



Polttoaineeseen lisätyn lisäaineen vaikutus kaasutusprosessissa (osa 2 termokemiallinen mallinnus) – vaikutus kuonan ja pinnoitteen muodostumiseen

Johdanto

Tuhkapitoisuus ja koostumus voi vaihdella paljon sekä eri puupolttoaineiden ryhmien sisällä että välillä (esim. kuori, sahanpuru, hakkuutähteet (latvat ja oksat)). Tuhka sisältää eniten seuraavia alkuaineita: kalsium (Ca), kalium (K) ja pii (Si). Eri puumateriaalien tuhkan alkuainekoostumuksissa on suuria pitoisuuseroja. Erot voivat vaikuttaa reaktorissa kuonan ja partikkelien muodostumiseen ja edelleen kaasutusprosessin toimintaan ja suorituskykyyn.

Tuhkan vaikutus kaasutusprosessiin

Jotta saavutetaan hyvä kuonanmuodostus EF-kaasuttimella (entrained flow-myötävirtakaasutin) pitää tuhkan olla kokonaan sulanutta ja valua reaktorin seiniä pitkin (kuva 1), koska osittain sulanut tuhka voi aiheuttaa ongelmia kaasutusreaktorissa. Siksi on tärkeää tietää kuinka eri polttoaineet muodostavat tuhkaa ja kuonaa.

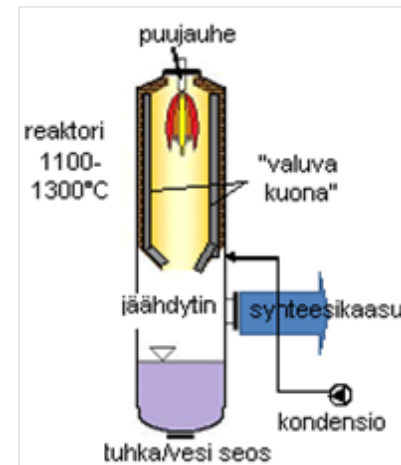
Tyypillisessä kiintopetikaasuttimessa, esim. myötävirtakaasuttimessa (down draft-kaasutin) (kuva 2) halutaan välttää tuhkan sulamista ja kuonan muodostumista kaasuttimen seinille.

Tuhkan sisältämä kalium kulkeutuu kaasufaasiin ja voi tiivistyä partikkeleiksi synteetikaasuun. Partikkelit voivat aiheuttaa ongelmia myöhemmissä kaasun käsittelyn vaiheissa, joissa lämpötila on alhaisempi kuin reaktorissa.

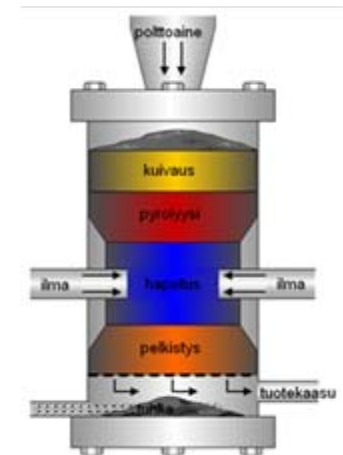
Termokemiallisen mallinnuksen tulokset (katso info 67) osoittivat, että suhteellisen Si-köyhä puupolttoaine (esim. sahanpuru, puhdas kuori) voi aiheuttaa tuhkan/kuonan kiinnittymisongelmia EF-myötävirtakaasuttimen seinämiin (tyypillinen prosessin lämpötila 1100-1300 °C). Myös tyypillisessä kiinteäpetikaasuttimessa suhteellisen Si -rikas puupolttoaine (esim. hakkuutähteet) voi aiheuttaa päällysteen kiinnittymistä (kuonan muodostusta) reaktoriin (tyypillinen prosessin lämpötila n. 1000 °C).

Aikaisemmat kokeet ovat antaneet potentiaalisia tuloksia: biopolttoaineen kaasutuksessa käytettävät lisäaineet, kuten Ca- ja Si-rikkaita mineraalit, ehkäisevät kuonan ja peitteen muodostumista reaktorin seiniin.

Tämän johdannon avulla on tarkoitus määrittää termokemiallisen mallinnuksen avulla Si- ja Ca-pohjaisen lisäaineen vaikutusta kaasutuksessa sulamiskäyttämiseen, pohjatuhkan muodostumiseen ja synteetikaasuun haihtuvien alkalien muodostumista käytettäessä raaka-aineena alhaisen Si-pitoisuuden omaavaa puupolttoainetta (esim. sahanpuru ja puhdas kuori).



Kuva 1. Kuonaa muodostava myötävirtakaasutin



Kuva 2. Myötävirtakaasutin ("down draft gasifier")

Menetelmä – Termokemiallinen mallinnus

Termokemiallista mallinnusta hyödynnetään ennustamaan kahden tyypillisen lisäaineen (Si- ja Ca-pohjainen) vaikutusta kahden puupolttolaineen (kuori ja sahanpuru) sulamiskäyttäytymiseen ja muodostuvan pohjatuuhkan alkalihihtumiseen (K+Na) synteesikaasun joukkoon (taulukko 1). Ilman alijäämää vastaava tekijä on 0,35 normaali-ilmanpaineessa (1 bar) lämpötilassa 800-1700 °C.

Taulukko 1. Muutaman puupolttolaineen koostumus - tuhkapitoisuus ja alkuainekoostumus (massa-% kuiva-ainepitoisuudesta)

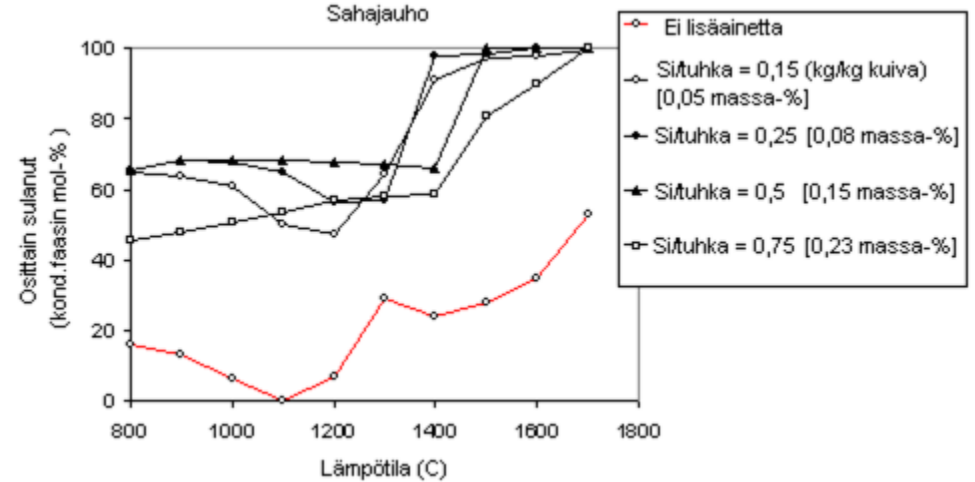
	Kuori (mänty)	Sahajauho (mänty)
tuhkapit	1.9	0.31
S	0.03	<0.01
Cl	0.01	<0.01
Si	0.13	0.011
Al	0.089	0.0031
Fe	0.016	0.0022
Ca	0.42	0.093
Mg	0.038	0.021
P	0.030	0.0093
Na	0.010	0.0001
K	0.13	0.045

Laskelmat suoritettiin kaasutuksessa lisäämällä 0, 0,05, 0,08, 0,15 ja 0,23 massa-% lisäainetta/ sahanpurun kuiva-ainepitoisuus sekä 0, 0,5, 1,0 ja 1,4 massa-% lisäainetta/ kuoren kuiva-ainepitoisuus.

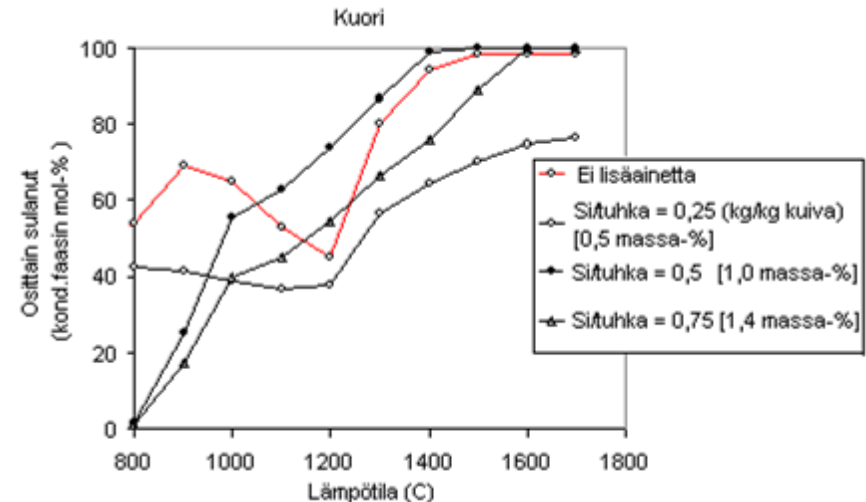
Näissä alustavissa laskelmissa käytettiin puhdasta piitä (Si) ja kalsiumia (Ca) sekä erilaisia Si- ja Ca- pohjaisia mineraaleja polttoaineen seassa. Mallilaskelmat suoritettiin ohjelmalla FACTSage-5.1. Ohjelma perustuu tutkittavan systeemin Gibbssin vapaaseen energian minimointiin. Laskelmat perustuvat termodynaamisiin tietoihin kaasumaisista yhdisteistä sekä stoikiometrisistä kondensaatiovaiheista. Käytettiin kahta eri ei-ideaalista liuosta (suola ja oksidi/kuona) sekä seitsemää ei-ideaalista kiinteää liuosta. Termodynaamiset tiedot saatiin FACT-tietokannasta.

Tulokset – Alustava mallinnus

Kokeiden tulokset sahanjauhalle osoittivat, että jo pieni pitoisuus Si-pohjaista lisäainetta (0,05 massa-%) johtaa merkittävään sulaneen massan osuuden kasvuun myötävirtakaasutukseen sopivassa lämpötilassa (1200-1400 °C), ts. muodostuu tuhkaa, jolla sulavuus on niin korkea, että se oletettavasti valuu reaktorin seinämiä pitkin (kuva 3). Tämä johtaa polttoaineen tuhkapitoisuuden 15 %:n kasvuun (laskettu alkuaineiden perusteella). Jopa käytetyn kuoren kohdalla sulamisosuus voidaan säätää positiivisesti oikealla Si-pitoisuudella, mikä nähdään erityisesti n. 1200 °C prosessin lämpötilassa (kuva 4).

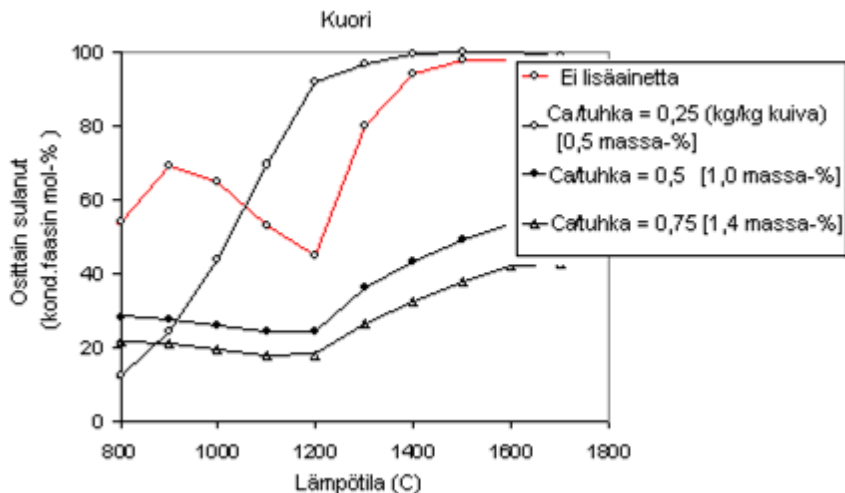


Kuva 3. Si-lisäaineen vaikutus tuhkan ja kuonan sulamiskäyttäytymiseen sahanpurua kaasuttaessa.



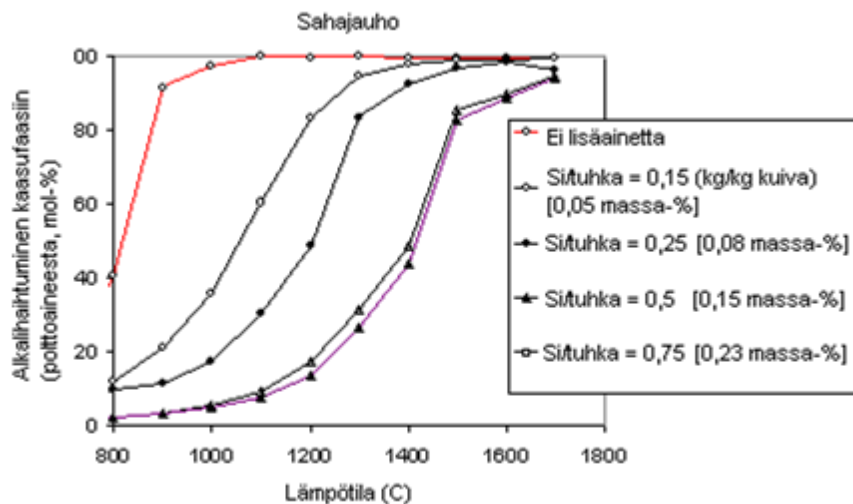
Kuva 4. Si-lisäaineen vaikutus tuhkan ja kuonan sulamiskäyttäytymiseen puunkuorta kaasuttaessa.

Kokeiden tulokset kuoren sulamiskäyttäytymisessä myötävirtakaasuttimella (1000 °C) osoittavat, että 0,5 massa-% tai suurempi Ca-lisäys johtaa merkittävään sulaneen massan pientymiseen ja sitä myöten vähentyneeseen kuonanmuodostukseen (kuva 5). Kokeessa saatiin 50 %:n kasvuun tuhkapitoisuuteen (laskettu alkuaineiden perusteella). Sahajauhon kaasutuksessa tyypillisellä kiintopetikaasuttimella (tavallinen myötävirtakaasutin) kuonanmuodostus oletetaan olevan alhainen.

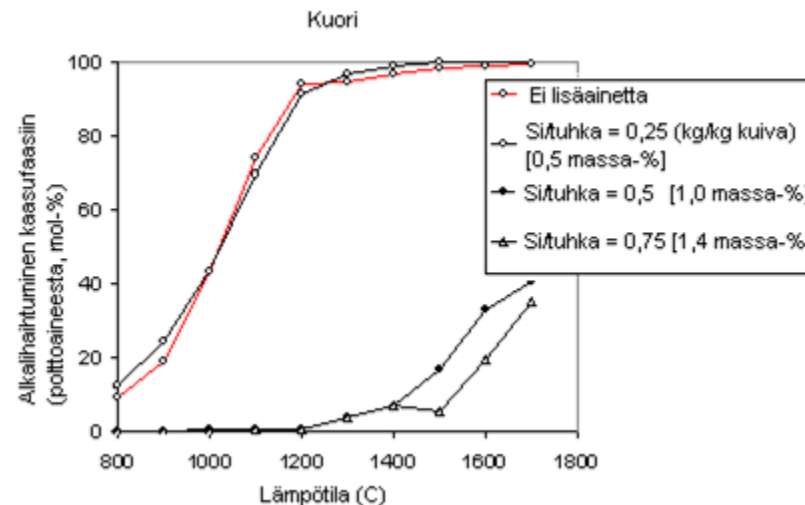


Kuva 5. Ca-lisäaineen vaikutus tuhkan ja kuonan sulamiskäyttäytymiseen puunkuorta kaasuttaessa.

Tulokset sahajauho- ja kuorikokeista osoittavat, että kaasufaasiin/synteetikaasuun haihtuvien alkaliemäärä voi vähentyä huomattavasti (0,15/1,0 massa-%) lisäämällä Si-pohjaista lisäainetta myötävirta- ja kiintopetikaasuttimella (kuvat 6 ja 7). Tämä koskee sekä myötävirta- että kiintopetikaasutukselle asiaankuuluvilla prosessilämpötiloilla. Si-lisäaineen lisäys puupolttoaineeseen voi vähentää pinnoitteen muodostumista myöhemmissä prosessin vaiheissa. Ca-lisäaineella ei ole merkittävää vaikutusta alkaliemittoutumiseen tutkituilla polttoaineilla.



Kuva 6. Si-lisäaineen vaikutus alkaliemittoutumiseen kaasufaasiin ja synteetikaasuun kaasuttaessa sahanpurua.



Kuva 7. Si-lisäaineen vaikutus alkaliemittoutumiseen kaasufaasiin ja synteetikaasuun kaasuttaessa puunkuorta.

Johtopäätökset

Si-pohjaisen lisäaineen sekoittaminen puupolttoaineen joukkoon myötävirtakaasutuksessa voi olla tehokas keino kontrolloida sulamista ja kuonan muodostusta sekä vähentää alkaliemittoutumista synteetikaasuun ja sitä myöten vähentää syntyvää vaikeaa pinnoitteen muodostumista reaktorissa ja myöhemmissä prosesseissa.

Ca-pohjaisen lisäaineen lisääminen puupolttoaineeseen kiintopetikaasuttimessa (tavanomainen myötävirtakaasutin) voi olla tehokas keino vähentää mahdollista syntyvää kuonaa arinan seinille.

Myöhempiä tutkimuksia

Tulevaisuudessa tutkimus käsittelee yksityiskohtaisempaa tutkimusta eri Si- (esim. eri savimineraalit) ja Ca- pohjaisista lisäaineista: eri polttoainekoostumusta, ilma/happivajasta, painetta ja lämpötilaa. Suoritetaan sekä globaalisia että paikallisia termokemiallisia mallinnuksia. Mallit varmennetaan käyttämällä pilotti-mittakaavan tutkimuksen kokeellisia tuloksia. Lisäksi viskositeettimallinnus yhdistetään termokemialliseen mallinnukseen.