



# Zkušenosti s výpočtovým sledováním spalného tepla v plynárenských sítích

Martin Stýblo

SIMONE Research Group, s.r.o.

PLYN LAB 2026 Podpora a rozvoj biometánu v SR

9.6.2026, Púchov

# Osnova

- Úvod - trocha teorie
- Výpočet spalného tepla pomocí simulace proudění v síti
- Požadavky na výpočtový systém = virtuální měřidlo
- Přepравní a distribuční systémy (VTL, STL/NTL)
- Projekty a zkušenosti z nich
- Spíš než rovnice - obrázky ze života
- Shrnutí

## Biometan a spalné teplo

- Biometan: 95%+ CH<sub>4</sub>...
- Nižší spalné teplo
  - Až o ~10% proti ZP
- Možnosti
  - Karburace na zdroji
  - Zóny?
  - Výpočet po síti
  - Nic není zadarmo...
- Výpočetní rekonstrukce spalného tepla
  - Výpočetní systém = virtuální měřidlo
  - ISO 15112
  - Národní legislativa...
  - Nejistota výsledků a její a-priori odhad
  - Ověření a ověřování



## Denní střední spalné teplo

- Časové středování spalného tepla váženého průtokem
  - Poměr předané energie a objemu za daný čas
  - Za hodinu, plyn. den, měsíc...
- Pro plyn. den  $d$

$$H_d = \frac{\int_{d \text{ 06:00}}^{d+1 \text{ 06:00}} Q(t)H(t)dt}{\int_{d \text{ 06:00}}^{d+1 \text{ 06:00}} Q(t)dt} = \frac{E_d}{Q_d}$$

# Výpočtová rekonstrukce spalného tepla

- Topologie sítě
- Data o dodávkách
  - Průtoky
  - Kvalita dodávaného plynu (hutnota, spalné teplo,...)
- Data o odběrech
  - Průtoky
- Měření - tlaku, případně průtoku
- Řízení sítě
  - Setpointy regulátorů uvnitř sítě...
  - Manipulace s uzavěry...
- Hodinový krok vstupních dat
- Denní takt výpočtů - po plyn. dnech
- Rekonstrukce stavu (běh modelu v reálném čase)
- Ex-post zpracování
  - Vstupní data nemusí být dostupná on-line
  - Finální data po skončení měsíce...
- **Denní střední spalná tepla na odběrných uzlech**

# Aplikace

- Vysokotlaké sítě
  - Přepravní systémy
  - Páteřní distribuční systémy
  - Data „dostupná“?
  - Odběry - regulační stanice
- Příklad
  - Biometanové stanice připojené k VTL
  - Lokální těžby
- Distribuční sítě
  - STL a NTL
  - Převaha malých odběratelů jen s ročními odečty
- Motivace
  - Biometanové stanice připojené k STL

## Realizace

- GasNet - projekt „SIMONE Online“
  - Rekonstrukce spalného tepla na VTL
  - Motivováno biometanem, během prací i začlenění H<sub>2</sub> blendu
- Evida (DSO, Dánsko)
  - Rekonstrukce spalného tepla na VTL, STL i NTL dohromady
  - Biometan do STL, reverzní toky (komprese do VTL a až do TSO)
- SmartInject (Praha) - TAČR Théta TK03020191
  - Test výpočtů na STL a NTL síti PPD v 10/2023 vč. porovnání se vzorky
    - C<sub>2</sub> jako marker biometanu

# Zkušenost 0 - jak na počítání spalného tepla

- Organizace přepočtů plyn. dní za sebou
  - Ponechat možnost detailního pohledu přes HMI simulátoru
  - Zajistit archivaci finálního přepočtu
- Návaznost modelů sítí - změny topologie
  - Zajistit přenos stavu ze sítě do sítě
  - Zajistit možnost rozumné inicializace, když je přenos stavu obtížný
- Z povahy dat je výpočet ex-post a vstupní data budou kompletní až na konci měsíce
  - Předběžný běh den po dni co nejdříve - kvůli diagnostice a manuálním vstupům
  - Finální zpracování celého měsíce na kompletních a validovaných datech v prvních dnech následujícího měsíce



# Zkušenosti 1 - Data, data, data...

- **Shromáždění vstupních dat může být složitější, než se zdá**
  - Více zdrojových systémů, nepředvídatelné okolnosti a souvislosti
    - SCADA, vyčítání průtokoměrů, průmyslové odběry...
- **Manipulace na síti**
  - Manuální - nutno nastavit správně procesy sdílení informací
    - Je třeba pokrýt provoz, mimořádnosti i stavební akce...
- **Data o řízených prvcích a měřeních průtoků v nich mohou být nespolehlivá**
  - Výpočet o tom musí vědět
    - Informace, podle které se musí upravit nastavení regulátorů ve výpočtu
- **Modely spotřeby maloodběratelů - jsou nespolehlivé, ale musíme s tím žít**
  - Potřebujeme navázat výpočet na odečty jako legální vstupní data
  - Jakkoli sofistikovaný model se odchyluje od reality, zejména mimo topné období
    - Hodinové korekce až od 50 do 200 %
  - Nezbyvá, než renormovat na známý nátok do bilancovatelné oblasti minus měření odběratelů
    - STL síť napájená měřenými průtoky v RS

## Zkušenosti 2 - Diagnostika

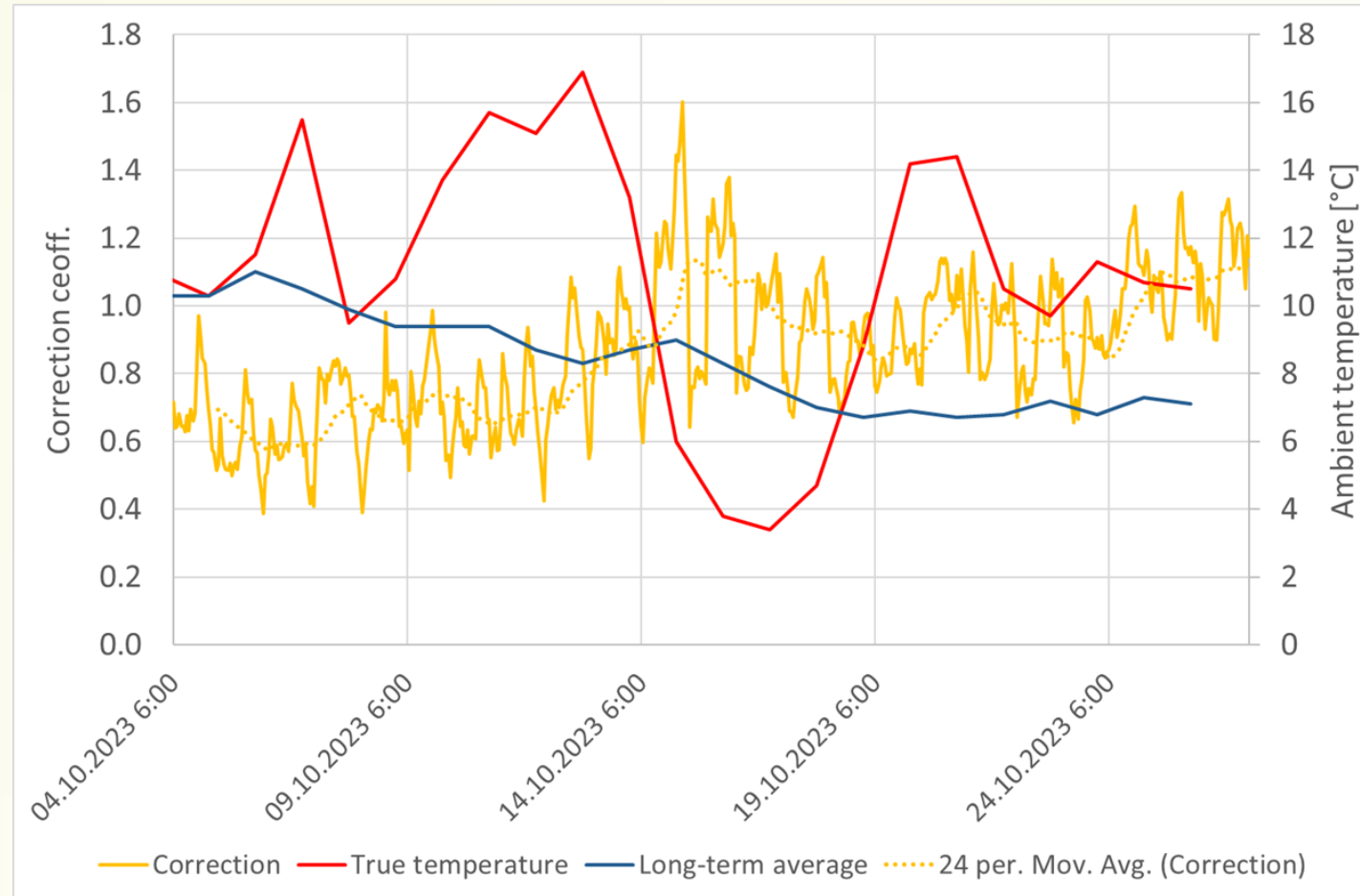
- **Hydraulický kontext je potřeba pro diagnostiku**
  - **Celková bilance (denní...) je nanejvýš podmínka nutná**
    - Nejspíš nebude splněna resp. chyba zůstane nejlépe v rozumném rozsahu 10<sup>0</sup> %
  - **Je třeba posuzovat hydraulické oblasti soustavy**
    - Tam se problém projeví a lze směřovat hledání v datech
    - Vybudovat diagnostické sestavy (tabulky, grafy)
      - *Vytrvat v začátku projektu → ladění vstupních dat a jejich přípravy*
      - *Využití i v rutinním provozu*
- **Ověřování pomocí vzorkování v poli...**
  - Je vhodné mít k dispozici resp. nastavit či propojit s existujícími procesy co nejdřív
  - Trpělivost a diagnostika na začátku projektu
    - Úsilí se vyplatí!
  - Příprava pro legální ověřování
- **Validační algoritmy - mimo vlastní výpočet, ale jsou důležité**
  - **Počítání odhalí to, co dosud nevadilo...**
    - Výpadek přírůstků předaného objemu dohnaný za x hodin velkým hodinovým číslem

# Studie nejistot - Monte Carlo

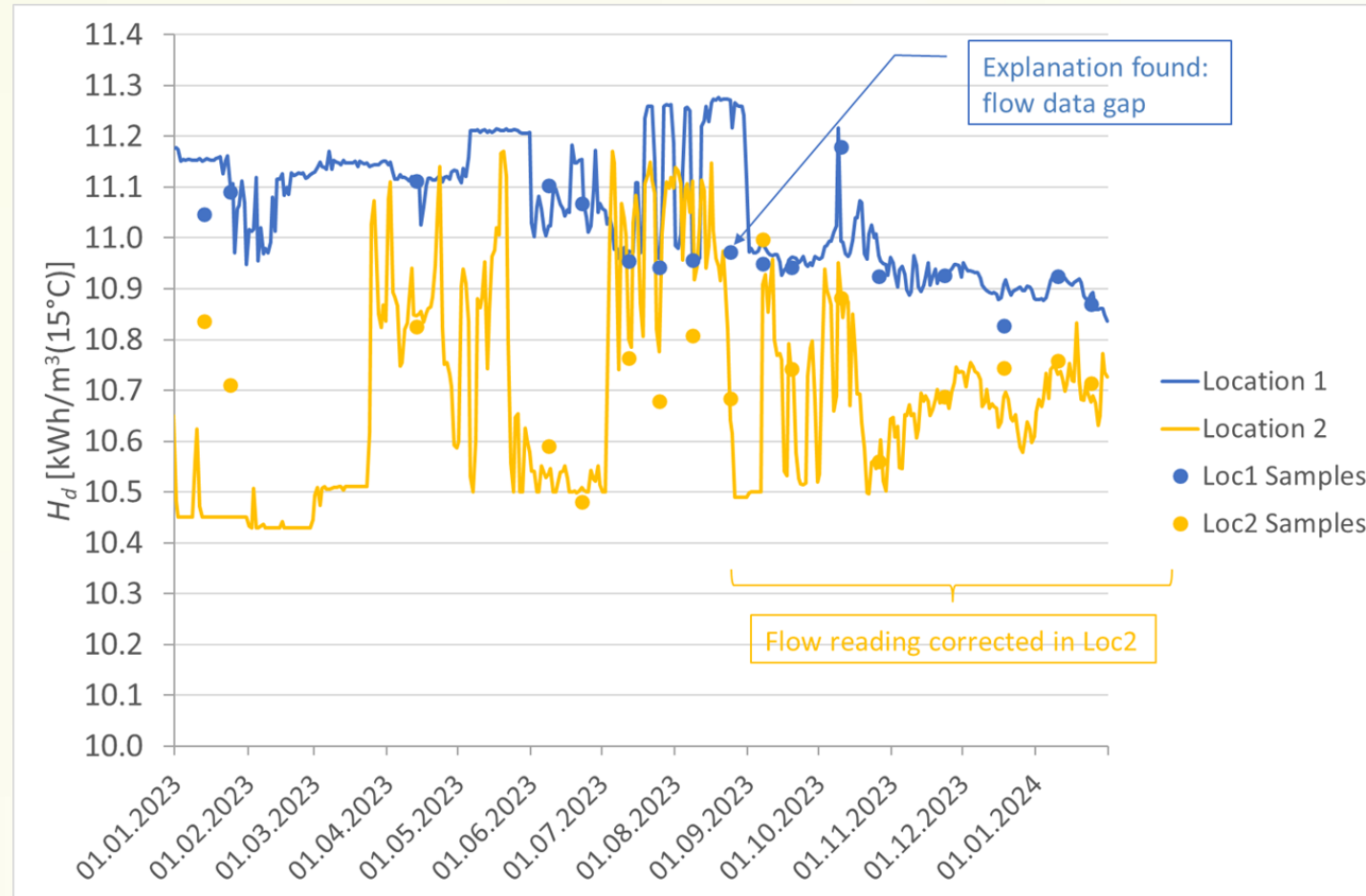
- Jediný způsob, jak získat a-priori odhad nejistot
- Vstupní data
  - Z provozu systému +
  - Vliv očekávatelných vlastností měřidel →
  - Provést  $M$  pokusů
  - Vyhodnotit výsledky  $\bar{H}_d$  (předpoklad  $N()$  rozdělení)
- Zkušenosti:
  - Je třeba vzít období měsíc spíše než týden
  - Dobrá šance na  $u(\bar{H}_d) < 1 \%$
  - Letní nízké zátěže - mohou být časově ohraničená problematická místa... moc malé rychlosti ve velkých trubkách
    - Nejhuř  $u(\bar{H}_m) < 1 \%$

| Quantity        |                        | MPE                                  | Monte Carlo draw $i$                                             |
|-----------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Flow            | $Q_{j,h}$              | 1.0 %                                | $* f_j^i \sim N\left(1, \left(\frac{MPE}{2}\right)^2\right)$     |
| Supply quality  | $d_{j,h}$<br>$H_{j,h}$ | 0.5 %                                | $* f_{j,h}^i \sim N\left(1, \left(\frac{MPE}{2}\right)^2\right)$ |
| Pressure        | $p_{j,h}$              | 0.25 bar                             | $+ f_j^i \sim N\left(0, \left(\frac{MPE}{2}\right)^2\right)$     |
| Temperature     | $t_{j,h}$              | 0.5 °C                               | $+ f_j^i \sim R(-MPE, +MPE)$                                     |
| Ground temp.    | $GT_d$                 | 5 °C                                 | $+ f^i \sim R(-MPE, +MPE)$                                       |
| Heat transfer   | $HTC$                  | 0.5 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> |                                                                  |
| Pipe efficiency | $\eta_p$               | 5 %                                  | $f^i \sim R(1 - MPE, 1 + MPE)$                                   |

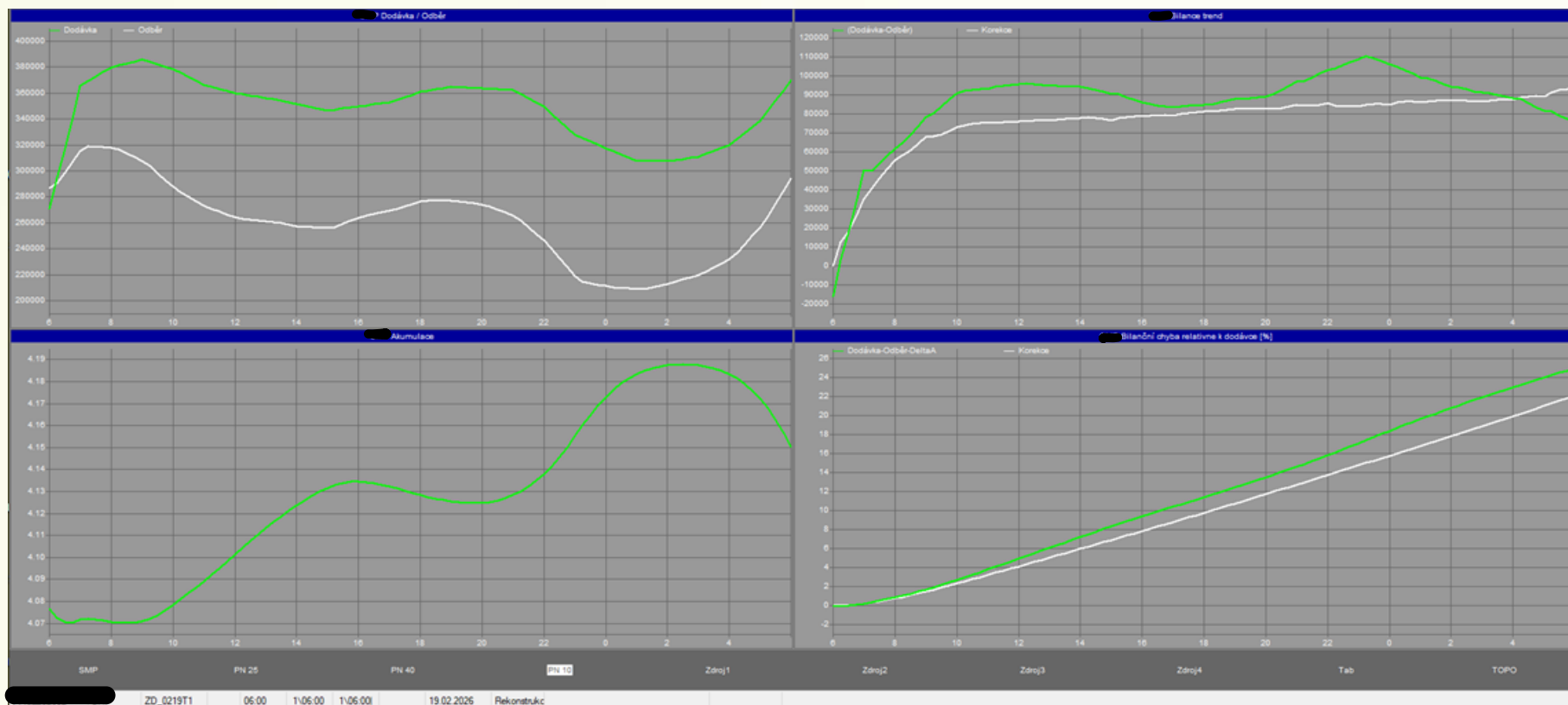
## Obrázky ze života - Model maloodběratelů



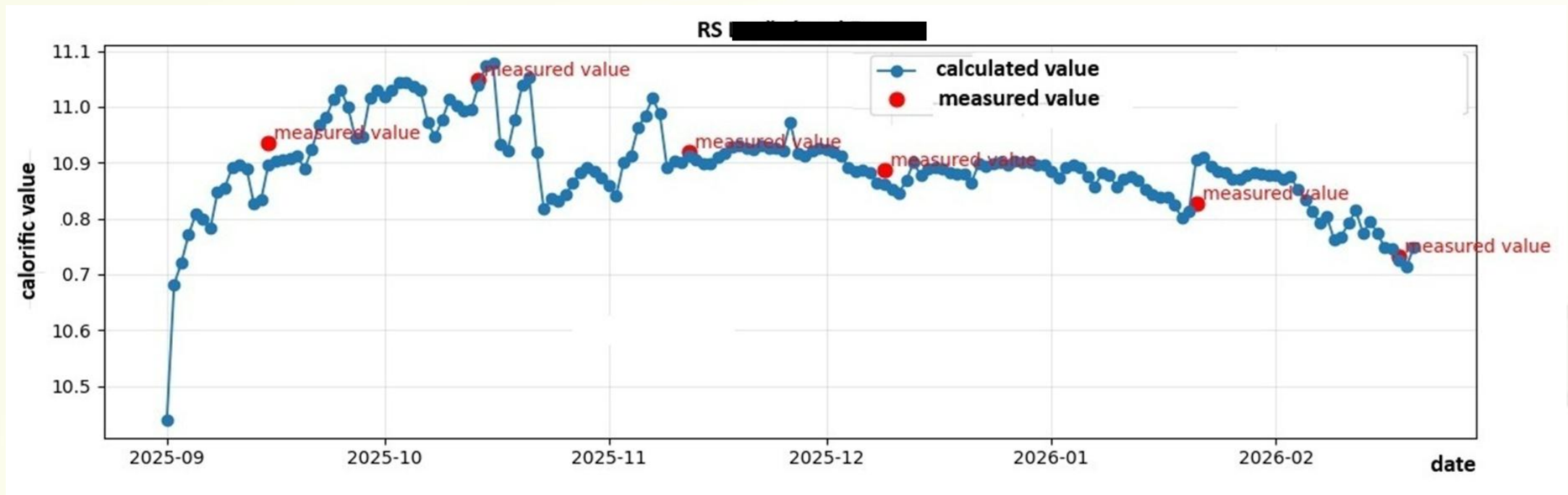
## Obrázky ze života - Vzorkování v poli a trpělivost



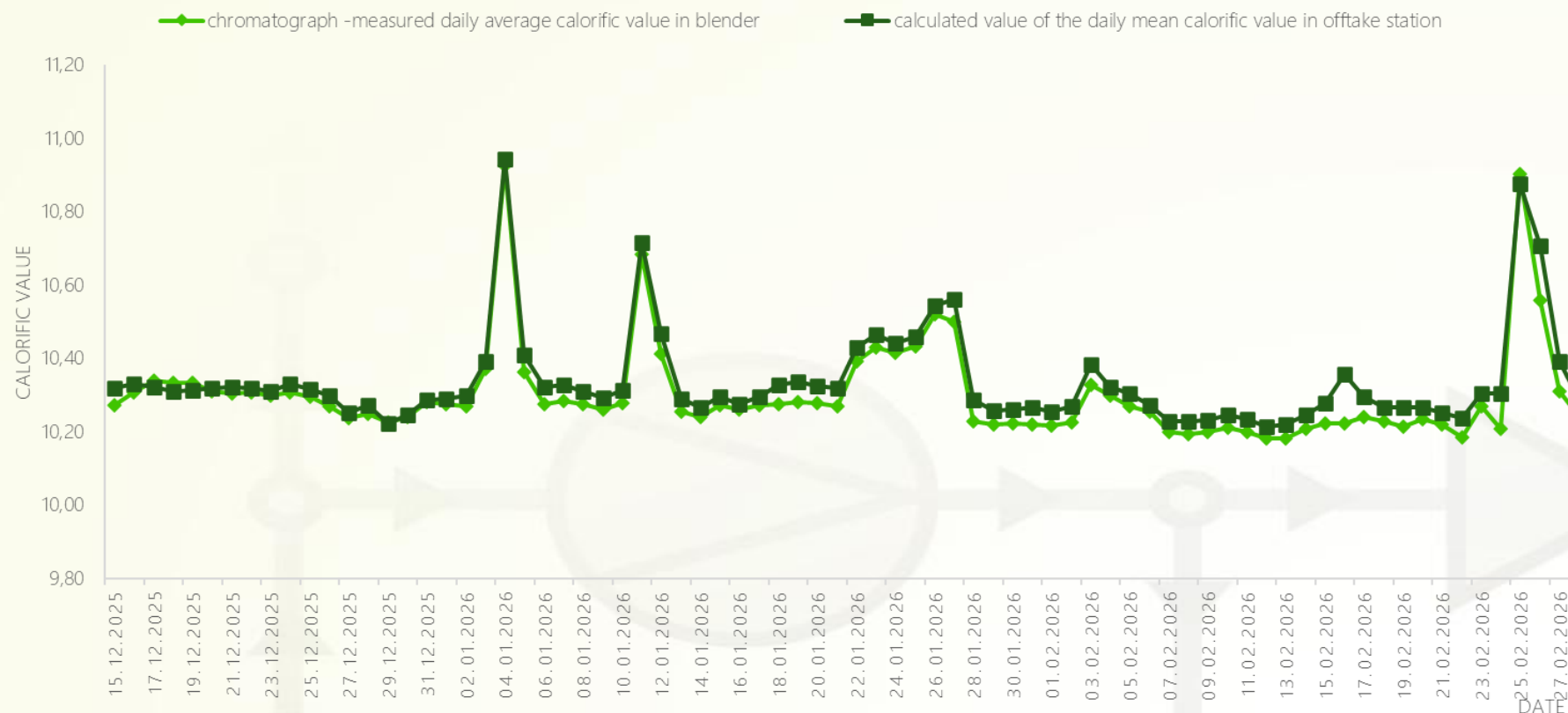
# Obrázky ze života - diagnostika po oblastech



## Obrázky ze života - ovoce úsilí



# Obrázky ze života - ovoce úsilí - H<sub>2</sub> blend





## Shrnutí

- Nic není zadarmo a jednoduše - „*There are no free lunches*“
- Karburace biometanu asi není ta správná cesta...
- ... stojí za to investovat úsilí do počítání? **Ano😊**
- Pamatovat na
  - Data nejsou jen dodávky a odběry
  - Hydraulický kontext je zásadní
  - Projekt přinese jiný pohled / „řez dat“, než bylo předtím zvykem
- **Trpělivost nese ovoce a počáteční úsilí se časem zúročí**
  - Zejména, bude-li biometanu přibývat😊

Děkuji za pozornost