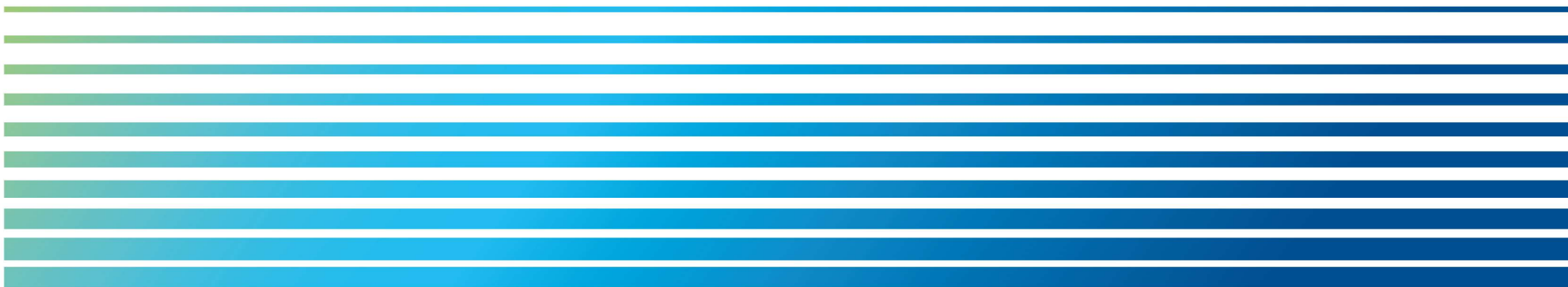


PROVOZ KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČOV HRADEC KRÁLOVÉ PŘI PROMĚNLIVÝCH TEPLOTÁCH

Pavel Král, Tomáš Zetek, Radim Staněk
Královéhradecká provozní, a.s.



ČOV Hradec Králové

- Projektovaná kapacita 141.000 EO, reálné zatížení 110.000 EO
- Velké množství balastů, BSK₅ cca 130 mg/l.
- Průtok cca 35 000 m³/den, 14 - 16 mil. m³/rok
- Zatížení CHSK_{Cr} 12,5 t/den, N_{celk} 1,40 t/den
- Hloubková čerpací stanice 37 m
- Systém R – D – N
- 1995 – uvedení do provozu, **31 let**
- 2003 – první rekonstrukce, cílem TIN = 15 mg/l, zvětšení denitrifikace, dávkování methanolu
- 2011 – druhá rekonstrukce - cílem N_{celk} = 10 mg/l postdenitrifikační filtr - umístění formou by-pass
- Další rekonstrukce kalové hospodářství (2013, 2022), aerační elementy a rekuperace tepla (2024).



Kalové hospodářství ČOV Hradec Králové

- **Primární kal** – odebírán přímo ze dna usazovacích nádrží, dle hustoty čerpán do VN (rychlost plnění nádrže + mikrovlnná sonda), sušina 40 - 50 g/l
- **Přebytečný kal** – gravitační zahuštění, sušina cca 25 g/l – **doplněno strojní zahuštění na rotačním sítu na sušinu 5 – 6 %**.
- **Anaerobní fermentory** – 2 x 5 000 m³, sériově za sebou, míchání bioplynem a čerpáním recykly, **tepelné výměníky 2022 instalace větší**.
- Doba zdržení cca 30 dní, po **zahuštění 45 dní**.
- Uskladňovací nádrž 5 000 m³ otevřená nádrž gravitační zahuštění odpouštění kalové vody
- Odvodnění kalu
2 x odstředivka – 1x Hiller (2009) + 1x Humboldt (1994)
20 m³/hod hlavní + 12 m³/hod (záložní)
- 7000 kalu t/rok, sušina 25%, aplikace na zemědělskou půdu



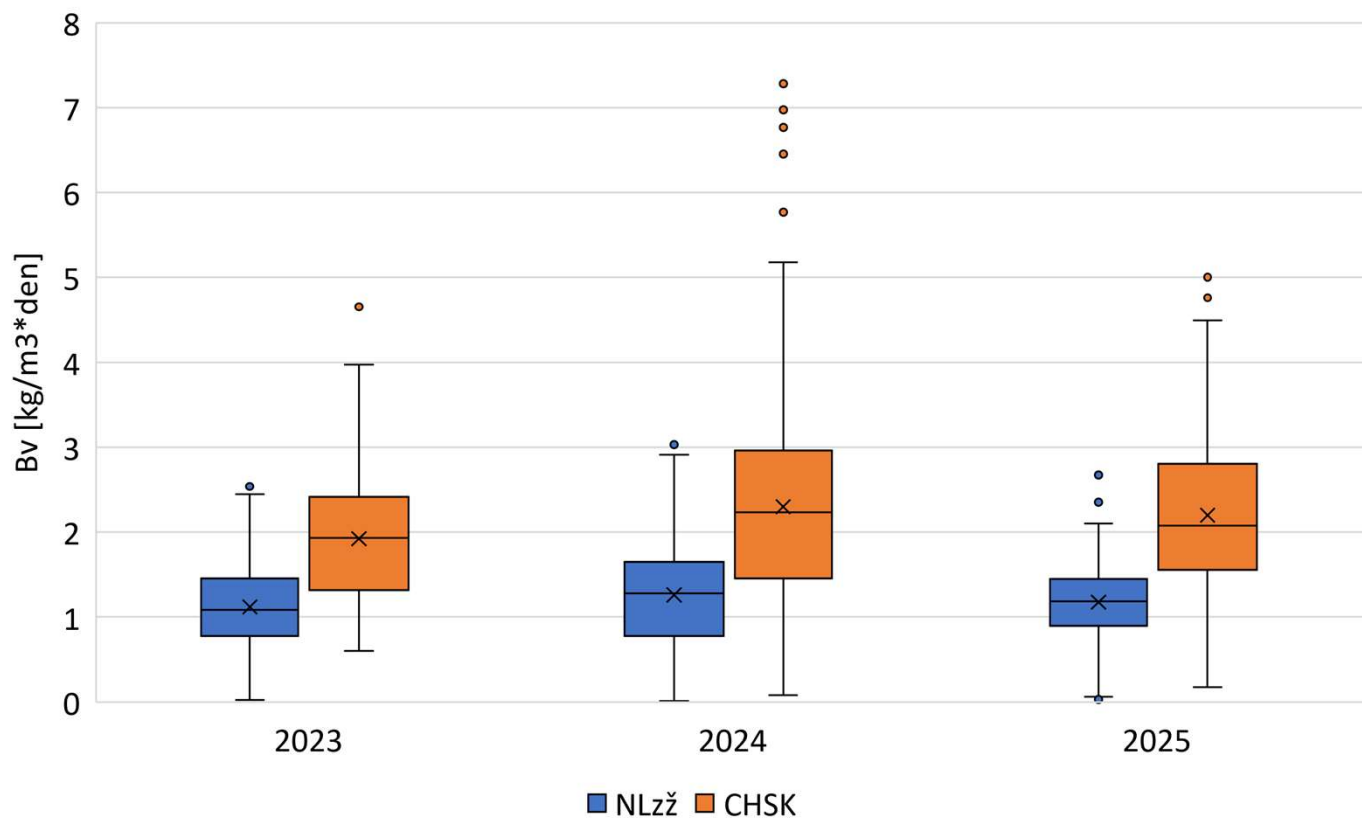
Plynové hospodářství ČOV Hradec Králové a energoblok

- Suchý membránový plynojem o objemu 1 500 m³ - v rámci převedení na termofilní proces **došlo k rekonstrukci – nátěry, výměna membrány.**
- Kogenerační jednotka DEUTZ INEKO TCG 2016 CV12 – KGJ 1 – jediný zdroj elektrické energie – elektricky max. 540 kW.
- **Nový kotel na ZP (510 kW) - instalován místo KGJ 2**
- **Nový kotel na ZP/BP (510 kW) - záložní možnost pro spálení bioplynu.**
- **Nové větší komíny, přesunutí spalínového výměníku KGJ 1 do sekundárního okruhu.**
- Časté využití externích substrátů
– tzv. G-fáze až 30% produkce bioplynu do roku 2019 – poté propad v dostupnosti.



Zatížení fermentorů na ČOV Hradec Králové

Objemové zatížení fermentorů



Typické návrhové zatížení

Tuček - mezofilní – 0,5 až 1,5 kg/m³·d
- termofilní – 2 až 5 kg/m³·d

Metcalf & Eddy – 1,6 – 4,8 kg NLzž/m³·d

Včerejší prezentace Kaly a odpady 2026
– max 4,0 kg CHSK/ m³·d

Průměr ČOV HK cca 1,2 kg NLzž/m³·d

Průměr ČOV HK cca 2,1 kg CHSK/m³·d

**Naše zatížení je velmi nízké,
okolo 50 % možného maxima.**

Mezofilní – hypermezofilní – termofilní proces

Parametr	Mezofilní proces	Hypermezofilní proces	Termofilní proces
Teplotní rozmezí	35 - 40 °C	42 - 46 °C	50 - 60 °C
„Optimální“ teplota	cca 38 °C	cca 44 °C	cca 55 °C
Produkce bioplynu	Standardní	cca + 10 – 15 %	cca + 15 – 20 %

Hlavní důvod původní cesty ČOV HK směr termofilní proces:

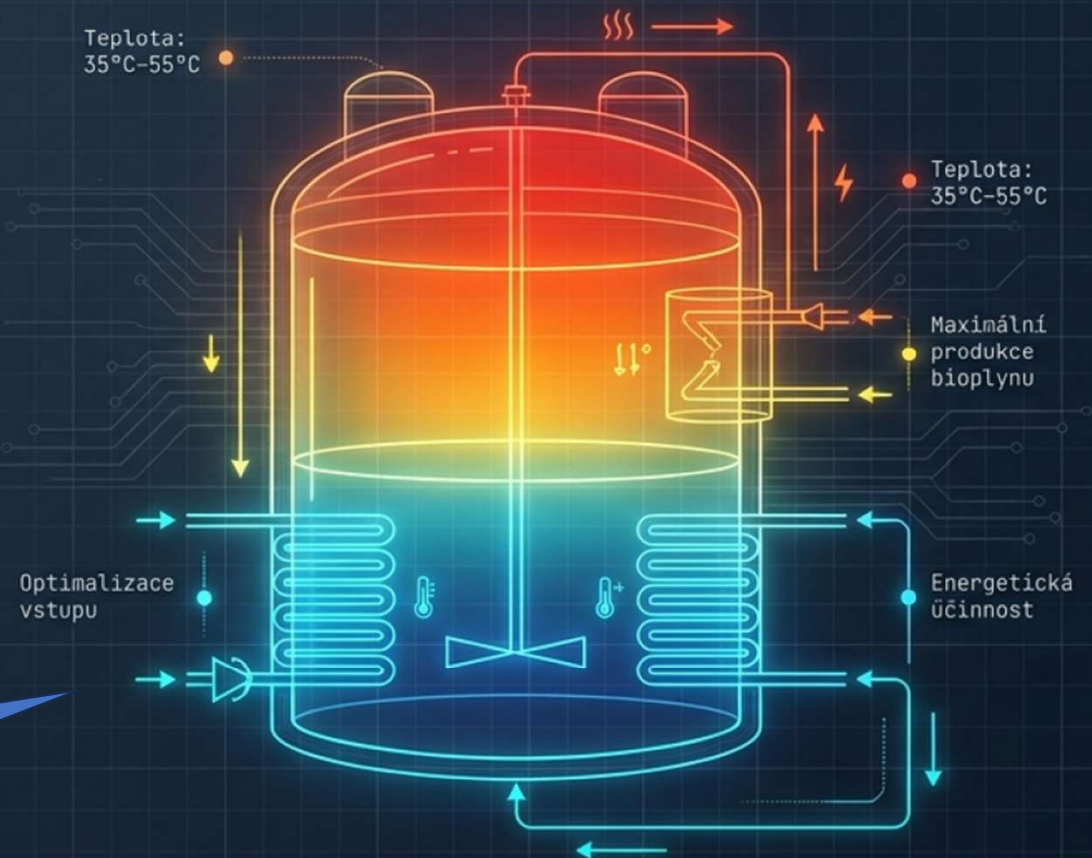
Mikrobiologické ukazatele		Termotolerantní koliformní bakterie	Enterokoky	<i>Salmonella sp.</i>
	kat.	KTJ v 1 gramu sušiny		nález v 1 g suš.
Platné do 31. 12. 2022 a nakonec i dále...	I	$<10^3$	$<10^3$	negativní nález
	II	$10^3 - 10^6$	$10^3 - 10^6$	-
Bylo avizováno od 1.1.2023		E. coli nebo enterokoky KTJ v 1 gramu		<i>Salmonella sp.</i> nález v 50
		$<10^3$	$<5 \cdot 10^3$	negativní nález

Nakonec nevstoupilo v platnost a nadále zůstala zachována kategorie II

Evoluce anaerobní digesce (2020–2026)

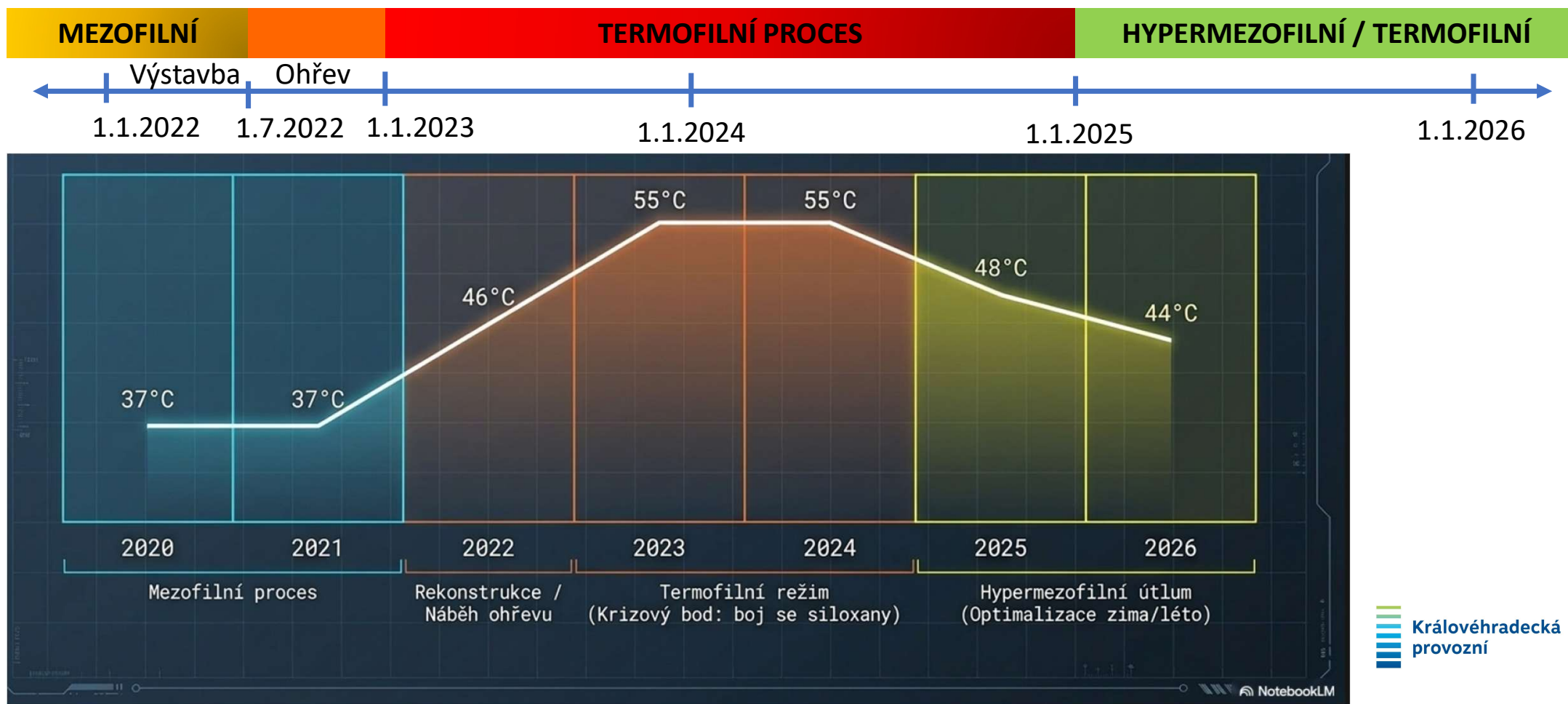
Analýza přechodu z mezofilního na termofilní proces a hledání provozního optima.

Celou prezentaci zatím AI uspokojivě nedá 😊

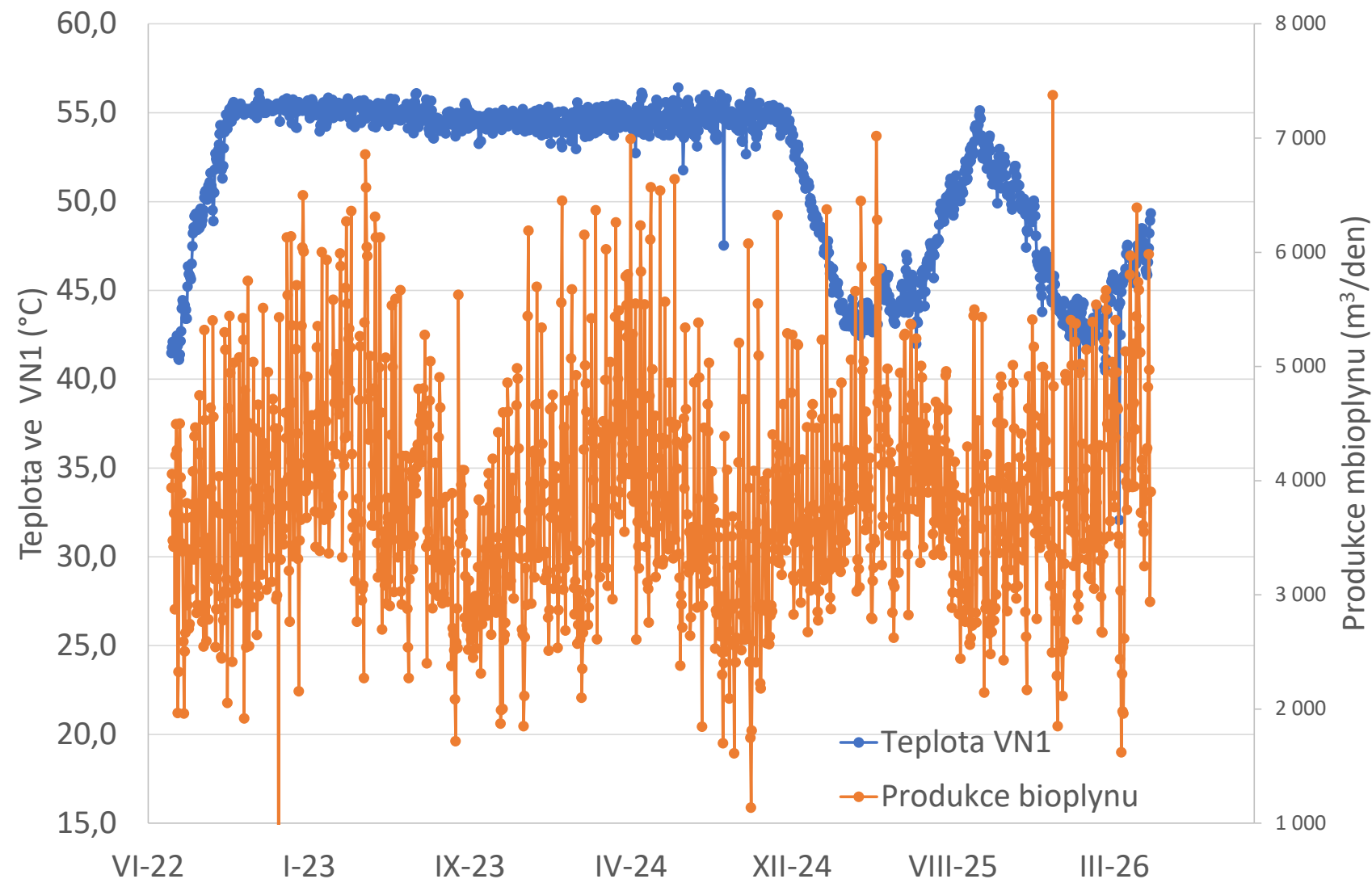


Změny teplot ve fermentorech na ČOV Hradec Králové

Časová osa:

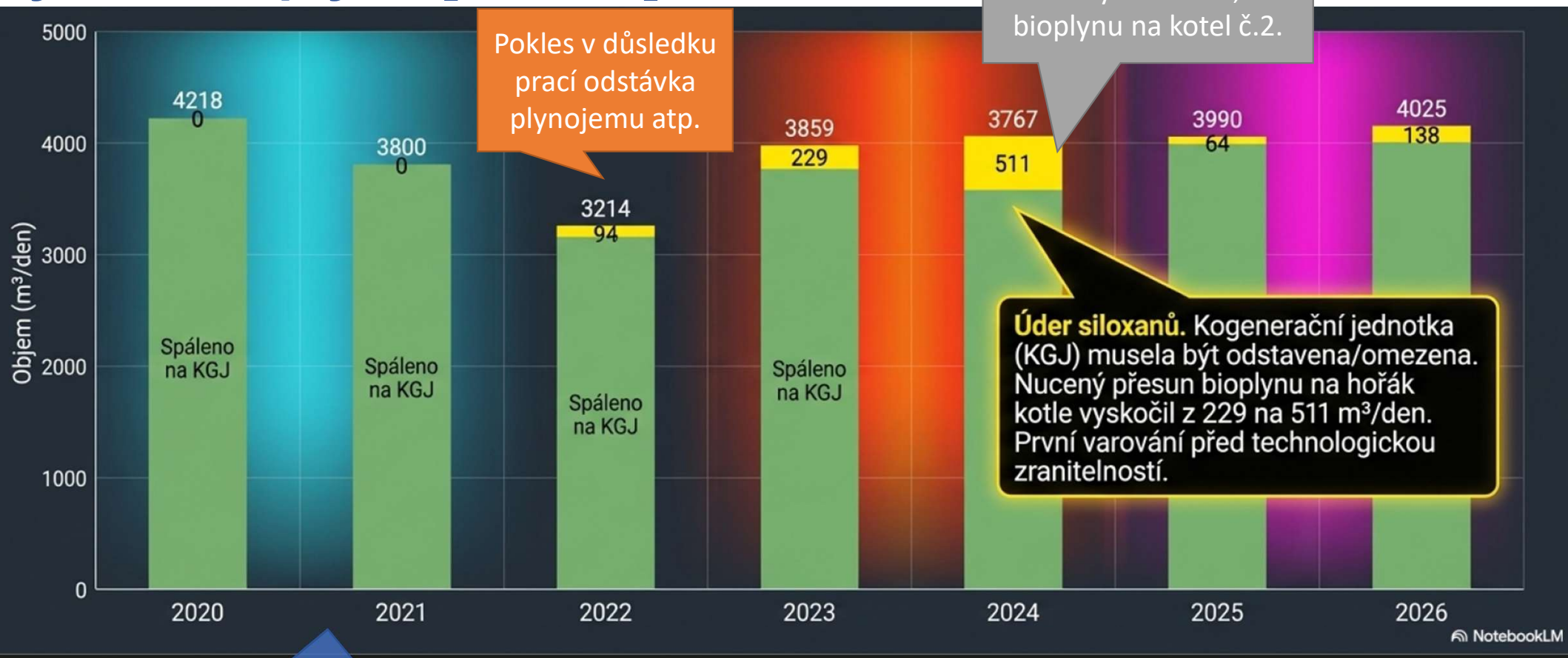


Vývoj teplot v reaktoru VN1 versus produkce bioplynu



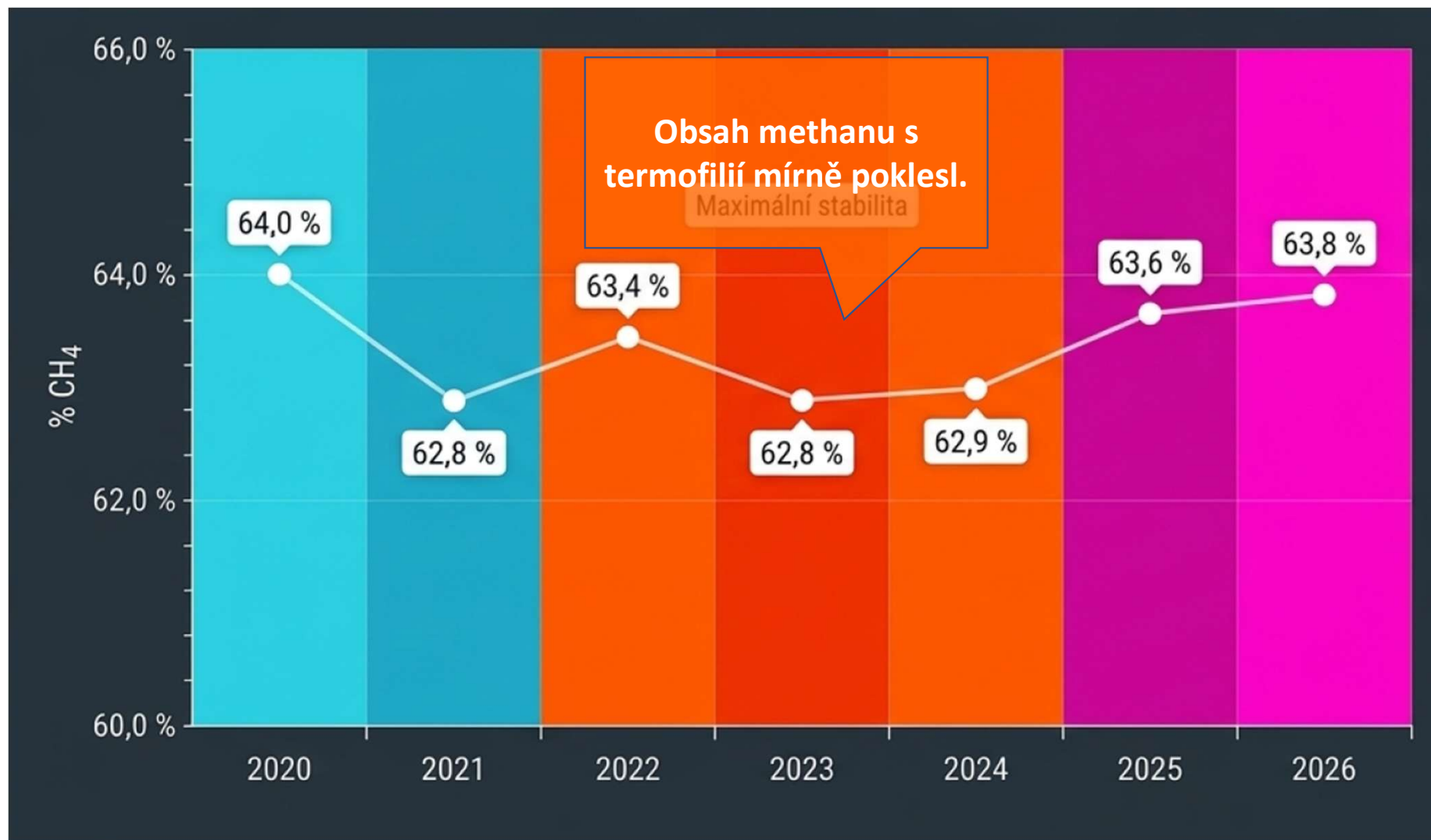
- Poklesy produkce bioplynu nesouvisí s teplotou, ale s zatížením.
- Letní měsíce = menší zatížení.
- Výrazné rozdíly vlivem teploty NEJSOU VIDĚT.

Výroba bioplynu [m³/den]

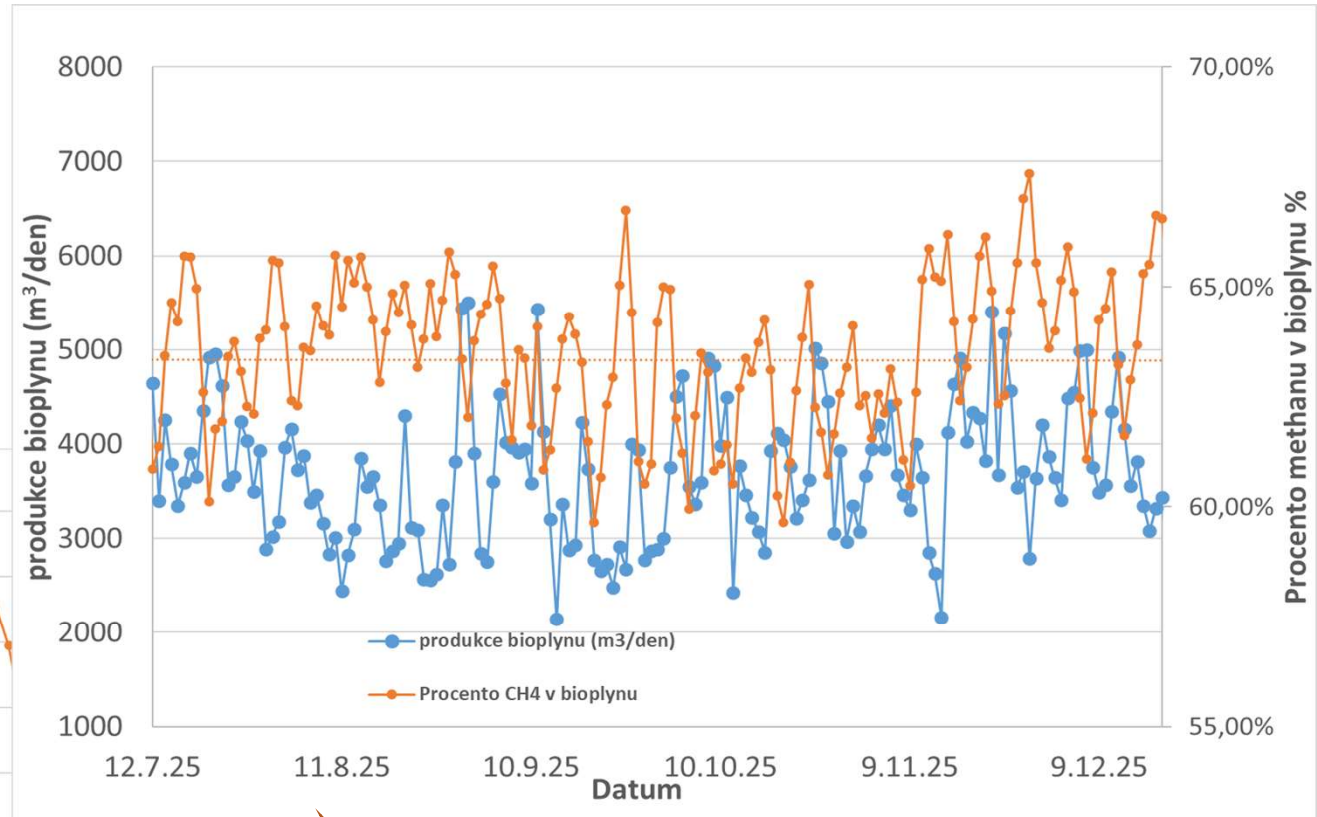
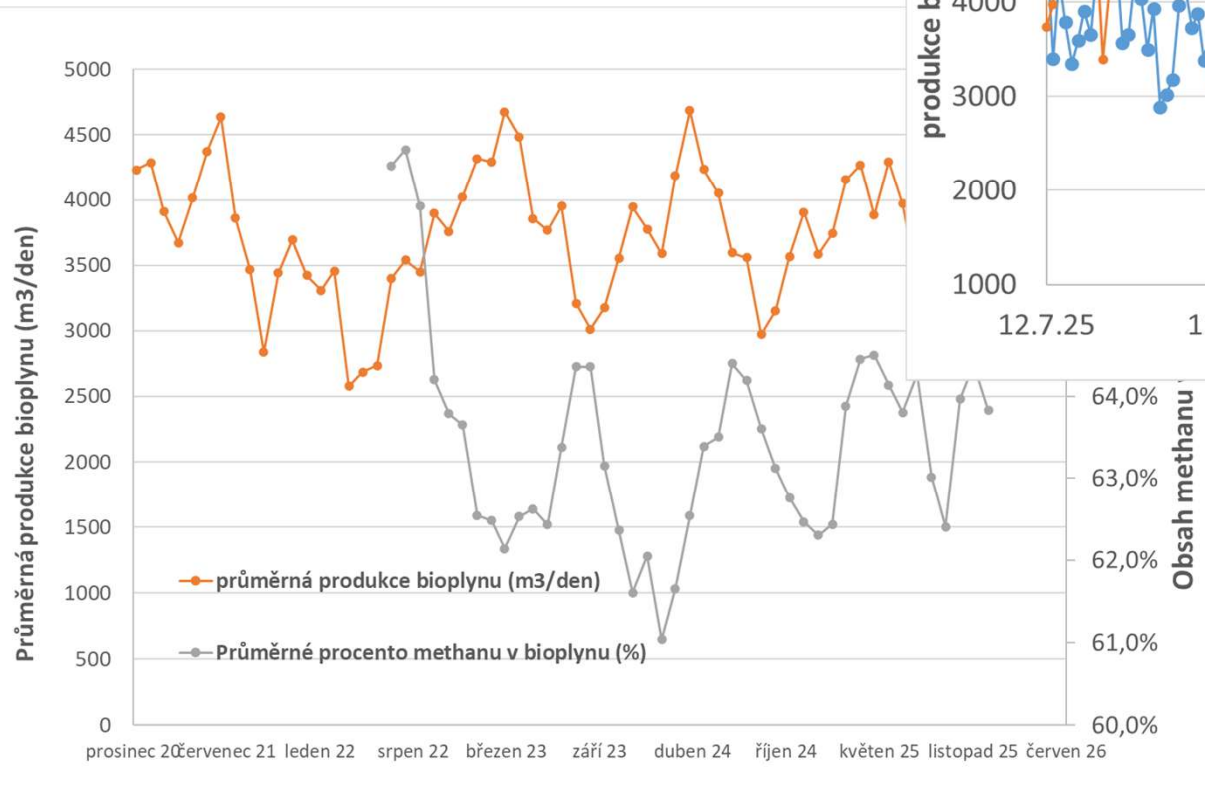


Mezofilní roky 2020 – 2021 –
ještě lépe dostupné externí
sustráty – tzv. G fáze

Složení bioplynu [% CH₄] – bez velkých změn

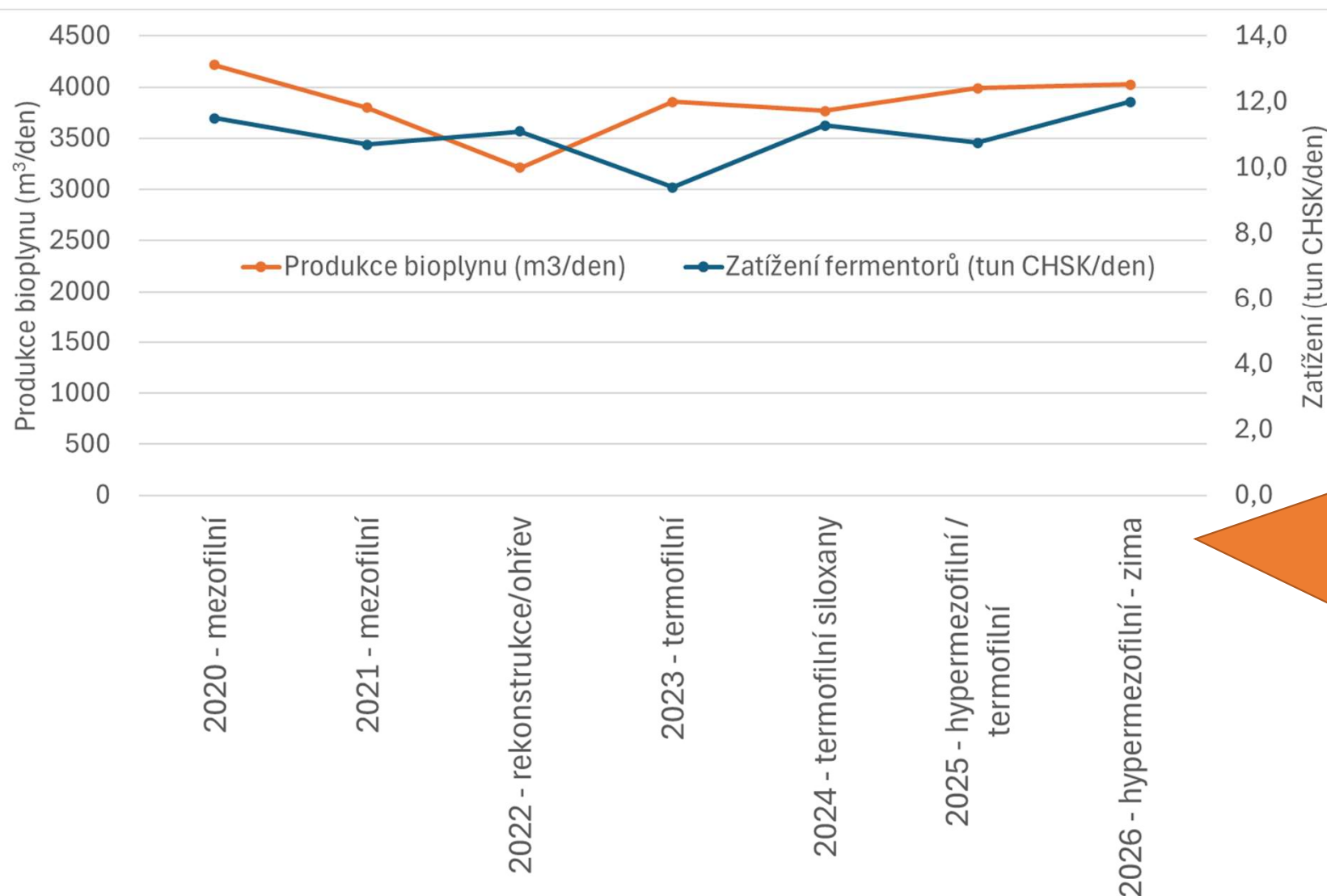


Produkce bioplynu versus složení bioplynu



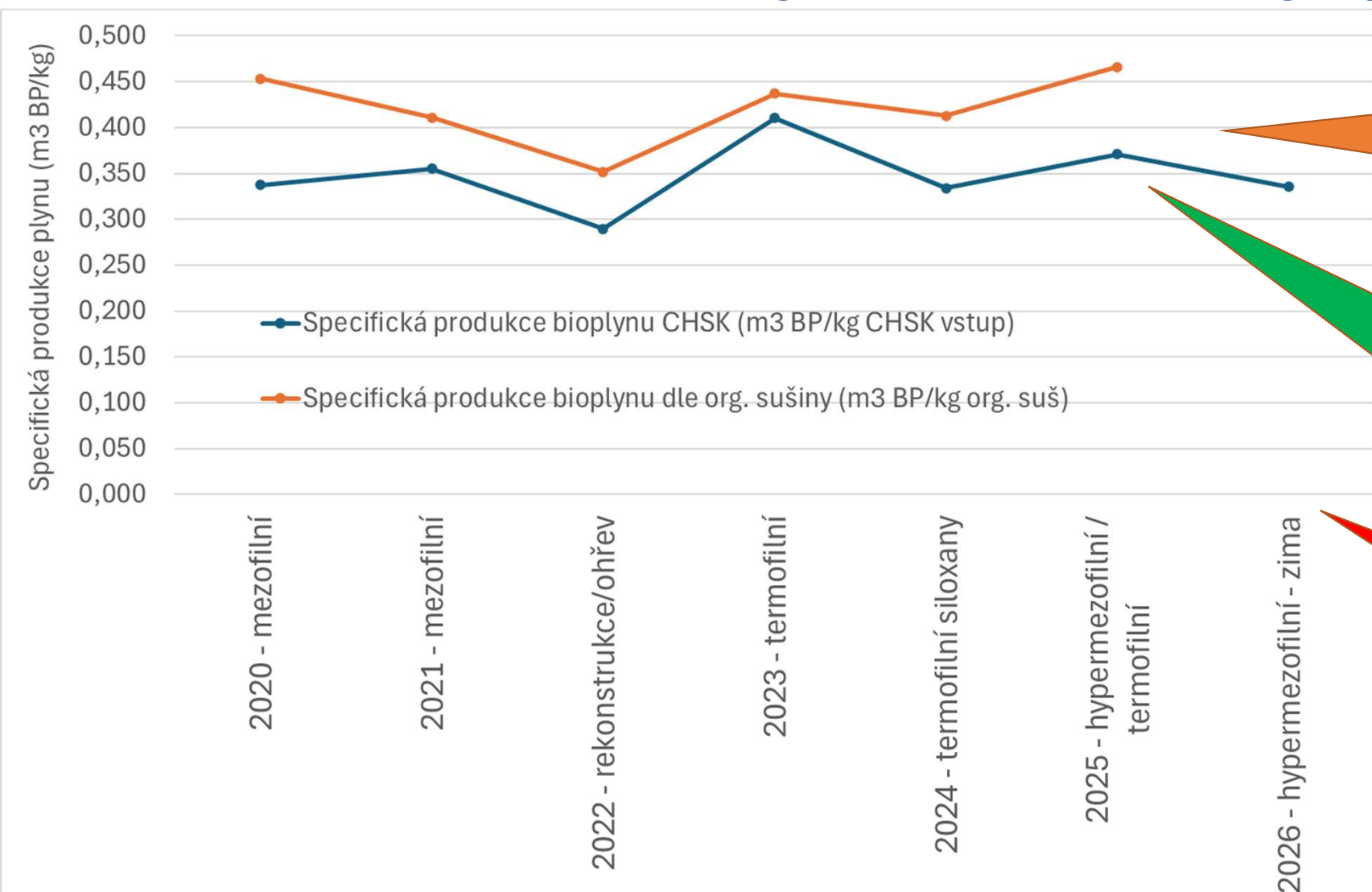
Stále platí, že s
větší produkcí
plynu mírně klesá
podíl methanu.

Produkce bioplynu versus zatížení



Produkce bioplynu odpovídá zatížení fermentorů, vliv teploty provozu se zdá malý, pouze v roce 2023 se zdálo, že termofilie „dohnala“ nižší zatížení.

Specifická produkce bioplynu – dva způsoby výpočtu



Výsledky srovnatelné.

Hypermezofilní proces a proměnlivé teploty zdá se procesu ČOV HK svědčí.

Pokles v době rekonstrukce a v siloxanové sezóně.

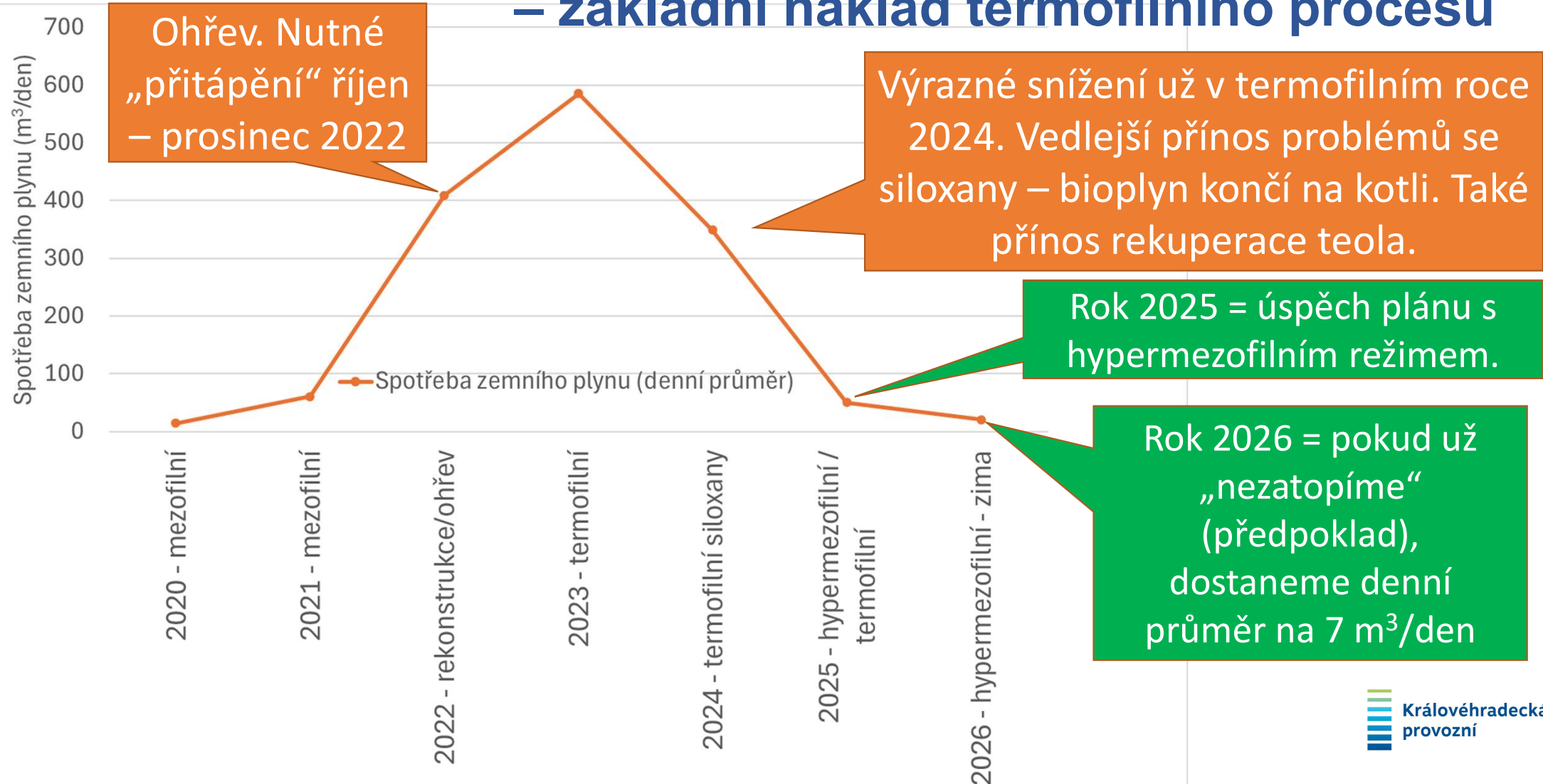
Výroba elektrické energie [kWh/den]



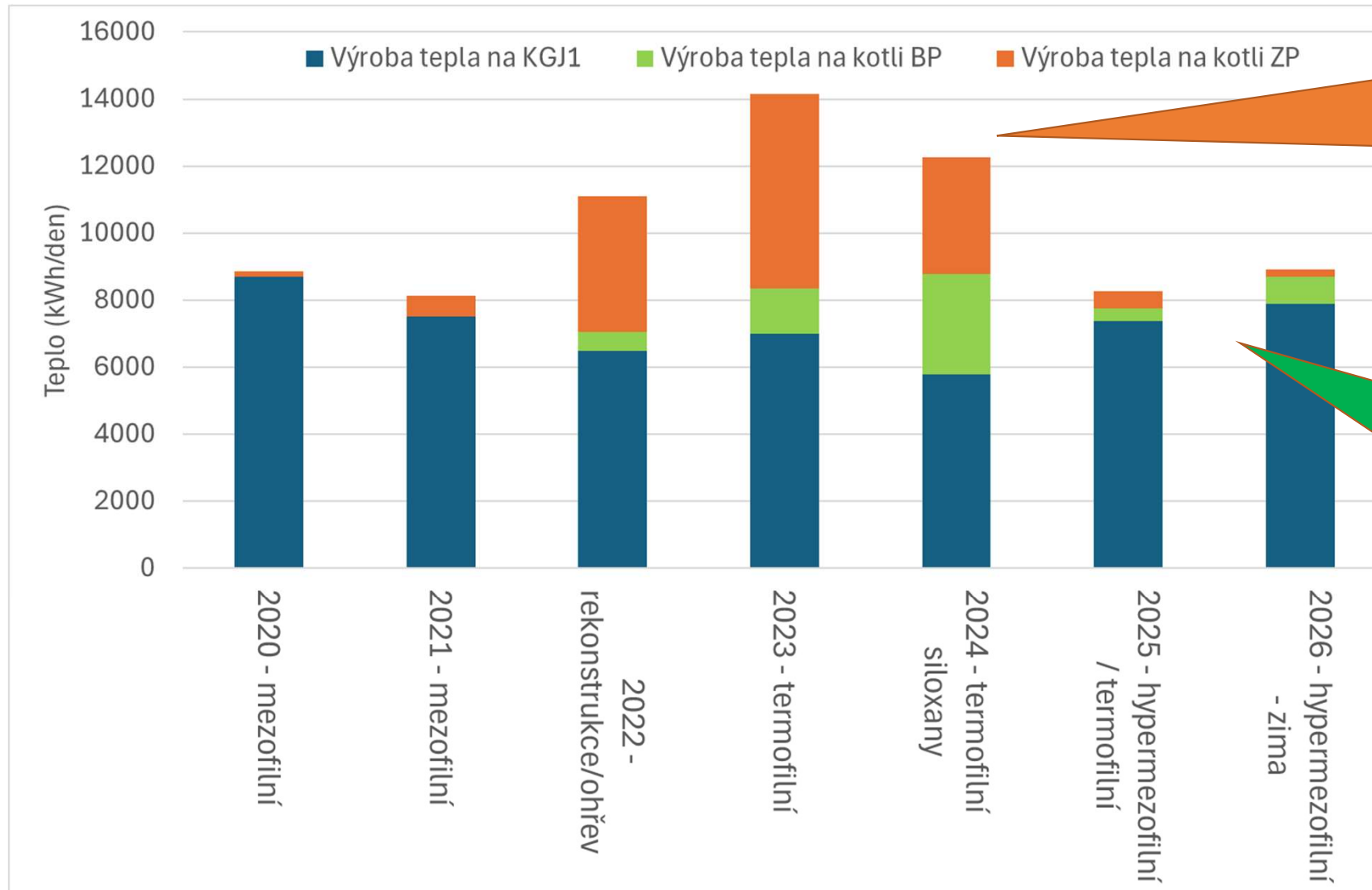
NotebookLM

Vývoj spotřeby zemního plynu

– základní náklad termofilního procesu



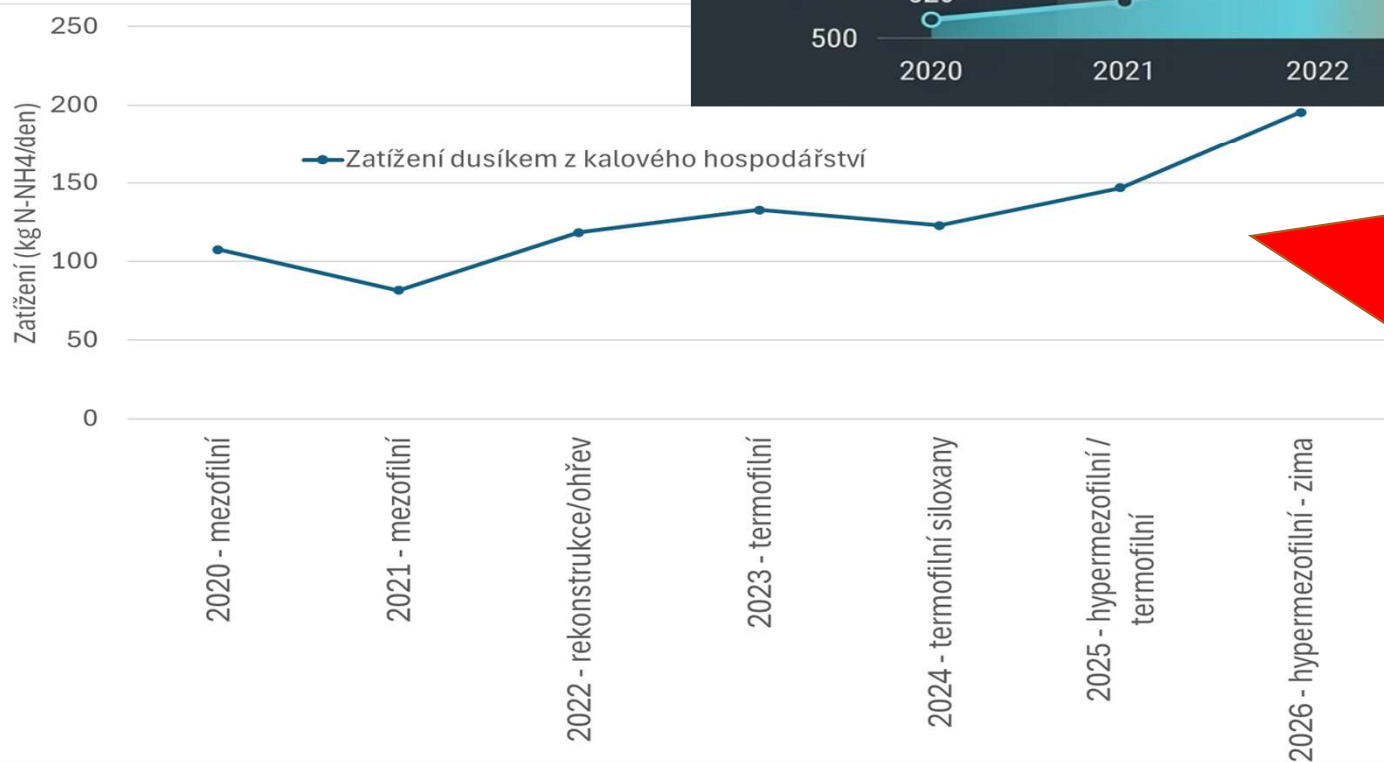
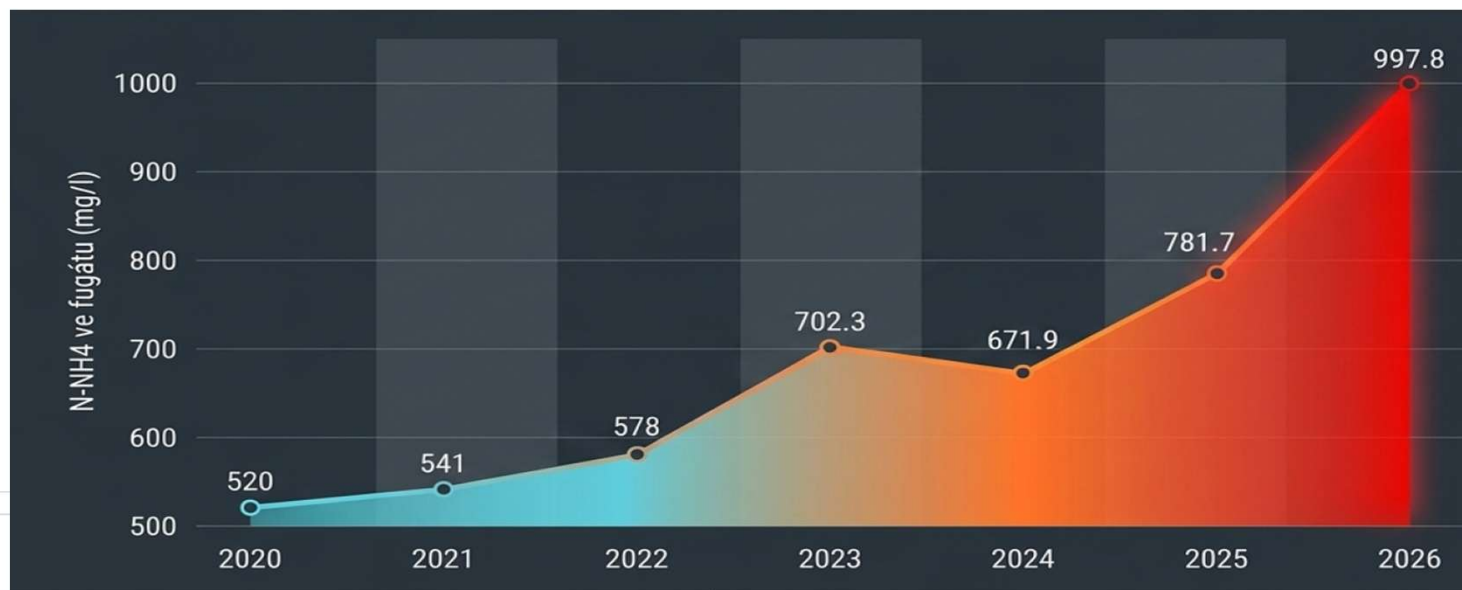
Teplo dodané pro ohřev procesu a budov - průměr [kWh/den]



Snížení potřeby tepla 2024 = nejspíše rekuperace tepla

2025 + 2026 = potřeba tepla podobná mezofilním rokům.

Amoniak ve fugátu, zatížení dusíkem z kalové linky



Zatímco přechod na termofilní proces bilačně zásadně zatížení nevyšil, poslední rok sledujeme problém s dusíkem. Může být příčina ve střídání teplot? Nebo substráty?

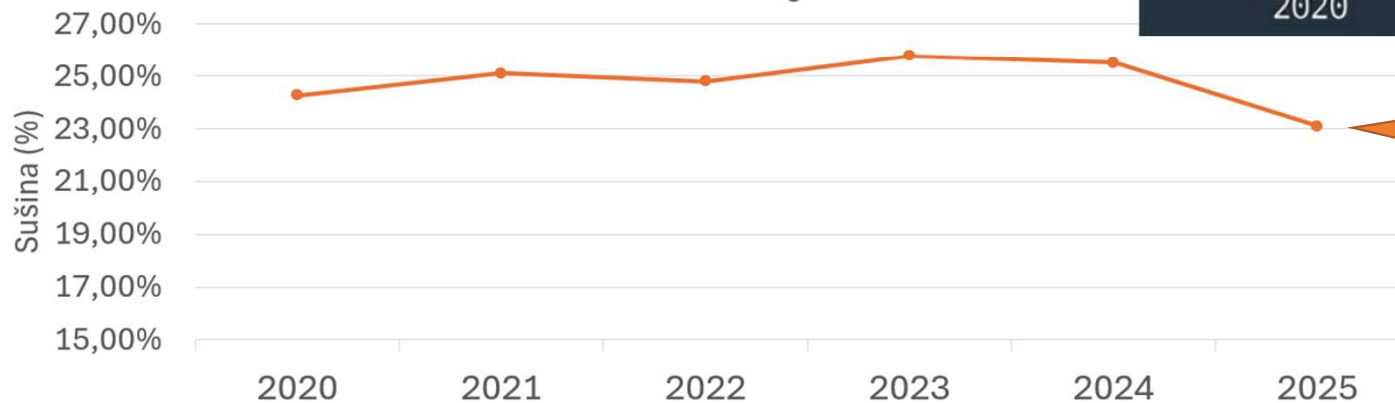
Odvodnění kalu, specifická spotřeba flokulantu

Výstupní sušina kalu



Hodnoty napříč lety oscilují ve velmi úzkém a stabilním pásmu 23,1 % (2025) až 25,8 % (2023).

Měrná spotřeba flokulantu



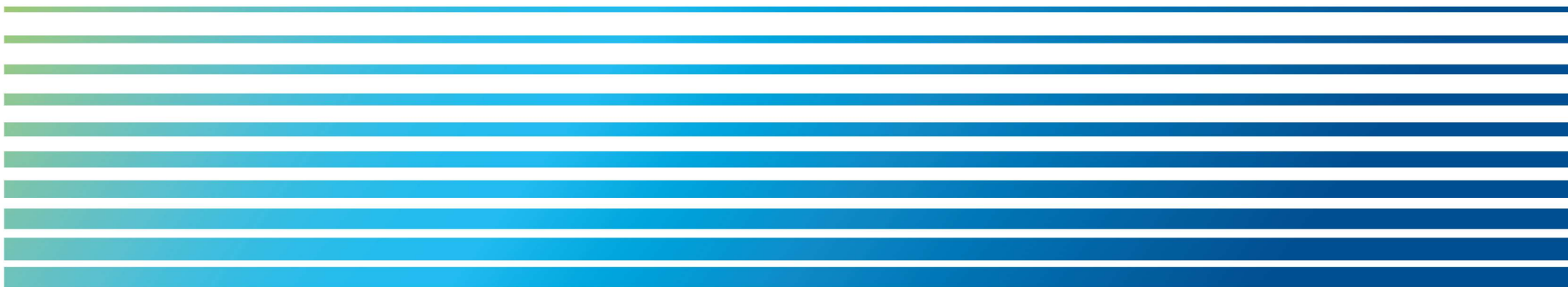
Zhoršení v roce 2025 zatím neumíme uspokojivě vysvětlit

Závěr první části – „Tepelně proměnlivý režim provozu kalového hospodářství ČOV HK“:

- **Termofilní režim nepřinesl** v podmínkách ČOV Hradec Králové s ohledem na nízké zatížení **takový přínos** ve zvýšené produkci bioplynu, **aby se s ohledem na teplotně deficitní proces a nutnost dotápění zemním plynem vyplatilo jej udržovat.**
- Tzv. hygienizace kalu na kategorii I není legislativně vyžadována.
- **Optimální režim provozu pro ČOV Hradec Králové = hypermezofilní teplotní režim s přetápěním k termofilnímu režimu v době nadbytku tepla a postupným chladnutím v době nedostatku tepla – tzv. „tepelná baterka“.**
- **Pomalé změny teplot (cca o 1 °C týdně) nejsou pro nízkozatížený proces problém a lze je provádět opakovaně.**
- **Na obzoru máme problém s dusíkem.**

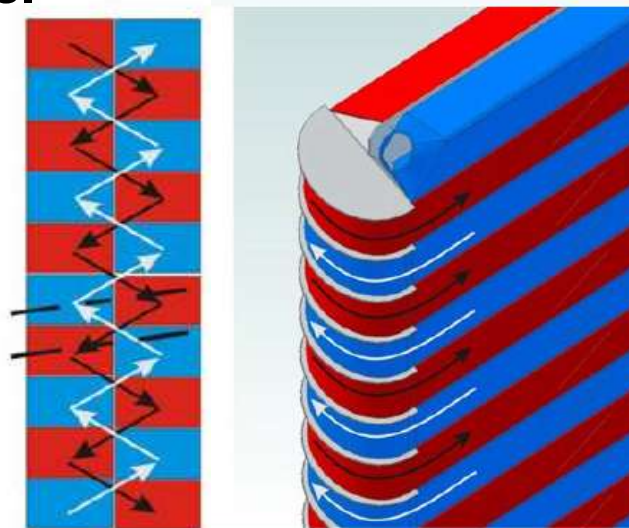
ČÁST 2:

ÚSPĚCHY I NEÚSPĚCHY V KALOVÉM HOSPODÁŘSTVÍ ČOV HK A JAKÁ Z NICH VEDE CESTA DÁL...



2A – Rekuperace tepla z anaerobně stabilizovaného kalu

- Westcome Heatexchangers – Dánsko. Dodavatel technologie ČR - THESEP, s.r.o.
- Spirálové proudění - turbulentní režim proudění. Izolační plášť.
- Projekt – kal k ohřevu z 10,0 °C na 29,8 °C až 4,1 l/s.
- Projekt – topný kal z 50,0°C na 30,2 °C při 4,0 l/s.

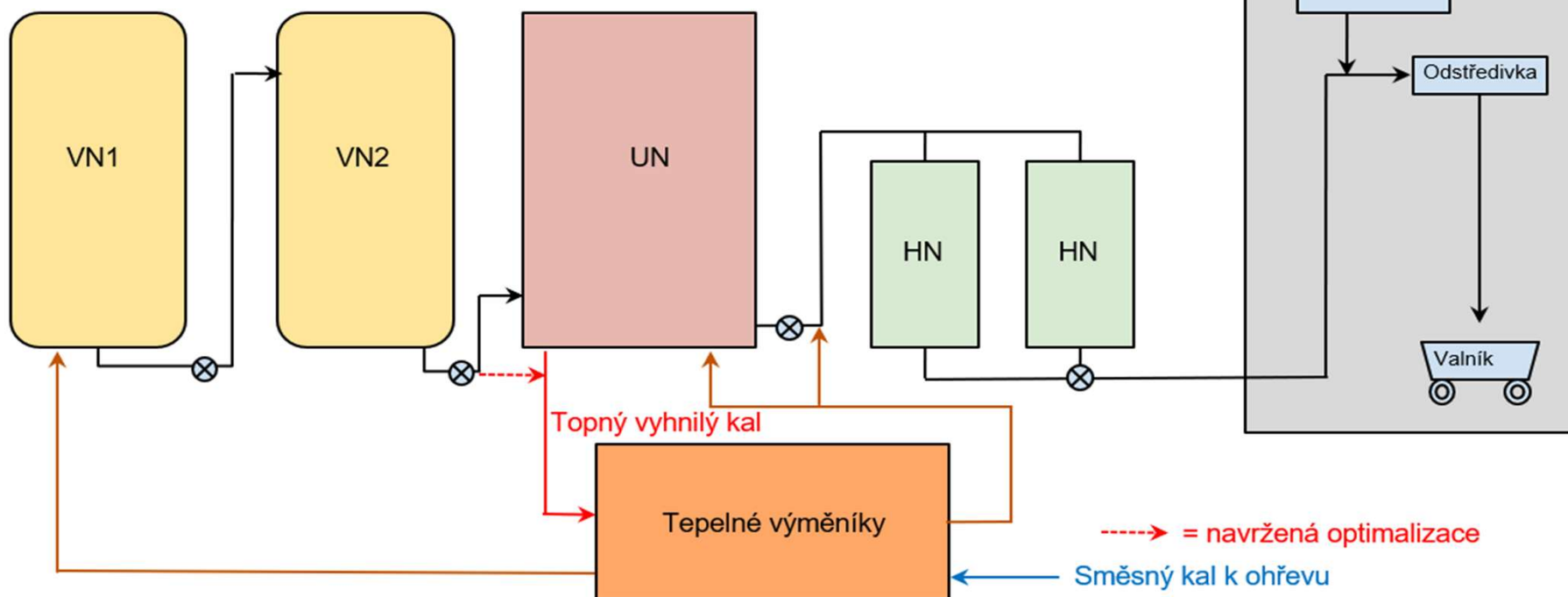


Zapojení – odkud vzít topný kal a kam ochlazený vrátit

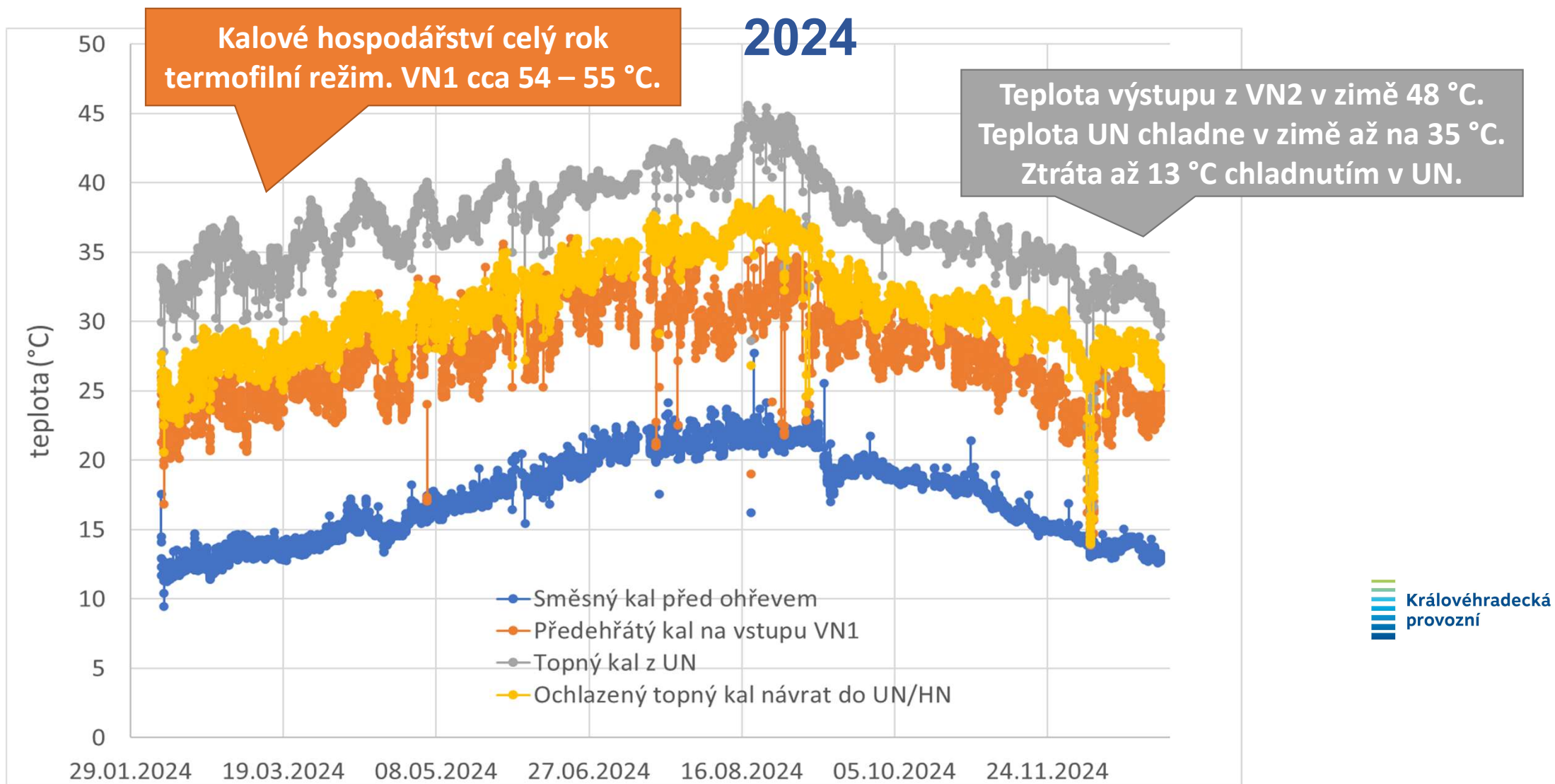
- Odběr topného kalu: původně realizována pouze varianta ze dna uskladňovací nádrže (UN) – nevýhodou chladnutí kalu v UN stáním až 30 dní. Ztráta teploty až o 10 °C.

Prosinec 2025 – realizováno přepojení kalu – přepouštění z VN2 do UN

- Návrat ochlazeného kalu: - realizovány dvě varianty:
 - Zpět do UN – **výhoda - lze aplikovat vždy, ochlazování UN.**
 - Do homogenizační nádrže (HN) před odstředivku – **lze jen za provozu odstředivky, neochlazujeme UN.**

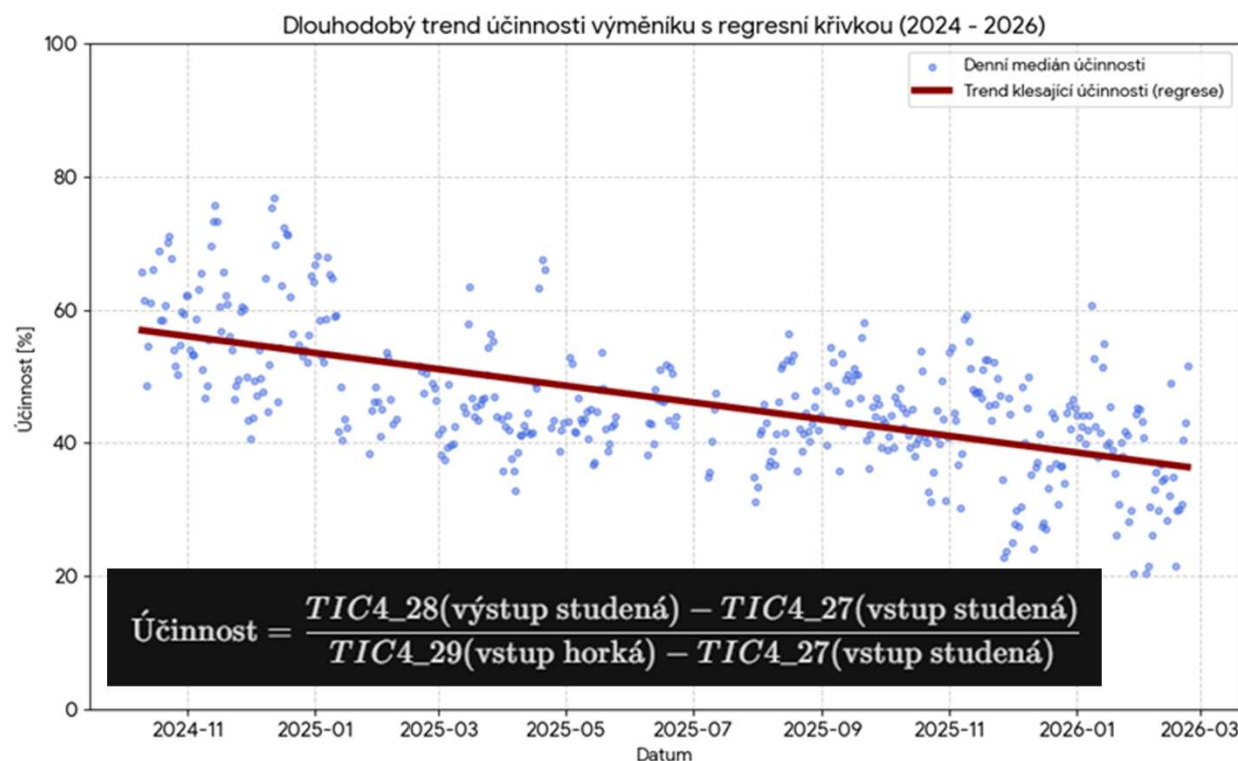


Úspěch: má to smysl, úspora tepla – předeheřev kalu o více jak 10 °C



Nový problém: ucpávání výměníku, zanášení teplosměnných ploch, snížení tepelné účinnosti

- Říjen 2024: účinnost výměníku kolem 60 - 65 % - stav relativně čistého výměníku po instalaci nebo proplachu
- Průběh roku 2025: pozvolný, ale trvalý pokles účinnosti
- Únor 2026: aktuální účinnost se pohybuje kolem 30-35 %.
- Projev formou průtočné kapacity:
 - Původní průtoky přes výměník až 4 l/s
 - Nyní čerpací technika často „protlačí“ jen 1 l/s.



Cesta z problému ven: doplnění systému automatických proplachů změnou směru a médií, chemický CIP

- Vstřícnost dodavatele i projektanta.
- Konzultace s firmou specializovanou na čištění výměníků.
- Naší instalaci pravděpodobně chybí systém na automatickou změnu směru toku a na preventivní střídání teplého a studeného média.
- Jednou za čas bude nutný chemický CIP, cílem na to systém připravit. Přípoje atd.
- Projektování změny, realizace v plánu letos.

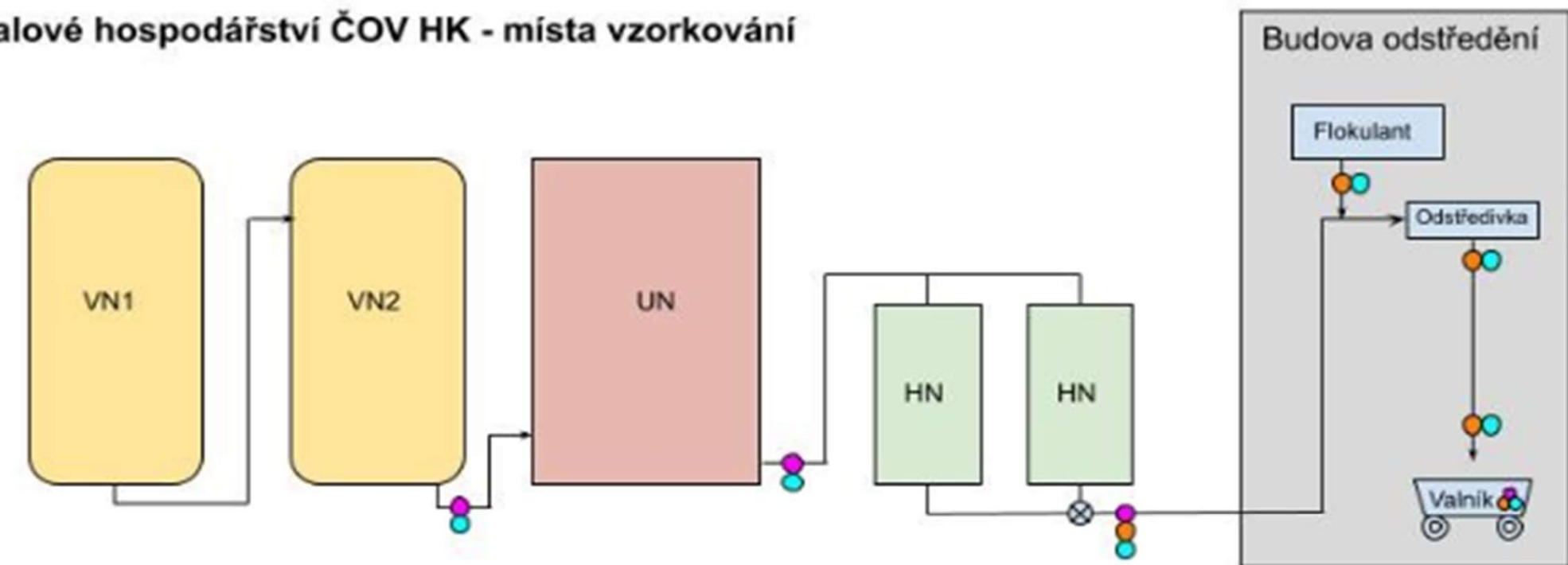


2B – Termofilní režim ČOV HK – neúspěšná hygienizace kalu

- **Termofilie:** nepodařilo dotáhnout proces ověření hygienizace kalu, kal nelze klasifikovat jako kal kategorie I.
- Postupně jsme odhalovali a řešili příčiny:
 - **Špatný stav míchání v uskladňovací nádrži stabilizovaného kalu,** nemíchané kapsy se starým kalem, zpětná kontaminace – oprava pneumatického míchání 05-06/2023 – náklad 2,5 mil Kč – **VYŘEŠENO**
 - Možná **zpětná kontaminace přes roztok flokulantu** – provozní vodou nově voda vyčištěná – přepojení zpět na pitnou vodu – září 2024 – **ODSTRANĚNO**
 - **Dlouhá doba zdržení kalu v uskladňovací nádrži** – až 30 dní, chladnutí na teploty okolo 35 – 38 °C – ideální stav **pro zpětnou kultivaci bakterií.** Řešením by bylo – **VYNECHAT PROVOZ UN?**
 - **Podezření na špatné míchání vyhnívacích nádrží.** Zůstávají nezamíchané a nedezinfikované části, které následně rychle po snížení teploty v UN způsobí zpětnou kontaminaci kalu. **REALIZACE STOPOVACÍHO TESTU MÍCHÁNÍ.**
 - Nespolehlivost v analytické koncovce mikrobiální analýzy kalu – 5 laboratoří, zdá se, že každá měří jinak, všechny akreditované.

Hygienizace kalu – monitoring podél procesu

Kalové hospodářství ČOV HK - místa vzorkování



● Test 27.11.2023

● Test 15.01.2024

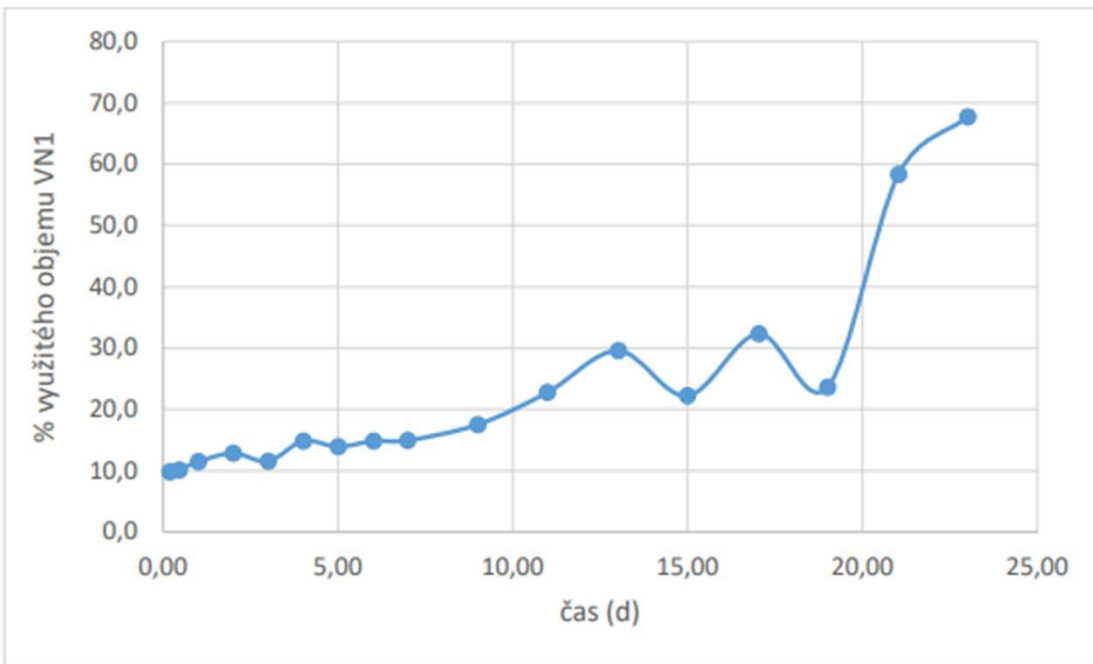
● Test 23.07.2024

Hygienizace kalu – situace podél procesu

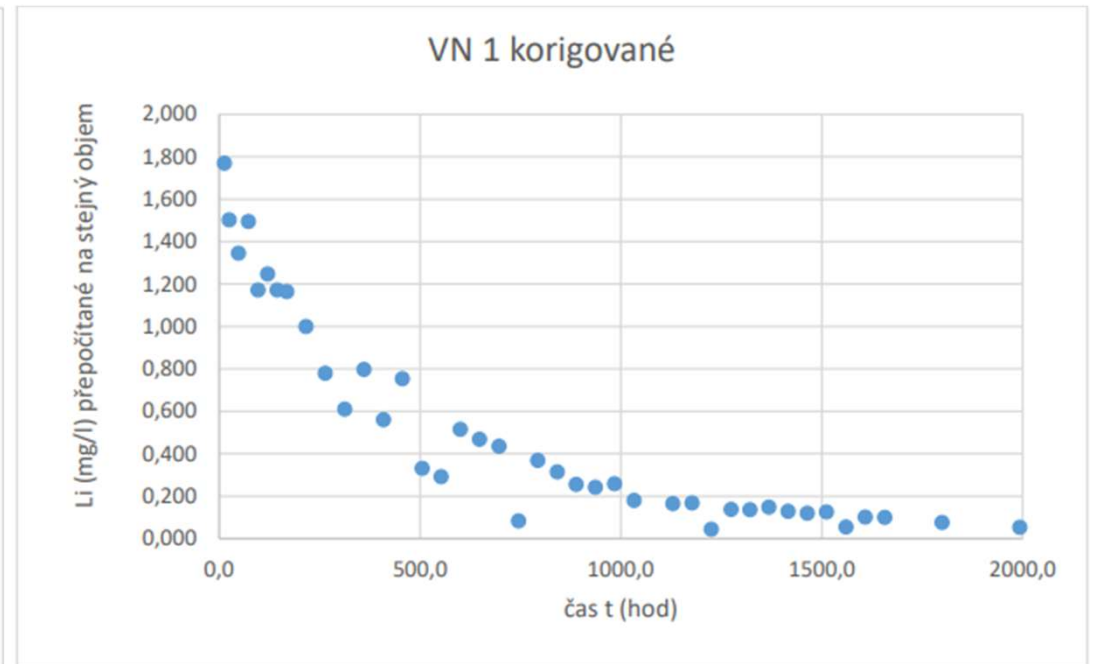
23.7.2024			Sušina	Termotolerantí kolif. bakterie		E.coli		Enterokoky		Salmonella spp.
Vzorek č.	Místo vz.	typ vzorku	%	KTJ/g	KTJ/g suš	KTJ/g	KTJ/g suš	KTJ/g	KTJ/g suš	v 50g vz.
1	výstup VN2	tekutý - láhev	2,5	0	0	0	0	0	0	negativní
2	výstup UN	tekutý - láhev	4,0	109	2 725	74	1 850	25	625	negativní
3	výstup HN	tekutý - láhev	4,0	141	3 525	72	1 800	0	0	negativní
4	flokulant roztok	tekutý - láhev	0,5	52	10 400	10	2 000	50	10 000	pozitivní
5	výstup z odstředivky	odv. kal - pytlík	25,0	17 329	69 316	12 033	48 132	5 350	21 400	negativní
6	výstup z odstředivky	odv. kal - pytlík	25,0	6 015	24 060	5 493	21 972	2 150	8 600	pozitivní
7	výsypka valníků	odv. kal - pytlík	25,0	11 199	44 796	8 664	34 656	3 050	12 200	negativní
8	valník	odv. kal - pytlík	25,0	34 480	137 920	26 030	104 120	19 773	79 092	pozitivní

Stopovací test míchání anaerobních fermentorů – VN1

- Použitá stopovací látka – chlorid lithný

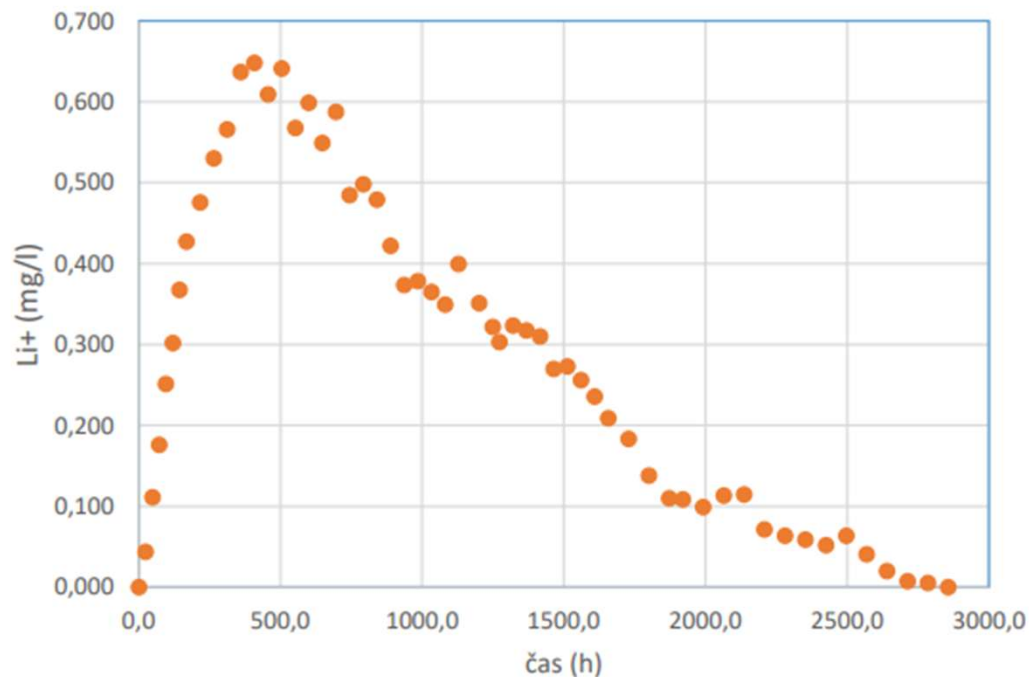


Pomalé rozmíchávání stopovače do celého objemu nádrže



Průběh vymývání stopovače z nádrže VN1

Stopovací test míchání anaerobních fermentorů – VN1+VN2



Vyhodnocení hydraulické charakteristiky

	Průměrný objem	Využití	Využitý objem	Nevyužitý objem
	m ³	%	m ³	m ³
VN1	4892	71,3	3488	1415
VN2	4526	61,1	2766	1753
VN1+VN2	9418	66,4	6254	3168

Průběh vymývání stopovače z nádrže VN2

Plán cesty dále pro kalové hospodářství ČOV HK

2026

- Čištění a revize anaerobního fermentoru VN1 – začíná brzy.
- Probíhá projektování rekonstrukce míchání anerobních reaktorů. Statické posouzení fermentorů. Srovnávání různých technických variant – zatím nemáme vybráno.
- Realizace systému automatického čištění a možnosti chemického CIP na tepelném výměníku rekuperace tepla.

2027

- Rekonstrukce míchání v reaktoru VN.
- Čištění a revize anaerobního fermentoru VN2. Rekonstrukce míchání dle času a dostupných prostředků.
- Ověření hygienizace = abychom věděli, že proces máme v pořádku.

Průběžně – soustředit se na možnost příjmu externích substrátů, nízké zatížení = substráty jsou jediná cesta k energetické soběstačnosti.

Vize do budoucna místo závěru: Kam s budoucí zvýšenou výrobou bioplynu / tepla / elektrické energie?

- Nová druhá kogenerační jednotka.
- Možnost sdílení elektrické energie mimo areál ČOV v rámci společnosti:
(Úpravna pitné vody, čerpací stanice pitných vod a kanalizací)
- Řešení rostoucího zatížení dusíkem z kalového hospodářství a externích vod – proces Anammox?
- Řešení nadbytku tepla zejména v letních měsících – sušárna nebo vytápění reaktoru Anammox?

Alternativa k nové kogeneraci? Výroba biomethanu?

DĚKUJI ZA POZORNOST

