

Kvalitativno določanje nekaterih hlapnih in srednje hlapnih organskih spojin s pasivnim vzorčevalnikom in GC-MS analizo pri termokemijski konverziji odvečnega blata komunalne čistilne naprave

The identification of certain volatile and medium-volatile organic compounds of digestate and volatile products of its thermochemical conversion with a passive sampler and GC-MS analysis

Vesna Mislej^a, Primož Auersperger^a, Barbara Novosel^b

^a JP VODOVOD-KANALIZACIJA d.o.o., Vodovodna cesta 90, 1000 Ljubljana, Slovenija

^b UL, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

Povzetek

Končni produkt obdelave anaerobno pregnitega odvečnega blata komunalne čistilne naprave oz. digestata so peleti. To je sušen, homogen in nenevaren higieniziran drobnozrnast odpadki z velikostjo zrn od 2 mm do 4 mm ter vsebnostjo vlage okoli 9 %. Zaradi sorazmerno visokega organskega deleža in nizke vsebnosti vlage so peleti uporabni kot alternativno sekundarno gorivo. Zaradi visokega deleža hlapnih snovi v peletih smo želeli ugotoviti vrsto hlapnih in srednje hlapnih organskih spojin, ki se nahajajo v tem odpadku in v produktih oz. preostankih različnih faz njegove termične obdelave (sežig in piroliza). Pri izvedbi analiz smo izhajali s karakterizacijo organskega deleža digestata, iz katerega se z dehidracijo in sušenjem pri 90 °C naredijo peleti, ki so glavni predmet raziskave. Organski delež peletov je zelo zanimiv za njihovo energijsko izrabo. Prav zato smo želeli na podlagi kvalitativnega določanja nekaterih hlapnih in srednje hlapnih organskih snovi ugotoviti sestavo organskih snovi v v peletih in plinskih produktih termo-kemijske konverzije peletov (incineracije in pirolize). Vzorčenje digestata je bilo izvedeno s pasivnim vzorčenjem, vzorčenje plinskih snovi s zajemom v headspace vialo in mikroekstrakcijo na trdno fazo, pirolizno olje pa smo raztopili v diklorometanu in s plinsko kromatografijo z masno spektrometrijo izvedli identifikacijo organskih spojin.

Ključne besede: digestat, peleti, pasivni vzorčevalnik, headspace viala, GC-MS, hlapne organske snovi.

Uvod

Anaerobna biomasa v gnilišču (v nadaljevanju digestat) pri mezofilnih pogojih in pH = 7,4 presnavlja odvečno blato iz aerobnega biološkega čiščenja komunalne odpadne vode, ki dnevno nastaja. Ker je gnilišče pretočni reaktor, je potrebno digestat, ki je gosta, črno-siva suspenzija z vsebnostjo suhe snovi 3,6 %, dnevno odvajati iz gnilišča. Z nadaljnjimi mehanskimi in toplotnimi postopki (dehidracija s centrifugo in sušenje pri 91 °C do 93 °C) se odstranjuje odvečno vodo. Končni produkt obdelave odvečnega blata so peleti (slika 3, a) [1]. To je suh, homogen in nenevaren higieniziran drobnozrnast odpadki z velikostjo zrn od 2 mm do 4 mm ter vsebnostjo vlage okoli 9 %. Peleti imajo vnetišče pri 530 °C[2].

Na osnovi osnovne elementne analize peletov se predvideva izguba mase zaradi termične obremenitve za 65,6 % s.s.(vsota deležev TOC, H, N, S in O) [2]. Delež, ki ga pojmuje kot organski delež, ki lahko zgori v prisotnosti kisika pri 450 °C, znaša 66,9 % s.s., nadaljnji delež, ki lahko zgori v prisotnosti kisika pri 550 °C, je za 0,7 % s.s. večji. Delež hlapnih snovi - te povzročijo izgubo mase

peletov pri termični obremenitvi pri 900 °C (standardizirana metoda – uporaba pokritega lončka z vzorcem, čas segrevanja 7 minut) je relativno visok in sicer znaša 53,9 % s.s[2]. Delež organsko vezanega ogljika znaša 38,4 % s.s. Delež anorganskega ogljika, ki je prisoten v glavnem kot kalcijev in magnezijev karbonat, je 2,0 % s.s. Delež vodika, ki je v peletih vezan v vlagi in drugih oblikah vode, v amoniju in organskih spojinah, je 4,40 % s.s. Elementa, ki poleg ogljika povzročata emisije snovi v zrak, sta dušik, ki ga je v peletih 6,15 % s.s. in žveplo z vsebnostjo 1,15 % s.s. Halogeni so prisotni v manjši meri. 88,1 % ogljika je vezanega v snoveh, ki so v inertni atmosferi pri segrevanju do 900 °C hlapne oz. se termokemijsko konvertirajo. V inertni atmosferi (pirolizi) je največja izguba mase v temperaturnem območju od 190 °C do 450 °C [2] in sicer se masa zmanjša za 38,7 %, kumulativno (T_{sob} do 450 °C) pa za 47,3 % [2].

Peleti imajo glede na evropsko klasifikacijsko listo odpadkov številko 19 08 05 in so med drugimi postopki za končno obdelavo, uporabni kot alternativno sekundarno gorivo. Pri $T = 550$ °C ($T_{vnetišča} = 530$ °C) se izvede že 98,9 % celotne masne konverzije termično razgradljivega deleža peletov[2]. Ta delež je v glavnem organske sestave in je zelo zanimiv za energijsko izrabo peletov. Ta je možna z eksotermno reakcijo po termo-kemijski konverziji organskih spojin v peletih. Energijska izraba je lahko direktna s sežigom peletov v zračni atmosferi (incineracija) ali pa indirektna s predhodno izolacijo organskega deleža s segrevanjem peletov v inertni atmosferi (piroliza pri temperaturi do 600 °C) in ustreznem kondenziranju nastalih plinskih produktov (slika 3, b).

Eksperimentalni del

Prav zaradi visoke masne konverzije termično razgradljivega organskega deleža peletov, smo želeli ugotoviti sestavo hlapnih in srednje hlapnih organskih snovi v digestatu, iz katerega se proizvajajo peleti ter v nastalih plinskih produktih termo-kemijske konverzije peletov v različnih atmosferah in opremi za termično obremenitev. Izvedli smo pirolizo peletov pri $T = 450$ °C s TGA/DTG analizo in sežig peletov v laboratorijski žarilni pečici pri 550 °C (incineracija).

Vzorčenje digestata in peletov je bilo izvedeno v skladu s *SIST EN ISO 5667-13:1998*, *SIST EN ISO 5667-13:2012*, *Kakovost vode - Vzorčenje – 13. del: Navodilo za vzorčenje blata iz čistilnih naprav ter SIST EN 14899:2006*, *Karakterizacija odpadkov – Vzorčenje odpadkov – Okvirno navodilo za pripravo in uporabo načrta vzorčenja*. Časovni interval vzorčenja digestata je trajal nekaj ur, medtem ko smo preskušali hlapni organski del peletov na letnih reprezentativnih vzorcih, ki so bili masno-proporcionalno sestavljeni iz reprezentativnih mesečnih vzorcev peletov. Slednje smo volumsko-proporcionalno sestavili iz dnevnih reprezentativnih vzorcev posameznih pošiljk tega odpadka končnemu prevzemniku.

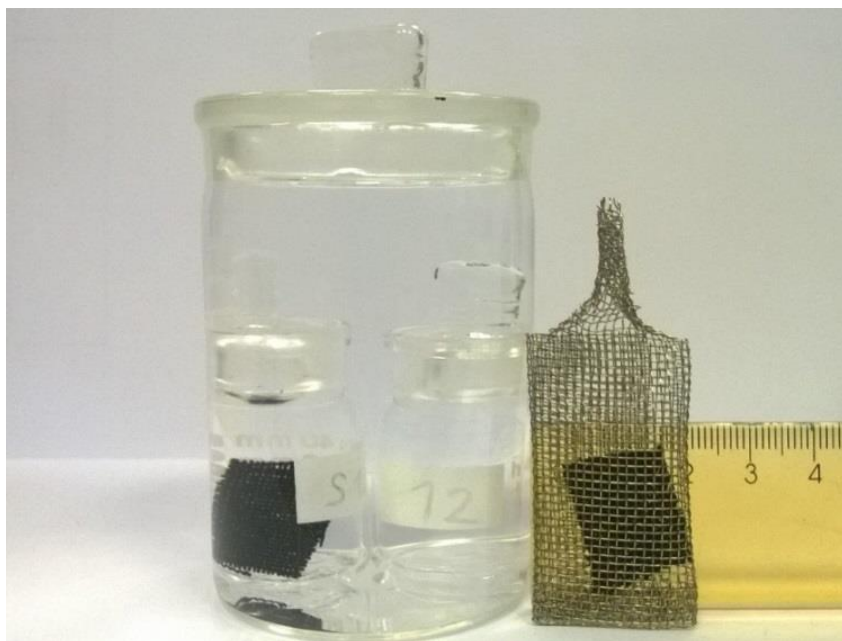
Za ugotavljanje sestave hlapnega organskega deleža smo za digestat uporabili opremo za pasivno vzorčenje z aktivnim ogljem (slika 1) [3] in headspace vialo (slika 2) za hlapni delež peletov in nastale uplinjene organske snovi pri termo-kemijski konverziji peletov. Zajete snovi smo analizirali s GC-MS.

Digestat: Preskušali smo dva reprezentativna vzorca digestata, in sicer prvega v aprilu 2014 (digestat1) ter drugega v marcu 2016 (digestat2). Za pripravo vzorca digestata smo pasivni vzorčevalnik na osnovi aktivnega oglja (slika 1) vstavili za 48 ur (digestat1) oz. za 71 ur (digestat2) v iztočno cev iz gnilišča, po kateri digestat s prostim padom teče v zalogovnik.

Peleti: Preskušali smo reprezentativne vzorce peletov za leto 2012 (peleti 2012), 2013 (peleti2013) in 2014 (peleti2014).

Vzorec hlapnega deleža peletov je bil odvzet s headspace vialo, s katero smo zajeli zrak tik nad površino vzorca peletov.

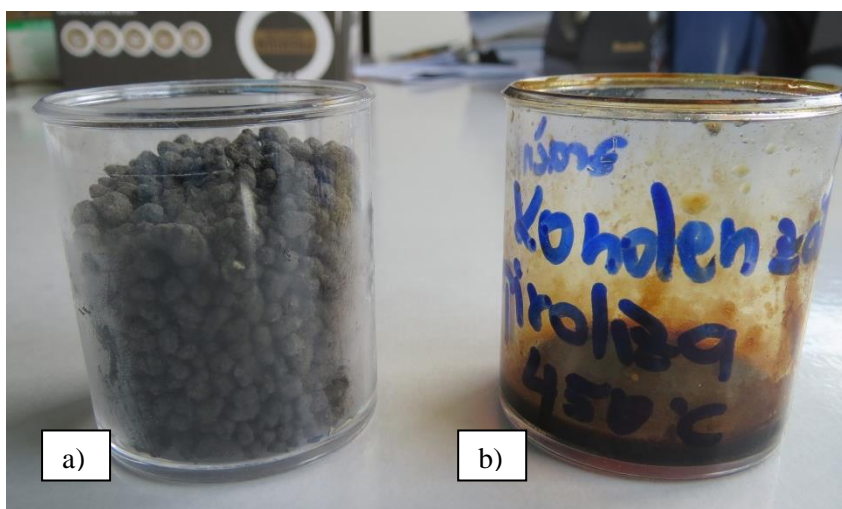
Hlapni produkti termokemijske konverzije peletov, A; incineracija: Hlapne produkte, nastale pri termokemijski konverziji v oksidativni atmosferi, smo pripravili tako, da smo spremljali potek sežiga peletov v žarilni pečici pri $T=550$ °C.



Slika 1: Oprema za pasivno vzorčenje.



Slika 2: Oprema za odvzem vzorca razpršene plinske faze.

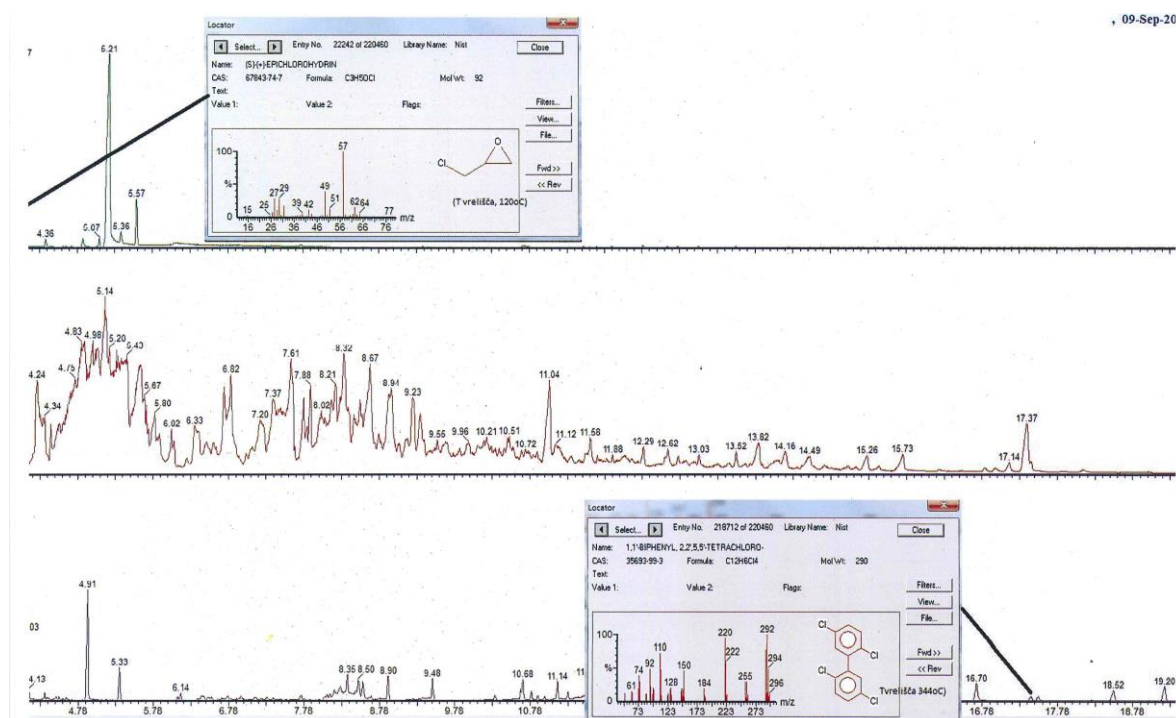


Slika 3: a) peleti ter b) pirolizno olje po kondenzaciji plinskih produktov, nastalih pri pirolizi peletov pri 450 °C (TGA/DTG analiza).

Takoj po vstavitvi peletov v žarilno pečico, smo na začetku segrevanja v enominutnem časovnem intervalu za kratek čas odprli vratca pečice in zajeli izgorevalne pline. V zračni atmosferi pri 550 °C se uplinjanje hlapnega deleža peletov izvrši v času 6 minut.

Hlapni produkti termokemijske konverzije peletov, B; piroliza: Kvalitativno in semi-kvalitativno smo analizirali zračni kondenzat (hlapne snovi z vreliščem pod 220 °C), ki se je ujel v silikonski cevi, skozi katero smo odvajali nastale plinske produkte po pirolizi peletov v času termične obremenitve pri izotermnih pogojih pri 450 °C.

Na produktih različnih faz termične obdelave peletov [3] so bile s GC-MS analizo (po mikroekstrakciji na trdno fazo) kvalitativno določene številne hlapne organske spojine.



Slika 4: Sken organskih spojin v piroliznem olju

Rezultati in razprava

Za namen karakterizacije je bila v digestatu narejena kvalitativna analiza (GC-MS identifikacija) hlapnih in srednje hlapnih organskih spojin s pasivnim vzorčenjem z aktivnim ogljem. GC-MS identifikacijo hlapnega deleža peletov ter sestavo plinskih produktov nastalih pri različnih termičnih obremenitvah peletov, smo izvedli na plinskih vzorcih, ki smo jih dobili z zajemom v headspace vialo: i) tik nad površino peletov in ii) z zajemom deleža osrednjega plinskega toka pri termični razgradnji peletov v žarilni pečici. Izvedli smo tudi GC-MS identifikacijo piroliznega olja, tako da smo kondenzat piroliznih plinskih produktov pri T_{sob} raztopili v diklorometanu in s GC-MS posneli totalni ionski kromatogram v območju med 30 in 750 m/z. Ugotovljene spojine smo rangirali glede na izrazitost kromatografskega vrha od 1 (neizrazit kromatografski vrh) do 5 (med najizrazitejšimi kromatografskimi vrhovi v kromatogramu).

Digestat1 je vseboval spojine z relativno visoko intenziteto (navedene so samo spojine z intenziteto od 3 do 5) in sicer 1,4-dioksan, ekvaliptol, N,N'-dimetilimidazolin-trion, geosmin, epiholestanol, 3,7-dimetil-3-oktanol, kafra, metil i-pentil disulfid, gama-sitosterol, toluen, 3-propilfenol, žveplo S8, holestanol, holesterol, stigmastanol.

Digestat2 je vseboval spojine z relativno visoko intenziteto (navedene so samo spojine z intenziteto od 3 do 5) in sicer žveplo S8, 1,4-dioksan, toluen, ekvaliptol, 3,7-dimetil-3-oktanol, kafra, 1,3-dimetil-2,4,5-trioksoimidazolidin, metil, i-pentil disulfid, 3-propilfenol, geosmin, holestanol, holesterol, epiholestanol, stigmastanol, gama-sitosterol.

Tabela 1: Spojine z intenziteto vrhov signalov 4 in 5, ki so bile identificirane v obeh vzorcih digestata.

| Vzorec/intenziteta (skala od 1 do 5) | toluen | 3,7-dimetil-3-oktanol | kafra | žveplo S8 |
|--------------------------------------|--------|-----------------------|-------|-----------|
| digestat1 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| digestat2 | 5 | 4 | 5 | 4 |

V peletih2012 so bile s GC-MS identifikacijo določene lahko hlapne organske spojine pri T_{sob} . Spojine z relativno visoko intenziteto (skala od 1 do 5, navedene samo spojine z intenziteto od 3 do 5) so žveplo S8, benzaldehid, 6-metil-5-hepten-2-on, undekan, 2-nonanon, dodekan, 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonan, 2,6,10-trimetildodekan, tetradekan, 2,10-dimetil-9-undekanal, pentadekan, 1-butilheptilbenzen, beta-metilionon, heptadekan, 6-fenildodekan, (1-butiloktil)benzen, (1-propilnonil)benzen, oktadekan, (1-pentiloktil)benzen, (1-butilnonil)benzen, versalid, o-terpenil.

V peletih2013 so bile s GC-MS identifikacijo določene lahko hlapne organske spojine pri T_{sob} . Spojine z relativno visoko intenziteto (skala od 1 do 5, navedene samo spojine z intenziteto od 3 do 5) so 3-metilbutanal, heksanal, 2-pentilfuran, 2-metilundekanal, undekan, nonanal, diokteter, 2,4,6-trimetilfenol, 2,6,10,14-tetrametilheksadekan, tetradekanal, 2,2,4,4,7,7-heksametiloktahidro-1H-inden, 1-pentadecen, (1-butilheksil)benzen, 1-propiloktilbenzen, 1,3-difenilpropan, (1-propilnonil)benzen, oktadekan, (1-butilnonil)benzen, versalid, dodekan, 4-metilpentadekan, heksadekan, (1-pentilheksil)benzen, beta-metilionon, 6-fenildodekan, (1-butiloktil)benzen, (1-pentiloktil)benzen, žveplo S8, benzaldehid, 6-metil-5-hepten-2-on, 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonan, nonadekan, pentadekan, heptadekan.

V peletih2014 so bile s GC-MS identifikacijo določene lahko hlapne organske spojine pri T_{sob} . Spojine z relativno visoko intenziteto (skala od 1 do 5, navedene samo spojine z intenziteto od 3 do 5) so 3-metilbutanal, heksanal, glicerol, 2-hidroksietil fenil eter, nonanojska kislina, 2-metilpentadekan, 1-propiloktilbenzen, 1,3-difenilpropan, (1-butiloktil)benzen, (1-propilnonil)benzen, (1-propildecil)benzen, benzaldehid, 2,4,6-trimetilfenol, heksadekan, (1-pentilheksil)benzen, beta-metilionon, 6-fenildodekan, oktadekan, (1-pentiloktil)benzen, (1-butilnonil)benzen, versalid, žveplo S8, 6-metil-5-hepten-2-on, 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonan, tetradekan, pentadekan, heptadekan.

Tabela 2: Spojine z intenziteto vrhov signalov 4 in 5, ki so bile identificirane v vzorcih peletov.

| Vzorec/intenziteta (skala od 1 do 5) | peleti2012 | peleti2013 | peleti2014 |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| (1-butiloktil)benzen | 4 | 4 | ni identificiran |
| (1-pentilheksil)benzen | ni identificiran | 4 | 4 |
| (1-pentiloktil)benzen | 4 | 4 | 4 |
| 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonan | 4 | 5 | 5 |
| 6-fenildodekan | 5 | 4 | 4 |
| 6-metil-5-hepten-2-on | 5 | 5 | 5 |
| benzaldehyd | 5 | 5 | 4 |
| beta-metilionon | 5 | 4 | 4 |
| heksadekan | ni identificiran | 4 | 4 |
| heptadekan | 4 | 5 | 5 |
| oktadekan | 4 | ni identificiran | 4 |
| pentadekan | 5 | 5 | 5 |
| versalid | 4 | ni identificiran | 4 |
| žveplo S8 | 4 | 4 | 4 |

| t, minute | Ime spojine | Opis reakcije |
|--------------|--|--|
| 0,5 | S SPME GC-MS v tem času nismo ugotovili prisotnosti hlapnejših organskih spojin. | Ob 12:32 vstavev vzorca v peč, T pade na 516 °C. |
| 1 | Butan, 3-metilbutanal, benzen, 2-metilbutanal, pirazin, piridin, pirol, toluen , acetamid , neznana spojina (m/z= 84,44), heksanal, 3-metilpiridin, metilpirazin , furfural , 2-furanmetanol, m-+ p-ksilen, stiren, benzaldehyd , 5-metil-2-furfural, fenol , 2-pirolkarbaldehyd, 4-metil-fenol, indol. | 12:33, temperatura peči pade na 491 oC, pojavi se beli dim. |
| 2 | Butan, ocetna kislina , i-propilcianid, pentanal, benzen, 2,5-dimetilfuran, pirol , toluen , 4-metil-piperidin, 3-metilpiridin, dimetilformamid, stiren, benzaldehid, 3,4-metilpiridin, benzonitril, fenol , benzofuran , 3-metoksipiridin , inden, 4-metilfenol , 2-metoksifenol, 1-izociano-2-metilbenzen , naftalen, 3-fenilpropionitril , 2-metilnaftalen, indol , 1-metilnaftalen, 3-metil-1H-indol. | 12:34, T naraste na 497 °C, pojavi se beli in rumeno-rjavi dim. |
| 3 | Benzen, 2-metil-1-buten,-3-on, 1-hepten, 2,5-dimetilfuran, piridin, pirol , toluen , acetamid, 4-metilpiridin, N-metilacetamid , 3-metilpirol , 2-metilpirol , 4-metilpiridin , etilbenzen , m-+ p-ksilen , stiren , o-ksilen , 2-(2-aminoetil)-1-metilpirol , izomeri trimetilbenzena , fenol , 4-metilfenol , 1-izociano-2-metilbenzen, 2,4-dimetilfenol, naftalen, 3-fenilpropionitril, indol , 3-metil-1H-indol. | 12:35, T=505 °C, najbolj intenzivno izhaja rumeno-rjavi dim. |
| 4 | Benzen, piridin, pirol , toluen , acetamid, 2-metilpiridin , 3-metilpirol , 3-metilpiridin , etilbenzen , m- + p-ksilen, stiren , nonan, 2-etilpiridin, 2-metil-2-ciklopenten-1-on, 2-(2-aminoetil)-1-metilpirol , 2,4-metilpiridin , 2,5-dimetilpiridin, izomeri trimetilbenzena, 3-etilpiridin, anilin, fenol , benzonitril, 1-decen, 2-etil-4metil-1H-pirol, 3-metilfenol , 4-metilfenol , 2,4-dimetilfenol , 1-metilinden , 4-etilfenol , naftalen , 1-dodecen, izomeri trimetilfenola, 3-fenilpropionitril, kinolin, 1-tridecen, indol , 2-metilnaftalen, 1,4,7-trimetilindan, 1-metil-naftalen, izomeri dimetilnaftalena, 2-metil-1H-indol, 2,3-dimetilindol. | 12:36, T=525 °C, izhaja rumeno-rjavi dim. |
| 5 | Metilizocianat, benzen , piridin , pirol, toluen , acetamid, 2-metilpiridin , 2-metilpirol, 3-metilpirol, 3-metilpiridin, etilbenzen , m-+p-ksilen , 2,6-dimetilpiridin, o-ksilen , stiren , 2,4-dimetilprimidin, nonan, 2-etilpiridin, izomeri trimetilbenzena , 3,5-dimetilpiridin, fenol , anilin, benzonitril, benzofuran, 3-metilfenol , 4-metilfenol , 2,4-dimetilfenol , 1-metilinden, naftalen , izomeri trimetilfenola, 4,7-dimetilbenzofuran, indol , 2-metilnaftalen , 1-metilnaftalen , bifenil, 3-metil-1H-indol. | 12:37, T= 560 °C, prenehanje izhajanja rumeno-rjavega dima. |
| 6 | Vodikov azid, metilizocianat, očetna kislina, benzen , formamid, piridin, toluen , acetamid , 3-metilpiridin , E-2-butendinitril, 3-metilpiridin , etilbenzen , m-+p-ksilen , 2,6-dimetilpiridin, o-ksilen, stiren , 2,4-dimetilprimidin, 2,5-dimetilpiridin , izomeri trimetilbenzena, benzaldehyd , benzonitril , fenol , 4-metilbenzonitril, 3-metilfenol , 3-metilbenzonitril, 2-metilbenzonitril, 2-nitrofenol, benzojska kislina , naftalen , 2-nitro-4-metilfenol , kinolin, 1,2-benzodinitril, izokinolin, 2-metilnaftalen, 1-metilnaftalen, 1,4-benzodinitril, 2,4-dihidroksi-3-acetil,6-metilpiridin, 2,6-dimetil-4-nitrofenol, bifenil, izomeri dimetilnaftalena, 1-izociano-naftalen, fenantren. | 12:38, T= 565 °C, izhaja beli dim, ki ponehuje; ob 12:39 in T= 588 °C ni več opaziti nobenega dima, peleti tlijo. Ob 12:41 je še vedno T=588 °C, ob 13:19 je T=552 °C. |

Tabela 3: Spremljanje poteka uplinjanja peletov pri T = 550 °C v žarilni pečici.

Hlapni produkti termokemijske konverzije peletov, A

Spremljali smo potek sežiga peletov v žarilni pečki pri $T=550\text{ °C}$ tako, da smo na začetku segrevanja za kratek čas odprli vratca pečice in zajeli izgovalne pline v določenem časovnem zaporedju. Pazili smo, da zaradi večje prisotnosti kisika ni pri odprtih vratcih pečke prišlo do vžiga oz. plamena. Opazili smo, da je reakcija zelo burna samo v prvih 6 minutah, ko so nastajali intenzivno obarvani izgovalni plini – od začetne bele barve, preko rumeno-rjave in do končne bele barve. Po 6 minutah nato ni več opaziti obarvanih izgovalnih plinov, ampak peleti samo še tlijo. Izgovalni plini so se zajemali v headspace vialo v določenem časovnem zaporedju v času 6-tih minut takoj po izpostavitvi peletov temperaturi sežiga. V tabeli 1 je opisan potek sežiga in nastalih hlapnih plinskih produktov. Navedene so spojine, ki imajo intenziteto od 3 do 5. Spojine z intenziteto 4 so prikazane s krepkim tiskom. Spojine, ki imajo intenziteto 5, imajo krepki tisk in so tudi podčrtane.

Hlapni produkti termokemijske konverzije peletov, B

Kvalitativno smo analizirali zračni kondenzat (hlapne snovi z vreliščem pod 220 °C), ki se je ujel v silikonski cevi, skozi katero smo odvajali nastale plinske produkte po pirolizi peletov v času termične obremenitve pri izotermnih pogojih pri 450 °C . Zračni kondenzat smo raztopili v diklorometanu in s GC-MS izvedli identifikacijo (slika 4). Ugotovljena je bila prisotnost organskih snovi, ki imajo vrelišče od 120 °C do 340 °C , večina jih je takšnih, ki ima vrelišče okoli 200 °C . Spojine, ki imajo nižje vrelišče od 220 °C , se verjetno v zračnem kondenzatu, ki je bil kot tekoča zapora v cevi, ujamejo in raztopijo, drugače bi jih identificirali. Povzetek organskih snovi z najbolj izrazitimi kromatografskimi vrhovi: očetna kislina, 2-dimetilaminoetanol, acetamid, 3-metil-fenol, 3-acetilaminopiridin. V raztopini zračnega kondenzata v diklorometanu so bile opažene drobne rjave kapljice, ki smo jih izolirali in raztopili v demi vodi, torej so izrazito polarne. Njihova analiza ni bila narejena.

Zaključek

Na podlagi kvalitativnega določanja nekaterih hlapnejših organskih snovi v neobdelanem digestatu in reprezentativnih letnih vzorcev peletov, je ugotovljena ponovljivost sestave organskega deleža digestata v vsebnosti (tabela 1) toluena, 3,7-dimetil-3-oktanol, kafe in žvepla S8 ter ponovljivosti sestave organskega deleža v letnih reprezentativnih vzorcih peletov (tabela 2) v (1-butiloktil)benzeno, (1-pentilheksil)benzeno, (1-pentiloktil)benzeno, 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonanu, 6-fenildodekanu, 6-metil-5-hepten-2-onu, benzaldehidu, beta-metilionu, heksadekanu, heptadekanu, oktadekanu, pentadekan, versalidu in žveplu S8.

Opazili smo, da je reakcija sežiga peletov zelo burna samo v prvih 6 minutah, ko so nastajali intenzivno obarvani izgovalni plini – od začetne bele barve, preko rumeno-rjave in do končne bele barve. Ves čas burne reakcije so bile v hlapih najbolj izrazito identificirane fenolne spojine (tabela 3).

Povzetek organskih snovi z najbolj izrazitimi kromatografskimi vrhovi v piroliznem olju pa so očetna kislina, 2-dimetilaminoetanol, acetamid, 3-metil-fenol in 3-acetilaminopiridin.

Reference

- [1] splet, <http://www.vo-ka.si/o-druzbi/centralna-cistilna-naprava-ljubljana>, zajeto avgust 2016.
- [2] V., Mislej, B., Novosel, (2014), Poročilo o načinu zgorevanja alternativnega trdnega goriva - peletiziranega pregnitega blata Centralne čistilne naprave Ljubljana, št. poročila: 2014/004. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2014. 23 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [1744687](#)].
- [3] P. Auersperger, K. Lah, A. Vrbec, V. K. Zidar, A. Koroša, N. Mali, Tracing pollutants in groundwater by passive sampling and gas chromatography mass spectrometry, Presented on 31th International Symposium on Chromatography, ISC-16, 28th August- 1st September 2016, Cork, Ireland.
- [4] A. Koroša, P. Auersperger, N. Mali, (2016), Determination of micro-organic contaminants in groundwater (Maribor, Slovenia), Science of The Total Environment, In Press, Corrected Proof.
- [5] J. Alvarez, M. Amutio, G. Lopez, I. Barbarias, J. Bilbao, M. Olazar, (2015), Sewage sludge valorization by flash pyrolysis in a conical spouted bed reactor, Chemical Engineering journal, 273, 173-183.