

## MOŽNOSTI KOMBINIRANE KURJAVE PRI ŽGANJU APNA V OBROČNI JAŠKASTI PEČI

Andrej SENEGAČNIK

### POVZETEK

*Članek analizira možnosti izvedbe kombinirane kurjave zemeljskega plina in lesnih sekancev v obročni jaškasti peči za žganje apna. Kurjava lesnih sekancev se izvede ločeno v samostojnem predkurišču, kjer se lesni sekanci uplinijo in delno zgorijo. Nastali vroči lesni pirolizni plini se dovajajo neposredno v obstoječo zgorevalno komoro kjer dogorijo skupaj z zemeljskim plinom. Količina in kurilnost nastalega lesnega plina je odvisna od vlažnosti lesnih sekancev. Simulacija kombinirane kurjave zemeljskega plina in lesnih sekancev v spodnjih gorilnikih peči pokaže, da je s svežimi lesnimi sekanci možno nadomestiti do 50 % zemeljskega plina.*

### ABSTRACT

*The article deals with combined firing of wood chips and natural gas in the annular shaft kiln for lime production. Wood chips are gasified separately in the autonomous gasifier. Hot syngas from the gasifier is mixed with natural gas in the existing combustion chamber and then burned completely. 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 up to 50 % of natural gas supplemented with the wood syngas made from the fresh wood chips.*

### 1. UVOD

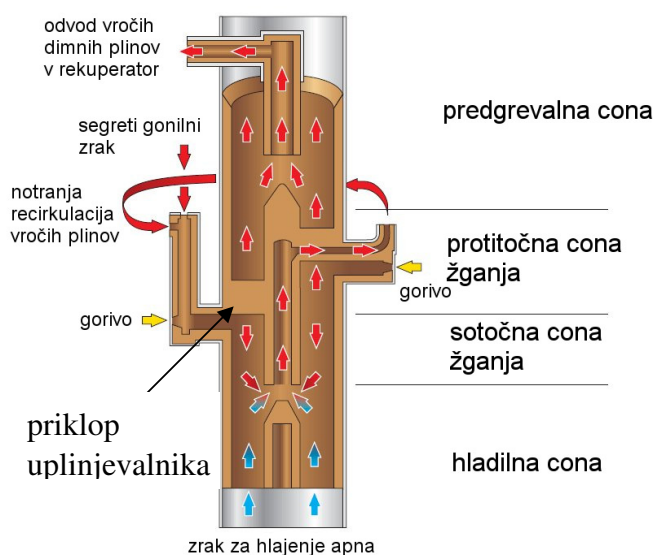
Žganje in pridobivanje apna je postopek, ki je star že več tisoč let. Ker uporaba apna kot gradiva nima negativnih vplivov na bivalno okolje, svetovna proizvodnja apna stalno narašča. Uporabnost apna je izjemno mnogostranska in ni omejena samo na gradbeništvo. Postopki žganja apna so se stalno izpopolnjevali in dosegli izredno zmanjšanje porabe energije zlasti v petdesetih letih prejšnjega stoletja [**Error! Reference source not found., Error! Reference source not found.**]. Za žganje apna je potrebna visokotemperaturna toplota, nad 900 °C. 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 CO<sub>2</sub> – proizvajalci iščejo alternativna (cenejša) goriva, tudi obnovljiva [**Error! Reference source not found.**]. Tako npr. v severni 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 in dozirnega sistema oz. gorilnikov. V tem prispevku smo se omejili na obravnavanje cenejše variante uporabe lesne biomase. To je dograditev ločenega predkurišča, kjer se lesni sekanci uplinijo in delno zgorijo. Nastali vroči in gorljivi pirolitični plini se uvajajo v obstoječo zgorevalno komoro, kjer skupaj z zemeljskim plinom zgorijo do konca. Na tak način je s svežimi lesnimi sekanci mogoče nadomestiti do 50 % zemeljskega plina.

## 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 CO<sub>2</sub>. 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. PREDKURIŠČE – UPLINJEVALNIK

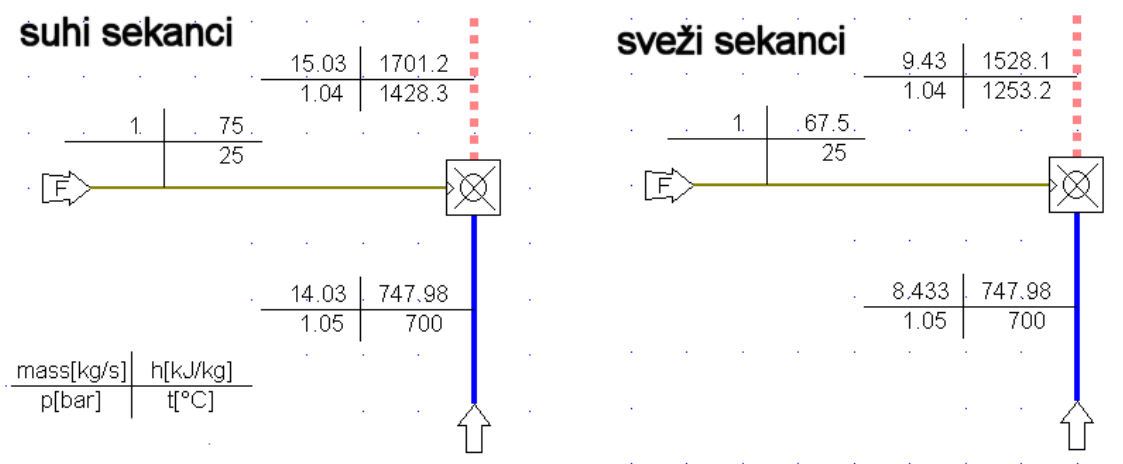
Za predkurišče je izbrana preizkušena tipska tehnologija iz ogrevalnih sistemov večjih stavb [Error! Reference source not found.]. Značilnost predkurišča – uplinjevalnika – je, da je protitočen in zaradi tega dokaj neobčutljiv na vsebnost vlage v sekancih. Iz uplinjevalnika izhajajo vroči, delno zgoreli pirolitični plini, ki dogorijo v obstoječi zgorevalni komori skupaj z zemeljskim plinom. Ker se nastali lesni plin do mesta končne uporabe, to je v zgorevalni komori, vmesno ne ohlaja, ne nastajajo dodatne izgube. Skoraj vsa sproščena energija iz lesne biomase se torej koristno prenese v proces žganja apna. Zaradi večjih zunanjih površin predkurišča so sevalne izgube nekoliko večje. Pri obročni jaškasti peči je na voljo tudi nekaj vročega, ~200 °C, odpadnega hladilnega zraka, ki se lahko porabi kot zgorevalni zrak za predkurišče.



Slika 2: Tipska izvedba predkurišča – uplinjevalnika – pri izvedbi klasičnega toplovodnega ogrevalnega sistema [Error! Reference source not found.]

#### 4. KOMBINIRANA KURJAVA LESNIH SEKANCEV IN ZEMELJSKEGA PLINA

Na sliki 3 je prikazana primerjava adiabatskih temperatur plamena, ki bi jih dobili pri zgorevanju suhih in svežih lesnih sekancev v zgorevalni komori peči. Kot povprečna temperatura zgorevalnega zraka je upoštevana temperatura 700 °C in razmernik zraka 2,7, kar ustreza procesnim razmeram v peči, slika 4.



Slika 3: Primerjava adiabatskih temperatur plamena za primer zgorevanja suhih in svežih lesnih sekancev z razmernikom zraka 2,7

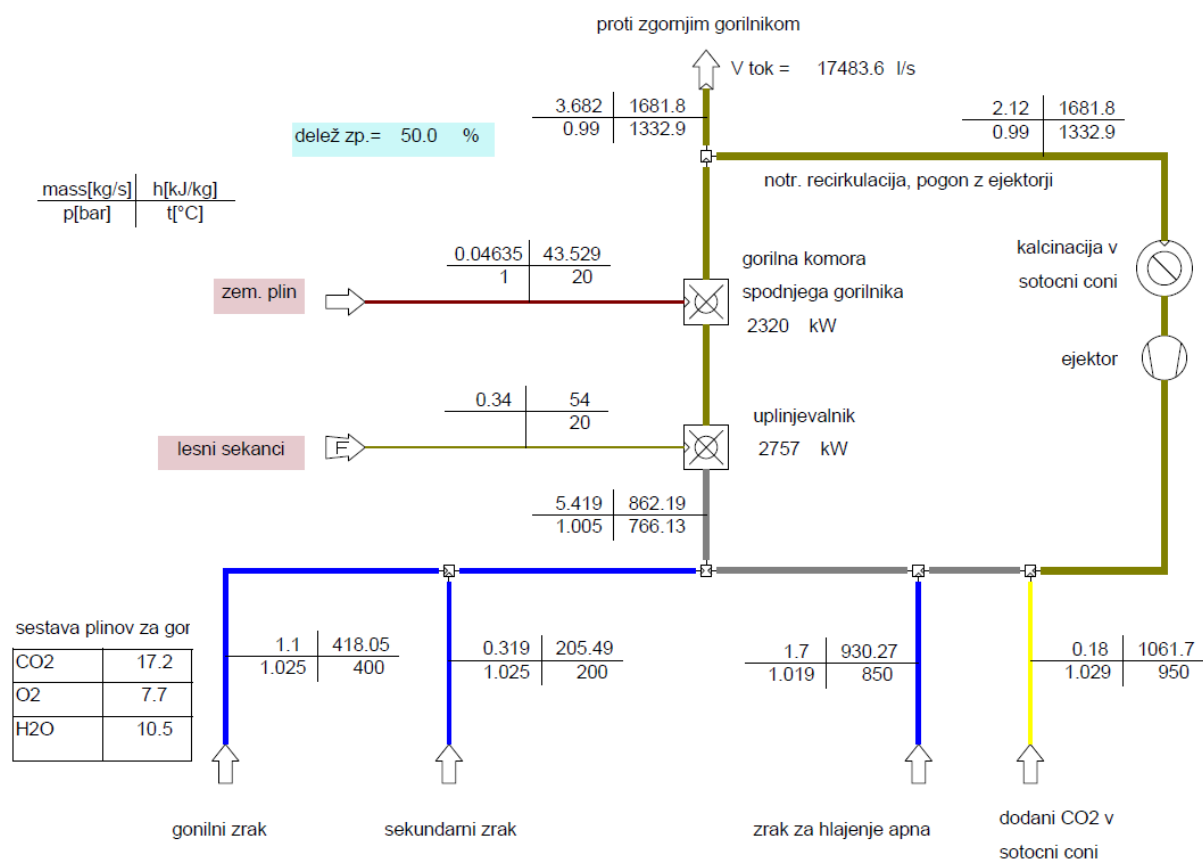
Kot je razvidno s slike 3, je dosežena temperatura plamena v primeru uporabe svežih sekancev 1253 °C, kar je glede na procesne zahteve peči prenizka temperatura. Torej z uporabo svežih vlažnih sekancev tudi teoretično ni mogoče v celoti nadomestiti zemeljskega plina. V primeru uporabe suhih sekancev je izračunana temperatura zgorevanja 1428 °C, kar zadošča za popolno nadomestitev zemeljskega plina. Da je popolna nadomestitev možna, potrjujejo tudi primeri obratujočih peči na suho lesno moko v severni Italiji.

V izračunih je bila upoštevana sestava lesnih sekancev iz tabele 1.

Tabela 1: Sestava lesnih sekancev

		zračno suhi sekanci	sveži sekanci
ogljik	mas. %	43,5	26,2
vodik	mas. %	5,2	3,1
kisik	mas. %	37,9	22,8
voda	mas. %	12,5	47,4
spodnja kurilnost	MJ/kg	15	8,1

Na sliki 4 je prikazana shema kombinirane kurjave zemeljskega plina in lesnih sekancev v spodnjih zgorevalnih komorah. Bilanca je izvedena s programskim paketom za izračunavanje energijskih in masnih bilanc IPSE-Pro 4.0 [Error! Reference source not found.]. Shema na sliki 4 prikazuje razmere v peči pri proizvodnji 150 t apna dnevno, pri čemer je delež zemeljskega plina 50 % in delež lesnih sekancev 50 %.



Slika 4: Modeliranje kombinirane kurjave spodnjih gorilnikov

V simulaciji kurjave smo postopoma dodajali lesne sekance in opazovali parametre. Osnovno vodilo za simulacijo obratovanja je bilo, da se osnovna procesna parametra v peči ne smeta bistveno spremeniti. To sta masni tok dimnih plinov in njihova temperatura po zgorevanju. Za ohranjanje teh dveh parametrov znotraj predvidenih meja se lahko spreminja samo količina sekundarnega zraka. Ostala dva zračna tokova, gonilni zrak in zrak za hlajenje apna morata zaradi procesnih zahtev ostati nespremenjena.

Primarno se sekundarni zrak uporablja za distribucijo zemeljskega plina v gorilni komori, ter za regulacijo zgorevalne temperature. V primeru kombinirane kurjave pa tudi uplinjevalnik lesnih sekancev porablja zrak, minimalno vsaj 25 % stehiometrične količine zraka, zaradi česar se količina razpoložljivega sekundarnega zraka za gorilnik zemeljskega plina zmanjšuje. Kot najmanjšo dopustno količino sekundarnega zraka za razprševanje zemeljskega plina in hlajenje gorilnika smo upoštevali 10 % prvotne količine.

Rezultati simulacije kombinirane kurjave so zbrani v tabeli 2. Kot je razvidno iz tabele, lahko s svežimi lesnimi sekanci nadomestimo do 50 % zemeljskega plina. Pri kombinirani kurjavi se malenkostno spremenijo tudi nekateri ostali parametri, med drugim tudi sestava dimnih plinov, poveča se vsebnost CO<sub>2</sub> in vodne pare, zniža se vsebnost O<sub>2</sub>. Zaradi povečane vsebnosti vodne pare v dimnih plinih, se poveča njihova specifična toplota  $c_p$ , ki posledično poveča tudi skupno toplotno moč gorilnikov – pri zahtevani enaki temperaturi zgorevanja. Kot je razvidno iz tabele 2, pri 60 % nadomestitvi zemeljskega plina ne dosežemo več zahtevane procesne temperature, masni tok dimnih plinov je prevelik in poraba zraka v uplinjevalniku se poveča do te mere, da ni več zagotovljena minimalna količina sekundarnega zraka za hlajenje obstoječega gorilnika.

Tabela 2: Analiza razmer pri kombinirani kurjavi, sveži lesni sekanci

delež zemeljskega plina	%	100	60	50	40
temperatura zgorevanja	°C	1333	1325	1333	1298
masni tok dimnih plinov	kg/s	3,609	3,603	3,682	3,723
sestava dim. plinov - CO <sub>2</sub>	mas. %	12,0	15,9	17,2	17,1
sestava dim. plinov - O <sub>2</sub>	mas. %	10,9	8,7	7,7	8,2
sestava dim. plinov - H <sub>2</sub> O	mas. %	6,7	9,5	10,5	10,4
toplotna moč gorilnikov - skupna	kW	4640	4812	5077	4856
toplotna moč zem. plina	kW	4640	2784	2320	1856
toplotna moč lesnih sekancev	kW	0	2028	2757	3000
poraba zraka v uplinjevalniku	kg/s	0	0,195	0,266	0,289
poraba lesnih sekancev	kg/h	0	900	1225	1332
hlajenje plinskega gorilnika	-	DA	DA	DA	NE

## 5. ZAKLJUČEK

Članek obravnava možnost kombinirane kurjave na obročni jaškasti peči za žganje apna. Raziskana je možnost prigraditve predkurišča – uplinjevalnika, lesnih sekancev in sosežig pirolitičnih plinov v obstoječi zgorevalni komori skupaj z zemeljskim plinom. Delež nadomestitve zemeljskega plina s kurjavo lesnih sekancev je odvisen od njihove vlažnosti. V primeru uporabe suhih sekancev je teoretično možna popolna nadomestitev zemeljskega plina, v primeru ko so lesni sekanci sveži, vsebnost vode ~50 mas. %, pa je možno nadomesti do 50 % porabe zemeljskega plina.

Simulacija kombinirane kurjave pokaže, da se pri nadomestitvi zemeljskega plina nad 50 % skoraj istočasno pojavita dve tehnološki omejitvi: prenizka temperatura v zgorevalni komori ter premajhna količina sekundarnega zraka za hlajenje gorilnika zemeljskega plina zaradi porabe zraka v uplinjevalniku.

Glavni razlog za predvideno modifikacijo kurjave je v nižanju proizvodnih stroškov apna zaradi nižje cene energenta – lesnih sekancev in prihranka pri emisijskih kuponih CO<sub>2</sub>. Odgovor na vprašanje, kako malenkostne spremembe procesnih parametrov kot so npr:

spremenjene pretočne razmere v zgorevalni komori, nekoliko večja nihanja temperature, povečana vsebnost CO<sub>2</sub> in vodne pare v dimnih plinih itd. vplivajo na kvaliteto apna, pa bo mogoče pridobiti le s praktičnim preizkusom na peči.

## 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] Meier A., Solar Production of Lime – Final Report, January 2004, Paul Scherrer Institut (PSI), Solar Process Technology, CH-5232 Villigen PSI, Switzerland, 2004
- [4] Topling, <http://www.topling.com/index.php> , marec 2011
- [5] SimTech, IPSEpro Process Simulation Environment, System version 4.0, Graz, Austria, 2003
- [6] 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](mailto:andrej.senegacnik@fs.uni-lj.si)