

# *Jonosfēras aktivitātes pētījumi Latvijas teritorijā, izmantojot bāzes staciju RINEX datus*

**Atis Vallis**, Carlson Latvija, SIA Lejaslīves valdes priekšsēdētājs

**Jānis Zvirgzds**, LBTU MVZF Zemes pārvaldības un ģeodēzijas institūta asoc. profesors

**Armands Celms**, LBTU MVZF Zemes pārvaldības un ģeodēzijas institūta profesors

**Māris Virkavs**, LBTU MVZF Zemes pārvaldības un ģeodēzijas institūta pasniedzējs

Lejaslīves SIA, Carlson Latvija

[www.carlsonsw.lv](http://www.carlsonsw.lv)

t. 26564437

LBTU, Zemes pārvaldības un ģeodēzijas institūts

<https://www.mvzf.lbtu.lv/>

t.63026152



**Carlson**

AUTHORIZED  
DEALER



Latvijas  
Biozinātņu un  
tehnoloģiju  
universitāte

# Saturs

- Izaicinājumi strādājot ar GNSS šodien
- Jonosfēras aktivitātes ietekme uz GNSS mērījumiem
- Kas ir Jonosfēras Scintilācija, TEC, I95 indekss?
- TEC vērtību aprēķina algoritms Latvijas teritorijā no RINEX failiem
- Normālas un traucējošas TEC vērtības GNSS mērījumos
- Jonosfēras aktivitātes ietekme uz GNSS mērījumiem (mērījumi Mālpilī 19.02.2025)



## Izaicinājums

Paaugstināta jonosfēra un Saules aktivitāte var izraisīt GNSS signālu traucējumus, kas ietekmē mērījumu precizitāti un atkārtojamību, ticamību rezultātiem – rada KĻŪDAS.

Ģeodēzijā GNSS kļūdas var vai nu

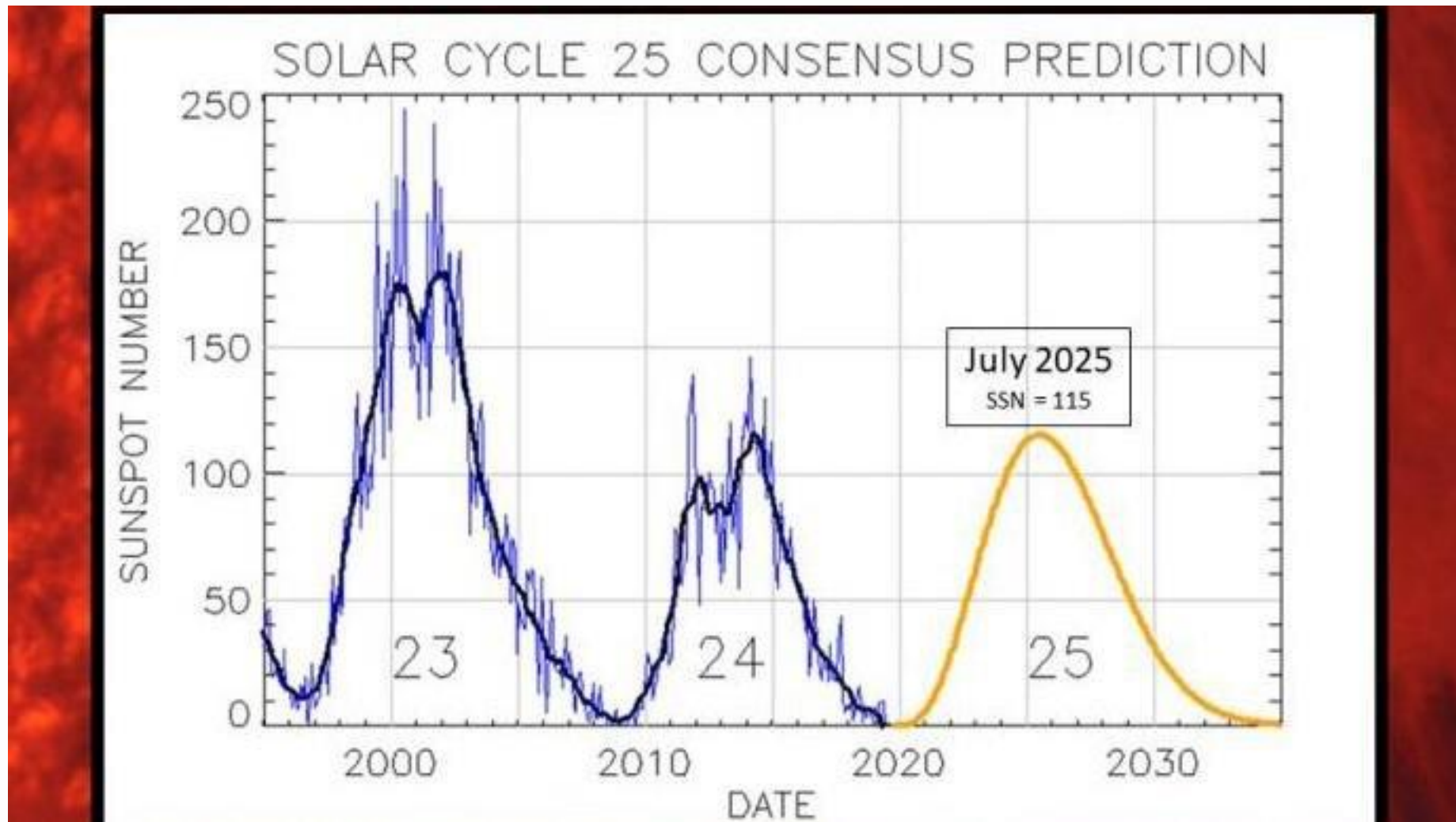
**IGNORĒT** – ja kļūdu lielums ir maznozīmīgs.

**APRĒĶINĀT** – izmantojot matemātiskās metodes.

**MODELĒT** – prognozēt, balstoties uz dažādiem fiziskiem un matemātiskiem modeļiem. **vietā un laikā**



# Izaicinājums - Saules aktivitātes cikls



<https://phys.org/news/2020-10-solar-sun.html>



# Izaicinājums

Latvijas teritorijai nav pieejams Joosfēras aktivitātes grafiks no LatPos stacijām, kas sniegtu informāciju un dotu iespēju precīzāk pieņemt lēmumu par atbilstošas uzmērīšanas metodikas un instrumentu izvēli darbam konkrētajā vietā un laikā.

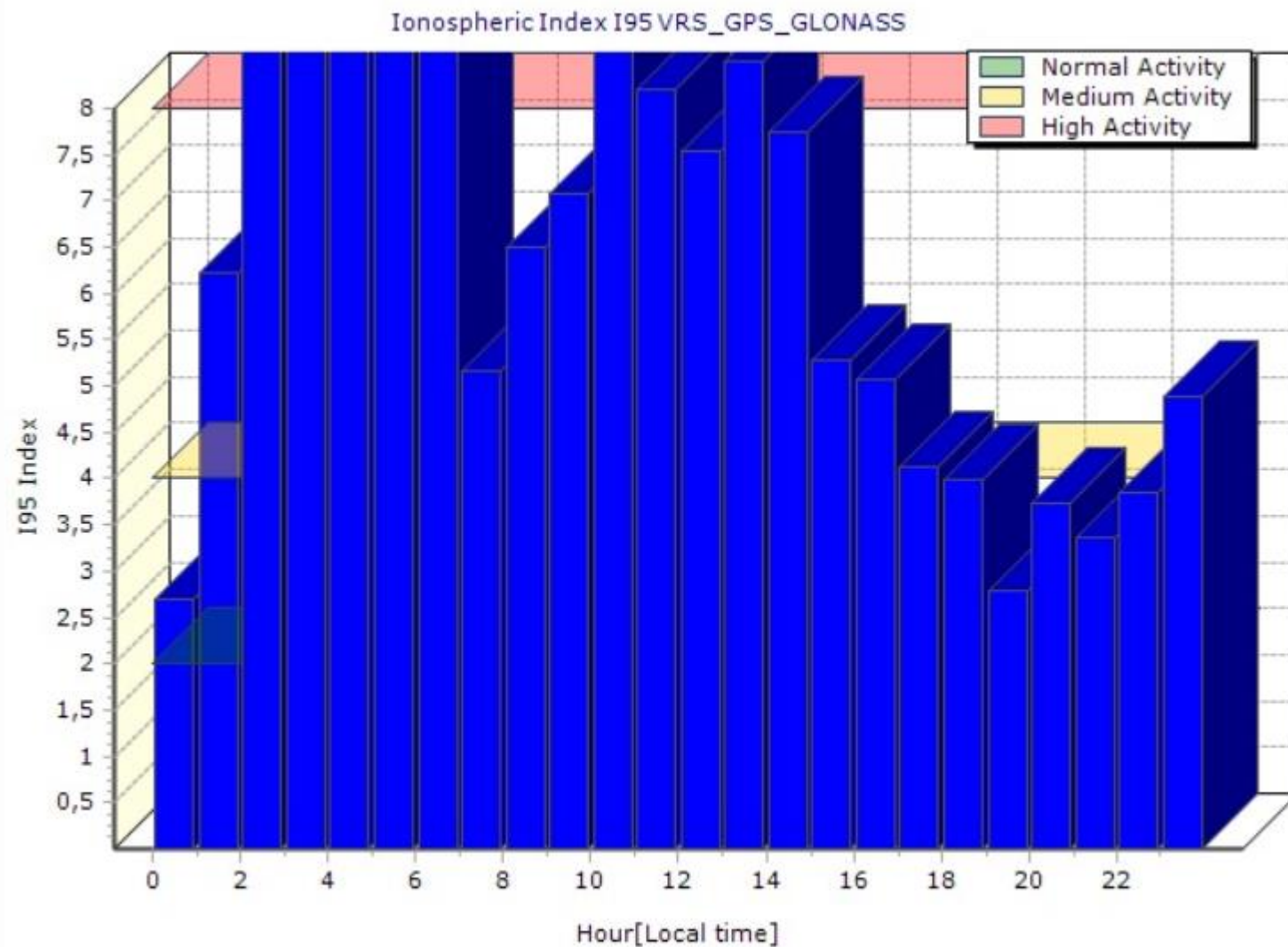
Jonosfēras aktivitāti visbiežāk raksturo **TEC, I95** indekss, Scintilācija u.c.  
(<https://irsl.ss.ncu.edu.tw>)

Augsta Jonosfēras aktivitāte rada **GNSS signālu aizkavēšanu.**

Leick, A. [1995], GPS Satellite Surveying



# Jonosfēras raksturlielumi 19.02.2025.



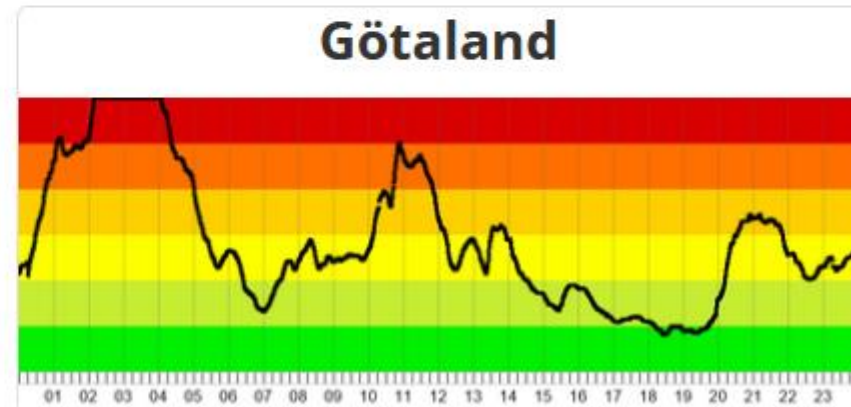
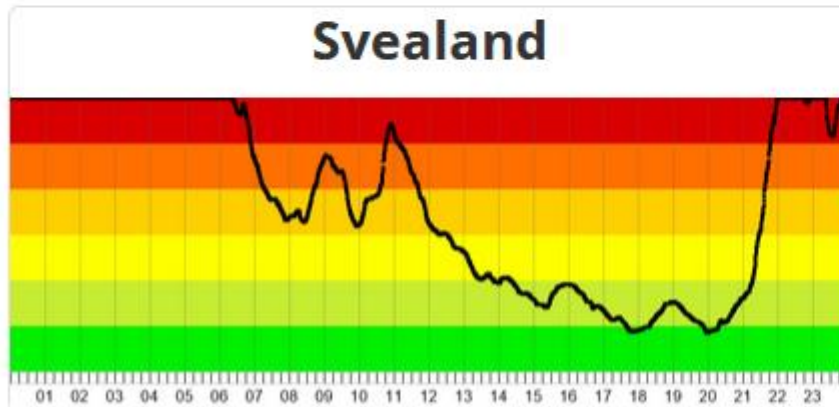
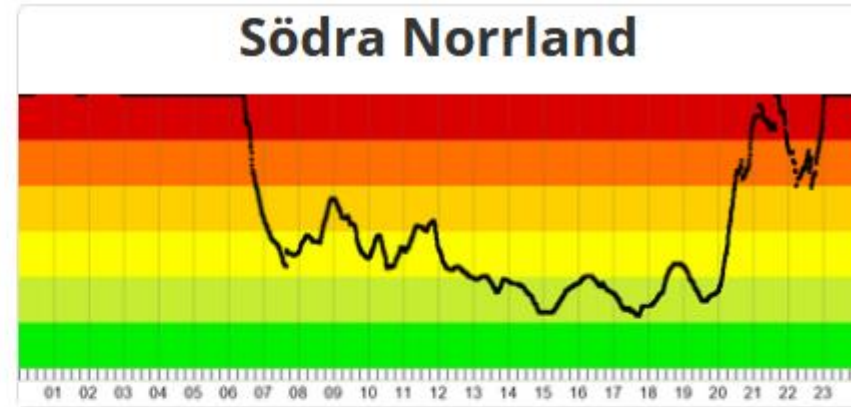
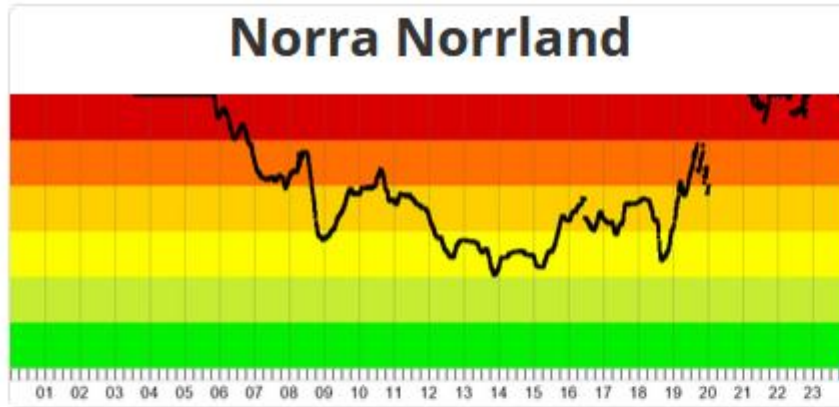
ACADEMY  
CARLSON



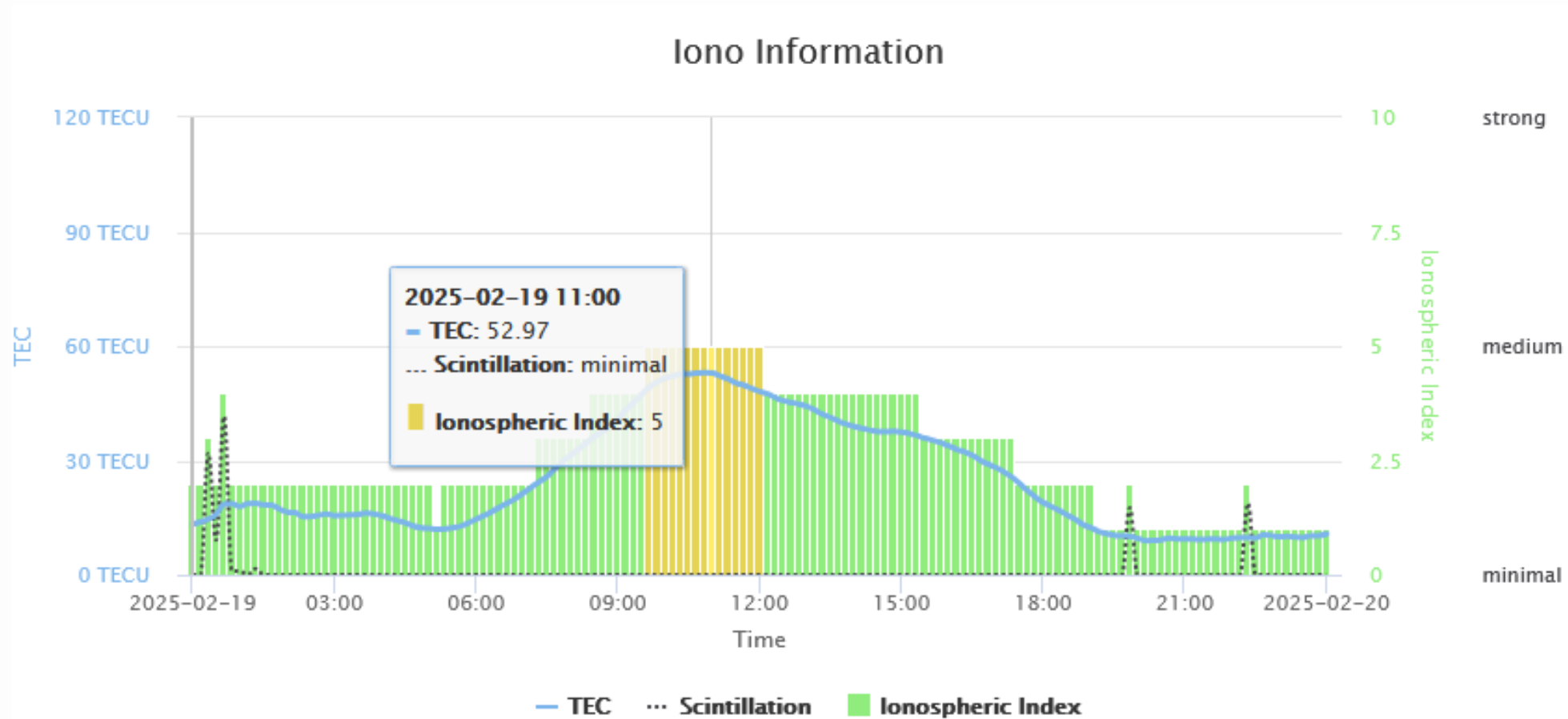
<https://www.litpos.lt>



# Jonosfēras raksturlielumi 19.02.2025.



# Jonosfēras raksturlielumi 19.02.2025.

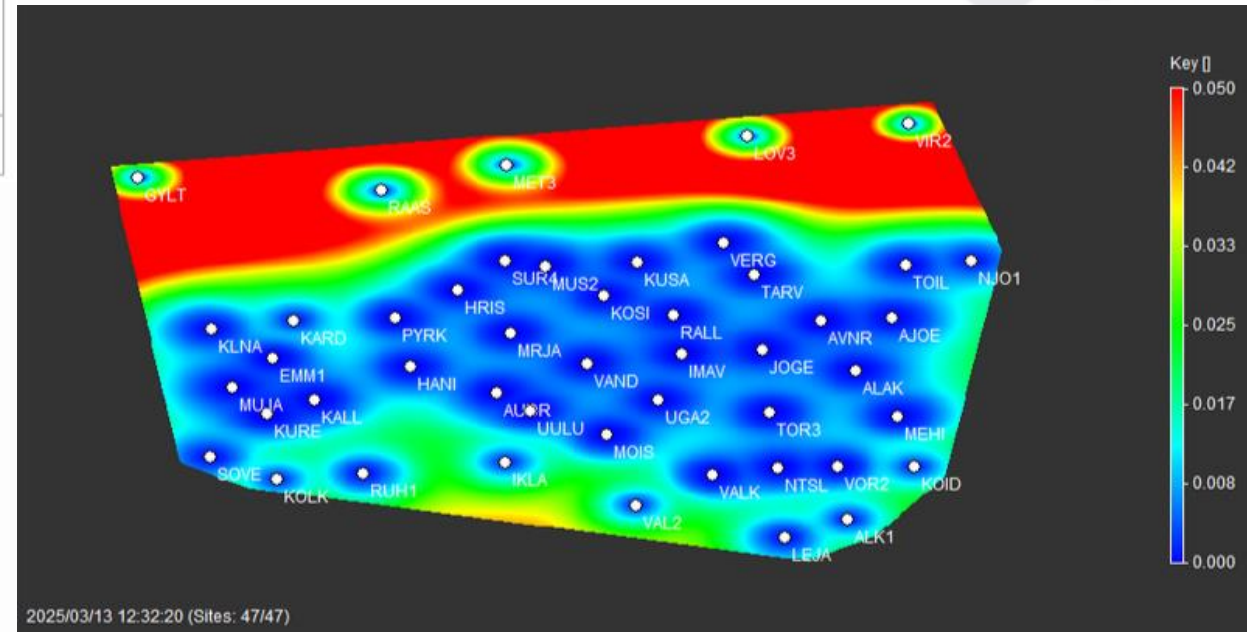
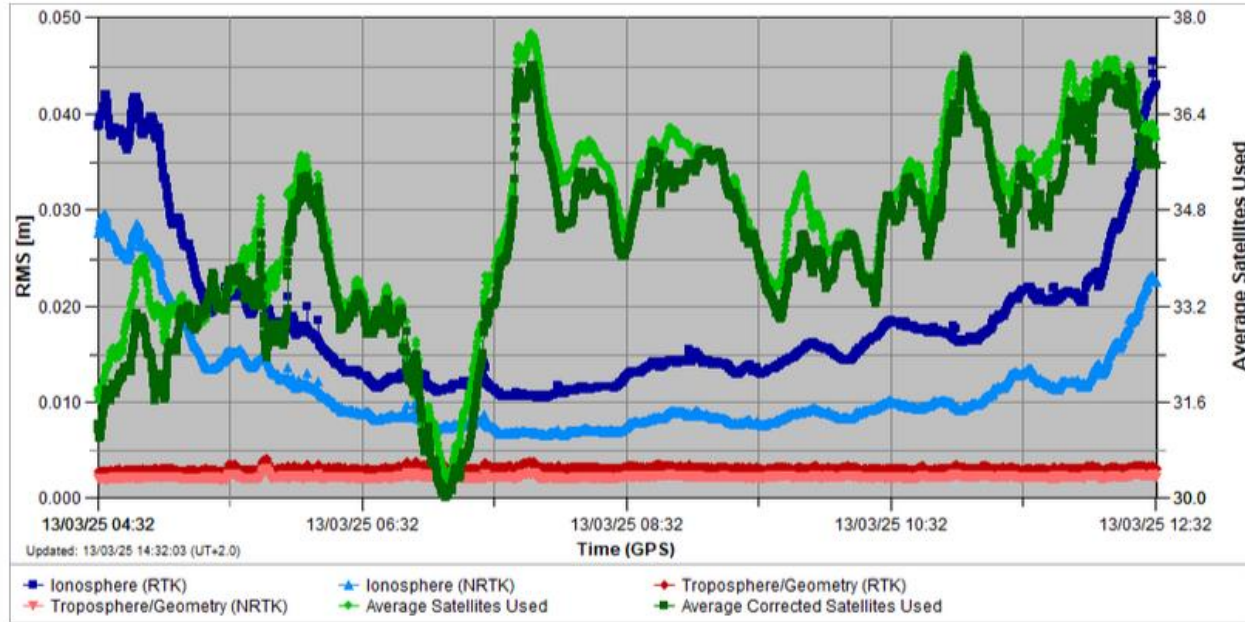


<https://www.gnssplanning.com>





# Jonosfēras raksturlielumi



<https://geoportaal.maaamet.ee/>

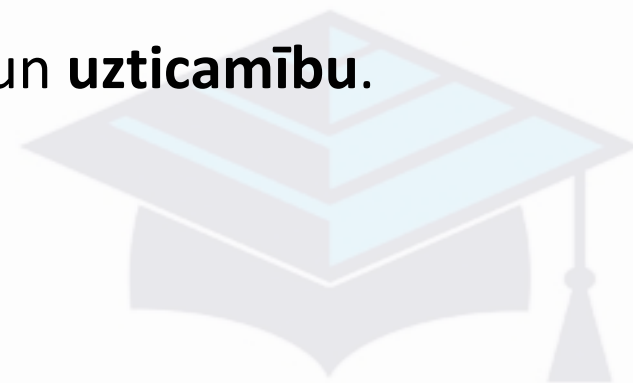
# Jonosfēras scintilācija – kas tā ir?

**Jonosfēras scintilācija** ir GNSS signālu svārstības, ko izraisa **nevienmērīgā blīvumā** jonosfērā esošie **elektroni**. Tā var radīt signālu **stipruma (SNR) variācijas** un **fāzes nobīdes**, kas ietekmē GNSS mērījumu kvalitāti un precizitāti.

Smagas scintilācijas apstākļi var **neļaut** GPS uztvērējam **uztvert signālu** un padarīt **pozīcijas aprēķināšanu neiespējamu**.

Mazāk smaga scintilācija var **samazināt pozicionēšanas precizitāti** un **uzticamību**.

<https://www.swpc.noaa.gov/>



# Kas ir I95 indekss?

**95 indekss** ir statistiskais rādītājs, kas parāda **jonosfēras kavējuma mainīgumu** ar 95% ticamību starp vairākām stacijām.

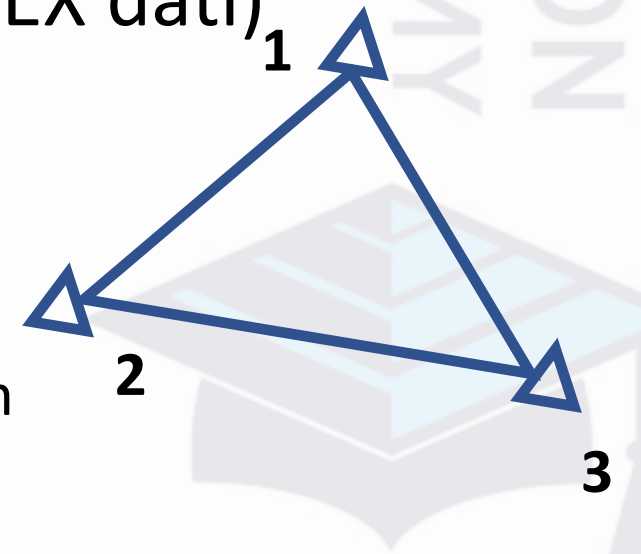
Aprēķina no GNSS signāliem. (LatPos antenu RINEX dati)

$$I95 = 1.96 \cdot \sigma_{\Delta I}$$

$\sigma_{\Delta I}$  - jonosfēras kavējuma standartnovirze starp vairākām stacijām

1.96 – koeficients, 95% ticamības līmenim (2 sigmas)

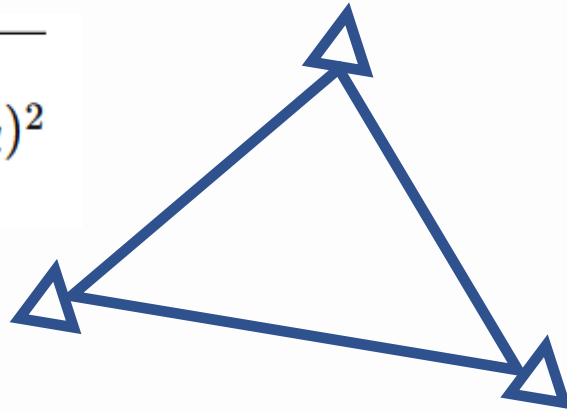
(visiem pieejamajiem satelītu mērījumiem konkrētajā laika vienībā)



# Kas ir I95 indekss?

Jonosfēras radīta signālu kavējuma standartnovirze tīklā

$$\sigma_{\Delta I} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta I_i - \Delta I_{vid})^2}$$



$$\Delta I = \sqrt{\Delta I_{lat}^2 + \Delta I_{lon}^2}$$

$$\Delta I_{vid} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta I_i$$

$\Delta I_{lat}$   $\Delta I_{lon}$  - jonosfēras aiztures starpība starp 2 GNSS stacijām attiecīgi garuma un platuma virzienā

$N$  – satelītu skaits konkrētajā sekundē

$\Delta I_i$  - jonosfēras aizture no konkrētā satelīta konkrētajā laika vienībā

$\Delta I_{vid}$  – vidējā jonosfēras aizture konkrētajā laika vienībā

<https://irsl.ss.ncu.edu.tw>

Sarežģītāks aprēķins, lielāki darba datu masīvi.

# Kas ir TEC?

TEC – Total Electron Content

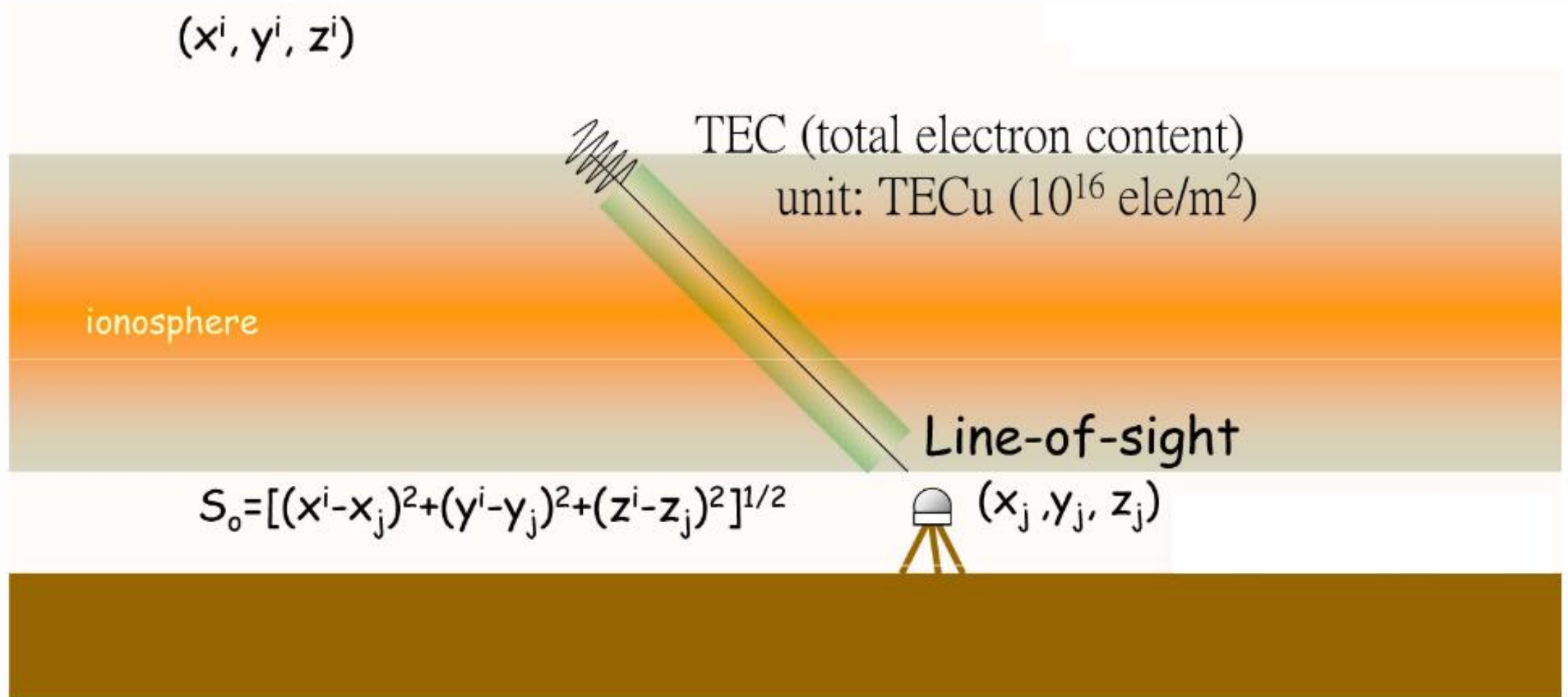
Elektronu skaits uz kvadrātmetru \*10<sup>16</sup> jonosfērā

Aprēķina no GNSS signāliem (piemēram, LatPos antenu RINEX datiem)

$$TEC = \int_{receiver}^{satellite} N \cdot ds$$



# Kas ir TEC?





## Sākotnējais mērķis

- Izstrādāt algoritmu kas automātiski **aprēķinā TEC** vai I95 faktiskās vērtības konkrētām **LatPos stacijām ar stundas intervālu** no RINEX failiem un PUBLICĒT visiem pieejamu, saprotamu grafiku no konkrētām stacijām.

CARLSON  
ACADEMY



# Kā aprēķināt TEC?

Izstrādāt algoritmu kas aprēķina no LatPos antenu datiem TEC vērtības.

$$TEC = \frac{(P_2 - P_1) \times f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)} + \text{dažādas kļūdas}$$

<https://www.sciencedirect.com>

$$TEC_P = 9.52 * (P_2 - P_1) + \text{dažādas kļūdas}$$

$$TEC_\Phi = 9.52 * (\Phi_1 - \Phi_2) - (N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2) + \text{dažādas kļūdas}$$

$$TEC_L = TEC_\Phi - (TEC_\Phi - TEC_P)$$

Kur:

$P_1, P_2$  — GNSS signālu pseidoattālumi (metros) attiecīgi uz frekvencēm  $f_1$  un  $f_2$

$\Phi_i$  — nesējviļņu fāzes novērojums (attāluma vienībās)

$\lambda$  -  $c/f$  — viļņa garums (L1 = 19 cm; L2 = 24 cm)

$f_1, f_2$  — signālu frekvences (Hz)

40.3 — konstante, kas izriet no fizikas pamatlikumiem par radiosignālu izplatību

Kļūdas — Atstarojumi, Signāla troksnis, Instrumenta kļūdas, Doplera efekts...

# RINEX izejas dati TEC aprēķinam

Izmantojam 30 sek. RINEX datus.

3.04 OBSERVATION DATA M: MIXED RINEX VERSION / TYPE  
Spider V7.10.1.168 LGIA 20250123 010158 UTC PGM / RUN BY / DATE  
SNR is mapped to RINEX snr flag value [1-9] COMMENT  
LX: < 12dBHz -> 1; 12-17dBHz -> 2; 18-23dBHz -> 3 COMMENT  
24-29dBHz -> 4; 30-35dBHz -> 5; 36-41dBHz -> 6 COMMENT  
42-47dBHz -> 7; 48-53dBHz -> 8; >= 54dBHz -> 9 COMMENT

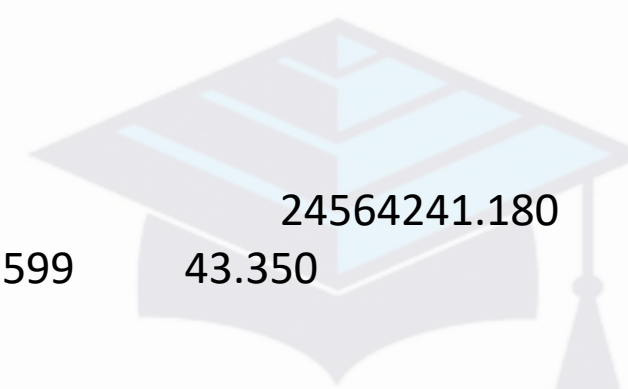
.....  
> 2025 02 19 08 30 0.0000000 0 51  
G01 24803558.420 130343572.55707 -1745.966 44.100 24803558.280 130343574.53307 -1745.813  
43.550 24803565.740 101566479.47107 -1360.494 43.200 24803565.540 101566440.46406 -1360.495  
39.950 24803570.680 97334538.26807 -1303.764 46.500  
G02 25989352.980 136574958.85907 -2617.289 43.150  
25989357.260 106422066.50006 -2039.456 39.150  
G06 24564225.900 129085923.41107 3329.716 43.200 24564241.180  
100586517.51507 2594.598 42.000 24564240.620 100586469.52007 2594.599 43.350  
24564242.280 96395380.83807 2486.520 44.500

C/A kods – (P<sub>1</sub>)

L1 fāzes mērījumi – (Φ<sub>1</sub>)

L2P (Y) kods – (P<sub>2</sub>)

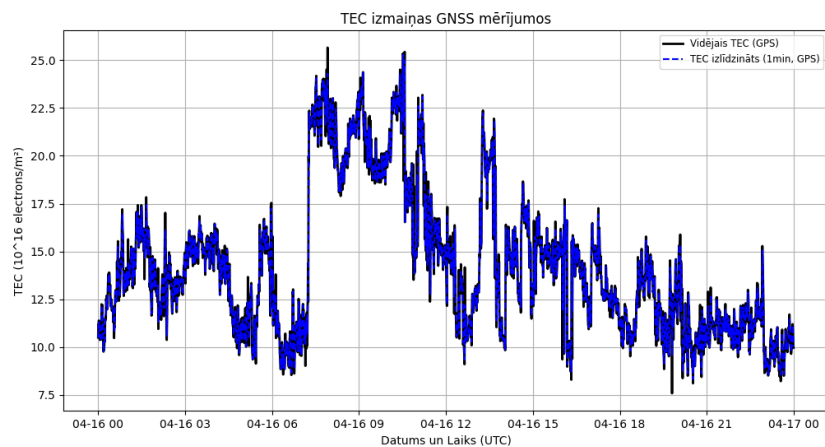
L2 fāzes mērījumi – (Φ<sub>2</sub>)



# TEC aprēķini no RINEX datiem

Izmantoju PYTHON kodu ar  
Georinex,  
Matplotlib,  
Pyplot bibliotēka

...



```
# 1. Automātiski meklē RINEX failus direktoriņā
rinex_files = glob.glob('*.*25o') # Meklē visus RINEX .25o failus

if len(rinex_files) < 1:
    raise FileNotFoundError("Nepieciešams vismaz viens RINEX failiņš")

# Izvēlas pirmo atrasto failu
file1 = rinex_files[0]
print(f"Ātrāsmeģtais RINEX fails: {file1}")
```

atūkus no faila

```
ad(file1)
```

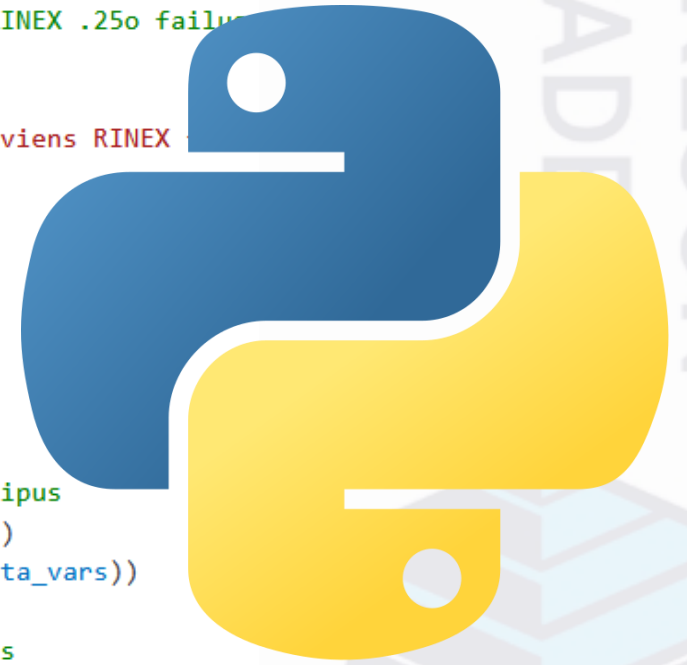
```
pieejamos satelītus un novērojumu tipus
ti {len(data1.sv.values)} satelīti.")
mie novērojumu tipi:", list(data1.data_vars))
```

```
pieejamos GPS satelītus un frekvences
ta1.sv.values # Satelītu saraksts failā
```

```
6 # L1 frekvence (Hz)
```

```
f2 = 1227.60e6 # L2 frekvence (Hz)
```

```
c = 299792458 # Gaismas ātrums (m/s)
```

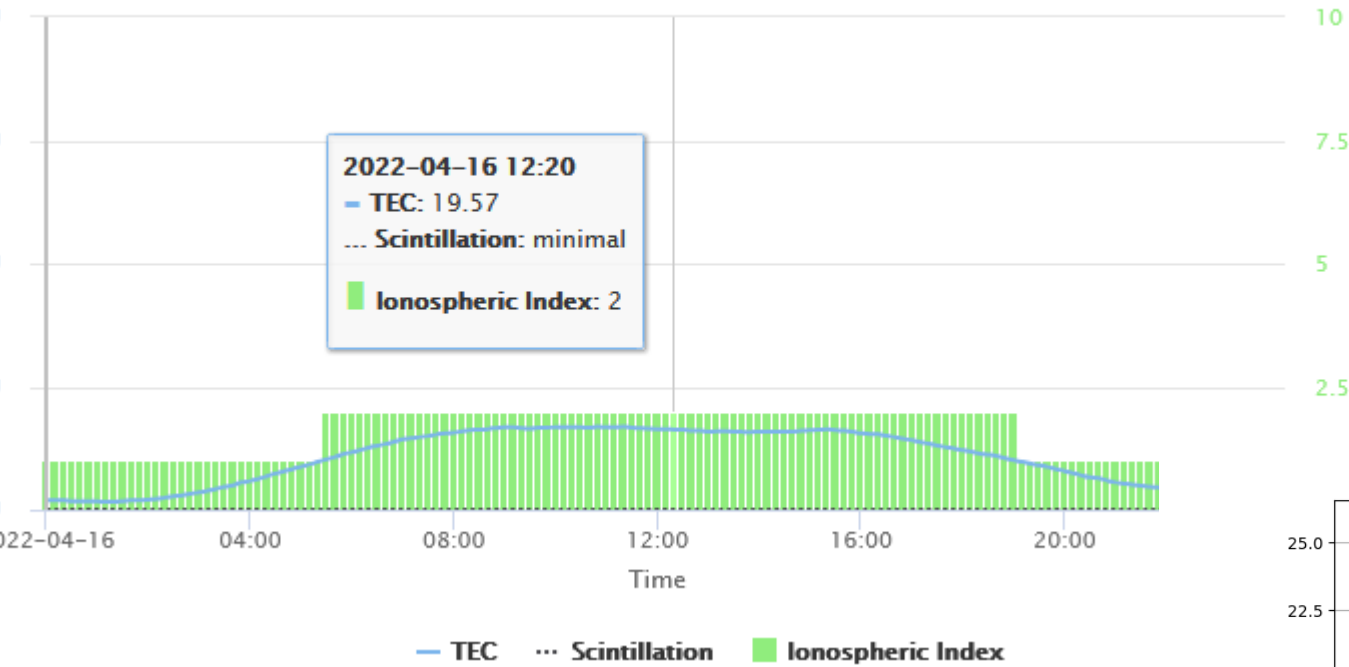


ACADIA  
CARLSON

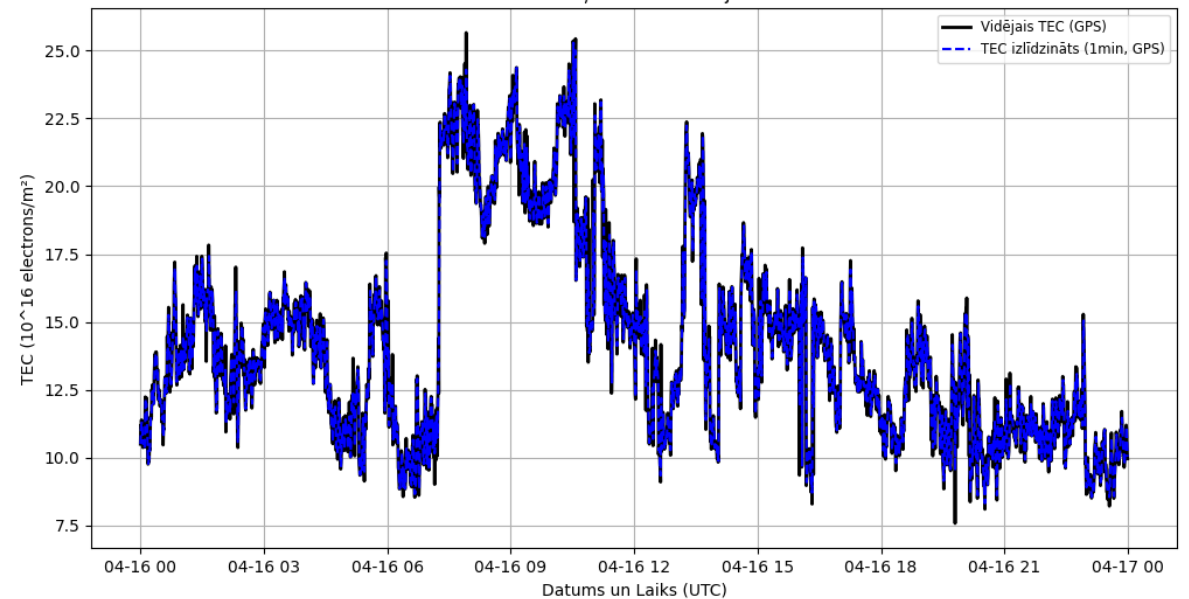


# Jonosfēras zema aktivitāte 16.04.2022.

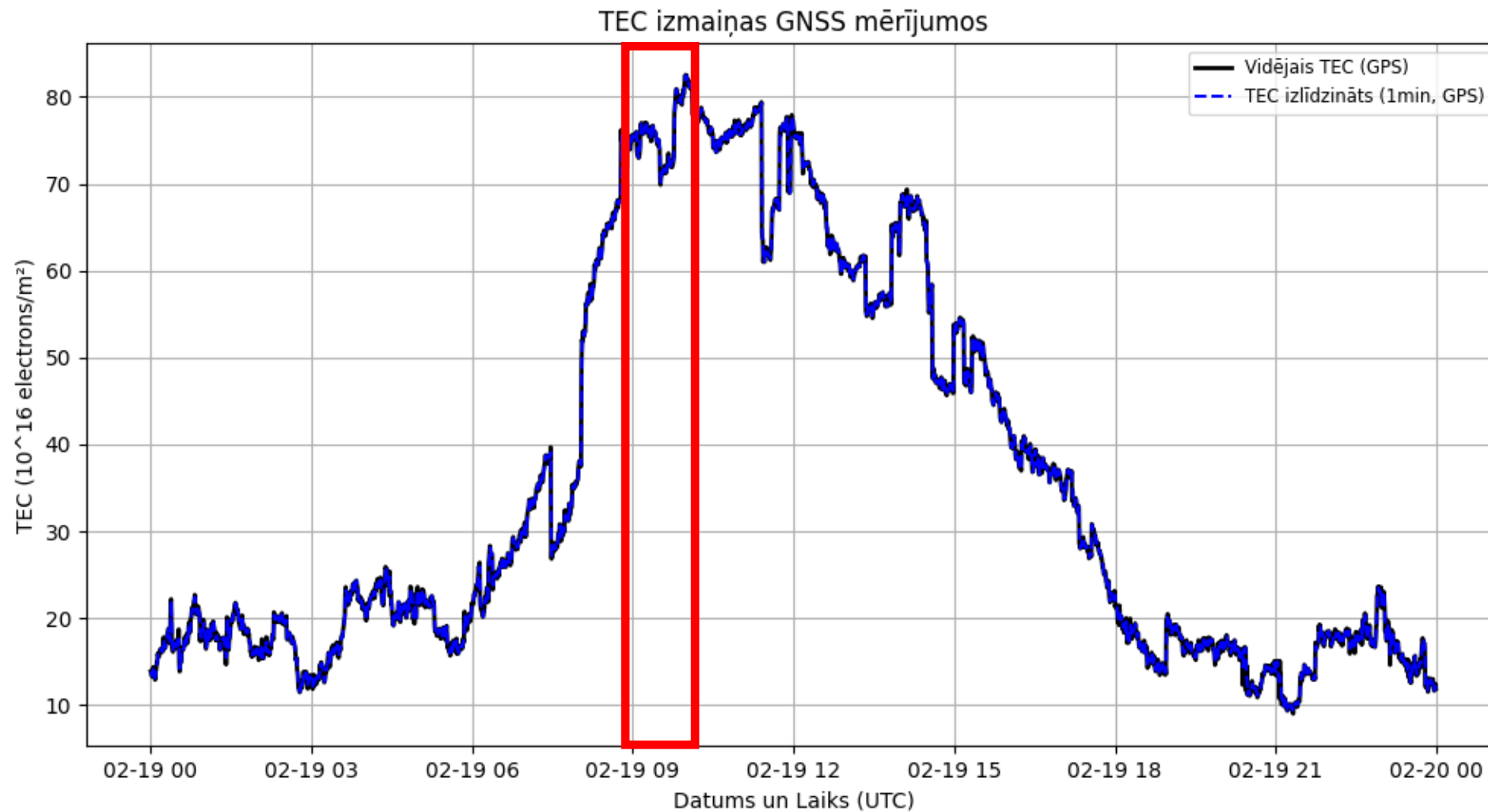
Iono Information



TEC izmaiņas GNSS mērījumos

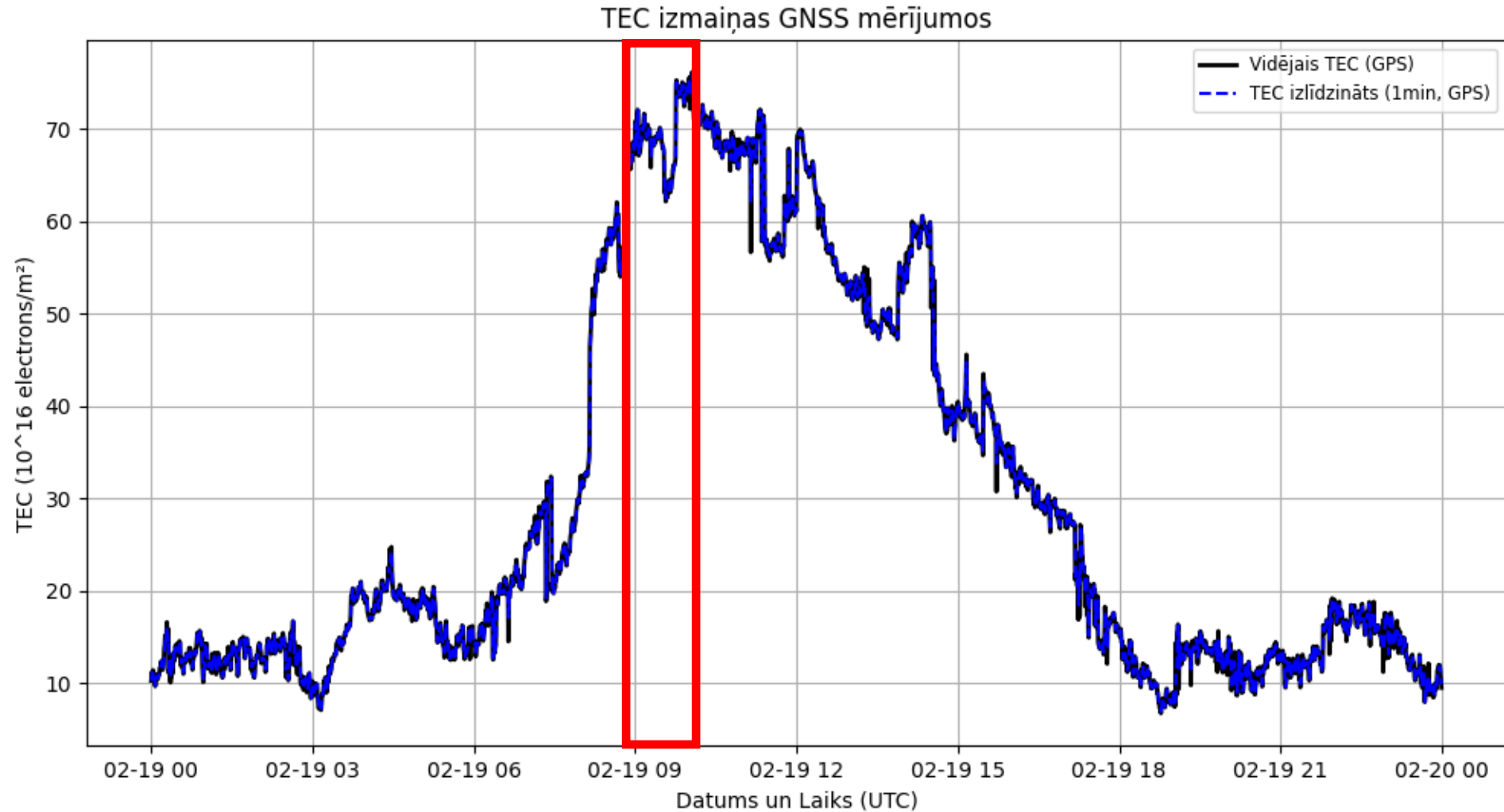


# TEC Lēdurga 19.02.2025.

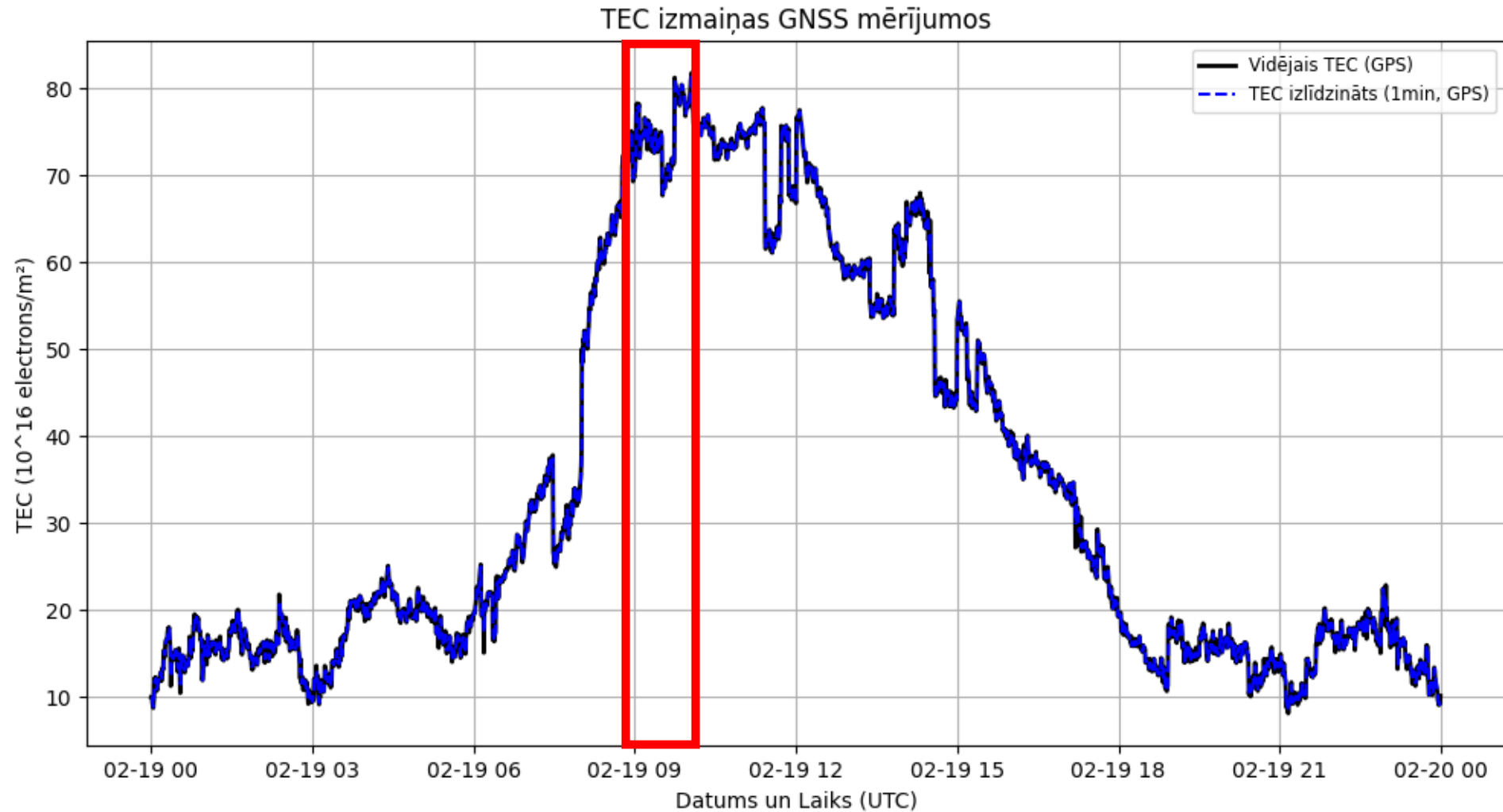




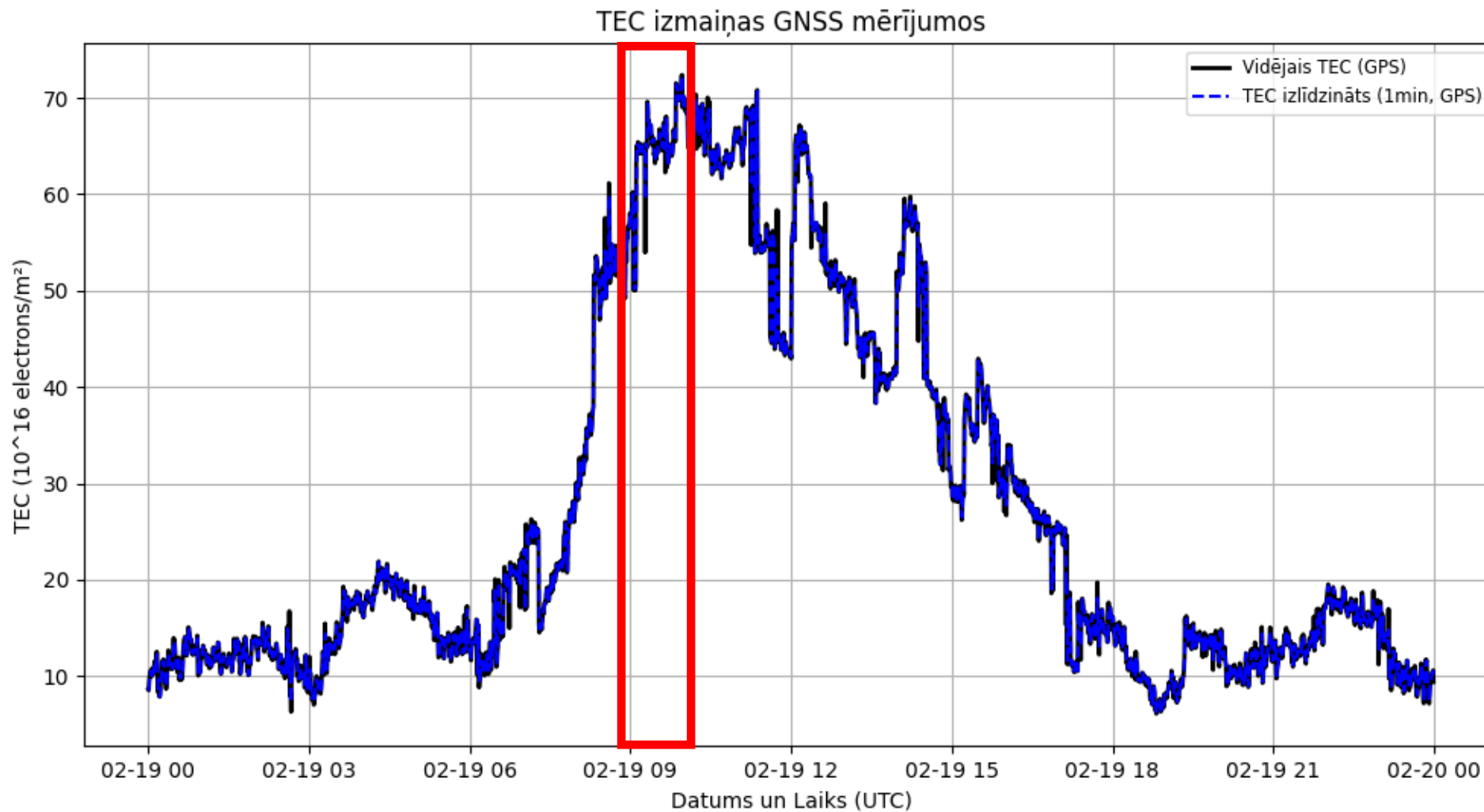
# TEC Vecpiebalga 19.02.2025.



# TEC Lielvārde 19.02.2025.



# TEC LGIA 19.02.2025.



# Tipiskās TEC vērtības dažādos apstākļos

Jonosfēras aktivitāti vislabāk raksturo TEC vērtības

Apstākļi	TEC
Dienā (vidējos platuma grādos)	20-50
Naktī (vidējos platuma grādos)	5-20
Saules aktivitātes maksimumā	100-300



# Normālas un traucējošas TEC vērtības GNSS mērījumos

TEC	GNSS ietekme
5-30	Precizitāte 1-3 cm
30-70	Neliela ietekme, precizitāte 3-10 cm
70-100	Jūtama ietekme, precizitāte 10-30 cm
>200	GNSS mērījumi neprecīzi vai neiespējami



# Saules aktivitāte praksē

Mērķis ir objektīvi novērtēt GNSS tehnoloģiju pielietojamību, veikspēju, mērījumu atkārtojamību paaugstinātas jonosfēras aktivitātes apstākļos.

CARLSON  
ACADEMY







# Metodika

Veic mērījumus LatPos korekciju tīklā G1 puntā Mālpils

- Korekciju avots: LatPos NTRIP (IP: 91.216.2.20, Ports: 5002)
  - Korekciju metode: VRS / SITE / iMAX
  - Labākā prakse
- Mērījumus veic ik pēc ~5 minūtēm, saglabājot 5 secīgus punkta uzmērījumus no 10 – 20 fiksācijām.
- Veic atkārtotu inicializāciju.





# Izanalizēti saņemtie LatPos RTCM 3 ziņojumi

LatPos RTCM 3 ziņojumi satur:

- 1006 — Bāzes stacijas APP ar antenas augstums
- 1008 — antenas apraksts un sērijas numurs
- 1013 — Sistēmas parametri (lāks un ciklu lēciena informācija)
- 1029 — teksta rinda
- 1032 — bāzes stacijas pozīcija (tikai VRS un NETW-iMAX risinājumam)
- 1033 — uztvērēju un antenu apraksts
- 1075 — GPS tīkla RTK starpību ziņojums (MSM5)
- 1085 — GLONASS tīkla RTK starpību ziņojums (MSM5)
- 1095 — Galileo tīkla RTK starpību ziņojums (MSM5)
- 1125 — BeiDou tīkla RTK starpību ziņojums (MSM5)
- 1230 — GLONASS L1 un L2 koda fāzes novirzes



CARLSON  
ACADEMY



**PILNĪGI PIETIEKOŠI precīziem novērojumiem**

# LatPos ziņojums Nr. 1075

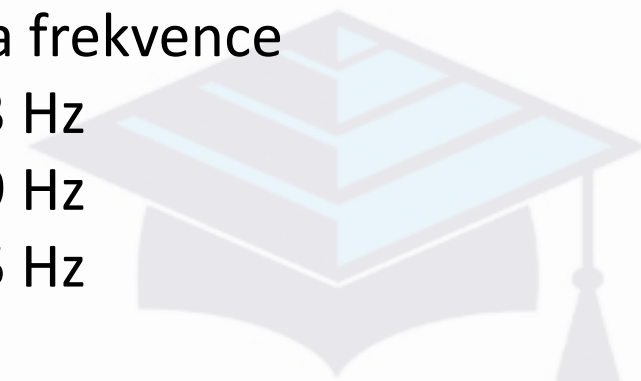


CARLSON  
PREMIY

Parametrs	Vērtība
Ziņojuma ID	1075 (GPS MSM5)
Bāzes stacijas ID	17206
GNSS laiks	4130647
GPS Satelīti	2, 3, 7, 19, 25, 31
Lietotie Signāli	L1 P, L1 Z-tracking, L1S
HEX dati (strukturēti)	Sadala bināros datus 16 baitu blokos (heksadecimāls)

HEX dati –

Satelīts	Frekvence	Attālums (P)	Fāzes novirze	Doplera frekvence
GPS 2	L1	20217384.2 m	-0.045 cikli	-2450.3 Hz
GPS 3	L1 Z	20217360.5 m	-0.038 cikli	-2438.9 Hz
GPS 7	L1S	20217395.8 m	-0.052 cikli	-2462.5 Hz



# Teorētiskā RTK precizitāte Mālpilī

Atkarībā no izmantotās stacijas attāluma  $\sim 30\text{km}$

Ja pieņem, ka vidēji ģeodēziskā RTK instrumenta precizitāte

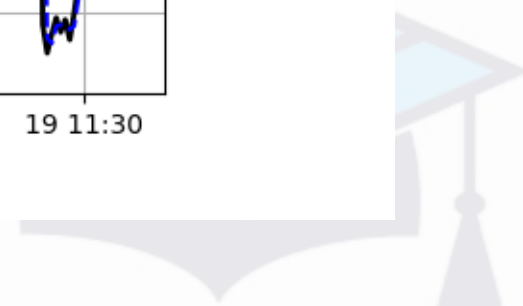
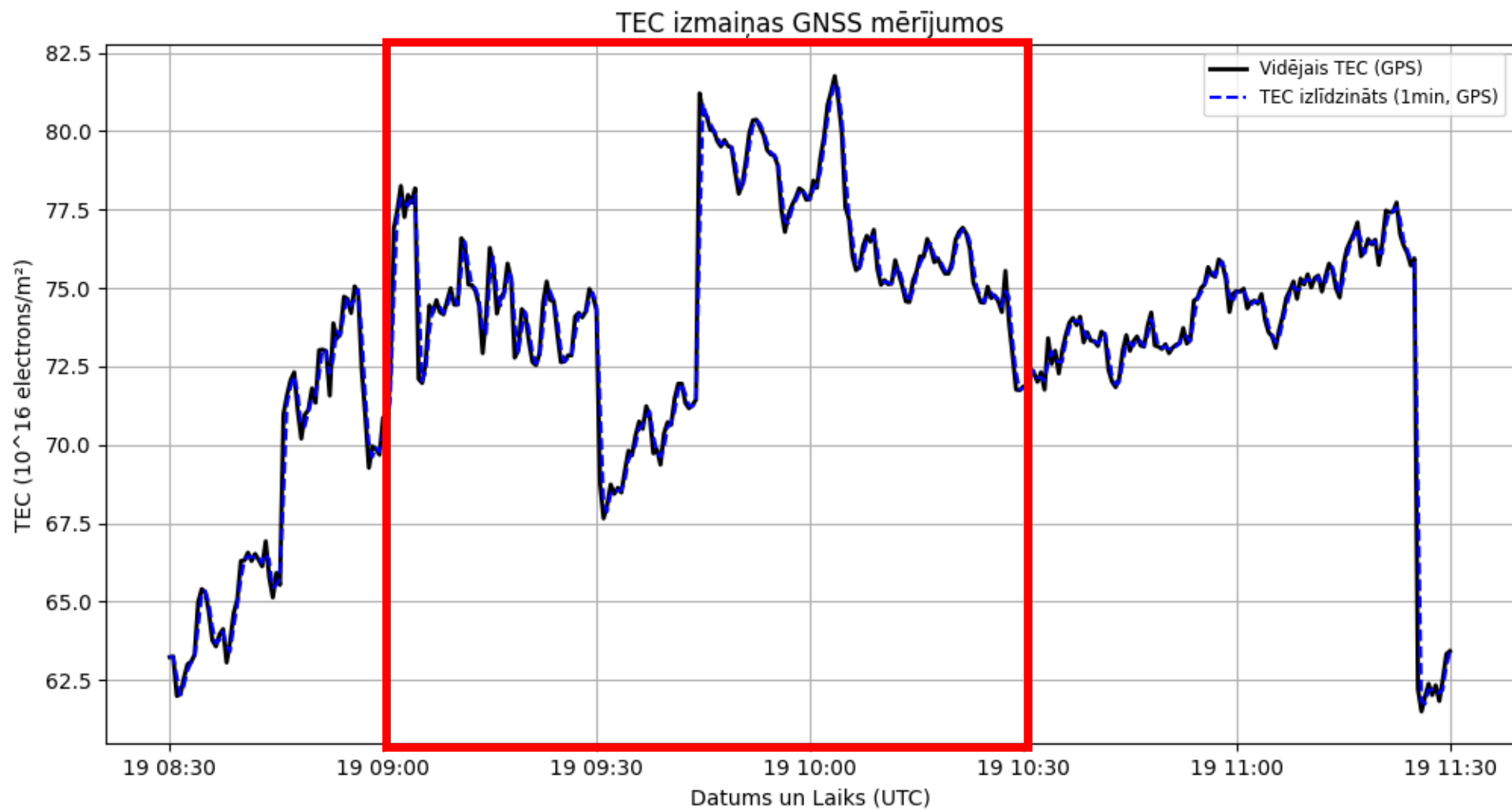
Horizontāli ir  $-10\text{mm} + 1\text{ppm}$

Vertikāli parasti 1.5 reizes sliktāk -  $15\text{mm} + 1\text{ppm}$

Teorētiski Hor. precizitātei vajadzētu būt līdz  $\sim 40\text{mm}$

CARLSON  
ACADEMY





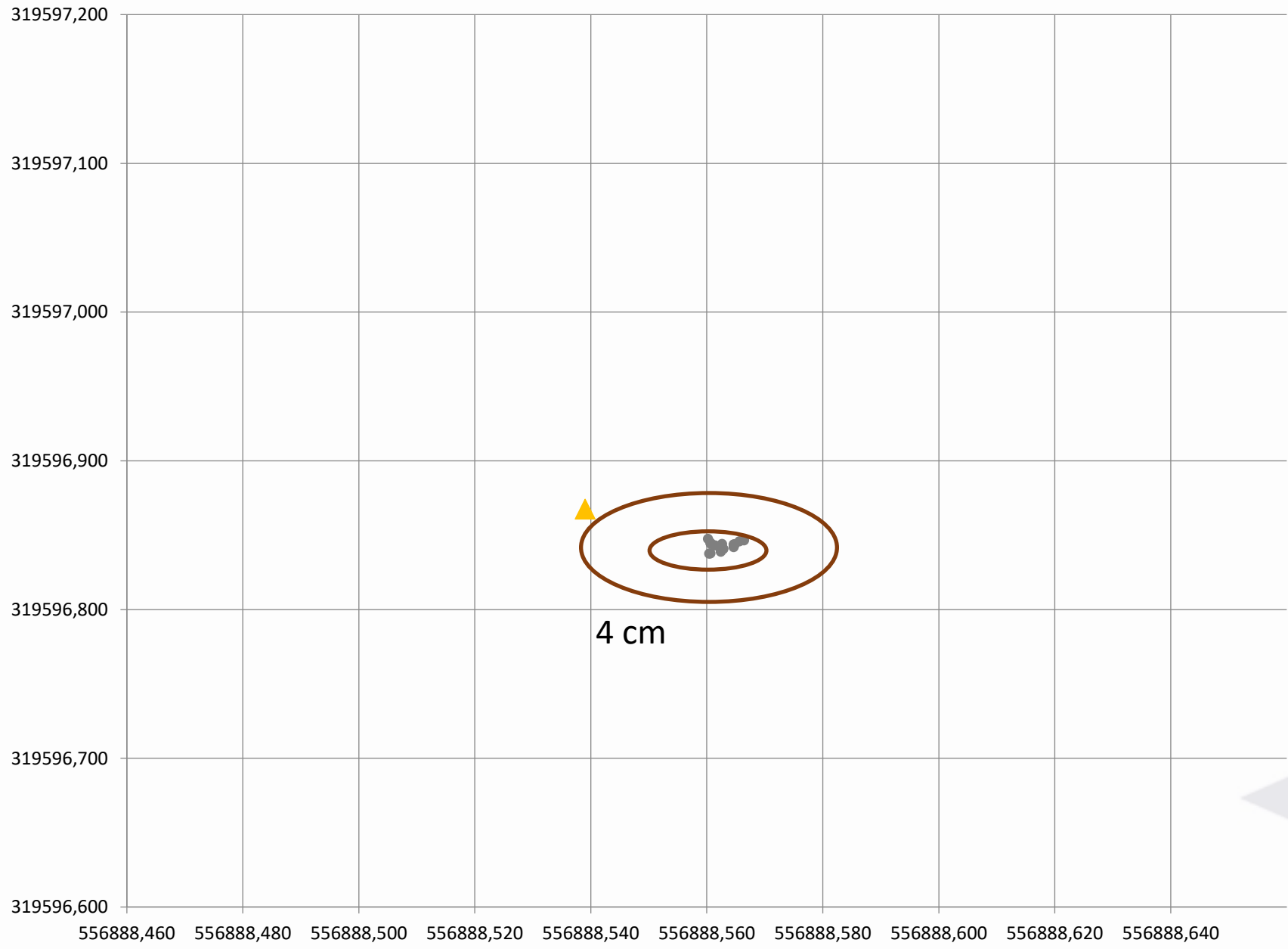


# Atkārtojamība Horizontāli

<1:20 h

CARLSON  
ACADEMY

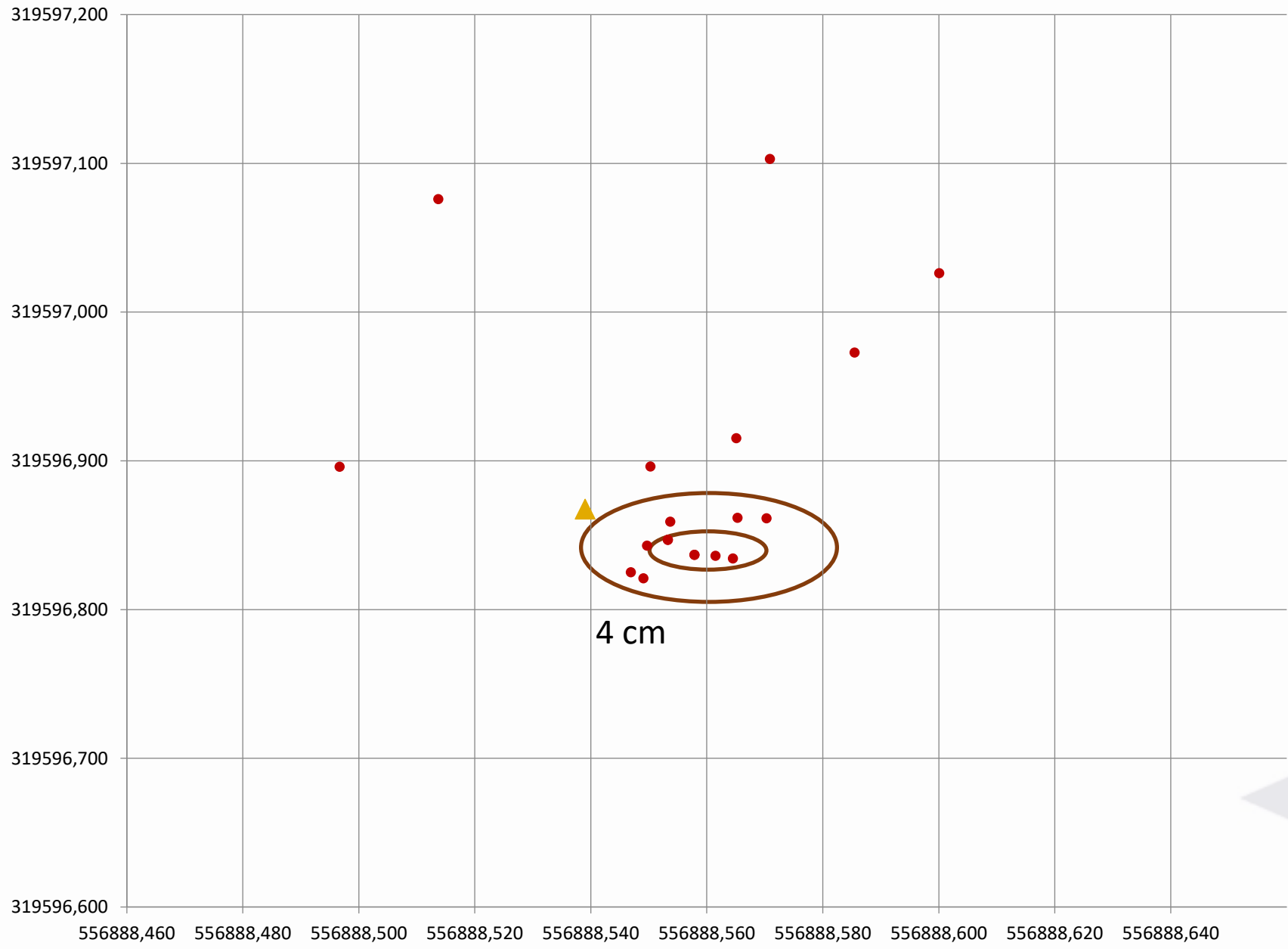




CARLSON  
ACADEMY

- A
- ▲ MALPILS

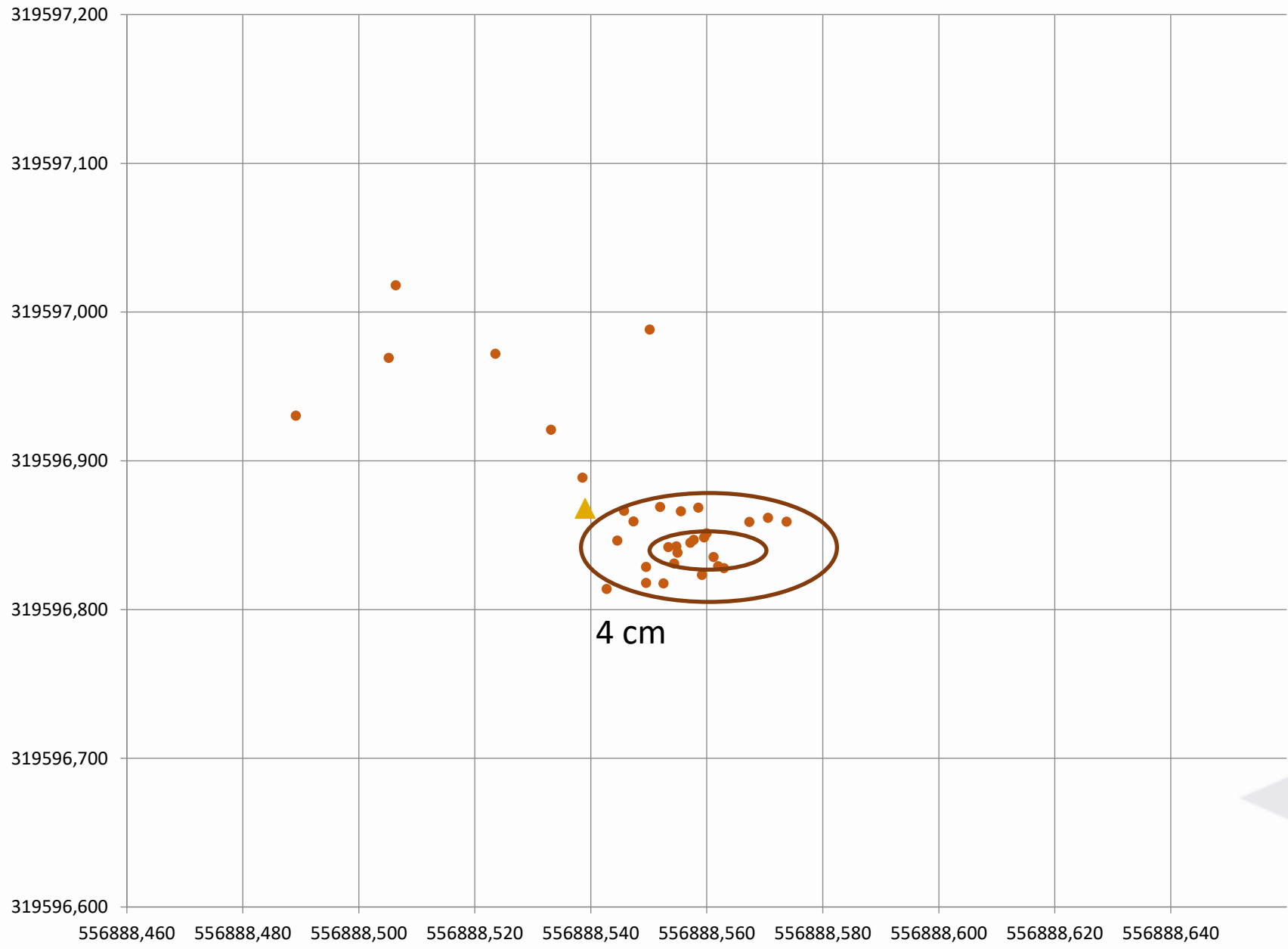


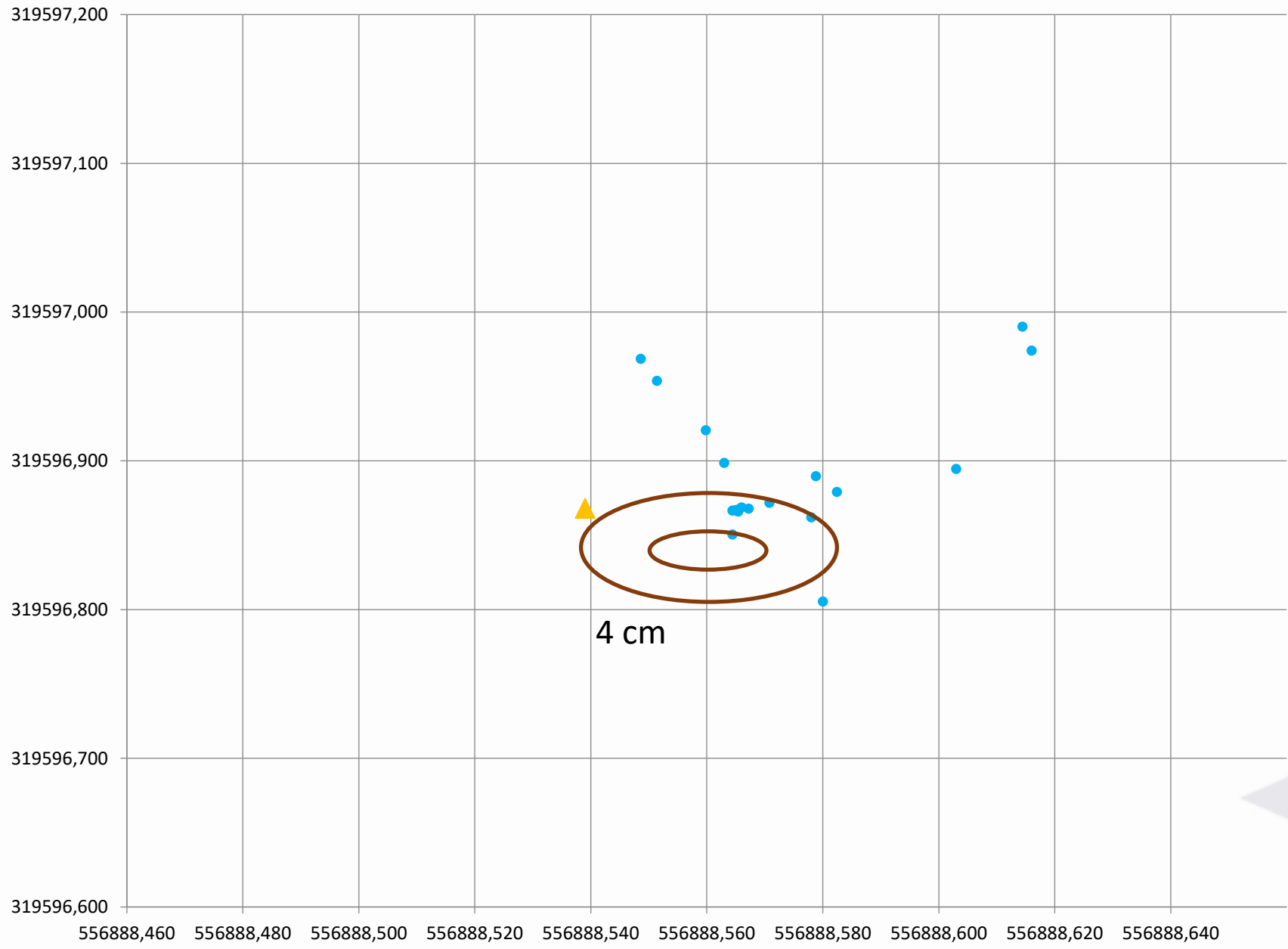


● B  
▲ MALPILS

ACADEMY  
CARLSON

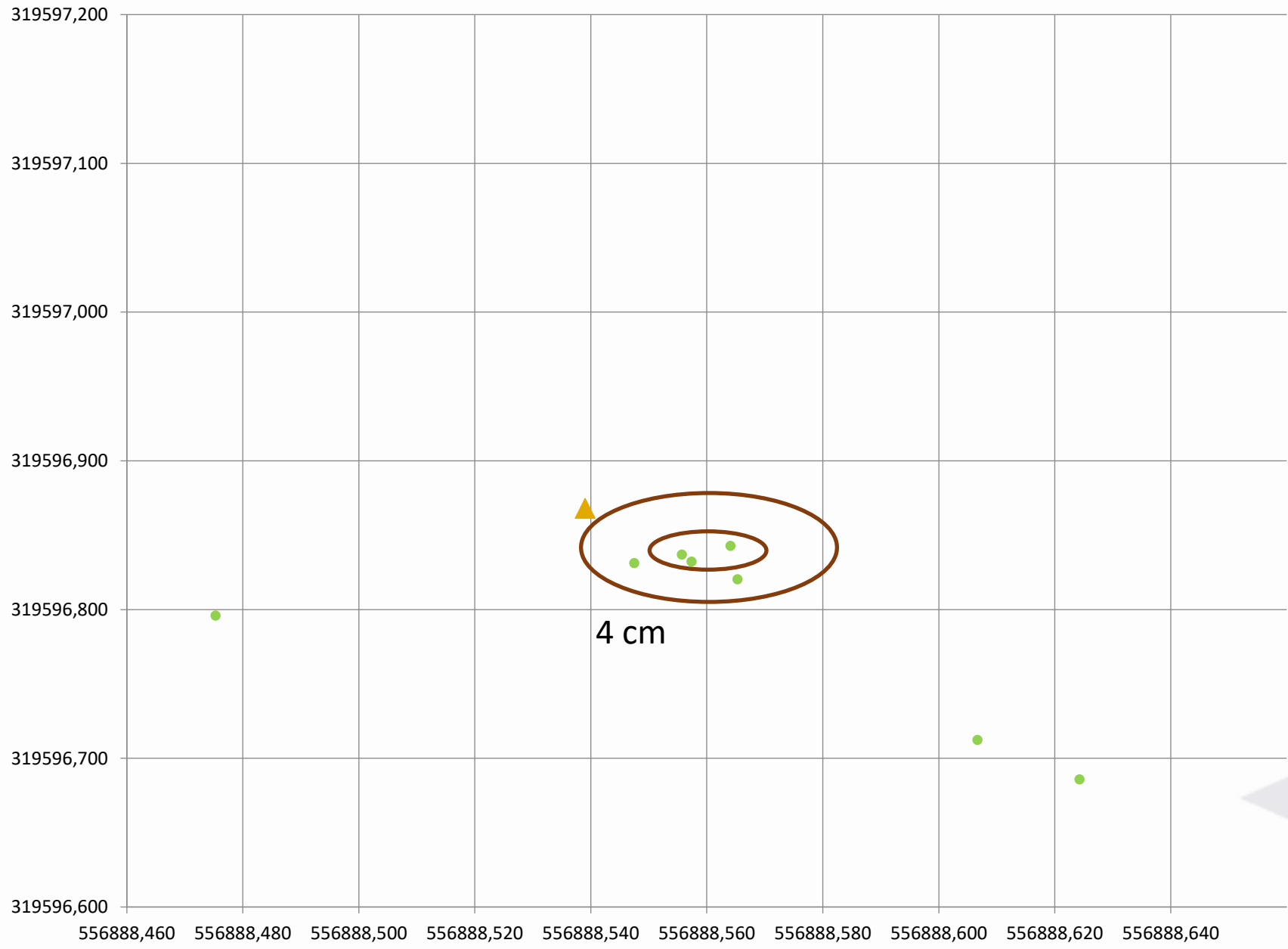






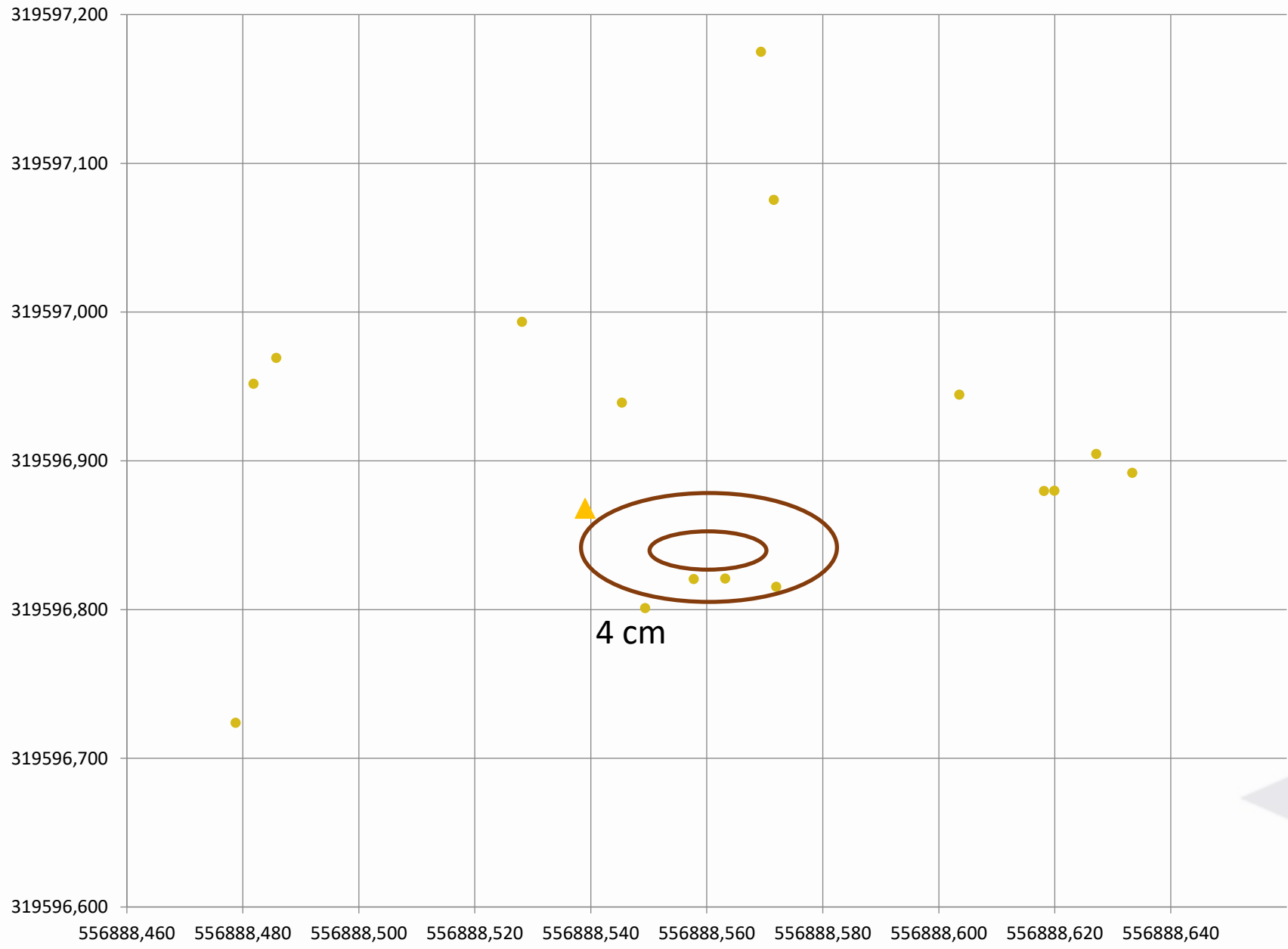
ACADEMY  
CARLSON





ACADEMY  
CARLSON





CARLSON  
ACADEMY



319597 200



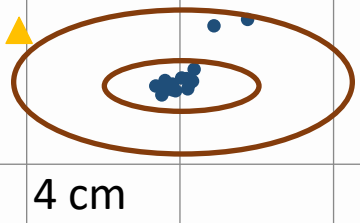
319596,900

319596,800

319596,700

319596,600

556888,460 556888,480 556888,500 556888,520 556888,540 556888,560 556888,580 556888,600 556888,620 556888,640

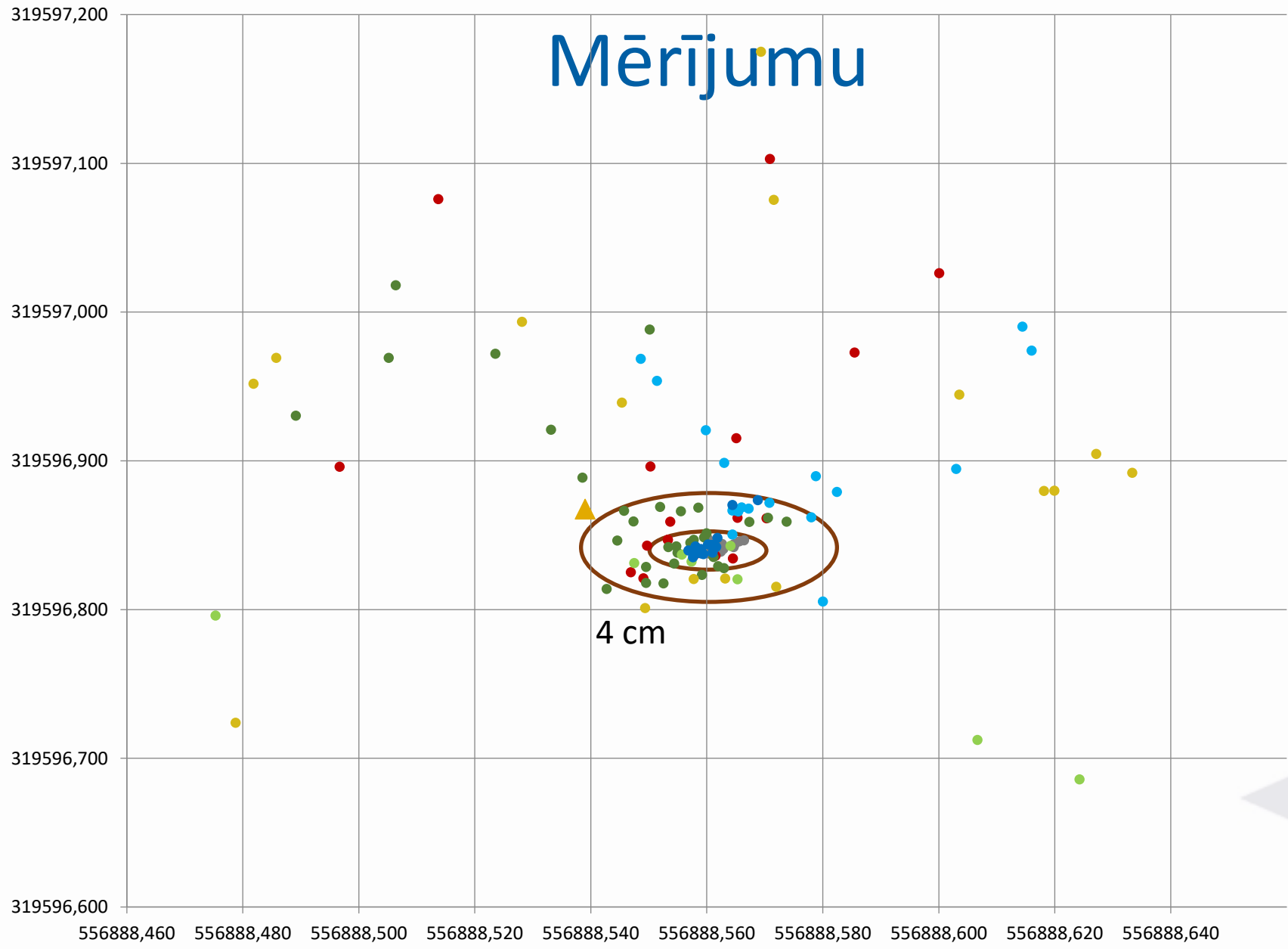


- G
- ▲ MALPILS

CARLSON  
ACADEMY







ACADEMY  
CARLSON

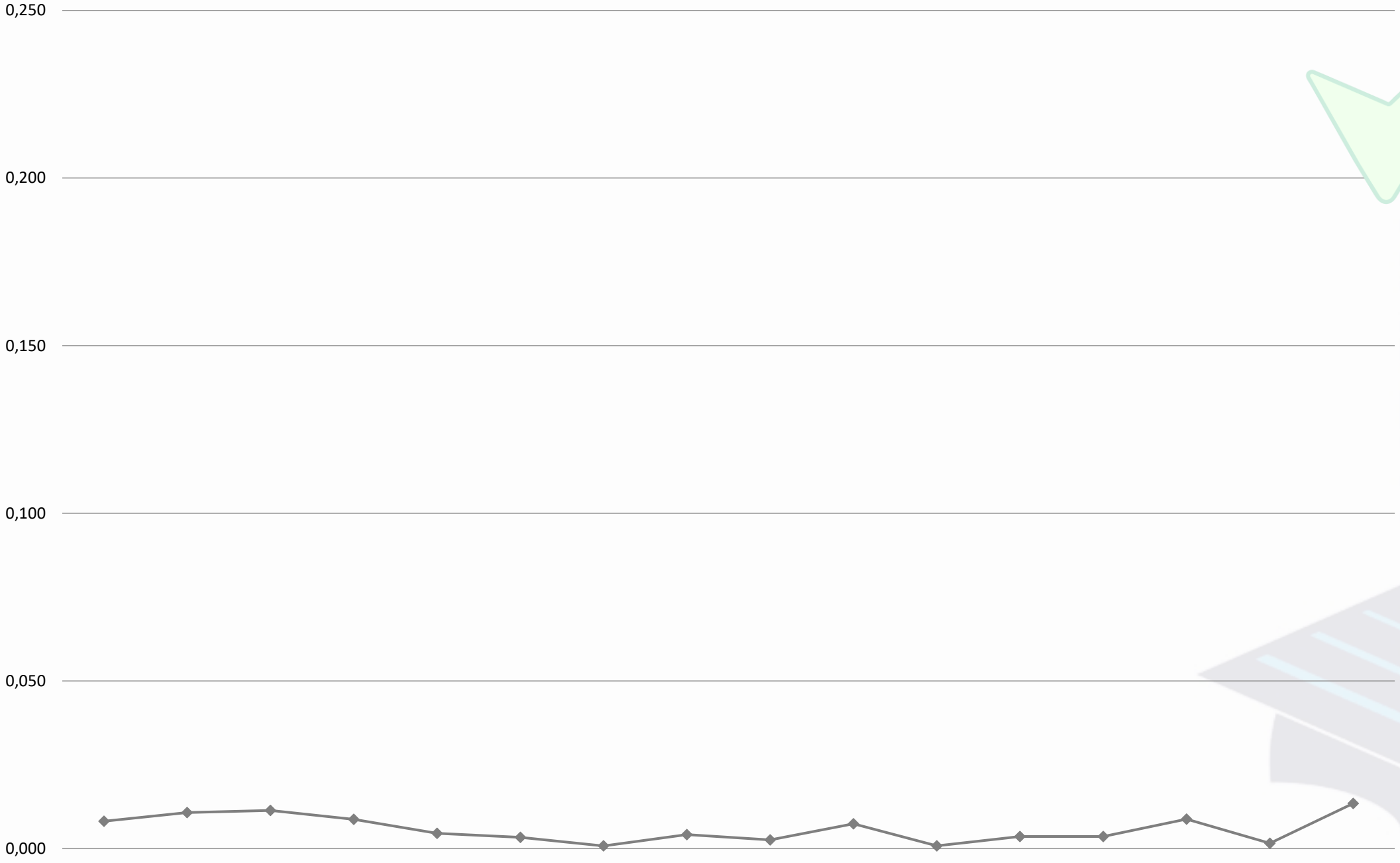


# Atkārtojamība Vertikāli

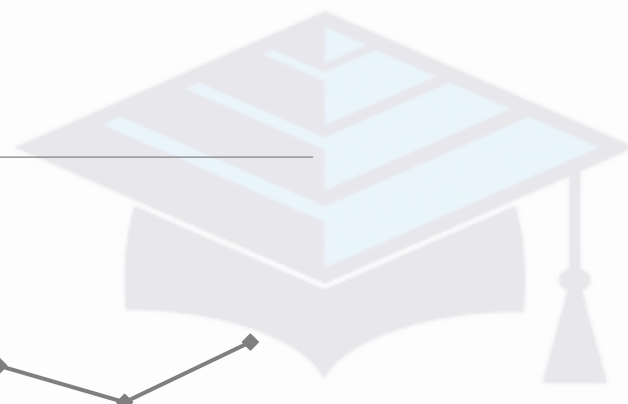
CARLSON  
ACADEMY



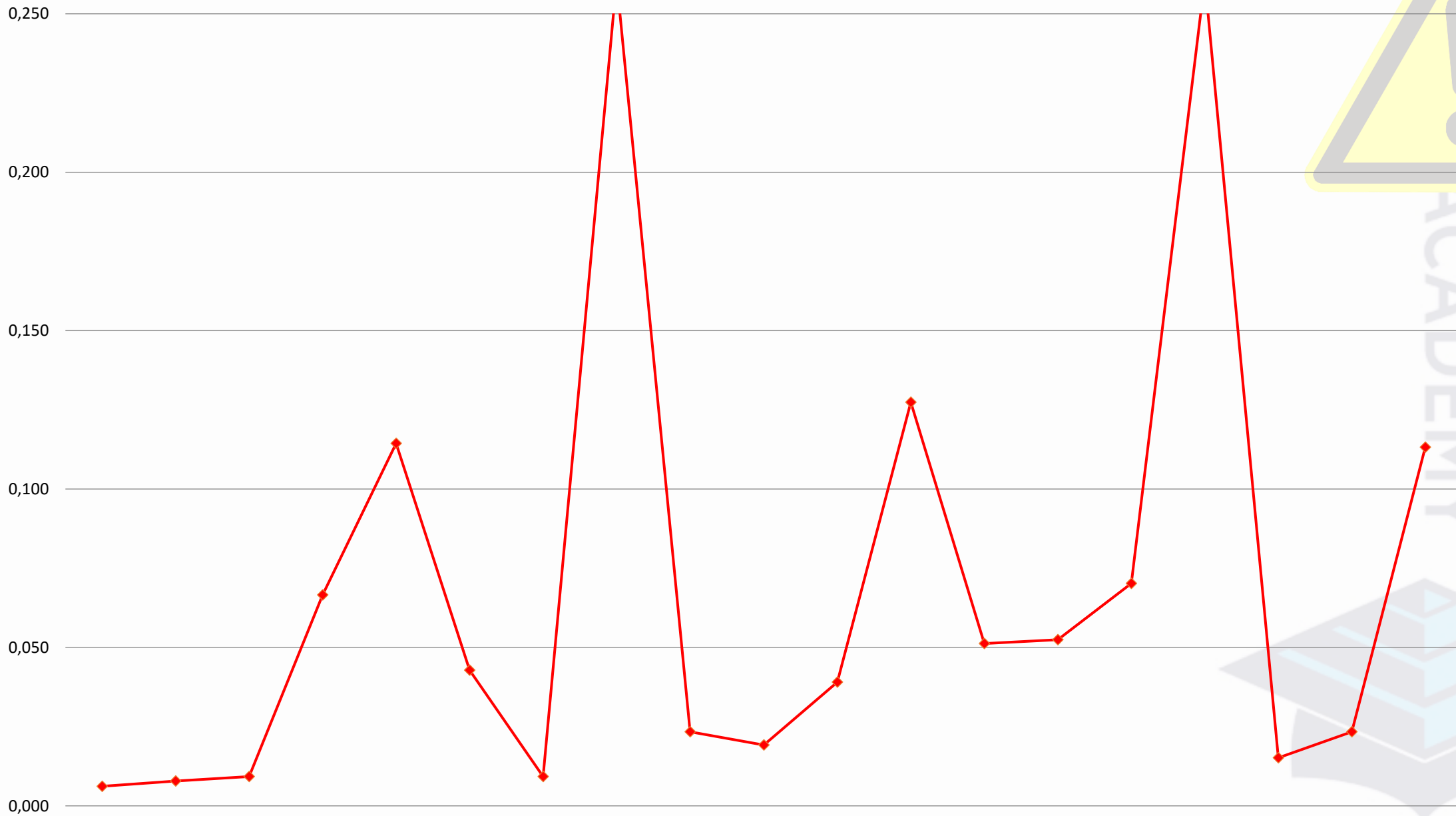
**A**



CARLSON  
ACADEMY



**B**

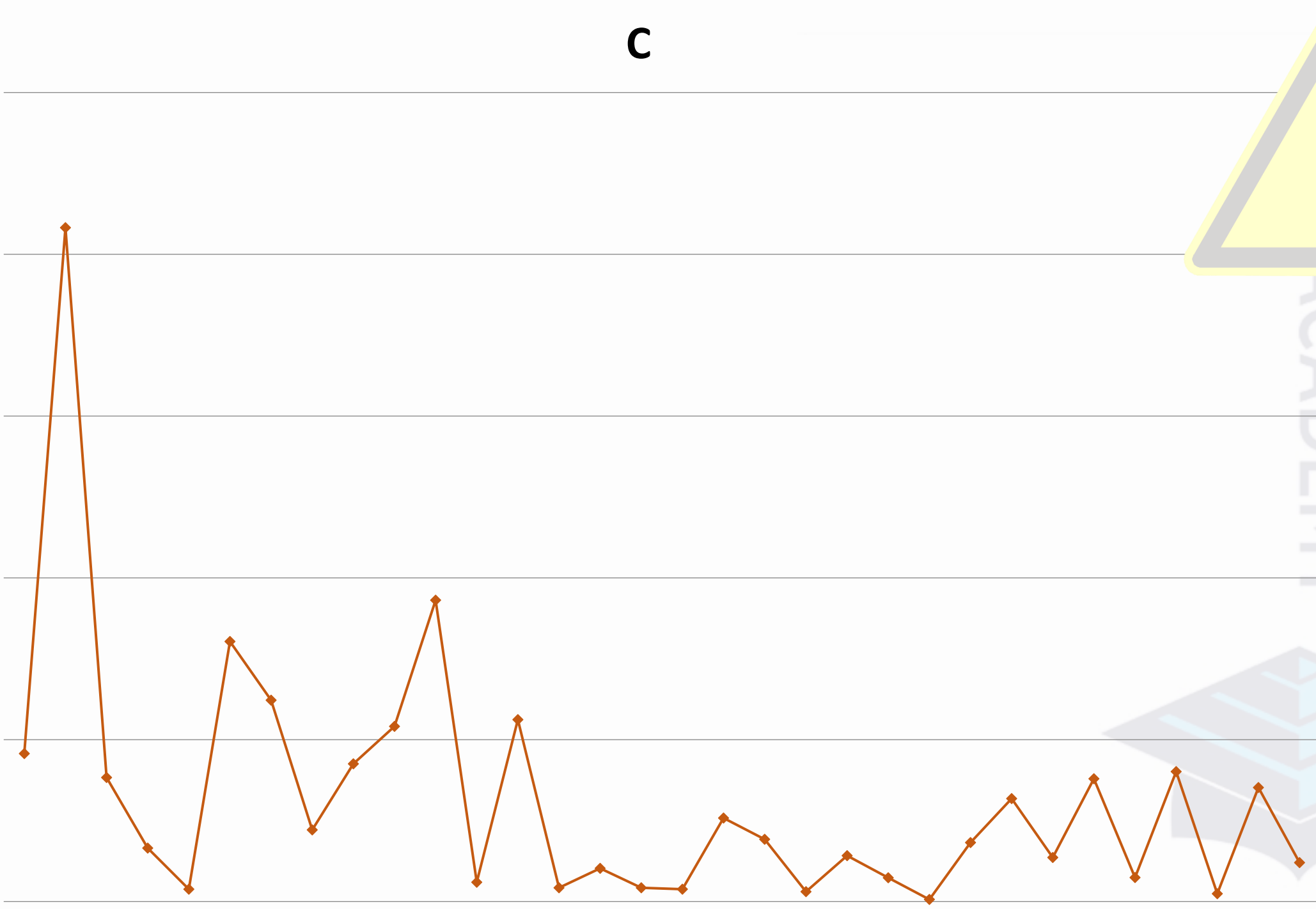
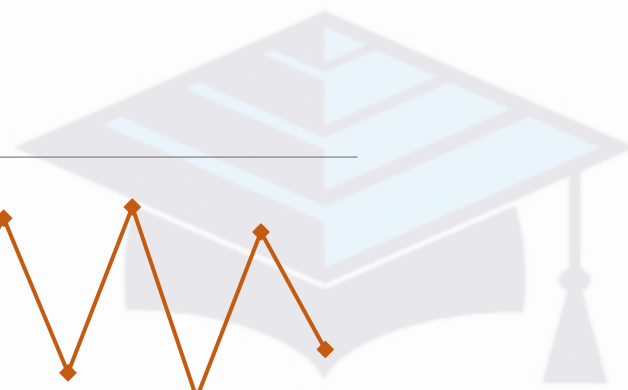


C

0,250  
0,200  
0,150  
0,100  
0,050  
0,000

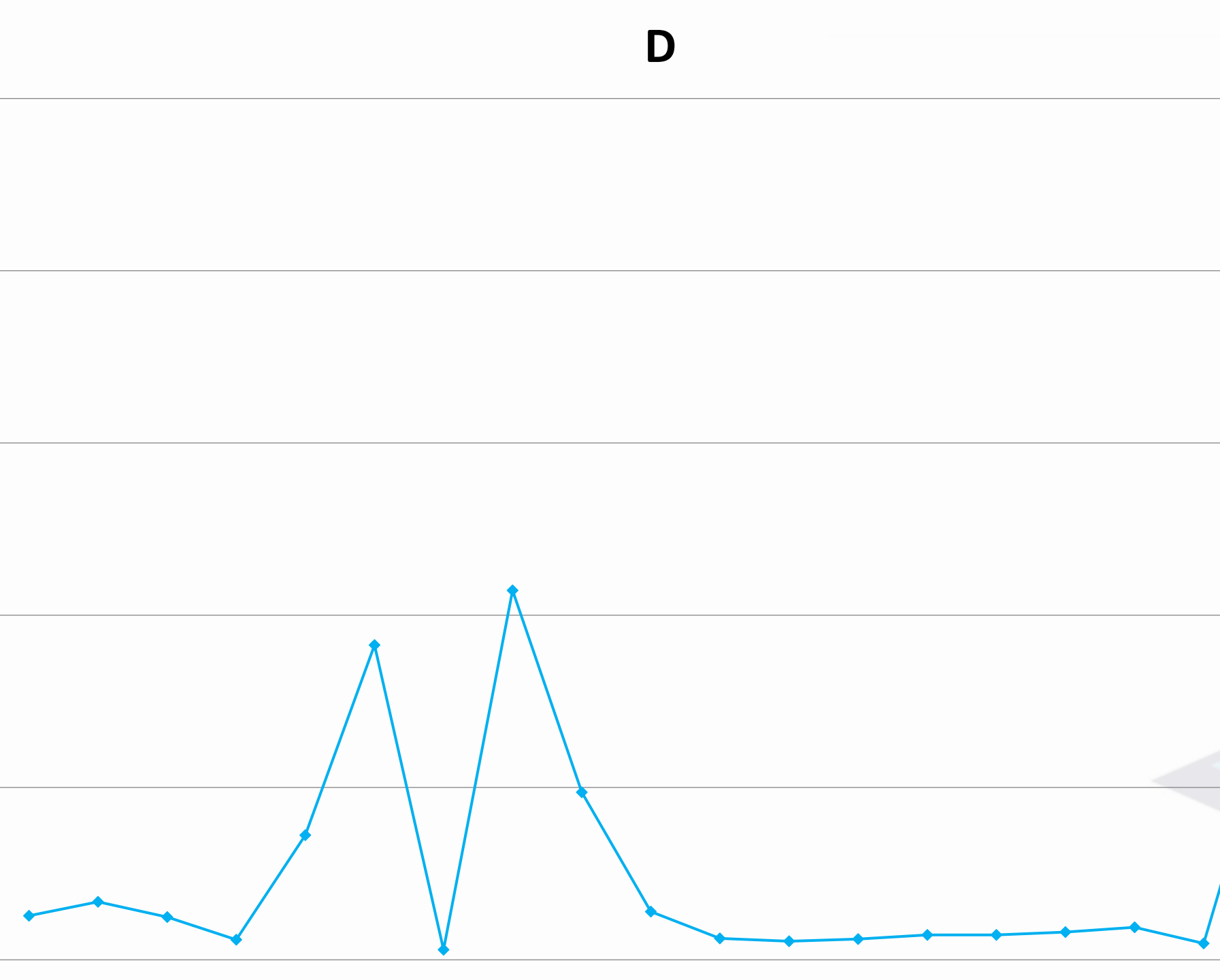
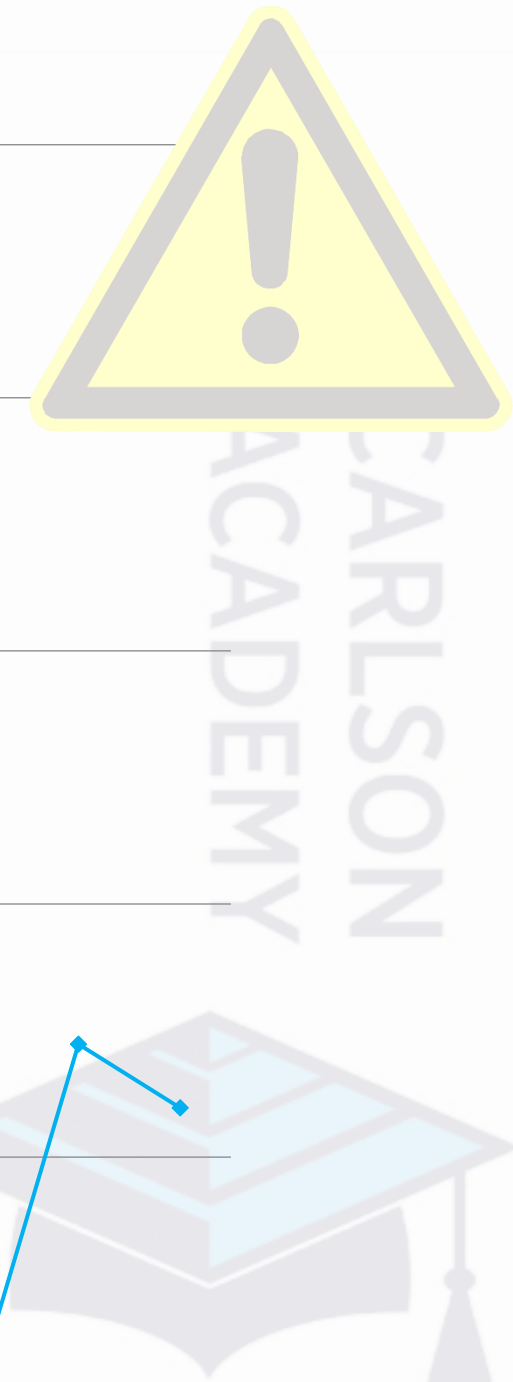


ACADEMY  
CARLSON

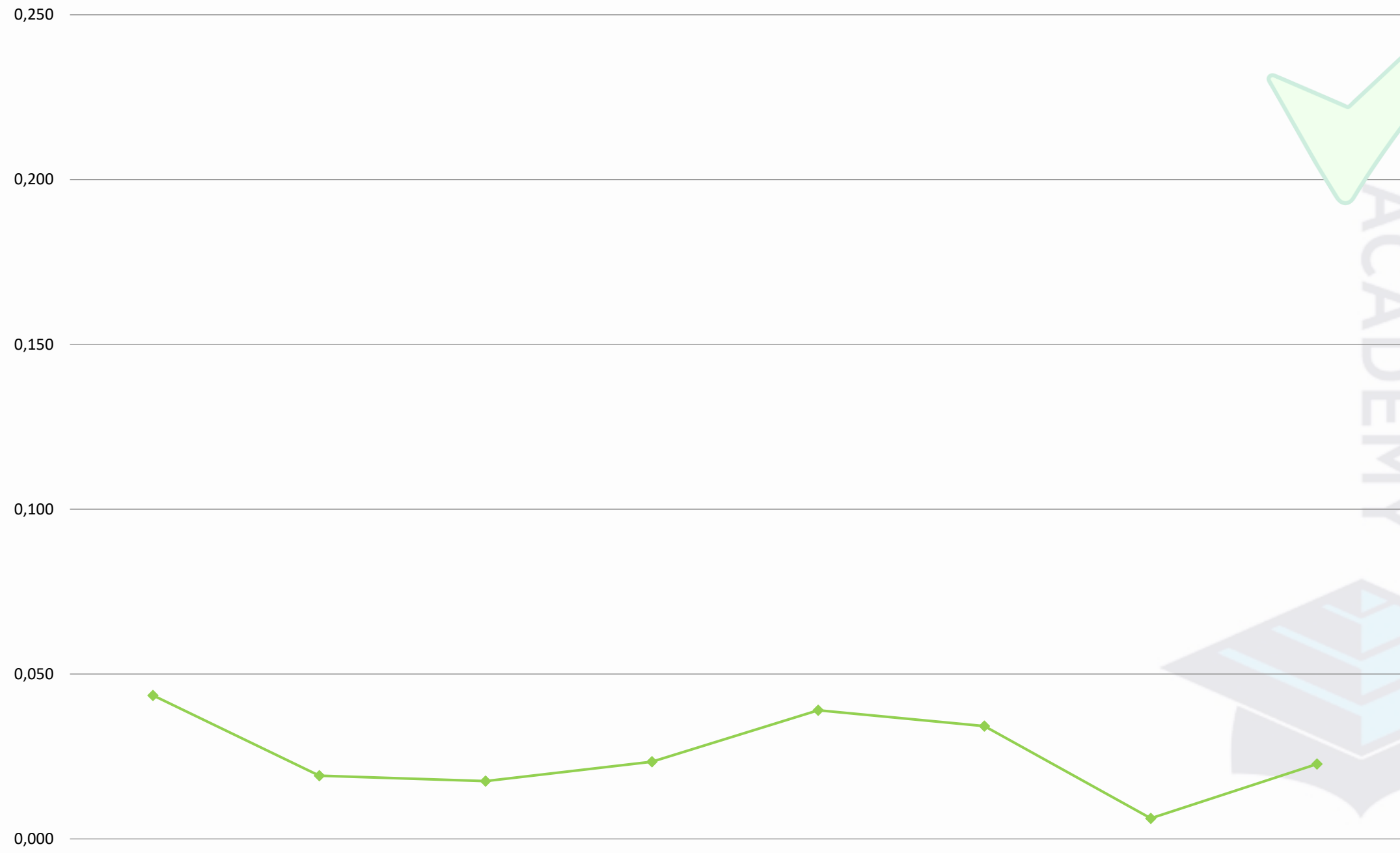


D

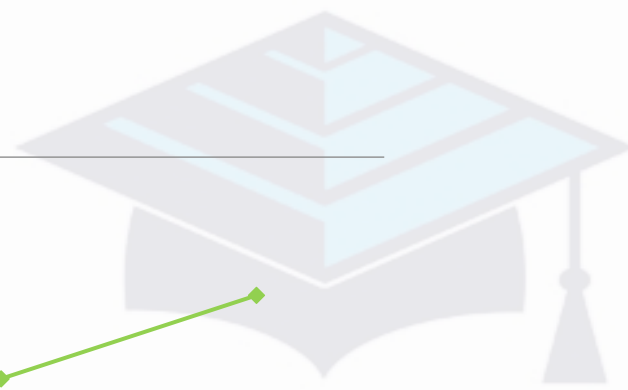
0,250  
0,200  
0,150  
0,100  
0,050  
0,000



E

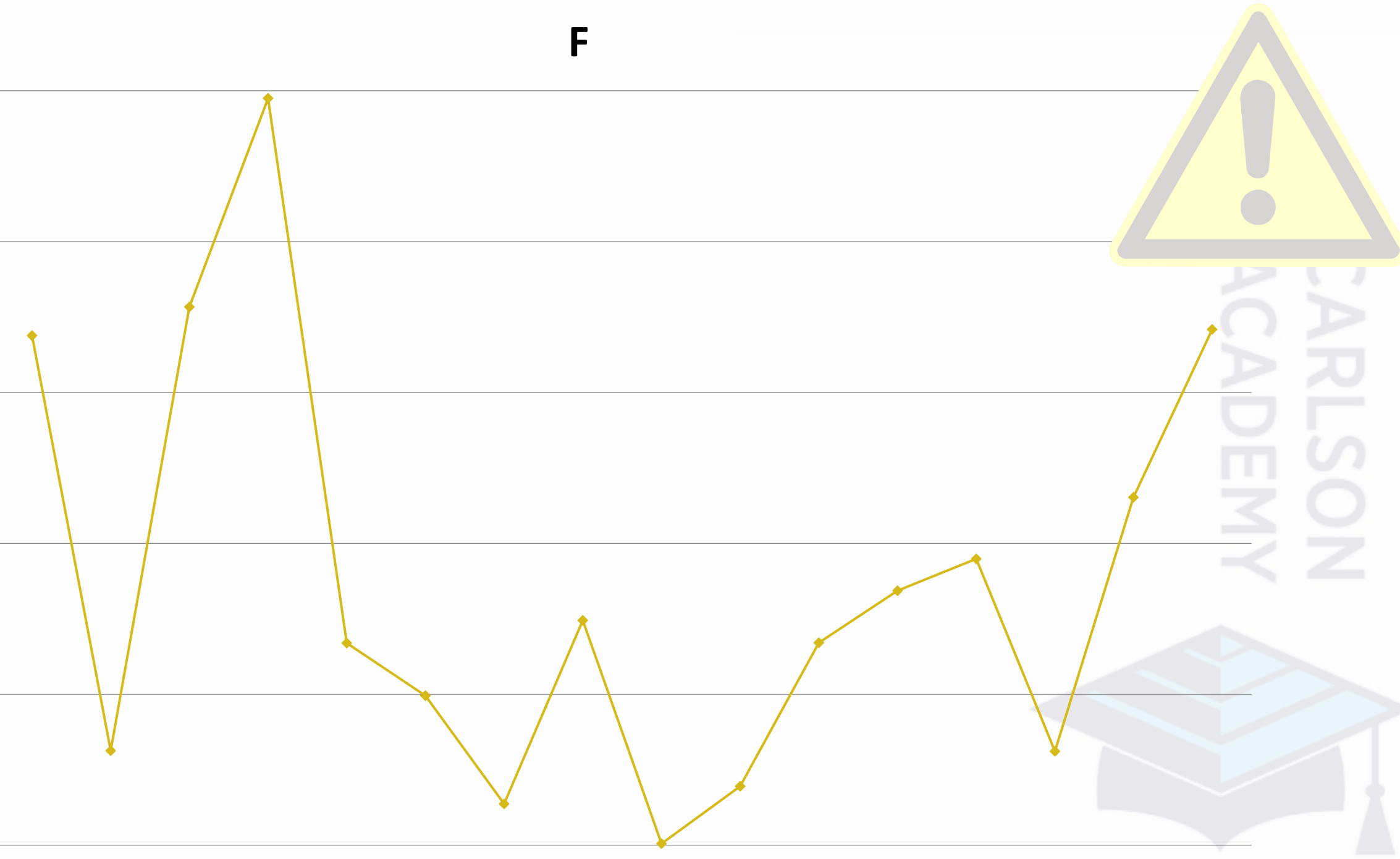


CARLSON  
ACADEMY

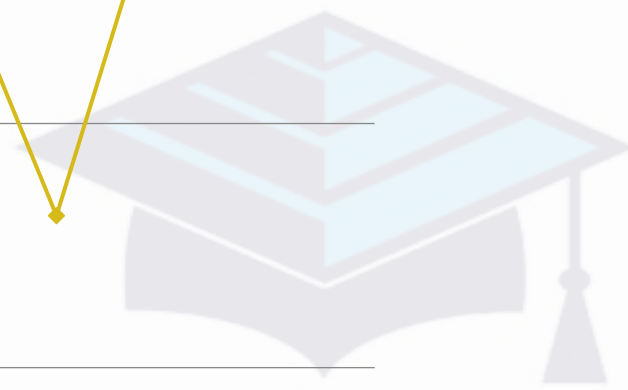


F

0,250  
0,200  
0,150  
0,100  
0,050  
0,000



CARLSON  
ACADEMY





G



CARLSON  
ACADEMY



0,150  
0,100  
0,050  
0,000



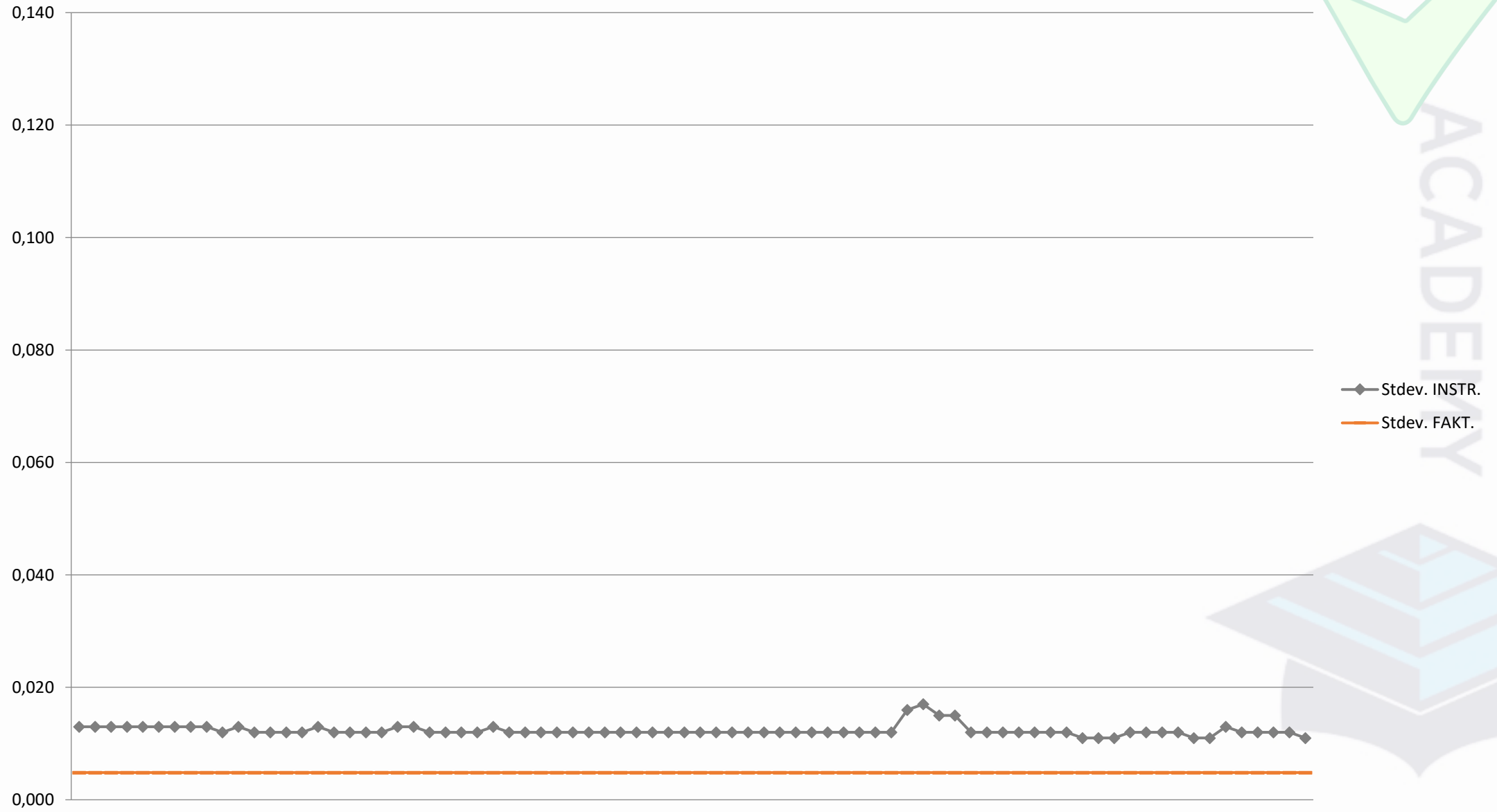
Horizontālās Pozīcijas  
precizitāte

Instrumentā saglabātā pret  
faktisko

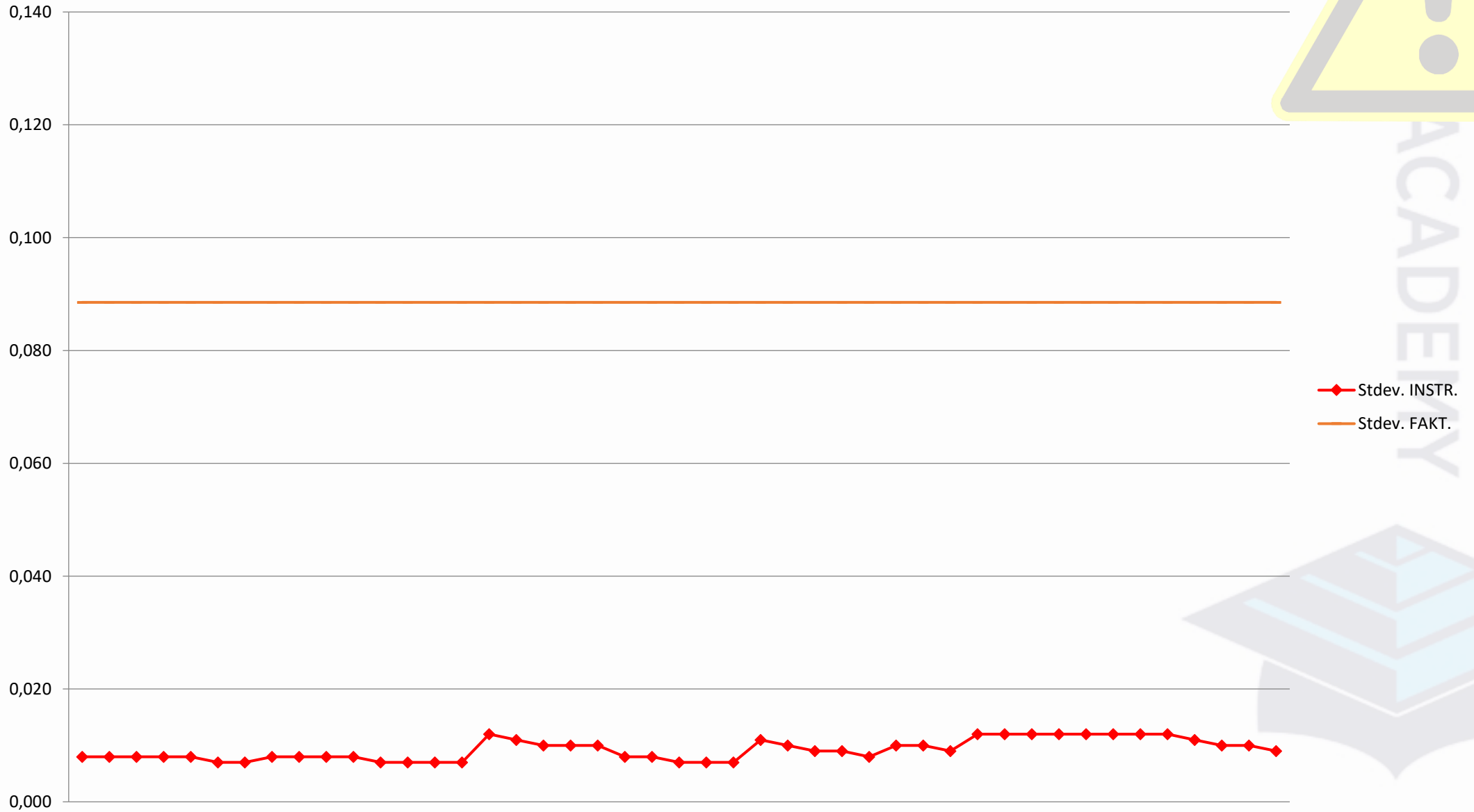
CARLSON  
ACADEMY



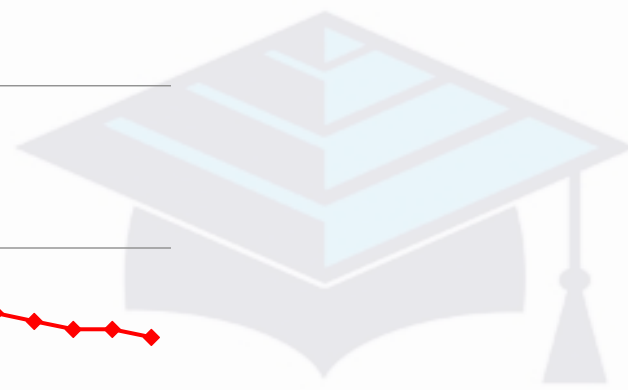
A



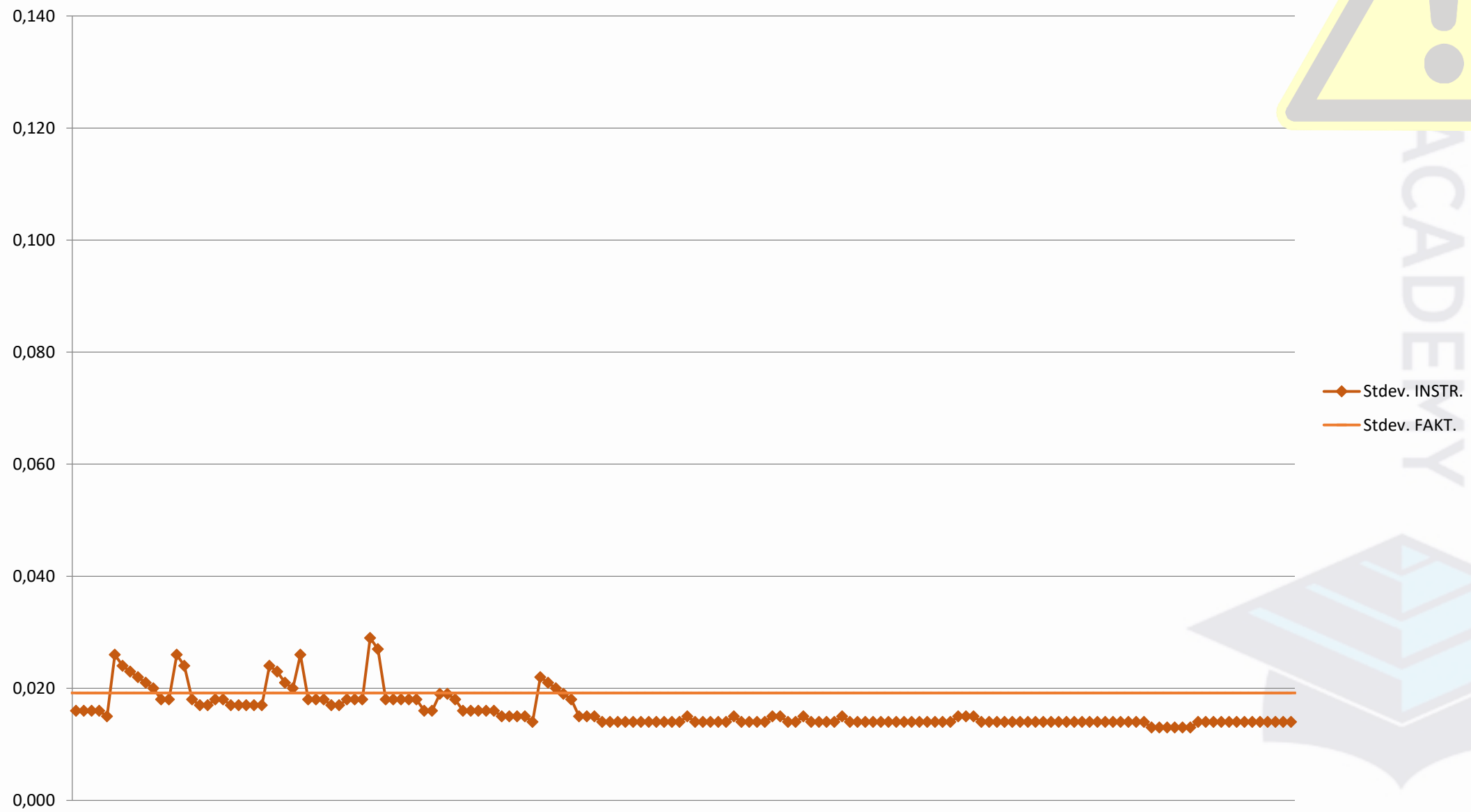
**B**



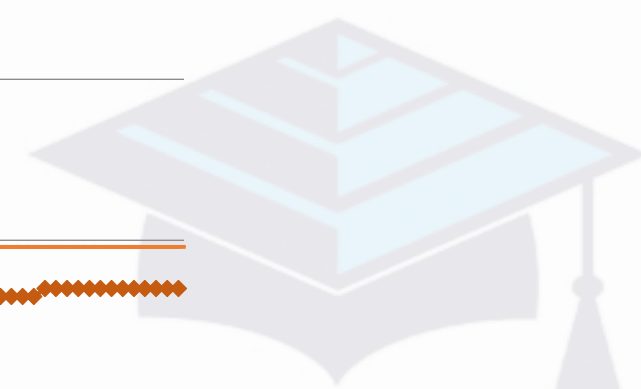
ACADEMY  
CARLSON



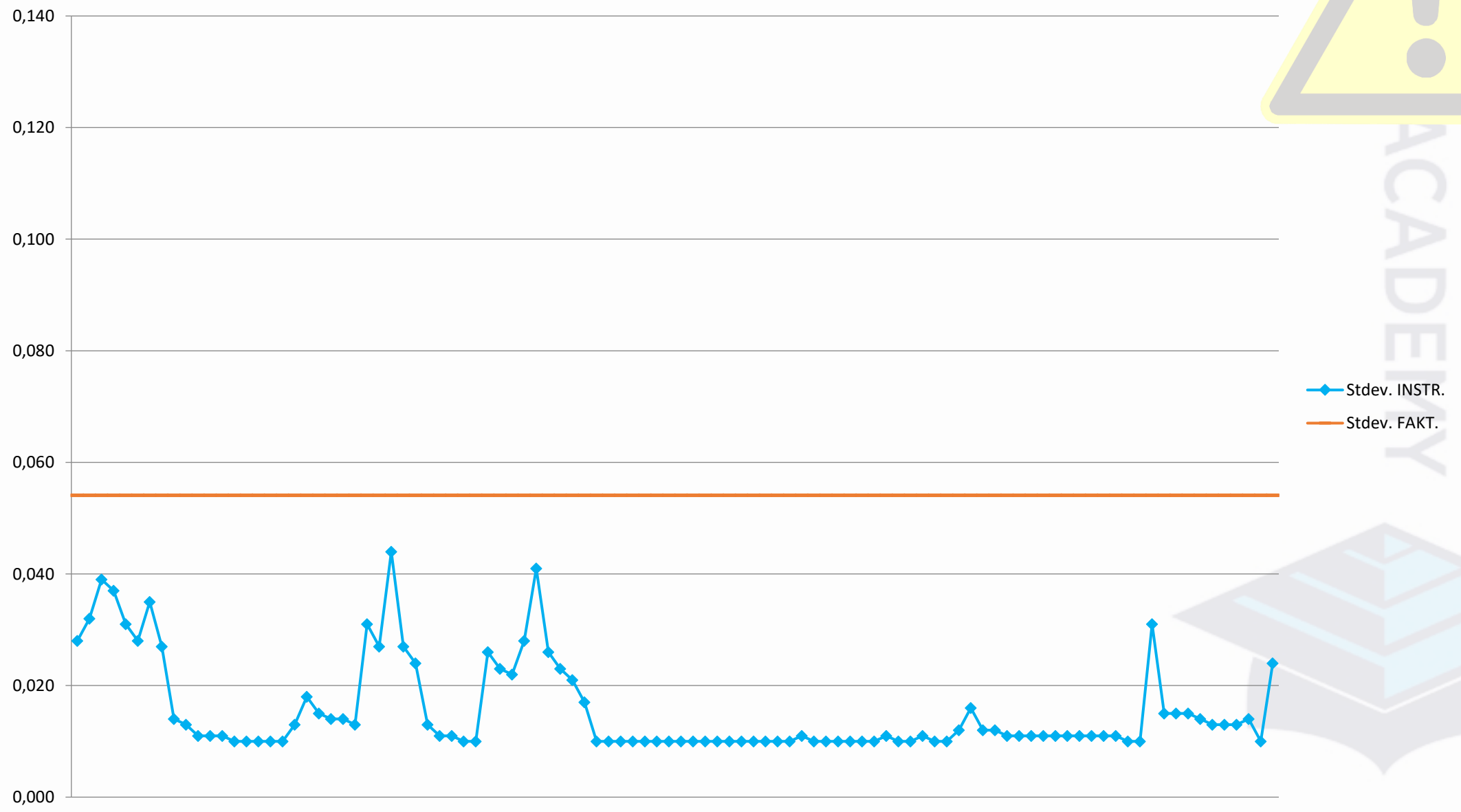
C



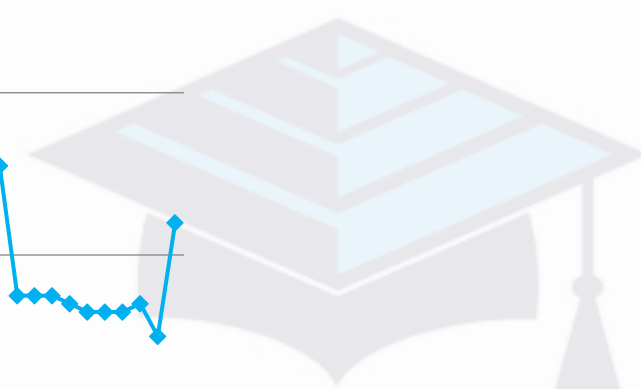
ACADEMY  
CARLSON



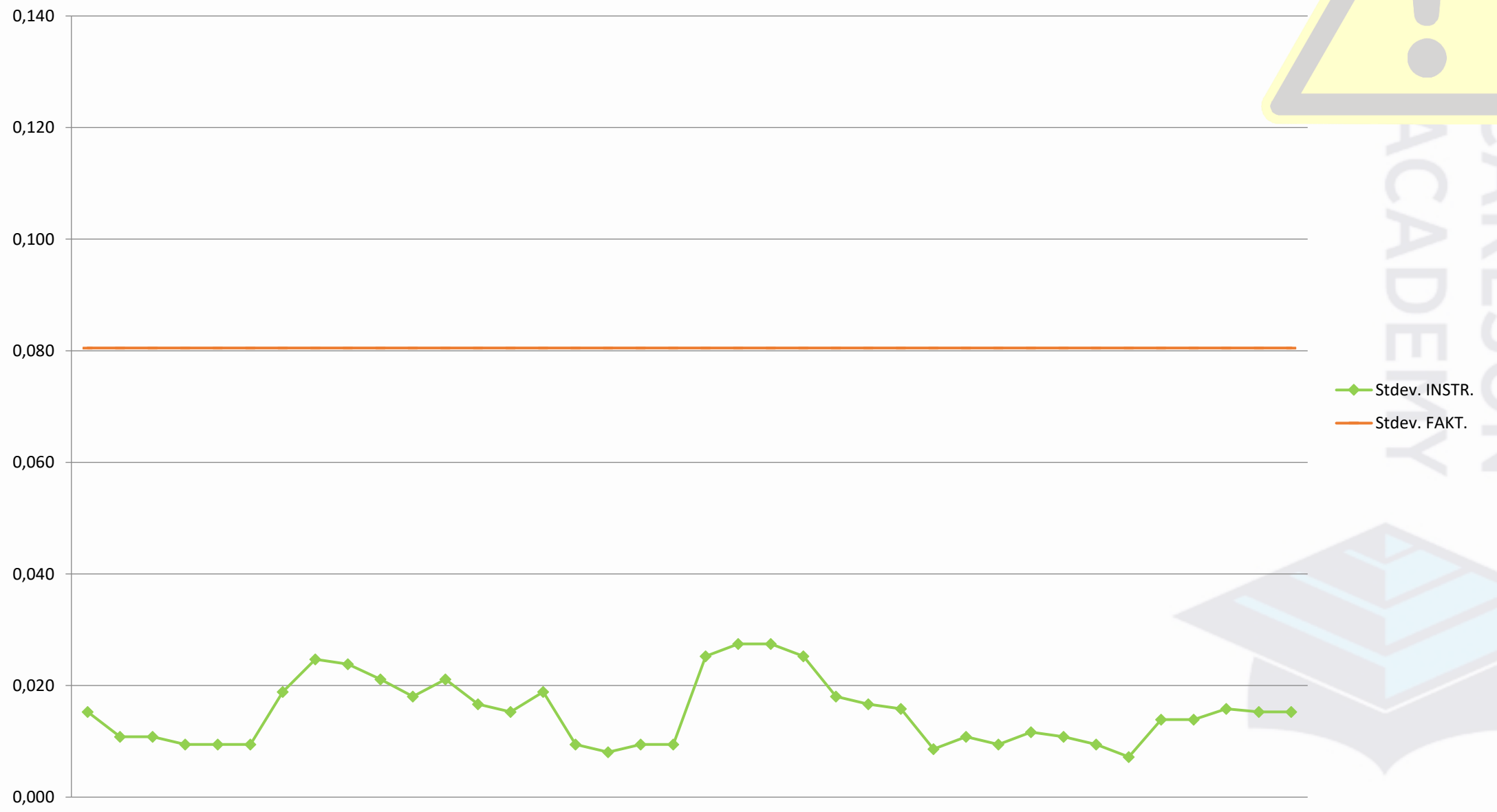
D



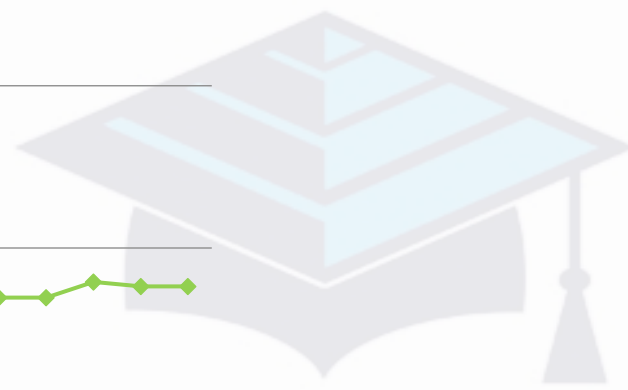
ACADEMY  
CARLSON



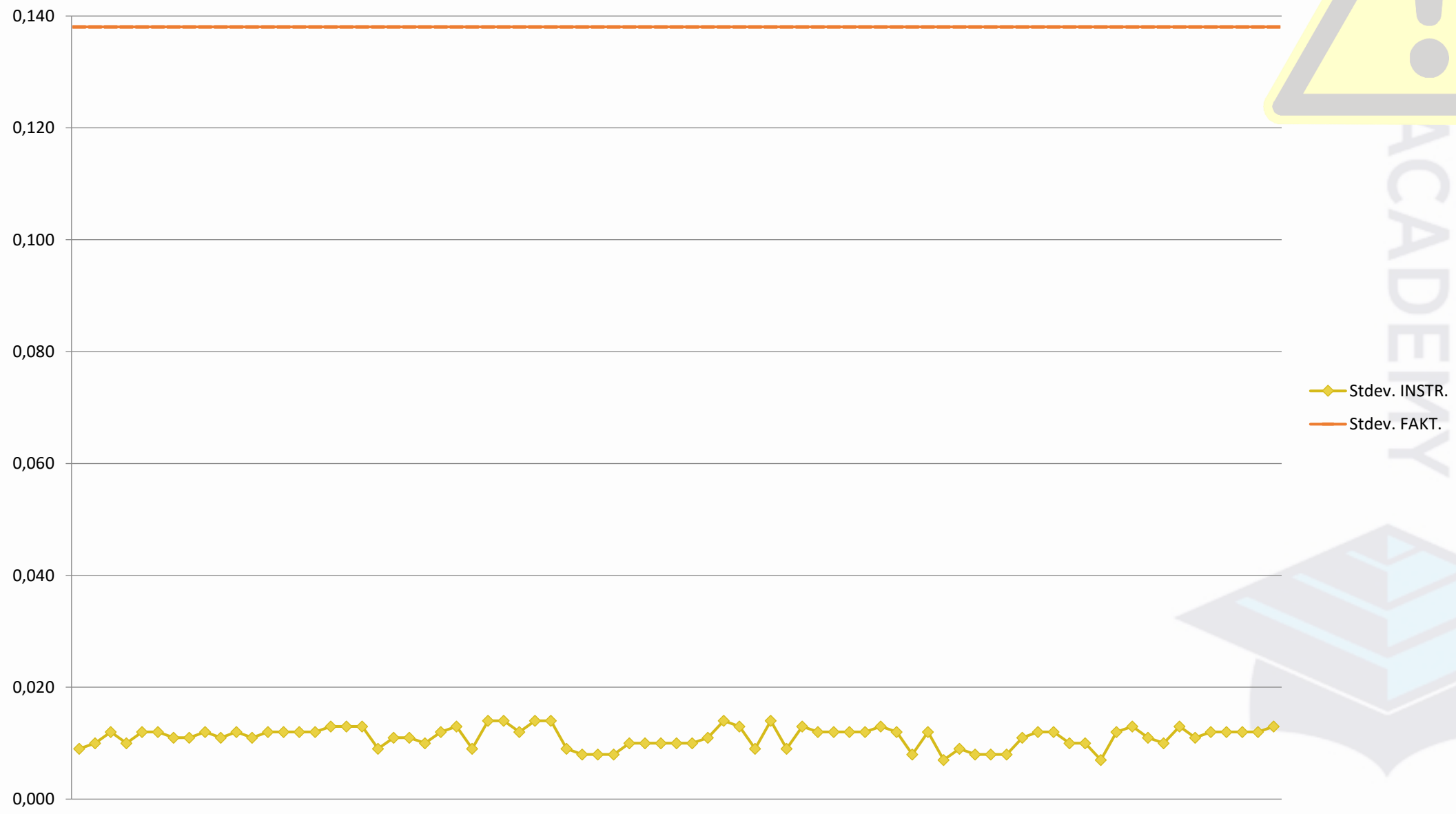
E



CARLSON  
ACADEMY



**F**

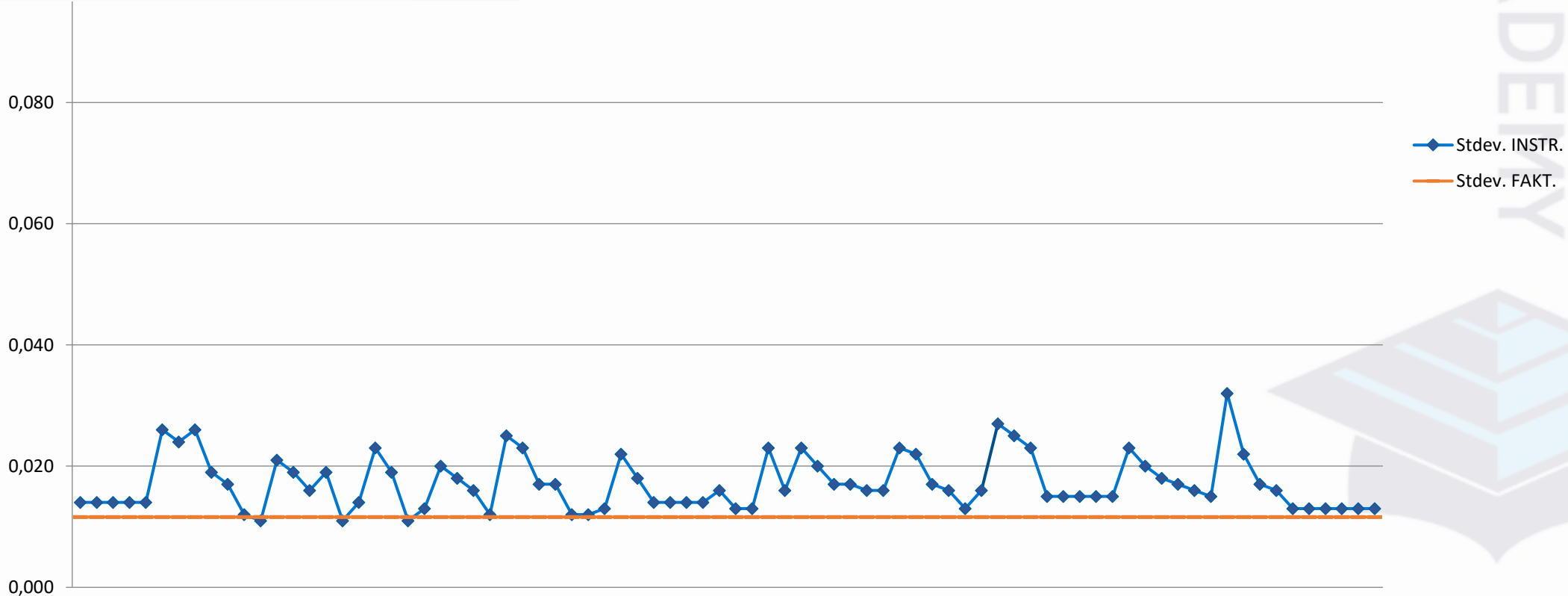
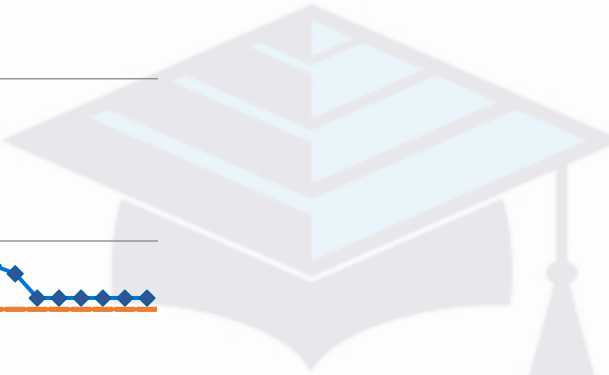




G



CARLSON  
ACADEMY



# Secinājumi

- Jonosfēras aktivitātei ir būtiska ietekme uz GNSS mērījumiem
- Latvijā trūkst aktuāla un detalizēta jonosfēras aktivitātes informācija
- TEC aprēķins no Latvijas GNSS stacijām ir svarīgs priekšnosacījums ģeodēzisko darbu plānošanai un datu kontrolei
- Divi uztvērēji ar izvēlēto metodiku Mālpilī uzrādīja specifikācijām atbilstošu veiktspēju, jonosfēras traucējumu noturību, un teicamu atkārtotamību



# JAUTĀJUMI?

[www.carlsonsw.lv](http://www.carlsonsw.lv)



**PIEVIENOJIES  
ZINĀŠANĀM:**

**CARLSON  
ACADEMY**



**LATVIJA**