
ARQ, חלון הזזה

הרצאה 4

12 מאי 2026

נושאים להיום

- שליחה אמינה ARQ

- עצור וחכה

- חלון הזזה

מצאנו שגיאה. מה עושים עכשיו?

- מה כדאי לשולח ולמקבל לעשות?

- אישורי קבלה (ACK) 

- מנת בקרה ושליטה קטנה (מעט נתונים)
- כאשר השולח מקבל ACK, הוא יודע שהמקבל קבל מסגרה

- שיעון מעורר 

- אם השולח לא קבל ACK אחרי זמן "סביר", הוא שולח המסגרת מחדש

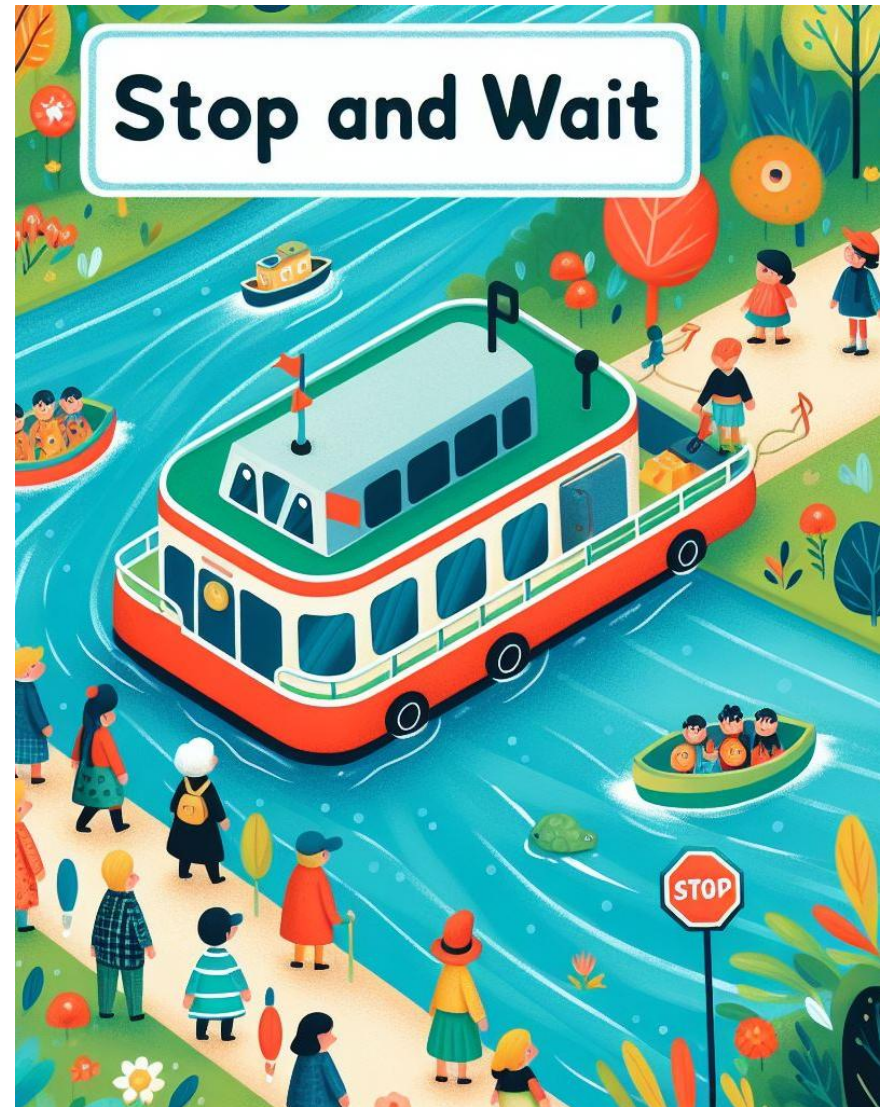
- השיטה הכללית: *Automatic Repeat Request (ARQ)*

- שליחה חוזרת אוטומטית

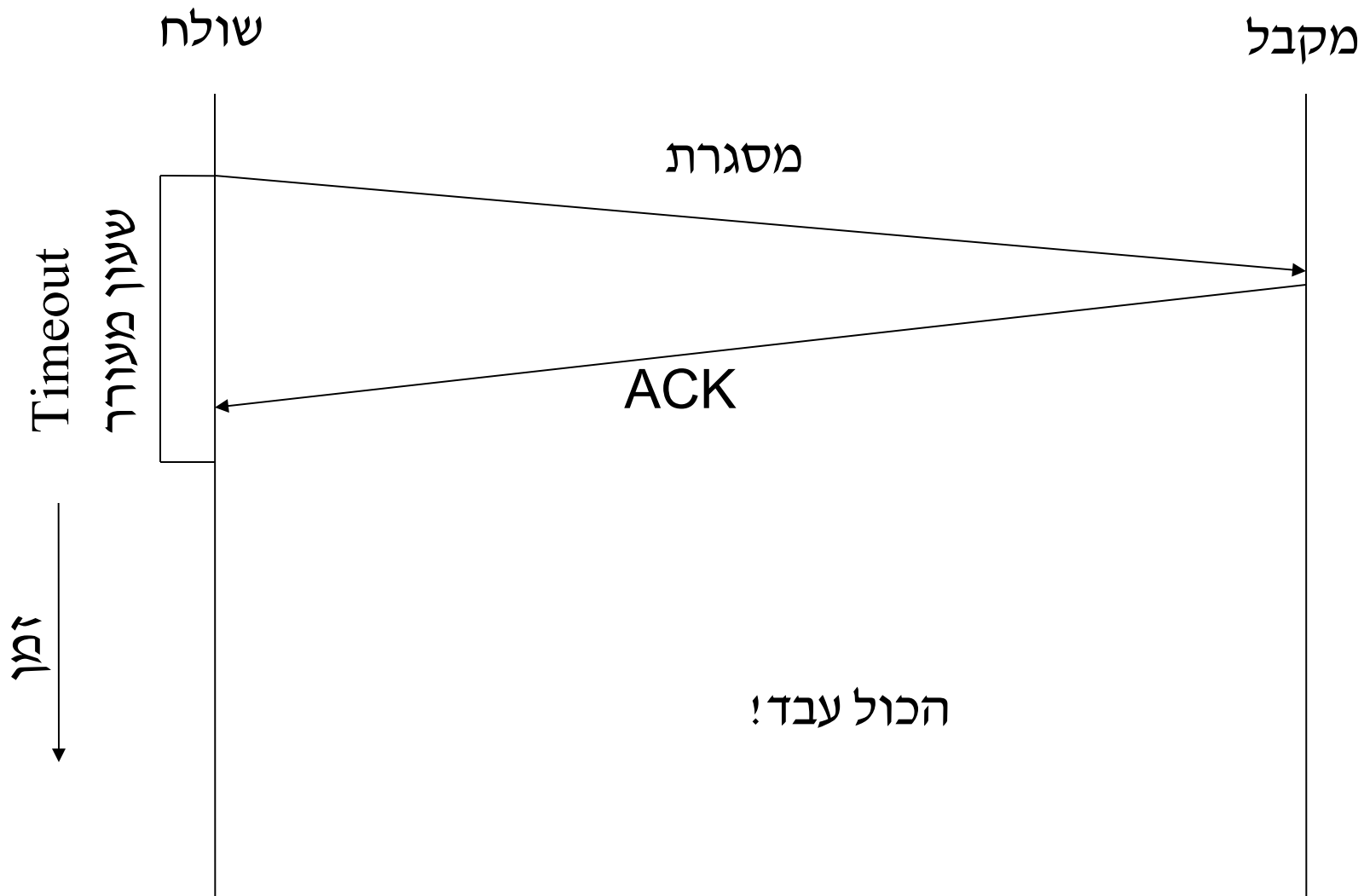
עצור וחכה – שיטה פשוטה

1. אחרי שליחת מסגרת אחת, השולח יחכה ל-ACK

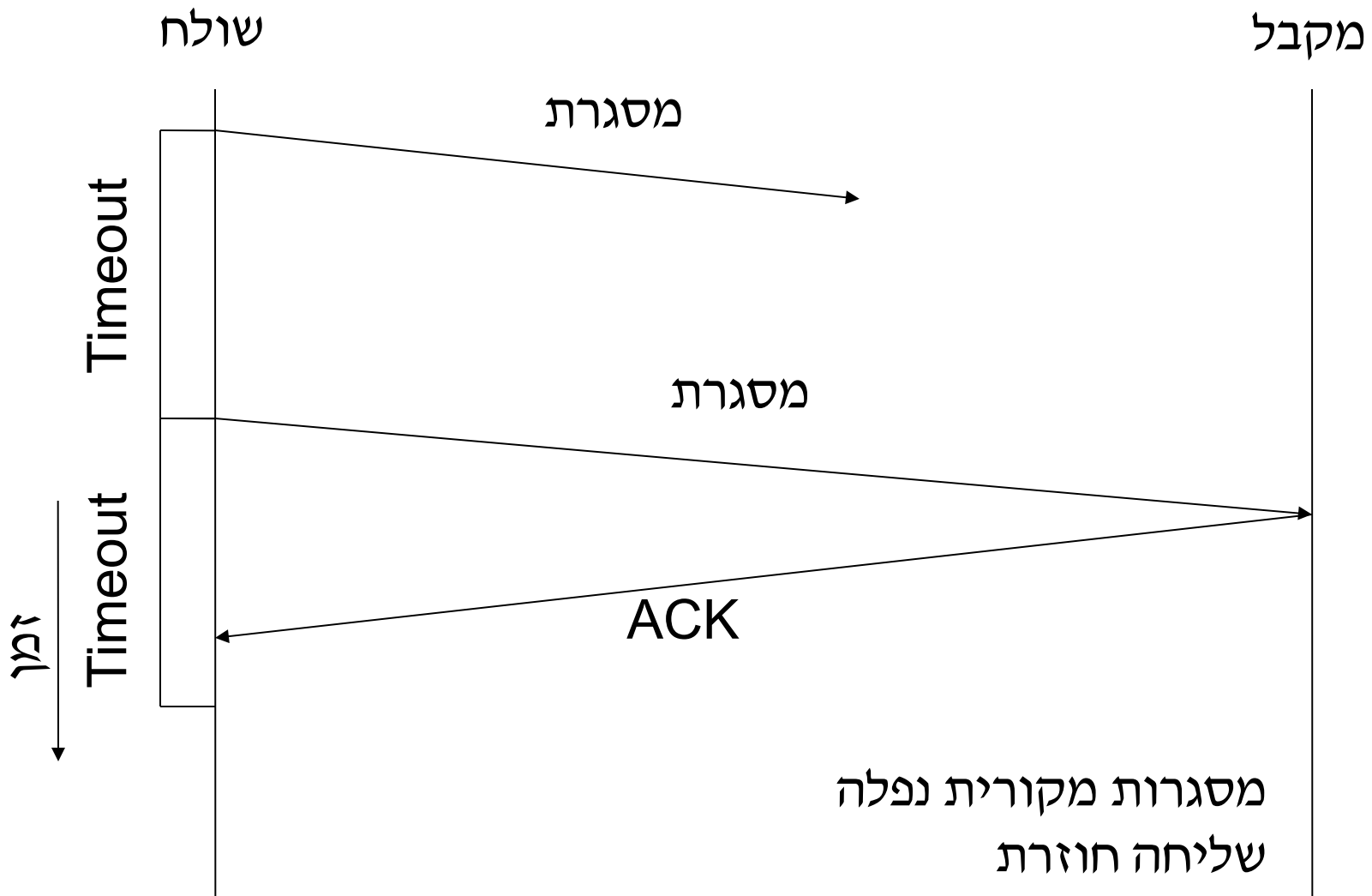
2. אם ה-ACK לא מגיע, השולח ישלח שוב



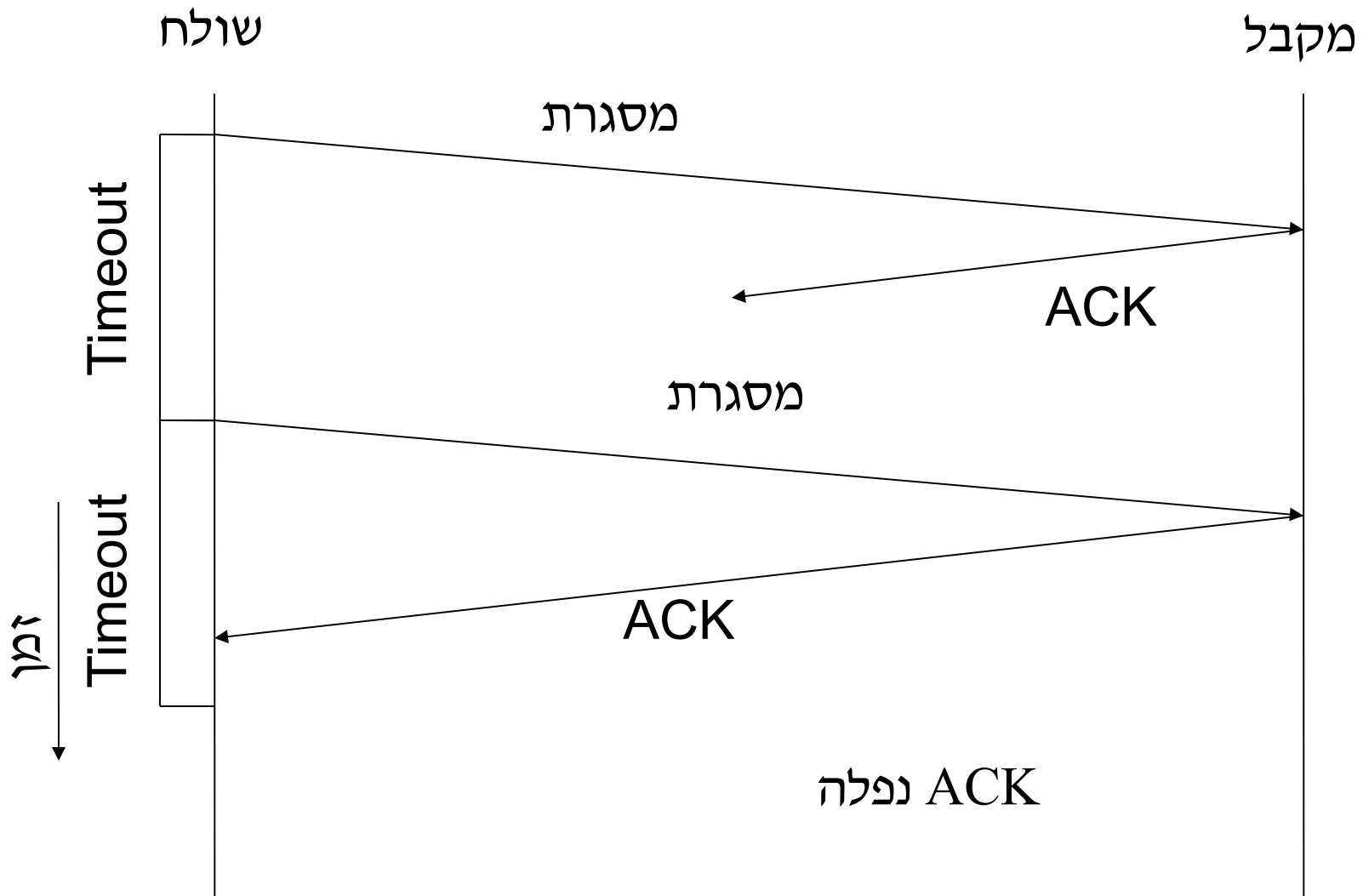
עצור וחכה : מקרה 1



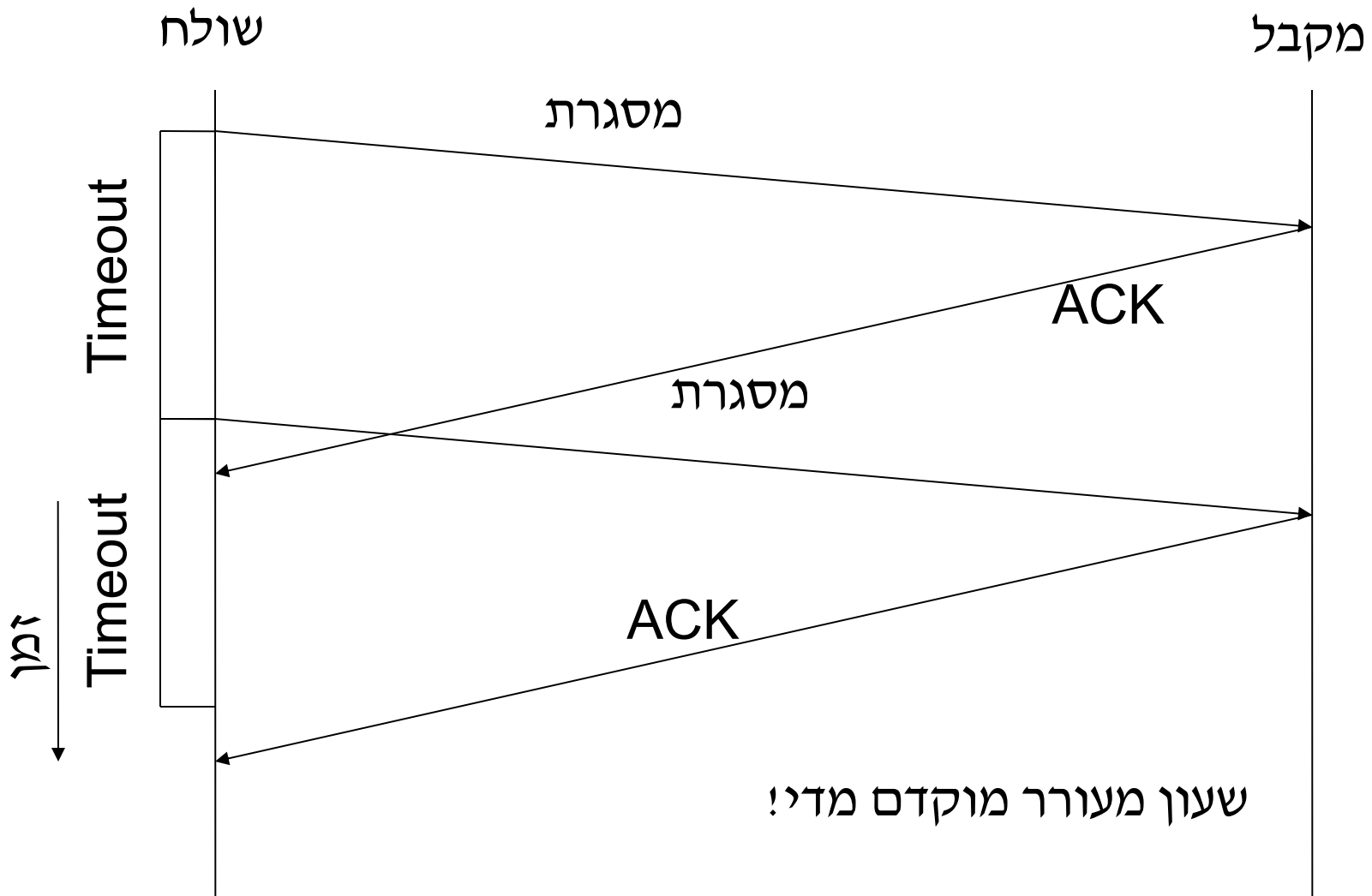
עצור וחכה : מקרה 2



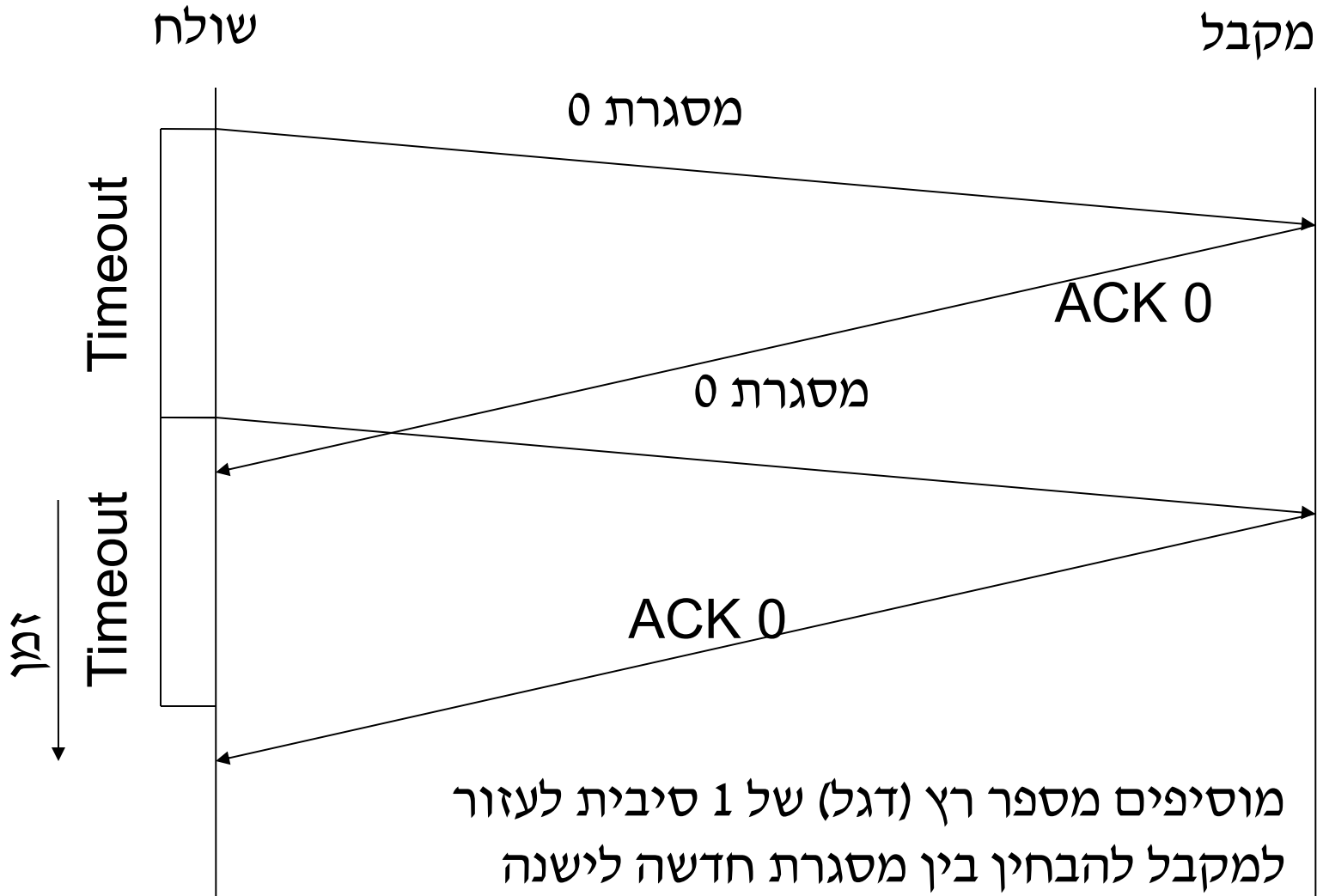
עצור וחכה : מקרה 3

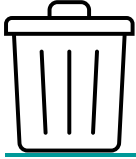


עצור וחכה : מקרה 4



מספרים רצים : Sequence numbers

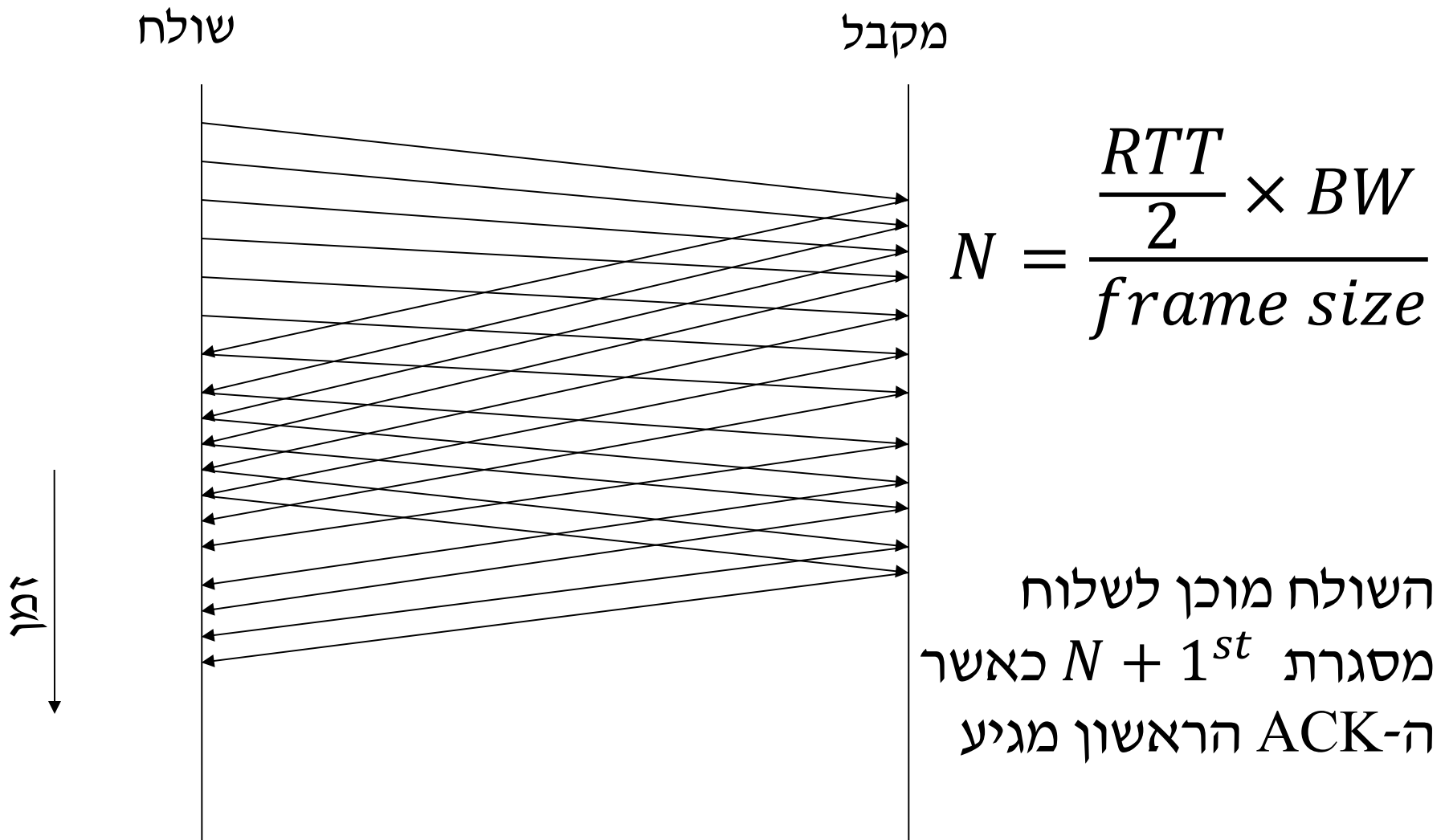




עצור וחכה

- שימוש לא יעיל בקיבולת החיבור
- שולח 1 מסגרת כל RTT
- דוגמה
 - חיבור 10Mbps
 - RTT 16ms
 - קיבולת $\text{Delay} \times \text{Bandwidth}$ שווה 20KB בערך
 - עצור וחכה עם מסגרות 1KB גורם ל-5% ניצול של החיבור

פתרון יותר יעיל



- שליחה אמינה ARQ

- עצור וחכה

- חלון הזזה

אלגוריתם לחלון הזזה

- השולח מדביק מספר מנה על כל מסגרת: $SeqNum$
- נניח כעת ש- $SeqNum$ יכול גדול עד אינסוף

- גודל חלון השליחה (SWS)
- גבול עליון לכמות המסגרות השולח מוכן לשלוח ללא אישור קבלה

- אישור אחרון שהתקבל

Last ACK Received (LAR)

- מספר הרץ של מנת ה- ACK האחרון שהגיעה

- מסגרת אחרונה שנשלחה

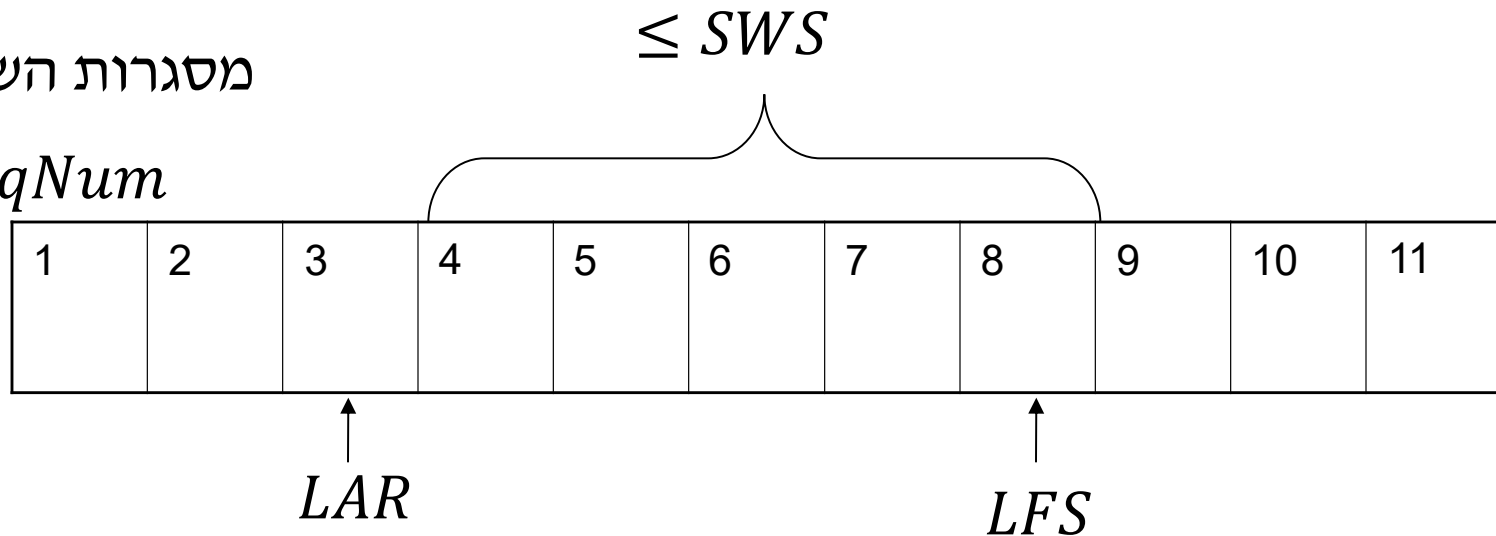
Last Frame Sent (LFS)



אלגוריתם השולח

מסגרות השולח

SeqNum



$$LFS - LAR \leq SWS \bullet$$

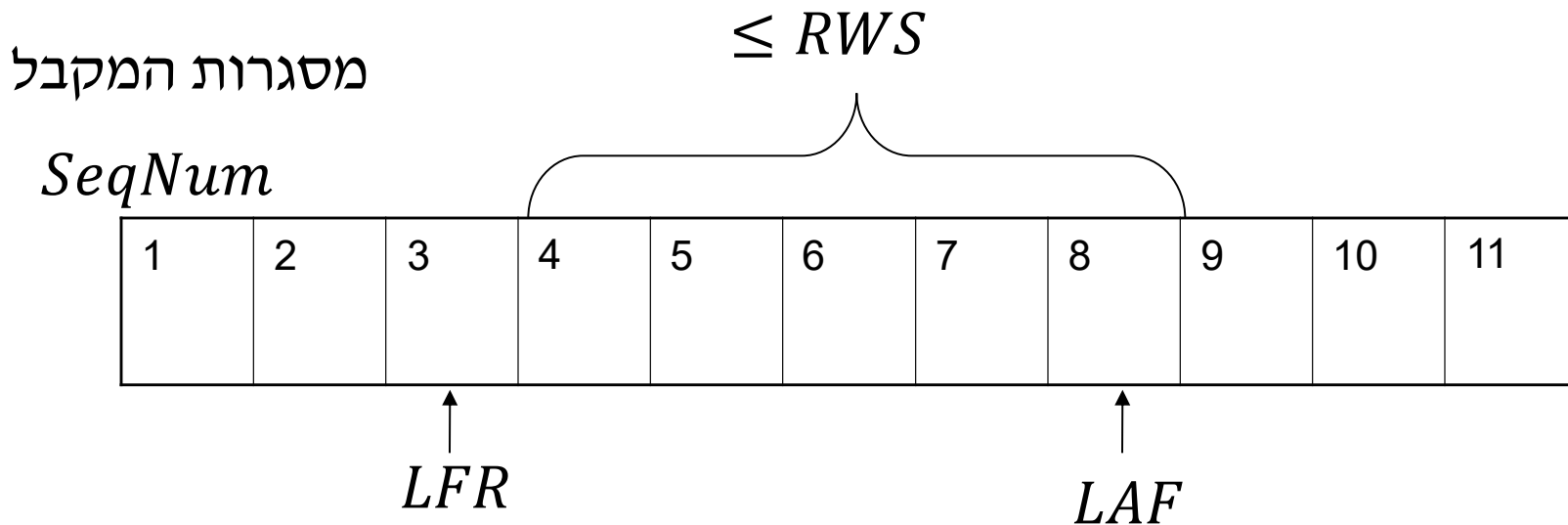
משייך שעון מעורר (timeout) לכל מסגרת שנשלחה \bullet

שולחת מחדש אם לא הגיע מנת ACK לפני שהשעון יפוג \bullet

כאשר מנת ACK מגיעה, מקדמים את LAR \bullet

כלומר, ניתן לשלוח עוד מנות \bullet

אלגוריתם המקבל

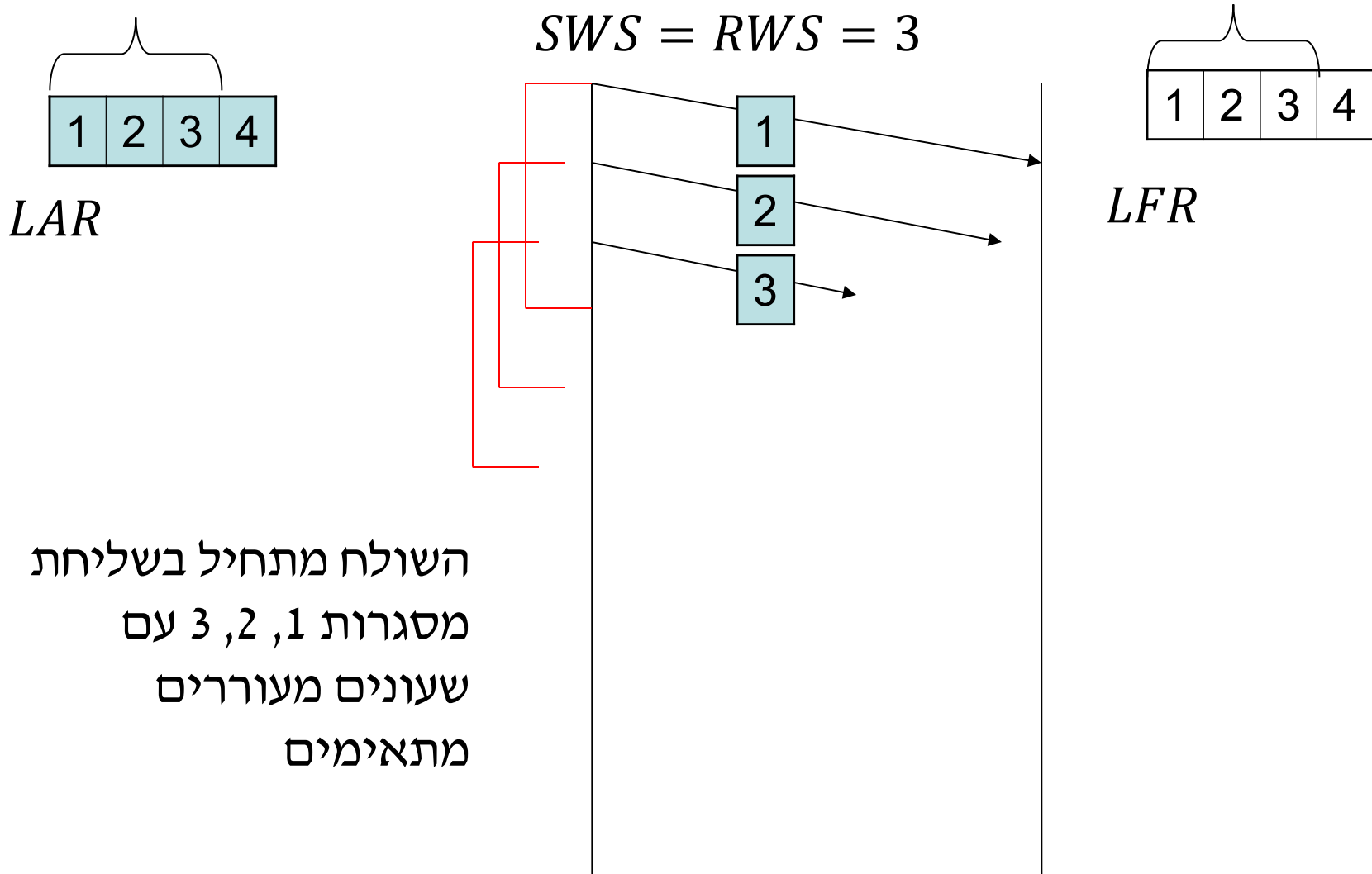


- גודל חלון הקבלה (*RWS*) Receive Window Size
- מספר המנות שהגיעו לא לפי הסדר שהמקבל יקבל
- מנה מקובלת מרבית (*LAF*) Largest Acceptable Frame
- מנה הגבוה ביותר שהגיעה (*LFR*) Largest Frame Received
- $LAF - LFR \leq RWS$

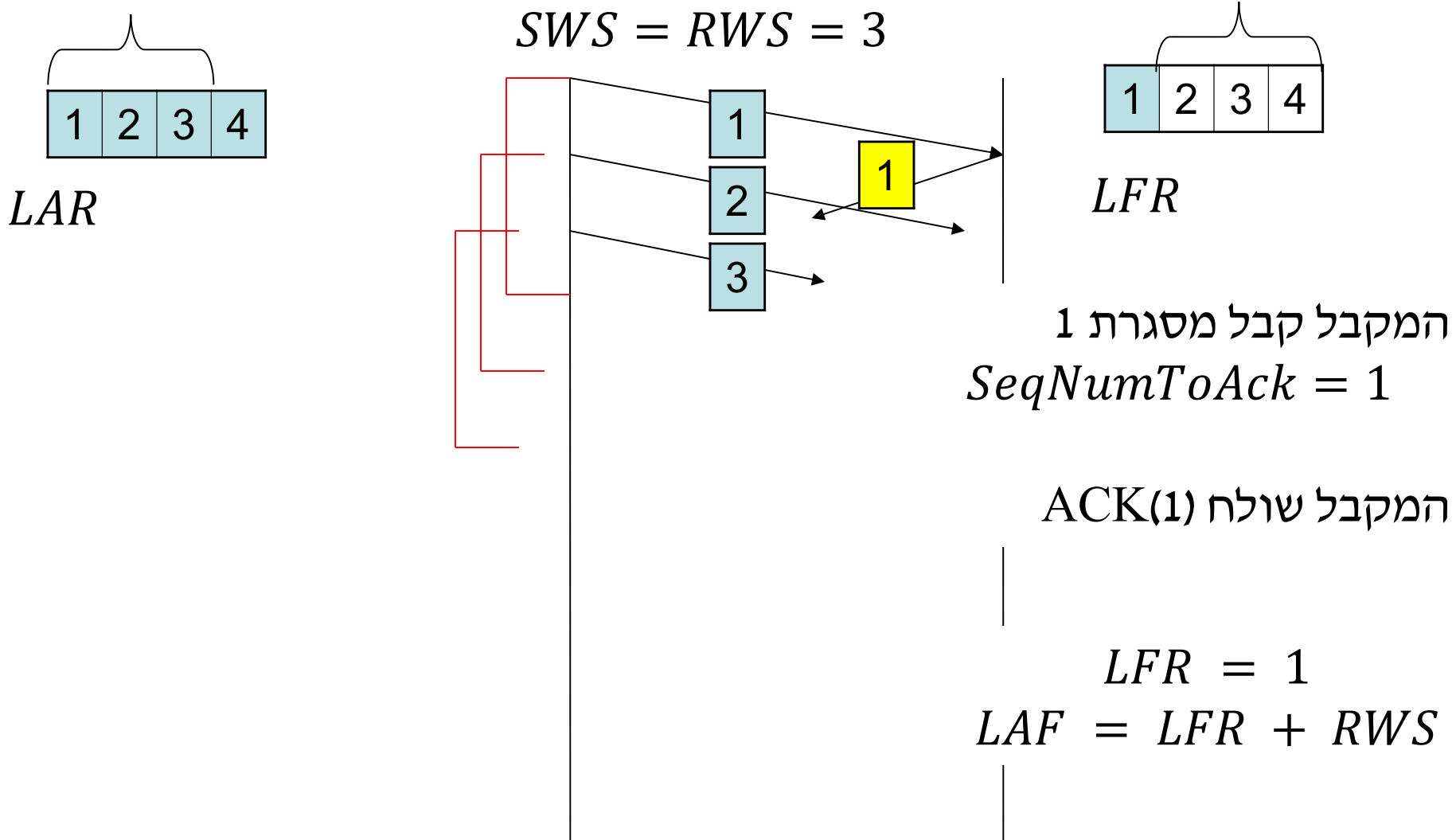
אלגוריתם המקבל

- כאשר מסגרת עם מספר $SeqNum$ מגיעה – אם $(SeqNum \leq LFR)$ או $(SeqNum > LAF)$ זורקים לפח
- אחרת, המנה מתקבלת
- נגדיר: $SeqNumToAck$ מספר מנה לאשר – מספר הרץ הגבוה ביותר כך שכל המסגרות שקדמו לה התקבלו
- השולח שולח $ACK(SeqNumToAck)$
- $LFR = SeqNumToAck$
- $LAF = LFR + RWS$

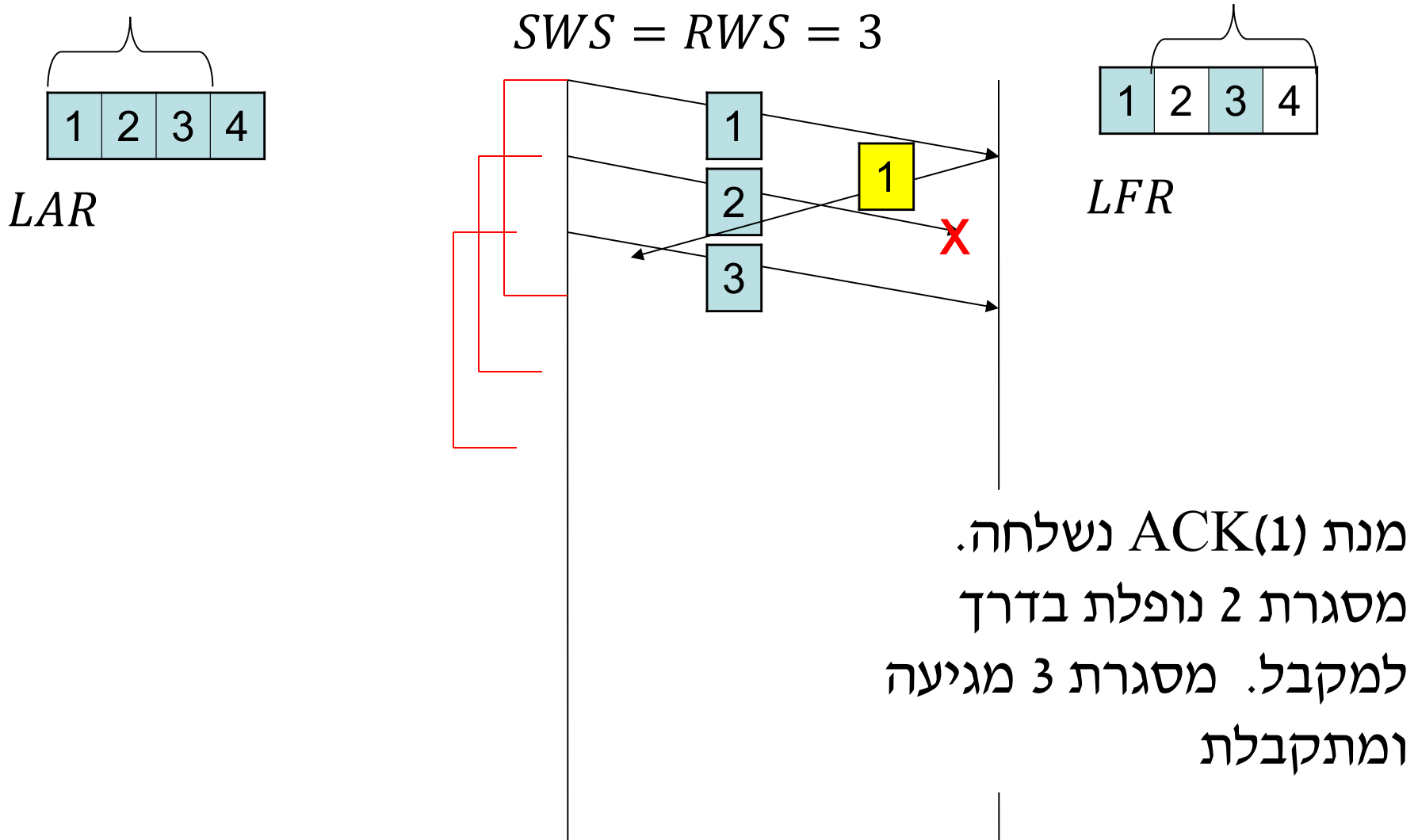
דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה



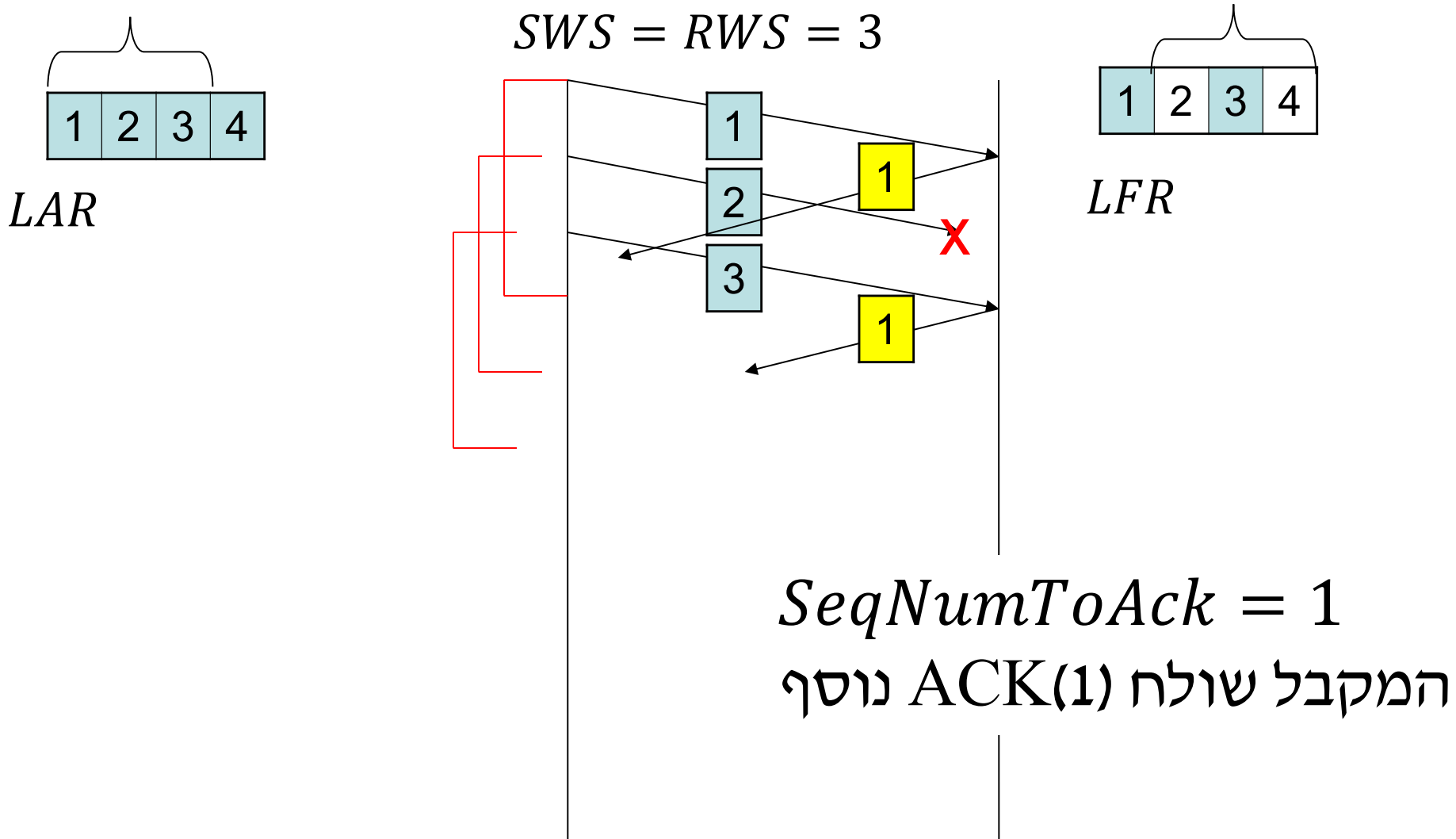
דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה



דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה

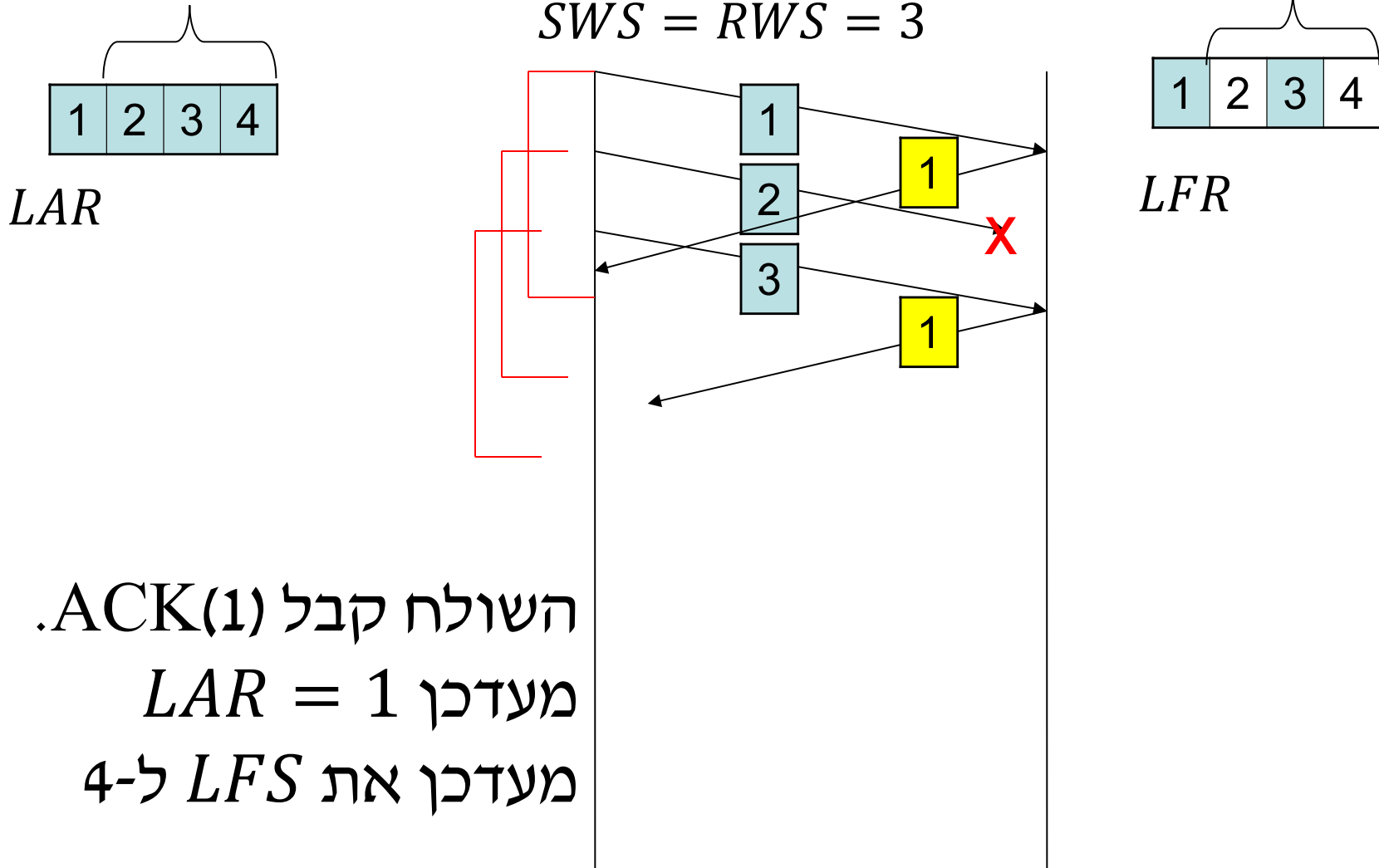


דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה



דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה

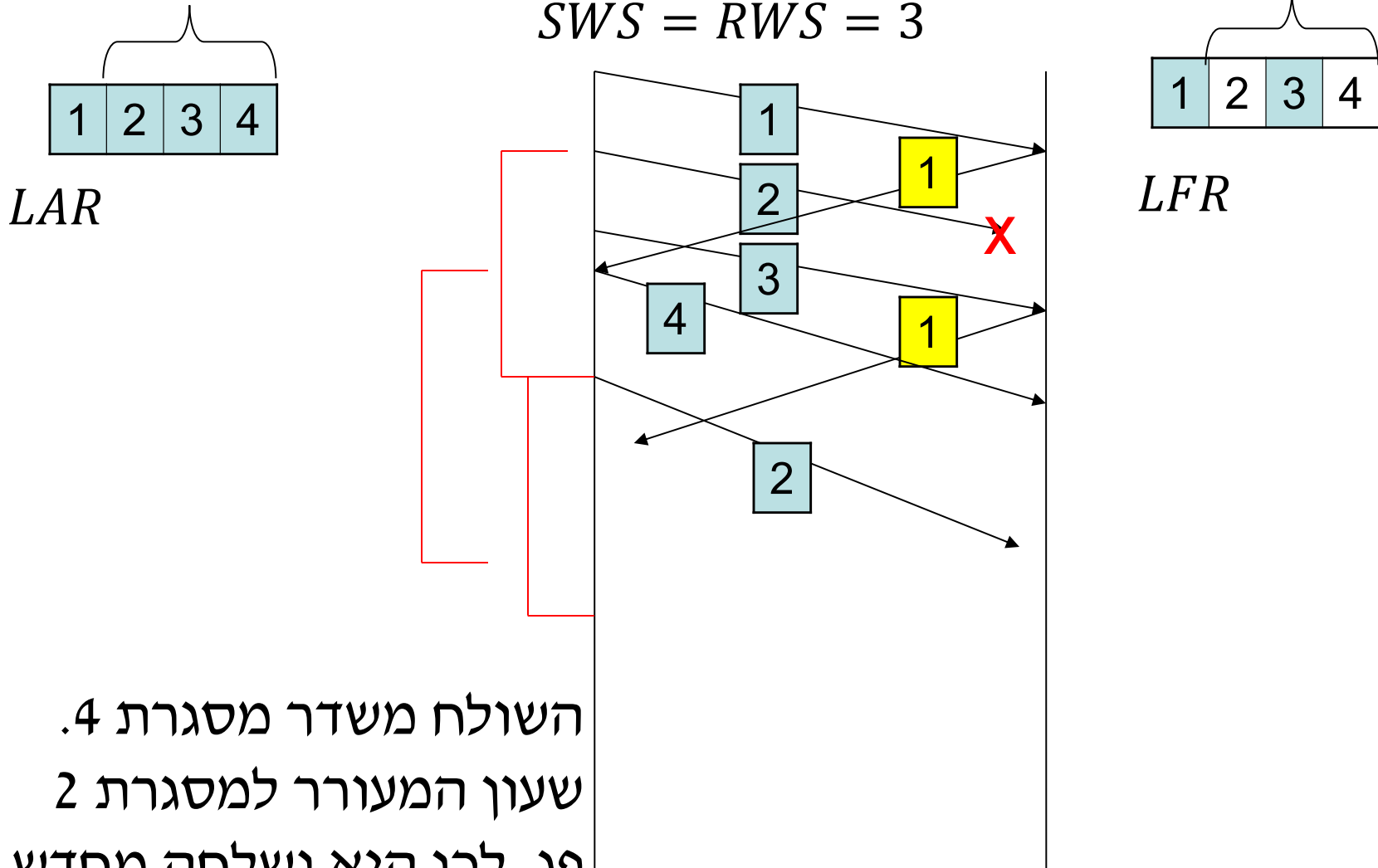
$$SWS = RWS = 3$$



השולח קבל $ACK(1)$.
מעדכן $LAR = 1$
מעדכן את LFS ל-4

דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה

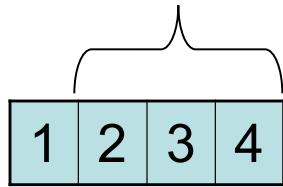
$$SWS = RWS = 3$$



השולח משדר מסגרת 4.
 שעון המעורר למסגרת 2
 פג, לכן היא נשלחה מחדש

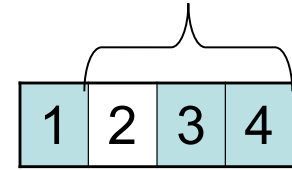
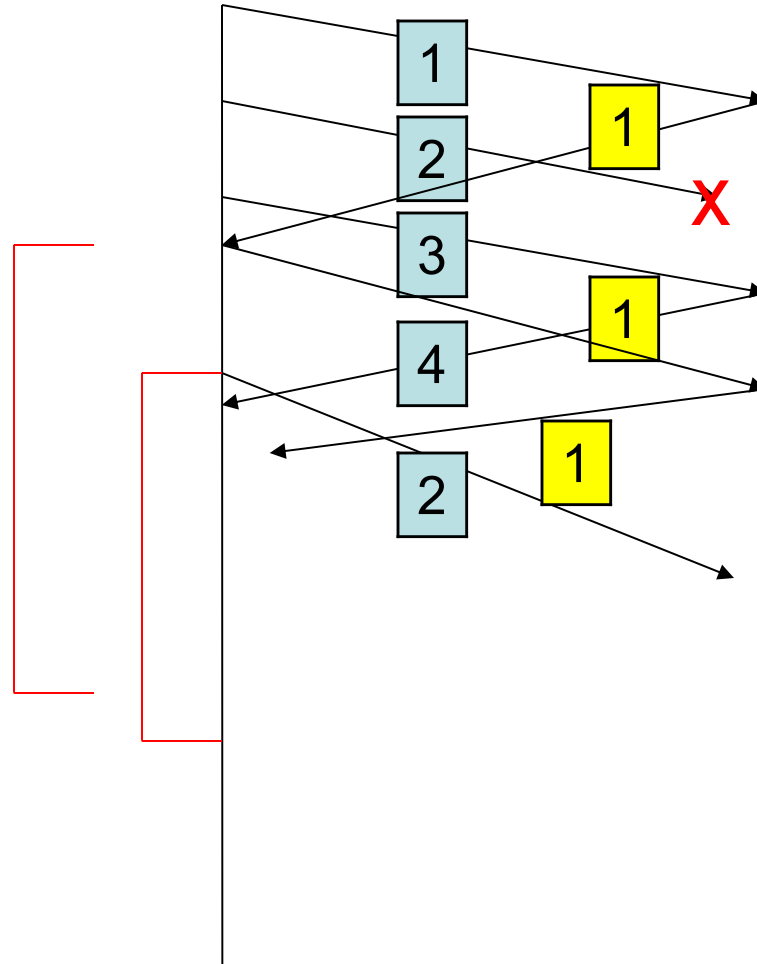
דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה

$$SWS = RWS = 3$$



LAR

השולח מקבל
ACK(1) נוסף.
מתעלם

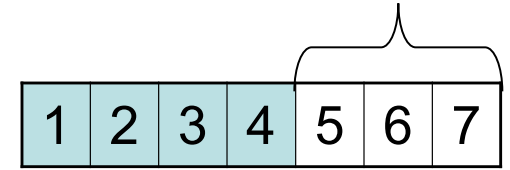
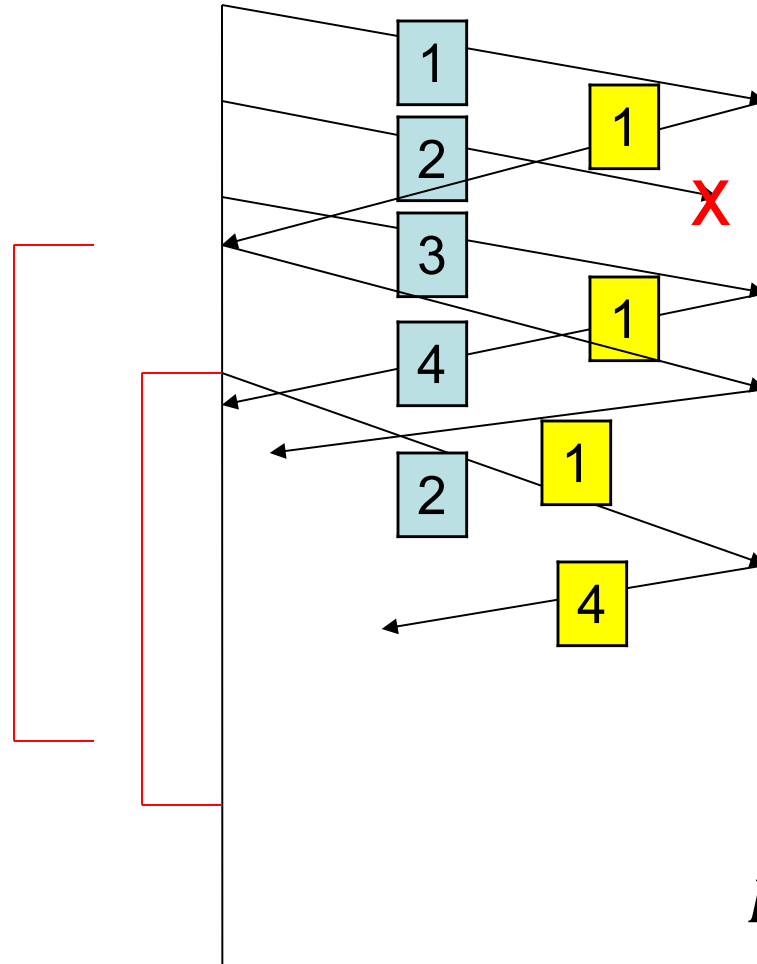
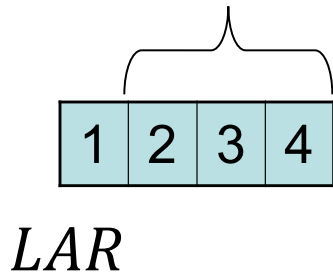


LFR

המקבל מקבל מסגרת 4
 $SeqNumToAck = 1$
המקבל שולח ACK(1)

דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה

$$SWS = RWS = 3$$



LFR

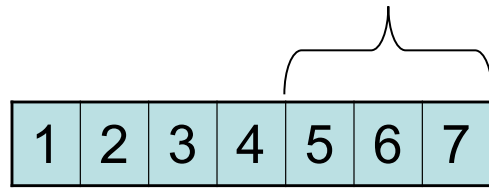
המקבל קבל מסגרת 2
 $SeqNumToAck = 4$

המקבל שולח ACK(4)

$$LFR = 4$$

$$LAF = LFR + RWS$$

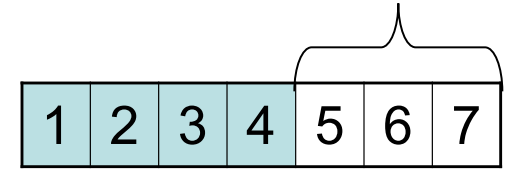
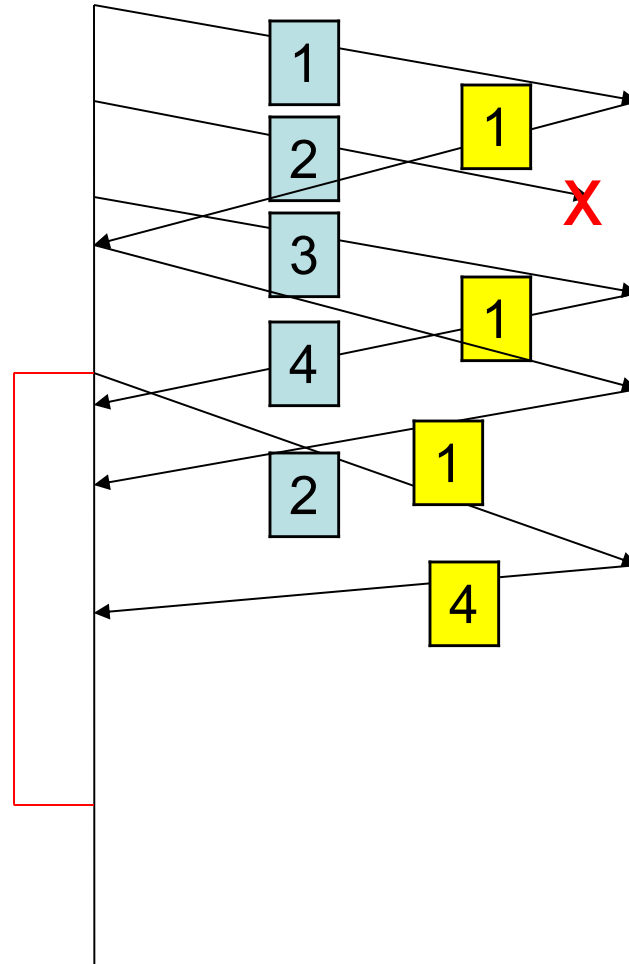
דוגמה לפרוטוקול חלון הזזה



LAR

השולח מקבל
ACK(1) שוב,
מתעלם.

$$SWS = RWS = 3$$



LFR

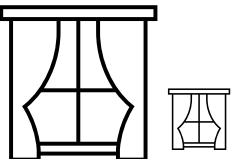
השולח מקבל ACK(4)
מעדכן $LAR = 4$
מגדיל *LFS*

המקבל לא שולח מנות ACK
מיותרות

– פשוט מתעלם ממה שהגיע לא לפי הסדר

המקבל שולח מנות ACK נקודתיים

– מנת ה-ACK כותבת בדיוק איזה מסגרות
הגיעו



איזה גודל חלון?

- אם $RTT \times Bandwidth$ ידוע, האידיאל לחלון השליחה:

$$SWS = \frac{RTT}{2} \times \frac{Bandwidth}{Framesize}$$

- גדלים טיפוסיים לגודל חלון הקבלה:

הערה:
 $RWS > SWS$
לא הגיוני

$RWS = SWS$

- כמה שיכולים להגיע ביחד בשליחה אחת מתקבל

$RWS = 1$

- אין שמירה של מסגרות שהגיעו לא לפי הסדר

מספר רץ סופי

מספר הרץ המרבי נקבע על ידי מאפייני הפרוטוקול

• גודל השדה קבוע



התפקיד של חלון הזזה

העברה לפי סדר

- המקבל שומר את המסגרות ומעביר אותם לפי סדר מספר הרץ

שליחה אמינה

- פרוטוקול יעיל לשליחה חוזרת וטיפול בשגיאות

בקרת הזרימה

- המקבל מחזיר מנות ACK לשולח
- גרסה יותר מתקדמת יכולה להודיע לשולח כמה מקום נשאר בזיכרון <-- יכול להאט את השליחה

חלון הזזה בפועל

TCP (Transmission Control Protocol)

קיבולת
Bandwidth
 \times *delay*
לא ידוע

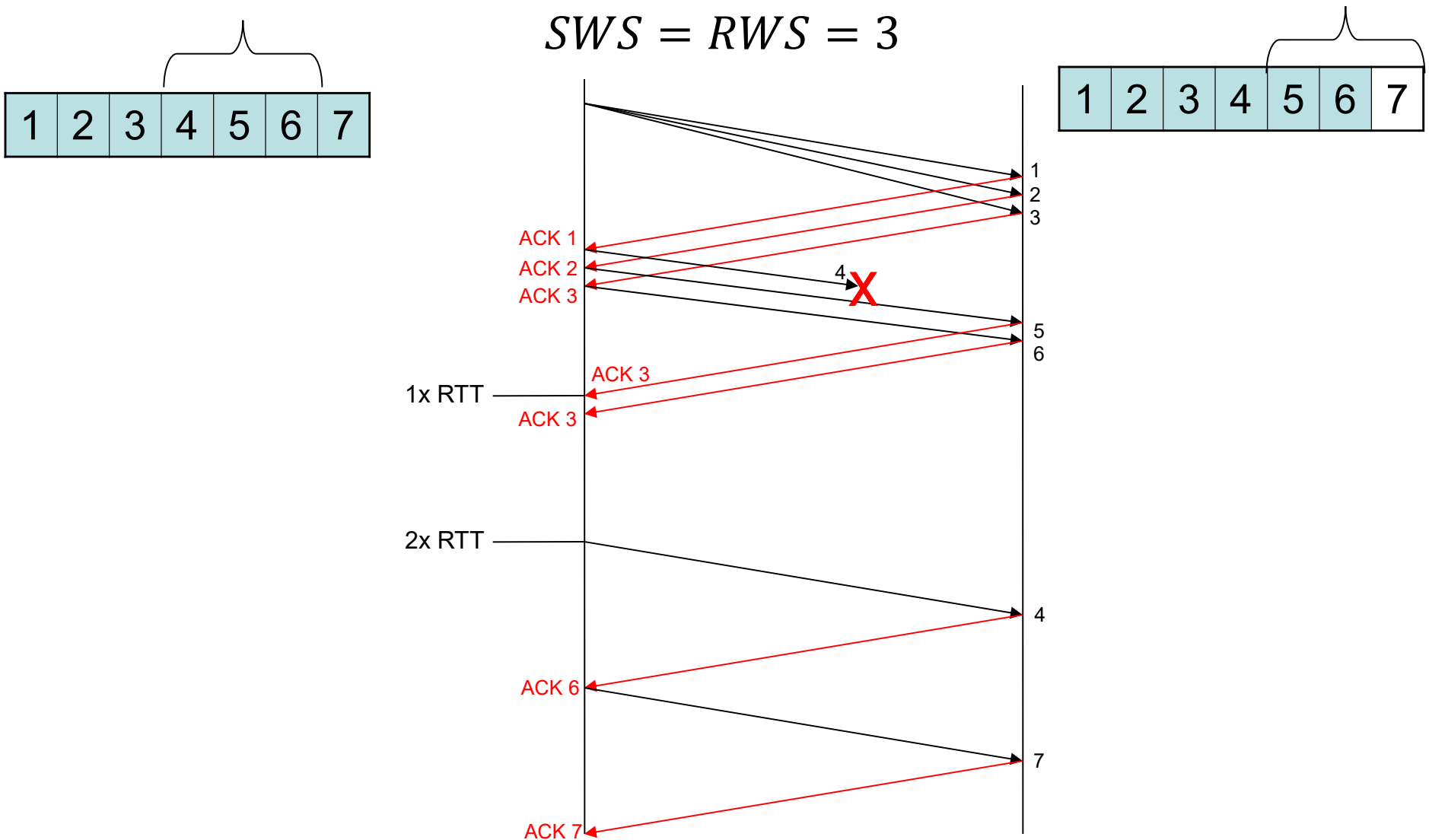
יותר מורכב בגלל
שהוא רץ על
האינטרנט ולא על
חיבור ישיר

משתמש בחלון
הזזה

חלונות שליחה וקבלה גדולים
לאפשר הגעה לא לפי הסדר

משנה את שעונים המעוררים
בצורה דינמית

לדוגמה $SWS=RWS=3$, מנה 4 נופל



- שליחה אמינה ARQ

- עצור וחכה

- חלון הזזה