

# **Kemialliset menetelmät kiinteille biopolttoaineille**

Martin Englisch

ofi – Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und  
Technik

Fritz Bakker

ECN- Energy Research Centre of the Netherlands

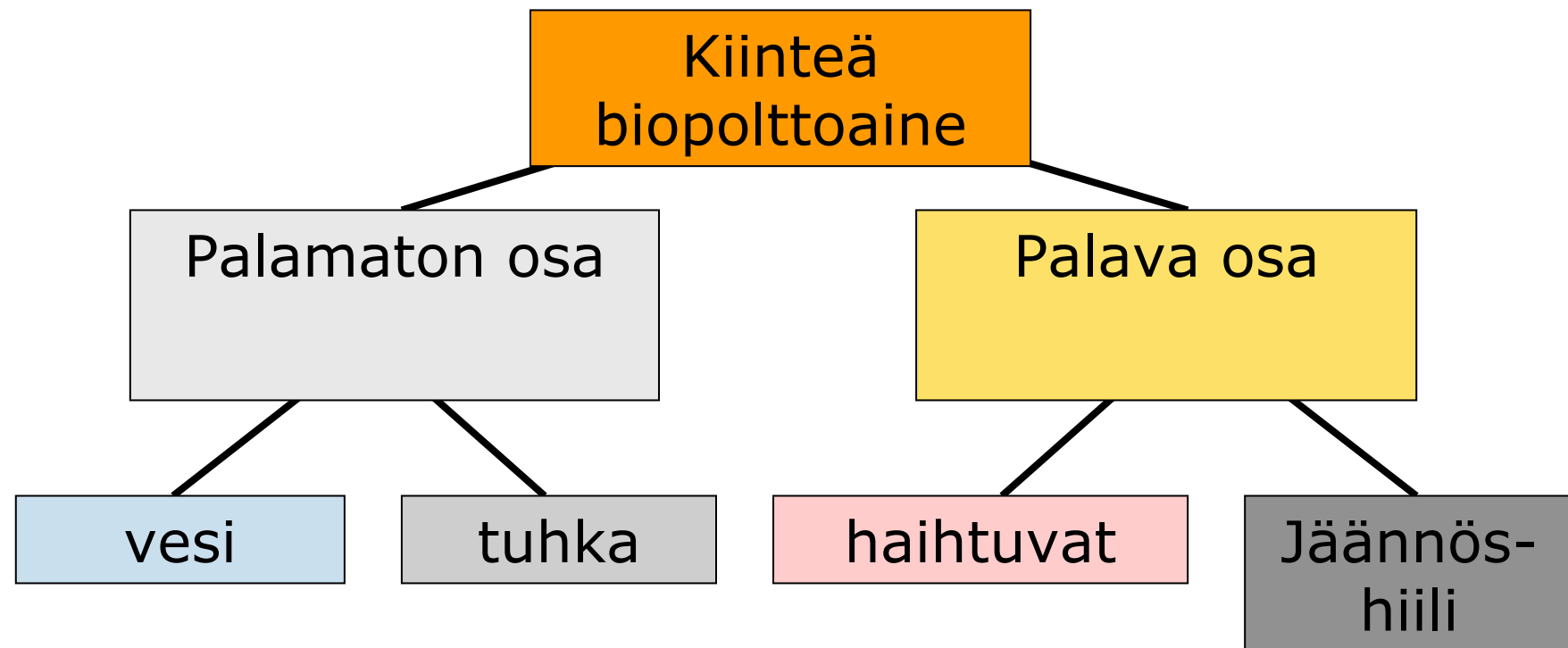
# Kiinteä biopolttoaine

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe



## Kemiallinen koostumus:

51% hiili

42% happi

6% vety

< 1% typpi

< 0,1% rikki,  
halogeenit

## Ainesosat:

50% selluloosa

25% hemiselluloosa

25% ligniini

< 5% pihka yms.

< 1% tuhkaa muodostavat  
mineraalit

- ◆ **Typpi, rikki ja halogeenit ovat ympäristölle haitallisia**
- ◆ **Typpi (N)**
  - Polttoainetyppi aiheuttaa pääsääntöisesti NO<sub>x</sub>-päästöt
  - Puun alkuperä: yleensä alle 0,3 p-% kuiva-aineesta, korkeammat pitoisuudet johtuvat liimoista ja muista lisäaineista
- ◆ **Rikki (S)**
  - Orgaaninen rikki muodostaa SO<sub>2</sub> poltossa ja aiheuttaa rikkipitoisia happamoittavia päästöjä
  - Puun alkuperä: yleensä pienet pitoisuudet, rikkipitoisuus lisääntyy jos käytetään pellettien sideaineena lignosulfonaatteja
- ◆ **Kloori (Cl)**
  - Muodostaa suolahappoa, mikä on pääsyy korroosioon
  - Puun alkuperä: yleensä pieni < 0,02 p-%, mutta kasvinsuojeluaineet, lannoitteet ja sulatussuolat lisäävät klooripitoisuutta. Muissa biomassoissa on korkea klooripitoisuus ja tämä on kriittinen kemiallinen alkuaine!

# NO<sub>x</sub>-muodostuminen

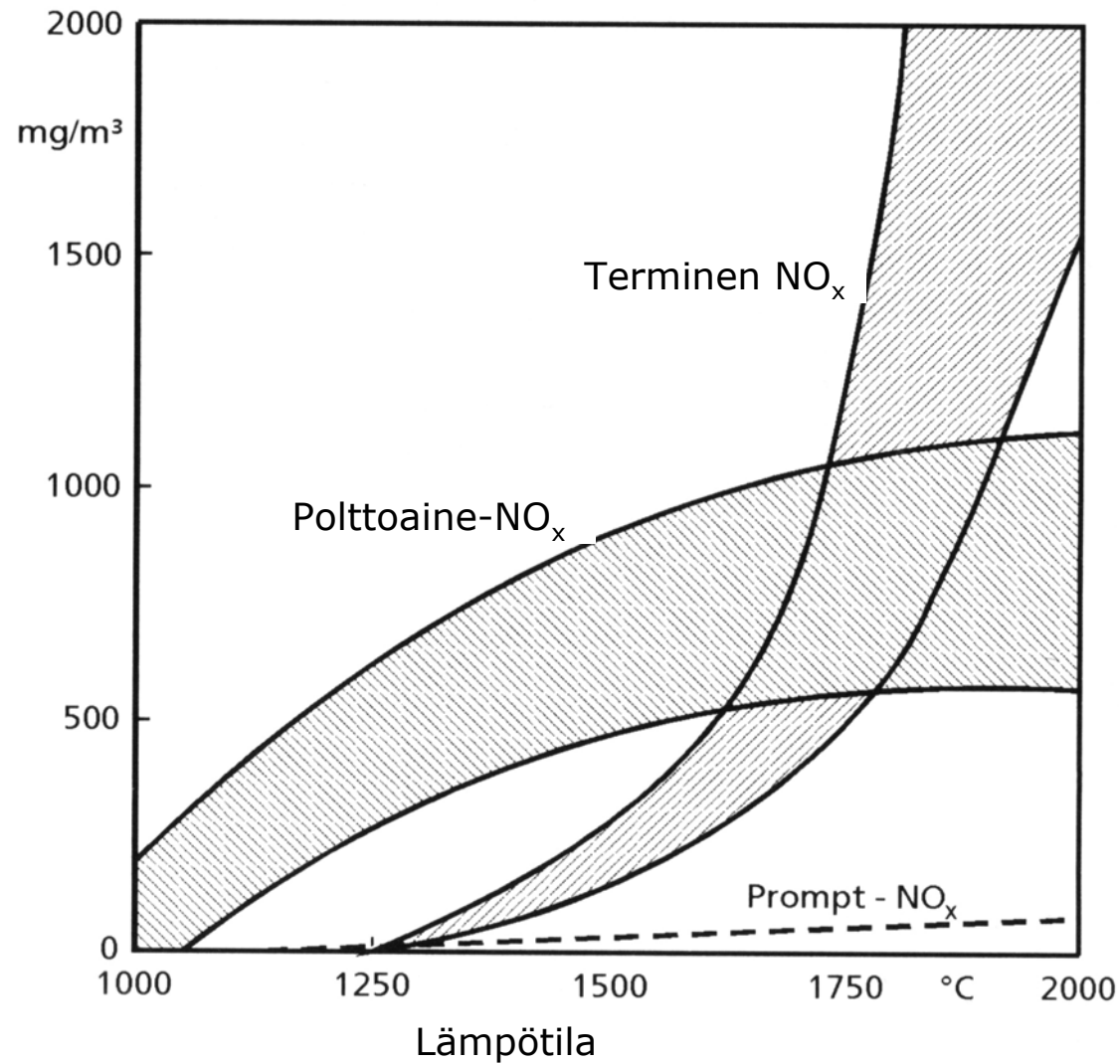
PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

Savukaasujen  
pitoisuus



- ◆ **EN 15104** Hiilen, vedyn ja typen kokonaispitoisuuksien määrittäminen – Laitemenetelmät
- ◆ **EN 15289** Rikin ja kloorin kokonaispitoisuuksien määrittäminen
- ◆ **EN 15105** Vesiliukoisen kloridin, natriumin ja kaliumin määrittäminen
- ◆ **EN 15290** Pääalkuaineiden määrittäminen
- ◆ **EN 15297** Hivenalkuaineiden määrittäminen
- ◆ **EN 15296** Analyysitulosten laskeminen eri tiloihin



## Periaate

- ◆ Näyte poltetaan hapessa täydellisesti
- ◆ Kaasumaiset tuotteet: hiilidioksidi, vesihöyry, alkuainetyppi ja/tai typen oksidit, rikin oksidit tai happihappo sekä vetyhalogenidit
- ◆ Kaasujen käsittely: vety, joka on yhdistyneenä rikkiin tai halogenidiin vapautuu vesihöyrynä
- ◆ Typen oksidit pelkistetään alkuainetyypeksi
- ◆ Kaasuanalyysiä haittaavat palamistuotteet poistetaan
- ◆ Hiilidioksidi, vesihöyry ja typpi määritetään kvantitatiivisesti sopivalla kaasuanalyysimenetelmällä

## Laitteet ja reagenssit

- ◆ Automaattiset laitteet esim. Leco, Elementar
  - toimintavaatimukset on kuvattu standardissa
- ◆ Kalibroinnissa käytetään kalibrointistandardeja
- ◆ Menetelmän tarkkuus testataan sertifioidulla vertailumateriaalilla

**Typelle voidaan käyttää myös Kjeldahl-menetelmää!**



# EN 15104 Hiilen, vedyn ja typen kokonais- pitoisuuksien määrittäminen – Laitemenetelmät

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

## Menettely

- ◆ Testinäytteen ja testiotoksen valmistaminen
- ◆ Laitteiston kalibrointi
- ◆ Näytteen analysointi
- ◆ Tulosten laskeminen ja ilmoittaminen
- ◆ Menetelmän toimivuus:

	Maksimi sallittu ero tulosten välillä (kuiva-aineesta)	
	toistettavuus	uusittavuus
Hiili	0,5 % absoluuttinen	1,5 % absoluuttinen
Vety	0,25 % absoluuttinen	0,5 % absoluuttinen
Typpi	10 % suhteellinen jos $N > 0,5 \%$ 0,05 % absoluuttinen jos $N < 0,5 \%$	20 % relatiivinen jos $N > 0,5 \%$ 0,1 % absoluuttinen jos $N < 0,5 \%$

# BioNormII tuloksia *typelle*

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

## Menetelmän tarkkuus

Typpi (N)	Määrä keskiarvo [p-%, k-a]	Uusittavuus		Toistettavuus	
		R abs [%]	R rel [%]	r abs [%]	r rel [%]
Kuoreton puu	0,060	0,060	99,2	0,027	45,1
Hake	0,106	0,087	82,0	0,079	74,7
Liimapitoinen lehtipuu	0,342	0,144	42,2	0,036	10,5
Rypsin olki	0,406	0,159	39,2	0,090	22,1
Kuori	0,669	0,221	33,1	0,076	11,4
Olki	0,713	0,191	26,7	0,078	10,9
Cynara (ohdake)	1,006	0,241	24,0	0,107	10,6
Orujillo (oliivikivi)	1,314	0,333	25,3	0,090	6,8

## Periaate

- ◆ Poltto ja happamien kaasumaisten komponenttien siirto liuokseen
  - Poltto happipommissa ja happaman kaasun absorptio liuokseen (menetelmä A);
  - Hajottaminen suljetussa astiassa on kuvattu standardissa EN15290 (menetelmä A).



## ◆ Rikin ja kloorin määrittäminen vastaanottavasta liuoksesta

- Ionikromatografilla käyttäen EN ISO 10304-1 menetelmää;
  - ICP, käyttäen EN ISO 11885
  - Muut sopivat analyysimenetelmät.
  - Rikin ja kloridin määrittämiseen on monia menetelmiä, mutta toteamisraja ja tarkkuus vaihtelevat paljon.
- ◆ Automaattista laitetta voidaan käyttää, kun menetelmä on validoitu sopivalla referenssinäytteellä tietylle biomassalle
- ◆ Röntgenfluoresenssia voidaan käyttää rikin ja kloorin määrittämisen suoraan näytteestä



## Poltto suljetussa pommissa

- ◆ Eniten käytetty menetelmä, yhdistettynä lämpöarvon määrittämiseen
- ◆ 1 g näytettä puristetaan pelletiksi, joka laitetaan kvartsilasiseen tai metalliupokkaaseen ja poltetaan 30 bar hapessa
- ◆ Lopputuloksen varmistamiseksi käytetään polton apuainetta
  - Nestemäinen polton apuaine esim. Dodecane (dihexyl)
  - Kiinteä polton apuaine: polttopussi tai kapseli, jonka paino tiedetään

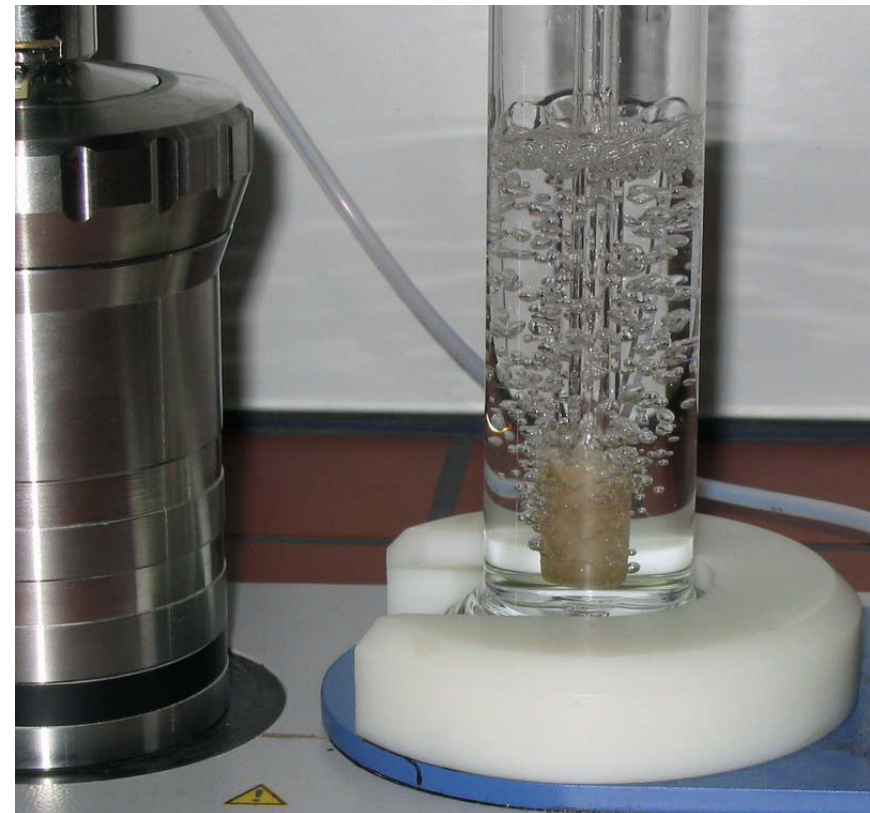


jatkoa...

- ◆ Polton jälkeen absorptioliuos laitetaan mittapulloon (50 tai 100 ml)

### Huomioitavaa:

- Tarkista, että palaminen on täydellistä
- Huuhtele pommi perusteellisesti
- Liuoksen mahdollinen kemiallinen käsittely
- Tarkista häviöt tyhjennyksen aikana (kaasunpesupullo)





## Toteamismenetelmät

- ◆ Ionikromatografi
  - suositeltava menetelmä rikin ja kloridin määrittämiseen (EN ISO 10304-1)
  - käytä injektioruiskua, joka on varustettu 0,45 µm suodattimella
- ◆ Muut menetelmät:

Menetelmä	Cl	S	Referenssit (esim.)
ICP	X	X	EN ISO 11885
fotometri (kolorimetri)	X		DIN 51727
Turbidimetri		X	ASTM D516 - 02
Fotometrinen titraus	X		ISO 587
Kulometri	X		DIN 38405 - 1 (menetelmä D1-3)
Potentiometrinen titraus	X		DIN 38405 - 1 (menetelmä D1-2)

# EN 15289 Rikin ja kloorin määrittäminen

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

## Menetelmän tarkkuus

Rikin ja kloorin pitoisuus kuiva-aineesta	Maksimi hyväksyttävä ero tulosten välillä	
	Sama laboratorio (toistettavuus)	Eri laboratoriot (uusittavuus)
Kloori $\leq$ 500 mg/kg > 500 mg/kg	50 mg/kg 10 % keskiarvosta	100 mg/kg 20 % keskiarvosta
Rikki $\leq$ 500 mg/kg > 500 mg/kg	50 mg/kg 10 % keskiarvosta	100 mg/kg 20 % keskiarvosta



# BioNormII tuloksia kloorille

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

## Menetelmän tarkkuus

Kloori (Cl)	Pitoisuus	Toistettavuus		Uusittavuus	
	keskiarvo [p-%, kuiva]	R abs [%]	R rel [%]	r abs [%]	r rel [%]
Kuoreton puu	0,003	0,006	174	0,003	93
Hake	0,005	0,010	185	0,006	103
Kuori	0,010	0,010	99	0,005	53
Liimapitoinen lehtipuu	0,015	0,012	83	0,007	51
Olki	0,11	0,030	26	0,016	14
Orujillo (oliivikivi)	0,20	0,043	21	0,013	7
Rapsin olki	0,28	0,065	23	0,027	10
Cynara (ohdake)	1,59	0,44	27	0,18	11

# EN15105 Vesiliukoisen kloorin, natriumin ja kaliumin määrittäminen

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

## Periaate

- ◆ Näytettä kuumennetaan vedessä suljetussa asiassa 120 °C:ssa tunnin ajan.
- ◆ Kloridin, natriumin ja kaliumin pitoisuudet määritetään vesiuutteesta seuraavasti:
  - **Kloridi:** Ionikromatografi (IC) tai potentiometrinen titraus hopeanitraatilla (myös vesiliukoinen kromi ja jodi sisältyvät määrittämiseen)
  - **Natrium ja kalium:** Flame Emission Spectroscopy (FES) tai Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) tai Inductively Coupled Plasma Optical Emissions Spectroscopy (ICP-OES).



# EN15105 Vesiliukoisen kloorin, natriumin ja kaliumin määrittäminen

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

## Menetelmän tarkkuus

Vesiliukoisten aineiden määrä analyysissä	Maksimi hyväksyttävä ero tulosten välillä	
	sama laboratorio (toistettavuus)	Eri laboratoriot (uusittavuus)
Kloridi		
$\leq 500$ mg/kg	50 mg/kg	100 mg/kg
$> 500$ mg/kg	10 % keskiarvosta	20 % keskiarvosta
Natrium/ Kalium		
$\leq 100$ mg/kg	10 mg/kg	20 mg/kg
$> 100$ mg/kg	10 % keskiarvosta	20 % keskiarvosta

## Tärkeimmät tuhkaa muodostavat aineet:

Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na, Ti

## Periaate

- ◆ Näyte hajotetaan suljetussa astiassa reagenssien, lämpötilan ja paineen avulla.
- ◆ Hajotus tehdään suoraan polttoaineesta (osa A)
  - 500 mg näyte, 3,0 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30 %), 8,0 ml  $\text{HNO}_3$  (65 %) ja 1,0 ml  $\text{HF}$  (40 %) astiaan.
  - Astian lämmitys ei saa olla liian nopea. Lämmitysvaiheet on kuvattu standardissa.
  - Jäähdytyksen jälkeen HF neutraloidaan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (4 %). Lämmitä näyte uudestaan.
  - Jäähdytyksen jälkeen, siirrä liuos mittapulloon.
- ◆ Hajotus tehdään 550 °C:ssa tuhkatusta näytteestä (osa B).



## Määrittämenetelmät

- ◆ Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na, Ti määrittämiseen hajotusliuoksesta käytetään seuraavia menetelmiä:
  - ICP/OES standardin EN ISO 11885 mukaan.
  - ICP/MS standardin EN ISO 17294-2 mukaan.
  - AAS standardien EN ISO 7980, ISO 9964-1 ja ISO 9964-2 mukaan.
  - FES standardin ISO 9964-3 mukaan.



# EN 15290 Pääalkuaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	S <sub>R</sub>	CV <sub>R</sub>	s <sub>r</sub>	CV <sub>r</sub>
<b>Al</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	12	57	5	47	8	18	2	4.1
oliivijäte	11	55	0	2 364	170	7,2	110	4,7
<b>Ca</b>								
hake	11	54	1,8	1 502	100	6,6	24	1,6
oliivijäte	13	65	0	14 216	1 035	7,3	607	4,3
<b>Fe</b>								
hake	15	69	5,5	54	6	11,7	4	6,6
oliivijäte	15	73	1,4	1 598	165	10,3	81	5,1

n= laboratorioiden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismäärittysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo, S<sub>R</sub>= toistettavuuden hajonta, CV<sub>R</sub>= toistettavuuden suhteellinen hajonta, s<sub>r</sub>= uusittavuuden hajonta, CV<sub>r</sub>= uusittavuuden suhteellinen hajonta

# EN 15290 Pääalkuaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	S <sub>R</sub>	CV <sub>R</sub>	s <sub>r</sub>	CV <sub>r</sub>
<b>Mg</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	12	60	0	194	14	7,2	3	1,7
oliivijäte	13	65	0	3 143	242	7,7	149	4,7
<b>P</b>								
hake	11	53	3,6	74	5	6,7	2	3,4
oliivijäte	13	65	0	1 488	127	8,5	58	3,9
<b>K</b>								
hake	13	63	3,1	691	77	11,1	12	1,8
oliivijäte	11	52	5,5	24 524	1 565	6,4	468	1,9

n= laboratorioden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismääritysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo, S<sub>R</sub>= toistettavuuden hajonta, CV<sub>R</sub>= toistettavuuden suhteellinen hajonta, s<sub>r</sub>= uusittavuuden hajonta, CV<sub>r</sub>= uusittavuuden suhteellinen hajonta

# EN 15290 Pääalkuaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	$S_R$	$CV_R$	$s_r$	$CV_r$
<b>Si</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	8	39	2,5	320	106	33	36	11,2
oliivijäte	10	49	4,0	10 043	1 226	12,2	769	7,7
<b>Na</b>								
hake	9	44	0	13	6	48	2	14
oliivijäte	10	49	0	171	40	23	9	5,4
<b>Ti</b>								
hake	9	43	4,4	5,5	0,40	7,4	0,32	5,9
oliivijäte	11	54	1,8	138	11	7,9	6	4,4

n= laboratorioden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismääritysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo,  $S_R$ = toistettavuuden hajonta,  $CV_R$ = toistettavuuden suhteellinen hajonta,  $s_r$ = uusittavuuden hajonta,  $CV_r$ = uusittavuuden suhteellinen hajonta



## Hivenaineet (Minor elements):

**Arseeni, Kadmium, Koboltti, Kromi, Kupari, Elohopea, Mangaani, Molybdeeni, Nikkeli, Lyijy, Antimoni, Vanadiini ja Sinkki**

- ◆ Menetelmä on samanlainen kuin pääalkuaineiden määrittäminen

## Määrittäminen

- ◆ As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V ja Zn voidaan määrittää ICP-MS-, ICP-OES- tai GF-AAS-menetelmillä, joiden havaintitarkkuus on riittävä polttoaineen spesifikaatioihin verrattuna
- ◆ As ja Se voidaan määrittää HG-AAS:llä (EN ISO 11969).
- ◆ Hg voidaan määrittää CVAAS:lla (EN 12338)
- ◆ ICP/OES (EN ISO 11885)
- ◆ ICP/MS (EN ISO 17294-2)
- ◆ Muut laitemenetelmät soveltuvat, kun ne on validoitu biomassalle sopivalla referenssimateriaalilla.

# EN 15297 — Hivenaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	S <sub>R</sub>	CV <sub>R</sub>	s <sub>r</sub>	CV <sub>r</sub>
<b>As</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	6	27	10	0,036	0,023	64	0,012	34
oliivijäte	8	38	7,3	0,60	0,057	9,5	0,036	6,0
<b>Cd</b>								
hake	13	63	3,1	0,32	0,021	6,4	0,009	2,9
oliivijäte	8	40	0	0,025	0,0057	23	0,0050	20
<b>Co</b>								
hake	9	43	4,4	0,34	0,033	9,7	0,010	2,9
oliivijäte	11	54	1,8	1,04	0,128	12	0,056	5,4

n= laboratorioiden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismääritysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo, S<sub>R</sub>= toistettavuuden hajonta, CV<sub>R</sub>= toistettavuuden suhteellinen hajonta, s<sub>r</sub>= uusittavuuden hajonta, CV<sub>r</sub>= uusittavuuden suhteellinen hajonta

# EN 15297 — Hivenaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	S <sub>R</sub>	CV <sub>R</sub>	s <sub>r</sub>	CV <sub>r</sub>
<b>Cr</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	9	43	4,4	0,37	0,12	31	0,077	21
oliivijäte	15	72	4	14,3	3,4	24	1,08	7,6
<b>Cu</b>								
hake	12	57	6,6	1,29	0,16	12	0,091	7,00
oliivijäte	15	75	0	25	2,2	8,60	0,85	3,4
<b>Hg</b>								
hake	6	27	3,6	0,0072	0,0016	23	0,0010	13
oliivijäte	10	44	2,2	0,012	0,0048	40	0,0026	22

n= laboratorioiden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismääritysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo, S<sub>R</sub>= toistettavuuden hajonta, CV<sub>R</sub>= toistettavuuden suhteellinen hajonta, s<sub>r</sub>= uusittavuuden hajonta, CV<sub>r</sub>= uusittavuuden suhteellinen hajonta

# EN 15297 — Hivenaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	S <sub>R</sub>	CV <sub>R</sub>	s <sub>r</sub>	CV <sub>r</sub>
<b>Mn</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	14	69	1,4	261	17,7	18	3,78	1,4
oliivijäte	15	73	2,7	40,2	2,54	2,5	1,46	3,6
<b>Mo</b>								
hake	5	23	0	0,028	0,015	52	0,012	41
oliivijäte	8	37	7,5	0,22	0,056	25	0,018	8,2
<b>Ni</b>								
hake	10	47	0	0,60	0,103	17	0,042	7
oliivijäte	11	54	1,8	12,5	0,82	6,5	0,68	5,4

n= laboratorioden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismääritysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo, SR= toistettavuuden hajonta, CVR= toistettavuuden suhteellinen hajonta, sr= uusittavuuden hajonta, CVr= uusittavuuden suhteellinen hajonta

# EN 15297 — Hivenaineet - tarkkuus

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

	n	i	o	x	S <sub>R</sub>	CV <sub>R</sub>	s <sub>r</sub>	CV <sub>r</sub>
<b>Pb</b>	kpl	kpl	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	%
hake	9	41	10,9	0,75	0,117	16	0,072	9,6
oliivijäte	13	56	6,7	3,83	0,575	15	0,357	9,3
<b>Sb</b>								
hake	5	25	0	0,013	0,0042	31	0,001	10
oliivijäte	5	24	4	0,094	0,014	15	0,010	11
<b>V</b>								
hake	9	42	4,5	0,076	0,018	23	0,009	12
oliivijäte	11	51	7,3	4,26	0,45	11	0,21	4,9
<b>Zn</b>								
hake	15	70	5,4	13,84	1,94	14	0,67	4,8
oliivijäte	15	71	5,3	18,23	1,97	11	0,83	4,5

n= laboratorioden määrä, i= yksittäisiä arvoja, o= % rinnakkaismäärittysten poistettuja arvoja, x= keskiarvo, S<sub>R</sub>= toistettavuuden hajonta, CV<sub>R</sub>= toistettavuuden suhteellinen hajonta, s<sub>r</sub>= uusittavuuden hajonta, CV<sub>r</sub>= uusittavuuden suhteellinen hajonta

## Symbolit

- ◆ Seuraavia symboleita käytetään "ad" (ilmakuiva), "ar" (saapumistilassa), "d" (kuiva-aineessa), "daf" (tuhkattomassa kuiva-aineessa):
  - **A** tuhka (EN 14775)
  - **C** kokonaishiili (EN 15104)
  - **CI** kokonaiskloori (EN 15289)
  - **q<sub>p,net</sub>** tehollinen lämpöarvo vakiopaineessa (J/g) (EN 14918)
  - **H** kokonaisvety (EN 15104)
  - **M** kokonaiskosteus, märkäpainosta (EN 14774)
  - **N** kokonaistyyppi (EN 15104)
  - **O** kokonaishappi (prosenttia massasta)
  - **S** kokonaisriikki (EN 15289)

# EN 15296 — Tulosten laskenta eri tiloihin

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

**Vety**

$$H_d = (H_{ad} - M_{ad}/8.937) \times \frac{100}{(100 - M_{ad})}$$

**Happi**

$$O_d = 100 - C_d - H_d - N_d - S_d - Cl_d - A_d$$

**Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (J/g)**

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} \times \frac{100 - M}{100} - 24,43 \times M_{ar}$$



# EN 15296 — Tulosten laskenta eri tiloihin

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

Annettu	Haluttu			
	As analysed Analysoitu (ilmakuiva) (air dried) (ad)	As received <sup>a</sup> Saapumistilassa (ar)	Dry Kuiva (d)	Dry, ash free Tuhkaton, kuiva (daf)
Analysoitu (ilmakuiva, ad)		$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + A_{ad})}$
Saapumis- tilassa, ar	$\frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$		$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + A_{ar})}$
Kuiva d	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$		$\frac{100}{100 - A_d}$
Tuhkaton, kuiva (daf)	$\frac{100 - (M_{ad} + A_{ad})}{100}$	$\frac{100 - (M_{ar} + A_{ar})}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	

<sup>a</sup>Huom. Saapumistilassa olevaa kaavaa voidaan käyttää myös muiden kosteuksien laskemiseen

*[www.phydades.info](http://www.phydades.info)*

PHYDADES

Intelligent Energy



Europe

***Aineiston ovat tuottaneet  
Ofi ja ECN***

Käännös Eija Alakangas, VTT ja Markku Herranen, ENAS Oy