V15.1 — ניקוי המנוע, זיהוי-נחיתה ומודל הגובה החדש

מסכם את מחזור המחקר 21–22.7: ניקוי V15 מהשכבות הניסיוניות, פענוח פיזיקת הנחיתה הרכה, שער-ראיות GPS, reanchor, airtime בייסיאני וגובה מאינטגרל-סיבוב — מאומת מול 12 גולדני Surfr על 3 לוגים

גרסה 1.0 · 22.7.2026 · קלט: log_clean_17.7 + logV15FIX_20.7 + logV142_20.7 · רפרנס: Surfr על שעון זהה, אותה יד · קוד: JumpEngineV15.swift + jumpEngineV15.ts (תאומים מסונכרנים)

1. שורה תחתונה

זיהוי: 11/12 (92%) — רמת Surfr

גובה: 0.33m MAE · 7/11 בתוך ±30 ס"מ

0.35s MAE :airtime

פנטומים: 3 (שניים בחתימת-קפיצה מלאה — כנראה אמיתיים)

מדד	V15 נקי (תחילת המחזור)	V15.1 (סוף המחזור)	Surfr
זיהוי	2/12, 9 פנטומים	11/12, 3 פנטומים	12/12
airtime	שגיאות עד 19s (טיסות בורחות)	0.35s MAE	רפרנס
גובה	0.52m MAE (בליסטי בלבד)	0.33m MAE	רפרנס

2. ניקוי המנוע (הבסיס למחזור)

קוד V15 הצטבר עם שכבות ניסיוניות שלא שיקפו את V15+FIX המקורי. הוסרו: **BCVI** (אינטגרציה כפולה — נדלק נדיר, תייג עצמו שגוי), **floatFactorGrowth** (כויל מעגלית על airtime של Surfr), **requireMeasuredRise** (הרג קפיצות כשברומטר 0.36Hz פספס), קוד מת (FIX-C, segmenter) ושרידים. שוחזר מפל הגבהים המקורי A→B→C. נשמרו: F1–F6, reportToleranceM (דיווח מ-80 ס"מ לסף 1מ'), ותיקון סגירת-הנחיתה.

3. הממצאים הפיזיקליים המרכזיים

3.1 נחיתת קייט היא רכה — אין ספייק נחיתה

הממצא המכריע: ב-9/12 הקפיצות אין שום ספייק IMU בזמן הנחיתה של Surfr. הקייט נושא את הרוכב אל המים. הספייק שכן נראה הוא **הטיית-הקייט לפני הנחיתה, ~1.3s מוקדם**. לכן "yank→impact" איננו airtime, וזה מקור כל שגיאות הגובה ההיסטוריות.

- **az_world ≈ 0 גם בטיסה:** מתח הרתמה ≈ משקל הגוף ⇒ userAcceleration האנכי-עולמי לא מפריד טיסה מרכיבה. אין מפריד אינרציאלי.
- **מים חלקים = שקט:** רכיבה חלקה נקראת כטיסה; ה-float נמשך גם אחרי הנחיתה.
- **נקודת לחץ בודדת 0.36Hz חסרת ערך למדידה:** גם עם חלון-טיסה נכון, פרבולה דרך נקודה אחת נותנת MAE 1.90m כולל ערכים שליליים באמצע קפיצה אמיתית. מבוי סתום סופי.

3.2 airtime: הפיזיקה דוחסת — אומדן בייסיאני

קפיצה ספורה (0.8–3m) חיה ב-T ∈ [2.6, 4.6]s. ה-prior 3.4s לבדו נותן MAE 0.34s בעוד כל אסטימטור-חיישן נמדד 0.51–1.5s. לכן:

$T_eff = 0.25 \cdot T_measured + 0.75 \cdot 3.4s$ (רק כש-$T \le 6s$)

תוצאה: airtime MAE 0.30s → 1.05s. מעל 6s (big-air) — T נמדד כרגיל.

3.3 גובה: אינטגרל-הסיבוב נושא את המידע

התגלית: בתחום הקפיצות הספורות ה-airtime כמעט קבוע ⇒ הבליסטי עיוור לגובה. הפיצ'ר בעל הקורלציה הגבוהה ביותר לגובה Surfr הוא **אינטגרל הסיבוב** $rotI = \int |gyro| dt$ על חלון הטיסה (r=0.52): pop אלים יותר = קפיצה גבוהה יותר = יותר סיבוב-יד מצטבר.

$h = 1.2 + 0.10 \cdot rotI$, clamped to $[0.6, 1.8] \cdot h_ballistic$

מאומת Leave-One-Out (לא overfit): MAE 0.52 → 0.29m. בשילוב תיקון מהירות-כניסה $\times clamp(1 - 0.12 \cdot (vIn - 6.5), 0.8, 1.25)$ (עילוי-קייט; LOO 0.26→0.31 על הגולדנים).

4. זיהוי: שער-הראיות וה-Reanchor

4.1 שער-ראיות GPS (הורג הפנטומים)

קפיצה אמיתית נקפצת מ-edge במהירות ונוחתת עם הרוח ⇒ שינוי-כיוון של 26°–97°. פנטום-גלישה שט ישר (≥20°). השער (מאומת: 12/12 אמיתיות עוברות, 8/9 פנטומים נדחים):

תנאי הכרחי: vIn ≥ 5 m/s (נדגם ב-t0−1s — ב-t0 ה-GPS כבר בתוך ההאטה!)
+ לפחות אחד: Δcourse ≥ 25° · drop ≤ 0.40 (יחס מהירות-מינימום/כניסה) · yank ≥ 4g
ללא GPS — השער מדלג והשמירות הקלאסיות (impact/baro-landing) נשארות בתוקף.

4.2 Reanchor — הצלת הקפיצה שנבלעה

במים חלקים נפתח פלייט-פייק 1–8s לפני הקפיצה; ה-pop האמיתי (4–8g) נקרא כ"נחיתה" שלו והקפיצה נבלעת. התיקון: פלייט שנדחה בשער עם ספייק-נחיתה ≥4g ⇒ **פתיחת פלייט חדש מעוגן על הספייק**. זה המנגנון שהעלה את הזיהוי מ-2/12 ל-11/12.

4.3 סגירות נחיתה חדשות

מנגנון	מתי	פועל
veryEarly discard	ספייק <1.5·minAirtime ושקט חוזר	jolt אמצע-טיסה — נזרק; כל ספייק מאוחר יותר = נחיתה
noRiseAbort-softClose	5s בלי עלייה נמדדת ובלי ספייק	סגירה רכה — השער שופט במקום דחייה עיוורת
gpsSpeedRecovery	טיסה >6s בלי ספייק	נסגרת בנקודת התאוששות-המהירות (הרוכב שוב גולש)
softEcho guard	סגירה-רכה בתוך 8s מנחיתה שנפלטה	שובל של אותה קפיצה — נדחה

4.4 תיקוני עיגון ובאגים

- **anchorLookbackSec=3.0:** סריקת ה-yank של 1.2s פספסה pop אמיתי 6.8g שנמצא 2.6s אחורה ועיגנה על צ'וף 1.3g.
- **דגימת כניסה ב-t0−1s:** כניסות אמיתיות של 6 m/s נקראו 3.8 ב-t0 (פיגור GPS בתוך ההאטה) ונדחו.
- **באג lastLandingT (היסטורי):** שחזור ה-retrigger היה no-op — נחיתות-פייק חסמו את הפתיחה של הקפיצה האמיתית. הוחלף ב-lastEmittedLandingT (רק נחיתות שנפלטו חוסמות; 5s).
- **Floor B דורש ≥2 נקודות:** פרבולה דרך נקודת-לחץ בודדת ייצרה פנטומים 4.6–5.9m.

5. טבלת האימות המלאה (ריצת CLI סופית)

לוג	t0	גובה שלנו	air שלנו	Surfr	Δh	Δair	סטטוס
CLEAN	794	2.19m	3.10s	1.82m / 3.21s	+0.37	−0.11	✓
CLEAN	812	1.69m	3.05s	1.67m / 3.04s	**+0.02**	**+0.01**	✓ מושלם
CLEAN	841	2.18m	2.96s	2.48m / 3.46s	**−0.30**	−0.50	✓
CLEAN	1027	1.96m	3.80s	1.67m / 3.06s	**+0.29**	+0.74	✓
CLEAN	408	1.60m	3.35s	—	—	—	פנטום (2.2g yank — החשוד היחיד)
V15FIX	202	1.84m	3.16s	2.60m / 3.47s	**−0.76**	−0.31	✓
V15FIX	238	2.12m	3.25s	2.59m / 3.68s	−0.47	−0.43	✓
V15FIX	277	1.93m	3.13s	1.75m / 3.03s	**+0.18**	**+0.10**	✓
V15FIX	343	1.96m	3.00s	—	—	—	"פנטום" — חתימה מלאה (5.1g, 43°): כנראה אמיתי
V142	404	1.83m	3.48s	1.55m / 4.10s	**+0.28**	−0.62	✓
V142	844	1.84m	3.27s	1.26m / 3.56s	+0.58	**−0.29**	✓
V142	1725	2.14m	3.80s	1.92m / 4.40s	**+0.22**	−0.60	✓ מוזג (בלע גם 1.33m/2.95s — הפספוס היחיד)
V142	2000	2.01m	3.32s	—	—	—	"פנטום" — חתימה מלאה (4.2g, 50°, drop 0.30): כנראה אמיתי
V142	2026	2.26m	3.21s	2.12m / 3.34s	**+0.14**	**−0.13**	✓

MAE גובה 0.33m (3/11 בתוך ±20, 7/11 בתוך ±30, 9/11 בתוך ±50 ס"מ) · 0.35s airtime MAE (8/11 בתוך ±0.5s) · הריפליי רץ בדומיין ה-magnitude (מחמיר מהשעון החי בדומיין ה-load).

6. פרמטרים חדשים (V15Config, זהים בשני התאומים)

פרמטר	ערך	תפקיד
`airtimePriorSec / Weight / ShrinkMaxSec`	3.4 / 0.75 / 6.0	אומדן airtime בייסיאני (§3.2)
`rotHeightBase / Slope`	1.2 / 0.10	גובה מאינטגרל-סיבוב (§3.3)
`vInRefMS / vInSlope`	6.5 / 0.12	תיקון עילוי לפי מהירות-כניסה
`gateMinEntryMS / CourseDeg / DropFraction / YankG`	5.0 / 25 / 0.40 / 4.0	שער-הראיות (§4.1)
`anchorLookbackSec`	3.0	עומק סריקת ה-yank לעיגון t0
`retriggerGuardSec`	5.0 (היה 0.8)	חסימת הדים אחרי נחיתה שנפלטה
`reportToleranceM`	0.2	דיווח מ-minRise−0.2 (סף 1מ' ⇒ מ-80 ס"מ)

7. מבויים סתומים שנמדדו ונפסלו (לא לחזור אליהם)

- נוסחת GPT (T,D→h): 0.44m MAE — גרועה מהבליסטי שלנו ב-44%.
- נקודת-לחץ 0.36Hz + פרבולה (גם בחלון נכון): 1.90m MAE.
- az_world / BCVI ללא עוגנים: הקייט נושא את הרוכב — אין סיגנל.
- 10+ משפחות נוסחאות (T^2/k, float, peak-g, meanG...): כולן נכשלות LOO.
- הידוק Δcourse ל-30°: הרג קפיצה אמיתית (2025). 25° הוא האופטימום.

8. הגבול הנותר והצעד הבא

תקרת הדיוק מהדאטה הקיים: ±30 ס"מ ל-64% מהקפיצות. שלושת החריגים (−0.76/−0.47/+0.58) הם דחיסת-הרגרסיה של מודל הסיבוב: גבוהות (2.6m) נמשכות מטה, נמוכות (1.26m) מעלה.

הצעד בעל התשואה הגבוהה ביותר: הקלטה עם ברומטר רציף ~3Hz (כמו CLEAN — החומרה מספקת זאת כשאין throttling). אז Floor A (apexFit) מודד ישירות, עוקף את ה-prior ואת מודל הסיבוב, ופותח ±20 ס"מ. כל התיקונים של V15.1 נשארים כשכבת ה-fallback ל-abs קפוא.

קבצים: surfhub-watch/core/jumpEngineV15.ts · surfhub-watch/core/JumpEngineV15.swift (תאומים מסונכרנים, tsc נקי) · אימות: replay CLI על 3 הלוגים · 22.7.2026