

ANALIZA MOŽNOSTI SOUPORABE LESNEGA PLINA ZA ŽGANJE APNA V OBROČNI JAŠKASTI PEČI

Andrej SENEGAČNIK

POVZETEK

Članek obravnava možnost souporabe lesnega plina pri kurjavi na zemeljski plin v obročni jaškasti peči za žganje apna. Za uplinjevanje lesnih sekancev je predvidena preizkušena tehnologija protitočnega uplinjevalnika, ki kot oksidacijsko sredstvo uporablja mešanico zraka in recirkuliranih dimnih plinov z ~10 % vsebnostjo kisika. Količina in kurilnost nastalega lesnega plina je odvisna od vlažnosti lesnih sekancev. Simulacija sosežiga zemeljskega in lesnega plina v spodnjih gorilnikih peči pokaže, da je z lesnim plinom možno nadomestiti od 20 % do 50 % zemeljskega plina.

ABSTRACT

The article deals with the wood syngas as a partial supplementary fuel for lime burning in the annular shaft kiln. Natural gas is a primary fuel. Wood chips are gasified with approved technology in the counter current gasificator. As an oxidizer the mixture of air with recycled flue gas with ~10 % oxygen is used. The moisture content in the wood chips dictates the amount and calorific value of syngas. The simulation of syngas and natural gas co-combustion in the lower combustion chambers shows that can be 20 % to 50 % of natural gas supplemented with the wood syngas.

1. UVOD

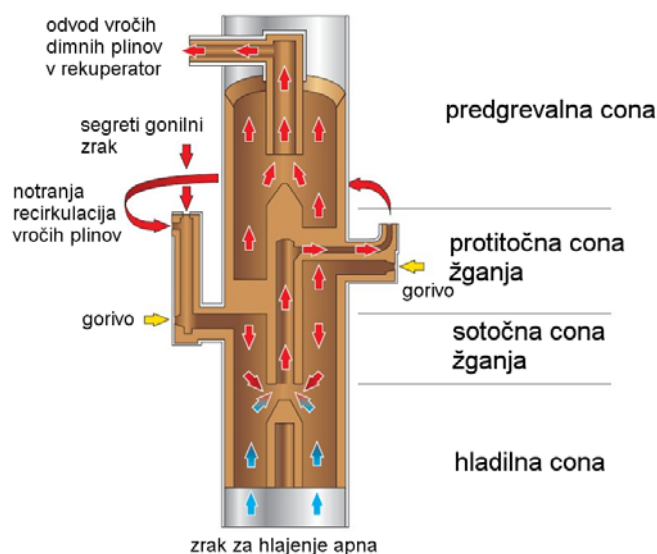
Žganje in pridobivanje apna je postopek, ki je star že več tisoč let. Ker uporaba apna kot gradiva nima negativnih vplivov na bivalno okolje, svetovna proizvodnja apna stalno narašča. Uporabnost apna je izjemno mnogostranska in ni omejena samo na gradbeništvo. V srednjem veku se je živo apno uporabilo tudi kot npr. prvo kemično obrambno orožje med obleganjem [Error! Reference source not found.]. Postopki žganja apna so se stalno izpopolnjevali in dosegli izredno zmanjšanje porabe energije zlasti v letih po drugi svetovni vojni [Error! Reference source not found., Error! Reference source not found.]. Industrija gradbenega materiala v svetovnem merilu porablja velike količine energije, predvsem visokotemperaturne toplote. Tudi v Sloveniji je tako. Industrijska panoga proizvodnja gradbenega materiala in drugih mineralnih izdelkov je po porabi energije na drugem mestu za proizvodnjo kovin in predstavlja kar 17 % porabe energije v slovenski industriji [Error! Reference source not

found.]. Prvotno gorivo za žganje apna je bil seveda les, danes pa so v uporabi vse vrste fosilnih goriv.

Ob zavedanju škodljivih posledic pretirane uporabe fosilnih goriv – toplogredni učinek, plačilo emisijskih kuponov CO₂ (v emisiji CO₂ pri proizvodnji apna država upošteva celotno emisijo CO₂, to je nastali CO₂ iz goriva in tudi izgnani disociacijski CO₂ iz apnenca), proizvajalci iščejo alternativna (cenejša) goriva, tudi obnovljiva. Kot zanimivost lahko navedemo, da so bili izvedeni preizkusi proizvodnje apna s sončno energijo – s sončnimi pečmi [**Error! Reference source not found.**]. Stroške goriva nekateri proizvajalci nižajo tudi s sosežigom raznih gorljivih odpadnih snovi za katere dobijo plačano, da jih ekološko uničijo. Tako npr. v Italiji nekatere apnenice uporabljajo kot edino gorivo les, lesne izdelke iz komunalnih odpadkov, kakor tudi čiste lesne ostanke iz lesnopredelovalne industrije. Les zmeljejo v lesno moko, velikost delcev manjša od 0,3 mm, ki jo vpihujejo v gorilno komoro, kot navadno kapljevito ali plinasto fosilno gorivo. Postopek predelave lesa oz. odpadnih izdelkov iz lesa v suho lesno moko pa zahteva veliko električne energije za samo mletje in upraševanje lesa, kakor tudi veliko začetno investicijo za nabavo drage tehnološke opreme - mlinov. Glede na velikost in potrebe slovenskega trga, ter zaostreno gospodarsko situacijo v času globalne finančne krize so investicije z dolgim vračilnim rokom lahko zelo rizične. Zato smo v tem prispevku analizirali cenejšo varianto uporabe lesne biomase kot goriva, to je uplinjanje lesa in sosežig lesnega plina z zemeljskim plinom. Z lesnim plinom je mogoče nadomestiti do 50 % zemeljskega plina. Kurilnost lesnega plina in nadomeščena količina zemeljskega plina je odvisna od vlažnosti sekancev.

2. OBROČNA JAŠKASTA PEČ

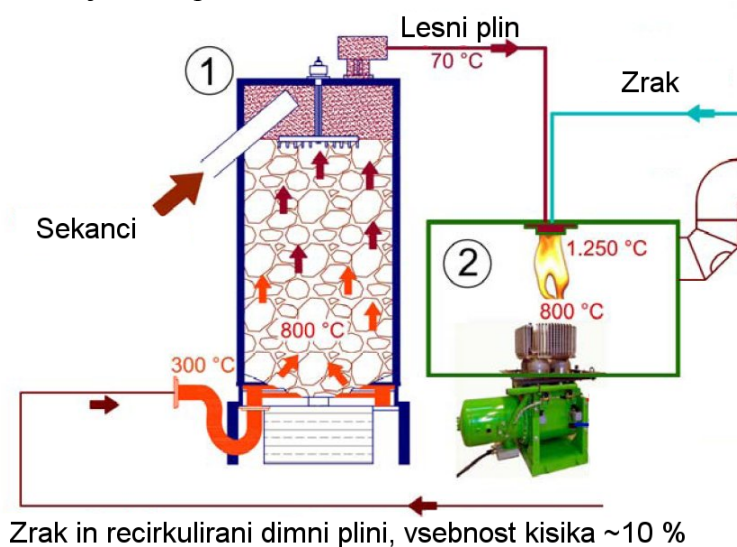
Glavna obratovalna značilnost obročne jaškaste peči je možnost prilagajanja stopnje žganja apna (mehko, trdo) in enakomerni tok dimnih plinov z visoko vsebnostjo CO₂. Peč so izumili v šestdesetih letih prejšnjega stoletja v Nemčiji. Apnenec se dozira na vrhu, nakar se počasi pomika navzdol skozi predgrevalno cono, ki ji sledi cona žganja, najprej protitočna in nato še sotočna cona žganja, na koncu pa je hladilna cona. Princip delovanja in energijske razmere v peči so dobro predstavljene v literaturi, npr. [**Error! Reference source not found.**]. Specifične porabe teh peči se gibljejo okoli 3800–4100 kJ toplote na kg apna, ter 21–24 kWh električne energije na tono apna. Peči se gradijo za proizvodnjo 100–600 t apna dnevno. Prerez peči je shematsko prikazan na sliki 1.



Slika 1: Obročna jaškasta peč za žganje apna

3. PROTITOČNI UPLINJEVALNIK

Za uplinjanje lesnih sekancev je izbrana preizkušena tehnologija, ki jo uporabljajo v kogeneracijskih postrojenjih s Stirlingovim motorjem. Tehnologija je razvita na Danskem [Error! Reference source not found.]. Značilnost uplinjevalnika je, da je protitočen in zaradi tega dokaj neobčutljiv na vsebnost vlage v sekancih. Iz uplinjevalnika izhaja lesni (sintezni) plin, ki je bogat s katrani in ima temperaturo okoli $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zaradi visoke vsebnosti katranov, tak plin ni primeren za pogon batnih motorjev, je pa vsekakor primeren za nadaljnje kurjenje v kurišču, tudi v obročni jaškasti peči.



Slika 2: Protitočni uplinjevalnik in Stirlingov motor, 1-uplinjevalnik, 2-zgorevalna komora Stirlingovega motorja [Error! Reference source not found.]

Ena od značilnosti tega uplinjevalnika je tudi ta, da se kot oksidacijsko sredstvo ne uporablja zrak z 21 % kisika, ampak mešanica zraka in dimnih plinov z vsebnostjo kisika okoli 10 %. S tem dosežemo naslednje:

- lažjo regulacijo procesa uplinjanja
- zaradi recirkulacije odpadnih vročih dimnih plinov višji termični izkoristek celotnega procesa
- omogočanje uporabe (svežih) lesnih sekancev z visoko vsebnostjo vlage.

Tudi pri obročni jaškasti peči je na voljo nekaj visokotemperaturnih odpadnih dimnih plinov iz rekuperatorja gonilnega zraka s temperaturo okoli 350–400 °C, ki zadostujejo za pogon uplinjevalnika.

V tabeli 1 in 2 je navedena sestava lesnih sekancev in lastnosti pridobljenega lesnega plina glede na vsebnost vlage v sekancih. Vrednosti so podane za tri različne vlažnosti sekancev: absolutno suh les (zahtevana posebna priprava s sušenjem na 105 °C) z 0 % vlage, zračno suh les z 12,5 % vlage in svež les z 47,4 % vlage. V tabeli 2 je masa pridobljenega plina izražena v kg plina na kg sekancev, teoretična temperatura zgorevanja pa je določena za primer razmernika zraka 1,05 in vstopno temperaturo reaktantov 20 °C. Iz tabele 2 je tudi razvidno da iz svežega vlažnega lesa dobimo manj sinteznega plina z nižjo kurilnostjo.

Tabela 1: Sestava lesnih sekancev

		abs. suh les	zračno suh	svež les
ogljik	mas. %	50	43,5	26,2
vodik	mas. %	6	5,2	3,1
kisik	mas. %	44	37,9	22,8
voda	mas. %	0	12,5	47,4

Tabela 2: Sestava lesnega plina v odvisnosti od vlažnosti lesa [Error! Reference source not found.]

		abs. suh les	zračno suh	svež les
CO	mas. %	19,4	18,5	14,1
H ₂	mas. %	0,28	0,26	0,2
CH ₄	mas. %	2,8	2,7	2
CO ₂	mas. %	24,3	23,3	17,7
N ₂	mas. %	53,3	50,9	38,8
H ₂ O	mas. %	0	4,3	27,1
masa plina	kg/kg	3,3	3,0	2,2
sp. kurilnost	MJ/kg	3,7	3,5	2,7

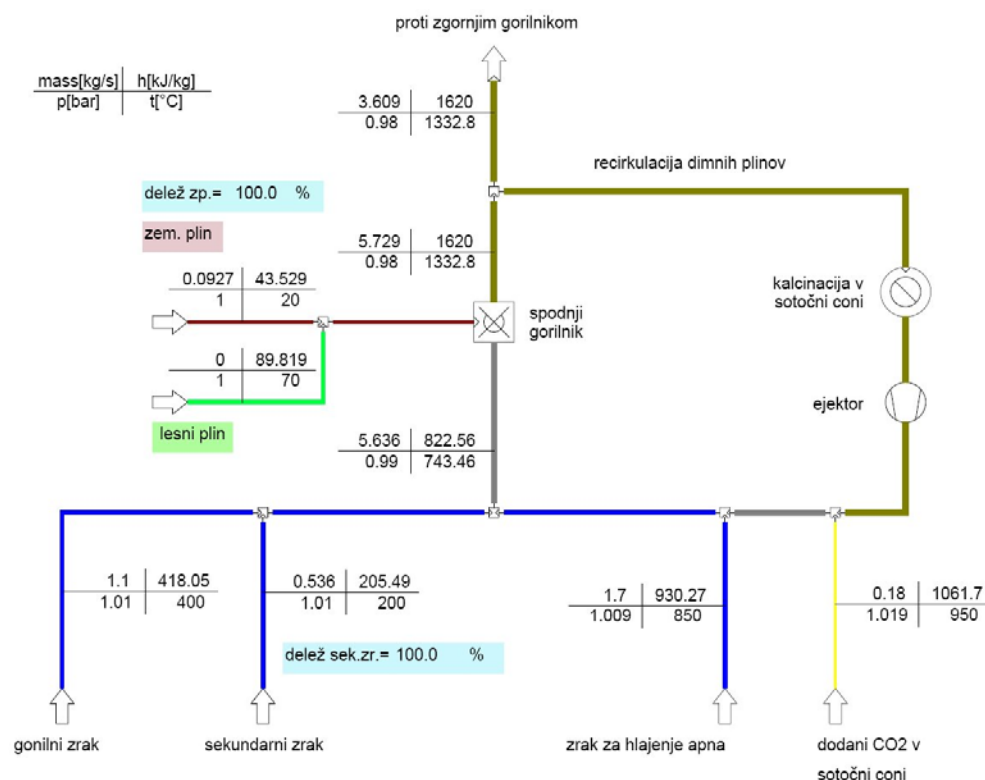
teor. temp. zgor.	°C	1454	1404	1132
-------------------	----	------	------	------

4. UPORABA LESNEGA PLINA V PEČI

Na sliki 3 je prikazana shema energijskih tokov za spodnje zgorevalne komore. Razmere smo simulirali s programskim paketom za izračunavanje energijskih in masnih bilanc IPSE-Pro 4.0 [Error! Reference source not found.]. Shema na sliki 3 prikazuje razmere v peči pri proizvodnji 150 t apna dnevno pri čemer je delež zemeljskega plina 100 %.

V simulaciji obratovanja smo postopoma dodajali lesni plin in opazovali parametre. Osnovno vodilo za simulacijo obratovanja je bilo, da se osnovna procesna parametri v peči ne smeta bistveno spremeniti, to sta: masni tok dimnih plinov in temperatura v zgorevalni komori. Za ohranjanje teh dveh parametrov znotraj predvidenih meja, pa lahko spreminjamo samo količino sekundarnega zraka, kajti ostala dva zračna tokova, gonilni zrak in zrak za hlajenje apna morata tudi ostati nespremenjena. Glede na predstavljene procesne omejitve je bila zgornja meja nadomestitve zemeljskega plina z lesnim plinom dosežena takrat, ko se je delež sekundarnega zraka zmanjšal na 10 % prvotne vrednosti. Ta minimalna količina sekundarnega zraka pa je potrebna za hlajenje gorilnika.

Rezultati simulacije obratovanja z dodajanjem lesnega plina so zbrani v tabeli 3. Kot je razvidno iz tabele lahko z lesnim plinom iz zračno suhih sekancev nadomestimo nekako do 50 % zemeljskega plina, s plinom iz svežih sekancev pa med 20 % in 30 %. Pri sosežigu lesnega plina se malenkostno spremenijo tudi nekateri ostali parametri, med drugim tudi sestava dimnih plinov. Kako pa te malenkostne spremembe parametrov vplivajo na kvaliteto apna pa je mogoče ugotoviti le s praktičnim preizkusom na peči.



Slika 3: Modeliranje spodnjih zgorevalnih komor

Tabela 3: Analiza razmer pri sosežigu lesnega plina

gorivo		zemeljski plin	absolutno suh les		suh les		svež les	
delež zem. plina	%	100	60	50	80	60	80	70
masni tok dim. pl.	kg/s	3,61	3,69	3,77	3,614	3,636	3,624	3,715
vol. tok dim. pl.	m3/s	17,19	17,15	17,4	17,05	16,92	17,25	17,51
temperatura zgorevanja	°C	1333	1339	1334	1335	1332	1326	1307
razmernik zraka	-	2,69	2,37	2,31	2,51	2,37	2,31	2,21
delež sek. zraka	%	100	18,7	9,3	52,2	9,3	28	9,3
masni tok les. plina	kg/s	0,0	0,6	0,7	0,28	0,55	0,42	0,62
vsebnost CO2	mas. %	12	18,3	19,7	15,2	18,2	15,8	17,2
vsebnost O2	mas. %	10,9	8,4	7,9	9,5	8,3	8,4	7,6
toplotna moč gorilnika	kW	4640	4807	4895	4697	4722	4837	4910
poraba lesa	kg/h	0	595	757	338	663	682	1007

5. ZAKLJUČEK

Članek raziskuje možnosti zmanjšanja stroškov za gorivo in zmanjšanje CO₂ odtisa pri žganju apna v obročni jaškasti peči. Kot sekundarno gorivo za delno nadomeščanje zemeljskega plina se uporablja lesni plin. Lesni plin nastaja ločeno v protitočnem uplinjevalniku in se nato uvaja v spodnje gorilne komore peči. Kot sekundarno gorivo se uporabljajo lesni sekanci z vsebnostjo vlage med 15 % in 47 %. Simulacija sosežiga lesnega plina pokaže, da se pri enakih osnovnih procesnih parametrih, kot sta temperatura in masni tok dimnih plinov v zgorevalni komori, da zemeljski plin delno nadomestiti z lesnim plinom. Delež nadomestitve se giblje med 20 % in 50 % glede na kurilnost lesnega plina, ki pa je močno odvisna od vlažnosti sekancev. Kurilnost je namreč tudi do desetkrat manjša kot kurilnost zemeljskega plina. Tehnološki proces v obročni jaškasti peči v spodnjih zgorevalnih komorah zahteva izjemno velik razmernik zraka ($\lambda=2,5-3$) in visoko temperaturo zgorevanja, zaradi česar ne moremo nadomestiti večje količine zemeljskega plina z nizkokaloričnim lesnim plinom. Za uplinjevanje lesnih sekancev je predvidena preizkušena tehnologija protitočnega uplinjevalnika, ki kot oksidacijsko sredstvo uporablja mešanico zraka in dimnih plinov z ~10 % vsebnostjo kisika.

6. LITERATURA

- [1] Boynton R. S., Chemistry and Technology of Lime and Limestone, John Wiley & Sons, New York, Second edition, 1980
- [2] Oates J. A. H., Lime and Limestone, Wiley-VCH, Weinheim, 1998
- [3] Letopis 2008, Statistični urad Republike Slovenije, <http://www.stat.si/letopis>
- [4] Meier A., Solar Production of Lime – Final Report, January 2004, Paul Scherrer Institut (PSI), Solar Process Technology, CH-5232 Villigen PSI, Switzerland, 2004
- [5] Stirling DK, The ecological plant in Castel d'Aiano. The CHP system of Castel d'Aiano school campus: wood chips gasification and Stirling engine, <http://www.stirling.dk>
- [6] SimTech, IPSEpro Process Simulation Environment, System version 4.0, Graz, Austria, 2003
- [7] Thomas H. P., Grenzen des Wärmeverbrauchs beim Brennen von Kalk in Ringschachtöfen, Zement-Kalk-Gips, 34/1, 1981, 27-35

NASLOV AVTORJA

izr. prof. dr. Andrej Senegačnik, univ. dipl. inž. – Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

Fakulteta za strojništvo

Aškerčeva 6

SI-1000 Ljubljana

e-pošta: andrej.senegacnik@fs.uni-lj.si