

UPORABA VODIKA V NADTLAČNIH GORILNIKIH IN OGREVALNIH SISTEMIH

Dr. Marko Klancisar

–weishaupt–
Gorilniki in ogrevalni sistemi



Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

Pregled

- Kanalizacijski plin
- Bioplin
- Utekocinjeni naftni plin
- Mestni plin
- ...
- ...
- ...
- Vodik



Bioplinarna

Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

- Vsaj 50 % prostornine gorljivih snovi (sestavin) v zgorevalnem plinu
- Najmanjša kurilna vrednost 3,5 kWh/m³
- Konstantne kalorične vrednosti
- Tehnično suha, relativna vlažnost < 60 %.
- Vodikov sulfid H₂S < 0,1 vol. %
- Brez strupenih sestavin
- Plinske nečistoče v skladu z G260



Vodik ter -weishaupt-

Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

► Stanje na izdelkih

WH ogrevalni sistemi lahko obratujejo z do **20% H₂** deležem

► Certificiranje

20% H₂ glede na
DVGW CERT ZP 3100



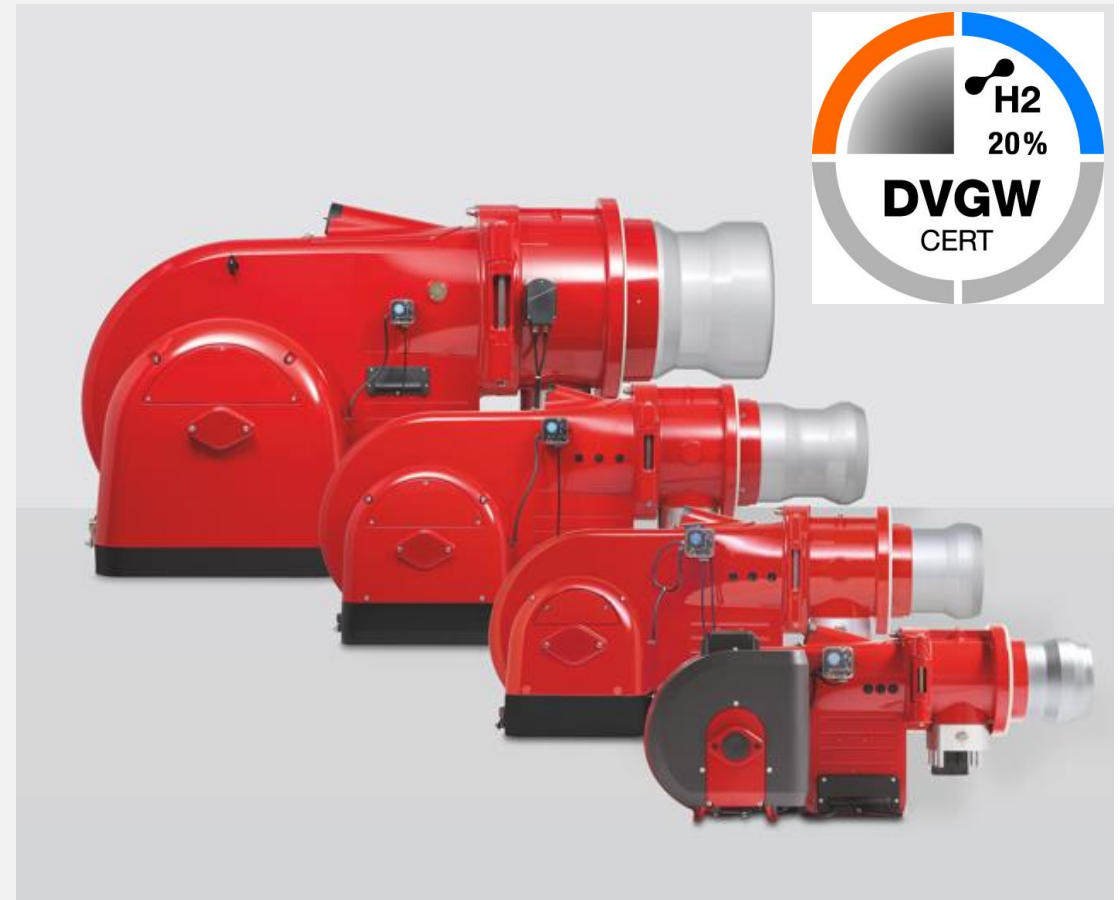
Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

► Product availability

WH nadtlačni gorilniki so primerni do **10% H₂** deleža v primeru $\pm 2\%$ nihanja Wobbe indeksa/števila

► Certificiranje

do **20% H₂** delež glede na **DVGW CERT ZP 3502** za moči do **1,8 MW**



Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

- **Gas valve train**
for Biogas and sewage gas burners are additionally equipped with flame flashback protection
- **Assembly**
directly at the pilot gas connection and upstream of the gas butterfly valve
- **Design detail**
in accordance with Technical Workbook 2.4, Page 7-2.19

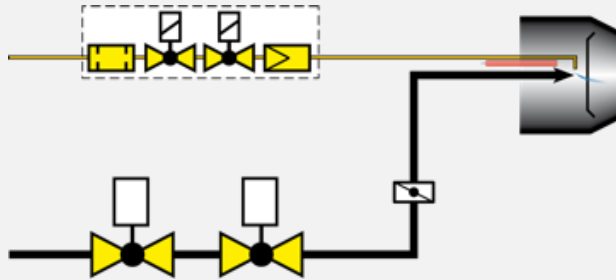


Flame flashback protection

Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

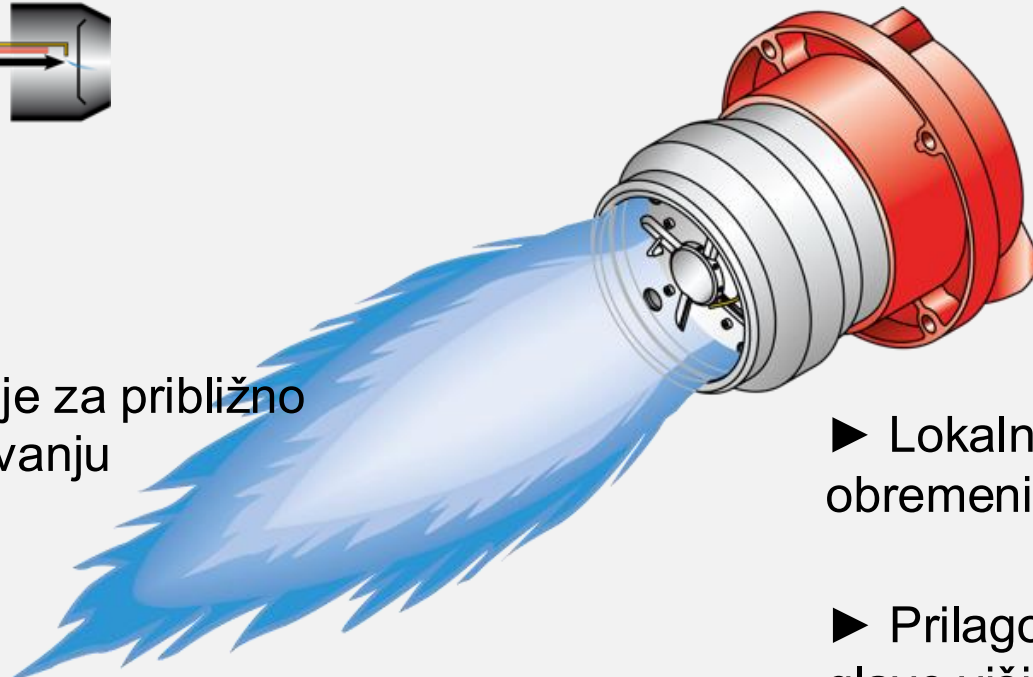
H₂ - Vplivi na gorilnik

- ▶ Uporaba zemeljskega plina ali utekočinjenega zemeljskega plina kot vžignega plina



- ▶ Temperatura plamena je za približno 300 °C višja kot pri zgorevanju zemeljskega plina

- ▶ Termični NO_x se poveča za faktor 2,5...3



- ▶ Lokalno višja temperaturna obremenitev glave plamena

- ▶ Prilagoditev materiala plamenske glave višjim temperaturam

Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

H₂ - Dodatni ukrepi

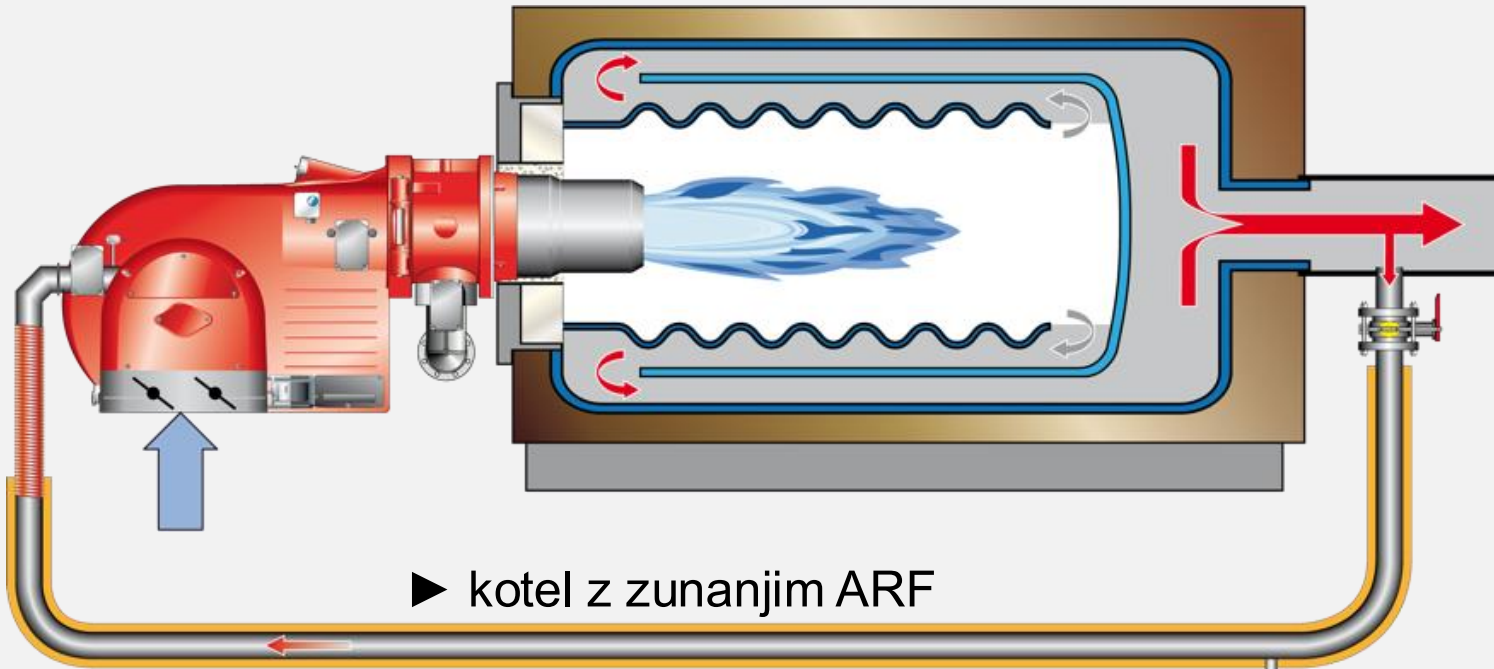
- ▶ Plinovod z dodatnim varovalom plamena
- ▶ Plinovod je morda treba očistiti z dušikom (nevarnost eksplozije)
- ▶ Preprečiti kondenzacijo v plinovodu
- ▶ Življenjska doba sestavnih delov gorilnika se skrajša glede na stanje/lastnosti goriva



Alternativna goriva ter kontinuirana oskrba z energijo

H_2 - Vplivi na kotel

- ▶ Lokalno višja temperaturna obremenitev v zgorevalnem prostoru



- ▶ Povprečna temperatura dimnih plinov se poveča za približno 30 °C

Hlajenje plamena, zniževanje NOx

Alternative fuels vs. secure energy supply

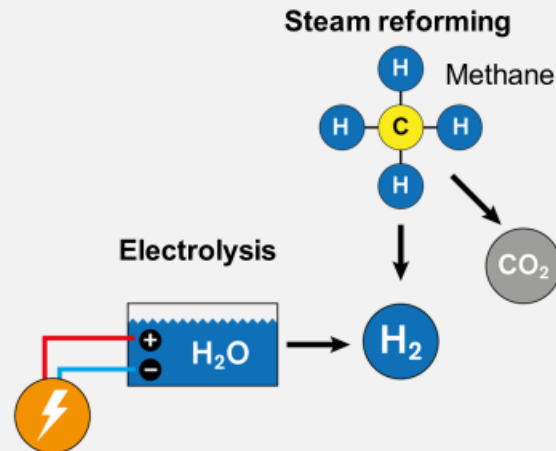
H₂ - Odprta vprašanja

–weishaupt–

Alternative fuels vs. secure energy supply

H₂ - Open issues – „green hydrogen“

- ▶ How can the required amount of hydrogen be produced?
- ▶ Currently about 70% of H₂ production is steam reforming → (by-product CO₂)
- ▶ To achieve a 10 vol.% admixture in Germany, about 48.5 billion cubic meters are required

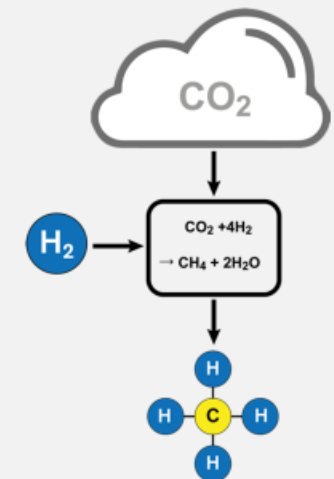


–weishaupt–

Alternative fuels vs. secure energy supply

H₂ - Open issues – methanation

- ▶ is methanation possibly also an interesting solution?
- ▶ "green hydrogen" is converted into methane in combination with CO₂ from the atmosphere or from upstream processes to methane



Kaj je sploh vodik?

- Vodik je najmanjši element v periodnem sistemu,
- Je približno 8,7-krat lažji od zemeljskega plina in 14-krat lažji od zraka ,
- Glede na svojo težo ima vodik bistveno večjo energijsko gostoto kot zemeljski plin (2,87),
- Glede na prostornino pa ima bistveno manjšo energijsko gostoto (zemeljski plin ima 3,6-krat večjo).

Lastnosti

Brennstofftyp		Erdgas H	Wasserstoff
Emissionsindex		CO ₂	CO ₂ frei
Heizwert	kWh/m ³ _n	10,35	3,0
Dichte	kg/m ³ _n	0,829	0,09
Spez. Luftbedarf	(pro m ³ Gas bei λ =1)	9,88	2,38
Taupunkttemperatur	(bei λ =1)	57,8	71,8
Zündtemperatur	°C	640	585
Zündbereich in Luft	%	5...14	4...76
Mindestzündenergie	MJ	0,28	0,016
Flammentemperatur °C	ca.	1100...1300	1200...1400
Verbrennungseigenschaften		leicht brennbar	leicht brennbar
Flamme		sichtbar	unsichtbar

Zanimiva dejstva



▶ Trenutno se na svetu proizvede približno **600 milijard** kubičnih metrov vodika, ki se porabi skoraj izključno v industriji.

▶ To ustreza približno **1,5 %** svetovne porabe energije.

Zanimiva dejstva



- ▶ Letna poraba plina v Nemčiji znaša približno 95 milijard m³.
- ▶ Z 10 vol. % (9,5 milijarde m³) primesi je še vedno potrebnih 92,25 milijarde m³ plina.

Dejstva pri proizvodnji vodika

- Za proizvodnjo 1 kg vodika je potrebnih 55 kWh električne energije (ob predpostavki, da je učinkovitost postopka elektrolize $> 60 \%$).
- Za proizvodnjo 1 kg vodika je potrebnih devet kilogramov vode.
- 1 kg vodika $\triangleq 11,89 \text{ m}^3$

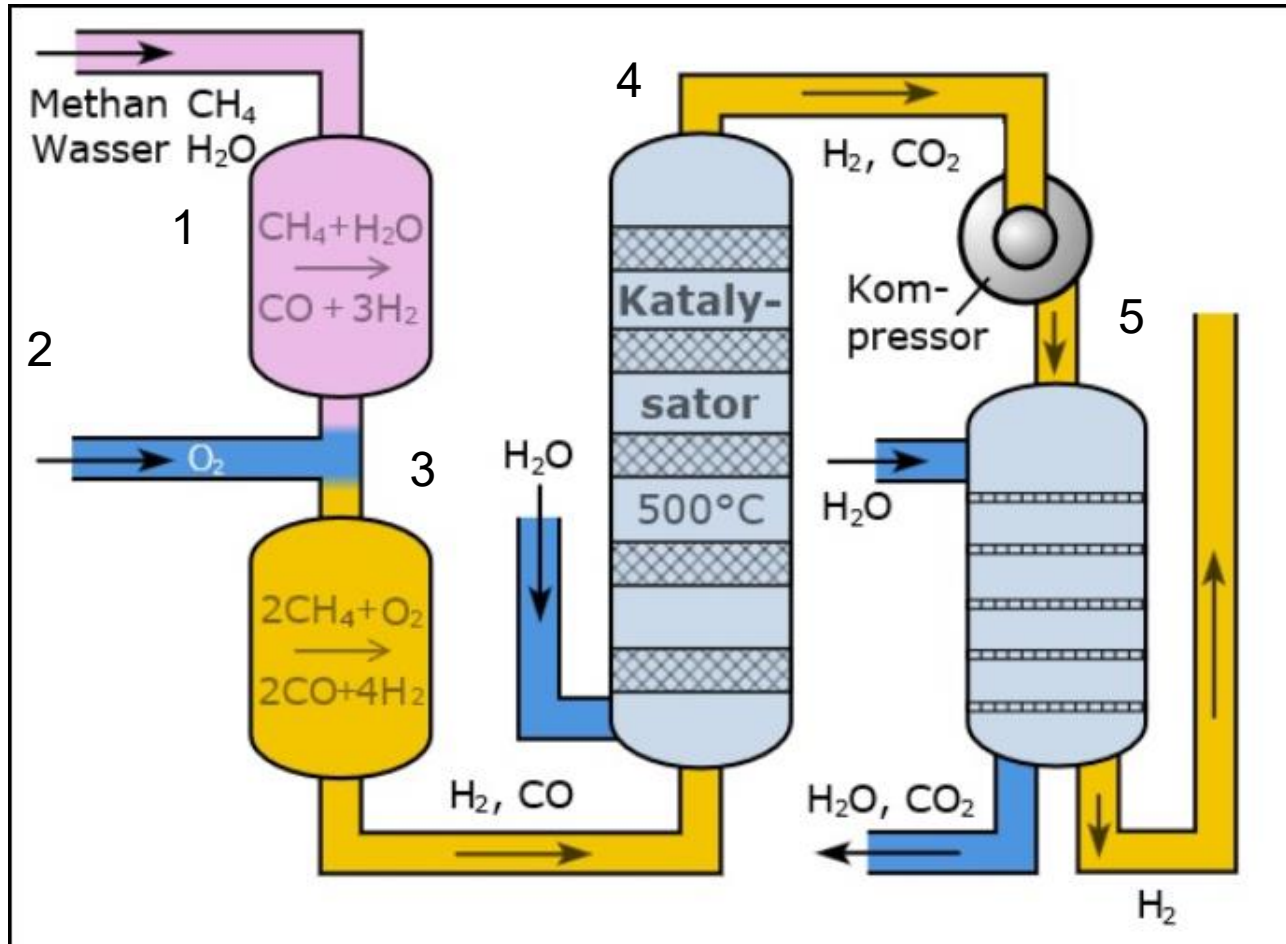
Razogljichenje z uporabo vodika

Energijska bilanca (primer 10 kW)

Zemeljski plin E	→	2,02 kg/h CO ₂	↓ - 3%	↓ - 6,9%
Zemeljski plin E + 10vol% H ₂	→	1,96 kg/h CO ₂		
Zemeljski plin E + 20vol% H ₂	→	1,89 kg/h CO ₂		

Kako se proizvaja vodik?

Parna reformacija



1. Primarni reformator
2. Dovod kisika
3. Sekundarni reformer
4. Pretvorba CO
5. Pralni stolp

Kako se proizvaja vodik?

Sivi vodik

Metan (glavna sestavina zemeljskega plina) se cepi s parnim reformerjem.

Pri tej cepitvi nastajata vodik in ogljikov monoksid pri temperaturi približno 900 °C in tlaku do 30 barov(1).

Pri reakciji pretvorbe vode v plin se za proizvodnjo ogljikovega dioksida iz ogljikovega monoksida uporablja vodna para.

Ogljikov dioksid se ne uporablja več.

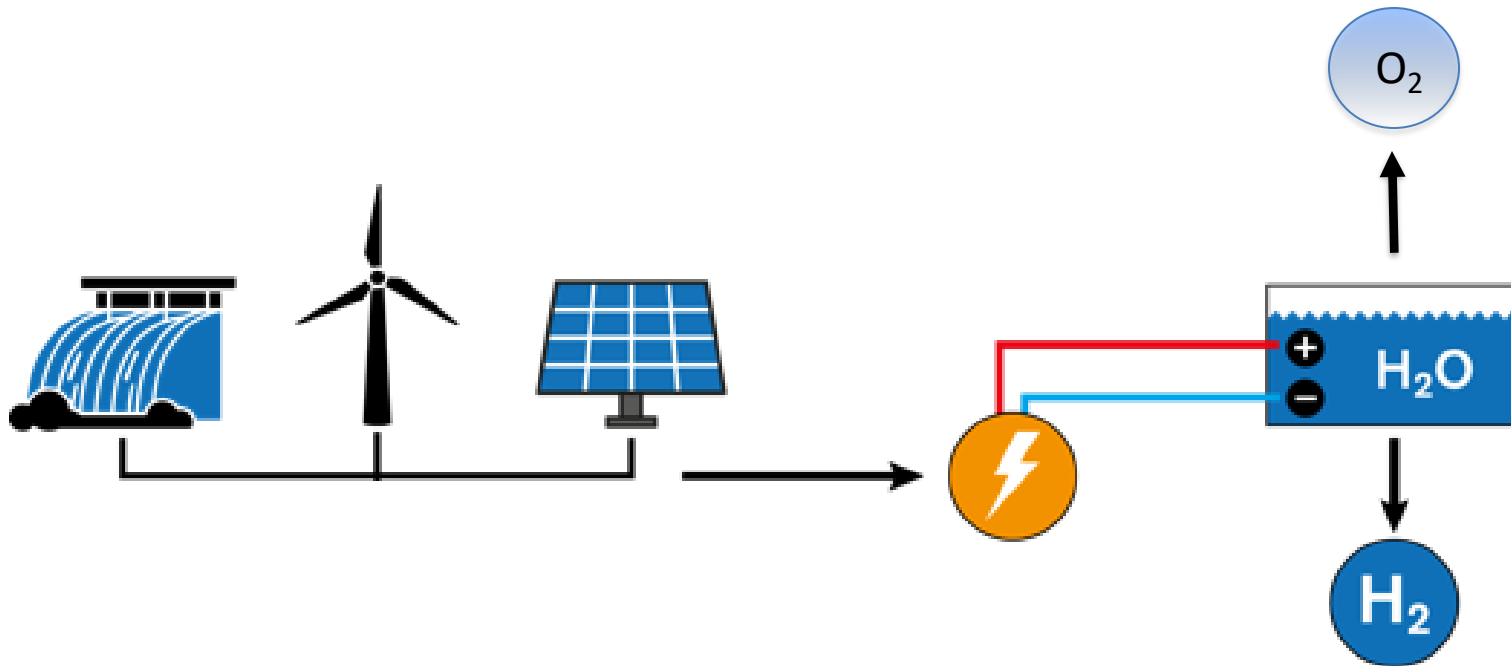
Modri vodik

Postopek proizvodnje se ne razlikuje od proizvodnje sivega vodika.

Vendar se proizvedeni ogljikov dioksid shranjuje ali uporablja kot surovina.

→ Približno 70 % proizvedenega vodika se proizvede na ta način

Elektroliza



Zeleni vodik

S pomočjo elektrolizerja se voda s pomočjo električne energije, pridobljene iz obnovljivih virov, razdeli na vodik in kisik.

Vodik se lahko porabi neposredno, shranjuje ali meša z zemeljskim plinom.

Vodik se lahko pretvori tudi v metan z metanizacijo v kombinaciji z ogljikovim dioksidom ali ogljikovim monoksidom.

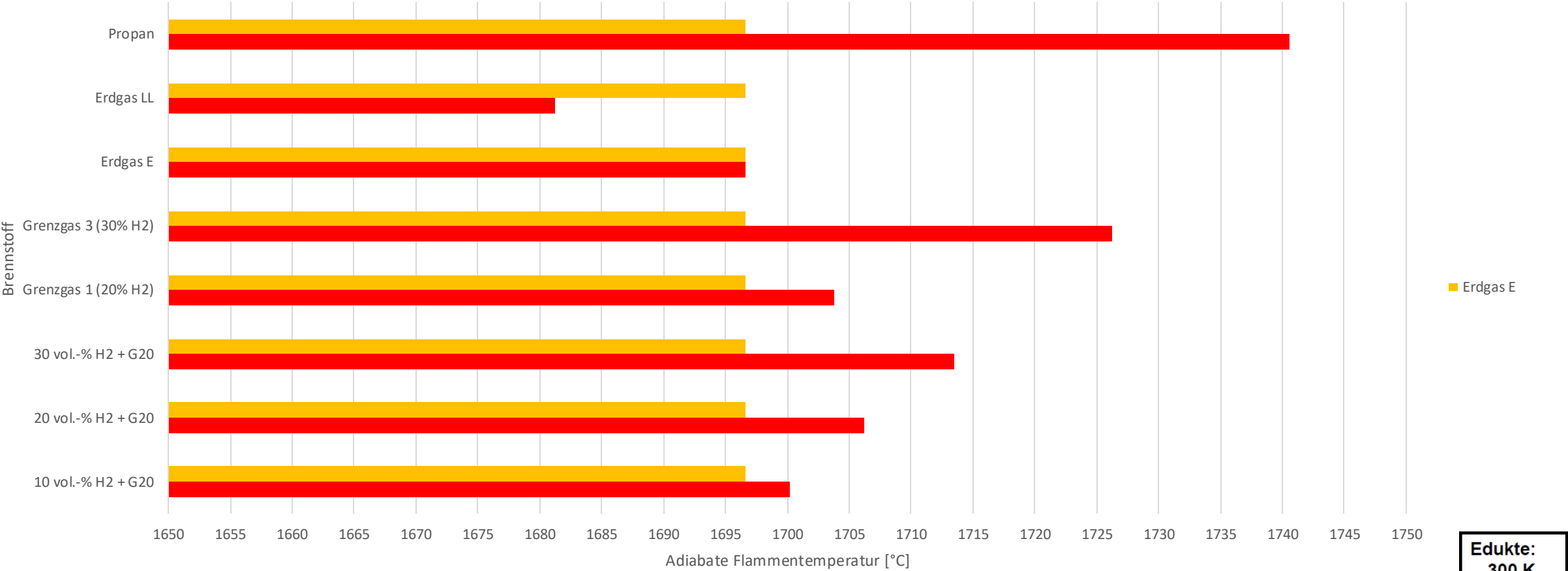
Pri tem postopku ne nastaja ogljikov dioksid.

Izkoristki in pomembne lastnosti zgorevanja

Brennstoff	Zustand	Heizwert Hi [kWh/m3]	Brennwert Hs [kWh/m3]	Hs/Hi	Dichte [kg/m3]	Adiabate Flammentemperatur [°C] einiger Brenngase bei der stöchiometrischen Verbrennung mit Luft	Max. Flammengeschwindigkeit * (Turbulent) [cm/s] bei l=1,28	Mindest-zündenergie [mJ]
Erdgas H (Erdgas E)	gasförmig	9,4...11,8	10,4...13,1	1,11	0,79	1700	42	0,25
Erdgas L (Erdgas LL)	gasförmig	7,6...10,1	8,4...11,2	1,11	0,83	1680	40	0,26
Flüssiggas Propan	gasförmig	25,8	28,1	1,09	1,97	1740	74	0,24
Wasserstoff	gasförmig	3,0	3,54	1,18	0,09	1990	197	0,016
Syntetisches Methan (CH4 > 97 vol.-%)	gasförmig	10,0	11,1	1,11	0,72	ca. 1700	44	0,25
Erdgas H + 30% H2	gasförmig	7,8	8,8	1,13	0,53	1730	88	0,19
Erdgas H + 20% H2	gasförmig	8,6	9,6	1,12	0,65	1710	75	0,21

* Nach GRI3.0 Mechanismus

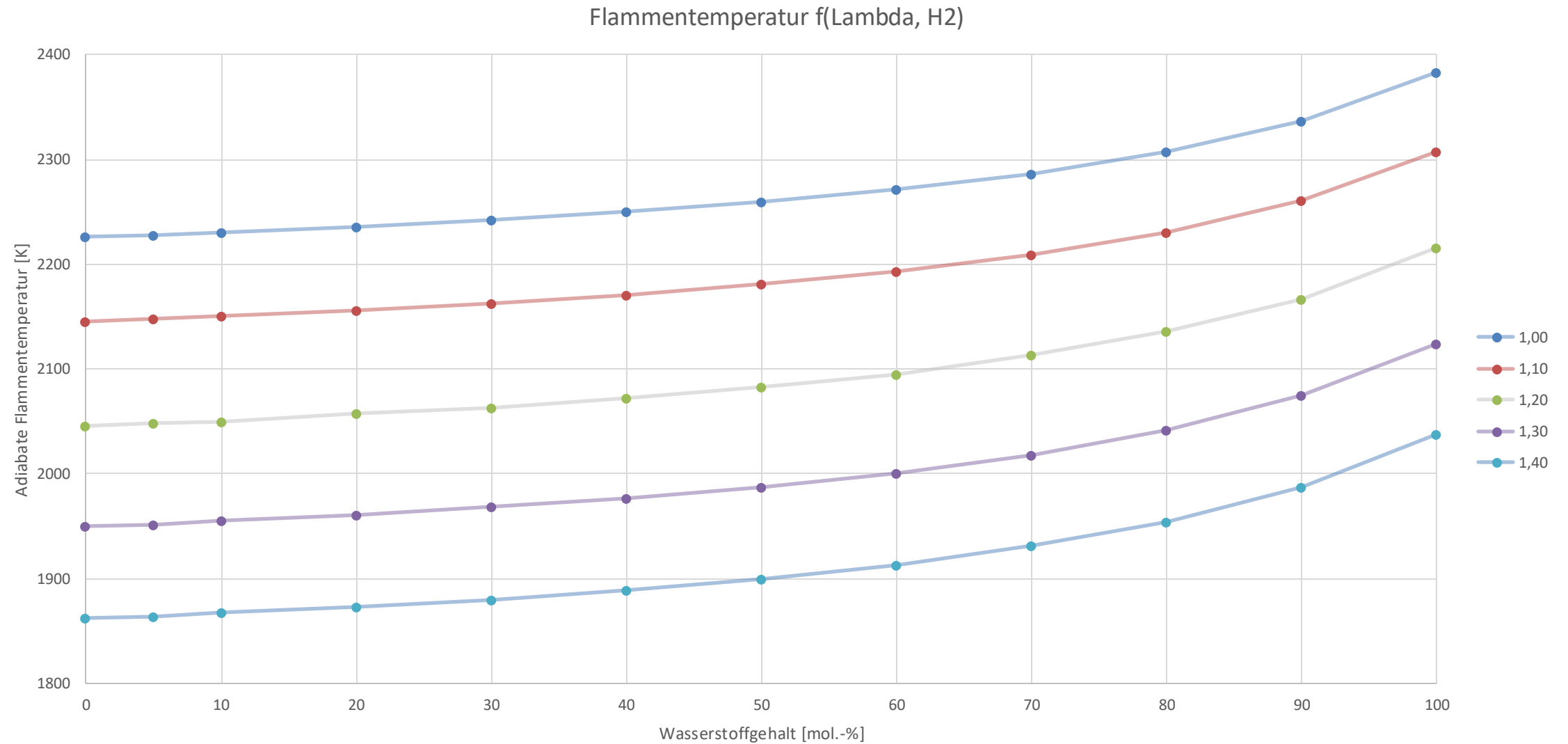
Adiabate Flammentemperatur brennstoffabhängig (bezogen auf Erdgas E)



Edukte:
- 300 K
- 1 atm
- $\lambda = 1,28$
- Luft, tr.

Normprüfgas
Grenzgas I:
Grenzgas II:
Grenzgas III:

„NPG“: CH4 80Vol.% H2: 20 Vol. % - *entsprechend zu G20*
CH4 74Vol.% H2: 18,5 Vol. %, N2: 7,5 Vol.% ("Abheben") - *entsprechend zu G23*
G21 - *entsprechend zu G21*
CH4 64Vol.% H2: 36 Vol. % ("Rückschlagen") - *entsprechend zu G222*

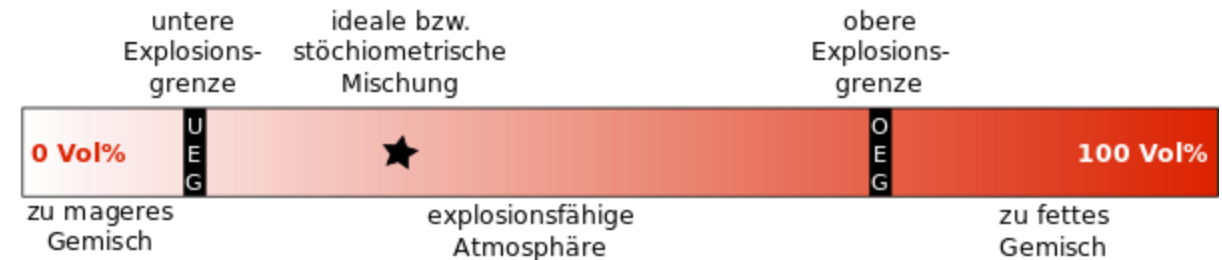


Meje eksplozivnosti

Tabelle 1: Explosionsgrenzen [2], Brennwerte $H_{s,n}$, Wobbe-Indizes $W_{s,n}$ und relativer Luftbedarf von H_2 , CH_4 und H_2/CH_4 -Gemischen

Gas	Explosionsgrenzen x_i in Vol.-%		$H_{s,n}$ kWh/m ³	$W_{s,n}$	Luft- bedarf _{rel} 1
	UEG	OEG			
100 % CH_4	4,6	16,6	11,06	14,85	100 %
12,5 Vol.-% H_2 in CH_4	k. A.	18,4	10,12	14,40	91 %
25,0 Vol.-% H_2 in CH_4	4,5	23,5	9,18	13,95	81 %
50,0 Vol.-% H_2 in CH_4	4,4	32,0	7,30	13,07	63 %
100 % H_2	4,1	77,0	3,54	13,43	25 %

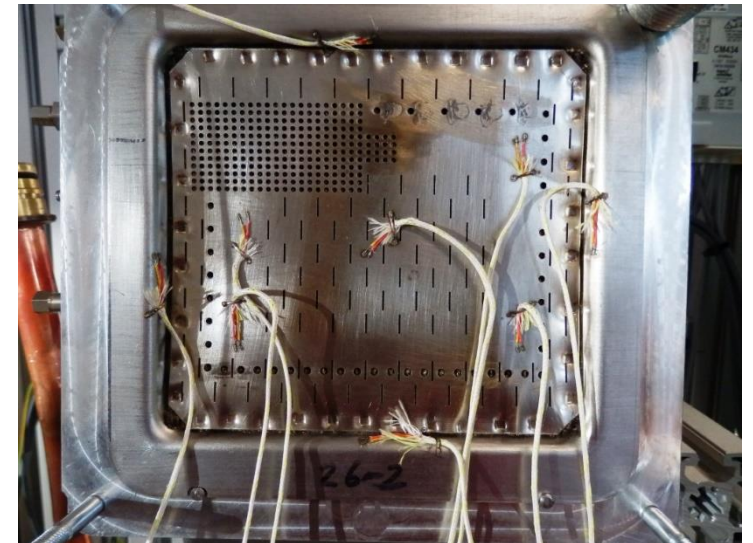
* Nach GRI3.0 Mechanismus



Življenjska doba / šibke točke / negotovosti

Bistvena razlika v primerjavi z metanom (oziroma zemeljskim plinom) je toplotna obremenitev. Komponente, na katere to najbolj vpliva, so

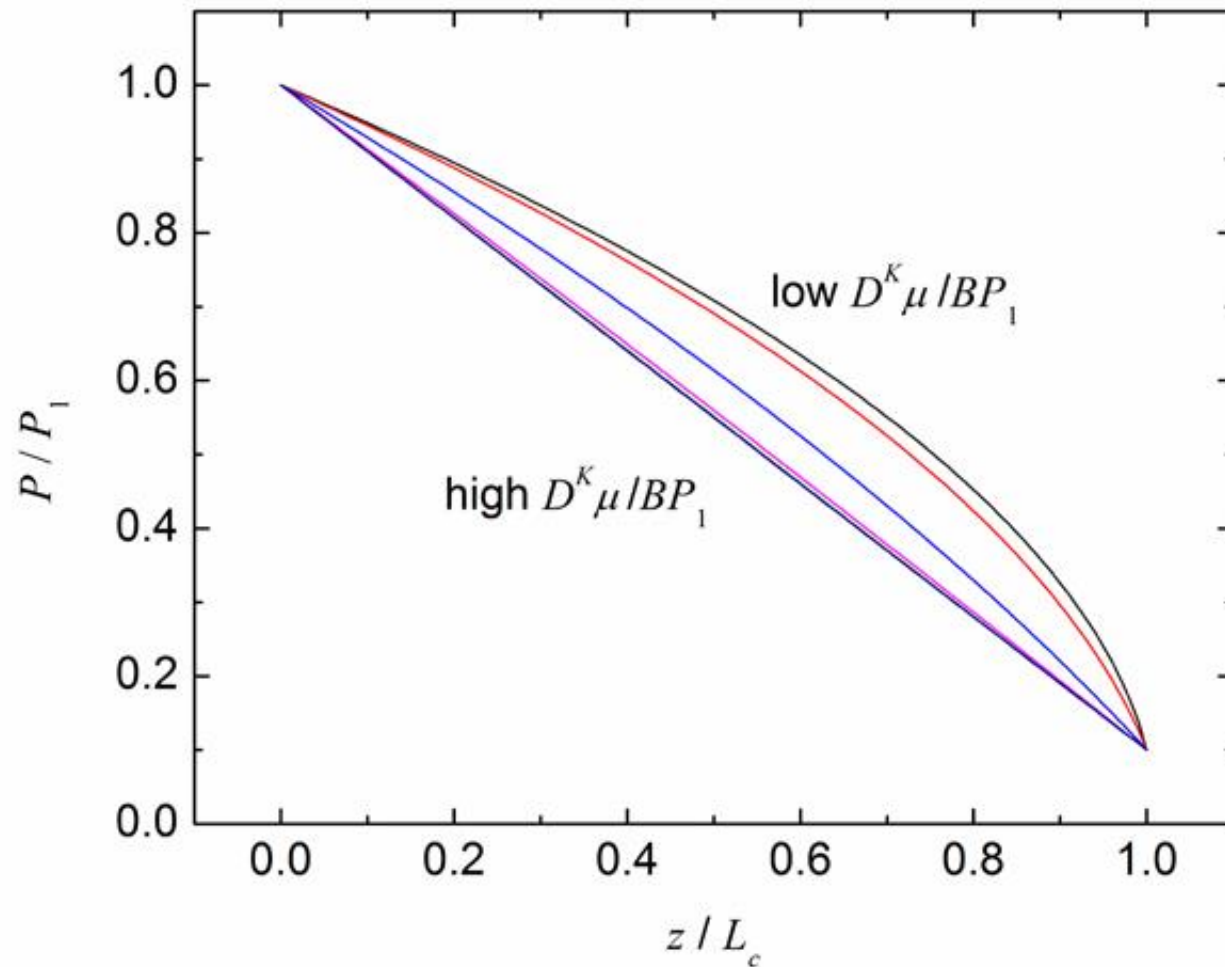
- površina gorilnika (pri najmanjši obremenitvi)
- tesnilo gorilnika
- zadnja stena zgorevalne komore (pri polni obremenitvi)
- elektroda IO
- Vžigalna elektroda
- Drugi del je trajnost sestavnih delov na vodik ter njegova permeabilnost



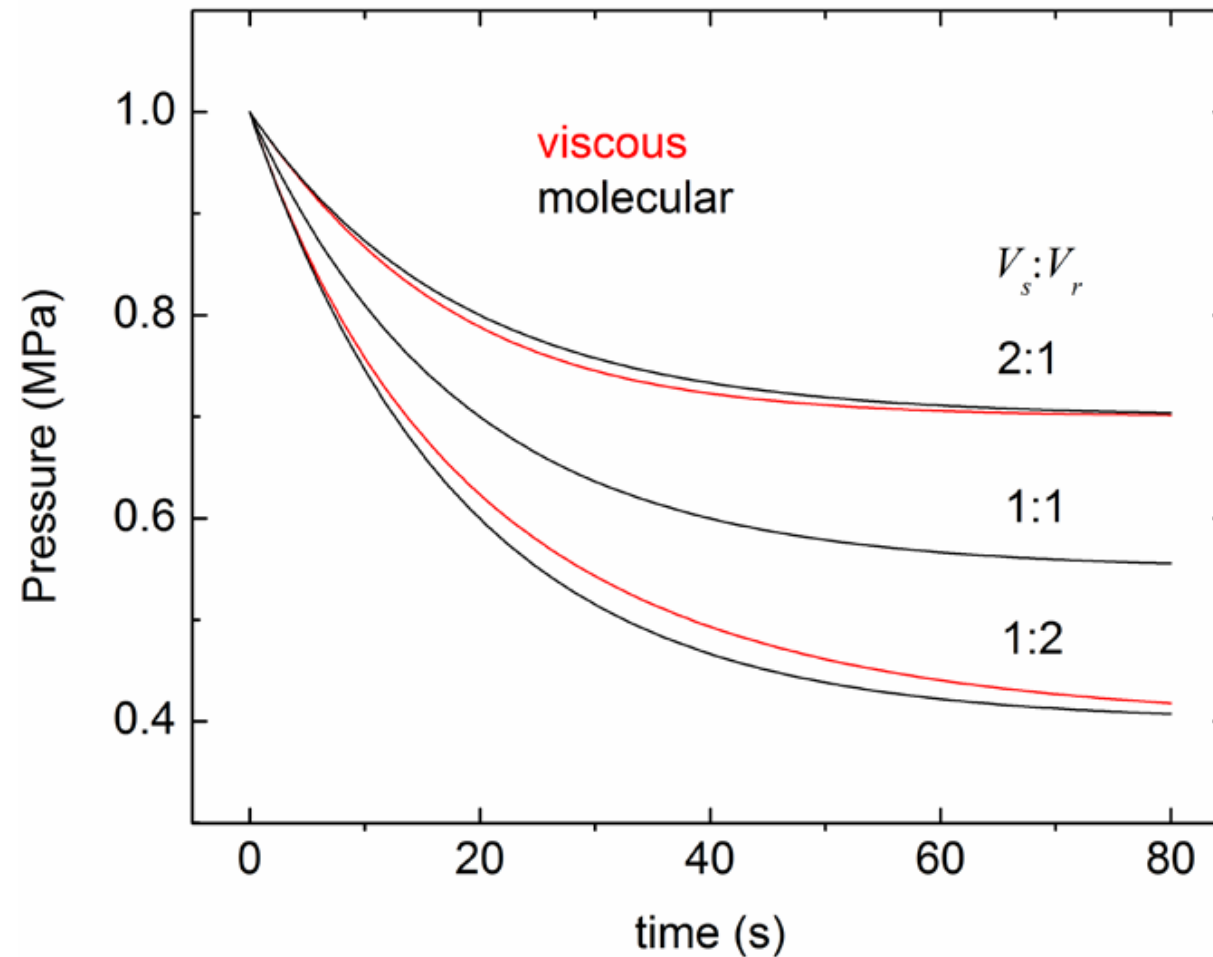
Obravnavamo preprost model za pretok idealnega plina iz ene posode skozi porozno snov v drugo posodo. Predpostavljena sta konstantna temperatura in enakomerna poroznost. Prenos obravnavamo kot kombinacijo viskoznega in molekularnega toka brez vztrajnostnega prispevka (nizko Reynoldsovo število).

- Molarna ohranitev:
$$\varepsilon \frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{N} = 0$$
- Viskozni tok:
$$\mathbf{N}_v = -\frac{B}{\mu} c \nabla P$$
- Padec tlaka:
$$\nabla P = -\frac{\mu}{BA_c} \left(\frac{A_c \mathbf{N}_v}{c} \right)$$
- Permeabilnost:
$$B = \frac{\varepsilon}{q} B_{pore}$$

Ker je molarni pretok konstanten, je hitrost plina obratno sorazmerna s tlakom



Odziv v vsakem režimu toka na različne pogoje. Oznaka krivulje označuje razmerje med V_s in V_r . Na grafu je uporabljeno konstantno razmerje tlaka 10



Najlepša hvala za vašo pozornost

