



Euroopan unionin  
osarahoittama



## Uuttoon ja hilttoon perustuvan moniporrasbiojalostamon energiankulutuksesta

Samuli Rinne

13.1.2025

Koko prosessin lämpöenergiankulutus on periaatteessa  
tuotteiden massa \* lämpötila \* ominaislämpökapasiteetti  
+ tuotteisiin sitoutunut energia  
+ lämpöhäviöt pintojen läpi  
+ häviöt vuotohöyryjen, lauhteiden ja kaasujen kautta  
+ faasimuutoksiin kuluva energia (tai niistä vapautuva)  
- syötteiden massa \* lämpötila \* ominaislämpökapasiteetti  
- prosessissa olevia aineita lämmittämään jäävä sähköenergia.

Toisin sanoen, kyse on entalpiaerosta syötteiden ja tuotteiden + häviöiden välillä.

Biohiileen voi sitoutua hiukan kemiallista energiaa, mutta ko. määrä on suhteellisen vähäinen eli lukuunottamatta hiiltoprosessissa osin palavaa ainesta, biomassaan sitoutuneen kemiallisen energian määrä ei juurikaan muutu. Uutossa kemiallisen energian määrä ei muutu käytännössä lainkaan.

Lämpöhäviö pintojen läpi prosessissa, jonka kapasiteetti sisäänsyötettävälle biomassalle on 100 000 t kuiva-ainetta/a eli noin 15 t ka/tunti, on arviolta noin 1 MW, jos eristys on riittävä, kattava ja huolellisesti tehty. Vuotohöyryt ym. voivat voimalaitosesimerkkien perusteella olla noin 1 % laitokseen sisäänsyötettävästä tehosta.

Hyvin suunnitellussa prosessissa nettoenergiankulutus tasaisen käynnin aikana on pieni, sillä lämpöä voidaan kierrättää prosessin sisällä. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että uuttoon tuleva materiaali lämmitetään sieltä poistuvan materiaalin lämmöllä.

Poistettaessa materiaali viimeisestä, paineistetusta uuttovaiheesta voi vapautua merkittävä määrä kuuman veden energiaa flash-astiassa eli veden energian vapautuu höyrynä paineen laskiessa. Höyryn lämpötilaa voidaan nostaa MVR-lämpöpumpulla (Mechanical Vapour Recompression) ja saada siitä näin käyttökelpoista myös yli 100 asteen lämpötilaa vaativiin prosesseihin. Höyryä puristettaessa myös lämpötila nousee, jolloin höyryn latenttienergia voidaan hyödyntää höyrystämisessä uudelleen. MVR-lämpötilankorotus voidaan tehdä myös utteiden ja kiinteän uutejäännöksen sisältämän veden haihdutuksessa höyryatmosfäärissä.





Euroopan unionin  
osarahoittama



## Ylä- ja Itä-Kainuun vihreän siirtymän osaamiskeskus -hanke

Ko. haihdutusprosessit olisivat muuten prosessin selvästi eniten energiaa kuluttavia vaiheita, mutta MVR:llä niiden kulutus voi olla esim. 1/20 suoraan lämmöllä tapahtuvaan haihduttamiseen verrattuna. Vaikka MVR-kompressorin käyttövoima on sähkö, hyötysuhde on silti erittäin hyvä ja vastaavasti käyttökustannus pieni.

MVR-haihduttamoina voi edeltää mekaaninen erotus eli uutteilla suodatus ja kiinteällä uuttojännöksellä puristaminen. Näillä saadaan suuri osa prosessikierrossa väliaineena toimivasta vedestä poistumaan ja se voidaan palauttaa takaisin prosessiin, parhaimmillaan ko prosessin lämpötilassa eli suodatus tapahtuu kuumana.

MVR-haihdutuksen edellytyksenä on laitteiden tiiviys eli ilmaa ei saa juurikaan päästä prosessiin, koska se heikentää MVR:n hyötysuhdetta nopeasti. Tiiviiden saavuttaminen onkin yksi pilotoinnissa ja käytännön laitteita kohti pyrittäessä kokeiltava ja kehitettävä asia.

Myös kiinteän biomassan kuivaus MVR:ää käyttäen on toistaiseksi harvinainen tekniikka ja sitä pitäisi kokeilla ja kehittää pienessä mittakaavassa ensin. Tässä siihen on kuitenkin hyviä edellytyksiä mm. siksi, että uutosta tulevassa massassa biomassapartikkeleiden välissä oleva aine on vettä ilman sijasta eikä ilma siten ”pilaa” prosessia. Toisaalta jos kiinteä + MVR-yhdistelmää ei saada riittävän hyvin toimivaksi, voi myös toimia perinteisemmin kompressorilämpöpumpulla ja/tai suoralla haihdutuksella. Hiiltoon menevässä materiaalivirrassa suurin osa prosessivedestä saadaan kuitenkin poistettua jo mekaanisesti puristamalla.

Jos uutettu materiaali halutaan ulos ilmakuivana jauheena, viimeinen vaihe voi tulla kyseeseen sumukuivauksena, joka kuluttaa suoraan lämpöenergiaa eli kulutus on huomattava. Mahdollisuuksia tehdä kuivaus mahdollisimman pitkälle MVR:llä kannattaakin tutkia.

Hiillossa energiaa kuluu alkuvaiheessa olevaa biomassan lopullisen kuivumiseen sekä hiillon endotermisiin vaiheisiin sen alussa ja lopussa. Lämpötila-alueella 270...450 C hiilto on eksotermisen eli se vapauttaa energiaa. Absoluuttiset tarvittavat ja siirrettävät energiamäärät ovat paljon pienempi kuin uutossa. Näin etenkin siksi, että materiaali on kuivaa biomassaa, kun taas uutossa esim. 90% lämmitettävästä tai jäädytettävästä materiaalista voi olla vettä.

Lämpöenergianlähteinä ovat sisäisen kierrätyksen lisäksi hiillon eksergisen vaiheen lämpö, sähkö tai biokaasu hiillon kuumassa päässä, mahdollinen ennen uuttoa erotettava hienoaines, likainen biomassa ja merkittävimpana kondensoitumattomat kaasut hiillosta. Absoluuttisena määränä selvästi suurimmat tehot ovat sisäisessä kierrätyksessä eli lämmönvaihtimilla on merkittävä rooli kokonaisuudessa, mikä myö tutkimusmielessä kannattaa huomioida.

Mikäli prosessista ulos tulevat materiaalivirrat voidaan jäädyttää ympäristön lämpötilaan tai lähelle sitä, voidaan ko. hukkalämmöstä jalostaa kaukolämpöä. Edullisimmin tämä tapahtuu silloin, kun esim. alhaisessa lämpötilassa olevaa kaukolämmön paluuvettä voidaan suoraan esilämmittää em. hukkalämmöllä. Näitä mahdollisuuksia on pohdittu erikseen. Korkealämpötilaisempaa, ”perinteistä” kaukolämpöä voidaan tuottaa lämpöpumpulla, mutta





Euroopan unionin  
osarahoittama



## Ylä- ja Itä-Kainuun vihreän siirtymän osaamiskeskus -hanke

tällöin sen sähkönkulutus voi olla merkittävä verrattuna vaikkapa jalostamon itsensä käyttämään sähköenergiaan.

Sähköä prosessissa kuluu pääosin pumppuihin, puhaltimiin ja MVR-lämpöpumppuihin. Mahdollinen raaka-aineen murskaus hienojakoiseksi voi myös olla merkittävä kuluttaja. Sähkönkulutus kokonaisuutena on arviolta 3...4 MW.

Jos syöttö on 15 tonnia kuiva-ainetta tunnissa, prosessin jatkuvan käynnin aikana hyvin karkeasti arvioidut lämpövirrat voisivat olla seuraavat, jos lämmön kierrätys on tehokasta:

	MW
Nettolämpö poistuvien tuotteiden tuntuvana lämpönä	3
Lämpöhäviöt pintojen läpi, vuotohöyryt ym.	2
Sumukuivaus	3
Hiillon alkuvaihe, sis. loppukosteuden haihdutuksen	2
Hiillon loppuvaihe, kem. sitoutuva energia (toteutuksesta riippuen)	3

Sähkö- ja lämpövirrat puolestaan olisivat seuraavat, olettaen että hiillosta saadaan poltettavaa kaasumaista jaetta 15 MW teholla (alempi lämpöarvo, LHV):

Sähköä	4
Lämpöä turbiinilta (50...200 C)	10
Lämpöä pesurilta (LHV:n päälle, maks. 60 C)	3
Lämpöä hiillon eksotermisestä vaiheesta (maks. 450 C)	1
Lämpöä hiilen jäähtymisestä (maks. 700 C)	1

Laskelmassa on huomioitu se, että hiillon loppuvaiheeseen tarvitaan korkealämpötilaista lämpöä eli se on ajateltu tuotettavan polttamalla hiillossa muodostuvaa kaasua, jota siis alun perin on 18 MW. Tämä oletus perustuu tietynlaiseen (mahd. patentoitavaan) kytkentään, jolla osa tervajakeen energiasta on myös tässä mukana.

Tämän arvion perusteella sekä sähköä että lämpöä tulisi pelkästään hiillossa muodostuvaa kaasua polttamalla hiukan yli oman tarpeen. Tämä edellyttää kuitenkin huolellista ja innovatiivista suunnittelua lämmön kierrätyksessä lämmönvaihtimiseen ja sähkön puolella erityisesti MVR-lämpöpumppujen optimointia siten, että sähkönkulutus pysyy pienenä. Koska pelivaraa kuitenkin laskelman mukaan jonkin verran on, uskaltanee sanoa, että prosessi toimii pelkästään sisäänsyötetystä materiaalista erottuvalla energijakeella.





Euroopan unionin  
osarahoittama



## Ylä- ja Itä-Kainuun vihreän siirtymän osaamiskeskus -hanke

Lämmön kierrätyksen merkitystä ja siihen panostamisen kannattavuutta havainnollistaa se, että jos uutettavan massan mukana kiertävä vesi (esim. 130 m<sup>3</sup>/h) vain haihdutettaisiin suoraan lämmöllä pois uuton päätteeksi ennen hiiltoa, siihen tarvittaisiin lämpötehoa 100...150 MW. Tuhlailevalla käytöllä lämmönkulutus voi siis olla myös erittäin suuri.

Lämpövirtojen optimointiin kannattaa käyttää pinch-analyysiä ainakin ajatusmallina. Siinä tarkastellaan lämpövirtoja (määrä, lämpötila) sekä poistuvina että tarvittavina ja sovitetaan ne yhteen. Lämpötilatasot ovat erityisen tärkeitä, tarkoittaen käytännössä sitä, että korkea lämpötilaa ei tuhlata alhaisen lämpötilan tuottamiseen, jos korkealämpötilaisempiakin tarpeita on. Käytännössä lämmönsiirtimien ”asteisuus” eli minimilämpötilaero eri suuntiin menevien virtausten välillä ja tämän vs. siirtimen hinta pieneen lämpötilaeroon pyrittäessä asettaa rajan lämmönsiirrolle.

Hiiltoprosesseja mainostetaan toisinaan omavaraisiksi, ts. että ne pystyvät hiilossa muodostuvilla kaasuilla ja tervoilla tuottamaan oman energiansa. Tässä samalla tuotetaan myös uuttojen tarvitsema energia ja prosessin sähkö eli jos tavoitteessa onnistutaan, prosessi on erittäin energiatehokas.

