה המקסימלית קטנים משמעותית, ובעור הקומבינציות הניל מתקבלת תוצאה (מנורמלת) של 0.81 לעומת 1 בסימולציה הステטיסטית. המשמעות – ההשחיה הטובה ביותר ביותר מתקבלת בעור הסימולציה הステטיסטית ללא תחרות אמיתית מהסימולציה הדינמית, אך במחיר גבוה גודל ברכיבים.
- **אורך תור ממוצע:** התוצאות הטובות ביותר התקבלו בעור threshold נמוך (75), במיוחד כאשר משלבים זאת עם קצב העדכון הכי איטי (כל שנייה). התוצאות הגרועות ביותר התקבלו בעור ה- threshold הכי גבוהה (100, אורך התור המקסימלי), בשילוב עם קצב הדגימה הכי מהיר (כל 0.25 שניות) – תוצאה זו מפתיעה, שכן היה ניתן לצפות שקצב עדכון מהיר יגרור שיפור באורך התור, אך בפועל נראה שבמצב זה המערכת אינה יציבה.
- **כמויות הקטלוגים פעילים:** זוהי המסה הגדולה של הרכיבים במערכת, ועבורם לקצב עדכון הייתה את ההשפעה הגדולה ביותר על התוצאות – ככל שקצב העדכון היה איטי יותר, כך הופעלו פחות רכיבים בממוצע. ניתן שזו נובע דווקא מאיכותות התגובה, שלפעמים המערכת מספיקה להתחזון ולא מתקבל overshoot בכמות הרכיבים כתוצאה מתוגבה מהירה מדי.
- **כמויות הודעות בקרה:** כצפוי, עדכון בתדרות גבוהה יותר מוביל לעלייה בכמות הודעות בקרה. בנוסף, מיצוע על גבי זמן ארוך יותר גורר שליחת פחות הודעות בקרה (המערכת פחותת תנודתית במצב זה), אך השפעה זו זניחה לעומת השפעה של שינוי קצב העדכון.

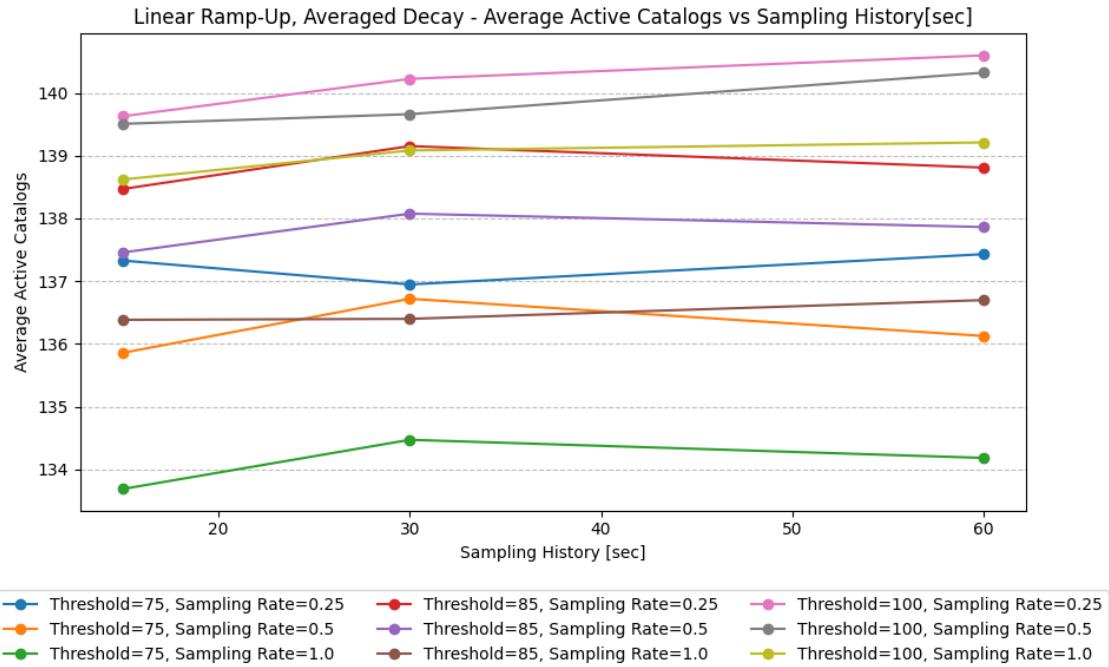


**איור 10.7 :** התפלגות התוצאות המנורמלות (כאשר 1 – התוצאה הכי טובה שנמדדה, 0 – הכי גרועה) לממדים שנבדקו, סימולציה דינמית (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטריזו).

גרף זה מציג את ההתפלגות של התוצאות המנורמלות, וממחיש עד כמה הן משתנות בין הקומבינציות השונות של הפרמטרים שבדקנו, וסביר אילו ערכיהם הם מתרכזות, דבר שמציג את מידת ההשפעה של הפרמטרים שנבדקו על כל ממד.

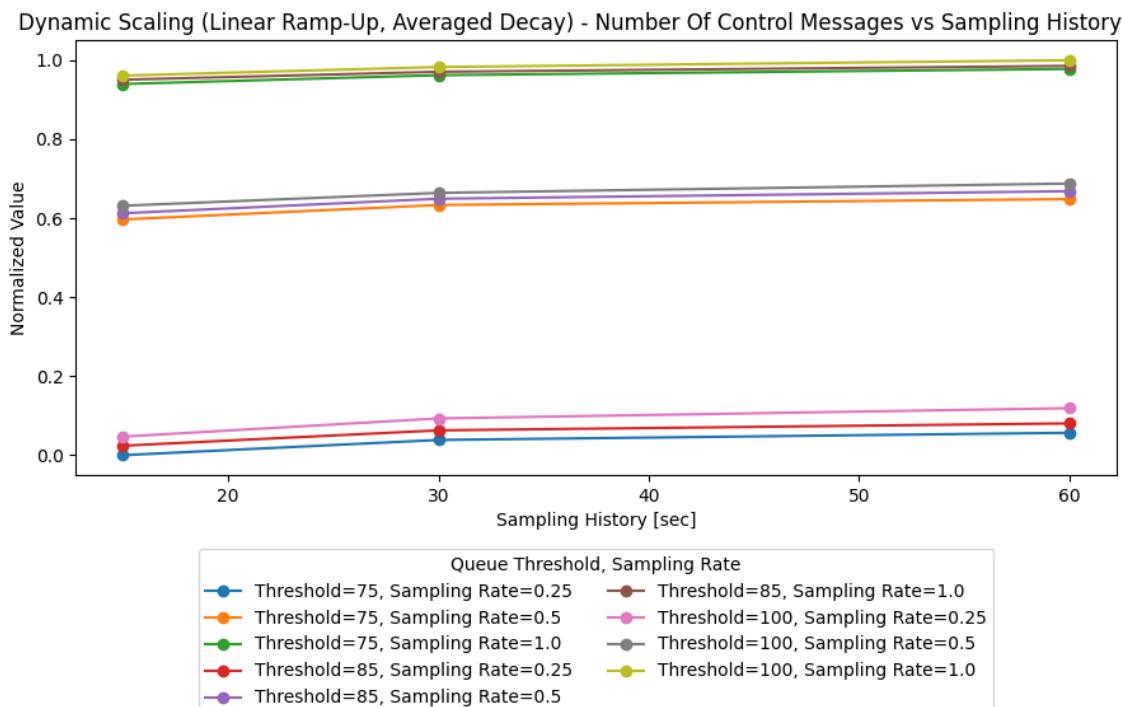
#### ניתן לחלק את הממדים למספר קבוצות:

- **טוח ערכים רחב** (כמויות הודעות הבקרה, אורך טור ממוצע, תפוקה) : ממדים אלו מושפעים בצורה מהותית ע"י הפרמטרים שבדקנו, ומציגים פיזור רחוב בתוצאות.
- **טוח ערכים צר** (זמן פעולה בפועל, השהייה מקסימלית) : ממדים אלו פחות הושפעו מהפרמטרים שבדקנו, ופונקציית הבקרה הלינארית מספקת לרובם תוצאות דומות למדי.
- **ממוצע גובה** (מדד droprate) : ברוב הקומבינציות התוצאות שהתקבלו היו טובות מאוד, ניתן להסיק שפונקציית הבקרה היא הגורם לתוצאות אלו, ולא בחירת הפרמטרים (מלבד בחירת פרמטרים ספציפית חריגה שהניבת תוצאות גרועות).
- **ממוצע נמוך** (כמויות קטלוגים פעילה) : כאן, מלבד בחירת נקודתית של פרמטרים הרוב המוחלט של התוצאות היו לא טובות. ככל הנראה בגלל מגבלת של פונקציית הבקרה עצמה. יחד עם זאת, בחירה חכמתה של פרמטרים כן יכולה להניב תוצאה טובה.



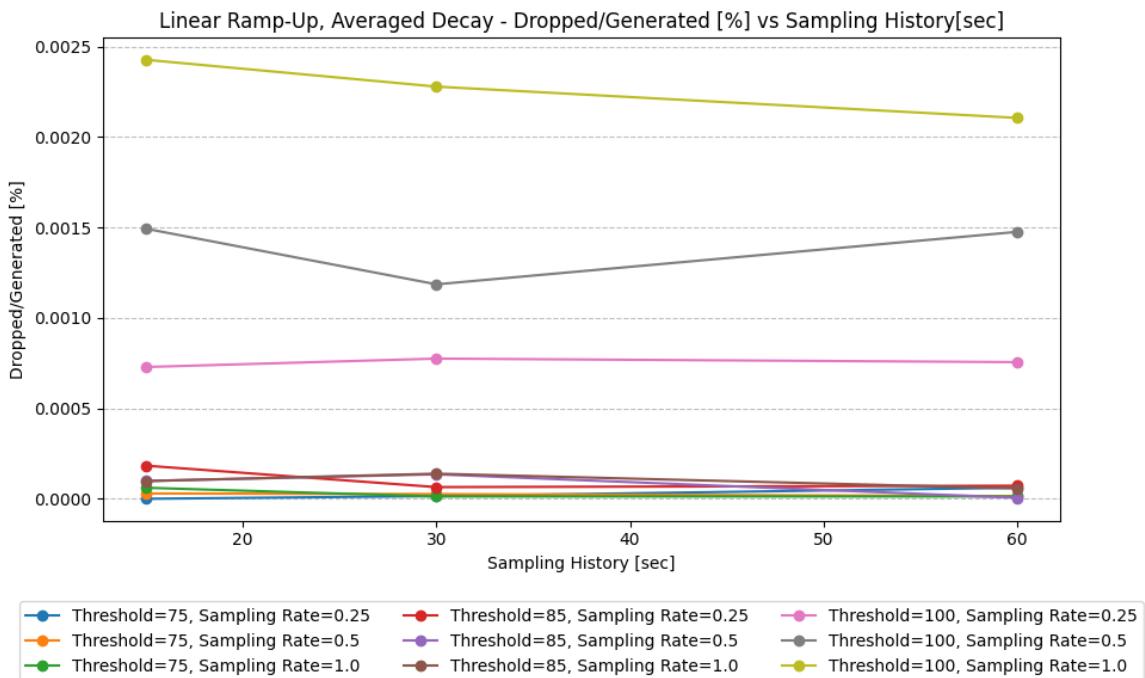
**אייר 7.11 :** כמות הקטלוגים הפעילה בממוצע כפונקציה של היסטוריות הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קבועי דגימה ו-threshold שונים, סימני דינמיות (עליה לינארית, ירידת עפ"י היסטורי).

ניתן להבחן כי עם הפחתת ה-threshold, כמות הקטלוגים קטנה – המערכת מגיבה "זמן" לעומס, ולכן נמצאת פחות זמן עם כמות רכיבים פעילים גבוהה, בדgesch על כאשר קבוע הדגימה הינו האיטי ביותר – דבר שימושי לטובתנו פה.



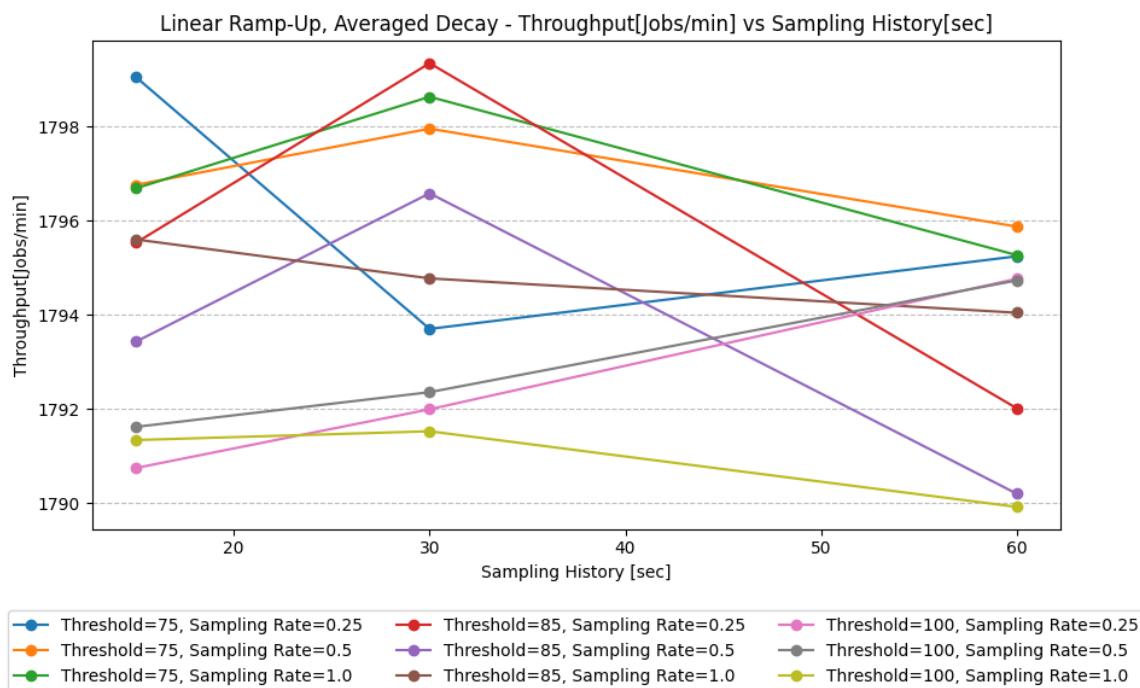
**אייר 7.12 :** כמות הודעות הבקרה המנורמלת (גובה יותר =פחות הודעות) כפונקציה של היסטוריות הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קבועי דגימה ו-threshold שונים, סימני דינמיות (עליה לינארית, ירידת עפ"י היסטורי).

אפשר לראות קשר חזק בין קבוע הדגימה לבין כמות הודעות הבקרה – עבור קבוע הדגימה איטי נשלחות פחות הודעות בקרה מאשר עבור קבוע דגימה מהיר יותר, וכך מעדכו מהיר יותר של המערכת לשינויים.



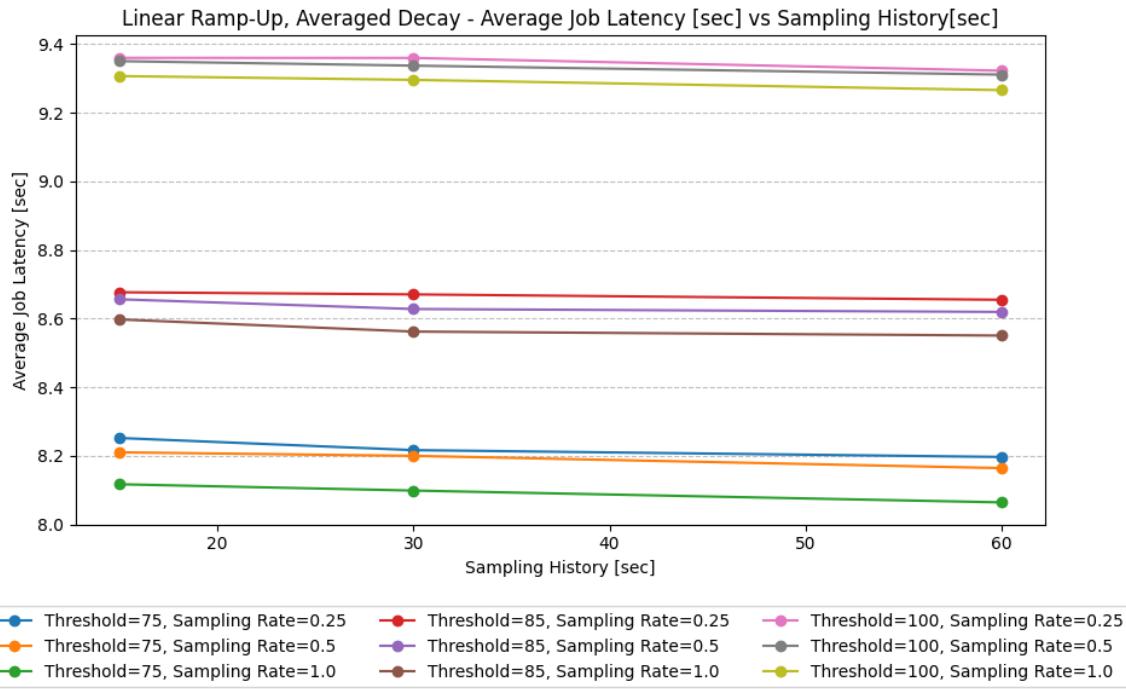
אייר 13.7 : אחוֹ העבודות שנפלו מסך ההעבודות כפונקציה של היסטוריה הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קצבי דגימה ו-threshold שוניים, סימן דינמית (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטורי).

כאן ניתן לראות בבירור שעבור threshold מקסימלי אנחנו מקבלים משמעותית יותר איבוד הדעות, כיון שבקונפיגורציות אלו המערכת מגיבה "מאוחר מדי" לעומס המגע.



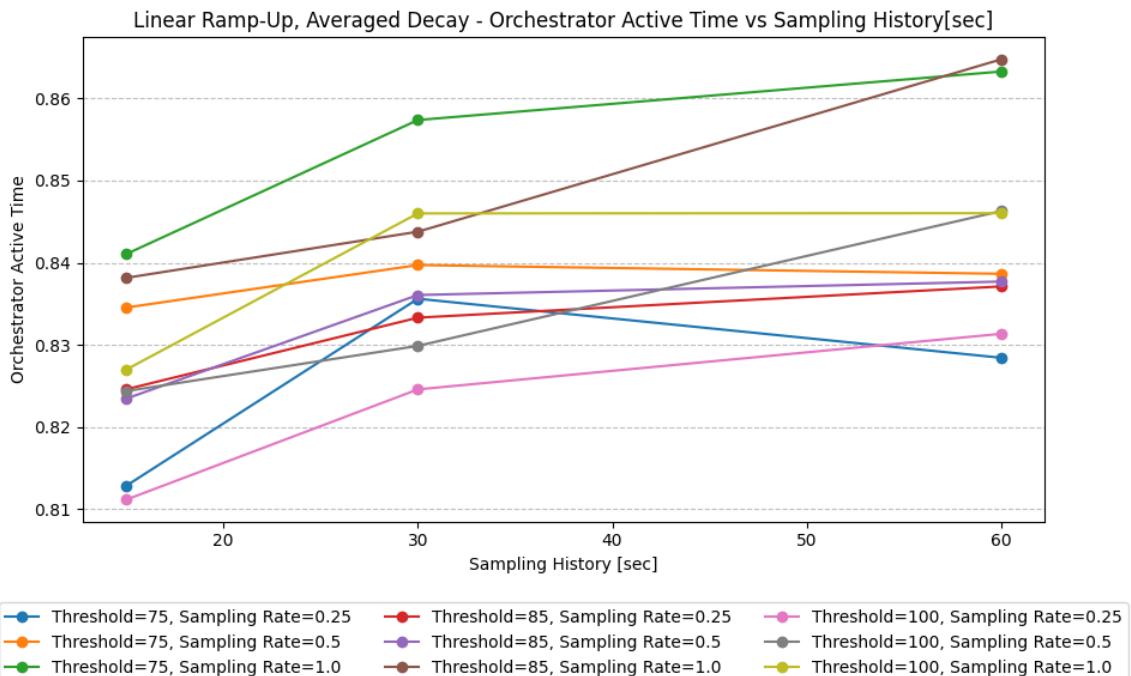
אייר 14 : תפוקה (עבודות לדקה) כפונקציה של היסטוריה הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קצבי דגימה ו-threshold שוניים, סימן דינמית (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטורי).

התפוקה מושפעת ממספר פרמטרים, לכן קשה לראות יתרון מובהק לאחת מהקombינציות שבדקו. יחד עם זאת, התפוקה הטובה ביותר לרוב המוחלט של הקומבינציות היה עבור היסטוריה דגימה של 30 שניות.



**אייר 7.15 :** ההשיה הממוצעת לעובדה כפונקציה של היסטוריית הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קבוע threshold ו-sampling rate שונים, סימן דינמי (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטוריון).

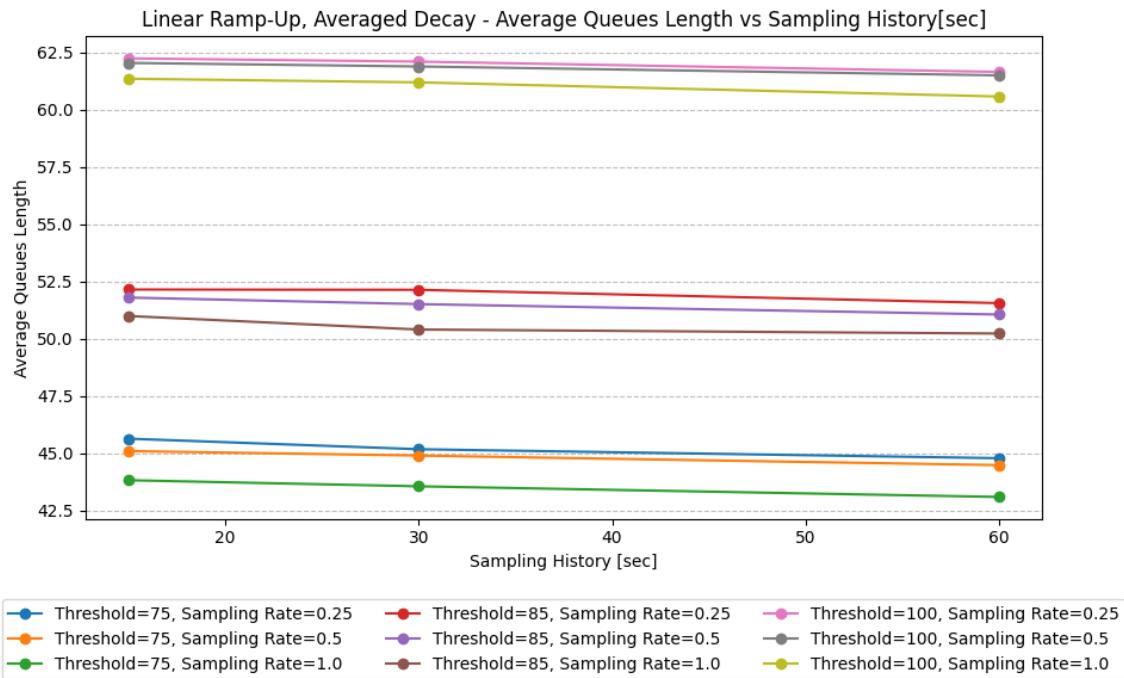
עבור threshold קטן יותר, אנחנו מקבלים השהייה נמוכה מדי – המערכת מגיבה מהר יותר לעומס, ועל כן מפעילה עוד ייחדות מהר יותר בצדיה להתמודד.



**אייר 7.16 :** שיעור זמן העבודה הממוצע בפועל של המתאים כפונקציה של היסטוריית הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קבוע threshold ו-sampling rate שונים, סימן דינמי (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטוריון).

ניתן לראות קשר ישיר בין שיעור השימוש בפועל (כמה זמן הם באמת היו פעילים) של רכיבים לאורך ההיסטוריה – מיצוע עיג ההיסטוריה ארוכה יותר גורם למערכת להגיב לאט יותר, ועל כן יותר רכיבים או

כבויים או לא בעבודה. ניתן לראות גם שימוש גבוה יותר ברכיבים בפועל עבור קצב הדגימות האיטי, מסיבה דומה של זמן תגובה.



אייר 2.7 : אורך התורים הממוצע במערכת כפונקציה של היסטורית הדגימות (בשניות), עבור קומבינציות של קבועים ו-threshold שונים, סימן דינמית (עליה ליארית, ירידת עפ"י היסטורי).

תוצאות אלו מספקות תובנה מעניינת – זמן עבודה בפועל גבוה איןו מוגרם בהכרח לתורים קצרים יותר – כפי שניתן לראות עבור threshold 100. ההשפעה המרכזית היא דוקא בחירת ה-threshold.

### 7.1.3. מציאת הקונפיגורציה האופטימלית

נשותמש בפונקציית הציון שהגדכנו קודם לכן, ונחשב את הציון של כל אחת מן הקומבינציות של הפרמטרים שבדקנו:

Sampling Rate [1/sec]	Queue Threshold	Sampling History [sec]	Score [0-3.2]
0.25	100	15	0.82567
		30	0.78747
		60	0.80434
	75	15	2.32553
		30	2.41346
		60	2.18523
	85	15	1.76359
		30	1.67745
		60	1.70576
0.5	100	15	0.70852
		30	0.88243
		60	0.78828
	75	15	2.43532
		30	2.36243
		60	2.46018
	85	15	1.8821
		30	1.84806
		60	1.87871
1	100	15	0.75388
		30	0.635
		60	0.79061
	75	15	2.81545
		30	2.70246
		60	2.63985
	85	15	2.01514
		30	2.15394
		60	1.87657

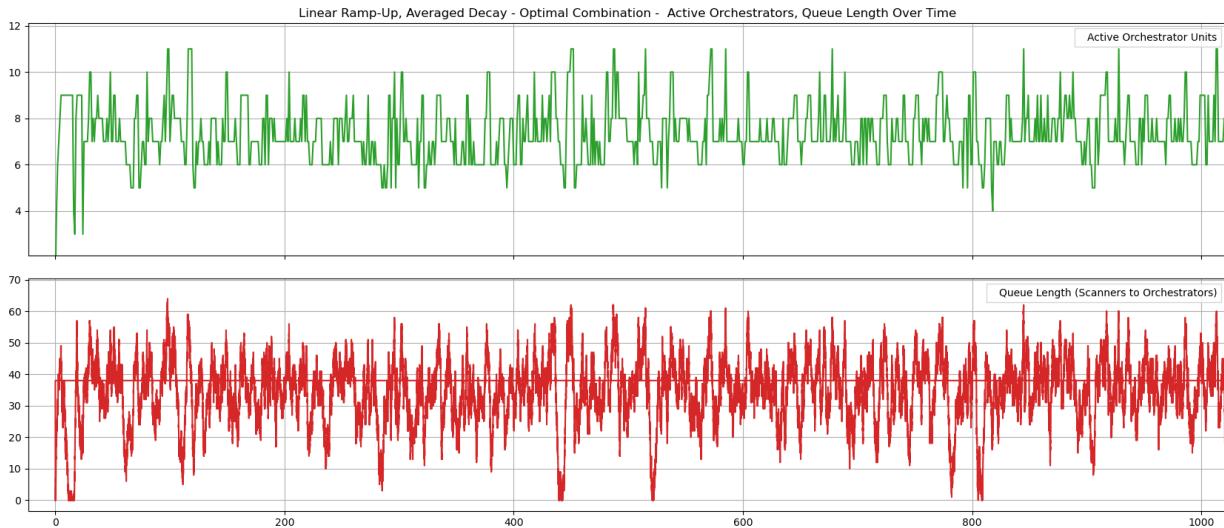
טבלה 7.1: טבלת הציוןים לכל הקומבינציות של הפרמטרים שנבדקו.

עבור המשקלות שהגדכנו, יש העדפה ברורה **לקצב דגימה איטי יותר** (של דגימה אחת לשנייה) בשילוב עם **סף של 75** (הפעלה של כל הרכיבים כאשר התורים מגיעים ל-75 הודעות/עבודות). כאשר הזמן אותו אנחנו ממצאים ארוך יותר, קצב התגובה של המערכת (עבור ה-scale-down) נמוך יותר, מה שגורר עלייה בכמות הרכיבים המומוצעת.

**לכן בסה"כ הקונפיגורציה האופטימלית מבין אלו שנבדקו היא עם קצב דגימה של דגימה אחת לשנייה, סף מקסימלי לתורים של 75 הודעות/עבודות ומיצוע על בסיס 15 השניות האחרונות.**

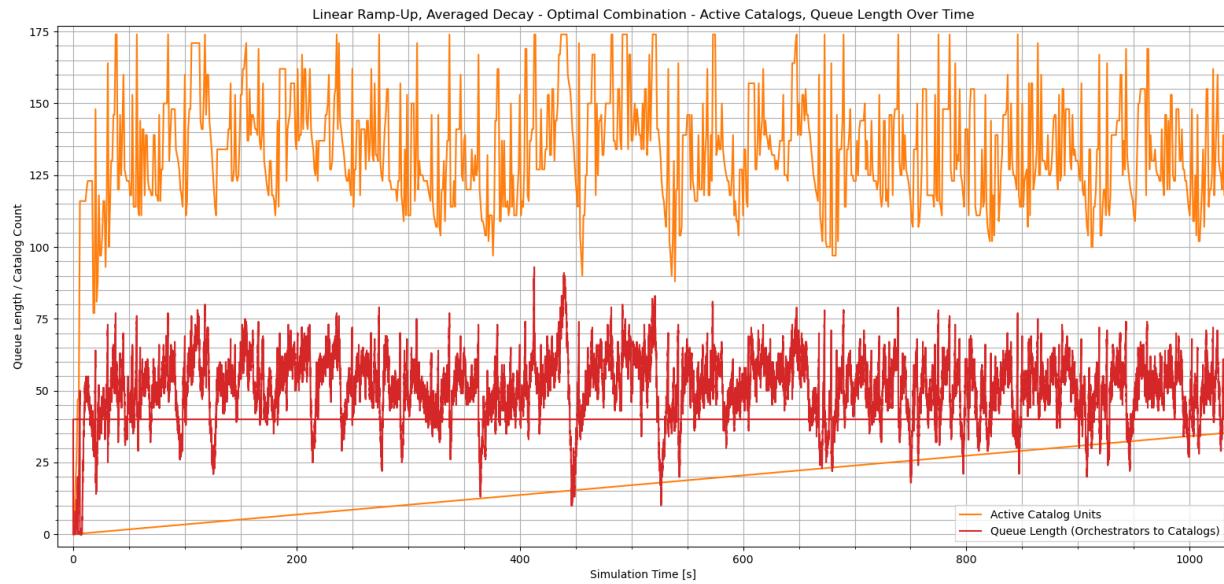
#### 7.1.4. הקיינטוגרפיה האופטימלית – מדדים לאורך זמן

**הkonfiguraciah оптимальна:** קצב דגימה – 1 לשניה, ספ' מקסימלי לטוררים – 75 הודעות, מיצוע ע"ב 15 שניות אחרות.



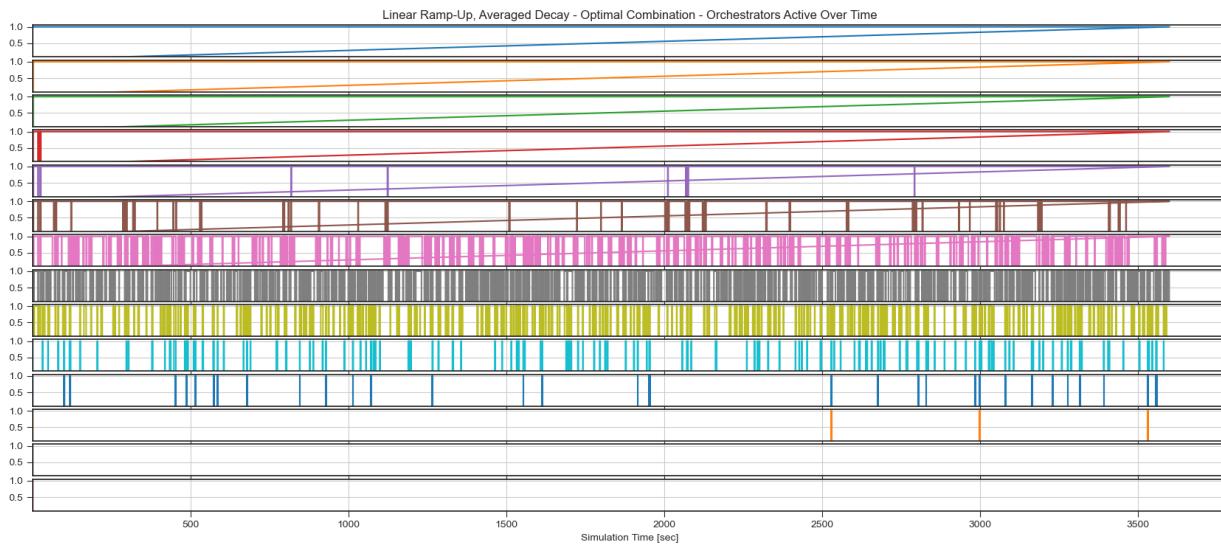
**אייר 18.7:** כמות המתאימים הפעילים ואורך התור המזין אותם לאורץ זמן עבור הפרטורים האופטימליים שנבחרו, סימן דינמיית (עליה לינארית, ירידתית עפ"י היסטורי).

אורך התווך הממוצע תנודתי במידה מסוימת, אך ברובו נשאר בין 50-30, הרחק מהאורך המקורי. אפשר לראות שכאשר אורך התווך עולה, כמו הרכיבים עולה בעקבותיו, ולאחר מכן יורדת בחלוף הזמן.



**אייר 7.19:** כמות הקטולוגים הפעילים ואורך התור המזין אותם לאורך זמן עבר הפרמטרים האופטימליים שנבחרו, סימן דינמיית (עליה לינארית, ירידת עפ"י היסטורי).

בדומה לאורך התור במקורה של המתאים, גם כאן ניתן לראות את התגובה בהעלאת כמהות הרכיבים כאשר אורך התור גדול, ולאחר מכן מ\_tAון גם את הירידה בכמויות הרכיבים הפעילים. כמוות הרכיבים הפעילים מגיעה למקסימום (174) מספר רב של פעמים במהלך הסימולציה, מה שמרמו על צורך בהעלאת התקורת המקסימלית בכך לאפשר לפונקציית הבקרה לעובוד באופן מיטבי.



**איור 7.20 :** שיעור זמן העבודה בפועל של המתאים לאורך זמן עברו הפרמטרים האופטימליים שנבחרו, סימי דינמיות (עליה לינארית, ירידה עפ"י היסטריז).

אפשר לראות כי במהלך כל הסימולציה, מתאים 12 ו-13 אינם מופעלים כלל, בעוד שמתאים #0 עד #3 מופעלים במהלך כל הסימולציה. מתאים 9-5 פעילים לסירוגין במהלך הסימולציה.

## 2.7. סקר ביצועים – שיעור זמן לריקון התור (Queue Drain-time Estimation)

בין החסרונות הבולטים של המנגנון הלינארי שבדקנו קודם הם ההשניה והתפוקה, שרחוקים מאוד מהפתרונות עבור הסימולציה הステטיסטית.

כדי להתמודד עם זה בצורה טובה יותר, נטמע ונבדוק מנגנון בקרה שם דגש על ההשניה ותפוקה ע"י ניסיו לשערן את ההשניה הצפואה של המערכת, ומגדיל או מקטין את כמות הרכיבים כך להגיע להשניה הרצוייה.

המנגנון עובד באופן הבא:

- כל X שניות, מתבצעת מדידה של אורך התורים ומחושב קצב הריקון המשוער באופן הבא :

$$Drain Rate = \frac{Queue Length}{(\# of Current Pods) \cdot (Service Rate)}$$

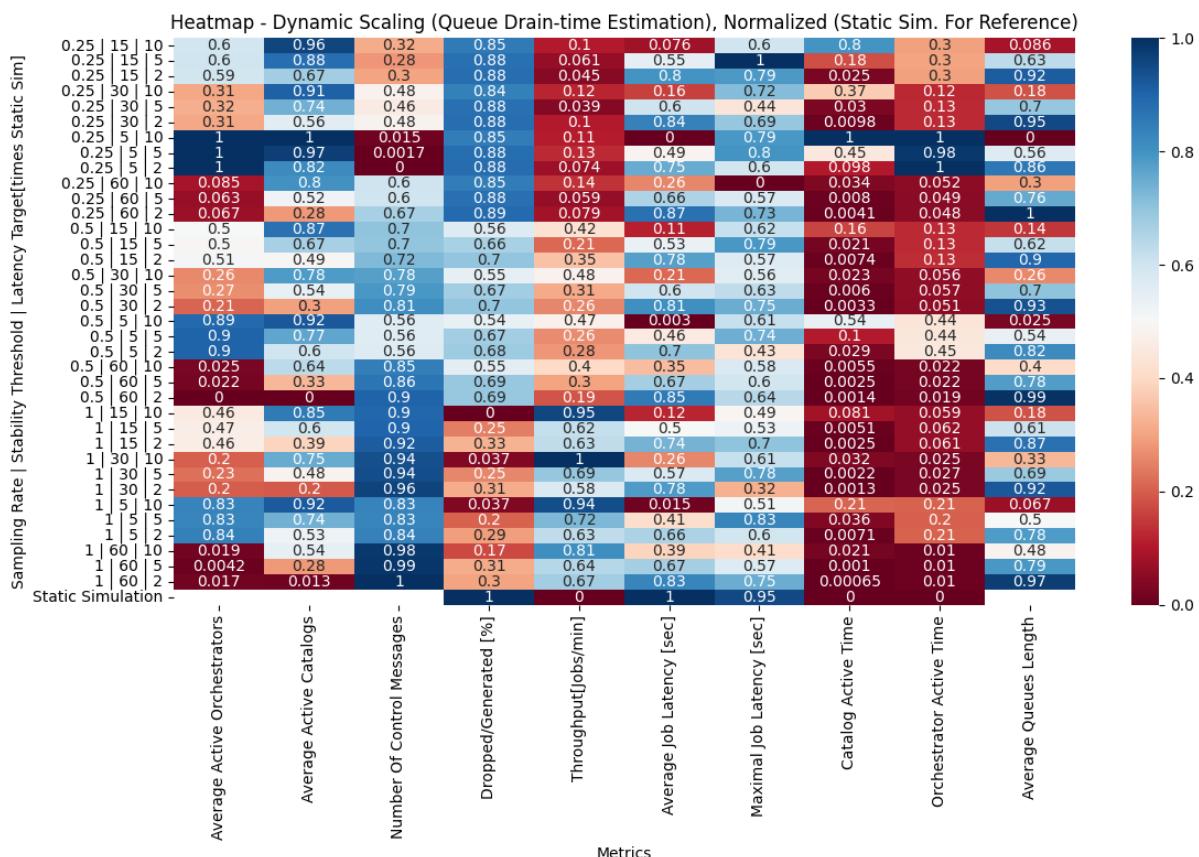
- אם  $Drain Rate > Target Latency$  : מפעילים עוד יחידה.
- אם  $Drain Rate < Target Latency$  : מבאים יחידה.

באופן זהה, ניתן לבצע חזרה מזוקרת של יחידות באופן דומה למיצוע המתבצע בפונקציית הבדיקה הלינארית, כאשר העלאה מתבצעת באופן דינامي יותר.

מבצע סקר ביצועים על הפרמטרים הבאים :

- כמות פודים מינימלית : 1 (עבור מותאים וקטלוגים).
- כמות פודים מקסימלית : עבור מותאים – 14, עבור קטלוגים – 174. (מהסימולציה הステטיסטית).
- משך הזמן בו המערכת במצב יציב (Y) : 60/15/30/60 5/15/30/60 שניות.
- ערך היעד של ההשניה – ביחס להשניה של כל אחד מהتورים בסימולציה הステטיסטית : פי 2/10/5.
- קצב הדגימה (כל כמה זמן דוגמים את אורך התורים) : 1, 0.5, 0.25, 0.1 שניות.

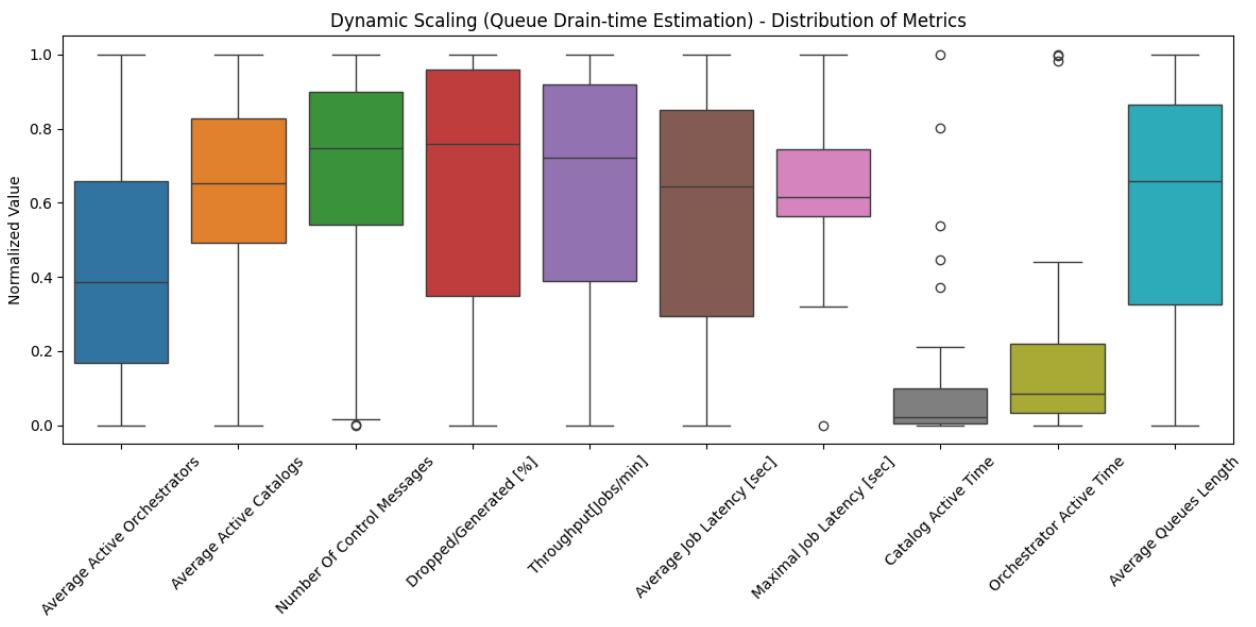
## 7.2.1. תוצאות כוללות – Multiple Sweeps



**אייר 7.22:** מינרמל לסדרת הפרמטרים עבור הסימני הדינמי (שיעור זמן לריקון התוור - QDTE), ביחס לסימולציה הstattית (שורה תחתונה).

### כמה תובנות מהגרף:

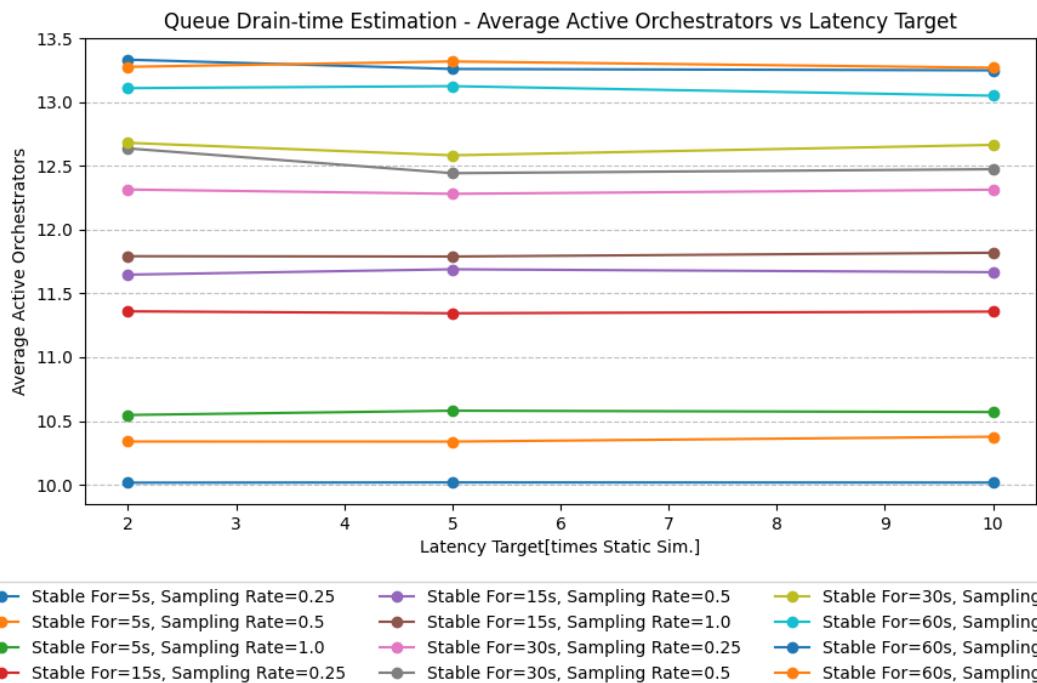
- כל הקומבינציות שנבדקו השיגו תפוקה גבוהה יותר לעומת התפוקה הסטטיטית, כאשר התפוקות הגבוהות ביותר התקבלו עבור קצב הדגימה האיטי ביותר (כל שנייה אחת).
- כל הקומבינציות שנבדקו איבדו הודעות בכמות צו או אחרת, כאשר שיעור האיבודים הכי נמוכים התקבלו עבור קצב הדגימה הכיל מהירות (כל 0.25 שניות). אפשר לראות כי ישיחס הפוך בין התפוקה לשיעור איבוד ההודעות.
- כפי שנῆפה מפונקציית הבקרה, אורך התוררים וכמות היחידות הפועלות מושפע בצורה ניכרת מערך היעד של ההשאה – ככל שההשאה הנדרשת יותר, כך אורך התוור הממוצע נזום יותר וכמות היחידות הפעילות גבוהה יותר.
- כמוות הודעות הבקרה שנשלחות מושפע כצפוי מקצב הדגימה (קצב דגימה איטי יותר גורר פרות הודעות בקרה), אךኖ כל לשים לב שיש השפעה לא מבוטלת גם משך הזמן ליציבות, כאשר הוא גבוה יותר כמות הודעות הבקרה קטנה, ויאלו כאשר הזמן לציבות קצר יותר המרחב יותר תנודתיות ונוטה לסגור יחידות שלא בשימוש (כיוון שההתוררים פחותים מלהו יותר).
- כמו כן, ההשאה הממוצעת התובה ביותר מתקבלת עבור זמן היציבות הארוך ביותר בשילוב עם זמן התגובה הכליל והערך היעד היותר ביחס – תוצאה זו נובעת מכך שבמצב זה המנגנון לא ממהר להפחית את כמות היחידות, ועל כן גם מחזק בכמות היחידות דלוקות ממוצעת גבוהה.



אייר 7.22 : התפלגות התוצאות המנורמלות למדדים שנבדקו, סימולציה דינמית (שיעורן זמן לריקון התו"ר - QDTE).

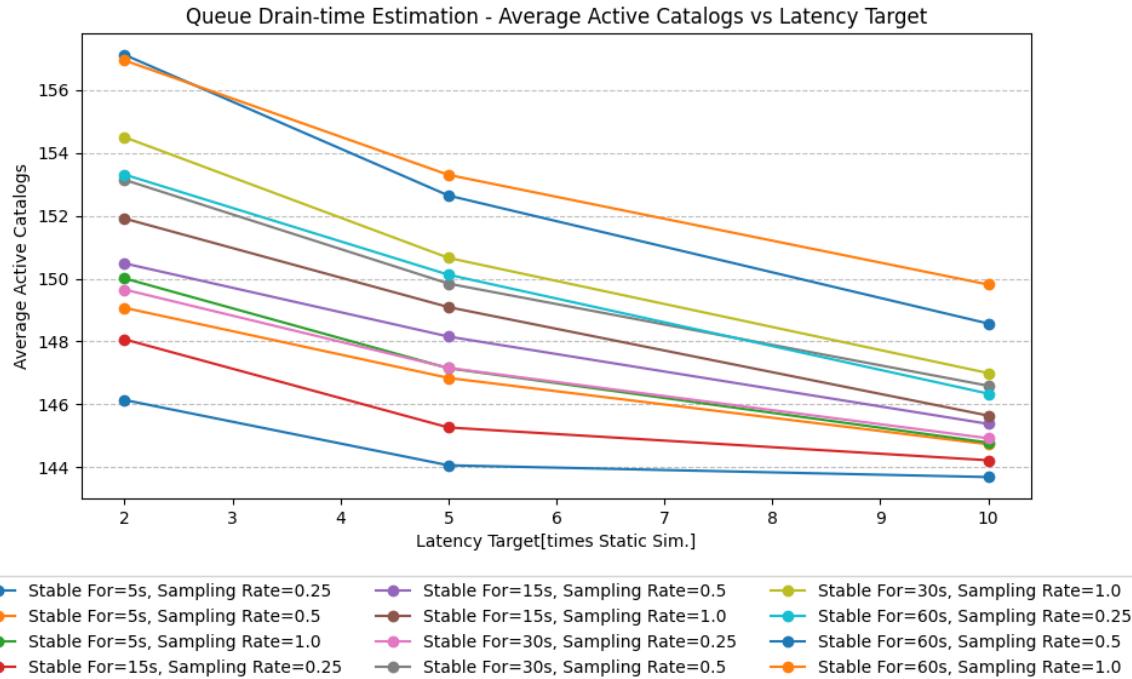
ניתן להבחין שההתפלגות של התוצאות (הציוונים המנורמלים) רחבה למדי ברוב הקטגוריות, כאשר יש הפרשים גדולים בין התוצאות השונות עבור יחס איבודי הידועות, **כמויות המתאמים הפעילים, אורכי התו"רים וההשיה הממוצעת** (כמפורט, כיוון שבדקנו מס' ערכי יעד להשיה).

- לעומת זאת, עבור ההשיה המקסימלית מתקבלות תוצאות קרובות למדי עבור מרבית הקומבינציות – ככלומר, על אף שינויים גדולים בהשיה הממוצעת, הערכים המקסימליים דומים למדי בין רובם.



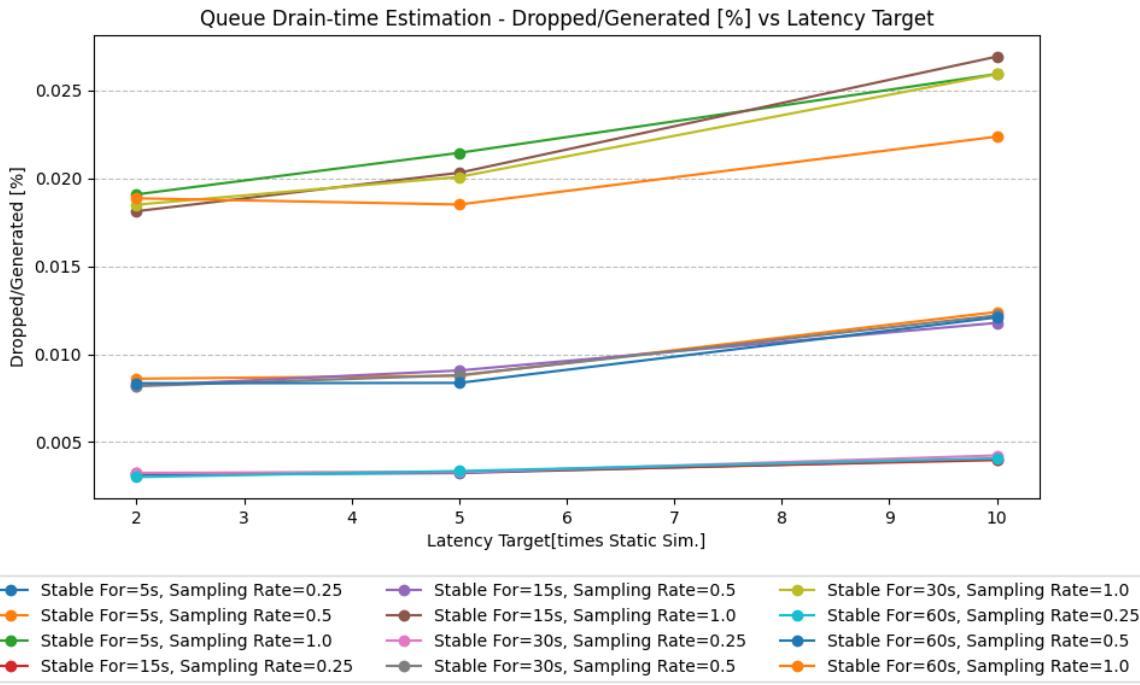
אייר 7.23 : **כמויות המתאמים הפעילים בממוצע כפונקציה של יעד ההשיה, עבור קומבינציות של קבועי דגימה וזמן יציבות שונים, סימוי דינמית (שיעורן זמן לריקון התו"ר - QDTE).**

אפשר לשים לב שכבות המתאמים (Orchestrators) הפעילים אינו תלוי ביעד ההשניה. אפשר לראות כי מدد זה מושפע כמעט לחלוטין בלבד ע"י זמן יציבות – זמן יציבות של 60 שניות גורר כמות ממוצעת גבוהה, ואילו זמן יציבות נמוך (5 שניות) מאפשר למערכת להגיב בצורה יותר דינמית לשינויים בעומס, ועל כן להקטין את כמות הרכיבים הפעילים. **גרף זה מעיד על כך שניתן להגעה יתר-קלות ליעד ההשניה עבור התווך הראשון** (אין כמעט השפעה על כמות היחידות הפעילות כאשר מחמירים את היעד).



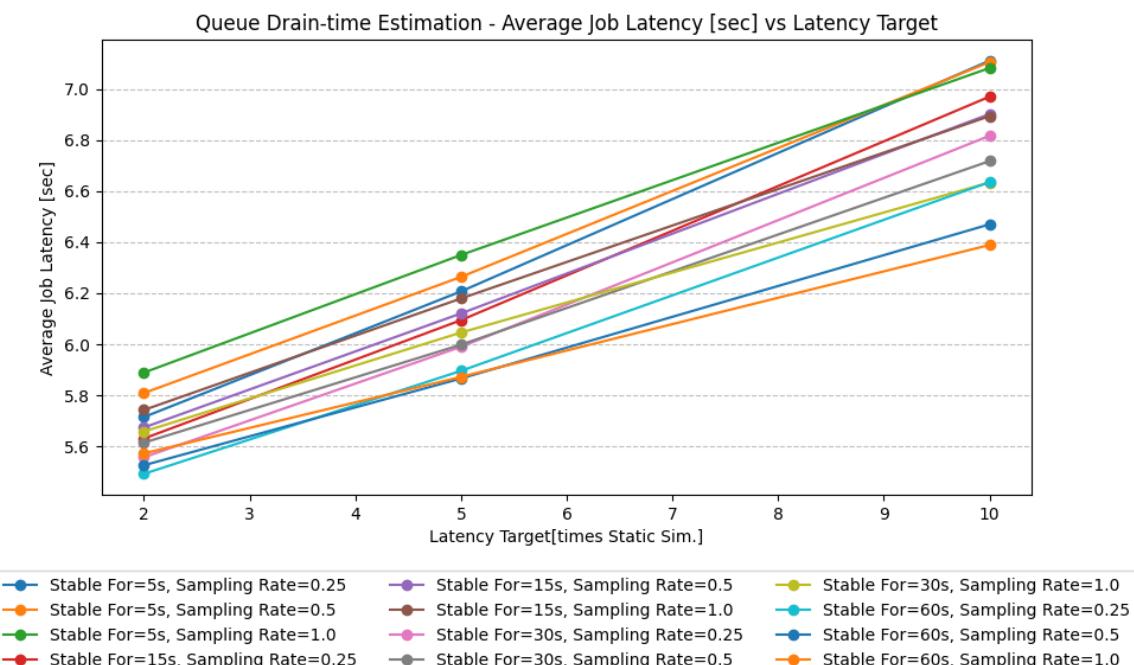
**אייר 7.24 :** כמות הקטלוגים הפעילים בממוצע כפונקציה של יעד ההשניה, עבור קומבינציות של קבוע דגימה וזמן יציבות שונים, סימני דינמית (שיעור זמן לריקון התווך - QDTE).

**כמות הקטלוגים במערכת מושפעת בצורה ניכרת ע"י יעד ההשניה – מה שמעיד על כך שתווך זה הינו צואր הבקבוק של המערכת.** גם כאן, זמן יציבות גבוהה יותר גורר כמות ממוצעת גבוהה יותר, אך בניגוד לכמות המתאים הפעילים, כאן יש השפעה לעד ההשניה על הכמות הממוצעת.



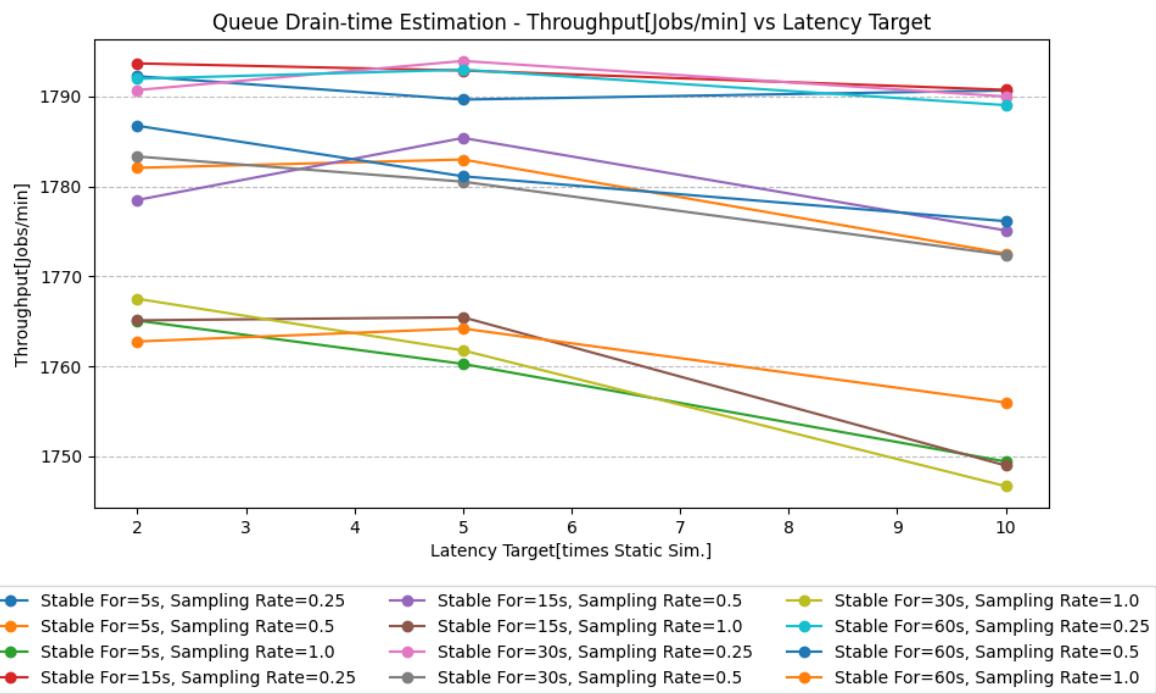
אייר 7.25 : אחוז העבודות שנפלו מסך העבודות כפונקציה של יעד ההשניה, עבור קומבינציות של קבועי דוגימה וזמן יציבות שונים, סימני דינמית (שיעור זמן לרכיבון התור - QDTE).

ניתן לראות כי אחוז **איובדי העבודות במערכתמושפע בעיקר מזמן התגובה הכלול של פונקציית הבקרה – עבור זמן יציבות גבוהים יותר, שיעור האיבוד נמוך יותר.** עבור זמן יציבות נמוך (5 שניות) קיבלנו את שיעור האיבוד הגבוה ביותר. במצב זה, המערכת דינמית מדי ומתקשה להגיב בזמן לעלייה בעומס, על כן מגעווים למצב שבו התורים מלאים.



אייר 7.26 : ההשניה הממוצעת לעבודה כפונקציה של יעד ההשניה, עבור קומבינציות של קבועי דוגימה וזמן יציבות שונים, סימני דינמית (שיעור זמן לרכיבון התור - QDTE).

כפוי, פונקציית הבקרה מאפשרת לנו לעקוב אחר ההשניה הרצוייה, ונitinן לראות בבירור כי ככל שנחמיר את הדרישה על ההשניה, המערכת מגיבה בהתאם.



אייר 7.27 : תפקה (עבודות לדקה) כפונקציה של יעד ההשניה, עבור קומבינציות של קצב דגימה וזמן יציבות שונים, סימני דינמיות (שיעורן זמן לרכיבון התור - QDTE).

ניתן להבחן שהתפקה הכלולת של המערכת מושפעת בעיקר מקצב הדגימה (הערכים הטובים ביותר מתאימים עבור קצב דגימה של 4 דגימות לשנייה). כאמור, כאשר ערך היעד עבור ההשניה נמוך יותר, התפקה יורדת בהתאם.

## 7.2.2. מציאת הקונפיגורציה האופטימלית

נשותמש בפונקציית הציון שהגדכנו קודם לכן, ונחשב את הציון של כל אחת מהתוצאות שנבדקו:

Sampling Rate [1/sec]	Stable For – [sec]	Latency Target [# times Static Sim.]	Score
0.25	5	2	2.602653
		5	2.341793
		10	1.681344
	15	2	2.510218
		5	2.306525
		10	1.60218
	30	2	2.371318
		5	2.109467
		10	1.602517
	60	2	2.227707
		5	1.998911
		10	1.458868
0.5	5	2	2.363285
		5	2.172426
		10	1.497744
	15	2	2.264634
		5	2.077314
		10	1.484618
	30	2	2.14515
		5	1.962808
		10	1.442465
	60	2	1.976572
		5	1.853262
		10	1.47656
1	5	2	2.120517
		5	1.871398
		10	1.244414
	15	2	2.023003
		5	1.741417
		10	1.160883
	30	2	1.798693
		5	1.705741
		10	1.209273
	60	2	1.746612
		5	1.626816
		10	1.256729

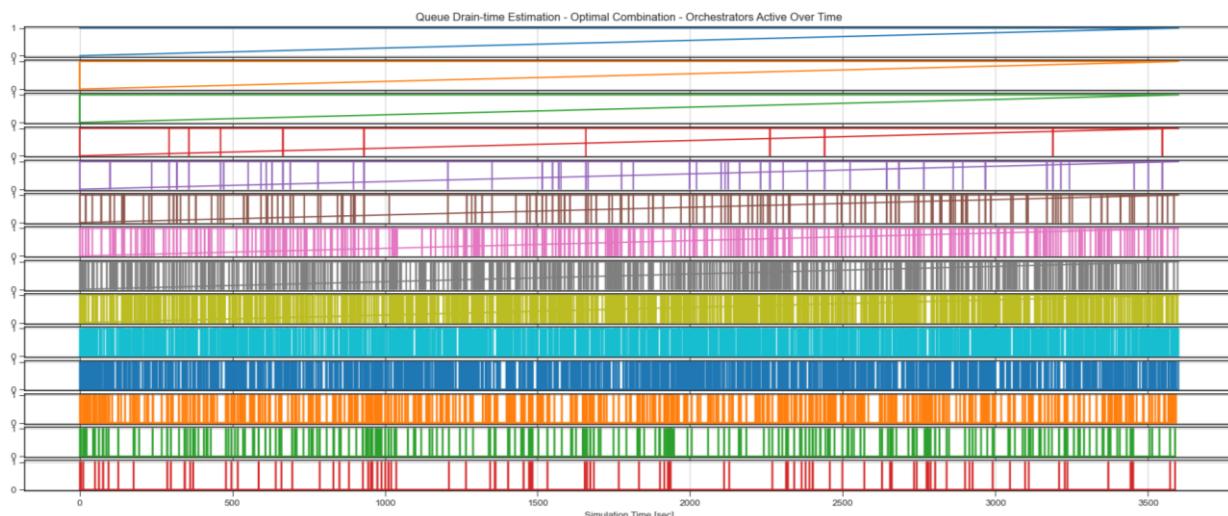
טבלה 7.2 : טבלת הציון לכל הקומבינציות של הפרמטרים שנבדקו, color-coded מהטוב (ירוק) לגרוע (אדום)

ניתן לראות העדפה בולטת לקצב דגימה מהיר יותר (של 4 דגימות לשניה) בשילוב עם יעד ההשאה המהמיר ביותר (פי 2 מערך בסימולציה הסטטית), כאשר זמן היציבות פחות השפיע על הזמן הסופי (שלושת הקומבינציות הטובות ביותר ביותר הן עבר יציבות של 5,15 או 30 שניות).

**בsha"ב, הזמן הטוב ביותר (2.602) התקבל עבור בחירת הפרמטרים: קצב דגימה של 0.25 שניות/דגימה, זמן יציבות של 5 שניות, ויעד ההשאה המהמיר ביותר – פי 2 מההשאה בסימולציה הסטטית.**

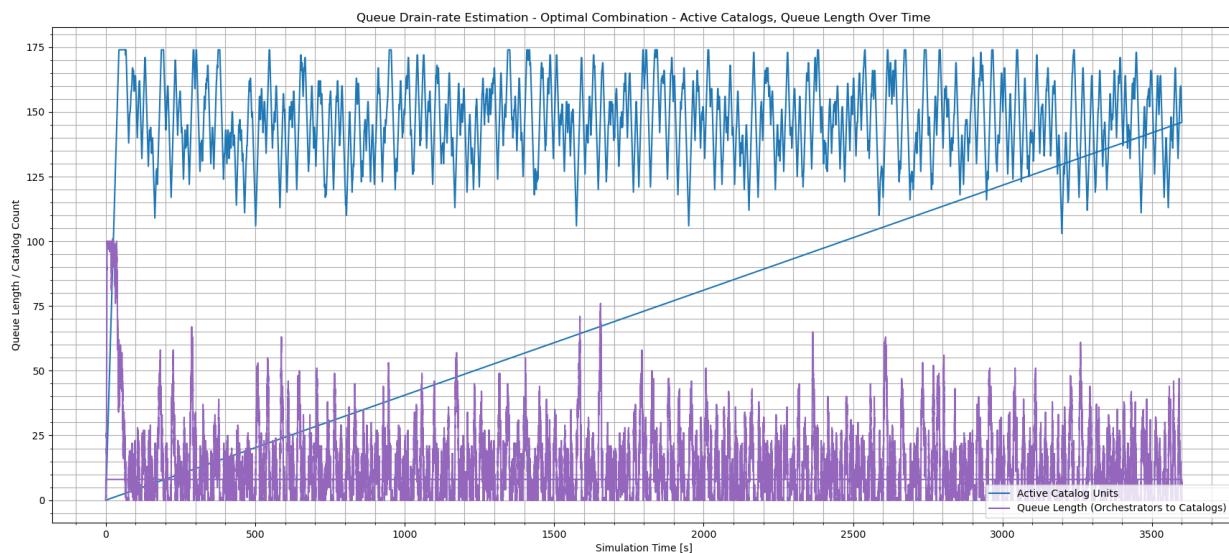
### 7.2.3. הקונפיגורציה האופטימלית – מדדים לאורך זמן

**הkonfiguracija האופטימלית:** קצב דגימה – 0.25 שניות לדגימה, זמן יציבות של 5 שניות (לפני הורדת latency target – פי 2 מההשאה בסימולציה הסטטית).



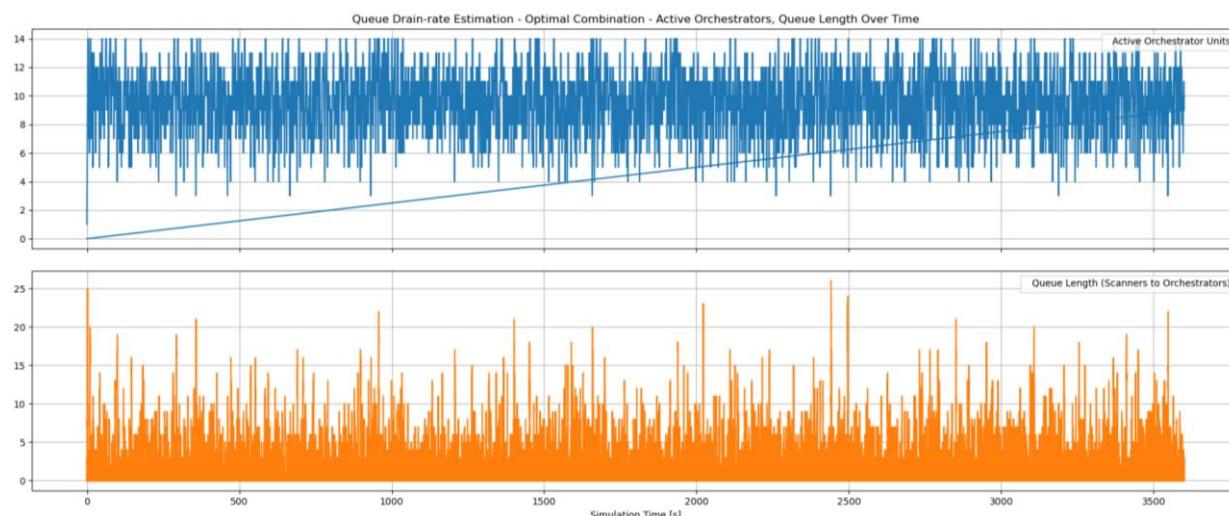
**אייר 7.28 :** שיעור זמן העבודה בפועל של המתאים לאורך זמן עבור הפרמטרים האופטימליים שנבחרו, סימ' דינמית (שיעורן זמן לריקון התור – QDTE).

ניתן לראות כל המתאים (מלבד האחרון) עובדים ברוב המקרה של הסימולציה כדי לעמוד ביעד ההשאה – אנחנו משלמים בהפעלת יותר רכיבים בכדי להשיג השאה נמוכה יותר.



אייר 29 : כמות הקטלוגים הפעילים ואורך התור המזין אותם לאורך זמן עברו הפרמטרים האופטימליים שנבחרו, סימוי דינמי (שיעורך זמן לרכיבון התור – QDTE).

מלבד 'פיק' נקודתי עם תחילת הסימולציה (שמשם נובעת כל איבודי ההודעות), בו לפונקציית הבקרה לוקח זמן 'להתני' בצדلي להתחמוך עם העומס הנוכחי (היות והיא מתחילה מכמויות היחידות המינימלית), פונקציית הבקרה שומרת על אורך תור ממוצע יציב יחסית ורחוק מהאורך המקסימלי (100). ניתן לראות כי אין עיכוב בהורדת כמות היחידות לאחר עומס, ובאופן ייחסי מהיר כמות היחידות הפעילות יורדת בהתאם לציפוי ההשניה הנוכחי.



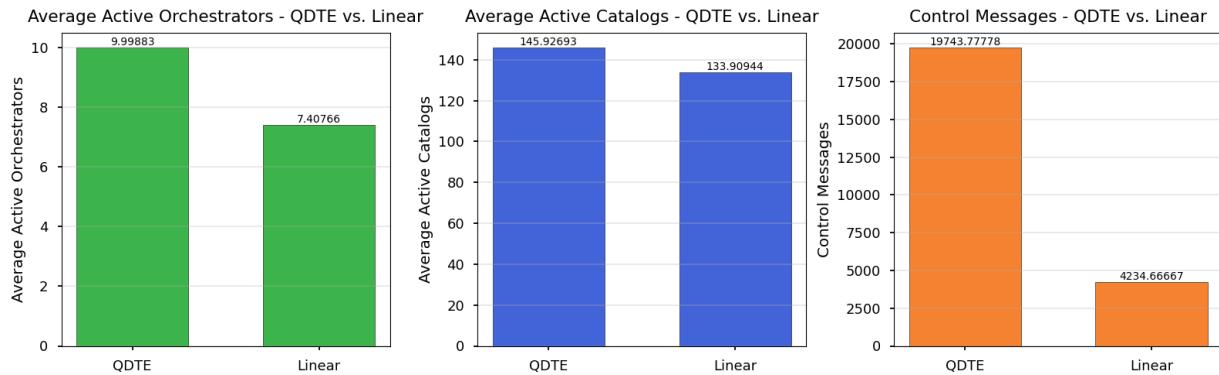
אייר 30 : כמות המתאיםים הפעילים ואורך התור המזין אותם לאורך זמן עברו הפרמטרים האופטימליים שנבחרו, סימוי דינמי (שיעורך זמן לרכיבון התור – QDTE).

בניגוד לפונקציית הבקרה הלינארית אותה בדקנו קודם, כמות המתאיםים הפעילים המוצע גובה יותר, וזאת כיון שיעד ההשניה בו התור נדרש לעמוד הינו מחמיר יותר מאשר הדרישה בפונקציית הבקרה הלינארית, שהיא שליטה באורך התור ללא חתיכות מיוחדת להשניה.

### 3.7. סקר ביצועים – השוואת בין המנגנונים השונים

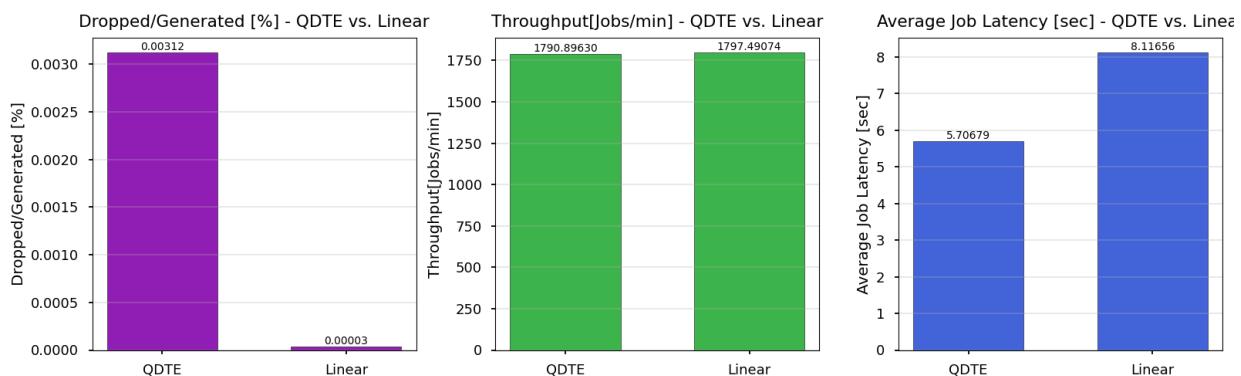
כעת נשווה בין הkonfiguraciot הטובות ביותר של הפונקציה הלינארית (Linear ramp-up, averaged decay) של הפונקציה לשיעורן ההשניה (Queue drain-rate estimation).

נירץ את שניהם על 10 סידים, נמצע את התוצאות ונשווה בין הערכים שמתקבלים:



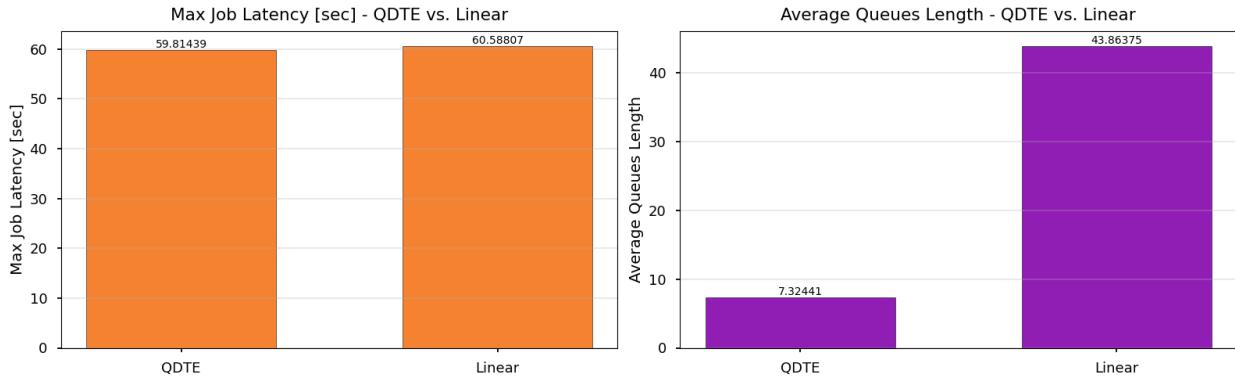
איור 7.31 : השוואת בין פונקי בקרה לינארית לשיעורן ההשניה, מדדי כמות רכיבים והודעות בקרה.

כאשר מסתכלים על כמות הרכיבים הממוצעת, QDTE משתמש ב-10% יותר רכיבים מאשר פונקציית הבקרה הלינארית. במקביל, כמות ה הודעות הבקרה שמנגנון זה שולח הם פי 4.6 מהמנגנון הלינארי. בשלוש המטריקות הללו, פונקציית הבקרה הלינארית טובה יותר – בכמות הרכיבים באופן שולי, ובכמות ההודעות בצורה דרסטית.



איור 7.32 : השוואת בין פונקי בקרה לינארית לשיעורן ההשניה, מדדי שיעור איבוד חבילות, תפוקה לדקה והשניה ממוצעת.

גם במדד איבוד ההודעות לפונקציה הלינארית יש יתרון, אם כי שיעור האיבוד במנגנון-QDTE הינו טוב מאוד גם כן – 0.3% מההודעות. לעומת זאת, **ההשניה הממוצעת עבור QDTE משמעותית יותר נמוכה מאשר המנגנון הלינארי (ירידה של 30%)**, ואילו התפוקה של שני המנגנונים דומה למדוי.



**אייר 7.33 :** השוואה בין פונק' בקרה לינארית לשיעורן השהיה, מדדי השהיה מקסימלית ואורך תור ממוצע כמו כן, ההשיה המקסימלית בין שני המנגנונים דומה למדיי, עם יתרון קל של ~שנייה לטובת מנגנון ה-QDTE. מבחינת אורך התורים הממוצע, כאן יש יתרון מובהק למנגנון ה-QDTE, שמשיג בממוצע אורך תור נמוך פי 6 (!) מהמנגנון הלינארי. מדד זה מייצג כי המנגנון מתמודד בצורה טוביה יותר עם העומסים, ולא יוצר מצבים של הצטברות גדולה מדי של הודיעות בתורים, מה שיכל לאורך זמן לגורום להשיהות גבותות יותר.

## 8. סיכום ומסקנות

במהלך העבודה על פרויקט זה, למדנו כיצד לעבוד עם `+TNeM0` כדי ליצור סימולציות מורכבות, להוציא מגוון סטטיסטיות ולעבד אותן כדי לקבל תובנות על המערכת אותה אנחנו מסמלרים, שבדרך כלל יהיה קשה ותועני יותר להפיך. בנוסף, היות והקוד לשימולטור צריך להיות ב-`C++`, היה צריך ללמוד את השפה הניל בצורה מסוימת בעבר עם הסימולטור, ידע שלחלקו לא היה לפני שהתחלו את הפרויקט. הצלחנו למדוד את המערכת האמיתית עליה התבססנו בתוך סביבת הסימולטור בהצלחה, כפי שניתנו לראות מבדיקה השפויות שנעשתה (התאמת בין תוצאות הסימולציה לתוצאות התיאורטיות) ולשוחר התקלה באופן זהה לאופן בה היא מתרכשת במערכת האמיתית.

הצלחנו גם ליצור בסימולציה סטטיסטית מצב יציב של המערכת, ברמות עומס שונות, תוך כדי השגת זמן השהייה נמוך ואפס איבודי עבוזות,ऋצוי במערכת האמיתית. לאחר מכן, כתבנו מנגנון לSIMULACRA DINAMICA בו כמות הרכיבים הפעילים משתנה עפ"י פונקציית בקרה בשליטות המלה ובחנו 2 גישות (פונקציות) שונות להשגת יודי ביצועים שהגדנו בעורת פונקציית ציון המתיחסת לביצועים במדדים השונים עם סדר עדיפות ביןיהם (כמפורטל ציון בכל אחד מן המדדים).

ראינו כי מנגנון ה-QDTE הינו אגרסיבי יותר, במיוחד בكونפיגורציה שנבחרה, בה הוא שואף להשיג השהיות נמוכות מאוד (הקרובות להשייה שהגענו בסימולציה הסטטיסטית). אגרסיביות זו בא לידי ביטוי בכמות הודיעוט בקרה גבוהה וביתר רכיבים במוצע, אך גם משיגה את יעדה – ההשייה המומוצעת ואורך התורים נמוך משמעותית מאשר בפונקציה הלינארית. מנגד, המנגנון הלינארי מושג במוצע פחות רכיבים ומגיע לתפקה גדולה כמעט עם שיעור איבוד הودעות אפסי.

אין מנצח ברור מבין שתי הקונפיגורציות הניל, כאשר כל אחת נותנת מענה טוב יותר לממדדים אחרים וכושלת בממדדים בהם השניה מובילה.

אם אנחנו מעדיף מטות השהייה נמוכה – נעדיף את פונקציית ה-QDTE, ואילו אם אנחנו מעדיף מטות פחות ייחידות פעילות בממוצע, כמו למשל עלות כלכלית נמוכה יותר – הפונקציה הלינארית עדיפה.

לא משנה באילו מבין שתי הפונקציות נבחר, יש עדיפות ברורה לגישה הדינמית על פני שימוש בכמות קבועה (סטטיסטית) של רכיבים, כפי שעשינו בסימולציה הסטטיסטית – שם השתמשנו ב-188 רכיבים (מתאימים + קטלוגים).

לשימוש בכל רכיב יש עלות גובהה, בתרחיש המציאות ממנו שאבנו השראה – **\$337 לחודש**.

- באמצעות פונק' הבקраה הלינארית השתמשנו (בממוצע) ב-142 =  $[133.90944 + 7.40766]$  רכיבים – **חסכון של 46 רכיבים, שהם \$15,502 בחודש**.

- באמצעות פונק' הבקраה QDTE השתמשנו (בממוצע) ב-156 =  $[145.92693 + 9.99883]$  רכיבים – **חסכון של 32 רכיבים, שהם \$10,784 בחודש**.

לסיכום, מנגנון בקרה דינמי עדיף על פני קביעה סטטיסטית, ואילו מבין המנגנונים שבדקנו (או מנגנונים אחרים) עדיף – תלוי בסדר העדיפויות והממדדים המעניינים את המשמש. בבעיה המקורית, כיוון שההוצאות הכלכלית היא המנע המוביל והחשוב ביותר, הינו ממליצים להשתמש במנגנון הבקраה הלינארי בكونפיגורציה האופטימלית שמצאנו.