

Synergické využitie vodíka a kyslíka pri dekarbonizácii spaľovania zemného plynu

H₂ znižuje uhlíkovú intenzitu. O₂ zvyšuje procesný potenciál.
Spolu menia požiadavky na horák a jeho reguláciu.

Jesenná konferencia SPNZ 2026

24.–25. 9. 2026 · GH Bellevue, Horný Smokovec

doc. Ing. Róbert Dzurňák, PhD.

Ústav hutníctva a materiálov · Strojnícka fakulta

SPNZ 2026



TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
Strojnícka fakulta

Prečo riešiť H₂ a O₂ spolu?

Dekarbonizácia paliva a intenzifikácia procesu sú dve strany toho istého problému.



menej uhlíka v palive

- nižšia tvorba CO₂ na jednotku dodanej energie
- vyššia spaľovacia rýchlosť
- vyššie nároky na flashback a geometriu trysky



menej dusíkového balastu

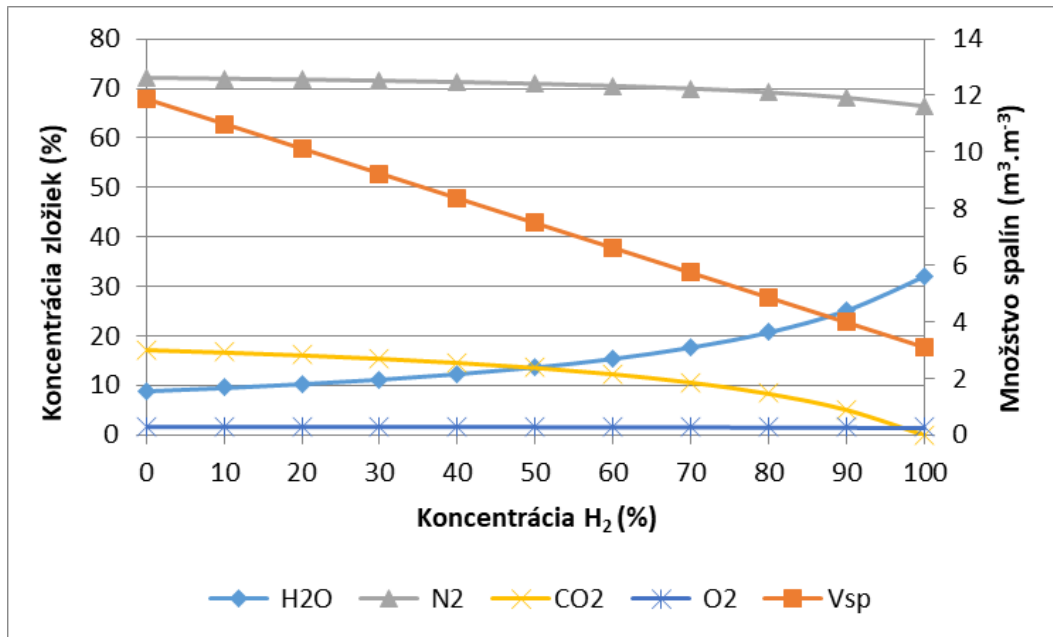
- menší objem spalín a komínové straty
- vyššia teplota a tepelný tok
- vyššia produktivita procesu



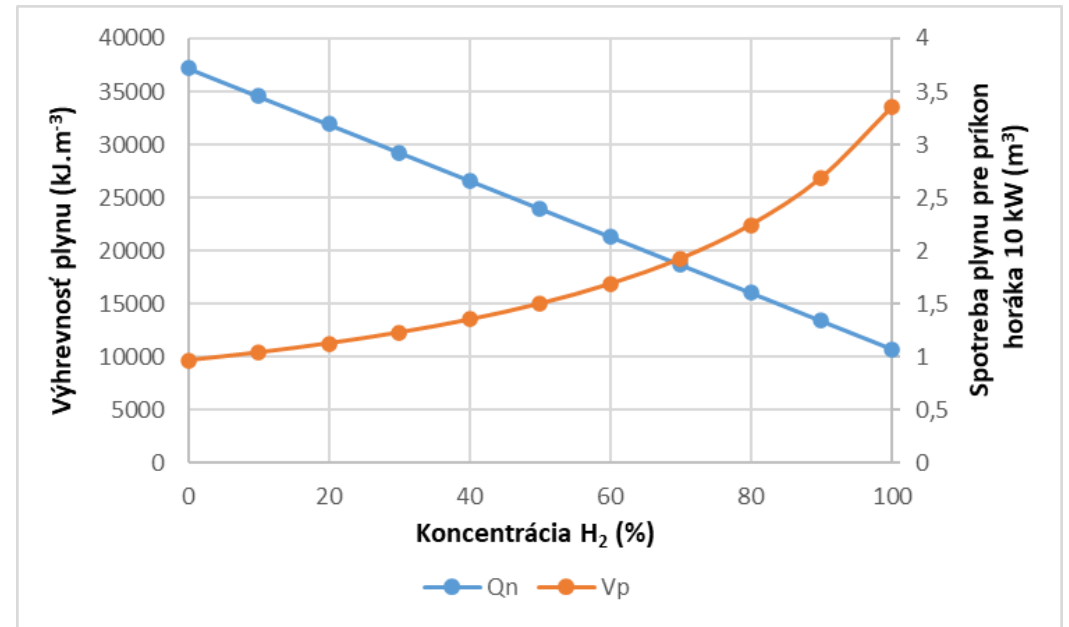
synergický efekt

- dekarbonizácia + procesná účinnosť
- nižší potrebný podiel H₂ pre rovnaký procesný efekt
- vyžaduje adaptívny horák a uzavretú reguláciu

Čo mení vodík pri konštantnom výkone 10 kW?



Zloženie spalín a celkový objem spalín

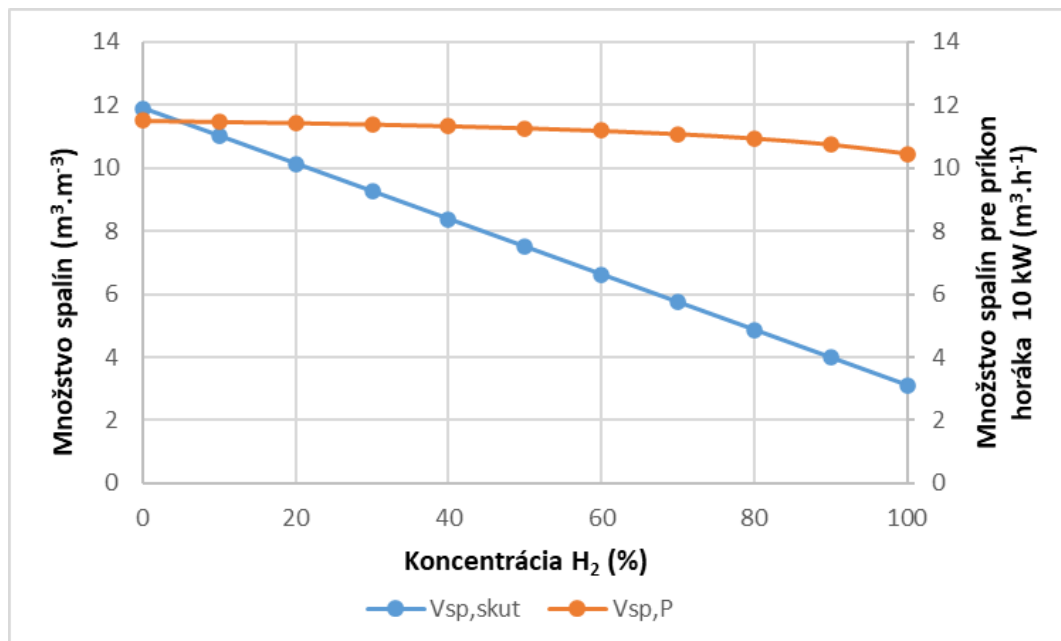


Objemová výhrevnosť a potrebný prietok paliva

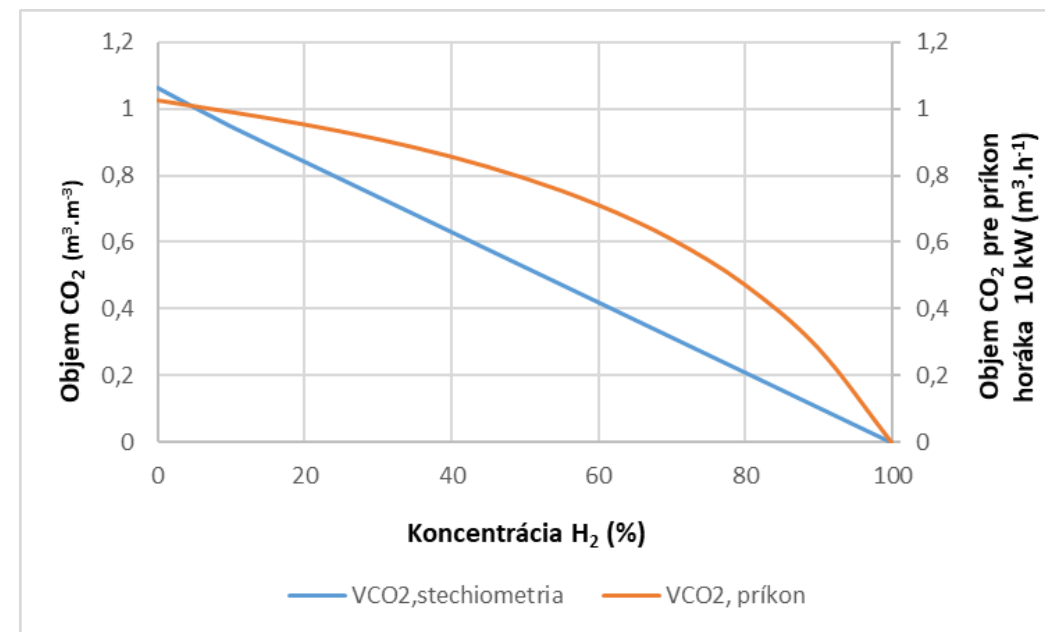
Kľúčový odkaz

S rastúcim podielom H_2 klesá CO_2 , ale objemový prietok paliva rastie pre nižšiu objemovú výhrevnosť vodíka.

Vodík mení množstvo spalín aj produkciu CO₂



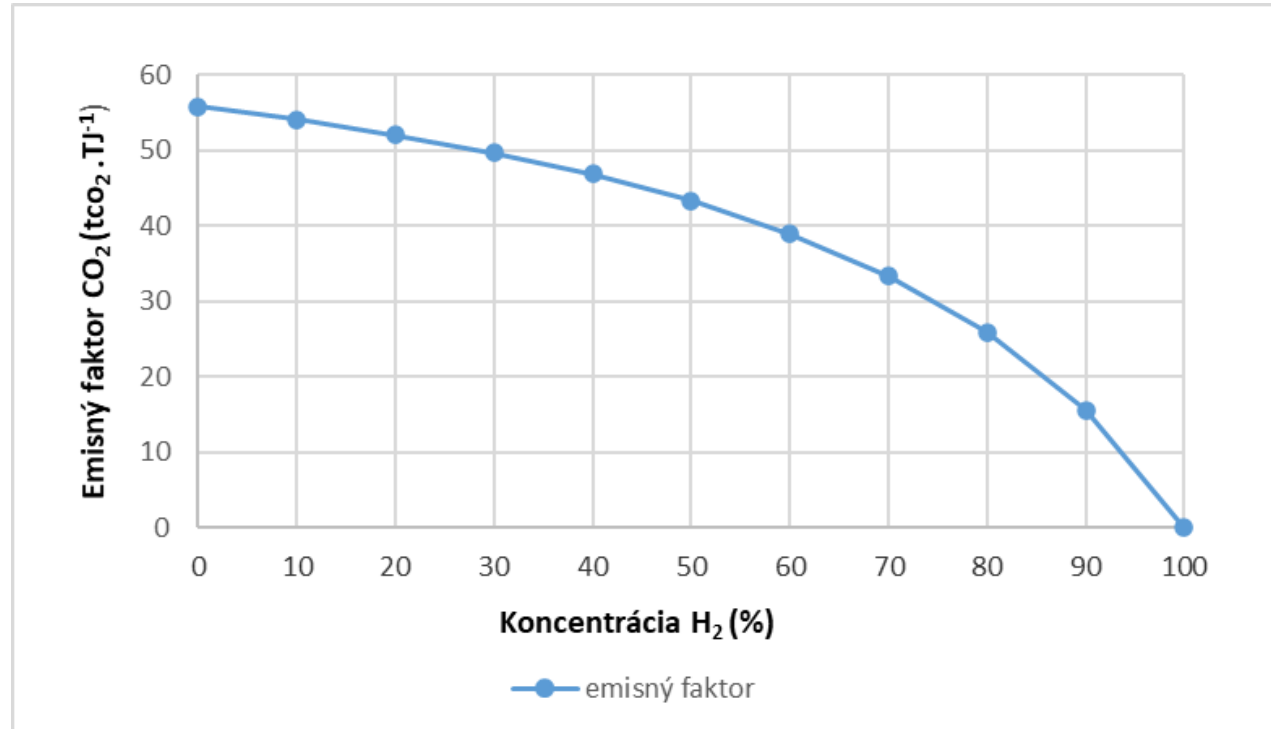
Mokrú spaliny: na 1 Nm³ paliva vs. pri 10 kW



CO₂: stechiometrický objem vs. produkcia pri 10 kW

Porovnanie musí byť viazané na rovnaký tepelný príkon – nie iba na 1 m³ paliva.

Dekarbonizačný efekt vodíka



Emisný faktor CO₂ [tCO₂/TJ] v závislosti od podielu H₂

20 % H₂

pokles emisného faktora približne o 3 tCO₂·TJ⁻¹

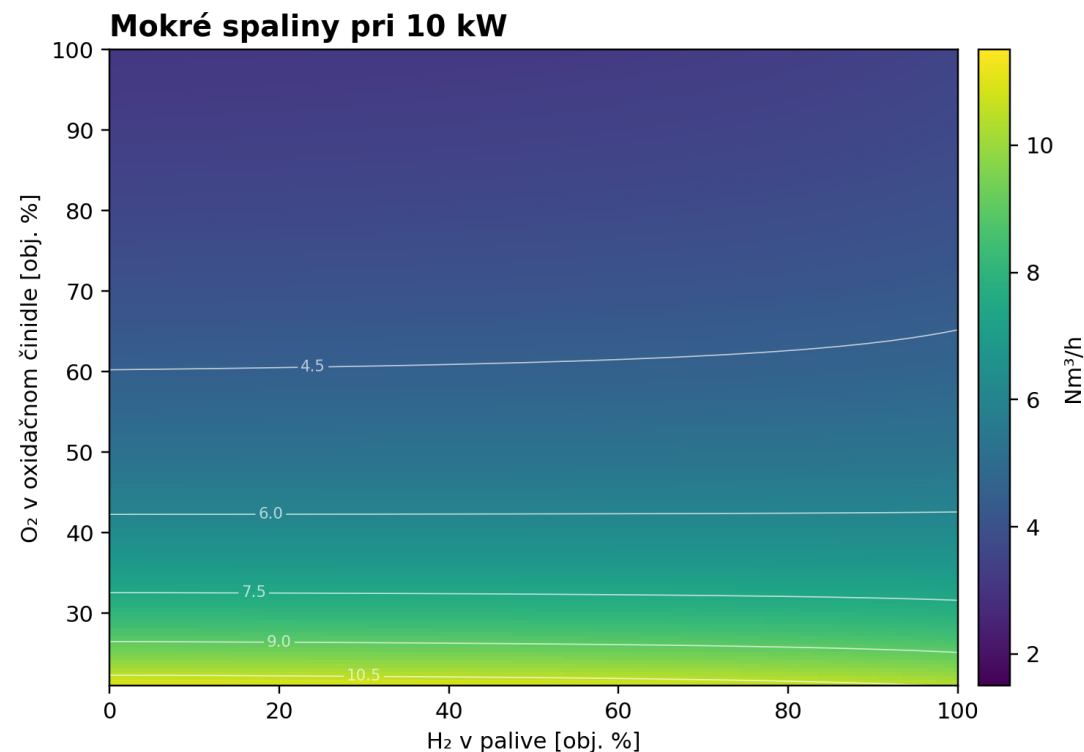
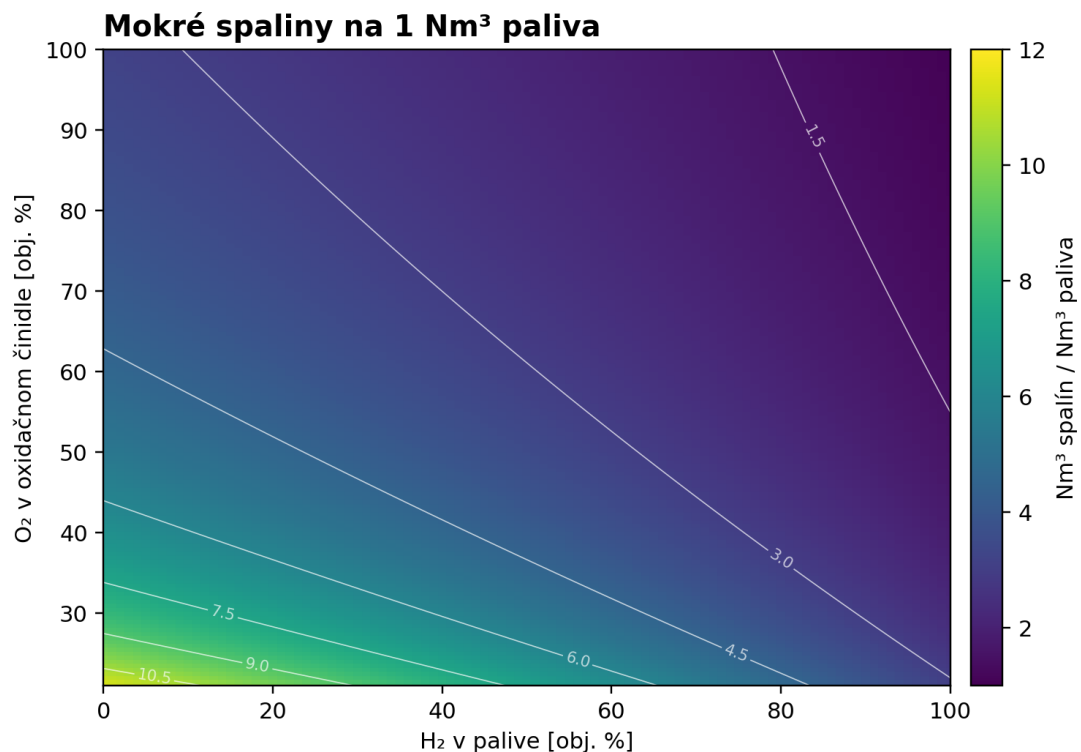
100 % H₂

0 priamych emisií CO₂ zo samotného spaľovania

Poznámka

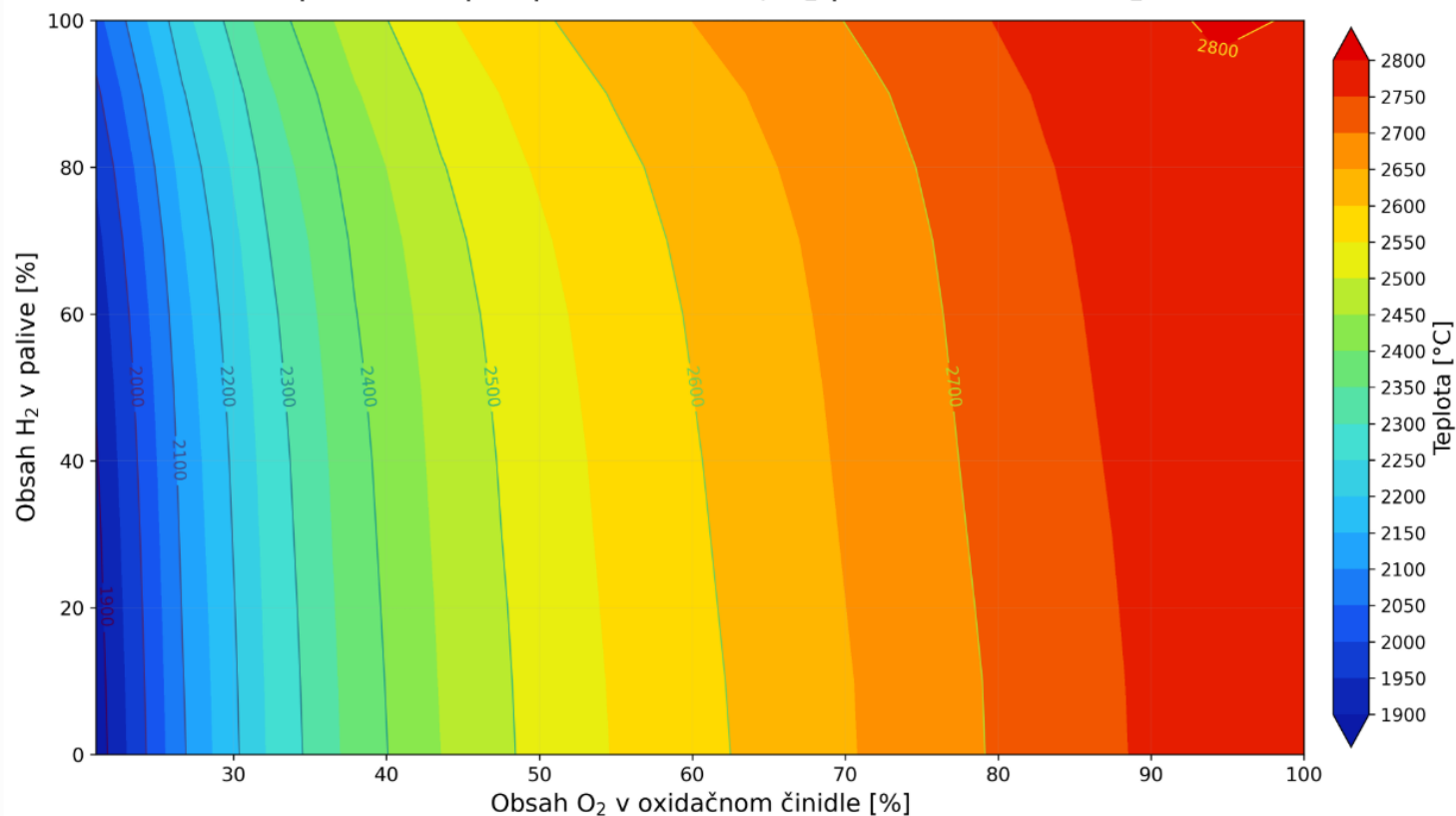
Ide o emisie v mieste spaľovania; výrobný reťazec H₂ sa hodnotí osobitne.

Synergia H_2 + O_2 : čo sa deje s mokrými spalinami?



Pri 30 % O₂ a 10 kW: ZP $\approx 8,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ · H₂ $\approx 7,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$ mokrých spalín → rozdiel iba $\approx -3 \%$.

Teplota spalín rastie najmä s koncentráciou O₂



≈ 2189 °C

zemný plyn pri 30 % O₂

≈ 2317 °C

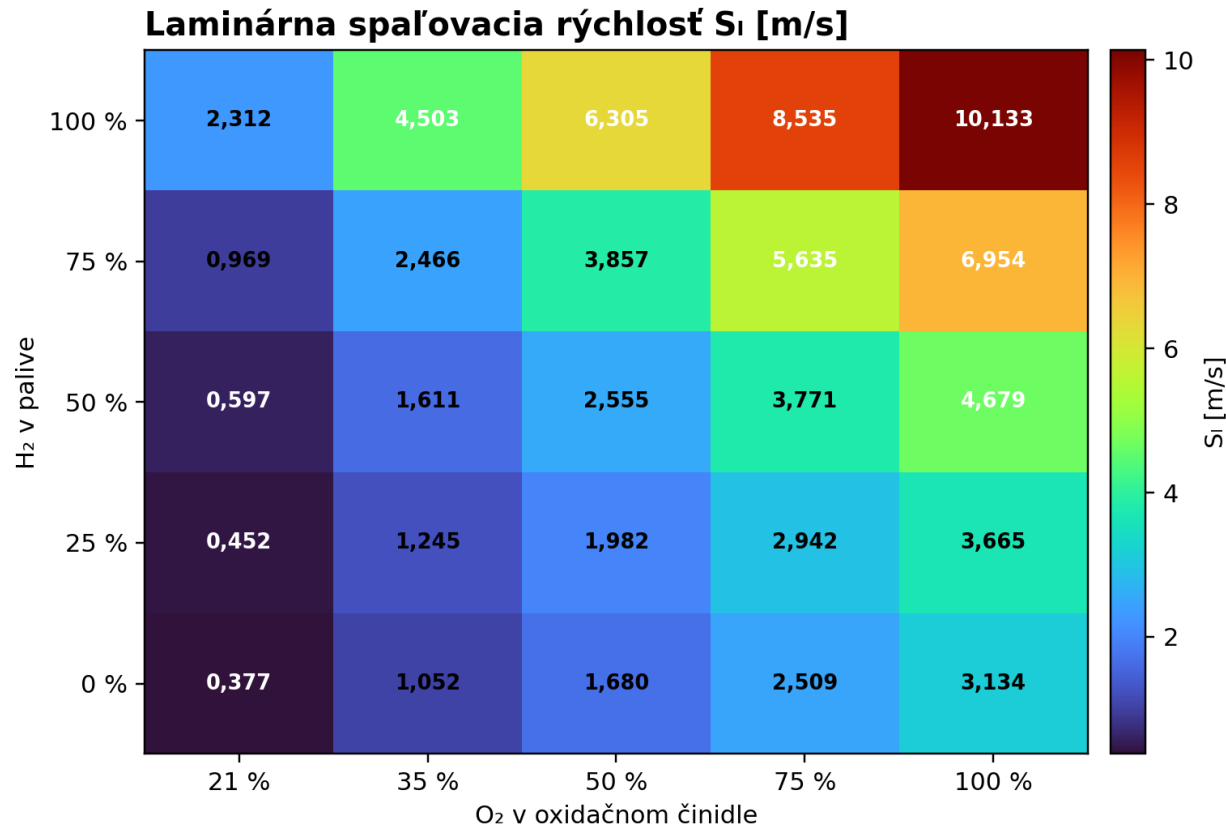
vodík pri 30 % O₂

+128 °C

rozdiel H₂ vs. ZP pri 30 % O₂

H₂O ↑ · CO₂ ↓ · menia sa radiačné
vlastnosti spalín

Spaľovacia rýchlosť: pevná tryska prestáva stačiť



0,377 m/s

referencia: CH₄ / vzduch

2,555 m/s

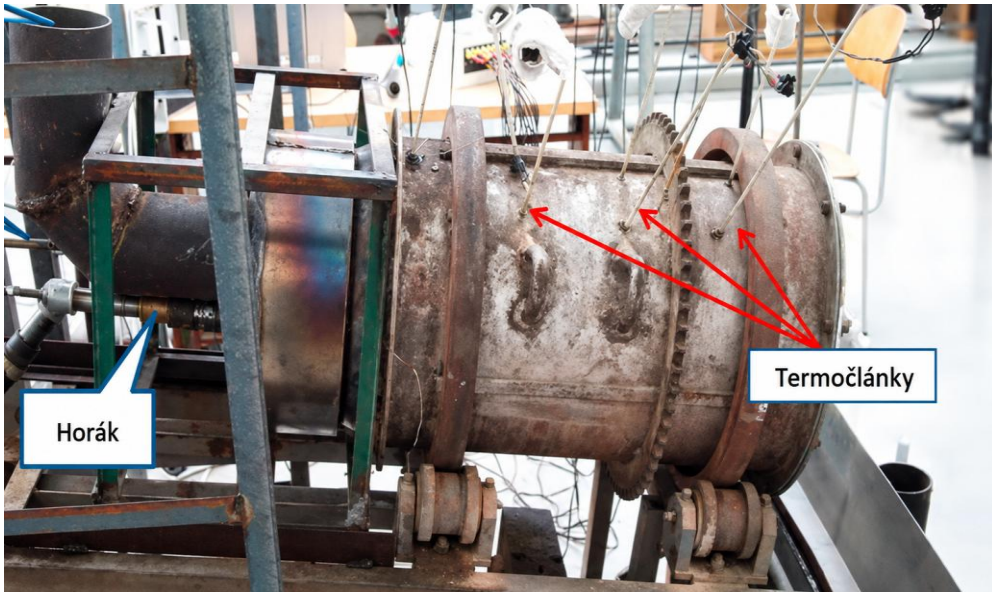
50 % H₂ / 50 % O₂

≈ 6,8×

vyššia S_l oproti referencii

Zmena H₂/O₂ zásadne mení požadovanú výstupnú rýchlosť – geometria horáka preto nemôže zostať konštantná.

Experiment: rotačná sklopná pec



O₂ v oxidovadle: 21–50 %

horák 13,5 kW · vsádzka 15 kg Al

–46,29 %

čas tavenia pri 34,36 % O₂ oproti
vzduchu

≈ 35 % O₂

oblasť klesajúceho prínosu pre čas
tavenia

+4 %

energetická účinnosť pri 30 % O₂
vďaka optimalizácii trysky

Dôsledok kratšieho cyklu

≈ –46 % paliva / tavbu*
≈ –46 % priameho CO₂ / tavbu pri ZP

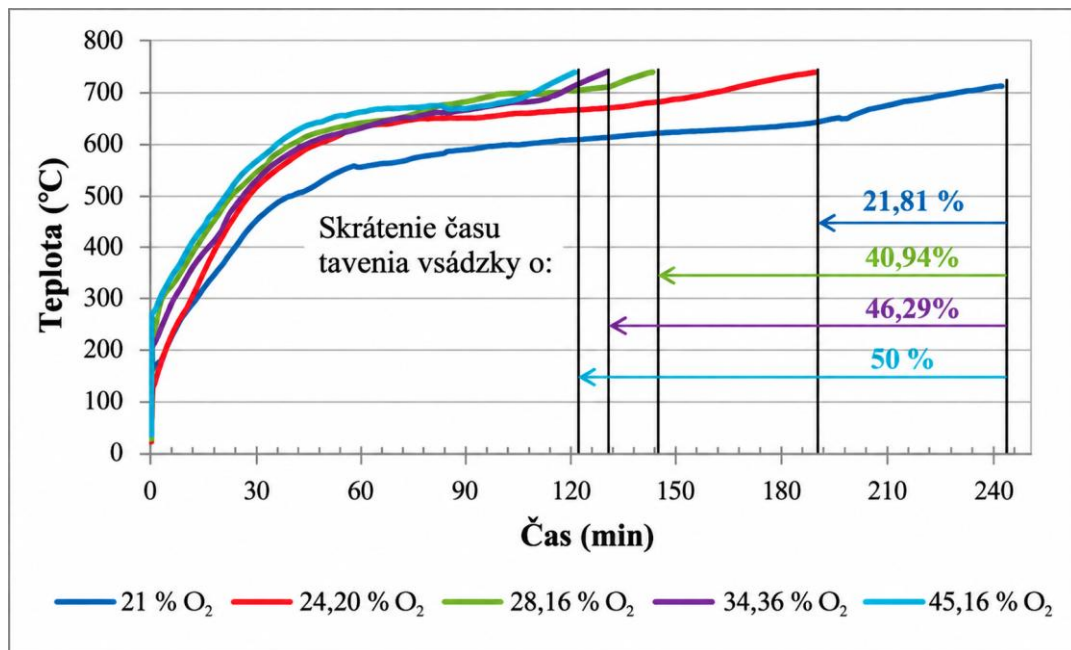
*pri konštantnom tepelnom príkone

Kratší čas tavenia → menej paliva a priameho CO₂ na tavbu

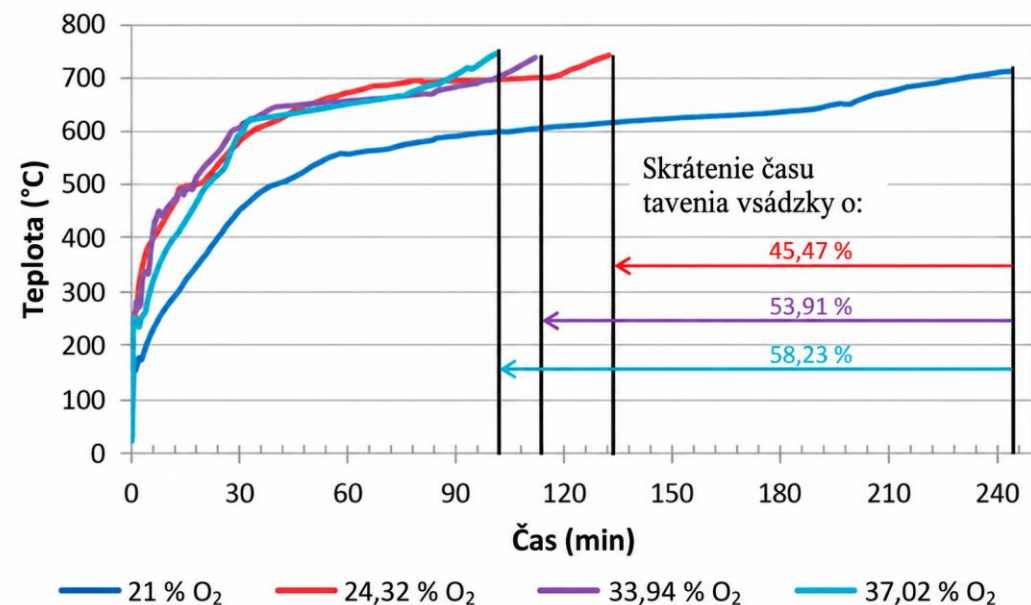
Plný prínos O₂ vyžaduje vhodnú geometriu horáka.

Optimalizácia trysky posúva využiteľný potenciál O₂

BEŽNÁ TRYSKA



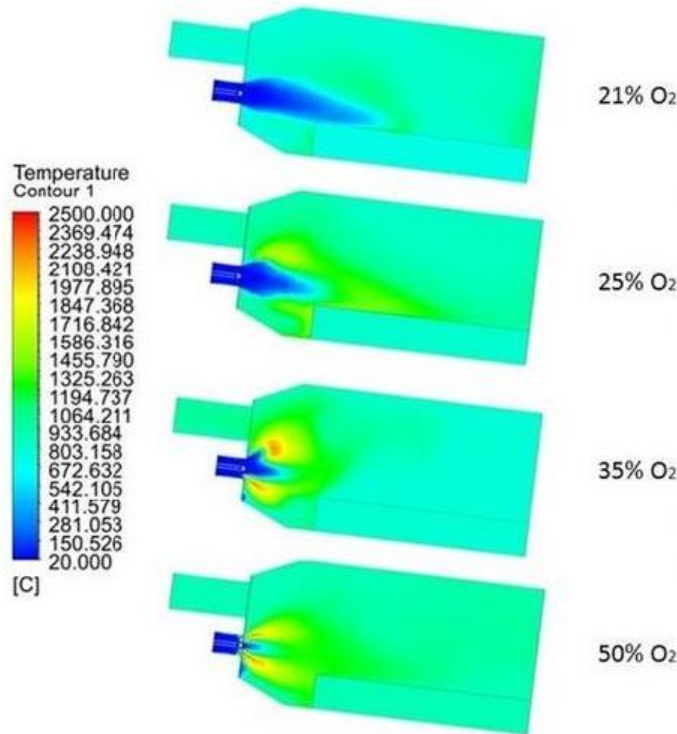
OPTIMALIZOVANÁ TRYSKA



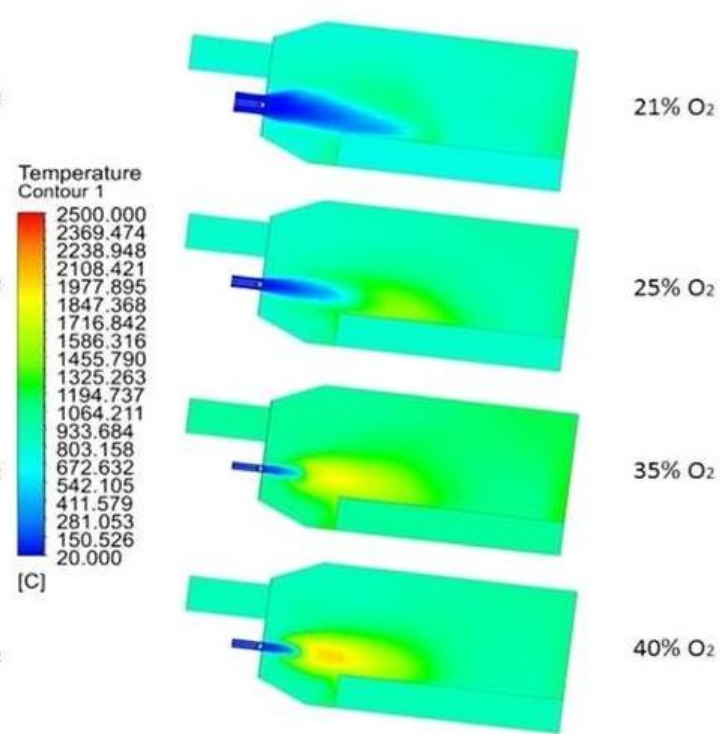
Nie „viac O₂ za každú cenu“, ale O₂ + vhodná geometria + regulácia.

CFD: optimalizovaná tryska mení teplotové pole

BEŽNÁ TRYSKA



OPTIMALIZOVANÁ TRYSKA



Čo ukazuje CFD?

- vyššia penetrácia horúcej zóny
- rovnomernejšie teplotové pole
- lepšie využitie kyslíkového obohatenia

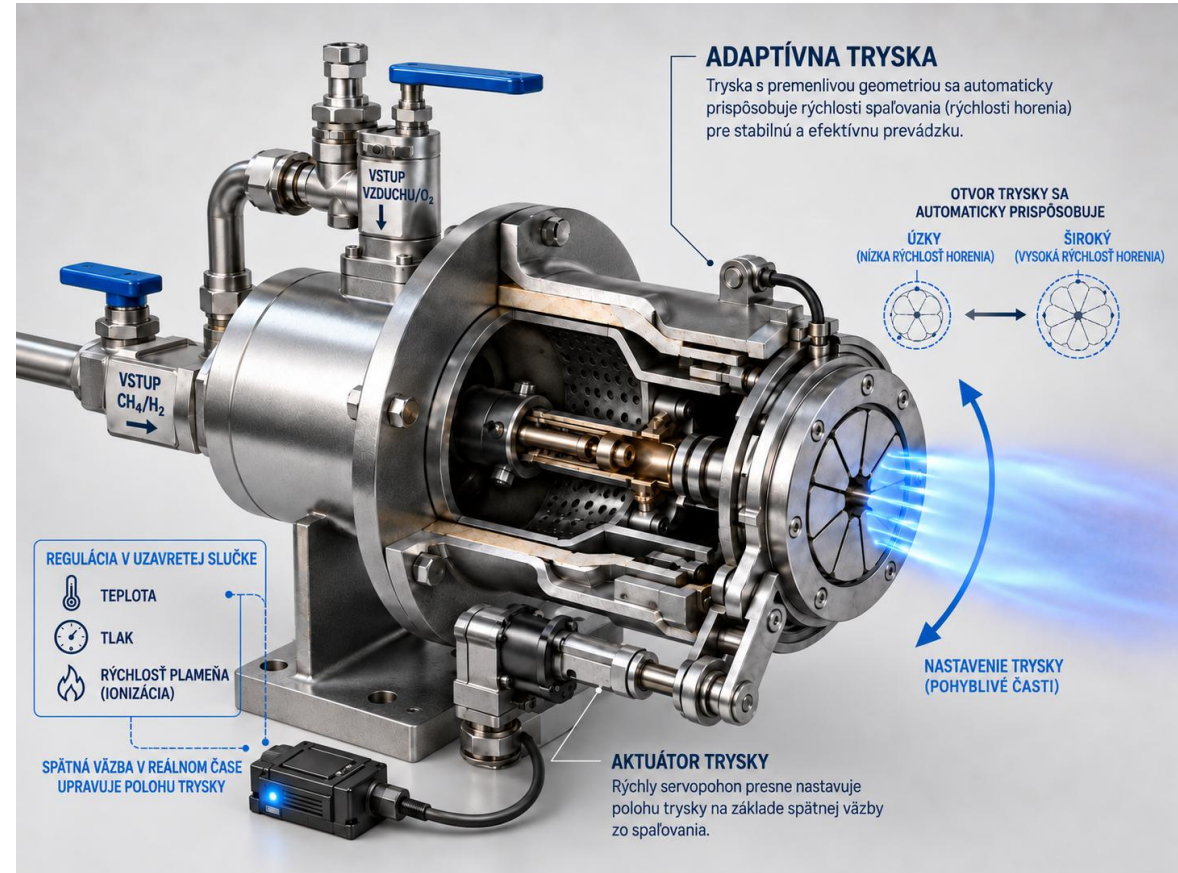
Koncepčný ďalší krok: adaptívny horák

KONCEPT

Uzavretá regulačná slučka

- zloženie paliva CH_4/H_2
- koncentrácia O_2 v oxidovadle
- teplota, tlak a ionizačný signál
- servopohon mení otvor trysky v reálnom čase

Cieľ: udržať stabilnú rýchlosť výtoku a bezpečnú polohu plameňa.



Záver: technologické okno 30–35 % O₂

1 Vodík

znižuje uhlíkovú intenzitu
paliva, ale zvyšuje spaľovaciu
rýchlosť

2 Kyslík

znižuje dusíkový balast,
zvyšuje teplotu a tepelný tok

3 30–35 % O₂

v skúmanom systéme
predstavuje výhodné
prevádzkové okno

4 Adaptívny horák

umožní meniť geometriu
podľa H₂/O₂ a spätnej
väzby

Procesný efekt: kratší cyklus → nižšia spotreba paliva → nižšie priame CO₂ na tavbu

Dekarbonizácia spaľovania ≠ iba zmena paliva

Palivo + oxidovadlo + geometria horáka + regulácia musia byť navrhnuté ako jeden systém.

Praktický smer: H₂ + ~30–35 % O₂ + adaptívna geometria → menej paliva a CO₂ na tavbu

Ďakujem za pozornosť.

robert.dzurnak@tuke.sk

doc. Ing. Róbert Dzurnák, PhD.

**Jesenná konferencia SPNZ
2026**

24.–25. 9. 2026

GH Bellevue, Horný Smokovec



TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
Strojnícka fakulta