



European Union
Regional Development Fund



Investing in your future



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Taastuenergia lahendused põllumajandustootmises: biogaasi tootmine

Peep Pitk, PhD

TTÜ Keemiainstituut

Keskkonnabiotehnoloogia labori juhataja

08.04.2015, Tallinn





Kes ja kust?

TTÜ Keemiainstituudi Keskkonnabiotehnoloogia uurimisgrupi juht ning EBKK projektijuht

- Biogaasi valdkonna uurimustööd teostanud TTÜs alates 2007 aastast
- Magistritöö teostasin 2009 aastal Saksamaal 3 biogaasijaama (BGJ) opereerimisandmete põhisel
- Doktoritöö kaitstud 2014. Seotud biogaasi tootmisprotsessi optimeerimisega vedelsõnniku ja tapamajajäätmete kooskääritamisel „**Protein and lipid rich solid slaughterhouse waste anaerobic co-digestion: resource analysis and process optimization**”
- Koostöös EMÜ-ga välja arendatud kompleksne metoodiline baas biogaasi tootmisprotsessi analüüsimiseks, monitooringuks ja katsetööks
- Hetkel on välja töötamisel **Bioressursi Väärindamise Kompetentsikeskuse** kontseptsioon- koondada sektoriülene kompetents ja luua kontaktpunkt erasektorile, kust saab küsimustele kompleksed lahendused/vastused

Sissejuhatus



Millest täna räägime?

Sissejuhatus biogaasi tootmisprotsessi

- Anaeroobse kääritamise (AK) ajalugu ja põhialused
- AK erinevad kontseptsioonid ja mis Eestis?
- AK biolaguneva ressursi väärimdamise tehnoloogiana
- AK toorained ja nende olulisemad omadused

Põllumajandusliku biogaasijaama „case-study“

- Tootmise planeerimine, kontseptsiooni põhiosad ja tasuvusanalüüs
- Kääritusjääk ja selle väärtus
- Protsessi opereerimine
- Innovatsioon bioressursi bioloogilisel väärimdamisel



Anaeroobne kääritamine ehk biogaasi tootmine - midagi enamat kui lihtsalt taastuenergia tootmistehnoloogia





Anaeroobne kääritamine

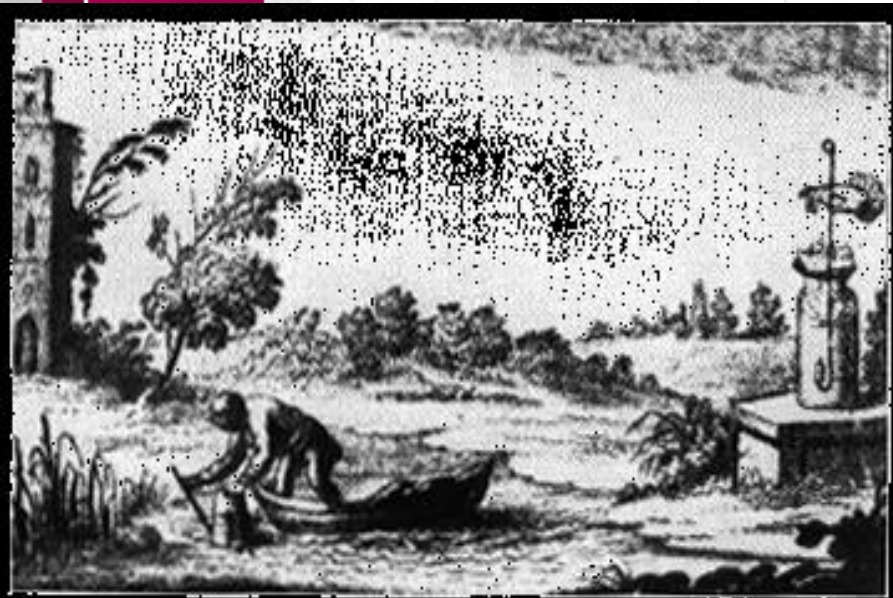
Jäätmekäitluse ja orgaanilise väetise tootmise tehnoloogia, mis lisaväärtusena võimaldab toota energiat!



Anaeroobne kääritamine (AK)



- Avastati A. Volta poolt 1776 aastal „põleva soo efekti katseline tõestamine“
- AK on looduses laialt levinud protsess, millel on väga oluline roll globaalses süsiniku ja toitainete aineringetes
- Algselt kasutati AK vaid reovee käitlemise eesmärgil

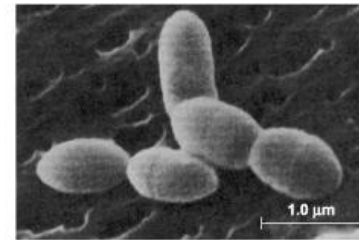


Biogaasi tootmine- ei midagi uut siin päikese all

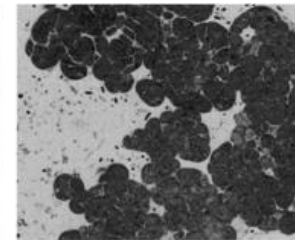
- **Anaeroobne kääritamine:**
- Bioloogiline protsess
- Orgaanilise aine lagundamine (proteiinid, rasvad ja süsivesikud)
- **O₂ vabas keskkonnas**
- **Produktiks:**
- Biogaas (CH₄, CO₂, H₂S, NH₃ jt)
- Kääritusjääk ehk digestaat



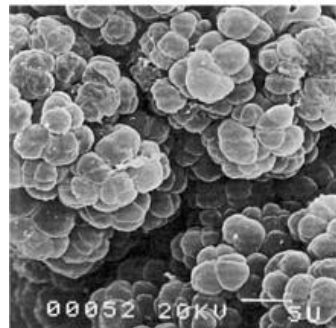
(a)



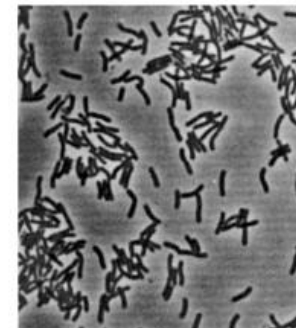
(b)



(c)



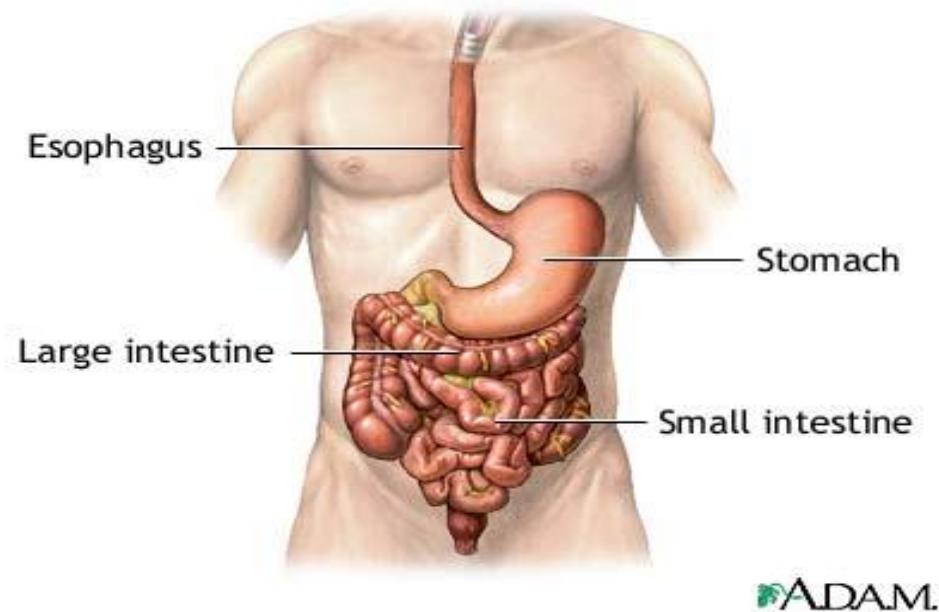
(d)



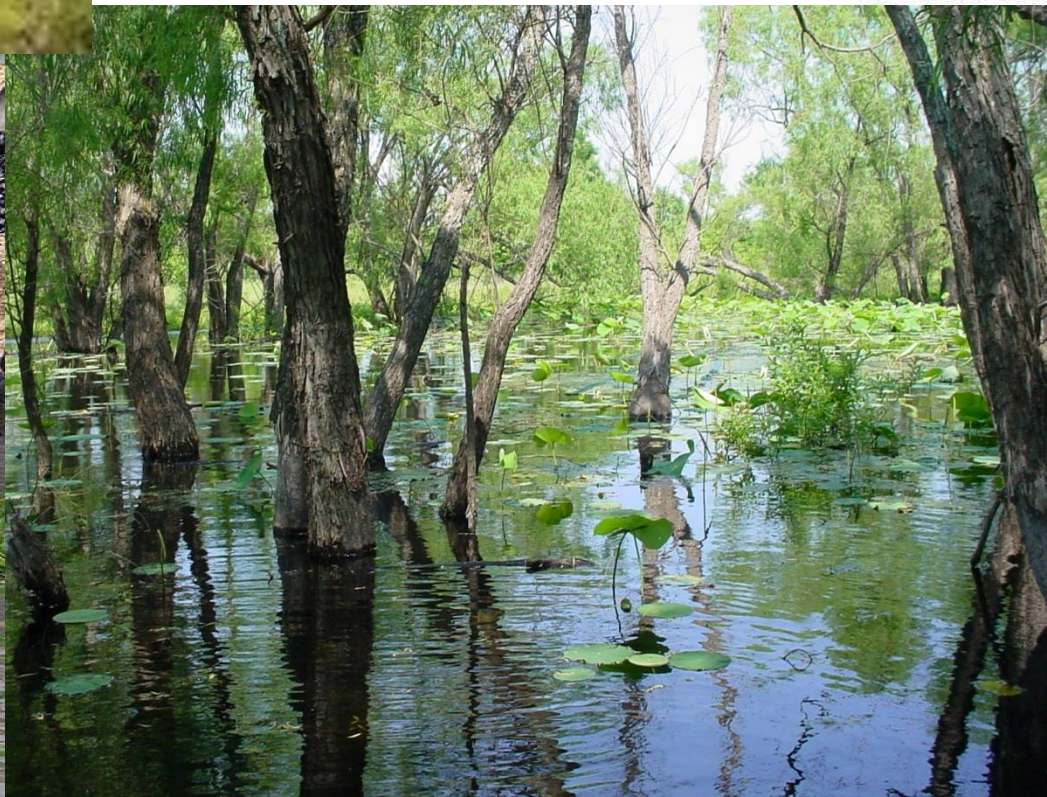
(e)



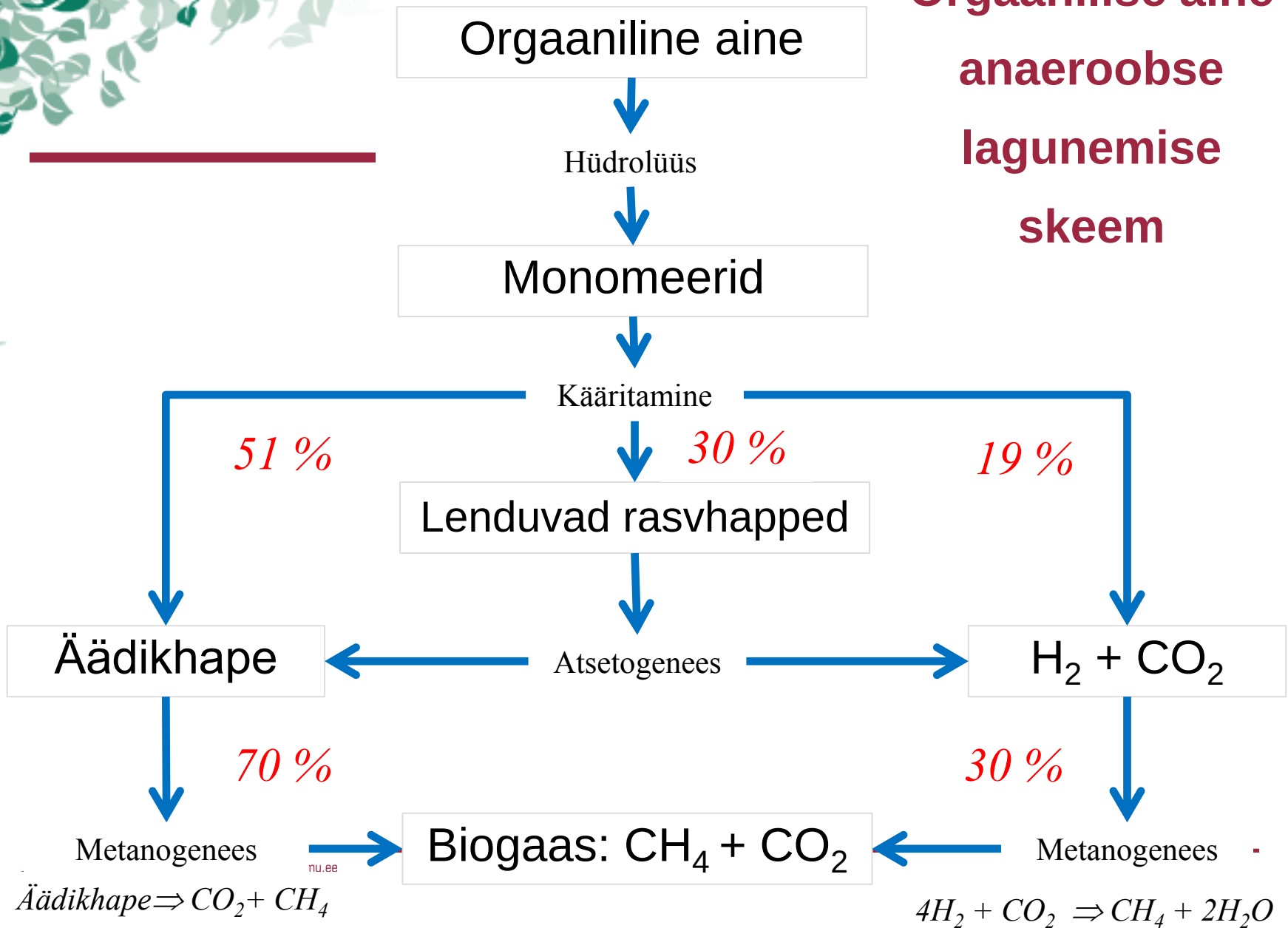
(f)



ADAM.



**Orgaanilise aine
anaeroobse
lagunemise
skeem**

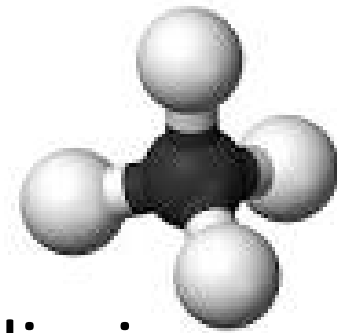


Kääritusjääk

- Kääritusjääk on anaeroobse kääritamise käigus tekkiv toitainerikas orgaanilise aine lagundamise lõpp-produkt
- Väärtuslik orgaaniline väetis põllumajanduses

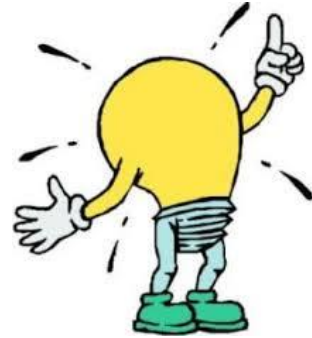


Energiakandja Biogaas



- Biogaasi tootmist tuleb vaadelda eraldiseisva protsessina: selle efektiivsus ei sõltu sellest kuidas seda edasi kasutatakse (energia või kütuste tootmiseks)
- Kas biogaasist toota elektrit ja soojust või konverteerida biometaaniks või... see sisuliselt sõltub poliit-majanduslikest otsustest ja riiklikest eesmärkidest

AK erinevad kontseptsioonid, Eesti biogaasi potentsiaal ja tänane turu situatsioon



***You say WASTE,
I say RESOURCE!***



Anaeroobne kääritamine ei ole ühetaoline tehnoloogia



Milliste valdkondade ja jäätmeliikide jaoks on anaeroobne kääritamine parim võimalik käitlemise tehnoloogia?

- **Reoveepuhastid ja reoveesette** käitlus
- **Toiduainete- ja keemiatööstuse** reoveed
- **Eraldikogutud või separeeritud biojätmed** (supermarketid, hulgilaod, restoranid jne)
- **Põllumajandus** (eelkõige loomafarmid ja nende biolagunevad jätmed; rohtne biomass)

I) Reovee puhastamine ja reoveesette anaeroobne kääritamine



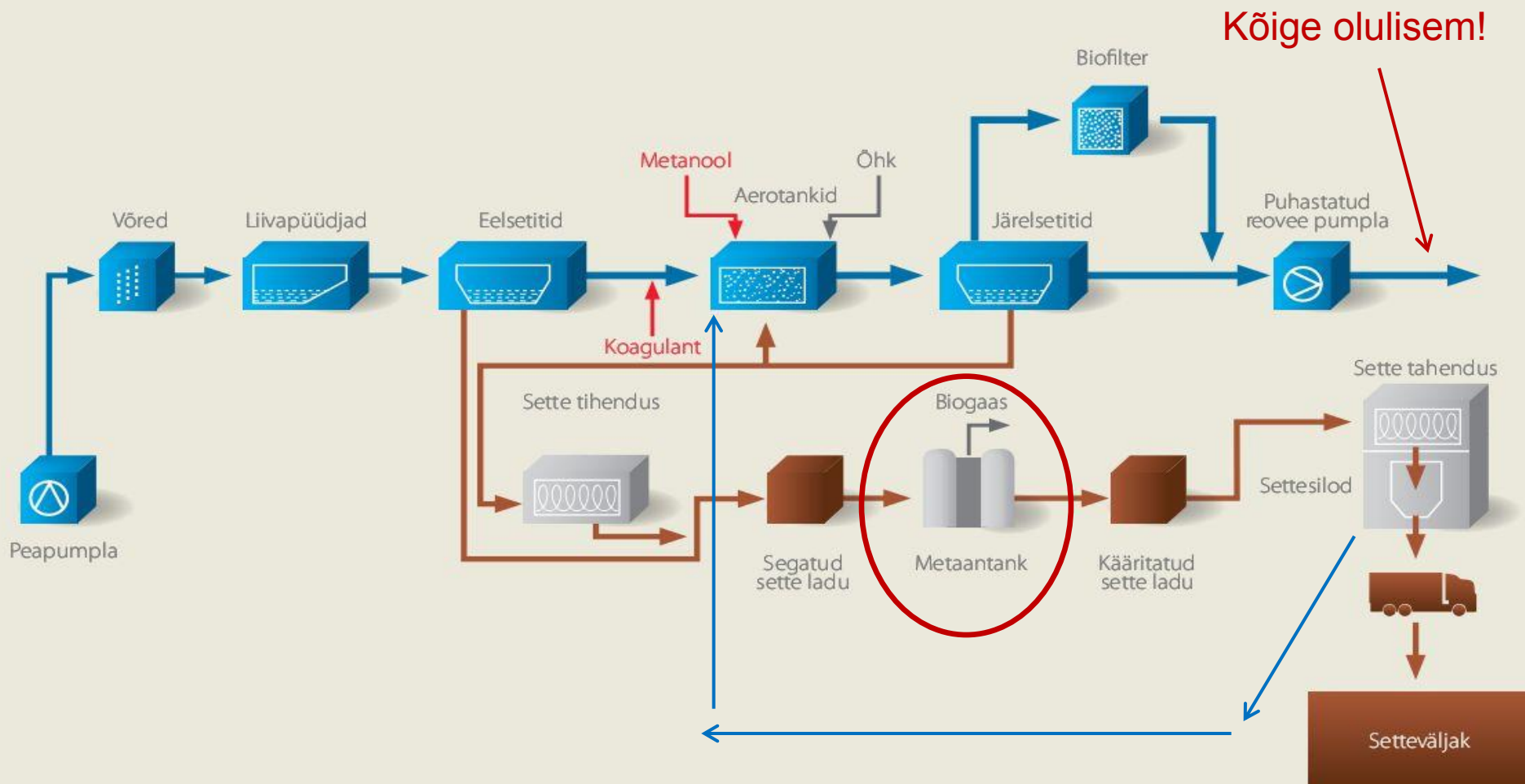
1. & 2. Pumping station and mechanical treatment stage



Reoveesette anaeroobne kääritamine reoveepuhastusjaama kontekstis

Tallinna Reoveepuhastusjaama protsessiskeem

Tallinna Vesi





Anaeroobne kääritamine vs aeroobne tehnoloogia



1 kg KHT lagundamiseks vaja 1 kWh
elektrit



1kg KHT -> 0,35 m³ CH₄ -> 1,4 kWh
elektrit



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Inimekvivalent = 54 grammi BHT/24h



3.5 watt lambipirn 24/7

*Eesti populatsioon
24500 L bensiini
ekvivalenti Bio- CH₄
päevas*



Reoveesette ja biojäätmete kooskääritamise potentsiaal Kuressaare näitel

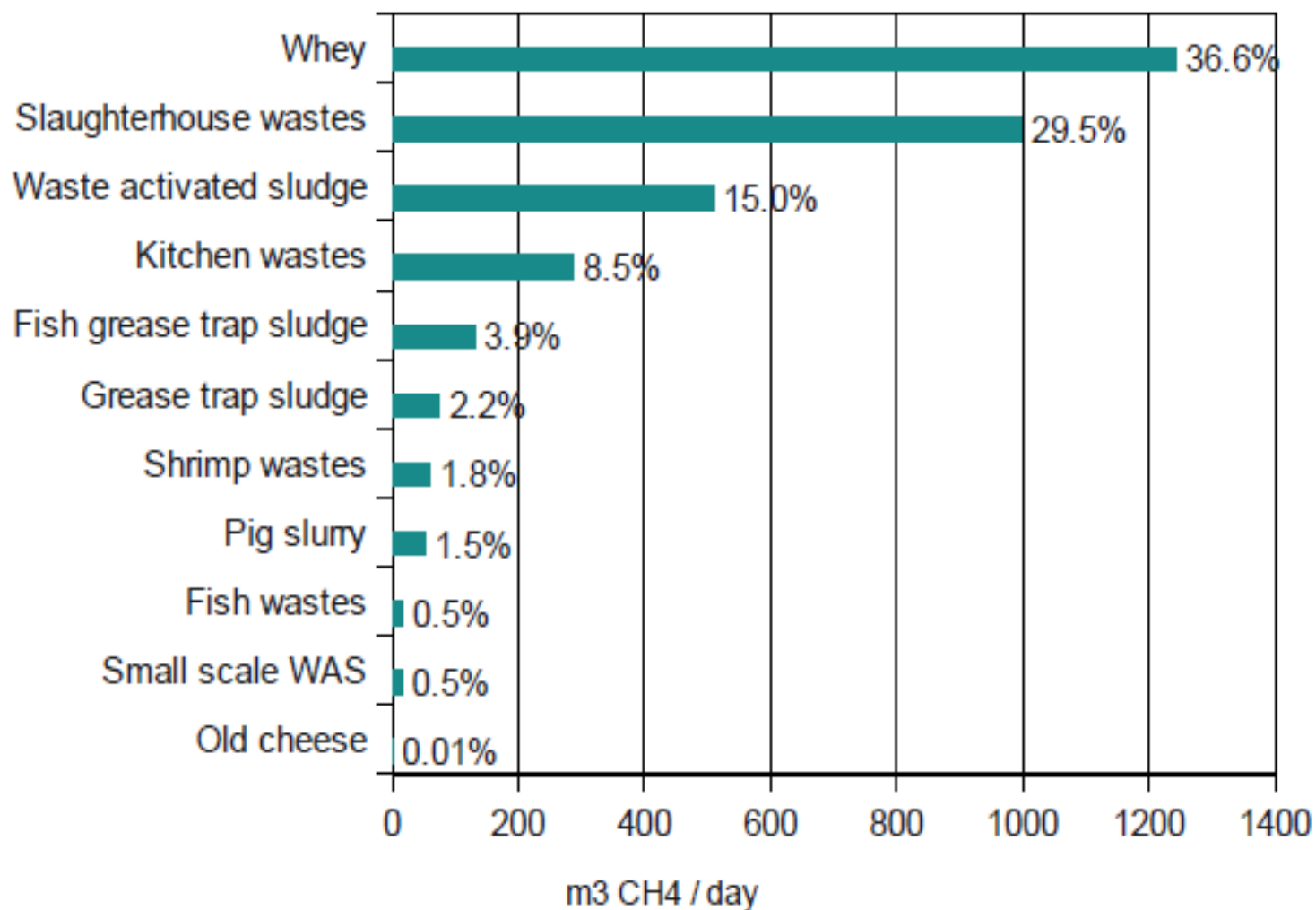
2012 teostati TTÜ-s magistritöö
**„JÄÄKAKTIIVMUDA JA BIOJÄÄTMETE
KOOSKÄÄRITAMISE ENERGEETILINE
POTENTSIAAL NING VÕIMALIKUD
PROBLEEMID KURESSAARE REGIOONI
NÄITEL“** ehk sisuliselt suuremad
toiduainetetööstuste jäätmete vood Kuressaare
lähiümbruses on kaardistatud ja analüüsitud ning
lisaks määratud ka nende biogaasi potentsiaal



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

	t/päev	t/aasta	kg Nüld/päev	Nüld %	m³ CH₄/t
Jääkaktiivmuda	47,5	17348,5	140,8	45,1	10,7
Väikepuhastite sete	3,0	1095,0	4,5	1,4	5,3
Vadak	50,0	18250,0	58,7	18,8	24,9
Tapamajajäätmed	2,7	985,5	67,9	21,8	371,7
Toidujäätmed	2,8	1022,0	14,6	4,7	103,7
Rasvapüünised	0,3	91,3	0,3	0,1	607,7
Sealäga (SLT)	2,0	730,0	9,8	3,1	25,9
Kalarasv	0,3	100,0	1,1	0,4	474,9
Krevetijäätmed	0,7	270,1	12,1	3,9	82,5
Kalajäätmed	0,1	40,2	2,2	0,7	158,3
Vana juust	0,001	0,4	0,1	0,03	439,6
Kokku	109,4	39932,8	311,9	100,0	100,0



Graph 4.1. Ranking of biowastes based on average daily CH₄ potentials.

Reoveesette ja biojätmete kooskääritamise potentsiaal Kuressaare näitel

Tooraine	Energeetiline potentsiaal
Ainult aktiivmuda käitlemise korral (perioodsete katsete tulemuste alusel) Optimistlik prognoos	173 485 m ³ CH ₄ /a (83,4 kW el.)
Uuringu käigus kaardistatud ressurss ja vastav toorainesegu (konservatiivsed tahkete jäätmete kogused)	1 057 070 m³ CH₄/a (508 kW el.)
Tahkete jäätmete 2* suurem osakaal	1 667 595 m ³ CH ₄ /a (800 kW el.)

Biometaan autokütusena Kuressaares

- 2020 eesmärk 10% transportkütustest tuleb taastuvatest allikatest- biometaan võib mängida olulist osa selles eesmärgis!
- $1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 = 1 \text{ l bensiin}$
- $1\,057\,070 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{a} (508 \text{ kW el.}) = 1\,057\,070 \text{ L bensiin}$
- **7 l/100 km kütusekulu > 15 milj. Km**
- **Liinibuss 60000 km/a > 25 bussi aastane kütusekulu**



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ANAEROOBNE KÄÄRITAMINE = KOLM KÄRBEST ÜHE HOOBIGA

- Efektiivne lahendus biojäätmete käitlemise probleemile
- Võimalus energeetiliselt ISEMAJANDAVA ja KESKKONNASÕBRALIKU reoveepuhastussektori loomiseks Eestis
- AK aitab vähendada reovee puhastamise opereerimise kulusid ja oluliselt vähendada reoveesette mahtusid



1918

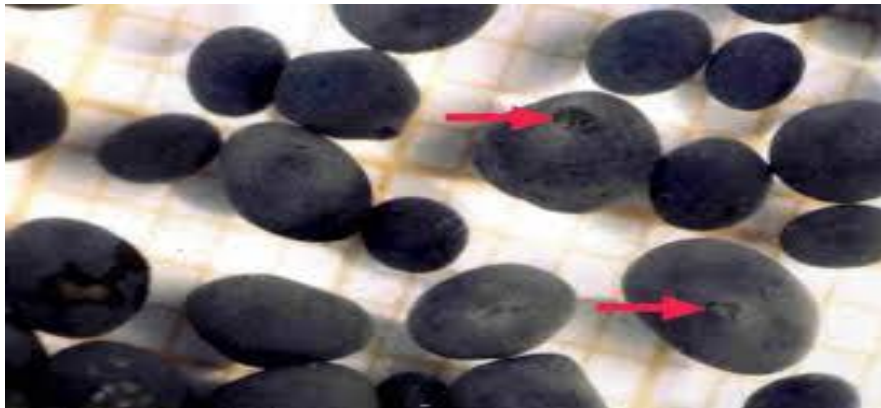
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tänane suurim probleem reoveesette käitlemise puhul

- Seadusandlusest tulenevad piirangud ja ebapiisav teavitustöö laialdasemaks toitainete rikka reoveesette kasutuselevõtuks põllumajandusväetisena
- Üheltpoolt riiklik Jäätmekava on seadnud eesmärgiks biojätmete käitlemise/väärindamise proportsiooni olulise kasvu, kuid teiselt poolt sätestatakse järjest rangemaid piiranguid lõpp-produktide kasutusvõimalustele



II) Tööstuslik reoveekäitlus



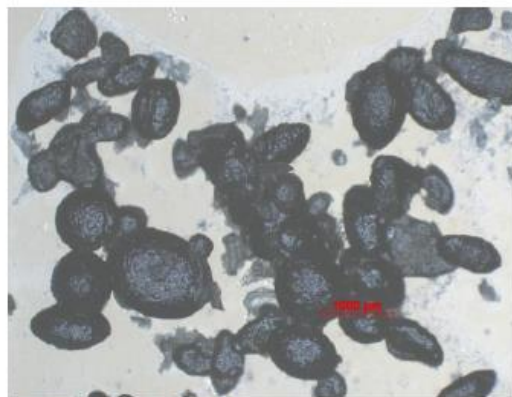


Image 1. Granule No 1

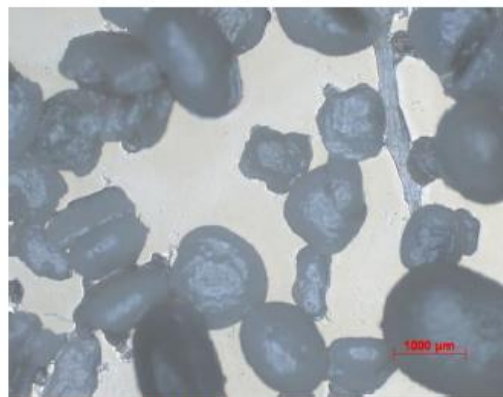


Image 2. Granule No 2

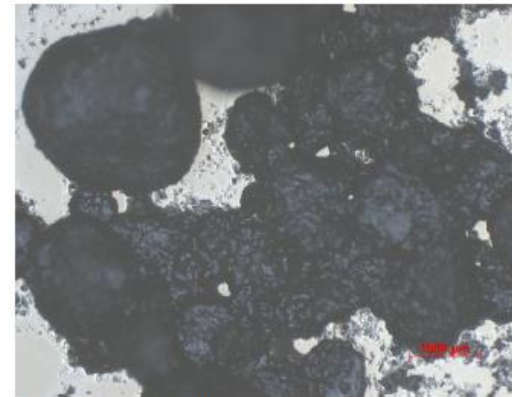


Image 3. Granule No 3

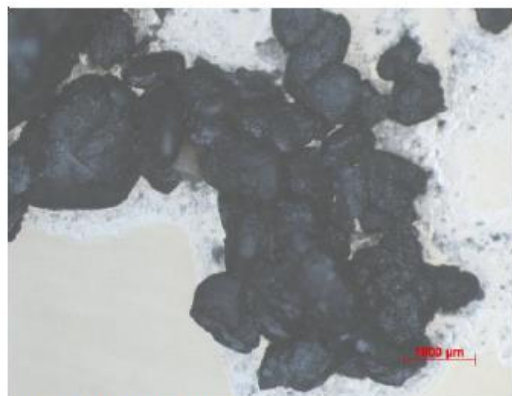


Image 4. Granule No 4

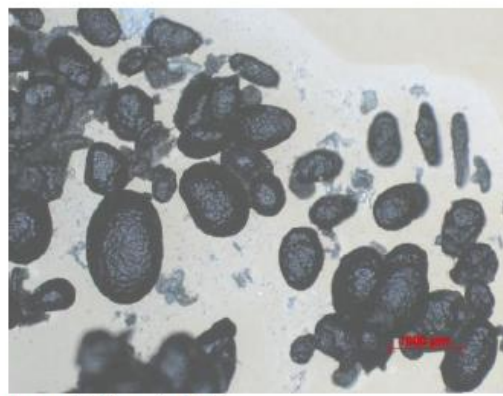


Image 5. Granule No 5

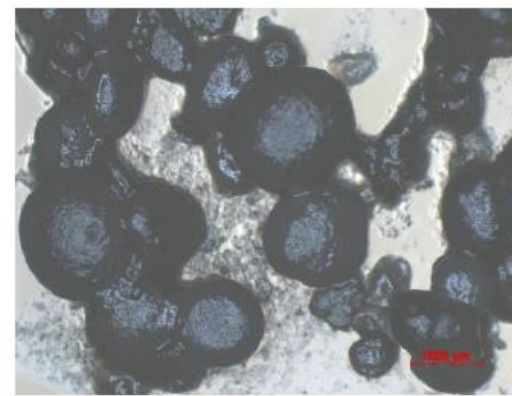


Image 6. Granule No 6

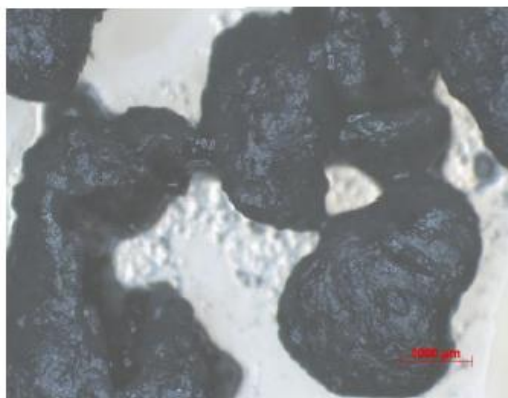


Image 7. Granule No 7

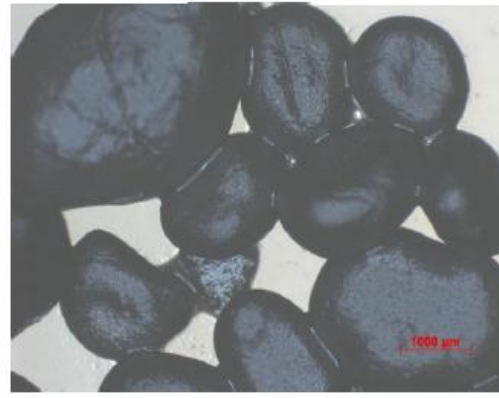


Image 8. Granule No 8

High-rate Anaerobic Applications in Industries

Number of installed reactors, N= 2266 (Jan. 2007)

AGRO-FOOD INDUSTRY 36%		BEVERAGE 29%	ALCOHOL DISTILLERY 10%	PULP & PAPER 11%	MISCELLANEOUS 14%
Sugar	Cannery	Beer	Sugar cane juice	Recycle paper	Chemical
Potato	Confectionery	Malting	Sugar cane molasses	Mechanical pulp	Pharmaceutical
Starch	Fruit	Soft drink	Sugar beet molasses	NSSC	Sludge liquor
Yeast	Vegetable	Fruit juice	Grape wine	Sulphite pulp	Municipal sewage
Pectin	Dairy	Wine	Grain	Straw	Landfill leachate
Citric acid	Bakery	Coffee	Fruit	Bagasse	Acid mine water



Yeast, Italy



Beer, Brazil



Distillery,
Japan



Paper,
Netherlands



Chemical,
Netherlands

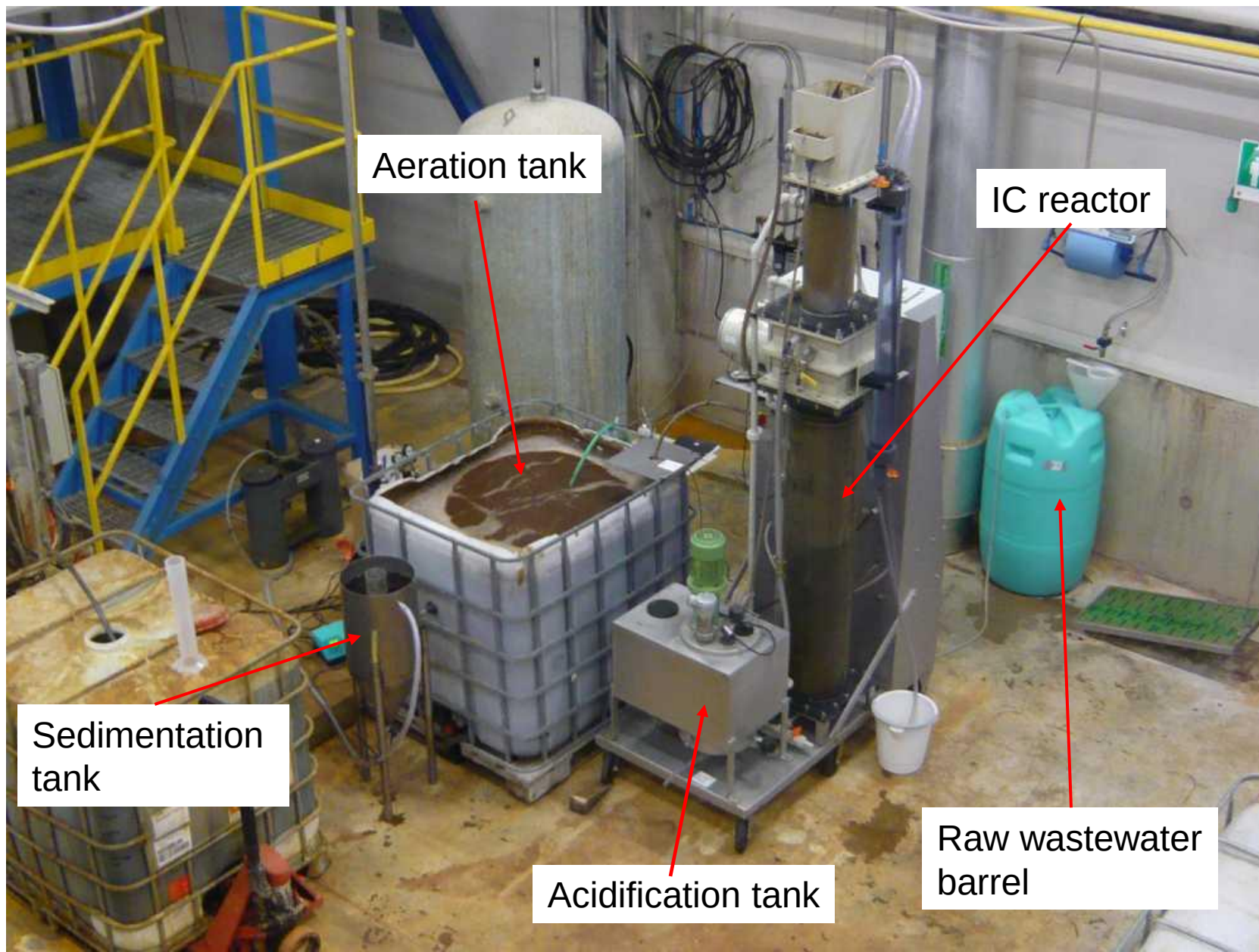
OMANIK INVESTEERIB 17 MILJ EUROT ETTEVÖTTE PÄÄSTMISEKS

11 MILJONIT EUROT
ANAEROOBSESSE
PUHASTUSPROTSESSI



- ▶ Plaanime tehase reoveest toota ~ 5 000 000 m³ biogaasi aastas

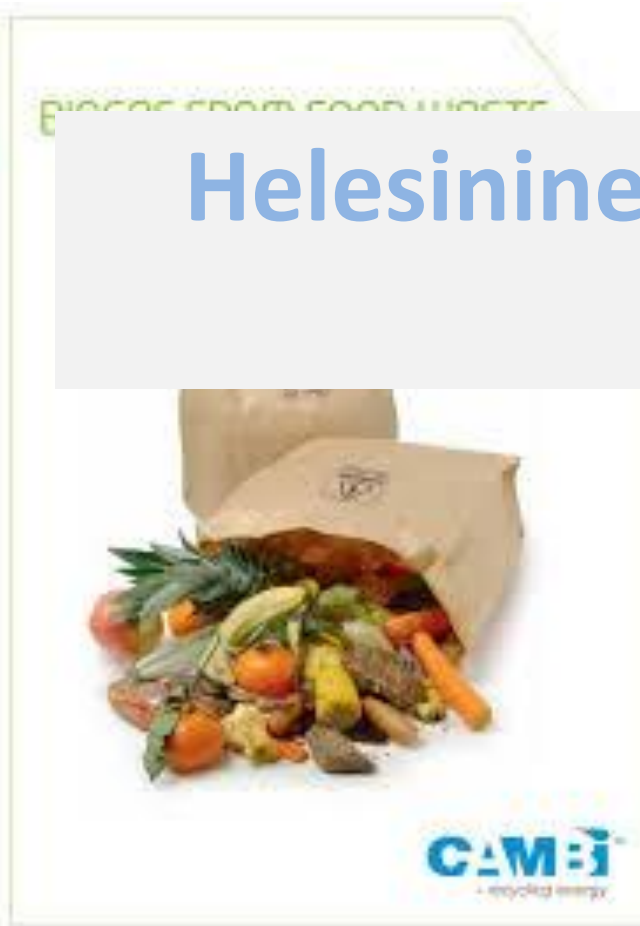
Anaerobic/aerobic pilot plant Estonian Cell



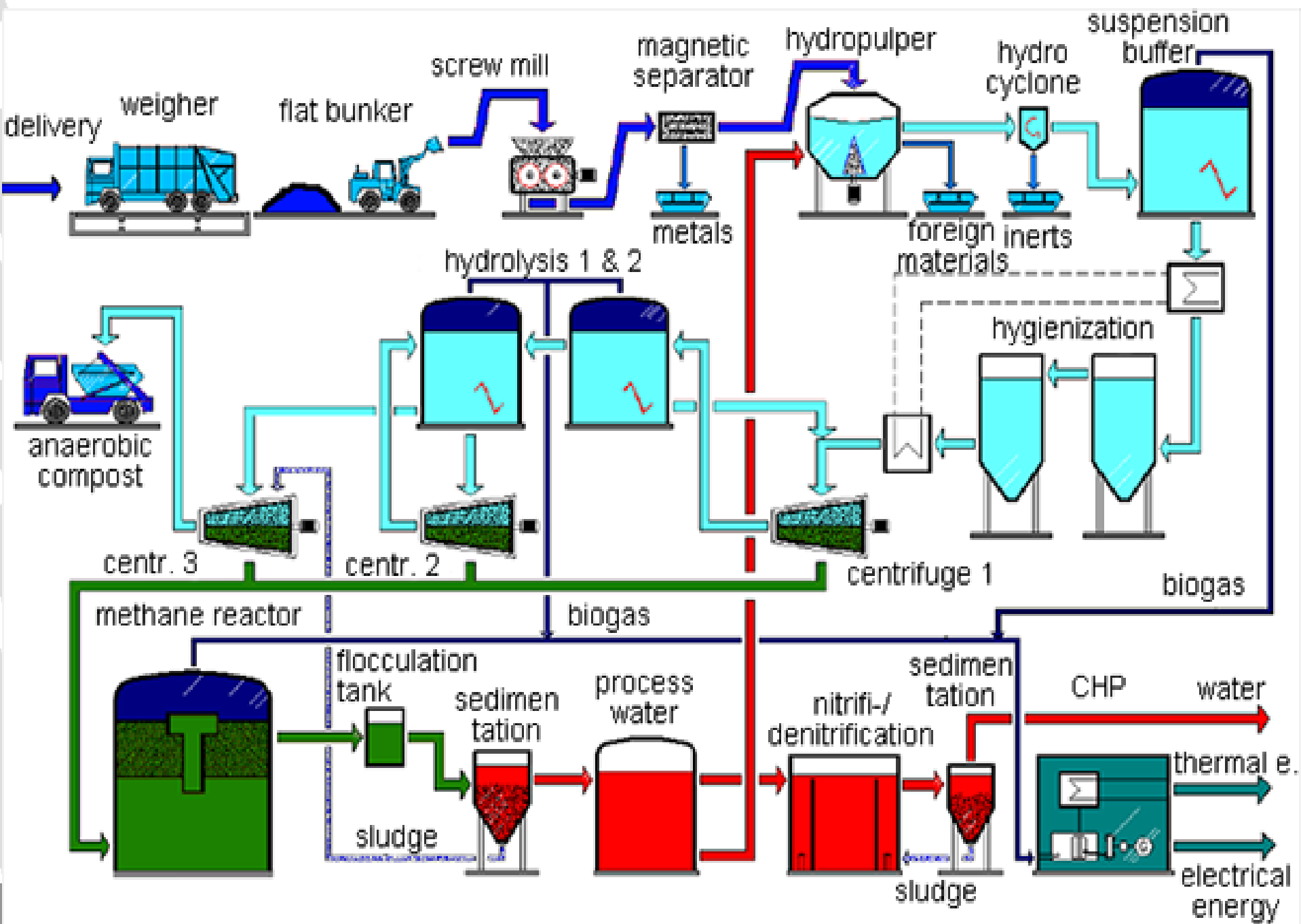
III) Eraldikogutud biojäätmete anaeroobne kääritamine



**Helesinine unistus! Reaalsus on
järgnev ...**







INPUT

PRESS EXTRUDER



OUTPUT



**WET
FRACTION**

**DRY
FRACTION**

verfallene verpackte Lebensmittel



gemischte Lebensmittelreste



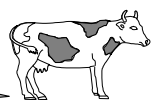
IV) Põllumajanduslike kõrvalsaaduste vääringdamine ehk biogaasi tootmine



Mis biogaasi tootmine
põllumajandussektori mõistes
eelkõige ikkagi on?

Energia tootmise tehnoloogia
või

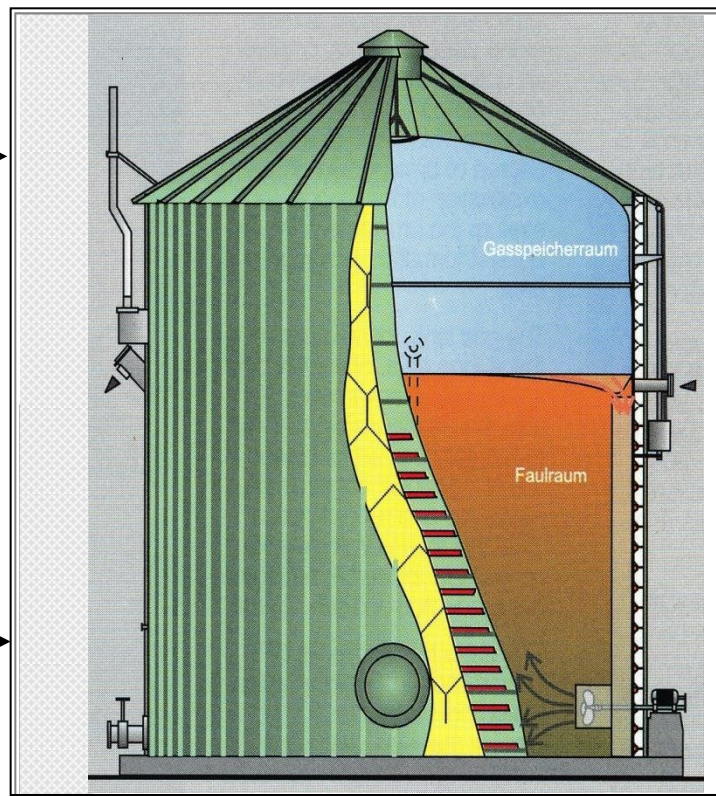
**Kõrvalproduktide ja orgaanilise väetise
tootmise tehnoloogia, mis lisaväärtusena
võimaldab toota energiat!!!**



Põllumajandus
(sõnnik, läga)



Silo
Söödajäägid
Põhk
Toiduainetööstuse jäätmed
2 ja 3 kat. loomsed -
kõrvalsaadused
jne



Hoiustamine

Laotamine

Põllumajandus
väetisena

Aiandus
väetisena

Separeerimine

Hoiustamine

Tahke fraktsioon
väetiseks

Vedel fraktsioon põllule
väetiseks

Gaasivõrk

Kütus

Biogaasi
puhastamine

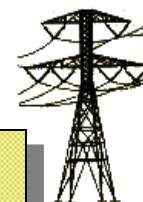
Biogaas
kasutus

Põletamine

Koostootmine

Elekter

Soojus



Biogaasijaama positiivne keskkonnamõju

- Fossiilsete kütuste tarbimise vähenemine väetiste ja energia tootmisel

1 lehma aastasest sõnniku kogusest on võimalik toota : **1095 kWh** elektrienergiat, **1229 kWh** soojusenergiat või **273 l bensiini** ekvivalenti mootorikütust

Võrdluseks: 40 m² korter tarbib aastas 8000 kWh energiat aastas, millest 30% on elektrienergia =2400 kWh/a

2 LEHMA läga ~ 40 m² korteri aastane elektri vajadus ja 45 % soojavajadusest

Haber- Bosch protsess tarbib **45 MJ = 12,5 kWh** energiat **1 kg N-NH₃** tootmiseks.

- Taimeväetise ressursside efektiivsem taaskasutus

1 m³ lehma läga sisaldab keskmiselt 4,5 kg N ja 0,8 kg P- see tähendab, et **1 ha põllumaa väetamiseks** vajaminev läga kogus (170 kg/ha või **20 kg P/ha**) on **25-30 m³** ehk umbes **1-1.2 lüpsilehma aastane läga kogus**.

- Lähikondsete veekogude kvaliteedi paranemine

Kääritusjäägis on N osaliselt taimedel kiiremini omastatavamas vormis ning sobiliku laotamise aja, kliimatingimuste ja laotustehnika valikul on võimalik tagada minimaalne N ja P kadu ning vähendada leostumist veekogudesse

Biogaasijaama positiivne keskkonnamõju

- **Haisu vähenemine väetusperioodil**

Kääritamisprotsessi käigus konverteeritakse lägas olevad **lenduvad (haisvad) rasvhapped biogaasiks**, mis oluliselt **vähendab haisu kääritusjäägi laotamisel** ning kääritusjäägi kohesel sissekündmisel on võimalik minimeerida ka ammoniaagi emissioone.

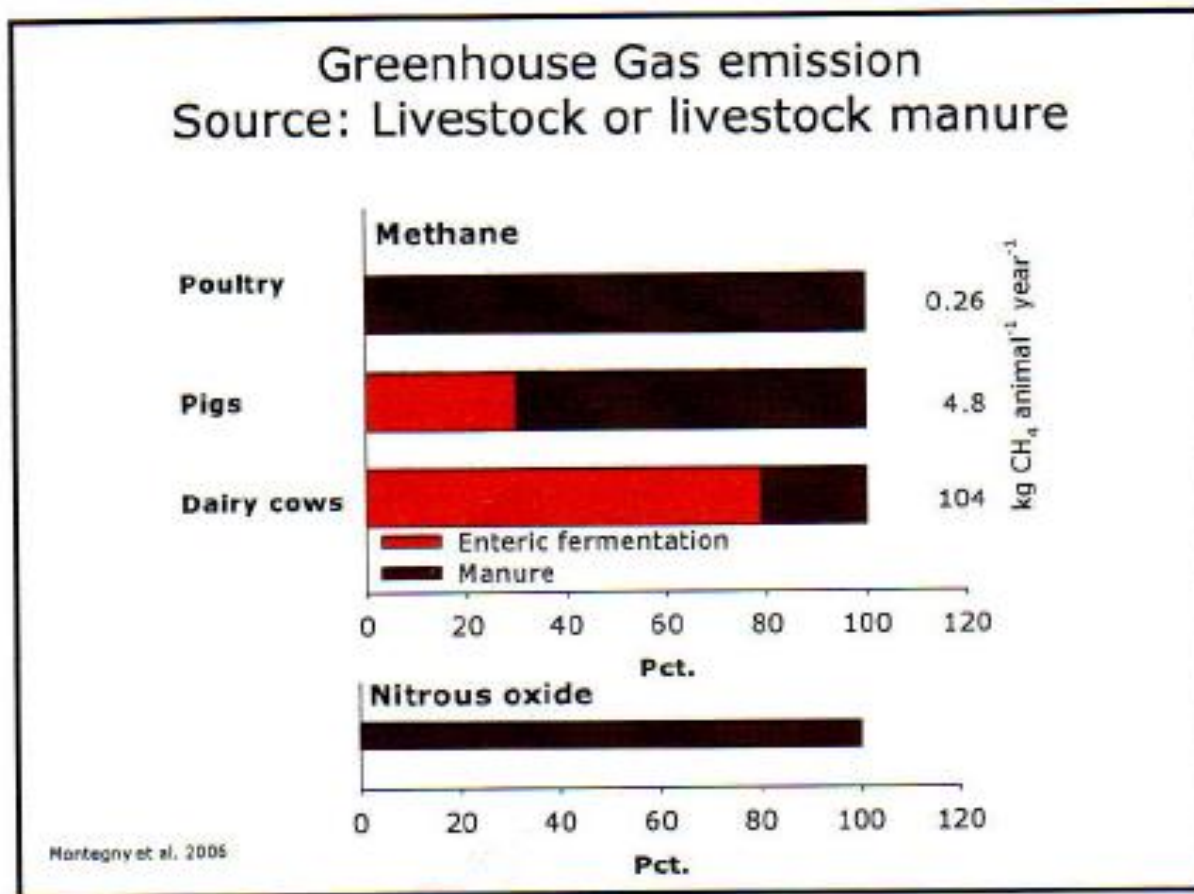
- **KHG emissioonide vähenemine**

IPCC hinnangul põllumajandussektor tekitab antropogeensetest CH₄ emissioonidest 37% ja N₂O emissioonidest 65%

Kääritamata läga puhul peamiselt tegu CH₄ ja **tahesõnniku puhul lisaks ka N₂O emissiooniga**

CH₄ = 21* CO₂ ekv. ; N₂O = 298* CO₂ ekv.

KHG emissioonide vähenemine



1 lüpsilehma aastases sõnniku koguses
sisalduv energia:

1095 kWh elektrienergiat + **1229 kWh** soojusenergiat

või

275 l bensiini ekvivalenti mootorikütust

6 l/100 km tarbiv sõiduauto, **15 000 km/a**
läbisõit = ~ 3 

Biogaasi sektor Eestis aastal 2015

Biogaasi tootjad seisuga 01.03.2015

Põllumajanduslikud biogaasijaamad (5)

Valjala Seakasvatuse OÜ

Aravete Biogaas OÜ

Oisu Biogaas OÜ

Vinni Biogaas OÜ

Tartu Biogaas OÜ

Reoveepuhastid anaeroobse kääritiga (4)

AS Tallinna Vesi

AS Narva Vesi

AS Kuressaare Veevärk

AS Tartu Vesi

Tööstusreovee käitlus anaeroobse kääritiga (3)

OÜ Eastman

Salutaguse Pärmitehas

AS Estonian Cell

Prügilagaasi tootjad (5)

Paikre OÜ (Pärnu, Raba prügila)

Baltic Energy Partners OÜ (Pääsküla prügila)

TALLINNA PRÜGILAGAAS OÜ (Jõelähtme prügila)

AS Uikala Prügila (Uikala prügila)

AS Doranova (Aardlapalu prügila)

Põllumajanduslikud biogaasijaamad Eestis



Biogaasist elektri ja soojuse tootmine Eestis

2014 aastal

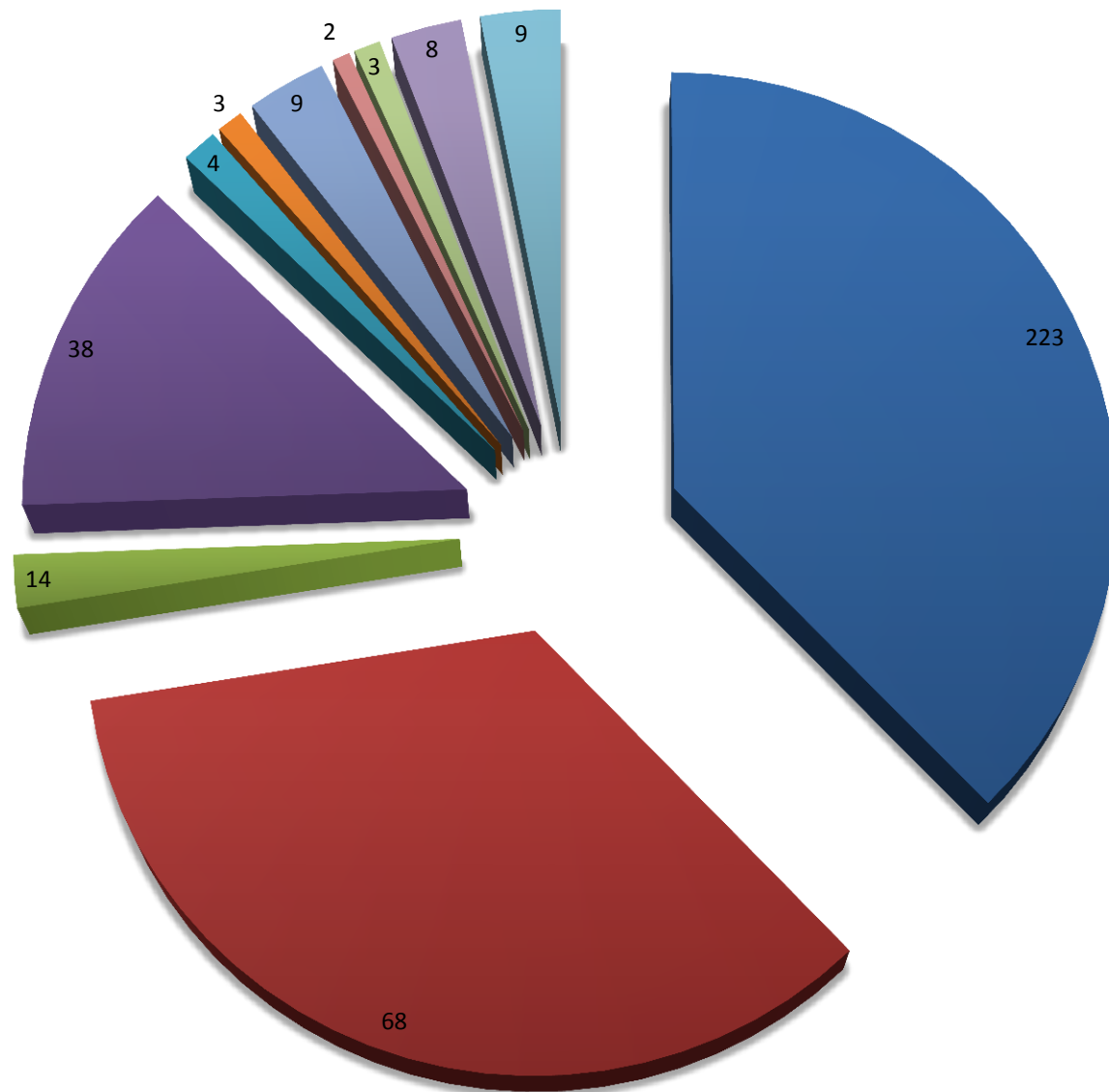
JAAM	Installeeritud elektriline nimivõimsus MWel 2014.a	elektrienergia toodang (MWh) 2013.a	elektrienergia toodang (MWh) 2014.a
Jööri (Valjala)	0,35	1247	1125
Aravete	2	7587	7935
Oisu	1,2	4941	7639
Ilmatsalu	1,5	0	4077
Vinni	1,36	3351	8221
KOKKU:	<u>6,41</u>	<u>17126</u>	<u>28997</u>
Paikre OÜ ehk Rääma prügila	0,15	1097	874
Pääsküla prügila	0,86	3835	2774
Jõelähtme prügila	1,94	9977	8632
Aardlapalu prügila	0,4	0	1500
KOKKU:	<u>3,35</u>	<u>14909</u>	<u>13780</u>
KOKKU:	<u>9,76</u> <u>2014. a</u>	<u>32035</u> 2013. aastal toodeti biogaasist 32 035 MWh elektrienergiat	<u>42777</u> 2014. a jaanuar-detsember biogaasijaamade elektritoodang

Hinnanguline biogaasi potentsiaal Eestis

Tooraine	Ressurss	Teoreetiline biogaasi kogus, mln Nm ³	Reaalselt kasutatav (90%), mln Nm ³	Kiirelt kasutatav, %	BG (60% CH ₄)	Biometaani potentsiaal (98% CH ₄), mln Nm ³	GWh el aastas (8200 töötunniga)	SEK puhul nimi- võimsus, MW
Biomass kasutamata maadelt	177385 ha	412	371	100,00%	371,2	222,7	792,19	90,43
Energiakultuurid (5% põllumajandusmaast)	53917 ha	125	113	100%	112,8	67,7	241	27,49
Biomass pool-looduslikelt kooslustelt	100000 ha	107	96	25%	24,1	14,5	51	5,87
Veised	163135 tk	97	87	72%	62,7	37,6	134	15,28
Sead	360990 tk	12	10	65%	6,8	4,1	15	1,66
Muud põllumajanduslikud jäägid	32124 t	5	4	90%	4,0	2,4	9	0,98
Biolagunevad jäätmed toiduainetetööstusest	42667 t	21	19	80%	15,4	9,2	33	3,74
Biojätmed	24000 t	4	4	80%	2,9	1,7	6	0,70
Reoveesetted	466974 t	7	6	80%	5,0	3,0	11	1,23
Jätmed tööstusest	25000 t	15	13	100%	13,1	7,9	35	4,00
Kokku	--	805	725	--	618,0	370,8	1 326	151

Biometaani kogus aastas (CH₄ 98%)

370 mln Nm³



■ Silo 20% kasutamata maadelt

■ Silo 5% põllumajandusmaast

■ Silo 30% pool-looduslikelt maadelt

■ 75% veiseläga (9% KA)

■ 65% sealäga (6 % KA)

■ Põllumajanduslikud muud jäägid

■ 80% biolagunevad jäätmed toiduainetetööstusest

■ 80% eraldi kogutud biolagunevad köögi- ja sööklajajäätmed

■ 80% reoveesete

■ 100% tööstusjäätmed

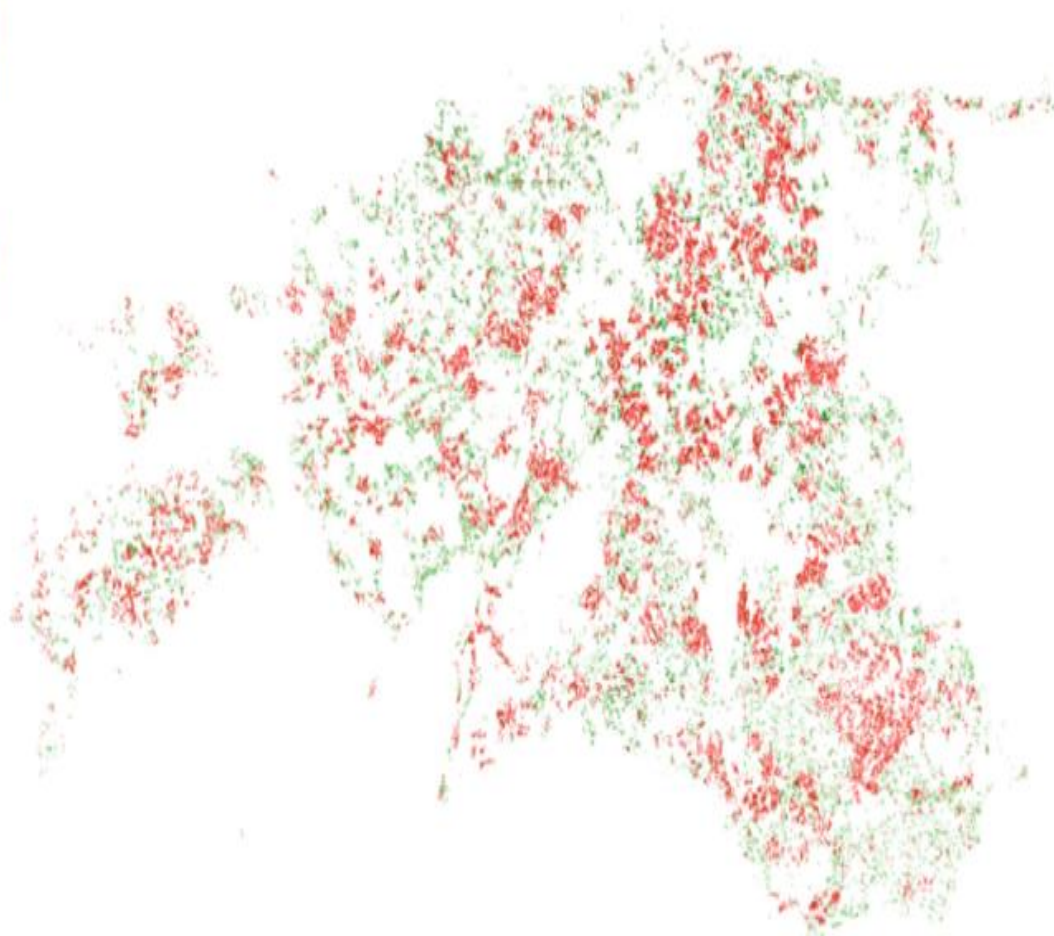
■ 80% prügilagaas

Eesti rohumaade kasutuse kaart

Eesti rohumaade kasutuse geoinfo mudel on koostatud rohumaade asukoha ja saagi võrdlemisel loomakasvatusehitiste asukohtade ja söödavajadusega. Punasega markeeritud maadel toimub rohtse biomassi väärindamine loomasöödaks. Rohelisega markeeritud aladel jääb rohtne biomass kasutamata².

■ kasutamata rohumaad

■ kasutuses rohumaad



2 A. Kaasik, V. Vohu „Rohtse biomassi kasutamine loomasöödaks – biomassi tekke ja tarbimise mudel.”

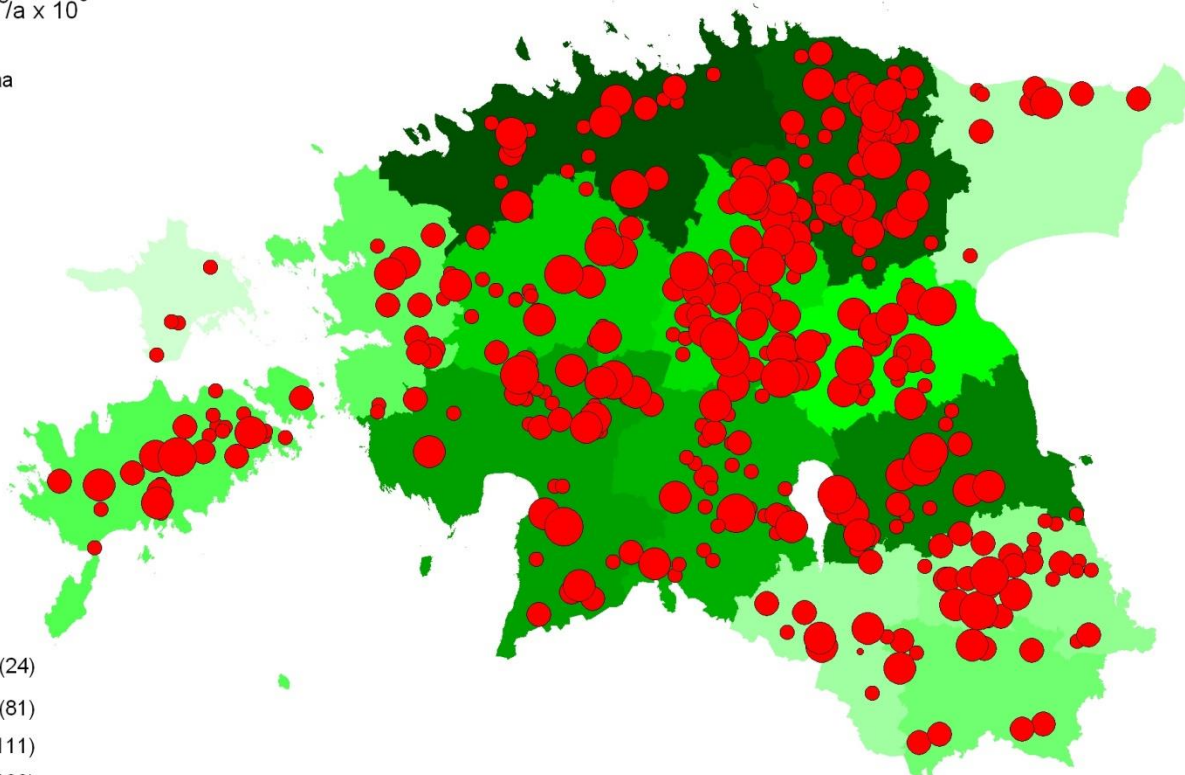
Farmide paiknemine (2)

Biogaasi kogus, Nm³/a x 10⁶

43,0	Harjumaa
36,4	Lääne-Virumaa
35,2	Tartumaa
34,0	Pärnumaa
31,6	Viljandimaa
30,6	Raplamaa
29,0	Järvamaa
28,6	Jõgevamaa
27,5	Saaremaa
27,3	Läänemaa
26,3	Võrumaa
24,0	Põlvamaa
22,0	Valgamaa
16,2	Ida-Virumaa
7,8	Hiiumaa

Piimaveiste arv, tk

1000 kuni 2300	(24)
500 kuni 1000	(81)
250 kuni 500	(111)
100 kuni 250	(188)



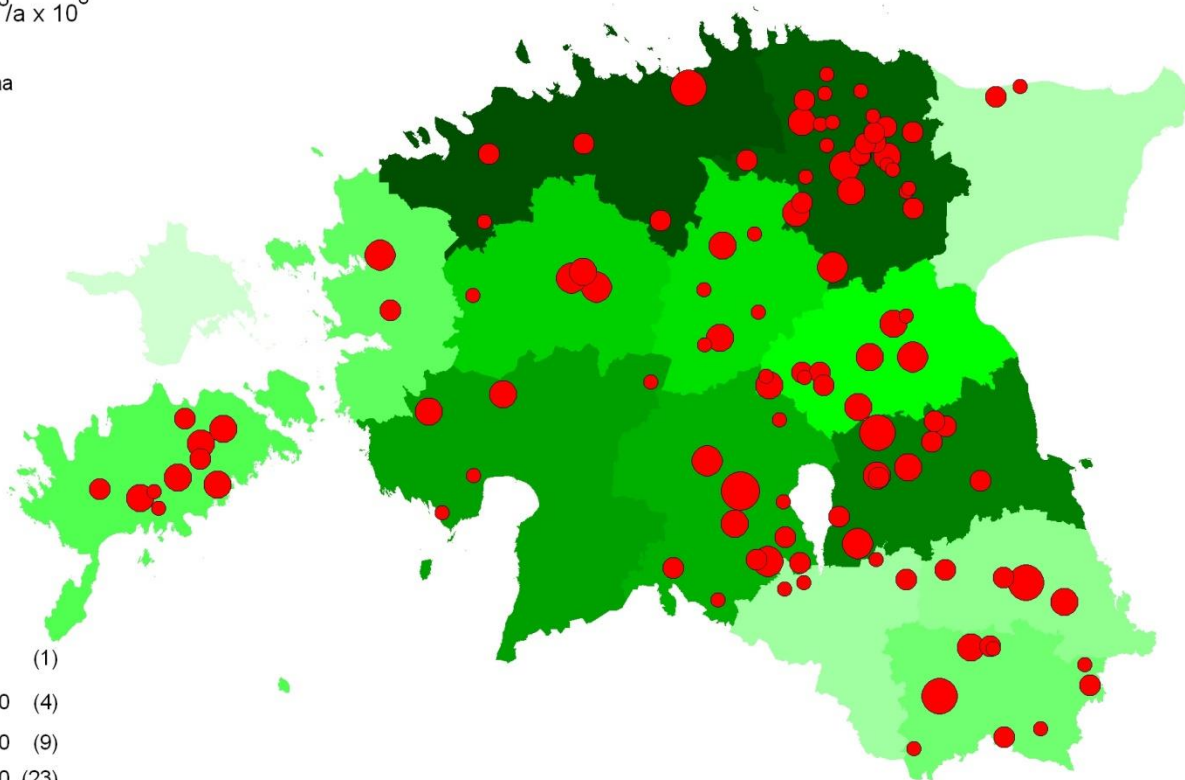
Farmide paiknemine (1)

Biogaasi kogus, Nm³/a x 10⁶

43,0	Harjumaa
36,4	Lääne-Virumaa
35,2	Tartumaa
34,0	Pärnumaa
31,6	Viljandimaa
30,6	Raplamaa
29,0	Järvamaa
28,6	Jõgevamaa
27,5	Saaremaa
27,3	Läänemaa
26,3	Võrumaa
24,0	Põlvamaa
22,0	Valgamaa
16,2	Ida-Virumaa
7,8	Hiiumaa

Sigade arv, tk

59,700	(1)
9,000 kuni 12,000	(4)
6,000 kuni 9,000	(9)
3,000 kuni 6,000	(23)
1,000 kuni 3,000	(39)
100 kuni 1,000	(37)



Biogaasivaldkonna arendamisega kaasnevad mitmekülgsed positiivsed avalikud hüved

Positiivne avalik hüve, väga raske mõõta rahas

Energeetika

- Taastuenergia edendamine;
- Tõhusa koostootmise edendamine;
- Haja-energeetika edendamine;
- Energiajulgeoleku/energeetilise sõltumatuse (kohalike toorainete) edendamine;
- Stabiilse tootmisgraafikuga baasenergia lisandumine;

Jäätmekäitlus

- **Biojäätmete (sh. elanikkond, tööstused) taaskasutuse suurendamine;**
- Reoveesette käitluse parandamine;
- Reoveekäitlusjaamade energeetilise sõltumatuse suurendamine;

Põllumajandus

- **Läga- ja sõnnikukäitluse tõhustamine ning väetusomaduste parandamine;**
- Konkurentsivõime/mitmekesisuse kasv energiakultuuride kasvatamise kaudu;
- Lägas ja sõnnikus peituvate umbrohuseemnete/patogeenide vähenemine;
- Vähemväärtuslike maade kasutuselevõtu edendamine;

Keskkonnan- kaitse

- **Põllumajandussektori metaaniheite ning energeetikasektori CO2-heite vähendamine;**
- Lägakäitlusest tekkiva nitraadileostumise vähendamine;
- Kunstväetiste kasutamise vähendamine;
- Biometaan on täna ainuke kohalik taastuenergia allikas transpordis

Regionaal- areng

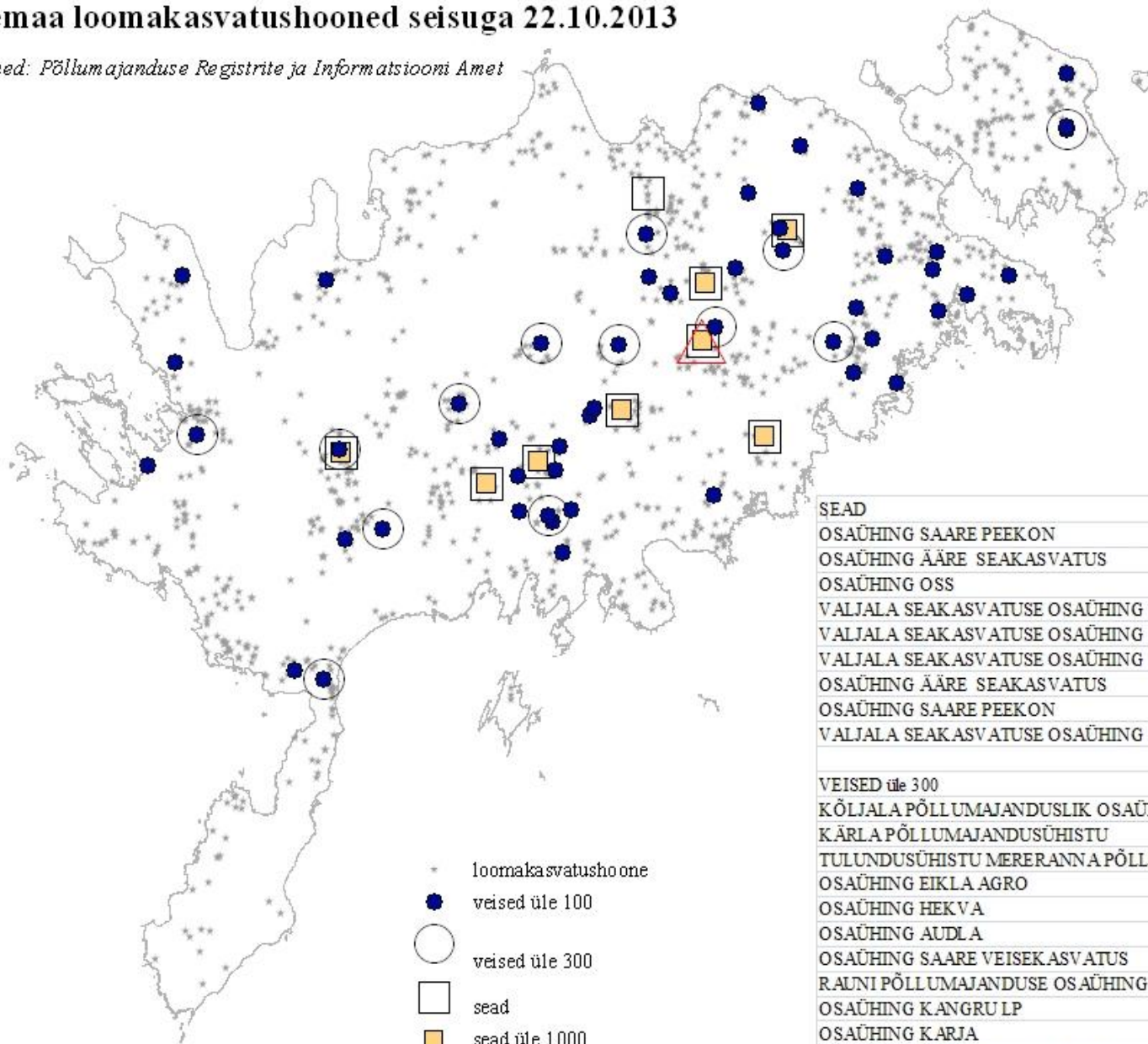
- Soojusenergia hinna alanemine väikeasutaltes;
- **Elukeskkonna parandamine põllumajandusliku “haisureostuse” vähendamise kaudu;**
- Kohaliku/maapiirkondade ettevõtluse edendamine ja tööhõive kindustamine;

Perspektiiv Saaremaal

- Kokku 9 sigalat, millest 7 vedelsõnnik seotud Jööri biogaasijaamaga (27% sealägest veel saadaval ~100 kW)
- Üle 300 pealiseid veisefarme on 13 ja nendes loomi kokku 5977. Vedela ja tahke osakaal arvestuslikult 50/50
- „Kohvipaksu“ ligikaudne ennustus veisefarmidele- kokku prognoos **1 MW_{el} või siis 2 milj m³ CH₄**
- Toiduainetetööstuse biolagunevate jäätmete potentsiaal **455 kW_{el} (0,9 milj m³ CH₄)**
- **Kokku umbes 1,55 MW_{el} tootmise võimsust**

Saaremaa loomakasvatushooned seisuga 22.10.2013

Algandmed: Põllumajanduse Registre ja Informatsiooni Amet



- loomakasvatushoone
- veised üle 100
- veised üle 300
- sead
- sead üle 1000
- Jõõri biogaas

Tallinna Tehnikakool
Ehitusteaduskond
Keskkonnatehnika instituut

SEAD	ARV	VALD	KÜLA
OSAÜHING SAARE PEEKON	5591	KAARMA	PÄHKLA
OSAÜHING ÄÄRE SEAKASVATUS	4846	PIHTLA	KAALI
OSAÜHING OSS	3793	LEISI	KOIKLA
VALJALA SEAKASVATUSE OSAÜHING	3306	ORISSAARE	SALU
VALJALA SEAKASVATUSE OSAÜHING	3278	VALJALA	SAKLA
VALJALA SEAKASVATUSE OSAÜHING	2644	VALJALA	JÕÖRI
OSAÜHING ÄÄRE SEAKASVATUS	2356	KÄRLA	KIRIKUKÜLA
OSAÜHING SAARE PEEKON	1376	KAARMA	UDUVERE
VALJALA SEAKASVATUSE OSAÜHING	808	LEISI	ARU
VEISED üle 300	ARV	VALD	KÜLA
KÕLJALA PÕLLUMAJANDUSLIK OSAÜHING	1065	PIHTLA	HAESKA
KÄRLA PÕLLUMAJANDUSÜHISTU	808	KÄRLA	KIRIKUKÜLA
TULUNDUSÜHISTU MERERANNA PÕLLUMA	551	KAARMA	MÕISAKÜLA
OSAÜHING EIKLA AGRO	484	KAARMA	PIILA
OSAÜHING HEKVA	390	KAARMA	ASTE
OSAÜHING AUDLA	376	MUHU	MÕEGA
OSAÜHING SAARE VEISEKASVATUS	361	KÄRLA	PAEVERE
RÄUNI PÕLLUMAJANDUSE OSAÜHING	361	ORISSAARE	VÄLJAKÜLA
OSAÜHING KANGRU LP	331	KIHELKON	ROOTSIKÜLA
OSAÜHING KARJA	323	LEISI	KARJA
ARDO KALJUSTE NÕMME LIHA PIIM	320	LAIMJALA	NÕMME
SALME PÕLLUMAJANDUSE OSAÜHING	306	SALME	ÜÜDIBE
VALJALA PÕLLUMAJANDUSLIK OSAÜHING	301	VALJALA	KÖNNU

Rohtse biomassi potentsiaal

- Arvutuslik veisesõnniku kogus üle 300 lüpsilehmaga farmide baasil 100 000 t/a
- Sellel optimaalne lisatav rohtse biomassi osakaal 40 000 t/a ~ 2000 ha rohumaa toodang
- Võttes aluseks 60 m³ CH₄/t, siis lisatoodang 2 400 000 m³ CH₄/a (1,2 MW)

Kokku biometaani potentsiaal

Biometaani 5 400 000 m³ CH₄/a =
150 bussi 60 000 km/a

ehk

Elektri tootmise võimsust 2,7 MW_{el}

NB! See kõik on statistilis-teoreetiline arvutus ning tegeliku olukorra välja selgitamiseks oleks vaja suuremate vedelsõnniku baasil farmide alusel koostada põhjalikud sõnniku ja rohusilo biomassi ressursi analüüsid !

Kuidas praegusest seisust edasi liikuda?

Koostöös TTÜ Keemiainstituudi Keskkonnabiotehnoloogia laboriga oleks võimalik teostada Saaremaa veisefarmide alusel detailne sõnniku ressurside kaardistamine (tahe, vedel, kus ja kui palju, mis allapanu jne).

Lisaks söödakultuuride kasvatamise ning kasutamise optimeerimise võimaluste hindamine ja kasutamata põllumaade ressurss.

Biometaani toetusmeede suvel määrusena vastuvõetamas ning toetuskeem saab esialgse info alusel olema sektori arnegut selgelt toetav!

Võimalikud huvipooled ja partnerid Saaremaa poolelt?

Piimafarmid

2 seafarmi

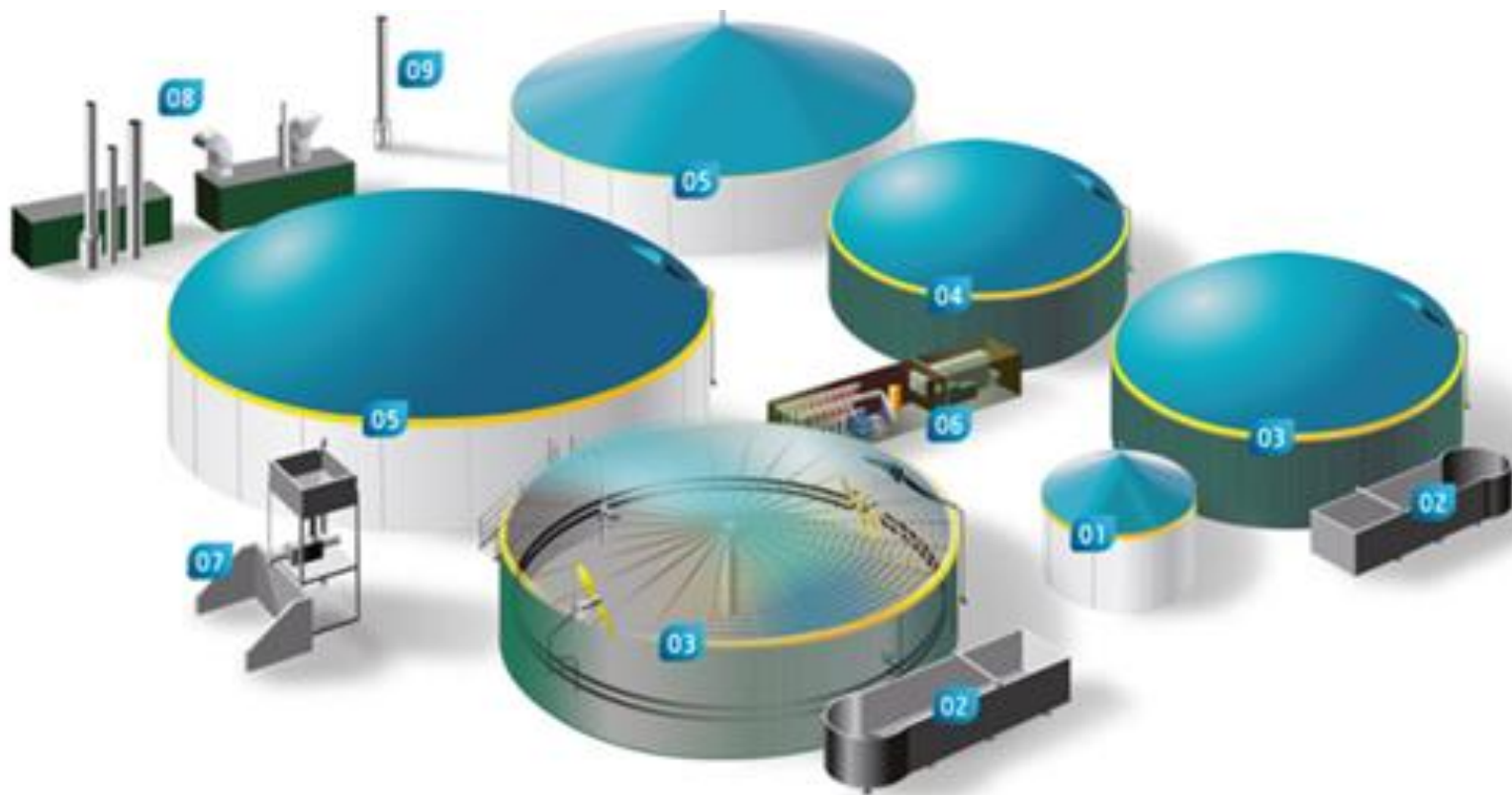
Toiduainetetööstus

Kuressaare LV ja ümberkaudsed KOV-id

...

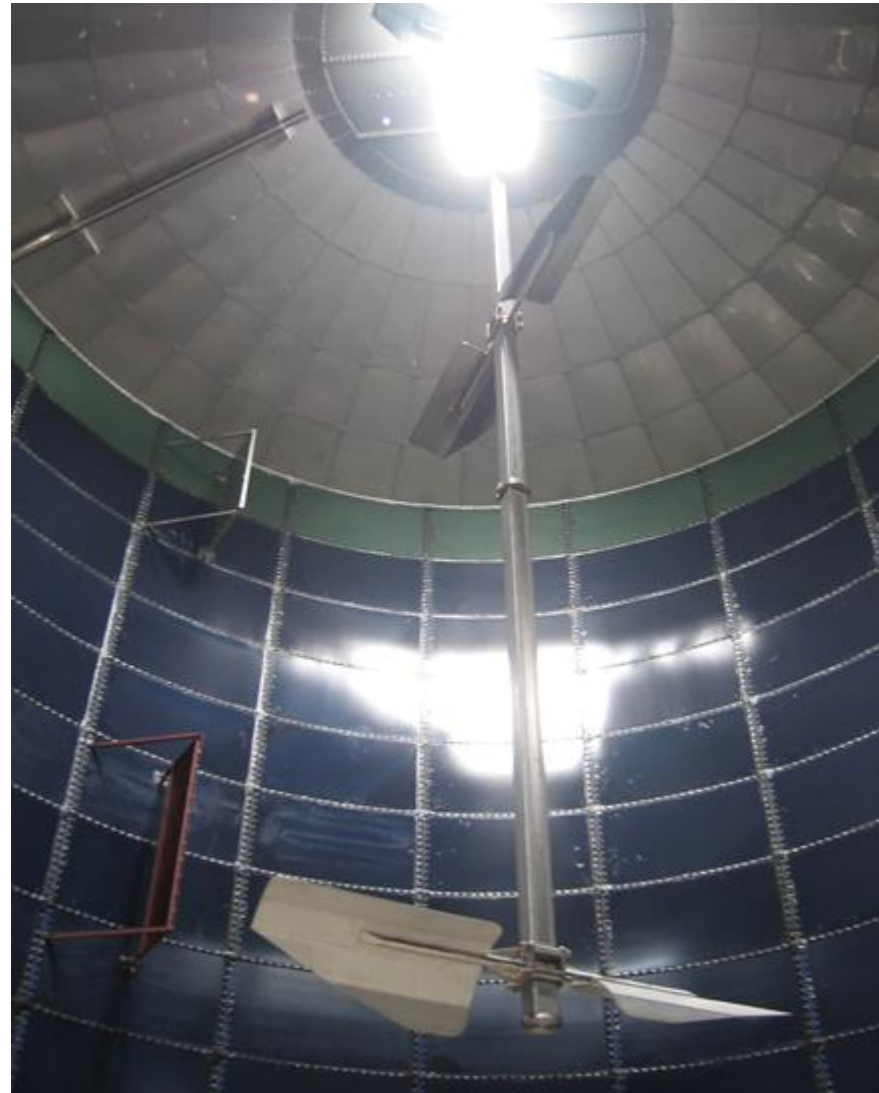
**Põllumajandusliku biogaasijaama
„case study“ 1000 lüpsilehmaga
piimafarmi näitel: ressursi
analüüsist, protsessi opereerimise
ja tasuvusanalüüsini**

Põllumajandusliku biogaasijaama tehnoloogiline kontseptsioon









Biogaasijaama hüved põllumajandusüksuse kontekstis

- Kõigi tootmises tekkivate kõrvalproduktide efektiivne tsentraliseeritud väärimine ja stabiliseerimine
- *Kõrvalproduktide* toitainete kontsentreerimine kääritusjääki ja selle väetusväärtuse oluline suurenemine
- Haisu vähenemine sõnniku hoiustamisel ja laotamisel
- Kääritusjäägi viskoossus väheneb, lihtsustub laotamine ja kiireneb imbumine pinnasesse (*vaid tahke lisatooraine eeltöötlustehnoloogia ja piisava viibeaja olemasolul*)
- Biogaasi tootmine ja sellest elektri+ soojuse või Bio-CH₄ tootmine

Piimafarmiga seotud substraadid

- **Vedelsõnnik**

- **Tahesõnnik**

- Söödajäägid
- Roiskunud silo
- Põhk
- Luhahein jmt rohtne biomass
- Rohusilo 3 ja 4 niide
- Spetsiaalselt kasvatatud rohtsed kultuurid (mais jt kõrge biomassi toodanguga kultuurid)

Täiendavad tooraine allikad

- Toiduainetetööstuse tootmisjäägid
- Kõikvõimalikud biolagunevad jäätmed, mis ei ole puitunud (köögivilja kasvatus, kalakasvatused jne)

Pärast hügieniseerimist (70C, 1h):

- **3 kategooria loomsed kõrvalsaadused**
- **Eraldikogutud Biojäätmel- korrektne eeltöötlus ja hügieniseerimine -> OK**
- **Reoveesetted on kindel EI**

Mudelarvutuse baasandmed: 1000 pealine lüpsilehma kari

Nr	Tooraine	KA[%]	LA[%]	Sisend t/päev	Sisend t/a	Kääritusjääk [t/a]	CH4/aasta [Nm³]
1	Vedelsõnnik	8	80	68.5	25 000	24 440	300 000
2	Maisisilo	30	95	0.0	0	0	0
3	Rohusilo	30.0	90.0	21.9	8 000	6 315	640 000
4	Põhk	90.0	92.0	0.0	0	0	0
5	Hein	55.0	95.0	0.0	0	0	0
6	Tahesõnnik	25.0	80.0	32.0	8 000	7 200	160 000
			TOTAL	122	41 000	37 955	1 100 000

500 kW elektri tootmisvõimsust



- **Piima tootmise jääk produkt-** sisaldab seedeprotsessi käigus lagundamata jäänud orgaanilist ainet (proteiinid, rasvad ja süsivesikud)
- Oluline orgaanilise aine ja toitainete allikas taimekasvatustes. Mitte vaid NPK vaid kogu makro- ja mikrotoitainete spekter
- Vee allikas
- Energiaallikas, kuid energia sisaldus on suhteliselt madal ja eelkõige seotud söödaratsiooni koostisega, piimatoodangu ja metabolismi efektiivsusega, pesuvee kasutusega jne
- **Potentsiaalne keskkonnareostuse allikas-** leostumine ja KHG emissioon hoiustamisel ning laotamisel

Vedelsõnniku biogaasi potentsiaali varieeruvus

NB!

Nr	KA%	OA%	m ³ CH ₄ /t	m ³ CH ₄ / t OA
1	4,77	74,29	9,68	273,17
2	5,30	74,43	11,16	282,78
3	5,32	75,03	11,01	275,75
4	5,32	74,86	12,86	322,79
5	6,45	78,62	11,20	220,84
6	6,45	78,62	11,20	220,84

Sõnnik ei ole lihtsalt sõnnik.
Igal sõnnikul on oma isikupära!

13	8,67	81,83	13,25	186,78
14	8,87	84,67	13,88	184,92
15	10,50	78,60	24,48	296,60
16	10,50	78,60	25,29	306,47
17	11,02	82,51	25,54	280,91
Min	4,77	74,29	9,68	172,93
Max	11,02	84,67	25,54	322,79
Keskmine	7,62	78,76	15,54	258,74
Mediaan	7,84	78,60	13,25	275,75

Vedelsõnnik kraabitsa tagant või pumplast ehk vee kasutamine farmides?

	KA, %	OA, %	CH4, m³/t	CH4, m³/t OA	
L1 Sõnniku kraabi juurest	14.69	85.05	30.40	246.08	
L2 Sõnniku kraabi juurest	14.34	85.94	29.89	235.95	
L3 Sõnniku kraabi juurest	14.13	84.13	29.22	234.27	
					Vee kasutuse määr võrreldes vedelsõnniku tekkega
L1 pumpla	9.78	77.02	11.41	164.89	50%
L2 pumpla	7.69	82.20	12.44	228.24	86%
L3 pumpla	6.60	80.85	13.04	170.10	114%



- **Piima või liha tootmise jääk produkt-** sisaldab looma seedeprotsessi käigus lagundamata orgaanilist ainet (proteiinid, rasvad ja süsivesikud) + allapanu (põhk, turvas jmt)
- Energiasisaldus on kõrgem kui vedelsõnnikul, kuid sõltub eelkõige allapanust
- Pikaajalise toimega orgaaniline toitaine allikas taimekasvatuses. Mitte vaid NPK vaid kogu makro- ja mikrotoitainete spekter
- Väetuseffekt ja taimede toitainete omastatavus on aeglane- palju tööd ja vaeva, aga ...
- Kõrge keskkonnareostuse potentsiaaliga toore: leostumine väetamisel, KHG emissioon (N_2O) hoiustamisel ning laotamisel



Tahesõnniku kasutamisel biogaasijaama lisatoorainena on keskkonnakaitse aspektist suur positiivne mõju

Tahesõnnik biogaasijaama toorainena

- Väheneb oluliselt KHG emissioon
- Kaob vajadus tahesõnniku hoidla ja laotamistehnika järele
- Väheneb tahesõnniku hoiustamine põllul (toitainete leostumine)
- Tahesõnniku toitained taimedele paremini omastatavad
 - Kääritusjäägi kõrgem toitainete sisaldus
 - Suureneb BGJ biogaasi toodang

Energia bilanss

- Keskmiselt tekib **25 000 t** läga aastas (KA= 8%; LA=78%; CH₄ pot= 12 m³/t) + **8 000 t** tahesõnnikut

CH₄ toodang = 450 000 m³/a —> võrdne 450 000 l bensiiniga või
215 kW elektrit + **230 kW** soojust

Suurim probleem ainult sõnniku BGJ kontseptsiooni juures on soojuse omatarve talvel:

Tooraine soojendamiseks 0 -> 40 C on vaja umbes 150-175 kW ja reaktorite temperatuuri säilitamise jaoks täiendavad 50-100 kW.

See on ka põhjus, miks väiksemal farmil ainult sõnniku baasil biogaasijaama rajamine on komplitseeritud

Energia bilanss

- Kääritusjäägis on võrreldes sõnnikuga 65 t N taimedele kiiremini omandatavas $\text{NH}_4\text{-N}$ vormis, mis asendab tehisväetise vajadust
- Tehisväetise asendamisega hoitakse globaalses mõistes täiendavalt kokku $65\,000\text{ kg N} * 12,5\text{ kWh} =$
812 500 kWh elektrit = 100 kW (kulub tehisväetise tootmiseks)

CO₂ bilanss

1000 pealine lüpsilehma kari:

- Biogaasijaamas tekkinud CH₄ põletamisel emiteeritakse **489,5 t CO₂**
- Läga kääritamisel hoitakse ära **210 t CO₂ ekv.** emissioon
- Toodetud energia arvelt väheneb põlevkivist toodetud energia vajadus ja hoitakse ära **1182,6 t CO₂** emissioon
- Tehisväetise vajaduse asendamine kääritusjäägiga. Kui maagaas energiaallikas, siis hoitakse ära **384,4 t CO₂**

**Kokku CO₂ emissioonide kokkuhoid= 489,5 -210 -1182,6 -384,4=
= -1287,5 t CO₂ aastas**

*Prognoositud hind aastaks 2020 on 20 EUR/t =
25000 EUR/a potentsiaalset lisatulu, kui sõnnikukäitlus saab süsteemi
osaks*

**Biogaasi toodangu suurendamiseks ja
energiabilansi efektiivistamiseks vaja
kasutada lisatooraineid: rohtne
biomass, toiduainete tööstuse
kõrvalproduktid jne**

Lisatoorainena rohu vöi maisi silo

Rohusilo	KA%	LA%	m3 CH4 / t MM	m3 CH4 / t LA
1	17.12	96.01	9.94	60.49
2	17.18	91.05	15.26	97.55
3	25.58	91.23	105.56	452.35
4	26.59	92.22	79.93	325.96
5	26.99	89.09	70.45	293.03
6	30.25	91.91	66.45	238.96
7	31.21	88.46	80.09	290.12
8	31.66	91.51	73.96	255.29
9	32.53	92.94	73.38	242.69
10	33.69	89.37	81.85	271.85
11	39.31	91.36	94.59	263.38
12	42.76	90.22	55.99	145.14
13	43.34	91.93	162.42	407.65
14	43.38	92.15	100.93	252.47
15	50.41	88.76	134.45	300.50
Min	17.12	88.46	9.94	60.49
Max	50.41	96.01	162.42	452.35
AVG	32.80	91.21	80.35	259.83
MED	31.66	91.36	79.93	263.38
SDV	9.64	1.92	38.82	102.52
SDV,%	29.38%	2.10%	48.31%	39.46%



Tahkete toorainete mehaaniline eeltöötlus



Tahkete toorainete mehaaniline eeltöötlus





Tahkete toorainete mehaaniline eeltöötlus

- Oluliselt väheneb protsessi vajalik viibeaeg põhu, pool-looduslike rohumaade ja hilise niite silode kääritamise puhul: 80-100 päevalt 40-50 päevani
- Puitunud rohtsest biomassist suureneb kordades biogaasi potentsiaal
- Oluliselt väheneb reaktorite segamise energiakulu
- Kääritusjääk on homogeenne, madala KA sisaldusega, viskoossus väheneb oluliselt ja kiireneb imbumine pinnasesse
- Hoidla segamine on oluliselt lihtsam ja vähem energiakulukas





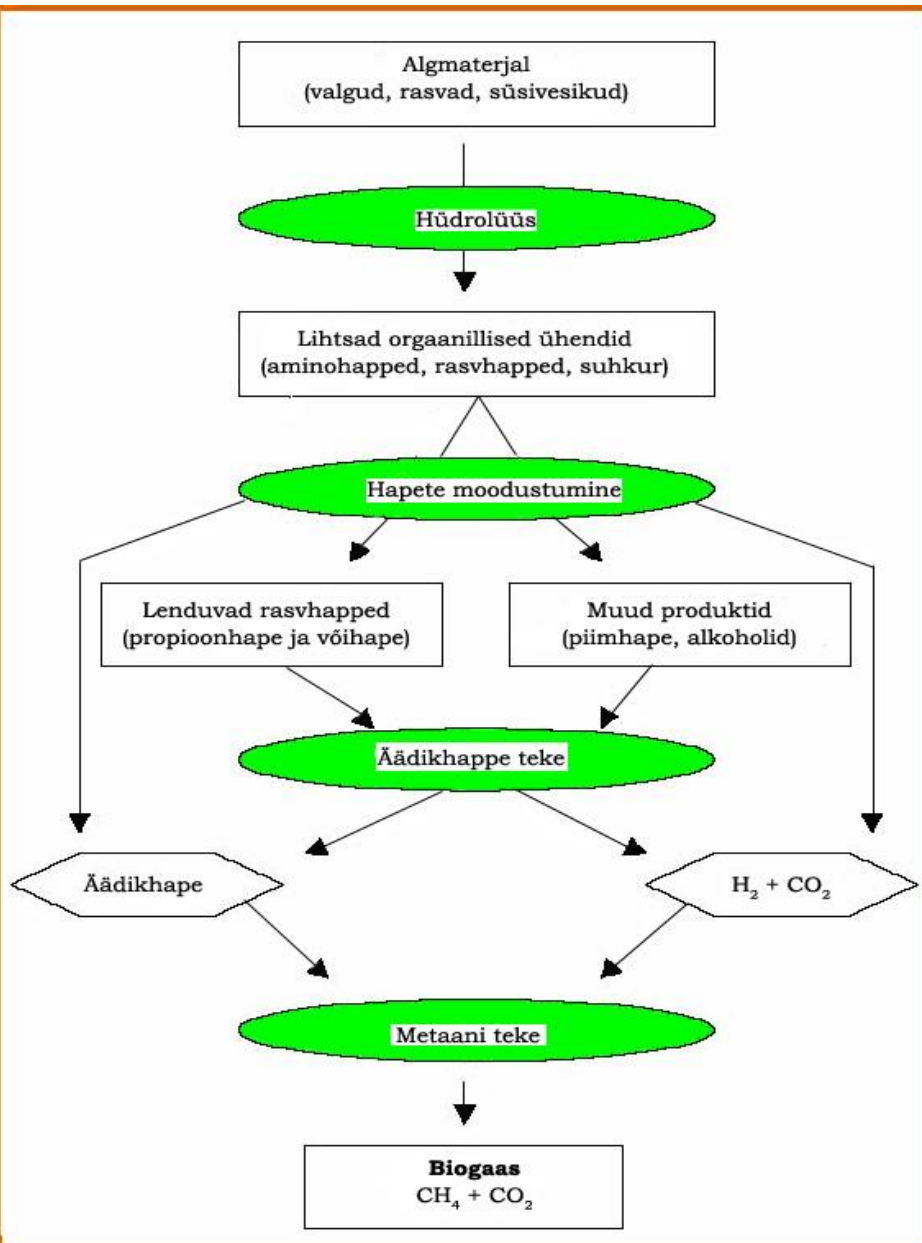
Protsessiskeemi valik

- Olemasolevad biogaasijaamad Eestis on protsessiskeemi poolest vägagi OK (**meh. eeltöötlus vaid puudu**)
- Dubleeritud põhikääritid + järelkääriti(d)
- **KONKREETSE LAHENDUSE VALIK SÕLTUB TOORAINETE RESSURSI DETAILSEST KAARDISTAMISEST JA ANALÜÜSIST- üldistada keeruline**
- Põhikääritite mahud sõltuvad prognoositavast orgaanilisest koormusest
- Toruühendused peavad olema kõigi mahutite vahel: tsirkuleerimise vajadus, orgaanilise koormuse jaotamine, lisatoorainete suunamine otse järelkääritisse jne
- Ideaalis esmase digestaadihoidla katmine jääk CH₄ kogumise ja NH₃ lendumise vähendamise eesmärgil

Mis biogaasi tootmisprotsessis tegelikult toimub?

Kääritusjäägi omadused, hoiustamine
ja laotamine

Biogaasi tootmisprotsess, huumuse teema, C lagunemine ja haisu vähenemise põhjus



„Linnalegend seoses biogaasi tootmise ja huumuse taastootmise võime vähenemisega “

- Ligniini sisuliselt ei lagune
- Lignotselluloosne biomass laguneb ~30% ulatuses
- Lagundatakse lenduvad rasvhapped ja suhkrud- see on haisu vähenemise põhjus
- $\text{NH}_4\text{-N}$ sisaldus suureneb
- NH_3 hais ei kao

Lämmastiku (N) muutused protsessis

Proteiinide lagundamise käigus muundatakse substraatide

org. N -> $\text{NH}_4\text{-N}$

ehk

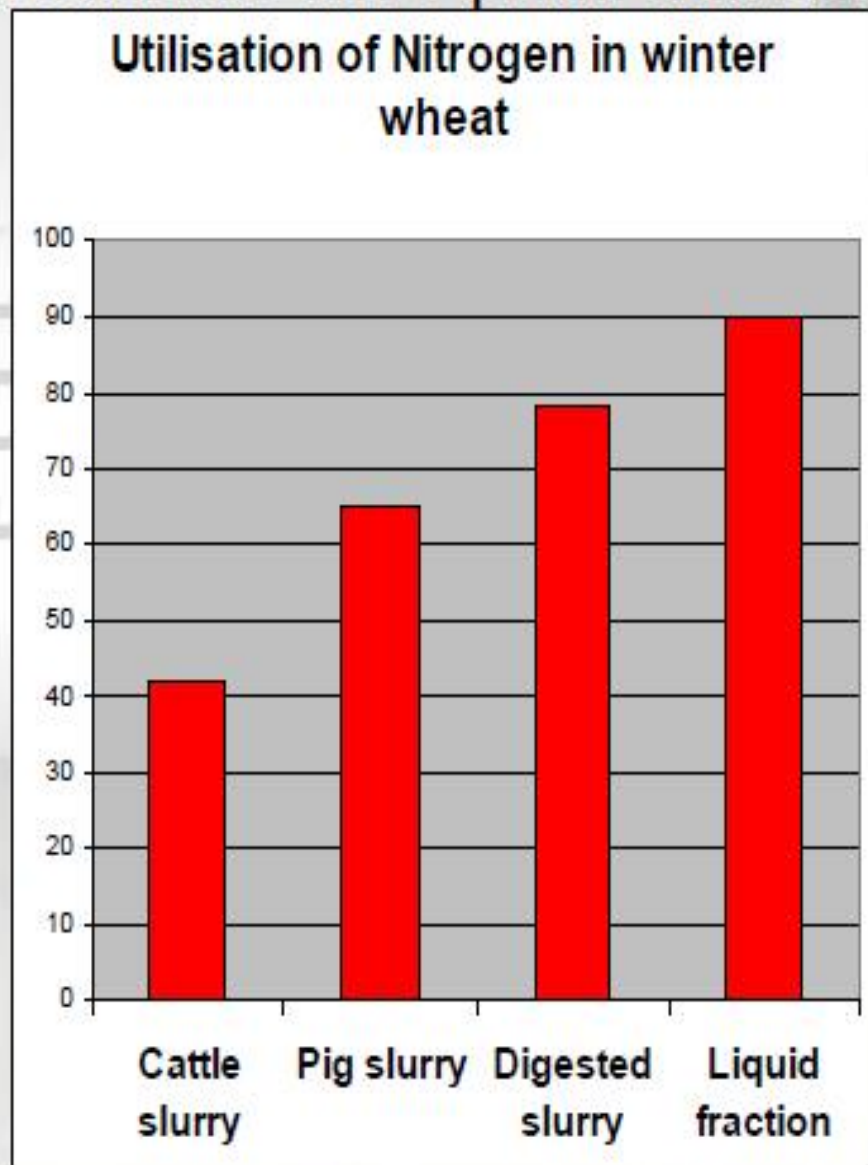
kääritusjäägis on N taimedele paremini omastatav

Kui võrrelda vedelsõnnikut ja kääritatud vedelsõnnikut, siis peamised muutused on järgnevad:

1. 20-30% ulatuses väheneb kuivaine sisaldus (biogaasiks)
2. N sisaldus on sama, kuid $\text{NH}_4\text{-N}$ osakaal suureneb 50-60%-lt 70-80%-ni
3. Kääritusjäägi pH on kõrgem, vahemikus 7,8-8,0
4. Rasvhapete sisaldus kääritusjäägis on marginaalne

Digestate: advantages

1. Nutrients more plant available



→ Improved N utilisation
Reduced risk of leaching

Otseselt seotud
laotustehnikaga
ja kliimaatiliste
tingimustega!

(Nielsen, 2006)

Digestaat vs vedelsõnnik põldkatse



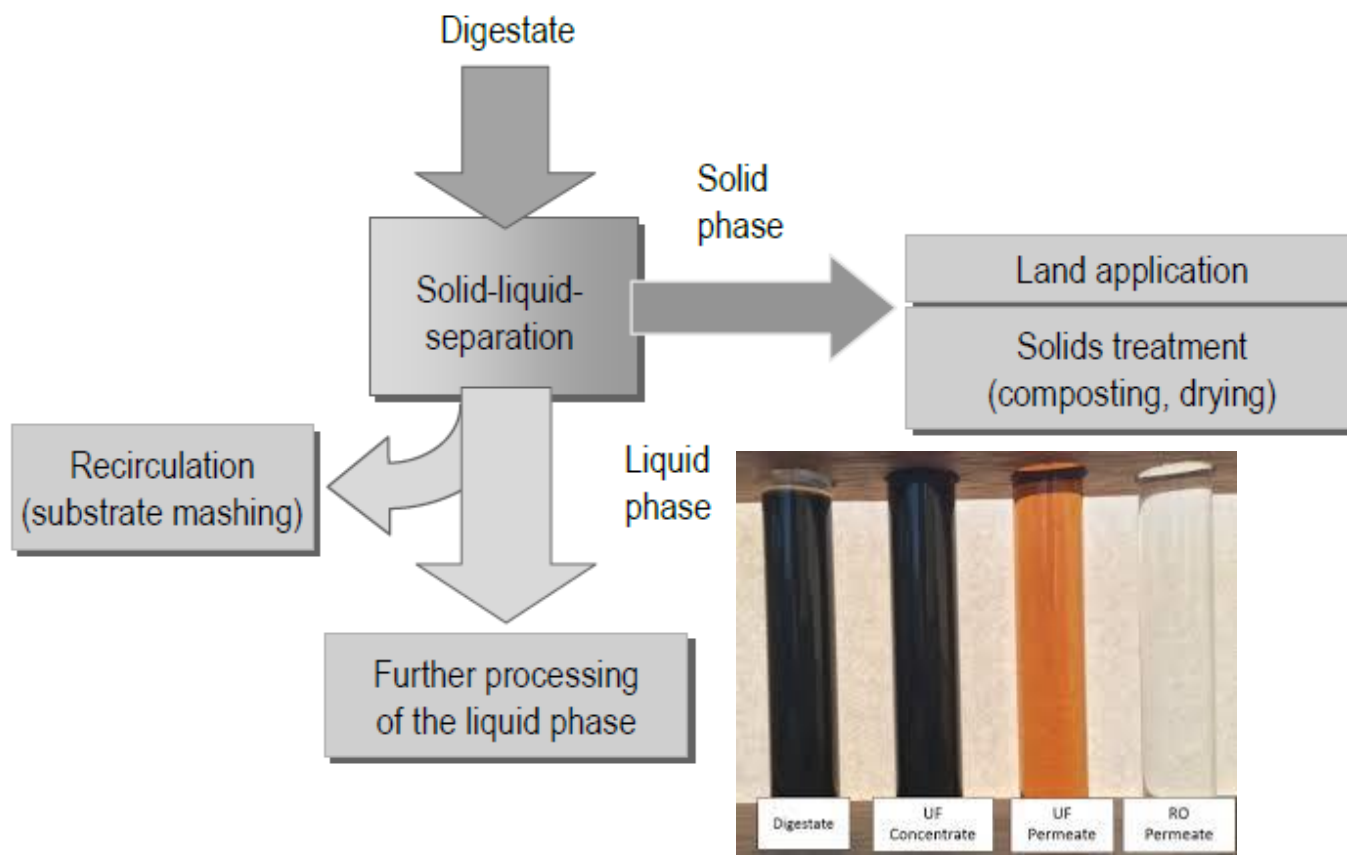
Kääritusjääk ja selle käitlemine

Parim kääritusjäägi käitlus piisava
maaressursi olemasolul on **mitte**
käitlus või väga pikkade
transpordikauguste puhul
separeerimine!

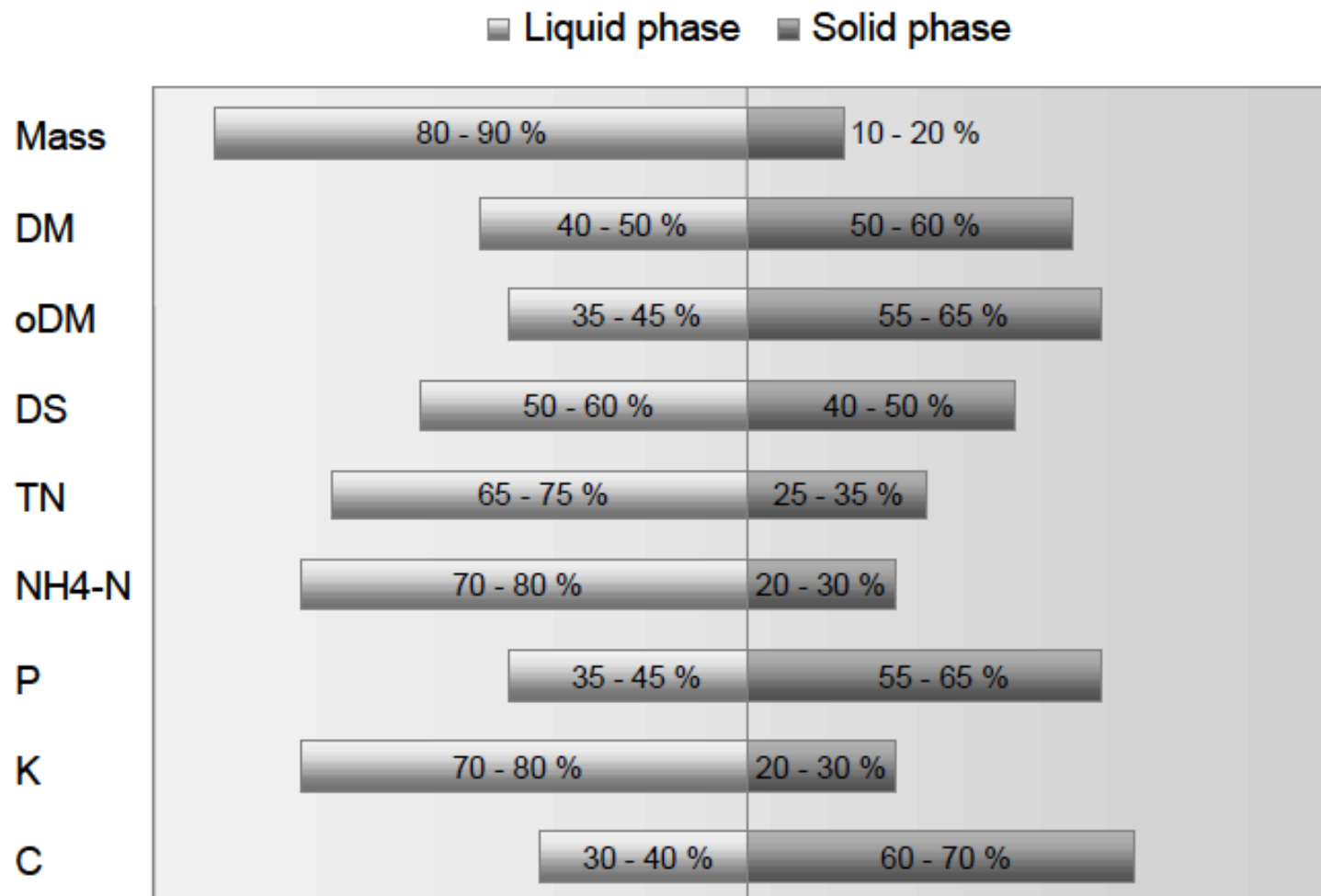


Kääritusjäägi separeerimine

- Vajalik riikides nagu Taani ja Holland, kus on sõnnikut liiga palju ja maad vähe



Kääritusjäägi separeerimine



Kääritusjäägi laotamine

- Sisuliselt võrreldav vedelsõnniku laotamisega. NH₃ suurem lenduvus!!!

Vedelsõnnik või kääritusjääk	Lohislaotur	Düüsidega lohislaotur	Mulda sisestamine	Paisklaotus
Jaotumise ühtlus	Ühtlane	Ühtlane	Ühtlane	Ebaühtlane
NH ₃ lendumise risk	Keskmine	Madal	Madal või puudub	Kõrge
Taimede saastumise oht	Madal	Madal	Väga madal	Kõrge
Tuulega laiali kandumise oht	Madal	Madal	Puudub	Kõrge
Haisu levik	Keskmine	Madal	Väga madal	Kõrge
Laotamise läbilaskevõime	Kõrge	Madal	Madal	Kõrge
Tööulatus	12-28 m	6-12 m	6-12 m	6-10 m
Taimede mehaaniline kahjustamine	Puudub	Puudub	Kõrge	Puudub
Laotamise hind	Keskmine	Keskmine	Kõrge	Madal
Visuaalne nähtavus	Vähene	Vähene	Pea olematu	Ulatuslik

Kääritusjäägi laotamistehnoloogiad



Kokkuvõtteks põllumajandusliku biogaasijaama kontseptsioonist

Selleks, et biogaasijaamast saaks piimafarmi juurde efektiivselt integreeritud osa, on planeerimise faasis oluline komplekselt vaadelda järgnevat:

- Toorainete ressurss ja omadused
- Põllukultuuride kasvatamise optimeerimise võimalusi läbi BGJ
- Eeltöötluste võimalusi ja vajadust
- Piimafarmi sõnnikuhoidlate süsteemi
- Olemasolev laotustehnika ja perspektiiv
- Kääritusjäägi väetusomadused, väetusplaanid ja nende vastavus erinevate kultuuride hooajalise toitainete vajadusega

Et ei jääks valet
muljet biogaasi
tootmisest,
siis...

... saab ka ilma sõnnikuta

- **Saksamaa ja Läti näited, kus osa BGJ töötavad 100% vaid maisisilol**

Risk - kogu sektor 110% sõltuvuses poliitilistest tõmbetuultest ja keskkonnatingimustest taimede kasvuks (üks põhjusi millest sõltub ka maisi müügihind)

„Sustainability“- kas rohtse biomassi massiline kasvatamine ainult biogaasi tootmiseks viljakal põllumaal on ikka mõistlik lahendus? Kvaliteetne rohtne biomass tuleks esmalt ikkagi vääridada toidu, sööda, erinevate keemiliste ühenditena jt toodetena ning jääkprodukte kasutada biogaasi tootmiseks

Meil on sektori arendamisel võimalus õppida teiste riikide vigadest!

Eraldi sihipärane energiakultuuride kasvatamine
viljakal põllumaal vaid biogaasijaama tooraineks
ei ole majanduslikult põhjendatud ning ka
„sustainability“ seisukohast põhjendamatu!

Kuid suur hulk (üle 400 000 ha) kasutamata põllumaa
annab meile ka sellest aspektist võimaluse!

Biogaasi tootmisprotsess ja monitooring

Omaette loenguseeria, peatun vaid
põgusalt!



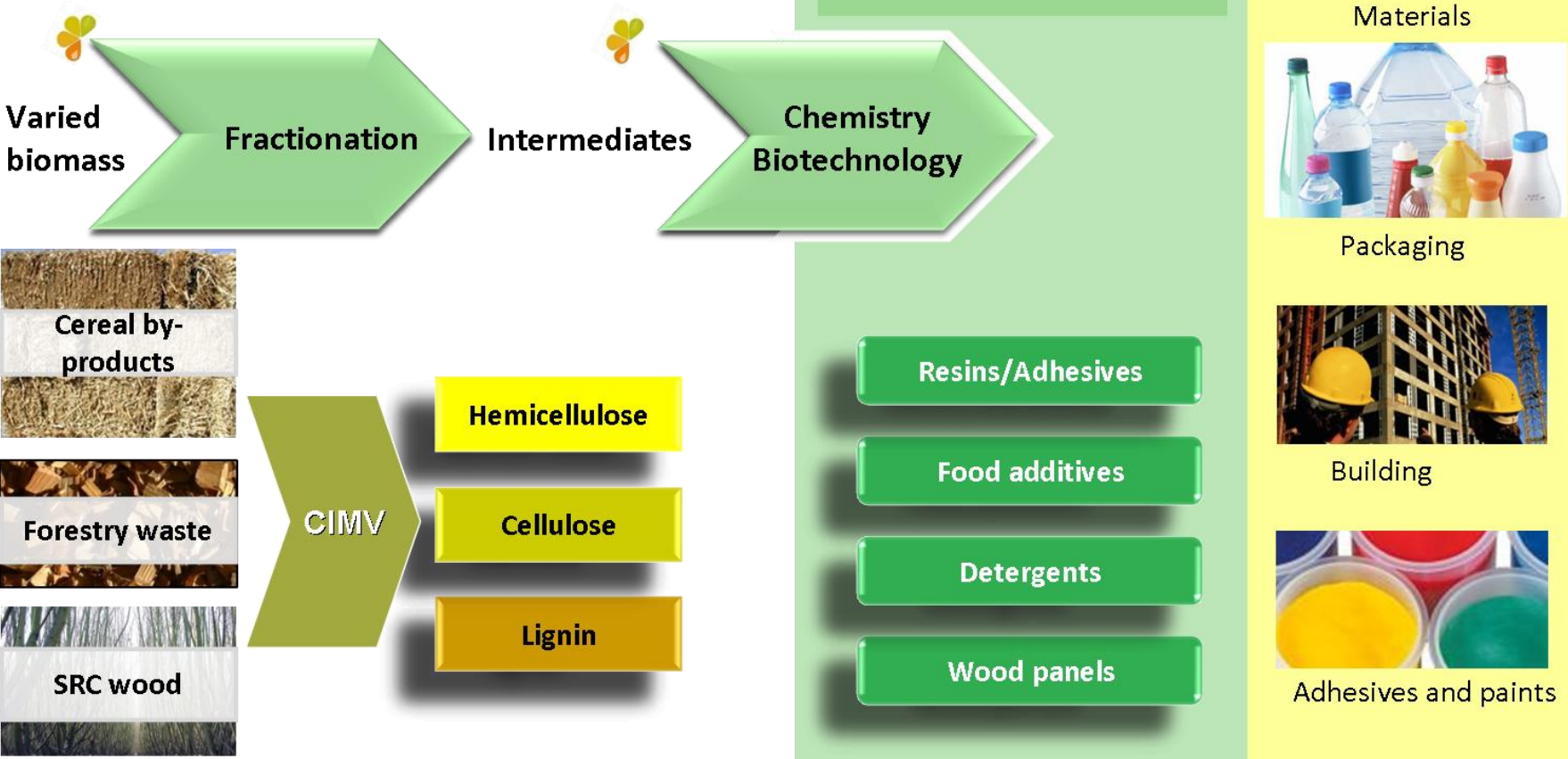
Biogaasi tootmisprotsessi olulised parameetrid

- Toite stabiilsus
- Orgaaniline koormus (ülekoormamine)
- Hüdrauliline koormus
- Temperatuur (vältida kõikumisi)
- Ammooniumi kontsentratsioon (inhibitsiooni võimalus)
- H₂S sisaldus (inhibitsioon, mikroelementide sadestumine)

Potentsiaalsed ohud:

- Raskmetallide üledoos
- Antibiootikumid ja desinfektantide üledoos
- Mikroelementide defitsiit

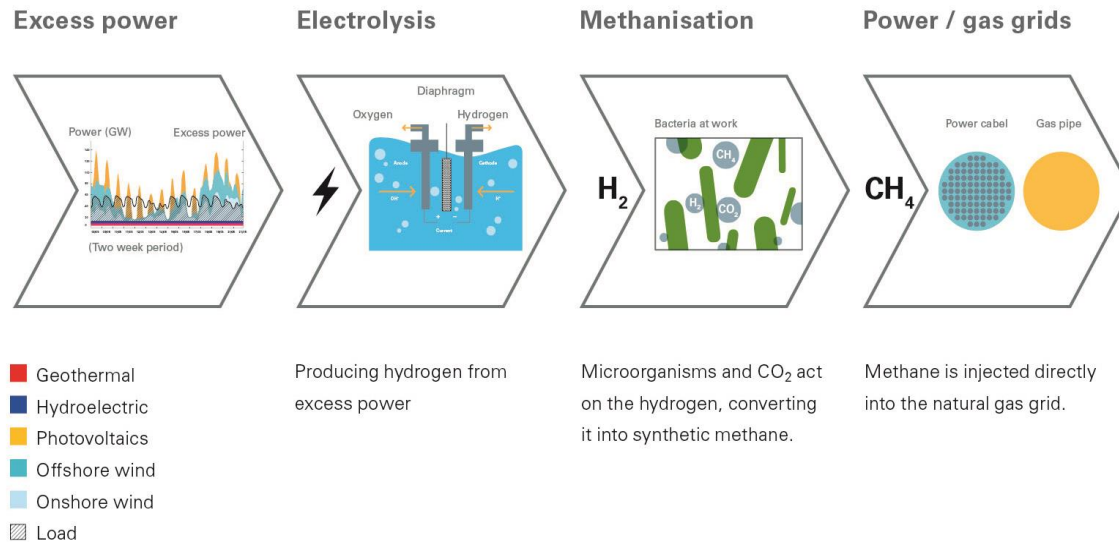
Innovatsioon sektoris



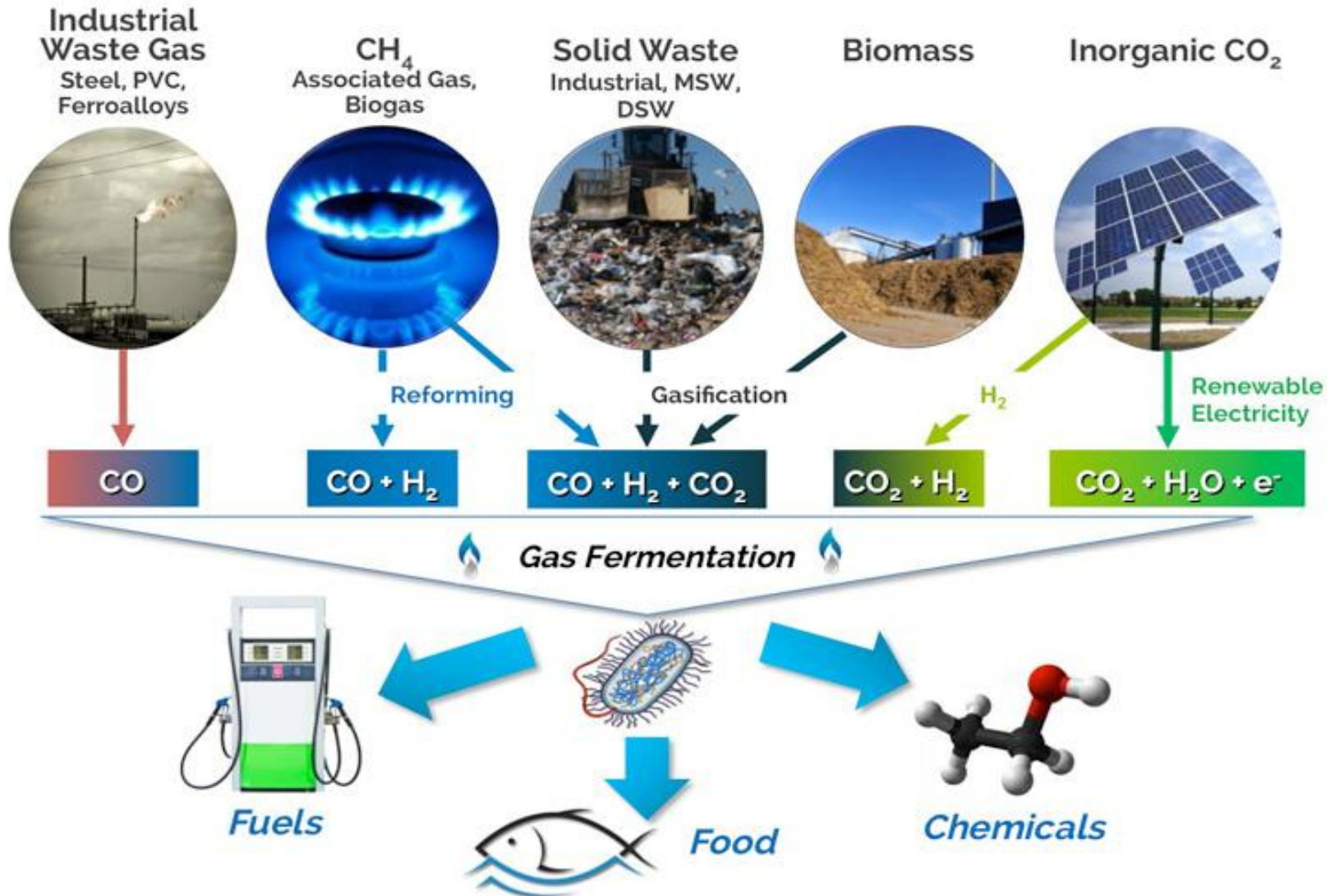
Power-to-gas kontseptsioon

Excess power is converted into methane using electrolysis and CO₂. The methane can be transported and stored in the gas grid, and can be converted into power as required.

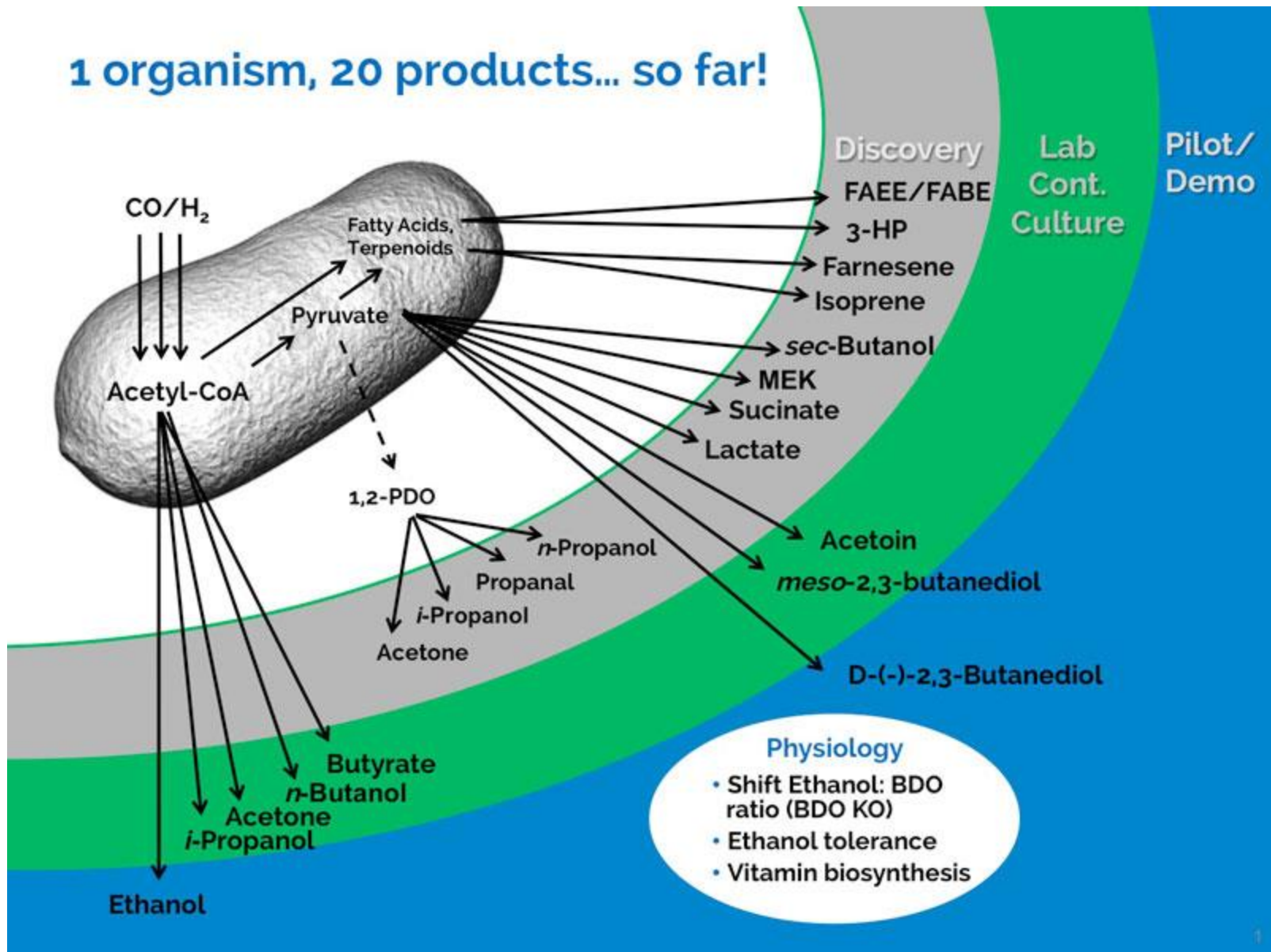
Power-to-gas: Storing excess power in the gas grid



Waste Carbon as a Resource for Product Synthesis



1 organism, 20 products... so far!



Kokkuvõte

- **Biogaasi tootmist** tuleks käsitleda kui **keskkonnatehnoloogiat** ja mitte võrrelda samadel alustel teiste TE tehnoloogiatega
- Otsene positiivne keskkonnamõju
- Jäätmekäitlus lahendus mitte ainult lägale vaid ka paljudele teistele põllumajanduslikele ning tööstusjäätmetele
- Kooskäaritamine vähendab täiendavalt vajadust põlevkivist toodetud energia järele ja seega väheneb oluliselt ka CO₂ emissioone
- Taimetoitainete taaskasutus ja sellega seotud keskkonnahoid
- Haisu vähenemine läga laotamisel põllule
- Regionaalne areng
- Elanike sõbralikum elukeskkond

Biogaasi „up-grade“ biometaaniks

Biogaasi koostis

Tab. 2. Composition of biogas, landfill gas and natural gas.

Compounds		Biogas	Landfill gas	Natural gas (Danish)*	Natural gas (Dutch)
	Methane (vol-%)	60–70	35–65	89	81
	Other hydro carbons (vol-%)	0	0	9.4	3,5
	Hydrogen (vol-%)	0	0-3	0	–
	Carbon dioxide (vol-%)	30–40	15–50	0.67	1
	Nitrogen (vol-%)	~0.2	5–40	0.28	14
	Oxygen (vol-%)	0	0-5	0	0
	Hydrogen sulphide (ppm)	0–4000	0–100	2.9	–
	Ammonia (ppm)	~100	~5	0	–
	Lower heating value (kWh/Nm ³)	6.5	4.4	11.0	8.8

*Average during 2007 (Energinet.dk).

Biogaasi „*up-grade*“ biometaaniks

Neli peamist tehnoloogiat:

- **PSA- pressure swing absorbtion**
- **Veega puhastus (Water scrubbing)**
- **Amiin punastus (Amine scrubbing)**
- **Membraan separeerimine**

Biogaasi „*up-grade*“ biometaaniks

- PSA-pressurs swing absorbtion



Photo 6. Upgrading plant, Malmö Sweden, using the PSA technology of Carbotech

Biogaasi „*up-grade*“ biometaaniks

- Vee puhastus (water scrubbing)



Photo 7. Kristianstad, Sweden, upgrading plant with a water scrubber. In the back the absorption column, flash tank and desorption column can be seen.

Biogaasi „*up-grade*“ biometaaniks

- Amiin puhastus (amine scrubbing)

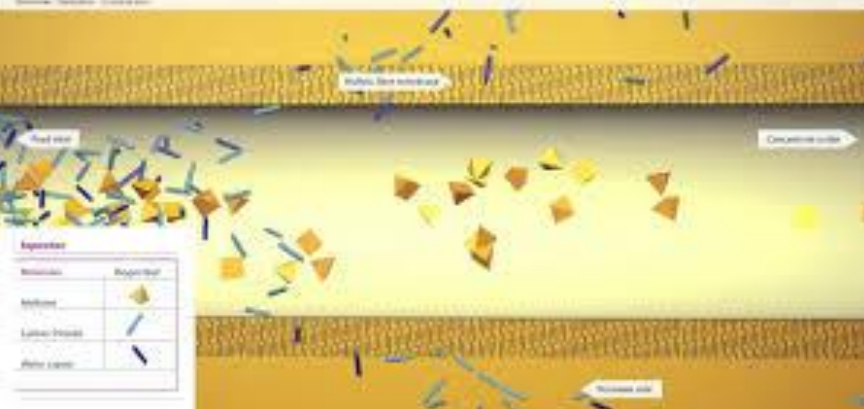


Biogaasi „up-grade“ biometaaniks

- Membran puhastus



Gas processing in a SEPURAN® hollow fibre membrane: Biogas upgrading



Biogaasi „*up-grade*“ biometaaniks

Tab.5. Comparison between selected parameters for common upgrading processes (Urban et al. 2008).

Parameter	PSA	Water scrubbing	Organic physical scrubbing	Chemical scrubbing
Pre-cleaning needed ^a	Yes	No	No	Yes
Working pressure (bar)	4–7	4–7	4–7	No pressure
Methane loss ^b	<3 % / 6–10 % ^f	<1 % / <2 % ^g	2–4 %	<0.1 %
Methane content in upgraded gas ^c	>96 %	>97 %	>96 %	>99 %
Electricity consumption ^d (kWh/Nm ³)	0.25	<0.25	0.24–0.33	<0.15
Heat requirement (°C)	No	No	55–80	160
Controllability compared to nominal load	+/- 10–15 %	50–100 %	10–100 %	50–100 %

Biogaasi „*up-grade*“ biometaaniks

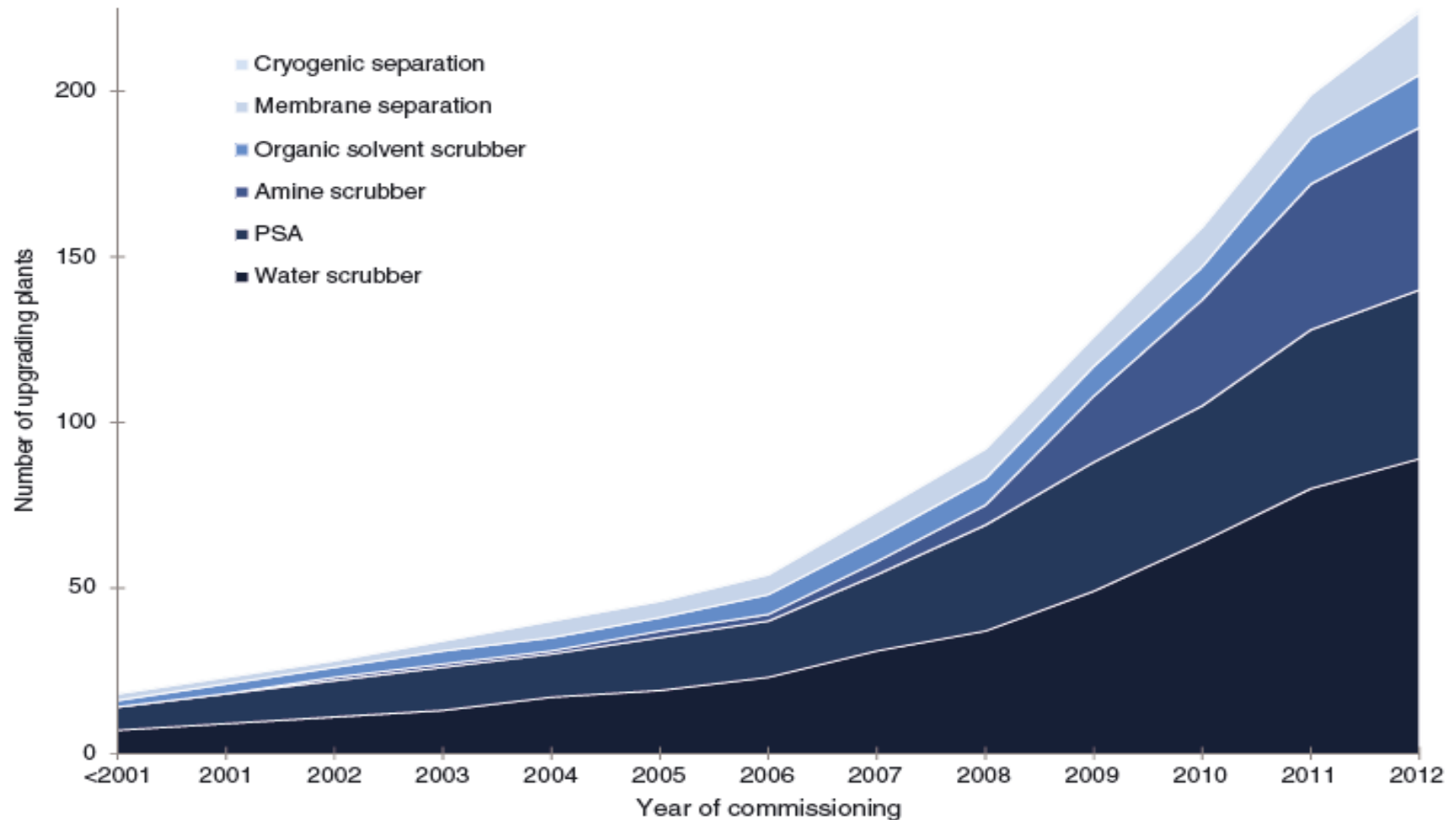


Figure 6. The growth of biogas upgrading plants. The figure shows upgrading plants that are in operation today listed by year of start-up and grouped by technology.²²



Täna tähelepanu eest! Küsimusi?

Peep Pitk
TTÜ Keemiainstituut
peeppitk@gmail.com



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond



Eesti tuleviku heaks