

Projekta “Biomisas kombinēto degšanas procesu pētījumi un elektrodinamiskā vadība ekoloģiski tīrai un efektīvai enerģijas ražošanai “ pārskats par 2018.gada III. darbības kvartālu.

Pārskata periodā turpināts darbs pie projektā plānoto aktivitāšu realizācijas, īpašu uzmanību pievēršot viedās tehnoloģijas izstrādei granulētu salmu un cieta kurināmo kombinēto gazifikācijas, degšanas un siltuma ražošanas procesu izveidei ar šo procesu elektrodinamisko vadību, granulētu salmu un gāzveida kurināmā kombinēto degšanas un siltuma ražošanas procesu izveide un izpēti, Granulētu salmu un gāzveida kurināmā kombinēto degšanas un siltuma ražošanas procesu elektrodinamiskā vadību. Detalizētāk tiks apskatītas zemāk minētās aktivitātes.

Veicot darbu pie aktivitātes 2.2 izpildes, ir turpināts darbs pie periodiskas darbības eksperimentālās iekārtas TRL-4 izgatavošanas ar siltuma jaudu līdz 4-4.5 kW. Iekārta ir paredzēta dažādas izcelsmes granulētu biokurināmo un to maisījumu termiskās sadalīšanās un degšanas procesu pētījumiem ar kopējo masu līdz 500g, dotā pārskata periodā veicot iekārtas montāžu un validāciju. Validācijai ir izmantoti dažāda sastāva salmu un koksnes maisījumi.

Iekārtas galvenās sastāvdaļās – sekcionēts biomasas gazifikators, kas piepildīts ar dažādas izcelsmes granulēto biokurināmo vai to maisījumiem, sekcionēta degšanas kamera ar atverēm degšanas zonas raksturojošo parametru (temperatūras, sastāva un plūsmas ātruma komponentu- u, w) lokāliem mērījumiem dažādās degšanas procesa attīstības stadijās, gāzveida kurināmā deglis granulētā biokurināmā termiskās sadalīšanās procesa ierosināšanai, kas nodrošina gaistošo savienojumu plūsmas (CO, H₂) veidošanos ar granulētā kurināmā termiskās sadalīšanās ātrumu (dm/dt) līdz 0.45 g/s . Gazifikatora pamatnē cauri granulū slānim līdz degšanas kameras pamatnei aksiāli ir ievadīts elektrods, kura darba virsmas garums sasniedz 50mm. Elektroda potenciālu attiecībā pret degšanas kameras sienām var mainīt robežās no 0 līdz 3 kV, ierobežojot strāvas stiprumu līdz 1 mA, lai novērstu izlādes veidošanos degšanas zonā. Iekārtas siltuma jauda – 4-4.5 kW. Gazifikatora pamatnē zem granulū slāņa radiāli tiek ievadīts primārais gaiss, bet virs granulū slāņa tiek ievadīta sekundārā gaisa virpuļplūsma. Primārā un sekundārā gaisa padevi iekārtā var mainīt robežās no 0 līdz 60 l/min, degšanas kameras pamatnē veidojot sarežģītas struktūras gaisa plūsmu, kuras veidošanos nosaka primārā un sekundārā gaisa padeves izmaiņas iekārtā. Palielinot primārā gaisa padevi iekārtā novēro plūsmas aksiālā ātruma pieaugumu degšanas kameras centrālajā daļā ($r/r=0-0.5$) līdz 0.2-0.5 m/s, bet palielinot sekundārā gaisa padevi, plūsmas aksiālais ātrums degšanas kameras centrālajā daļā samazinās, izraisot aksiālā un tangenciālā ātruma pieaugumu pie kameras sienām ($r/R>0.8$) līdz 1-1.5 m/s. Pie dotās plūsmas konfigurācijas primārā un sekundārā gaisa padeves izmaiņas ietekmē iekārtas siltuma jaudas un degšanas produktu sastāva kinētikas veidošanos., Sadedzinot salmu granulas iekārta sasniedz maksimālo siltuma jaudu (3.5 kW) pie primārā gaisa padeves 30 l/min un sekundārā gaisa padeves 40 l/min, kad vienlaicīgi novēro degšanas zonas temperatūras pieaugumu līdz 1000K ar izteiktu CO₂ koncentrācijas pieaugumu produktos līdz tā maksimālajai vērtībai (13.5%), bet līdz minimālajai vērtībai (1.5) samazinās gaisa pārsvars produktos.

Sadedzinot koksnes un salmu maisījumus, degšanas zonas veidošanos un tās raksturojošo parametru izmaiņas ietekmē virkne faktoru, tai skaitā granulēto kurināmo proporcijas maisījumā un maisījuma komponentu atšķirīgais elementārais un ķīmiskais sastāvs un siltumspēja, kas nosaka un būtiski ietekmē maisījuma komponentu termisko mijiedarbību, komponentu termiskās sadalīšanās ātrumu, gaistošo

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

savienojumu veidošanos, to uzliesmošanu un degšanas procesa dinamikas veidošanos. Veicot iekārtas validāciju salmu un koksnes maisījumiem, ir konstatēts, ka, palielinot salmu koncentrāciju maisījumā, komponentu termiskās mijiedarbības rezultātā tiek intensificēti salmu termiskās sadalīšanos procesi ar korelējošu gaistošo savienojumu (CO , H_2) koncentrācijas pieaugumu gazifikatora izejā. Ķīmiski aktīvā vidē (gaisa atmosfērā) gaistošo savienojumu veidošanās ir saistīta ar sekojošu to uzliesmošanu un degšanas zonas veidošanos. Pie dotās iekārtas konfigurācijas degšanas zonas temperatūra sasniedz tās maksimālo vērtību – 1050-1100K degšanas kameras centrālajā daļā, izraisot korelējošu plūsmas aksiālā ātruma pieaugumu. Veicot degšanas zonas temperatūras kinētiskos mērījumus ir konstatēts, ka, palielinot salmu koncentrāciju maisījumā samazinās maisījuma siltumspēja, nedaudz aizkavējot gaistošo savienojumu uzliesmošanu un degšanas procesa veidošanos. Nedaudz, vidēji par 50 - 90o, samazinās arī degšanas zonas temperatūras maksimālās vērtības un plūsmas ātrums.

Izteikti atšķirīgas degšanas zonas temperatūras un ātruma izmaiņas, veidojot koksnes un salmu kombinēto degšanas procesu, novēro degšanas zonas ārējā daļā ($r/R > 0.5$), kur salmu koncentrācijas palielināšana maisījumā izraisa izteiktu liesmas temperatūras samazināšanos (vidēji par 300o) un plūsmas aksiālā ātruma pieaugumu ar korelējošu tangenciālā ātruma samazināšanos. Novērotās plūsmas dinamikas izmaiņas attiecīgi izmaina reaģentu (gaistošo savienojumu) uzturēšanās ilgumu reakcijas zonā un gaistošo savienojumu sajaukšanos ar sekundārā gaisa virpuļplūsmu, attiecīgi izmainot reakciju ātrumu un degšanas zonas temperatūru ar izteiktu tās samazināšanos liesmas ārējā daļā.

Veidojot salmu un koksnes kombinēto degšanas procesu, maisījuma siltumspējas samazināšanās aizkavē ne tikai degšanas zonas temperatūras, bet arī iekārtas siltuma jaudas pieaugumu degšanas procesa sākuma stadijā.

Noslēdzot TRL-4 validācijas pētījumus ir jāatzīmē, ka gaistošo savienojumu plūsmas veidošanās ar sekojošām plūsmas dinamikas izmaiņām būtiski ietekmē arī degšanas produktu sastāva kinētikas veidošanos, aizkavējot degšanas produktu veidošanos, ja tiek palielināta salmu koncentrācija maisījumā, palielinot degšanas efektivitāti un virsmas reakciju veidošanos ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$), ja salmu koncentrācija maisījumā sasniedz 20%.

Ir jāatzīmē, ka granulēto maisījumu termiskās sadalīšanās un degšanas procesu pētījumu rezultāti, mainot maisījumu sastāvu, atbilst pētījumu rezultātiem, kas iepriekš iegūti, veicot šo procesu pētījumus mazas jaudas iekārtā, līdz ar to apliecinot, ka TRL-4 izgatavošana ir veikta sekmīgi un kombinēto salmu un koksnes degšanas procesu ir iespējams izmantot, lai sekmētu salmu efektīvāku izmantošanu ekoloģiski tīrākas un efektīvākas siltuma enerģijas ražošanai, salīdzinot ar degšanas procesa raksturojošiem parametriem, ja tiek sadedzināti tikai salmi. Turpinot pētījumus sakarā ar TRL-4 validāciju, ir paredzēts izvērtēt degšanas zonas raksturojošo parametru, iekārtas siltuma jaudas un degšanas produktu sastāva izmaiņas dažāda sastāva maisījumiem (salmu un kūdras, salmu un ogļu), izvērtējot optimālo maisījumu sastāvu, lai iegūtu ekoloģiski tīru un efektīvu degšanas procesu, nodrošinot intensīvāku vietējā enerģijas avota- salmu izmantošanu siltuma ražošanai.

Dotā atskaites periodā 3. aktivitātes ietvaros ir sākti arī sistemātiski pētījumi, lai izvērtētu salmu un gāzveida kurināmo (propāns, biogāze) kombinētā degšanas procesu veidošanos, pētījumiem izmantojot jau iepriekš izveidoto mazas jaudas (līdz 2 kW) eksperimentālo iekārtu, kurā granulētās biomasas (salmu) termiskās sadalīšanās procesa ierosināšanai tiek izmantota propāna vai biogāzes liesma, kas ir ievadīta gazifikatorā radiāli, zem sekundārā gaisa virpuļplūsmas padeves sprauslas.

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Pirmais pētījumu cikls ir saistīts ar propāna liesmas un granulēto salmu mijiedarbības pētījumiem, mainot propāna padevi robežās no 0.35 līdz 0.64 l/min un papildus siltuma padevi robežās no 0.44 kW līdz 0.92 kW, kad papildus pievadītais siltuma daudzums iekārtā sasniedza 32-59% no kopējā saražotā siltuma daudzuma kombinētā degšanas procesā. Veicot propāna un salmu kombinētā degšanas procesa eksperimentālos pētījumus, pirmkārt tika izvērtēta propāna ietekme uz salmu termisko sadalīšanos un gaistošo savienojumu veidošanos dažādās granulēto salmu termiskās sadalīšanās stadijās. Šo pētījumu rezultātā ir konstatēts, ka, palielinot papildus siltuma padevi iekārtā, salmu termiskās sadalīšanās ātrums visstraujāk, vidēji par 50% (no 0.03 g/s līdz 0.06 g/s), palielinās laika posmā pēc gaistošo savienojumu uzliesmošanas, kad veidojas gaistošo savienojumu liesmveida degšanas process ($t=160 - 600s$). Salmu termiskās sadalīšanās process stabilizējas, pārejot no gaistošo savienojumu liesmveida degšanas uz granulēto salmu pašuzturošās (self-sustaining) degšanas fāzi ($t=600-2600s$), kad salmu termiskās sadalīšanās ātruma pieaugums, palielinot papildus siltuma padevi iekārtā līdz 0.92 kW nepārsniedz 4% un mainās robežās no 0.092-0.096 g/s, bet granulēto salmu vidējais termiskās sadalīšanās ātrums laika posmā no gaistošo savienojumu uzliesmošanas līdz degšanas procesa beigu fāzei palielinās no 0.08 g/s līdz 0.09 g/s, vidēji par 6%. Veidojot propāna un salmu kombinēto degšanas procesu ir konstatēts, ka salmu termiskās sadalīšanās ātruma pieaugums aktivizē gaistošo savienojumu (CO , $CxHy$) veidošanos laika posmā līdz 1000s, palielinot CO koncentrāciju gazifikatora izejā vidēji par 55% un izteikti samazinās pēc gaistošo savienojumu uzliesmošanas un degšanas zonas veidošanās ar korelējošu liesmas temperatūras un plūsmas aksiālā ātruma pieaugumu degšanas zonas centrālajā daļā. Analogi salmu termiskās sadalīšanās ātruma pieaugumam, vislielākais degšanas zonas temperatūras pieaugums (vidēji par 30%) ir novērots veidojoties gaistošo savienojumu liesmveida degšanas procesam un samazinās salmu degšanas procesa pašuzturošā fāzē līdz 12%. Siltuma jaudas vidējo lielumu mērījumi liesmveida degšanas fāzē un salmu degšanas procesa pašuzturošā fāzē ļauj secināt, ka salmu termiskās sadalīšanās procesa intensifikācija un degšanas zonas temperatūras pieaugums, palielinot propāna padevi gazifikatorā izraisa korelējošu iekārtas siltuma jaudas siltuma pieaugumu vidēji par 35%. Analogi salmu termiskās sadalīšanās ātruma izmaiņām, vislielāko iekārtas siltuma jaudas pieaugumu novēro degšanas procesa liesmveida fāzē (līdz 100%). Vienlaikus vidēji par 25% palielinās saražotās siltuma enerģijas daudzums uz sadedzināto salmu svāra vienību apliecinot, ka notiek pilnīgāka gaistošo savienojumu sadedzināšana. Līdzīgs secinājums ir iegūts, veicot degšanas produktu sastāva mērījumus – vidēji par 3.5 % palielinās CO_2 koncentrācija degšanas produktos, bet samazinās gaisa pārsvars, NO_x un CO masas koncentrācija produktos. Respektīvi, papildus siltuma padeve iekārtā ar propāna liesmu nodrošina ne tikai intensīvāku salmu termisko sadalīšanos, bet arī pilnīgāku gaistošo savienojumu sadedzināšanu un ekoloģiski tīrāku siltuma enerģijas ražošanu.

Vienlaikus ar biomasas termiskās sadalīšanās un gaistošo savienojumu degšanas procesu dinamikas eksperimentālajiem pētījumiem izmantojot MATLAB programmatūru tika veikta degšanas procesu dinamikas matemātiskā un skaitliskā modelēšana liesmas virpuļplūsmā. 2D matemātiskā modeļa izstrāde tika veikta aksiāli simetriskai cilindriskai plūsmai, degšanas dinamikas modelēšanai tika izmantojot dominejošās gaistošo savienojumu (CO , H_2) degšanas reakcijas un šo reakciju kinētiskās konstantes. Degšanas procesa skaitliskā modelēšana tika veikta, sākuma nosacījumiem izmantojot plūsmas ātruma, temperatūras un gaistošo savienojumu koncentrācijas eksperimentālo mērījumu rezultātus. Degšanas procesu aprēķiniem liesmas virpuļplūsmā izveidotais 2D matemātiskais modelis apvieno 4 Eilera vienādojumus, temperatūras un 4 reakciju vienādojumus, veidojot bezdimensionālu vienādojumu sistēmu. Skaitliskā modelēšana tika veikta, izvērtējot ķīmisko reakciju ietekmi uz liesmas temperatūras, ātruma un sastāva veidošanos. Degšanas procesu skaitliskās modelēšanas rezultāti ļauj secināt, ka papildus siltuma padeve ar propāna liesmu izraisa liesmas temperatūras un ātruma palielināšanos, nodrošinot pilnīgāku gaistošo savienojumu sadedzināšanu, sasniedzot maksimālo vērtību, pie propāna padeves ātruma 0.3- 0.47 l/min.

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Kombinēto gāzveida un cietā kurināmā degšanas procesu dinamikas eksperimentālo pētījumu, kā arī matemātiskās un skaitliskās modelēšanas rezultāti sagatavoti un iesniegti publicēšanai žurnālā “Mathematical modelling and analysis” un prezentēšanai ICheaP-14 konferencē Boloņā, 2019. (International Conference on Chemical and Process Engineering, 26-29 May, 2019 - Bologna, Italy). Ir paredzēts sagatavot divus rakstus publicēšanai žurnālā “Chemical Engineering Transaction”.

3. aktivitātes ietvaros ir izvērtēta arī biogāzes ietekme uz salmu termisko sadalīšanos un gaistošo savienojumu degšanas procesu dinamikas veidošanos, mainot biogāzes padevi gazifikātorā robežās no 0.95 l/min līdz 1.2 l/min, bet papildus siltuma padevi gazifikātorā robežās no 0.34 kW līdz 0.44 kW, nodrošinot papildus siltuma padevi līdz 20-30% no kopējā saražotā siltuma daudzuma. Izvērtējot biogāzes ietekmi uz salmu termisko sadalīšanos ir konstatēts, ka biogāzes padeves izmaiņas iekārtā izmaina līdzsvaru starp endotermiskiem salmu termiskās sadalīšanās procesiem un ekzotermisko degšanas procesu veidošanos.

Ir veikta arī procesu matemātiskā un skaitliskā modelēšana, izvērtējot biogāzes padeves izmaiņu ietekmi uz degšanas zonas temperatūras, ātruma un sastāva sadalījuma izmaiņām, kas ļauj secināt, ka biogāzes un salmu kombinētā degšanas procesa nodrošina pilnīgāku gaistošo savienojumu sadedzināšanu un ekoloģiski tīrāku siltuma enerģijas ražošanu.

Projekta līguma numurs: 1.1.1.1/16/A/004

Projekta informācija sadarbības partnera tīmekļa vietnē: www.lumii.lv/resource/show/940

Projekta administratīvais vadītājs: Gints Rieksts, e-pasts: gints.rieksts@lu.lv

20.11.2018.